

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zvyšování kvality povrchu proudem abraziva

Autor: **Ondřej HRONEK**
Vedoucí práce: **Ing. Ivana Zetková**

Akademický rok 2014/2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Ondřej HRONEK
Osobní číslo: S11B0143P
Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie-technologie obrábění
Název tématu: Zvyšování kvality povrchu proudem abraziva
Zadávající katedra: Katedra technologie obrábění

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Rozbor současného stavu
3. Technicko ekonomické zhodnocení
4. Závěr

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 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 bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

V první řadě chci poděkovat paní Ing. Ivaně Zetkové za vynikající vedení této bakalářské práce, poskytování užitečných rad v průběhu vypracovávání práce. Dále chci poděkovat za přístup a spolupráci, které si velmi cením.

Poděkování patří i panu Ing. Miroslavu Zetkovi, Ph.D. za jeho práci v roli konzultanta.

Dále katedře KTO ZČU v Plzni za vynikající přípravu a poskytnutí potřebných informací v průběhu studia.

V neposlední řadě děkuji mé rodině, která mně už od první chvíle na Fakultě podporuje, stála při mně i v těžších chvílích a vytvořila mi potřebné zázemí pro studium.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Hronek	Jméno Ondřej	
STUDIJNÍ OBOR	Strojírenská technologie – technologie obrábění		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Zetková	Jméno Ivana	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Zvyšování kvality povrchu proudem abraziva		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	52	TEXTOVÁ ČÁST	38	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce obsahuje popis a rozbor technologií využívající proud abraziva ke zlepšení kvalitních parametrů povrchu. Jsou zde popsána i abraziva, která se používají. Dalším obsahem práce jsou dosahované parametry, jako je drsnost výsledných povrchů a ceny jednotlivých médií.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>kvalita povrchu, drsnost, geometrická přesnost, abrazivum, média, omílání, tryskání, AFM, mikro – abrazivní tryskání, řezný nástroj</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Hronek	Name Ondřej	
FIELD OF STUDY	Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Zetková	Name Ivana	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLÓMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Increasing surface quality by abrasive		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2015
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	52	TEXT PART	38	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Bachelor thesis contains a description and analysis technology using abrasive to achieve high-quality surfaces part. There are described used abrasives . Another work content are achieved parameters such as roughness of the resulting surfaces, but also the prices each of media.
KEY WORDS	surface quality, roughness, geometrical accuracy, abrasive, media, mass, abrasive jet, abrasive jet machining, micro - abrasive jet, cutting tool

Obsah

Přehled použitých zkratk	9
1. Úvod	10
1.1 Cíle bakalářské práce	10
2. Rozbor současného stavu [5], [14]	11
2.1 Omílání [4],[5]	11
2.1.1 Podstata metody omílání [4], [5]	11
2.1.2 Použití [5], [15]	12
2.1.3 Metody omílání	12
2.1.5 Rozbor používaných abraziv [18], [19]	18
2.1.6 Stroje pro omílání [14]	19
2.1.7 Čištění a recyklace provozních médií [5]	22
2.1.8 Omílání diamantových VBD [16], [19]	22
2.2 Abrasive flow machining [6], [21], [22]	23
2.2.1 Použití [6]	23
2.2.2 Metody AMF	23
2.2.3 Nástroj [6], [21], [26]	26
2.3 Tryskání [4], [29]	28
2.3.1 Suché tryskání [4], [29]	28
2.3.2 Mokrý tryskání [4], [29]	29
2.3.3 Tryskání pomocí zvlhčeného abraziva [10], [24]	29
2.3.4 Tryskání pomocí suchého ledu [12]	30
2.3.5 Abraziva pro tryskání [8]	31
2.3.6 Tryskací zařízení [9], [13]	33
2.4. Mikro – technologie využívající proud abraziva	37
2.4.1 Mikro – tryskání proudem abraziva (MTPA) [20], [25]	37
2.4.2 Používaná abraziva [25]	37
2.4.3 Mikro – abrazivní tryskání vodním paprskem [20], [28]	38
3. Technicko – ekonomické zhodnocení	39
3.1. Technické zhodnocení	39
3.1.1 Zhodnocení metod omílání [1], [2], [3], [17]	39
3.1.2 Zhodnocení metod AFM [6], [21], [23], [27]	40
3.1.3 Zhodnocení metod tryskání [4], [8], [10], [12], [24], [29]	40
3.1.4 Hodnocení mezi jednotlivými technologiemi [5], [6], [7], [9]	41

3.2. Ekonomické zhodnocení	42
3.2.1 Ceník médií [8], [30]	42
3.2.2 Ekonomika technologií [5], [7]	45
4. Závěr.....	46
Použitá literatura:	47
Seznam obrázků:	49

Přehled použitých zkratk

SK		slinutý karbid
CBN		kubický nitrid bóru
PKD		polykrystalický diamant
AFM		abrasive flow machining
SiO ₂		oxid křemičitý
Al ₂ O ₃		oxid hlinitý
CaO		oxid vápenatý
MgO		oxid hořečnatý
Na ₂ O		oxid sodný
K ₂ O		oxid draselný
Fe ₂ O ₃		oxid železitý
SO ₃		oxid sírový
MnO		oxid manganatý
TiO ₂		oxid titaničitý
ZrO ₂		oxid zirkoničitý
R _a	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
R _z	[μm]	největší výška profilu
R _t	[μm]	nejvyšší hloubka drsnosti
VBD		vyměnitelná břitová destička
Al		hliník
Cu		měď
NaHCO ₃		hydrogenuhličitan sodný
RO		rychlomězná ocel
SK		slinutý karbid

1. Úvod

Tato práce se zabývá rozbohem moderních dokončovacích metod obrábění. Hlavním úkolem dokončovacích metod je zvýšení jakosti obrobeného materiálu, zpřesnění geometrických rozměrů. Po druhé světové válce, kdy se ve větší míře začala rozvíjet letecká doprava, bylo třeba vyrábět velmi přesné součástky. Navíc i v dalších odvětvích, zejména v automobilovém a kosmickém průmyslu bylo nutné vyrábět přesné komponenty. Čím dál větší důraz je kladen na úpravu povrchů těchto součástí, a proto je trendem dnešní doby inovovat osvědčené a nalézat nové metody dokončování, které jsou popsány v bakalářské práci. Metody patří mezi třískové způsoby obrábění. Odebírají se třísky malých průřezů. Jako řezný materiál se používají brusné elementy různých materiálů a tvaru, které mohou být rozptýleny v roztocích, pokud se jedná o mokrou cestu pískování, popř. omílání. V bakalářské práci je mimo jiné popsána technologie AFM, která využívá abrazivum v kombinaci s viskoelastickým polymerem pro obrábění součástí a dále mikro – abrazivní tryskání pomocí vodního paprsku.

Požadavky na zvýšení výsledné kvality povrchu se neobjevují pouze ve strojírenském průmyslu. Výrobky s kvalitním povrchem a vynikajícím vzhledem jsou požadovkem např. v chemickém, ale i potravinářském průmyslu. Finální vzhled je rozhodující i pro vlastní prodej. Je totiž předvídatelné, že zákazník si ze dvou stejných součástí vybere tu součást, která má kvalitnější vzhled povrchu. V dnešní době je tedy potřeba se zaměřovat na výsledný vzhled obrobků. Např. implantáty pro zdravotnický průmysl musejí mít kvalitní, lesklý a chemicky nezávadný povrch.

Výběr správně technologie závisí na předepsané jakosti obrobeného povrchu, na toleranci rozměrů a tvaru, ekonomických vlastnostech a také na vybavení a dostupnosti výrobních zařízení a strojů. V neposlední řadě je potřeba najít kompromis mezi kvalitou, časem a financemi. Cena je totiž v mnoha případech rozhodující faktor. Je ale třeba mít na mysli, že při snižující ceně obrábění v mnoha případech klesá i výsledná kvalita obrobku. S rostoucími požadavky na kvalitu zároveň rostou vyšší nároky na technologie, výrobní stroje, nástroje a v neposlední řadě na pracovníky.

1.1 Cíle bakalářské práce

Hlavním cílem práce je představení jednotlivých metod využívající abrazivum k dosažení vyšší kvality povrchu. Čili práce popisuje dané metody. Jedná se především o princip, dále o stroje a strojní zařízení. Dalšími cíli je představení použití metod v praxi, dosahovaných parametrů jako je drsnost, rychlost média, pracovní čas. Dalším cílem práce je popis jednotlivých abraziv, jejich rozdělení a použití.

2. Rozbor současného stavu [5], [14]

V dnešní době se v celosvětovém měřítku objevují požadavky na finální úpravu povrchu součástí. Takové součásti mohou být odlišného tvaru a vyrobené z odlišných materiálů. Od dokončovacích operací, jako je např. omílání, se očekává vysoká kvalita výsledné geometrické přesnosti a drsnosti ploch. V současné době naštěstí existují metody a abraziva, díky kterým lze dosáhnout požadovaných výsledků. Lze obrábět i materiály, jako jsou např. vysoce tvrdé diamantové nástroje, které v době minulé mohly být obráběny pouze pomocí nekonvenčních metod. Je potřeba si uvědomit že ani tyto moderní procesy obrábění nemusí být finální. Po těchto metodách mohou následovat ještě další procesy pro úpravu součástí. Např. povlakování řezných nástrojů pro obrábění. Následující kapitoly rozebírají principy jednotlivých metod, používaná abraziva, možnosti použití, dosahovanou drsnost a geometrickou přesnost.

2.1 Omílání [4],[5]

V drtivé většině technologických procesů jako je obrábění, odlévání, stříhání vznikají po dokončení otřepy, nerovnosti. Na povrchu mohou být škrábance, rýhy atd. To znamená, že je třeba se těchto nežádoucích prvků zbavit. Při omílání dochází ke tření mezi obrobkem a abrazivem. Technologie omílání patří do kategorie dokončovacích operací. Lze řešit mnoho technologických potřeb prostřednictvím této metody. Účelem je zvýšení kvality povrchu, odstranění zbylého materiálu, jako jsou otřepy, které se vytváří především na hranách a rádiusech. Dále je metoda vhodná pro odstranění mastnoty, znečištění, ale i koroze z daného povrchu. Výběr daného způsobu omílání vychází z rozměrů a tvaru obrobku, který se bude omílat, z požadované jakosti povrchu. Stroje a zařízení mohou mít rozsah od jednoduchého kruhového zařízení, přes vibrační omílací zařízení až po výrobní linky specializované na omílání.

2.1.1 Podstata metody omílání [4], [5]

Všechny metody omílání spojuje jeden princip. Tento princip je založen na tření a nárazech obrobku o abrazivum (keramická, plastová tělíska apod.) a tím dochází k úběru materiálu. Při procesu omílání dochází současně k broušení a leštění materiálu. Samozřejmě záleží na použitém médiu, na jeho vlastnostech.

Proces omílání může mít dvě podoby. První podobou je suché omílání, kdy v procesu se nachází pouze abrazivum pro suché omílání. Příkladem je vlečné omílání při použití ořechových skořápek. Druhým způsobem je mokré omílání, např. u odstředivého omílání za použití provozních kapalin (kompoundů) v kombinaci s abrazivem z nerezové oceli.

2.1.2 Použití [5], [15]

V dnešní době se technologie omílání používá především v případech, kdy jiný způsob dokončovacích metod leštěním by byl drahý a navíc velmi pracný. Technologie je určena pro součásti, které mají požadavek vysoké kvality a jakosti celého povrchu. U mnoho obrobků je jako hlavní požadavek hladký povrch. Např. u lopatek turbín tryskových motorů je to nízký odpor vzduchu, u šnekových převodů nižší hlučnost a zároveň nízký otěr. Omílají se nejen řezné nástroje, ale i pružiny, díly do počítačů, implantáty pro lékařský průmysl, díly energetických turbín, domácí spotřebiče. Mezi omílané součástky patří i neželezné materiály, drahé kovy. Výhodou je to, že existuje mnoho druhů abraziv, čili je možné touto technologií zpracovávat velké množství materiálů.

Technologie omílání se skládá ze speciálních procedur a kroků, které jednoduše nahradí jinou práci např. při leštění a zároveň se dosáhne minimálně stejné a v mnoha případech i lepší kvality povrchu. V případě odmašťování součástí pomocí technologie omílání jsou vhodné velké série obrobků.

2.1.3 Metody omílání

V následující kapitole jsou představeny a popsány způsoby omílání, které se v praxi vyskytují.

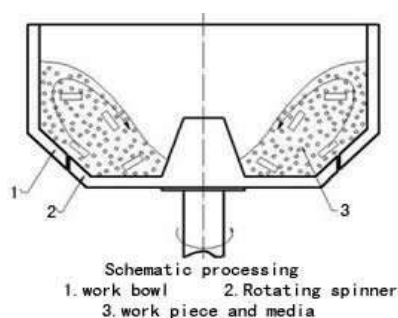
a) Odstředivé omílání [1],[5],[15]

Prvním způsobem je odstředivé omílání. Hlavním účelem této metody je povrchové opracování obrobků. Jedná se o nádobu, která má dno ve tvaru talíře a vršek nádoby je otevřený. Navíc dno je odděleno od středu nádoby pomocí štěrbin. Během procesu nastává rotační pohyb, který uvádí brusné nebo lešticí abrazivo společně s daným obrobkem do prstencového proudění. Talíř na dně rozpožhuje velké množství omílacích tělísek a součástí pro obrobek. Díky odstředivé síle, která působí při omílání, se pohybují omílací tělíska vzhůru podél obvodu pracovního prostoru až do bodu, kdy mají nulovou kinetickou energii. Na tyto tělíska opět začne působit gravitace, tím pádem spadnou zpět na základní talíř ve spodku nádoby. Díky vzájemnému působení sil mezi obrobkem a daným obráběcím médiem dochází k velmi intenzivnímu obrábění, které může být až 20x účinnější než při použití klasických vibračních strojů a zařízení. Při obrábění na mokro se přivádí a odvádí do nádoby provozní kapalina. Tato kapalina přispívá k tomu, že daný obráběný materiál nekoroduje, odplavují se z místa obrábění nečistoty a navíc na povrchu obrobků vytváří čistý povrch.

Tato metoda se používá nejen u intenzivního zaoblování hran, popř. odjehlování u dílů, které nemají vysoký jakostní požadavek, ale i pro velmi jemné vyhlazení povrchu u speciálních dílů a součástí.

Mezi příklady součástí, omílaných touto metodou, patří např. vojenské nože, klipsy propisovacích tužek nebo destičky a čepy řetězů. Avšak existují i případy odstředivého omílání součástí o tloušťce 0,3 mm. Jedná se o lamely pro textilní stroje.

Tato metoda se hojně používá i na neželezné materiály. Příkladem je experiment, který v sobě zahrnuje odstředivé omílání mosazných kroužků. Jako abrazivum jsou v první části použity ořechové skořápky L003. Na počátku má vzorek drsnost $R_a = 2,82 \mu\text{m}$. Otáčky pracovního válce jsou po celou dobu konstantní, mají hodnotu 280 ot/min. Po 3 hodinách má povrch drsnost $R_a = 1,34 \mu\text{m}$, po 9 hodinách je hodnota drsnosti $R_a = 0,22 \mu\text{m}$. Ve druhé části se použily ořechové skořápky typu L099, zachovali se otáčky a už po 3 hodinách se drsnost povrchu dostala na hodnotu $R_a = 0,79 \mu\text{m}$, po 9 hodinách byla naměřena drsnost $R_a = 0,25 \mu\text{m}$. Skořápky typu L003 mají velikost 0,4 – 0,8 mm, L099 mají velikost 2,2 – 3,0 mm.



Obr. 2.1: Princip odstředivého omílání [1]



Obr. 2.2: Odstředivé omílání [2]

b) Vlečné omílání [2], [3], [15]

Mezi další metodu patří vlečné omílání. Při vlečném omílání jsou obrobky před vlastním procesem obrábění upnuty do speciálních držáků a ty jsou díky rotačnímu pohybu vláčeny v nádobě, která obsahuje brusné nebo leštící abrazivo. Obrobky konají rotační pohyb kolem vlastní osy a zároveň konají další rotační pohyb kolem středu zařízení (karuselu). Díky vysokým rychlostem dochází k vyvození velkého tlaku, který vzniká mezi obrobkem a médiem. Tento tlak je přitlačný. Vzájemný pohyb zabezpečuje rovnoměrné obrobení daného obrobku. Tato metoda dosahuje srovnatelné kvality jako při ručním leštění. Výhodou je krátký čas obrábění, při kterém se dosáhne požadované kvality. Hloubka ponoru, která se dá změnit a rychlosti rotačního pohybu umožňují až 40x vyšší úběr materiálu než při klasickém omílání. V porovnání s odstředivým omíláním se dosahuje přibližně 4x vyšší intenzity.

Metoda je vhodná pro obrobky, které jsou náchylné k poškození, musejí se leštit popř. brousit bez vzájemného dotyku omílaných součástí. Toto je velká výhoda, protože se mohou omílat součásti, které jsou drahé nebo choulostivé. Velké uplatnění se nachází u řezných nástrojů, např. VBD nástrojů se omílají z důvodu lepšího nanesení povlaku na povrch destičky. Nejedná se pouze o destičky ze slinutého karbidu. Dají se omílat i cermety, CBN, ale i PKD.

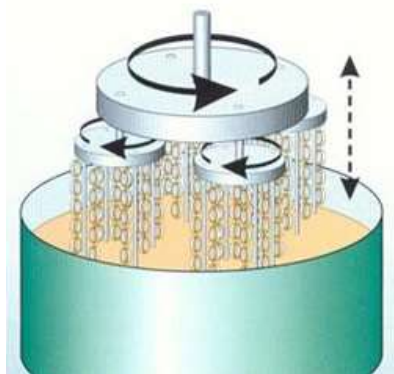
I u této metody byl proveden experiment s mosaznými kroužky. Tab. 2.1 ukazuje, jaké výsledné drsnosti se dosáhne za daný čas, při daných technologických podmínkách. Jako

abrazivum byly použity ořechové skořápky typu L003 a L099. Počáteční drsnost povrchu součásti R_a je $2,82 \mu\text{m}$.

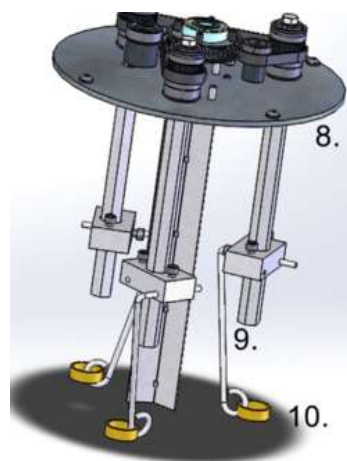
Abrazivum	Otáčky [ot/min]	Čas procesu [hod]	Drsnost [μm]
Ořechové skořápky L003	50	3	1,40
		9	0,31
	100	1	0,99
		3	0,21
	150	1	0,37
		3	0,17
Ořechové skořápky L099	50	3	0,48
		9	0,21
	100	1	0,59
		3	0,25
	150	1	0,23
		3	0,25

Tab. 2.1: Přehled omílání mosazných kroužků [15]

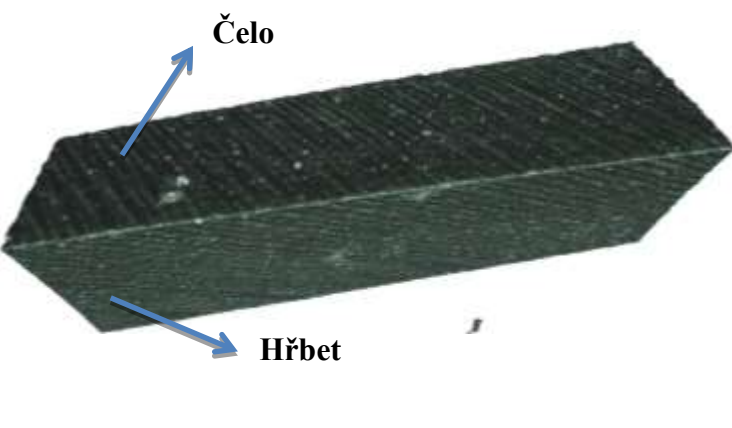
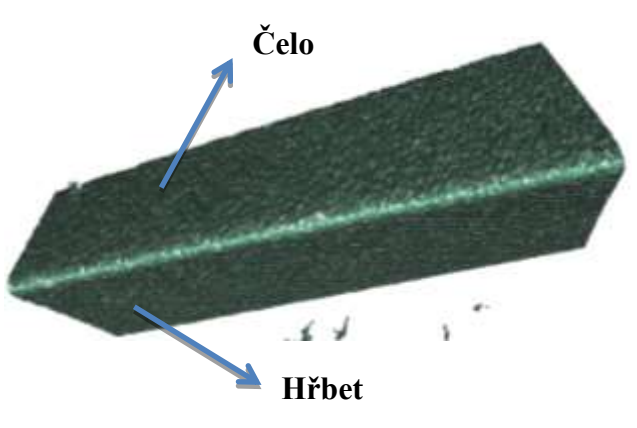
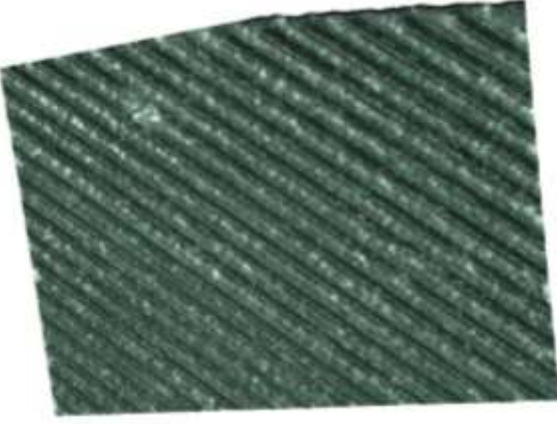
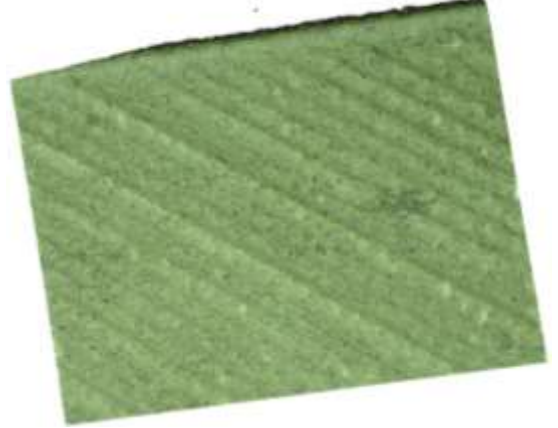


Z experimentu vyšly následující výsledky. V první řadě pokud je požadavek na nízkou drsnost ($< 0,2 \mu\text{m}$) je potřeba zvolit vyšší otáčky (150 ot/min), doba procesu je okolo 3 hodin. Je zajímavé, že při použití abraziva L099, 150 ot/min se dosáhne kvalitního povrchu s drsností $R_a = 0,23 \mu\text{m}$ za 1 hodinu. Což je velmi dobrý čas procesu.



Obr. 2.3: Princip vlečného omílání [3]



Obr. 2.4: Příklad upnutí součástek při vlečném omílání[4]

Nástroj po broušení	Nástroj po omílání
Břit – rádius špičky $r = 2,1 \mu\text{m}$	Břit – rádius špičky $r = 14,1 \mu\text{m}$
	
Čelo – drsnost: $R_a = 0,173 \mu\text{m}$; $R_t = 1,009 \mu\text{m}$	Čelo – drsnost: $R_a = 0,113 \mu\text{m}$; $R_t = 0,772 \mu\text{m}$
	
Hřbet – drsnost: $R_a = 0,226 \mu\text{m}$; $R_t = 1,415 \mu\text{m}$	Hřbet – drsnost: $R_a = 0,089 \mu\text{m}$; $R_t = 0,618 \mu\text{m}$
	

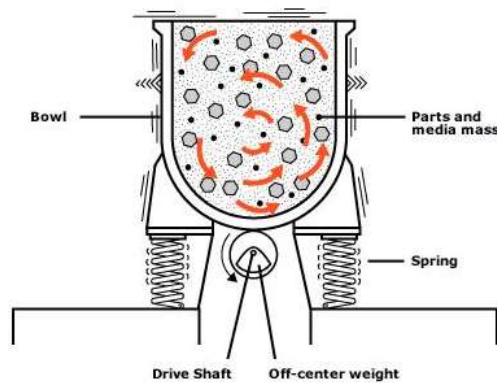
Tab. 2.2: Parametry dosahované po broušení a omílání

Z tabulky 2.2 je vidět, jaké parametry se dosahují po broušení a omílání. Z obrázků a dosažených hodnot je vidět, že díky omílání se dosáhne vyšší kvalita povrchu. Jako abrazivum při vlečném omílání bylo použito HSC 1/300. Celkový čas omílání byl 32 minut. Obrobkem byla fréza $\varnothing 8\text{mm}$.

c) Vibrační omílání [3], [5]

Tam, kde kvůli rozměrům omílaných součástí nevyhovují kruhové vibrátory, se používá vibračních žlabů. V pracovní nádobě vzniká, díky vibracím, tření mezi součástmi a abrazivem. Tím dochází k omílání. Používá se u obrobků, které jsou náchylné k poškození, díky přepážkám lze obrábět obrobky bez vzájemného dotyku. Tato metoda se může použít pro mokrý i suchý proces, jedná se o jednoduché použití. Rychlost vibrace se dá měnit díky frekvenčnímu měniči. Díky vibracím se zkracuje čas obrábění, při kterém se dosáhne požadované jakosti. V dnešní době mají vibrační omílací stroje ve vybavení vibrační elektromotory s nepřetržitou mazací náplní. Vzhledem k tomu není potřeba sledovat mazací intervaly po dobu plánované životnosti motoru, která se pohybuje okolo 20 000 hodin.

Mezi výrobky, které se omílají, touto metodou, patří ozubená kola, elektrosoučástky, ortopedické implantáty. Avšak u součástek pro zdravotnický průmysl je třeba dbát na to, aby se součástky mezi sebou nepoškodili. To znamená, že se omílá během procesu např. pouze 1 součást nebo se použijí přepážky.



Obr. 2.5: Princip vibračního omílání [5]

d) Proudové omílání [16], [17]

Na první pohled se zdá, že proudové a vlečné omílání je stejné. Avšak tak tomu není, protože na rozdíl od vlečného omílání, kde hlavní pohyb koná obrobek, tak u proudového omílání koná hlavní pohyb válcová nádoba naplněná abrazivem. Jedná se o rotační pohyb. Do této rotující nádoby se pak svislým pohybem zasunou obrobky. Tyto obrobky jsou upnuté, jako u vlečného omílání, v držácích. Čili při procesu se nikdy mezi sebou nedotknou. Navíc je možné naklápět součástky pod různým úhlem. Díky speciálním držákům se součástka může otáčet kolem vlastní osy. Toto natočení způsobí lepší přístup do jinak špatně přístupných míst omílaných součástí.

Toto naklápění se velmi často využívá. Díky naklápění se touto technologií omílají především vrtací a frézovací nástroje. Hlavním důvodem je to, že drážka nástroje je rovnoměrně obráběná. Díky konstantní rotaci pracovní nádoby a samotného nástroje kolem vlastní osy se docílí rovnoměrného omílání drážek. Po dokončení má hrana nástroje rádius R 0,05 μm a nástroj je připravený na další zpracování (povlakování).

Dalším příkladem jsou ozubená kola. I v tomto případě jsou ozubená kola uchycena v držáku pod úhlem. Během procesu se také ozubená kola otáčejí kolem vlastní osy. Vlastní proces trvá pouhou 1 minutu. 30 vteřin se kola otáčejí po směru hodinových ručiček, zbylých 30 vteřin proti směru. Během této krátké doby se drsnost, která byla měřena na bocích zubů, snížila z $R_z = 1,5 \mu\text{m}$ na $R_z = 0,4 \mu\text{m}$.



Obr. 2.6: Bok zubů před a po proudovém omílání [21]

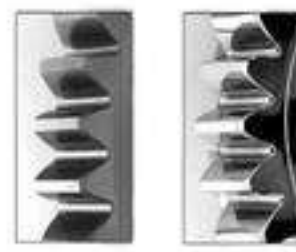
e) ISF [7]

Jedná se o chemicky urychlené omílání. Navíc tato metoda je patentovaná firmou REM Chemicals, Inc., USA. Pokaždé vzniká teplo, když o sobě se dvě a více součásti třou. Právě vysoké teploty mají za následek snižování účinnosti a v určité době i výměně celého dílu za nový. Tato metoda zaručuje to, že obrobky po opracování získají lesklý a hladký povrch, od kterého se odráží zvýšená účinnost a tím pádem i delší životnost součástí. Po konvenčních způsobech obrábění jako soustružení, ale i po dokončovacích operacích jako honování zůstávají prakticky více či méně hrubé povrchy. Metoda obrobí dané povrchy a tím pádem je povrch hladší, ale i díky vzniku nové struktury se redukuje tření. Tím pádem se zvyšuje i mazací schopnost a zároveň se snižuje teplota mezi součástmi, které o sebe třou.

Touto metodou se může ošetřit např. diferenciál, ale i části převodovky nebo valivá a kuličková ložiska.



Obr. 2.7: Opracovaný pastorek převodovky metodou ISF [6]



Obr. 2.8: Převodové díly před a po [7]

2.1.5 Rozbor používaných abraziv [18], [19]

Existuje celá škála tvarů a rozměrů médií. Jak keramická, tak plastová tělíska mají tvar trojúhelníků, hvězdiček, elips, válečků, kuliček, čoček atd. Abraziva se rozdělují na mokré a suché omílání. Na vliv doby omílání má kromě zvolení vhodného abraziva i zrnitost daného abraziva.

a) Abraziva pro suché omílání

a. 1) Ořechové skořápky

Jedná se o zrna ořechových skořápek ve velikosti 0,4 – 6 mm. Toto abrazivum je impregnováno lešticí pastou (označení PP 01;02), abrazivum se hodí pro omílání do zrcadlového lesku titanu, ocelí, šperků. Další impregnací je brousící pasta, tímto abrazivem se docílí hladkého povrchu. Existují ještě 2 skupiny impregnovaných ořechových skořápek. Jedná se o ořechové skořápky (H3) + lešticí pasta (PP 01). Toto abrazivum se hojně využívá u nástrojů jako je např. SK, keramika. Abrazivum H4 + PP 02 se používá pro leštění wolframových karbidů, pro zaoblování hran. Před použitím je nutné minimálně 5 minut promíchat abrazivum, jelikož se jedná o dvousložkové abrazivum (H4 + PP 02).

a. 2) Granule pro suché dokončování

TZM: Abrazivum se skládá z granulí polyuretanu a SiC, které je zde kvůli zvýšení brousícího účinku. Granule mají definovanou geometrii, bývají nejčastěji válcovitého tvaru. Největší využití nacházejí u řezných nástrojů, u kterých zaoblují hrany. Výhodou je jejich odolnost, vyšší úběr oproti jiným abrazivům. Výdrž tohoto abraziva je řádově okolo 250 hodin.

QZ W: Tento granulát, který je vyrobený z bílého korundu se nejčastěji používá u karbidových nástrojů, kde je požadavek většího zaoblení řezné hrany. Příkladem mohou být VBD ze slinutého karbidu.

HSC: Médium se používá pouze pro vlečné a proudové omílání. HSC se využívá na dokončování RO a náradí, jedná se o vyhlazování a leštění především. Toto médium se používá pro zaoblení hrany nástrojů, avšak maximální rádius špičky nástroje je 20 μm . I toto abrazivum se musí před prvním použitím promíchat.



Obr. 2.9:HSC médium [26]

a. 3) Kukuřičný granulát

Toto abrazivum má značku M. Jak v případě ořechových skořápek, tak i toto abrazivum je impregnováno lešticím práškem pro lepší výsledné vlastnosti. Velikost kukuřičných zrn se pohybuje v rozmezí 0,8 – 1,3 mm. Používá se pro lékařské implantáty, dokončování nástrojů, v hodinářském průmyslu. Tímto abrazivem se dosáhne velmi lesklý povrch.

b) Abraziva pro mokré omílání

b. 1) Plastické lešticí tělesa

Plastové tělíska se především hodí pro finální úpravu. Kombinace s aktivní kapalinou (kompoudem) zajišťuje to, že obrobky nejsou náchylné ke korozi během procesu. Abrazivum se používá pro jemné leštění a broušení zlata, stříbra, platiny apod.

b. 2) Keramické abrazivum

Toto abrazivum je nejvhodnější na ocelové slitiny, díky své tvrdosti. Mají vysokou hustotu a tvrdou strukturu.



Obr. 2.10:Keramické abrazivum [27]

b. 3) Abrazivum z nerezové oceli

Tato skupina je velmi zvláštní, neboť při použití tohoto abraziva nedochází k úběru materiálů. Povrch obrobku se pouze zhutní a vyhladí. Používá se např. u oceli 1.4301 (17 240)

b. 4) Zirkonové kuličky

Tyto kuličky se především využívají při vibračním omílání. Mají dlouhou životnost a jsou poměrně dost tvrdé. Při použití tohoto abraziva nedochází k úběru materiálu. Pouze se povrch vyleští do zrcadlového lesku. Použití u zlata, platiny, slitin Al a Cu. Označení zirkonových kuliček je „G“. Kuličky mají velikost 0,8 – 2,5 mm.

b. 5) Lešticí pasta pro mokré omílání

Tato pasta se nejčastěji používá s keramickými lešticími tělíska. Výhodou je to, že vzniká efektivnější broušení při mokrému procesu omílání. Používá se u kovů. Označení této pasty je „SP“

b. 6) Kompoundy

Jedná se o sloučeniny určené pro mokré omílání. Přidávají se do procesu s požadovaným množstvím vody. Přilévá se 1-5% vody. Tato výsledná sloučenina má následující úkoly: při procesu zajistit čistotu omílaných součástí, odmašťování a prevence proti oxidaci povrchu, dosažení světlejšího povrchu obrobků, udržování čistého abraziva. Tyto sloučeniny se používají v kombinaci s abrazivy, jako jsou keramická, plastová tělíska, ale i s brusnými pastami.

2.1.6 Stroje pro omílání [14]

Tato kapitola popisuje stroje používané pro jednotlivé metody omílání (odstředivé, vibrační, vlečné, atd.). Popsané stroje jsou od firmy OTEC.

Kromě základních konstrukčních rysů strojů, mohou být používány i další části a zařízení. Příkladem jsou dopravníky, zařízení pro čištění a úpravu abraziva, robotické ruce pro upínání obrobků do upínačů (např. u proudového omílání).

a) Odstředivé omílací stroje:

- základním rysem těchto strojů je válcový buben, který koná rotační pohyb
- v tomto bubnu je umístěno abrazivum společně s obrobky
- další součástí stroje je rám, ve kterém je umístěn buben, ovládací skříň
- firma OTEC nabízí základních 5 druhů odstředivých omílacích strojů: CF STANDART SERIES, CF ELEMENT SERIES, ECO / EF SERIES, SERIE ECO MAXI, ECO MINI SERIES
- odstředivé stroje se používají jak na suché tak na mokré omílání



Obr. 2.11: Odstředivé omílací stroj [16]

b) Vibrační omílací stroje:

- pracovní prostor má dvě podoby: a) válcová nádoba, b) obdélníková nádoba
- používají se pro rozměrné součástky, tam kde nevyhovují odstředivé stroje
- skládají se z pracovního prostoru (nádoby), vibračních motorů, pružin, ovládacího panelu



Obr. 2.12: Vibrační zařízení [17]

c) Vlečné omílací stroje:

- hlavní charakteristikou těchto strojů je to, že obrobky se upínají do držáků
- obrobky se během procesu mezi sebou nikdy dotknout
- další částí těchto strojů je válcová nádoba, v níž je abrazivum
- vysoce rychlý rotační pohyb způsobuje to, že je vysoký tlak mezi abrazivem a obrobkem
- to způsobí, že během krátkého času se dosáhne požadovaných vlastností – vysoká účinnost
- mezi další části stroje patří rám, ovládací a upínací zařízení, elektromotory
- výhodou je to, že je možno upnout několik obrobků (např. 12, 15, 18,...)



Obr. 2.13: Stroj pro vlečné omílání [18]

d) Proudové omílací stroje:

- u těchto strojů je podobnost s vlečnými stroji
- také zde se upínají obrobky do držáků
- navíc tyto držáky se mohou natáčet pod určitým úhlem, až 30°
- při využití těchto strojů dochází k vynikajícím výsledkům (drsnost, přesnost)
- tyto stroje se hojně využívají pro omílání nástrojů
- stroje se skládají z válcové nádoby, rámu, upínacího a ovládacího zařízení, elektromotorů
- firma OTEC dodává 3 základní typy proudových omílacích strojů: SF SERIES, SF 3-200 SERIES, SF PULSE FINISHING SERIES
- např. stroje SF SERIES mají k dispozici 1 – 5 držáků
- stroj SF 3-200 se může používat jen pro suché omílání



Obr. 2.14: Stroj pro proudové omílání [19]

2.1.7 Čištění a recyklace provozních médií [5]

Technologie omílání se neobejde bez dalších strojních zařízení pro úpravu a recyklaci provozních kapalin, které byli znečištěné v procesu omílání. Jedná se především o sušičky a popř. o jiné zařízení na bázi čistící a sušící technologie. Důvodem čištění abraziva je to, že po procesu omílání obsahuje otěr z brusných tělísek a broušeného obrobku, může obsahovat i rozpuštěné kovy. Toto je z hlavních důvodů čištění médií před dalším použitím. Principem recyklace je odstředování, díky níž pevné částice se oddělí od médií. Odstředivá síla je přiváděna na médium, díky této síle se oddělí pevné částice, které vytvoří vrstvu kalu uvnitř odkalovacího bubnu. Poté se vyčištěné abrazivum vrací zpět do procesu omílání.

Čistící odstředovací stroje se mohou vyrábět v několika variantách. Mohou být poloautomatické s ručním vyprazdňováním odkalovací vložky nebo automatické s automatickým vyprazdňováním odkalovací vložky. Pokud jsou nečistoty menší než 1 μ m mohou být abraziva odstraněny přidáním flokulantu před procesem odstředování. Flokulant může mít podobu kapalnou a práškovou.

2.1.8 Omílání diamantových VBD [16], [19]

V praxi může nastat případ, že je potřeba omílat i ty nejtvrďší řezné materiály jako je například polykrystalický diamant.

Pro takovýto případ je nejvhodnější použít technologie vlečného nebo proudového omílání. Důvodem je to, aby se mezi sebou nemohly nástroje dotknout. Mohlo by totiž dojít k mechanickému poškození řezné části nástroje, jako je např. vyštípnutí hrany, vznik rýh apod. Navíc díky konstantním otáčkám při procesu u těchto dvou metod se zajistí rovnoměrné omílání všech ploch.

Logicky je potřeba zvolit vhodné abrazivum, aby se docílilo požadovaných podmínek. Abrazivum používané pro omílání PKD jsou ořechové skořápky. Tyto skořápky jsou impregnované lešticím práškem PP02 (polish paste 02). Jedná se o suchý proces omílání, do procesu nepřichází žádná kapalina.

Je důležité také upnutí destiček před vlastním omíláním. Je mít na paměti, že každá plocha, hrana na destičce musí přijít do kontaktu s abrazivem během omílání. Proto dobrým příkladem pro upnutí destiček je případ omílání mosazných kroužků (popsaný v kapitole 2.1.3). Tento způsob je výhodný právě ve svojí jednoduchosti, abrazivum se při procesu dostane na celou VBD. Příklad tohoto upnutí je obr. 2.4.

2.2 Abrasive flow machining [6], [21], [22]

Jedná se o povrchovou úpravu abrazivy, které jsou viskoelastické. Technologie využívá pohyb abraziv v pojivu viskoelastických polymerů, které vytvoří neobvykle jemný povrch daného obrobku. Snadno se docílí výsledku drsnosti obráběného povrchu i menší než je $R_a 0,01 \mu\text{m}$. Proces se skládá z vratného pohybu, průchodu viskoelastického abraziva na daný počet obrobků. To se děje za střídavého působení tlaku, který vyvozují dva řízené písty. Tlak se pohybuje v rozmezí 7 – 200 bar. Bylo třeba pro tuto technologii vyvinout upínací přípravky, které sloužily jak pro kusovou, tak i sériovou výrobu. Dále jsou součástí zařízení otáčivé a naklápecí stoly, manipulátory a roboty, ale i systémy pro kontrolu parametrů a automatizaci.

2.2.1 Použití [6]

Tato technologie byla v počátku vynalezena kvůli kvalitnějšímu proudění kapalin a plynů v kritických místech součástí kosmických a leteckých palivových a hydraulických systémů. Avšak v průběhu let se tato technologie rozšířila i do ostatních průmyslových odvětví. AMF se používá od leteckého přes automobilový průmysl až po výrobu polovodičů. Tento proces se také uplatňuje pro drobné, ale i složitější součásti pneumatických a hydraulických systémů, v lékařské technice. Uplatnění nachází i tam, kde jsou požadované ultra čisté povrchy, jako např. v mikroelektronice. Hlavním důvodem používání je to, že výsledná kvalita povrchu po použití této technologie překonává klasické dokončovací operace. Technologie využívá volného abraziva. Tento proces se používá na zlepšení povrchu např. zápusťkových dutin a forem na plasty, nástrojů pro protlačování a tažení, sacích potrubí, kompresorových kol, vstřikovacích trysek.

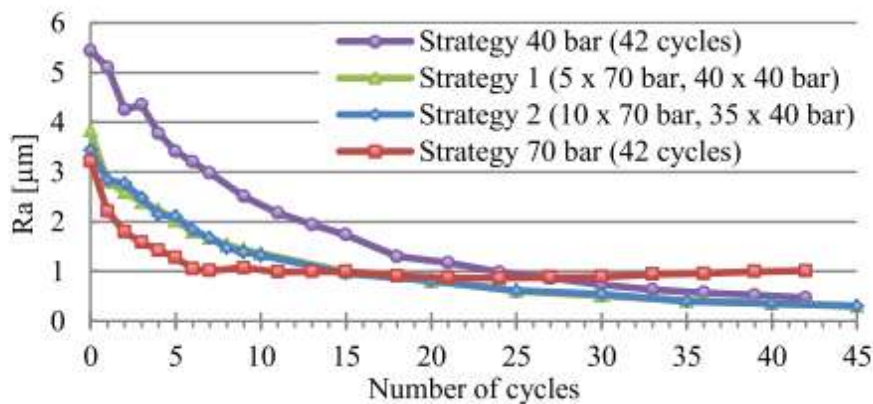
2.2.2 Metody AMF

a) One – Way AFM [6], [23], [27]

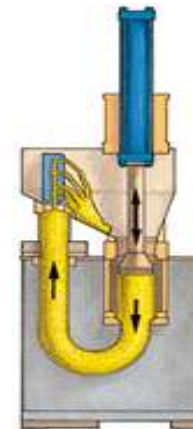
Jedná se o jednosměrný pohyb abraziva dávkovacím pístovým čerpadlem. Důvod vyvinutí tohoto procesu byly členité a malopřůměrové průchozí dutiny obrobků, které nešly opracovat žádnou jinou metodou. Mezi výhody této metody patří rychlá výměna dílů a nástrojů, snadné čištění a vysoká rychlost vlastního procesu obrábění.

Zajímavých výsledků se dosáhlo při použití různých tlaků v kombinaci s různým počtem opakování. Experiment se prováděl na součástce, ve které se nachází otvor $\varnothing 6 \times 60$ mm. Tyto vzorky byly vyrobeny z oceli AISI 4140 (15 341). Otvorem protékalo abrazivum a zjišťovalo se následná drsnost R_a v závislosti na počtu opakování.

Jako médium byla použita elastická složka v kombinaci s brusnými zrnky z materiálu Al_2O_3 . Velikost brusných zrn byla v rozsahu 300 – 400 μm . Pro zajímavost hustota média byla 1,9 g/cm^3 .



Graf 2.1. Závislost drsnosti na počtu cyklů při různých podmínkách [23]



Obr. 2.15: Princip One – Way AFM [9]

Z grafu 2.1 je poznat, že nejlepší výsledná drsnost $R_a = 0,3 \mu m$ se dosáhla pomocí kombinace tlaku 10 a 35 bar při 45 cyklech. Je potřeba uvést, že při tlaku 70 bar se od 7 cyklu drsnost povrchu nemění. Zajímavostí je i porovnání časů jednoho cyklu. Např. při tlaku 40 bar cyklus trval okolo 100 sekund, zatímco při vyšším tlaku (70 bar) čas cyklu byl o dost kratší, 20 sekund.

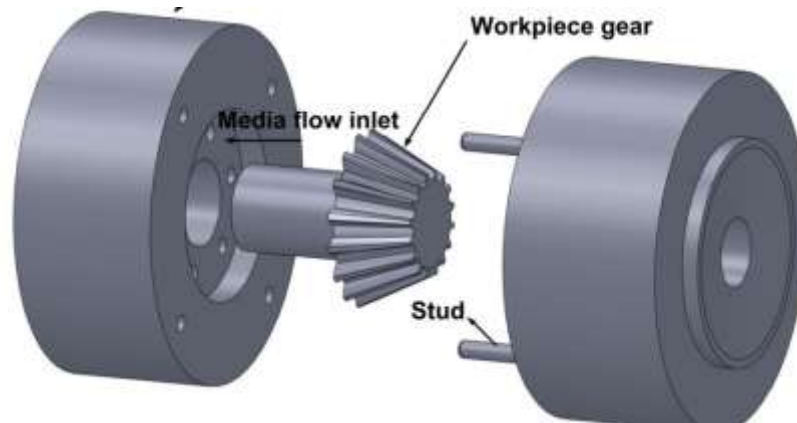
Technologie AFM se neuplatňuje pouze pro vnitřní plochy. Příkladem použití u vnějších ploch jsou kuželová ozubená kola. Pomocí technologie One – Way došlo k obrábění těchto kol, které mají počáteční drsnost $R_a 1,6 \mu m$. Teplota abraziva dosahovala cca 32 °C. Materiál ozubených kol je ocel 12 040 (1.1186).

Následující tabulka udává jednotlivé parametry, které byly nastaveny a použity při obrábění kuželových kol a zároveň poukazuje na dosažovanou drsnost po každém cyklu.

Cyklus	Velikost abraziva [μm]	Čas cyklu [min]	Tlak během cyklu [bar]	Dosažená drsnost Ra [μm]
1	100	5	20	1,30
2	150	7	20	1,12
3	200	9	20	1,00
4	100	7	30	0,98
5	150	9	30	0,79
6	200	5	30	0,86
7	100	7	40	0,83
8	150	5	40	0,79
9	200	9	40	0,64

Tab. 2.4. Zvolené a naměřené hodnoty během obrábění kuželových kol [23]

Do 5. cyklu, při daném tlaku, času cyklu a velikosti abraziva, se drsnost ozubených kol snižuje. Avšak v následujícím 6. cyklu drsnost povrchu se zvyšuje. Důvodem vyšší drsnosti povrchu je špatné na kombinování třech základních parametrů a to tlaku, velikosti abraziva a rychlosti cyklu. Od 7. cyklu se už znovu drsnost povrchu zlepšuje. Nejnižší hodnota drsnosti, tedy nejlepší povrch se dosáhne v 9. cyklu. Drsnost v tomto cyklu je $R_a = 0,64 \mu\text{m}$.

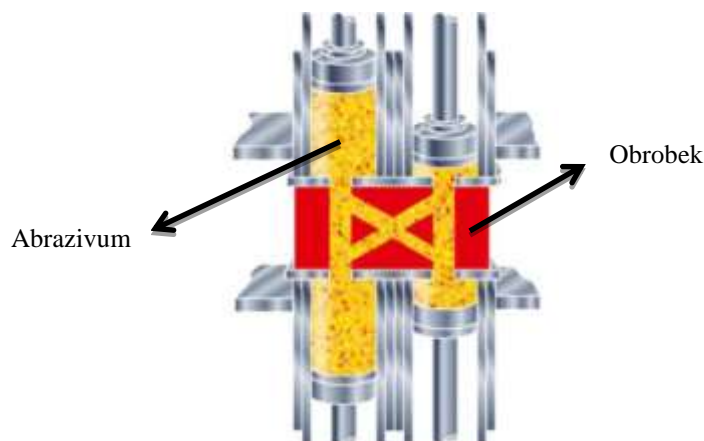


Obr. 2.16: Způsob obrábění ozubených kol pomocí AFM [25]

b) Multi – flow AFM [6], [21]

Proces vynalezený pro obrábění obrobků, které mají více než 1 průchozí dutinu a jsou velmi členité. Proces využívá velký počet selektivně ovládaných pístů s kontrolou průtoku a velmi přesným dávkováním. Výhodou metody je velmi vysoká rychlost obrábění.

Metoda nachází použití v automobilovém průmyslu. Např. u ventilů, trysek. U vstřikovačů paliva je nutné obrobit vnitřek vstřikovače. Tato metoda je pro takovýto případ vhodná. Po obrobení vnitřních hran vznikne na těchto hranách rádius v rozmezí 0,1 – 0,4 mm. Díky tomuto se prodlužuje životnost a únavová pevnost součástky. Jedná se o obrábění složité součásti. Čili je nutné použít tuto metodu, která zajistí správný obráběcí proces.

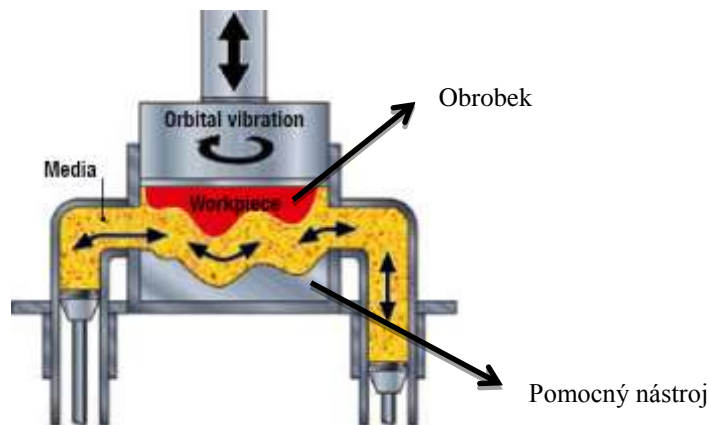


Obr. 2.17: Multi – flow AFM [10]

c) Orbital AFM [6]

Jedná se o nejnovější variantu procesu AFM. K této technologii je přidán účinek orbitálního vibrátoru s rotačním pohybem ve třech rovinách s oscilací, která se pohybuje v rozmezí od 0,5 do 5 mm. Proces Orbital AFM je vhodný pro opracování dutin zápustek, ať už hlubokých nebo mělkých. Dále pro formy a díly, jejichž konstrukce zaručí snadné obtékání obráběného povrchu abrazivem. Na rozdíl od prvotního procesu AFM je vhodnější pro vytvoření příznivých zaobleních, přesnosti a drsnosti povrchu $R_a = 0,01 \mu\text{m}$, ale i menší. Pro kvalitnější obrobení hran nebo přechodů dutin se používá pomocného nástroje. Tento nástroj negativně kopíruje obráběný povrch. Mezi nástrojem proudí abrazivum buď vratným pohybem, nebo jednosměrným. Výhodou metody je rychlost, protože i během 7 minut lze docílit povrchu o předešlé drsnosti $R_a = 0,5 \mu\text{m}$ na $R_a = 0,01 \mu\text{m}$. Např. nástroje na protlačování, které mají drsnost povrchu $R_a = 1 \mu\text{m}$, lze za 6 minut daný povrch obrobit na drsnost $R_a = 0,1 \mu\text{m}$. V neposlední řadě je potřeba zmínit že se jedná o nástrojovou ocel např. 19 802.4, 19 830.4.

Touto metodou, se ale i očišťují nástroje od nalepeného hliníku a mazadel. Logickým výsledkem je kvalitnější povrch obrobků. Orbital AFM nachází své uplatnění v automobilovém průmyslu. Obrábí se sací a výfukové sběrné potrubí, upravují se bloky motoru, hlavy válců, písty a části vstřikovacích čerpadel. Značnou výhodou je rychlost. Mohou se obrábět i disky kol z hliníkových slitin, po obrobení dosahuje povrch vysoké jakosti a optiky povrchu.



Obr. 2.18: Orbital AFM [10]

2.2.3 Nástroj [6], [21], [26]

Nástrojem je práškové abrazivum hrubého až velmi jemného zrna. Toto abrazivum je rozptýleno v různých viskoelastických polymerech, které mají různé složení a úpravu. Médium se tedy skládá z polymerů a brousícího materiálu. Jednou z vlastností polymerů je pružnost, díky níž roste účinnost brusného materiálu, resp. brusných zrn. Díky různému složení lze velmi snadno v širokém rozmezí měnit vlastnosti, jako je viskozita, tuhost abraziva a to od řídkých přes pastovité až po vysoce viskózní těstovité hmoty. Tuhé abrazivum vznikne díky vysokému obsahu polymeru. Řídké abrazivum může dosahovat až rychlosti zvuku při

protékání trysek, které mají pouhý průměr 0,5 mm. Tyto pasty umožňují opracovávat vnitřní povrchy i velmi malých průměrů až klidně 0,1 mm.

Mezi příklady brousícího materiálu patří KBN, Al_2O_3 , polykrystalický diamant, SiC. Velikost brousícího média se pohybuje od 5 do 4 000 μm . V celkovém součtu obsahuje abrazivum 25% až 67% brusného materiálu. Díky vysokému výkonu a zároveň přijatelné ceně se nejvíce využívá SiC a Al_2O_3 .

Příklady značení abraziv:

WB30 – 320S (30):

Médium má nízkou viskozitu. Je zde jenom 30% polymeru z celkové hmotnosti. Kromě nízké viskozity jsou v abrazivu obsažena malá brusná zrna. Velikost brusných zrn je 32 μm . Díky těmto vlastnostem, se abrazivum používá pro obrábění děr malých průměrů, např. 0,4 mm.

WB35 – 80S (50):

V tomto abrazivu je 35% polymeru z celkové hmotnosti. V porovnání s předchozím abrazivem má vyšší viskozitu. Díky tomu je tužší a méně tekuté. Kvůli těmto vlastnostem je vhodné pro obrábění děr, které mají průměr okolo 2 – 4 mm. Velikost brusného zrna v tomto abrazivu je 80 μm .

WB57 – 20S (30):

Jak už je poznat z označení, abrazivum je složeno z 57% z polymeru. Toto médium, má nejvyšší viskozitu oproti předchozím. Proto je velmi tuhé, příkladem použití je úprava povrchů vnitřních průchodů oběžných kol čerpadel. Abrazivum obsahuje brousící zrna, které mají velikost 20 μm .

Písmeno „S“ udává v těchto případech, že se jedná o karbid křemíku (SiC). Mezi další písmena patří „A“, které označuje Al_2O_3 , „B“ značí KBN a „D“ znamená, že se jedná o zrna diamantu.



Obr. 2.19: WB57 – 20S (30) [25]



Obr. 2.20: WB30 – 32S (30) [25]

2.3 Tryskání [4], [29]

Technologie tryskání (popř. pískování) nachází v dnešní době stále větší uplatnění v povrchových úpravách součástí. Jedná se o dokončovací operaci. Účelem používání tryskání je možnost úpravy povrchů z různého materiálu při výběru ze široké škály abraziv, které jsou dostupné. Při této technologii se povrch odjehlí, očistí, či jinak připraví pro následující používání. Tryskání se rozděluje na dvě základní skupiny, suché a mokré tryskání. Podle toho jestli se používá metací kolo nebo tryska se rozděluje tryskání na tlakovzdušné a na tryskání pomocí metacích kol.



Obr. 2.21: Principy tryskání [11]

Principem tryskání je vrhání abraziva na daný povrch obrobku. Výhodou tryskání je to, že po této metodě dochází ke zvýšení trvanlivosti a únavové pevnosti povrchu součásti.

2.3.1 Suché tryskání [4], [29]

Proces suchého tryskání využívá suchého stlačeného vzduchu, který pohání dané abrazivum na daný povrch a plochy obrobku. Po této technologii jsou plochy odjehlené, čisté, mají lepší jakost atd.

Výhody:

- vysoká účinnost vlastního procesu
- ekologický proces (je zde možná recyklace abraziva)
- nejedná se o zdlouhavý proces
- vytvoření vhodných podmínek pro nanášení tenkých vrstev (řezné nástroje)
- při procesu se používají nezávadné látky

2.3.2 Mokrý tryskání [4], [29]

Základním stavebním kamenem mokrého tryskání je stlačený vzduch, médium a voda. Tato technologie má za úkol, kromě dosažení kvalitnějšího povrchu, odjehlení ostrých hran. Také díky promývání se snižuje riziko uvíznutí částic abraziva a kontaminace během procesu. Po dokončení tryskání jsou součásti, díky vodě, čisté. Na povrchu součástí není zbytkové abrazivum. Součástí zařízení je pumpa, která zároveň připravuje tryskací médium a zároveň upravuje rychlost tryskání.

Výhody:

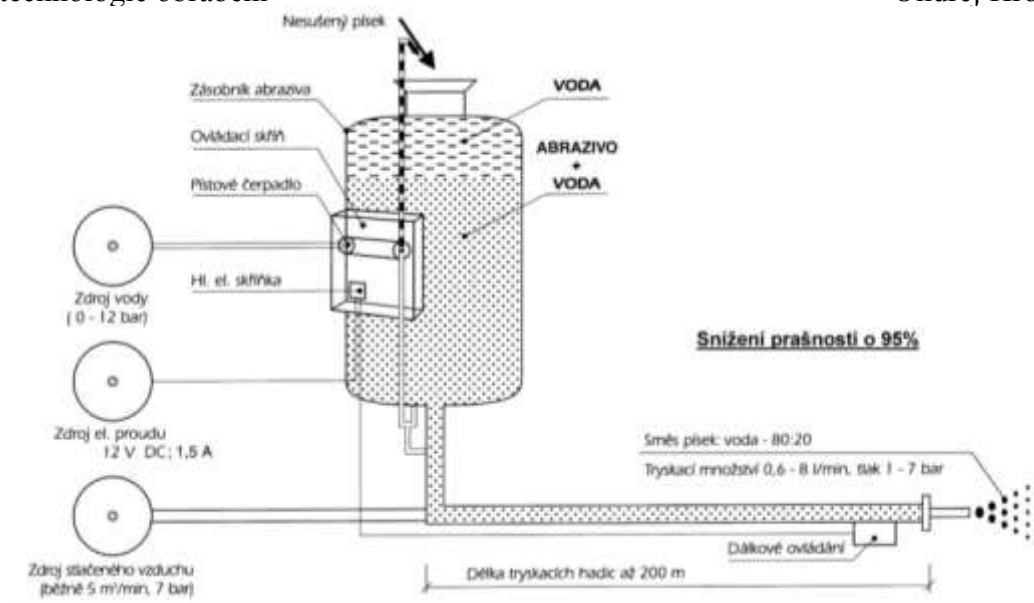
- eliminace tepelné deformace (výhoda pro menší a tenkostěnné součásti)
- ekologický proces (možnost recyklace)
- díky obsahu vody, razantní úbytek prachu při tryskání
- kombinace vody a abraziva je jemnější vůči tryskanému povrchu
- snadné odstranění nerovností
- kvalitní vzhled povrchu po opracování

2.3.3 Tryskání pomocí zvlhčeného abraziva [10], [24]

Technologie se liší od mokrého tryskání, kde byl písek smíchán v koncové trysce, liší tím, že přístroje smíchají vodu s pískem až v tlakové nádobě. Vznikne směs, která obsahuje 80% písku a 20% vody. Ta je pak unášena obrobky za pomoci stlačeného vzduchu. Platí zde jako v případě mokrého tryskání to, že se výrazně snižuje prašnost v porovnání se suchým tryskáním. Může se jednat dokonce až o 95% snížení prašnosti. Výhodou toho je, že nemusí být zvláštní požadavky, které by zamezovaly úniku prašných částic do okolí.

Jedná se o tzv. torbo systémy, jejichž výhodou je ta možnost, že se dá regulovat pracovní tlak a množství tryskací směsi. Provádí se tryskání ocelí, přes měkké materiály až po „pískové mytí“, kdy při tlaku 0,1 MPa a větším podílu vody ve směsi je možno pískovat měkké materiály, jako např. travertin.

Jako v každé technologii, tak i v této výsledek tryskání ovlivňuje použité abrazivo. V torbo systémech se mohou používat jakékoliv druhy abraziva. Používají se křemičité písky, ale i různé granuláty, skleněné perly atd. Podmínkou je však to, že abraziva musí být těžší než voda, kvůli dokonalému smíchání vody a abraziva.



Obr. 2.22: Princip tryskání pomocí zvlhčeného abraziva [28]

2.3.4 Tryskání pomocí suchého ledu [12]

Jedná se o metodu, která využívá pevné částice. V tomto případě se jedná o granule (pelety) suchého ledu. Tyto granule pomocí stlačeného vzduchu se přesouvají do aplikační pistole. Tryskání suchým ledem se neobejde bez tří základních věcí: suchého ledu, tryskacího zařízení a stlačeného vzduchu.

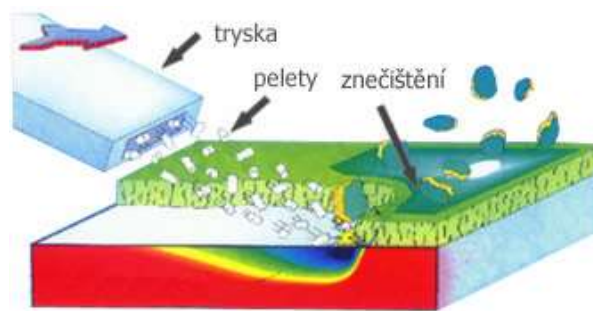
Princip tryskání suchým ledem je totožný jako u jiných technologií využívající média (abraziva). Pelety, které jsou uloženy v zásobníku stroje, jsou dávkovány do aplikační pistole přes tlakovou hadici. Pelety jsou poháněny stlačeným vzduchem. Jedná se o třífázové působení granulí během jednoho okamžiku. V první fázi, díky kinetické energii, pelety suchého ledu dopadají na povrch rychlostí zvuku. Tím dojde k nalomení a uvolnění kontaminantu na povrchu. V druhé fázi, která se nazývá termická, se díky velmi nízké teplotě granulí ochladí nečistoty. Tím pádem tyto nečistoty se stávají křehkými a lehce odstranitelnými. V poslední, třetí fázi dochází k sublimaci granulí. Vlivem sublimace granule suchého ledu navyšují svůj objem, dokonce až 500x, a dochází k explozi nečistot a usazenin.

Tato technologie se řadí mezi suché tryskání, přičemž pelety suchého ledu okamžitě sublimují při kontaktu s daným povrchem a zároveň nezanechávají žádné stopy. Toto je velká výhoda, jelikož se nemusí následně tryskaný povrch čistit od zbylého tryskacího média. Navíc nevzniká žádný nebezpečný odpad, čili díky tomu je tato technologie čistotná a šetrná vzhledem k životnímu prostředí. Výsledkem této metody jsou nepoškozené, nepoškrabané výsledné povrchy součástí jako tomu bývá u mechanických prostředků, jako např. ocelový kartáč, škrabky. Další výhodou je čistota nástrojů i výrobních zařízení po dobu daného výrobního procesu bez odstávky nebo demontáže částí stroje. Výhodou je i to že suchý led má odmašťovací účinky, čili lze tuto technologii použít jako přípravu součástí před lakováním.

Díky škále příslušenství a nástavců pro aplikační pistole se tato technologie používá i na hůře přístupných místech. Lze pískovat jak jednoduché rovinné, tak i složitější tvarové

plochy. Ať už jsou vnitřní nebo vnější. Pokud je potřeba velmi jemné tryskání, používá se tzv. splitrova tryska. Díky této trysce se pelety rozdělí na menší kusy a ty následně otryskávají povrch citlivěji. Příkladem jsou práce na elektronickém zařízení. Technologie nachází využití napříč všemi obory. Od strojírenských podniků, přes farmaceutický průmysl a potravinářským průmyslem konče. Příkladem je tryskání vstřikovacích, lisovacích forem, skříní převodovek.

Základem suchého ledu není nic jiného než pevné skupenství CO_2 . Jedná se o hygienicky nezávadné přírodní chladivo, které má velmi vysoký chladicí účinek a je navíc bez zápachu. Je bakteriostatický, navíc neobsahuje choroboplodné zárodky, nezanechává mokré stopy a netaje. Díky těmto vlastnostem se využívá ve velké míře v průmyslu potravinářském a farmaceutickém. CO_2 se vyjímá z přírodních zdrojů ze země, popř. jsou používány jiné zdroje pro vlastní výrobu suchého ledu. Mezi jiný zdroj patří např. vznik CO_2 při chemické výrobě ve formě odpadního plynu. Oxid uhličitý se skladuje v kapalně fázi. Je to nejvýhodnější způsob skladování z hlediska následné výroby pevných pelet CO_2 . Výroba těchto pelet probíhá v zařízení, kde se při stále snižujícím tlaku a teplotě mění oxid uhličitý z kapalného na pevné skupenství. V tomto zařízení je forma, která formuje pelety do různých tvarů a velikostí. Skladování hotových pelet je v tepelně izolovaných boxech.



Obr. 2.23: Tryskání suchým ledem [12]

2.3.5 Abraziva pro tryskání [8]

Je důležité znát vlastnosti abraziv, jelikož nejde pískovat jakýmkoliv médiem. Pokud by to tak bylo, neexistovali by tak velké množství abraziv, která se od sebe odlišují vlastnostmi jako je hrubost, tvrdost, ale i cena. Logicky mají velký vliv na kvalitu tryskaného obrobku, tím pádem mohou zásadně snižovat i „zmetkovitost“. Abraziva představují minimálně 50% účinného a ekonomického pískování. Existuje celá řada abraziv jako např. korund, keramické abrazivo, ocelová drť, ale i skořápky ořechů atd. Před konečným zvolením abraziva je třeba znát metodu tryskání, technickou dokumentaci.

a) Balotina: sklo – tavenina SiO_2 s velkým podílem kysličníku křemičitého. Jedná se o abrazivo světlé barvy, inertní, bez škodlivých látek, které se hodí k obrábění nerezových materiálů, které mají podmínku na kvalitu povrchové úpravě. Toto abrazivum se hodí k pískování dílů z lehkých kovových (hliníkové slitiny) nebo ušlechtilých materiálů. Dále nachází uplatnění u keramických, plastových součástí a skla.

Chemické složení	SiO ₂	72 %
	Al ₂ O ₃	< 2,5 %
	CaO	9 %
	MgO	< 4 %
	Na ₂ O	13,7 %
	K ₂ O	< 1,2 %
	Fe ₂ O ₃	< 0,5 %
	SO ₃	< 0,5 %
Tvar zrna	Kulatý	
Barva	Bílá	
Tvrдость	7 Mohs	
Sypná hmotnost	1,5 kg/ dm ³	
Měrná hmotnost	2,46 kg/ dm	
Velikost zrn	40 – 70 μm	150 – 250 μm
	65 – 105 μm	200 – 300 μm
	75 – 125 μm	300 – 400 μm
	90 – 150 μm	400 – 600 μm
	100 – 200 μm	

Tab 2.3.1 : Základní údaje Balotiny [8]

b) Korund: oxid hliníku Al₂O₃, který průmyslově vzniká tavením bauxitu. Toto abrazivum je ostrohranné, buď tmavé, nebo světlé barvy, různé hrubosti, vysoké tvrdosti. Používá se k tryskání povrchů z důvodů odstraňovaná rzi a různých nerovností před konečným zpracováním za účelem kvality výrobní technologie a snížení množství neshodných výrobků.

Chemické složení	SiO ₂	37,08 %
	Al ₂ O ₃	22 %
	CaO	9%
	MgO	2,32 %
	MnO	1,05%
	Fe ₂ O ₃	34,2 %
	TiO ₂	1,8 %
Tvar zrna	Ostrohranný	
Barva	Hnědá	
Tvrдость	9 Mohs	
Sypná hmotnost	1,5 – 1,9 kg/dm ³	
Měrná hmotnost	4 kg/dm	
Velikost zrn	F. 12 1,2 – 2,3 mm	F. 60 0,18 – 0,35 mm
	F. 14 1,0 – 2,0 mm	F. 70 0,15 – 0,30 mm
	F. 16 0,85 – 1,7 mm	F. 80 0,12 – 0,25 mm
	F. 20 0,70 – 1,4 mm	F. 90 0,10 – 0,21 mm
	F. 24 0,50 – 1,0 mm	F. 100 0,09 – 0,2 mm
	F. 30 0,42 – 0,85 mm	F. 120 0,075 – 0,15 mm
	F. 40 0,30 – 0,60 mm	F. 150 0,063 – 0,12 mm
	F. 46 0,25 – 0,50 mm	F. 180 0,045 – 0,10 mm
	F. 54 0,20 – 0,42 mm	F. 220 0,045 – 0,09 mm

Tab. 2.3.2: Základní údaje Korundu [8]

c) Zirblast/ Keramika: vzniká při pálení plastických hlín – např. kaolínu a ZrO_2 . Tvar zirblastu je oválný. Díky svým vlastnostem je vhodné k očištění povrchů, odstranění otřepů, vyhlazení a leštění. Také se používá k tvrzení (zpevnění povrchů).

Chemické složení	ZrO_2	67 %
	SiO_2	31 %
	Ostatní	< 3%
Tvar zrna	Kulatý	
Barva	Bílá	
Tvrдост	60 HRC	
Sypná hmotnost	2,3 kg/lit.	
Měrná hmotnost	3,8 kg/cm ³	

Tab. 2.3.3 Základní údaje Zirblastu [8]

d) Plast: plastická abraziva, organické i anorganické látky, které jsou synteticky zpracované. Abrazivum je ostrohranné i oválné. Výhodou je odolnost proti kontaminaci, díky elastickým vlastnostem má poměrně dlouhou životnost, je šetrné k životnímu prostředí zejména kvůli nízké prašnosti. Používá se hlavně pro povrchové úpravy a renovace šetrného tryskání, skoro bez dotčení základního materiálu obrobku. Dále se používá v leteckém průmyslu, pro odstranění starých povlaků, v oborech jemné mechaniky a optiky.

Typ	Cystrip A	Cystrip U	Cystrip M
Forma zrna	Ostrá/Hranatá	Ostrá/Hranatá	Ostrá/Hranatá
Povaha	Interní	Interní	Interní
Tvrдост	3,5 Mohs	3,5 Mohs	4,0 Mohs
Sypná hmotnost	0,85 kg/dm ³	0,85 kg/dm ³	0,85 kg/dm ³
Specifická hmotnost	1,50 kg/dm ³	1,50 kg/dm ³	1,50 kg/dm ³
Velikost zrna	0,2 - 0,6 mm		
	0,6 – 1,0 mm		
	1,0 – 1,6 mm		

Tab. 2.3.4 Základní údaje plastických abraziv [8]

e) Si písek: křemičitý sklářský písek. Vhodný pro renovaci těžkých ocelových konstrukcí, pro povrchovou úpravu, případně předúpravu.

f) Ořechy (skořápky): organická abraziva. Jedná se o nekontaminující, lehká abraziva. Používají se pro šetrné pískování strojních a stavebních součástí a zařízení, ale i rehabilitačních a dalších zdravotních přípravků a pomůcek. Vhodné pro kovy, lehké slitiny, ale i nekovové materiály jako dřevo a plasty. Používá se drť skořápek vlašských ořechů, kukuřičný granulát, skořápky vajíček ale i kostěná drť.

2.3.6 Tryskací zařízení [9], [13]

K tryskání menších součástí, se používají tryskací kabiny, které mají šířku 880 až 2000 mm a hloubku od 760 do 1300 mm. Tyto kabiny jsou ve verzi tlakové, s objemem od 10 až 100 litrů a injektorové. Mezi příslušenství pro zařízení patří přídavné tryskací pistole, zařízení pro průchozí tryskání tyčového obrobku, dále točny, bubny a polohovací přípravky.

Všechny kabiny umožňují použití abraziva s velikostí zrna do 1,2 mm v uzavřeném oběhu. Pracovní prostor kabin má pryžovou vložku a je zajištěna těsnost průchodů. Tlak se pohybuje v různých mezích v závislosti na průměru trysky, např. pro průměr trysky v rozmezí 2 – 9 mm se tlak pohybuje od 2 do 5 baru.

Při tryskání středně velkých součástí a konstrukcí se používají jak tryskací kabiny, tak i komory. Pokud se jedná o členitější díly tak obsluha musí proces provádět uvnitř kabiny, u menších dílů probíhá proces zvenku. Zařízení umožňuje tryskat všemi druhy abraziva, maximální velikost zrna je 1,2 mm. Tlaková jednotka má objem 70 až 200 litrů.



Obr. 2.24: Tryskací zařízení [13]

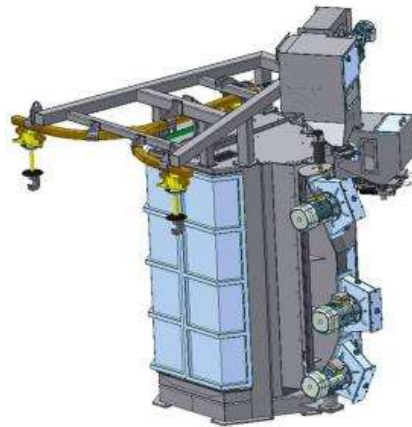
Pokud je nutnost tryskat rozměrné součásti a konstrukce různých rozměrů používají se pro tyto případy tryskací komory, které mají uzavřený okruh s filtrací a odstáváním, recyklací vzduchu a tryskacích materiálů. Jako v případě tryskacích kabin, i zde záleží tryskací tlak na průměru trysek. Pro průměry 5 – 15 mm je určen tlak 3 – 7 baru a tlaková jednotka, která má objem 70 – 200 litrů. Existují dvě konstrukční řešení komor. V prvním případě se jedná o jednostrannou komoru, která má vstupní vrata buď na boku, nebo na čele. V druhém případě jde o průjezdnou komoru, která má vstupní a výstupní vrata. V podlaze se nachází kolejová dráha pro případný kolejový zaváděcí vozík, navíc je podlaha zesílena pomocí speciálních roštů. Pro sběr tryskacího abraziva je pod kolejnicí umístěn hrablový dopravník. Pro snížení hluku a zvýšení bezpečnosti před odletujícími částicemi jsou komory vybaveny vyměnitelnými závěsy. Tyto závěsy jsou vyrobené z pryže. Navíc i konstrukce stropu umožňuje zavěšení dráhy, která může mít nosnost až 1 tunu.

Mezi hlavní tryskací stroje patří tryskací stroje závěsné, bubnové, dvoukomorové závěsné, popř. průchozí. Tyto stroje se používají od menších provozů, kde jsou tyto stroje zastoupeny pouze v malém množství, až po tryskací linky.

a) Závěsné tryskací stroje:

Jak z názvu vyplívá, daná tryskaná součást je zavěšena na závěsném háku nebo na závěsu z otěruvzdorného materiálu. Obrobky jsou přemísťovány do tryskací komory pomocí podvěsné dráhy. Tato dráha se ovládá ručně nebo ji řídí automatický proces. Během vlastního procesu tryskání se obrobky v pracovní komoře otáčejí a je umožněno s nimi pohybovat vůči metacím kolům. Hlavním důvodem pohybu s obrobky během procesu je, aby se abrazivo dostalo kompletně na celý povrch součásti. Po skončení operace jsou dané obrobky, zavěšené na závěsu, přemístěny ven z tryskacího prostoru. Toto přemístění může zase být ruční nebo automatické. Abrazivum, které se používalo při tryskání je pak pomocí dopravníku, nejčastěji vibračního, přemístěno přes elevátor až do separátoru, kde je připraveno na další použití.

Závěsné tryskací stroje se používají hlavně při tryskání velkých, těžkých obrobků, u kterých by se nehodilo např. tryskání pomocí bubnových strojů. V sortimentu strojního zařízení jsou různé druhy háků, zvukové izolace, metacích kol a jednotek atd.



Obr. 2.25: Závěsné tryskací zařízení [14]

b) Dvoukomorové závěsné tryskací stroje:

Jedná se o specializovanou kategorii závěsného tryskacího stroje. Stroj má dvě komory. V první komoře se obrobky zavěšují na závěry. Tím pádem se už rovnou zavěšují do pracovní komory. Ve druhé komoře pak probíhá vlastní tryskání pomocí metacích kol. Během tryskání se mění poloha tryskací komory, aby se abrazivum dostalo do všech rohů a ploch tryskaných součástí. Během přemísťování součástí, z jedné komory do druhé, se proud abraziva automaticky přerušuje. Jako u klasických závěsných tryskacích strojů, tak i zde se abrazivum přemísťuje pomocí dopravníku do separátoru, ve kterém je připraveno pro následující použití. Je zabráněno úniku abraziva pomocí těsnění, které je umístěno v kritických místech, např. po stranách komory. Vnitřní stěny tryskací komory jsou z otěruvzdorného materiálu jako je např. guma, polyuretan.

V těchto strojích se tryskají menší a střední díly, které se nemohou převalovat. Důvodem pro zamezení převalování je výsledná kvalita obrobků. Jako u předchozích strojů tak i zde jsou doplňky jako např. magnetické separátory, ale i roboty pro obsluhu (vhodné pro sériovou výrobu).

c) Bubnové tryskací stroje:

U těchto strojů nejsou obrobky nijak zavěšené, pouze se položí na gumový pás. Tento gumový pás se posouvá a vlivem posouvání dochází k převalování obrobků. V tryskací komoře pomocí metacího kola se tryská povrch těchto obrobků. Po obrobení všech součástí se reverzně přepne pohon tohoto pásu a obrobky se dostanou do výchozí polohy. I zde platí, že použité abrazivum se přes dopravník (např. šnekový), poté přes elevátor, dostane do separátoru. V separátoru se zbaví ještě nečistot (zbytky obrobeného materiálu) a je připraveno pro další využití. Hlavními výhodami těchto tryskacích strojů je nenáročná obsluha a rychlost vlastního procesu obrábění.

Používají se tyto stroje u obrobků, u kterých nevadí, že se při tryskání převalují. I zde je široká škála doplňků, jako např. manipulační roboty pro otřískané obrobky do příslušných přepravek, frekvenční měniče, atd.



Obr. 2.26: Bubnové tryskací zařízení [15]

d) Průchozí stroje:

Přemísťování součástí k tryskání zajišťuje dopravník, buď vibrační, nebo pásový. Jsou to tryskací stroje s kolébajícím se průchozím bubnem. Vlastní proces tryskání právě probíhá při kolébání bubnu, ve kterém je umístěno jak abrazivum, tak i obrobky. Tyto stroje mají velký průchozí otvor. Tento buben se může naklánět, takže rychlost průchodů součástí z velké části závisí na sklonu bubnu.

e) Manipulátorové tryskací stroje:

Jedná se o tryskání, které probíhá ve více tryskacích komorách. V první fázi se obrobky uchopí manipulátorem. Poté jsou natáčeny do všech směrů a pod různými úhly proti tryskacím kolům v tryskacích komorách. Poslední tryskací komora se používá pro odstranění abraziva. Obrobky se pohybují buď ve vertikálním, nebo horizontálním směru. Jedná se o specifický způsob tryskání používané zejména při výrobě motorů, tzn. hlav motorů, klikových hřídelí, pro tryskání bloků atd.

2.4. Mikro – technologie využívající proud abraziva

Tato kapitola rozebírá technologie, které používají abrazivum, jehož velikost se pohybuje řádově v desítkách mikrometrů. Postupně je rozebrána technologie mikro – tryskání, technologie mikro – tryskání vodním paprskem a používaná abraziva.

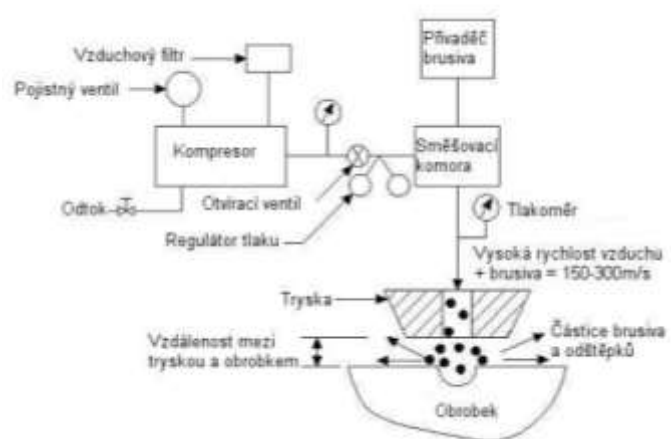
2.4.1 Mikro – tryskání proudem abraziva (MTPA) [20], [25]

Jedná se o další metodu, která využívá proud abraziva pro docílení kvalitnějšího povrchu. Metoda spadá do skupiny mechanicky dokončovacích operací. Při této technologii se využívá stlačeného vzduchu, který usměrňuje abrazivum na daný obrobek.

Zrnitost média se pohybuje v rozmezí 10 – 80 μm . Tyto částice jsou unášeny při tlacích 6×10^5 Pa a vyšších. Průměr trysek, kterými prochází abrazivum, bývá v rozmezí od 0,4 do 1,2 mm. Rychlost abraziva před dopadem na obrobek činí 150 – 300 m/s.

Mezi nejvíce používaná abraziva patří Al_2O_3 a SiC. Důvodem použití zvláště těchto dvou brusiv je to, že mají vysokou tvrdost. Tato technologie nachází využití především u řezných nástrojů, pro zaoblení řezné hrany. Na následujícím obrázku je vidět princip metody MTPA.

Hlavní faktory, ovlivňující výslednou drsnost a geometrickou přesnost je použité abrazivum (velikost, typ), tlak plynu, rychlost abraziva a v neposlední řadě vzdálenost mezi obrobkem a tryskou. Čím blíže je tryska vůči obrobku, tím dochází k intenzivnějšímu mikro – tryskání. Účinnost mikro – abrazivního tryskání závisí na faktorech, jako je např. geometrie povrchu, požadovaná přesnost. Mezi další faktory patří stupeň opotřebení trysky, schopnost úběru materiálu pomocí daného abraziva.



Obr. 2.27: Princip mikro – tryskání proudem abraziva [21]

2.4.2 Používaná abraziva [25]

Mezi nejčastěji používaná abraziva patří karbid křemíku, oxid hlinitý, drcené sklo, skleněné kuličky. Následující tabulka ukazuje možnost použití daných abraziv a velikost zrn abraziva.

Typ abraziva	Vlastnosti abraziva	Velikost zrn
SiC	Odjehlovací, čistící a řezací účinek	25; 40 μm
Al ₂ O ₃	Účinnost při použití pro opracování tvrdých materiálů	12; 25; 50 μm
Dolomit	Lešticí účinek	$\approx 70 \mu\text{m}$
Skleněné korálky	Součástky, kde je požadavek na matný vzhled	$\approx 60 \mu\text{m}$
NaHCO ₃	Obrábění měkkého materiálu, odstraňování otřepů, pro dokončovací operace pod 500°C	$\approx 25 \mu\text{m}$

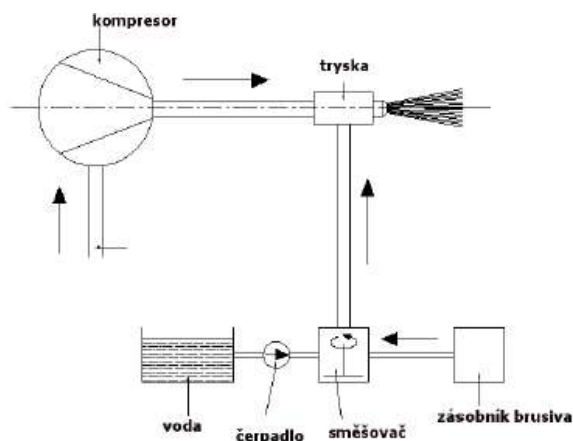
Tab. 2.4.1 Přehled abraziv v MTPA [8]

2.4.3 Mikro – abrazivní tryskání vodním paprskem [20], [28]

Sesterskou metodou mikro – tryskání proudem abraziva je metoda využívající pro dohlazování povrchu proud vody. Nazývá se mikro – abrazivní tryskání vodním paprskem. Metoda pracuje na stejném principu jako MTPA, avšak je zde kombinace abraziva a tekutiny. Existuje určený poměr objemu tekutiny: objemu abraziva. Tento poměr se pohybuje od 7:1 do 10:1. Při vysoké rychlosti tryskání vzniká erozní účinek, tím dochází k vlastnímu tryskání povrchu součástí.

Je třeba si uvědomit, že různé způsoby pro odstranění materiálu jsou navrženy hlavně kvůli tomu, zda je materiál houževnatý nebo křehký. Toto je třeba brát náležitě v úvahu, např. u řezných materiálů, respektovat charakter nástroje.

Tryskání probíhá při tlacích v rozmezí od 2000 do 3400 baru. Výhodou je snížení prachových částic, díky vodnímu paprsku nevzniká tepelné pnutí na povrchu u malých obrobků. Výsledný povrch má kvalitní parametry pro následující technologie. Např. příprava řezných nástrojů před povlakováním. Nevýhodou této technologie je to, že v průběhu otryskávání může dojít k ucpání trysky směsí abraziva a vody. V trysce vznikne kašovitá hmota, která zabraňuje dalšímu tryskání.



Obr. 2.28: Princip mikro – abrazivní tryskání vodním paprskem [21]

3. Technicko – ekonomické zhodnocení

Kromě dosahovaných parametrů, jako je geometrická přesnost a drsnost výsledného povrchu, také zákazníka zajímají i další vlastnosti. Jedná se o výhody a nevýhody stroje jako celku. Patří sem např. upínání obrobků, jak velké obrobky se mohou obrábět, programování stroje (např. vlečné omílání), popř. výměna abraziva.

Tato kapitola přibližuje a porovnává jednotlivé technologie podle určitých vlastností a parametrů. Zároveň popisuje ceny abraziv. Je třeba si uvědomit, že na výsledný povrch nemá vliv pouze strojní zařízení. Výsledek ovlivňuje celek, do kterého patří stroj, abrazivum a technologické podmínky (např. tlak při obrábění, teplota média, rychlost obrábění, atd.).

3.1. Technické zhodnocení

3.1.1 Zhodnocení metod omílání [1], [2], [3], [17]

Technologie omílání se skládá ze čtyř nejvíce používaných způsobů. Jedná se o odstředivé, vlečné, proudové a vibrační způsob. Jednotlivé způsoby jsou popsány v kapitole 2.1.3. Následující tabulka 3.1 udává obecný přehled parametrů dosahovaných při omílání.

Drsnost povrchu Ra (μm)	Stupeň přesnosti IT	Rychlost obrábění (m/min)	Specifický tlak nástroje (MPa)	Teplota povrchu ($^{\circ}\text{C}$)	Přídavek na průměr (μm)
až 0,04	4 – 7	40 – 60	do 0,25	30 – 50	10 – 200

Tab. 3.1.1: Přehled dokončovací operace obrábění – omílání [4]

Druh metody	Dosahovaná drsnost Ra [μm]	Použití	Reakce na změnu
Odstředivé	až 0,01	Lamely, čepy řetězů	Rychlá reakce na změnu
Vlečné	0,08-0,2	Nástroje, křehké obrobky	Delší časová výměna nádoby s abrazivem, delší nastavení
Proudové	0,08-0,1	Křehké obrobky, drážky nástrojů	Delší seřízení tech. podmínek, výměna abraziva
Vibrační	až 0,1	Ozubená kola, ortopedické implantáty	Jednoduchá změna vibrační frekvence, výměna obrobků

Tab. 3.1.2: Přehled a srovnání jednotlivých technologií omílání [1], [2], [3], [5], [15]

Tabulka 3.1.2 hodnotí jednotlivé metody pomocí určitých faktorů. Pro jednoduché obrobky, u kterých navíc nevadí, že během procesu může nastat vzájemný kontakt, se hodí vibrační a odstředivé omílání. Tyto 2 metody jsou navíc pružné na změnu obrobku a abraziva, kdy je v krátkém času vyměněno abrazivum a změna technologických podmínek (rychlost otáčení, frekvence) je také provedena snadno pomocí tlačítek na řídicím panelu.

Avšak pokud je potřeba omílat součásti bez vzájemného dotyku je nejlepším řešením použít vlečné nebo proudové omílání. Pokud by se omílala jen jedna součást odstředivým nebo vibračním omíláním bylo by to neefektivní. Při vlečném a proudovém omílání se totiž omílá např. 12 obrobků najednou, tím pádem je proces více efektivní. Navíc omílání vlečným a proudovým způsobem má další výhodu v tom, že při procesu se obrobky omílají rovnoměrně. Z toho plyne, že tyto dvě metody jsou vhodné pro součástky, které mají vyšší nároky na jakost.

3.1.2 Zhodnocení metod AFM [6], [21], [23], [27]

Druh metody	Dosahovaná drsnost Ra [μm]	Použití	Nejčastěji používaný tlak [bar]
One – Way AFM	0,05 – 0,1	Ozubené kola (čelní, kuželová), sací potrubí	30 – 70
Multi - flow AFM	0,01 – 0,05	Vstřikovací trysky, zápustky, formy pro vstřikování	40 – 150
Orbital AFM	až 0,01	Dutiny zápustek, konstrukčně složitější zápustky	20 - 180

Tab. 3.1.3: Přehled a srovnání jednotlivých technologií AFM [6], [21], [23], [27]

Multi - flow a orbital AFM metody dosáhnou nejkvalitnější povrch po obrobení. Díky tomu tyto metody by se měli používat v takových odvětvích jako je např. kosmický letecký průmysl. Avšak i pomocí metody one - way se dosahuje kvalitní povrch, navíc oproti zbylým metodám je jednodušší a méně technicky náročná. Používaný tlak závisí především na velikosti obrobku, druhu materiálu, druhu abraziva. Proto rozsah tlaků, v Tab. 3.1.3, je v takovém rozmezí. Kde ztratí výhody metoda One – Way je nejlepší využít metodu Multi – flow.

3.1.3 Zhodnocení metod tryskání [4], [8], [10], [12], [24], [29]

Druh metody	Dosahovaná drsnost Ra [μm]	Použití	Rychlost tryskání [m/s]
Suché tryskání	0,4	Zaoblení hran nástrojů,	200 – 250

Mokrý tryskání	0,2	Odjehlování, odmaštění součástí	150 – 250
Tryskání pomocí zvlhčeného abraziva	0,2 - 0,4	Tryskání ocelí, Al a Cu slitin, plastů	100 – 250
Tryskání suchým ledem	/	Farmaceutický, potravin. průmysl	≈ 330

Tab. 3.1.4: Přehled a srovnání jednotlivých technologií otryskávání [4], [8], [10], [12], [24], [29]

Tyto způsoby nezasahují pouze do strojírenského průmyslu. Příkladem je tryskání pomocí CO₂. Výhodou suchého ledu oproti zbylým metodám je to, že pelety CO₂ nereagují s povrchem součástí, ať už se jedná o oceli, slitiny Al a Cu, nebo o plasty. Tento způsob funguje jako leštění, čili po tryskání se nesníží hodnota drsnosti. Jeden z nejvíce využívaných způsobů je tryskání pomocí zvlhčeného abraziva, jelikož využívá kombinaci výhod suchého a mokrého tryskání.

3.1.4 Hodnocení mezi jednotlivými technologiemi [5], [6], [7], [9]

V první řadě je potřeba říci, že nejdříve je si třeba uvědomit, co se bude obrábět, jestli se bude jednat o řezné nástroje, nebo např. součástky pro farmaceutický průmysl a jaké využití strojů bude během času.

Výhodou omílání oproti zbylým metodám je to, že strojní zařízení pro omílání je konstrukčně jednoduché, procesy se pohybují, ve většině případů, řádově v minutách pro dosažení požadované drsnosti a geometrické přesnosti. Mezi výhody omílání patří jednoduchost, vysoká kvalita omílaných součástí a velký výběr z abraziv. Omílání je nejvhodnější technologie pro přípravu řezných nástrojů před nanášením tenkých vrstev, pro zaoblování řezných hran. Při procesech se dosahuje rovnoměrného obrábění.

Avšak, kde je potřeba obrábět složité formy, nebo hluboké otvory, otvory mající malý průměr (např. 0,5 mm) je nejvhodnější používat metody AFM. Právě tato metoda dosahuje požadovanou geometrickou přesnost a drsnost i na špatně přístupných místech, kde už metody tryskání a omílání jsou neúčinné. Je však nutné se věnovat údržbě strojů, dále je potřeba kvalitně očistit obrobky od plastického abraziva, které může zůstat na hůře přístupných místech součástí.

Technologie tryskání, oproti AFM a omílání, má tu výhodu, že se jedná o snadný a zároveň ekologický proces. Navíc tato technologie má tu výhodu, že se jedná o rychlý a vysoce účinný proces obrábění. Navíc jako technologie brokování, má i tento způsob obrábění tu samou vlastnost a to, že po obrobení se zvyšuje pevnost povrchových vrstev materiálů.

Závěr je takový, že např. pro složité a vnitřní plochy se nejvíce hodí AFM, pro opracovávání např. nástrojů, ozubených kol se hodí omílání. Pro odjehlení, odmaštění a farmaceutický průmysl se hodí tryskání (mikro – tryskání).

3.2. Ekonomické zhodnocení

V dnešní době není pouze důležitý technický pohled. Je také třeba brát v potaz ekonomiku spojenou s technologiemi. Tato kapitola přibližuje nejen ceník, ale i ekonomický pohled na technologie.

3.2.1 Ceník médií [8], [30]

Uvedené ceny se v průběhu let mohou měnit. V této práci slouží pro základní orientaci, pro bližší seznámení se s cenovou nabídkou. Je logické, že každá firma, vyrábějící abrazivum, bude nabízet své produkty za jiné ceny než konkurence. V následujících tabulkách jsou uvedeny ceny jednotlivých abraziv. Ceny v tabulce jsou za 1 kg daného produktu bez DPH.

Typ abraziva	Rozměr abraziva [mm]	Hmotnost abraziva [kg]						Cena za 1 kg [Kč]
		do 25	do 100	Do 300	Do 500	Do 750	Do 1000	
B 188	0,05-0,1	40,-	38,-	36,-	34,-	32,-	30,-	
B 134	0,1-0,2	35,-	33,-	31,-	29,-	27,-	25,-	
B 10	0,2-0,3	35,-	33,-	31,-	29,-	27,-	25,-	
B 7	0,55-0,75	40,-	38,-	36,-	34,-	32,-	30,-	

Tab. 3.2.1: Přehled cen balotiny [8]

- pozn. písmeno B značí, že se jedná o balotinu, F značí korund (Al_2O_3), písmeno Si je značka pro křemičitý písek a ST KS značí plastické abraziva

Typ abraziva	Rozměr abraziva [mm]	Hmotnost abraziva [kg]						Cena za 1 kg [Kč]
		do 25	do 100	Do 300	Do 500	Do 750	Do 1000	
F 12	1,2-2,3	40,-	38,-	36,-	34,-	32,-	30,-	

F 30	0,42-0,85	45,-	43,-	41,-	39,-	37,-	35,-	
F 70	0,15-0,30	45,-	43,-	41,-	39,-	37,-	35,-	
F 90	0,55-0,75	40,-	38,-	36,-	34,-	32,-	30,-	

Tab. 3.2.3: Přehled cen korundu [8]

- pozn. F12, F90: jedná se o bílý korund; F30, F70: jedná se o hnědý korund

Typ abraziva	Rozměr abraziva [mm]	Hmotnost abraziva [kg]						Cena za 1 kg [Kč]
		do 25	do 100	Do 250	Do 500	Do 750	Do 1000	
STKS 001	0,13-0,17	200,-	190,-	185,-	180,-	175,-	155,-	
STKS 003	0,2-0,4	200,-	190,-	185,-	180,-	175,-	155,-	
STKS 005	0,4-0,8	200,-	190,-	185,-	180,-	175,-	155,-	
STKS 008	1-2	200,-	190,-	185,-	180,-	175,-	155,-	

Tab. 3.2.4: Přehled cen plastického abraziva [8]

Typ abraziva	Rozměr abraziva [mm]	Hmotnost abraziva [kg]						Cena za 1 kg [Kč]
		do 100	do 250	Do 500	Do 750	Do 1000	Do 1500	
Si 15	0,1-0,5	5,50,-	5,-	4,50,-	4,-	3,50,-	3,-	
Si 38	0,3-0,8	7,50,-	6,50,-	5,50,-	4,50,-	4,-	3,50,-	
Si 510	0,5-1	5,50,-	5,-	4,50,-	4,-	3,50,-	3,-	
Si 612	0,6-1,2	8,50,-	7,50,-	6,50,-	5,50,-	5,-	4,50,-	

Tab. 3.2.5: Přehled cen křemičitého písku[8]

Typ abraziva	Rozměr abraziva [mm]	Hmotnost abraziva [kg]						Cena za 1 kg [Kč]
		do 25	do 100	Do 300	Do 500	Do 750	Do 1000	
WS001/6	0,2-0,4	100,-	95,-	90,-	85,-	80,-	75,-	
WS002/3	0,45-0,8	100,-	95,-	90,-	85,-	80,-	75,-	
WS003/4	0,6-1	100,-	95,-	90,-	85,-	80,-	75,-	
WS006/9	1,7-2,4	100,-	95,-	90,-	85,-	80,-	75,-	

Tab. 3.2.6 Přehled cen drcených skořápek vlašských ořechů [8]

Typ abraziva	Rozměr abraziva [mm]	Hmotnost abraziva [kg]						Cena za 1 kg [Kč]
		do 25	do 100	Do 300	Do 500	Do 750	Do 1000	
G 10	1,7-2,8	35,-	33,-	31,-	29,-	27,-	25,-	
G 18	0,7-1,4	35,-	33,-	31,-	29,-	27,-	25,-	
S 660	1,4-2,4	35,-	33,-	31,-	29,-	27,-	25,-	
S 170	0,4-0,85	35,-	33,-	31,-	29,-	27,-	25,-	

Tab. 3.2.7: Přehled cen ocelového abraziva [8]

- pozn. písmeno G značí, že se jedná o ocelovou drť a písmeno S značí ocelový granulát

- cena zirblastu: 295 Kč/kg

Typ média	Suchý led (CO ₂)					
Hmotnost [kg]	do 100	101-200	201-400	401-600	601-800	do 1000
Cena za 1 kg [Kč]	35,-	30,-	25,-	24,-	23,-	21,-

Tab. 3.2.8: Cenový přehled suchého ledu [30]

Při vyšším odběru abraziva se cena jednoho kilogramu snižuje. V konečném ekonomickém součtu je tedy efektivnější koupit větší množství abraziva. Je nutné mít na paměti, že abrazivum má určitou životnost. Avšak v případě Zirblastu (keramiky) nezáleží na

množství. Cena je jednotná ať už zákazník odeberá 12 kg nebo 500 kg. Plastická abraziva jsou v konečném důsledku až 5x dražší než například korund. Naopak nejlevnější je křemičitý písek.

3.2.2 Ekonomika technologií [5], [7]

Z předešlé kapitoly ohledně cen abraziv je poznat, že se nejedná o levnou technologii, neboť je potřeba nakoupit více jak 100 kg abraziva. Jelikož tyto média mají omezenou životnost, některá mají pouze 100 hodin, je po této době nutné nakoupit nová média. V mnoha případech se nenakupuje pouze jen jedno médium, ale např. 3, 4 typy. Už z tohoto je patrný nárůst pořizovací ceny. Jedním problémem abraziv, jako jsou HSC a H4 je to, že si musí zachovávat svoji určitou vlhkost. Když se nepoužívají často ale jen občas, je nutné přidávat do médií konzervovací oleje. Tyto oleje zajišťují, aby abraziva nevysychaly. Jedná se o nákup dalších produktů, které zabraňují stárnutí abraziva. Čili jsou zde další náklady na nákup.

V drtivých případech se nejedná pouze o nákup omílacího, popř. tryskacího stroje. Je nutné totiž nakoupit i další strojní zařízení a vybavení, bez kterého by tyto stroje byly neúčinné. Do výbavy tryskacích strojů patří v první řadě více druhů tryskacích pistol, kontejnery pro sběr abraziva, popř. magnetické separátory pro následnou údržbu používaného abraziva. Toto je pouze menší výčet všech potřebných věcí okolo stroje, proto výsledná cena celkového zařízení může být i 2x větší než samotný stroj. To samé platí v případě i dalších popisovaných technologií. Např. u omílání, kromě stroje, je potřeba, aby byly nakoupené různé druhy a velikosti držáků pro obrobky. Dále pojezdový vozík pro zavážení abraziva, více kontejnerů pro abrazivum, kvůli snadné výměně kontejnerů ve stroji. Dalšími prvky může být míchač pro míchání abraziva ve stroji, sušící zařízení pro vysušení součástí po mokřém procesu omílání.

Aby se zamezilo zničení důležitých dílů strojních zařízení a s tím spojený předčasný nákup nových dílů, je potřeba zařízení udržovat v čistotě. U některých prvků jako jsou držáky obráběných součástí je zapotřebí menší pravidelná údržba. Avšak u dílů, jako je např. rotor vlečného zařízení, u omílacích strojů, je nutná občasná důkladná údržba. Tato údržba se skládá nejen z vyčištění ale i z promazání dílů. Na první pohled se toto může zdát jako maličkost, ale pokud stroj bude neudržovaný, začnou se velmi rychle ničit části stroje a s tím jsou spojené další zbytečné výdaje na nákup nových součástí stroje.

Tyto technologie proto nejsou vhodné do kusové výroby, kde by to neekonomické a neúčinné. Nejlepší uplatnění se nachází v sériové výrobě, kde stroje pracují dennodenně, nedochází k vysychání abraziva apod. Avšak je nutné si uvědomit, že při častém používání se zároveň s obrobky obrábějí i držáky a tím pádem je po čase nakoupit nové.

4. Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo popsat a zjistit jednotlivé principy dokončovacích metod, které využívají proud abraziva k dosažení kvalitnějšího povrchu součástí. Jelikož tyto technologie odebírají materiál v řádech mikrometrů, jedná se o úpravu mikrogeometrie obrobků. Je zřejmé, že tyto technologie přináší řadu výhod oproti klasickým metodám dokončování, jako je např. broušení. Dosahuje se totiž vyšší kvality a přesnosti obráběných povrchů. Příkladem mohou být vyměnitelné břitové destičky řezných nástrojů (soustružnické nože, frézovací hlavy, apod.). Důvod úpravy VBD je to, že úprava řezných destiček zlepšuje následnou adhezi tenkých otěruvzdorných vrstev. Po nabroušení těchto VBD se povrch následně ještě omílá, protože povrch po nabroušení ještě stále nedosahuje takovou kvalitu, povrch není vhodný pro nanesení tenké vrstvy, a proto následuje další úprava povrchu. Kdyby neproběhlo po broušení např. omílání, tak by mohlo docházet k odlupování tenké vrstvy. Tato vrstva je pro řezný nástroj důležitá, jelikož přináší řadu výhod, jako je např. delší životnost, vyšší teplotní stálost apod.

Popsané technologie avšak neslouží pouze k úpravě řezných nástrojů, v dnešní době nachází uplatnění v řadě odvětví nejen ve strojírenském ale i potravinářském, chemickém průmyslu a medicíně. Díky těmto způsobům úpravy povrchů, nejen povrch dosahuje lepších kvalit z pohledu geometrie a drsnosti, ale zároveň dochází k odjehlení, odmaštění daných součástí. Např. díky těmto technologiím se velkém rozsahu používají umělé implantáty ve zdravotnictví. Důvodem je to, že tyto technologie dokáží upravit povrch do požadované jakosti, navíc tento povrch je zdraví nezávadný. Jednou z dalších výhod těchto metod je jejich rozmanitost, schopnost dosáhnouti vynikajících parametrů. Díky tomu se splňují vysoké požadavky zákazníků. Avšak záleží na použitých abrazivech. Naštěstí v tomto směru existuje široká škála abraziva. Díky tomu v dnešní době není těžké najít abrazivum na opracování různých materiálů. Ať už se jedná o ocel, slitiny hliníku, mědi, ale i plasty a v neposlední řadě materiálů jako je keramika nebo i polykrystalický diamant. Díky metodě abrasive flow machining (AFM) lze obrábět vnitřní plochy, které mohou být složité (vnitřní záhyby, rádiusy, šikmé díry) Výhodou AFM je vysoká účinnost a zároveň relativní jednoduchost. Jak již bylo dříve napsáno, jedním z hlavních faktorů ovlivňující výsledný efekt technologie je použité abrazivum. Proto studium vlastností a možnosti použití daných abraziv je jedním ze základních stavebních prvků pro úspěšné obrábění pomocí těchto metod.

Dalším cílem této práce bylo zhodnocení technických parametrů mezi jednotlivými metodami. Je logické, že existuje stroj (metoda), která je vhodnější než jiná metoda. Příkladem může být omílání čepů řetězů. Pro tento příklad se hodí odstředivé omílání oproti např. vlečnému omílání, jelikož stroj na vlečné omílání by byl ekonomicky neefektivní, zároveň je složitější na seřízení. V neposlední řadě je důležité i přiblížit ekonomickou stránku těchto technologií, včetně abraziv. Je důležité nejenom vědět vlastnosti daných technologií, ale i je dobré si představit kolik, co stojí.

Použitá literatura:

- [1] otec.de/cz [citováno dne 3.11. 2014] On-line.< <http://www.otec.de/cz/diskova-odstrediva-zarizeni.html>>
- [2] otec.de/cz [citováno dne 3.11. 2014] On-line. <<http://www.otec.de/cz/zarizeni-pro-vlecne-omilani.html>>
- [3] rosler-povrchove-upravy.cz [citováno dne 3.11. 2014] On-line.< http://www.rosler-povrchove-upravy.cz/produkty/omilaci_stroje/kruhove_vibratory/>
- [4] Řasa J., Gabriel Vl.: Strojírenská technologie 3 – 1. díl, Praha 6, Scientia, 2005
- [5] mmspektrum.com [citováno dne 6.11. 2014] On-line.
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/omilani-jako-univerzalni-metoda-pro-upravu-povrchu.html>>
- [6] mmspektrum.com [citováno dne 7.11. 2014] On-line
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/povrchova-uprava-viskoelastickymi-abrazivy.html>>
- [7] rosler-povrchove-upravy.cz [citováno dne 7.11. 2014] On-line.< http://www.rosler-povrchove-upravy.cz/produkty/omilaci_stroje/metoda_isfr/>
- [8] abraziva.cz [citováno dne 14.11. 2014] On-line.< <http://www.abraziva.cz>>
- [9] mmspektrum.com [citováno dne 14.11. 2014] On-line.< <http://www.mmspektrum.com/clanek/tryskaci-zarizeni.html>>
- [10] mmspektrum.com [citováno dne 16.11. 2014] On-line.< <http://www.mmspektrum.com/clanek/tryskani-zvlhcnym-abrazivem.html>>
- [11] mmspektrum.com [citováno dne 16.11. 2014] On-line.< <http://www.mmspektrum.com/clanek/upravy-britu-a-povrchu-reznych-nastroju.html>>
- [12] mmspektrum.com [citováno dne 4.12. 2014] On-line.< <http://www.mmspektrum.com/clanek/tryskani-suchym-ledem.html>>
- [13] mmspektrum.com [citováno dne 18.1. 2015] On-line.< <http://www.mmspektrum.com/clanek/zakladni-principy-tryskacich-stroju.html>>
- [14] otec.de [citováno dne 30.1. 2015] On-line.< <http://www.otec.de/en/products/mass-finishing/>>
- [15] A comparative evaluation of fluidized bed assisted drag finishing and centrifugal disk dry finishing. In: *Science direct* [citováno dne 23.2. 2015] On-line.< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098614000135>>
- [16] summa-surface.nl [citováno dne 24.2. 2015] On-line.< http://www.summa-surface.nl/images/image/file/OTEC_SF_E.pdf>
- [17] ŠVARC, Vojtěch. *Preparace britu monolitních fréz pomocí vlečného omílání*. Plzeň, 2013. Bakalářská práce. ZČU v Plzni.
- [18] rosler-povrchove-upravy.cz [citováno dne 24.2.2015] On-line. < http://www.rosler-povrchove-upravy.cz/produkty/provozni_materialy/>

- [19] otec.de [citováno dne 24.2. 2015] On-line. < <http://www.otec.de/en/products/media/> >
- [20] Cutting Edge Preparation of Precision Cutting Tools by Applying Micro-abrasive Jet Machining and Brushing. *Universität Kassel* [citováno dne 25.2.2015] On-line. < <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-712-8.volltext.frei.pdf> >
- [21] Experimental Investigations into Abrasive Flow Machining with an Electrochemical Process Aid In: *Ijrs.net* [citováno dne 25.2. 2015] On-line. < <http://ijrs.net/archive/v3i6/MDIwMTQ5MQ%3D%3D.pdf> >
- [22] Hardness Effects on Abrasive Flow Machining In: *sv-jme.eu* [citováno dne 25.2. 2015] On-line < http://www.sv-jme.eu/data/upload/2013/10/07_2013_1129_Gov_04.pdf >
- [23] Improved process control and model of axial forces of one-way abrasive flow machining. In: *Science direct* [citováno dne 28.2. 2015] On-line. < http://ac.els-cdn.com/S2212827114002492/1-s2.0-S2212827114002492-main.pdf?_tid=1efad876-d7b1-11e4-a6e2-00000aab0f27&acdnat=1427811825_67c01657a057f5360bf61da230a51ce6 >
- [24] tryskani-piskovani-ars.cz [citováno 4.3.2015] On-line. < <http://www.tryskani-piskovani-ars.cz/system-torbo/> >
- [25] Abrasive Jet Machining In: *nitc.ac.in* [citováno 10.3.2015] On-line. < http://www.nitc.ac.in/dept/me/jagadeesha/mev303/Chapter2_%20AJM.pdf >
- [26] flowgrinding.com [citováno 22.3.2015] On-line < <http://www.flowgrinding.com/products-services/abrasive-media-system/> >
- [27] Finishing of Bevel Gears using Abrasive Flow Machining. In: *Science direct* [citováno 24.3.2015] On-line. < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814033219> >
- [28] ŠULDOVÁ, Petra. *Vliv úpravy hlavního břítu monolitního šroubovitého vrtáku na trvanlivost nástroje*. Plzeň 2013. Diplomová práce. ZČU v Plzni
- [29] MUSIL, Michal. *Příprava řezného nástroje před povlakováním*. Brno, 2010. Bakalářská práce. VUT v Brně.
- [30] spektro.cz [citováno dne 17.4.2015] On-line < <http://www.spektro.cz/data/files/ceniky/cenik-pelet-co2-platny-od-1.7.2014.pdf> >

Seznam obrázků:

- Obr. 2.1 Princip odstředivého omílání
- Obr. 2.2 Odstředivé omílání
- Obr. 2.3 Princip vlečného omílání
- Obr. 2.4 Příklad upnutí součástek při vlečném omílání
- Obr. 2.5 Princip vibračního omílání
- Obr. 2.6 Bok zubů před a po proudovém omílání
- Obr. 2.7 Opracovaný pastorek převodovky metodou ISF
- Obr. 2.8 Převodové díly před a po
- Obr. 2.9 HSC medium
- Obr. 2.10 Keramické abrazivum
- Obr. 2.11 Odstředivý omílací stroj
- Obr. 2.12 Vibrační zařízení
- Obr. 2.13 Stroj pro vlečné omílání
- Obr. 2.14 Stroj pro proudové omílání
- Obr. 2.15 Princip One – Way AFM
- Obr. 2.16 Způsob obrábění ozubených kol pomocí AFM
- Obr. 2.17 Multi – flow AFM
- Obr. 2.18 Orbital AFM
- Obr. 2.19 WB57 – 20S (30)
- Obr. 2.20 WB30 – 32S (30)
- Obr. 2.21 Princip tryskání
- Obr. 2.22 Princip tryskání pomocí zvlhčeného abraziva
- Obr. 2.23 Tryskání suchým ledem
- Obr. 2.24 Tryskací zařízení
- Obr. 2.25 Závěsné tryskací zařízení
- Obr. 2.26 Bubnové tryskací zařízení
- Obr. 2.27 Princip mikro – tryskání proudem abraziva
- Obr. 2.28 Princip mikro – tryskání vodním paprskem

- [1] <http://i01.i.aliimg.com>[citováno dne 3.11. 2014] On-line.<http://i01.i.aliimg.com/img/pb/214/637/295/295637214_914.jpg >
- [2] www.crwfinishing.com [citováno dne 3.11. 2014] On-line.<http://www.crwfinishing.com/images/roto_ax_centrifugal_disc_pic_plc_003.jpg>
- [3] [dreher-finish.com](http://www.dreher-finish.com) [citováno dne 16.11. 2014] On-line.< http://www.dreher-finish.com/images/PRODUKTE/Serie_SF/sf_schlepp.jpg >
- [4] A comparative evaluation of fluidized bed assisted drag finishing and centrifugal disk dry finishing. In: *Science direct* [citováno dne 23.2. 2015] On-line.<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098614000135> >
- [5] cloudfront.net [citováno dne 16.11. 2014] On-line.<<http://d2n4wb9orp1vta.cloudfront.net/resources/images/cdn/cms/web030101c.gif>>
- [6] [sae.org](http://www.sae.org) [citováno dne 16.11. 2014] On-line.<http://www.sae.org/dlymagazineimages/web/516/5856_5618.jpg >
- [7] [rosler-povrchove-upravy.cz](http://www.rosler-povrchove-upravy.cz) [citováno dne 20.11. 2014] On-line. <http://www.rosler-povrchove-upravy.cz/oblast_pouziti/metoda_isfr/ >
- [8] [rosler-povrchove-upravy.cz](http://www.rosler-povrchove-upravy.cz) [citováno dne 20.11. 2014] On-line.< http://www.rosler-povrchove-upravy.cz/oblast_pouziti/tryskaci_stroje/vyroba_naradi/ >
- [9] [extrudehone.com](http://www.extrudehone.com) [citováno dne 20.11. 2014] On-line.<http://www.extrudehone.com.br/imagens/one_way-drawing.gif >
- [10] [dynetics.info](http://www.dynetics.info) [citováno dne 26.11. 2014] On-line.<http://www.dynetics.info/downloads/EH_CapabilityBrochure_GB_07.pdf>
- [11] [spolmont.cz](http://www.spolmont.cz) [citováno dne 26.11. 2014] On-line<<http://www.spolmont.cz/gallery/tryskani.jpg>>
- [12] [bohemia-cleaning.cz](http://www.bohemia-cleaning.cz) [citováno dne 26.11. 2014] On-line. <http://www.bohemia-cleaning.cz/image/repository/tryskani_suchym_ledem_01.jpg>
- [13] [saf.cz](http://www.saf.cz) [citováno dne 14.12. 2014] On-line.<<http://www.saf.cz/cs/sortiment/pneumaticke-tryskaci-boxy/saci-a-tlakove-specialni/> >
- [14] [mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com) [citováno dne 18.1. 2015] On-line.<<http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/97/9707.jpg> >
- [15] [kovostanek.cz](http://www.kovostanek.cz)[citováno dne 18.1.2015] On-line. <<http://www.kovostanek.cz/wp-content/uploads/2013/05/stroj3-01.jpg>>
- [16] [otec.de](http://www.otec.de)[citováno dne 30.1.2015] On-line. <<http://www.otec.de/en/products/mass-finishing/disc-finishing-machines/>>
- [17] [otec.de](http://www.otec.de)[citováno dne 30.1.2015] On-line. <<http://www.otec.de/en/products/mass-finishing/tub-vibrators/>>
- [18] [otec.de](http://www.otec.de)[citováno dne 30.1.2015] On-line. <<http://www.otec.de/en/products/mass-finishing/drag-finishing-machines/>>

- [19] otec.de [citováno dne 30.1.2015] On-line. < <http://www.otec.de/en/products/mass-finishing/stream-finishing-machines/> >
- [20] summa-surface.nl [citováno dne 24.2. 2015] On-line. < http://www.summa-surface.nl/images/image/file/OTEC_SF_E_.pdf >
- [21] Cutting Edge Preparation of Precision Cutting Tools by Applying Micro-abrasive Jet Machining and Brushing. *Universität Kassel* [citováno dne 23.2.2015] On-line. < <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-712-8.volltext.frei.pdf> >
- [22] Hardness Effects on Abrasive Flow Machining In: sv-jme.eu [citováno dne 25.2. 2015] On-line < http://www.sv-jme.eu/data/upload/2013/10/07_2013_1129_Gov_04.pdf >
- [23] Improved process control and model of axial forces of one-way abrasive flow machining In: sciencedirect.com [citováno 3.3.2015] On-line .< http://ac.els-cdn.com/S2212827114002492/1-s2.0-S2212827114002492-main.pdf?_tid=1efad876-d7b1-11e4-a6e2-00000aab0f27&acdnat=1427811825_67c01657a057f5360bf61da230a51ce6 >
- [24] flowgrinding.com [citováno 22.3.2015] On-line < <http://www.flowgrinding.com/products-services/abrasive-media-system/> >
- [25] Finishing of Bevel Gears using Abrasive Flow Machining. In: Science direct [citováno 24.3.2015] On-line. < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814033219> >
- [26] otec.de [citováno dne 4.4. 2015] On-line. < <http://www.otec.de/en/products/media/dry-finishing/> >
- [27] otec.de [citováno dne 4.4. 2015] On-line. < <http://www.otec.de/en/products/media/wet-finishing/> >
- [28] betonsrver.cz [citováno dne 6.4. 2015] On-line. < http://www.betonsrver.cz/_cz/Clanky/Image/Janca/02.Funkcni_schema.jpg >