

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**PŘEHLED MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ DOKONČOVÁNÍ OBECNÝCH
TVAROVÝCH PLOCH**

Autor: David Dvořák

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Pitrmuc

Praha 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dvořák** Jméno: **David** Osobní číslo: **434249**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Přehled moderních technologií dokončování obecných tvarových ploch

Název bakalářské práce anglicky:

Overview of advanced finishing technologies for free-form surfaces

Pokyny pro vypracování:

1. Základní rozdělení dokončovací technologií
2. Dosažitelné parametry povrchu
3. Komerčně dostupná řešení
4. Kinematika jednotlivých technologií
5. Spotřební materiál
6. Posouzení vhodnosti pro vybranou skupinu součástí

Seznam doporučené literatury:

Surface finishing theory and new technology. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-662-54131-9.
Aktuální produktové informace výrobců zařízení

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Pitrmuc, ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

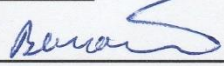
Datum zadání bakalářské práce: **09.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2018**

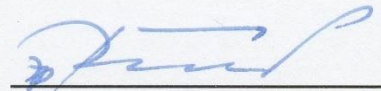
Platnost zadání bakalářské práce: _____



Ing. Zdeněk Pitrmuc
podpis vedoucí(ho) práce



Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



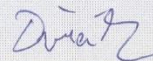
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

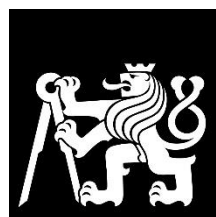
24.4.2018

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

DVOŘÁK, David. *Přehled moderních technologií dokončování obecných tvarových ploch*. Praha: ČVUT 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citoval a uvádím je v příloženém seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této závěrečné práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne: 30. 07. 2018

Podpis:

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Zdeňkovi Pitrmucovi za cenné rady a připomínky k mé práci. Dále bych rád poděkoval rodině, která mne vždy podporovala.

Abstrakt

Tato bakalářská práce byla vytvořena formou rešerše. Zabývá se vhodnou volbou technologie pro dokončovací operace na obecných tvarových plochách. V první části jsou sepsány základní dokončovací operace a z nich následně vybrána vhodná technologie pro obecné tvarové plochy. Další části se pak věnují průzkumu trhu a uvedení komerčně dostupných technologií v oblasti omílání. Jednotlivé technologie jsou pak podrobněji popsány a jsou uvedeny jejich možnosti. V závěru práce je uvedeno posouzení vhodnosti jednotlivých technologií.

Klíčová slova

Dokončovací operace, omílání, technologie, turbínové lopatky, komerčně dostupná řešení

Abstract

This bachelor thesis was created based on a literature review. It deals with the suitable technology selection for finishing processes on freeform surfaces. The first part maps basic finishing methods and from those it further selects suitable technology for freeform surfaces. The next part deals with market research and it lists commercially available tumbling technologies. Each technology is then described in more detail with its possibilities. The final part of the thesis provides an assessment of how suitable each technology is.

Key words

Finishing processes, tumbling, technology, turbine blades, commercially available solutions

Obsah

Úvod.....	5
1 Základní metody	6
1.1 Broušení	6
1.1.1 Metody broušení	6
1.1.2 Dosažitelné drsnosti a přesnosti	11
1.2 Honování.....	11
1.2.1 Metody honování	11
1.2.2 Dosažitelné drsnosti a přesnosti	12
1.3 Lapování.....	12
1.3.1 Dosažitelné drsnosti a přesnosti	13
1.4 Superfinašování.....	13
1.4.1 Dosažitelné drsnosti a přesnosti	14
1.5 Omílání	14
1.5.1 Metody omílání.....	15
1.5.2 Dosažitelné drsnosti.....	15
2 Komerčně dostupná řešení	16
2.1 BV PRODUCTS	17
2.2 MMP.....	17
2.2.1 Micro Machining Process.....	17
2.3 OMÍLBRUS.....	18
2.4 OTEC.....	18
2.4.1 Proudové omílání.....	18
2.4.2 Vlečné omílání	20
2.5 REM SURFACE ENGINEERING	21
2.5.1 ISF®.....	21
2.6 RÖSLER.....	22
2.6.1 Surf-Finisher	23
2.6.2 Vlečné broušení	24
2.6.3 Leštění/hlazení	25
2.7 WALTHER TROWAL.....	25

3	Spotřební materiál.....	26
3.1	Omílací tělíska	26
3.1.1	Keramická tělíska.....	26
3.1.2	Plastová tělíska.....	27
3.1.3	Další materiály	27
3.2	Kompoundy	27
3.2.1	Tekuté compoundy.....	28
3.2.2	Práškové compoundy	28
3.3	Leštící a brusné pasty	28
4	Posouzení vhodnosti pro danou skupinu součástí.....	29
	Závěr	31
	Seznam použité literatury	32
	Seznam obrázků	36
	Seznam tabulek	37

Úvod

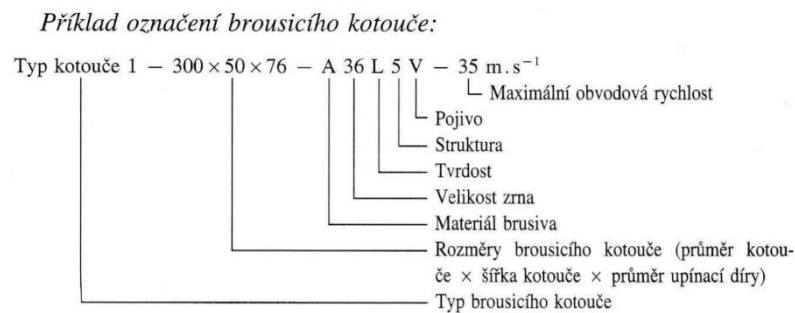
Na strojní součásti se v současné době kladou vysoké nároky. Musí splňovat různá kritéria, která zaručují správnou funkci součástí. Správnou funkčnost součástí nám zaručuje správná volba materiálu, přesnost požadovaných rozměrů, povrchové úpravy apod. Těchto požadovaných vlastností docílíme vhodnou volbou technologie. Tato práce bude věnována povrchovým úpravám, konkrétně dosahování požadovaných drsností u obecných tvarových ploch. Budou popsány základní dokončovací technologie. Na základě zjištěných informací bude rozhodnuto, která z technologií je nejvhodnější pro dokončování obecných tvarových ploch. U zvolené metody se bude práce především zabývat komerčně dostupnými řešeními a popsáním jejich technologie. Bude uvedeno, pro které strojní součásti jsou vhodné a jakých drsností lze dosáhnout. Dále také budou uvedeny dostupné brusné materiály a různé přípravky, které pomáhají v procesu obrábění.

1 Základní metody

V této části budou uvedeny základní metody dokončovacích operací. Budou popsány základní principy a kinematika jednotlivých metod. V závěru každé metody budou uvedeny dosahované drsnosti a přesnosti IT.

1.1 Broušení

Broušení je základní dokončovací operace. Je používáno pro dosažení lepší drsnosti povrchu a pro požadované rozměry po předchozím obrábění. Broušení probíhá brusným kotoučem s danými vlastnostmi, které jsou dány v jeho označení, které je uvedeno na obrázku č. 1. Kotouč je tvořen brusnými zrny a pojivem [1].

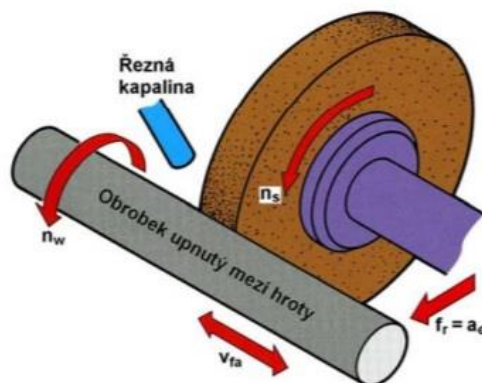


Obrázek 1 - Označení brousícího kotouče [1]

1.1.1 Metody broušení

Broušení na kulato vnější

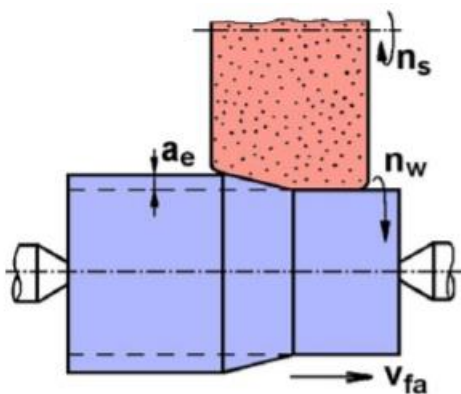
Tímto způsobem jsou obráběny dlouhé rotační součásti, které mají válcový nebo kuželový tvar. Obrobek je upnut mezi hroty a koná rotační pohyb kolem své osy proti rotačnímu pohybu brusného kotouče a zároveň vykonává přímočarý pohyb podél své osy. Dlouhé a štíhlé součásti jsou podepírány lunetou. Z tohoto způsobu vychází hloubkové broušení vnějších ploch na kulato [1; 2].



Obrázek 2 - Broušení na kulato vnější [2]

Hloubkové broušení vnějších ploch na kulato

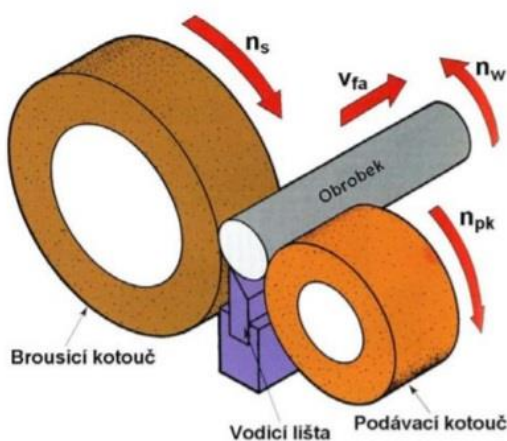
„Tento způsob patří mezi nejproduktivnější metody broušení. Výkon broušení se oproti jiným metodám zvýší o 25 % až 75 %. Nevýhodou této metody obrábění je zvýšená spotřeba brusných kotoučů“ [2]. Při tomto způsobu je používán brusný kotouč s náběhovou hranou, která postupně odebírá vrstvu materiálu (0,1 – 0,5 mm). Je zvolen velmi malý posuv [2].



Obrázek 3 - Hloubkové broušení vnějších ploch na kulato [2]

Bezhraté broušení

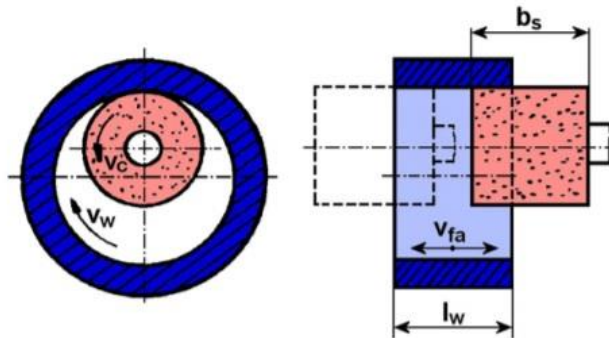
Další odnoží je bezhraté broušení. Obrobek není upnutý mezi hroty, ale je vložen mezi dva kotouče. Jeden kotouč je brusný a druhý podávající. Střed obrobku je podepírán vodící lištou. Jde o velmi produktivní způsob používaný v hromadné i velkosériové výrobě [2].



Obrázek 4 - Bezhraté broušení [2]

Děrové broušení

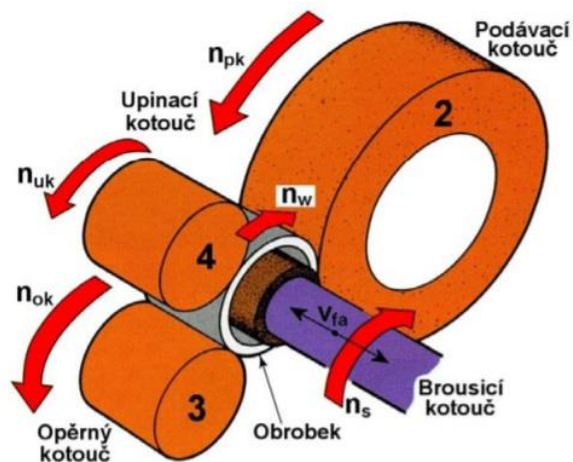
Tímto způsobem jsou broušeny vnitřní plochy děr. Brusný kotouč může mít maximálně 0,7 – 0,9 násobek průměru broušené díry. Obrobek se posouvá podélně ve směru osy a koná rotační pohyb proti rotačnímu pohybu brusného kotouče. Tento způsob není příliš vhodný pro malé průměry děr, kvůli použití velmi malého průměru brusných kotoučů, a tím vzniku velkého namáhání brousících zrn. Dochází proto k velmi rychlému opotřebení brusného kotouče [2].



Obrázek 5 – Děrové broušení [2]

Bezhraté broušení vnitřní

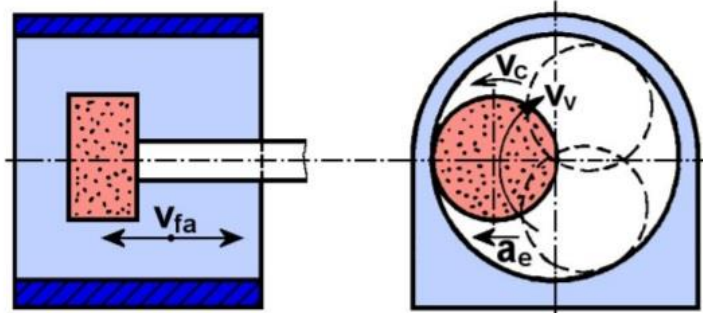
Tento způsob je obdobný předešlému. Obrobek je však upínán mezi tři kotouče. Tímto způsobem je možné dosáhnout větší přesnosti oproti děrovému broušení [2].



Obrázek 6 - Bezhraté broušení vnitřní [2]

Planetové broušení

Tento způsob je používán při broušení „otvorů velkých a těžkých obrobků, které jsou upnuté do sklíčidla a případné obrábění je obtížné. V tomto případě obrobek stojí a brusný nástroj koná všechny pracovní pohyby“ [2].



Obrázek 7 - Planetové broušení [2]

Obvodové rovinné broušení

Tímto způsobem jsou broušeny rovinné plochy. „Obrobek koná vratný přímočarý pohyb a pokud je širší než brousící kotouč, posouvá se v úvratí ve směru osy kotouče. Pokud je obrobek užší, lze brousit zápichovým způsobem“ [1]. „Obvodové broušení patří mezi nejpřesnější způsob broušení rovinných ploch“ [2]. Možné způsoby broušení jsou uvedeny na obrázku č. 8.

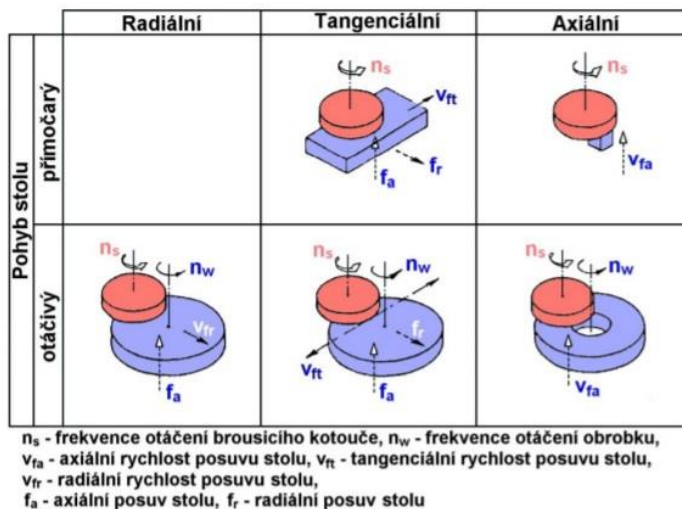
	Rovinné broušení - pohyb stolu		Broušení do kulata	
	přímočarý	otáčivý	Vnější plochy	Vnitřní plochy
Axiální				
Tangenciální				
Radiální				

n_s - frekvence otáčení brousícího kotouče, n_w - frekvence otáčení obrobku,
 v_{fa} - axiální rychlost posuvu stolu, v_{ft} - tangenciální rychlost posuvu stolu,
 v_{tr} - radiální rychlost posuvu kotouče,
 f_a - axiální posuv stolu, f_r - radiální posuv kotouče

Obrázek 8 - Obvodové rovinné broušení [2]

Broušení rovinné čelní

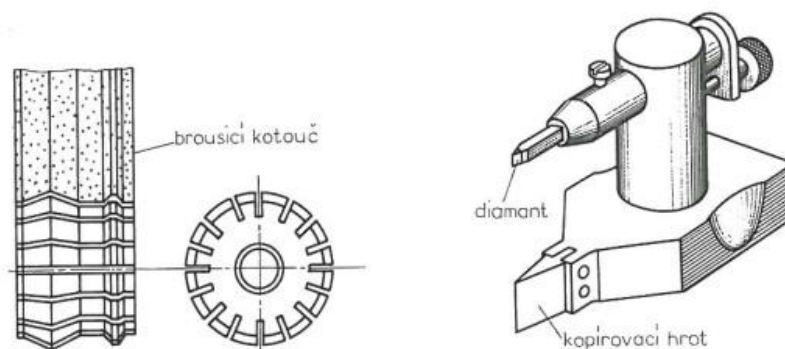
Při tomto způsobu je používáno čelo brusného kotouče. „Používá se při broušení širších ploch. Nedosahuje takové přesnosti jako broušení obvodové, ale je mnohem výkonnější. U tohoto způsobu bývá průměr kotouče větší, než je šířka broušené plochy“ [2]. Možné způsoby rovinného čelního broušení jsou uvedeny na obrázku č. 9.



Obrázek 9 - Broušení rovinné čelní [2]

Tvarové broušení

Tímto způsobem jsou obráběny tvarové plochy. Jsou zde používány tvarové kotouče, které kopírují tvar obrobku, nebo je brusnému kotouči udělen pohyb, který kopíruje broušený obrobek. Profil kotouče je orovnáván diamantem, který je ve formě jednokrystalového, vícekrystalového orovnávače nebo orovnávací kladky [1].



Obrázek 10 - Tvarové broušení [3]

1.1.2 Dosažitelné drsnosti a přesnosti

V tabulce č. 1 je uveden souhrn dosahovaných drsností a přesnost rozměrů IT pro základní metody broušení.

Tvar broušené plochy	Způsob broušení	Přesnost rozměrů IT	Jakost obrobené plochy Ra (μm)
Rovinná	hrubovací	9 až 11	1,60 až 3,20
	dokončovací	5 až 7	0,40 až 1,60
	jemné	3 až 6	0,05 až 0,40
Vnitřní rotační	hrubovací	9 až 11	1,60 až 3,20
	dokončovací	5 až 7	0,40 až 1,60
	jemné	3 až 6	0,05 až 0,40
Vnější rotační	hrubovací	9 až 11	0,80 až 3,20
	dokončovací	5 až 6	0,20 až 0,60
	jemné	3 až 5	0,05 až 0,40

Tabulka 1 - Dosažitelné přesnosti a drsnosti [2]

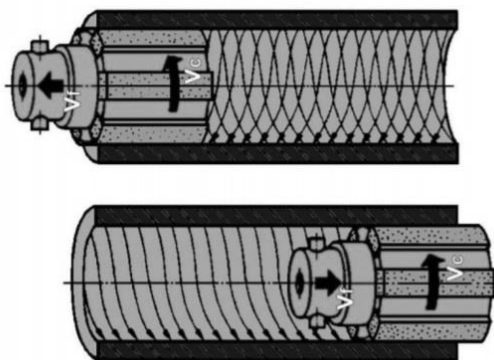
1.2 Honování

Honování je dokončovací operace. Na honovací hlavě jsou umístěny honovací kameny, které jsou tvořeny zrny pevně vázané pojivem. Honovací hlava vykonává rotační pohyb kolem své osy a zároveň pohyb přímočarý ve své ose a odebírá tak materiál z obrobku. Honováním je dosahováno vysoké jakosti povrchu, přesnosti rozměrů a tvaru obráběné součásti. Velikou roli při honování hraje také řezná kapalina. Ovlivňuje dosahovanou kvalitu obrobené plochy, odebírá vzniklé teplo, snižuje složky řezných sil a vyplachuje oblast řezání (odvádí částičky třísky a brusiva) [1; 2].

1.2.1 Metody honování

Vnitřní

Jedná se o honování válcových děr. „Tento způsob tvoří 80 % ze všech způsobů“ [1]. Honovací hlava a její kinematika je zobrazena na obrázku č. 11.



Obrázek 11 - Honování vnitřních válcových ploch [2]

Vnější

Jedná se o honování hřídelů [1].

Vibrační

„K otáčivému a vratnému přímočarému pohybu je přidán vibrační pohyb (většinou jej koná obrobek), čímž se zvýší intenzita úběru materiálu obrobku a současně i jakost obrobené plochy“ [1].

1.2.2 Dosažitelné drsnosti a přesnosti

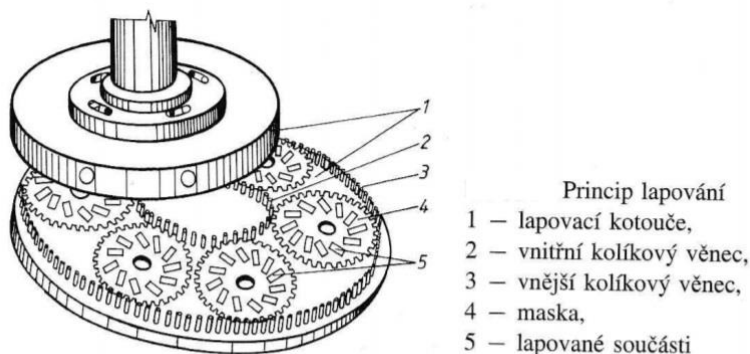
V tabulce č. 2 jsou uvedeny dosahované drsnosti povrchu a přesnosti rozměrů IT pro honování.

Honování	Přesnost rozměrů IT		Drsnost povrchu Ra (μm)	
	Střední	Rozsah	Střední	Rozsah
hrubovací	7	6 až 8	0,4	0,2 až 0,8
jemné	6	5 až 7	0,2	0,1 až 0,2
dokončovací	4	3 až 5	0,1	0,05 až 0,10

Tabulka 2 - Dosažitelné drsnosti a přesnosti pro metodu honování [2]

1.3 Lapování

„Lapování je proces obrábění rovinných nebo tvarových ploch, při kterém je materiál obrobku odebírán pohybem brousících zrn volně rozptýlených v kapalině nebo pastě, umístěných mezi obrobkem a nástrojem“ [1]. Touto metodou je dosahováno zmenšení drsnosti povrchu a zvýšení přesnosti geometrického tvaru. Tyto parametry ovlivňuje velikost přídávku, druh brusiva a měrný tlak nástroje [1; 2]. Princip je zobrazen na obrázku č. 12. „Nevýhodou lapování je velká pracnost, malá produktivita a vysoké náklady v porovnání s ostatními dokončovacími metodami obrábění“ [2].



Obrázek 12- Princip lapování [1]

1.3.1 Dosažitelné drsnosti a přesnosti

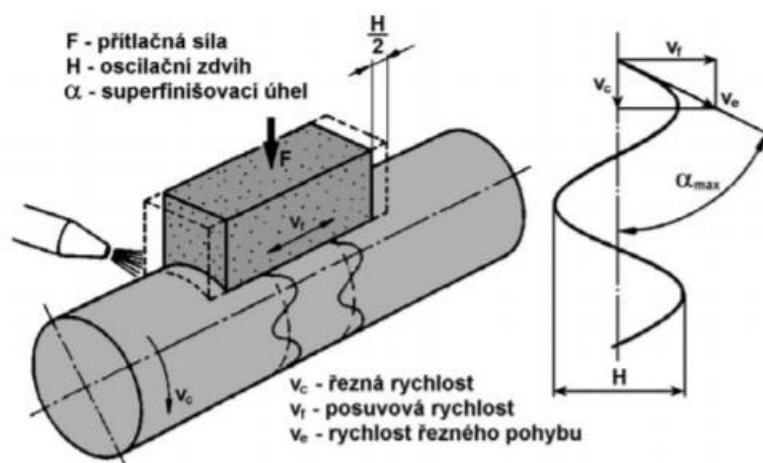
V tabulce č. 3 je uveden souhrn dosahovaných drsností a přesnost rozměrů IT pro metodu lapování.

Lapování	Přesnost rozměrů IT		Drsnost povrchu Ra (μm)	
	Střední	Rozsah	Střední	Rozsah
hrubovací	4	3 až 5	0,2	0,16 až 0,40
jemné	2	1 až 3	0,1	0,08 až 0,16
Velmi jemné			0,03	0,01 až 0,04

Tabulka 3 - Dosažitelné drsnosti a přesnosti metodou lapování [2]

1.4 Superfinašování

„Superfinašování je obrábění jemnozrnnými brousíci kameny při nízkých řezných rychlostech, malých měrných tlacích nástroje na obráběnou plochu a při kombinaci kmitavého, otáčivého a přímočarého posuvného pohybu“ [1]. Jedná se o velice produktivní metodu. Touto metodou mohou být dokončovány jak vnější, tak i vnitřní plochy, tvarové plochy a rovinné plochy s vysokou přesností a nízkou drsností povrchu. Tyto parametry jsou ovlivňovány velikostí přitlačného tlaku, rychlostí posuvného pohybu, rychlostí obrotku a viskozitou procesní kapaliny [4]. Kinematika superfinašování je uvedena na obrázku č. 13.



Obrázek 13 - Kinematika superfinašování [2]

1.4.1 Dosažitelné drsnosti a přesnosti

V tabulce č. 4 je uveden souhrn dosahovaných drsností a přesnost rozměrů IT pro metodu superfinišování.

Superfinašování	Přesnost rozměrů IT		Drsnost povrchu Ra (μm)	
	Střední	Rozsah	Střední	Rozsah
dokončovací	4	3 až 5	0,2	0,05 až 0,40
jemné	3	2 až 4	0,05	0,025 až 0,100

Tabulka 4 - Dosažitelné drsnosti a přesnosti pro metodu superfinašování [2]

1.5 Omílání

„Omílání je speciální proces leštění, při kterém se obrobky a leštící prostředek dostávají do vzájemného pohybu otáčením nebo vibrací strojního zařízení. Úběr materiálu se děje třením a nárazy leštícího prostředku na povrch obrobku“ [1]. Omílání je používáno tam, kde nejsou nároky na přesnost. Tímto způsobem je dosahováno lepšího vzhledu, potažmo lepší drsnosti povrchu, ale nezpřesňují se rozměry nebo geometrie obrobku. Použití omílání je vhodné například při velkém počtu malých obrobků, nebo u obrobků s obecnou tvarovou plochou, kde klasické metody nelze jednoduše aplikovat [1; 4].

V současné době se na trhu vyskytují také omílací zařízení vyrobená speciálně pro velké a těžké díly, zejména z odvětví letectví, kde nahrazují ruční odhroťování, zaoblování hran, broušení a leštění. Jako příklad je uveden díl přistávacího zařízení, vyfrézovaný z jednoho bloku titanu, který je dlouhý zhruba dva metry a dosahuje váhy až 400 kg [5].



Obrázek 14 - Kruhový vibrátor [6]

1.5.1 Metody omílání

Rotační omílání

Při rotačním omílání jsou používány bubny s pohonem. Buben je roztočen a jeho optimální obvodová rychlost je 55 až 60 m/min. „Optimální pracovní podmínky se dosáhnou při naplnění bubnu obrobky do 60 až 65 %“ [1]. Tento způsob může oproti vibračnímu omílání dosahovat 10 až 30násobného zvýšení výkonnosti. Je vhodné pro menší díly jako jsou například čepy, klipsy propisovacích tužek nebo mince [7; 8].

Vibrační omílání

Oproti rotačnímu omílání je při tomto způsobu docíleno rozpohybování omílacího média pomocí vibrací [1].

1.5.2 Dosažitelné drsnosti

V tabulce č. 5 jsou uvedeny dosahované drsnosti pro metodu omílání.

Omílání	Drsnost povrchu Ra (μm)
	Rozsah
	0,4 až 0,1

Tabulka 5 – Dosažitelné drsnosti pro metodu omílání [1]

2 Komerčně dostupná řešení

Po porovnání základních dokončovacích metod, které jsou uvedeny v první kapitole, vychází jako nejlepší možnost pro obecné tvarové plochy omílání. Ostatní metody jsou vhodné především pro dokončování rovinných nebo válcových ploch. Dalším problémem také může být špatná dosažitelnost obráběné plochy pracovním nástrojem, která při omílání takřka odpadá, kvůli možnosti volby velikosti pracovního média, do kterého je vložen obrobek. Na obrázku č. 15 je zobrazena součást, pro kterou má být provedena volba vhodné technologie. Jedná se o oběžné kolo turbíny vyrobené z titanu o průměru 180 mm.



Obrázek 15 - ilustrační obrázek [9]

V této části tak budou uvedena komerčně dostupná řešení od různých firem, které se věnují problematice omílání a nabízejí případně i vlastní omílací systémy. Bude uveden nabízený sortiment, u vybraných technologií bude uveden jejich podrobnější popis, včetně základního popisu kinematiky. Veškeré informace tak budou získány z webových stránek firem či jejich dostupných katalogů.

Každá z uvedených firem nabízí základní metody omílání, jako je vibrační omílání, proto nebudou detailněji rozebírány. Základní kinematika a možnosti této technologie jsou popsány v první kapitole. Větší prostor tak bude věnován technologiím, které určitými způsoby vylepšují technologii omílání.

Firmy budou řazeny abecedně.

2.1 BV PRODUCTS

Firma BV Products se věnuje vývoji vlastních vibračních zařízení z polyuretanu pro dokončovací operace. Nabízí řešení pro odvětví strojírenství, automotive, letectví nebo zlatnictví. Ve svém sortimentu také nabízí vlastní pracovní média.

Mezi nabízená zařízení patří:

- vibrační omílací zařízení
- vibrační sušičky
- odstředivá zařízení
- disková odstředivá zařízení [10]



Obrázek 16 - stroj na vibrační omílání [11]

2.2 MMP

Firma MMP se zaměřuje na dokončovací operace pro různá odvětví průmyslu. Zajímá se o letecký a energetický průmysl, ale také například o převodovky nebo řezné nástroje. Nabízí svojí technologii MMP TECHNOLOGY® - Micro Machining Process [12].

2.2.1 Micro Machining Process

Ze zjistitelných informací se jedná o mechanicko-fyzikálně-chemické opracování povrchu. Více informací firma o své technologii nesděluje.

Použití technologie:

- vhodné pro většinu slitin bez ohledu na tvrdost
- turbínové lopatky
- statory
- ozubená kola
- řezné nástroje
- implantáty

Uvedené dosahované drsnosti

Výrobce neudává dosahované drsnosti [13].

2.3 OMÍLBRUS

Firma Omílbrus se specializuje na výrobu strojů a zařízení pro mechanické a povrchové úpravy. Hlavní sortiment tvoří omílací zařízení. Nabízí také vlastní omílací tělíška.

Mezi nabízená zařízení patří:

- kruhové vibrátory
- žlabové vibrátory
- rotační vibrátory
- odstředivé zařízení
- vibrační sušičky
- tryskače [14]

2.4 OTEC

Firma OTEC se věnuje především obrábění povrchů. Hlavní zaměření je na omílací stroje. Nabízejí tak brusné a leštící systémy. Kromě strojů nabízí také vlastní pracovní média pro obrábění za mokra a za sucha.

Mezi nabízená zařízení pak patří:

- disková odstředivá zařízení
- vlečná omílací zařízení
- zařízení pro proudové omílání
- žlabové vibrátory
- zařízení pro elektroleštění [15]

2.4.1 Proudové omílání

Proudové omílání je vhodné pro dokončování lisovacích, tvářecích a řezných nástrojů. Je vhodné pro automobilový sektor a také pro letecký průmysl, kde je nutno dosahovat dokonalých povrchů. Proudové omílání je nabízeno ve třech řadách – manuální, automatická, výrobní [16].

Kinematika

Obrobek je upnut v držáku a ponořen do rotující nádoby s brusným nebo leštícím médiem. Proud pracovního média tak odebírá materiál z obrobku. Obrobek může být dle požadavků natáčen [17].



Obrázek 17 - Omílací zařízení manuální řady SF [18]

Pulsfinish

Firma nabízí možnost vybavit své jednotky pro proudové omílání technologií Pulsfinish (pulsní omílání). Tato technologie je založena na přesně definovaném a prudce se měnícím relativním pohybu mezi médiem a obrobkem. Je vhodná tam, kde je potřeba konzistentní plnění extrémních požadavků velkosériové výroby. Uvádí, že je možné provést odjehlování, zaoblování a vyhlazování povrchů z Rpk 0,2 μm na Rpk 0,1 μm za méně než jednu minutu v jedné fázi zpracování [16]. („Rpk – Redukovaná výška špiček – střední výška špiček profilu, vyčnívající z profilu drsnosti jádra“ [19]).

Použití technologie:

- leštění ozubených kol, lopatek turbín, šnekových pohonů
- zaoblování rezných hran rezných nástrojů
- obrobky se složitou geometrií
- odjehlování
- zaoblování
- vyhlazování
- leštění

Uvedené dosahované drsnosti

Výrobce udává, že proudové omílací zařízení je schopno dosahovat drsnosti až $Ra = 0,01 \mu\text{m}$ [16].

2.4.2 Vlečné omílání

Vlečná omílací zařízení nabízí ve dvou řadách – DF a DF PHARMA, která byla vyvinuta pro obrábění povrchů ve farmaceutickém a potravinářském průmyslu podle jejich směrnic. Jsou opatřeny systémem vodního chlazení procesní nádoby, který udržuje teplotu pracovního média na konstantně nízké úrovni. Tento systém tak zajišťuje delší životnost pracovního média a při velmi vysoké rychlosti procesu také stále vysokou kvalitu obrábění [20; 21].



Obrázek 18 - Proudové omílací zařízení řady DF [21]

Kinematika

Vlečné omílací zařízení je opatřeno rotujícím karuselem, na kterém jsou další rotující hlavy, do kterých je na speciálním přípravku připevněn obrobek. Obrobek je ponořen a protahován pracovním médiem. Koná přitom rotační pohyb kolem hlavní osy karuselu a zároveň kolem osy vlastní rotační hlavy. Rychlým pohybem tak vzniká vysoký přítláčný tlak mezi obrobkem a médiem [22].

Použití technologie:

- držáky nástrojů
- řezné nástroje
- kolenní klouby
- písty
- odjehlení
- broušení
- finální úprava s vysokým leskem [20; 21]

Uvedené dosahované drsnosti

Výrobce udává, že vlečná zařízení mohou dosahovat drsnosti až $Ra = 0,02 \mu m$ [22].

2.5 REM SURFACE ENGINEERING

Firma REM Surface Engineering vyvinula vlastní metodu povrchové úpravy, která se nazývá ISF®. Tato metoda pak může být aplikována na velkou škálu strojních součástí [23].

2.5.1 ISF®

ISF® je zkratka pro izotropické superfinišování. Jedná se tedy o chemicky urychlené omílání. Účelem této technologie je výroba vysoce kvalitních dílů s maximální možnou ochranou hran.

Kinematika

Proces omílání je kombinací mechanického a chemického opracovávání povrchů. Mohou se používat například kruhové vibrátory nebo vibrační žlaby, které rozpohybují pracovní médium a dochází tak k mechanickému odběru materiálu. Do tohoto procesu vstupují kyselá aditiva, která na obrobcích vytváří tenkou oxidovanou vrstvu, kterou následně opět mechanicky odebírá pracovní médium.

Použití technologie:

- použití především v oblastech letectví a kosmonautiky
- turbínové lopatky
- ozubená kola
- klikové hřídele
- závodní převodové díly
- apod.

Uvedené dosahované drsnosti

Výrobce udává možnost dosahovat velmi jemných povrchů s hodnotami drsnosti po finální úpravě až $R_a = 0,02 \mu\text{m}$, $R_z = 0,14 \mu\text{m}$ [24].

2.6 RÖSLER

Firma Rösler nabízí kompletní řešení pro dokončovací operace. Nabízí především stroje určené pro omílání a tryskání. V každém segmentu nabízí různá řešení od jednoduchých jednoúčelových strojů až po komplexní plně automatizovaná centra pro sériovou výrobu. Základem tak jsou kruhové vibrátory, které jsou rozděleny do řad podle velikosti a způsobu použití.

Mezi nabízená zařízení pak patří:

- žlabové vibrátory
- odstředivá zařízení
- zařízení pro vlečné broušení
- Surf-Finisher
- zařízení pro vlečné a ponorové broušení
- vibrační žlaby
- sušící zařízení
- speciální zařízení

Ze segmentu tryskání pak nabízí:

- pásové průběžné zařízení
- bubnová – pásová tryskací zařízení
- tryskací zařízení s otočným stolem
- závěsná tryskací zařízení
- bubnová tryskací zařízení
- speciální zařízení

Dále také nabízí kompletní řešení provozních materiálů, mezi které patří rozmanité druhy brusných tělísek (různé velikosti, tvary, materiály) a také kompoundy (smáčedla, koloidní roztoky, abraziva) [25].

2.6.1 Surf-Finisher

Toto zařízení představuje komplexní řešení pro automatizovanou výrobu a pro složité tvary obráběné strojní součásti. Pracovní centrum Surf-Finisher je schopno si uchopit z pásu nové obrobky a po dokončení je posílat dále. Skládá se z jednoho nebo více 6osých robotických ramen a z rotačního bubnu, který je plněn pracovním médiem. Proces obrábění může probíhat na sucho i na mokro.



Obrázek 19 - Surf-finisher [26]

Kinematika

Buben s pracovním médiem rotuje kolem své osy, obrobek, který drží 6osé robotické rameno, má naprogramovanou trasu obrobku skrze rotující médium. Obrobek se tak může v průběhu procesu natáčet do požadovaných úhlů, případně může být protahován médiem po zadané trase.

Použití technologie:

- kontrolované začišťování
- odstraňování ostrých hran
- broušení povrchu
- vyhlazování a leštění do vysokého lesku
- suchý i mokrý proces
- dokončovací operace bez opracování nežádoucích povrchů
- komplikované obrobky

Uvedené dosahované drsnosti

Výrobce udává, že Surf-Finisher poskytuje perfektní povrchovou úpravu na většině komplikovaných obrobků s drsností povrchu dosahující pouze $Ra = 0,04 \mu\text{m}$ [26; 27].

2.6.2 Vlečné broušení

Vlečné broušení je specializovaná dokončovací metoda. Používá se pro opracování velmi hodnotných obrobků a obrobků se složitými tvary. Během procesu vlečného broušení se obrobky nedotýkají, jsou uchyceny ve speciálních přípravcích, které jsou uchyceny k pracovní stanici. Pracovní stanice je opatřena rotujícím karuselem, který může být osazen až dvanácti otočnými vřeteny, do kterých jsou upevněny nosiče s obrobky [28].



Obrázek 20 - zařízení pro vlečné broušení [29]

Kinematika

Obrobek je upnut na rotující hlavě a je protahován pracovním médiem. Rotující hlava může být nastavena do určitých úhlů náklonu (0–25°). Při suchém procesu je pracovní médium nehybné v bubnu. Při mokřém procesu bubn vibruje a dochází tak k rovnoměrnému rozprostření přidané kapaliny.

Použití technologie

- vhodné pro hodnotné obrobky náchylné na poškození
- ortopedické implantáty
- ozubená kola
- frézy
- písty
- turbínové lopatky [29]

Uvedené dosahované drsnosti

Výrobce neudává dosažitelné drsnosti.

2.6.3 Leštění/hlazení

Tato technologie je používána všude tam, kde je potřeba docílit velmi hladkých anebo vysoce lesklých povrchů. Základem této technologie jsou kruhové vibrátory, zařízení pro vlečné broušení nebo tryskové stroje. Kinematika záleží na zvoleném stroji. V tomto případě jsou však používány leštící tělíska a leštící pasty. Je možné aplikovat mokrý i suchý proces.

Použití technologie:

- lopatky turbín
- díly letectví
- kuželová kola
- nábojnice
- příbory
- kolenní klouby

Uvedené dosahované drsnosti

Výrobce neudává dosažitelné drsnosti [30].

2.7 WALTHER TROWAL

Další firma zaměřující se na dokončovací operace je Walther Trowal. Hlavní sortiment tvoří vibrační omílací zařízení. Nabízí také vlastní pracovní média.

Mezi nabízená zařízení pak patří:

- kruhové vibrátory
- diskové odstředivé zařízení
- vibrační žlaby
- protahovací zařízení [31]



Obrázek 21 - zařízení pro vibrační omílání [31]

3 Spotřební materiál

Při omílání je důležitá volba pracovního média, které zajistí požadované výsledky omílání. Na trhu je dostupná celá škála druhů. V této části budou jednotlivé komerčně dostupné druhy uvedeny a bude popsáno jejich použití.

3.1 Omílací tělíska

Volba pracovního média závisí především na obráběné součásti. Hlavní složku pracovního média tvoří omílací tělíska. Tato tělíska mají hlavní dělení podle materiálu. Největší podíl mají tělíska keramická nebo plastová. Další dělení pak probíhá podle tvarů a velikostí tělísek. Tělíska se vyrábějí ve specifikovaných řadách, u některých výrobců mají specifikovanou velikost odběru materiálu a případně brusný účinek, který zobrazuje profil drsnosti po obrábění. Materiál tělísek je volen podle druhu materiálu, který obrábíme a podle požadavků na obrábění. Velikost a druh tělísek pro omílání je volen tak, aby se při omílání tělíska dostala do kontaktu s každou plochou, kterou chceme obrábět [10; 14; 15; 24; 31].

3.1.1 Keramická tělíska

Keramická omílací tělíska jsou k dostání v mnoha tvarech. Základní tvary jsou trojúhelník, válec, kužel, hvězda. Následují různé variace na tyto tvary, jako je šipka, zkosený válec, elipsa apod. Každý tvar se vyrábí v různých velikostech. Nejmenší tělíska tak dosahují velikosti 2x2 mm s tvarem trojúhelníka. Největší pak jsou veliká 60x60 mm, také trojúhelníkového tvaru. Na obrázku je zobrazena část z katalogu výrobce poskytující omílací tělíska.

Type	Grinding performance	Achievable surface finish	Triangle	Triangle A/C	Cylinder	Cylinder A/C
WXC			6 x 6 10 x 10 13 x 13 28 x 26	15 x 15 21 x 21	3 x 6 10 x 19	7 x 14 10 x 20
MAC			10 x 10 26 x 26	6 x 12 10 x 15 15 x 15 21 x 21 33 x 23		7 x 15 15 x 25
Z			6 x 6	4 x 10	3 x 6	

Obrázek 22 - část katalogu s omílacími tělíska [32]

Tělíska jsou řazena podle odběru materiálu, tvarů a velikostí. Každý výrobce pak má svůj způsob označování řad tělísek, avšak tvary a velikosti jsou značeny shodně napříč výrobci.

Keramická tělíska se používají zejména pro odhroťování, broušení a leštění slitin oceli a tvrdých materiálů [32; 33; 34; 35; 36; 37].

3.1.2 Plastová tělíska

Plastová omílací tělíska se vyrábí v několika základních tvarech – pyramida, kužel, paraboloid, čočka a několik dalších speciálních tvarů. Plastová omílací tělíska mají zhruba poloviční gramáž oproti tělískům keramickým. Jejich velikosti začínají na 6x6 mm ve tvaru trojúhelníka nebo kuželu. Největší pak dosahují velikosti 80x80 mm ve tvaru pyramidy. Stejně jako keramická tělíska jsou i plastová tělíska řazena podle úběru materiálu. Jsou vhodná na omílání a broušení neželezných kovů, drahých kovů nebo nerezové oceli [32; 33; 34; 35; 36; 37].

3.1.3 Další materiály

Při omílání se nepoužívají pouze keramická nebo plastová tělíska. Dalšími materiály jsou například ocelová tělíska, skleněné kuličky, zirkonové kuličky nebo granulát z vlašských ořechů, dřevěné kostky či kukuřičný granulát.

Ocelová tělíska

Vhodná pro leštění, leštění do vysokého lesku a pro tlakové odjehlování drahých kovů. Při procesu je povrch materiálu pouze vyhlazen a zhutněn.

Zirkonové kuličky

Vhodné pro leštění, leštění do vysokého lesku a pro tlakové odjehlování drahých a železitých kovů.

Skleněné kuličky

Vhodné pro jemné odhrotování složitých částí, včetně vnitřních ploch.

Dřevěné kostky a kukuřičný granulát

Vhodné pro proces sušení.

Granulát z vlašských ořechů

Vhodné pro dokončovací leštění do zrcadlového lesku [32; 33; 34; 35; 36; 37].

3.2 Kompoundy

Druhou složku pracovního média tvoří kompoundy. Jedná se o tekutá nebo prášková aditiva. Tyto prostředky napomáhají procesu omílání. Jejich úkolem je například ochrana proti korozi u citlivých materiálů, čištění obrobku během procesu, odmašťování nebo leštění. Jejich hlavním úkolem je tedy podpoření procesu obrábění. Po obrábění je nutné vodu smíchanou s kompoundy vyčistit, a proto je v dnešní době kladen důraz, aby byly tyto kompoundy co nejlépe biologicky odbouratelné [32; 33; 34; 35; 36; 37].

3.2.1 Tekuté kompondy

Tekuté kompondy jsou používány při obrábění za mokra. Výrobci pro své kompondy používají vlastní označení. V katalogích pak může být nalezen typ kompondu, jeho pH, dávkování, popis, oblast použití, případně tabulka zobrazující vhodnost daného typu pro určité materiály a aplikace.

Hlavní vlastnosti:

- ochrana proti korozi
- čištění
- odmašťování
- zjasňující efekt
- tvorba pěny

Pěna funguje jako ochranný prostředek proti poškození u obrobků citlivých na náraz, kdy poškození může nastat nárazem na pracovní média [32; 33; 34; 35; 36; 37].

3.2.2 Práškové kompondy

Pro práškové kompondy stejně jako pro tekuté používají výrobci vlastní označení. V katalogích pak může být nalezen typ kompondu, jeho pH, popis, oblast použití, případně tabulka zobrazující vhodnost daného typu pro určité materiály a aplikace. Stejně jako tekuté kompondy jsou i tyto používány při obrábění za mokra.

Hlavní vlastnosti:

- ochrana proti korozi
- čištění
- odmašťování
- zjasňující efekt
- tvorba pěny [32; 33; 34; 35; 36; 37]

3.3 Leštící a brusné pasty

Mezi další prostředek pro podpoření procesu omílání patří brusné nebo leštící pasty. Tyto pasty v kombinaci s omílacími tělísky zvyšují účinek procesu při omílání. Pro pasty má každý výrobce své označení. V katalogích může být nalezena pro jednotlivé pasty oblast použití, vhodnost pro určité materiály, jejich pH a brusný nebo leštící účinek.

Hlavní vlastnosti:

- broušení
- leštění [32; 33; 34; 35; 36; 37]

4 Posouzení vhodnosti pro danou skupinu součástí

Ve druhé kapitole byly popsány dostupné technologie omílání na trhu. U daných technologií výrobci udávali vhodnost pro dané skupiny součástí. V tomto případě nás zajímá vhodnost těchto technologií pro turbínové lopatky. Vhodnost bude posouzena na základě získaných informací, které jsou uvedeny ve druhé kapitole. Jelikož jednotlivé technologie neměly volně dostupné ceny, bude vhodnost posuzována pouze z hlediska možností technologie.

Leštění

Leštění pomocí klasických kruhových vibrátorů může být vhodné pro turbínové lopatky. Vhodnou volbou velikosti stroje a pracovního média je možné docílit požadovaných drsností. Výhodou může být jednoduchost přípravy procesu obrábění. V případě, kdy není žádoucí, aby se obrobky mezi sebou dotýkaly, není možné zajistit, aby se obrobky při obrábění více kusů najednou nesrážely, což může být nevýhoda tohoto způsobu.

Vlečné omílání/broušení

Vlečné omílání či broušení jsou dvě téměř shodné technologie od dvou výrobců. Jsou vhodné pro turbínové lopatky. Vhodnou volbou pracovního média je možné docílit požadovaných vlastností. Výhoda této technologie spočívá ve velkých tlacích pracovního média na obrobek při vlečení obrobků skrze médium oproti klasickému vibračnímu omílání. Je možné tak dosáhnout kratších časů obrábění nebo kvalitnějšího povrchu ($R_a = 0,02 \mu\text{m}$). Další výhodou těchto procesů spočívá v pevném uchycení obrobků, a tak nedochází k jejich vzájemnému dotyku. Nevýhodou je větší složitost přípravy pro obrábění kvůli nutnosti mít vhodný přípravek na upnutí obrobku.

Proudové omílání

Tato technologie je velmi podobná vlečnému omílání/broušení. Je vhodná pro turbínové lopatky. Oproti vlečnému omílání zde vznikají velké tlaky média na obrobek pomocí rotace bubny s pracovním médiem. Výhodou je opět možnost dosáhnout kratších časů omílání nebo kvalitnějšího povrchu (drsnosti $R_a = 0,01 \mu\text{m}$). Nevýhodou pak znovu tvoří nutnost mít vhodný přípravek na upnutí obrobku. Další nevýhodou může být nerovnoměrnost úběru na přístupných místech a v kanálech. Na oběžném kole jsou turbínové lopatky velmi tenké a mají náběžné hrany dělané do ostra, a proto při této technologii hrozí nebezpečí, že se tyto hrany převalí, nebo zaoblí.

Surf-finisher

Zajímavá kombinace vlečného a proudového omílání. Vhodné pro turbínové lopatky. Vznik vysokých tlaků pracovního média na obrobek při protahování obrobku skrze rotující pracovní médium. Mezi výhody patří možnost dosáhnout lepší kvality povrchu ($R_a = 0,04 \mu\text{m}$), dosažení kratších časů omílání, automatické podávání obrobků, obrobky se vzájemně nedotýkají a možnost protahování obrobků skrze pracovní médium po naprogramované trase. Nevýhodou tak může být nutnost naprogramovat trasu pro robotická ramena nebo nutnost mít vhodný přípravek na upnutí obrobku.

ISF®

Chemicky urychlené omílání, které je také vhodné pro turbínové lopatky. Tato technologie je schopna dosahovat vysoké kvality povrchu (po finální úpravě až $R_a = 0,02 \mu\text{m}$, $R_z = 0,14 \mu\text{m}$). Výhoda této technologie spočívá v možnosti omílání v základních vibračních zařízeních, jako jsou například kruhové vibrátory.

Micro Machining Process

Tato technologie je vhodná pro turbínové lopatky. Výrobce ovšem neposkytuje dostatek informací ohledně procesu obrábění. Tato technologie je dostupná skrze tři firmy působící v Evropě.

Závěr

V první části jsou uvedeny základní metody pro dokončovací operace. Každá metoda byla stručně popsána a byly uvedeny dosahované drsnosti. Na základě těchto metod bylo zjištěno, že vhodnou metodou pro obecné tvarové plochy je metoda omílání. Na základě doporučení a průzkumu stránek výrobců byla uvedena komerčně dostupná řešení pro omílání. Odlišné technologie omílání byly pak podrobněji popsány ve druhé části práce. Byla uvedena kinematika, vhodnost technologie pro různé součásti, dosahované drsnosti a další specifika. Třetí část práce se pak zabývá pracovním médiem. Byl proveden průzkum nabídky na trhu od daných firem, které jsou uvedeny ve druhé části a byly popsány dostupné varianty. Byla uvedena dostupná omílací tělíška, kompoundy nebo pasty. V poslední části práce byla uvedena vhodnost jednotlivých technologií pro omílání turbínových lopatek na základě zjištěných informací pro druhou část práce. Dále byly sepsány možné výhody či nevýhody technologií.

Ze získaných informací při tvorbě této práce považuji za nejperspektivnější metodu pro součást lopatkového kola technologii surf-finisher. Za hlavní výhodu považuji možnost protahovat a natáčet obrobek v pracovním médiu dle potřeby. Je tak možné proces obrábění vhodně optimalizovat. Jelikož se jedná o kombinaci proudového a vlečného omílání, může tato technologie dosahovat kratších omílacích časů oproti základním technologiím.

Seznam použité literatury

1. ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
2. *Technologie II 2. díl* [online]. [cit. 2018-06-16]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf
3. Způsoby broušení. *ZOZEI* [online]. [cit. 2018-06-16]. Dostupné z: <http://zoei.sssebrno.cz/brouseni---zpusoby>
4. MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 1999. ISBN 978-80-01-03752-2. (3. díl)
5. Omílání velkých a senzitivních obrobků. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2016, 11.05.2016 [cit. 2018-06-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/omilani-velkych-a-senzitivnich-obrobku.html>
6. Kruhové vibrátory. *Rösler – specialista pro úpravy povrchů* [online]. [cit. 2018-06-17]. Dostupné z: <https://cz.rosler.com/cz-cs/produkty/omilaci-stroje/kruhove-vibratory/>
7. Omílání jako univerzální metoda pro úpravu povrchů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, 16.05.2002 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/omilani-jako-univerzalni-metoda-pro-upravu-povrchu.html>
8. Odstředivá zařízení. *Rösler – specialista pro úpravy povrchů* [online]. [cit. 2018-06-17]. Dostupné z: <https://cz.rosler.com/cz-cs/produkty/omilaci-stroje/odstrediva-zarizeni/>
9. Mwc-5283-blisk. *Automation Update* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <https://automation-update.co.uk/mwc-5283-blisk/>
10. *BV Products | Mass Finishing Vibratory Bowl Machines* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <http://www.bvproducts.com.au/>
11. B Series. *BV Products | Mass Finishing Vibratory Bowl Machines* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <http://www.bvproducts.com.au/vibratory-finishing/vibratory-bowl-machines/b-series>

12. *MMP - Micro Machining Process | High-precision surface finishing* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <http://mmptechnology.com/site/>
13. *Super Precision Surface Finishing* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <http://mmptechnology.com/site/wp-content/uploads/2018/05/Plaquette-MMP-2018-US.pdf>
14. *Omílbrus s.r.o. | Úvodní strana* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <http://www.omilbrus.cz/>
15. *Otec Präzisionsfinish GmbH: otec.de* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <https://www.otec.de/cz/>
16. Proudová omílací zařízení. *Otec Präzisionsfinish GmbH: otec.de* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <https://www.otec.de/cz/produkty/omilani/proudova-omilaci-zarizeni/>
17. SF 4 - deburring, smoothing and polishing of turbine blade - mass finishing with OTEC. In: *YouTube* [online]. 29. 9. 2015 [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: https://youtu.be/o2g_Vo2jDV8
18. Proudové omílací zařízení - manuální řada SF. *Otec Präzisionsfinish GmbH: otec.de* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <https://www.otec.de/cz/produkty/omilani/proudova-omilaci-zarizeni/manualni-rada-sf/>
19. Drsnost povrchu dle DIN EN ISO. *HOMMEL CS s.r.o.* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <https://www.hommel-etamic.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>
20. Vlečná omílací zařízení. *Otec Präzisionsfinish GmbH: otec.de* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <https://www.otec.de/cz/produkty/omilani/vlecna-omilaci-zarizeni/>
21. Vlečná omílací zařízení - výrobní řada DF. *Otec Präzisionsfinish GmbH: otec.de* [online]. [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <https://www.otec.de/cz/produkty/omilani/vlecna-omilaci-zarizeni/vyrobní-rada-df/>
22. DF-5 - deburring, smoothing & polishing of knee joints - mass finishing with OTEC. In: *Youtube* [online]. 11. 12. 2014 [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <https://youtu.be/3HGcUkYpwCg>
23. *REM surface engineering* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <https://www.remchem.com/>

24. Technologie ISF®: Velmi jemné povrchy. *Rösler – specialista pro úpravy povrchů* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <https://cz.rosler.com/cz-cs/technologie-opracovani/isfr/>
25. *Rösler – specialista pro úpravy povrchů* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <https://cz.rosler.com/cz-cs/>
26. Surf-Finisher. *Rösler – specialista pro úpravy povrchů* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <https://cz.rosler.com/cz-cs/produkty/omilaci-stroje/surf-finisher/>
27. *Surf-Finisher* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: https://cz.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Gleitschlifftechnik/CZ_CS_Surf-Finisher_GB_269.pdf
28. Zařízení pro vlečné broušení. *Rösler – specialista pro úpravy povrchů* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <https://cz.rosler.com/cz-cs/produkty/omilaci-stroje/zarizeni-pro-vlecne-brouseni/>
29. *Drag Finishing* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: https://cz.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Gleitschlifftechnik/CZ_CS_Drag_Finishing_GB_164.pdf
30. Leštění technologií Rösler: Lesk pro Vaše výrobky. *Rösler – specialista pro úpravy povrchů* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <https://cz.rosler.com/cz-cs/technologie-opracovani/lesteni-hlazení/>
31. *Walther Trowal* [online]. [cit. 2018-06-24]. Dostupné z: <https://www.walther-trowal.com/us/>
32. *TROWAL MASS FINISHING TECHNOLOGY* [online]. [cit. 2018-07-06]. Dostupné z: https://www.walther-trowal.com/fileadmin/user_upload/Produkte/Datenblaetter/c_c_eng_2014_web.pdf
33. Procesní média. *OTEC Präzisionsfinish GmbH: otec.de* [online]. [cit. 2018-07-06]. Dostupné z: <https://www.otec.de/cz/produkty/procesni-media/>
34. MEDIA & COMPOUND. *BV Products | Mass Finishing Vibratory Bowl Machines* [online]. [cit. 2018-07-06]. Dostupné z: <http://www.bvproducts.com.au/media-compound>

35. Provozní materiály Rösler: Komplexní řešení omílacích strojů. *Rösler – specialista pro úpravy povrchů* [online]. [cit. 2018-07-06]. Dostupné z: <https://cz.rosler.com/cz-cs/produkty/provozni-materialy/>

36. *Consumables* [online]. [cit. 2018-07-06]. Dostupné z: https://cz.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Gleitschlifftechnik/CZ_CS_Technologiecke_prostredky_GB_130.pdf

37. Media and Compounds. *Walther Trowal* [online]. [cit. 2018-07-06]. Dostupné z: <https://www.walther-trowal.com/us/mass-finishing-technology/media-and-compounds/>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Označení brousícího kotouče [1].....	6
Obrázek 2 - Broušení na kulato vnější [2].....	6
Obrázek 3 - Hloubkové broušení vnějších ploch na kulato [2].....	7
Obrázek 4 - Bezhraté broušení [2]	7
Obrázek 5 – Děrové broušení [2].....	8
Obrázek 6 - Bezhraté broušení vnitřní [2]	8
Obrázek 7 - Planetové broušení [2]	9
Obrázek 8 - Obvodové rovinné broušení [2]	9
Obrázek 9 - Broušení rovinné čelní [2].....	10
Obrázek 10 - Tvarové broušení [3]	10
Obrázek 11 - Honování vnitřních válcových ploch [2]	11
Obrázek 12- Princip lapování [1].....	12
Obrázek 13 - Kinematika superfinišování [2]	13
Obrázek 14 - Kruhový vibrátor [6].....	14
Obrázek 15 - ilustrační obrázek [9].....	16
Obrázek 16 - stroj na vibrační omílání [11].....	17
Obrázek 17 - Omílací zařízení manuální řady SF [18]	19
Obrázek 18 - Proudové omílací zařízení řady DF [21]	20
Obrázek 19 - Surf-finisher [26].....	23
Obrázek 20 - zařízení pro vlečné broušení [29]	24
Obrázek 21 - zařízení pro vibrační omílání [31]	25
Obrázek 22 - část katalogu s omílacími tělísky [32].....	26

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Dosažitelné přesnosti a drsnosti [2].....	11
Tabulka 2 - Dosažitelné drsnosti a přesnosti pro metodu honování [2].....	12
Tabulka 3 - Dosažitelné drsnosti a přesnosti metodou lapování [2].....	13
Tabulka 4 - Dosažitelné drsnosti a přesnosti pro metodu superfinišování [2].....	14
Tabulka 5 – Dosažitelné drsnosti pro metodu omílání [1]	15