

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

DOKONČOVÁNÍ POVRCHU NEKONVENČNÍMI METODAMI A TECHNOLOGIEMI.

SURFACE FINISHING USING UNCONVENTIONAL METHODS.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR POPELÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. OSKAR ZEMČÍK, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁRSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Popelář

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Dokončování povrchu nekonvenčními metodami a technologiemi.

v anglickém jazyce:

Surface finishing using unconventional methods.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Rešerše literatury k danému tématu.
2. Rozdělení a popis technologií a konvenčních metod dokončování povrchu součástí.
3. Rozdělení a popis technologií a nekonvenčních metod dokončování povrchu součástí.
4. Srovnání jednotlivých metod, doporučení pro strojírenskou praxi.
5. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Studie zabývající se nekonvenčními metodami dokončování povrchu strojírenských součástí.
Srovnání s jednotlivými konvenčními metodami a doporučení pro strojírenskou praxi.

Seznam odborné literatury:

1. ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
2. ZEMČÍK, O. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6
3. KÖNIG, W. Fertigungsverfahren band 1,2,3. 4. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 1999. 416 s. ISBN 3-18-401054-6
4. Firemní podklady dle dalšího zpřesnění a určení (Sandvik Coromant, Gühring, Fette, Pramet, Mitsubishi, Iscar, Seco, apod.
5. REICHARD, A. Fertigungstechnik 1,2. 10. Aufl. Hamburg: Handwerk und technik, 1993. 420 s. ISBN 3-582-02311-7

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Oskar Zemčík, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Souhrn vybraných technologií a metod konvenčních i nekonvenčních způsobů obrábění, které jsou využívány k dokončování povrchu strojírenských součástí. Jsou shrnuty základní principy činnosti, popis strojů, nástrojů, pracovní podmínky, výsledné hodnoty struktury povrchu a přesnosti, kterých lze uvedenými metodami dosáhnout. Příklady jejich využití v praxi, zhodnocení a porovnání dle kritérií R_a a IT.

Klíčová slova

Nekonvenční technologie, nekonvenční metody, dokončování povrchu, povrch, nekonvenční dokončování.

ABSTRACT

The summary of selected technologies and methods of conventional and unconventional ways of machining that are used for finishing the surface of engineering components. Summarizes the basic principles, a description of machines, tools, working conditions, the resulting values of surface texture and precision, which can be achieved by these methods. Usage in practice, evaluation and comparison according to criteria by R_a and IT.

Key words

Unconventional technologies, unconventional methods, surface finishing, surface, unconventional finishing.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POPELÁŘ, P. *Dokončování povrchu nekonvenčními metodami a technologiemi*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 57s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: *Dokončování povrchu nekonvenčními metodami a technologiemi* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 14.5.2010

.....
Petr Popelář

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu práce Ing. Oskaru Zemčíkovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále děkuji doc. Ing. Antonu Humárovi, CSc. za pomoc při získávání informací, prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. a Ing. Milanu Kalivodovi za věcné připomínky a rady při řešení formální stránky práce.

Děkuji kolegům v zaměstnání, Dušanu Lukášovi a Janu Smolovi za vstřícný a obětavý přístup k záležitostem týkajících se mého studia na VUT Brno.

OBSAH

ÚVOD	8
1 PŘEHLED POJMŮ A TECHNOLOGIÍ.....	9
2 KONVENČNÍ METODY	11
2.1 Broušení	11
2.1.1 Broušící nástroje	12
2.1.2 Broušící stroje	12
2.2 Honování	15
2.2.1 Výsledky	15
2.2.2 Podmínky honování	15
2.2.3 Metody honování	16
2.2.4 Honovací nástroje	16
2.2.5 Honovací stroje	17
2.2.6 Využití	18
2.3 Lapování	18
2.3.1 Lapovací nástroje	19
2.3.2 Lapovací stroje	20
2.4 Superfinišování	21
2.4.1 Řezné podmínky	22
2.4.2 Mazání	22
2.4.3 Superfinišovací nástroje	22
2.4.4 Superfinišovací stroje	22
2.4.5 Výsledky	22
3 NEKONVENČNÍ METODY	23
3.1 Válečkování	23
3.1.1 Základní účinky válečkování	24
3.1.2 Tvářecí elementy	24
3.1.3 Pracovní podmínky nástrojů	25
3.1.4 Výsledky technologie	26
3.1.5 Změna rozměru po válečkování	27
3.1.6 Vliv počtu převálečkování	27
3.1.7 Stavitelné nástroje	28
3.1.8 Pevné nástroje	29
3.1.9 Upnutí do stroje	31
3.1.10 Praktické využití	31

3.2 Hlazení.....	32
3.2.1 Jakost hlazeného povrchu	32
3.2.2 Rychlost a posuv	32
3.2.3 Chlazení a mazání nástroje	32
3.2.4 Upínání.....	32
3.2.5 Konstrukce nástroje	33
3.2.6 Tvářecí element.....	33
3.2.7 Stálost rozměrů a geometrie obrobené plochy.....	33
3.3 Omílání	34
3.3.1 Tělíska.....	34
3.3.2 Stroje	35
3.3.3 Dosahované výsledky.....	38
3.3.4 Příklady využití.....	38
3.4 Elektrochemické obrábění	39
3.4.1 Elektrochemické broušení.....	40
3.4.2 Elektrochemické lapování	41
3.4.3 Elektrochemické honování.....	41
3.4.4 Elektrochemické leštění.....	42
3.5 Termické odstraňování otřepů	42
3.6 Elektroerozivní leštění	43
3.7 Leštění povrchů laserem	43
3.8 Tryskání.....	44
3.8.1 Tryskání metacími koly.....	44
3.8.2 Tryskání tlakem vzduchu.....	44
3.8.3 Pracovní media.....	45
3.8.4 Využití.....	45
4 ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIÍ A METOD	46
ZÁVĚR	49
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	50
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	55
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	56
SEZNAM TABULEK.....	57

ÚVOD

Zvyšování nároků na produkty dnešní doby s sebou nese také zvyšování nároků na technologie a metody, jejichž prostřednictvím jsou tyto produkty realizovány.

Většina potenciálních zákazníků má možnost výběru výrobku dle vlastních požadavků z širokého spektra nabízených produktů. Proto se všichni výrobci, pokud mají být úspěšní, snaží vyrábět své produkty tak, aby byly totožné s požadavky zákazníků. To s sebou nese také nároky na kvalitu.

Jedním ze znaků jakosti může být, a v našem případě je, kvalita povrchu, s níž úzce souvisí vzhled. Dokonce s jistou mírou nadsázky je možné říci, že kritériem zákazníka kupujícího jistý produkt je ve velké míře právě vzhled.

Ve strojírenství je z technologického a funkčního hlediska povrch velmi důležitou částí výrobku. Ve vysoké míře je prostředkem pro vzájemnou interakci součásti s okolím či ostatními součástmi a jsou na něj kladeny vysoké nároky. V jistých případech není možné těchto nároků běžnými operacemi dosáhnout, proto je nutné na tyto náročné operace použít metody speciální, nekonvenční.

Nekonvenční technologie jsou v dnešní době neodmyslitelnou součástí produktivní výroby mnoha firem, ať už se jedná o metody dokončování, řezání či svařování. Jejich rozšíření je v některých odvětvích průmyslu již tak běžné, že se stávají metodami konvenčními a začínají postrádat svou výjimečnost.

Při volbě způsobu dokončení povrchu je nutné zhodnotit požadavky, které jsou na výrobek kladeny, a zvolit technologii nebo metodu, která bude nejefektivnější pro danou součást.

Konvenční metody jsou efektivně využívány pro většinu strojírenských výrobků. Požadavky na některé výrobky, které zahrnují neobvyklé konstrukční řešení, a případně i použití speciálních materiálů, mohou být konvenčními metodami vyráběny neproduktivně, nebo jsou nevyrobitelné. V takových případech je ideální využití nekonvenčních způsobů výroby, u kterých díky svým principům nezáleží na tvarové složitosti či tvrdosti materiálu.

1 PŘEHLED POJMŮ A TECHNOLOGIÍ

Povrch

Je to vrstva materiálu obklopující těleso, tvořící hranici, která odděluje těleso samotné od okolí.

Požadavky na povrch

Požadavky jsou různé, s ohledem na účel využití součástí. Ve strojírenství se jedná převážně o požadavky na tvarovou a rozměrovou přesnost, odolnost vůči okolním vlivům, jako např. teplotě, vlhkosti, záření či chemikáliím. Těchto požadavků lze dosáhnout souladem několika faktorů, především vhodnou volbou materiálu a jeho zpracováním.

Struktura povrchu

Definuje ji několik parametrů, které vyjadřují její kvalitativní hodnoty. Nejběžněji používaným parametrem je:

- Ra, Průměrná aritmetická úchylka profilu
- Rz – Největší výška profilu
- Rmr, Materiálový poměr profilu (nosný podíl)

Dokončování povrchu

Proces obrábění jehož cílem je vytvoření ploch požadovaných parametrů bez dalšího zpracování.

Konvenční metody

Metody běžně využívané ve strojírenství využívající základních principů obrábění.

Nekonvenční metody

Málo rozšířené metody obrábění, které využívají různých fyzikálních i mechanických principů, které mohou řešit za určitých podmínek konstrukčně i technologicky velmi složité operace.

V následující tabulce (1.1) jsou vypsány vybrané technologie a metody, konvenční a nekonvenční, které slouží k dokončování povrchu strojních součástí. Z důvodu velké obsáhlosti tématu jsou vybrány a dále rozebírány některé z nich.

Tab. 1.1 Výběr technologií a metod

Konvenční		Nekonvenční	
Technologie	Obráběné plochy	Technologie	Obráběné plochy
Broušení	- Rovinné - Válcové - vnější - vnitřní - Kuželové - vnější - vnitřní - Tvarové	Válečkování	- Válcové - vnější - vnitřní - Kuželové - vnější - vnitřní - Tvarové - vnější - vnitřní - Čelní
Honování	- Válcové - vnější - vnitřní	Tryskání	- Všechny plochy
Lapování	- Rovinné - Válcové - vnější - vnitřní - Tvarové	Omílání	- Všechny vnější a částičně vnitřní plochy
Superfinišování	- Válcové - vnější - vnitřní - Rovinné - Tvarové	Elektrochemické leštění	- Válcové - vnější - vnitřní - Kuželové - vnější - vnitřní - Tvarové - vnější - vnitřní - Rovinné
Leštění	- Válcové - Kuželové - Tvarové - Rovinné	Hlazení	- Válcové - Kuželové - Tvarové - Čelní
Jemné soustružení	- Válcové - Kuželové - Tvarové - Čelní	Elektrochemické broušení	- Rovinné - Válcové - Kuželové - Tvarové
Vyvtávání	- Válcové - vnitřní	Leštění elektroerozivní	- Všechny plochy
Vystružování	- Válcové - vnitřní	Elektrochemické honování	- Válcové - vnější - vnitřní
		Elektrochemické lapování	- Rovinné - Válcové - vnější - vnitřní - Tvarové
		Leštění laserem	- Všechny plochy
		Thermické odjehlování	- Všechny plochy

2 KONVENČNÍ METODY

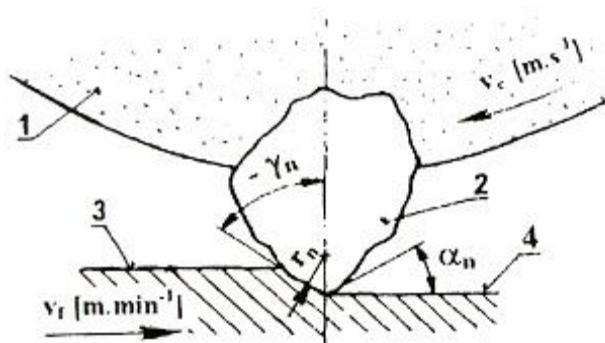
Jsou metody běžně využívány.

2.1 Broušení

Broušení jako obráběcí metoda je charakterizováno specifickými podmínkami tvorby třísky a vzniku obrobeného povrchu. V důsledku velkých plastických deformací a v důsledku vnějšího i vnitřního tření se určitá část třísky ohřeje natolik, že se roztaví a vytvoří kapky kovu nebo shoří¹.

Od jiných způsobů obrábění se práce brousícího kotouče liší schopností takzvaného samoostření. Tato vlastnost brousícího kotouče souvisí s poměrně málo pevným zakotvením brousícího zrna ve vazbě kotouče. V důsledku zvýšení řezných sil na otupených zrnech se tato zrna vylomí a jeho funkci přebírají zrna neotupená¹.

Jednotlivá brousící zrna mají nepravidelný brousící tvar, vysokou tvrdost, odolnost proti vysoké teplotě, nepravidelné poloměry zaoblení ostří r_n , v řádu několika tisícín milimetrů. Brousící zrna mají zpravidla negativní úhel čela γ_n a poměrně velký úhel hřbetu α_n ¹.



Obr. 2.1 Model záběru brousícího zrna¹.

1- brousící kotouč; 2- brousící zrno; 3- obráběná plocha; 4- obrobená plocha.

Za řeznou rychlost při broušení se považuje obvodová rychlost brousícího kotouče, která je vzhledem k ostatním metodám obrábění relativně vysoká. Rychlost posuvů obrobku nebo kotouče mají na rychlost řezného pohybu zanedbatelný vliv. Brousící proces se uskutečňuje při rychlostech, 30 až 100 m.s⁻¹, a malých průřezech třísky, 10⁻³ až 10⁻⁵ mm²¹.

2.1.1 Brousicí nástroje

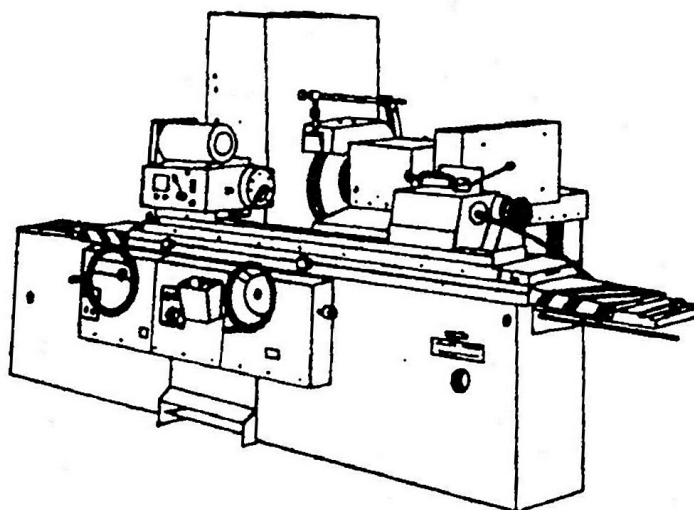
Brousicí nástroje tvoří zrna brusiva pevně vázaná v tuhých či pružných tělesech různých velikostí a tvarů, jako jsou brousicí, řezací a drážkovací kotouče, brousicí tělíska, superfinišovací a honovací kameny, brousicí a obtahovací kameny a segmenty, brousicí pilníky, nebo jsou nanesena a zakotvena na brousicích plátnech a papírech. V rámci brousicích nástrojů představují největší rozsah brousicí kotouče¹.

2.1.2 Brousicí stroje

Brousicí stroje jsou vyráběny a dodávány v širokém spektru druhů a použití.

Hrotové brusky

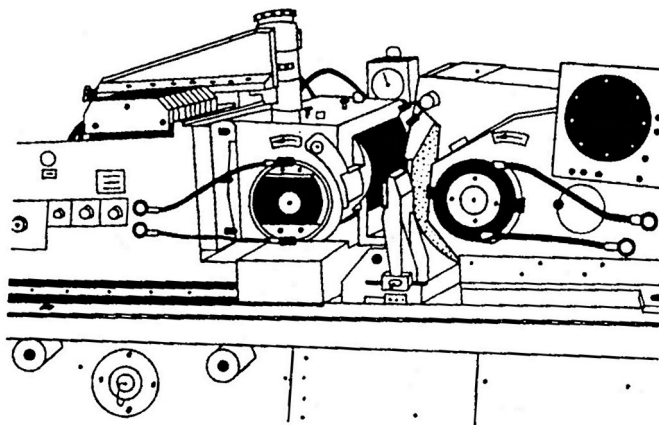
Používají se k broušení rotačních ploch na obrobcích upnutých mezi hroty. Nejrozšířenějším provedením jsou univerzální hrotové brusky, používané pro broušení válcových, kuželových, čelních ploch a případně pro broušení děr. Umožňují broušení strmých a táhlých kuželů. Pomocí speciálního vřetena je možno brousit také díry v obrobcích upnutých ve sklíčidle¹.



Obr. 2.2 Univerzální hrotová bruska¹

Bezhruté brusky

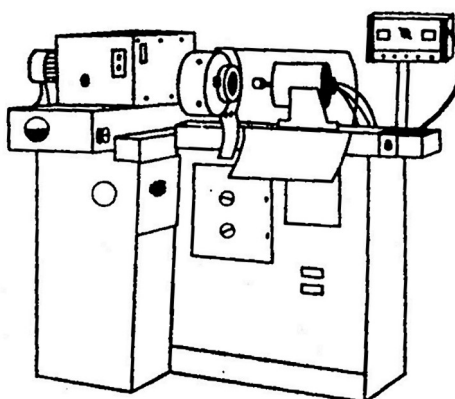
U bezhrutých brusek odpadá upínání obrobku. Jsou konstruovány nejčastěji pro vnější broušení, ale také v menším rozsahu pro vnitřní broušení rotačních ploch. Bezhruté brusky pro broušení vnějších ploch umožňují zápichové a průběžné broušení¹.



Obr. 2.3 Bezhrutá bruska pro vnější broušení¹

Brusky na díry

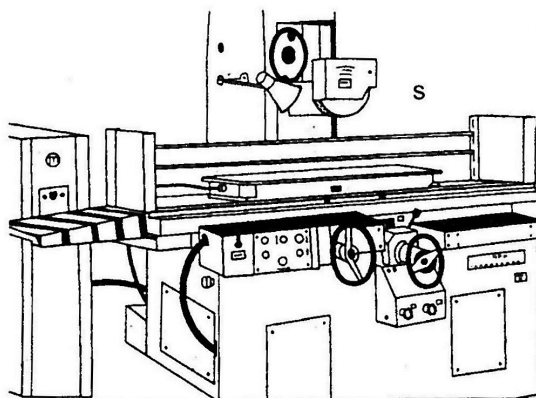
Jsou vyráběny a dodávány jako sklíčidlové, planetové a bezhruté. Významným představitelem těchto strojů je sklíčidlová bruska na díry¹.



Obr. 2.4 Sklíčidlová bruska na díry¹

Vodorovné rovinné brusky

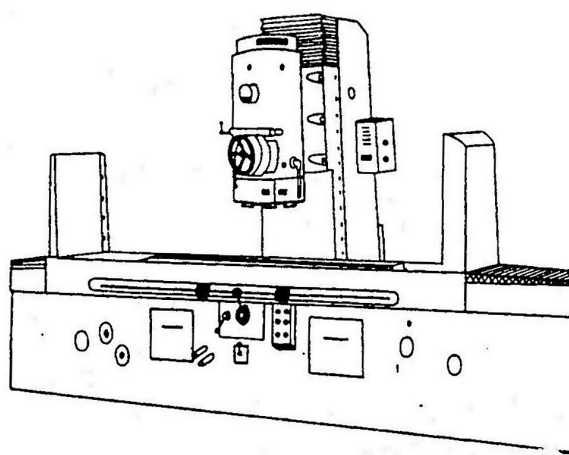
Jsou určeny pro broušení rovinných ploch a jsou charakterizovány vodorovnou osou brousicího vřetena. Nejrozšířenějším představitelem rovinných brusek jsou brusky s přímočarým vratným pohybem¹.



Obr. 2.5 Vodorovná rovinná bruska s přímočarým vratným pohybem stolu¹

Svislé rovinné brusky

Tyto brusky jsou charakterizovány svislou osou brousicího vřetena a vysokými výkony broušení, avšak horšími parametry přesnosti broušené plochy. Typickým představitelem těchto strojů je svislá rovinná bruska s přímočarým vratným pohybem stolu¹.



Obr. 2.6 Svislá rovinná bruska s přímočarým pohybem stolu¹

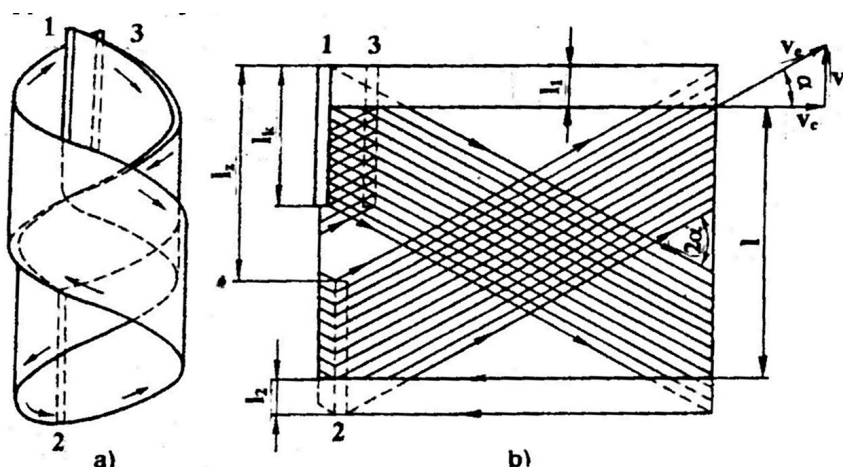
Speciální brusky

Do této skupiny se zařazují brusky se speciálním technologickým zaměřením. Patří sem brusky na ostření nástrojů, brusky pro broušení závitů, brusky na broušení ozubení, brusky pro broušení klikových hřídelů, brusky na broušení vačkových hřídelů a podobně¹.

2.2 Honování

Dokončovací metoda obrábění, která je v podstatě broušení nízkou rychlostí jemným brusivem, vázaném v honovacích kamenech (lištách) upevněných v honovací hlavě, při intenzivním použití řezných kapalin¹.

Při vnitřním honování vykonávají honovací kameny v díře složený, šroubovitý, pohyb, který je tvořen kombinací rotačního pohybu honovací hlavy a posuvného vratného pohybu ve směru osy honování. Dráhy zrn brusiva se přitom překrývají a na honovaném povrchu se objevují charakteristické křížové stopy, které svírají úhel 2α ¹.



Obr. 2.7 Kinematika honovacího procesu¹

2.2.1 Výsledky

Předností honování je dosažení vysoké přesnosti geometrického tvaru. Lze jím v rozsahu přídatku odstranit kuželovitost, ovalitu, soudkovitost, nelze však změnit osu díry. Nosný podíl honovaného povrchu činí až 90%¹.

2.2.2 Podmínky honování

Řezné podmínky honování jsou ovlivněny především honovaným materiálem, výchozí a požadovanou přesností tvaru a struktury povrchu, použitým brusivem, průměrem díry a přídatkem na honování¹.

Průběh honování ovlivňuje úhel 2α . Hodnota úhlu α závisí na posuvové a řezné rychlosti. Doporučené hodnoty jsou 20° až 55° . Při větších úhlech se získá nižší hodnota R_a honované plochy. Honovací kameny jsou k honovanému povrchu přitlačovány určitým tlakem, který je součástí řezných podmínek.

Mazání

Pro zajištění vysoké produktivity a požadované jakosti povrchu se při honování vždy používá řezných kapalin. Nejpoužívanější jsou směsi petroleje s olejem nebo kyselinou olejovou¹.

2.2.3 Metody honování

Při honování jsou využívány tři základní metody, jejichž volba ovlivňuje výslednou jakost obrobené plochy.

Jednostupňové

Jeden nástroj pro hrubovací i dokončovací honování. Pro dokončování se buď sníží tlak p_k , nebo se zmenší úhel 2α ¹.

Dvoustupňové

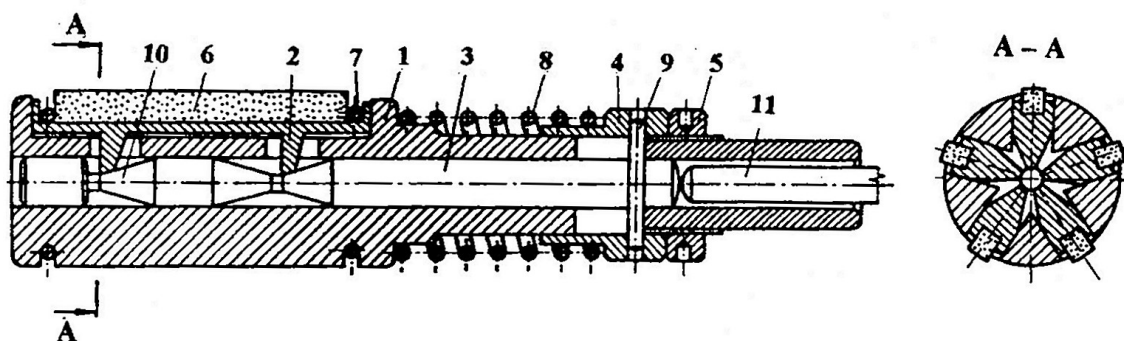
Použije se jeden hrubozrnnější nástroj pro hrubování a jeden jemnozrnný pro dokončování¹.

Vibrační honování

Probíhá za podmínek, kdy se na posuvový nebo rotační pohyb nástroje superponuje kmitavý pohyb o amplitudě 1 až 10 mm a frekvenci až 1500 Hz¹.

2.2.4 Honovací nástroje

Řezný proces honování realizuje sada radiálně ustavených honovacích kamenů, které jsou v rovnoměrných roztečích rozmístěny po obvodu honovací hlavy. Honovací kameny pro honování litiny jsou z SiC, pro honování oceli z Al_2O_3 . Pojivo honovacích kamenů je keramické, pro velmi jemné honování bakelitové. Pro vysoké požadavky na jakost honovaných děr se používají kameny ze syntetického diamantu a kubického nitridu bóru. Pojivo diamantových kamenů je nejčastěji kovové¹.

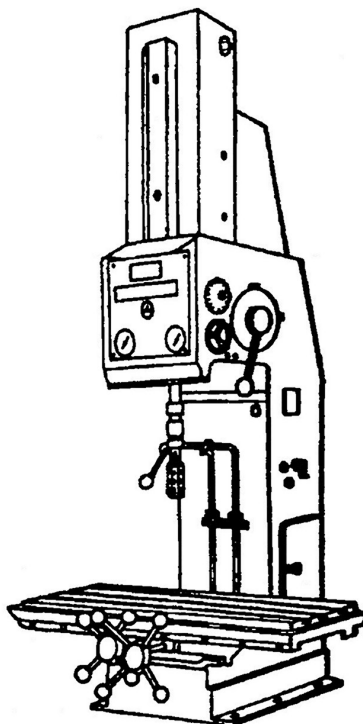


Obr. 2.8 Honovací hlava¹

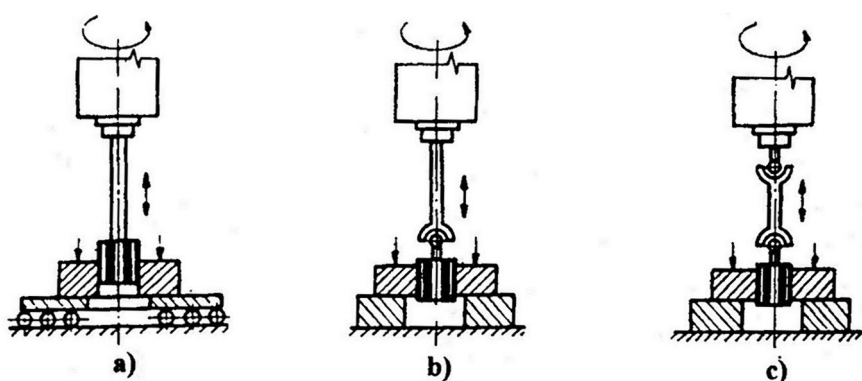
- 1- těleso hlavy; 2- držák honovacích kamenů; 3- rozpínací tyčka;
4- opěrný kroužek; 5- matice; 6- honovací kameny; 7, 8- pružina; 9- kolík;
10- kužel rozpínací tyčky; 11- přisuvová tyč stroje

2.2.5 Honovací stroje

Vyrábějí se v širokém rozsahu provedení a rozměrů, podle velikosti a počtu honovaných součástí. Podle polohy vřeten se rozlišují honovací stroje svislé a vodorovné, podle počtu vřeten jsou to stroje jednovřetenové a vícevřetenové.



Obr. 2.9 Svislý jednovřetenový honovací stroj¹



Obr. 2.10 Varianty upnutí obrobku a honovací hlavy¹

- a- pevně upnutá hlava, obrobek má dva stupně volnosti v rovině kolmé na osu díry;
- b- honovací hlava vedená dírou a unášena kloubovým hřídelem, obrobek pevný;
- c- honovací hlava vedená dírou a unášena dvěma šrouby, obrobek pevný.

2.2.6 Využití

Nejčastěji se používá pro dokončování vnitřních válcových ploch, vnitřní honování. Honovat lze válcové díry průchozí i neprůchozí, s drážkami různých tvarů a velikostí v rozsahu průměrů 1 až 750 mm, délek až 24 m. S přídatným zařízením lze honovat i kuželové díry. Méně často se honují vnější válcové plochy¹.

Honováním se dokončují hydraulické, pneumatické a brzdové válce, válce spalovacích motorů, bubny, pouzdra, ložiska vřeten a podobně. Honovat lze kalené i nekalené oceli, litiny, hliníkové slitiny, neželezné kovy, slinuté karbidy, tvrdé povlaky a další materiály¹.

2.3 Lapování

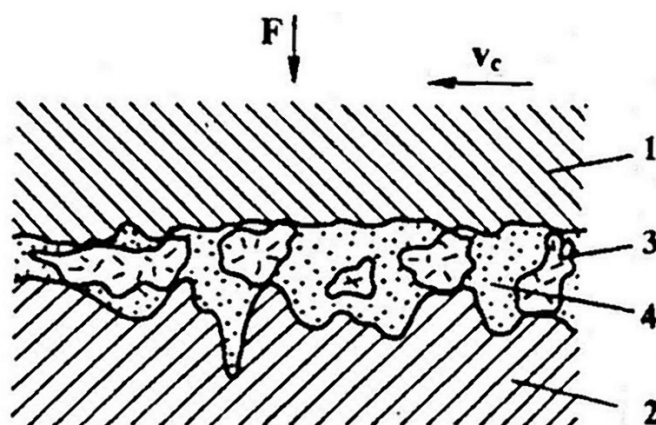
Lapování je zvláštní druh broušení, při němž k úběru materiálu dochází volným brusivem, které se přivádí mezi vzájemně se pohybující lapovací nástroj a obrobek. Lapování se ve velké míře využívá k vzájemnému sjednocení ploch součástí, které jsou ve vzájemné interakci (hlava ventilu, ventilové sedlo) a tudíž nástroj i obrobek jsou obě vzájemně opracovávány součásti. U měkkých lapovacích nástrojů mohou být zrna brusiva zamačkána nebo jinak upevněna v lapovacím nástroji. Lapování je dokončovací metoda obrábění, kterou se dosahuje vysoké rozměrové přesnosti a velmi nízké hodnoty R_a . Používá se pro dokončování rovinných, válcových a tvarových vnějších i vnitřních ploch.¹

Z technologického hlediska se rozlišují hrubovací, jemné a velmi jemné lapování. Při hrubovacím lapování dochází k odřezávání nerovností a výstupků obráběného povrchu velkým počtem zrn brusiva. Při velmi jemném lapování dochází k plastické deformaci povrchové vrstvy lapované plochy¹.

Využití

Lapují se funkční plochy měřidel, jako koncové měrky a kalibry, důležitá závitová spojení, ozubení, součásti motorů automobilů a podobně. Lapováním lze dokončovat měkké i tvrdé materiály v kusové výrobě, strojově v sériové a hromadné výrobě.

Nevýhodou lapování je velká pracnost, malá produktivita a vysoké náklady na jednotku plochy v porovnání s ostatními dokončovacími metodami obrábění. Proto se lapování nahrazuje, pokud je to možné, honováním nebo superfinišováním¹.

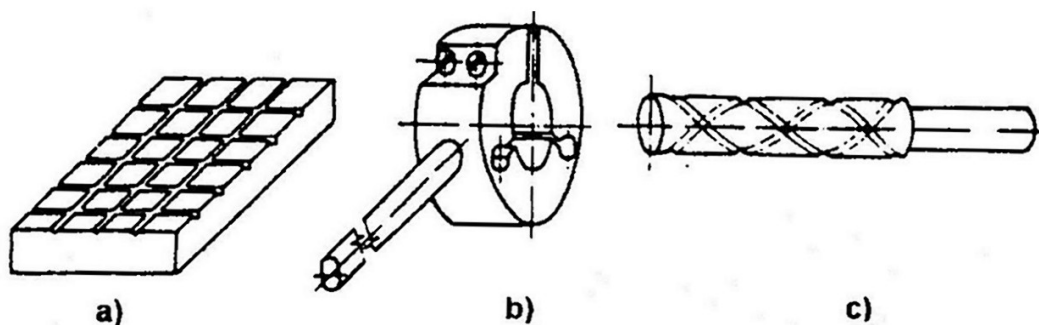
Obr. 2.11 Schéma řezného procesu při lapování¹

1- lapovací nástroj; 2- lapovaná část; 3- brusivo; 4- lapovací prostředí;

2.3.1 Lapovací nástroje

Lapovací nástroje mají negativní tvar lapovacích ploch. Vyrábějí se z jemnozrnné perlitické nebo feritické litiny, z mědi, měkké oceli, olova, plastických hmot a podobně. Pro velmi jemné lapování se používají také nástroje z kalené oceli nebo tvrdě chromované nástroje¹.

Při ručním lapování se používají lapovací desky pro lapování rovinných ploch, lapovací trny pro lapování děr a lapovací prstence pro lapování vnějších válcových ploch¹.

Obr. 2.12 Lapovací nástroje pro ruční lapování¹

a- lapovací deska; b- lapovací prstenec; c- lapovací trn

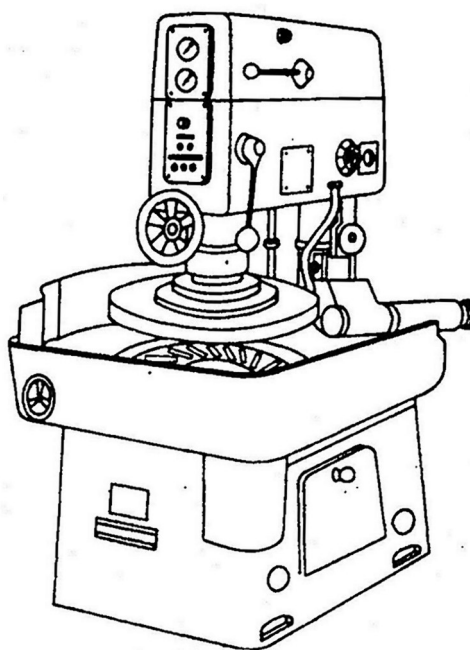
Pro strojní lapování se pro rovinné plochy používají lapovací kotouče litinové nebo brousící kotouče s vázaným brusivem a keramickou vazbou. Pro vnější rotační plochy se používá bezhrotý zapichovací nebo průběžný způsob, kdy nástrojem je kotouč s brusivem v keramické vazbě¹.

2.3.2 Lapovací stroje

Lapovací stroje jsou buď univerzální pro lapování rovinných i válcových ploch, nebo speciální pro lapování určitého druhu ploch, například boky zubů kol, čepy klikových hřídelů, válivá tělíska válivých ložisek a podobně.

Pro lapování vnějších válcových a rovinných ploch se používají dvoukotoučové lapovací stroje se svislými osami lapovacích kotoučů. U typického představitele těchto strojů jsou otáčky obou kotoučů různé. Hnací kotouč je výkyvný, takže jeho funkční plocha se může ustavit do roviny rovnoběžné s plochou dolního kotouče. Mezi oběma kotouči je vložena unášecí deska s otvory přizpůsobenými tvaru lapovaných součástí. Unášecí deskou pohybuje výstředník, aby se lapované součásti pohybovaly po takových drahách, které pokrývají celý povrch lapovacího kotouče, aby jeho opotřebení bylo rovnoměrné.

Pro lapování děr se používají stroje se svislým pracovním vřetenem, pro dlouhé otvory stroje s pracovním vřetenem vodorovným¹.

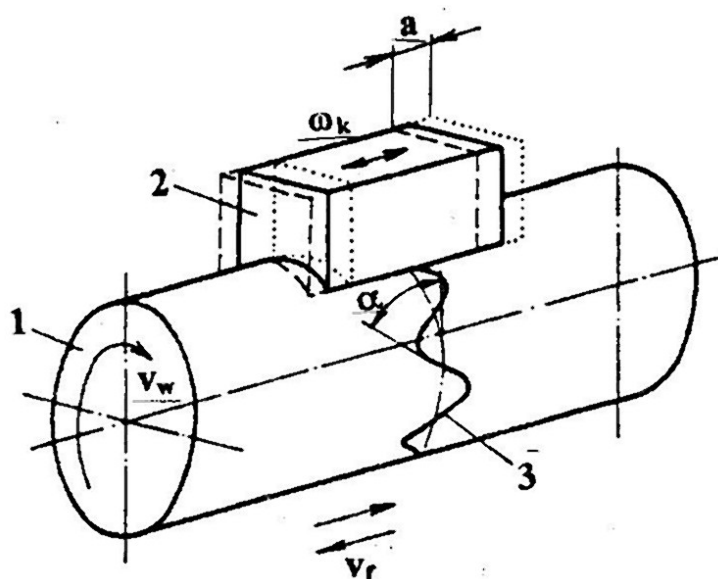


Obr. 2.13 Svislý lapovací stroj pro vnější válcové a rovinné plochy¹

2.4 Superfinišování

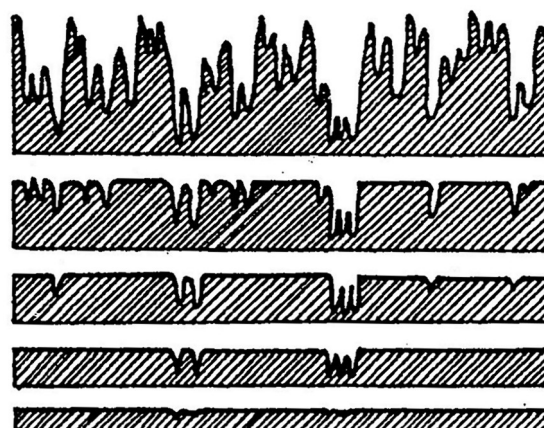
Superfinišování je vysoce produktivní metoda dokončovacího obrábění vnějších a vnitřních rotačních, tvarových a rovinných ploch.

Je to zvláštní druh broušení, při němž se z dokončovaného povrchu odřezávají vrcholky nerovností velmi jemnými zrna brousícího nástroje, superfinišovacího kamene. Superfinišování je charakterizováno kmitavým pohybem superfinišovacího kamene, definovanou silou vyvolávající nízký tlak na obráběnou plochu a malými řeznými rychlostmi¹.



Obr. 2.14 Kinematické schéma superfinišování¹

1- obrobek; 2- superfinišovací kámen; 3- stopa po jednom zrna brusiva;



Obr. 2.15 Průběh superfinišovacího procesu- zvětšování nosného podílu¹

2.4.1 Řezné podmínky

Řezný pohyb při superfinišování vzniká superpozicí rotačního pohybu součásti o rychlosti 10 až 80 m.min⁻¹ a kmitavého pohybu superfinišovacího nástroje o frekvenci 500 až 3000 min⁻¹, který je zpravidla kolmý na směr rotačního pohybu součásti. Amplituda superfinišovacích kamenů je 0,01 až 10 mm. Superfinišovací kameny jsou obráběnou plochou přitlačovány tlakem 0,1 až 0,4 MPa, který během superfinišování, zvětšováním nosného podílu povrchu poklesne tak, že proces dále nepokračuje¹.

2.4.2 Mazání

Jako řezná a vyplachovací kapalina se nejčastěji používá petrolej, směs petroleje a 10 až 15% minerálního oleje nebo oleje s aditivy. Pro jemné superfinišování k dosažení vysokého lesku a měkkí materiály je vhodná kapalina s vyšší viskozitou jako je olej, pro větší úběry jsou vhodné kapaliny s nižší viskozitou například petrolej¹.

2.4.3 Superfinišovací nástroje

Superfinišovací kameny se používají s brusivem z umělého korundu, nebo karbidu křemíku a keramickou nebo bakelitovou vazbou¹.

Pro superfinišování vysoce legovaných ocelí se používá kubický nitrid bóru v keramické vazbě, pro slinuté karbidy syntetický diamant v organické vazbě. Kameny do superfinišovacích hlav se upevňují mechanicky nebo se lepí na ocelové podložky¹.

2.4.4 Superfinišovací stroje

Stroje pro superfinišování se vyrábějí jednovřetenové nebo vícevřetenové, nejčastěji pro obrábění vnějších a vnitřních rotačních ploch.

2.4.5 Výsledky

Průběh superfinišování ovlivňuje především rychlost kmitavého pohybu, obvodová rychlost obrobku, velikost tlaku a viskozita řezné kapaliny. Superfinišování má hrubovací a leštící fázi, pro které je důležitý poměr rychlosti kmitavého pohybu nástroje a obvodové rychlosti obrobku, který určuje úhel křížení drah zrn brusiva 2α ¹. Předcházející operací před superfinišováním je nejčastěji broušení, případně jemné soustružení nebo vyvrtávání. Výchozí parametry superfinišované plochy jsou rozhodující pro volbu řezných podmínek¹.

Využití

Nejvíce se uplatňuje při dokončování valivých ložisek a součástí v automobilovém průmyslu. Superfinišují se součásti z kalené i nekalené oceli, litiny, slitin těžkých kovů a plastů¹.

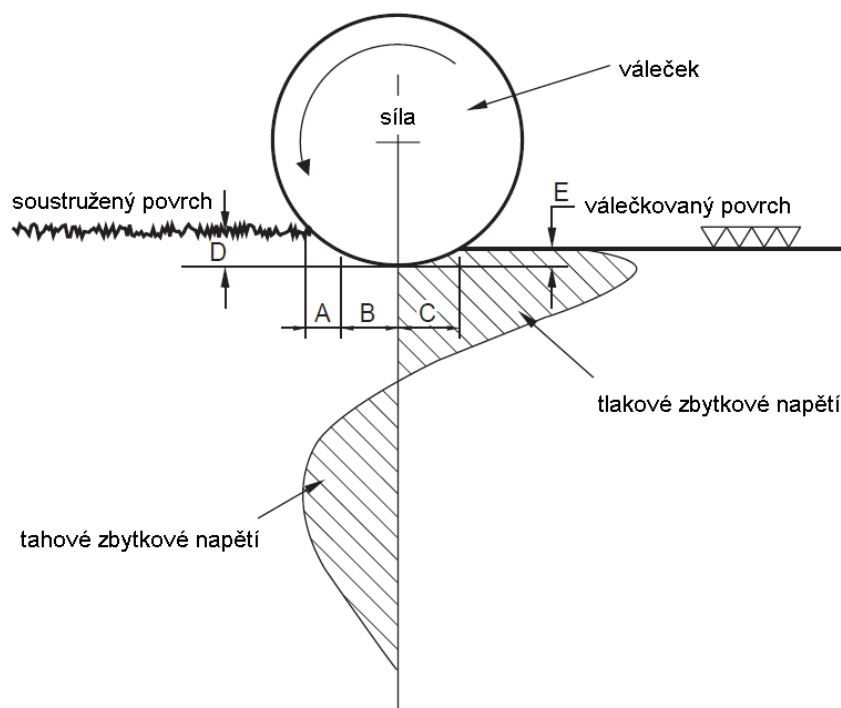
3 NEKONVENČNÍ METODY

Jsou metody málo rozšířené, využívající různých fyzikálních principů.

3.1 Válečkování

Tato beztržisková technologie je založena na schopnosti materiálu plasticky se deformovat. K plastické deformaci povrchové vrstvy materiálu dochází v místě působení tlaku tvářecích elementů nástroje (kulička, váleček, kotouč apod.), které se po součásti odvalují. Současně dochází k rotaci nástroje nebo součásti a sduženého posuvu nástroje v jedné nebo dvou osách. Po válečkování vykazuje povrch vysokou jakost. Je zvýšena povrchová pevnost, celková výška struktury povrchu se pohybuje pod hranicí $R_z = 1\mu\text{m}$. Tato technologie dokáže v určitých případech nahradit operace jako např. vystružování, jemné soustružení, broušení, honování, lapování, superfinišování⁴.

Průběh tváření povrchu je vyobrazen na obrázku 2.1. První kontakt s tvářeným povrchem je patrný v části (A) kde dochází k elastickým deformacím povrchu. V části (B) je již překročena mez kluzu materiálu a dochází k trvalé, plastické deformaci. V součtu těchto dvou deformací je patrná hloubka vniku elementu (D). Poté co byl materiál podroben maximálnímu napětí v části (B) dochází v části (C) k postupnému snižování tlaku elementu a návratu materiálu v rámci pružné deformace o hodnotu (E) kde je již patrný nově vytvořený povrch³.



Obr. 3.1 Diagram válečkovacího procesu³

3.1.1 Základní účinky válečkování

Účinky operací prováděných touto technologií od sebe nelze izolovat. Vždy se navzájem ovlivňují a působí současně. Jestliže se bude například kalibrovat válečkováním vnější povrch čepu, tak kromě zvýšení rozměrové a geometrické přesnosti se také povrch zpevní a vyhladí. Bude-li zařazeno jako hlavní operace hlazení, povrch se nejenom vyhladí, ale také zpevní².

Vyhlazení

Jeho účinkem je vyrovnaní mikronerovností na povrchu zpracovávané součásti, kde se deformace odehrávají pouze v rámci struktury povrchu, a jmenovitý rozměr není ovlivněn. Tyto nerovnosti vzniklé předešlou operací, nejčastěji třískovým obráběním, jsou účinkem válečkovacího nástroje vtlačovány do objemu tělesa a rozprostřeny v prohlubních, které ve velké míře vyplní. Struktura povrchu je tedy vyrovnána v souvislou křivku bez výrazných ostrých přechodů².

Kalibrování

Je metoda obdobná hlazení, přičemž je ale nutno použít nástroj s nastaveným kalibračním rozměrem. Takovýmto nástrojem lze zpřesnit rozměrovou i geometrickou přesnost součásti. Především snížit úchylku přímosti a kruhovitosti².

Zpevnění

Princip je stejný jako u hlazení a kalibrování, ale pro zpevnění je nutné použít větší tvářecí sílu, kterou je tělísko do materiálu vtlačováno. Takto zpevněná povrchová vrstva sahá až do hloubky 700μm. Zvýší se odolnost proti únavovému lomu a pevnost povrchu².

3.1.2 Tvářecí elementy

Nástroje využívající tvářecí elementy z kalené oceli a slinutých karbidů, jsou schopny tvářet materiály do tvrdosti 45HRC.

Rozměry a geometrie elementů je vždy přizpůsobena požadované operaci, stejně tak jako rozměry a geometrie nástroje samotného. Společnou charakteristikou je rotační souměrnost elementů. Jsou vyráběny ve tvarech válečků, kuželů, disků i kotoučů¹⁰.

3.1.3 Pracovní podmínky nástrojů

Podmínky, při kterých je válečkování uskutečněno se liší vlivem tvarové složitosti součásti, velikostí a tvrdostí opracovávaného materiálu. V porovnání s metodami honování, lapování, jemného soustružení i broušení je rychlost tvorby nového povrchu válečkováním vyšší a připočteme-li i pořizovací cenu nástroje, je ve většině případů válečkování produktivnější.

Rychlost a posuv

Jsou závislé na materiálu obráběné součásti, tvaru a struktuře plochy, velikosti nástroje a požadované jakosti povrchu po válečkování. Materiály méně tvárné vyžadují nižší rychlosti válečkování a případně i více převálečkování, zatímco u materiálů s nízkým přetvárným odporem je možné využívat rychlostí podstatně vyšších. Velikost hodnot posuvu a rychlosti stanovené výrobcem jsou pouze doporučující. Optimální podmínky je vhodné stanovit až praktickými zkouškami na obráběné součásti²⁵.

Doporučená hodnota rychlosti válečkování je $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ až $150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Je však možné válečkovat rychlostí dosahujících $200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Rychlost posuvu:

- U nástrojů, které využívají pouze jeden aktivní tvářecí prvek je rychlost volena od $0,05 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ až do $0,3 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
- U nástroje s více aktivními prvky je možno volit rychlosti posuvu válečkování od $0,2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ do $0,3 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ²⁵.

Chlazení a mazání nástroje

Pro snížení tření v nástroji a pro prodloužení jeho životnosti je vhodné při procesu válečkování nástroj i obrobek mazat. Pro mazání při malých rychlostech válečkování je dostačující použít olej nízké viskozity a aplikovat jej na obráběné plochy.

Při válečkování vysokými rychlostmi je nutné pro prodloužení životnosti tvářecích elementů použít kontinuální chlazení a mazání procesní kapalinou, která zároveň čistí a oplachuje obrobek od nečistot, které by snižovaly jakost a nadměrně opotřebovávaly tvářecí nástroj. Proto je vhodné do okruhu procesní kapaliny zařadit také filtrační jednotku procesní kapaliny s propustností částic menší než $40 \mu\text{m}$ ²¹.

Válečkování slitin hliníku a hořčíku vyžaduje procesní kapalinu se základem parafinového oleje s nízkou viskozitou²³.

Opotřebení

Při správném používání nepotřebuje nástroj téměř žádnou údržbu. Válečky, klece i jádra by měly být při pravidelných prohlídkách důkladně prohlédnuty, přeměřeny a v případě potřeby nahrazeny novými. Je nutné při náhradě za nové vždy aplikovat celou novou sadu, aby bylo možné zaručit bezproblémový chod nástroje²⁴.

3.1.4 Výsledky technologie

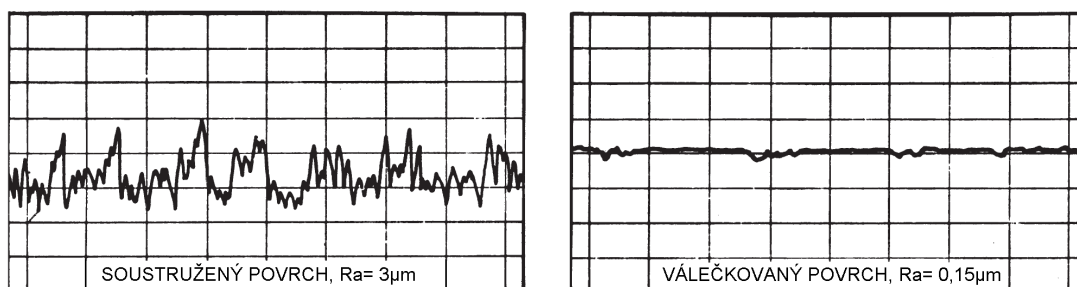
Základním parametrem stanovování jakosti součásti je bezesporu kromě jakosti samotného materiálu, rozměrové a geometrické přesnosti, především struktura povrchu, která ve velké míře ovlivňuje, jak bude součást odolná vůči vnějším vlivům. V praxi jsou strojní součásti často namáhány několika vlivy současně. Jsou vystavovány povětrnostním vlivům, chemikáliím a vlhkosti, jejichž následkem je koroze, která narušuje povrch. Cyklickému namáhání, které způsobí, vlivem překročení meze únavy, lom součásti, nelze mnohdy efektivně předejít ani volbou materiálu vyšší jakosti.

Faktory ovlivňující výslednou jakost povrchu:

- Velikost tlaku nástroje na povrch obrobku
- Počáteční velikost a tvar mikronerovností
- Pracovní posuv nástroje
- Počet převálekování¹⁹.

Výsledky válečkování:

- Struktura povrchu (R_a) dosahuje hodnot 0,05 – 0,1 μ m
- Tolerance rozměrů se pohybuje pod hodnotou 0,01mm
- Nárůst tvrdosti povrchu dle Brinella o 30 – 70%
- Zvýšení odolnosti proti únavovému lomu až o 300%
- Zvýšení odolnosti proti korozi
- Odstranění vrubů od nástroje předchozí operace
- Snížení tření na povrchu až o 30%¹¹.



Obr. 3.2 Porovnání struktury povrchu vytvořeného třískovým obráběním a válečkováním²²

3.1.5 Změna rozměru po válečkování

Vlivem plastické deformace povrchu nastává také změna rozměrů, odchylka od původních hodnot. Jak je patrné z tab. 3.1 dochází ke stlačení povrchu plasticky i elasticky o hodnotu D a po převálcování se složka elastické deformace vrátí do původního stavu o hodnotu E. Velikost plastické deformace tedy určuje hodnotu odchylky od výchozího rozměru.

Vnitřní rozměry se válečkováním zvětšují a vnější naopak zmenšují. Pro získání požadovaného rozměru je nutné nastavit rozměr před válečkováním právě o hodnotu plastické deformace, která je závislá na materiálu obrobku, jeho tvrdosti a hodnotách válečkování. Vhodný rozměr je potřeba zjistit praktickou zkouškou převálcování 2-3 kusů³².

Tab. 3.1 Stlačení povrchu³²

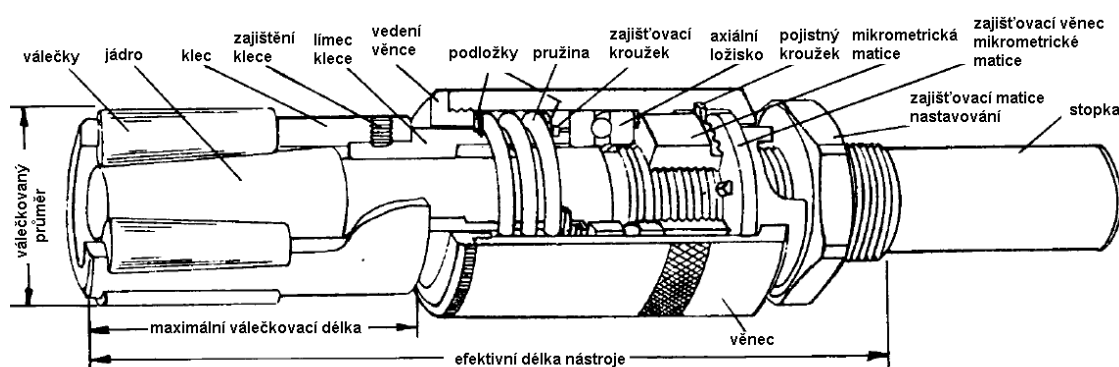
Opracováváný průměr [mm]	Přibližná hodnota deformace [μm]
4,5 – 7,6	5 – 20
8 – 14,5	7 – 25
15 – 24	15 – 35
25 – 44	20 – 40
45 – 74	25 – 45
75 – 200	30 – 60

3.1.6 Vliv počtu převálcování

Jestliže je již jednou válečkovaný povrch znovu převálcován jedním nebo několika průchody nástroje, dochází k vícenásobnému válečkování. Opětovné převálcování povrchu je voleno pouze v případech, kdy výchozí nerovnosti struktury povrchu jsou natolik výrazné, že by musela být použita velká tvářecí síla pro dostačující výsledek jedním převálcováním. V takovém případě volíme druhé převálcování a výslednou deformaci mikronerovností je vhodné rozložit do dvou pracovních cyklů nástroje. Na výslednou jakost povrchu má největší vliv první a případně i druhé převálcování. Další válečkování povrchu nepřináší žádné zlepšení struktury a pouze snižuje produktivitu procesu. Při překročení určitého počtu převálcování dochází naopak ke zhoršení struktury povrchu vlivem rozrušení povrchové vrstvy materiálu, jenž se pak odlupuje ve formě šupinek².

3.1.7 Stavitelné nástroje

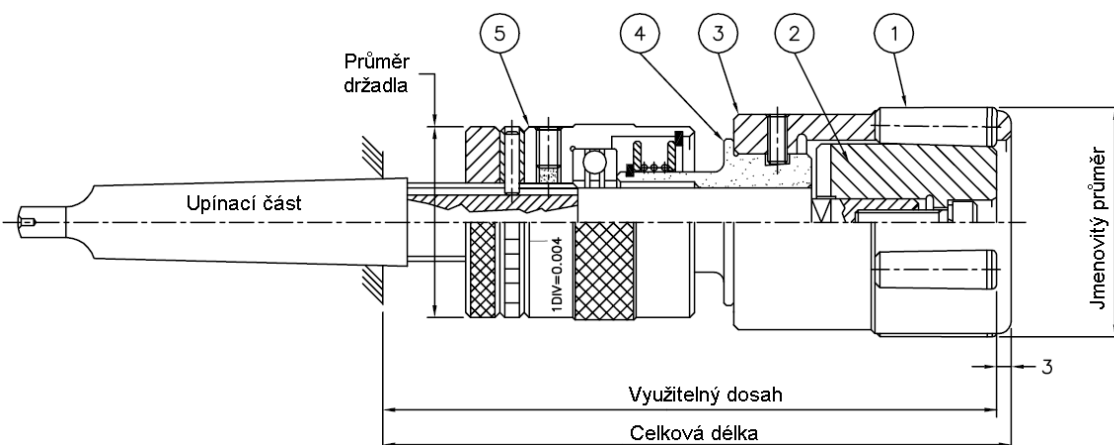
Vhodné ke kalibraci rotačních válcových vnějších i vnitřních ploch. Pomocí mikrometrického šroubu je možné nastavovací maticí zvolit žádaný rozměr. Jak je patrné z obr. 3.3 nastavování vyvoluje pohyb kuželového jádra, které je ovládáno mikrometrickým šroubem. Kolem jádra jsou uloženy tvářecí elementy a při pohybu jádra vůči elementům dochází k nastavování žádaného rozměru. Nástroje jsou nastavitelné v rozsahu daném velikostní třídou⁹.



Obr. 3.3 Mechanismus stavitelného nástroje pro průchozí otvory⁵

Nástroj pro vnitřní válcové plochy

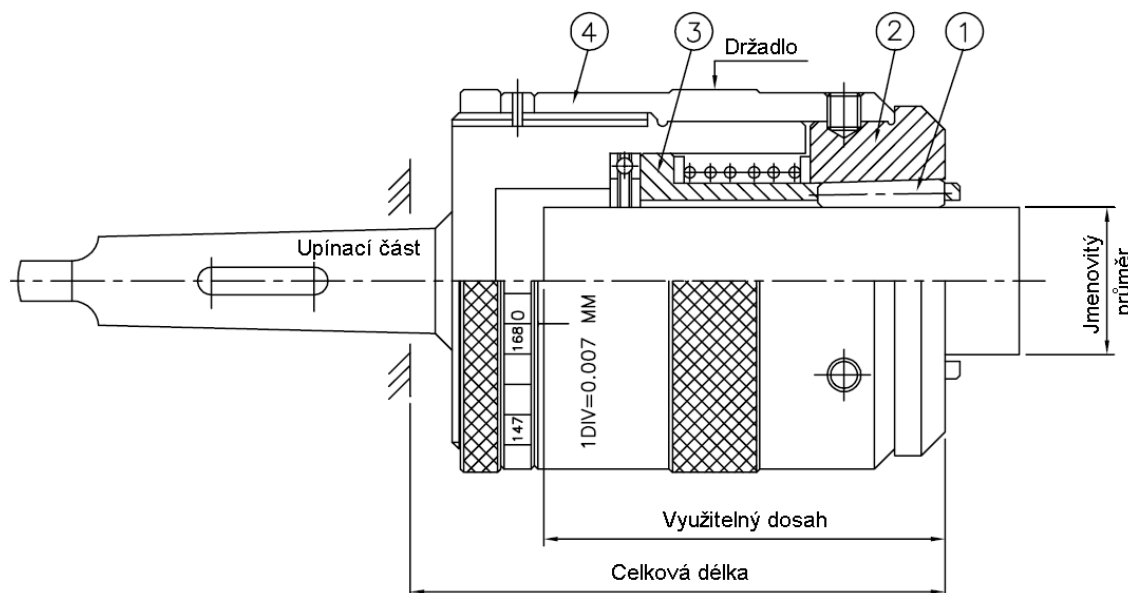
Možnost nastavení pracovního rozsahu nástrojů firmy Mech-India® od nejmenšího, průměru 5mm a délky otvoru 100mm, až do největšího, průměru 124mm a délky 183mm.



Obr. 3.4 Schéma vnitřního stavitelného nástroje⁶:
1) váleček, 2) jádro, 3) klec, 4) pouzdro, 5) držadlo

Nástroj pro vnější válcové plochy

Možnost nastavení pracovního rozsahu nástrojů firmy Mech-India® od nejmenšího, průměru 2mm a délky otvoru 80mm, až do největšího, průměru 64mm a délky 120mm.



Obr. 3.5 Schéma vnějšího stavitelného nástroje⁸:
1) váleček, 2) jádro, 3) klec, 4) pouzdro.

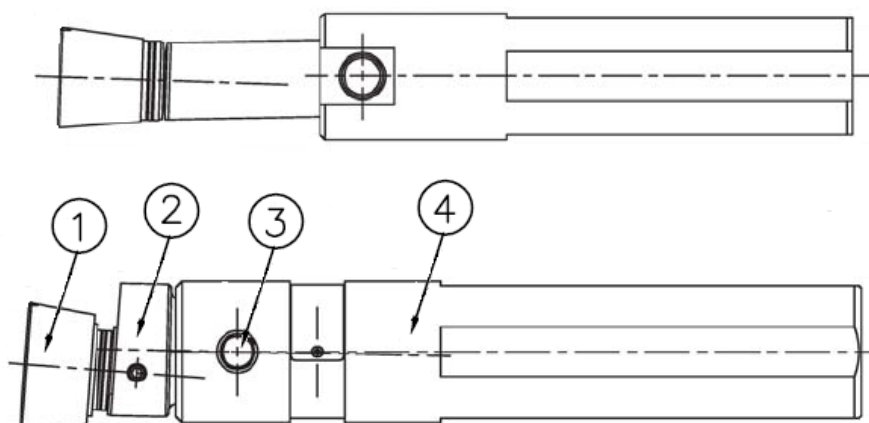
3.1.8 Pevné nástroje

Nástroje s jedním tvářecím prvkem ze slinutého karbidu, které se pomocí držáku upínají do stroje obdobně jako soustružnický nůž. Ve vyměnitelné hlavici je uložení válečku a celá hlavice je vložena do držáku. Ten potom upnut do nástrojové hlavy stroje. Tento typ nástrojů je podstatně levnější než nástroje stavitelné. Neumožňují povrch efektivně kalibrovat. Slouží především k vyhlazení a zpevnění povrchu.

Umožňují válečkovat povrch válcový i kuželový, případně některé jednodušší tvarové plochy. Nástroj je konstruován odlišně pro vnitřní a vnější operace, ale pokud tvar a rozměry součásti umožní použití vnitřního nástroje na vnější plochy, je možné nástroj takto využít.

Nástroj pro vnitřní plochy

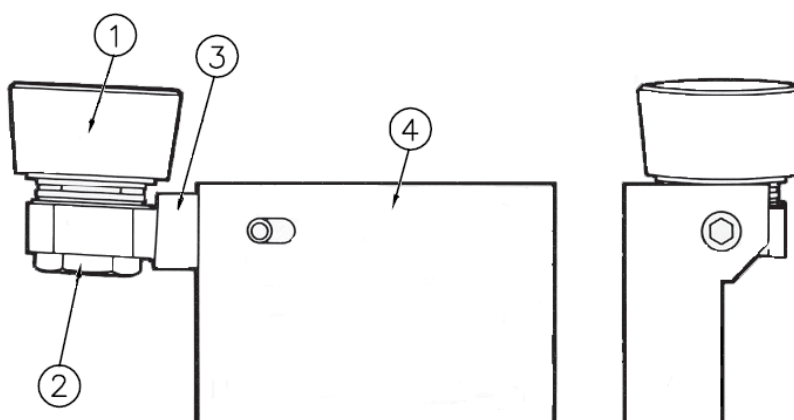
Je konstruován pro operace uvnitř otvorů. Obrábí válcové, kuželové a některé tvarové plochy. Průměr válečku je 30mm a minimální vrtaný průměr součásti musí být minimálně 37mm. Nástroj dosahuje pracovní délky 200mm a v prodloužené verzi až 370 mm²⁷.



Obr. 3.6 Schéma vnitřního pevného nástroje²⁷:
1) váleček, 2) hlavice, 3) zámek, 4) držák.

Nástroj pro vnější plochy

Je konstruován pro operace vnějších rotačních ploch. Obrábí válcové, kuželové a některé tvarové plochy. Průměr válečku je od 44mm. Je vyráběn jako nástroj pravý i levý. Váleček je přitlačen k obrobku pružinou umístěnou v dutině držáku, kde tlačí na celou hlavici a silou ji z něj vysouvá²⁶.



Obr. 3.7 Schéma vnějšího stavitelného nástroje²⁶:
1) váleček, 2) matice, 3) hlavice, 4) držák.

3.1.9 Upnutí do stroje

Upínání nástrojů do stroje je v zásadě prováděno dvěma způsoby:

- Prvním z nich je upnutí rotačně symetrických nástrojů s kuželovou upínací částí do osy vřetene pomocí kuželu Morse, nebo nástrojů s válcovou upínací částí do sklíčidla
- Druhým je upnutí nástroje pomocí upínacích šroubů přímo do nástrojové hlavy, například místo soustružnického nože.

Válečkovací nástroje je možné upínat do většiny obráběcích strojů, jako jsou například:

- Soustruhy (konvenční i CNC)
- Frézky
- CNC obráběcí centra
- Vrtačky²⁰.

3.1.10 Praktické využití

Výroba pístní tyče pro lineární hydraulické motory o tvrdosti 40HRC

Výroba broušením:

- Soustružení tyče
- Broušení s přídavkem na chromování
- Chromování povrchu
- Broušení na hotovo
- Leštění.

Výroba válečkováním:

- Soustružení tyče
- Válečkování
- Chromování povrchu
- Leštění.

Broušení ploch bylo nahrazeno výhodnějším válečkováním:

- Snížila se spotřeba chromu
- Odpadá operace broušení před a po chromování
- Zlepšily se kluzné vlastnosti povrchu pístní tyče
- Snížil se čas na výrobu
- Odpadají náklady na provoz a údržbu stroje na broušení³¹.

3.2 Hlazení

Hlazení využívá pro opracování povrchu podobné účinky jako válečkování, ale s tím rozdílem, že tvářecí prvek se po povrchu neodvaluje, ale smýká. Mikronerovnosti vzniklé na povrchu součásti například soustružením, jsou vyhlazeny tvářecím elementem nástroje, který je v kontaktu s obrobkem. Využívá se pro vnější i vnitřní rotační plochy, válcové, kuželové i tvarové z materiálů, které dosahují tvrdosti až 60HRC³⁰.

3.2.1 Jakost hlazeného povrchu

Opracované povrchy, které vznikly předchozí operací dosahující hodnot $R_a = 2$ až $2,5\mu\text{m}$ lze leštícím nástrojem ze syntetického diamantu opracovat až na $R_a = 0,1\mu\text{m}$ oceli a $R_a = 0,2\mu\text{m}$ litiny. Geometrie součásti po hlazení se neliší od výchozí, vlivem odpružení nástroje, který je přitlačován pružinou určité tuhosti a ta dovolí nástroji přesně kopírovat obráběný povrch.

Zvýšená jakost povrchu sníží riziko vzniku povrchových trhlin, zvýší odolnost vůči korozi a ostatním okolním vlivům a sníží tření na povrchu³⁰.

3.2.2 Rychlost a posuv

Řezná rychlost a posuv při hlazení se odvíjí od struktury a kvality povrchu obráběné součásti. Hodnoty posuvu a rychlosti je vhodné odladit na konkrétní součásti, aby bylo dosaženo požadovaných výsledků. Doporučené hodnoty řezné rychlosti jsou v okolí $230\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ a velikost posuvu od $0,07\text{mm}\cdot\text{ot}^{-1}$ do $0,1\text{mm}\cdot\text{ot}^{-1}$ ³⁰.

3.2.3 Chlazení a mazání nástroje

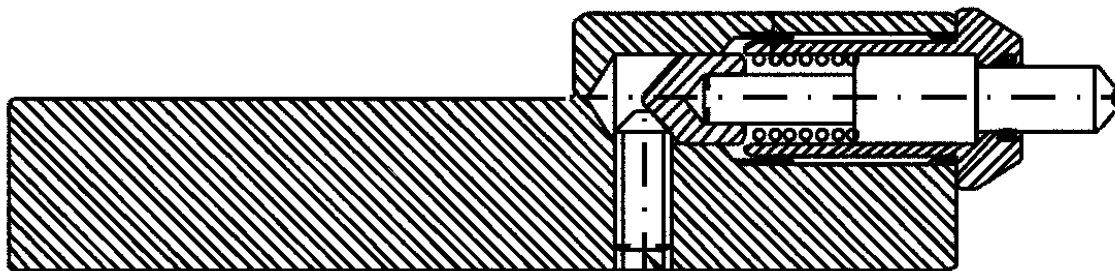
Aby byly zajištěny podmínky pro správný chod nástroje, musí být vydatně mazán chlazen, aby nedocházelo v nadměrnému vytváření tepla třením k následné grafitizaci tvářecího elementu z PKD. Není zapotřebí používat žádné speciální procesní kapaliny. Plně dostačující je použití čistého oleje, rozpustné oleje nebo jakékoliv syntetické chladicí kapaliny³⁰.

3.2.4 Upínání

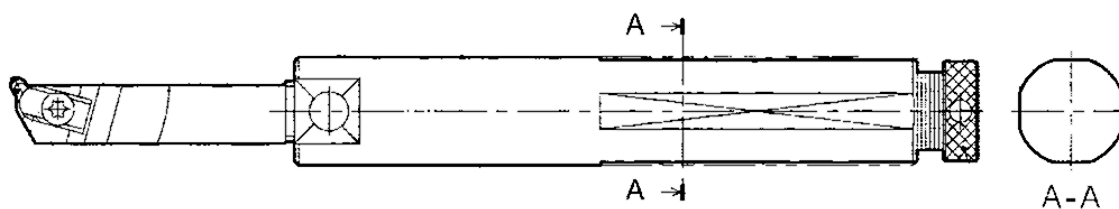
Konstrukce těchto nástrojů neklade vysoké nároky na obsluhu a díky své jednoduchosti je nastavení, upevnění i výměna jednoduchou záležitostí. Nástroje jsou svojí konstrukcí podobné soustružnickým nožům a i systém upínání tomu odpovídá. Do nástrojové hlavy se upne držák pomocí šroubů, upínek, nebo jiným mechanismem, kterými jsou soustruhy vybaveny, tak aby břit byl v ose otáčení obrobku a současně kolmo k ní³⁰.

3.2.5 Konstrukce nástroje

Nástroj tvoří držák, jehož prostřednictvím je realizováno upínání do stroje. Do držáku je vsunuta výměnná vložka, která je v držáku suvně uložena. Na osazení zadní části tlačí pružina, která vytváří přítlak nástroje k obrobku. Celá vložka je zajištěna šroubovacím čelem. Ve spodní části držáku je šroub, jehož prostřednictvím je možné v určitých mezích nastavovat přítlačnou sílu³⁰.



Obr. 3.8 Schéma hladícího nástroje pro vnější plochy²⁹



Obr. 3.9 Schéma hladícího nástroje pro vnitřní plochy²⁹

3.2.6 Tvářecí element

Vyměnitelná vložka je vhodně tvarovaná, aby byla přístupnost k obrobku dostatečná. Na přední, většinou kuželové části vložky, je upevněn tvářecí element (kulička, ploška, hranol) ze syntetického diamantu (PKD), jehož činná plocha je leštěna. Nevýhodou PKD je jeho nízká odolnost vůči teplotě. Již při 600 °C začíná docházet ke grafitizaci a znehodnocení břitu. Vložka s elementem z PKD je vyměnitelná a je možné ji demontovat i když je nástroj upnutý ve stroji³⁰.

3.2.7 Stálost rozměrů a geometrie obrobené plochy

Při hlazení dochází k deformaci pouze v rámci struktury povrchu, proto jsou rozměry obrobku po hlazení shodné s rozměry výchozími. Geometrie obrobku není hlazením výrazněji ovlivněna. Nástroj je odpružen a dovoluje kopírovat opracováváný povrch³⁰.

3.3 Omílání

Princip omílací technologie vychází z přírodního jevu obrušování velkých kamenů v řece proudem vody s pískem. Moderní omílání vyžaduje optimální strojní zařízení, optimální omílací tělíska a kontinuálně cirkulující procesní kapalinu tvořenou vodou se speciální přísadou. Nejčastější cíle omílání:

- odstranění hrotů po předchozím obrábění
- odstranění otřepů u tlakových odlitků z hliníku, zinku nebo hořčíku
- zaoblování hran a vyhlazení povrchu
- dosažení povrchu vhodného pro následné galvanické procesy
- odmašťování a antikorozi ochrana
- broušení, leštění³³.

3.3.1 Tělíska

Součásti, které mají být omílány jsou specifikovány svou velikostí, tvarem a materiálem ze kterého jsou vyrobeny. Tyto vlastnosti jsou důležité při rozhodování, jaká tělíska zvolit.

Tvar a velikost

Tvar a velikost tělísek je nutné zvolit s ohledem na tvar a velikost součásti, jenž má být opracována. Především je nutné, aby se tělíska nemohla zaseknout v drážkách a otvorech součásti, což by znemožnilo opracování celého povrchu. Běžně využívané tělíska jsou ve tvarech:

- Hvězdice
- Trojúhelníky
- Válce
- Hranoly
- Jehlany
- Kužele.

Provozní materiály

Volba materiálu tělísek závisí na materiálu opracovávané součásti, jeho tvrdosti a požadované výsledné úpravy povrchu. Často využívaná jsou tělíska ze syntetického korundu 99BA, 96A, která se používají pro omílání materiálů až do tvrdosti 55HRC³³.

- keramická nebo plastová tvarová omílací tělíska
- kapalně, práškové a pastové pomocné prostředky (compoundy)
- přísady pro úpravu procesní kapaliny (flokulanty)
- speciální média (ocelové a nerezové kuličky, satelity a směsi)
- sušící a lešticí granuláty z přírodních materiálů³³.

3.3.2 Stroje

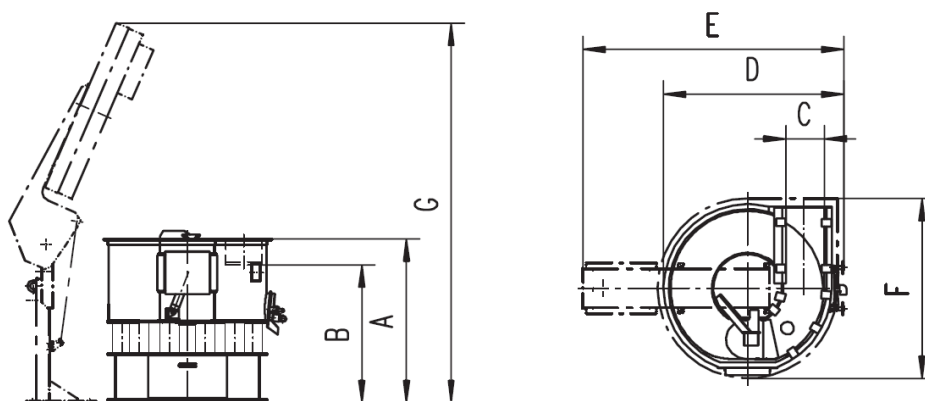
- vibrační zařízení (stroje s kruhovou nebo spirálovou nádobou a vibračními žlaby)
- odstředivá omílací zařízení
- zařízení pro vlečné broušení
- omílací bubny a zvony
- sušičky (s granulátem, horkovzdušné, bubnové)
- recyklační odstředivky pro procesní kapalinu³³.

Vibrační bubnové zařízení

S kruhovou nebo spirálovou nádobou jsou univerzální stroje použitelné pro prakticky jakékoliv úpravy povrchu omíláním jako například:

- odjehlování
- zaoblování
- leštění
- jemné odbušování před povrchovou úpravou³⁵.

Mohou pracovat samostatně nebo být zařazeny do automatických výrobních linek. Pohon je vyvozován vibračním motorem. Omílací tělíska spolu s opracováványi součástmi jsou uvnitř nádoby natřásány a vzájemným pohybem a třením dochází k opracování³⁵.



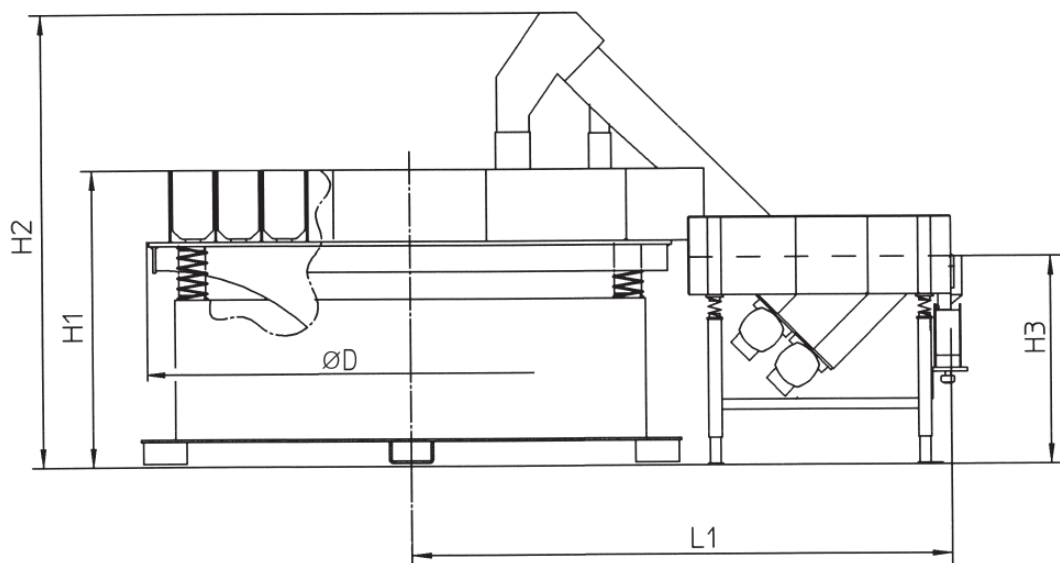
Obr. 3.10 Schéma kruhového vibrátoru řady CB s akustickým víkem³⁵

Tab. 2.2 Rozměry vibrátorů řady CB [mm]³⁵

CB	A	B	C	D	E	F	G
200	1210	1010	238	1193	1680	1300	2600
300	1270	1060	280	1344	1906	1460	2866
400	1336	1100	326	1489	2255	1670	3130
600	1440	1140	357	1633	2500	1700	3620
800	1522	1240	386	1833	2590	1900	3780
1200	1737	1435	445	2046	2870	2110	4180
1800	1960	1535	550	2422	3275	2510	4630

Vibrační spirálové zařízení s plynulým tokem materiálu

Toto zařízení je konstruováno tak, aby nebylo nutné při výměně součástí stroj zastavit. Dráha, kterou je materiál unášen proudem omílacích tělísek je ve tvaru šroubovice s řízeným podáváním a odběrem součástí a se zpětnou cirkulací omílacích tělísek. Frekvence vibrací, kterou stroj využívá, je možné měnit. Je určeno pro malé, až středně velké součásti³⁷.



Obr. 3.11 Schéma spirálového vibračního stroje s kontinuální dopravou³⁷

Tab. 2.3 Rozměry vibrátorů řady MC [mm]³⁷

MC	H1	H2	H3	L1	Ø D
9/100	1220	1855	830	2095	1680
13/156	1325	1920	1000	2280	2080
14/350	1640	2360	1000	3900	3300
15/190	1360	2090	950	2470	2400
25/190	1390	2110	1000	3150	3300
25/210	1390	2110	1000	3150	3300

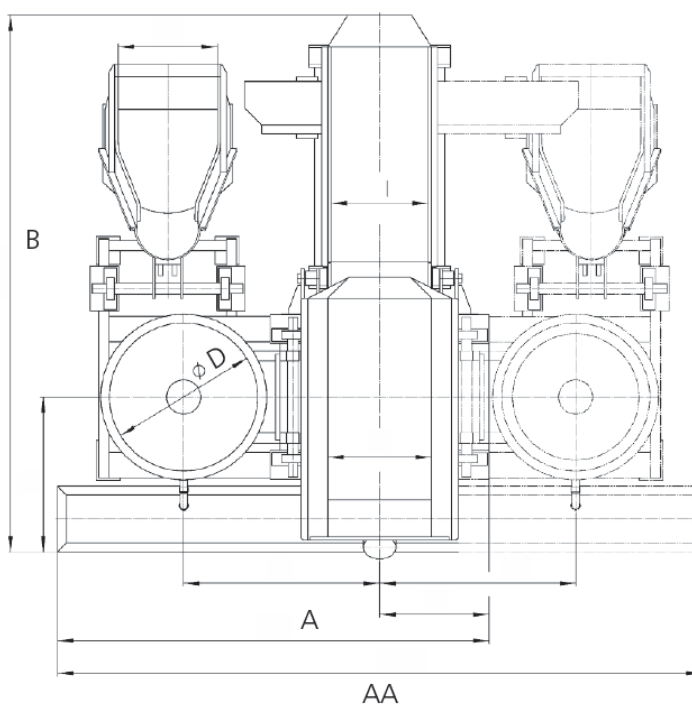
Tab. 2.4 Rozměry vibrátorů řady TT [mm]³⁶

TT	A	AA	B	C	D	E	F
60	2100	3100	3100	2700	542	830	1085
90	2100	3100	3100	2700	637	830	1115
140	2350	3450	3300	3000	740	950	1255
280	2750	4100	3500	3025	914	950	1320
520	3000	4400	4000	3400	1000	1100	1600

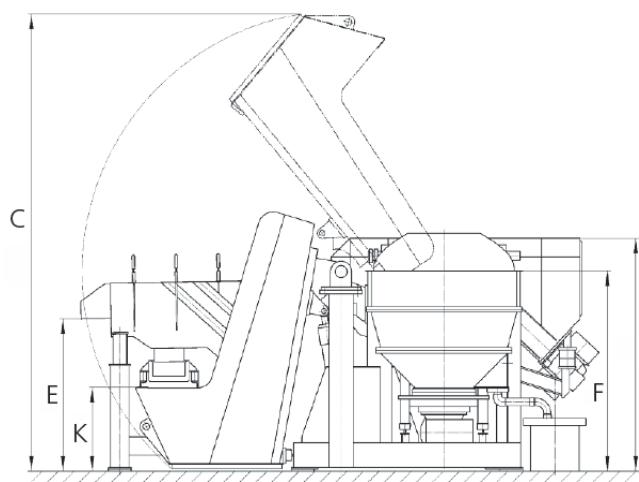
Odstředivé zařízení

Jsou až 10x výkonnější než vibrační stroje. Využívají se k odstraňování velkých otřepů, zaoblování hran a obrušování výstupků. Lze je také použít na jemné zabrušování a leštění.

Pohonná jednotka vyvolává rotační pohyb bubnu, který zrychluje v rozmezí otáček $60 - 250 \text{ min}^{-1}$. Rotující válec pomocí odstředivé síly urychluje pohyb omílacích tělísek, které se pohybují s větší kinetickou energií a tím zvyšuje svou účinnost³⁶.



Obr. 3.12 Schéma stroje s odstředivým bubnem, horní pohled³⁶



Obr. 3.12 Schéma stroje s odstředivým bubnem, boční pohled³⁶

Vibrační žlabové zařízení

Je určeno pro středně velké až velké součásti. Součásti se umísťují do vany, kde jsou upnuty do držáků, nebo jsou umísťovány do menších komor jednotlivě, aby se zabránilo jejich vzájemným srážkám, které by mohly negativně ovlivnit výsledek³⁸.

Rotační vlečné zařízení

Zařízení pro vlečné broušení jsou ideální pro velmi hodnotné obrobky, které jsou náchylné k poškození, a které je nutné brousit nebo leštit bez vzájemného dotyku omílaných dílců. Rotující karusel osazený až dvanácti otočnými vřeteny ponoří připevněné obráběné předměty do brusných tělísek, která jsou v klidu. Rotace karuselu a otáčivý pohyb vřeten přitom zaručuje rovnoměrné opracování obráběného kusu. Variabilní hloubka ponoru a rychlosti otáčivého pohybu umožňuje až 40-ti násobně vyšší úběr materiálu než při konvenčním omílání⁴².

3.3.3 Dosahované výsledky

Při vzájemném pohybu omílacích tělísek a součástí dochází mezi nimi k jejich vzájemnému obrušování. Intenzita obrušování je závislá na materiálu tělísek a součástí, na rychlosti omílání a procesních kapalinách podílejících se na celém procesu. Od těchto skutečností se odvíjí také výsledná jakost povrchu obrobených součástí. Touto metodou je možné vybrousit a vyleštit povrch až na hodnoty $R_z = 0,2\mu\text{m}$ ⁴¹.

3.3.4 Příklady využití

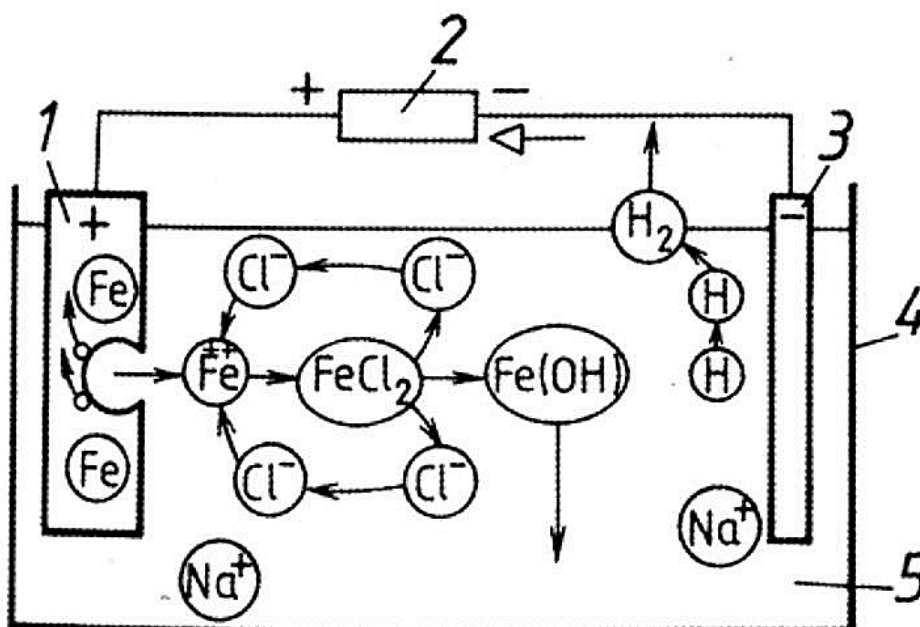
U řady obrobků je požadován hladký povrch. U dekorativních prvků je to lepší design, u kulových čepů nižší tření, u turbínových lopatek tryskových motorů nižší odpor vzduchu, u nábytkového kování tenčí vrstva kovu při následné galvanické úpravě, u šnekových převodů nižší otěr, nižší hlučnost u ložisek atd. Leštění se uplatňuje i při výrobě galanterního zboží, dekorativních prvků, armatur a fitinků, komponentů hudebních nástrojů, ale i zdravotnických výrobků (implantáty, zpevňovací šrouby) a například také u lodních šroubů pro sportovní čluny. Speciální procedury na bázi základní technologie omílání umožňují nahradit drahou ruční práci při odstraňování otřepů, broušení, leštění, a to mnohdy i v lepší technické kvalitě⁴⁰.

3.4 Elektrochemické obrábění

Řízené obrábění elektricky vodivých materiálů. Využívá principů působení elektrického proudu na elektrolyt. Podstatou metody je fyzikální jev zvaný elektrolyza, kterým lze obrábět pouze vodivé materiály⁴³.

Obrobek (anoda) je ponořen do elektrolytu. Mezi nimi dochází k reakci, při níž se kationty elektrolytu slučují s anionty kovu obrobku. Postupně jej rozrušují a ubírají kov z jeho povrchu. Jako elektrolyt se používají sloučeniny NaCl, NaNO₃, NaClO₃, HCl, H₂₄ a NaOH⁴³.

Úběr materiálu závisí na minimální pracovní mezeře mezi obrobkem (anodou) a nástrojem (katodou), jejím udržení na stále stejné velikosti (cca 0,05 až 1mm), na teplotě, rychlosti proudění a složení elektrolytu⁴³.



Obr. 3.13 Princip obrábění elektrochemickým účinkem⁴³

1) obrobek, 2) zdroj, 3) nástroj, 4) pracovní nádoba, 5) elektrolyt

Mezi materiály, které elektrochemicky není možné obrábět patří všechny elektricky nevodivé, ale i některé elektricky vodivé, jako jsou například:

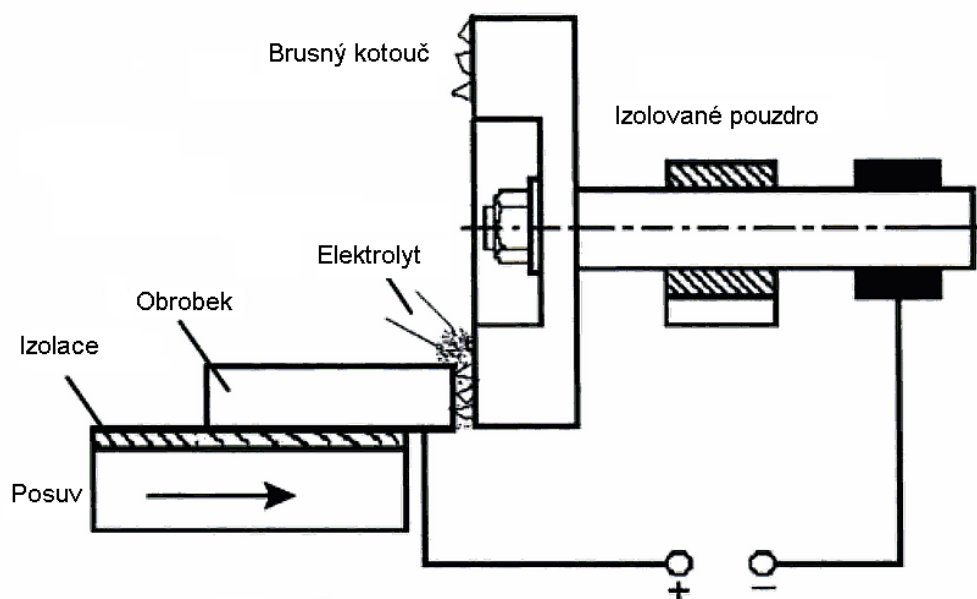
- šedá litina (téměř neobrobitelná)
- slitiny s velkým obsahem uhlíku
- duraly obsahující křemík⁴³.

Elektrolytické obrábění se dělí na:

- 1) obrábění s nuceným odstraňováním produktů vzniklých chemickými reakcemi⁴³:
 - a) odstraňování proudícím elektrolytem:
 - hloubení tvarů a dutin zápustek a forem
 - hloubení otvorů malých průměrů
 - odstraňování otřepů
 - dělení materiálů.
 - b) odstraňování mechanickým účinkem:
 - broušení
 - lapování
 - honování⁴³.
- 2) povrchové obrábění bez odstraňování produktů vzniklých chemickými reakcemi:
 - leštění
 - povrchové značení⁴³.

3.4.1 Elektrochemické broušení

Obráběný materiál je odebírán z 85 až 90 % anodickým rozpouštěním a z 10 až 15 % mechanickým účinkem brousícího kotouče. Zrna brousícího kotouče odstraňují z místa obrábění vzniklé produkty. Pracovní mezera mezi obrobkem a nástrojem je určována velikostí brousících zrn⁴³.



Obr. 3.14 Schéma elektrochemického broušení⁴⁴

Nástroj a pracovní podmínky

Jako nástroje se používají elektricky vodivé brousící kotouče, například se zrna diamantu nebo karbidů hliníku. Zrna jsou vázána kovovým pojivem (nikl, bronz). Rychlost brousícího kotouče je cca $20 - 35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Napětí $4 - 40 \text{ V}$, pro dosažení vyšší přesnosti $3 - 5 \text{ V}$. Mezera mezi elektrodami okolo $0,025 \text{ mm}$. Nástroj má vlivem nízkého zatížení vysokou životnost⁴⁴.

Účinky

Výhodou této metody je obrábění bez silových a tepelných účinků, bez otřepů a malé opotřebení brousícího kotouče. Rychlost úběru materiálu je až 4x rychlejší než u konvenčního broušení, dosahuje hodnot $1,5 \text{ mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Struktura povrchu $R_a = 0,2 - 0,3 \mu\text{m}$. Přesnost broušení běžně okolo $0,2 \text{ mm}$ umožňuje broušení velmi tenkých plechů (cca 1 mm)⁴⁴.

Proces je vhodný pro obrábění těžko obrobitelných materiálů, jako jsou slinuté karbidy, inconel, nimonic slitiny, titanové slitiny, kovové kompozity. Obrobený povrch není zatížen zbytkovým pnutím. Není tepelně namáhán⁴⁴.

Nevýhodou je vysoká cena zařízení a provoz omezený pouze na elektricky vodivé materiály.

3.4.2 Elektrochemické lapování

Pro elektrochemické lapování se používají ocelové nebo litinové kotouče. Do pracovního místa se spolu s elektrolytem přivádějí také volná brousící zrna. Dosahované parametry:

- jakost opracovaného povrchu: $R_a = 0,2$ až $0,5 \mu\text{m}$;
- přesnost rozměrů: $\pm 0,05 \text{ mm}$ ⁴³.

3.4.3 Elektrochemické honování

U elektrochemického honování je kinematika obrábění stejná jako u honování klasického. Honovací hlava má nevodivé lišty a je připojena na záporný pól stejnosměrného napětí, obráběná součást je od rámu stroje odizolována a připojena na kladný pól. Honovací lišty jsou vyráběny ze zrn SiC , Al_{23} nebo diamantu, uložených v kovové vazbě. Na výsledek práce má velký vliv velikost a stabilita pracovní mezery, dokonalost a úplnost rozptýlení elektrolytu v pracovní mezeře. Jako elektrolyt se používají vodní roztoky NaNO_3 nebo $\text{NaNO}_2 + \text{Na}_{23}$ v 15% koncentraci⁴³.

Elektrochemické honování až o 600% zvyšuje produktivitu práce oproti klasickému honování. Je dosahováno stejných parametrů struktury povrchu a přesnosti jako u klasického honování⁴³.

3.4.4 Elektrochemické leštění

Základem elektrochemického leštění je anodické rozpouštění výstupků a nerovností povrchu materiálu v elektrolytu při průchodu stejnosměrného proudu. Nástroj (katoda) se většinou vyrábí z olova (nerozpustného v elektrolytu) a musí mít větší plochu, než má obrobek. Podle materiálu obrobku a požadované jakosti obrobené plochy se používají elektrolyty HCl, H₃₄ nebo H₂₄. Dosahované parametry:

- rychlost úběru materiálu: 0,5 až 0,8 mm³.min⁻¹
- jakost obrobeného povrchu: 40 až 50 % Ra původního povrchu, lze dosáhnout též Ra < 1 μm⁴³.

Využití

Elektrochemické leštění se uplatňuje zejména při dokončovacím obrábění vnitřků nádob (cisteren) užívaných v potravinářském průmyslu, které jsou vyrobeny z korozi-vzdorné oceli (mají průměr 1 až 5 m a délku až 20 m), a k obrábění fólií a tenkostěnných trubek načisto⁴³.

3.5 Termické odstraňování otřepů

Obrábění je založeno na chemicko-tepelném procesu, probíhajícím mezi dvěma látkami, vodíkem a kyslíkem. Obrobky jsou uloženy v uzavřené pracovní komoře, ve které se elektrickou jiskrou zapaluje směs vodíku a kyslíku. Při vzniklé chemické reakci dosáhne teplota v pracovní komoře až 3500°C. Otřepy na hranách shoří za velmi krátkou dobu⁴³.

Po odstranění otřepů je nutné součásti vyprat v ultrazvukových pračkách. Intenzita odstranění otřepů je dána zejména směšovací poměrem vodíku a kyslíku. Používá se poměr 2 : 1⁴³.

Využití

- použitelné pro libovolný tvar dostatečně hmotných obrobků (nemá dojít k ohřátí obrobku nad 100°C)
- použitelné též pro odstraňování otřepů v dutinách
- lze odstraňovat otřepy u kovových materiálů i u plastů
- velká operativnost metody (rychlé přestavení stroje na jiný druh obrobku)⁴³.

3.6 Elektroerozivní leštění

Používají se pulzy o nízké energii a velmi krátké době trvání (3 až 5 μ s). Nástrojové elektrody mají leštěný povrch a při práci konají orbitální pohyb. Pro dosažení lesklého povrchu lze hospodárně leštit plochu do 100 cm²⁴⁵.

Využití

Leštění povrchů forem, u kterých je požadována jakost obrobeného povrchu $R_a = 0,2\mu\text{m}$ ⁴⁵.

3.7 Leštění povrchů laserem

Spočívají v přetavení tenké povrchové vrstvy ($\leq 100\ \mu\text{m}$) s cílem jejího povrchového leštění a vyhlazení za působení povrchového pnutí. Kromě přetavení také dochází k odpaření drobných vrcholů nerovností⁴⁷.

Dosahované výsledky

Laserovým leštěním se dosahuje výrazného snížení drsnosti obráběných povrchů s R_a 1–3 μm na přibližně R_a 0,1 až 0,2 μm , bezdefektního povrchu a povrchu bez mikroskopických zbytků leštících prostředků, což bývá obvyklé při mechanickém leštění⁴⁷. Paprskem laseru lze také zpřesňovat rozměry a tvar obrobku. Jde například o vytváření ostrých vnitřních rohů, které nelze vyrobit frézováním⁴⁶.

Využití

Například u tvářecích nástrojů a forem při zpracování plastů, pryže nebo skla umožňuje náhradu ruční práce automaticky pracujícím strojem⁴⁶. Přetavená vyleštěná povrchová vrstva u nástrojové oceli dosahuje tvrdosti 60 HRC a je bez trhlinek. Většinou jde o leštění kovových materiálů, zvláště pak nástrojových ocelí za použití pevnolátkových Nd: YAG a Nd: YVO₄ laserů⁴⁷.

3.8 Tryskání

Princip je založen na vrhání pracovního media, například kuliček na opracováváný povrch vysokou rychlostí, po dopadu media na opracováváný povrch se jeho kinetická energie přemění na mechanickou práci a teplo, čímž je vyvozen požadovaný účinek⁴⁸.

Tryskání za sucha

Tryskací medium je suché, bez obsahu kapalin.

Tryskání za mokra

Tryskací medium je tvořeno směsí abraziva a procesní kapaliny. Výhody přidání kapalin jsou individuální. Kapalina může sloužit ke snížení prašnosti, aktivnějšímu čištění, k odmaštění nebo naopak konzervaci a podobně⁴⁸.

3.8.1 Tryskání metacími koly

Pracovní medium je unášeno metacími koly, které mu dodávají kinetickou energii. Zařízení je vyráběno jako jednotoučové, nebo s více metacími kotouči. Kotouče využívají přímých i zakřivených lopatek z ocelolitiny, kalené nástrojové oceli nebo speciálních tvrdokovů⁴⁸.

Tryskače se dělí dle manipulace s obrobkem na:

- závěsné
- průchozí závěsné
- bubnové s gumovým nebo ocelovým lamelovým pásem
- s válečkovou tratí
- s drátěným pásem
- s otočným stolem
- se satelitovým taktovým otočným stolem
- diablo“ pro tryskání trubek a kulatiny
- s gumovým pásem pro tryskání betonových prvků⁴⁸.

3.8.2 Tryskání tlakem vzduchu

K unášení media je využíván stlačený vzduch o tlaku odpovídajícímu pracovním podmínkám cca 0,3 – 0,8MPa. Tato metoda slouží jak k úpravě povrchů i ke zpevňování dílů, které jsou vystaveny vysokým nárokům na dlouhodobou životnost.

Proces probíhá v tryskacích komorách, kde dochází převážně k manuálnímu ovládání, a nebo v kabinách, které jsou většinou plně automatizované⁴⁸.

3.8.3 Pracovní media

Volba pracovního media při tryskání zásadně ovlivňuje dosahované výsledky. Často používané jsou například:

Pro zpevňování povrchu

Svou vyšší hmotností oproti materiálům pro čištění způsobují po dopadu na tryskaný povrch jeho plastickou deformaci, při čemž se mění tahové povrchové napětí na tlakové, které je z hlediska odolnosti vůči mechanickému namáhání výhodnější⁴⁸.

- Kalené ocelové kuličky (*kuličkování*)
- Litinové kuličky (*brokování*)
- Sekaný ocelový drát se zaoblenými hranami omíláním (*patentování*)
- Skleněné kuličky (*balotinování*).
- Keramické apod.

Pro čištění povrchu

Pracovním mediem jsou materiály, které mají nižší hmotnost a nezpůsobují na povrchu plastickou deformaci. Využívají své abrazivní vlastnosti, které umožňují povrch bez mechanického poškození čistit⁴⁸.

- Suchý písek
- Směs písku a kapalin
- Suchý led
- Jiné abrazivo.

3.8.4 Využití

Tryskání je technologie, která slouží k finálnímu dokončení povrchu, nebo jeho úpravě před dalším zpracováním, jako například pokovení nebo lakování. Účinkem je čištění nebo zpevnění povrchu ovlivněné volbou pracovního media⁴⁸.

Typickými aplikacemi jsou odstraňování okují, odstraňování otřepů, odjehlování, odstraňování písku a rzi, předúpravy povrchů lakováním, lepením a galvanizováním⁴⁸.

4 ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIÍ A METOD

Objektivně porovnat zmiňované technologie a metody je téměř nemožné. Každá je něčím charakteristická a výjimečná, jak svým principem činnosti, tak účelem jejího využití. Běžně se ke zhodnocení využívá základních požadavků na výrobek, jako například kvalita jeho povrchu, přesnost požadovaných rozměrů a tvaru, rychlost výroby a s tím spojená i cena, která bohužel bývá mnohdy rozhodujícím faktorem.

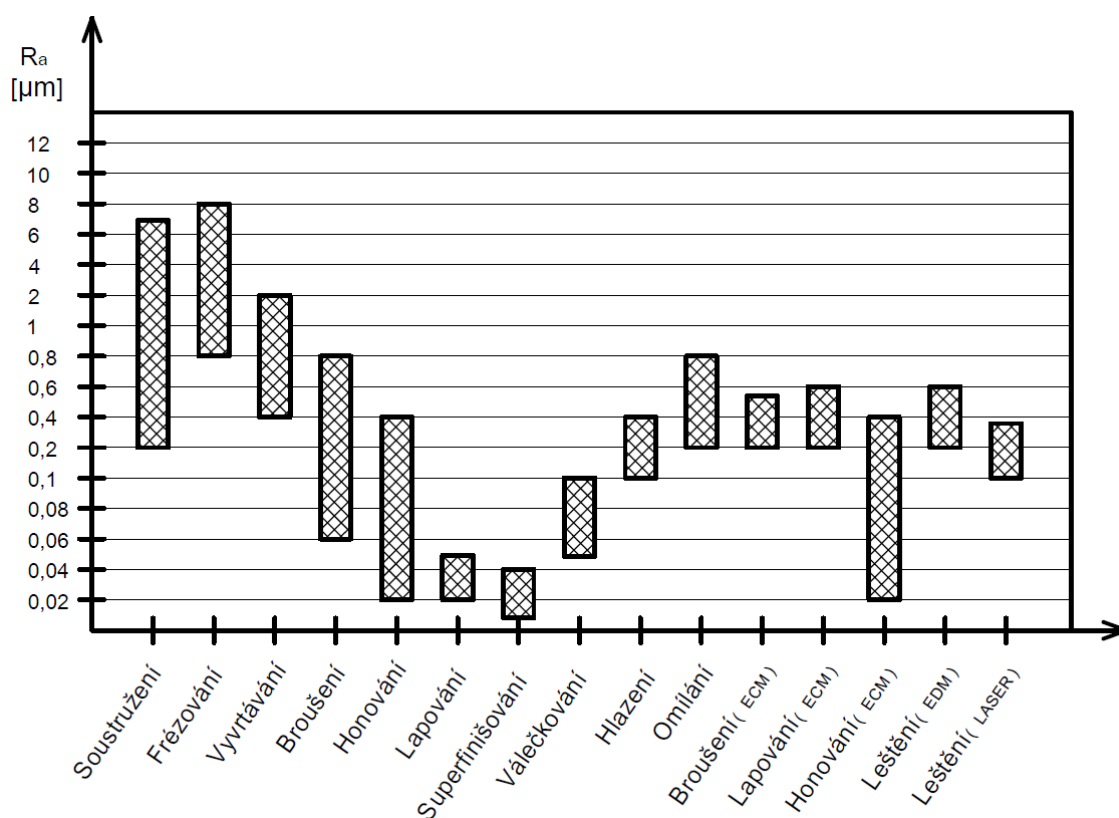
Pro posouzení vybraných technologií a metod dokončování povrchu byly vybrány kritéria rozměrové přesnosti a struktury povrchu R_a . Výsledky, kterých lze dosáhnout jsou ovlivněny velkým množstvím faktorů, kterými jsou například:

- Vlastnosti zpracovávaného materiálu
 - Složení
 - Struktura
 - Homogenita
 - Vady
 - Pevnost
 - Tvrdost
 - Rozměry
 - Hmotnost
 - Tvarová složitost
- Okolní podmínky
 - Teplota
 - Vibrace
- Jakost strojů a nástrojů
 - Tuhost soustavy SNO
 - Řezný materiál
 - Opotřebení
- Lidský faktor a podobné

Proto, pokud není možné dosáhnout stejných podmínek, není možné ani přesně a objektivně tyto technologie a metody posoudit. V následujících obrázcích je zobrazeno, jakých výsledků je možné dosáhnout. Jelikož není uvedeno, za jakých podmínek bylo těchto hodnot dosaženo, mohou se od praktických výsledků v konkrétních případech lišit.

Posouzení struktury povrchu

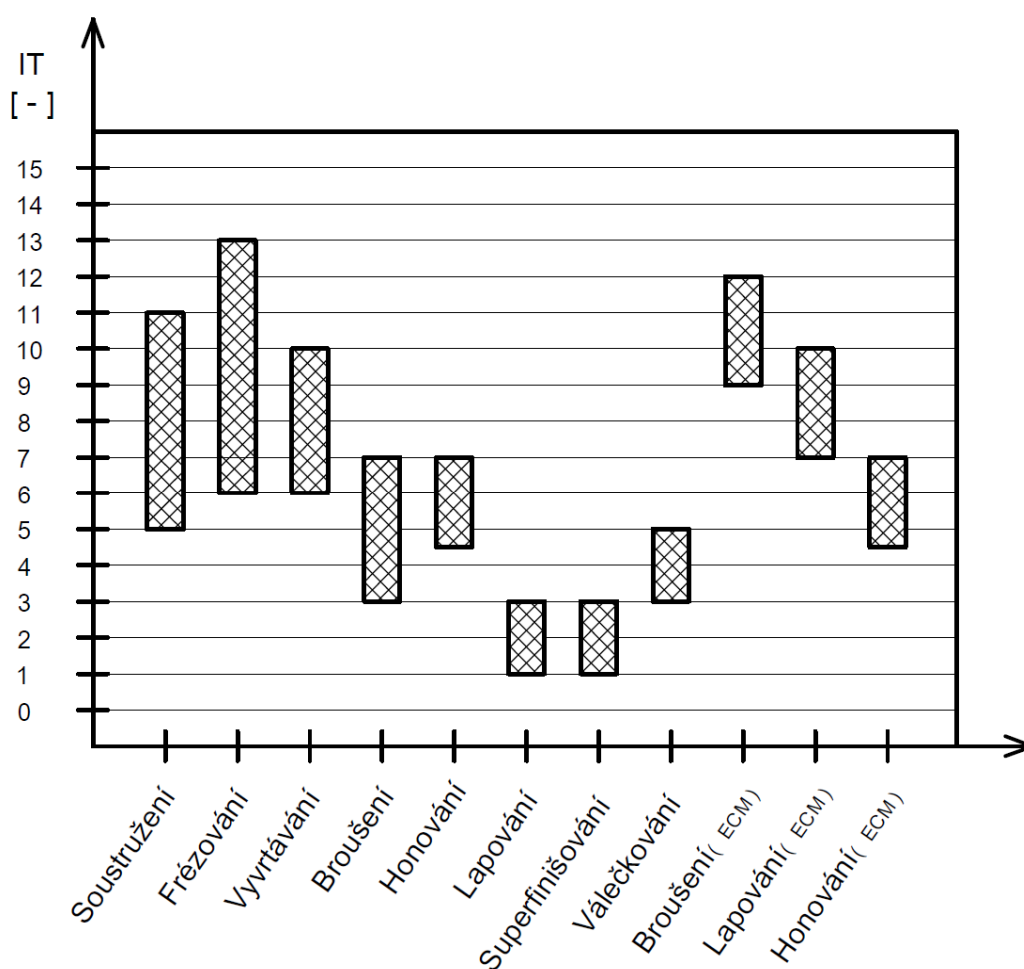
Základním kritériem pro porovnání, jedná-li se o výsledný povrch opracovaných součástí, bývá často průměrná aritmetická úchylka profilu označovaná R_a . Na obrázku (4.1) je schematicky znázorněno, jakých hodnot lze vybranými technologiemi a metodami dosáhnout.



Obr. 4.1 Porovnání struktury povrchu, R_a

Posouzení rozměrové přesnosti

Dalším kritériem, které ve velké míře ovlivňuje jakost výrobku, je jeho rozměrová a geometrická přesnost. Opakovatelnost výroby je důležitým faktorem který ovlivňuje následné sestavení, montáž a následnou zaměnitelnost dílů.



Obr. 4.2 Porovnání přesnosti rozměrů, IT

ZÁVĚR

- Byly vybrány a popsány základní technologie a metody konvenčního i nekonvenčního dokončování povrchu.
- Byly shrnuty základní výsledky těchto technologií, rozměrové přesnosti a průměrné aritmetické úchyly profilu.
- Není možné určit, která technologie nebo metoda je obecně lepší, nebo naopak horší.
- Při jejich vzájemném porovnání je nutné stanovit podmínky a kritéria, podle kterých se budou výsledky porovnávat.
- S ohledem na časovou náročnost nebyly provedeny praktické zkoušky technologií a metod na zkušebních vzorcích, které by mohly vést k objektivnějšímu posouzení výsledků metod dle zvolených kritérií.
- Z výsledků a možností nekonvenčních technologií a metod vyplývá, že jimi není obecně možné nahradit technologie a metody konvenční.
- Z důvodu utajení firemních nákladů se nepodařilo zjistit finanční náročnost k provozu nekonvenčních technologií a jejich výnosů, které by vedly k jejich objektivnějšímu hodnocení.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KOČMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. Technologie obrábění. druhé. Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
2. VAJSKEBR, Jiří; ŠPETA, Zdeněk. *Dokončování a zpevňování povrchu strojních součástí válečkováním*. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1984. 184 s.
3. Yamato [online]. 2006 [cit. 2010-04-30]. Burnishing. Dostupné z WWW: <http://www.yamato.com.tr/roller_burnishing3.html>.
4. Baublies [online]. 2007 [cit. 2010-04-30]. What is roller burnishing. Dostupné z WWW: <http://www.baublies.com/en/was_bedeutet_rol.html>.
5. Burnishing tool : dimensions. In *Burnishing products*. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-04-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.monaghaninc.com/wp-content/uploads/2010/01/rb-2009.pdf>>.
6. Tool : Series-J. In *Specifikations of internal compact rollre burnishing tool*. [s.l.] : [s.n.], 2002 [cit. 2010-04-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.mechindia.com/cat/pdfs/14%20J%2043-48.pdf>>.
7. Ecoroll [online]. 2001 [cit. 2010-04-30]. Homepage. Dostupné z WWW: <<http://www.ecoroll.com/index.htm>>.
8. Tool : Series-E. In *Specifikations of external compact rollre burnishing tool*. [s.l.] : [s.n.], 2002 [cit. 2010-04-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.mechindia.com/cat/pdfs/19%20EH%2048-64.pdf>>.
9. Baublies [online]. 2007 [cit. 2010-04-30]. Kinematics of roller burnishing proces. Dostupné z WWW: <http://www.baublies.com/en/kinematik_rollie.html>.
10. Baublies [online]. 2007 [cit. 2010-04-30]. What material can be roller burnished. Dostupné z WWW: <http://www.baublies.com/en/welche_werkstoff.html>.
11. Yamato : learn about roller burnishing. In *Robuto - Roller burnishing tools*. [s.l.] : [s.n.], 2003 [cit. 2010-04-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.yamato.com.tr/pdf/CatRbtEn.zip>>.
12. ŠPERKA, Petr Struktura povrchu : Dosahovaná drsnost povrchu Ra. In *Struktura povrchu vybraných strojních součástí*. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-04-30]. Dostupné z WWW: <http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/vyuka/Struktura_povrchu_vybranych_t_echnologii_obrabeni.pdf>.

13. *Dokončovací operace* [online]. [cit. 2010-04-30]. Dosahovaná drsnost povrchu a přesnost. Dostupné z WWW: <<http://jhamernik.sweb.cz/Dokoper.htm>>.
14. *Baublies* [online]. 2007 [cit. 2010-05-01]. Company. Dostupné z WWW: <<http://www.baublies.com/en/company.html>>.
15. *Ecoroll* [online]. 2001 [cit. 2010-05-01]. Homepage. Dostupné z WWW: <<http://www.ecoroll.com/index.htm>>.
16. *Mech-India* [online]. 1999 [cit. 2010-05-01]. The Company. Dostupné z WWW: <<http://www.mechindia.com/company.html>>.
17. *Monaghan* [online]. 2010 [cit. 2010-05-01]. About Us. Dostupné z WWW: <<http://www.monaghaninc.com/about-us/>>.
18. *Yamato* [online]. 2006 [cit. 2010-05-01]. About Us. Dostupné z WWW: <<http://www.yamato.com.tr/about.html>>.
19. HAVELKA, Tomáš. Obrábění válečkováním. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2004, 4, [cit. 2010-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-valeckovanim>>.
20. *Baublies* [online]. 2007 [cit. 2010-05-01]. Applications. Dostupné z WWW: <http://www.baublies.com/en/einsatz_standard.html>.
21. *Baublies* [online]. 2007 [cit. 2010-05-01]. Cooling. Dostupné z WWW: <http://www.baublies.com/en/kuehlung_schmier.html>.
22. Surface finishes : machining vs. burnishing. In *Monaghan burnishing products*. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.monaghaninc.com/wp-content/uploads/2010/01/rb-2009.pdf>>.
23. Surface finishes : caring for the roller burnishing tool lubrication. In *Monaghan burnishing products*. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.monaghaninc.com/wp-content/uploads/2010/01/rb-2009.pdf>>.
24. Surface finishes : maintenance. In *Monaghan burnishing products*. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.monaghaninc.com/wp-content/uploads/2010/01/rb-2009.pdf>>.
25. *Baublies* [online]. 2007 [cit. 2010-05-02]. Speed, feed. Dostupné z WWW: <http://www.baublies.com/en/drehzahl_vorschu.html>.
26. Carbide Tools : Outside tool. In *Carbide Roll burnishing tool*. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.monaghaninc.com/wp-content/uploads/2010/01/cb-2009.pdf>>.

27. Carbide Tools : Inside tool. In *Carbide_Roll burnishing tool*. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-05-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.monaghaninc.com/wp-content/uploads/2010/01/cb-2009.pdf>>.
28. *Cogsdill tool products* [online]. [cit. 2010-05-06]. About Us. Dostupné z WWW: <<http://www.cogsdill.com/about/>>.
29. Standard tool specifications : DB-3. In *Diamond burnishing tools*. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.cogsdill.com/pdf/USCatalogs/Cogsdill-Diamond-Burnishing-Tools.pdf>>.
30. How it works : DB-3. In *Diamond burnishing tools*. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.cogsdill.com/pdf/USCatalogs/Cogsdill-Diamond-Burnishing-Tools.pdf>>.
31. *Winter servis* [online]. 2009 [cit. 2010-05-06]. Příklady aplikací. Dostupné z WWW: <http://www.winter-servis.cz/index.php?page=ecoroll/priklady_aplikaci_ecoroll>.
32. Superroll : Vhodné rozměry před válečkováním. In *SUGINO Superroll*. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-05-09]. Dostupné z WWW: <<http://www.sugino.cz/pdf/Sugino%20SUPEROLL%20L2215CZ.pdf>>.
33. *Wheelabrator* [online]. [cit. 2010-05-10]. Omílací technika. Dostupné z WWW: <http://www.wheelabratorgroup.cz/Omilaci_technika.htm>.
34. *Walther trowal* [online]. 2008 [cit. 2010-05-10]. Circular vibrator. Dostupné z WWW: <<http://www.walther-trowal.com/en/products/mass-finishing/rundvibratoren/cb-circular-vibrator/>>.
35. Trohwal surface finishing : circular vibrators model range CB. In *Walter trohwal*. [s.l.] : [s.n.], 2007 [cit. 2010-05-10]. Dostupné z WWW: <http://www.walther-trowal.com/fileadmin/user_upload/Dokumente/cb_eng_web.pdf>.
36. TROWAL MASS FINISHING : Centrifugal disc finishing machines TT...-A. In *Walter trohwal*. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-05-10]. Dostupné z WWW: <http://www.walther-trowal.com/fileadmin/user_upload/Dokumente/tt_eng_1.pdf>.
37. TROWAL SURFACE FINISHING : CONTINUOUS FEED VIBRATORS MODEL RANGE MC. In *Walter trohwal*. [s.l.] : [s.n.], 2003 [cit. 2010-05-10]. Dostupné z WWW: <http://www.walther-trowal.com/fileadmin/user_upload/Dokumente/mc_englisch_08_10_03.pdf>.

38. TROWAL MASS FINISHING : Trough vibrator. In *Walther trohwal*. [s.l.] : [s.n.], 2003 [cit. 2010-05-10]. Dostupné z WWW: <http://www.walther-trowal.com/fileadmin/user_upload/Dokumente/tfm_eng_09.pdf>.
39. *Walther trowal* [online]. 2008 [cit. 2010-05-10]. TFM Vibrator. Dostupné z WWW: <<http://www.walther-trowal.com/en/products/mass-finishing/trough-vibrators/tfm-vibrator/>>.
40. *FLÍDR s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2010-05-10]. Praktické využití technologie omílání. Dostupné z WWW: <<http://www.flidr.cz/stroje/omilani-lesteni-brouseni.aspx>>.
41. Drag finishing : Extremely smoth and high gloss finish. In *Excellent surface finishes on medical implants*. [s.l.] : [s.n.], [cit. 2010-05-10]. Dostupné z WWW: <http://www.rosler-povrchove-upravy.cz/fileadmin/images_roesler/gleitschlifftechnik/schleppschleifanlagen/text_drag_finishing.jpg>.
42. *RÖSLER* [online]. [cit. 2010-05-10]. Zařízení pro vlečné broušení. Dostupné z WWW: <<http://www.rosler-povrchove-upravy.cz/tschechien/omilaci-stroje/zarizeni-pro-vlecne-brouseni.html>>.
43. ŘASA, Jaroslav; KEREČANINOVÁ, Zuzana. Nekonvenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, 10, [cit. 2010-05-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-2-2>>.
44. EL-HOFY, Hassan Machining processes : Conventional and unconventional processes. In *Fundamentals of machining processes:conventional and unconventional processes*. [s.l.] : [s.n.], 2006 [cit. 2010-05-11]. Dostupné z WWW: <http://books.google.cz/books?id=ZdQEZ5pyCv4C&pg=PA410&lpg=PA410&dq=electrochemical+grinding+Ra&source=bl&ots=a7sMf1raXN&sig=6TirkRkGmI4aTZ170AM54CzHP3U&hl=cs&ei=NIDpS5m1LMWOOIDcrJkL&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=6&ved=0CDcQ6AEwBQ#v=onepage&q=electrochemical%20grinding%20Ra&f=true>. ISBN 0-8493-7288-7.
45. ŘASA, Jaroslav; KEREČANINOVÁ, Zuzana. Nekonvenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, 7, [cit. 2010-05-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni>>.
46. ŘASA, Jaroslav; JINDROVÁ, Radka. Lasery, laserové technologie a stroje s laserem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2006, 7, [cit. 2010-05-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-s-laserem>>.

47. ŠMÍD, Jiří. Leštění povrchu laserem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2009, 4, [cit. 2010-05-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/lesteni-povrchu-laserem>>.
48. *Wheelabrator* [online]. [cit. 2010-05-10]. Tryskací zařízení. Dostupné z WWW: <http://www.wheelabratorgroup.cz/Tryskaci_zarizeni.htm>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>Zkratka/Symbol</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Popis</i>
l_k	mm	Délka honovacích kamenů
2α	°	Úhel křížení stop nástroje při honování
v_e	m.min ⁻¹	Rychlost řezného pohybu
r_n	mm	Poloměr zaoblení ostří
α_n	°	Úhel hřbetu
γ_n	°	Úhel čela
v_f	mm.min ⁻¹	Posuvová rychlost
v_c	m.min ⁻¹	Řezná rychlost
ECM	-	Elektrochemical Machining - elektrochemické obrábění
EDM	-	Electrical Discharge Machining - Elektroerozivní obrábění
$l_{1,2}$	mm	Horní a dolní přeběh při honování
l_z	mm	Zdvih honovací hlavy
R_a	μm	Průměrná aritmetická úchylka profilu
v_w	m.min ⁻¹	Rychlost otáčení obrobku při superfinišování
a	mm	Amplituda
ω_k	Hz	Frekvence kmitavého pohybu u superfinišování
α	°	Úhel sklonu stopy po jednom zrně brusiva
PKD	-	Polykristalický diamant

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 2.1 Model záběru brousícího zrna
- Obr. 2.2 Univerzální hrotová bruska
- Obr. 2.3 Bezhrotá bruska pro vnější broušení
- Obr. 2.4 Sklíčidlová bruska na díry
- Obr. 2.5 Vodorovná rovinná bruska s přímočarým vratným pohybem stolu
- Obr. 2.6 Svislá rovinná bruska s přímočarým pohybem stolu
- Obr. 2.7 Kinematika honovacího procesu
- Obr. 2.8 Honovací hlava
- Obr. 2.9 Svislý jednovřetenový honovací stroj
- Obr. 2.10 Varianty upnutí obrobku a honovací hlavy
- Obr. 2.11 Schéma řezného procesu při lapování
- Obr. 2.12 Lapovací nástroje pro ruční lapování
- Obr. 2.13 Svislý lapovací stroj pro vnější válcové a rovinné plochy
- Obr. 2.14 Kinematické schéma superfinišování
- Obr. 2.15 Průběh superfinišovacího procesu- zvětšování nosného podílu
- Obr. 3.1 Diagram válečkovacího procesu
- Obr. 3.2 Porovnání struktury povrchu vytvořeného třískovým obráběním a válečkováním
- Obr. 3.3 Mechanismus stavitelného nástroje pro průchozí otvory
- Obr. 3.4 Schéma vnitřního stavitelného nástroje
- Obr. 3.5 Schéma vnějšího stavitelného nástroje
- Obr. 3.6 Schéma vnitřního pevného nástroje
- Obr. 3.7 Schéma vnějšího stavitelného nástroje
- Obr. 3.8 Schéma hladícího nástroje pro vnější plochy
- Obr. 3.9 Schéma hladícího nástroje pro vnitřní plochy
- Obr. 3.10 Schéma kruhového vibrátoru řady CB s akustickým víkem
- Obr. 3.11 Schéma spirálového vibračního stroje s kontinuální dopravou
- Obr. 3.12 Schéma stroje s odstředivým bubnem
- Obr. 3.13 Princip obrábění elektrochemickým účinkem
- Obr. 3.14 Schéma elektrochemického broušení
- Obr. 3.15 Porovnání struktury povrchu, R_a
- Obr. 3.16 Porovnání přesnosti rozměrů, IT
- Obr. 4.1 Porovnání struktury povrchu, R_a
- Obr. 4.2 Porovnání přesnosti rozměrů, IT

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Výběr technologií a metod

Tab. 2.1 Stlačení povrchu

Tab. 2.2 Rozměry vibrátorů řady CB [mm]

Tab. 2.3 Rozměry vibrátorů řady MC [mm]

Tab. 2.4 Rozměry vibrátorů řady TT [mm]