VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

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

PRINCIP A KONSTRUKCE NÁSTROJŮ PRO VÁLEČKOVÁNÍ

FUNCTION AND CONSTRUCTION OF BURNISHING TOOL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE ELIŠKA HOŠKOVÁ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. OSKAR ZEMČÍK, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2012

Místo tohoto listu bude vloženo zadání (oboustranně). Zadání musí být vevázáno v obou vyhotoveních práce. Do druhého výtisku bude vložena kopie.

Tento list není třeba tisknut!

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zaměřuje na beztřískovou dokončovací metodu válečkováním. Tato práce obsahuje princip metody válečkování, její výhody a využití na základě požadovaných vlastností na obrobenou plochu. Dále jsou popsáný pracovní podmínky při procesu válečkování, rozdělení nástrojů podle použití ve výrobě, doplněné ukázkami nástrojů vyráběné Německou společností Baublies AG. Na závěr je provedeno obecné technicko-ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova

válečkování, vyhlazení, zpevnění, struktura povrchu, válečkovací nástroje

ABSTRACT

Bachelor Thesis is aimed at chipless microfinishing burnishing rolled process. The thesis include principle of burnishing roller method, facilities and usage in view of requested properties of machina surface. The thesis include running conditions of burnishing roller, typem of tooling supplemented pictures of toolings made in Germany company Baublies AG accordance with using in production. Technical– economic evalution is described at the end of thesis.

Key words

burnishing roller, roller smothing, fastening, surface texture, roller tooling

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HOŠKOVÁ, Eliška. *Princip a konstrukce nástrojů pro válečkování.* Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 34 s. 2 přílohy. Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Princip a konstrukce nástrojů pro válečkování** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---------- ----------

Datum Eliška Hošková

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu práce Ing. Oskaru Zemčíkovi, Ph.D. za rady a připomínky při vypracovávání této bakalářské práce. Obchodnímu zástupci společnosti ALBA precision, s.r.o. Petru Machovi za poskytnutí prospektů a animačních videí s válečkovacími nástroji firmy Baublies AG a mé rodině za podporu při studiu.

OBSAH

ABSTRAKT 4
PROHLÁŠENÍ 5
PODĚKOVÁNÍ 6
OBSAH 7
ÚVOD 8
1 ZÁKLADNÍ POJMY TECHNOLOGIE VÁLEČKOVÁNÍ 9
1.1 Princip technologie válečkování 9
1.1.1 Výhody technologie válečkování 9
1.2 Vzužití technologie válečkování 10
1.2.1 Vyhlazení povrchu strojních součástí 10
1.2.2 Zpevnění povrchu strojních součástí 11
1.2.3 Kalibrace povrchu strojních součástí 11
1.3 Tvářecí prvky 12
1.3.1 Konstrukce tvářecích prvků 12
1.3.2 Uložení tvářecích prvků 13
1.4 Pracovní podmínky 13
2 METODY TECHNOLOGIE VÁLEČKOVÁNÍN 16
2.1 Statické válečkování 16
2.2 Dynamické válečkování 16
3 NÁSTROJE PRO VÁLEČKOVÁNÍ A HLAZENÍ 17
3.1 Rozdělení nástrojů 17
3. 2 Popis a charakteristika jednotlivých nástrojů 18
3.2.1 Víceválečkovací nástroje 18
3.2.2 Jednoválečkové a jednokotoučové nástroje 21
3.2.3 Diamantové nástroje 23
3.2.4 Speciální nástroje 25
3.2.5 Hydrostatické nástroje HG2 – HG25 26
3.3 Přiklady aplikací válečkování povrchu 27
3.4 Stroje pro válečkování 27
4. OBECNÉ TECHNICKO–EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ 29
ZÁVĚR 31
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 32
Seznam použitých symbolů a zkratek 33
SEZNAM PŘÍLOH 34

ÚVOD

Válečkování je beztřísková metoda obrábění, která zlepšuje kvalitu povrchu bez úběru materiálu. Válečkované obrobky se vyznačují přesností a kvalitním zpevněným povrchem. Při používání válečkovacích nástrojů již není třeba používat technologie, jako je broušení, lapování nebo honování.

Princip technologie válečkování spočívá v přitlačení tvářecích tělísek k povrchu obrobku, tím dochází k nárůstu tlaku, který překračuje mez kluzu. Tímto způsobem se na povrchu obrobku výstupky a prohlubně srovnají, povrch se zhutní a stane se rovnoměrným. V zásadě lze válečkovat všechny materiály, které jsou schopny plastického přetváření. Pro dosažení optimálních výsledků válečkování je nutné dodržet kvalitu povrchu po předchozím obrábění na hodnotě Rz = 5÷15 µm.

Technologie válečkování se požívá zejména pro vyhlazení povrchu, zpevnění povrchu a kalibrování povrchu. Správné nastavení pracovních podmínek je důležité pro získání požadovaného povrchu válečkované součásti. Mezi ně patří velikost přítlačné síly, rychlost válečkování, pracovní posuv nástroje, počet převáleckování, chlazení a mazání. Podle požadovaných vlastností na obrobenou plochu se válečkovací nástroje dělí na hladící a hladící a zároveň zpevňovací.
Hladícími nástroji získáme zrcadlově hladký povrch. Pro tento účel slouží diamantové nástroje. Zpevňovacími a zaroveň hladícími nástroji kromě dokonalého povrchu získáme zpevnění povrchu součásti, a tím se zvýší meze únavy, pevnost a tvrdost.

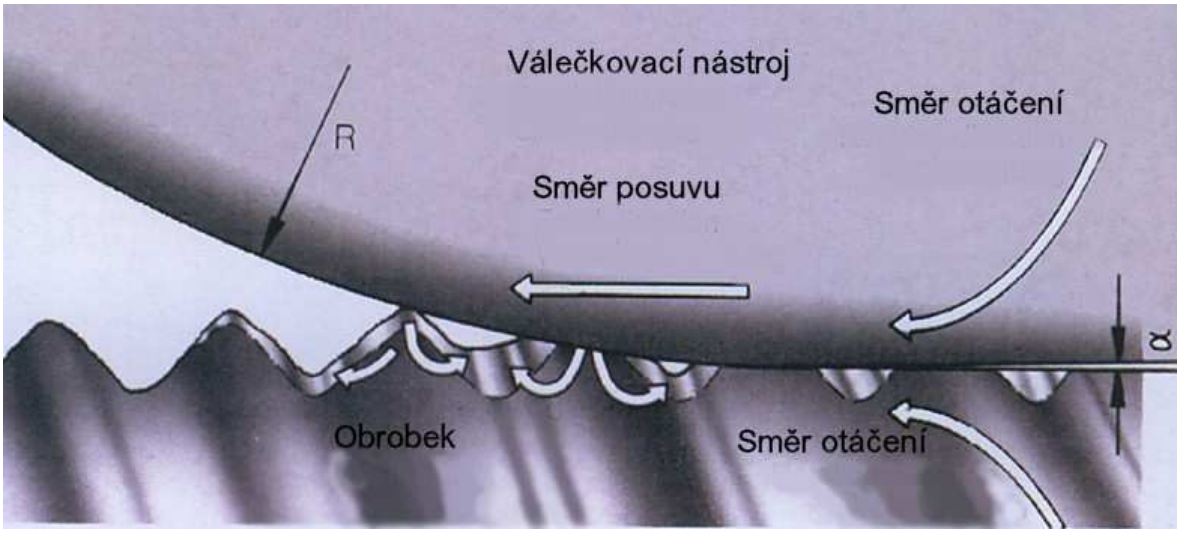
Technologie válečkování se může provádět na všech obráběcích strojích, klasických i CNC řízených, speciálních strojích, výrobních linkách. Válečkovat lze plochy vnitřní, vnější, válcové, rovinné, kuželové, kulovité, různé průměry s i bez osazení, stupňovitá osazení, zkosení, průchozí otvory, slepé otvory, stupňovité otvory, rozšiřující se plochy, drážky, vybrání, zahloubení, přesazení, tvarové povrchy, atd.

Tato práce nás seznamuje s metodou válečkování a nástroji, které jsou zde uvedeny v převážné míře Německou společností Baublies AG.

1 ZÁKLADNÍ POJMY TECHNOLOGIE VÁLEČKOVÁNÍ

1.1 Princip metody válečkování

Prostřednictvím jednoho nebo více tvářecích tělísek dochází na předobrobeném povrchu k plastické deformaci. Špičky povrchu po předchozím obrábění působením tlaku „tečou“ do prohlubní, jak je vidět z obr. 1. Tento proces způsobí podstatné zlepšení drsnosti povrchu a jeho zpevnění. V zásadě lze válečkovat všechny materiály, které jsou schopny plastického přetváření. Válečkovat lze např. i šedou litinu, nelze však dosáhnout tak vysoké kvality povrchu jako např. u ocelí. Pro dosažení optimálních výsledků válečkování je nutné dodržet kvalitu povrchu po předchozím obrábění na hodnotě Ra = 5÷15 µm. [1, 5]



Obr.1 Schéma metody válečkování. [8]

1.1.1 Výhody technologie válečkování [4, 5]

Metoda válečkování má velké možství výhod a těmi jsou:

- zpevnění povrchu,
- hodnota Ra 0,1 µm,
- zvýšení korozní odolnosti,
- vysoká hospodárnost,
- nízké investiční náklady,
- maximální spolehlivost procesu,
- krátké výrobní časy,
- vysoká přesnost lícování,
- konstantní rozměry,
- žádná potřeba broušení,
- vysoká ekologičnost.

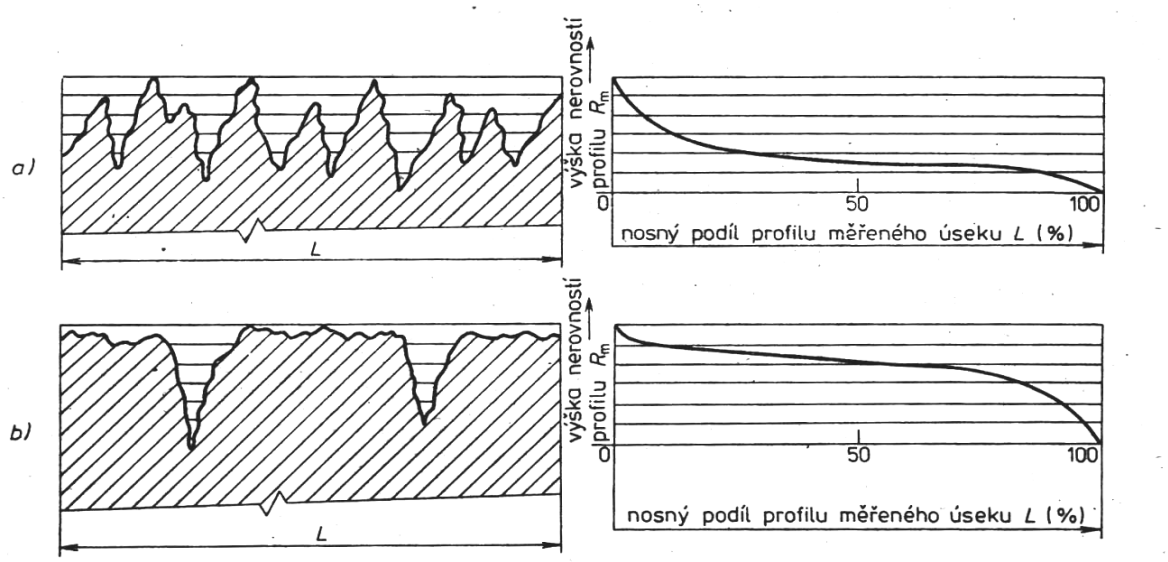
1.2 Využití technologie válečkování

Z hlediska požadovaných vlastností na obrobenou plochu se technologie válečkování používá zejména pro:

- vyhlazení povrchu strojních součástí (tj. snížení mikronerovností),
- zpevnění povrchové vrstvy materiálu strojní součásti (tj. dosažení vyšší meze únavy, pevnosti a tvrdosti),
- kalibraci rozměru strojní součásti (tj. dosažení požadovaných úchylek rozměru, tvaru a polohy). [1, 2]

1.2.1 Vyhlazení povrchu strojních součástí

Válečkováním povrchu strojních součástí se dosáhne snížení výchozí výšky mikronerovností a podstatně nižší hodnoty drsnosti Ra. Na obr. 2a) jsou znázorněny charakteristické tvary skutečných profilů struktury povrchu dosažené třískovým obráběním, např. soustružením nebo frézováním. Na obr. 2b) jsou znázorněny charakteristiky profilů struktury povrchu po válečkování. Z porovnání obrázků je zřejmé, že struktury povrchů jsou odlišné. [1, 2]



Obr. 2. Charakteristické tvary skutečných profilů drsnosti ploch a nosné křivky těchto ploch. a) Plochy obrobené třískově.
b) Plochy válečkované [2]

Dokonalý výsledek válečkování závisí zpravidla na těchto faktorech:

- velikost tlaku nástroje na povrch obrobku,
- výchozí drsnost a tvar mikronerovností,
- mechanické vlastnosti válečkovaného materiálu,
- tvar a jakost povrchu válečkovacího nástroje,
- pracovní posuv válečkovacího nástroje.

Další činitelé podílející se na výsledné hodnotě drsnosti Ra jsou rychlost válečkování, počet předválečkování, způsob chlazení a mazání, metalurgické vady materiálu (porézita, vměstky), poruchy předcházející operace obrábění (rysky, vytrhaný materiál) i činné části tvářecího nástroje.

V tabulce 1. je uvedeno srovnání vlivu různých způsobů opracování povrchů na velikost nosného podílu profilu povrchu. Tato tabulka názorně ukazuje příznivý vliv technologie válečkování na velikost nosného podílu dokončované plochy. [1, 2]

Tab. 1. Velikost nosného podílu profilu při různých způsobech obrábění. [2]

Způsob obrábění	Hodnota Ra [µm]	Nosný podíl [%]
Hrubé soustružení a vrtání	6 – 25	10
Soustružení na čisto	2,5 – 10	25
Jemné soustružení	1 – 4	40
Broušení na čisto	0,6 – 2,5	40
Jemné broušení, honování, lapování	0,16 – 0,6	80
Superfinišování	0,04 – 0,1	90
Válečkování	0,02 – 0,6	80 – 90

1.2.2 Zpevnění povrchu strojních součásti

Vlivem zpevnění povrchové vrstvy materiálu dochází k výrazným změnám mechanických vlastností do hloubky několika milimetrů. Důsledkem zpevnění je snížení možnosti vzniku únavového lomu. Na zvýšení únavové pevnosti strojních součástí má vliv velikost a rozložení vnitřních pnutí v povrchové vrstvě a také vyšší pevnost a tvrdost plochy po válečkování. Tlaková pnutí na povrchu válečkované plochy zabraňují vzniku koroze, rozvoji trhliny a eliminují vliv mikrovrubů. Tato výhodná tlaková pnutí se projevují především u střídavě namáhaných součástí s místy, kde se koncentruje napětí (osazení, zápich, mazací otvor, atd.).

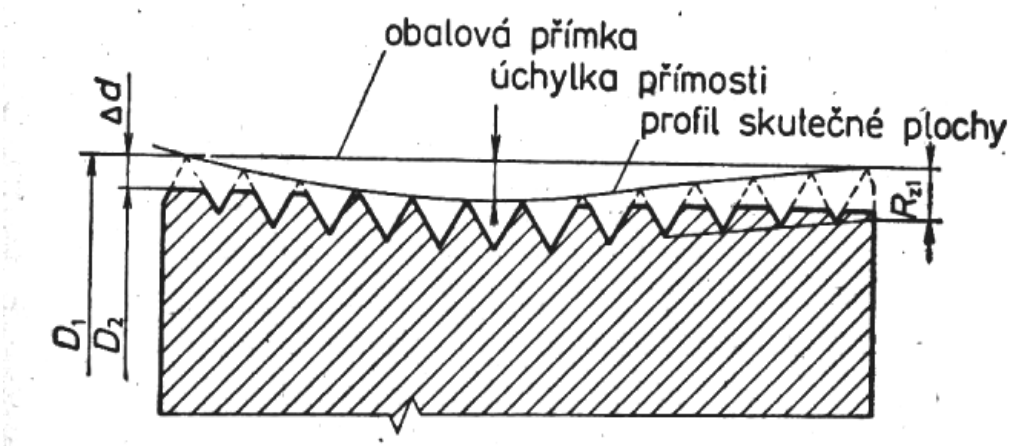
Odvalování nástroje stlačuje zrna struktury kovu, čímž se zvyšuje jeho povrchová tvrdost o 20 - 100 %. Technologické zkoušky provedené po procesu válečkování ukazují, že maximální tvrdost válečkované plochy není na povrchu, ale 0,01-0,3 mm pod povrchem materiálu. [1, 2]

1.2.3 Kalibrování strojních součástí válečkováním

Procesem kalibrování chceme dosáhnout požadovaných úchylek tvaru, polohy (kruhovitost, válcovitost, rovinnost, přímost, atd.) a předepsané tolerance rozměrů. V menší míře se kalibrování vyskytuje u všech druhů válečkování, ale především se objevuje u plastických materiálů. Na obr. 1.3 můžeme vidět průběh kalibrace válcové plochy s úchylkou přímosti, kde dochází vlivem protknutí dráhy nástroje

s křivkou profilu skutečné plochy k plastické deformaci a ke změně rozměru, čímž docílíme zpřesnění geometrického tvaru a snížení úchylky přímosti.

Proces kalibrování má podstatně menší využití než proces hladící či zpevňovací a to z důvodu náročné přípravy polotovaru, přesné seřízení stroje, atd. Kalibrování se uplatňuje v hromadné nebo sériové výrobě. [1, 2]



Obr. 3. Schéma kalibrace plochy s úchylkami přímosti
Rz1 – výchozí drsnost plochy, D1 – výchozí průměr, D2 – průměr po válečkování, µd – hodnota stlačení plochy (kalibrace) [2]

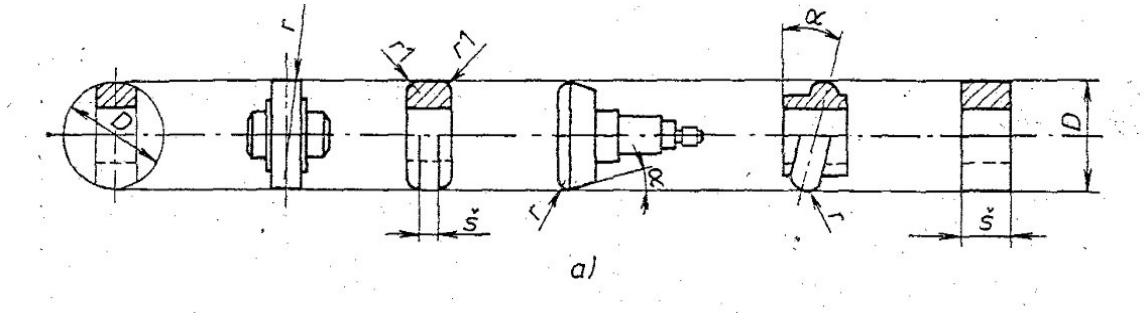
1.3 Tvářecí prvky

Pro správnou funkci procesu válečkování je důležité správně zvolit rozměry a geometrii funkční plochy tvářecích tělísek, které jsou ve styku s válečkovaným povrchem. Při nevhodné volbě tvářecího tělíska může docházet ke vzniku vizuálních stop, vlnitosti nebo porušování válečkovaných ploch. Při nevhodné volbě rozměru může docházet vlivem třecích a valivých odporů ke vzniku vysokých ztrát, opotřebení a zahřívání funkčních ploch nástroje. Jednotlivá tělíska mohou být z různého materiálu – kalená ocel nebo slinutý karbid. Tvářecí tělíska se také mohou povlakovat materiálem, který zlepšuje kluzné vlastnosti. [1, 2]

1.3.1 Konstrukce tvářecích prvků

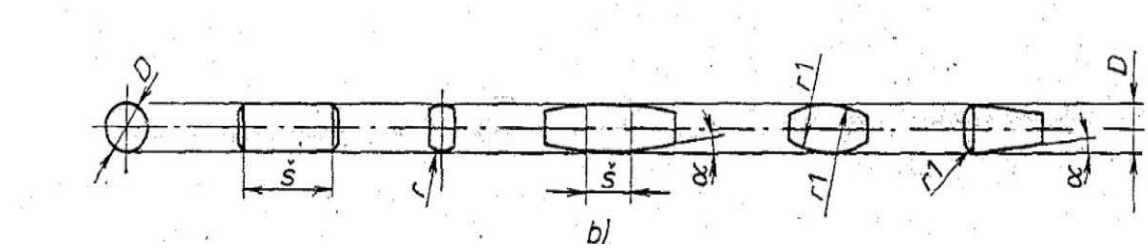
Dle konstrukčního provedení se tvářecí tělíska dělí do tří skupin: [1,2]

- První skupina – do této skupiny se řadí tvářecí tělíska ve tvaru kotoučů, válečků, kladek atd. Tyto tělíska jsou znázorněny na obr. 4a) a jejich společným konstrukčním znakem je nesení na středovém čepu, který zachycuje jednotlivé složky tvářecí síly.



Obr. 4a) Tvářecí tělíska nesena na středovém čepu. [2]

- Druhá skupina – tato skupina je tvořena tělísky ve tvaru válečků, soudečků a kuželíků, které se odvalují po vodící dráze nástroje, viz obr. 4b) Jednotlivé složky tvářecích sil jsou zachycovány vodící drahou



Obr. 4b) Tvářecí tělíska odvalovaná po vodící dráze nástroje. [2]

- Třetí skupina – tvoří ji tělíska uvedená v předchozích dvou skupinách. Používají se při hladícím válečkování smykem nebo při válečkování s dynamickým účinkem tvářecí síly.

1.3.2 Uložení tvářecích prvků

Způsoby uložení válečkovacích tělísek se dělí na:

- Pevné- mezi nástrojem a obrobkem vzniká intenzivní tření (u některých diamantových nástrojů),
- Na ose (náboj v ose tělíska),
- Kluzné (v kleci podepřené jiným valivým elementem)

U tvářecího tělíska je také důležitá jeho velikost poloměru zaoblení .Při zvětšení poloměru se sníží hodnota drsnosti válečkovaného profilu. S rostoucí velikostí tvářecího tělíska roste lineárně síla potřebná pro přitlačení tohoto tělíska. [2]

1.4 Pracovní podmínky při válečkování

Správné nastavení pracovních podmínek je důležité pro získání požadovaného povrchu válečkované součásti. Důsledkem nevhodného nastavení pracovních podmínek je nízká produktivita, nedostatečné zpevnění nebo vyhlazení

válečkovaného povrchu. V tab. 2. je optimální nastavení pracovních podmínek při procesu válečkování. [1,2]

Tab. 2. Nastavení pracovních podmínek při procesu válečkování. [2]

Nastavované parametry	Výchozí hodnoty
Válečkovaný průměr D	70 [mm]
Tvářecí síla F	2000 [N]
Posuv na otáčku f	0,2 [mm]
Výchozí hodnota drsnosti Ra	2,5 a 3,2 [µm]
Materiál polotovaru – značka oceli dle ČSN, Značka oceli dle EN nebo EN ISO, Číslo materiálu W.Nr.	11 600 E335 1.0060

Velikost přítlačné síly při válečkování

Přítlačná síla ovlivňuje hloubku plastické deformace, zpevnění a drsnost povrchu. Přítlačná síla je přímo závislá na poloměru válečkovacího nástroje (čím větší je poloměr tím větší je přítlačná síla).

U dynamického válečkování přítlačná síla není konstantní a lze ji u většiny válečkovacích nástrojů a zařízení měnit v určitém rozsahu. Velikost přítlačné síly pro malé válečkovací nástroje se pohybuje v rozmezí od 100 do 2 500 N, pro nástroje s velkým poloměrem zaoblení do hodnoty 20 000 N. [1, 2]

Rychlost válečkování

Rychlost válečkování znamená rychlost, kterou se tvářecí tělísko válečkovacího nástroje pohybuje po válečkované ploše součásti. Při statickém válečkování ploch rotačním způsobem je rychlost válečkování přibližná obvodové rychlosti plochy součásti nebo nástroje. Lineárně s rychlostí stoupá teplota a pohybuje se v rozmezí od 25 do 100 ˚C

Při válečkování rovinných ploch je rychlost válečkování dána rychlostí smýkadla nebo stolu pracovního stroje. U metod pracujících na principu staticky působících tvářecích sil má rychlost válečkování jen malý vliv na vyhlazení, zpevnění nebo kalibraci součásti. [1, 2]

Pracovní posuv nástroje

Při procesu válečkování patří podélný posuv k hlavním pracovním podmínkám, které ovlivnují zejména drsnost válečkovaného povrchu a produktivitu válečkování. Příliš velký posuv se negativně projeví na integritě povrchu a vlnitosti, připadně může způsobit rozrušení povrchové vrstvy.

Velikost pracovního posuvu se většinou určuje podle průměru válečkované součásti z grafu, který dodává výrobce nástroje. Nejběžněji používaná hodnota posuvu na otáčku je od 0,05 do 0,5 mm, pro válečkování tvrdých materiálů je hodnota od 0,02 do 0,1 mm. [1, 2]

Počet převálečkování

Převálečkování je opakované válečkování na již jednou válečkovaném povrchu. U druhém pracovního cyklu dojde ke zlepšení hodnoty drsnosti Ra. Při dalších cyklech se už drsnost povrchu nemění, naopak může dojít k porušení povrchové vrstvy. Vícenásobné válečkování snižuje produktivitu práce a prodlužuje výrobní čas, proto se uplatnuje jen ve vyjímečných případech.

Vícenásobné válečkování má význam ve zpevnování povrchu součástí, kde dosáhneme větší hloubky zpevněné vrstvy a do určité hranice také větší tvrdost povrchové vrstvy materiálu. [1, 2]

Chlazení a mazání

Nástroj spolu s obrobkem vyžadují chlazení a mazání čímž se dosáhne odstranění značných tangenciálních složek sil a lepší výsledné hodnoty drsnosti Ra, při vyšší rychlosti válečkování.

Pro klasické válečkování se použije běžná chladící emulze, pro náročnější druhy válečkování s použitím speciálních nástrojů jsou vhodné minerální oleje. Při válečkovací technologii hlazení se může použít směsi petroleje, jako mazací tekutiny a tak se dosáhne výrazně lepší hodnoty drsnosti Ra. Velmi důležité je aby mazací prostředky byly čisté a bez kovových částic. [1, 2]

Další Faktory ovlivňující výsledek procesu válečkování

Pokud se proces válečkování aplikuje na univerzálních obráběcích strojích (soustruh, frézka, hoblovka atd.) je nutné předem znát rozsah jejich pracovních parametrů, výkonů, přesností, tuhostí atd. Tyto stroje většinou vyhovují pro válečkovací technologii hlazení. U zpevňovacího válečkování se musí stroj posudit z hlediska tuhosti vodících a upínacích částí.

Proces válečkování musí probíhat v čistém bezprašném prostředí.Je nutné očistit plochy před válečkováním, dále zajistit filtraci mazací a chladící emulze, aby v ní nezůstaly nečistoty, které by mohli ulpívat na povrchu a tím snížit výslednou integritu povrchu součásti. Po ukončení válečkovací operace se musí nástroj řádně vyčistit, doplnit mazivo a případně opravit funkční plochy tvářecích tělísek.

Výsledek válečkování také mohou ovlivnit geometrické vlastnosti polotovaru (technologický přídavek,výchozí hodnota drsnosti Ra, úchylky rozměrů a tvaru) a druh válečkovaného materiálu. [1, 2]

2. Druhy válečkování

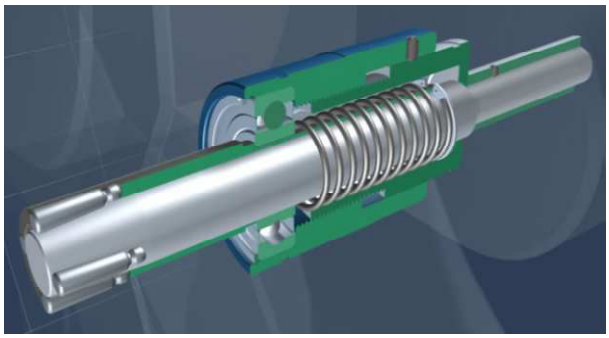
2.1 Statické válečkování

Při statickém válečkování působí na dokončovanou plochu váleček, který se odvaluj po povrchu součásti viz. obr. 5. Aktivní povrch válečku menšího průměru zvyšuje hloubku zpevnění, naopak většího průměru zlepšuje hodnotu drsnosti Ra. Velikost tvářecí síly je konstantní, nebo se v průběhu válečkování pozvolna mění. Nástroje pro statické válečkování jsou většinou s odpruženým tvářecím tělískem, nebo s vyvozením tvářecí síly hydraulicky. Tyto nástroje jsou především využity v kusové výrobě, ale pro rozměrnější obrobky v sériové výrobě. Tvářecími tělísky jsou nejčastěji kuličky, zaoblené kotouče nebo válečky. [1]

Obr. 5. Jednokotoučový variabilní nástroj pro statické válečkování. [6]

2.2 Dynamické válečkování

Při dynamickém válečkování je nástroj v kontaktu s povrchem součásti v časově omezeném silovém impulsu, při kterém vzniká plastická deformace. Silové impulzy jsou na tvářecí tělíska vyvozeny např. mechanicky pomocí rotujícího kužele, kroužkem s vačkovými plochami atd. Přítlačná síla může být vyvozena mechanicky, pneumaticky, magneticky, odstředivou silou i kombinovaně. Dynamickým válečkováním se dosáhne velké hloubky zpevnění a používá se pro zpevňovací a hladící válečkování. Na obr.6 je zobrazen nástroj pro dynamické válečkování vnitřních ploch. [1]



Obr. 6. Dynamický nástroj pro válečkování vnitřních ploch. [6]

3. NÁSTROJE PRO VÁLEČKOVÁNÍ A HLAZENÍ

Nástroj se volí podle požadované technologie válečkování. Plochu součásti můžeme válečkovacím procesem vyhlazovat, zpevňovat nebo kalibrovat.

Vlastní konstrukční řešení je ovlivněno např. sériovostí výroby, geometrickým tvarem a druhem materiálu válečkovaného polotovaru, charakterem tvářecí síly, tvarem tvářecího tělíska atd.

Válečkovat lze plochy vnitřní, vnější, válcové, rovinné, kuželové, kulovité, různé průměry s i bez osazení, stupňovitá osazení, zkosení, průchozí otvory, slepé otvory, stupňovité otvory, rozšiřující se plochy, drážky, vybrání, zahloubení, přesazení, tvarové povrchy, viz. obr. 7. [1, 6]

Obr. 7. Plochy obráběné válečkováním. [6]

Mezi nejvýznamnější firmy zabývající se výrobou nástrojů pro válečkování jsou Baublies AG, Yamaha, Ecoroll AG, Wenaroll tools and systems

3.1 Rozdělení válečkovacích nástrojů

Podle požadovaných vlastností na obrobenou plochu

- Nástroje hladící a zároveň zpevňovací – jsou to klasické válečkovací nástroje pro dokončování rotačních součástí vnitřních i vnějších povrchů s tvrdostí 45 HRC a dosažitelnou drsností až Rz 1,0 μm.
- Nástroje hladící – jsou to diamantové hladící nástroje. Menší kontaktní plocha mezi diamantovým hrotem a povrchem materiálu vyžaduje nižší sílu při plastické deformaci a rozšiřuje oblast využití nástrojů pro povrchy s tvrdostí až 60 HRC [6, 7]

Podle konstrukčního provedení

1. Víceválečkové nástroje:
   - pro vnitřní válečkování,
   - pro vnější válečkování.

2. Jednoválečkové a jednokotoučové nástroje:
   - modulární systémové nástroje,
   - jednokotoučový variabilní nástroj,
   - jednokotoučový kompaktní nástroj.

3. Diamantové nástroje:
   - variabilní diamantový nástroj pro opracování povrchů,
   - diamantový nástroj pro vnitřní kužely,
   - diamantový nástroj pro vnitřní obrábění,
   - diamantový nástroj pro vnější obrábění.

4. Speciální válečkovací nástroje:
   - speciální vícestupňový nástroj,
   - nástroj pro kulové plochy,
   - nástroj pro vnější tvary / rádiusy,
   - nástroj pro zpěvnění ploch rádiusů.

5. Hydrostatické nástroje

Podle materiálu tvářecích tělísek:
   - nástroje s tvářecími tělísky ze slinutých karbidů,
   - nástroje s tvářecími tělísky z kalených ocelí,
   - nástroje s tvářecími tělísky z diamantů.

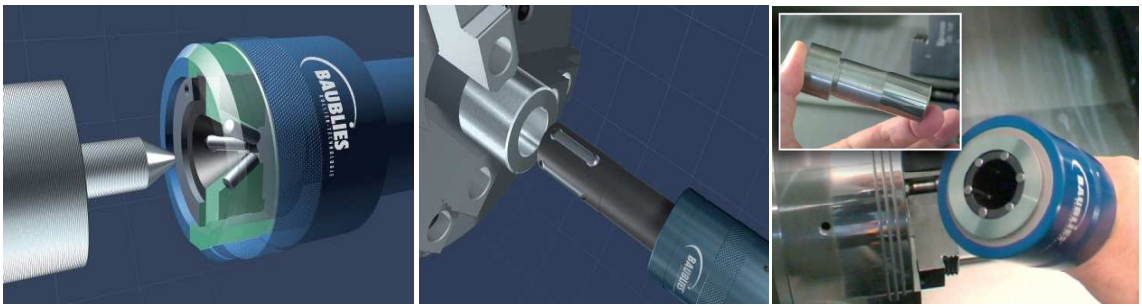
3.2 Popis a charakteristika jednotlivých nástrojů

Následující nástroje jsou vyráběné Německou společností Baublies AG a Ecoroll AG.

3.2.1 Víceválečkové nástroje

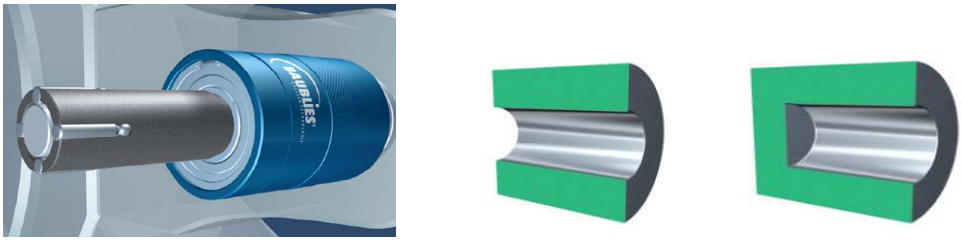
Jsou určeny pro vnější i vnitřní válečkování otvorů, povrchů hřídelů, vnitřních a vnějších kuželů. Optimální hloubka drsnosti před válečkováním činí15µm, přesnost IT8 nebo lepší. Maximální tvrdost nesmí přesáhnout 45 HRC. Na obr. 8 jsou zobrazeny různé typy víceválečkových nástrojů.

Nástroje jsou tvořeny několika základními částmi:
   - válečkovací hlava s výměnnými válečky (4 až 26 válečků) dle průměru
   - klec, ve které jsou válečky uloženy
   - kužel slouží k jemnému nastavení a korekci válečkovaného průměru
   - těleso nástroje - stopka (válcová, MK, VDI, jiné provedení) [6, 7]

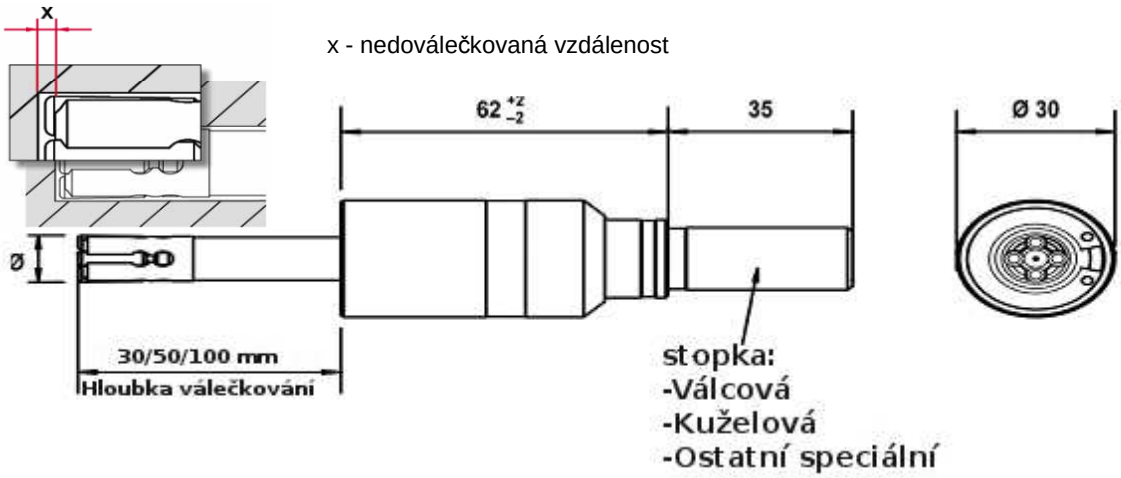


Obr. 8. Různé víceválečkové nástroje. [6, 7]

Vnitřní válečkovací nástroj pro průchozí a slepé díry IRG-2-S



Obr. 9. Vnitřní válečkovací nástroj pro průchozí a slepé díry. [7]



Obr.10. Schéma nástroje IRG-2-S. [7]

Označení IRG-2-S: I – vnitřní
R - válečkovací
G - nástroj
2– velikost nástroje
S – pro slepé díry

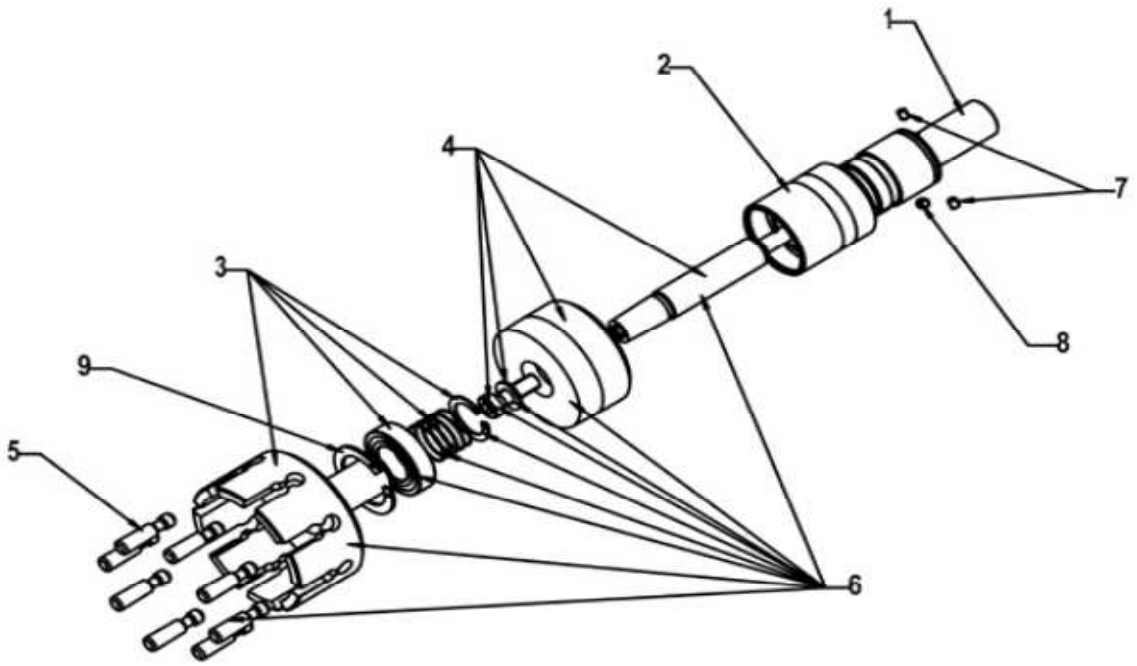
Tab. 3. Technické parametry nástroje IRG-2-S. [7]

Opracování	Průchozí a slepé otvory
Rozsah průměrů	4,9 ÷ 20,8 mm
Rozsah seřízení	-0,1 ÷ 0,2 mm
Válečkovací hloubka do Ø8 mm	30 mm, 50 mm
Válečkovací hloubka od Ø8 mm	30 mm, 50 mm, 100 mm
Standartní uchycení	válcová stopka Ø10 ÷ 25, Morse kužel 1 ÷ 4

Tab. 4. Nastavovací parametry nástroje IRG-2-S. [7]

Přídavek na obrábění	do 0,02 mm
Předpětí nástroje	do 0,02 mm
Směr otáčení nástroje	Pravotočivé
Mazání	emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40□m)
Předchozí operace obrobku	Drsnost povrchu do 15 mm, tolerance IT8
Maximální tvrdost obrobku	45 HRC

Jednotlivé díly IRG-2-S



Obr.11 Náhradní díly IRG-2-S. [7]

Tab. 5. Jednotlivé díly IRG-2-S. [7]

1	Upínač
2	Objímka
3	Klec, Kuličkové ložisko, Pružina, Těsnící kroužek
4	Kuželový čep
5	Válečky
6	Válečkovací hlava
7	Stavěcí šroub pro kuželový čep
8	Stavěcí šroub pro objímku
9	Těsnící kroužek

3.2.2 Jednoválečkové a jednokotoučové nástroje

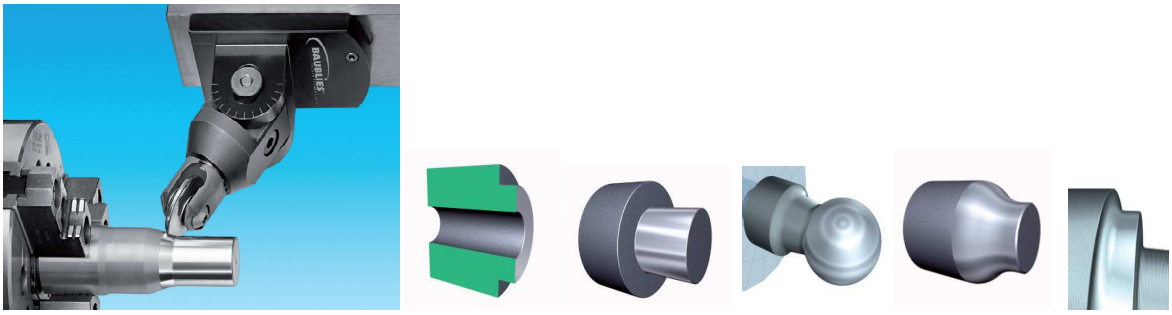
Variabilní jednokotoučový nástroj díky nastavení úhlu válečkovací hlavy umožňuje optimální přizpůsobení kontuře povrchu a nejvýhodnější podmínky pro válečkování. Rozsah natočení válcovací hlavy je ± 90° s možností aretace po 15°. Rychlost válečkování se pohybuje až na hranici 200 m/min, posuv 0,05 až 0,3 mm/ot. Podmínky je nutné vždy přizpůsobit konkrétním případům.

Modulární nástrojové systémy se vyznačují robustní konstrukcí a jsou určeny pro technologie válečkování na rotačně symetrických součástech za účelem úpravy povrchu nebo při pevnostním válečkování. Modulární válečkovací nástroj je vhodný pro válečkování vnějších i vnitřních ploch a pro drážky.

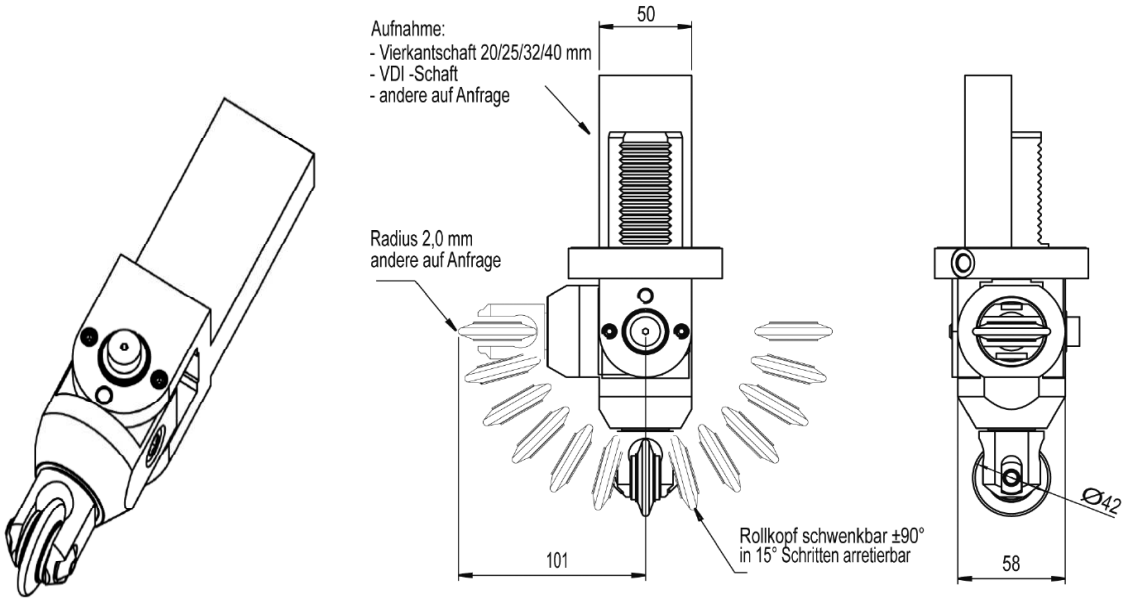
Modulární válečkovací nástroj využívá pro prácí jen jeden váleček. Ostatní válečky jsou určeny pro výměnu, právě používaného válečku po ukončení jeho životnosti. Výměna válečku je velmi snadná, stačí pouze povolit jeden šroub a otočit hlavu do polohy, ve které je náhradní váleček. Na obr. 12. jsou uvedeny druhy jednoválečkových a jednokotoučových nástrojů. [6, 7]

Obr. 12. Jednoválečkové a jednokotoučové nástroje. [6, 7]

Variabilní jednokotoučový nástroj pro kopírování povrchů



Obr. 13. Variabilní jednokotoučový nástroj. [7]



Obr.14. Schéma variabilního jednokotoučového nástroje. [7]

Tab. 6. Technické parametry jednokotoučového variabilního nástroje. [7]

Opracování	vnější obrábění hřídele, kontury, drážky
Stopka	čtyřhran
Rozsah natočení	± 90°s možností aretace po 15°
Poloměr válečku	R=2 mm

Tab. 7. Nastavovací parametry jednokotoučového variabilního nástroje. [7]

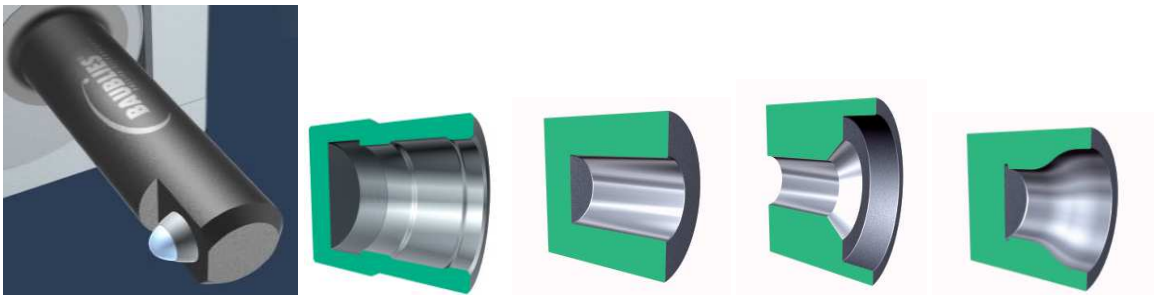
Rychlost válečkování	do 200 m.min^{-1}
Přídavek na obrábění	do 0,02 mm
Předpětí nástroje	do 1 mm
Posuv	0,05 až 0,3 mm / ot
Mazání	emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40μm)
Předchozí operace obrobku	drsnost povrchu do 15 μm
Maximální tvrdost obrobku	45 HRC

3.2.3 Diamantové hladící nástroje

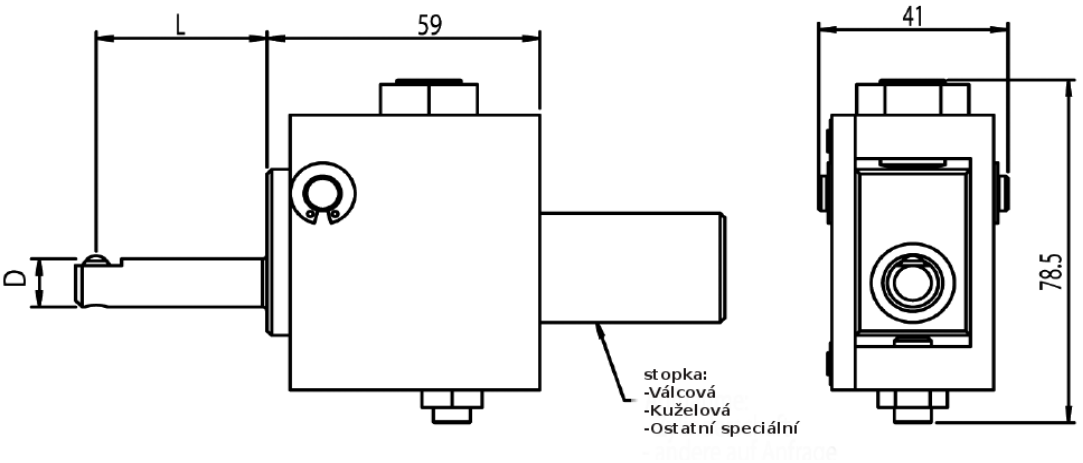
Jsou to variabilní nástroje s odpruženým diamantovým hrotem pro opracování vnějších i vnitřních tvarů a hřídelů za účelem úpravy povrchu. Výhodou je univerzální použití, opracování materiálu až do 60 HRC, možnost výměny matrice, ve které je diamant uložen. Samotný diamant lze přebrousit. Na obr. 15. jsou znázorněny diamantové hladící nástroje pro opracování různých ploch. [6, 7]

Obr. 15. Diamantové hladící nástroje.

<u>Diamantový hladící nástroj vnitřní</u>



Obr. 16. Diamantový hladící nástroj vnitřní. [7]



Obr. 17. Schéma diamantového hladícího nástroje. [7]

Tab. 8. Technické parametry diamantového hladícího nástroje. [7]

Opracování	v obrábění otvorů a obrysů
Standartní stopka	válcová 20/25 mm

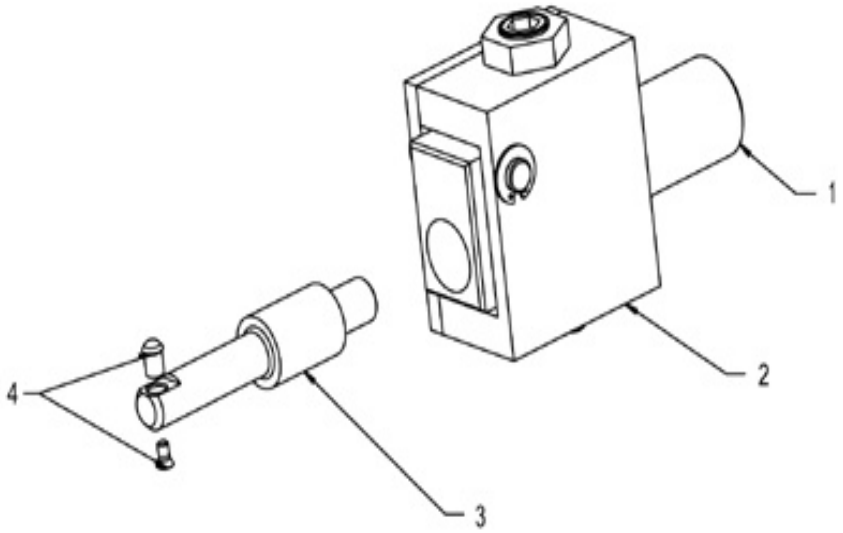
Tab. 9. Nastavovací parametry diamantového hladícího nástroje. [7]

Rychlost vyhlazení	až 150 m.min^{-1}
Posuv	0,05÷0,2 mm
Přídavek na obrábění	do 0,02 mm
Předpětí nástroje	do 1 mm
Mazání	emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40□m)
Předchozí operace obrobku	drsnost povrchu do 15 mm
Maximální tvrdost obrobku	65HRC

Náhradní díly nástroje

Tab. 10 Náhradní díly.

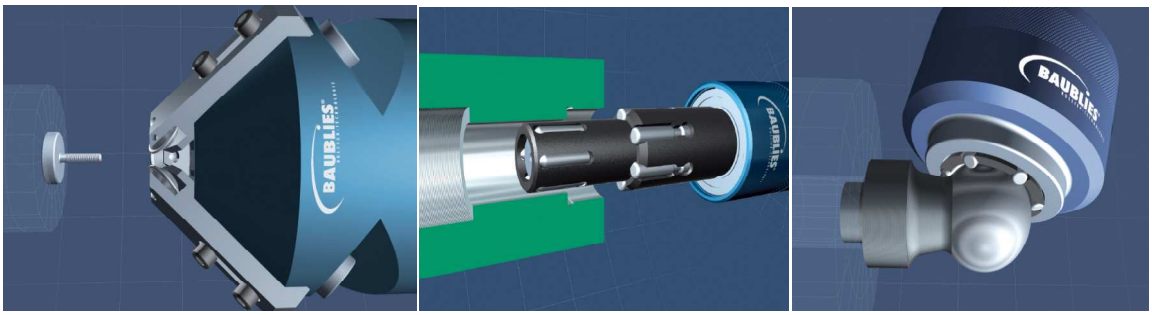
1	Upínač
2	Tělo
3	Držák
4	Diamant



Obr. 18 Náhradní díly nástroje. [7]

3.2.4 Speciální nástroje

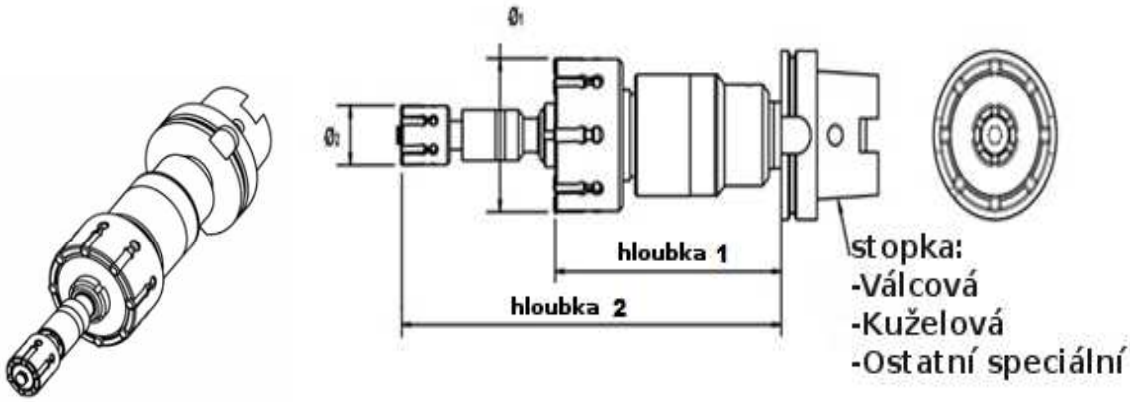
Speciální nástroje umožňují opracování nestandardních ploch, kterými jsou např. vícestupňové otvory, kulové plochy, rádiusy, viz. obr. 19. [6]



Obr. 19. Speciální nástroje. [7]

Válečkovací nástroj pro stupňovité otvory

Obr.20 Válečkovací nástroj pro stupňovité otvory. [7]



Obr. 21. Schéma plečkovacího nástroje pro stupňovité otvory. [7]

Tab. 13. Technické parametry válečkovacího nástroje se stupňovitými otvory. [7]

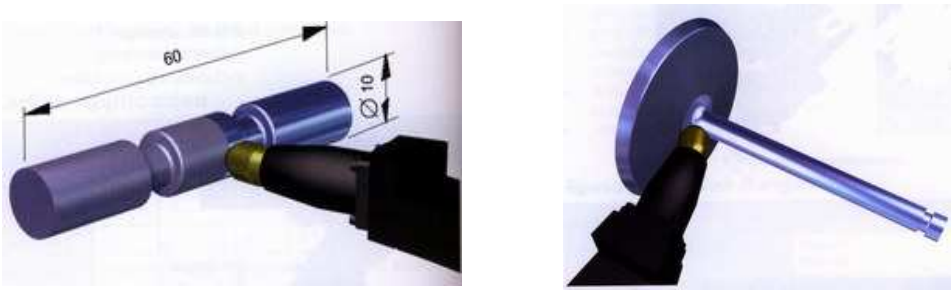
Opracování	Stupňovité otvory
Hloubka	Dle specifikace zákazníka
Standartní stopka	Válcová nebo morze kužel

Tab. 14. Nastavovací nástroje válečkovacího nástroje se stupňovitými otvory. [7]

Válečkovací rychlost	Až 150 $m.min^{-1}$
Předpětí nástroje	do 0,02 mm
Směr otáčení nástroje	pravotočivé
Mazání	Emulze nebo olej
Předchozí operace obrobku	Drsnost povrchu do 15 mm, tolerance IT8
Maximální tvrdost obrobku	45 HRC

3.2.5 Hydrostatické nástroje HG2 – HG25

Slouží k válečkování i velmi složitých tvarů, viz. obr. 22. Vhodné pro válečkování povrchu iválečkování do hloubky.Použitelné pro materiály až do 65 HRC.



Obr. 23. Hydrostatické nástroje. [8]

Válečkovací kulička je vyrobena z velice tvrdého materiálu. Tato kulička je hydrostaticky podpírána stlačenou kapalinou (olej nebo emulze). Ecoroll k tomuto účelu dodává vysokotlaká čerpadla. Při práci dochází k malému úniku kapaliny kolem kuličky, což zajišťuje funkci hydrostatického ložiska mezi kuličkou a jejím lůžkem a zároveň dochází i k potřebnému mazání mezi kuličkou a obrobkem. Velikost kuličky se volí podle tvaru a členitosti obrobku. V praxi se vyskytují kuličky průměru 2, 3, 4, 6, 13 a 25 mm, viz obr. 24

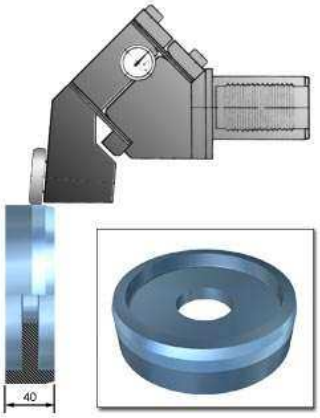
.

Obr. 24. HG válečkovací kulička a pouzdro kuličky. [8]

Hydrostatické nástroje nacházejí uplatnění při válečkování složitých tvarů, neboť kulička se může volně otáčet všemi směry i při velkých rychlostech z důvodu nízkého tření (hydrostatické ložisko). Válečkování do hloubky pomocí HG nástrojů výrazně zvyšuje únavovou pevnost a tím životnost dynamicky namáhaných součástek. [8]

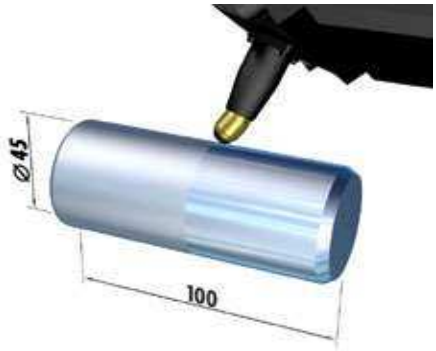
3.3 Přiklady aplikací válečkování povrchu

Tlakové kroužky pro zadní nápravy užitkových automobilů se v zušlechtěném stavu na jedno upnutí osoustruží a vyválečkují na válcové a náběhové ploše. Oproti původní technologii se snížily náklady na polovinu, viz . obr. 25. [8]



Obr.25 aplikace válečkování na tlakovém kroužku**.** [8]

Kalený brzdový píst pro kolejová vozidla je válečkován hydrostatickým nástrojem, viz. obr. 26. Původní zmetkovitost 10% byla eliminována, obrábění je rychlejší, odpadá nutnost přesouvat dílec na jiný stroj a náběhové hrany jsou snadno zaoblovány. [8]



Obr. 26. Aplikace válečkování na kaleném brzdobém pístu. [8]

3.4 Stroje pro válečkování

Technologie válečkování se může provádět na všech obráběcích strojích, klasických i CNC řízených, speciálních strojích, výrobních linkách.
Válečkovací zařízení RM 2/35 je určeno pro úpravu vnějších povrchů hřídelových součástí od průměru 2÷35 mm bez omezení délky součásti, viz obr.27.
Válečkování probíhá průběžným způsobem, posuv součásti je zajištěn konickým uspořádáním válečků. Dosažitelná drsnost součásti je shodná s klasickými válečkovacími nástroji, R_a 1,0 µm. [6, 1]

Obr. 27. Stroj RM 2/35. [6]

Tab. 15 Technické parametry stroje RM 2/35. [6]

Rozsah průměrů	2÷35 mm
Rozsah nastavení otáček ve třech	450/700/1400 ot.min^{-1}
Připojovací napětí/proud	400 V/16 A
Rozsah sklopení	180° ve 30°krocích
Přídavek na součást	0,02 mm
Mazání	olej
Max. tvrdost součásti	45 HRC

4. TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

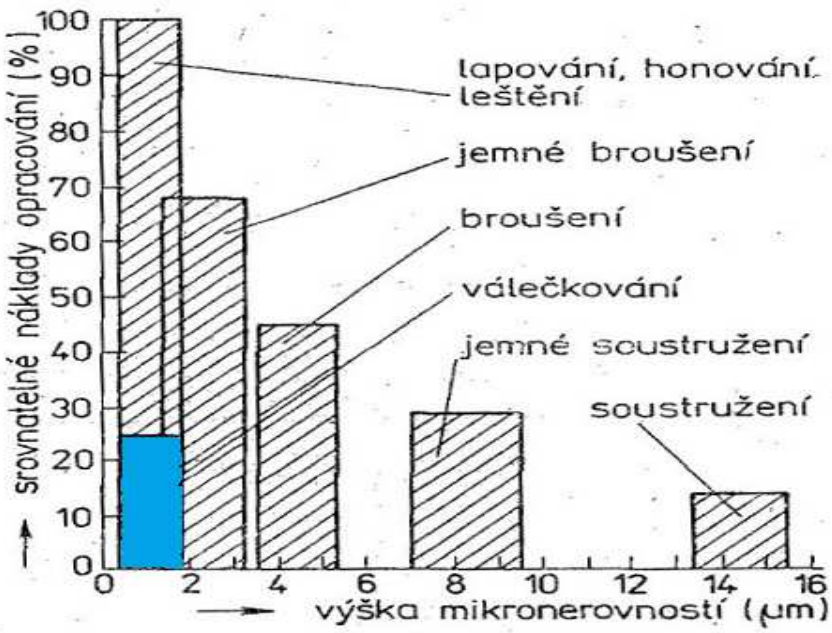
Válečkovací technologie se dostává v současné době mezi populární způsoby opracování materiálů nejen díky svým nesporným technickým přednostem, nýbrž i z důvodu nízkých investičních nákladů, které díky značně rychlé amortizaci vedou k velmi dobrému předpokladu vysokého návratu investic. Dokončovací metoda válečkování dokáže kromě velmi hladkého lesklého povrchu, ještě povrchovou vrstvu zpevnit a zlepšit tak otěruvzdornost a antikorozní vlastnosti materiálu, což žádná jíná dokončovací metoda nedokáže.

Válečkováním docílíme značné úspory a to zejména zvýšením produktivity práce, úsporou elektrické energie, snižováním váhy výrobků, potřeba menších výrobních ploch, úspory při nákupu strojních zařízení, nahrazení drahého tepelného zpracování, ručních pomalých prací a nákladných způsobů konvenčních způsobů dokončování jako např. jemné vyvrtávání, broušení, honování, superfinišování atd. Válečkováním se materiál zpevňuje, a proto je možné použít k výrobě některých součástí i méně hodnotné oceli, čímž ušetříme na drahých legovacích přísadách a tepelném zpracování. [2, 4]

Výhody technologie válečkování:

- maximální spolehlivost procesu,
- krátké časy obrábění,
- vysoká přesnost lícování,
- konstantní rozměry,
- značná dynamická pevnost,
- drsnost povrchu,
- vysoká hospodárnost,
- nízké investiční náklady.

V grafu na obr. 4.1 jsou porovnány výrobní náklady dokončovacích metod v závislosti na dosažení drsnosti povrchu. [2]



Obr. 4.1 Výrobní náklady jednotlivých metod obrábění v závislosti na dosažené drsnosti povrchu [2]

Díky tomu, že se metoda válečkování praktikuje mnohdy na univerzálních obráběcích strojích ušetříme za drahé dokončovací stroje jako brusky, honovačky, leštičky, popřípadě pracoviště pro tepelné zpracování. [4]

ZÁVĚR

Snahou této práce je objasnit technologii válečkování, vysvětlit princip a zákonitosti této metody, čemuž je věnována první kapitola práce. Je v ní dále přehled tvářecích prvků nástroje, nastavení pracovních podmínek pro spravný chod a nesporné výhody této metody.

V další časti se soustředíme na dva hlavní způsoby technologie válečkování, což je statické a dynamické válečkování. Rozdíl je v působení přítlačné síly tvářecího tělíska k povrchu opracovávané součásti. U statického válečkování je velikost tvářecí síly konstantní. Při dynamickém válečkování je nástroj v kontaktu s povrchem součásti v časově omezeném silovém impulsu, při kterém vzniká plastická deformace.

Dále je pozornost věnována rozdělení nástrojů, jejich rozmanitost, popis a charakteristika. Ukázky nástrojů jsou vyráběné Německou společnosti Baublies AG a Ecoroll AG. Příklady aplikací válečkování povrchu a ukázka a popis speciálního stroje pro válečkování RM 2/35.

Konec práce je věnován obecnému technicko-ekonomickému zhodnocení, z kterého je jasně vidět, že dokončovací metoda válečkování je oproti všem ostatním dokončovacím metodám nejvýhodnější jak z hlediska technického tak i z hlediska ekonomického.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Odborná literatura

[1] PÍŠKA, Miroslav, et al. *Speciální technologie obrábění*. 1. Brno : CERM, 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

[2] VAJSKEBR,J. ŠPETA Z. *Dokončování a zpevňování povrchu strojních součástí válečkováním.* Praha: SNTL 1984.

[3] ADAM,V.: *Zpevňování a zpřesňování povrchu*. Praha, SNTL 1966. 147s.

Elektronické zdroje

[4] HAVELKA, T. *Hladký povrch s dvojitým efektem* [online]. 2007 [cit. 2012-04-05] URL: < http://www.mmspektrum.com/clanek/hladký-povrch-s-dvojitým efektem>.

[5] HAVELKA, T. *Obrábění válečkováním* [online]. 2007 [cit. 2012-04-05] URL: < http://www.mmspektrum.com/clanek/obrábění-válečkováním>.

[6] Baublies AG – firemní stránky [cit. 2012-04-05] URL: < http://www.baublies.com/en/index.html>.

[7] ALBA precision – firemní stránky [cit. 2012-04-05] URL: < http://www.albaprecision.cz/en/index.html>.

[8] Winter-servis – firemní stránky [cit. 2012-04-05] URL: < http://www.winter-servis.cz/en/index.html>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
F	N	síla vyvolávající tlak
HRC		tvrdost podle Rockwella,tvrdost
IT		přesnost rozměrů
Ra	μm	drsnost povrchu
Rm	μm	výška nerovností profilu
R_{z1}	μm	výchozí drsnost plochy

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. Animační videa použití jednotlivých válečkovacích nástrojů vyrobené společností Baublies AG.

Příloha 2. Katalog válečkovací nástrojů vyráběných Německou společností Baublies AG.

...