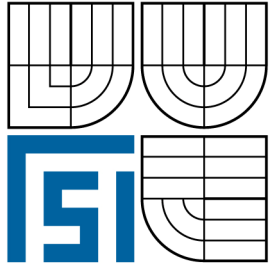


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁSTROJE PRO VÁLEČKOVÁNÍ VE**  
**STROJÍRENSVÍ**  
**ROLLER BURNISHING TOOLS IN ENGINEERING**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**DAVID HENZL**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. OSKAR ZEMČÍK, Ph.D.**

BRNO 2008

## ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá beztrískovou technologií obrábění válečkováním a nástroji se zaměřením na válečkování kruhových otvorů a navazujících ploch. V první části práce jsou objasněny základní pojmy týkající se dokončování a zpevňování strojních součástí válečkováním. V další části je provedeno rozdělení nástrojů vyráběné Německou společností Baublies AG. V následující části jsou příklady využití metody válečkování ve strojírenské výrobě. Dále je provedeno technicko – ekonomické zhodnocení a srovnání s konvenčními metodami dokončování, jako je lapování, honování, superfinišování, leštění, broušení, vyhrubování a vystružování, vyvrtávání, vyhlazování povrchu diamantem a kuličkování. V závěru práce jsou uvedeny předpoklady do budoucna.

### Klíčová slova

válečkování, válečkovací nástroje, příklady využití, lapování, honování, superfinišování, broušení, leštění, vyhrubování a vystružování, vyvrtávání, kuličkování, hlazení diamantem, předpoklady do budoucna

## ABSTRACT

This bachelor work deals with chipless technology of roller burnishing and tools with bearing on roller burnishing of circular orifices and back-to-back surfaces. In the first part of the work elementary connections concerned with finishing and hardening of machine components by roller burnishing are explained. In the next part the classification of tools produced by German company Baublies AG is realised. In the following part there are examples of roller burnishing method utilization in the machine industry. Hereafter, the technical – economical evaluation and comparison with conventional methods of finishing such as lapping, honing, superfinishing, polishing, grinding, core – drilling and reaming, boring work, diamond burnishing and shot peening is realised. In the conclusion of the work the assumptions for the future are given.

### Key words

roller burnishing, roller burnishing tools, examples of usage, lapping, honing, superfinishing, grinding, polishing, core – drilling and reaming, boring work, shot peening, diamond burnishing, assumptions for future

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HENZL, D. *Nástroje pro válečkování ve strojírenství*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 58 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Nástroje pro válečkování ve strojírenství* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně 19.května 2008

.....

David Henzl

## **Poděkování**

Děkuji tímto svému školiteli Ing. Oskaru Zemčíkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce. Obchodnímu zástupci společnosti ALBA precision, s.r.o. Janu Gruntovi za poskytnutí prospektů a animačních videí s válečkovacími nástroji firmy Baublies AG a panu Ing. Jiřímu Micheleovi za zprostředkování exkurze do společnosti TOS KUŘIM – OS, a.s.

**OBSAH**

Abstrakt.....	5
Prohlášení.....	6
Poděkování.....	7
Obsah.....	8
Úvod.....	10
1 ZÁKLADNÍ POJMY PŘI DOKONČOVÁNÍ A ZPEVŇOVÁNÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ VÁLEČKOVÁNÍM.....	11
1.1 Podstata metody válečkování.....	11
1.1.1 Účinky metod válečkování.....	11
1.1.1.1 Zpevňování povrchové vrstvy materiálu strojních součástí.....	12
1.1.1.2 Vyhlazení povrchů strojních součástí.....	12
1.1.1.3 Kalibrování strojních součástí válečkováním.....	14
1.1.2 Směr působení tvářecí síly.....	14
1.1.3 Tvary tvářecích prvků pro válečkování.....	15
1.2 Volba pracovních podmínek při válečkování.....	17
2 NÁSTROJE PRO VÁLEČKOVÁNÍ A JEJICH ROZDĚLENÍ.....	18
2.1 Základní rozdělení nástrojů vyráběné společností Baublies AG.....	18
2.1.1 Plochy, které mohou být válečkovány.....	19
2.1.2 Nástroje pro válečkování kruhových otvorů a navazujících ploch...20	
2.1.2.1 Vnitřní válečkovací nástroje pro průchozí otvory.....	20
2.1.2.1.1 Náhradní díly.....	22
2.1.2.1.2 Výměna náhradních dílů.....	23
2.1.2.2 Vnitřní válečkovací nástroje pro průchozí a slepé otvory.....	23
2.1.2.2.1 Náhradní díly.....	32
2.1.2.2.2 Výměna náhradních dílů.....	32
2.1.2.3 Modulární vnitřní válečkovací nástroje.....	33
2.1.2.4 Diamantové hladící nástroje.....	34
2.1.2.4.1 Náhradní díly diamantového hladícího nástroje.....	35
2.1.2.5 Speciální válečkovací nástroje pro stupňovité otvory.....	36
2.1.2.6 Kombinované nástroje pro třískové obrábění a hlazení.....	37
2.1.3 Chlazení a mazání.....	38
2.1.4 Chyby a jejich příčiny, odstraňování nedostatků.....	38
3 PŘÍKLADY VYUŽITÍ VÁLEČKOVÁNÍ VNITŘNÍCH PLOCH.....	40
4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	41
5 SROVNÁNÍ S KONVENČNÍMI METODAMI DOKONČOVACÍCH OPERACÍ OBRÁBĚNÍ VNITŘNÍCH PLOCH.....	43
5.1 Abrazivní dokončovací operace obrábění.....	43
5.1.1 Lapování.....	43
5.1.1.1 Technologické charakteristiky.....	43
5.1.2 Honování.....	44
5.1.2.1 Technologické charakteristiky.....	44
5.1.3 Superfinašování.....	45
5.1.3.1 Technologické charakteristiky.....	45
5.1.4 Broušení.....	46
5.1.4.1 Technologické charakteristiky.....	46
5.1.5 Leštění.....	47

5.1.5.1 Technologické charakteristiky .....	47
5.2 Další dokončovací operace vnitřních otvorů .....	48
5.2.1 Vyhrubování a vystružování .....	48
5.2.1.1 Technologické charakteristiky .....	48
5.2.2 Vyvrtávání .....	48
5.2.2.1 Technologické charakteristiky .....	48
5.3 Beztržkové metody dokončování povrchů .....	49
5.3.1 Kuličkování .....	49
5.3.1.1 Technologické charakteristiky .....	49
5.3.2 Vyhlazování povrchu diamantem .....	50
5.3.2.1 Technologické charakteristiky .....	50
5.3.3 Válečkování .....	50
5.3.3.1 Technologické charakteristiky .....	50
5.4 Celkový přehled dokončovacích operací obrábění .....	51
5.5 Srovnání na základě pracnosti .....	52
6 PŘEDPOKLADY DO BUDOUCNA .....	53
Závěr .....	54
Seznam použitých zdrojů .....	56
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	57
Seznam příloh .....	58

## ÚVOD

Při neustále se zvyšujících požadavcích na technické parametry strojů, provozní spolehlivosti aj. je nutné zvyšovat kvalitu jednotlivých strojních součástí, při současném dosažení co nejlepší ekonomické efektivity. Pro splnění těchto požadavků se právě metoda válečkování může stát značným přínosem.

Válečkování je beztržisková metoda obrábění, která zlepšuje kvalitu povrchu bez jakéhokoliv úběru materiálu. Princip válečkovacího nástroje spočívá v přitlačení jednoho nebo více tvářecích tělísek ve tvaru válečků, kuželíků, soudečků aj. k povrchu obrobku, čímž se na povrchu obrobku vyvine tlak, který má za následek překročení meze kluzu materiálu. Prohlubně a výstupky, které zůstaly na povrchu po předchozím obrábění se srovnají a povrch se stane rovnoměrným. Tímto způsobem můžeme odstraňovat z povrchu soustruženého obrobku vady a nečistoty řádově v tisícinách milimetrů.

Při přípravě obrobku je potřeba brát v úvahu několik faktorů mezi které patří geometrie řezného nástroje, přídavek na obrábění, vzor povrchu. Bude-li po předchozí výrobní operaci, jako například vrtání vystružování, soustružení, povrch příliš poznamenán hlubokými prohlubněmi, tak použití válečkovacích nástrojů nebude vhodné, protože válečkovací nástroje kopírují povrch a velké rozměrové nepřesnosti a trhliny budou vidět i po použití této metody.

Dosažení co nejlepších výsledků závisí na mnoha faktorech, například na velikosti tlaku nástroje na povrch obrobku, tvaru a jakosti povrchu válečkovacího nástroje, posuvu válečkovacího nástroje, mechanických vlastnostech válečkovacího materiálu, výchozí drsnosti a tvaru mikronerovností.

Konstrukční řešení nástrojů pro válečkování (obr.1) je rovněž ovlivněno řadou podmínek, a to sériovostí výroby, druhem a geometrickým tvarem materiálu válečkovacího povrchu, určením technologie opracování polotovaru před válečkováním, charakterem tvářecí síly, tvarem tvářecího prvku apod.

Hlavním cílem této práce je seznámení s metodou válečkování a používanými nástroji. Se zaměřením na válečkování kruhových otvorů a navazujících ploch.

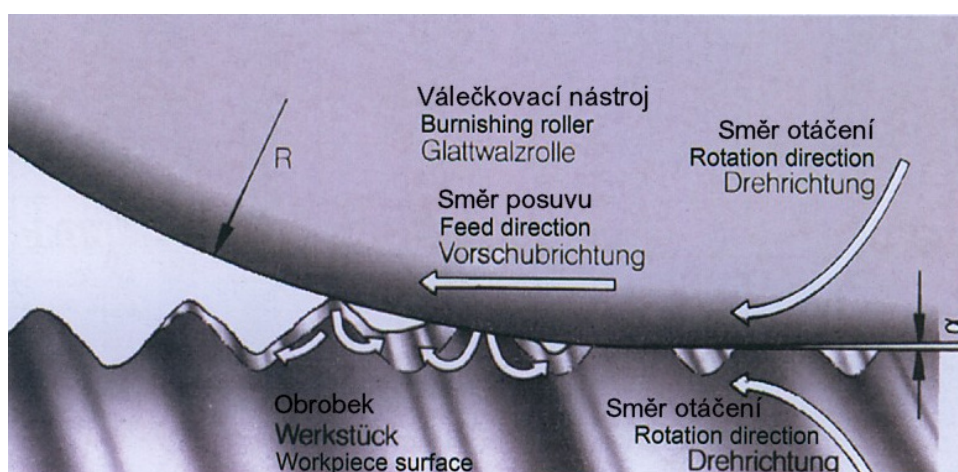


**Obr. 1** Nástroj pro válečkování válcové díry [15]

## ZÁKLADNÍ POJMY PŘI DOKONČOVÁNÍ A ZPEVNĚVÁNÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ VÁLEČKOVÁNÍM

### 1.1 Podstata metody válečkování

Podstata válečkování spočívá v působení jednoho nebo více tvrdých tvářecích prvků (váleček, kulička, hladící trn apod.) proti povrchu obrobku téměř kolmou silou. Povrch obrobku ve většině případech bývá předem třískově opracován. Tlak, který vznikne při styku tvářené součásti a tvářecího nástroje má za následek vznik plastické deformace povrchové vrstvy. Při válečkování povrchu dochází k objemovým a geometrickým změnám. Objem materiálu z vrcholů povrchu se přesouvá (jakoby „přeteče“) do míst s nižším napětím (do prohlubní), vyplňuje je zdola a dochází k postupnému snižování vrcholů mikrone rovnosti způsobené předcházející operací. Toto je zobrazeno na obr. 1.1 [8, 16]



**Obr. 1.1** Schéma geometrických a objemových změn materiálu při válečkování [16]

V procesu válečkování kromě snižování mikrone rovnosti nastává ovlivnění metalurgické struktury vrstvy materiálu a ke zpevnění, které je u různých kovů odlišné v důsledku jejich rozdílných krystalových mřížek. Z pravidla vnější vrstvy se zpevní více, než vrstvy vnitřní. Zpevněním kovu válečkováním dochází ke změně mechanických vlastností a to k poklesu vrubové houževnatosti, tažnosti a naopak vzroste mez kluzu, pevnost a tvrdost. [8]

#### 1.1.1 Účinky metod válečkování

Z hlediska požadovaných vlastností plochy po válečkování se válečkování používá pro

- zpevnění povrchové vrstvy materiálu strojní součásti
- vyhlazení povrchu strojní součásti
- kalibraci rozměru strojní součásti

### 1.1.1.1 Zpevnění povrchové vrstvy materiálu strojních součástí

Rozhodující účinek spočívá v intenzivním zpevnění válečkované vrstvy. Tato vrstva do níž se vnesou příznivá tlaková pnutí může dosáhnout až několik milimetrů.

Lomy strojních součástí, které vznikají během provozu mají z 90% charakter únavového lomu. Zpevnění povrchové vrstvy je obrovským přínosem pro snížení možnosti vzniku tohoto lomu.

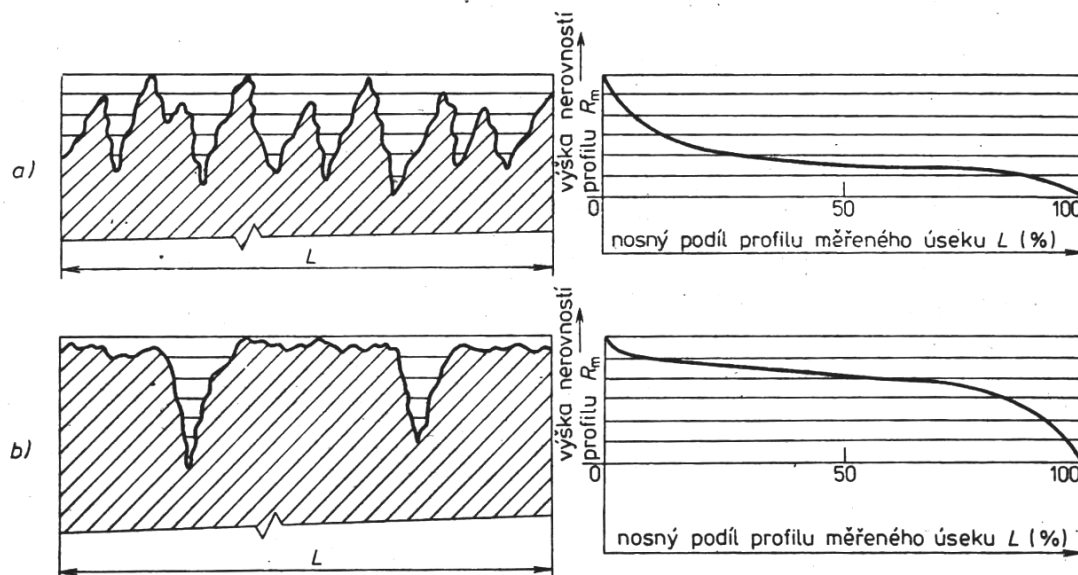
Velikost a rozložení vnitřních pnutí v povrchové vrstvě má význam pro zvýšení únavové pevnosti. Tlaková pnutí na povrchu válečkované plochy zabraňují vzniku korozi, rozvoji trhliny a eliminují vliv mikrovrubů. Také vyšší tvrdost a pevnost plochy po válečkování má příznivý vliv na zvýšení pevnosti.

Válečkováním lze dosáhnout o 20 až 100% zvýšení tvrdosti povrchové vrstvy. V některých případech dokonce i o více jak 100%. [8, 9]

### 1.1.1.2 Vyhlazení povrchů strojních součástí

Vyhlazením povrchu součásti docílíme snížení výchozí výšky mikrone rovnosti způsobené předchozí operací a tím pádem získáme povrch o podstatně nižší drsnosti.

Na křivce nosného podílu profilu zobrazeného na obr. 1.2 je patrné, že válečkovaná plocha má jiný charakter drsnosti povrchu. V tabulce 1.1 je uvedeno srovnání velikosti nosného podílu profilu při různých technologiích obrábění. [8, 9]



**Obr. 1.2** Charakteristické tvary skutečných profilů drsnosti ploch a nosné křivky těchto ploch a) plochy obrobené třískově [8]  
b) plochy válečkované

**Tab.1.1** Velikost nosného podílu profilu při různých technologiích obrábění [8]

Způsob obrábění	Drsnost Ra( $\mu\text{m}$ )	Nosný podíl (%)
hrubé soustružení a vrtání	6 až 25	10
soustružení na čisto	2,5 až 10	25
jemné soustružení a stružení	1 až 4	40
broušení na čisto	0,6 až 2,5	40
jemné broušení, honování, lapování	0,16 až 0,6	80
superfinišování	0,04 až 0,1	90
válečkování	0,2 až 0,4	80 až 90

Faktory ovlivňující výslednou drsnost válečkování jsou

- velikost tlaku vznikající při styku válečkovacího nástroje a povrchu součásti
- mechanické vlastnosti válečkování materiálu
- tvar mikronerovnosti a drsnost plochy navzdory předcházejícího opracování
- pracovní posuv válečkovacího nástroje
- jakost a geometrický tvar válečkovacího nástroje

Také počet předválečování, rychlost válečkování, popřípadě mazání a chlazení mohou ovlivnit drsnost povrchu. Metalurgické vady materiálu jako např. poréznost, vměstky a poruchy materiálu způsobené předchozím obráběním jak na obráběné součásti tak i na činné části tvářecího nástroje mají vliv na výslednou drsnost povrchu.

Válečkováním lze dosáhnout hodnoty drsnosti Ra = 0,8 až 0,1 $\mu\text{m}$ , které odpovídají dokončovací metodám obrábění. V některých případech i nižší. Pro názornost jsou v tabulce 1. 2 uvedeny pásma drsnosti povrchu u ploch strojních součástí, které byly dokončeny obráběním a pásma drsnosti dosažené válečkováním. [8]

**Tab.1.2** Dosahované drsnosti ploch při různých technologiích dokončování [8]

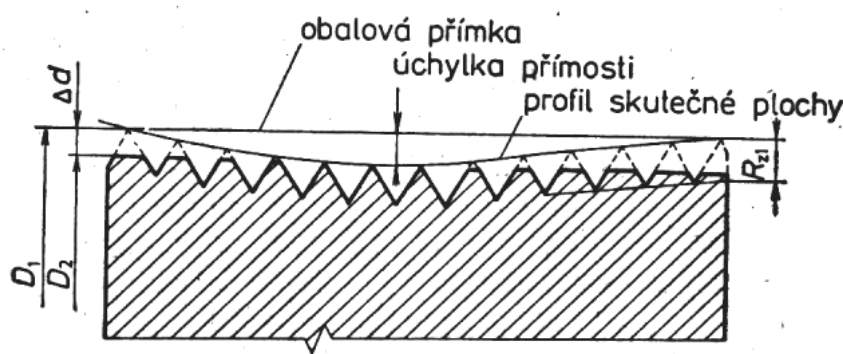
válečkování	■															
leštění	■															
honování	■															
lapování	■															
broušení			■													
vystružování									■							
vyvrtávání										■						
soustr.+smirk										■						
soustružení																■
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
	Ra ( $\mu\text{m}$ )															

Z uvedené tabulky vyplývá, že metodou válečkování lze plnohodnotně nahradit příslušné dokončovací operace, které se vyznačují malou produktivitou.

### 1.1.1.3 Kalibrování strojních součástí válečkováním

Kalibrací strojních součástí válečkováním se snažíme docílit požadovaných úchylek rozměrů, tvaru a polohy válečkované plochy. V menší míře se kalibrování vyskytuje u všech druhů válečkování, ale především se objevuje u plastických materiálů.

Kalibrováním můžeme docílit snížení úchylek kruhovitosti, válcovitosti, rovinnosti, přímosti aj. Na obr. 1.3 můžeme vidět průběh kalibrace válcové plochy s úchytkou 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 úchytky přímosti.



**Obr. 1.3** Schéma kalibrace plochy s úchytkami přímosti [8]

$R_{z1}$  – výchozí drsnost plochy,  $D_1$  – výchozí průměr,  $D_2$  – průměr po válečkování,  $\Delta d$  – hodnota stlačení plochy (kalibrace)

Technologie kalibrování se uplatňuje především v hromadné nebo sériové výrobě z důvodu její vyšší technologické náročnosti přípravy oproti hladicího a zpevňovacího válečkování. [8, 9]

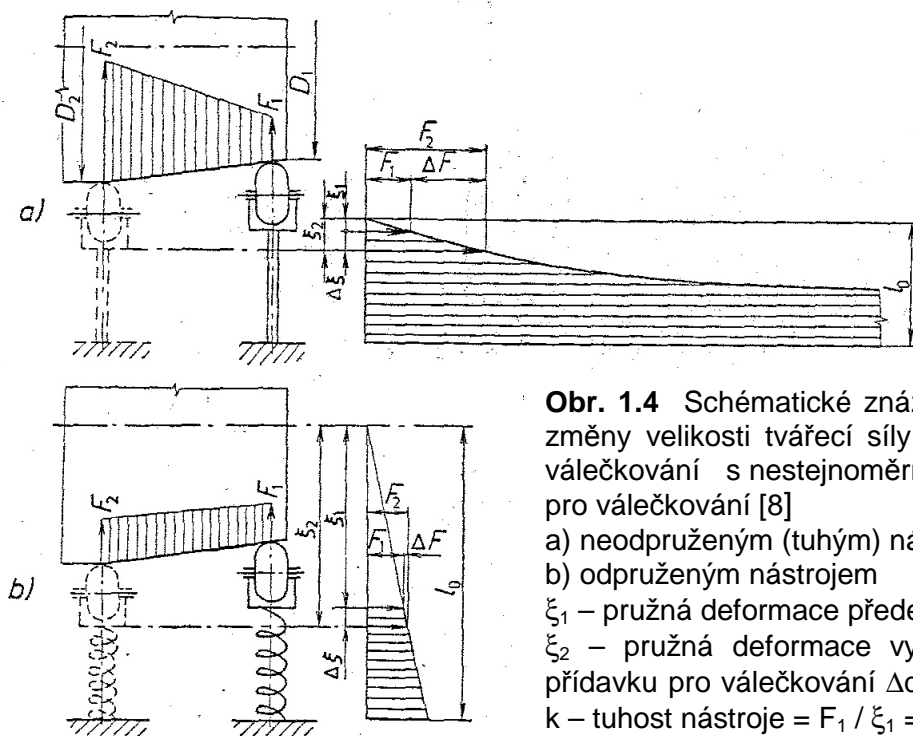
### 1.1.2 Směr působení tvářecí síly

Metody válečkování můžeme členit do dvou základních skupin.

#### a) Metody statického válečkování

V důsledku působení tvářecích sil dochází k plastické deformaci povrchu bez vlivu dynamického účinku. Při statickém válečkování je tvářený nástroj s tvářeným povrchem v neustálém kontaktu.

Nástroje pro statické válečkování se v převážné míře konstruují s odpruženým tvářecím prvkem, neboť nástroje tuhé konstrukce v důsledku nestejnomyšerného přidavku, úchytkami geometrického tvaru, popřípadě nepřesností stroje vyvolávají změny tvářecí síly, které zapříčiňují poruchy na válečkováném povrchu. Obr. 1.4 znázorňuje změnu velikosti tvářecí síly při statickém válečkování tuhým a odpruženým nástrojem. [8]



**Obr. 1.4** Schématické znázornění průběhu změny velikosti tvářecí síly  $F$  při statickém válečkování s nestejným přídavkem pro válečkování [8]

a) neodpruženým (tuhým) nástrojem,  
b) odpruženým nástrojem

$\xi_1$  – pružná deformace předepnutím nástroje

$\xi_2$  – pružná deformace vyvolaná změnou přídavku pro válečkování  $\Delta d = (D_2 - D_1) / 2$ ,

$k$  – tuhost nástroje  $= F_1 / \xi_1 = F_2 / \xi_2$ ,

$\Delta F$  (změna velikosti tvářecí síly) =

$$= F_2 - F_1 = k \cdot \Delta \xi$$

### b) Metody dynamického válečkování

Nástroj s tvářeným povrchem není v neustálém kontaktu, ale jen v časově omezeném silovém impulzu, při kterém vzniká plastická deformace povrchu, proto dynamické válečkování můžeme přirovnat k tváření rázem. Počet silových impulzů (frekvence rázu) významně ovlivňuje dynamické válečkování.

Dynamickým válečkováním dosahujeme velké hloubky zpevnění, proto se zejména vyznačují pro hladící a zpevňovací válečkování.

Statické nástroje jsou oproti nástrojům dynamickým univerzálnější a mají jednodušší konstrukci, proto se ve výrobní praxi využívají častěji. [8]

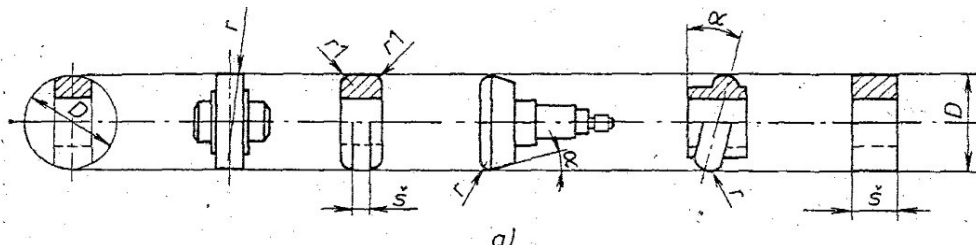
### 1.1.3 Tvary tvářecích prvků pro válečkování

Na již zmíněné druhy válečkování má také vliv použitý tvar a velikost válečkovacího tělíska. Nevhodná volba tvářecího tělíska může mít nepříznivý vliv na kvalitu válečkované plochy, způsobuje vznik vizuálních stop, vlnitosti a nebo může docházet k porušování válečkovanych ploch.

Při nevhodném zvolení rozměru může docházet vlivem třecích a valivých odporů ke vzniku vysokých ztrát, opotřebení a zahřívání funkčních ploch nástroje.

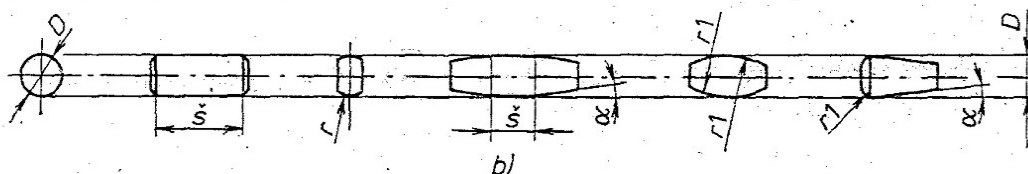
Z konstrukčního hlediska lze tvářecí prvky rozdělit do tří skupin.

- a) Do první skupiny znázorněné na obr. 1.5 lze zařadit tvářecí prvky ve tvaru válečků, kotoučů, kladek apod. Při válečkování jsou neseny středovým čepem, který umožňuje zachycovat složky tvářecí síly.



**Obr. 1.5** Geometrické tvary tvářecích prvků [8]

- b) Do druhé skupiny znázorněné na obr. 1.6 lze zařadit tvářecí prvky ve tvaru válečků, kuželíků, soudečků aj., které se během procesu válečkování odvalují po vodící dráze nástroje. V tomto případě zachycují složky tvářecí síly vodící dráha.



**Obr. 1.6** Geometrické tvary tvářecích prvků [8]

- b) Do třetí skupiny lze opět zařadit tvářecí prvky již zmíněné v předcházejících dvou skupinách, které se používají při dynamickém válečkování, válečkováním smykem, popřípadě při hladícím válečkováním.

Zvýšením poloměru tvářecího tělíska má za následek pokles drsnosti válečkovaného povrchu, proto by měla být volena největší možná velikost s ohledem na geometrický tvar obrobku a velikost přitlačné síly. S rostoucí velikostí tvářecího tělíska lineárně roste i síla potřebná pro přitlačení tvářecího tělíska. [8]

## 1.2 Volba pracovních podmínek při válečkování

Správně zvolení pracovních podmínek je velice důležité, neboť tím můžeme zvýšit produktivitu válečkování, stupeň zpevnění a vyhlazení válečkovaného povrchu atd. Mezi pracovní podmínky patří:

– Pracovní posuv nástroje

Může zásadním způsobem ovlivňovat zejména drsnost povrchu a produktivitu válečkování. V případě překročení dovoleného posuvu nastává zhoršení kvality válečkovaného povrchu a dokonce může dojít k porušení povrchové vrstvy.

– Optimální velikost tvářecí síly při válečkování

Může zásadním způsobem ovlivňovat zejména drsnost povrchu a produktivitu válečkování. V případě překročení dovoleného posuvu nastává zhoršení kvality válečkovaného povrchu a dokonce může dojít k porušení povrchové vrstvy.

– Počet převálečkování

Jedná se o tzv. vícenásobné převálečkování, kdy dochází k opakovanému válečkování již jednou válečkovaného povrchu. Při druhém cyklu přejetí válečkovaného povrchu lze ještě zlepšit jeho drsnost, ale při dalších cyklech naopak dochází k rozrušení povrchové vrstvy.

– Mazání a chlazení tvářecích prvků

Použijeme-li vhodný mazací prostředek můžeme dosáhnout zlepšení povrchové drsnosti, zvýšit velikost použití maximální tvářecí síly a četnost tvářecích kontaktů.

– Rychlost válečkování

Rychlostí válečkování rozumíme rychlost, kterou se tvářecí prvek válečkovacího nástroje přemísťuje po válečkované ploše.

– Geometrické vlastnosti polotovaru

Jedná se zejména o technologický přídavek pro válečkování, výchozí drsnost plochy před válečkováním a úchytky rozměrů, tvaru a polohy výchozí plochy před válečkováním.

– Tvary, rozměry a funkční charakter válečkovaných ploch

V současné době je možné zpevňovat a dokončovat válečkováním prakticky libovolné tvary a rozměry.

– Válečkování různých materiálů

Materiál součásti, kterou hodláme válečkovat má zásadní vliv na pracovní podmínky technologie válečkování (tvářecí sílu, posuv, rychlost aj.).

– Ostatní provozní podmínky

Jedná se zejména o dbání čistoty pracovního prostředí, kvalifikace dělníka, zvýšená péče o válečkovací nástroje, vyhovující rozsah pracovních parametrů strojů, kde bude operace válečkování prováděna. [8]

## 2 NÁSTROJE PRO VÁLEČKOVÁNÍ A JEJICH ROZDĚLENÍ

Volba nástroje je závislá na požadované technologii válečkování, zda chceme dosáhnout vyhlazení plochy, nebo její zpevnění popřípadě kalibrace. Konstrukční řešení nástroje je závislé na řadě podmínek, jako např. geometrický tvar a druh materiálu válečkovaného polotovaru, charakteru tvářecí síly, tvaru tvářecího prvku, druhu technologie opracování polotovaru apod.

### 2.1 Základní rozdělení nástrojů vyráběné společností Baublies AG

Následující nástroje jsou vyráběné Německou společností Baublies AG, kterou v České Republice zastupuje společnost ALBA precision, s.r.o. , která poskytla patřičné podklady pro vypracování této kapitoly. [10, 11, 13]

#### a) Válečkování vnitřních ploch

- vnitřní modulární válečkovací nástroje s jedním tvářecím prvkem
- vnitřní nastavitelné válečkovací nástroje s jedním tvářecím prvkem
- vnitřní válečkovací nástroje s více tvářecími prvky
- vnitřní diamantové hladící nástroje
- modulární válečkovací nástroje pro vnitřní vybrání
- diamantové nástroje pro vnitřní kuželové sražení
- kombinované válečkovací nástroje pro třískové obrábění a hlazení
- speciální válečkovací nástroje pro stupňovité vnitřní plochy

#### b) Válečkování vnějších ploch

- vnější modulární válečkovací nástroje s jedním tvářecím prvkem
- vnější nastavitelné válečkovací nástroje s jedním tvářecím prvkem
- vnější válečkovací nástroje s více tvářecími prvky
- vnější diamantové hladící nástroje
- modulární válečkovací nástroje pro vnější vybrání
- čelní válečkovací nástroje
- speciální válečkovací nástroje pro vnější plochy

#### c) Válečkování čelních ploch

- čelní válečkovací nástroje
- vnější diamantové hladící nástroje

#### d) Válečkování kuželových ploch

- válečkovací nástroje pro vnitřní kuželová sražení
- válečkovací nástroje pro vnější kuželové plochy
- diamantové nástroje pro vnitřní kuželové plochy

e) Hlazení diamantem

- vnější diamantové hladící nástroje
- vnitřní diamantové hladící nástroje
- diamantové nástroje pro vnitřní kuželové plochy
- kombinované válečkovací nástroje pro třískové obrábění a hlazení

f) Válečkování vybrání

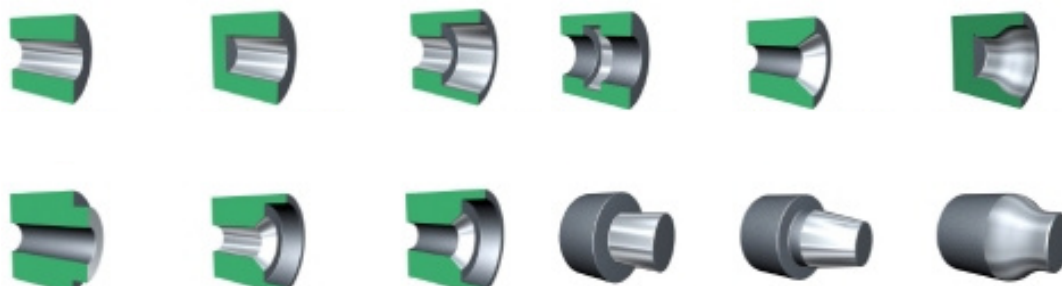
- modulární válečkovací nástroje pro vnitřní vybrání
- modulární válečkovací nástroje pro vnější vybrání

g) Tvářecí válečkovací nástroje

- rozpínací válečkovací nástroje
- lemovací válečkovací nástroje
- přehýbací válečkovací nástroje

h) Kombinované nástroje

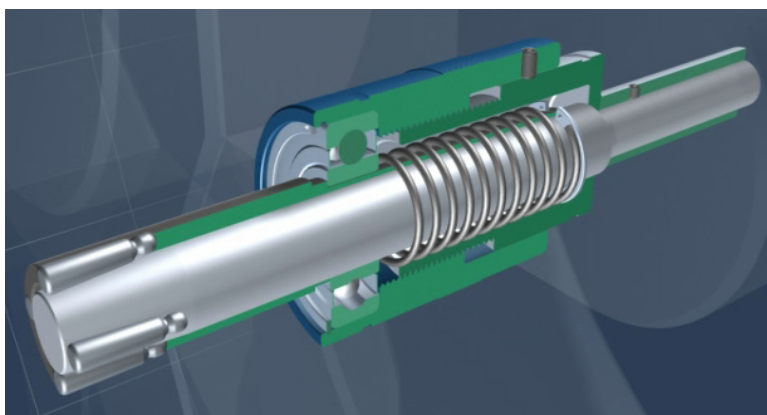
- kombinované nástroje pro třískové obrábění a hlazení v jedné výrobní operaci

**2.1.1 Plochy, které mohou být válečkovány****Obr. 2.1** Válečkované plochy [13]

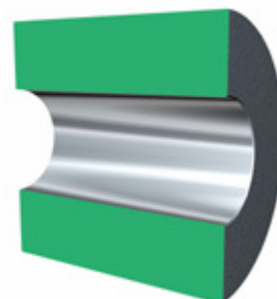
Válečkovat lze plochy válcové, kuželové, kulovité, různé průměry s i bez osazení, stupňovitá osazení, zkosení, průchozí otvory, slepé otvory, stupňovité otvory, vnitřní plochy, vnější plochy, rovinné plochy, rozšiřující se plochy, drážky, vybrání, zahloubení, přesazení, tvarové povrchy, atd.

## 2.1.2 Nástroje pro válečkování kruhových otvorů a navazujících ploch

### 2.1.2.1 Vnitřní válečkovací nástroje pro průchozí otvory

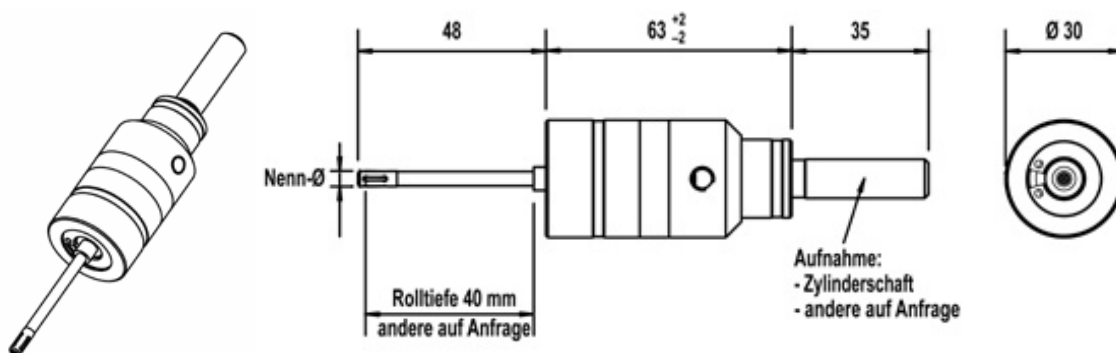


Obr. 2.2 Vnitřní válečkovací nástroj [10]



Obr. 2.3 Válečkováná plocha [13]

#### - Vnitřní válečkovací nástroj - IRG-1-D / Ø 4,0 - 4,9 mm



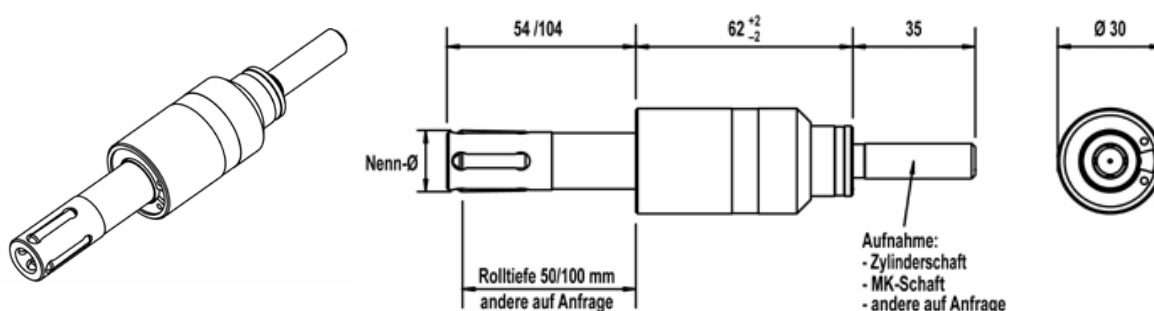
Obr. 2.4 Vnitřní válečkovací nástroj IRG-1-D [13]

Tab.2.1 Technická data nástroje IRG -1-D [13]

Obrábění	Průchozí otvory			
Rozsah průměru	4 – 4.9 mm			
Rozsah regulace	-0,05 mm až do +0.1mm			
Válečkovací hloubka, standartní	40 mm			
Válečky	<b>Průměr</b>	<b>Typ</b>	<b>Počet</b>	<b>Rozměr "x"</b>
	4 – 4.9 mm	D 1060	4	3 mm
Standartní uchycení	Válcová stopka Ø10 - 30 mm, nebo Morse kužel 1 - 3			

**Tab.2.2** Uživatelské parametry nástroje IRG -1-D [13]

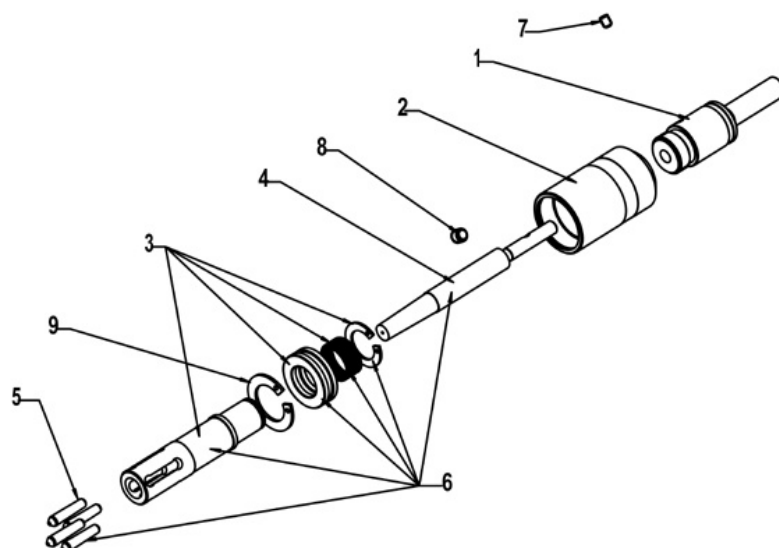
Přídavek na obrábění	až do 0,01mm
Předpětí nástroje	až do 0,03 mm
Směr otáčení nástroje	Ve směru hodinových ručiček
Mazání	Emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40 $\mu$ m) může zlepšit jakost povrchu a životnost nástroje
Předchozí obrobení obrobku	Drsnost povrchu až do 15 $\mu$ m Tolerance IT8 nebo lepší
Maximální tvrdost obrobku	45 HRC

**- Vnitřní válečkový nástroj - IRG-2-D /  $\varnothing$  5,0 - 20 mm****Obr. 2.5** Vnitřní válečkový nástroj IRG-2-D [13]**Tab.2.3** Technická data nástroje IRG -2-D [13]

Obrábění	Průchozí otvory			
Rozsah průměru	5 -20.8 mm			
Rozsah regulace	-0,1mm až do +0.3mm			
Válečková hloubka, standartní	50 mm			
Válečková hloubka od $\varnothing$ 8 mm	100 mm			
Válečky	<b>Průměr</b>	<b>Typ</b>	<b>Počet</b>	<b>Rozměr "x"</b>
	5 – 6.8 mm	D-1680	4	4 mm
	6.9 – 8.8 mm	D-2010	4	5 mm
	8.9 – 11.8 mm	D-2714	4	5 mm
	11.9 – 15.8 mm	D-3718	4	5 mm
	15.9 – 20.8 mm	D-4722	4	6 mm
Standartní uchycení	Válcová stopka $\varnothing$ 10 - 25 mm, nebo Morse kužel 1 - 4			

**Tab.2.4** Uživatelské parametry nástroje IRG-2-D [13]

Přídavek na obrábění	až do 0,02 mm
Předpětí nástroje	až do 0,05 mm
Směr otáčení nástroje	Ve směru hodinových ručiček
Mazání	Emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40 $\mu$ m) může zlepšit jakost povrchu a životnost nástroje
Předchozí obrobení obrobku	Drsnost povrchu až do 15 $\mu$ m Tolerance IT8 nebo lepší
Maximální tvrdost obrobku	45 HRC

**2.1.2.1.1 Náhradní díly****Obr. 2.6** Náhradní díly vnitřních válečkových nástrojů pro průchozí otvory [13]

1	Upínač
2	Objímka
3	Klec, Kuličkové ložisko, Pružina, Těsnící kroužek
4	Kuželový čep
5	Válečky
6	Válečková hlava, Sada dílů různých průměrů (3)(4)(5)
7	Stavěcí šroub pro kuželový čep
8	Stavěcí šroub pro objímku
9	Těsnící kroužek

### 2.1.2.1.2 Výměna náhradních dílů

#### - Válečky:

a) Uvolněním stavěcího šroubu (8) a šroubu přichyceného na objímce dojde k uvolnění válečků. Válečky v sadách vyměníme a jednotlivé části opět složíme dohromady.

b) Odstraníme těsnící kroužek a vytáhneme klec směrem k přední straně nástroje dokud se válečky neuvolní.

Na povrch válečků umístíme mazivo pomocí něhož jsou válečky drženy na místě během válečkování. Při výměně válečků vyčistíme klec a zkontrolujeme jestli není poškozena. Opatření klece nebo kuželového čepu může značně snižovat servisní životnost válečků.

#### - Kuželový čep:

Vyšroubujeme stavěcí šroub (8) a šroub přichycený na objímce. Vyšroubujeme stavěcí šroub (7) a vytáhneme kuželový čep z objímky.

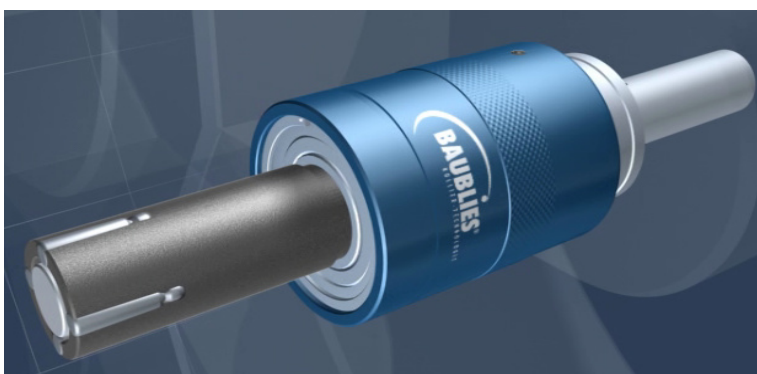
Při kompletaci zajistíme správnou pozici kuželového čepu a stavěcího šroubu, vyčistíme klec a zkontrolujeme jestli nejsou válečky poškozeny. Opatření klece nebo válečků může značně snižovat servisní životnost kuželového čepu.

#### - Klec:

Odstraníme těsnící kroužek (9) a stáhneme ho směrem k přední straně nástroje.

Při nahrazování klece nástroj zevnitř vyčistíme a lehce ho namažeme. Znečištěné části, především stružinami, snižují životnost nástroje a výslednou kvalitu válečkování povrchu.

### 2.1.2.2 Vnitřní válečkovací nástroje pro průchozí a slepé otvory

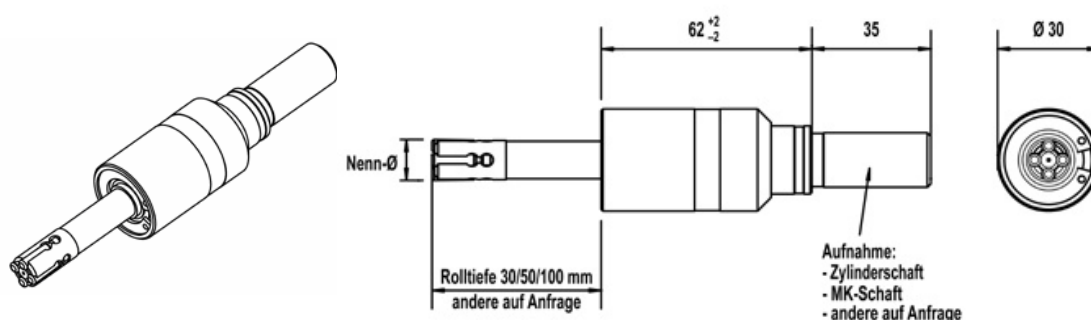


**Obr. 2.7** Vnitřní válečkovací nástroj [10]



**Obr. 2.8** Válečkování plochy [13]

### - Vnitřní válečkovací nástroj - IRG-2-S / Ø 5,0 - 20 mm



Obr. 2.9 Vnitřní válečkovací nástroj IRG-2-S [13]

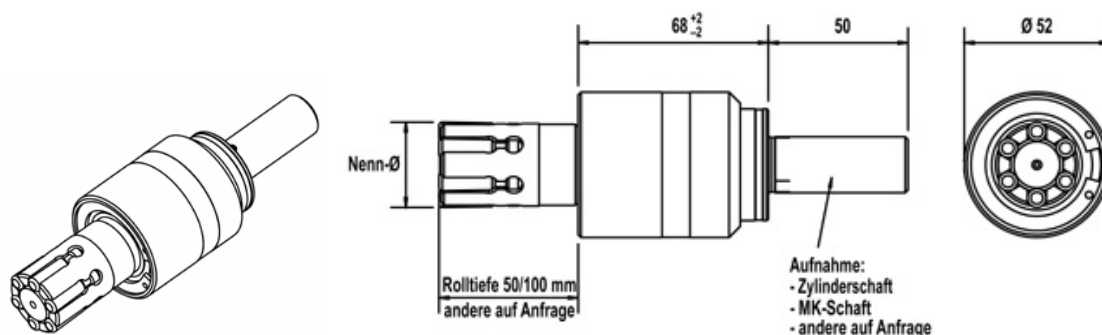
Tab.2.5 Technická data nástroje IRG-2-S [13]

Obrábění	Průchozí a slepé otvory			
Rozsah průměru	5 - 20.8 mm			
Rozsah regulace	-0,1mm až do +0.2mm			
Válečkovací hloubka, standartní	30 mm, 50 mm			
Válečkovací hloubka od Ø 8 mm	100 mm			
Válečky	Průměr	Typ	Počet	Rozměr "x"
	5 - 5.8 mm	D-1680	3	0.5 mm
	5.9 - 6.8 mm	D-1680	4	0.5 mm
	6.9 - 8.8 mm	D-2010	4	0.5 mm
	8.9 - 11.8 mm	D-2714	4	0.5 mm
	11.9 - 15.8 mm	D-3718	4	0.7 mm
	15.9 - 20.8 mm	D-3718	4	0.7 mm
Standartní uchycení	Válcová stopka Ø10 - 25 mm, nebo Morse kužel 1 - 4			

Tab.2.6 Uživatelské parametry nástroje IRG-2-S [13]

Přídavek na obrábění	až do 0,02 mm
Předpětí nástroje	až do 0,05 mm
Směr otáčení nástroje	Ve směru hodinových ručiček
Mazání	Emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40µm) může zlepšit jakost povrchu a životnost nástroje
Předchozí obrobení obrobku	Drsnost povrchu až do 15 µm Tolerance IT8 nebo lepší
Maximální tvrdost obrobku	45 HRC

### - Vnitřní válečkový nástroj - IRG-3-S / Ø 21,0 - 33 mm



**Obr. 2.10** Vnitřní válečkový nástroj IRG-3-S [13]

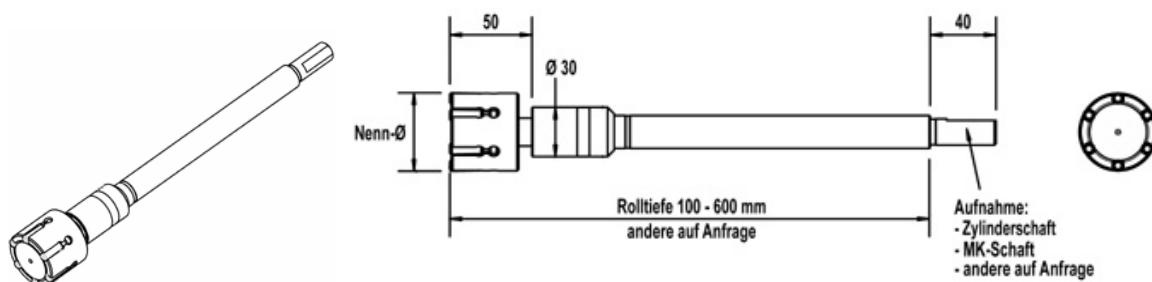
**Tab.2.7** Technická data nástroje IRG-3-S [13]

Obrábění	Průchozí a slepé otvory			
Rozsah průměru	20.9 - 33.8 mm			
Rozsah regulace	-0.1 mm až do +0.4 mm			
Válečková hloubka, standartní	50 mm, 100 mm			
Válečky	<b>Průměr</b>	<b>Typ</b>	<b>Počet</b>	<b>Rozměr "x"</b>
	20.9 - 29.8 mm	S-4722	6	0.7 mm
	29.9 - 33.8 mm	S-6730	6	1.0 mm
Standartní uchycení	Válcová stopka Ø 19,05 - 40 mm, nebo Morse kužel 2 - 4			

**Tab.2.8** Uživatelské parametry nástroje IRG-3-S [13]

Přídavek na obrábění	až do 0,03 mm
Předpětí nástroje	až do 0,07 mm
Směr otáčení nástroje	Ve směru hodinových ručiček
Mazání	Emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40µm) může zlepšit jakost povrchu a životnost nástroje
Předchozí obrobení	Drsnost povrchu až do 15 µm Tolerance IT8 nebo lepší
Maximální tvrdost obrobení	45 HRC

### - Vnitřní válečkový nástroj - IRG-2-Special / Ø 31 - 52 mm



**Obr. 2.11** Vnitřní válečkový nástroj - IRG-2-Special [13]

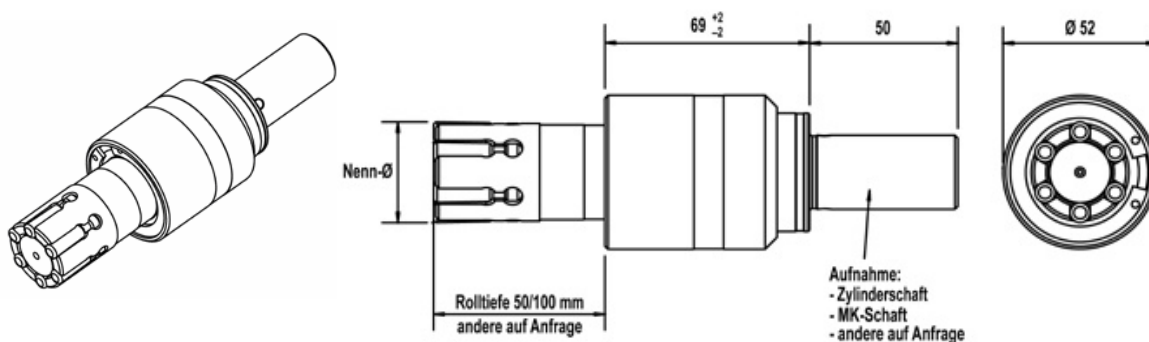
**Tab.2.9** Technická data nástroje IRG-2-Special [13]

Obrábění	Průchozí a slepé otvory			
Rozsah průměru	30.9 - 52.8 mm			
Rozsah regulace	-0.2 mm až do +0.4 mm			
Válečková hloubka, standartní	"nekonečný" přes objímku			
Válečky	<b>Průměr</b>	<b>Typ</b>	<b>Počet</b>	<b>Rozměr "x"</b>
	30.9 - 39.8 mm	S-4722	6	0.7 mm
	39.9 - 52.8 mm	S-6730	6	1.0 mm
Standartní uchycení	Válcová stopka Ø 10 - 40 mm , nebo Morse kužel 1 - 4			

**Tab.2.10** Uživatelské parametry nástroje IRG-2-Special [13]

Přídavek na obrábění	až do 0,03 mm
Předpětí nástroje	až do 0,06 mm
Směr otáčení nástroje	Ve směru hodinových ručiček
Mazání	Emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40µm) může zlepšit jakost povrchu a životnost nástroje
Předchozí obrobení obrobku	Drsnost povrchu až do 15 µm Tolerance IT8 nebo lepší
Maximální tvrdost obrobku	45 HRC

**- Vnitřní válečkový nástroj - IRG-4-S / 34 - 52,8 mm**



**Obr. 2.12** Vnitřní válečkový nástroj - IRG-4-S [13]

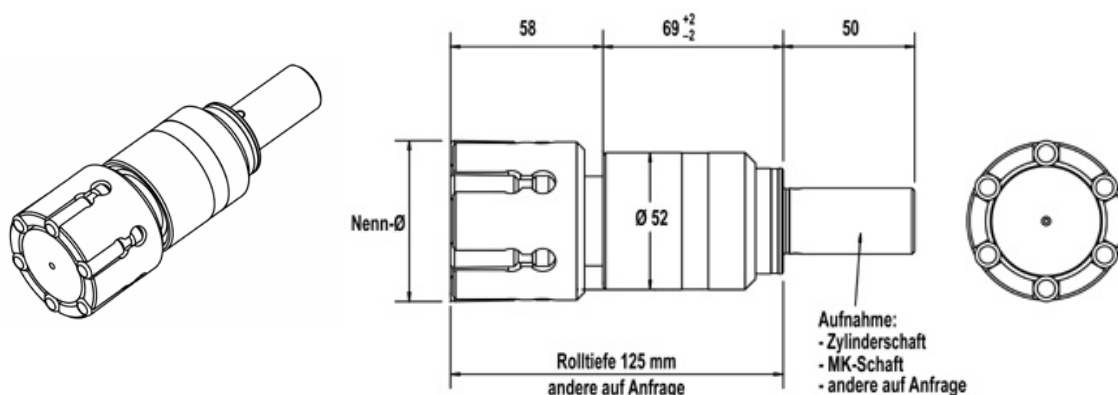
**Tab.2.11** Technická data nástroje - IRG-4-S [13]

Obrábění	Průchozí a slepé otvory			
Rozsah průměru	33.9 - 52.8 mm			
Rozsah regulace	-0.2 mm až do +0.5 mm			
Válečková hloubka, standartní	50 mm, 100 mm			
Válečky	<b>Průměr</b>	<b>Typ</b>	<b>Počet</b>	<b>Rozměr "x"</b>
	33.9 - 52.8 mm	S-6730	6	1.0 mm
Standartní uchycení	Válcová stopka Ø 19.05 - 40 mm , nebo Morse kužel 2 - 4			

**Tab.2.12** Uživatelské parametry nástroje - IRG-4-S [13]

Přídavek na obrábění	až do 0,03 mm
Předpětí nástroje	až do 0,08 mm
Směr otáčení nástroje	Ve směru hodinových ručiček
Mazání	Emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40µm) může zlepšit jakost povrchu a životnost nástroje
Předchozí obrobení obrobku	Drsnost povrchu až do 15 µm Tolerance IT8 nebo lepší
Maximální tvrdost obrobku	45 HRC

**- Vnitřní válečkovací nástroj - IRG-4-S-53 / Ø 52,9 - 64,8 mm**



**Obr. 2.13** Vnitřní válečkovací nástroj - IRG-4-S -53 [13]

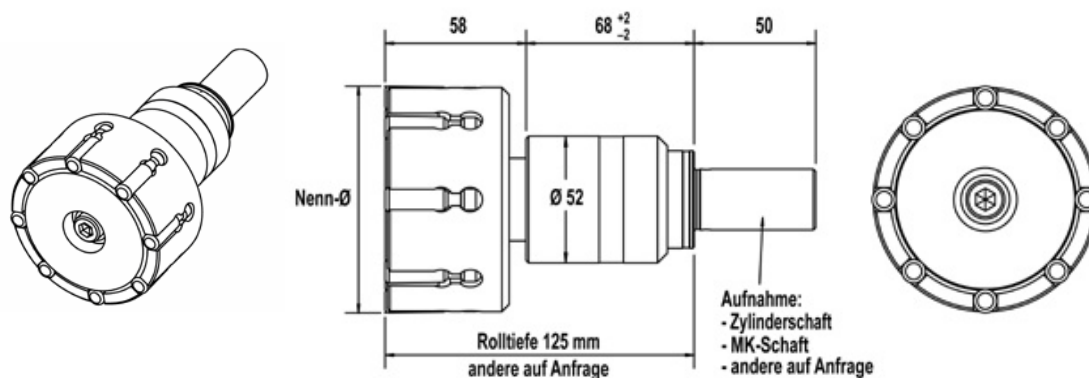
**Tab.2.13** Technická data nástroje - IRG-4-S-53 [13]

Obrábění	Průchozí a slepé otvory			
Rozsah průměru	52.9 - 64.8 mm			
Rozsah regulace	-0.2 mm až do +0.5 mm			
Válečkovací hloubka, standartní	50 mm, 100 mm			
Válečkovací hloubka od Ø 53 mm	100 mm přes objímku			
Válečky	<b>Průměr</b>	<b>Typ</b>	<b>Počet</b>	<b>Rozměr "x"</b>
	52.9 - 64.8 mm	S-9740	6	1.3 mm
Standartní uchycení	Válcová stopka Ø 19.05 - 40 mm , nebo Morse kužel 2 - 4			

**Tab.2.14** Uživatelské parametry nástroje - IRG-4-S-53 [13]

Přídavek na obrábění	až do 0,03 mm
Předpětí nástroje	až do 0,08 mm
Směr otáčení nástroje	Ve směru hodinových ručiček
Mazání	Emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40µm) může zlepšit jakost povrchu a životnost nástroje
Předchozí obrobení obrobku	Drsnost povrchu až do 15 µm Tolerance IT8 nebo lepší
Maximální tvrdost obrobku	45 HRC

### - Vnitřní válečkový nástroj - IRG-5-S / Ø 65 - 100 mm



**Obr. 2.14** Vnitřní válečkový nástroj - IRG-5-S [13]

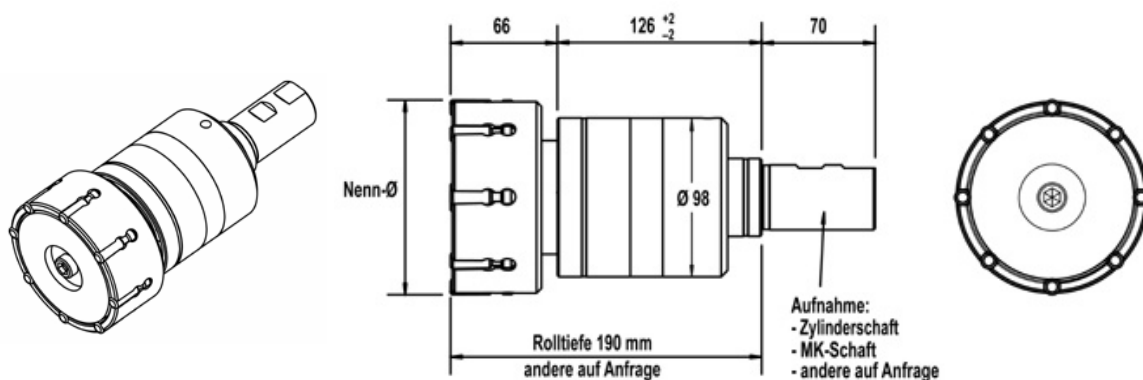
**Tab.2.15** Technická data nástroje - IRG-5-S [13]

Obrábění	Průchozí a slepé otvory			
Rozsah průměru	64.9 - 100.8 mm			
Rozsah regulace	-0.2 mm až do +0.5 mm			
Válečková hloubka, standartní	100 mm přes objímku			
Válečky	<b>Průměr</b>	<b>Typ</b>	<b>Počet</b>	<b>Rozměr "x"</b>
	64.9 - 100.8 mm	S-9740	8	1.3 mm
Standartní uchycení	Válcová stopka Ø 19.05 - 40 mm , nebo Morse kužel 2 - 4			

**Tab.2.16** Uživatelské parametry nástroje - IRG-5-S [13]

Přídavek na obrábění	až do 0,03 mm
Předpětí nástroje	až do 0,08 mm
Směr otáčení nástroje	Ve směru hodinových ručiček
Mazání	Emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40µm) může zlepšit jakost povrchu a životnost nástroje
Předchozí obrobení obrobku	Drsnost povrchu až do 15 µm Tolerance IT8 nebo lepší
Maximální tvrdost obrobku	45 HRC

### - Vnitřní válečkový nástroj - IRG-6-S / Ø 101 - 200 mm



Obr. 2.15 Vnitřní válečkový nástroj - IRG-6-S [13]

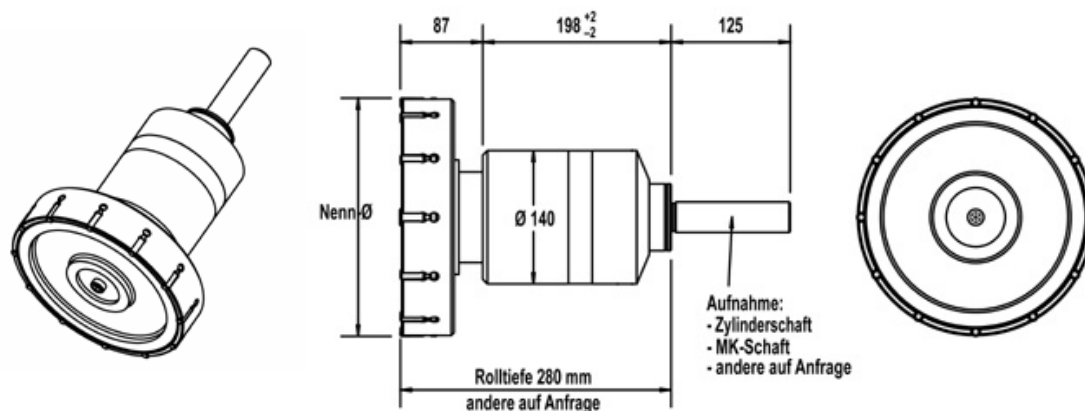
Tab.2.17 Technická data nástroje - IRG-6-S [13]

Obrábění	Průchozí a slepé otvory			
Rozsah průměru	100.9 - 200.8 mm			
Rozsah regulace	-0.2 mm až do +0.6 mm			
Válečková hloubka, standartní	160 mm přes objímku			
Válečky	<b>Průměr</b>	<b>Typ</b>	<b>Počet</b>	<b>Rozměr "x"</b>
	100.9 - 149.8 mm	S-9740	8	1.3 mm
	149.9 - 200.8 mm	S-9740	10	1.3 mm
Standartní uchycení	Válcová stopka Ø 20 - 40 mm , nebo Morse kužel 3 - 5			

Tab.2.18 Uživatelské parametry nástroje - IRG-6-S [13]

Přídavek na obrábění	až do 0,04 mm
Předpětí nástroje	až do 0,1 mm
Směr otáčení nástroje	Ve směru hodinových ručiček
Mazání	Emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40µm) může zlepšit jakost povrchu a životnost nástroje
Předchozí obrobení obrobku	Drsnost povrchu až do 15 µm Tolerance IT8 nebo lepší
Maximální tvrdost obrobku	45 HRC

### - Vnitřní válečkovací nástroj - IRG-7-S / Ø 201 - 400 mm



Obr. 2.16 Vnitřní válečkovací nástroj - IRG-7-S [13]

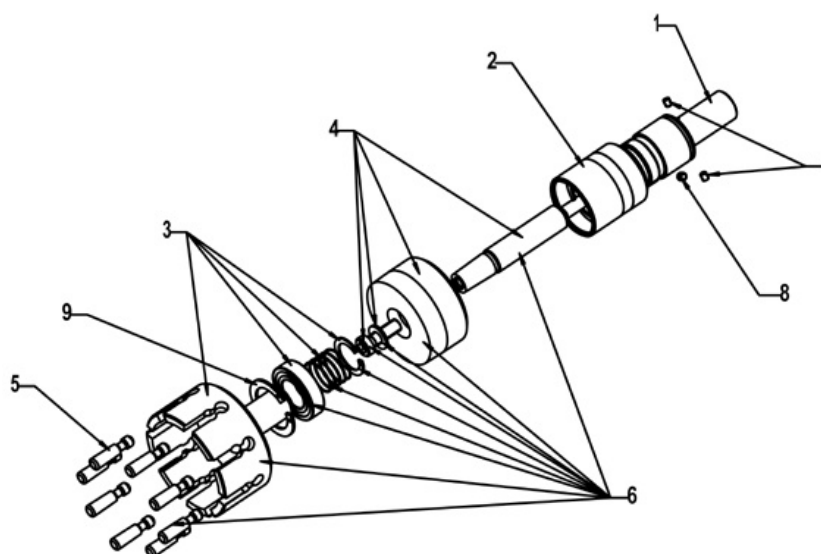
Tab.2.19 Technická data nástroje - IRG-7-S [13]

Obrábění	Průchozí a slepé otvory			
Rozsah průměru	200,9 - 400,8 mm			
Rozsah regulace	-0.2 mm až do +0.6 mm			
Válečkovací hloubka, standartní	280 mm přes objímku			
Válečky	Průměr	Typ	Počet	Rozměr "x"
	200,9 - 300,8 mm	S-9740	20	1.3 mm
	300,9 - 400,8 mm	S-9740	26	1.3 mm
Standartní uchycení	Válcová stopka Ø 30 - 50 mm , nebo Morse kužel 4 - 5			

Tab.2.20 Uživatelské parametry nástroje - IRG-7-S [13]

Přídavek na obrábění	až do 0,04 mm
Předpětí nástroje	až do 0,1 mm
Směr otáčení nástroje	Ve směru hodinových ručiček
Mazání	Emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40µm) může zlepšit jakost povrchu a životnost nástroje
Předchozí obrobení obrobku	Drsnost povrchu až do 15 µm Tolerance IT8 nebo lepší
Maximální tvrdost obrobku	45 HRC

### 2.1.2.2.1 Náhradní díly



**Obr. 2.17** Náhradní díly vnitřního válečkovacího nástroje pro průchozí a slepé otvory [13]

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

### 2.1.2.2.2 Výměna náhradních dílů

#### - Válečky:

Odstraníme stavěcí šroub (7) a těsnící kroužek (9). Pak vyjmeme klec s kuželovým čepem směrem k přední straně nástroje. Oddělíme klec a kuželový čep. Vyměníme sadu válečků a jednotlivé části opět složíme dohromady.

Na povrch válečků umístíme mazivo pomocí něhož jsou válečky drženy na místě během válečkování. Při výměně válečků vyčistíme klec a zkontrolujeme jestli není poškozena. Opatření klece nebo kuželového čepu může značně snižovat servisní životnost válečků.

- Kuželový čep:

Odstraníme stavěcí šroub (7) a těsnící kroužek (9). Pak vyjmeme klec s kuželovým čepem směrem k přední straně nástroje..

Při kompletaci zajistíme správnou pozici kuželového čepu a stavěcího šroubu, vyčistíme klec a zkontrolujeme jestli nejsou válečky poškozeny. Opořebenění klece nebo válečků může značně snižovat servisní životnost kuželového čepu.

- Klec:

Odstraníme stavěcí šroub (7) a těsnící kroužek (9). Pak vyjmeme klec s kuželovým čepem směrem k přední straně nástroje.

Při nahrazování klece nástroj zevnitř vyčistíme a lehce ho namažeme. Znečištěné části, především stružinami, snižují životnost nástroje a výslednou kvalitu válečkovaného povrchu.

### 2.1.2.3 Modulární vnitřní válečkovací nástroje

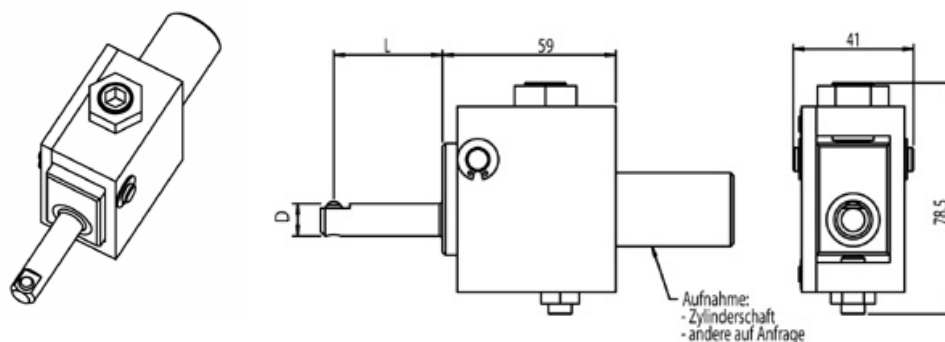
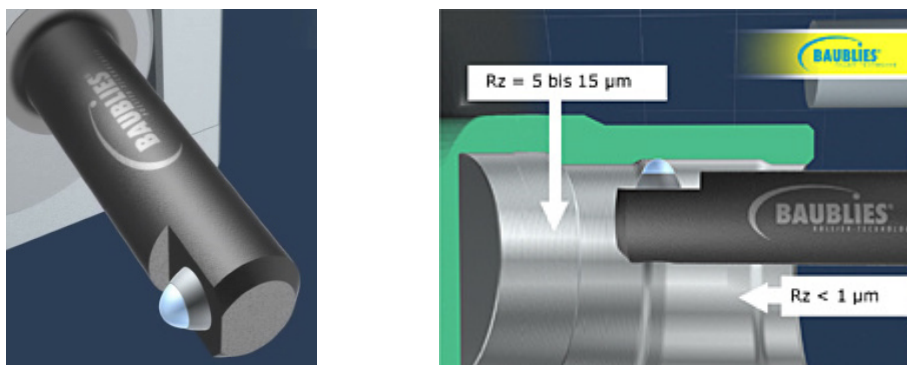


**Obr. 2.18** Modulární vnitřní válečkovací nástroje [12, 13]

**Tab.2.21** Technická data pro nástroje v rozměrových řadách od  $\varnothing$  10 mm do  $\varnothing$  40 mm [13]

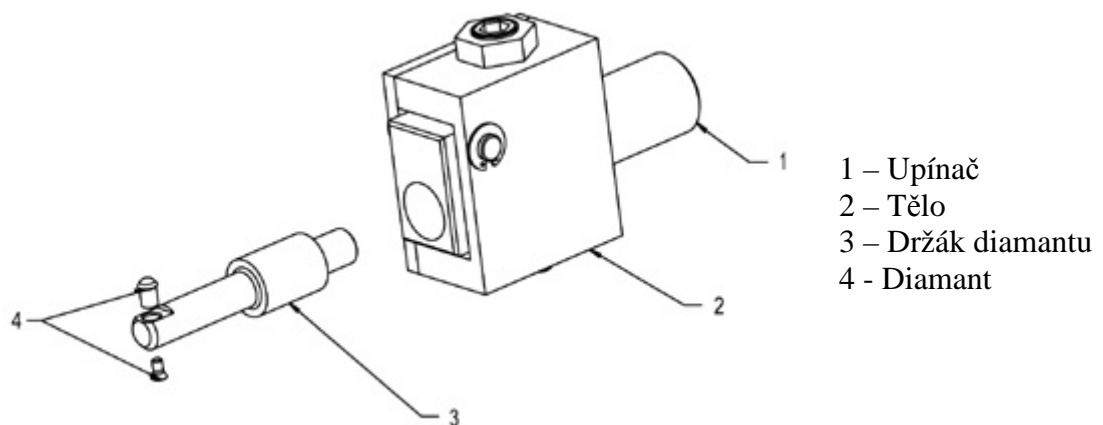
Obrábění	Vnitřní obrábění, hřídele
Rozsah průměru	1.5 - 7.8 mm
Válečková rychlost	až do 100 m/min
Válečková délka, díl uzavřen	40 mm
Válečková délka, díl vyvrtán skrz	nekonečně
Počet válečků 3	3 válečky $\varnothing$ 1.5 - 2.8 mm, snadná výměna válečků z klece nástroje
Počet válečků 4	4 válečky $\varnothing$ 3,0 - 7,8 mm, snadná výměna válečků z klece nástroje
Rozsah regulace nástroje	+ 0,1 až do - 0,2 mm
Předpětí nástroje	- 0.01 až do - 0.02 mm
Posuv stroje	+ 0.2 až do + 0.5 mm/ot
Přídavek na obrábění	+ 0.005 až do + 0.01 mm
Chlazení	olej / emulze
Předchozí opracování	Jemné soustružení nebo broušení na toleranční rozměr j6, drsnost povrchu 5 - 15 $\mu$ m

#### 2.1.2.4 Diamantové hladící nástroje

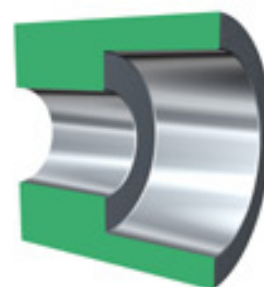
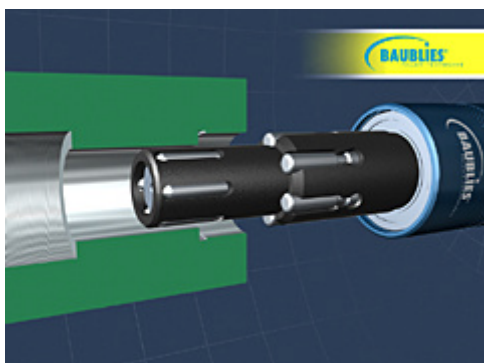
**Obr. 2.19** Vnitřní diamantový hladící nástroj [10, 13]

**Tab.2.22** Uživatelské parametry nástroje [13]

Obrábění	Vnitřní obrábění po vrtání
Přídavek na obrábění	do 0,01 mm
Předpětí nástroje	do 1 mm
Mazání	Emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40 $\mu$ m) může zlepšit jakost povrchu a životnost nástroje
Předchozí obrobení obrobku	Drsnost do 15 $\mu$ m
Maximální tvrdost obrobku	65 HRC
Válečkovací rychlost	až do 100 m/min
Posuv	0,05 - 0,2 mm/ot
Standardní uchycení	Válcová stopka $\varnothing$ 20 - 25 mm

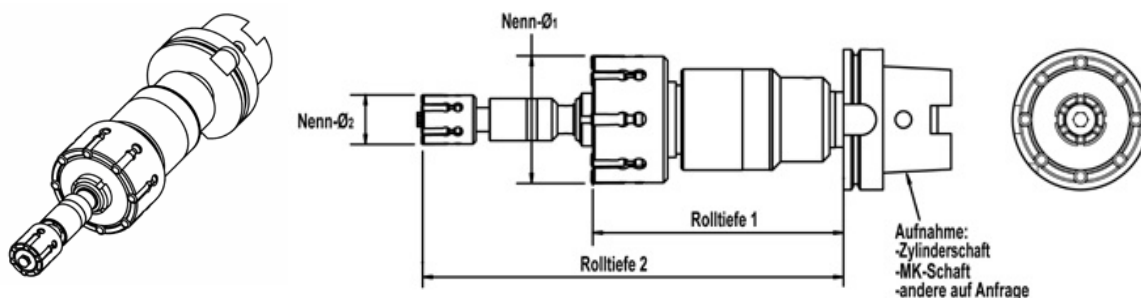
**2.1.2.4.1** Náhradní díly diamantového hladicího nástroje**Obr. 2.20** Náhradní díly diamantového hladicího nástroje [13]

### 2.1.2.5 Speciální válečkovací nástroje pro stupňovité otvory



**Obr. 2.21** Válečkovací nástroj pro stupňovité otvory [10]

**Obr. 2.22** Válečkováná plocha [13]

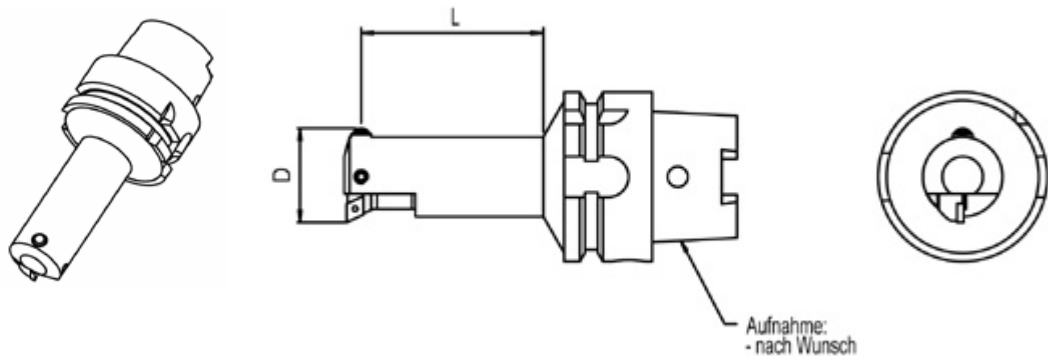
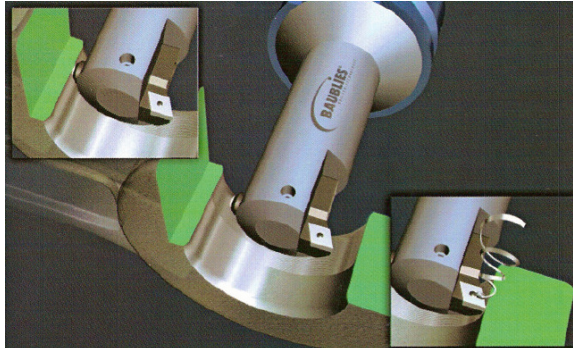


**Obr. 2.23** Válečkovací nástroj pro stupňovité otvory [13]

**Tab.2.23** Uživatelské parametry nástroje [13]

Obrábění	Stupňovité otvory
Válečkovací hloubka	dle výkresu
Počet válečků	dle požadavků
Otáčky nástroje	500 ot/min - 700 ot/min
Přítlačný tlak nástroje	+0.02 až do +0.04 mm
Strojní posuv	+ 0.2 až do + 0.4 mm/ot
Přídavek na obrábění	+ 0,01 až do + 0,02 mm
Chlazení	olej / emulze
Předchozí opracování	Vystružování a jemné soustružení, drsnost povrchu 5 - 15 $\mu\text{m}$

### 2.1.2.6 Kombinovaný nástroj pro třískové obrábění a hlazení



**Obr. 2.24** Více funkční nástroj pro třískové obrábění a hlazení v jedné výrobní operaci [10, 13]

**Tab.2.23** Uživatelské parametry nástroje [13]

Obrábění	Řezání a hladící válečkování diamantovým nástrojem
Přídavek na obrábění	do 0,01 mm
Předpětí nástroje	do 0,02 mm
Mazání	Emulze nebo olej, filtrace mazacího média (<40 $\mu$ m) může zlepšit jakost povrchu a životnost nástroje
Válečkovácí rychlost	až do 100 m/min
Posuv	0,05 - 0,2 mm/ot

### **2.1.3 Chlazení a mazání**

Nástroj a obrobek vyžadují mírné chlazení a mazání. K tomu pro většinu materiálu stačí stálá dodávka malého množství emulze. Při práci na konvenčním stroji, bez dostatečného zakrytí pracovního prostoru, stačí zkrápění obráběné plochy viskózním olejem (strojní olej, hydraulický olej). Olej nebo emulze musí být čisté, bez kovových částic. Emulze se má kontinuálně čistit přes filtr s jemností max. 40  $\mu\text{m}$ . Šedá a sferoidická litina při válečkování odděluje malé množství částíček grafitu. Pro zabránění zadření nástroje se proto při práci s litinou musí pracovat s větším množstvím chladicí a mazací látky. Po každém válečkování se navíc vytažený nástroj opláchne.

### **2.1.4 Chyby a jejich příčiny, odstraňování nedostatků**

1) Válečkováná plocha není dostatečně hladká:

- nastaven příliš malý průměr, příliš velká drsnost povrchu po předchozím obrábění.

2) Válečkováná plocha je šupinatá, drsná, odlupuje se:

- nastaven příliš velký průměr hlavy
- příliš malý posuv
- stupeň tolerance průměru díry větší než IT8.

3) Plocha po válečkování je kazová:

- nečistoty na obrobku nebo válečcích
- znečištěná chladicí a mazací emulze
- u soustružených obrobků, popř. špatně obrobeného povrchu:
  - příliš velký posuv při soustružení
  - příliš malý poloměr špičky nože
  - příliš malá řezná rychlost (tvorba nárůstku)
  - opotřeбенý břit (výmol na čele)
  - nevhodný materiál břitu nástroje
  - příliš malá hloubka řezu (malý přídavek na obrábění)

4) Nástroj nebo obrobek se příliš zahřívá. Materiál se hromadí před válečky ve formě kruhovitě tvarovaných návalků:

- příliš velký průměr válečkovací hlavy nebo malý průměr díry.
- kuželová díra
- malý posuv
- malé otáčky

5) Válečkováná plocha je zvlněná:

- velký posuv
- zvlněný povrch může být způsoben předcházející obráběcí operací a je často patrný až po válečkování vznikem lesklých plošek
- použité válečky nejsou stejné třídy přesnosti

6) Silná deformace předních a zadních částí děr (kuželovité rozšíření díry):

- nastaven příliš velký průměr válečkovací hlavy
- nesouosost osy nástroje a válečkované díry
- velmi rozdílná tloušťka stěn obrobku

7) Díra po válečkování není kruhovitá:

- příliš velký průměr válečkovací hlavy, zejména u tenkostěnných profilů
- malý posuv
- nízké otáčky

8) Při dalším zvětšení nastavení válečkovací hlavy nedochází ke zvětšení průměru díry:

- povrch je již zcela vyválečkovaný
- nástroj je seřízen na maximální průměr

9) Na válečkované ploše zůstávají periodické stopy po nástroji:

- válečky jsou opotřebované, je nutno vyměnit celou sadu
- kužel (součást hlavy) je opotřebovaný, nutná výměna

10) Na válečkované ploše jsou pruhy:

- je nutno vyjíždět s rotujícím nástrojem

[11]

### 3 PŘÍKLADY VYUŽITÍ VÁLEČKOVÁNÍ VNITŘNÍCH PLOCH

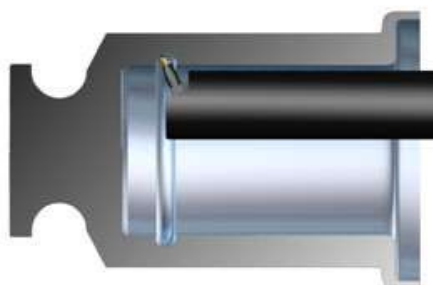
Metoda válečkování se používá například pro válečkování :

- sedla ventilů palivových čerpadel
- vnitřních průměrů statoru elektromotoru
- vnitřní povrch pouzder spojovacích částí ojníc
- vnitřní povrch nábojnic
- otvory pro uložení ložiska
- vnitřní povrchy mosazných vložek pro litinové ventily
- vnitřní plochy brzdových válců
- hladí se a zpevňují pouzdra kluzných ložisek
- plochy pro nalisování vnitřních kroužků valivých ložisek
- kluzné plochy hydraulických válců a pístů
- válce spalovacích motorů
- vnitřní plochy přírub
- vnitřní plochy trubek



**Obr. 3.1** Příklady využití válečkování vnitřních ploch [17]

- zatížitelnost a životnost naklápěcích ložisek pro bagry se zvyšuje válečkováním za tvrda – obr. 3.2
- listy rotoru používaných u helikoptéry – toto zařízení obsahuje několik velmi intenzivně namáhaných částí, které jsou velmi důležité pro bezpečný let, válečkuje se vnitřní průměr řídicího válce a závit dna hlavy – obr. 3.3



**Obr. 3.2** válečkování za tvrda [14]

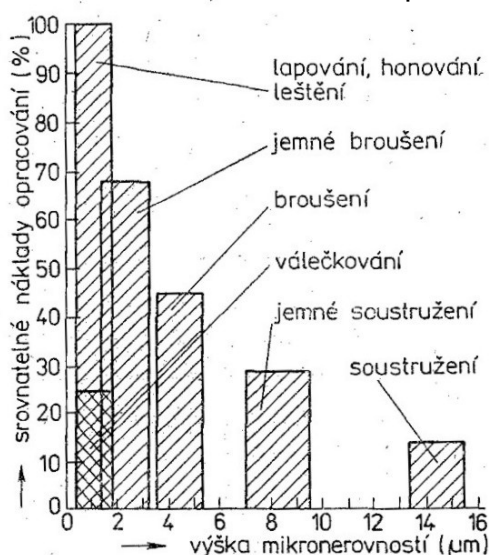


**Obr. 3.2** válečkování listu rotoru helikoptéry [14]

#### 4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

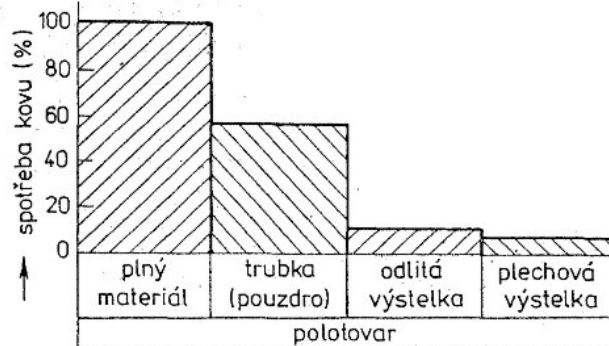
Válečkováním docílíme značné úspory a to zejména zvýšením produktivity práce, úsporou elektrické energie, snižováním váhy výrobků, potřeba menších výrobních ploch, úspory při nákupu strojních zařízení, nahrazení drahého tepelného zpracování, ručních pomalých prací a nákladných způsobů konvenčních způsobů 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 tepelného zpracování. [1]

Dosažením optimálních drsností, zvýšením únavové pevnosti, korozivzdornosti a odolnosti proti opotřebení zvyšujeme užitnou hodnotu výrobků. Graf na obr. 4.1 vyjadřuje srovnatelné výrobní náklady konvenčních metod obrábění v závislosti na dosažení drsnosti povrchu. [8]



**Obr. 4.1** Srovnatelné výrobní náklady jednotlivých metod obrábění v závislosti na dosažené drsnosti povrchu [8]

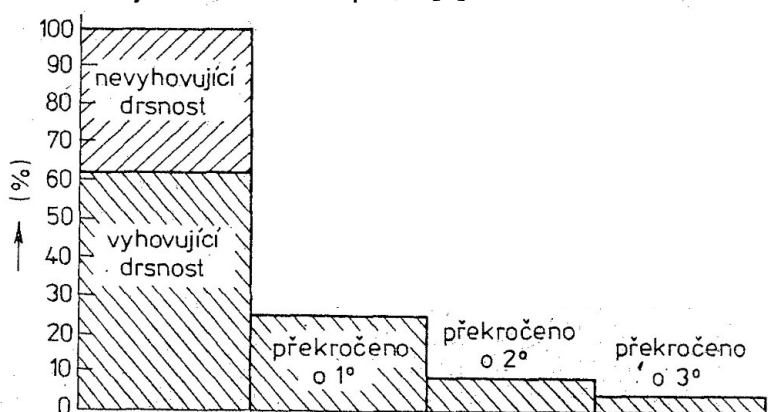
Při výrobě kluzných ložisek, hydraulických válců, vodících pouzder atd., lze za pomoci metody rozválcování vystelkováním snížit materiálové náklady. Graf na obr 4.2 znázorňuje spotřebu ložiskového kovu při výrobě ložisek z různých polotovarů. [8]



**Obr. 4.2** Znázornění spotřeby ložiskových kovů při výrobě ložisek z různých polotovarů [8]

V mnohých případech lze za pomoci válečkování na univerzálních obráběcích strojích nahradit drahé dokončovací stroje jako brusky, honovačky, leštičky, popřípadě pracoviště pro tepelné zpracování. Zejména při kusové výrobě lze technologii válečkování dosáhnout dokončovací operace v požadované kvalitě a nízkých pořizovacích nákladech bez nutnosti nákupu speciálních dokončovacích strojů a nástrojů. [8]

Dosažení předepsané drsnosti zejména pro hodnoty drsnosti  $Ra \leq 0,4\mu\text{m}$  je při třískovém obrábění značně pracné a nákladné. Z důvodů nepřesností obráběcího stroje, řezného náradí aj. se přibližně u 40% výrobků nedodrží drsnosti předepsané na výkrese, což znázorňuje diagram na obr. 4.3. V diagramu je rovněž znázorněny podíly drsnosti, které se lišily od předepsané drsnosti o jeden, až tři stupně. [8]



**Obr. 4.3** Podíl nevyhovujících drsností (%) z celkového počtu kontrolovaných ploch [8]

#### **Příklad ekonomických výsledků dokončování trubek válečkováním:**

Uvedené poznatky byly zjištěny ve společnosti n.p. Technometra v Semilech, dnešní akciová společnost Axl Semily.

Při dokončování trubek za pomoci metody válečkování nahradí jeden soustruh až 11 brusek. Broušení jedné trubky vně i uvnitř by trvalo 45 minut, zatímco při použití válečkování pouze 2,5 min. Zejména u vnitřních ploch je úspora podstatná, protože broušení vnitřních ploch je obtížnější než broušení ploch vnějších. Také jakost povrchu se nám dvojnásobně zlepší oproti broušení a docílíme zvýšení tvrdosti povrchu o 30 až 70%. Tím taktéž zvýšíme oteřuvzdornost a odolnost proti korozi. Pořizovací náklady na výrobu nástroje se zaplatí již při několika desítkách výrobních operací.

## 5 SROVNÁNÍ S KONVENČNÍMI METODAMI DOKONČOVACÍCH OPERACÍ OBRÁBĚNÍ VNITŘNÍCH PLOCH

### 5.1 Abrazivní dokončovací operace obrábění

#### 5.1.1 Lapování

##### 5.1.1.1 Technologické charakteristiky

Lapování je zvláštním druhem broušení, kdy k úběru materiálu dochází brusivem, který se přivádí mezi vzájemně se pohybující lapovací nástroj a obrobek. Lapováním se dosahuje nejvyšší rozměrové přesnosti a nejmenší drsnosti povrchu.



Obr. 5.1 Schéma řezného procesu při lapování [4]

#### Pracovní podmínky

Pracovní podmínky pro úspěšné lapování je dokonalé předchozí opracování plochy. V tab.5.1 jsou uvedeny orientační hodnoty řezných rychlostí při lapování a v tab.5.2 volba přídavků pro lapování.

Tab.5.1 Orientační hodnoty řezných rychlostí při lapování otvorů [7]

Druh plochy a způsob práce	Lapování načisto ( $m \cdot min^{-1}$ )	Jemné leštění lapování ( $m \cdot min^{-1}$ )
Lapování otvorů	50 až 120	4 až 50

Tab.5.2 Volba přídavků pro lapování [7]

Druh plochy	Jednostupňové lapování	Dvoustupňové lapování
Rovinná	5 až 20 $\mu m$	až 100 $\mu m$
Válcová	do 10 $\mu m$ na průměr	do 100 $\mu m$ na průměr

#### Dosahované parametry

Nevýhodou lapování je velká pracnost, malá produktivita a vysoké náklady na jednotku plochy s porovnáním s ostatními dokončovacími metodami.

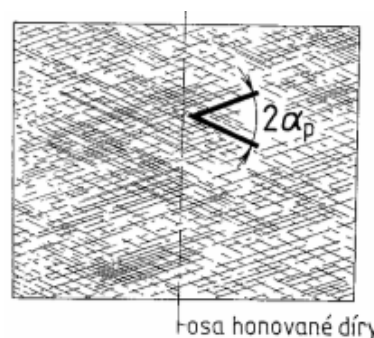
**Tab.5.3** Dosahovaná jakost lapovaných otvorů [7]

Ukazatel jakosti	Přesnost rozměrů			Tvarová přesnost ( $\mu\text{m}$ )			Drsnost povrchu $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )		
	velmi jemné	jemné	normální	velmi jemné	jemné	normální	velmi jemné	jemné	normální
Způsob lapování	IT 1	IT 3	IT 4	0,05	0,1	0,5	0,005	0,05	0,1
Otvory	až IT 3	až IT 4	až IT 6	až 0,1	až 0,5	až 1,0	až 0,05	až 0,1	až 0,4

## 5.1.2 Honování

### 5.1.2.1 Technologické charakteristiky

Honování je v podstatě broušení malou rychlostí, při kterém je materiál obrobku odebrán pohybem broušicích zrn vázaných pevně pojivem v honovacích lištách nebo honovacích kamenech. Jakost obrobeného povrchu se zvyšuje řezným účinkem jemného brusiva. Obrábění probíhá za vydatného přívodu chladicí kapaliny. Na povrchu po honování se objevují křížové stopy, které svírají úhel  $2\alpha$ .



**Obr. 5.2** Charakteristický vzhled honovací plochy [7]

### Řezné podmínky

Tab.5.5 uvádí doporučené řezné podmínky pro honování, které jsou ovlivněny honovaným materiálem, výchozí a požadovanou přesností tvaru a drsností povrchu, průměrem díry, použitým brusivem a přídatkem na honování- tab.5.4.

**Tab.5.4** Přídatky na honování [4]

Průměr díry [mm]	Velikost přídatku na průměr [mm]	
	ocel	litina
až 50	0,01 až 0,02	0,02 až 0,04
50 až 100	0,015 až 0,03	0,02 až 0,06
100 až 200	0,02 až 0,05	0,04 až 0,08
200 až 300	0,025 až 0,08	0,06 až 0,16
300 až 500	0,04 až 0,12	0,12 až 0,25

**Tab.5.5** Doporučené řezné podmínky pro honování [4]

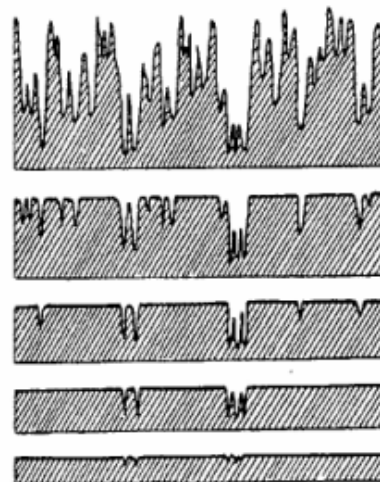
Materiál	Operace	Brusivo					
		diamant, KNB			umělý korund, karbid křemíku		
		$v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m.min <sup>-1</sup> ]	$p_k$ [m.min <sup>-1</sup> ]	$v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [m.min <sup>-1</sup> ]	$p_k$ [m.min <sup>-1</sup> ]
Nekalená ocel	hrubování dokončování	25 až 35	6 až 12	0,4 až 0,6	15 až 30	8 až 12	0,4 až 0,8
		25 až 35	3 až 8	0,2 až 0,4	10 až 30	5 až 7	0,2 až 0,4
Kalená ocel	hrubování dokončování	40 až 50	5 až 8	0,8 až 1,4	20 až 40	5 až 8	1 až 1,5
		40 až 55	4 až 6	0,4 až 0,8	20 až 30	4 až 7	0,6 až 1
Litina	hrubování dokončování	50 až 80	15 až 18	0,8 až 1,5	40 až 80	12 až 22	0,8 až 1,4
		40 až 70	8 až 16	0,4 až 0,9	30 až 50	8 až 15	0,3 až 0,8
Bronz	dokončování				40 až 70	4 až 8	0,3 až 0,5
Tvrdé povlaky	dokončování	20 až 25	10 až 12	0,3 až 0,4			

**Dosahované parametry**

- odstraňuje kuželovitost, nekruhovitost, nepřímost a soudkovitost díry
- odstraňuje vlnitost obrobeného povrchu – zachovává kolmost díry k čeku
- vysoká jakost obrobené plochy až  $Ra = 0,025\mu\text{m}$ , běžně  $Ra = 0,4\mu\text{m}$
- tolerance honovaných děr je maximálně IT4 až IT2, běžně IT5 až IT7
- lze obrábět i tenkostěnné obrobky
- nelze změnit polohu osy díry danou předchozím obráběním

**5.1.3 Superfinašování****5.1.3.1 Technologické charakteristiky**

Superfinašování je zvláštní druh broušení, při kterém se z povrchu odřezávají vrcholky nerovnosti velmi jemnými zrní broušicích nástrojů. Obrábění probíhá při nízkých řezných rychlostech, malých měrných tlacích nástroje na obráběnou plochu a při kombinaci kmitavého, otáčivého a přímočarého posuvného pohybu. Postupně se zmenšováním drsnosti obrobené plochy se zvětšuje její nosný podíl (obr. 5.3), klesá měrný tlak mezi kamenem a součástí, dojde k vytvoření souvislého kapalinného filmu.



**Obr. 5.3** Průběh superfinašovacího procesu [3]

**Řezné podmínky**

Předcházející operací před superfinašováním je broušení, jemné soustružení nebo vyvrtávání. Výchozí parametry superfinašování jsou rozhodující pro volbu řezných podmínek – tab. 5.6

**Tab.5.6** Řezné podmínky a přídavky pro superfinašování [4]

Drsnost povrchu $Ra$ [ $\mu\text{m}$ ]		Přídavek [ $\mu\text{m}$ ]	Operace	Úhel křížní stop $2\alpha$ [ $^\circ$ ]	Poměr $v_w/v_k$
požadovaná	výchozí				
0,16	1,6	10 až 12	1	80 až 110	0,8 až 1,2
0,08	0,8	5 až 8	2	40 až 70	1,5 až 2,5
0,04	0,4	4 až 5	3	20 až 40	3 až 12
0,02	0,2	2 až 3	4	méně než 20	12 až 28

Operace: 1,2 – hrubovací fáze superfinašování, 3,4 – jemné superfinašování

Podle výchozí drsnosti se volí odpovídající operace

**Dosahované parametry**

Superfinašování je operace, která:

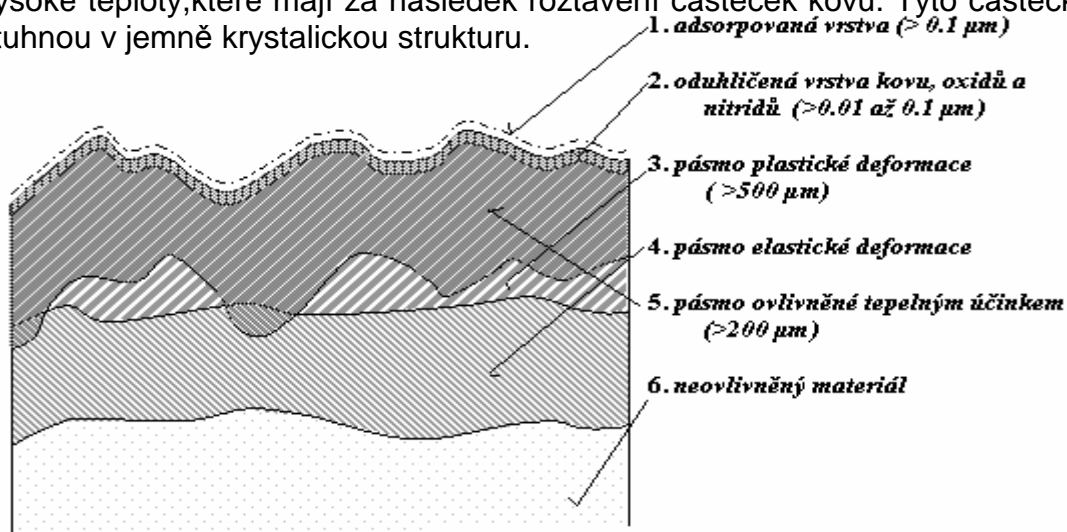
- trvá velmi krátce ( 20 až 60s) a lze jí nahradit zdlouhavé zaběhávání strojů
- zlepšuje kvalitu obrobeného povrchu ( lze dosáhnout až  $Ra = 0,01\mu\text{m}$ )
- neodstraní se tvarové nepřesnosti kruhovitosti a válcovitosti

### 5.1.4 Broušení

#### 5.1.4.1 Technologické charakteristiky

Broušení je dokončovací metoda obrábění rovinných, válcových nebo tvarových vnějších a vnitřních ploch nástrojem, jehož břity jsou tvořeny zrna tvrdých materiálů, navzájem spojených vhodným pojivem.

Při operaci broušení dochází vlivem mechanických a tepelných účinků k nerovnoměrnému rozdělení plastických deformací a odlišné stavby struktury povrchu, který znázorňuje obr. 5.4. Na povrchu během broušení vznikají vysoké teploty, které mají za následek roztavení částeczek kovu. Tyto částecčky ztuhnou v jemně krystalickou strukturu.



Obr. 5.4 Schématické znázornění broušené povrchové vrstvy [9]

#### Řezné podmínky pro obvodové broušení do kulata vnitřních ploch

Podmínky broušení jsou nepříznivé, protože brousící zrna se aktivně zúčastňují procesu oddělování třísky a velmi se namáhají. Brousící kotouč se musí často orovnávat a musí mít vysoké otáčky, aby nedocházelo k jeho opotřebení, zanášení, ztrátě řezné schopnosti a geometrického tvaru. Zvýšení obvodové rychlosti obráběné součásti zlepší odvod tepla a na broušeném povrchu se sníží tvorba opalů, ale drsnost obrobené plochy se zhorší v důsledku kratší doby doteku součásti s kotoučem.

Tab.5.7 Volba řezných poměrů při vnitřním broušení [4]

Druh práce	Podélný (axiální) posuv $f_a$ [mm]	Pracovní (radiální) záběr $a_e$ [mm]	Obvodová rychlost obrobku $v_w$ [m.min <sup>-1</sup> ]
Jednoduché brusky			
- hrubování	(0,4 až 0,7). $b_s$	0,005 až 0,02	20 až 40
- broušení na čisto	(0,25 až 0,4). $b_s$	0,0025 až 0,01	20 až 40
Poloautomatické brusky			
- hrubování	(0,4 až 0,75). $b_s$	0,0025 až 0,005	50 až 150
- broušení na čisto	(0,25 až 0,4). $b_s$	0,0015 až 0,0025	50 až 150

$b_s$  = šířka brousícího kotouče,  $f_a$  = vztahuje se na otáčku obrobku,  $a_e$  = vztahuje se na zdvih

**Dosahované parametry**

Přesnost rozměrů a jakost obrobených ploch závisí na tuhosti a přesnosti brusky, velikosti zrna a dalších vlastnostech broušícího kotouče, na způsobu broušení a na řezných podmínkách.

**Tab.5.8** Přesnost a jakost vnitřních válcových ploch obrobených broušením [7]

Způsob broušení	Přesnost rozměrů IT	Jakost obrobené plochy Ra ( $\mu\text{m}$ )
hrubování	9 až 11	1,6 až 3,2
načisto	5 až 7	0,4 až 1,6
jemné broušení	3 až 6	0,05 až 0,4

**5.1.5 Leštění****5.1.5.1 Technologické charakteristiky**

Leštění je operace obrábění, při které se odstraní drobné nerovnosti, docílí se zrcadlový lesk a vysoké jakosti obrobeného povrchu (až  $Ra = 0,1\mu\text{m}$ ). Úběr materiálu je u těchto operací minimální, odstraňují se pouze stopy po předcházejícím obrábění, přesnost rozměrů a tvar se leštěním nezlepší. Kromě mikronerovností se z povrchu odstraňují nečistoty, vrstvičky oxidů a jiných chemických sloučenin.

**Dosahované parametry**

## a) Mechanické leštění

- jakost vyleštěného povrchu  $Ra = 0,4$  až  $0,1\mu\text{m}$
- přesnost rozměrů: válcové součásti max. 0,001 mm  
velké tvarové součásti max. 0,1 mm  
rovinné plochy max. 0,05 mm  
při bezhrotém leštění max. 0,02mm
- střední úběr materiálu 20 mm za 15 s.

## b) Chemické leštění

- jakost vyleštěného povrchu  $Ra = 0,2$  až  $0,4\mu\text{m}$
- střední intenzita rozpouštění kovu:  
korozi-vzdorné oceli (CrNi)  $0,2$  až  $0,3\text{ g}\cdot\text{dm}^{-2}$   
křemíkový bronz  $70\text{ dm}^2$  vyleštěné plochy 1 litrem roztoku  
hliníkové slitiny  $1\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$
- nelze vytvořit ostré hrany a přechody mezi dvěma plochami
- nezlepšuje geometrický tvar obrobku
- úběr probíhá rovnoměrně ve všech směrech, a proto zaoblení hran a přechodů je rovné hloubce odebrané vrstvy

## 5.2 Další dokončovací operace vnitřních otvorů

### 5.2.1 Vyhrubování a vystružování

#### 5.2.1.1 Technologické charakteristiky

Vyhrubování a vystružování jsou operace opracování vnitřních rotačních ploch, kterými se zvyšuje přesnost rozměrů a zlepšuje jakost obrobeneho povrchu díry. Díry do průměru 10 mm se pouze vystružují, větší díry se vyhrubují a pak vystružují.

#### Řezné podmínky

**Tab.5.9** Dokončované řezné podmínky pro vyhrubování a vystružování [4]

Obráběný materiál		$v_c = [m \cdot min^{-1}]$	$f [mm]$
Šedá litina	vyhrubování	6 až 10	0,2 až 0,7
	vystružování	10 až 30	0,1 až 1
Ocel $R_m = 600$ MPa	vyhrubování	15 až 18	0,2 až 0,7
	vystružování	7 až 15	0,1 až 0,8
Ocel $R_m = 1000$ MPa	vyhrubování	6 až 8	0,2 až 0,7
	vystružování	2 až 6	0,2 až 0,6
Hliníkové slitiny	vyhrubování	30 až 50	0,5 až 2
	vystružování	30 až 60	0,5 až 2

$v_c$  – řezná rychlost,  $f$  – posuv

#### Dosahované parametry

Průměr díry i drsnost obrobeneho povrchu závisí na řezných podmínkách, tuhosti nástroje, materiálu obrobku, použité chladicí kapaliny atd.

**Tab.5.10** Přesnost a drsnost obrobeneho povrchu při vyhrubování a vystružování [7]

Operace	Přesnost IT	Drsnost obrobeneho povrchu $R_a (\mu m)$
Vyhrubování	10 až 12	3,2 až 12,5
Vystružování: ruční strojní	6 až 8	0,4 až 1,6
	7 až 9	0,4 až 1,6
Vystružování jednobřítým výstružníkem ze SK	5 až 6	0,15 až 0,2

### 5.2.2 Vyvtávání

#### 5.2.2.1 Technologické charakteristiky

Vyvtávání je obrábění předobrobeneho povrchu vnitřních rotačních ploch jedno nebo vícebřítým nástrojem. V širokém rozsahu přesnosti a jakosti obrobeneho povrchu lze opracovávat díry průchozí i neprůchozí.

#### Řezné podmínky

Z místa řezu se hůře odvádí třísky a špatně se odvádí teplota, proto je řezná rychlost značně ovlivněna.

**Tab.5.11** Hodnoty posuvu a hloubky řezu [7]

Operace	Posuv na otáčku (mm)	Hloubka řezu (mm)
Hrubování	0,1 až 1,5	3 až 5
Načisto	0,04 až 0,3	0,2 až 0,5
Jemné vyvrtávání	0,005 až 0,05	0,1 až 0,3

**Dosahované parametry**

Důležitým parametrem je dobré utváření třísek, jinak se tříska namotává na nástroj a odtlačuje ho od obrobenej plochy. Proto se zhoršuje geometrická přesnost díry a drsnost povrchu, který je navíc třískou poškrábán. Přesnost rozměrů a jakost obrobenej plochy závisí na tuhosti vyvrtávací tyče, geometrie břitu řezného nástroje, řezných podmínkách apod.

**Tab.5.12** Dosahované hodnoty přesnosti rozměrů a drsnosti vyvrtávaných děr [7]

Operace	Přesnost rozměrů IT	Jakost obrobenej povrchu Ra (μm)
Hrubování	11 až 14	6,6 až 25
Načisto	9 až 11	1,6 až 6,3
Jemné vyvrtávání	5 až 8	0,2 až 1,6

**5.3 Beztřískové metody dokončování povrchů****5.3.1 Kuličkování****5.3.1.1 Technologické charakteristiky**

Statické kuličkování: Je podobné statickému válečkování, ale místo válečků je tvářecím nástrojem kulička uložena v držáku nebo na kroužku tak, aby se plynule odvalovala po povrchu.

Dynamické kuličkování: Používá se pro tvarově složité součásti, při kterém se na dokončovaný povrch vrhá proud kuliček o průměru 0,3 až 3 mm z kalené oceli nebo bílé litiny rychlostí až 60 m.s<sup>-1</sup>

**Dosahované parametry**

- dokončují se součásti z materiálu s pevností do 1000MPa a tažnosti minimálně 12%
- obvodová rychlost 40 až 150 m.min<sup>-1</sup>
- styková síla je vlivem malé stykové plochy kuličky menší a dochází ke kopírování nerovnosti povrchu
- posuv na otáčku obrobku 0,1 až 0,4 mm
- dosahovaná rozměrová přesnost IT6 až IT8
- výsledná drsnost povrchu po statickém kuličkování Ra = 0,1 až 0,4 μm
- výsledná drsnost povrchu po dynamickém kuličkování Ra = 0,8 až 1,6 μm

### **5.3.2 Vyhlazování povrchu diamantem**

#### **5.3.2.1 Technologické charakteristiky**

Používá se pro beztržiskové dokončování tepelně zpracovaných ocelí.

#### **Dosahované parametry**

- nejvyššího účinku se dosáhne u tepelně zpracovaných ocelí na 50 až 55 HRC
- po jednom až třech průchodech dosahuje drsnosti  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$

### **5.3.3 Válečkování**

#### **5.3.3.1 Technologické charakteristiky**

Statické válečkování: Na dokončovanou plochu působí váleček, který se po dokončovaném povrchu odvaluje

Dynamické válečkování: Silový impulz na váleček je vyvozen rotujícím trnem nebo kroužkem s válečkovými plochami.

#### **Pracovní podmínky**

Válečkováním se opracovávají všechny kovové materiály (ocel, litina, šedá litina, bronz, mosaz, hliník, speciální slitiny atd.), běžně do pevnosti  $R_m = 750\text{MPa}$  někdy až  $1400\text{MPa}$  a tvrdosti HB 220.

Pracovní podmínky se volí podle požadované jakosti opracované plochy, přesnosti rozměrů a tvaru, tvrdosti povrchové vrstvy a hloubky zpevnění. Materiálem obrobku, tlakem válečků, přídavkem a jakostí předobrobené plochy je dána celková deformace povrchu. Výsledná jakost také závisí na posuvu a počtu průchodů nástroje.

- obvodová rychlost válečků  $10$  až  $120 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  při statickém válečkování
- obvodová rychlost válečků  $20 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  při dynamickém válečkování
- posuv nástroje  $0,2$  až  $1 \text{ mm}$  za otáčku při statickém válečkování
- posuv nástroje  $0,04$  až  $16 \text{ mm}$  za otáčku při dynamickém válečkování
- přídavek na opracování  $0,02$  až  $0,08 \text{ mm}$  v závislosti na jakosti plochy obrobené před válečkováním, při válečkování děr je průměr činné části nástroje větší o  $0,05$  až  $0,2 \text{ mm}$  než je průměr díry
- velikost přitlačné síly dle materiálu obrobku od  $500$  do  $5000\text{N}$
- pro dokončování obrobených povrchů s drsností  $R_a$  do  $3,2 \mu\text{m}$

#### **Dosahované parametry**

- rozměr součásti se změní o  $0,01$  až  $0,03 \text{ mm}$
- dosahuje se rozměrové přesnosti IT6 až IT8
- drsnost povrchu při statickém válečkování  $R_a = 0,1$  až  $0,4 \mu\text{m}$
- drsnost povrchu při dynamickém válečkování  $R_a = 0,2$  až  $0,8 \mu\text{m}$
- zpevnění povrchové vrstvy o  $30$  až  $50\%$
- geometrická přesnost se zvýší o  $16\%$
- zlepšuje odolnost proti dynamickému namáhání (únavové pevnosti)
- odolnost proti otěru  $1,5$  až  $6$  krát
- odolnost proti účinkům vrubů
- odolnost proti korozi  $2$  až  $2,5$  krát
- snižuje koeficient tření

## 5.4 Celkový přehled dokončovacích operací obrábění

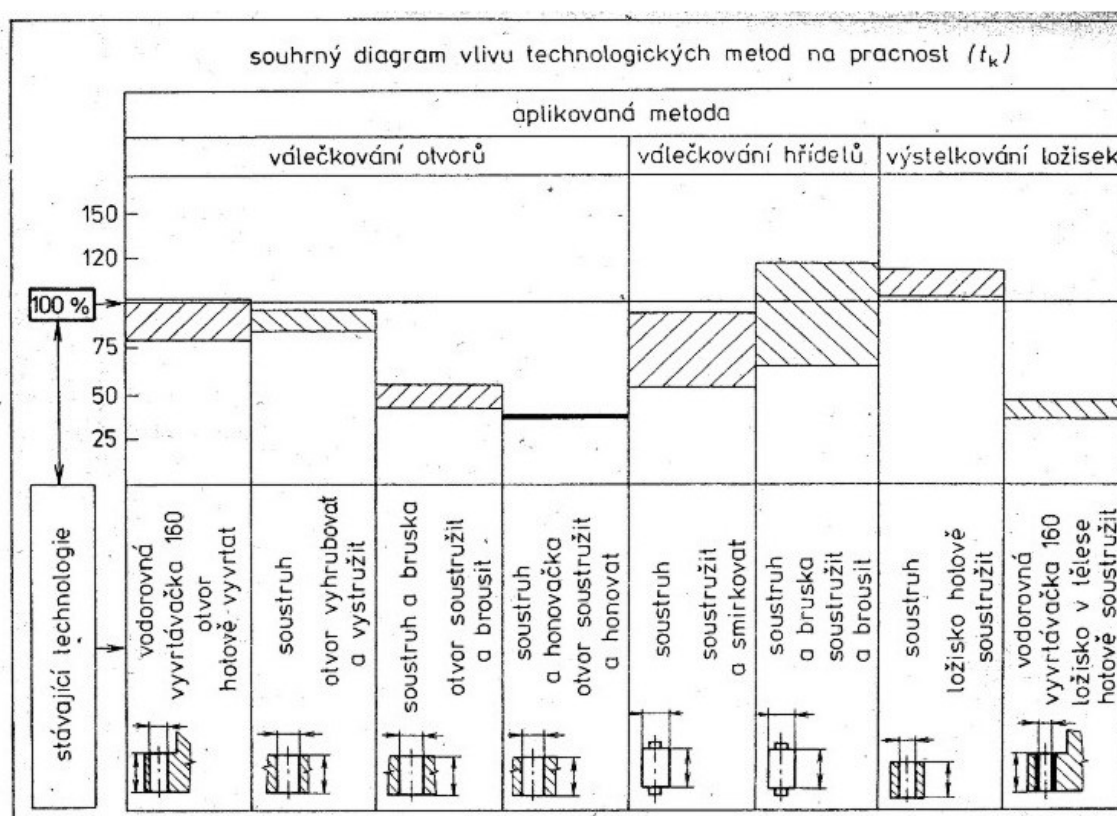
Tab.5.13 Přehled dokončovacích operací [7]

Druh obrábění	Drsnost povrchu Ra ( $\mu\text{m}$ )	Stupeň přesnosti IT	Rychlost obrábění ( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ )	Specifický tlak nástroje (MPa)	Teplota povrchu ( $^{\circ}\text{C}$ )	Přídavek na průměr ( $\mu\text{m}$ )
Soustružení	0,4 až 1,6	7 až 9	80 až 270	20 až 300	300 až 600	do 2 000
Jemné soustružení	0,2 až 0,8	5 až 7	30 až 300	10 až 250	100 až 300	40 až 300
Vyrtávání	0,2 až 0,8	4 až 6	10 až 250	10 až 100	50 až 250	30 až 300
Vystružování	0,2 až 0,8	5 až 7	3 až 18	10 až 200	40 až 150	50 až 250
Frézování	0,4 až 1,6	7 až 8	50 až 700	15 až 300	50 až 300	do 2 000
Zaškrabávání	0,4 až 1,6	3 až 6	5 až 30	10 až 40	30 až 50	do 300
Běžné broušení	0,4 až 1,6	5 až 7	900 až 2 400	40 až 400	400 až 1 200	do 800
Jemné broušení	0,1 až 0,4	3 až 5	900 až 4 200	30 až 200	200 až 900	10 až 320
Klasické honování	0,1 až 0,8	3 až 5	15 až 40	0,2 až 1,4	30 až 150	20 až 200
Diamantové honování	0,2 až 0,8	2 až 4	40 až 80	0,3 až 2,0	30 až 80	10 až 150
Vibrační honování	0,1 až 0,4	2 až 4	10 až 50	0,2 až 0,8	30 až 60	10 až 300
Elektrochemické honování	0,2 až 0,8	3 až 5	10 až 40	0,2 až 1,2	30 až 40	20 až 500
Superfinašování	0,01 až 0,2	1 až 3	5 až 30	0,1 až 0,6	do 30	10 až 50
Lapování	0,005 až 0,2	1 až 3	5 až 30	0,5 až 1,6	20 až 40	20 až 300
Leštění kotouči	0,1 až 0,4	4 až 7	600 až 1 800	0,1 až 0,4	30 až 80	20 až 100
Leštění pásy	0,1 až 0,4	3 až 6	600 až 2 400	do 0,1	30 až 70	10 až 50
Chemické leštění	0,1 až 0,4	5 až 8	—	—	20 až 150	20 až 200
Elektrochemické leštění	0,1 až 0,8	6 až 9	—	—	30 až 90	30 až 300
Kartáčování	0,2 až 0,8	6 až 10	600 až 3 000	0,3 až 1,6	30 až 60	50 až 150
Vibrační leštění	0,2 až 1,6	6 až 10	10 až 80	do 0,15	30 až 50	50 až 150
Omlání	0,4 až 1,6	7 až 11	40 až 60	do 0,25	30 až 50	10 až 200
Válečkování	0,1 až 0,4	6 až 7	10 až 30	200 až 1 400	30 až 50	5 až 20
Kuličkování	0,2 až 0,8	7 až 9	15 až 45	200 až 1 200	30 až 50	5 až 30
Protlačování	0,2 až 0,8	5 až 7	2 až 7	200 až 1 500	30 až 50	7 až 40

## 5.5 Srovnání na základě pracnosti

Graf na obr. 5.5 zachycuje porovnání pracnosti technologie hladícího válečkování otvorů a hřídelí s pracností konvenčních metod a to broušením otvorů a hřídelí, vystružováním, jemným vyvrtáváním, honováním a smirkováním hřídelů.

Vyšrafované úsečky v grafu značí hodnoty pracnosti pro technologii válečkování a přímka na hranici 100% pracnost jednotlivých konvenčních metod. Z grafu plyne, že při použití metody válečkování dosáhneme téměř u všech variant snížení pracnosti. Zásadní rozdíl pracnosti se projeví zejména při honování a broušení otvorů, kde rozdíl pracností činí až 50%. [8]



Obr. 5.5 Srovnání pracnosti konvenčních technologií a technologie válečkování [8]

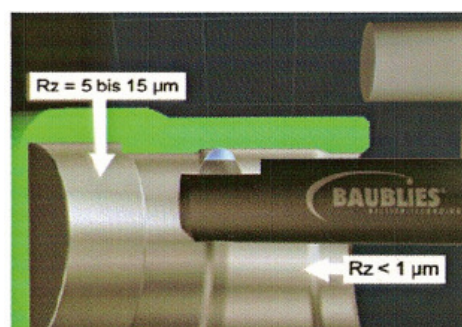
## 6 PŘEDPOKLADY DO BUDOUCNA

Metoda válečkování se stává nepostradatelnou součástí strojírenské výroby, která dokáže plnohodnotně nahradit konvenční dokončovací metody jako např. jemné soustružení, frézování, vystružování, broušení, lapování, honování atd., čímž značným způsobem snižuje výrobní náklady a to je jeden z mnoha důvodů, proč se válečkování stále častěji zařazuje do výrobního procesu.

Budoucnost válečkování závisí především na vývinu stále dokonalejších válečkovacích nástrojů mezi něž se dají zařadit již zmiňované diamantové válečkovací nástroje vyráběné společností Baublies AG.

Diamant je nejtvrdší známý materiál a jeho vrypová tvrdost je 140 krát větší než u korundu. Diamantovým válečkovacím nástrojem můžeme hladit vnitřní plochy od průměru 10 mm a lze je použít pro materiály vyšších tvrdostí až okolo 60 HRC. Klasickými válečkovacími nástroji lze válečkovat materiály o tvrdosti 45 až 50HRC. Životnost nástroje je 20 000 až 25 000 cyklů. Některé se po opotřebení dají přebrousit. Cena přebroušení se pohybuje okolo 70 €, (tz.,že při současném kurzu 25 Kč za euro), odpovídá ceně 1750 Kč. Pořizovací cena nového diamantového hrotu je 300 €, přepočteno na 7500 Kč.

Diamantové nástroje se vyrábí odpružené, aby se zabránilo jeho porušení při najíždění do součásti. Také tvářecí síla působící na válečkovanou plochu je oproti klasickým válečkovacím nástrojům nižší, proto je vhodné je používat pro tenkostěnné součásti. Mezi další přednosti diamantových nástrojů patří nejvyšší kvalita povrchu – obr.6.1 , není potřeba žádná přídavná zařízení jako například hydraulická jednotka, nekonečná různorodost pro speciální individuální řešení a další. [10]



**Obr. 6.1** Hlazení diamantovým nástrojem [10]

Mezi současně i do budoucnosti perspektivní nástroje patří kombinované diamantové nástroje, kterými můžeme u jedné výrobní operaci součást třískově obrábět a válečkovat – obr.6.2

Použití těchto nástrojů ve výrobě zásadním způsobem zkracují hlavní a vedlejší výrobní časy. Toto řešení je zvláště ekonomicky výhodné v sériové nebo hromadné výrobě, a to u součástí s delšími technologickými časy na obrábění, jako například u hydraulických válců, pístnic apod. [8]



**Obr. 6.2** Kombinovaný diamantový nástroj [10]

## ZÁVĚR

Cílem a snahou této práce bylo sepsání informací týkajících se metody válečkování a válečkovacími nástroji se zaměřením na válečkování kruhových otvorů. Publikace na podobná témata se přestala vydávat v 60. letech minulého století, a proto doufám, že tato práce bude přínosem pro seznámení se s touto metodou a používanými nástroji.

První kapitola je zaměřena na obeznámení se s metodou válečkování a objasnění základních pojmů týkajících se dokončování a zpevňování strojních součástí válečkováním. Účelem metody válečkování je zejména zpevnění povrchové vrstvy strojních součástí, čímž dochází ke značnému snížení možnosti vzniku únavového lomu, což je velice účelné, neboť lomy strojních součástí mají z 90% právě charakter tohoto lomu. Válečkováním také můžeme dosáhnout zvýšení tvrdosti povrchové vrstvy v rozmezí 20 až 100%. Dalším účelem je vyhlazení povrchů strojních součástí, kdy metodou válečkování dosahujeme drsnosti povrchu v rozmezí  $Ra = 0,8$  až  $0,1 \mu m$ , které odpovídá jiným dokončovacím metodám obrábění, jako je honování, lapování, superfinišování, leštění. Třetím účinkem metody válečkování je kalibrování strojních součástí, kdy se snažíme docílit požadovaných úchylek rozměru, tvaru a polohy.

Druhá kapitola uvádí nástroje se zaměřením na válečkování kruhových otvorů a navazujících ploch. Uvedené a rozříděné válečkovací nástroje v této práci jsou vyráběny Německou společností Baublies AG. Důvody, proč jsou v práci použity válečkovací nástroje vyráběné právě touto společností jsou především dva. Prvním důvodem je jejich kvalita, která je vyšší oproti válečkovacím nástrojům dodávaných Asijským trhem, přestože se projevuje jejich vyšší pořizovací cena. Druhým důvodem je možnost využití tohoto zpracování pro propagaci nástrojů společností ALBA precision, s.r.o., která je v České Republice zástupcem společnosti Baublies AG a která pomohla k vypracování této práce zapůjčením potřebných podkladů.

Ve třetí kapitole jsou stručně uvedeny příklady využití válečkování vnitřních ploch. Například průmysl zabývající se výrobou elektrických motorů zaznamenal výrazné snížení hlučnosti všech pohyblivých součástí motorů od doby používání válečkovacích nástrojů.

Čtvrtá a pátá kapitola obsahuje technicko – ekonomické zhodnocení a srovnání s konvenčními metodami dokončování vnitřních ploch, jako je honování, lapování, superfinišování, broušení, leštění, dále pak s vyhrubováním a vystružováním, vyvrtáváním a s beztliskovými metodami dokončování kuličkováním a vyhlazováním povrchu diamantem. Například s porovnáním drsností dosahovaných různými dokončovacími metodami lze konstatovat, že metodou válečkování jsme schopni docílit buď lepších nebo srovnatelných hodnot drsnosti bez nutnosti nákupu drahých strojních zařízení, a proto jsou válečkovací nástroje, díky své nepříliš vysoké pořizovací ceně, dobrou investicí.

Poslední kapitola se zabývá předpoklady do budoucna ve které jsou vyzdviženy hladící diamantové nástroje a kombinované diamantové nástroje pro současné třískové obrábění a válečkování v jedné výrobní operaci. Oba dva typy nástrojů jsou proto velice perspektivní.

Metody válečkování nejlépe vystihuje známé rčení: “ *V jednoduchosti je síla.* “

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### Literatura

- [1] ADAM,V.: *Zpevňování a zpřesňování povrchu*. Praha, SNTL 1966. 147s.
- [2] HAVELKA,T. *Obrábění válečkováním*. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM: strojírenský měsíčník, 2004/4, rubrika Trendy / Obrábění, s28.
- [3] MÁDL, J. *Technologie obrábění*. 1.vyd. Praha. ČVUT,2000. ISDN 80-01-02091-6
- [4] KOČMAN, K. PROKOP,J. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s.r.o, 2001, 270s. ISBN 80-214-1996-2
- [5] PÁSEK,V. *Pokrokové způsoby tváření*. 1.vyd. Praha SNTL 1964. 200s.
- [6] POTÁCEL,V. *Technologické aspekty struktury povrchu při dokončovacím obrábění*. Brno: VUT FSI, 2003. 137s.+ Příloha teze. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.
- [7] ŘASA,J. GABRIEL V. *Strojírenská technologie 3. Metody, stroje a nástroje pro obrábění, 1.díl. 1.vyd. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-7183-207-3*
- [8] VAJSKEBR,J. ŠPETA Z. *Dokončování a zpevňování povrchu strojních součástí válečkováním*. Praha: SNTL 1984.
- [9] ZEMČÍK,O. *Změna vlastností oběžných drah valivých ložisek po aplikaci válečkování*. Brno. VUT FSI, 2001. 136s.+Příloha teze. Vedoucí diplomové práce Prof. Ing. Karel Kocman, DrSc.

### Firemní literatura

- [10] ALBA precision, spol. s.r.o.–prospekty válečkovacích nástrojů společnosti Baublies AG.
- [11] TOS KUŘIM – OS, a.s. – návody k použití válečkovacích nástrojů společnosti Baublies AG.

### Elektronické zdroje

- [12] ALBA precision *firemní stránky*  
URL: < <http://www.albaprecisin.cz/baublies-modularni-valeckovaci-nastroje.php> >.
- [13] Baublies AG *firemní stránky*  
URL: < <http://www.baublies.com/en/index.html> >.
- [14] ECOROLL *firemní stránky*  
URL: < [http://www.ecoroll.com/index\\_e.htm](http://www.ecoroll.com/index_e.htm) >.
- [15] HUMÁR,A. *Technologie 1. Laboratorní cvičení* [soubor PDF] Brno 2003.  
Dostupné z < <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni> >.
- [16] WINTER SERVIS *firemní stránky*  
URL: < <http://www.winter-servis.cz/index.php?page=ecoroll/index> >.
- [17] YAMASA *firemní stránky*  
URL: < [http://www.yamasa.com.tr/eng/roll\\_burn2.htm](http://www.yamasa.com.tr/eng/roll_burn2.htm) >.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
$a_e$	mm	pracovní záběr
$b_c$	mm	šířka brousícího kotouče
D1	mm	výchozí průměr obrobku
D2	mm	průměr obrobku po válečkování
$\Delta d$	mm	hodnota stlačené plochy (kalibrace)
F	N	síla vyvolávající tlak
$F_1, F_2$	mm	tvářecí síly
$\Delta F$	N	změna velikosti tvářecí síly
f	mm	posuv
$f_a$	mm	podélný posuv
HB		tvrdost podle Brinella
HRC		tvrdost podle Rockwella, tvrdost určená diamantovým kuželem
IT		přesnost rozměrů
L	%	nosný podíl profilu měřeného úseku
$p_k$	MPa	tlak mezi nástrojem a obrobkem
Ra	$\mu\text{m}$	drsnost povrchu
Rm	$\mu\text{m}$	výška nerovností profilu
$R_{z1}$	$\mu\text{m}$	výchozí drsnost plochy
$v_c$	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	řezná rychlost
$v_f$	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	posuvová rychlost
$v_k$	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	rychlost kmitavého pohybu
$v_w$	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	obvodová rychlost obrobku
$\alpha$	°	úhel křížení stop
$\xi_1$	-	pružná deformace předepnutím nástroje
$\xi_2$	-	pružná deformace vyvolaná změnou přídávku pro válečkování

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 Animační videa použití jednotlivých válečkových nástrojů vyrobené společností Baubles AG.

