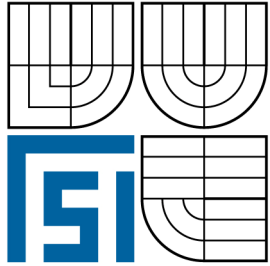


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

Návrh technologie pro součást „Válec elementu
vstříkovacího čerpadla“ ve firmě Motorpal Jihlava.

**Solution technology of production „Válec elementu
vstříkovacího čerpadla“ – part in condition firm Motorpal Jihlava**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Marian Havel

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2008

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na optimalizaci výrobního procesu válce elementu vstřikovacího čerpadla. Stávající technologie, převážně jednoúčelových strojů, bude nahrazena moderními metodami s využitím CNC obráběcích strojů a nových výkonných strojů pro dokončovací operace, zvláště pro dokončení hlavního otvoru válce. Dále budou zpracovány návrhy kritických operací, které zajišťují hlavní funkci dílce a je nutná jejich optimalizace z hlediska pracnosti a ekologie.

Klíčová slova

Obráběcí centrum, otvorové broušení, honování, geometrie otvoru, kruhovitost, přímost, válec

ABSTRACT

This thesis is intended on optimalization of industrial process the barrel element of injection pump. Existing technology, mainly special-purpose machines, will be replaced with modern methods with utilization CNC turning machines and new efficient machines for finishing operations, especially for finalization the main hole of the barrel. Thereinafter it will be worked suggestions critical operations, which hands main function element and it is necessary their optimalization in light of work difficulty and ecology.

Key words

Machining center, internal grinding, honing, hole geometry, roundness, straightness, barrel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAVEL, Marian. *Návrh technologie pro součást „Válec elementu vstřikovacího čerpadla“ ve firmě Motorpal Jihlava: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 51 stran, 1 příloha. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: **Návrh technologie pro součást „Válec elementu vstřikovacího čerpadla“ ve firmě Motorpal Jihlava**, vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 12.5.2008

.....
Marian Havel

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji řediteli závodu Motorpalu Batelov Ing. Zdeňku Kulhánkovi za umožnění vypracování bakalářské práce v tomto podniku.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
Úvod	8
1 Charakteristika dílce.....	9
2 Rozbor stávajícího stavu	11
2.1 Používané stroje	12
2.2 Používané nástroje	13
2.3 Charakteristika hlavního otvoru válce.....	14
2.4 Optimalizované části stávajícího stavu	15
3 Kompletní návrh nové technologie válce	16
3.1 Obráběcí centra.....	16
3.1.1 Současná obráběcí centra.....	17
3.1.2 Výběr obráběcího centra.....	17
3.1.3 Výpočet řezných podmínek a strojních časů	21
3.2 CNC brusky.....	25
3.2.1 Brusky hrotové	26
3.2.2 Brusky otvorové	28
3.2.3 Obecné složení brusných kotoučů	29
3.2.4 Návrh vhodných brusných kotoučů	30
3.2.5 Výpočet řezných podmínek a strojních časů	31
3.3 Honování	34
3.3.1 Honovací stroje.....	35
3.3.2 Honovací nástroje	37
3.3.3 Řezné podmínky a strojní časy.....	38
4 Rozbor metod pro dosažení jakosti otvoru.....	40
4.1 Geometrie válce a parametr Ra povrchu	40
4.2 Integrita povrchu	43
5 Návrh technologie pro minimalizaci ostřin v otvoru válce	44
6 Ekonomické hodnocení	45
6.1 Hodnocení strojů	46
6.2 Porovnání se stávajícím stavem.....	47
Závěr	48
Seznam použitých zdrojů	49
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	50
Seznam příloh	51

ÚVOD

V současné době se nároky na výrobu ve strojírenství neustále zvyšují, jak z hlediska co nejnižších nákladů, tak z hlediska kvality finálních výrobků. Tyto aspekty lze dosáhnout neustálým zdokonalováním strojního vybavení a zvyšováním kvality technologie podle nejnovějších trendů.

Většina podniků ve strojírenství se snaží nahrazovat skupiny jednoúčelových strojů různými obráběcími centry nebo CNC stroji pro různé technologie obrábění, což vede k vysokým investičním nákladům, ale zároveň tyto stroje mají velmi rychlou finanční návratnost. Dále se tyto stroje vyznačují vysokou přesností, spolehlivostí a schopností procesu v podmínkách výrobního závodu. Při použití těchto strojů dochází k výraznému snížení vedlejších časů, které byly spotřebovány manipulací mezi mnoha operacemi jednoúčelových strojů a zároveň i jejich seřizování, údržbou a zásahy obsluhy do výrobního procesu stroje.

Tato firma produkuje výrobky, u kterých kvalita a přesnost výroby velkou měrou ovlivňuje vlastnosti finálního produktu. V tomto případě se jedná o vstřikovací čerpadla diesellových motorů, kde mohou být ovlivněny jak podmínky vlastního seřízení, tak i emise vznikající nedokonalou dodávkou paliva vstřikovacím čerpadlem do vznětového motoru.



Obr. 1 Element vstřikovacího čerpadla

Tato práce je zaměřena na jednu z hlavních součástí vstřikovacího čerpadla, což je válec elementu vstřikovacího čerpadla. Tato součást společně s pístem, který zajišťuje přesnou dodávku v určitém čase chodu motoru, tvoří základ celého zařízení. Hlavní důraz je kladen na geometrii hlavního otvoru válce, který je dokončován lapováním. Tato technologie je nevyhovující pro problematické odstranění lapovací pasty ze všech ploch a otvorů válce. Proto je snaha nahradit tuto technologii honováním, případně otvorovým broušením. Obě tyto technologie jsou na velmi vysoké úrovni a zabývá se jimi mnoho velkých firem.

1 CHARAKTERISTIKA DÍLCE

Tato firma vyrábí vstříkovací zařízení pro dieselové motory pro zákazníky automobilového průmyslu celého světa. Jako hlavní produkty jsou vstříkovací čerpadla v různých modifikacích a vstříkovače. Dále jsou zde vyráběny vstříkovací jednotky a elementy, které jsou dodávány jako náhradní díly nebo součásti pro montáž do čerpadel a následně do motorů u zákazníka. Tato práce bude zaměřena na součást vyráběnou v jednom z pobočných závodů, který je specializován na výrobu elementů a vstříkovacích jednotek.



Obr. 1.1 Druhy elementů vstříkovacích čerpadel

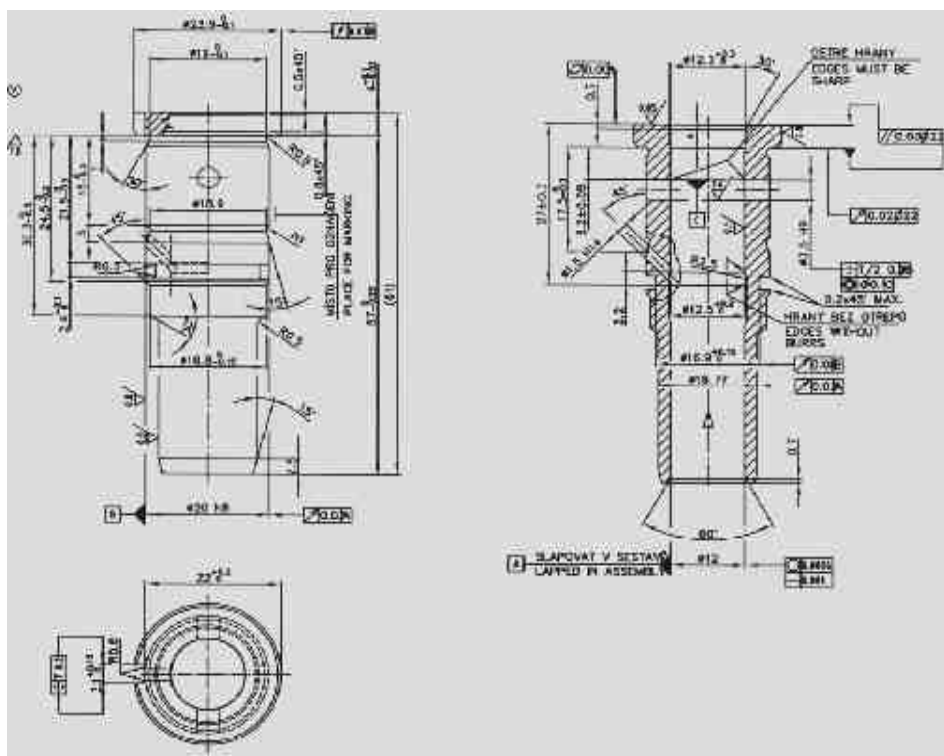
Dílec, který bude zpracováván v této práci je jedna ze základních součástí vstříkovacích čerpadel. Tyto typy čerpadel pracují na principu dodávky paliva pomocí tzv. regulačních hran. Společně válec s pístem tvoří element, který je základem pro vstříkovací jednotku, která je montována jako celek do tělesa vstříkovacího čerpadla. Element je sestava válce s pístem. Tato sestava je spárována s vůlí $2,5 \mu\text{m} - 4,0 \mu\text{m}$. To je hlavní parametr pro stanovení geometrie povrchu funkčních ploch obou součástí. Tato vůle s parametry geometrie a Ra povrchu má zajistit správnou funkci součásti. Tato funkce spočívá ve správném dávkování paliva vysokým tlakem bez prolínání paliva mezi pístem a válcem, a zároveň nesmí dojít k jejich společnému zadření.

Tento dílec je vyráběn z materiálu 14 109, jehož polotovar je tyč kruhového průřezu o průměru 25 mm.



Obr. 1.2 Válec elementu vstřikovacího čerpadla

Výtažek z výkresové dokumentace ukazuje všechny rozměry, které je nutno dodržet nejen pro správnou funkci součásti, ale i pro bezproblémovou montáž do tělesa vstřikovacího čerpadla.



Obr. 1.3 Výkres součásti – válec elementu vstřikovacího čerpadla

Mezi funkční rozměry patří zejména parametry vztahující se k hlavnímu otvoru válce a parametry horního čela, kterými zajišťujeme těsnost soustavy. Další funkční části jsou otvory průměr 3,5 mm, které mají vliv na seřízení čerpadla. Zde je důležitá jejich poloha, jak vzájemná, tak i k průměru 12 mm. Rozměry povrchu součásti jsou důležité z hlediska montáže. Zde je zajištěna těsnost pomocí těsnících kroužků, ale rozměry jsou nutné pro správné dosednutí do tělesa čerpadla.

2 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU

V současné době se tento dílec vyrábí převážně pomocí jednoúčelových strojů mnoha operacemi.

Tab.2.1 Přehled stávajících operací

Č.op.	Stroj		Název operace	t _k [min]
	Třídící číslo pracoviště			
1.	SIG RC0866/1		Vrtat otvor	0,504
	4855			
2.	Soustruh SPT 16 NC		Soustružit tvar	1,796
	34111			
3.	ANK6/125		Zarovnat čelo	0,563
	4171			
4.	Vrtačka VS16		Stružit osazení	0,390
	4617			
5.	Soustruh SV18R/1000		Zarovnat, zahloubit	0,5
	4125			
6.	Frézka FA2H		Frézovat drážku	0,610
	5122			
7.	RU		Odjehlit drážku	0,290
	9421			
8.	JÚS B15		Vrtat, stružit sací otvory	0,790
	4844			
9.	Vrtačka V10/4		Vrtat odpadní otvor	0,671
	4615			
10.	RU		Odjehlit	0,304
	9421			
11.	Pračka OSVO.1E		Vyprat	0,141
	9614			
12.	Pec Aichelin		Tepelné zpracování	0,099
	21812			
13.	DVA 10		Honovat otvor	3,193
	5777			
14.	Elektr. odjehl. RC 583		Vypalovat vnitřní zápich	0,299
	95921			
15.	Bruska BHU25/630		Brousit povrchy	0,891
	5513			
16.	Bruska UME200		Brousit čelo zápichu	0,658
	5515			
17.	RU		Odjehlit	0,251
	9421			
18.	Bruska BPV300/1500		Brousit čelo hlavy	0,572
	5617			
19.	Bruska UME200		Brousit hrany	0,087
	5515			

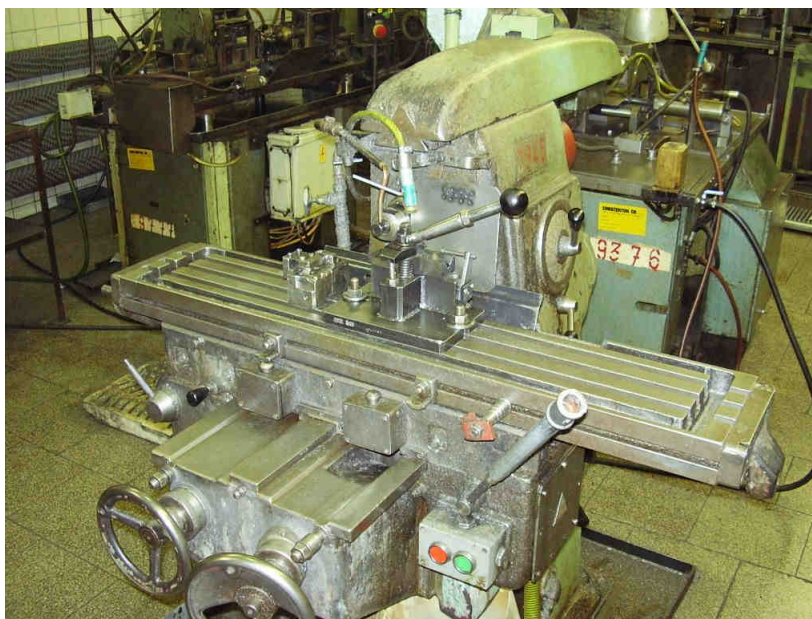
Č.op.	Stroj		Název operace	t _k [min]
	Třídící číslo pracoviště			
20.	Honovačka RC0805		Honovat jemný Diamant	1,851
	5777			
21.	RU		Kalibrovat, odjehlit sací otvory	0,109
	9421			
22.	Lapovací stroj RC		Dokončit válec	2,278
	5776			
23.	Lapovací stroj deskový		Lapovat čelo	0,5
	5771			
Σt _k				17,347

2.1 Používané stroje

Stroje používané v tomto výrobním procesu mají velmi omezené použití, a nesplňují parametr schopnosti stroje $C_p, C_{pk} \geq 1,67$. Většina z těchto strojů je použita pouze k jedné specifické činnosti. Jediný automatický stroj, který je začleněn do výroby je soustruh SPT 16 NC, na soustružení celého tvarového povrchu válce. Mezi další stroje patří vrtací stroj SIG, pro vrtání otvoru o průměru 11,90 mm. Pro vrtání otvorů 3,5 mm je použit jednoúčelový vrtací stroj s protichůdnými vrtáky. Pro vrtání ostatních otvorů jsou použity stojanové vrtáčky a výměnné polohovací přípravky. Další jednoúčelový stroj je pro frézování polohovací drážky.



Obr. 2.1 Jednoúčelový stroj pro vrtání sacích otvorů



Obr. 2.2 Jednoučelový stroj pro frézování polohovací drážky

Další stroje jsou pro dokončování povrchu broušením na hrotových bruskách, obrábění otvoru honováním dia-pouzdra a dokončování otvoru lapovací pastou nanášenou na litinová pouzdra.

2.2 Používané nástroje

Nástroje používané pro běžné způsoby obrábění jsou většinou v základních nabídkách dodavatelských firem jako Sandvik Coromant, Iscar a Carborundum Electrite. Další nástroje, hlavně pro výrobu hlavního otvoru, jsou vyráběny na zakázku pro dané stroje a technologii. Jedná se o nástroje, které se skládají z nosiče a pouzder s nanesenými diamantovými zrny různé velikosti. Tyto pouzdra rozlišujeme podle zrnitosti na hrubé, střední a jemné. Tyto pouzdra se používají na třech operacích obrábění hlavního otvoru průměru 12 mm. Jako dokončovací operace se používá litinové pouzdro pro lapování, které je nasazené na rozpínacím trnu a na které je nanášena lapovací pasta o hrubosti pro daný parametr jakosti povrchu Ra 0,1.



Obr. 2.3 Pouzdra pro obrábění hlavního otvoru průměr 12 mm: a) střední, b) jemné, c) lapovací pouzdro d) nosič s hrubým pouzdrém

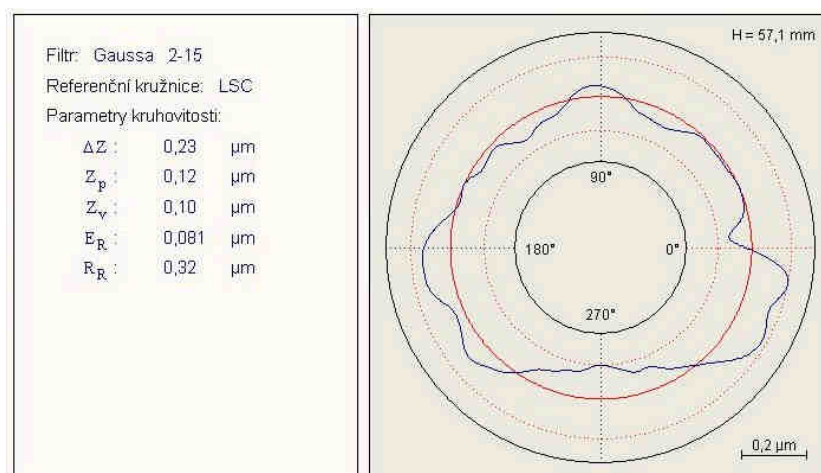
2.3 Charakteristika hlavního otvoru válce

Vnitřní válcová plocha průměr 12 mm patří mezi funkční části elementu. Spolu s pístem tvoří pár se vzájemnou vůlí $2,5 \mu\text{m} - 4,0 \mu\text{m}$. Tato vůle musí umožnit volný pohyb pístu ve válci a zároveň zajistit těsnost soustavy. Hlavní parametry zajišťující tuto funkci jsou dány geometrií a parametrem Ra povrchu pístu i otvoru válce. Mezi předepsané geometrické charakteristiky patří kruhovitosť a přímota. Geometrie je měřena kruhoměrem MUK 300 od firmy Aquastyl a Ra měřícím přístrojem Hommel T 1000. Na volný chod pístu ve válci mají velký vliv ostřiny a mikroostřiny na hranách vstupujících do hlavního otvoru. Tyto ostřiny mohou vést až k zadření elementu, proto je nutné tyto ostřiny v případě jejich vzniku odstranit. Dále jsou nepřijatelné jakékoliv stopy po předchozím obrábění. Z toho důvodu musí být kladen důraz již na kvalitu první operace vrtání, a to hlavně na rýhy a jiné poškození vrtaného otvoru vrtákem, nebo odcházející třískou.

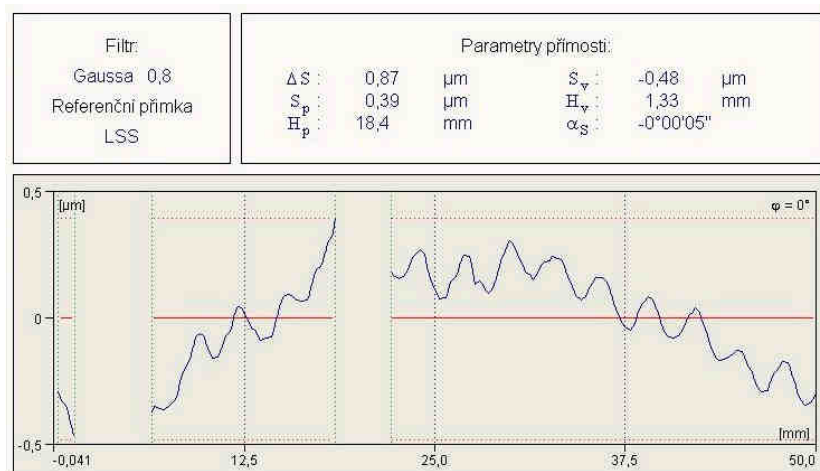
U lapovaného povrchu, dosahujeme velmi dobrých výsledků v jakosti povrchu. Pro dosažení kvalitní geometrie, musí být válec kvalitně předpracován, protože při lapování dochází k částečnému kopírování tvaru válce. Dále dochází k hromadění lapovací pasty na hranách otvoru a dochází k jejich zaoblení. Tento jev je dán přídavkem na dokončování a dobou lapovacího cyklu.



Obr. 2.4 Stopy na povrchu lapovaného otvoru válce

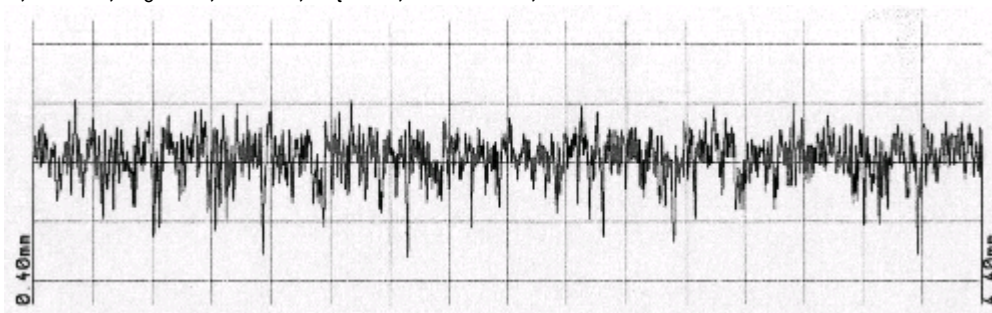


Obr. 2.5 Dosahovaná úchylka kruhovitosti otvoru lapovaného válce



Obr. 2.6 Dosahovaná úchylka přímosti otvoru lapovaného válce

Parametr R_a povrchu lapované plochy je hodnocen při parametrech: $L_t = 4,8$ mm, $L_c = 0,8$ mm, $V_t = 0,5$ mm·s⁻¹, filtr – ISO 11562

Obr. 2.7 R_a povrchu lapovaného válce – R_a 0,061 μm , R_t 0,64 μm

2.4 Optimalizované části stávajícího stavu

Mezi první z těchto částí je nahrazení skupiny strojů před tepelným zpracováním jednou operací na obráběcím centru s vyššími pořizovacími náklady, avšak rychlou návratností nákladů. Další částí bude provedena náhrada skupiny strojů pro broušení povrchových ploch dílce. Hlavní část bude zaměřena na hlavní otvor válce průměru 12 mm.

Budou přezkoumány tři varianty výroby otvoru, a to jak z hlediska nákladů, tak hlavně se zaměřením na jakost a geometrii. Těmito způsoby se nahradí nevyhovující dokončování lapovací pastou, po kterém následuje praní v neekologickém perchlór ethylenu. Po odstranění lapovací pasty z procesu výroby, bude toto medium možné nahradit novými ekologickými pracími médii.

První varianta se týká výroby otvoru hrubým a následně dokončovací broušením na CNC otvorové brusce. Druhý způsob je nahrazení celého procesu hrubým a jemným honováním při dokonalejším vrtání s co nejmenším přídavkem na honování. Třetí způsob je hrubování na otvorové brusce a dokončení honováním. Ve všech těchto způsobech je kladen důraz na kvalitu otvoru bez jakýchkoliv stop po předchozím obrábění, a odstranění ostřin na všech ostrých hranách přecházejících do hlavního otvoru průměru 12 mm.

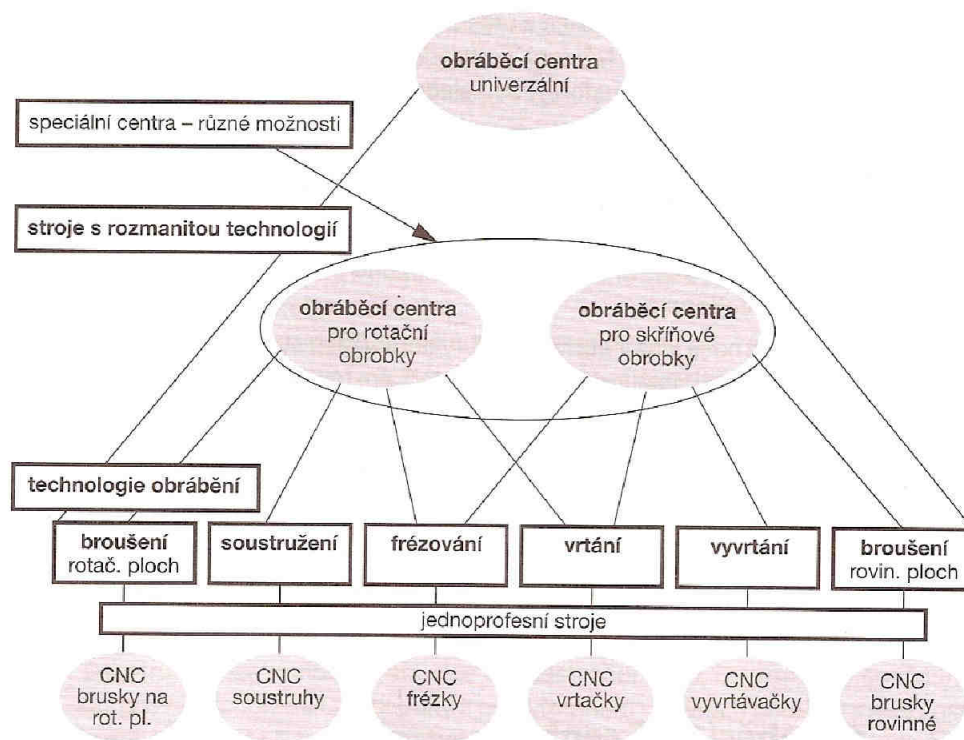
3 KOMPLETNÍ NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÁLCE

Technologie, která bude zpracována, bude vytvářena pro moderní CNC stroje a obráběcí centra. Použitím těchto strojů výrazně klesne počet operací a v závislosti na tom se sníží i vedlejší a přípravné časy, které jsou u CNC strojů minimální. Dále bude proveden návrh obrábění a dokončování hlavního otvoru válce. Budou posouzeny technologie honování a vnitřního broušení v závislosti na ekonomice a výkonu těchto technologií a také na finální kvalitě celé obráběné plochy. Kritické operace budou řešeny v kapitolách 4. až 6.

Tento návrh bude předložen k posouzení vedení firmy, kde bude rozhodnuto o využití či nevyužití tohoto návrhu hlavně z hlediska investic do nových strojů, případně i kontrole plánu výroby tohoto dílce.

3.1 Obráběcí centra

Obráběcí centrum se vyznačuje kombinací několika technologií obrábění na jednom stroji. Velmi málo součástek je vyráběno jednou technologií. I na tomto dílci je potřeba po vrtání hlavního otvoru soustružit tvar součásti, poté frézovat drážku a opět vrtat radiálně otvory do tělesa válce. Volbou obráběcího centra snížíme vedlejší časy, snížíme náklady náhradou několika strojů jedním strojem, možnost snadněji automatizovat výrobu a snížení nákladů na výrobu. Dále se sníží čas manipulace mezi operacemi a čas čekání na následující operaci.¹³



Obr. 3.1 Vývoj od jednoprofesionních strojů po obráběcí centra¹³

3.1.1 Současná obráběcí centra

Tyto stroje v dnešní době využívají převážně vysokorychlostní obrábění, kde jsou oproti konvenčním způsobům několikanásobně vyšší posuvy i řezné rychlosti. Tím jsou zkráceny i hlavní strojní časy, zvyšuje se kvalita výroby a minimalizují se dokončovací operace. Základním předpokladem jsou tuhé stroje, odolné proti chvění, se sníženou hmotností. Cílem je minimalizace vedlejších časů, u kterých hraje velkou roli zrychlování, zpomalování rychloposuvů. Proto jsou moderní stroje vybaveny valivými vodícími plochami s rychlopojezdem do $120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Vedlejší časy jsou ovlivněny kromě doby pojezdu rychloposuvů také dobou výměny nástrojů, dobou výměny obrobků včetně jejich upínání, přepínání, pootočení, atd.¹³

Také řízení HSC má svá specifika. Vyžadují se značné posuvové rychlosti, které se blíží až $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Mezi další požadavky patří předem propočtené, načtené obrysy a bezproblémová komunikace mezi moduly CAD a CAM. Stroje jsou vybavovány převážně řízením Heidenhain, Ardon nebo Siemens. Ve standardním provedení jsou vybaveny pro zapojení robotů a manipulačního zařízení a zařízení pro automatickou výměnu nástrojů. Dále mají dálkovou diagnostiku poruch a závad jak stroje, tak i nástrojů. Stroje mohou být vybaveny měřicími sondami, umožňující měřit obrobek v soustavě výrobního stroje.¹³

Moderní soustružnická centra nejsou v současné době již myslitelná bez modulárních nástrojů, které umožňují rychlou výměnu nástroje za účelem dosažení co největšího stupně využití.¹

3.1.2 Výběr obráběcího centra

V současné době se zabývá mnoho firem výrobou různých CNC strojů, soustružnických a obráběcích center. U těchto strojů lze provádět několik operací na jedno upnutí, nebo případně po obrobení jedné strany umožňují upnutí do proti-vřeten s minimálním vzájemným rozdílem polohy obou vřeten. U těchto strojů tvoří základ řídicí systém, na jehož výkonu, rychlosti zpracování dat a spolehlivosti obrábění závisí.³

Při výběru stroje a jeho řídicího systému je nutné se zaměřit na:

- Pro jaký typ výroby bude použito CNC obráběcí centrum.
- Jaká je spolehlivost řídicího systému.
- Jaký je komfort ovládání řídicího systému a náročnost přípravy NC programů.
- Jaká je dostupnost a kvalita servisu a technologická pomoc od dodavatele.
- Jaká je kvalita a cena servisní organizace dodavatele CNC řídicího systému.
- Jaké jsou k dispozici programátorské možnosti, simulační programy apod.¹⁴

Mezi výrobce obráběcích center dostupných na trhu patří firmy HAAS, TAJMAC, SPINNER, BIGLIA, MORI SEIKI a HYUNDAI-KIA. Všichni tito výrobci produkují stroje vyhovující pro tento typ výroby. Většina z těchto výrobců se však zabývá převážně výrobou vertikálních obráběcích center s technologií frézování, vyvrtávání a vyhrubování. Nejvýhodnější dle základních parametrů stroje a výrobku je z technologického hlediska pro tuto výrobu soustružnické centrum od firmy HYUNDAI-KIA SKT15LMS.



Obr. 3.2 Soustružnické centrum TAJMAC TCH 500 PRIME ¹⁵



Obr. 3.3 Soustružnické centrum HYUNDAI-KIA MACHINE ¹⁰

Soustružnické centrum Hyundai-kia je průmyslový, velmi rychlý CNC soustruh se šikmým ložem, poháněnými nástroji a proti-vřetenem. Tento stroj je vybaven řídicím systémem FANUC Oi-TB a sondou pro seřizování nástrojů.

Technická data stroje Hyundai-kia machine SKT15LMS ¹⁰

1. Pracovní rozsah

- Doporučený max. obráběný průměr [mm] 350
- Max. obráběná délka [mm] 530
- Max. průměr tyčového materiálu [mm] 43
- Průměr sklíčidla [mm] 165

2. Vřeteno

- Ukončení vřetena ISO A2-5
- Vrtání vřetena [mm] 46
- Motor vřetena [kW] 11/7,5
- Otáčky vřetena [min^{-1}] 6000
- Kroutící moment [N.m] 70
- Řízení C osy [°] 0,001
- Rychlost C osy [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$] 100

3. Proti-vřeteno

- Ukončení vřetena Upínací deska pr. 115 H7
- Vrtání vřetena [mm] 43
- Motor vřetena [kW] 3,7/2,2
- Otáčky vřetena [min^{-1}] 6000
- Kroutící moment [N.m] 23,5
- Průměr sklíčidla [mm] 135

4. Suporty

- Rozjezd v ose X / Z / B [mm] 220 / 550 / 750
- Rychloposuvy X / Y / B [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$] 36 / 36 / 30

5. Revolver

- Počet nástrojových poloh 12
- Výměna nástroje 1 poloha / dokola [s] 0,2 / 0,4
- Upínací rozměr nástroje [mm] 25 x 25
- Upínací rozměr osového nástroje [mm] 32
- Upínací síla [N.m] 33245
- Počet poháněných pozic 12
- Upínání poháněných nástrojů VDI 40
- Výkon na poháněném nástroji [kW] 3,7 / 2,2

- Max. otáčky poháněného nástroje [min⁻¹] 4000
6. Řízení stroje
- FANUC 0iTB,9“CRT
7. Rozměry stroje
- Délka x šířka x výška [mm] 3150 x 1870 x 1650
 - Hmotnost stroje [kg] 4300
 - Jmenovitý příkon stroje [kW] 25

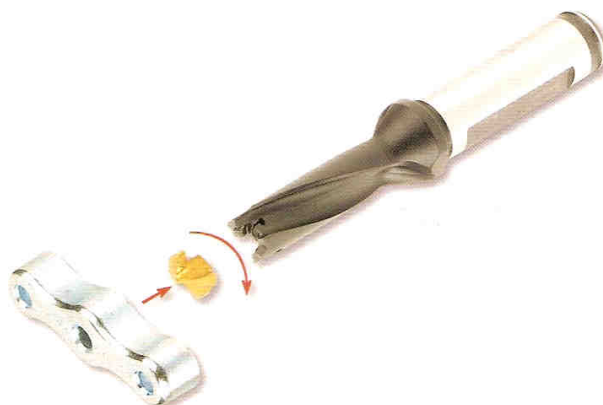


Obr. 3.4 Elektro-hydraulický revolver pro 12 nástrojů ¹⁰

Sestava elektro-hydraulického revolveru je jednou z nejvíce namáhaných podskupin stroje. Samotný kotouč vícepolohové revolverové hlavy je širší než u jiných výrobců a jeho energie hmoty velmi dobře eliminuje vibrace při obrábění. Kotouč je fixován v poloze a spojen vysokým tlakem hydrauliky kuželovými, 24-zubovými ozubenými věnci s tělesem revolveru. Z důvodu vysoké tuhosti upnutí nástroje je revolver konstruován pro přímé upnutí držáku nástroje. Obousměrná indexace revolveru je mimořádně rychlá, s nejkratší cestou, a je ovládána spolehlivým elektromotorem. ¹⁰

3.1.3 Výpočet řezných podmínek a strojních časů

Pro výrobu otvoru průměr 12 mm, bude posouzeno použití dělových, jednobřítých vrtáků z rychlořezné oceli s vnitřními chladicími kanálky pro důkladné chlazení a vyplachování vrtaného otvoru od třísek. Špatný odvod třísek může způsobit zhoršení parametru Ra povrchu stěny otvoru. Tyto dělové vrtáky dosahují přesnosti IT9 a veličiny Ra 0,1 – 3,0 μm. Druhá varianta je použití vrtáku s výměnou hlavou ze slinutých karbidů od firmy ISCAR, kde je vyšší rychlost posuvu a tím bude výrazně kratší strojní čas.



Obr. 3.5 Vrták s výměnou hlavou ze slinutých karbidů ⁵

Tab. 3.1 Řezné podmínky doporučené výrobcem pro vrtání ⁵

Druh nástroje	v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm.ot ⁻¹]
Dělový vrták jednobřítý	60-120	0,015-0,055
Vrták s hlavou ze SK	80-130	0,15-0,25

Po zvolení středních hodnot obou parametrů vypočítáme rychlost posuvu v_f a otáčky n

$$n = \left(\frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D} \right) \quad (3.1)$$

$$v_f = f_n \cdot n \quad (3.2)$$

Tab. 3.2 Dopočítané řezné podmínky – posuvová rychlost a otáčky

Druh nástroje	v_f [mm.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]
Dělový vrták jednobřítý	84,2	2407
Vrták s hlavou ze SK	561,8	2809

Výpočet strojních časů pro oba druhy nástrojů

$$t_{AS} = \left(\frac{L}{v_f} \right) \quad (3.3)$$

Dělový vrták jednobřítý $t_{AS1} = 0,74$ min

Vrták s hlavou ze SK $t_{AS1} = 0,11$ min

Pro vrtání otvoru průměr 12 mm bude dle výše uvedených parametrů výhodnější použít vrták s hlavou ze slinutých karbidů.

Pro výrobu vnitřních průměrů a povrchové kontury je podle základních parametrů výrobce výhodné použít soustružnické nože Sandvik Coromant. Pro vnitřní obrábění je vyhovující karbidová vyvrtávací tyč s vnitřním přívodem chladicí kapaliny a cermetovou pozitivní břitovou destičkou. Označení břitové destičky je WPMT 02 01 02-PF.²

Pro obrábění povrchu válce vyhovuje vnější soustružnický nůž DCLNR 2525M12 pro hrubování i pro dokončování povrchu. Pro hrubování i pro dokončování bude použito břitové destičky z povlakovaného slinutého karbidu s níže uvedenými doporučenými reznými podmínkami. Označení destiček pro hrubování – CNMM 12 04 08-WR, a pro dokončování – CNMM 12 04 04-WF.²

Pro upichování a tvorbu zápichu vyhovuje upichovací a zapichovací nůž s břitovými destičkami z povlakovaných slinutých karbidů. Pro zapichování N123F2-0246-0003-GF, a pro upichování N123E1-0200-0002-CM.²

Tab. 3.3 Řezné podmínky doporučené výrobcem pro soustružení²

Označení destičky	a_p [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm.ot ⁻¹]
WPMT 02 01 02-PF	0,3	535	0,09
CNMM 12 04 08-WR	2,5	290	0,6
CNMM 12 04 04-WF	1,0	395	0,3
N123F2-0246-0003-GF	--	150	0,1
N123E1-0200-0002-CM	--	130	0,08

Výpočet otáček a rychlosti posuvu pro soustružení

$$n = \left(\frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D} \right) \quad (3.4)$$

$$v_f = f_n \cdot n \quad (3.5)$$

Tab. 3.4 Dopočítané rezné podmínky – posuvová rychlost a otáčky

Označení destičky	v_f [mm.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	n [min ⁻¹] (možnost stroje)
WPMT 02 01 02-PF	540	14191	6000
CNMM 12 04 08-WR	2215	3692	3692
CNMM 12 04 04-WF	1800	7858	6000
N123F2-0246-0003-GF	280,9	2809	2809
N123E1-0200-0002-CM	132,4	1655	1655

Výpočet strojních časů pro soustružení

$$t_{AS} = \left(\frac{L}{v_f} \right) \quad (3.6)$$

Výpočet strojního času pro čelní soustružení

$$t_{AS} = \left(\frac{\pi \cdot [(D_{\max} + 2l_n)^2 - (D_{\min} - 2l_p)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot v_c \cdot f} \right) \quad (3.7)$$

WPMT 02 01 02-PF	$t_{AS2} = 0,02$ min
CNMM 12 04 08-WR	$t_{AS3} = 0,03$ min
CNMM 12 04 04-WF	$t_{AS4} = 0,04$ min
CNMM 12 04 04-WF	$t_{AS5} = 0,01$ min (čelní soustružení)
N123F2-0246-0003-GF	$t_{AS6} = 0,01$ min
N123E1-0200-0002-CM	$t_{AS7} = 0,06$ min

Pro frézování drážky je vyhovující podle základních parametrů monolitická stopková fréza se třemi břity ze slinutého karbidu. Tato fréza je od firmy Iscar, a je vyrobena na rozměr drážky šířky 3,15 mm a s R 0,6 mm.

Tab. 3.5 Řezné podmínky doporučené výrobcem pro stopkovou frézu⁵

Nástroj	v_f [mm.min ⁻¹]	v_c [m.min ⁻¹]
Stopková fréza	805	165

Výpočet dalších řezných podmínek pro frézování

$$n = \left(\frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D} \right) \quad (3.8)$$

$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z} \quad (3.9)$$

$$f_n = \frac{v_f}{n} \quad (3.10)$$

Tab. 3.6 Dopočítané řezné podmínky – posuv na otáčku, otáčky a posuv na zub

Nástroj	n [min ⁻¹]	f_z [mm.zub ⁻¹]	f_n [mm.ot ⁻¹]
Stopková fréza	4000	0,067	0,2

Výpočet strojního času pro frézování

$$t_{AS} = \left(\frac{L}{v_f} \right) \quad (3.11)$$

Stopková fréza	$t_{AS8} = 0,01$ min
----------------	----------------------

Pro vrtání sacích otvorů bude vyhovovat na základě parametrů vrták i výstružník z rychlořezné oceli. Vrták průměr 3,3 mm a výstružník pro konečný průměr 3,5 mm. Pro vrtání odpadního otvoru vyhovuje vrták průměr 1,5 mm.

Výpočet řezných podmínek pro vrtání a výstružování

$$v_f = f_n \cdot n \quad (3.12)$$

$$n = \left(\frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D} \right) \quad (3.13)$$

Tab. 3.7 Řezné podmínky doporučené výrobcem pro vrtání a výstružování a dopočítání otáček a posuvové rychlosti

Nástroj	v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm.ot ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]
Vrták \varnothing 3,3	21,99	0,06	120	2000
Výstružník	6,5	0,15	90	600
Vrták \varnothing 1,5	17,26	0,0268	98,2	3663

Výpočet strojních časů pro vrták \varnothing 3,3 mm a výstružník

$$t_{AS} = \left(\frac{L}{v_f} \right) \quad (3.14)$$

Výpočet strojních časů pro vrták \varnothing 1,5 mm pod úhlem 45°

$$t_{AS} = \left(\frac{\frac{D-d}{\cos \alpha} + 2}{v_f} \right) \quad (3.15)$$

Vrták \varnothing 3,3 mm $t_{AS9} = 0,1$ min

Výstružník $t_{AS10} = 0,14$ min

Vrták \varnothing 1,5 mm $t_{AS9} = 0,143$ min

Součet strojních časů pro první operaci

$$t_{AS} = \left(\sum_{i=1}^n t_{AS_i} + t_v \right) \cdot k_c \quad (3.16)$$

K součtu všech strojních časů, přidáme čas 2 s na výměnu každého nástroje. Celý součet vynásobíme koeficientem, který zahrnuje rychlopojezdy, upínání do proti-vřetene, apod.

$$t_{AS} = (0,673+0,37) \cdot 1,2 = 1,252 \text{ min}$$

Výpočet kusového času

$$t_k = t_{AS} \cdot k \quad (3.17)$$

$t_k = 1,502$ min

Volbou obráběcího centra nahradíme 9 stávajících operací jediným strojem na dvě upnutí obrobku. Tímto dosáhneme minimální odchylky všech obráběných ploch od osy obrobku a volbou řezných nástrojů dosáhneme kvalitní obrobené plochy.

Jelikož není možné prakticky vyzkoušet možnosti tohoto obráběcího centra, jsou všechny stanovené hodnoty pouze teoretické. Případné doladění řezných podmínek a strojních časů je nutno provést po dohodě s dodavatelem stroje, případně při praktických a přijímacích zkouškách.

Další operace odjehlení bude prováděna ručně abrazivními kotouči, ručními brusnými nástroji, ručními frézami a výstružníky, podle velikosti a četnosti ostřin na hranách obrobených ploch.

3.2 CNC brusky

Po tepelném zpracování přichází na řadu brousící operace povrchu a broušení vnitřního otvoru válce. Broušení se používá zejména pro obrábění součástí s vyššími požadavky na přesnost rozměrů, tvarů a jakosti povrchu. Mezi hlavní výhody broušení patří stabilní, přesná výroba dílů s malými tolerancemi a dobrá integrita obrobeného povrchu. V současné době je broušení využíváno jako hlavní metoda dokončovacího obrábění ve strojírenské výrobě. S vývojem vysoce výkonných nástrojů a strojů se broušení rozšiřuje z oblasti dokončování i do oblasti hrubovacích operací.

Pro tento dílec bude použita bruska hrotová a bruska otvorová. Některé firmy se zabývají i výrobou univerzálních brusek nebo obráběcích center, u kterých je možnost kombinovat vnitřní i vnější broušení, případně broušení v kombinaci s jinou technologií obrábění. Mezi tyto firmy patří JUNKER, STUDER, KELLENBERGER, MORARA, atd.



Obr. 3.6 Multifunkční bruska pro broušení vnitřních a vnějších průměrů
JUNKER EJ29 Silver⁶

Stroj JUNKER EJ29 Silver je univerzální bruska pro výrobce malých sérií. Umožňuje vnitřní i vnější broušení v kusové, malosériové i velkosériové výrobě. Tato bruska patří mezi flexibilní strojní CNC zařízení s řídicím systémem Fanuc. Bruska umožňuje rychlé přeseřzení, zajišťuje vysokou kvalitu opracování, vysoký výkon a minimalizuje vedlejší časy.⁶

Z hlediska výroby válce elementu, bude efektivnější použít dva stroje. Jeden pro broušení povrchu, a druhý pro broušení hlavního otvoru z důvodu rozdílného upínání k základnám při obrábění těchto ploch.

3.2.1 Brusky hrotové

Pro broušení povrchu válce je navržena na základě parametrů stroje a výrobku hrotová CNC bruska. Válec bude lisován na trn, který bude upnut mezi hroty. Tento stroj je velice flexibilní bruska s možností vybavení dvěma vřeteny pro broušení povrchových válcových ploch, i dvěma vřeteny pro vnitřní broušení. Možností výrobce je vyrobit stroj přímo pro navrženou technologii.



Obr. 3.7 Hrotová bruska Kellenberger⁶

Základní technická data hrotové brusky Kellenberger:⁶

- | | | |
|--------------------------|------|-----------------|
| • CNC řídicí systém | | GE FANUC 31 Ois |
| • Vzdálenost mezi hroty | [mm] | 400 |
| • Výška hrotů se stolem | [mm] | 175 |
| • Rozměry stroje | [mm] | 2700x2100 |
| • Natočení stolu | [°] | 8,1 |
| • Potřebný přívod napětí | | 3x400V/50Hz |

Podélný posuv – osa Z

- Maximální posuv [mm] 600
- Rychlost příčného pohybu [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$] 30
- Citlivost [μm] 0,1

Posuv kotouče – osa X

- Maximální posuv [mm] 350
- Rychlost příčného pohybu [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$] 15
- Citlivost [μm] 0,1

Otočné zařízení

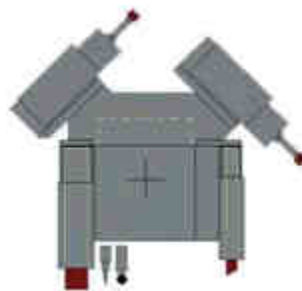
- Rozsah natočení [$^{\circ}$] 216
- Citlivost [$''$] 0,1

Brusný kotouč

- Příkon motoru [kW] 10
- Obvodová rychlost kotouče [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] 45
- Průměr kotouče [mm] 400/500

Pracovní vřeteno

- Otáčky [min^{-1}] 1-800
- Max. kroutící moment vřetena [N.m] 60
- Vnitřní kužel koníku MK4

Obr. 3.8 Možnost navržení kotoučové hlavy pro univerzální broušení ⁶



Obr. 3.9 Broušení povrchu válcové plochy při upnutí do sklíčidla na brusce Kellenberger⁶

Tento stroj může být využit i pro další modifikované typy těchto válců, kterých se vyrábí více variant. Tyto dílce se liší především průměrem, nebo šířkou broušeného povrchu. Výhoda tohoto stroje spočívá v možnosti zabudování pracovních hlav pro vnitřní broušení. Tyto zde použity nebudou.

3.2.2 Brusky otvorové

Pro vnitřní broušení je podle základních parametrů navržena otvorová CNC bruska od firmy Studer S120. Tento kompaktní vnitřní brousící stroj má konstrukci pro dvě vřetena na vnitřní broušení. V této fázi je možnost provádět hrubovací i dokončovací broušení na jednom stroji na jedno upnutí obrobku. Problém, který nastává při tomto broušení jsou ostřiny na vnitřních hranách válce a v proniku sacích otvorů do průměru 12 mm. Tyto ostřiny lze odstranit pouze odjehlením mezi těmito dvěma částmi operace.

První možnost je rozdělit tuto fázi výroby na tři operace. První operace hrubování, druhá operace odjehlení a třetí operace dokončení. Nevýhodou při tomto návrhu je dvojitá upnutí obrobku, a tím je nutno zvýšit přídavek na dokončovací broušení s rizikem nevyšle plochy válce v závislosti na možném házení průměru za který bude obrobek upnut.

Druhá varianta spočívá v zakomponování odjehlovacích nástrojů do systému obráběcího stroje. V tomto případě by po hrubování byly odjehleny veškeré hrany ocelovým, případně abrazivním kartáčem, a sací otvory diamantovým roubíkem. Toto odjehlení by bylo možno v krajním případě provést i ručně bez vyjmutí dílce ze sklíčidla, což je z hlediska bezpečnosti práce nevyhovující. Po tomto odjehlení by následovalo dokončovací jemné broušení.

Obr. 3.10 Otvorová bruska Studer S120 ¹²

3.2.3 *Obecné složení brusných kotoučů*

Brusné nástroje jsou tvořeny zrna tvrdých materiálů jako Al_2O_3 , SiC, diamant, kubický nitrid bóru. Tyto zrna jsou pevně vázány pomocí pojiva v tuhých nebo pružných tělesech různých velikostí a tvarů. Nejběžnější materiály pro výrobu brusných kotoučů jsou oxid hlinitý a karbid křemíku s keramickým pojivem.

Obr. 3.11 Brusná zrna z karbidů křemíku a umělých korundů ³

Výrobci brusných kotoučů nabízí v dnešní době širokou škálu různých druhů kotoučů jak pro vnitřní, tak pro vnější broušení. Tyto kotouče jsou různých velikostí, tvarů, velikostí brusných zrn, struktury, tvrdosti, druhu materiálu brusných zrn a druhu pojiva kotouče. Tyto parametry jsou v nabídkách, nebo jsou dodávány přesně podle požadavků. Mezi dodavatele na českém trhu se řadí firmy Carborundum Electrite a Tyrolit.

Do běžné výroby se stále více dostávají brusné kotouče ze super tvrdých materiálů, u ocelí hlavně z kubického nitridu bóru. Tyto kotouče se používají pro vysoké řezné rychlosti a jsou většinou specifikovány pro určitý rozměr broušené plochy. Nejvýhodnější jejich použití je pro broušení nástrojů a různých druhů zápchů a drážek do kalených a zušlechtěných materiálů.

3.2.4 Návrh vhodných brusných kotoučů

Pro tento dílec budou použity kotouče z umělého korundu s keramickým pojivem. Pro vnitřní broušení použijeme brusné nástroje s válcovou stopkou:

∅ 8x25–6x40 A36L7V–35 – hrubování

∅ 8x25–6x40 A320L7V–40 – dokončování

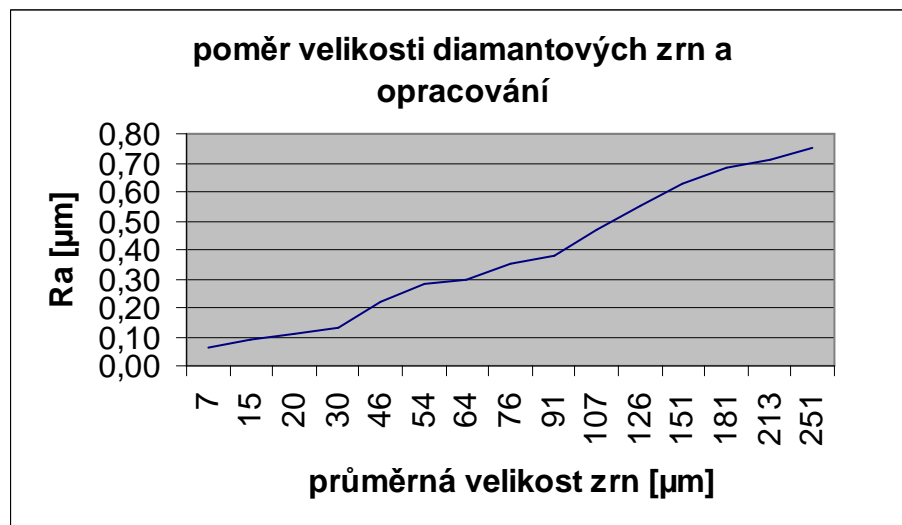


Obr. 3.12 Brusné nástroje s válcovou stopkou³

Pro broušení povrchu budou použity brusné kotouče ploché pro obě pracovní vřetena:

∅ 400x40–127 A46L7V–30

∅ 500x50–203 A46L7V–30

Obr. 3.13 Brusné kotouče Carborundum Electrite³

Graf. 3.1 Závislost velikosti diamantových brusných zrn na Ra povrchu

3.2.5 Výpočet řezných podmínek a strojních časů

Výpočet rozdělíme na operaci povrchového broušení a broušení otvoru. Při broušení otvoru bude předpoklad zakomponování odjehlovací operace sacích otvorů do systému stroje na jedno upnutí společně s broušením a dokončováním otvoru.

a) Výpočet řezných podmínek a strojních časů pro vnější broušení

Tab. 3.8 Řezné podmínky doporučené výrobcem a rozměr broušených vnějších průměrů³

Brusný kotouč	v_c [m.s ⁻¹]	v_w [m.min ⁻¹]	a_c [mm]	$\varnothing d_s$ [mm]	$\varnothing d_w$ [mm]
$\varnothing 400 \times 40 - 127$ A46L7V-30	30	15	0,005	400	16
$\varnothing 500 \times 50 - 203$ A46L7V-30	30	15	0,005	500	20; 24

Výpočet otáček nástroje:

$$n_s = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot v_c}{\pi \cdot d_s} \quad (3.18)$$

Výpočet otáček obrobku :

$$n_w = \frac{10^3 \cdot v_w}{\pi \cdot d_w} \quad (3.19)$$

Tab. 3.9 Řezné podmínky pro broušení vnějších průměrů dopočítané

Brusný kotouč	n_s [min ⁻¹]	n_w [min ⁻¹]
$\varnothing 400 \times 40 - 127$ A46L7V-30	1432	298
$\varnothing 500 \times 50 - 203$ A46L7V-30	1146	238; 200

Pro výpočet strojních časů pro broušení vnějších průměrů je vycházeno z výše uvedených řezných podmínek (viz. Tab.3.8 a Tab.3.9).

Výpočet strojních časů pro broušení povrchu zapichovacím způsobem

$$t_{AS} = \frac{P_m}{2 \cdot n_w \cdot a_c} \quad (3.20)$$

Výpočet strojních časů pro broušení čelní

$$t_{AS} = \frac{P_m}{n_w \cdot a_c} \quad (3.21)$$

Tab. 3.12 Strojní časy pro broušení jednotlivých rozměrů

Broušený rozměr	p_m [mm]	t_{AS1} [min]
$\varnothing d_1$	0,3	0,1
$\varnothing d_2$	0,3	0,13
$\varnothing d_3$	0,3	0,15
čelo	0,2	0,17
$\sum t_{AS}$		0,55

K součtu všech strojních časů, přidáme čas na změnu nástroje. Celý součet vynásobíme koeficientem, který zahrnuje rychlopojezdy, natáčení, apod.

Součet strojních časů pro operaci broušení povrchu

$$t_{AS} = \left(\sum_{i=1}^n t_{AS_i} + t_v \right) \cdot k_c \quad (3.22)$$

$$t_{AS} = 0,816 \text{ min}$$

Výpočet kusového času

$$t_k = t_{AS} \cdot k \quad (3.23)$$

$$\underline{t_k = 0,98 \text{ min}}$$

b) Výpočet řezných podmínek a strojních časů pro vnitřní broušení

Tab. 3.10 Řezné podmínky doporučené výrobcem a rozměr broušených vnitřních průměrů³

Brusný nástroj	v_c [m.s ⁻¹]	v_w [m.min ⁻¹]	f_r [mm.ot ⁻¹]	ϕ d_w [mm]
ϕ 8x25–6x40 A36L7V–35	35	100	0,005	11,9
ϕ 8x25–6x40 A320L7V–40	40	100	0,002	12

Pro výpočet řezných podmínek vnitřního broušení jsou použity již uvedené vzorce (3.18 a 3.19).

Tab. 3.11 Řezné podmínky vnitřních průměrů dopočítané

Brusný nástroj	n_s [min ⁻¹]	n_w [min ⁻¹]	n_v [ot]	l_a [mm]	f_a [mm.ot ⁻¹]
ϕ 8x25–6x40 A36L7V–35	83550	2650	3	75	15
ϕ 8x25–6x40 A320L7V–40	95493	2650	3	75	7,5

Pro výpočet strojních časů pro broušení otvoru je vycházeno z výše uvedených řezných podmínek (viz. Tab.3.10 a Tab.3.11).

Výpočet strojních časů pro vnitřní broušení

$$t_{AS} = 2 \cdot \frac{l_a}{f_a \cdot n_w} \cdot \left(\frac{p_m}{2 \cdot f_r} + n_v \right) \quad (3.24)$$

Tab. 3.13 Strojní časy pro jednotlivé části operace

	p_m [mm]	t_{AS1} [min]
hrubování	0,1	0,05
odjehlení		0,5
dokončování	0,02	0,023
$\sum t_{AS}$		0,573

Součet strojních časů pro operaci broušení otvoru

$$t_{AS} = \left(\sum_{i=1}^n t_{AS_i} + t_v \right) \cdot k_c \quad (3.25)$$

K součtu všech strojních časů, přidáme čas na změnu nástroje. Celý součet vynásobíme koeficientem, který zahrnuje rychlojezdy, natáčení, apod.

$$t_{AS} = 0,688 \text{ min}$$

Výpočet kusového času

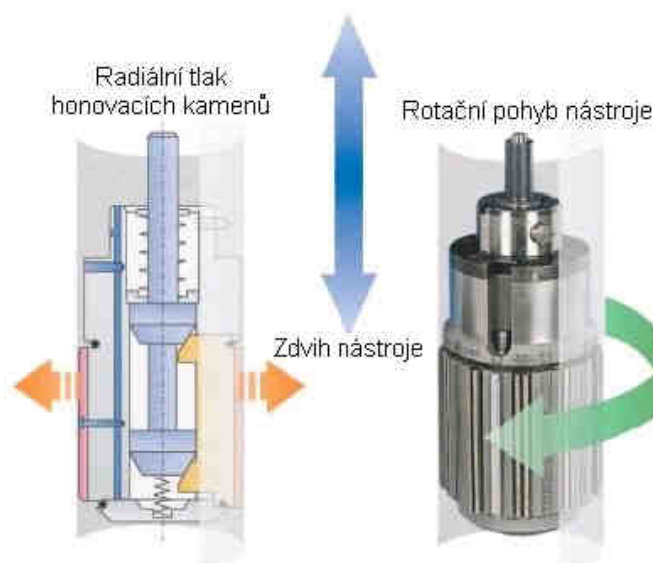
$$t_k = t_{AS} \cdot k \quad (3.26)$$

$$\underline{t_k = 0,83 \text{ min}}$$

Obě tyto operace zkrátí strojní časy až o 75%, a omezí manipulaci o několik výrobních pracovišť.

3.3 Honování

Honování je dokončovací metoda obrábění, při které je materiál odebírán abrazivním účinkem honovacích kamenů a lišt. Princip honování spočívá v broušení jemným brusivem při malých řezných rychlostech s intenzivním použitím řezných kapalin. Honování zajišťuje velmi vysokou jakost obrobené plochy a vysokou přesnost geometrického tvaru součásti (kruhovitost, přímost, válcovitost). Řezné kapaliny při honování mají významný vliv jak na produktivitu procesu, tak i na jakost obrobené plochy. Jejich účinek spočívá v odebírání vzniklého tepla, snižování řezných sil a ve vyplachování místa obrábění od třísek.⁷



Obr. 3.14 Kinematika řezného procesu honování⁴

Při řezném procesu dochází k rotaci nástroje řeznou rychlostí v_c a zároveň přímočarým vratným pohybem ve směru zdvihu nástroje posuvovou rychlostí v_f . Sloučením těchto pohybů vzniká na obráběném povrchu charakteristická křížová stopa, jejíž úhel 2α je doporučený v rozsahu 20° – 55° .⁷



Obr. 3.15 Klasické honování a laserové honování Gehring⁴

Úhel křížové stopy honování závisí na řezné a posuvové rychlosti a platí

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{v_f}{v_c} \quad (3.27)$$

Operace honování se dělí na hrubé, jemné a dokončovací. Při dokončovacím honování je dosahováno přesnosti IT3 – IT5 a střední aritmetické úchytky profilu v rozmezí R_a 0,05 μm – 0,1 μm .

Významným výrobcem honovacích strojů jsou firmy Gehring, Sunnen, Kadia, atd. Kromě jednovřetenových strojů se dnes stále více využívají vícevřetenová, moderní CNC řízená honovací centra a linky. Mezi nekonvenční způsoby patří laserové honování, které nabízí firma Gehring.

3.3.1 Honovací stroje

Honovací stroje jsou voleny podle základních parametrů od firmy Gehring, která má v nabídce jak jednovřetenové stroje, tak i honovací centra. Pro tento dílec budou navrženy dvě varianty. První bude spočívat na předpracování otvorovou bruskou, a druhá na celkové výrobě otvoru honováním. Pro první variantu bude použit jednovřetenový stroj E630–45.

Obr. 3.16 Vertikální honovací stroj E630–45⁴

Technická data honovacího stroje E630–45:⁴

• Rozměr obráběného otvoru	[mm]	8 – 45
• Max. délka honování	[mm]	350
• Posuvová rychlost	[m.min ⁻¹]	1 – 40
• Otáčky vřetena	[min ⁻¹]	150 – 6000
• Výkon motoru vřetena	[kW]	3
• Min. tlak vzduchu	[MPa]	0,4
• Tlak pro měření	[MPa]	0,3
• Hmotnost stroje	[kg]	2000

Tento stroj má automatický podávací a upínací systém. Po honování je možnost zakomponovat do systému stroje pneumatické měření finálního rozměru součásti. Stroj bude použit jako dokončovací operace po otvorovém broušení.

Další možnost je provádět celkové odebrání přídavku za pomoci honovacího centra. Tyto stroje mohou provádět hrubé i dokončovací honování na jedno upnutí součásti. Mohou být vybaveny až čtyřmi vřeteny, zásobníkem a automatickým dopravníkem součásti.



Obr. 3.17 Flexibilní vertikální honovací centrum Pro-S-Line Gehring ⁴

3.3.2 Honovací nástroje

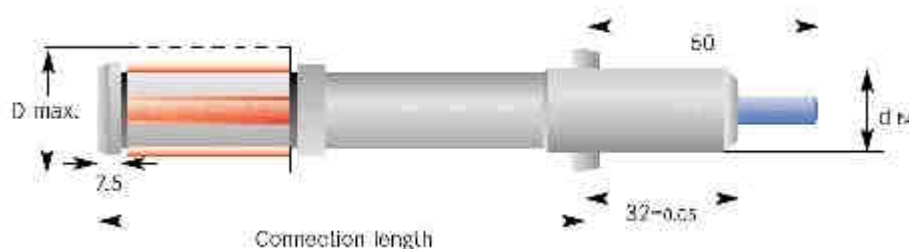
Nástrojem pro honování je honovací hlava osazená honovacími kameny rovnoměrně rozmístěnými po obvodu nástroje. Brusná zrna mohou být z diamantu, kubického nitridu bóru s kovovým pojivem, nebo umělého korundu, karbidu křemíku s keramickým pojivem.



Obr. 3.18 Druhy honovacích kamenů Gehring ⁴

Velikost zrn ze kterých je nástroj vyroben má vliv na řezné vlastnosti nástroje, ale také určuje finální parametr Ra obrobeneho povrchu.

Honovací nástroje se liší podle počtu vkládaných honovacích kamenů. Pro menší průměry jsou i s jedním kamenem, pro větší pak přibývají do celkové šířky kamenů 0,15 % až 0,35 % z obvodu honovací hlavy.



Obr. 3.19 Honovací nástroj pro průměr (5 – 24) mm od firmy Gehring ⁴

Pro tento válec použijeme honovací nástroj o průměru 12 mm se zrna kubického nitridu bóru nebo diamantu.

3.3.3 Řezné podmínky a strojní časy

Tab. 3.14 Doporučené řezné podmínky pro honovací nástroje

Nástroj	v_c [m.min ⁻¹]	v_f [m.min ⁻¹]	p_k [MPa]
hrubovací nástroj	40	8	0.8-1.4
dokončovací nástroj	45	6	0.4-0.8

$$n = \left(\frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D} \right) \quad (3.28)$$

$$f_a = \frac{v_f \cdot 10^3}{n} \quad (3.29)$$

Tab. 3.15 Řezné podmínky dopočítané pro honovací nástroje

Nástroj	n [min ⁻¹]	f_r [mm]	f_a [mm.ot ⁻¹]	p [mm]	l_a [mm]
hrubovací nástroj	1170	0,003	7,5	0,08	80
dokončovací nástroj	1196	0,001	5	0.02	80

Na základě řezných podmínek vypočítáme strojní čas za použití vzorce pro otvorové broušení

$$t_{AS} = 2 \cdot \frac{l_a}{f_a \cdot n} \cdot \left(\frac{p_m}{2 \cdot f_r} \right) \quad (3.30)$$

Tab. 3.16 Strojní časy pro jednotlivé části operace

	p_m [mm]	t_{AS1} [min]
hrubování	0,08	0,267
odjehlení		0,3
dokončování	0,02	0,27
$\sum t_{AS}$		0,837

Součet strojních časů pro operaci honování

$$t_{AS} = \left(\sum_{i=1}^n t_{AS_i} \right) \cdot k_c \quad (3.31)$$

$$t_{AS} = 1,004 \text{ min}$$

Výpočet kusového času

$$t_k = t_{AS} \cdot k \quad (3.32)$$

$$\underline{t_k = 1,205 \text{ min}}$$

4 ROZBOR METOD PRO DOSAŽENÍ JAKOSTI OTVORU

4.1 Geometrie válce a parametr Ra povrchu

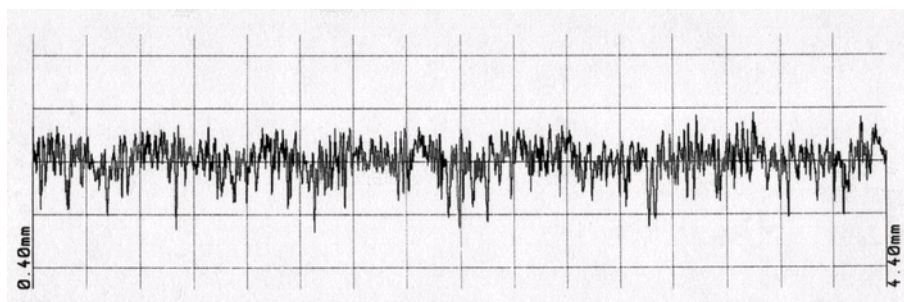
Parametry otvoru o průměru 12 mm patří k hlavním funkčním částem dílce. Lapováním bylo dosaženo velmi nízké hodnoty střední aritmetické úchytky profilu povrchu, ale jednalo se o časově velmi náročnou operaci s nutnou, velmi dobrou kvalitou předpracování a problémovým odstraněním zbytku lapovací pasty ze všech otvorů válce.

Broušení je vysoce efektivní technologie, která dokáže vyrábět vnitřní plochy s vysoce přesně stanovenými parametry v krátkém čase. Dnešní stroje mají dostatečně tuhé vedení, aby dosáhly kvalitní geometrie. Střední aritmetická úchytky profilu je dána velikostí brusných zrn v brusném nástroji.



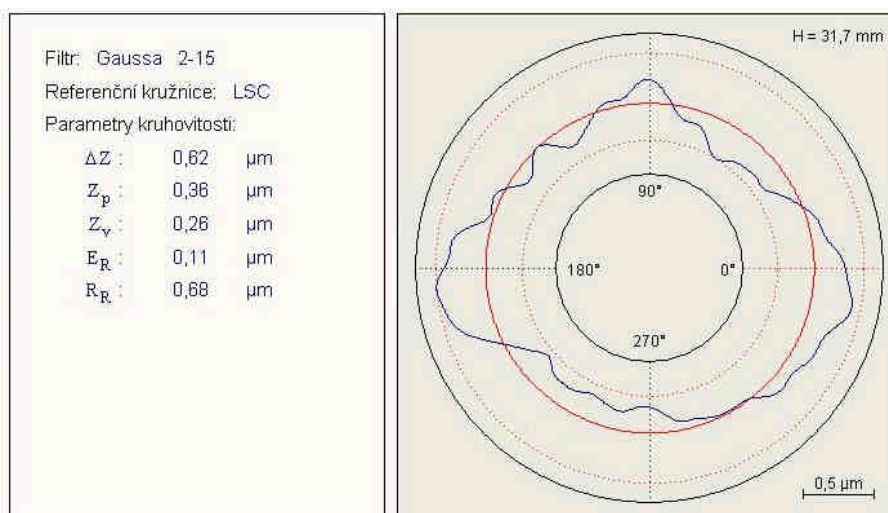
Obr. 4.1 Stopy na povrchu broušeného válce

Parametr Ra povrchu broušené plochy je hodnocen při parametrech: $L_t = 4,8 \text{ mm}$, $L_c = 0,8 \text{ mm}$, $V_t = 0,5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, filtr – ISO 11562

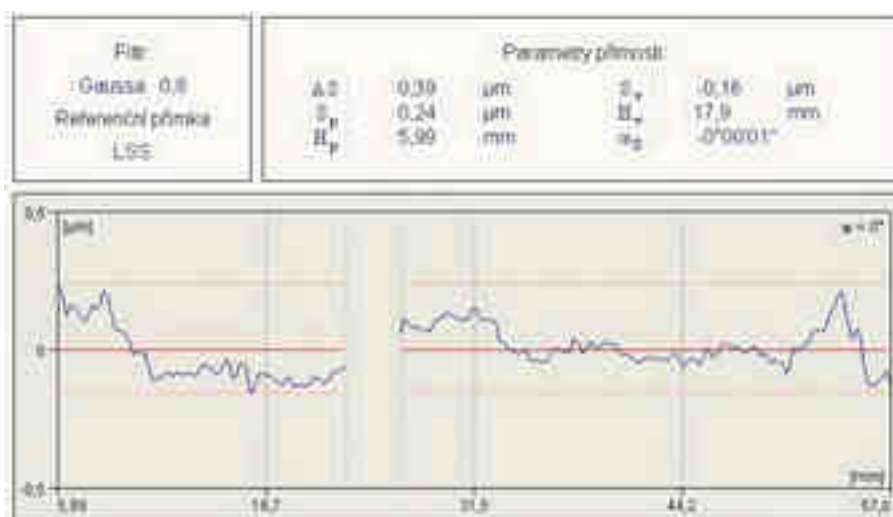


Obr. 4.2 Parametr Ra povrchu broušeného válce Ra 0,255 μm , Rt 2,24 μm

Kruhovitost a přímotost závisí na obtažení kotouče, upnutí dílce, sousostí sklíčidla a vřetene, kvalitě chlazení, tuhosti stroje, kvalifikace obsluhy a řezných podmínkách. Následující obrázky vyjadřují parametry, kterých lze dosáhnout jemným otvorovým broušením za běžných podmínek.



Obr. 4.3 Dosahovaná úchylka kruhovitosti broušeného otvoru



Obr. 4.4 Dosahovaná úchylka přímosti broušeného otvoru

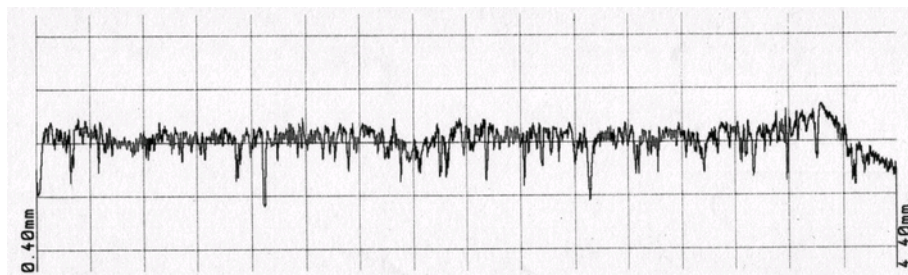
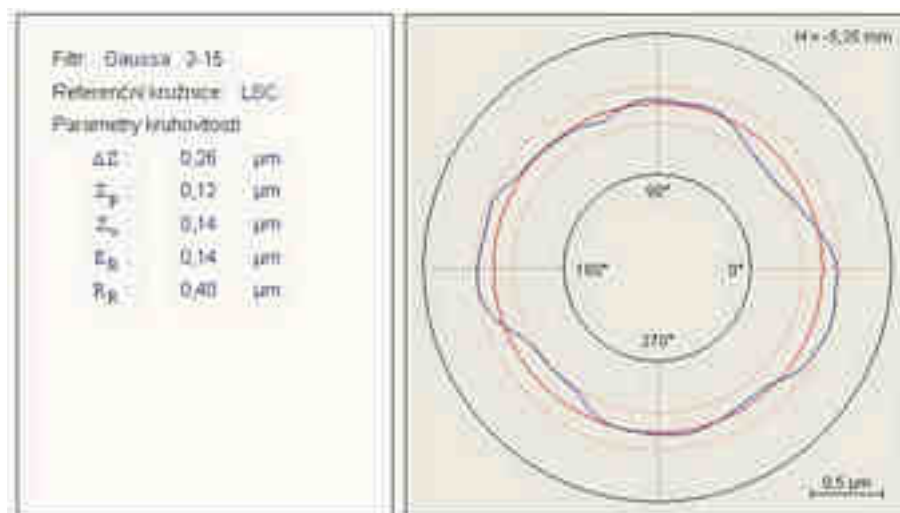
Broušení by bylo ideálním řešením pro jeho flexibilitu a přizpůsobení stroje jiným druhům dílců s podobnou technologií. Nevýhoda při výrobě tohoto dílce je nutné odjehlení mezi hrubým a jemným broušením. Při vyjmutí a novém upnutí dílce po odjehlení může nastat vyosení otvoru vlivem možného házení povrchových průměrů. V tom případě by došlo k nedobroušení celého povrchu válce z důvodu malého přídávku na dokončení průměru.

Honováním je dosahováno stejně kvalitní válcové plochy jako u broušení, avšak za delší strojní čas. Výhodou je, že v případě nového upnutí dílce se nástroj zavede přesně podle osy otvoru. Pokud má dílec dostatečnou volnost vůči nástroji, nedochází k deformaci osy, ale k jejímu kopírování a dokonalému opracování stěn otvoru.

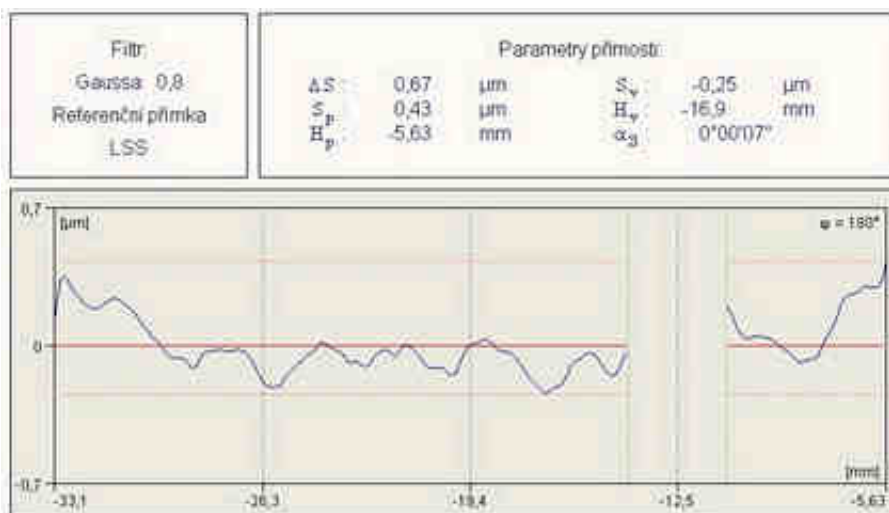


Obr. 4.5 Stopy na povrchu honovaného válce

Parametr R_a povrchu honované plochy je hodnocen při parametrech:
 $L_t = 4,8 \text{ mm}$, $L_c = 0,8 \text{ mm}$, $V_t = 0,5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, filtr – ISO 11562

Obr. 4.6 Parametr R_a povrchu honovaného válce – $R_a 0,096 \mu\text{m}$, $R_t 0,95 \mu\text{m}$ 

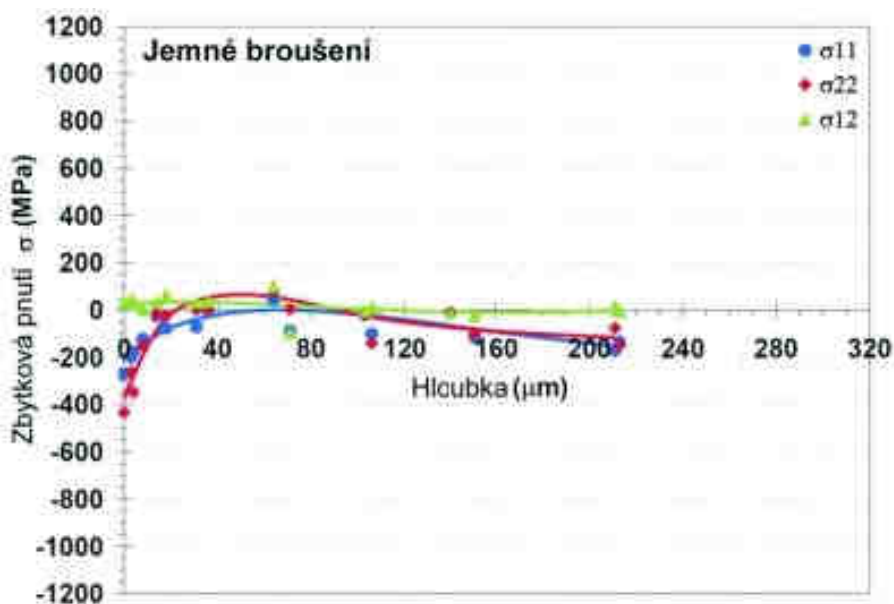
Obr. 4.7 Dosahovaná úchylka kružovitosti honovaného otvoru



Obr. 4.8 Dosahovaná úchylna přímosti honovaného otvoru

4.2 Integrita povrchu

Integrita povrchu je odrazem podmínek, za kterých funkční plocha vzniká. Broušení a honování je z tohoto hlediska nejvýhodnější, protože minimálně ovlivňují povrchovou strukturu materiálu. Velmi významný vliv má i chlazení během obráběcího procesu. Na broušeném povrchu vzniká převážně tlakové napětí, které je z hlediska trvanlivosti výhodnější. Toto vnitřní napětí se při zatížení v provozu sčítá s provozním napětím, což může mít za následek překročení limitních hodnot a vznik mikrotrhlin na povrchu součásti.⁹

Obr. 4.9 Zbytková pnutí na broušeném povrchu při použití různých technologií⁹

5 NÁVRH TECHNOLOGIE PRO MINIMALIZACI OSTŘIN V OTVORU VÁLCE

Většina technologií obrábění zanechává na hranách a v různých typech proniků ostřiny. Tyto ostřiny jsou nejmenší při nejostřejším nástroji a naopak při otupeném nástroji se materiál dokonale neodřízne a přehrne se přes hranu. Tyto ostřiny lze minimalizovat sražením, nebo zaoblením hrany. V případě, že hrana musí být ostrá pro správné plnění funkce součásti, musíme provést odjehlení otvoru před dokončovací operací. Tato poslední operace zanechá mikroostřinu již tak malou, že ji lze odstranit jemným kartáčem.



Obr. 5.1 Ostřina po broušení hlavního otvoru zahrnutá do sacího otvoru



Obr. 5.2 Ostřina po broušení hlavního otvoru na hraně průměrů

Jediný způsob, jak tyto ostřiny odstranit bez mechanického poškození hrany, je vložit odjehlovací operaci před dokončení otvoru. Toto odjehlení lze provést ručně diamantovým roubíkem, který je upnut do motůrku a odjehlení je provedeno s ručním vedením, nebo vedení v přípravku. Zároveň se tyto otvory kalibrují na daný rozměr. Ostatní hrany budou odjehleny také v motůrku upnutým ocelovým nebo případně abrazivním kartáčem a ručním vedením. Odjehlovací operaci lze také vložit do systému obráběcího stroje. Pro atypický způsob odjehlení, hlavně sacích otvorů, by bylo velice problematické a nákladné vložit tuto operaci do systému stroje. Proto bude předpokládáno, že bude odjehlení provedeno jako samostatná operace.

6 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Tyto stroje jsou navrženy pro výrobu cca 170 000 ks za rok. Ceny strojů jsou stanovovány převážně dle dohody podle přesných požadavků, přídatných zařízení, a přesnosti v níž chceme vyrábět. Na tomto základě stanovíme průměrnou cenu strojů pouze orientačně, dle jiných strojů podobných parametrů dříve dodaných na 10 miliónů korun u obráběcího centra a otvorové brusky, 7 miliónů korun u brusky na povrchové broušení a 5 miliónů korun u honovacího stroje. Toto hodnocení je vytvořeno pouze pro jeden dílec. Možnosti strojů jsou i pro další dílce podobných rozměrů a tvarů, čímž bude ekonomické využití daleko příznivější, zvláště při provozu na tři směny, nebo v nepřetržitém provozu.

Stanovené stroje jsou dány pouze teoreticky, proto bude nutno upřesnit jak řezné podmínky, tak i náklady po obdržení přesných parametrů, ve kterých budou stroje dodány, nebo po praktických zkouškách těchto strojů. Po obdržení přesné ceny strojů bude nutno upřesnit i návratnost, která na této ceně závisí.

Tab. 6.1 Přehled operací s použitím moderních strojů

Č.op.	Stroj	Název operace	t _k [min]
	Třídící číslo pracoviště		
1.	Obráběcí centrum Hyundai SKT15LMS	Obrábět tvar a otvor	1,502
	44441		
2.	RU	Celkově odjehlit	0,8
	9421		
3.	Pračka OSVO.1E	Vyprat	0,141
	9614		
4.	Pec Aichelin	Tepelné zpracování	0,099
	21812		
5.	Bruska KEL-VERA RS175/400	Brousit povrch	0,98
	35521		
6.	CNC bruska Studer S-120	Brousit otvor	0,83
	15575		
7.	RU	Celkově odjehlit a kalibrovat sací otvory	0,3
	9421		
8.	Vertikální honovací stroj E630-45	Honovat otvor	0,27
	5777		
9.	Lapovací stroj deskový	Lapovat vrchní čelo	0,2
	5771		
Σ t _k			5,122

Tímto novým technologickým postupem je zredukován počet operací z 23 na 9, a celkový kusový čas z 17,347 min.ks⁻¹ na 5,122 min.ks⁻¹. Snížením počtu operací dojde nejen k zefektivnění výroby, ale i ke z přesnění z důvodu více úkonů na jedno upnutí obrobku. Náhradou spousty operací bude potřeba méně pracovníků, avšak bude nutno vzít v úvahu jejich kvalifikaci. Tyto stroje jsou vysoce flexibilní, ale také náročnější na obsluhu.

6.1 Hodnocení strojů

Možnosti dnešních moderních strojů se neustále zvyšují, hlavně stále výkonnějšími řídicími systémy a kvalitnějšími řeznými nástroji. Volbou obráběcího centra bude nahrazeno 9 stávajících operací jedinou operací na obráběcím centru. Brousící operace budou prováděny stroji pro vnitřní a vnější broušení. Bruska na vnější broušení nahradí 4 operace a bruska pro vnitřní broušení nahradí 2 operace honování dia-pouzdry. Honovačka nahradí pouze jednu operaci, ale s několika násobně nižším strojním časem.

Pro tento dílec je předpokládán roční plán 170 000 ks za rok. Návratnost strojů bude počítána pouze pro výrobu tohoto dílce ve dvousměnném provozu.

Návratnost nákladů strojů vypočítáme podle vzorce stanoveného vnitřní směrnici podniku.

$$Na = \left(\frac{C}{N \cdot (C_{SO} - C_{NO})} \right) \quad (6.1)$$

Na	– návratnost	[rok]
C	– cena stroje	[Kč]
C _{SO}	– cena stávající operace	[Kč.ks ⁻¹]
C _{NO}	– cena nahrazující operace	[Kč.ks ⁻¹]
N	– počet vyráběných dílců za rok	[ks]

Tab. 6.2 Návratnost nákladů na stroje

stroj	C _{SO} [kč.ks ⁻¹]	C _{NO} [kč.ks ⁻¹]	Úspora C _{SO} - C _{NO}	NA [rok]
Obráběcí centrum Hyundai SKT15LMS	25,64	6,26	19,38	3,04
Bruska KEL-VERA RS175/400	10,25	4,08	6,17	6,67
CNC bruska Studer S-120	21,02	3,46	17,56	3,35
Vertikální honovací stroj E630-45	9,49	1,13	8,36	3,52

Návratnost pro obráběcí centrum, otvorovou brusku a honovací stroj je vyhovující. Jejich návratnost lze ještě snížit využitím stroje ve více směnách, nebo v nepřetržitém provozu. U brusky pro broušení povrchů je návratnost delší, proto je nutné koupit stroj cenově výhodnější, nebo tento stroj využít pro nepřetržitý provoz a na jiných typech výrobků.

6.2 Porovnání se stávajícím stavem

V Tab.6.3 jsou porovnány obě technologie. Barevně jsou označeny operace, které jsou nahrazeny v nové technologii jedinou operací.

Tab. 6.3 Porovnání stávající a nově navržené technologie

Stávající stav			Nový návrh technologie		
Č. op.	Název operace	t_k [min]	Č. op.	Název operace	t_k [min]
1.	Vrtat otvor	0,504	1.	Obrábět tvar a otvor	1,502
2.	Soustružit tvar	1,796			
3.	Zarovnat čelo	0,563			
4.	Stružit osazení	0,390			
5.	Zarovnat, zahloubit	0,5			
6.	Frézovat drážku	0,610			
7.	Odjehlit drážku	0,290			
8.	Vrtat, stružit sací otvory	0,790			
9.	Vrtat odpadní otvor	0,671			
10.	Odjehlit	0,304	2.	Celkově odjehlit	0,8
11.	Vyprat	0,141	3.	Vyprat	0,141
12.	Tepelné zpracování	0,099	4.	Tepelné zpracování	0,099
13.	Honovat otvor	3,193			
14.	Vypalovat vnitřní zápich	0,299			
15.	Brousit povrchy	0,891	5.	Brousit povrchy	0,98
16.	Brousit čelo zápichu	0,658			
17.	Odjehlit	0,251			
18.	Brousit čelo hlavy	0,572			
19.	Brousit hrany	0,087			
20.	Honovat jemný Diamant	1,851	6.	Brousit otvor	0,83
21.	Kalibrovat, odjehlit sací otvory	0,109	7.	Celkově odjehlit a kalibrovat sací otvory	0,3
22.	Dokončit válec	2,278	8.	Honovat otvor	0,27
23.	Lapovat čelo	0,5	9.	Lapovat čelo	0,2
Σt_k		17,347	Σt_k		5,122

ZÁVĚR

Výroba ve strojírenství stále častěji přechází od jednoduchých a jednoúčelových strojů k programově řízeným CNC strojům, které jsou velmi často zastupovány obráběcími centry pro různé druhy technologií. Je to způsobeno jejich vysokou flexibilitou v různých oblastech obrábění, nižšími náklady na provoz vůči mnoha strojům, které jsou schopny nahradit a rychlou návratností pořizovacích nákladů. Pro rychlou návratnost je nutné využít tyto stroje v maximálním možném čase za rok. V dnešní době již málo výrobních programů může spoléhat na velké množství vyráběných dílců stejných parametrů nebo stejného tvaru, a proto je nutná vysoká flexibilita obráběcích strojů.

V této práci byla provedena optimalizace výrobního procesu válce elementu vstřikovacího čerpadla se zaměřením na finální jakost hlavního otvoru válce. V první části byla posuzována náhrada strojů provádějících operace před tepelným zpracováním jedním obráběcím centrem. Tato náhrada je velice efektivní s ohledem na rychlou návratnost tohoto stroje. Tuto návratnost lze zrychlit zavedením třisměnného nebo nepřetržitého provozu a zakomponováním dalších výrobků do výroby tohoto stroje.

V další části byly posuzovány tři varianty výroby otvoru válce:

- Hrubé a dokončovací broušení
- Hrubé a dokončovací honování
- Hrubé broušení a dokončovací honování

Varianta broušení je nejvýhodnější z hlediska času a geometrie povrchu. Problém může nastat při dosahování střední aritmetické úchytky profilu povrchu. U takto jemného broušení je mnoho faktorů, které parametr Ra ovlivňují. Další problém nastává při odjehlení hran vstupujících do otvoru. V tomto případě je nutné vložit do systému stroje zařízení pro odjehlení všech hran. Jelikož je toto velmi nákladné, počítáme s ručním odjehlení mimo systém stroje. V tomto případě nastává u broušení problém s opětovným upnutím pro odebrání minimálního přídatku na dokončení válce.

Varianta honování je výhodná z hlediska finální kvality, ale má z těchto tří variant nejdelší strojní čas. Dále je u honování nutné mít dobře předpracovaný otvor, aby nedošlo k částečnému kopírování případné zakřivené osy.

Na základě výše uvedených technických parametrů, strojních časů a hlavně jakosti otvoru byla zvolena kombinovaná varianta hrubého broušení, kterým bude dosaženo kvalitní geometrie a otvor bude dobře připraven pro honování. Poté se provede bezproblémové odjehlení mimo systém stroje. Při dokončení není problém s opětovným upnutím do přípravku honovacího stroje, jelikož nástroj je veden osou otvoru obrobku, a přesně dokončí povrch a geometrii válce.

Nově navržená technologie zkrátí kusový čas až o 70 %, zlepší celkovou kvalitu výroby a sníží počet výrobních dělníků.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. 857 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. AB SANDVIK COROMANT. *Soustružnické nástroje*. Sweden: AB Sandvic Coromant, 2002.
3. CARBORUNDUM ELECTRITE. *Výrobní program*. [online]. c1998-2001, [cit.2008-04-22]. Dostupné z: <http://www.carborundum.cz/editor/genhtml.pl?loc=carborundum&table=program_cz>.
4. GEHRING. [online]. c2002-2008, [cit.2008-04-22]. Dostupné z: <<http://www.gehring.de/en/index.php>>.
5. ISCAR, MILLPLUS, *The complete Range of Milling and Dribling Tools*. Izrael: Iscar LTD, 2000.
6. KELLENBERGER. [online]. c2006, [cit.2008-04-22]. Dostupné z : <<http://www.kellenberger.com/index.asp?pageID=64&clD=26>>.
7. KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
8. LEINVEBER, J., ŘÁSA, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 3.doplněné vydání. Praha: Scientia, spol.s.r.o., 1999. 985 s. ISBN 80-7183-6.
9. MM SPEKTRUM. *Brousící stroje*. [online]. 14.12.2007, [cit.2008-04-22]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/emo-hannover-potřetí-brousící-stroje>>.
10. PROFIKA. *Obráběcí stroje*. [online]. [cit.2008-04-22]. Dostupné z: <http://www.profika.cz/soustruhy_par.php?pos=2&jmeno1=SKT15LMS>.
11. SIEMENS. *Sinumeric 840D*. [online]. c2008, [cit.2008-04-22]. Dostupné z:<<http://www.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=0788019ba8&ctxp=home>>.
12. STUDER. [online]. [cit.2008-04-22]. Dostupné z: <<http://www.studer.com/redwork/do.php?node=2141637326&layoutid=405&language=2>>.
13. ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. dotisk 1.vydání. Praha: BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
14. T-SUPPORT. *Výběr vhodného CNC obráběcího stroje*. [online]. [cit.2008-04-22]. Dostupné z: <<http://www.t-support.cz/?rubrika=116>>.
15. TAJMAC-ZPS. *Soustružnické centrum*. [online]. [cit.2008-04-22]. Dostupné z: <<http://www.tajmac-zps.cz/c-tch500cz.html>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

C	[Kč]	Cena stroje
C_{SO}	$[Kč.ks^{-1}]$	Cena operace stávající technologií
C_{NO}	$[Kč.ks^{-1}]$	Cena operace novou technologií
D	[mm]	Vnější průměr obrobku
L	[mm]	Délka obráběného povrchu
L_c	[mm]	Délka přeběhu a náběhu při měření
L_t	[mm]	Celková délka měření parametru
		Ra obrobeného povrchu
N	$[ks.rok^{-1}]$	Počet vyráběných kusů ročně
N_a	[rok]	Návratnost
R_a	$[\mu m]$	Střední aritmetická úchylka profilu
R_t	$[\mu m]$	Hloubka rýhy v profilu
V_t	$[mm.s^{-1}]$	Rychlost měřicího dotyku
ΔS	$[\mu m]$	Úchylka přímosti
ΔZ	$[\mu m]$	Úchylka kruhovitosti
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
a_c	[mm]	Radiální posuv kotouče na otáčku obrobku
		Vnitřní průměr obrobku
d	[mm]	Průměr brusného kotouče
d_s	[mm]	Broušený průměr obrobku
d_w	[mm]	Axiální posuv brusky na otáčku obrobku
f_a	$[mm.ot^{-1}]$	Posuv na otáčku
f_n	$[mm.ot^{-1}]$	Radiální posuv na otáčku obrobku
f_r	$[mm.ot^{-1}]$	Posuv na zub
f_z	[mm]	Koeficient času nepravidelné obsluhy
k	[-]	Koeficient vedlejších pohybů stroje
k_c	[-]	Axiální dráha pohybu stolu brusky
l_a	[mm]	Délka náběhu
l_n	[mm]	Délka přeběhu
l_p	[mm]	Otáčky
n	$[min^{-1}]$	Otáčky nástroje
n_s	$[min^{-1}]$	Počet vyjiskřovacích otáček
n_v	[ot]	Otáčky obrobku
n_w	$[min^{-1}]$	Přídavek materiálu
p_m	[mm]	Tlak honovacích kamenů
p_k	[MPa]	Čas kusový
t_k	[min]	Čas strojní
t_{AS}	[min]	Čas automatické výměny nástrojů
t_v	[min]	Řezná rychlost
v_c	$[m.min^{-1}]$	Řezná rychlost při broušení
v_c	$[m.s^{-1}]$	Rychlost posuvu
v_f	$[mm.min^{-1}]$	Obvodová rychlost obrobku
v_w	$[m.min^{-1}]$	Počet zubů
z	[-]	

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Materiálový list konstrukční oceli 14 109 dle ČSN 41 4109

Název Chromová ocel pro valivá ložiska

Typ materiálu Oceli Norma ČSN 41 4109

Značka 14 109

Použití Pro výrobu kuliček do průměru 25 mm, válečků a kuželíků do průměru 18 mm a kroužků valivých ložisek do tloušťky stěny 16 mm.

Zařazení do skupiny Ocel pro jednocelové použití, na valivá ložiska.

Stránka v knize část 3, díl 7

C		Mn		Si		Cr		Ni		Cu		Ni+Cu		P		S	
0,9	1,1	0,3	0,5	0,15	0,35	0,3	1,65	0	0,3	0	0,25	0	0,5	0	0,027	0	0,03

Mech. vlastnosti

předvalky, Rozměr:---, Stav: 3

Mez kluzu Re (MPa)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	441	0

Tažnost A5 (%)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	18	-

Tvrdość HB (°)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	-	210

Tvrdość HRC (°)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	23	63

Modul pružnosti E (GPa)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota	Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota	Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
20°C	210	213	200°C	197	202	400°C	182	188

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
600°C	-	166

Mez pevnosti Rm (MPa)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	608	726

Kontrakce Z (%)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	35	-

za tepla, válcované tyče, Rozměr:---, Stav: 3

Mez kluzu Re (MPa)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	441	0

Tažnost A5 (%)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	18	-

Tvrdość HB (°)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	-	210

Tvrdość HRC (°)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	23	63

Modul pružnosti E (GPa)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota	Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota	Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
20°C	210	213	200°C	197	202	400°C	182	188

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
600°C	-	166

Mez pevnosti Rm (MPa)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	608	726

Kontrakce Z (%)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	35	-

výkovky Rozměr:---, Stav: 3

Mez kluzu Re (MPa)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	441	0

Tažnost A5 (%)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	18	-

Tvrdość HB (°)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	-	210

Tvrdość HRC (°)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	23	63

Modul pružnosti E (GPa)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota	Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota	Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
20°C	210	213	200°C	197	202	400°C	182	188

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
600°C	-	166

Mez pevnosti Rm (MPa)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	608	726

Kontrakce Z (%)

Teplota (°C)	Min. hodnota	Max. hodnota
-	35	-