



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

RACIONALIZACE VÝROBY DÍLŮ VSTŘIKOVACÍCH ČERPADEL

THE RATIONALIZATION OF PRODUCTION PART OF INJECTION PUMP

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARIAN HAVEL

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL OSIČKA, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Marian Havel

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

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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

Racionalizace výroby dílů vstřikovacích čerpadel

v anglickém jazyce:

The Rationalization of Production Part of Injection Pump

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh nové technologie s vytvořením optimální posloupnosti operací a jejího začlenění do výrobního cyklu s důrazem na kontrolu a kvalitu výroby v podmínkách firmy Motorpal Batelov a.s..

Cíle diplomové práce:

Rozbor stávajícího stavu technologie výroby dílů vstřikovacích čerpadel.

Vytipování kritických míst výroby z hlediska úzkoprofilových kapacit a problémových operací.

Návrh nové technologie výroby včetně řešení technologického postupu na typického představitele.

Návrh strojního vybavení.

Návrh vybavení nářadím.

Návrh řešení jakosti.

Technicko-ekonomické posouzení.

Konečné doporučení pro firmu Motorpal Batelov a.s..

Seznam odborné literatury:


1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. KOČMAN, K. Speciální technologie – Obrábění. 2. vyd. Brno: PC- DIR Real, 1998.
4. SVOBODA, E. Technologie a programování CNC strojů. 1. vyd.H.Brod: FRAGMENT, 1998.
5. JUROVÁ, M. Řízení výroby I, Část 1, 2 přepracované a doplněné vydání, Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 81 s. ISBN 80-214-3066-4
6. JUROVÁ, M. Řízení výroby I, Část 2, 2 přepracované a doplněné vydání, Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 138 s. ISBN 80-214-3134-2

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Osička, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

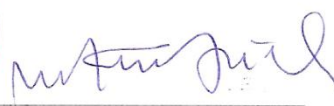
V Brně, dne 19.11.2010

L.S.



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu





prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na racionalizaci výrobního procesu pístů a elementů vstřikovacích čerpadel v závislosti na zlepšení jakosti finálních výrobků. Dnešní technologie využívající převážně jednoúčelové stroje, u kterých je kvalita výroby výrazně závislá na schopnostech a činnosti pracovníka, bude nahrazena moderními obráběcími centry a CNC stroji pro broušení všech funkčních částí pístů s návazností na moderní měřicí zařízení. Tyto výrobní stroje s podporou měřicích přístrojů zvýší produktivitu výroby a celkovou jakost vyráběných dílců.

Klíčová slova

Racionalizace výroby, vstřikovací čerpadlo, píst, element, obráběcí centrum

ABSTRACT

This thesis focuses on the rationalization of the production process of plungers and elements of injection pumps in relation to improving the quality of the final products. Today's technology, which mainly uses single-purpose machines where the production quality markedly depends on the abilities and activities of the operator, will be replaced by modern machining centres and CNC machines for grinding all functional parts of the plungers, coupled with modern measuring devices. These production machines with the support of measuring devices will improve the productivity of production and the general quality of the produced components.

Key words

Rationalization of the production, injection pump, plunger, element, machining centre

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAVEL, Marian. *Racionalizace výroby dílů vstřikovacích čerpadel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 59 s., 3 přílohy. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Osička, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Racionalizace výroby dílů vstřikovacích čerpadel vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 18.5.2011

.....
Bc. Marian Havel

Poděkování

Děkuji tímto ing. Karlu Osičkovi Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále děkuji vedoucímu OŘJ v Batelově Vlastimilu Hatákovi za podporu při studiu a výrobnímu řediteli závodu Motorpalu Batelov ing. Zdeňku Kulhánkovi za umožnění vypracování diplomové práce v tomto podniku.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod.....	8
1 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU TECHNOLOGIE VÝROBY.....	9
1.1 Popis a charakteristika dílce.....	10
1.2 Stávající technologie výroby.....	14
1.3 Používané stroje a nástroje.....	16
2 VYTIPOVÁNÍ KRITICKÝCH MÍST VE VÝROBĚ.....	19
2.1 Charakteristika funkčních částí pístů.....	19
2.2 Kontrola ve výrobním procesu.....	23
2.3 Optimalizované části výrobního procesu.....	24
3 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY.....	25
3.1 Návrh technologie výroby pístu.....	26
3.2 Návrh technologie výroby elementu.....	26
3.3 Operace odjehlení funkčních částí.....	27
4 NÁVRH STROJNÍHO VYBAVENÍ.....	28
4.1 Obráběcí centra.....	29
4.1.1 Význam obráběcích center.....	30
4.1.2 Návrh obráběcího centra.....	30
4.2 CNC brusky.....	33
4.2.1 Návrh CNC brusky nástrojové.....	33
4.2.2 Návrh CNC brusky hrotové.....	35
5 NÁVRH VYBAVENÍ NÁŘADÍM.....	38
5.1 Nářadí pro operace soustružení, frézování.....	38
5.2 Nářadí pro operace broušení.....	40
6 NÁVRH ŘEŠENÍ JAKOSTI.....	44
6.1 Měření ve výrobě.....	44
6.2 Souřadnicová měřicí zařízení.....	46
6.3 Měření vůle, geometrie a jakosti povrchu.....	47
6.4 Integrita povrchu.....	49
7 TECHNICKOEKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....	50
7.1 Hodnocení strojů.....	50
7.2 Porovnání s původním stavem.....	52
Závěr.....	54
Seznam použitých zdrojů.....	55
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	57
Seznam příloh.....	59

ÚVOD

V dnešní době se neustále zvyšují požadavky na výrobu ve všech průmyslových odvětvích. Ve strojírenské výrobě to má za následek stále vyšší požadavky na jakost konečného výrobku požadovanou zákazníkem v návaznosti na maximální snižování výrobních nákladů strojírenského podniku.



Obr. 1 Motorpal Jihlava a.s. - závod Batelov.

Současná výroba postupně přechází z velkosériové výroby na středně nebo malosériovou, což znamená snížení počtu dílců ve výrobních dávkách, ale zvýšení množství sortimentních druhů. To vyžaduje vyšší flexibilitu strojního vybavení, kterou jsou schopny zajistit moderní technologie a nové trendy v obráběcích strojích. V současnosti se do popředí dostává trend nahrazovat mnoho jednoúčelových a konvenčních strojů různými obráběcími centry a moderními CNC stroji, což vede k vysokým investičním nákladům, ale zároveň mají tyto stroje rychlou finanční návratnost. Použití těchto strojů také výrazně zvyšuje kvalitu výroby a zvyšuje hodnoty způsobilosti strojů a procesů na daných výrobních operacích. To všechno je dáno neustálým zlepšováním konstrukce a řízení těchto strojů pro dané technologie.

Tato práce navazuje na návrh technologie válce vstřikovacího čerpadla, a je zaměřena na optimalizaci výroby pístu a jeho finální slícování s válcem na předepsanou vůli. Tyto písty se vyrábějí mnoha operacemi, což má vliv jak na přesnost výroby, tak i náklady s tím spojené. Velmi důležitou úlohu ve výrobním procesu tvoří mezioperační a výstupní kontrola, které je nutné při dnešních nárocích na kvalitu výroby neustále zdokonalovat. Hlavní úlohu tvoří měření na pracovišti, kde musí být kontrola zajištěna jak schopností pracovníka, tak kvalitními měřicími prostředky.

1 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU TECHNOLOGIE VÝROBY

Společnost Motorpal a.s. se zabývá výrobou vstříkovačích zařízení pro dieselové motory. Mezi toto zařízení patří řadová vstříkovačí čerpadla a jejich příslušenství, která mají využití na motorech traktorů, silničních motorových vozidel, motorech drážních a lodních, motorech pro pohon stavebních strojů a motorech stacionárních. Tato vstříkovačí čerpadla mohou vstříkovat do válců vznětových motorů jak motorovou naftu, tak po úpravách i benzín a jiná méně hodnotná paliva. Řadová čerpadla se mezi sebou liší typovou velikostí a způsobem upevnění na vznětový motor použitým druhem příslušenství. [14]

Mezi další zařízení patří jednoválcová vstříkovačí čerpadla bez vlastního náhonového mechanismu. Při této variantě má každý válec motoru vlastní vstříkovačí čerpadlo, které je částečně zapuštěno do bloku motoru. Oblast použití těchto čerpadel sahá od malých vznětových motorů s výkonem 1kW na válec až po motory stacionární, lodní, drážní pracující i na těžká paliva disponující výkonem až 500kW na válec. [14]



a)



b)

Obr. 1.1 Ukázka vstříkovačích čerpadel [14]: a) jednoválcové, b) řadové.

Vstříkovačí čerpadla jsou v několika velikostech charakterizovaných zdvihem pístu a specifickou dodávkou paliva. Množství dodávaného paliva a tím i typová velikost je dána vztahem [14]:

$$Q = \frac{P_e \cdot b \cdot 10^3}{i \cdot \gamma \cdot n_p \cdot 60} \quad (1.1)$$

kde je: Q – dodávané množství paliva na zdvih a válec,
 P_e – efektivní výkon motoru,
 b – spotřeba paliva,
 i – počet válců motoru,
 γ – měrná hustota paliva (motorová nafta 0,82-0,88 g/cm³),
 n_p – počet otáček vstříkovačícího čerpadla.

Závod Motorpal v Batelově je jedním ze tří pobočných závodů náležících k podniku Motorpal a.s. Jihlava. Tento závod vyrábí elementy, které jsou jednou z hlavních částí vstříkovacích čerpadel pro dieselové motory. Některé elementy jsou zde kompletovány do vstříkovacích jednotek a následně v Motorpalu v Jihlavě montovány do vstříkovacích čerpadel. Jiné jsou dodávány samostatně jako komponenty na náhradní díly zákazníkům automobilového průmyslu celého světa.

1.1 Popis a charakteristika dílce

Element vstříkovacího čerpadla se skládá z válce a pístu. Tyto sestavy zajišťují přesné dávkování paliva vstříkovacím čerpadlem do válců dieselového motoru pomocí regulačních hran. Parametry průměru pístu i vhodné umístění všech regulačních drážek jsou dány dle požadavků zákazníka, nebo jsou stanoveny konstruktérem pro daný druh dieselového motoru.



Obr. 1.2 Ukázka elementů a vstříkovacích jednotek.

Tyto druhy elementů pracují na stejném základě a liší se pouze velikostí, rozměry a tvarem funkčních ploch. Palivo je přiváděno do elementu sacími otvory válce, jejichž oblast je utěsněna pomocí těsnících kroužků. Píst vytlačuje palivo, které je dávkováno pomocí regulačních hran. Tyto hrany musí být ostré, bez otřepů, a natáčením pístu pomocí regulační objímky se přesně mění množství paliva dodané čerpadlem v daném čase chodu motoru.

Písty a válce elementů vstřikovacích čerpadel se vyrábí převážně z materiálu oceli dle ČSN 14 109.3, ČSN 14 220.3 a 32CrMoV1210 nebo 31CrMoV9. Poslední dva z těchto materiálů se používají pro elementy, které se nitridují pro zlepšení povrchových vlastností funkčních částí elementu.



Obr. 1.3 Ukázka produkce vyráběných pístů.

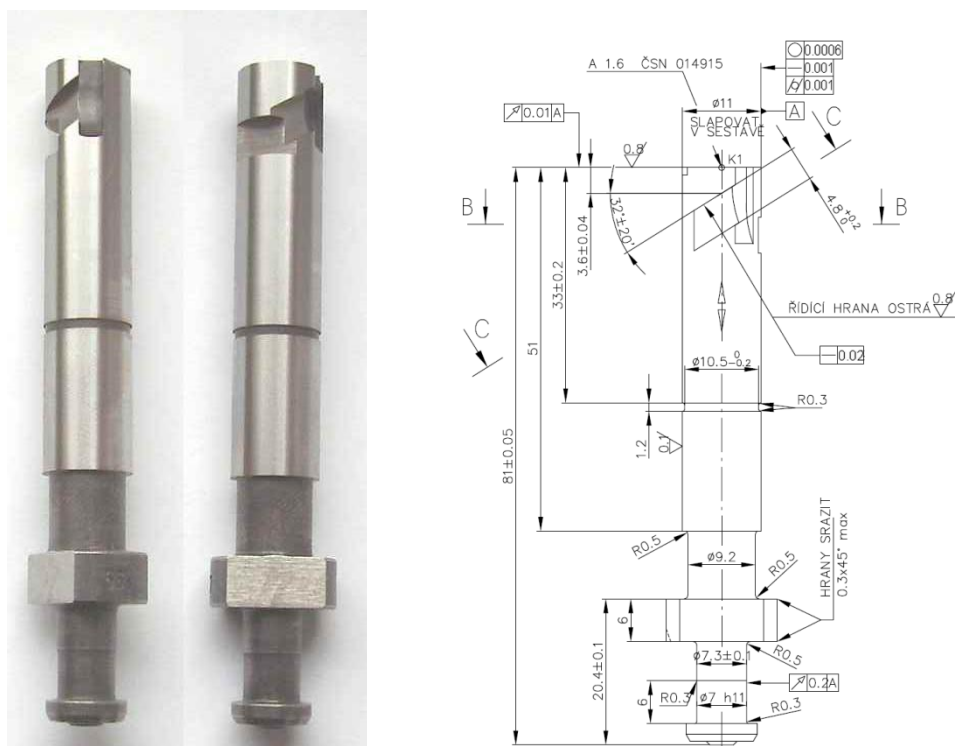
Různé umístění a tvary drážek společně se sacím otvorem válce mají hlavní vliv na řízení dodávky paliva vstřikovacím čerpadlem.



Obr. 1.4 Ukázka regulačních drážek.

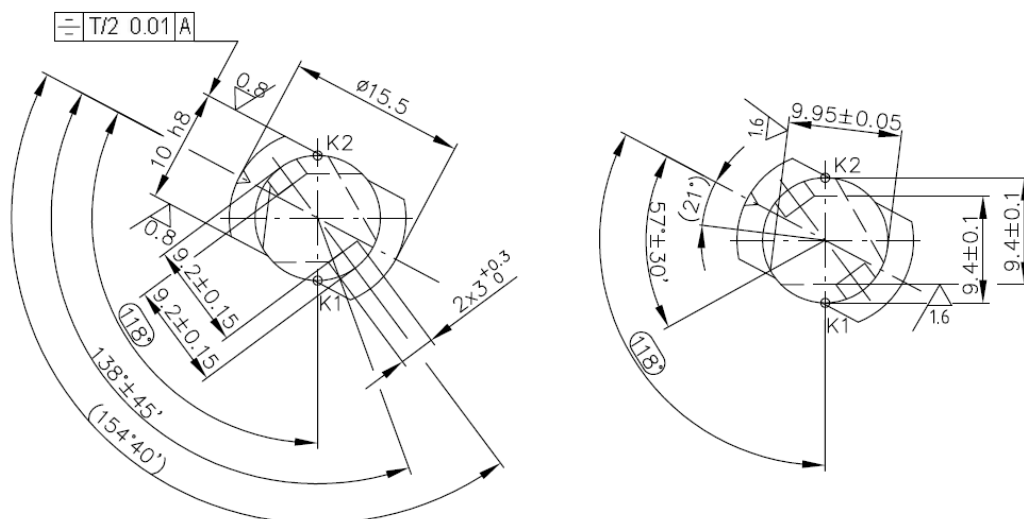
Jako představitel součástí je zvolen píst a element s průměrem funkčních částí $\varnothing 11$ mm. Tento píst i válec je vyráběn z oceli dle ČSN 14 109.3.

Výkresová dokumentace pístu ukazuje všechny významné rozměrové parametry jak pro správnou funkci dávkování paliva, tak i pro možnost slícování s válcem. Další parametry jsou významné pro montáž do vstřikovací jednotky a následně do vstřikovacího čerpadla. Mezi funkční parametry patří celková délka a rozměry spodní části pístu z hlediska seřízení teoretického počátku dodávky. Spodní čelo je zatěžováno vysokým tlakem od vačkového hřídele čerpadla.



Obr. 1.5 Píst elementu vstřikovacího čerpadla Ø11 a část výkresové dokumentace.

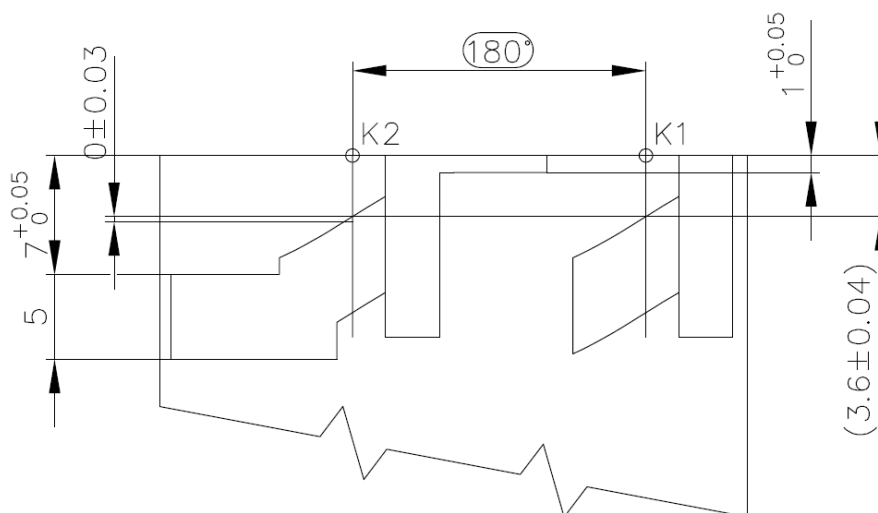
Výťah z výkresové dokumentace ukazuje polohu regulačních drážek na válcové ploše pístu od osy ploch pro regulační objímku. Tyto úhlové hodnoty jsou hlavním parametrem pro polohování dílce při jejich výrobě.



Obr. 1.6 Výkresová dokumentace – poloha regulačních drážek.

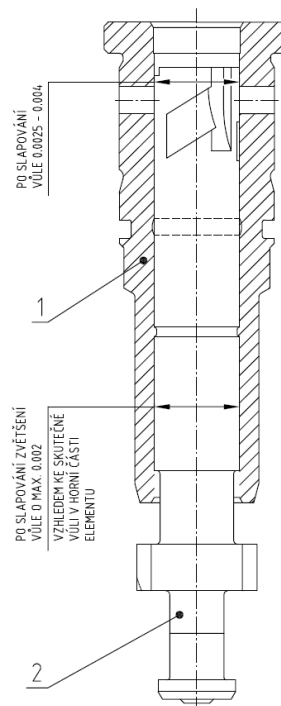
Rozvinutý tvar regulačních drážek určuje přesné délkové rozměry regulačních hran na povrchu válcové plochy měřené od čela pístu v určitém úhlovém natočení. Tyto rozměry jsou základní funkční parametry dílů a jsou důležité pro seřízení dle seřizovacího předpisu vstřikovacího čerpadla. Natočením těchto regulačních hran se mění množství paliva dodávaného do

válců vznětového motoru. Toto natočení se provádí přes regulační objímku, která je nasazena na plochy o rozměru 10 h8.



Obr. 1.7 Část výkresové dokumentace – rozvinutý tvar regulačních drážek.

Výtah z výkresové dokumentace elementu a technické podmínky ukazují jak předepsanou vůli, tak i požadavky na čistotu a funkčnost součástí. Element se skládá z pístu a válce, které jsou vzájemně slícovány s vůlí 2,5 μm až 4 μm . Tato vůle je základní parametr pro dosažení důkladné těsnosti soustavy. Pro dodržení této vůle a zároveň volného pohybu pístu ve válci je nutné zajištění geometrie obou funkčních částí.



Obr. 1.8 Element vstříkovacího čerpadla a část výkresové dokumentace.

Technické podmínky slícování:

- píst a válec tvoří dvojici, jejíž součásti není dovoleno zaměňovat,
- plochy musí mít stejný odlesk po celé ploše, poškrábání nebo jiné poškození není přípustné,
- dvojice musí být důkladně vyčištěna a nesmí obsahovat nečistoty,
- píst ve svislé poloze musí po vytažení o 20 mm klesat vlastní vahou plynule bez zadržávání v jakémkoliv úhlovém pootočení kolem podélné osy pístu.

1.2 Stávající technologie výroby

V současnosti se vyrábí tyto dílce pomocí jednoúčelových a konvenčních strojů mnoha jednoduchými operacemi. První operace se postupně předávaly do kooperace, která dnes zajišťuje dodávání soustružených dílců jako polotovary po první operaci u většiny druhu pístů. V této práci bude předpoklad celé výroby pístu z tyčového materiálu, pouze tepelné zpracování bude prováděno v jiném závodě této firmy.

Tab.1.1 Přehled operací výroby pístu

Č.op.	Stroj	Název operace	t _{ACi} [min]
	Třídící číslo pracoviště		
1.	SPRY 40 CNC	Soustružit tvar	2,314
	14441		
20.	Bruska BPH20	Brousit plošku Ø 3,3 ±0,2	0,248
	5613		
30.	JUS RC340/3	Protahovat, frézovat 2x	0,570
	65911		
40.	RU	Označit, odjehlit	0,478
	9421		
50.	Pec Aichelin	Tepelné zpracování kalit 63 -2 HRC	0,104
	21812		
55.	Vrtačka V10/3	Regulovat navrtání	0,118
	4615		
70.	Bruska BHU25	Brousit Ø11	0,409
	5513		
75.	Bruska BSBK	Brousit čelo Ø11/81±0,05	0,101
	5662		
85.	Bruska BPH20	Brousit plošky 10 h8	0,355
	5613		
92.	Omílací stroj	Odjehlit omíláním	0,131
	9612		
95.	Bruska JUNKER NAJ 1	Brousit regulační hrany	1,412
	35611		
96.	Bruska BPH20	Brousit příčnou drážku	0,925
	5613		
98.	Bruska BPH20	Brousit startovací plošku	0,620
	5613		

Č.op.	Stroj		Název operace	t _{ACi} [min]
	Třídící číslo pracoviště			
105.	RU		Odjehlit, vyčistit	0,183
	9421			
110.	Bruska BHU25		Brousit pro lícování	0,493
	5513			
115.	RU		Odjehlit, kontrolovat	0,232
	9864			
Σt_{ACi}				8,693

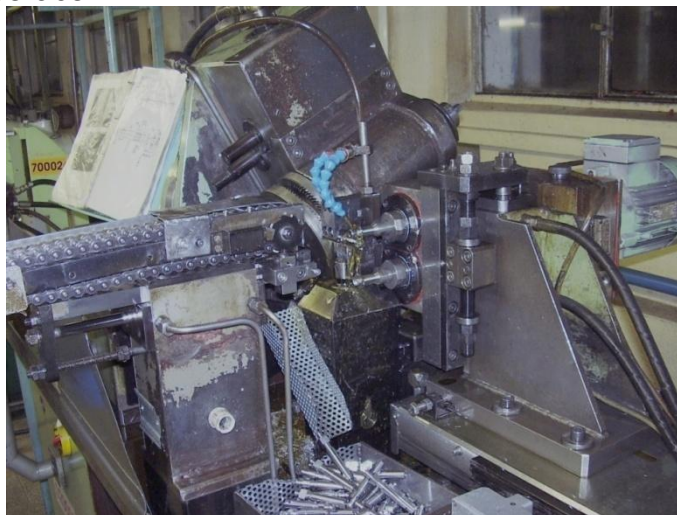
Lícování elementů se provádí na hrotových bruskách broušením pístů podle rozměru válců, kde celá operace je příliš závislá na práci operátora a následně zde vstupuje operace kontroly, která zde vykonává kontrolu pracovníka z předešlé operace.

Tab. 1.2 Přehled operací výroby elementu

Č.op.	Stroj		Název operace	t _{ACi} [min]
	Třídící číslo pracoviště			
5.	Bruska TSCHUDIN		Brousit, lícovat	1,573
	35511			
10.	RU		Kontrolovat - měřit vůle	0,093
	9863			
25.	UZ čistící linka POW 138		Vyprat, konzervovat	0,066
	9614			
860.	RU		Balit do Plastelox	0,424
	9913			
890.	RU		Balit pro expedici	0,145
	9913			
Σt_{ACi}				2,301

1.3 Používané stroje a nástroje

Stroje používané v tomto výrobním procesu mají převážně omezené použití a nesplňují parametry schopnosti strojů a procesů, které jsou požadovány C_p , C_{pk} , C_m , C_{mk} větší než 1,67. V případě malých výrobních sérií je neustálé seřizování na jiné dílce časově náročné a má výrazný vliv na jakost výroby dané operace.



Obr. 1.9 Jednoučelový stroj RC340/3 pro frézování a protahování.

Velkými náklady jsou zatěžovány operace, kde je zařazen konvenční stroj. Jsou zde nutné různé polohovací přípravky specifické pro každý konkrétní typ výrobku. Tyto přípravky zatěžují výrobu jak náklady na jejich výrobu, tak i nutnou přesností, která se poté přenáší na výrobu dílců.

Mezi jednoučelové stroje patří frézky pro frézování podélných drážek, frézky pro frézování regulačních drážek a bruska pro broušení čel pístů v pouzdrech, která jsou upevněna v otočném stole a měněna podle přesného průměru pístů.



Obr. 1.10 Stroj BSBK pro broušení čel pístů.

Pro soustružení základního tvaru byl použit CNC soustruh, který se dnes již nepoužívá a tato operace je nahrazena kooperací. Mezi univerzální stroje dále patří rovinné brusky s elektromagnetickým upínáním. Na těchto bruskách jsou broušeny rovinné plochy a regulační drážky. Každá plocha a drážka má jednu specifickou operaci, a na každou operaci je použit jeden speciální polohovací přípravek. Broušení průměrů se provádí na hrotových bruskách BUA 25.



Obr. 1.11 Jednouúčelový stroj pro frézování drážek.

Pro některé přesné výrobky jsou určeny CNC brusky pro broušení do plného materiálu, které jsou využívány pro broušení regulačních drážek. Pro tento způsob broušení se používají brousicí kotouče z kubického nitridu bóru, které jsou objednány dle daného tvaru a rozměru drážky. Tyto stroje se využívají pouze pro část produkce a jen pro broušení některých regulačních drážek.

K broušení pístu pro slícování s válcem se používá hrotová bruska TSCHUDIN s krokovým motorem, snímačem průměru a manuálním natáčením stolu.



Obr. 1.12 Hrotová bruska TSCHUDIN.

Používané nářadí a nástroje jsou převážně komunální. Používají se povlakované břitové destičky a frézy ze slinutých karbidů a nástrojové oceli od firmy Sandvik Coromant a Iscar. Používané broušící kotouče jsou objednávány jako běžné výrobky z katalogů různých výrobců.

Speciální nářadí je používáno většinou u jednoduše strojů na operacích před tepelným zpracováním. Jedná se hlavně o frézování drážek přímých, nebo ve šroubovici a protahování plošek pro regulační objímku.



Obr. 1.13 Kotoučový protahovák.



Obr. 1.14 Fréza na drážky.

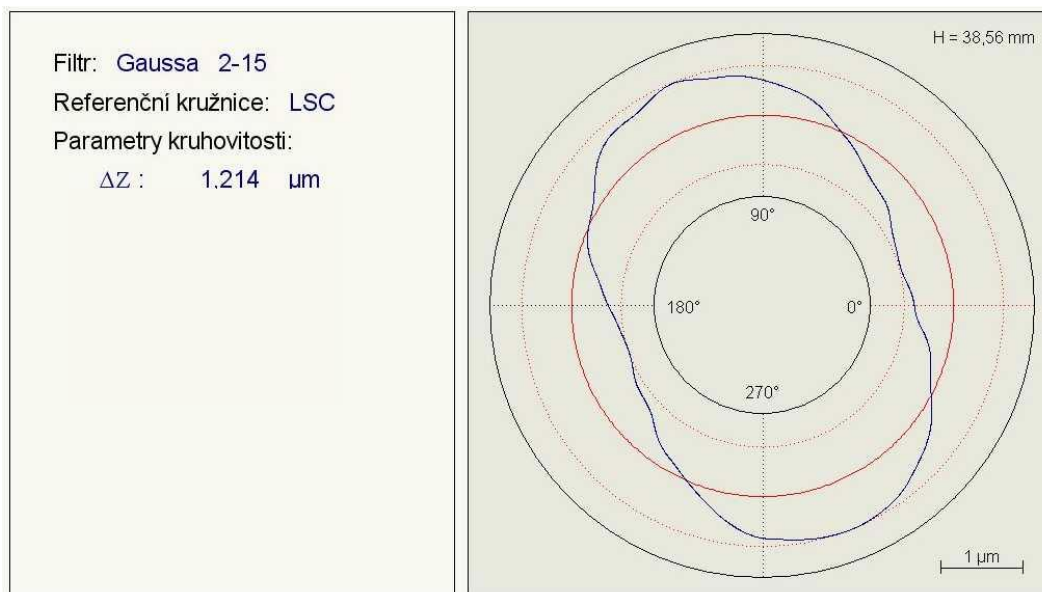
Pro některé typy pístů se již nyní používá broušení drážek do plného materiálu broušícími kotouči se zrnky kubického nitridu bóru. Toto broušení je většinou rozděleno do operací podle počtu drážek a každá z nich je prováděna v samostatné operaci na různých strojích, nebo je postupně stroj na každou operaci seřizován.

2 VYTIPOVÁNÍ KRITICKÝCH MÍST VE VÝROBĚ

U tohoto typu výrobku je nezbytně nutná přesnost výroby všech vyráběných součástí sestavy. K správné funkci elementu je důležité dodržet jak rozměrové, tak i geometrické parametry pístu a válce a jejich vzájemnou vůli pro správnou těsnost celé sestavy. Pro dodržení těchto podmínek je nutné dodržování kontroly nejen rozměrů na jednotlivých operacích, ale i opotřebení nástrojů a jejich včasnou výměnu, nebo u brousicích kotoučů jejich včasné orovnání.

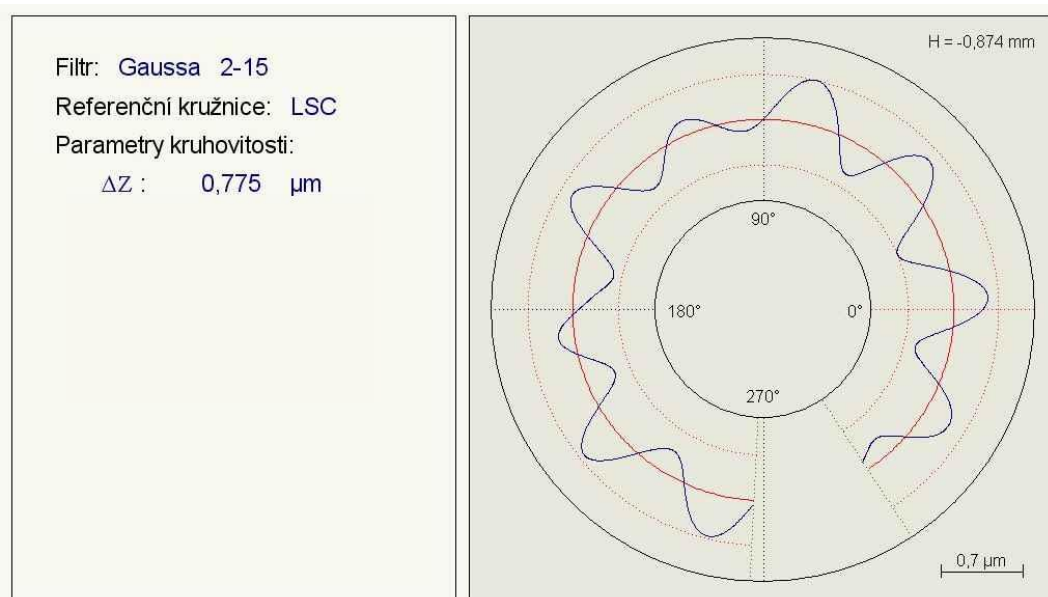
2.1 Charakteristika funkčních částí pístů

Válcová plocha pístu průměr 11 mm tvoří spolu s válcem hlavní funkční část elementu. Je slícována s vůlí 0,0025 až 0,004 mm, což klade velké nároky na kvalitu povrchu a geometrické parametry obrobenej plochy. Tyto části musí zajišťovat dokonalou těsnost a zároveň jejich vzájemný pohyb musí být volný, a bez drhnutí. Tyto podmínky nejvíce ovlivňuje geometrie vzájemně se pohybujících funkčních částí. Mezi problémy patří i možnost měření kruhovitosti a přímosti v dílenských podmínkách. Na obr. 2.1 je překročena úchylnka kruhovitosti způsobena poškozením upínacích ploch pístu změřitelná v dílenských podmínkách pneumatickým měřidlem Etamic.



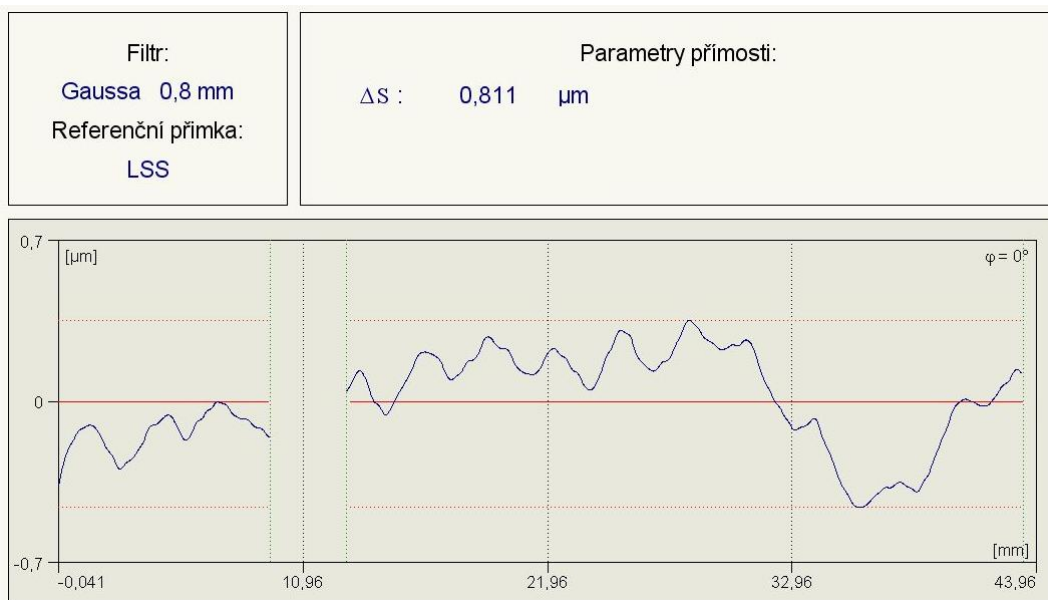
Obr. 2.1 Vyhodnocený parametr kruhovitosti 0,0012 mm.

V následujícím případě je závada způsobena opět vadou na upínacích plochách, případně chvěním ve stroji, ale změřitelnou pouze na měřidlech pro měření geometrie.



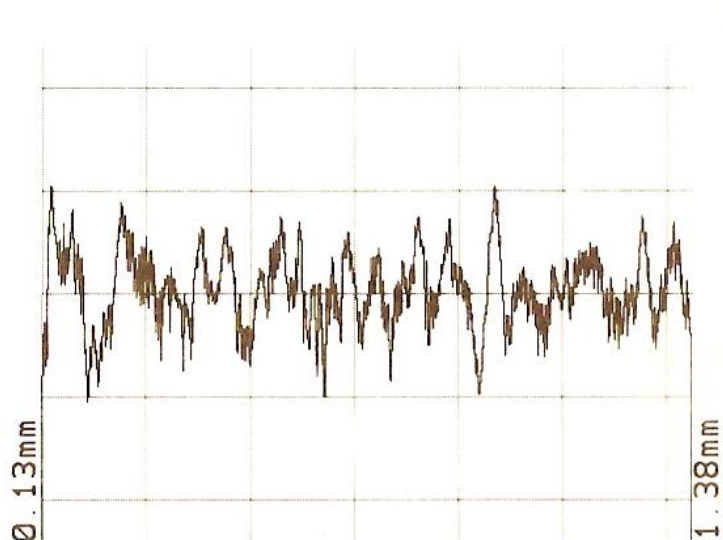
Obr. 2.2 Vyhodnocený parametr kruhovitosti 0,00078 mm.

U parametrů přímosti je důležité včasné a správné orovnění brousícího kotouče, který je nejvíce zatěžován na hranách broušených ploch, které postupně zaoblují. V oblasti drážek je brousící kotouč méně zatěžován a dochází v těchto místech postupně k většímu úběru materiálu a vybrušování zápichu po celém obvodu.



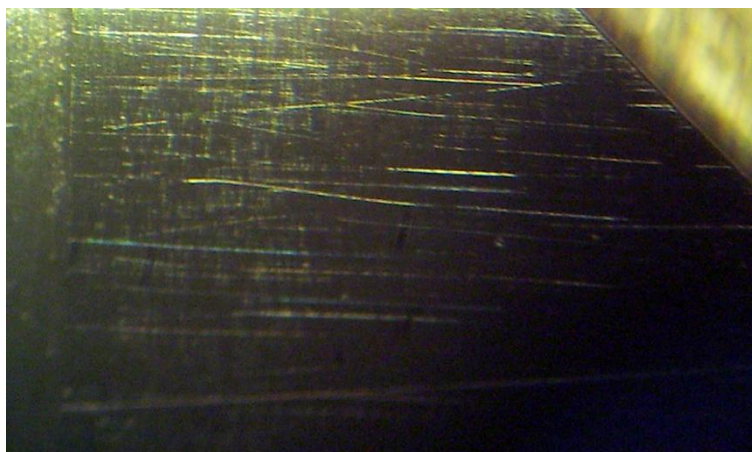
Obr. 2.3 Vyhodnocený parametr přímosti 0,00081 mm.

Neméně důležitý je parametr střední aritmetické úchytky profilu, který se významně podílí na dokonalé těsnosti obou částí při jejich volném chodu. Parametr střední úchytky profilu povrchu broušené plochy je hodnocen při parametrech: $L_t = 1,5 \text{ mm}$, $L_c = 0,25 \text{ mm}$, $V_t = 0,15 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, filtr – ISO 11562



Obr. 2.4 Dosahované parametry střední aritmetické úchytky profilu $R_a 0,145$.

Na broušené ploše jsou nepřijatelné rýhy v axiálním směru přes stopy obrábění, které mohou být způsobeny nečistotami, nebo ostřinami na hranách válce nebo manipulací při měření.



Obr. 2.5 Rýhy v axiálním směru přes stopy po obrábění.

Další funkční část jsou regulační drážky, jejichž hrany musí být ostré bez mechanického poškození a bez ostřin vzniklých předchozím obráběním. Poloha na obvodu a vzdálenost od čela pístu má významný vliv na seřízení všech parametrů čerpadla souvisejících s dodávkou paliva.

Ostatní tvarové plochy a průměry je nutné dodržet pro montáž elementu do vstřikovací jednotky.



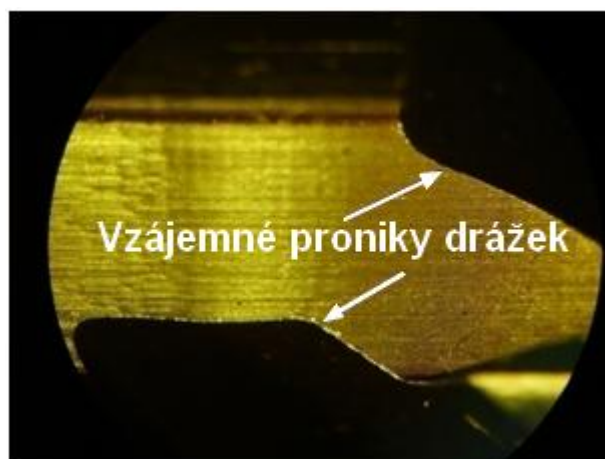
Obr. 2.6 Rádus na funkční regulační hraně.

Mechanické poškození je působeno převážně nesprávnou manipulací mezi operacemi, případně nevhodným zacházením během operace.



Obr. 2.7 Mechanické poškození hrany na čele pístu.

Přechody všech drážek musí být čisté a odjehlené, aby nemohlo dojít k uvolnění ostříny a následnému zadření elementu.



Obr. 2.8 Vzájemné proniky regulačních drážek.

2.2 Kontrola ve výrobním procesu

Výrobní proces v tomto podniku je založen na samokontrolě, což by mělo znamenat technologické zajištění kvality výroby jednotlivých operací, nebo kvalifikovanou obsluhu na jednotlivých pracovištích. Jelikož je stále více vyráběných druhů v malých dávkách, zvyšují se nároky na měření a využívají se univerzální měřicí prostředky. Mezi tyto měřicí zařízení patří mikroskopy pro měření délkových, úhlových rozměrů a někdy i úchylek tvaru a polohy.



Obr. 2.9 Mikroskop Zeiss s částečnou digitalizací.

Měření vůlí, některých geometrických parametrů a přesných průměrů je prováděno pneumatickým měřidlem ETAMIC, které je založeno na měření pomocí vzájemného průtoku vzduchu mezi tryskami trnu a kroužku. Tento průtok je převáděn přes membránu na číselníkový úchylkoměr.



Obr. 2.10 Pneumatické měřidlo vůle ETAMIC a výměnný snímač.

Měřidla ETAMIC jsou používána přímo u strojů jako výrobní měřidlo a dále na kontrolních pracovištích pro kontrolu slícovaných dílů, nebo na kontrolu a měření průměru pístů nebo válců. U těchto měřidel jsou používány výměnné snímače, které jsou používány vždy pouze pro určitý průměr v rozsahu maximálně 0,025 mm. Významný vliv na velikost vůle má střední aritmetická úchylka profilu povrchu lícovaných dílů. Snímač vytváří na povrchu obrobené součásti vzduchový polštář, který zahrne do skutečné hodnoty průměru i hodnotu Ra, o kterou je poté skutečná vůle elementu menší.

2.3 Optimalizované části výrobního procesu

V první části budou nahrazeny operace před tepelným zpracováním jednou operací na obráběcím centru, což bude mít za následek vyšší pořizovací náklady, avšak s rychlou návratností. Operace prováděné na jednom obráběcím centru, by měly zvýšit i kvalitu výroby z hlediska rozměrů i jakosti obrobených ploch.

V další části budou po vyčištění důlků a obroušení hlavní válcové plochy pístu nahrazeny všechny brousící operace jedním brousícím centrem, což eliminuje nepřesnosti v důsledku opakovaného upínání součástí a zkrátí průběžné časy vniklé mezioperační manipulací. Na tyto stroje bude navázána moderní souřadnicová měřící technika, která zkrátí dobu měření, zvýší přesnost výroby a eliminuje chyby při samokontrolě.

V poslední části budou nahrazeny brusky pro lícování bruskami s návazností na měření vůlí, případně geometrie a s minimalizací chyby pracovníka. Dále tyto stroje s využitím zásobníku a automatického zakládání obrobků zkrátí vedlejší časy výrobního procesu.

3 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY

Tato technologie bude postavena na základě využití nových moderních strojů, u kterých lze s využitím nových trendů v nabídce nástrojů obrábět různými technologiemi a tím obrobít celou součást na jedno upnutí, případně po upnutí do proti-vřetene obrobít součást z obou stran. To zredukuje počet operací a tím zkrátí nebo odstraní vedlejší časy potřebné k mezioperační manipulaci, seřizování několika strojů a zvýší přesnost obrobené součásti. V rámci nové technologie nebude nutné využívat mnoho pomocných přípravků používaných k polohování a měření, což bude mít velký vliv na finální úspory ve výrobním procesu.

K následujícímu návrhu nové technologie výroby pístů a elementů bude vycházeno z následujících předpokladů:

- celkový objem výroby všech typů je cca 1000000 kusů za rok,
- výrobní dávky jsou nejčastěji v množství 100 až 1000 ks při počtu cca 300 různých sortimentních druhů,
- výroba bude prováděna bez kooperace z polotovaru tyče kruhového průřezu dle ČSN 42 5510.

Základem návrhu nové technologie je nutná flexibilita výrobních zařízení a úspory vzniklé minimalizací nákladů na pomocné výrobní prostředky. Základem pro první operaci je polotovar \varnothing 15,5 mm. První operace bude obsahovat veškeré obrábění před tepelným zpracováním. To je navrtání středícího důlku a obrobení první části pístu. Poté bude píst přesunut do protějšího vřetene a bude soustružena tvarově složitější část. Na závěr budou frézovány dvě plošky. Do soustavy stroje bude začleněn odjehlovací drátěný kartáč s abrazivními částicemi pro odjehlení ostřin z hran součásti.

Další operace je označení, které ponecháme ve stávajícím stavu, a které se provádí ručně pomocí razníků na lisu. Po tepelném zpracování zůstane stávající operace vyčištění a vystředění důlků a operace broušení funkčního průměru s přídavkem na broušení pro slícování.

Následně bude zařazena operace rovinného broušení na nástrojové brusce ANCA TX7+. Tato operace je nejnáročnější z hlediska přesnosti funkčních částí pístu. Nejdříve budou broušeny plošky, od kterých vychází polohy drážek na obvodu válcové plochy. V systému brusky jsou zařazeny sondy pro přesné zjištění polohy těchto plošek, od kterých vychází natáčení řízené řídicím systémem brusky. Následně bude broušeno čelo pístu, od kterého vychází délkové rozměry všech drážek. Při broušení drážek je důležitý směr otáčení brousícího kotouče, aby nedocházelo k přílišnému vyhrnování materiálu a třísek na hrany a proniky již neobráběných částí.

Poslední částí je odjehlení určitých částí pístu před finálním broušením na přesnou hodnotu dle válce. Toto bude provedeno na hrotové brusce JUNKER, v automatickém režimu a se snímáním skutečné hodnoty průměru válce a broušeného průměru pístu.

3.1 Návrh technologie výroby pístu

Tento typ pístu bude vyráběn z polotovaru tyče kruhového průřezu o průměru \varnothing 15,5 mm dle ČSN 42 5510 z materiálu ČSN 14 109.3

Tab.3.1 Přehled operací výroby pístu s moderními stroji

Č.op.	Stroj	Název operace	t _{ACi} [min]
	Třídící číslo pracoviště		
1.	JOHNFORD HT30-2SD	Navrtat, soustružit tvar, frézovat	0,619
	44442		
5.	RU	Označit	0,239
	9421		
10.	Pec Aichelin	Tepelné zpracování kalit 63 -2 HRC	0,104
	21812		
15.	Vrtačka V10/3	Regulovat navrtání	0,118
	4615		
20.	Bruska BHU25	Brousit \varnothing 11	0,409
	5513		
25.	Omílací stroj	Odjehlit omíláním	0,131
	9612		
30.	Bruska ANCA TX7+	Brousit plošky, čelo, drážky	2,05
	5712		
35.	RU	Odjehlit, kontrolovat	0,232
	9864		
Σt_{ACi}			3,902

3.2 Návrh technologie výroby elementu

Do této části vstupuje válec elementu jako finální výrobek a píst s přídávkem cca 0,05 mm na průměru \varnothing 11 mm. Tyto přídávky je nutné upravovat a posuzovat dle přesnosti a tvaru drážek, které se tímto broušením mohou změnit za hranici tolerance.

Tab. 3.2 Přehled operací výroby elementu s moderními stroji

Č.op.	Stroj	Název operace	t _{ACi} [min]
	Třídící číslo pracoviště		
1.	Hrotová bruska JUNKER – JUMAT 3000	Brousit, lícovat	0,53
	35511		
5.	UZ čistící linka POW 138	Vyprat, konzervovat	0,066
	9614		
10.	RU	Balit do Plastelox	0,424
	9913		
15.	RU	Balit pro expedici	0,145
	9913		
Σt_{ACi}			1,165

3.3 Operace odjehlení funkčních částí

Základem pro minimalizaci ostřin a třísek na hranách obrobku jsou správně nastavené řezné podmínky, a také postup a směr řezání všech nástrojů. Důležitým faktorem je také opotřebení nástrojů, které je nutné včasné měnit, ostřit nebo u broušicích kotoučů orovnávat.

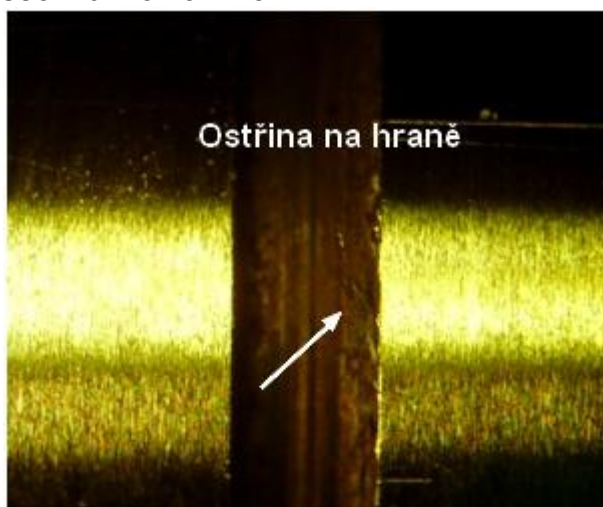
Pro odstranění ostřin lze umístit do systému obráběcích strojů kartáče různých typů. Pro základní odjehlení hrubých třísek lze použít kartáče ocelové, nebo s nánosem abrazivních částic. Druh kotouče a doba odjehlování má významný vliv jak na odstranění veškerých nežádoucích částí materiálu, tak na zaoblení funkčních hran, což je nepřijatelné.

Další možností odstranění ostřin je termické odjehlení, které je nutné pro důležitost kvality této operace nejprve prakticky ověřit.



Obr. 3.1 Odjehlovací strojní kartáče Osborn [16].

Odjehlení od mikroostřin po posledním broušení bude prováděno již pouze kartáčem se silonovými vlákny, aby nedošlo k poškrábání těsnící plochy pístu a zaoblení všech funkčních hran.

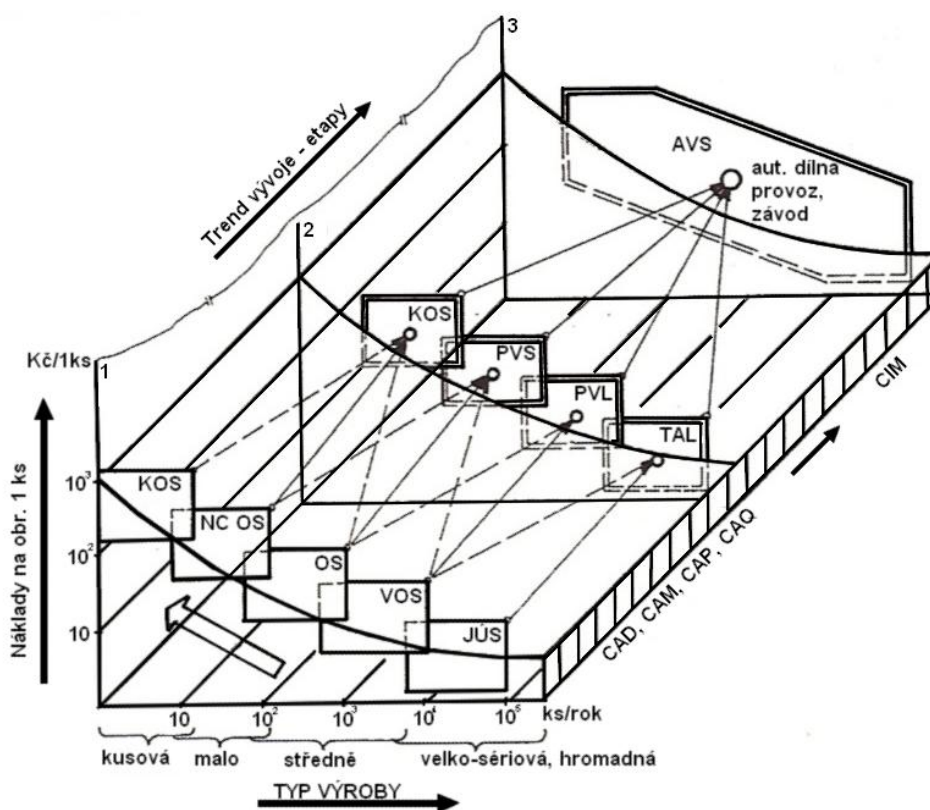


Obr. 3.2 Ostřiny na hraně pístu po broušení.

4 NÁVRH STROJNÍHO VYBAVENÍ

Výroba ve strojírenských podnicích směřuje k zavádění bezobslužných pracovišť, nebo pracovišť s minimálními nároky na přítomnost pracovníka. V tomto případě pracovník vykonává pouze dozor a je zde možné zavádět i vícestrojovou obsluhu. [18] Tyto požadavky splňují dnešní CNC stroje, kde většinu řídicích operací přejímá řídicí systém, který zejména v automatickém režimu eliminuje chybovost operátora stroje. [8]

Neustálý vývoj a modernizace CNC strojů se rychle uplatňuje v běžné strojírenské výrobě. Napomáhají tomu výhodnější ceny řídicí techniky a strojů vzhledem ke zvyšující se jejich užité hodnotě. Tyto stroje poskytují více komfortu při programování, poskytují více funkcí a snižují výrobní a vedlejší časy. [18]



Obr. 4.1 Etapy automatizace podle [8]

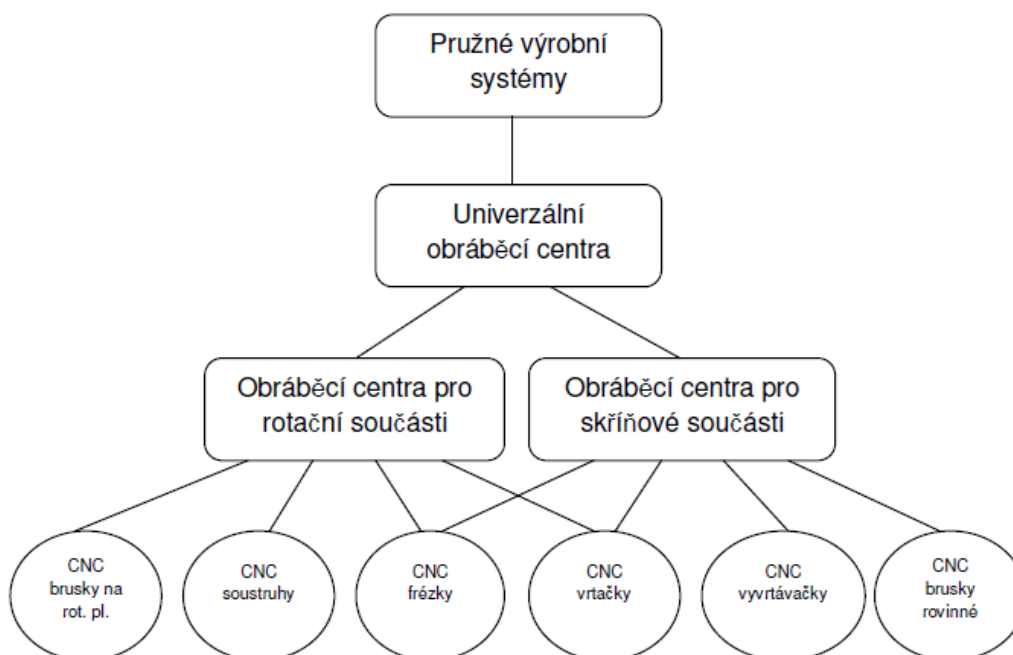
KOS – konvenční obráběcí stroje, NCOS – číslicově řízené stroje jednoprofesní,
 OC – obráběcí centra, VOC – vícevřetenová obráběcí centra,
 JÚS – jednoúčelové stroje, PVB – pružná výrobní buňka,
 PVS – pružná výrobní soustava, PVL – pružná výrobní linka,
 TAL – tvrdá automatická linka, AVS – automatizovaná výrobní soustava.

Při výběru CNC stroje je nutné se zaměřit [20]:

- pro jaký typ výroby je stroj požadován,
- jaká je spolehlivost řídicího systému stroje,
- jaká je náročnost ovládnání řídicího systému a přípravy NC programů,
- umožní-li řídicí systém obrábět rychle, kvalitně a se zachováním předepsaných parametrů širokou škálu obrobků,
- jaké jsou náklady na rozšíření řídicího systému,
- jaká je technologická pomoc od dodavatele a jaká je možnost zaškolení obsluh a technologů,
- jaká je dostupnost a kvalita servisu obráběcího stroje a řídicího systému,
- jaká je dostupnost a cena náhradních dílů,
- jaká je kvalita a cena servisní organizace dodavatele CNC řídicího systému, apod.

4.1 Obráběcí centra

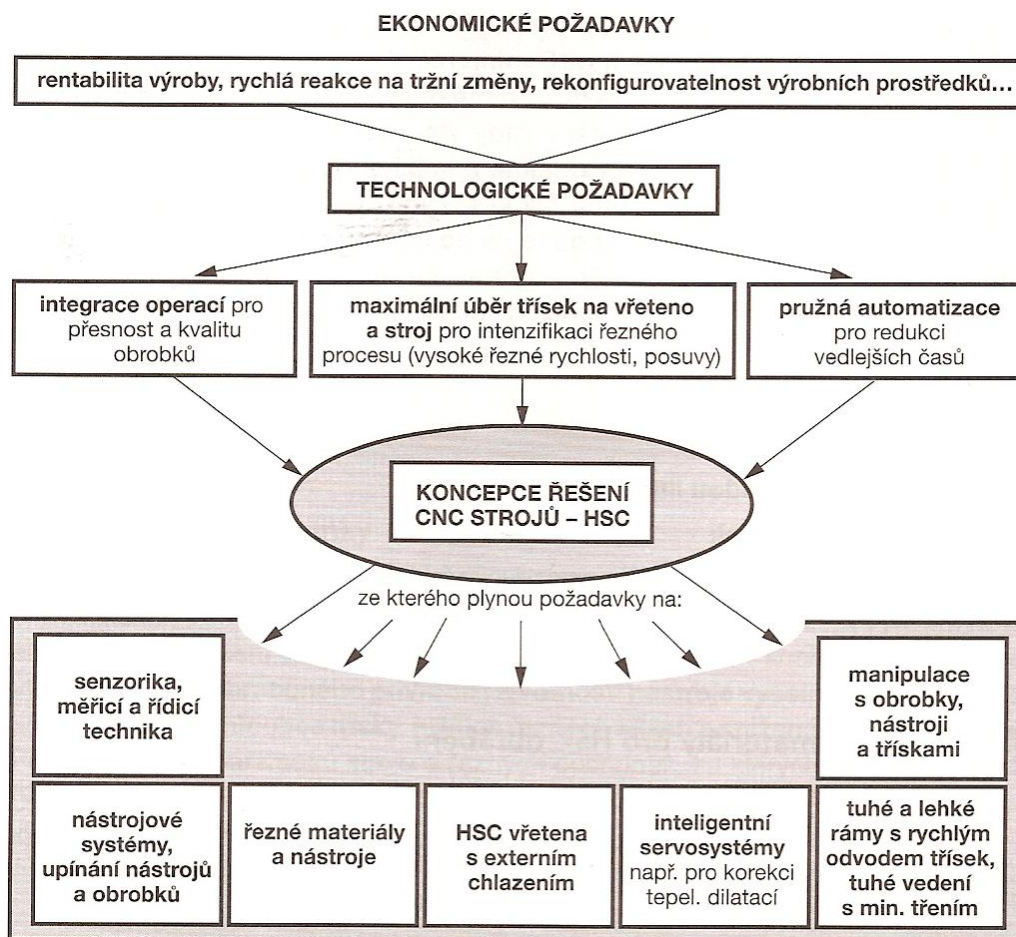
Obráběcí centrum je stroj využívající kombinace několika různých technologií obrábění. Jen málo výrobků je vyráběno jednou technologií. I výroba pístu zahrnuje navrtání středícího důlku, soustružení tvaru z obou stran a frézování plošek pro regulační objímku.



Obr. 4.2 Vývoj od jednoprofesních strojů po pružné výrobní systémy.

4.1.1 Význam obráběcích center

Volba obráběcího centra vede ke snížení vedlejších časů, snížení nákladů náhradou několika strojů jediným obráběcím centrem, umožňuje snadněji automatizovat výrobu a snižuje náklady na výrobu. Také se sníží čas mezioperační manipulace, čas čekání na následující operaci a v neposlední řadě i počet výrobních dělníků. U strojů s technologií HSC je zvýšení produktivity uváděno až pětinasobné. [18]



Obr. 4.3 Koncepce obráběcího centra ovládané technologií HSC [18].

4.1.2 Návrh obráběcího centra

Výrobou obráběcích center univerzálních, pro rotační nebo skříňové součásti se zabývá v dnešní době mnoho českých i zahraničních firem. Mezi největší výrobce patří TOS Kuřim, Tajmac-ZPS, Mori Seiki, Makino a mnoho dalších. Tyto stroje jsou schopny nahradit mnoho operací na jednoúčelových i konvenčních strojích. Většina těchto strojů je navrhována přímo pro výrobu určitého typu výrobků a bývá doplněna o požadavky zákazníka. V této práci budou navrženy stroje univerzálních parametrů a z aktuálních katalogových nabídek.



Obr. 4.4 Horizontální obráběcí centrum Tajmac – ZPS H40A [19].

Na základě daných parametrů bylo navrženo horizontální obráběcí centrum JOHNFORD HT30-2SD. Tento obráběcí stroj je vybaven dvěma nástrojovými hlavami s možností hnaných nástrojů u obou těchto hlav a proti-vřetenem pro obrábění součástí z obou stran. Firma dodává tyto stroje s řídicím systémem Fanuc, Siemens, Heidenhain a další, což dává záruku vysoké spolehlivosti a bezproblémového obrábění.



Obr. 4.5 Obráběcí centrum JOHNFORD HT30-2SD [9].

Na obr. 4.6 jsou ukázány hlavní části tohoto stroje jako lože, obě nástrojové hlavy a obě vřetena stroje. Při kompletaci těchto strojů jsou použity jen ty nejlepší komponenty od věhlasných světových značek. [9]



Obr. 4.6 Skelet obráběcího centra JOHNFORD HT30-2SD [9].

Technická data stroje JOHNFORD HT30-2SD [9]:

• max. oběžný průměr	[mm]	580
• max. oběžný průměr nad ložem	[mm]	330
• průměr sklíčidla	[mm]	203
• max. průměr tyčového materiálu	[mm]	51
• kužel na vřetenu		A2-6
• průchod vřetenem	[mm]	65
• otáčky vřetena	[min ⁻¹]	4500
• výkon vřetena	[kW]	11/15
• průměr sklíčidla proti-vřetena	[mm]	51
• max. průměr tyčového materiálu proti-vřetena	[mm]	51
• kužel na proti-vřetenu		A2-6
• průchod proti-vřetenem	[mm]	65
• otáčky proti-vřetena	[min ⁻¹]	4500
• výkon proti-vřetena	[kW]	11/15
• počet nástrojů v nástrojové hlavě	[ks]	2 x 12
• pojezd v ose X	[mm]	175
• max. délka obrobku	[mm]	460
• rychloposuv	[m.min ⁻¹]	18

• výkon pohonu v ose X	[kW]	3
• výkon pohonu v ose Z	[kW]	4
• hmotnost stroje	[kg]	7500
• šířka stroje	[mm]	2300
• výška stroje	[mm]	2300
• délka stroje	[mm]	5100

4.2 CNC brusky

Velkým trendem v dnešní době je honba za co největší užitnou hodnotou výrobků a to vede k nasazování nejvýkonnějších a nejekonomičtějších metod obrábění. V dokončovacích procesech si dnes udržuje svojí pozici technologie broušení, která je při určitých požadavcích na jakost povrchu nezastupitelná. V posledních letech se do popředí dostává broušení zvláště vysokými obvodovými rychlostmi. [10]

Brousicí nástroje pro broušení zvláště vysokými obvodovými rychlostmi posilují součinnost technologické soustavy stroj – obrobek – nástroj, neboť při zvýšení rychlosti brousicího nástroje se snižují řezné síly, snižují se zbytková napětí na povrchu obrobku a opotřebení kotouče. Dochází ke zlepšení střední aritmetické úchylnosti profilu povrchu součásti a zvyšuje se trvanlivost brousicího nástroje. [10]

Kromě zlepšení jakosti přispívají vyšší řezné rychlosti i ke zvýšení úběrů. Zvyšuje-li se řezná rychlost až na $90 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ při použití řezného oleje pod zvýšeným tlakem (1 MPa) jako chladicího a mazacího prostředku, je možné dosáhnout úběru který se rovná až stonásobku úběru obvykle v praxi. [10]

4.2.1 Návrh CNC brusky nástrojové

Na základě parametrů je navržena vysoce výkonná produkční bruska Anca TX7+ s externím chladicím systémem. K základním charakteristikám tohoto stroje patří [2]:

- mnohostrannost a široké spektrum v oblasti broušení řezných nástrojů,
- vhodná pro sériovou výrobu nebo pro přebroušování přesných nástrojů,
- automatická výměna brousicích kotoučů umožňuje využití až 8 kotoučů na jedno upnutí (4 kotouče ve dvou skupinách),
- bohatá nabídka nástrojových držáků a možnost podpěry nástrojů podle individuálních požadavků,
- možnost rozsáhlé automatizace,
- integrovaný orovnávací kotouč umístěný na pracovním vřeteníku.

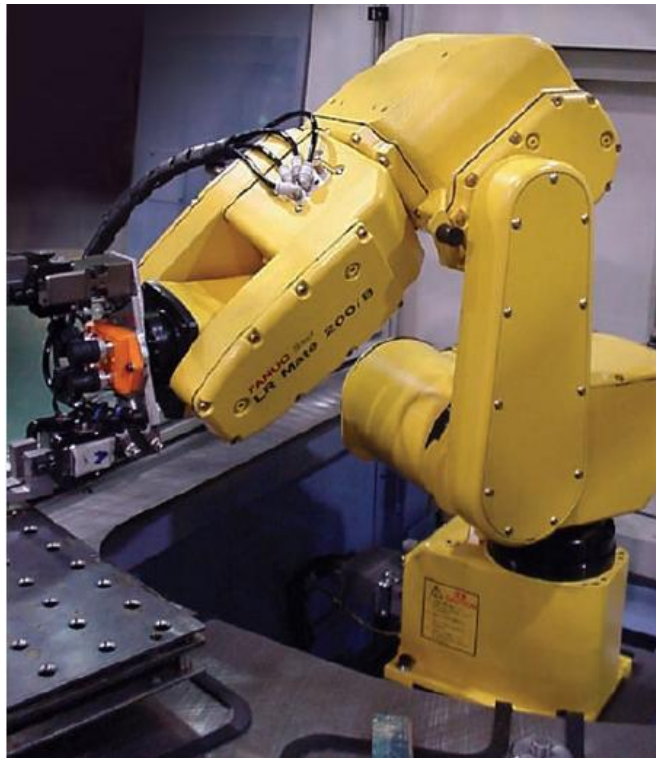


Obr. 4.7 Produkční bruska ANCA TX7+ [5].

Technická data stroje ANCA TX7+ [5]:

• polohování se zpětnou vazbou	[mm]	0,0001
• programové rozlišení	[mm]	0,001
• maximální průměr obrobku	[mm]	300
• maximální váha obrobku	[kg]	25
• maximální průměr brousícího kotouče	[mm]	202
• příkon	[kW]	25
• hmotnost	[kg]	7500
• šířka stroje	[mm]	1550
• délka stroje	[mm]	2520
• výška stroje	[mm]	2250

Tento stroj lze automatizovat pomocí robotického zakladače, se kterým je možné dosáhnout takové úrovně flexibility, kterou nezaručí žádný jiný způsob manipulace. Jeho přesnost a spolehlivost jsou základními parametry, které v normálních případech s běžnými zakladači nelze dosáhnout. Tento zakladač vytváří vysokou ergonomickou a bezpečnou úroveň a lze ho přestavět na laserové popisování nebo měřicí operace. [1]



Obr. 4.8 Robotický zakladač FANUC LR Mate 200 ib [5].

4.2.2 Návrh CNC brusky hrotové

Pro konečné broušení průměru ke správnému slícování s válcem na předepsanou vůli je zvolena dle parametrů hrotová bruska JUMAT 3000 pro broušení válcových ploch. Tato bruska je vysoce flexibilní stroj, který je schopen pracovat i vysokými řeznými rychlostmi za pomoci velmi intenzivního všestranného chlazení. Její použití zvýší produktivitu práce díky finálnímu obrábění na jedno upnutí obrobku. [7]



Obr. 4.9 Hrotová bruska JUNKER – JUMAT 3000 [7].

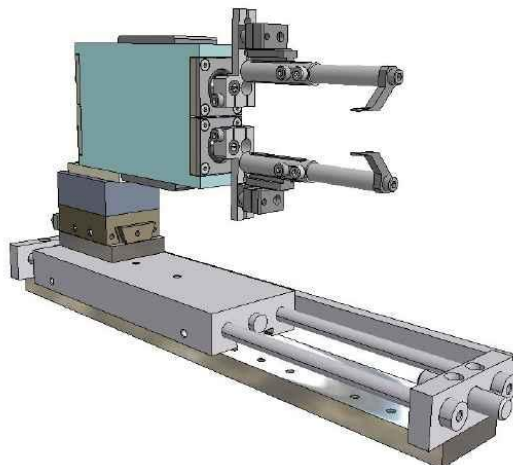
Technická data stroje JUNKER – JUMAT 3000 [7]:

• upínací délka	[mm]	500
• broušená délka	[mm]	500
• výška hrotů	[mm]	150
• hmotnost obrobku	[kg]	15
• průměr broušícího kotouče	[mm]	350
• hmotnost stroje	[kg]	8000
• šířka stroje	[mm]	3550
• délka stroje	[mm]	2850
• výška stroje	[mm]	2100



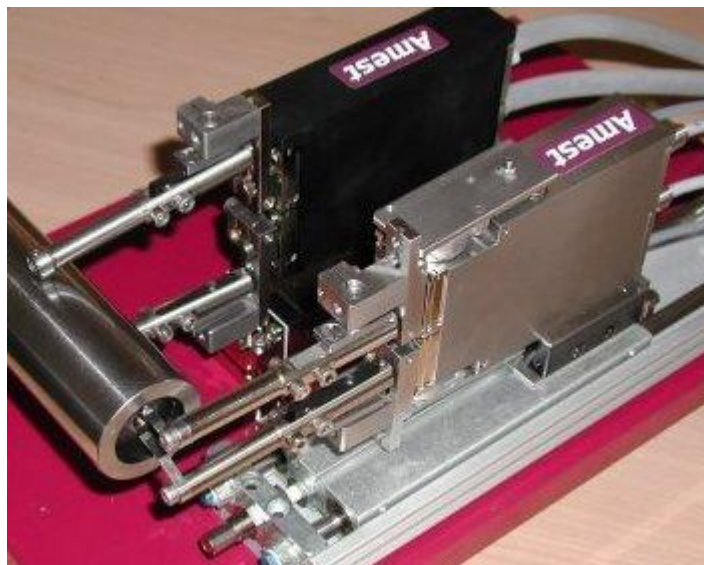
Obr. 4.10 Ukázka broušení válcové plochy s intenzivním chlazením a snímáním průměru broušené součásti sledovací měřidly Amest [3].

System broušení pístů na předem určenou hodnotu je nutné provádět pomocí snímačů. Tyto snímače jsou schopny změřit průměr a válcovitost válce a komunikací se sledovacími snímači ve stroji stanovit přesnou hodnotu průměru a válcovitosti pístu. Tento způsob odměřování omezí vedlejší časy stroje způsobené měřením a poté nastavováním zjištěné hodnoty ručně.



Obr. 4.11 Sledovací měřidlo Amest [3].

Sledovací měřidlo EC-3 obecně slouží ke kontrole vnějších a vnitřních rotačních součástí a řízení průběhu pracovního cyklu na obráběcích strojích s automatickým režimem. Ve spojení s vhodným elektronickým systémem tvoří spolehlivou měřicí soustavu způsobilou pracovat a přesně měřit i v náročných provozních podmínkách při obrábění součástí. [4]



Obr. 4.12 Sledovací měřidlo vnějšího a vnitřního průměru Amest [3].

5 NÁVRH VYBAVENÍ NÁŘADÍM

V dnešní době je mnoho firem nabízejících nástroje pro všechny metody obrábění. Tyto nástroje se neustále zdokonalují a jsou schopny obrábět stále vyššími řeznými rychlostmi. Nástroje, které budou navrhovány pro obrábění tohoto dílce, jsou převážně s výměnnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů pro operace před tepelným zpracováním, a brousící kotouče se zrna kubického nitridu bóru pro broušení tvarových ploch pístu.

5.1 Nářadí pro operace soustružení, frézování

Pro navrtání středících důlků je navržen středící vrták 60° z rychlořezné oceli dle ČSN 22 1114.

Tab.5.1 Řezné podmínky doporučené

Nástroj	v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]
Středící vrták 60°	27	0,035

Při zvolení řezných parametrů jsou vypočítány otáčky n a rychlost posuvu v_f .

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D_s} \quad (5.1)$$

$$v_f = f \cdot n \quad (5.2)$$

Tab.5.2 Řezné podmínky dopočítané

Nástroj	v_f [mm.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]
Středící vrták 60°	188	5371

Výpočet strojního času pro vrtání důlku.

$$t_{AS1} = \frac{L}{v_f} \quad (5.3)$$

Středící vrták dle ČSN 22 1114 $t_{AS1} = 0,035$ min

Pro soustružení povrchu pístu vyhovují dle parametrů výrobce soustružnické nože s výměnnými břitovými destičkami od firmy Sandvik Coromant. Pro obrábění povrchové kontury pístu budou použity soustružnické nože DCLNR 2525M12. Pro hrubování i pro dokončování budou použity povlakované břitové destičky ze slinutých karbidů s označením CNMM 12 04 08 – WR pro hrubování, a CNMG 12 04 04 – WF pro dokončování povrchu. Pro zapichování a upichování vyhovují soustružnické nože s povlakovanými břitovými destičkami s označením N123D2-0150-0001-GF pro výrobu zápichu a N123E1-0200-0002-CM pro upichování [17].

Tab.5.3 Řezné podmínky doporučené [17]

Nástroj	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	f [mm]
CNMM 12 04 08 - WR	315	0,8 – 5,0	0,6
CNMG 12 04 04 - WF	530	0,25 – 3,0	0,15
N123D2-0150-0001-GF	230	--	0,06
N123E1-0200-0002-CM	170	--	0,08

Po zvolení doporučených řezných podmínek jsou dopočítány otáčky obrobku a rychlost posuvu.

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D} \quad (5.4)$$

$$v_f = f \cdot n \quad (5.5)$$

Tab.5.4 Řezné podmínky dopočítané

Nástroj	v_f [mm.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]
CNMM 12 04 08 - WR	3881	6469
CNMG 12 04 04 - WF	2109	14059
N123D2-0150-0001-GF	283	4723
N123E1-0200-0002-CM	352	4399

Výpočet strojního času pro soustružení.

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \quad (5.6)$$

Výpočet strojního času pro čelní soustružení.

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot [(D_{max} + 2 \cdot l_n)^2 - (D_{min} + 2 \cdot l_p)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot v_c \cdot f} \quad (5.7)$$

CNMM 12 04 08 – WR $t_{AS2} = 0,03$

CNMG 12 04 04 – WF $t_{AS3} = 0,13$

N123D2-0150-0001-GF $t_{AS4} = 0,01$

N123E1-0200-0002-CM $t_{AS5} = 0,03$

Pro frézování plošek vyhovuje dle parametrů výrobce stopková čelní fréza průměr Ø 12 mm s označením R390-012A16-11L s výměnnými břitovými destičkami [17].

Tab.5.5 Řezné podmínky doporučené [17]

Nástroj	v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm.zub ⁻¹]
R390 - 012A16 - 11L	285	0,08

Po zvolení doporučených řezných podmínek jsou dopočítány otáčky nástroje, rychlost posuvu a posuv na zub.

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D_s} \quad (5.8)$$

$$f = \frac{v_f}{n} \quad (5.9)$$

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z \quad (5.10)$$

Tab.5.6 Řezné podmínky dypočítané

Nástroj	v_f [mm.min ⁻¹]	f [mm]	n [min ⁻¹]
R390 - 012A16 - 11L	2419	0,32	7560

Výpočet strojního času pro frézování plošek.

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot D_s \cdot L}{10^3 \cdot v_c \cdot f_z \cdot z} \quad (5.11)$$

R390 - 012A16 - 11L $t_{AS6} = 0,023$ min

Celkový strojní čas navýšíme o čas nájezdů nástrojů, upínání, upínání do protivřetene, odjehlení a ostatních vedlejších času stroje, které není možné stanovit bez znalostí přesných parametrů, které jsou závislé na podmínkách dodavatele obráběcího stroje.

$$t_{AC} = \left(\sum_{i=1}^6 t_{ASi} + t_v \right) \cdot k_C \quad (5.12)$$

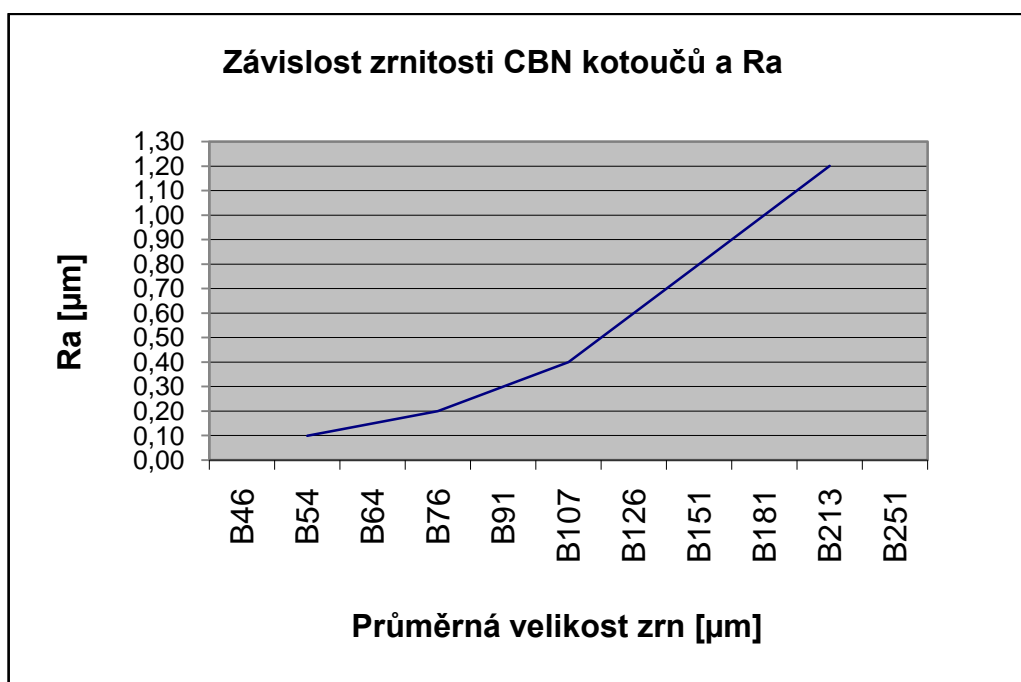
Celkový čas pro první operaci na obráběcím centru je: $t_{AC} = 0,619$ min.

5.2 Náradí pro operace broušení

Operace broušení se bude týkat dvou operací. První operace bude broušení funkčních částí pístů pomocí kotoučů ze super tvrdého materiálu, což je pro broušení oceli kubický nitrid bóru. Tyto kotouče mají přesný rozměr dle drážky, nebo tvaru, který je vybrušován do plného materiálu pomalým rovinným posuvem za velmi intenzivního tlakového chlazení.

Pro broušení budou navrženy dle parametrů výrobce brousící kotouče od firmy Dia-Praha, které jsou dodávány přesně na určitý rozměr, případně je lze objednat podle požadavků zákazníka [6].

Řezné podmínky jsou doporučeny výrobcem a následně budou dypočítány zbývající parametry brousícího procesu. Posuv na otáčku je doporučen jako 1/10 velikosti brousícího zrna [6].



Graf. 5.1 Závislost velikosti CBN brousících zrn na Ra povrchu dle [6].

Značení CBN kotoučů dle katalogu výrobce DIA-Praha [6]:

- 1A1 - tvar kotouče,
- D125 - průměr kotouče,
- T15 - šířka kotouče,
- X5 - výška vrstvy CBN zrn
- H20 - průměr upínací díry
- B126 - zrnitost CBN brusiva
- C75 - koncentrace CBN
- V - druh pojiva.

Tab.5.7 Řezné podmínky doporučené [6]

Nástroj	v_c [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	$\varnothing D_s$ [mm]	Velikost zrna D_z [mm]
1A1 D125-T15-X5-H20-B126-C75-V	30	125	0,126
1A1 D20-T3,1-X2,5-H6-B213-C100-M	30	20	0,213
1A1 D100-T4,9-X5-H20-B213-C100-M	30	100	0,213
1A1 D100-T5-X5-H20-B213-C100-M	30	100	0,213

Dále budou dopočítány zbylé parametry.

$$n = \frac{v_c \cdot 6 \cdot 10^4}{\pi \cdot D_s} \quad (5.13)$$

$$f = \frac{D_z}{10} \quad (5.14)$$

$$v_f = f \cdot n \quad (5.15)$$

Tab.5.8 Řezné podmínky dypočítané

Nástroj	v_f [mm.min ⁻¹]	f [mm]	n [min ⁻¹]
1A1 D125-T15-X5-H20-B126-C75-V	60	0,013	4584
1A1 D20-T3,1-X2,5-H6-B213-C100-M	602	0,021	28648
1A1 D100-T4,9-X5-H20-B213-C100-M	120	0,021	5730
1A1 D100-T5-X5-H20-B213-C100-M	120	0,021	5730

Výpočet strojního času pro broušení jednotlivými broušícími kotouči.

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \quad (5.16)$$

1A1 D125-T15-X5-H20-B126-C75-V $t_{AS1} = 0,683$ min

1A1 D20-T3,1-X2,5-H6-B213-C100-M $t_{AS2} = 0,04$ min

1A1 D100-T4,9-X5-H20-B213-C100-M $t_{AS3} = 0,27$ min

1A1 D100-T5-X5-H20-B213-C100-M $t_{AS4} = 0,21$ min

Při broušení drážek a tvarových ploch pístu jsou vedlejší časy ovlivněny rychlostí upínání, snímání polohy a najíždění různých nástrojů. Tyto úkony jsou připočítány k čistému strojnímu času řezání.

$$t_{AC} = \left(\sum_{i=1}^6 t_{ASi} + t_v \right) \cdot k_C \quad (5.17)$$

Celkový čas na operaci broušení drážek je: $t_{AC} = 2,05$ min.

Poslední z optimalizovaných částí je broušení hrotovou brusku na přesnou hodnotu pro slícování s válcem. Na toto broušení bude navržen dle parametrů výrobce broušící kotouč plochý Carborundum Electrite typ 350x60x76 A100L5 V30.

Tab.5.9 Řezné podmínky doporučené

Nástroj	v_c [m.s ⁻¹]	v_w [m.min ⁻¹]	$\emptyset D_s$ [mm]	a_e [mm]	$\emptyset d_w$ [mm]
350x60x76 A100L5V 30	30	10	350	0,0002	11

Vypočítáme otáčky nástroje a obrotu a axiální pohyb kotouče.

$$n = \frac{v_c \cdot 6 \cdot 10^4}{\pi \cdot D_s} \quad (5.18)$$

$$n_w = \frac{v_w \cdot 10^3}{\pi \cdot d_w} \quad (5.19)$$

$$f_a = 0,2 \cdot b_s \quad (5.20)$$

Tab.5.10 Řezné podmínky dopočítané

Nástroj	n [min ⁻¹]	n_w [min ⁻¹]	f_a [mm]
350x60x76 A100L5V 30	1637	290	12

Výpočet strojního času.

$$t_{AS} = \frac{p_m}{n_w \cdot a_e} \cdot k \quad (5.21)$$

Čas na broušení průměru pístu pro lícování $t_{AS} = 0,44$ min. Tento čas je výrazně ovlivněn automatizací procesu, která využije část času nutnou pro změření a seřízení stroje pro dodržení správného průměru a geometrie následujícího dílce. Při broušení původní technologií byla nabroušená hodnota náhodného charakteru, a zařazením snímacích zařízení lze eliminovat včasnou reakci pracovníka a brousit přímo na hodnotu válce. Tento strojní čas upravíme pomocí koeficientu na konečnou hodnotu.

$$t_{AC} = t_{AS} \cdot k_c \quad (5.22)$$

Výsledný čas t_{AC} pro tuto operaci je 0,53 min.

6 NÁVRH ŘEŠENÍ JAKOSTI

Jakost výroby patří mezi nejdůležitější součásti výrobního procesu v každém výrobním podniku. Jeho základ je založen na kvalitní měřicí technice, jak výrobní a kontrolní na pracovištích a dílnách, tak i na laboratorní se speciálními přístroji na kalibrace a zvláštní měřicí úlohy. Neméně důležité jsou i schopnosti pracovníků používat měřidla a kontrolní prostředky v rámci jejich výrobní operace. V tomto podniku je jakost založena na samokontrolě pracovníků, což klade vyšší nároky na jejich schopnosti. Při tomto systému kontroly musí být dané operace buďto technologicky zajištěné, nebo musí být obsluha strojů důkladně proškolená.

Množství vyřazených dílců a mezioperační opravy jsou vyjadřovány jako náklady v Kč za rok. Mezi vstupní data pro návrh řešení jakosti jsou:

- množství vyřazených dílců, cca 1 800 000,- Kč.rok⁻¹,
- náklady na opravy cca 82 000,- Kč.rok⁻¹.

Mezi další hlediska, která jsou důležitá pro stanovení systému jakosti, patří množství odchylek, kterými je povoleno na základě jednání s konstruktérem nebo zákazníkem, prodat dílce výkresově neshodné.

6.1 Měření ve výrobě

Největší nároky na měření jsou na výrobních střediscích. Zde je potřeba vysoká flexibilita a rychlost měření, které je nyní prováděno kalibry, nákladnými měřicími přípravky a univerzálními mikroskopy.



Obr. 6.1 Digitalizovaný mikroskop ZKM 01-250C.

Tyto měřicí mikroskopy jsou pro svoji přesnost a univerzálnost stále více používány, i místo některých měřicích přípravků. To je hlavně z důvodu malých výrobních dávek většiny vyráběných druhů, pro které je nevýhodné vyrábět drahé přípravky. Mikroskopy zajišťují i kvalitu měření z hlediska stále se zvyšující přesnosti požadované zákazníky.

Nevýhodou je příliš mnoho času potřebného k měření, zvláště mnoha přesných rozměrů na složitých operacích. Mezi tyto operace patří například obrábění na obráběcích centrech a produkční broušení funkčních částí pístu. Tento čas měření ovlivňuje i schopnost a zkušenost pracovníků na těchto operacích. Změření prvního kusu zabere u první operace na obráběcím centru cca 30 minut, což má za následek zvýšení vedlejších časů při klidu stroje v době měření, nebo v případě automatického provozu stroje výrobu neshodných dílců.

V současné době se do popředí dostávají souřadnicové měřicí stroje, které se vyznačují univerzálností a velkou flexibilitou. Zatímco se první typy používaly převážně na měrových střediscích, v průběhu doby se tyto měřicí stroje začleňují do výrobního procesu, nebo se stávají součástí výrobních linek. Toto začlenění v závislosti na kolísání teploty a chvění v dílenském provozu je velmi náročné [13].

Měřicí zařízení iView je zařazeno přímo do systému stroje. Opticky je snímán obrobek bez nutnosti vyjmutí z upínače stroje. Měřicí zařízení je přímo spojeno s broušicím programem, který automaticky upravuje pracovní cyklus stroje [5].



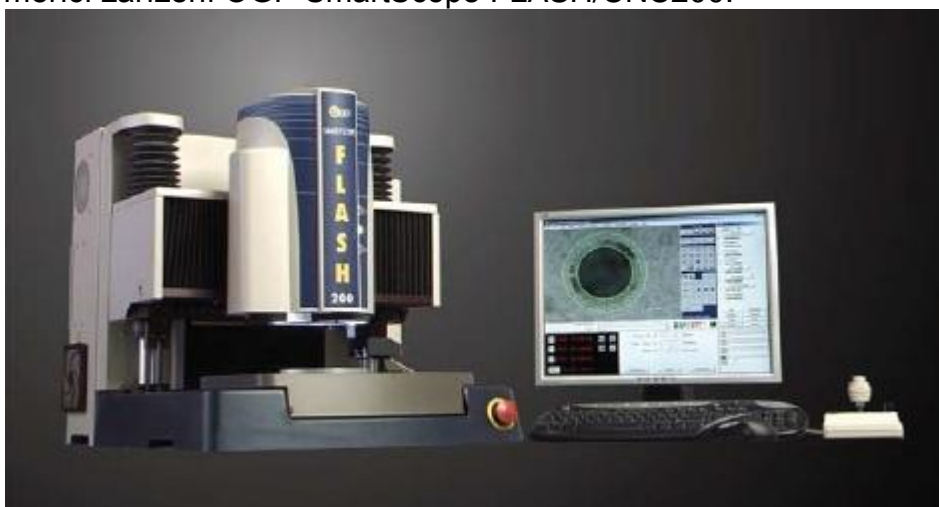
Obr. 6.2 Integrované měřicí zařízení iView ve stroji ANCA [5].

Pro eliminaci chyb je nutné zařadit moderní souřadnicové stroje do výrobního procesu. Vytvoření malých dílenských měřicích středisek se souřadnicovým strojem, dále strojem na měření geometrie a struktury povrchů s vloženou stálou obsluhou eliminuje chyby pracovníků a z efektivní kontroly na všech operacích. Na těchto střediscích je nutné zajistit stálou teplotu a správné podmínky pro zajištění co nejpřesnějších měřicích výsledků.

6.2 Souřadnicová měřící zařízení

Požadavky na velkou rychlost kontrolních operací vedou k používání multisenzorových měřících strojů založených na bezdotykových měřeních. Vedle kategorie technicky složitých a ekonomicky náročných zařízení se v poslední době prosazuje kategorie souřadnicových měřících přístrojů, často menších měřících rozsahů, výlučně pro práci v dělnickém prostředí [13].

Univerzální měřící stroje dodává řada výrobců v různých typech a měřících rozsazích. Mezi významné výrobce patří firmy Zeiss, Werth nebo OGP. Na základě parametrů výroby je vhodné vysoce přesné trísouřadnicové video měřící zařízení OGP SmartScope FLASH/CNC200.



Obr. 6.3 Vysoce přesné 3D měřící zařízení OGP SmartScope FLASH [15].

Toto zařízení je vybaveno [15]:

- barevnou kamerou s vysokým rozlišením (768x494 pixelů),
- iluminace bílým LED světlem pro zpětné osvětlení,
- auto kalibrační programovatelnou zoom optikou,
- přesná mechanická ložiska pro posuv XYZ,
- skleněná měřítka s rozlišením 0,5 μm ,
- DC servomotory ve 4 osách XYZ a zoom.

Softwarové vybavení [15]:

- samo-optimalizující analýza hran poskytuje zpracování v celém zorném poli,
- algoritmy jsou automaticky optimalizovány podle unikátní charakteristiky každé hrany,
- automatické zaostření pro měření v ose Z,
- počítačem generované kalibrační terče pro přesné zarovnání prvků a hran do optické osy,

- schopnost ukládání, překrývání a porovnávání obrazů,
- referenční obraz lze uložit a překrýt přes testované obrazy pro snadné a rychlé porovnávání,
- snadná editace jednotlivých kroků programu.

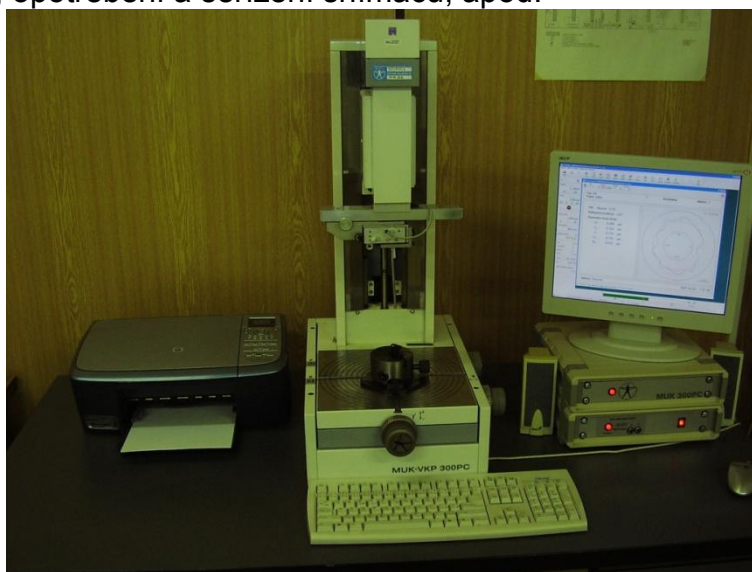
Technická data [15]:

• pojezd v ose x	[mm]	200
• pojezd v ose y	[mm]	200
• pojezd v ose z	[mm]	150
• měřicí objem	[dm ³]	6
• max. hmotnost součásti	[kg]	16
• max. chyba v ose x, y	[μm]	1,8+L/167
• max. chyba v ose z	[μm]	3,0+L/167
• rozlišení systému	[μm]	0,5

6.3 Měření vřle, geometrie a jakosti povrchu

Měření vřle a geometrie ve výrobě je velmi důležitá součást výrobního procesu, ale v závislosti na velmi malých hodnotách a tolerancích i velmi technicky náročná. Pro měření těchto parametrů se používají pneumatická měřidla Etamic s číselníkovým úchytkoměrem. Tyto měřidla jsou ekonomicky výhodná, avšak z hlediska způsobilosti jsou nevyhovující. Místo těchto měřidel by bylo výhodné zajistit měření přímo v podmínkách brousícího stroje.

Těmito měřidly se měří u strojů i geometrie pístů a válců při vzájemném slícování. Tato geometrie je pouze orientační a velmi nepřesná. Vstupuje do ní příliš mnoho faktorů, které ji ovlivňují, jako geometrický tvar, struktura povrchu, čistota dílců, opotřebení a seřízení snímačů, apod.



Obr. 6.4 Kruhoměr Aquastyl MUK 300PC.

Pro měření geometrických parametrů bude začleněn stroj na měření geometrie do systému dílenského měřicího střediska. Pro měření na pracovišti byly navrženy měřicí a snímací hlavice od firmy Amest, které v případě vysokých parametrů způsobilosti nebudou podléhat následné kontrolní operaci. V opačném případě by došlo k digitalizaci snímací jednotky pneumatického měřidla Etamic, která by nahradila číselníkové úchylkoměry s rozlišitelností pouze 0,5 μm . Pro měření průměru a částečně i geometrie s určitou chybou měření lze použít i mikrokátor.



Obr. 6.5 Měřidlo střední aritmetické úchytky profilu Hommel Tester T1000.

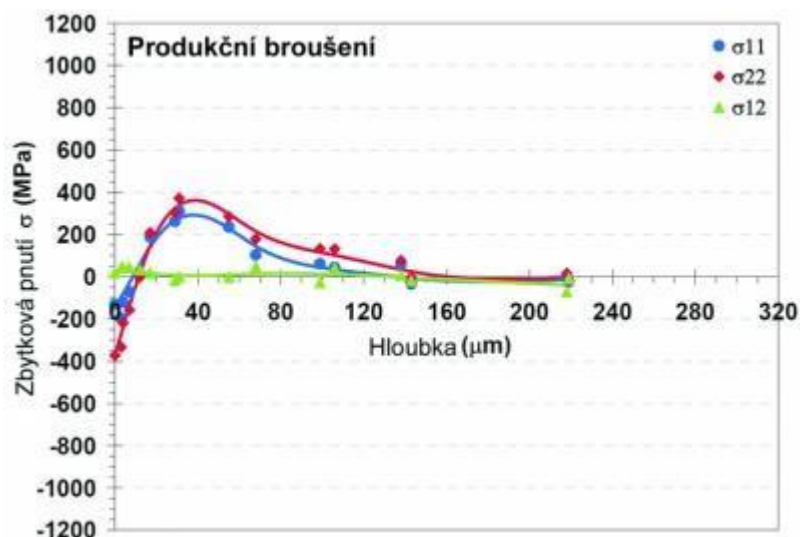
Pro měření střední aritmetické úchytky profilu bude využit přístroj Hommel Tester T1000. Pro měření těchto parametrů na malých, nebo tvarově složitých plochách lze navrhnout dle parametrů přístroj pro měření kontury a na ní tvarových ploch a struktury povrchu.

Všechna tyto měřidla by byla soustředěna do klimatizovaného prostoru a využívána pouze jedním, nebo při dvousměnném provozu dvěma pracovníky určenými pro operativní měření na těchto strojích čímž by byla zaručena rychlost a spolehlivost měřicího procesu.

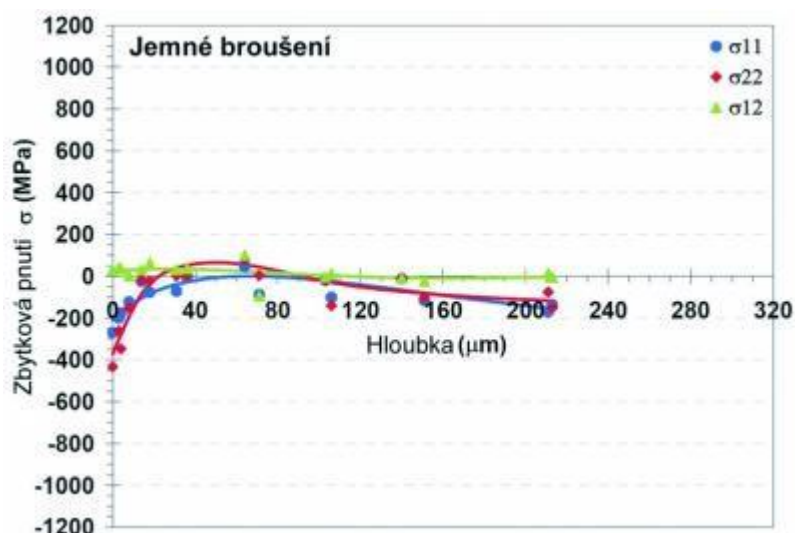
Volba těchto zařízení je pouze teoretická a je nezbytně nutné tyto přístroje pro měření vůle a geometrie na základě zkoušek prakticky ověřit a následně případně upravit.

6.4 Integrita povrchu

Integrita povrchu je souhrn faktorů popisujících vlastnosti obrobené plochy. Mezi tyto parametry patří například drsnost, mikrotvrdoost nebo průběh napětí v povrchové vrstvě. Toto vnitřní napětí se při zatížení součásti v provozu sčítá s provozním napětím, což může mít za následek překročení limitních hodnot a vznik mikrotrhlin v povrchové vrstvě součásti. Velmi výhodná technologie je broušení, kterým dosahujeme nejen velmi stabilní přesné výroby dílů s malými tolerancemi, ale i dobré integrity obrobeného povrchu [12].



Graf 6.1 Průběh vnitřního pnutí v povrchové vrstvě po opracování různými technologiemi [12].



Graf 6.2 Průběh vnitřního pnutí v povrchové vrstvě po opracování různými technologiemi [12].

7 TECHNICKO EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Tento technologický postup je navrhován pro výrobu jednoho z typů elementů vstřikovacích čerpadel. Roční objem výroby, podle roku 2010, činí u všech druhů elementů cca 1 milión kusů za rok. Ceny strojů a veškeré parametry jsou stanoveny orientačně dle strojů podobných parametrů. U obráběcího centra a nástrojové brusky byla cena stanovena dle odhadu na 8 000 000,- Kč. U brusky pro lícování je cena 10 000 000,- Kč, což zahrnuje i automatizační techniku určenou pro podporu výrobního procesu brusky pro lícování.

Navržené stroje jsou určeny pouze teoreticky, a veškeré hodnoty stanovených časů jak výrobních, tak hlavně vedlejších je nutné ověřit ve skutečném výrobním procesu, nebo po obdržení přesných parametrů od dodavatele daného stroje. Tyto stroje se kupují dle parametrů, kterých musí výrobce dosáhnout a jsou garantovány a předepisovány smlouvou při nákupu nového stroje a schváleny po přejímce na místě výroby. Ačkoliv je tato technologie navrhována pro jeden typ pístů a elementů, tak může být využita pro všechny ostatní dílce. Tímto bude využito vysoké flexibility strojů a dosaženo ještě výraznějších úspor z hlediska nákladů.

7.1 Hodnocení strojů

V dnešní době se neustále vyvíjí stále nové moderní obráběcí stroje, u kterých se neustále zlepšují možnosti jejich využití z hlediska univerzálnosti a schopností jejich řídicího systému. Dále se zvyšuje přesnost výroby, která je vztažena k práci stroje na jedno upnutí obrobku, nebo po upnutí do protivřetene obrobí druhou část výrobku s minimální odchylkou.

Tyto CNC obráběcí stroje jsou schopny nahradit několik operací na jednoúčelových strojích pouze jednou, což zvyšuje přesnost výroby, snižuje počet operací a snižuje strojní časy až několikanásobně. Návržnost těchto strojů je rychlá a vychází do tří let u obráběcího centra a hrotové brusky. U nástrojové brusky je delší, což vychází i z náročnosti operace. Ukazatel nákladové návratnosti vychází ze vztahu:

$$U_n = \frac{I - C_s}{U_{rn}} \quad (7.1)$$

kde: I - investiční náklady,
C_s - prodejní cena starých strojů,
U_m - relativní úspora nákladů.

V tomto případě je cena starých strojů zanedbatelná v závislosti na jejich hodnotě a velmi orientačním odhadu strojů nových, proto s cenou starých strojů nebudeme dále počítat. Relativní úspora nákladů bude vyjádřena jako rozdíl nákladů nové a staré technologie vztažené k množství kusů vyrobených na daném stroji za rok.

Z toho důvodu použijeme vztah pro návratnost nákladů používaný na základě vnitropodnikových směrnic ve tvaru:

$$N_a = \left(\frac{C}{N \cdot (C_{SO} - C_{NO})} \right) \quad (7.2)$$

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. 7.1 Návratnost nákladů na stroje

stroj	C _{SO} [kč.ks ⁻¹]	C _{NO} [kč.ks ⁻¹]	Úspora (C _{SO} - C _{NO})	NA [rok]
Obráběcí centrum JOHNFOR D HT30- 2SD	16,86	6,19	10,67	2,14
Nástrojová bruska ANCA TX7	17,98	10,25	7,73	6,27
Hrotová bruska JUNKER – JUMAT 3000	10,795	5,30	5,495	2,86

Tyto navržené stroje rovněž sníží počet operací viz. Tab. 7.2, a Tab. 7.3, kde jsou barevně označeny operace, které nové stroje nahrazují.

Zařazení moderní měřicí techniky do systému výrobního procesu zvýší celkovou kvalitu výroby vyráběných dílců. Úspory dosažené tímto systémem jsou omezení počtu neshodných dílců, nákladů na reklamace a opravy. V této práci bude předpoklad snížení ztrát o cca 50%, což je 1 000 000,-kč. Celková cena tříosouřadnicového optického stroje je dle návrhu 1 200 000,- Kč. Při započítání mzdy pracovníků jako obsluhy stroje s průměrnou mzdou 20 000,- Kč, jsou při dvousměnném provozu investiční náklady 1 680 000,-kč na jeden měřicí stroj. Při vložení dvou strojů do výrobního procesu tuto investici zdvojnásobíme. Pro výpočet použijeme vztah ukazatele nákladové návratnosti.

$$U_n = \frac{I - C_s}{U_{rn}} \quad (7.3)$$

Po dosažení známých hodnot dostaneme návratnost těchto měřicích zařízení v hodnotě 3,36 roku. Hodnota úspor v rámci těchto zařízení je pouze orientační. Skutečná hodnota může být i vyšší, což celkovou hodnotu ukazatele návratnosti může podstatně zkrátit.

7.2 Porovnání s původním stavem

V tabulce 7.2 je znázorněna původní a nově navržená technologie výroby pístu. Barevně označené položky znázorňují počet a druhy operací nahrazených jedinou operací zařazením moderních strojů do výroby těchto dílců. Neoznačené operace je nutné ponechat z důvodu jejich důležitosti a není možné je nahradit, nebo sloučit využitím běžných technologií bez možnosti praktických zkoušek. Operace značení by bylo možné vložit do systému stroje, ale na základě speciálních požadavků zákazníka to není možné.

Tab.7.2 Porovnání původní a nové technologie výroby pístu

Stávající stav			Nový návrh technologie		
Č. op.	Název operace	t_{Ac} [min]	Č. op.	Název operace	t_{Ac} [min]
1.	Soustružit tvar	2,314	1.	Navrtat, soustružit tvar, frézovat	0,619
20.	Brousit plošku $\varnothing 3,3 \pm 0,2$	0,248			
30.	Protahovat, frézovat 2x	0,570			
40.	Označit, odjehlit	0,478	5.	Označit	0,239
50.	Tepelné zpracování	0,104	10.	Tepelné zpracování	0,104
55.	Regulovat navrtání	0,118	15.	Regulovat navrtání	0,118
70.	Brousit $\varnothing 11$	0,409	20.	Brousit $\varnothing 11$	0,409
75.	Brousit čelo $\varnothing 11/81 \pm 0,05$	0,101	25.	Odjehlit omíláním	0,131
85.	Brousit plošky 10 h8	0,355	30.	Brousit plošky, čelo, drážky	2,05
92.	Odjehlit omíláním	0,131			
95.	Brousit regulační hrany	1,412			
96.	Brousit příčnou drážku	0,925			
98.	Brousit startovací plošku	0,620			
105.	Odjehlit, vyčistit	0,183			
110.	Brousit pro lícování	0,493	35.	Odjehlit, kontrolovat	0,232
115.	Odjehlit, kontrolovat	0,232			
Σt_{Ac}		8,693	Σt_{Ac}		3,902

V tabulce 7.3 je opět porovnána původní a nová technologie výroby elementu. Do této nové operace je sloučena poslední původní operace broušení pístu, která je nutná pouze u dílců s velmi přesně broušenými regulačními hranami a větším přírůstkem na broušení průměru by mohlo dojít k jejich rozměrové degradaci.

Tab.7.3 Porovnání původní a nové technologie výroby elementu

Stávající stav			Nový návrh technologie		
Č. op.	Název operace	t_{Ac} [min]	Č. op.	Název operace	t_{Ac} [min]
5.	Brousit, lícovat	1,573	1.	Brousit, lícovat	0,53
10.	Kontrolovat - měřit vůle	0,093			
25.	Vyprat, konzervovat	0,066	5.	Vyprat, konzervovat	0,066
860.	Balit do Plastelox	0,424	10.	Balit do Plastelox	0,424
890.	Balit pro expedici	0,145	15.	Balit pro expedici	0,145
Σt_{Ac}		2,301	Σt_{Ac}		1,165

ZÁVĚR

Technologie výroby ve strojírenství se neustále zdokonaluje, ať už z hlediska výrobních technologií, tak i díky stále kvalitnějším a výkonnějším výrobním strojům. Velmi důležitá je i flexibilita výrobních a podpůrných zařízení. Velikost výrobních dávek postupně klesá a roste počet sortimentních druhů, což má za následek časté seřizování a ve výrobě jednoúčelových a konvenčních strojů je zapotřebí mnoho pomocných výrobních a kontrolních přípravků. Tyto přípravky jsou z hlediska nákladů velmi zatěžující pro dané operace. Nové CNC stroje jsou investičně velmi nákladné, ale díky své vysoké flexibilitě a schopnosti nahradit více strojů i s různými technologiemi výroby, mají rychlou návratnost všech nákladů. Tuto návratnost lze urychlit maximálním využitím těchto strojů za rok, ve třech směnách, nebo v nepřetržitém provozu.

V této práci byl proveden návrh nové technologie s využitím nejnovějších technologií jak ve výrobní, tak i v kontrolní části výrobního procesu. Byla provedena náhrada všech strojů před tepelným zpracováním za obráběcí centrum. Těmito stroji a nástroji, které jsou schopny pracovat mnohem vyššími řeznými rychlostmi, bylo dosaženo mnohem nižších výrobních časů a tím i rychlé návratnosti těchto strojů.

Stroj pro broušení funkčních částí pístu má z nově navržených strojů návratnost nejdelší, ale z hlediska kvality výroby má velký vliv na celkový přínos do procesu výroby. Tento způsob produkčního broušení je schopen vytvořit i složité tvary na jedno upnutí součásti, čímž eliminuje nepřesnosti z důvodu opakovaného upínání a polohování dílce. Součástí tohoto stroje může být i integrovaný měřicí optický systém, který umožňuje kontrolu obrobku přímo ve stroji se zpětnou vazbou na řídicí systém a možnost korekcí stroje.

Poslední z nově navržených strojů je hrotová bruska pro broušení dílců na rozměr válců, kde největší roli hraje stupeň automatizace tohoto pracoviště. Dnes je toto přímo závislé na schopnostech pracovníka, který ovlivňuje celý proces jak z hlediska kvality, tak i množství vyrobených kusů. Automatizace tohoto pracoviště bude mít za následek snímání válců a dle jejich rozměrů výrobu pístů přesně na předepsanou vůli.

V poslední části je navržena mezioperační kontrola na dílenských kontrolních pracovištích se stroji se souřadnicovým měřicím systémem a se stroji pro snímání tvaru a polohy s pracovníkem zajišťujícím jejich obsluhu. Tím se eliminují chyby pracovníků při měření součástí v systému samokontroly a sníží se náklady na výrobu kontrolních měřicích přípravků. Tyto měřicí stroje také urychlí měření a tím zvýší efektivitu výroby v návaznosti na plynulost a dodržování četnosti měřicích cyklů.

Tato nově navržená technologie zkrátí výrobní čas o 50%, sníží počet výrobních dělníků a zlepší celkovou kvalitu výroby.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ALBA PRECISION. *Robotický zakladač*. [online]. [cit.2011-05-05]. Dostupné na World Wide Web: <[http:// www. albaprecision.cz/anca-roboticky_zakladac.php](http://www.albaprecision.cz/anca-roboticky_zakladac.php)>.
2. ALBA PRECISION. *TX7*. [online]. [cit.2011-05-15]. Dostupné na World Wide Web: <[http:// www. albaprecision.cz/anca-tx7.php](http://www.albaprecision.cz/anca-tx7.php)>.
3. AMEST. *Sledovací měřidla*. [online]. [cit.2011-05-7]. Dostupné na World Wide Web: <[http:// www.amest.cz/produkty/sledovaci-meridla.htm](http://www.amest.cz/produkty/sledovaci-meridla.htm)>.
4. AMEST. *Sledovací měřidlo EC-3*. [online]. [cit.2011-05-07]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.amest.cz/editor/image/stranky3_soubory/ec-3-cz.pdf>. [http:// www.osborn.de/czech/contact/contcat.htm](http://www.osborn.de/czech/contact/contcat.htm)
5. ANCA. *TX7+*. [online]. [cit.2011-05-05]. Dostupné na World Wide Web: <[http:// www.anca.com/Files/Brochures/TX72008Brochure.pdf](http://www.anca.com/Files/Brochures/TX72008Brochure.pdf)>.
6. DIA-PRAHA. *Diamantové a CBN brusné kotouče*. [online]. [cit.2011-05-12]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.diapraha.cz/brousicinastroje?phpMyAdmin=5g8ygl1axBgg1ZnkWv%2Ch9WmZv25>>.
7. JUNKER. *JUMAT*. [online]. [cit.2011-05-05]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.junker-group.com/grinding/loesungen/schleifmaschinen/jumat.php>>.
8. MAREK, Jiří. a kolektiv. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. 2.vydání. Praha: MM publishing, s.r.o, 2010. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
9. MACHINE GROUP s.r.o. *High Quality Turning Centers*. [online]. [cit.2011-04-25]. Dostupné na World Wide Web: <[http:// www.machinegroup.cz/katalog/HT-serie.pdf](http://www.machinegroup.cz/katalog/HT-serie.pdf)>.
10. MM-PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Optimalizace procesu broušení zvláště vysokými obvodovými rychlostmi*. [online]. [cit.2011-04-27]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/optimalizace-procesu-brouseni-zvlaste-vysokymi-obvodovymi-rychlostmi>>.
11. MM-PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Brousící kotouče ze supertvrдых řezných materiálů*. [online]. [cit.2011-05-15]. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.mmspektrum.com/clanek/ brousici-kotouce-ze-supertvrдых-reznych-materialu](http://www.mmspektrum.com/clanek/brousici-kotouce-ze-supertvrдых-reznych-materialu)>.
12. MM-PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Integrita povrchu-klíčový faktor současnosti*. [online]. [cit.2011-05-15]. Dostupné na World Wide Web: <[http://www. mmspektrum.com/clanek/emo-hannover-potreتي-brousici-stroje](http://www.mmspektrum.com/clanek/emo-hannover-potreتي-brousici-stroje)>.
13. MM-PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Souřadnicová měření ve strojírenské výrobě*. [online]. [cit.2011-05-15]. Dostupné na World Wide Web: <[http://www. mmspektrum.com/clanek/souradnicova-mereni-ve-strojirenske-vyrobe](http://www.mmspektrum.com/clanek/souradnicova-mereni-ve-strojirenske-vyrobe)>.
14. MOTORPAL. *Vstříkovací čerpadla – řadová*. [online]. [cit.2011-04-21]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.motorpal.cz/cz/produkty/vstrikovaci-cerpadla-radova>>.
15. OGP. *Multisensor Messtechnik*. [online]. [cit.2011-05-15]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.ogpmesstechnik.de/framesetmain.html>>.

- 16.OSBORN TOP. *TOP High Performance Power Brushes* [online]. [cit.2011-05-15]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.osborn.de/Download/kataloge/top_engl.pdf>.
- 17.SANDVIK COROMANT. *Online product and cutting data*. [online]. [cit.2011-05-10]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.coromant.sandvik.com/cz>>.
- 18.ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. dotisk 1.vydání. Praha: BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
- 19.TAJMAC-ZPS. *Horizontální obráběcí centrum*. [online]. [cit.2011-04-25]. Dostupné na World Wide Web: < [http:// www.tajmac-zps.cz/pdf/H40A_CZ.pdf](http://www.tajmac-zps.cz/pdf/H40A_CZ.pdf)>.
- 20.T-SUPPORT. *Výběr vhodného CNC obráběcího stroje*. [online]. [cit.2011-04-25]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.t-support.cz/?rubrika=116>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
C	[Kč]	Cena stroje
C _S	[Kč]	Prodejní cena starých strojů
C _{SO}	[Kč.ks ⁻¹]	Cena operace stávající technologií
C _{NO}	[Kč.ks ⁻¹]	Cena operace novou technologií
D	[mm]	Vnější průměr obrobku
D _S	[mm]	Průměr nástroje
D _Z	[mm]	Velikost CBN zrna
I	[Kč]	Investiční náklady
L	[mm]	Délka obráběného povrchu
L _c	[mm]	Délka přeběhu a náběhu při měření
L _t	[mm]	Celková délka měření Ra
N	[ks.rok ⁻¹]	Počet vyráběných kusů ročně
N _a	[rok]	Návratnost
P _e	[kW]	Efektivní výkon motoru
Q	[mm ⁻³]	Dodávané množství paliva
R _a	[μm]	Střední aritmetická úchylka profilu
R _t	[μm]	Hloubka rýhy v profilu
U _n	[roků]	Ukazatel nákladové návratnosti
U _m	[kč.rok ⁻¹]	Relativní úspora nákladů
V _t	[mm.s ⁻¹]	Rychlost měřicího dotyku
ΔS	[μm]	Úchylka přímosti
ΔZ	[μm]	Úchylka kruhovitosti
a _p	[mm]	Šířka záběru ostří
a _e	[mm]	Radiální posuv kotouče na otáčku obrobku
b	[g.kW ⁻¹ .h ⁻¹]	Spotřeba paliva
b _s	[mm]	Šířka broušícího kotouče
d _w	[mm]	Broušený průměr obrobku
f	[mm]	Posuv na otáčku
f _a	[mm.ot ⁻¹]	Axiální posuv brusky na otáčku obrobku
f _z	[mm]	Posuv na zub
i	[ks]	Počet válců motoru
k	[-]	Koeficient času nepravidelné obsluhy
k _c	[-]	Přirážka času směnového
l _n	[mm]	Délka náběhu
l _p	[mm]	Délka přeběhu
n	[min ⁻¹]	Otáčky
n _p	[min ⁻¹]	Počet otáček vstřikovacího čerpadla
n _w	[min ⁻¹]	Otáčky obrobku
p _m	[mm]	Přídavek materiálu
t _{AC}	[min]	Čas jednotkový s podílem času směnového

t_{AS}	[min]	Čas strojní
t_v	[min]	Čas automatické výměny nástrojů
v_c	$[m.min^{-1}]$	Řezná rychlost
v_c	$[m.s^{-1}]$	Řezná rychlost při broušení
v_f	$[mm.min^{-1}]$	Rychlost posuvu
v_w	$[m.min^{-1}]$	Obvodová rychlost obrobku
z	[-]	Počet zubů
γ	$[g.cm^{-3}]$	Měrná hustota paliva

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list konstrukční oceli 14 109 dle ČSN 41 4109
Příloha 2 Materiálový list konstrukční oceli 14 220 dle ČSN 41 4220
Příloha 3 Přehled vlastností oceli 31CrMoV9

Příloha 1

Název

Typ materiálu Norma

Značka

Použití

Zařazení do skupiny

Stránka v knize

Chemické složení	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	-

Příloha 2

ČSN 41 4220		Mn-Cr ocel k cementování			OCEL	
STN 41 4220					14 220	
Chemické složení [hm. %]						
C	Mn	Si	Cr	P	S	
0,14–0,19	1,10–1,40	0,17–0,37	0,80–1,10	max 0,035	max 0,035	
Polotovary						
[1] předvalky				[5] přesné bezešvé trubky tvářené za studena		
[2] tyče válcované za tepla				[6] tyče tažené za studena		
[3] výkovky				[7] pásy a pruhy válcované za studena		
[4] bezešvé trubky tvářené za tepla						
Mechanické vlastnosti						
Polotovar	[2] [3]	[2]	[3] [4] [5] [6]	[7]		
Rozměr t, d [mm]	–	–	–	–		
Stav	.1	.3	.3	.3	.2	
Mez kluzu R_e nebo R_p 0,2 [MPa] min	–	588	–	–		
Mez pevnosti R_m [MPa]				max 637	–	
Tvrдость HB	min 152	max 197	max 197	–	max 207	
Modul pružnosti E [GPa]	206					
Modul pružnosti ve smyku G [GPa]	79					
Polotovar	[2]	[3]	[2]	[1] [2] ²⁾		
Rozměr t, d [mm]	30 ¹⁾	30 ¹⁾	–	30 ¹⁾	63 ¹⁾	
Stav	.4	.4	.6	.4		
Mez kluzu R_e nebo R_p 0,2 [MPa] min	–	588	–	680	inf. 560	
Mez pevnosti R_m [MPa] min	785	785		900	inf. 800	
Tažnost A_5 [%] min	10	10	–	10	inf. 10	
Koncentrace Z [%] min	30	30	–	30	inf. 30	
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²] min	49	49		50	inf. 50	
Tvrдость HB	min 239	min 239	208-269	–	–	
Fyzikální vlastnosti						
Hustota	Měrná tepelná kapacita	Teplotní součinitel roztažnosti		Tepelná vodivost	Rezistivita	
ρ [kg . m ⁻³]	c_p [J . kg ⁻¹ . K ⁻¹]	α [K ⁻¹]		λ_t [W . m ⁻¹ . K ⁻¹]	ρ [Ω . m]	
7 850	–	11,0.10 ⁻⁶		–	–	

Technologické údaje

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

normalizační žhání	880-920 °C	ochlazovat na vzduchu
žhání na měkko	680-720 °C	ochlazovat v peci
cementování v plynu	900-930 °C	ochlazovat na vzduchu nebo v ochlazovací jednotce
v prášku	860-900 °C	ochlazovat v cementační krabici nebo na vzduchu
v solné lázni	890-910 °C	ochlazovat na vzduchu
kalení	810-840 °C	ochlazovat v oleji nebo v lázni 150-200 °C
popouštění	150-200 °C	ochlazovat na vzduchu
zušlechťování - kalení	850-880 °C	ochlazovat v oleji, tlustší součást ve vodě
- popouštění	podle pož. pevnosti	ochlazovat na vzduchu
kalení ref. vzorku - 1. kalení	840-870 °C	ochlazovat v oleji
- 2. kalení	810-830 °C	ochlazovat v oleji
teploty přeměn	$A_{C1} \sim 740 \text{ °C}$	$A_{C3} \sim 840 \text{ °C}$ $M_s \sim 400 \text{ °C}$
tvrdost cementeční vrstvy	$\sim 63 \text{ HRC}$	
prokalitelnost	do 65 mm (voda)	do 40 mm (olej)

TVAŘITELNOST

třída tvařitelnosti za tepla 1 teploty tváření 1 200-800°C ochlazovat na vzduchu

SVARĪTELNOST

dobrá

OBROBITELNOST

		soustružení, hoblování	frézování, vrtání
polotovár [2] [3] stav .3	$R_m \leq 640 \text{ MPa}$	14b	14b
stav .6	$R_m \leq 880 \text{ MPa}$	12b	12b
stav .4	$R_m \leq 1240 \text{ MPa}$	10b	10b

pro hladké obrábění se doporučuje zušlechtění na $R_m = 690-880 \text{ MPa}$

Použití

Vhodná pro strojní součásti pro zušlechtění do průměru 35 mm, k cementování s velkou pevností v jádře, např. hřídele, ozubená kola, vačkové hřídele, zdviháky ventilů, pístní čepy, zubové spojky.

Ostatní vlastnosti

Druh oceli podle způsobu výroby	Barevné značení podle ČSN 42 0010	Třída odpadu podle ČSN 42 0030
martinská nebo elektroocel	modrá-zelená-černá	033

Příloha 3

Přehled vlastností oceli 31CrMoV9										1.8519					
Druh oceli	Střednělegovaná ušlechtilá chrom – molybden - vanadová ocel k nitrátování														
TDP	EN 10085														
Dřívější označení	31CrMoV9 podle DIN 17 211														
Použití	Strojní díly určené k nitrátování. Vyznačuje se vyšší pevností při dostatečné houževnatosti ve stavu po zúšlechťení. Vysoká prokaltitelnost dovoluje ocel použít i na rozměrnější strojní díly. Nitrátovaná vrstva dosahuje tvrdosti ca 800 HV1, je odolná proti opotřebení a korozi v méně agresivních prostředích. Nitrátování se teprve docílí zvýšením meze unavy povrchové vrstvy při sřítavém namáhání. Ocel lze použít i jako ocel k zúšlechťování bez následné nitrátace.														
Chemické složení v hmot. % (rozbor tavby)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Al						
	0,27 – 0,34	max. 0,40	0,40 – 0,70	max. 0,025	max. 0,035	2,30 – 2,70	0,15 – 0,25	0,10 – 0,20	-						
Složení hotového výrobku	0,25 – 0,36	max. 0,43	0,36 – 0,74	max. 0,030	max. 0,040	2,20 – 2,80	0,12 – 0,28	0,08 – 0,22	-						
Mechanické vlastnosti v zúšlechťeném stavu 1)	Průměr mm	Re min MPa		Rm MPa	A min %	Z min %	KV min J								
	16 < d ≤ 40	900		1100 – 1300	9	-	25								
	40 < d ≤ 100	800		1000 – 1200	10	-	30								
	100 < d ≤ 160	700		900 – 1100	11	-	35								
	160 < d ≤ 250	650		850 – 1050	12	-	40								
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Zpracováno na sřítavlost HB max. 255					Žháný na měkko HB max. 248									
Prokaltitelnost 2)	Vzdálenost od plochy kaleneho čela zkusebního tělesa v mm														
	Tvrdost v HRC														
	Mez	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45
Max.	55	55	55	55	55	55	55	55	54,5	54	54	53,5	53	52,5	52
Min.	48	47,5	47	47	46,5	46	45,5	45,5	45	44,5	44	43,5	43	42,5	42
Technologické vlastnosti															
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1050 až 850 °C														
Tepelné zpracování	Normalizační žhání °C	Žhání na měkko °C	Teplota kalení °C	Kalící prostředí	Teplota popouštění °C	Nitrátace °C 5)									
	870 až 900	680 až 720	870 až 930	olej nebo voda	580 až 700	480 až 570									
<p>Úvedené podmínky jsou doporučené. K docílení rovnoměrných hodnot po zúšlechťení u všech průměrů (zejména kovových) přispívá normalizační žhání před zúšlechťením. Jako kalícího prostředí lze použít i roztoky syntetických polymerů. Východním stavem pro nitrátování je stav zúšlechťený.</p> <p>3) prodleva na austenitizační teplotě min. 0,5 h, 4) prodleva na popouštěcí teplotě min. 1 h. Teplota popouštění by měla být vyšší min. o 50°C než teplota nitrátace. 5) prodleva na teplotě závisí na požadované hloubce nitrátovací vrstvy.</p>															
Obrobitelnost	Teploty přeměn: Ac ₁ přibližně 790° C, Ac ₃ přibližně 845° C														
Obrobitelnost	Obrobí se ve stavu žháném na měkko. Díly se zpravidla nejprve předhrubují ve stavu žháném a dokončí po zúšlechťení. Nitrátace se provádí na opracovaném povrchu.														
Sřítavlost	Dělení sřítavým za studena lze provádět ve stavu žháném.														
<p>1) uvedené hodnoty musí být dosažitelné po zúšlechťení též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žháném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP. Re – mez kluzu, Rm – pevnost v tahu, A – tážnost (počáteční délka L₀ = 5,65√S₀), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-trubem (průměr ze tří zjištěných hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% střední hodnoty).</p>															