



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH NA ZEFEKTIVNĚNÍ PROCESU OBRÁBĚNÍ SPECIFICKÝCH KOMPONENT PNEUMATICKÝCH VÁLCŮ

EFFICIENCY IMPROVEMENT PROPOSAL OF MACHINING SPECIFIC COMPONENTS OF PNEUMATIC CYLINDERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Židlický

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Ondřej Židlický
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
Akademický rok:	2018/19

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:

Návrh na zefektivnění procesu obrábění specifických komponent pneumatických válců

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V práci bude řešen návrh na zvýšení efektivity obrábění komponent pneumatických válců ve spolupráci se společností SMC Industrial Automation s. r. o. Praktická část práce bude probíhat ve výrobním závodě ve Vyškově. Práce bude obsahovat rozbor současného výrobního procesu, návrh inovací a možnosti jejich implementace. V závěru budou zhodnoceny a srovnány výsledky nové a stávající technologie výroby.

Cíle diplomové práce:

- Rozbor stávajícího způsobu výroby.
- Volba vhodných nástrojů pro daný proces obrábění.
- Návrh zefektivnění řezných podmínek.
- Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal. Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. Vyd. 1. Praha: MM publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.

LEINVEBER, J. Strojnické tabulky. 2. uprav. a dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. 911 s. ISBN 80-718-3164-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 26. 10. 2018



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na zefektivnění procesu obrábění specifických komponent pneumatických válců. V první kapitole je popsán stávající způsob výroby korozivzdorných austenitických pístnic, který obsahuje technologický postup, rozbor použitých řezných nástrojů a řezných podmínek. Proces obrábění se potýká s nízkou trvanlivostí řezných nástrojů a nutným neustálým dohledem operátora výroby. Z těchto důvodů je v další kapitole rozepsán návrh na alternativní volbu řezných nástrojů a řezných podmínek. Nově navržená řešení jsou otestována v reálném procesu výroby daných komponent. V závěru práce je zhodnocen stávající a inovovaný způsob obrábění. Díky vhodně zvoleným řezným nástrojům a řezným podmínkám se podařilo zvýšit trvanlivost řezných nástrojů a zefektivnit celý výrobní proces.

Klíčová slova

pístnice, soustružení, závitování, opotřebení nástrojů, tvorba třísky

ABSTRACT

This Master thesis aims to increase the effectivity of the machining of pneumatic cylinders specific components. In the first chapter, the concurrent approach to the manufacture of corrosion resistant austenitic piston rod. This approach consists of the technological procedure, the analysis of the cutting tools used in the process and the cutting conditions. The machining process deals with low durability of cutting tools and the necessity of continual supervision by the operator. Therefore, an alternate design of cutting tools and cutting conditions is suggested in the next chapter. The new design has been tested in manufacture process. In the last chapter, the concurrent and the innovative approach are compared. By choosing the proper cutting tools and cutting conditions it was managed to increase the durability of cutting tools and to increase the effectivity of the whole manufacture process.

Keywords

piston rod, turning, threading, tool wear, chip flow

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŽIDLICKÝ, Ondřej. *Návrh na zefektivnění procesu obrábění specifických komponent pneumatických válců* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117240>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh na zefektivnění procesu obrábění specifických komponent pneumatických válců vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

24. 5. 2019

Datum

Bc. Ondřej Židlický

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu své diplomové práce, společnosti SMC Industrial Automation s.r.o., mé ženě, rodině a všem, kteří mi byli oporou při psaní této práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O SPOLEČNOSTI SMC INDUSTRIAL AUTOMATION S.R.O.	10
1.1 Výrobní program ve Vyškově	10
1.1.1 Pneumatické válce	10
1.1.2 Ventilové bloky	11
1.1.3 Elektrické pohony	12
2 ROZBOR PROCESU SOUSTRUŽENÍ, OBROBITELNOST A OPOTŘEBENÍ NÁSTROJŮ.....	13
2.1 Kinematika soustružení.....	13
2.2 Obrobitelnost	14
2.3 Mechanismy opotřebení řezného nástroje	15
2.3.1 Mechanismy opotřebení – fyzikálně mechanické	16
2.3.2 Mechanismy opotřebení – chemické	17
2.4 Formy opotřebení řezného nástroje	19
3 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO ZPŮSOBU VÝROBY	21
3.1 Rozbor vyráběné součásti	21
3.2 Rozbor problematiky	22
3.3 Řezné nástroje.....	23
3.4 Obráběcí stroj.....	25
3.5 Výrobní postup	26
3.6 Řezné podmínky	27
3.7 Výrobní návodky	29
4 VOLBA VHODNÝCH ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ PRO DANÝ PROCES OBRÁBĚNÍ	32
4.1 Řezné nástroje.....	32
4.2 Obráběcí stroj.....	33
4.3 Výrobní postup	33
5 NÁVRH ZEFEKTIVNĚNÍ ŘEZNÝCH PODMÍNEK	35
5.1 Výrobní návodky	36

6	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	39
6.1	Zhodnocení stávajícího a inovovaného způsobu výroby	39
6.2	Časové a finanční úspory	41
6.2.1	Úspora nákladů na řezných nástrojích.....	41
6.2.2	Úspora času na výměnu řezných nástrojů	43
6.2.3	Úspora času na ručním odstraňování třísek po soustružení vnitřního závitu	43
6.3	Zhodnocení opotřebení	44
7	DISKUSE VÝSLEDKŮ	46
7.1	Hrubovací operace	46
7.2	Dokončovací operace.....	46
7.3	Řezání závitů.....	46
7.4	Obráběcí stroj.....	47
7.5	Obráběcí proces	47
	ZÁVĚR.....	48
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	49
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	51
	SEZNAM PŘÍLOH	53

ÚVOD

Téma diplomové práce je vypracováno ve spolupráci se společností SMC Industrial Automation CZ s.r.o.

Práce se zabývá výrobou pístnice z korozivzdorné austenitické oceli, která je uskutečněna na CNC soustruhu ve výrobním závodě společnosti SMC Industrial Automation CZ s.r.o. ve Vyškově. Při výrobě pístnic dochází k řadě problémů, jež zpomalují a prodražují celý výrobní proces. Požadavkem společnosti je řešení problémů s výrobou daných pístnic.

Cílem diplomové práce je:

- zvýšit počet vyrobených kusů bez zásahu operátora,
- zvýšit trvanlivost řezných nástrojů,
- snížit počet potřebných vyměnitelných břitových destiček (dále jen VBD),
- snížit náklady na řezné nástroje,
- snížit vedlejší čas na výměnu VBD,
- odstranit problém se špatným odvodem třísky z místa řezu po soustružení vnitřního závitu.

V diplomové práci je podrobněji rozepsán stávající způsob výroby, pro který je následně navrhována nová volba nástrojů s novými řeznými podmínkami, jež by měly přispět k zefektivnění celého procesu. V závěru práce je porovnán a zhodnocen stávající i inovovaný způsoby výroby.

Na přání společnosti není v práci uveden celý výrobní postup pístnic. Jejich výrobní dokumentace je také zjednodušena.

1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O SPOLEČNOSTI SMC INDUSTRIAL AUTOMATION S.R.O.

Společnost SMC, která byla založena v roce 1959 v Tokiu, v Japonsku, je globálním lídrem na trhu, který je zaměřen na průmyslovou automatizaci s pneumatickými a elektrickými systémy. Standardní portfolio zahrnuje 12 000 prvků s více než 700 000 variantami. Jedná se především o systémy na úpravu stlačeného vzduchu, pohony, ventily, elektronické prvky a prvky pro vakuum. Společnost s hlavním sídlem v Tokiu má po celém světě více než 500 poboček a 36 výrobních závodů v 83 zemích na 5 kontinentech [1].

V roce 2012 společnost SMC otevřela první evropský centrální výrobní závod ve Vyškově, v České republice (viz obr. 1). Závod zaměstnává přibližně 250 zaměstnanců a je držitelem certifikátu ISO 9001 a ISO 14001. Výroba je zde zaměřena na standardní prvky, jako jsou pneumatické válce, ventilové bloky a elektrické pohony. Procesy jsou řízeny tradičními japonskými principy KAIZEN či GEMBA a všechny produkty zde podléhají nejvyšším japonským normám kvality [2].



Obr. 1 Výrobní závod SMC Vyškov [1].

1.1 Výrobní program ve Vyškově

Závod ve Vyškově se specializuje na výrobu pneumatických válců, elektrických pohonů a montáž ventilových bloků [2].

Označení jednotlivých skupin pneumatických válců:

- C55, C75, C76, C85, C(P)96, CQ2, CQM, MGP, MGQ, CG1, CJ2, CM2, CY, MY, LEY, LEFS.

Označení jednotlivých skupin ventilových bloků:

- SY3/5/7000, VQZ, VV100, SV.

1.1.1 Pneumatické válce

Lineární pohyb lze realizovat pomocí pneumatických válců různých konstrukcí a provedení. Válce se nejčastěji dělí na pístnicové a bezpístnicové. U bezpístnicových válců se podél trubky válce pohybuje jezdec. Dále lze válce dělit na jednočinné, které mají přívod stlačeného vzduchu jen na jedné straně válce, a na dvojčinné, které mají přívod stlačeného vzduchu na obou stranách válce. Celková délka válce s pístnicí je kvůli zasouvání a vysouvání

pístnice proměnlivá, avšak u bezpístnicového válce je celková délka stále stejná. Brždění je u válců vyřešeno buď pomocí pružiny a gumového dorazu nebo pomocí vzduchového polštáře.

Pneumatické válce je možné použít k upínání, podávání, zvedání nebo vyhazování různých komponent. Vzhledem k nespočtu modifikací a konstrukcí a jednoduché obsluze jsou tyto prvky hojně využívány v průmyslu, a to především u automatizovaných procesů [3].

Příklady vybraných pneumatických válců, které se vyrábí ve Vyškově, jsou na obr. 2.



Obr. 2 Pneumatické válce [1].

1.1.2 Ventilové bloky

Ventil je základem pneumatických obvodů, protože umožňuje ovládat pneumatické pohony a řídit směr proudění stlačeného vzduchu. Díky těmto vlastnostem se umísťuje do logických řídicích obvodů. Některé konstrukce ventilů umožňují korigovat průtok či tlak stlačeného vzduchu [3].

Příklady vybraných ventilů, které se vyrábí ve Vyškově, jsou na obr. 3.



Obr. 3 Ventily [1].

1.1.3 Elektrické pohony

Jedná se o komplexní zařízení, které přeměňuje elektrickou energii na pohybovou energii. Elektrické pohony se skládají z jednotlivých subsystémů, jako jsou např. spínací prvky, měniče, řídicí systém, spojky a převodovky [3, 4].

Výhody elektropohonu:

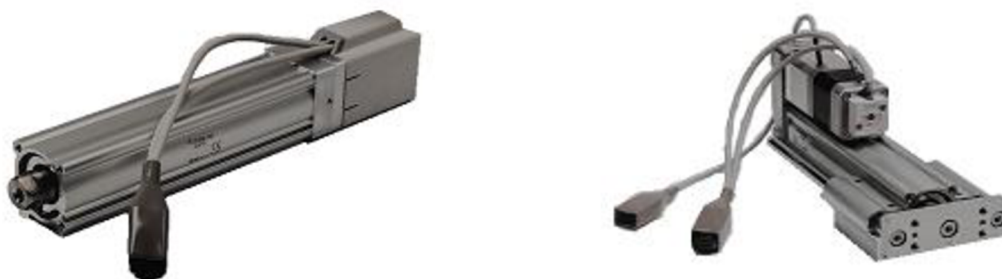
- velký rozsah momentů a otáček,
- konstrukčně proveditelný do kritických prostředí (vysoká prašnost, radioaktivita, odolnost vůči teplotním vlivům a kapalinám),
- vysoká účinnost a vysoká krátkodobá přetížitelnost,
- dlouhá životnost.

Nevýhody elektropohonu:

- závislost na okamžité dodávce napájecích zdrojů,
- vyšší pořizovací náklady oproti pneumatickému pohonu,
- složitější konstrukce.

Příklad vybraných elektrických pohonů, které se vyrábí ve Vyškově, jsou na obr. 4.

LEY



Obr. 4 Elektrické pohony [1].

2 ROZBOR PROCESU SOUSTRUŽENÍ, OBROBITELNOST A OPOTŘEBENÍ NÁSTROJŮ

Soustružení patří mezi základní metody obrábění součástí rotačních tvarů z široké škály materiálů. Obráběním se rozumí technologický proces, kterým se vytváří tvarové součásti dle zadaných rozměrů a jakostí oddělováním materiálu ve formě třísek pomocí mechanických, elektrických, chemických procesů nebo jejich kombinací [5, 6].

2.1 Kinematika soustružení

Při soustružení koná rotující obrobek hlavní pohyb. Tento pohyb je definován pomocí vztahu [5] (2.1).

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.1)$$

kde: v_c [m.min⁻¹] - řezná rychlost,
 D [mm] - průměr obrobku,
 n [min⁻¹] - otáčky obrobku.

Řezná rychlost v_c je vyjádřena jako okamžitá rychlost hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku [7].

Vedlejší posuvný pohyb vykonává vůči obrobku nástroj, v případě soustružení např. soustružnický nůž a je definován podle vztahu [5] (2.2).

$$v_f = \frac{f \cdot n}{1000} [m \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.2)$$

kde: v_f [m.min⁻¹] - posuvová rychlost,
 f [mm] - posuv na otáčku,
 n [min⁻¹] - otáčky obrobku.

Posuvová rychlost v_f je určena jako okamžitá rychlost posuvového pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku [7].

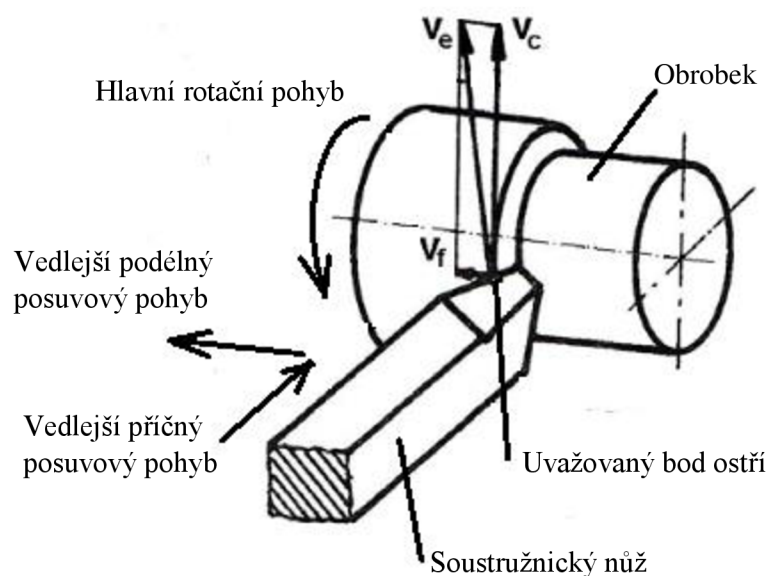
Výsledný pohyb je dán vektorovým součtem obou pohybů a je popsán ve skalárním tvaru vztahem [5] (2.3).

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} [m \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.3)$$

kde: v_e [m.min⁻¹] - výsledná rychlost řezného pohybu,
 v_c [m.min⁻¹] - řezná rychlost,
 v_f [m.min⁻¹] - posuvová rychlost.

Rychlost řezného pohybu v_e je okamžitá rychlost řezného pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku [7].

Všechny základní pohyby při válcovém soustružení jsou znázorněny na obr. 5.



Obr. 5 Základní pohyby při válcovém soustružení – podle [5].
 v_c - řezná rychlost, v_f - posuvová rychlost, v_e - rychlost řezného pohybu

2.2 Obrobitelnost

Vzhledem k tomu, že je diplomová práce zaměřena na obrábění legované austenitické oceli, je teorie obrobitelnosti zaměřena pouze na tyto oceli.

Obecně lze obrobitelnost označit za míru schopnosti zpracovávat určitý konkrétní materiál některou z obráběcích metod. Je to souhrn chemického složení a fyzikálních vlastností materiálů, který má vliv na průběh procesu řezání [5, 7].

Pro vyhodnocení obrobitelnosti jsou technické materiály rozděleny do několika základních skupin, přičemž každá skupina je označena malým písmenem:

- a – litiny,
- b – oceli,
- c – těžké neželezné kovy (měď a její slitiny),
- d – lehké neželezné kovy (hliník a jeho slitiny),
- e – plastické hmoty,
- g – vrstvené hmoty,
- h – pryže,
- v – tvrzené litiny pro výrobu válců.

Jednotlivé skupiny jsou rozděleny do tříd. Tyto třídy jsou označeny číslem a umísťují se před písmeno dané skupiny (např. 12a, 14b, atd.). V každé skupině je vybrán jeden konkrétní materiál, který slouží jako etalon obrobitelnosti (např. pro skupinu ocelí – b, je to ušlechtilá uhlíková ocel C45 EN 10083-2-91, 12050.1 ČSN 41 1250). S tímto etalonem se poté srovnávají obrobitelnosti ostatních materiálů dané skupiny [5, 7].

Obrobitelnost legovaných ocelí je ovlivněna především obsahem legujících prvků. Na zhoršení obrobitelnosti má nejčastěji vliv chrom (Cr), nikl (Ni), molybden (Mo), vanad (V), kobalt (Co). Tyto legující prvky vesměs zvyšují pevnost a v mnoha případech i houževnatost ocelí. Vytváří v oceli sloučeniny (např. karbidy chromu), které díky své vysoké tvrdosti také značně zhoršují obrobitelnost [5].

Významnou část legovaných ocelí zastupují austenitické oceli, které se vyznačují špatnou obrobitelností z důvodu vysoké pevnosti a tvárnosti, nízkou mezí kluzu a značnou houževnatostí. Během procesu obrábění mají sklon ke zpevňování jak povrchové vrstvy obrobku, tak i odřezávané vrstvy materiálu. Vlivem vysoké tvárnosti austenitu a malé tepelné vodivosti nastává při obrábění velký vývin tepla, což vede k vyšším řezným teplotám [5, 7].

2.3 Mechanismy opotřebení řezného nástroje

Proces opotřebení nastává tehdy, jsou-li strojní součásti ve vzájemném silovém kontaktu a relativním pohybu. Důsledkem řezného procesu při obrábění dochází k relativnímu pohybu mezi nástrojem a obrobkem, a také mezi nástrojem a třískou. Jelikož je zároveň v kontaktu i obrobek s nástrojem a s odcházející třískou, dochází k opotřebení řezných nástrojů. Obecně je proces opotřebení nástrojů velmi složitý děj, který je ovlivňován mnoha faktory, jako jsou např. [5, 7]:

- fyzikální a mechanické vlastnosti nástrojového i obráběného materiálu,
- druh obráběcí operace (hrubování, dokončování),
- typ řezu (plynulý nebo přerušovaný),
- geometrie nástroje,
- řezné podmínky.

Mechanismy opotřebení bříty se dělí do dvou základních kategorií [5]:

a) Fyzikálně mechanické

- křehký lom,
- plastická deformace,
- abrazivní otěr,
- adhezní otěr,
- teplotní trhliny,
- delaminace vrstev,
- kmity soustavy S-N-O,
- únava materiálu.

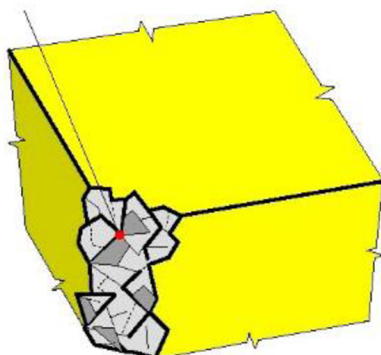
b) Chemické

- difuzní otěr,
- tvorba chemických sloučenin,
- interkrystalické zeslabování,
- termo-elektrické opotřebení.

2.3.1 Mechanismy opotřebení – fyzikálně mechanické

Křehký lom (viz obr. 6) – působí náhle a nastává tehdy, je-li břit vystaven vysokému mechanickému zatížení, nebo krátkodobému přetížení. Příčinou může být náraz břitu na tvrdou fázi, přerušovaný řez, vměstek v obráběném materiálu nebo náhlá změna průřezu třísky [5, 7, 8, 9].

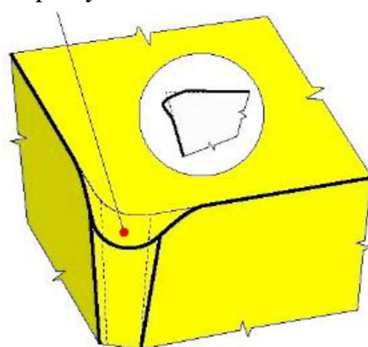
Křehké porušení v oblasti špičky



Obr. 6 Schéma křehkého lomu – podle [7].

Plastická deformace (viz obr. 7) – nastává tehdy, je-li břit vystaven vysokému tepelnému a mechanickému zatížení. V extrémních případech se toto opotřebení může projevit ve formě tzv. lavinového opotřebení, což způsobí okamžité ukončení činnosti nástroje. Při plastické deformaci dochází k odpevnění substrátu, nebo deformaci pojiva [5, 7, 8, 9].

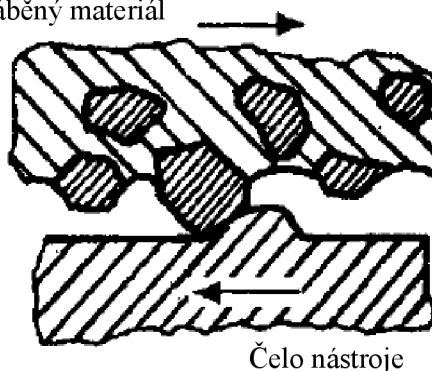
Plastická deformace špičky



Obr. 7 Schéma plastické deformace – podle [7].

Abrazivní otěr (viz obr. 8) – nastává při brusném otěru tvrdých mikročástic obráběného materiálu a mikročástic nástroje uvolněných z břitu [5, 7, 9].

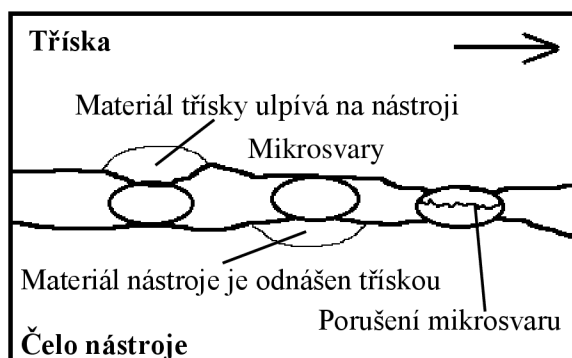
Obráběný materiál



Čelo nástroje

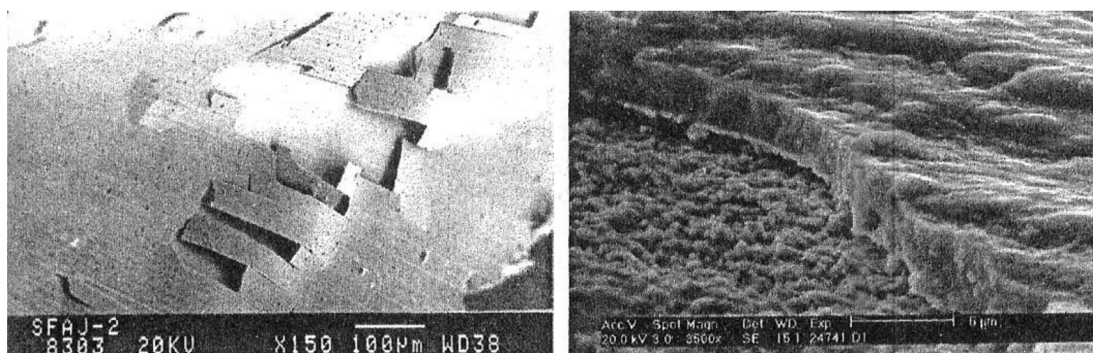
Obr. 8 Schéma abrazivního otěru – podle [7].

Adhezivní otěr (viz obr. 9) – nastává v důsledku vysokých teplot a tlaků, blízké chemické afinity materiálů a kovově čistých styčných povrchů. Dochází k opakovanému vzniku a následně k okamžitému porušení mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovnosti čela a třísky, kde se může vytvořit tzv. nárůstek [5, 7, 9].



Obr. 9 Schéma adhezivního otěru – podle [7].

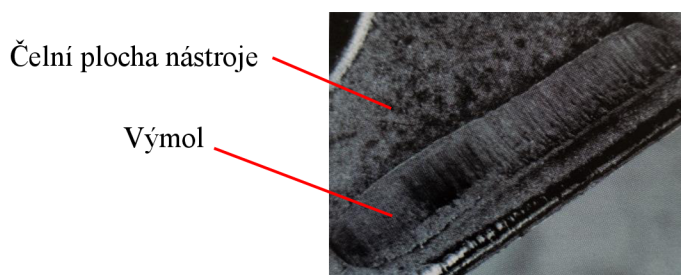
Delaminace vrstev povlaků (viz obr. 10) – nastává v důsledku nevhodné technologie povlakování nebo výbrusu, kontaminace mezifázového rozhraní nebo nevhodným režimem čištění substrátu před povlakováním. Projevuje se odlupováním tenkých vrstev povlaku z povrchu nástroje [5, 7].



Obr. 10 Delaminace vrstev povlaků [5].

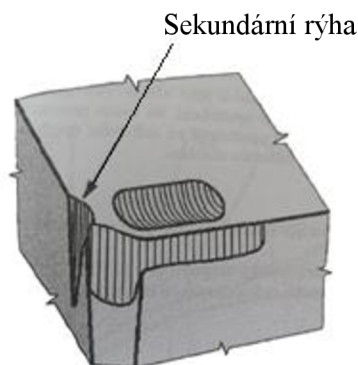
2.3.2 Mechanismy opotřebení – chemické

Difúze (viz obr. 11) – nastává při vysokých teplotách (u slinutých karbidů již při 680 °C). Vlivem vysoké teploty dochází k migraci atomů z obráběného materiálu do nástroje a naopak. Ve struktuře nástroje se během procesu difúze vytváří nežádoucí mezikovové sloučeniny a tím dochází k degradaci vlastností řezného materiálu. Spolu s abrazivním opotřebením dochází k vymílání řezného materiálu na čelní ploše nástroje [5, 7, 8, 9].



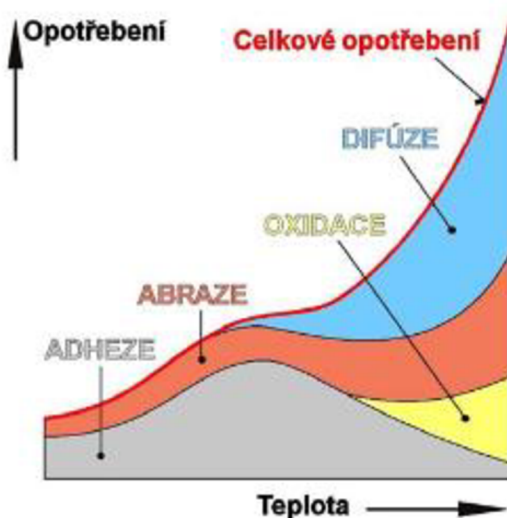
Obr. 11 Výmol na čele nástroje – podle [8].

Oxidace (viz obr. 12) – nastává v důsledku přítomnosti kyslíku v okolním prostředí, kde na povrchu nástroje vznikají chemické sloučeniny. Při oxidačním opotřebení vzniká sekundární rýha v místě styku s obrobenou plochou [5, 7, 9].

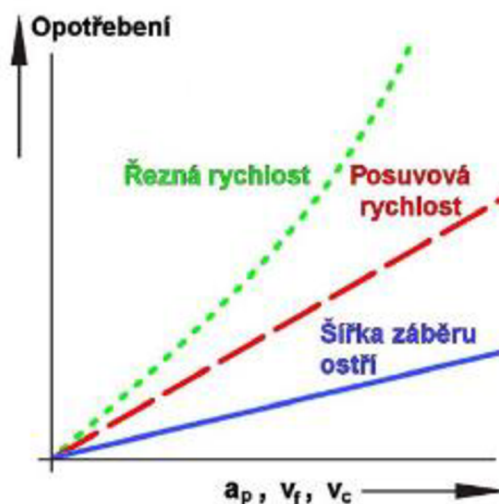


Obr. 12 Výmol na čele nástroje – podle [5].

Některé procesy opotřebení trvají déle (např. abraze), jiné zase velmi krátce (křehký lom). Vliv teploty na podíl jednotlivých mechanismů opotřebení je zobrazen na obr. 13. Nastavení řezných podmínek má také zásadní vliv na opotřebení nástrojů, kdy z obr. 14 je patrné, že největší vliv na opotřebení má řezná rychlost.



Obr. 13 Vliv teploty na jednotlivé mechanismy opotřebení [7].

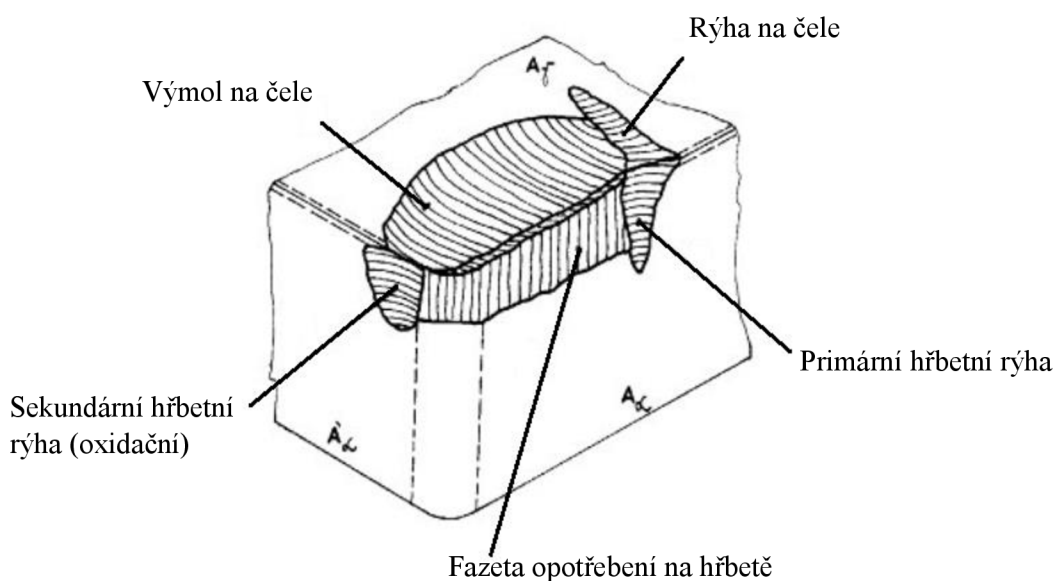


Obr. 14 Vliv řezných podmínek na opotřebení [7].

Při procesu obrábění nevzniká vždy jen jeden typ opotřebení, ale jejich kombinace, a to v důsledku teploty, tlaku, tvrdosti, afinitě materiálů, řezných podmínek atd. Stejně tak nevzniká jeden typ opotřebení na všech plochách nástroje, ale každé opotřebení má své specifické místo. Na čele nástroje dochází nejčastěji k adhezi, abrazi, difuzi a oxidaci, kdežto na hřbetě nástroje dochází k abrazi a oxidaci [5, 7, 10].

2.4 Formy opotřebení řezného nástroje

Ztráta materiálu nástroje je obvyklý projev opotřebení na čele nebo na hřbetě řezného nástroje. Formy opotřebení pro slinutý karbid jsou zobrazeny na obr. 15 a obr. 16 [10].



Obr. 15 Formy opotřebení řezného nástroje ze slinutého karbidu – podle [10].

Měření jednotlivých forem opotřebení se rozděluje na [10]:

- **Přímé metody měření:**

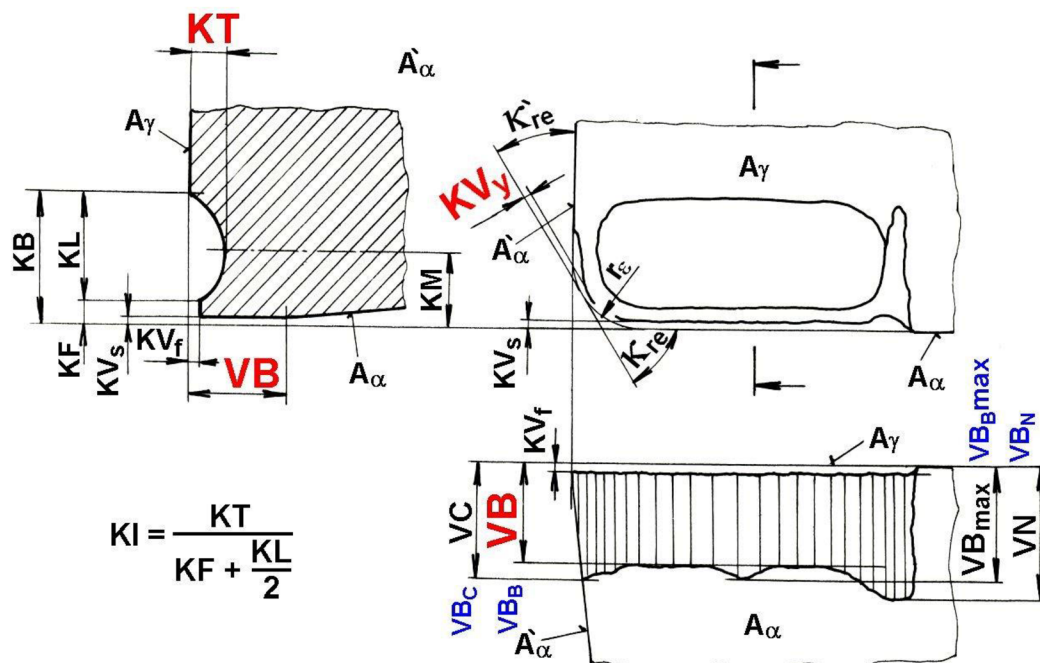
- měření opotřebovaných rozměrů břitu v závislosti na čase,
- vážení břitové destičky,
- optické sledování funkčních ploch,
- elektrické metody,
- ultrazvukové metody,
- pneumatické metody,
- radioaktivní metody,
- atd.

- **Nepřímé metody měření:**

- měření a vyhodnocení jednotlivých složek řezné síly,
- měření kmitání,
- měření a vyhodnocení elektrického příkonu obráběcího stroje,
- měření teploty řezání,
- měření struktury povrchu obrobene plochy,
- atd.

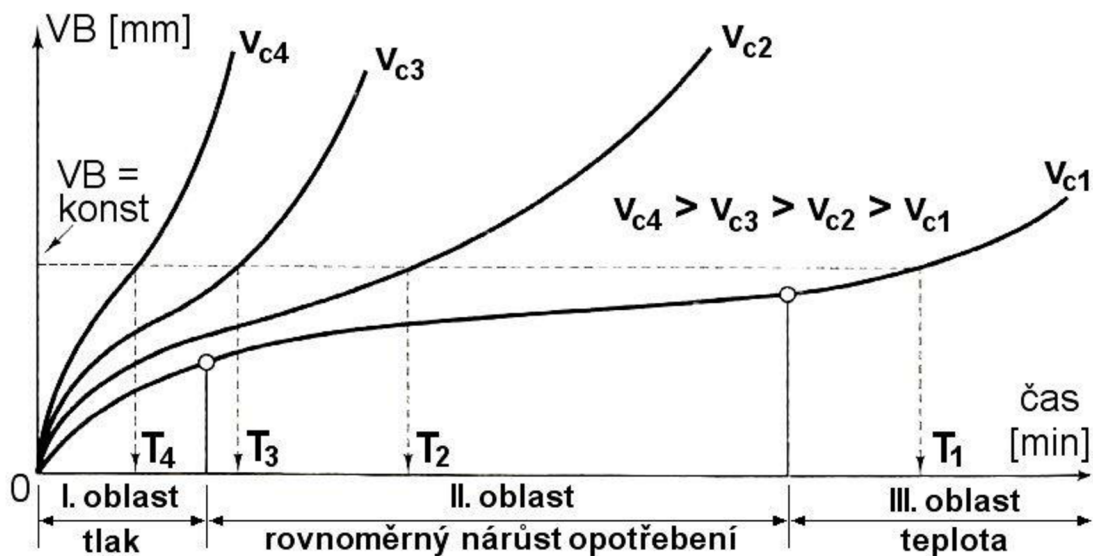
Nejčastějším kritériem, které je v praxi využíváno, je měření opotřebovaných rozměrů břitu (viz obr. 16) v závislosti na čase. Měří se šířka fazety opotřebení na hřbetě (značí se **VB**),

hloubka výmolu na čele (značí se **KT**) a radiální opotřebení špičky nástroje (značí se **KV_y**). Problematika měření vybraného kritéria opotřebení se řídí dle normy ČSN ISO 3685 [5, 7, 10].



Obr. 16 Kritéria opotřebení řezného nástroje – podle [10].

Pro hodnotu kritéria VB je doporučený interval 0,2 až 0,8 mm. Charakteristický průběh kritéria VB je rozdělen do tří oblastí (viz obr. 17). Pásmo záběru (I. oblast) je charakteristické svým rychlým nárůstem hodnoty VB, což je způsobeno velkým měrným tlakem, který působí při styku nástroje s obrobkem v důsledku velmi malé stykové plochy. Pásmo normálního opotřebení (II. oblast) se vyznačuje rovnoměrným nárůstem opotřebení, kdy na řezný nástroj působí základní mechanismy opotřebení. V pásmu zrychleného opotřebení (III. oblast) v důsledku nakumulovaného tepelného zatížení hodnota opotřebení VB intenzivně roste [5, 7, 10].



Obr. 17 Závislost opotřebení hřbetní plochy na čase [7].

Charakteristickým průběhem opotřebení výmolu na čele KT je exponenciální křivka a doporučené hodnoty leží v intervalu 0,2 až 0,3 mm [7].

3 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO ZPŮSOBU VÝROBY

V následující kapitole je podrobněji popsána vyráběná součástka a její stávající způsob výroby, včetně jednotlivých použitých řezných nástrojů, technologických postupů a výrobních návodů.

3.1 Rozbor vyráběné součásti

Vyráběnou součástí je pístnice (viz obr. 18), která je součástí elektrického pohonu řady LEY (viz obr. 4). Pístnice se vyrábí v jednosměnném provozu, v malé sérii (desítky kusů) a v několika variantách průměru. Mimo délky, která je upravena podle zdvihu konkrétního válce, se od sebe jednotlivé varianty moc neliší. Každá pístnice má na každé straně závit, vnitřní a vnější sražení a vnitřní válcovou plochu s tolerancí H7.



Obr. 18 Pístnice.

Polotovarem pro výrobu pístnice je trubka s tloušťkou stěny 1,5 mm. Pístnice je vyrobená z nestabilizované austenitické korozivzdorné oceli označené dle normy EN 10088, DIN 17455 ocel X5CrNi18-10, ekvivalent dle ČSN 41 7240 ocel 17 240, s vnějším průměrem 16 mm a délkou 1500 mm (viz příloha 1) nebo s vnějším průměrem 20 mm a délkou 2000 mm (viz příloha 2). Chemické složení oceli je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1 Chemické složení oceli X5CrNi18-10 dle ČSN 41 7240 [11].

C [hm. %]	Mn [hm. %]	Si [hm. %]	Cr [hm. %]	Ni [hm. %]	P [hm. %]	S [hm. %]
max 0,07	max 2,0	max 1,0	17,0 až 20,0	9,0 až 11,5	max 0,045	max 0,030

Jedná se o válcovaný polotovár, který je následně svařen do trubky. Jelikož se jedná o austenitickou ocel, bylo zapotřebí materiál následně tepelně zpracovat rozpouštěcím žiháním. Mechanické vlastnosti jsou popsány v tab. 2.

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli X5CrNi18-10 dle ČSN 417240 [11].

Polotovár	TR Ø 16 x 1,5 x 1500
	TR Ø 20 x 1,5 x 2000
Stav	Rozpouštěcí žihání
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	min. 195 MPa
Mez pevnosti v tahu R_m [MPa]	500 až 720 MPa
Tažnost A_5 [%]	min. 40 %
Hustota [kg·m⁻³]	7,9

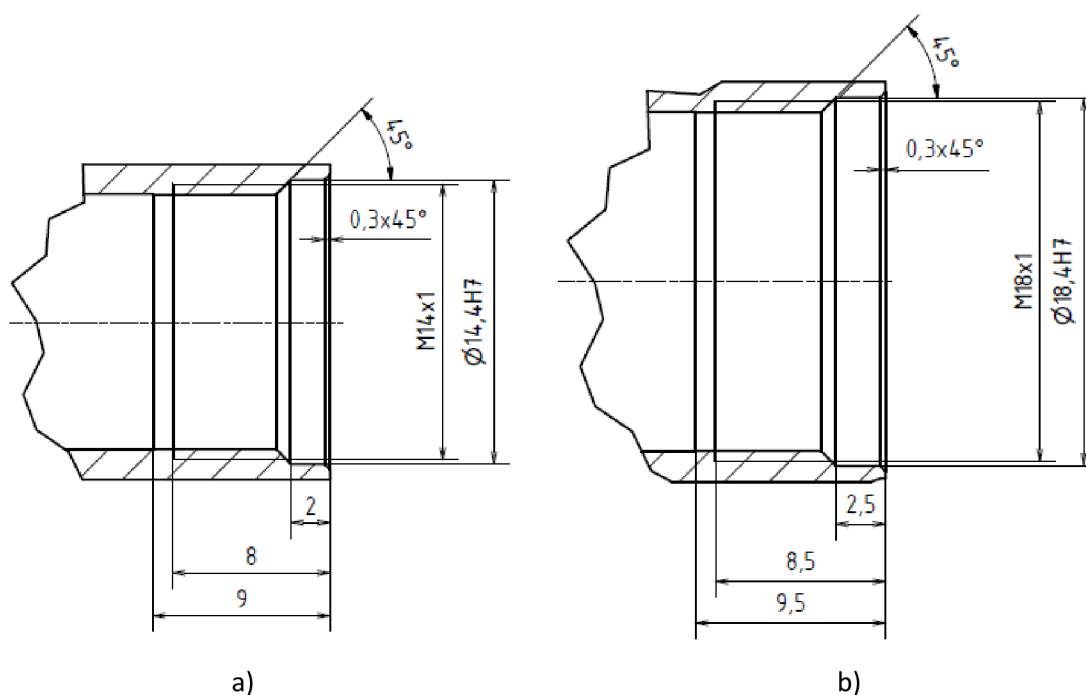
Podle ČSN 41 7240 je ocel vhodná pro chemické zařízení, pro prostředí oxidační povahy, pro silné anorganické kyseliny jen při velmi nízkých koncentracích a v oblasti normálních teplot. Lze ji využít i v prostředí vyžadující vysokou čistotu produktu, jež je požadována především ve farmaceutickém a potravinářském průmyslu. Ocel je svařitelná, nestabilizovaná, a je vhodná pro výrobu tlakových nádob.

3.2 Rozbor problematiky

Během výroby byl zjištěn největší problém při obrábění vnitřní válcové plochy s tolerancí H7 (viz obr. 19). Při dokončovací operaci se nedařilo udržet požadovanou toleranci po více než 20 kusů. V mnohých případech (při obrobení přibližně 25 kusů) docházelo k vylomení špičky VBD, která se musela následně vyměnit.

Další problém se vyskytl při soustružení vnitřního závitu (viz obr. 19), kde docházelo k neustálému namotávání třísek okolo řezného nástroje. Třísky se tak vracely zpátky do řezu, což způsobovalo snížení trvanlivosti nástroje a častěji začaly vnikat zmetkové součásti. V druhém případě se tříska nenamotala na řezný nástroj, ale zůstala viset z obrobku. Při upnutí takového obrobku do protivřetene se tříska dostala mezi obrobek a čelist sklíčidla, což způsobilo nedostatečné upnutí a vyosení obrobku.

Jelikož se problém s utvářením třísek při soustružení závitu vyskytoval téměř u každého vyráběného kusu a zároveň docházelo k častému vylamování částí VBD, byla zapotřebí neustálá kontrola celého procesu. Vzhledem k tomu, že se jedná o jednosměnný provoz a jeden operátor obsluhuje dva stroje, byl tento způsob výroby shledán nevhodným, neefektivním a neekonomickým.



Obr. 19 Zjednodušený náčrt pistnice. a) pistnice A, b) pistnice B.

Požadavek společnosti byl navýšení trvanlivosti VBD, zvýšení počtu vyrobených kusů bez zásahu operátora a snížení vedlejších časů, zejména na výměnu VBD nebo odstranění třísek z řezného nástroje či polotovaru.

S ohledem na přání společnosti, nezveřejňovat originální dokumenty, je výkresová dokumentace obou pístnic (viz příloha 1 a příloha 2) zjednodušena. Ze stejných důvodů není popsán celý technologický postup výroby s veškerým nástrojovým vybavením, ale jen část zabývající se výše zmiňovanou problematikou.

Technologické postupy a použité nástroje jsou uvedeny pro výrobu následujících prvků:

- PÍSTNICE A
 - vnitřní válcová plocha $\varnothing 14,4H7$ v délce 2 mm,
 - závit M14x1 v délce 6 mm.
- PÍSTNICE B
 - vnitřní válcová plocha $\varnothing 18,4H7$ v délce 2,5 mm,
 - závit M18x1 v délce 6 mm.

3.3 Řezné nástroje

Pro jednotlivé nástroje, měřidla a pomůcky je vytvořena tabulka (viz tab. 3), v níž je ke každému řeznému nástroji přiřazeno číslo. Na tato čísla je odkazováno ve výrobním postupu ve sloupci s označením „Řezné nástroje“.

Tab. 3 Seznam řezných nástrojů, měřidel a pomůcek.

Číslo nástroje	Název	Označení	Materiál
0-1	Soustružnický nůž uběrací vnitřní	VBD CCMT 060204-MF 1115	SK
		TĚLO A10K-SCLCR 06	Ocel
0-2	Soustružnický nůž uběrací vnitřní	VBD CCMT 060204-MM 2015	SK
		TĚLO A10K-SCLCR 06	Ocel
0-3	Závitový nůž vnitřní	VBD 11IR A 60	SK
		TĚLO SIR 0010 K11	SK
0-4	Válečkový kalibr	14,4H7	Ocel
0-5	Válečkový kalibr	18,4H7	Ocel
0-6	Závitový kalibr	M14x1-6H	Ocel
0-7	Závitový kalibr	M18x1-6H	Ocel

Vybrané nástroje jsou podrobněji popsány níže:

I. Řezný nástroj číslo 0-1

Soustružnický nůž uběrací vnitřní (viz obr. 20), označení těla A10K-SCLCR 06, označení VBD CCMT 060204-MF 1115. Materiál VBD je slinutý karbid s PVD povlakem z $(Ti,Al)N+(Al,Cr)_2O_3$. Vyložení řezného nástroje je 25 mm s vnitřním chlazením [12, 13].



Obr. 20 Řezný nástroj číslo 0-1.

II. Řezný nástroj číslo 0-2

Soustružnický nůž uběrací vnitřní (viz obr. 21), označení těla A10K-SCLCR 06, označení VBD CCMT 060204-MM 2015. Materiál VBD je slinutý karbid s CVD povlakem z materiálu $Ti(C,N)+Al_2O_3+TiN$. Vyložení řezného nástroje je 25 mm, s vnitřním chlazením [12, 14].



Obr. 21 Řezný nástroj číslo 0-2.

III. Řezný nástroj číslo 0-3

Soustružnický závitový nůž vnitřní (viz obr. 22), označení těla SIR 0010 K11, označení VBD 11IR A 60. Jedná se o destičku ze slinutého karbidu s PVD povlakem z $TiAlN$. Vyložení řezného nástroje je 25 mm, bez vnitřního chlazení [15, 16, 17].



Obr. 22 Řezný nástroj číslo 0-3.

IV. Nástroj číslo 0-4

Dílenský válečkový kalibr 14,4H7 (viz obr. 23) slouží k rychlé kontrole správně vyrobeného rozměru 14,4H7 přímo u obráběcího stroje.



Obr. 23 Nástroj číslo 0-4.

V. Nástroj číslo 0-5

Dílenský válečkový kalibr 18,4H7 (viz obr. 24) slouží k rychlé kontrole správně vyrobeného rozměru 18,4H7 přímo u obráběcího stroje.



Obr. 24 Nástroj číslo 0-5.

VI. Nástroj číslo 0-6

Dílenský závitový kalibr M14x1-6H (viz obr. 25) slouží k rychlé kontrole správně vyrobeného závitu přímo u obráběcího stroje.



Obr. 25 Nástroj číslo 0-6.

VII. Nástroj číslo 0-7

Dílenský závitový kalibr M18x1-6H (viz obr. 26) slouží k rychlé kontrole správně vyrobeného závitu přímo u obráběcího stroje.



Obr. 26 Nástroj číslo 0-7.

Mimo soustružnického závitového nože, který nedisponuje vnitřním chlazením, jsou všechny řezné nástroje chlazeny vnitřkem nástroje a vnějším ostřikem řezné kapaliny, tedy směsí demineralizované vody a 15% řezné kapaliny Decocut 1040, která proudí do řezného procesu pod tlakem 10 barů (1 MPa).

3.4 Obráběcí stroj

Pístnice je vyráběna na CNC soustruhu (viz obr. 27), který disponuje hlavním vřetenem, protivřetenem a jednou revolverovou hlavou, která může být osazena 12 nástroji. Podrobnější technické informace o CNC soustruhu jsou uvedeny v tab. 4. Na CNC soustruh je odkazováno ve výrobním postupu, kde je označen jako stroj číslo 1.



Obr. 27 CNC soustruh.

Tab. 4 Technické parametry CNC soustruhu.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Max. obráběný průměr/délka	300/500	mm
Max. průměr nad ložem	450	mm
Max. průměr upnutí tyče	51	mm
Velikost sklíčidla	215	mm
Otáčky hlavního vřetene	50 až 5000	min ⁻¹
Otáčky vedlejšího vřetene	50 až 5000	min ⁻¹
Posuv osy X/Z	177,5/550	mm
Výkon vřetene	15/11	kW
Ovládací systém	Fanuc	-
Příkon	AC 200/220 V, 50/60 Hz, 31,4kVA	-
Rozměry stroje D x Š x V	2598 x 1671 x 1815	mm
Hmotnost	3800	kg

K soustruhu je připojen podavač (viz obr. 28). Podrobnější technické informace o podavači jsou uvedeny v tab. 5.



Obr. 28 Podavač.

Tab. 5 Technické parametry podavače.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Max. délka polotovaru	4000	mm
Průměr polotovaru	8 až 34	mm
Kapacita	pro Ø10 max. 30 pro Ø34 max. 8	ks
Příkon	AC 200/220 V, 50/60 Hz, 2kVA	-
Rozměry stroje D x Š x V	5080 x 700 x 1215	mm
Hmotnost	1200	kg

3.5 Výrobní postup

Zjednodušený výrobní postup pro pístitnici A (viz tab. 6) a pístitnici B (viz tab. 7).

Tab. 6 Výrobní postup pístitnice A.

VUT v Brně, FSI, ÚST		VÝROBNÍ POSTUP		Název součásti: Pístitnice A		Číslo výkresu: P_R-A-16
Datum: 21. 3. 2019		Vypracoval: Židlický Ondřej		Kontroloval: Kutálek David	Polotovar: TR Ø 16 x 1,5 x 1500	Materiál: X5CrNi18-10
Č. op./č. orient.	Stroj	Dílna	Popis práce:			Výrobní nástroje
1/0	1	Obrobna I	Soustružit vnitřní závit M14x1 v délce 6 mm			0-3
2/0	1	Obrobna I	Upnout do protivřetene			-
3/0	1	Obrobna I	Upichnout v délce L			-
4/0	1	Obrobna I	Soustružit vnitřní osazení na Ø14,2±0,1 v délce 1,9 mm			0-1
5/0	1	Obrobna I	Soustružit na čisto vnitřní osazení Ø14,4H7 v délce 2 mm			0-2
6/0	1	Obrobna I	Soustružit vnitřní závit M14x1 v délce 6 mm			0-3
7/0	-	Obrobna I	Kontrola rozměru 14,4H7 Kontrola závitu M14x1			0-4 0-6

Tab. 7 Výrobní postup pístnice B.

VUT v Brně, FSI, ÚST		VÝROBNÍ POSTUP		Název součásti: Pístnice B		Číslo výkresu: P_R-B-20
Datum: 21. 3. 2019		Vypracoval: Židlický Ondřej		Kontroloval: Kutálek David	Polotovar: TR Ø 20 x 1,5 x 2000	Materiál: X5CrNi18-10
Č. op./č. orient.	Stroj	Dílna	Popis práce:			Výrobní nástroje
1/0	1	Obrobna I	Soustružit vnitřní závit M18x1 v délce 6 mm			0-3
2/0	1	Obrobna I	Upnout do protivřetene			-
3/0	1	Obrobna I	Upichnout v délce L			-
4/0	1	Obrobna I	Soustružit vnitřní osazení na Ø18,2±0,1 v délce 2,4 mm			0-1
5/0	1	Obrobna I	Soustružit na čisto vnitřní osazení Ø18,4H7 v délce 2,5 mm			0-2
6/0	1	Obrobna I	Soustružit vnitřní závit M18x1 v délce 6 mm			0-3
7/0	-	Obrobna I	Kontrola rozměru 18,4H7 Kontrola závitu M18x1			0-5 0-7

První vyrobená pístnice z dané série je zkontrolována pomocí kalibrů, a pokud rozměry splňují předepsanou toleranci, pracovník pustí automatizovanou výrobu. Z důvodu častých problémů s dodržením výrobních tolerancí je během procesu výroby kontrolován každý pátý vyrobený kus. Pokud součástka nevyhoví kontrole rozměrů, je vyhozena, a obráběcí proces se upraví pomocí korekce řezného nástroje. Po úpravě korekcí se vyrobený kus opět zkontroluje, a pokud kontrolou projde, pracovník opět zapne automatickou výrobu dané série, přičemž průběžně namátkově kontroluje každý pátý vyrobený kus.

3.6 Řezné podmínky

Jelikož jsou stávající řezné podmínky pro obě pístnice podobné, je zde uveden vzorový výpočet pro pístnici B. Podrobněji jsou všechny řezné podmínky uvedeny v příslušných návodkách.

Vzorový výpočet řezných podmínek pro pístnici B:

Číslo operace 4/0

Zadané hodnoty:

- hrubování z výchozího průměru $d_0 = 17$ mm na průměr $D_{4/0} = 18,2$ mm,
- řezná rychlost $v_{c\ 4/0} = 130$ m·min⁻¹,
- posuv na otáčku $f_{4/0} = 0,15$ mm,
- šířka záběru ostří $a_{p\ 4/0} = 0,3$ mm,
- počet průchodů nástroje $i_{4/0} = 2$.

Vypočítané hodnoty:

Otáčky obrobku byly vypočteny podle vztahu (3.1), který vznikl vyjádřením otáček ze vztahu (2.1).

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1\,000} [m \cdot \text{min}^{-1}] \rightarrow n = \frac{v_c \cdot 1\,000}{\pi \cdot D} [\text{min}^{-1}] \quad (3.1)$$

kde:

- v_c ... řezná rychlost [$m \cdot \text{min}^{-1}$],
 n ... otáčky obrobku [min^{-1}],
 D ... průměr obrobku [mm].

$$n_{4/0} = \frac{v_{c\,4/0} \cdot 1\,000}{\pi \cdot D_{4/0}} = \frac{130 \cdot 1\,000}{\pi \cdot 18,2} = 2273,6 \text{ min}^{-1} \approx 2274 \text{ min}^{-1}$$

Dráha nástroje ve směru posuvu byla vypočítána podle vztahu [7] (3.2).

$$L = l_n + l + l_p [mm] \quad (3.2)$$

kde:

- L ... dráha nástroje ve směru posuvu [mm],
 l_n ... délka náběhu [mm],
 l ... délka soustružené plochy [mm],
 l_p ... délka přeběhu [mm].

$$L_{4/0} = l_n + l + l_p = 5 + 2,5 + 3 = 10,5 \text{ mm}$$

Jednotkový strojní čas byl vypočítán podle vztahu [7] (3.3).

$$t_{as} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} [min] \quad (3.3)$$

kde:

- L ... dráha nástroje ve směru posuvu [mm],
 i ... počet průchodů nástroje [ks],
 n ... otáčky obrobku [min^{-1}],
 f ... posuv na otáčku [mm].

$$t_{as\,4/0} = \frac{L_{4/0} \cdot i_{4/0}}{n_{4/0} \cdot f_{4/0}} = \frac{10,5 \cdot 2}{2274 \cdot 0,15} = 0,062 \text{ min} = 3,695 \text{ s}$$

Číslo operace 5/0Zadané hodnoty:

- Dokončování z výchozího průměru $D_{4/0} = 18,2$ mm na průměr $D_{5/0} = 18,4H7$,
- řezná rychlost $v_{c\,5/0} = 65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
- posuv na otáčku $f_{5/0} = 0,1$ mm,

- šířka záběru ostří $a_{p\ 5/0} = 0,1$ mm.
- počet průchodů nástroje $i_{5/0} = 1$.

Vypočítané hodnoty:

Otáčky obrobku byly vypočteny podle vztahu (3.1).

$$n_{5/0} = \frac{v_{c\ 5/0} \cdot 1\ 000}{\pi \cdot D_{5/0}} = \frac{130 \cdot 1\ 000}{\pi \cdot 18,4} = 1124,5 \text{ min}^{-1} \approx 1125 \text{ min}^{-1}$$

Dráha nástroje ve směru posuvu byla vypočítána podle vztahu [7] (3.2).

$$L_{5/0} = l_n + l + l_p = 5 + 2,5 + 3 = 10,5 \text{ mm}$$

Jednotkový strojní čas byl vypočítán podle vztahu [7] (3.3).

$$t_{as\ 5/0} = \frac{L_{5/0} \cdot i_{5/0}}{n_{5/0} \cdot f_{5/0}} = \frac{10,5 \cdot 1}{1125 \cdot 0,1} = 0,093 \text{ min} = 5,603 \text{ s}$$

Číslo operace 1/0 a 6/0

Zadané hodnoty:

- soustružení vnitřního závitu M18x1,
- řezná rychlost $v_{c\ 1/0} = v_{c\ 6/0} = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
- posuv na otáčku $f_{1/0} = f_{6/0} = 1 \text{ mm}$,
- počet průchodů nástroje $i_{1/0} = i_{6/0} = 10$.

Vypočítané hodnoty:

Otáčky obrobku byly vypočteny podle vztahu (3.1).

$$n_{6/0} = \frac{v_{c\ 6/0} \cdot 1\ 000}{\pi \cdot D_{6/0}} = \frac{80 \cdot 1\ 000}{\pi \cdot 18} = 1414,7 \text{ min}^{-1} \approx 1415 \text{ min}^{-1}$$

Dráha nástroje ve směru posuvu byla vypočítána podle vztahu [7] (3.2).

$$L_{6/0} = l_n + l + l_p = 5 + 6 + 1 = 12 \text{ mm}$$

Jednotkový strojní čas byl vypočítán podle vztahu [7] (3.3).

$$t_{as\ 6/0} = \frac{L_{6/0} \cdot i_{6/0}}{n_{6/0} \cdot f_{6/0}} = \frac{12 \cdot 10}{1415 \cdot 1} = 0,085 \text{ min} = 5,088 \text{ s}$$

3.7 Výrobní návody

Hodnoty z výrobního postupu, jako jsou konkrétní řezné podmínky, označení odebíraných třísek a jednotkové strojní časy, jsou rozepsány do jednotlivých výrobních návodů pro pístnici A (viz tab. 8 a tab. 9) a pro pístnici B (viz tab. 10 a tab. 11).

Tab. 8 Výrobní návodka 1/2 pístnice A.

VÝROBNÍ NÁVODKA						VUT v Brně, FSI, ÚST			
Název součásti: Pístnice A					Stroj: CNC soustruh				
Číslo operace	j	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	i [-]	L [mm]	t_{as} [min]	Řezný nástroj
1/0	1	80	1819	1	0,05	10	12	0,066	0-3
Σt_{as} [min]								0,066	
Datum: 21. 3. 2019		Vypracoval: Židlický Ondřej			Schválil: Kutálek David				

Tab. 9 Výrobní návodka 2/2 pístnice A.

VÝROBNÍ NÁVODKA						VUT v Brně, FSI, ÚST			
Název součásti: Pístnice A					Stroj: CNC soustruh				
Číslo operace	j	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	i [-]	L [mm]	t_{as} [min]	Řezný nástroj
4/0	1	130	2914	0,15	0,3	2	10	0,046	0-1
5/0	2	65	1437	0,1	0,1	1	10	0,070	0-2
6/0	3	80	1819	1	0,05	10	12	0,066	0-3
Σt_{as} [min]								0,182	
Datum: 21. 3. 2019		Vypracoval: Židlický Ondřej			Schválil: Kutálek David				

Tab. 10 Výrobní návodka 1/2 pístnice B.

VÝROBNÍ NÁVODKA						VUT v Brně, FSI, ÚST			
Název součásti: Pístnice B					Stroj: CNC soustruh				
Číslo operace	j	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	i [-]	L [mm]	t_{as} [min]	Řezný nástroj
1/0	1	80	1415	1	0,05	10	12	0,085	0-3
Σt_{as} [min]								0,085	
Datum: 21. 3. 2019		Vypracoval: Židlický Ondřej			Schválil: Kutálek David				

Tab. 11 Výrobní návodka 2/2 pístnice B.

VÝROBNÍ NÁVODKA						VUT v Brně, FSI, ÚST			
Název součásti: Pístnice B					Stroj: CNC soustruh				
Číslo operace	j	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	i [-]	L [mm]	t_{as} [min]	Řezný nástroj
4/0	1	130	2274	0,15	0,3	2	10,5	0,062	0-1
5/0	2	65	1125	0,1	0,1	1	10,5	0,093	0-2
6/0	3	80	1415	1	0,05	10	12	0,085	0-3
Σt_{as} [min]								0,240	
Datum: 21. 3. 2019		Vypracoval: Židlický Ondřej			Schválil: Kutálek David				

4 VOLBA VHODNÝCH ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ PRO DANÝ PROCES OBRÁBĚNÍ

Vzhledem k nízké trvanlivosti stávajících řezných nástrojů je zapotřebí navrhnout vhodnější řezné nástroje.

4.1 Řezné nástroje

Pro hrubovací operaci je zvolena VBD CCMT 060204-MF 1105 se stejnou geometrií i povlakem, jako původní CCMT 060204-MF 1115, akorát je zvolena třída substrátu s menšími zrny karbidu wolframu. Menší zrna se využívají u PVD povlaků a zvyšují pevnost ostré řezné hrany [12, 18].

Pro dokončovací operaci je zvolena VBD TCMT 090202-MF 1105 s PVD povlakem. Oproti původní VBD CCMT 060204-MM 2015 s CVD povlakem je nově zvolená VBD pro obrábění přesné válcové plochy vhodnější hned v několika směrech. Díky technologii povlakování PVD jsou povlakované i ostré hrany. Zrna karbidu wolframu jsou menší, což znamená zvýšenou tvrdost a odolnost proti mechanickému opotřebení a tepelnému namáhání. Zvolená VBD s označením „F“ je vhodná pro dokončovací operace a nemá oproti původní VBD s označením „M“ (střední obrábění) žádnou fazetu. Rádus špičky byl namísto 0,4 mm zvolen 0,2 mm. Menší rádus špičky snižuje riziko vibrací a je vhodnější pro menší hloubky záběru [19, 20].

Pro soustružení závitu byla zvolena VBD 11IRM 1.00 ISO. Oproti původní VBD 11IR A 60 má lisovaný utvařecí třísky a spolu s držákem R166.0KF-10E-11 s vnitřním chlazením by měla lépe odvádět odřezávaný materiál z místa řezu [17, 21, 22].

Nově navržené řezné nástroje, stejně jako stávající, jsou uvedeny v tab. 12, v níž je ke každému řeznému nástroji přiřazeno číslo. Na tato čísla je odkazováno ve výrobních postupech ve sloupci s označením „Řezné nástroje“.

Tab. 12 Seznam navržených řezných nástrojů, měřidel a pomůcek.

Číslo nástroje	Název	Označení	Materiál
1-1	Soustružnický nůž uběrací vnitřní	VBD CCMT 060204-MF 1105	SK
		TĚLO A10K-SCLCR 06	Ocel
1-2	Soustružnický nůž uběrací vnitřní	VBD TCMT 090202-MF 1105	SK
		TĚLO A10K-STFCR 09-R	Ocel
1-3	Závitový nůž vnitřní	VBD 11IRM 1.00 ISO	SK
		TĚLO R166.0KF-10E-11	SK

Vybrané nově zvolené řezné nástroje jsou podrobněji popsány níže:

I. Řezný nástroj číslo 1-1

Soustružnický nůž uběrací vnitřní (viz obr. 29), označení těla A10K-SCLCR 06, označení VBD CCMT 060204-MF 1105. Materiál VBD je slinutý karbid s PVD povlakem z (Ti,Al)N₂. Vyložení řezného nástroje je 25 mm, s vnitřním chlazením [12, 18].



Obr. 29 Řezný nástroj číslo 1-1.

II. Řezný nástroj číslo 1-2

Soustružnický nůž uběrací vnitřní (viz obr. 30), označení těla A10K-STFCR 09-R, označení VBD TCMT 090202-MF 1105. Materiál VBD je slinutý karbid s PVD povlakem z (Ti,Al)N₂. Vložení řezného nástroje je 25 mm, s vnitřním chlazením [19, 20].



Obr. 30 Řezný nástroj číslo 1-2.

III. Řezný nástroj číslo 1-3

Soustružnický závitový nůž vnitřní (viz obr. 31), označení těla R166.0KF-10E-11, označení VBD 11IRM 1.00 ISO. Materiál VBD je slinutý karbid s PVD povlakem z TiAlN. Vložení řezného nástroje je 25 mm, s vnitřním chlazením [17, 21, 22].



Obr. 31 Řezný nástroj číslo 1-3.

4.2 Obráběcí stroj

Stroje pro výrobu pístnice se nemění. Výroba tedy probíhá na CNC soustruhu (viz obr. 27) s podavačem (viz obr. 28), který je zmíněn v kapitole 3.3.

4.3 Výrobní postup

Nový výrobní postup (viz tab. 13 a tab. 14) se oproti původnímu liší pouze v použitých řezných nástrojích. Použitá technologie výroby i sled operací zůstává nezměněn.

Tab. 13 Výrobní postup pístnice A.

VUT v Brně, FSI, ÚST		VÝROBNÍ POSTUP	Název součásti: Pístnice A		Číslo výkresu: P_R-A-16
Datum: 21. 3. 2019		Vypracoval: Židlický Ondřej	Kontroloval: Kutálek David	Polotovary: TR Ø 16 x 1,5 x 1500	Materiál: X5CrNi18-10
Č. op./č. orient.	Stroj	Dílna	Popis práce:		Výrobní nástroje
1/1	1	Obrobna I	Soustružit vnitřní závit M14x1 v délce 6 mm		1-3
2/1	1	Obrobna I	Upnout do protivřetene		-
3/1	1	Obrobna I	Upichnout v délce L		-
4/1	1	Obrobna I	Soustružit vnitřní osazení na Ø14±0,1 v délce 1,9 mm		1-1
5/1	1	Obrobna I	Soustružit na čisto vnitřní osazení Ø14,4H7 v délce 2 mm		1-2
6/1	1	Obrobna I	Soustružit vnitřní závit M14x1 v délce 6 mm		1-3
7/1	-	Obrobna I	Kontrola rozměru 14,4H7 Kontrola závitu M14x1		0-4 0-6

Tab. 14 Výrobní postup pístnice B.

VUT v Brně, FSI, ÚST		VÝROBNÍ POSTUP	Název součásti: Pístnice B		Číslo výkresu: P_R-B-20
Datum: 21. 3. 2019		Vypracoval: Židlický Ondřej	Kontroloval: Kutálek David	Polotovar: TR Ø 20 x 1,5 x 2000	Materiál: X5CrNi18-10
Č. op./č. orient.	Stroj	Dílna	Popis práce:		Výrobní nástroje
1/1	1	Obrobna I	Soustružit vnitřní závit M18x1 v délce 6 mm		1-3
2/1	1	Obrobna I	Upnout do protivřetene		-
3/1	1	Obrobna I	Upichnout v délce L		-
4/1	1	Obrobna I	Soustružit vnitřní osazení na Ø18±0,1 v délce 2,4 mm		1-1
5/1	1	Obrobna I	Soustružit na čisto vnitřní osazení Ø18,4H7 v délce 2,5 mm		1-2
6/1	1	Obrobna I	Soustružit vnitřní závit M18x1 v délce 6 mm		1-3
7/1	-	Obrobna I	Kontrola rozměru 18,4H7 Kontrola závitu M18x1		0-5 0-7

Stejně jako u stávající výroby je první vyrobená pístnice z dané série zkontrolována pomocí kalibrů, a pokud rozměry splňují předepsanou toleranci, pracovník pustí automatizovanou výrobu. V opačném případě je potřeba proces upravit, vyrobit nový testovací kus, a znovu jej přezkontrolovat.

5 NÁVRH ZEFEKTIVNĚNÍ ŘEZNÝCH PODMÍNEK

Byly nastaveny nové řezné podmínky a jelikož jsou opět pro obě pístitnice obdobné, je uveden jen vzorový výpočet pístitnice B.

Vzorový výpočet nově navržených řezných podmínek pro pístitnici B:

Číslo operace 4/1

Zadané hodnoty:

- hrubování z výchozího průměru $d_0 = 17$ mm na průměr $D_{4/1} = 18$ mm,
- řezná rychlost $v_{c\ 4/1} = 200$ m · min⁻¹,
- posuv na otáčku $f_{4/1} = 0,1$ mm,
- šířka záběru ostří $a_{p\ 4/1} = 0,5$ mm.
- počet průchodů nástroje $i_{4/1} = 1$.

Vypočítané hodnoty:

Otáčky obrobku byly vypočteny podle vztahu [5] (3.1).

$$n_{4/1} = \frac{v_{c\ 4/1} \cdot 1\ 000}{\pi \cdot D_{4/1}} = \frac{200 \cdot 1\ 000}{\pi \cdot 18} = 3536,8 \text{ min}^{-1} \approx 3537 \text{ min}^{-1}$$

Dráha nástroje ve směru posuvu byla vypočítána podle vztahu [7] (3.2).

$$L_{4/1} = l_n + l + l_p = 5 + 2,5 + 3 = 10,5 \text{ mm}$$

Jednotkový strojní čas byl vypočítán podle vztahu [6] (3.3).

$$t_{as\ 4/1} = \frac{L_{4/1} \cdot i_{4/1}}{n_{4/1} \cdot f_{4/1}} = \frac{10,5 \cdot 1}{3537 \cdot 0,1} = 0,030 \text{ min} = 1,781 \text{ s}$$

Číslo operace 5/1

Zadané hodnoty:

- dokončování z výchozího průměru $D_{4/1} = 18$ mm na průměr $D_{5/1} = 18,4H7$,
- řezná rychlost $v_{c\ 5/1} = 200$ m · min⁻¹,
- posuv na otáčku $f_{5/1} = 0,08$ mm,
- šířka záběru ostří $a_{p\ 5/1} = 0,2$ mm,
- počet průchodů nástroje $i_{5/0} = 1$.

Vypočítané hodnoty:

Otáčky obrobku byly vypočteny podle vztahu (3.1).

$$n_{5/1} = \frac{v_{c\ 5/1} \cdot 1\ 000}{\pi \cdot D_{5/1}} = \frac{200 \cdot 1\ 000}{\pi \cdot 18,4} = 3459,9 \text{ min}^{-1} \approx 3460 \text{ min}^{-1}$$

Dráha nástroje ve směru posuvu byla vypočítána podle vztahu [6] (3.2).

$$L_{5/1} = l_n + l + l_p = 5 + 2,5 + 3 = 10,5 \text{ mm}$$

Jednotkový strojní čas byl vypočítán podle vztahu [6] (3.3).

$$t_{as\ 5/1} = \frac{L_{5/1} \cdot i_{5/1}}{n_{5/1} \cdot f_{5/1}} = \frac{10,5 \cdot 1}{3460 \cdot 0,08} = 0,038 \text{ min} = 2,276 \text{ s}$$

Číslo operace 1/1 a 6/1

Zadané hodnoty:

- soustružení vnitřního závitu M18x1,
- řezná rychlost $v_{c\ 1/1} = v_{c\ 6/1} = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
- posuv na otáčku $f_{1/1} = f_{6/1} = 1 \text{ mm}$,
- počet průchodů nástroje $i_{1/1} = i_{6/1} = 15$.

Vypočítané hodnoty:

Otáčky obrobku byly vypočteny podle vztahu (3.1).

$$n_{1/1} = n_{6/1} = \frac{v_{c\ 6/1} \cdot 1\ 000}{\pi \cdot D_{6/1}} = \frac{100 \cdot 1\ 000}{\pi \cdot 18} = 1768,4 \text{ min}^{-1} \approx 1768 \text{ min}^{-1}$$

Dráha nástroje ve směru posuvu byla vypočítána podle vztahu [7] (3.2).

$$L_{1/1} = L_{6/1} = l_n + l + l_p = 5 + 6 + 1 = 12 \text{ mm}$$

Jednotkový strojní čas byl vypočítán podle vztahu [7] (3.3).

$$t_{as\ 1/1} = t_{as\ 6/1} = \frac{L_{6/1} \cdot i_{6/1}}{n_{6/1} \cdot f_{6/1}} = \frac{12 \cdot 15}{1768 \cdot 1} = 0,102 \text{ min} = 6,109 \text{ s}$$

5.1 Výrobní návody

Operace z výrobního postupu, konkrétní řezné podmínky a jednotkové strojní časy jsou zrozsáány do výrobní návody pro pístnici A (viz tab. 15 a tab. 16) a do výrobní návody pro pístnici B (viz tab. 17 a tab. 18).

Tab. 15 Nová výrobní návodka 1/2 pístnice A.

VÝROBNÍ NÁVODKA						VUT v Brně, FSI, ÚST			
Název součásti: Pístnice A					Stroj: CNC soustruh				
Číslo operace	j	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	i [-]	L [mm]	t_{as} [min]	Řezný nástroj
1/1	1	100	2274	1	0,03	15	12	0,079	0-3
Σt_{as} [min]								0,079	
Datum: 21. 3. 2019		Vypracoval: Židlický Ondřej			Schválil: Kutálek David				

Tab. 16 Nová výrobní návodka 2/2 pístnice A.

VÝROBNÍ NÁVODKA						VUT v Brně, FSI, ÚST			
Název součásti: Pístnice A					Stroj: CNC soustruh				
Číslo operace	j	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	i [-]	L [mm]	t_{as} [min]	Řezný nástroj
4/1	1	200	4547	0,1	0,5	1	10	0,022	0-1
5/1	2	200	4421	0,08	0,2	1	10	0,028	0-2
6/1	3	100	2274	1	0,03	15	12	0,079	0-3
Σt_{as} [min]								0,129	
Datum: 21. 3. 2019		Vypracoval: Židlický Ondřej			Schválil: Kutálek David				

Tab. 17 Nová výrobní návodka 1/2 pístnice B.

VÝROBNÍ NÁVODKA						VUT v Brně, FSI, ÚST			
Název součásti: Pístnice B					Stroj: CNC soustruh				
Číslo operace	j	v_c	n	f	a_p	i	L	t_{as}	Řezný nástroj
		[m·min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[min]	
1/1	1	100	1768	1	0,03	15	12	0,102	0-3
Σt_{as} [min]								0,102	
Datum: 21. 3. 2019		Vypracoval: Židlický Ondřej			Schválil: Kutálek David				

Tab. 18 Nová výrobní návodka 2/2 pístnice B.

VÝROBNÍ NÁVODKA						VUT v Brně, FSI, ÚST			
Název součásti: Pístnice B					Stroj: CNC soustruh				
Číslo operace	j	v_c	n	f	a_p	i	L	t_{as}	Řezný nástroj
		[m·min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[min]	
4/1	1	200	3537	0,1	0,5	1	10,5	0,030	0-1
5/1	2	200	3460	0,08	0,2	1	10,5	0,038	0-2
6/1	3	100	1768	1	0,03	15	12	0,102	0-3
Σt_{as} [min]								0,170	
Datum: 21. 3. 2019		Vypracoval: Židlický Ondřej			Schválil: Kutálek David				

6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole je zhodnocen a porovnán stávající a inovovaný způsob výroby.

6.1 Zhodnocení stávajícího a inovovaného způsobu výroby

Po změně řezných nástrojů a úpravě řezných podmínek došlo ke snížení celkového jednotkového strojního času přibližně o 16 % u obou vyráběných pístnic (viz tab. 19). Časy uvedené v tab. 19 jsou součtem jednotkových strojních časů každé operace, která je uvedena ve výrobní návodce.

Tab. 19 Zhodnocení jednotkových strojních časů.

Celkový jednotkový strojní čas [min]	Stávající způsob výroby		Inovovaný způsob výroby	
	Pístnice A	Pístnice B	Pístnice A	Pístnice B
	0,248	0,325	0,208	0,272

Při obrábění pístnic nově zvolenými řeznými nástroji, byla zjištěna vyšší trvanlivost řezných nástrojů (viz tab. 20). U hrubovací VBD CCMT 060204-MF 1105 se trvanlivost zvýšila o 200 % a u dokončovací VBD TCMT 090202-MF 1105 se trvanlivost zvýšila oproti původní VBD CCMT 060204-MM 2015 přibližně o 2100 %.

Tab. 20 Zhodnocení trvanlivosti jednoho břitu VBD vztažené na počet obrobených kusů.

Trvanlivost jednoho břitu VBD vztažená na počet obrobených kusů pístnice [ks]	Stávající způsob výroby		Inovovaný způsob výroby	
	Hrubovací VBD	Dokončovací VBD	Hrubovací VBD	Dokončovací VBD
	250	25	750	550

Podle vztahu (6.1) je celková trvanlivost jednoho břitu VBD vztažená na počet obrobených kusů pístnice přepočítána na trvanlivost v minutách. Počítá se, že jeden břit dokončovací VBD obrobil 550 kusů pístnice B, pro niž je také uveden vzorový výpočet.

$$T = \frac{l \cdot i}{n \cdot f} \cdot N \text{ [min]} \quad (6.1)$$

kde:

- T ... trvanlivost jednoho břitu řezného nástroje [min],
- l ... délka soustružené plochy [mm],
- i ... počet průchodů řezného nástroje [ks],
- n ... otáčky obrobku [min^{-1}],
- f ... posuv na otáčku [mm],
- N ... počet obrobených kusů [ks].

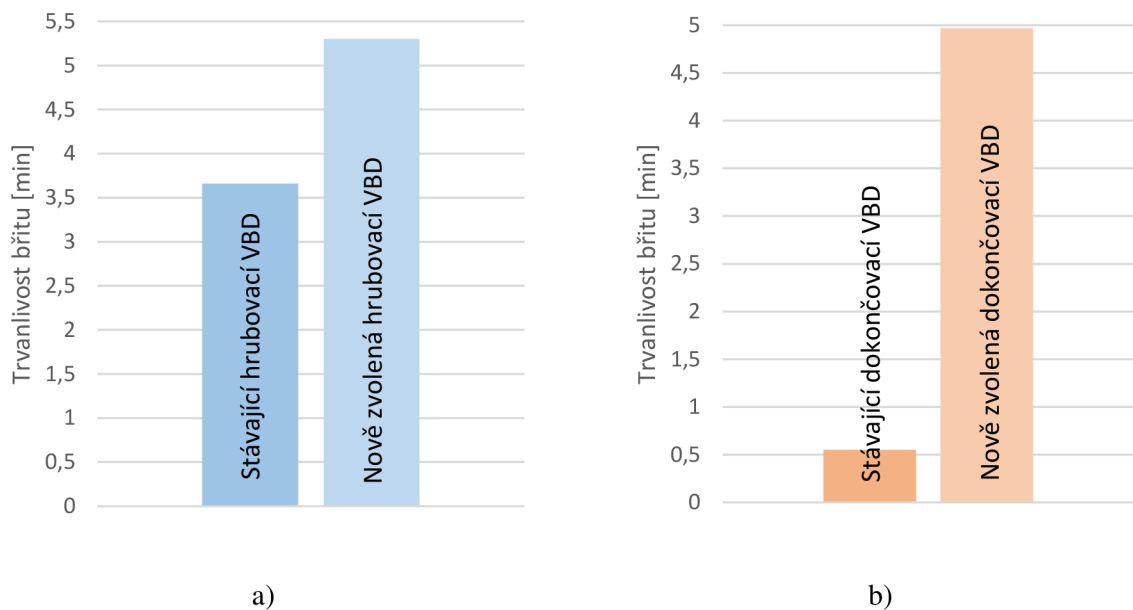
$$T_{5/1} = \frac{l_{5/1} \cdot i_{5/1}}{n_{5/1} \cdot f_{5/1}} \cdot N = \frac{2,5 \cdot 1}{3460 \cdot 0,08} \cdot 550 = 4,97 \text{ min}$$

Celková trvanlivost jednoho břítu pro hrubovací a dokončovací operace je uvedena v tab. 21.

Tab. 21 Zhodnocení trvanlivosti jednoho břítu VBD.

Trvanlivost jednoho břítu VBD [min]	Stávající způsob výroby		Inovovaný způsob výroby	
	Hrubovací VBD	Dokončovací VBD	Hrubovací VBD	Dokončovací VBD
	3,66	0,55	5,3	4,97

Zvýšení trvanlivosti jednoho břítu VBD je z tab. 21 nejvíce patrné u dokončovacího řezného nástroje, u kterého se trvanlivost navýšila přibližně o 804 %, kdežto u hrubovacího řezného nástroje se trvanlivost navýšila cca o 45 %. Porovnání trvanlivostí hrubovacích a dokončovacích břitových destiček mezi sebou je graficky znázorněno na obr. 32.



Obr. 32 Srovnání trvanlivostí VBD. a) srovnání hrubovacích VBD, b) srovnání dokončovacích VBD.

Celková životnost VBD, která je definována jako součet všech trvanlivostí, je dána vztahem [5] (6.2). Opět je proveden vzorový výpočet pro nově zvolenou dokončovací VBD.

$$Z = p \cdot \sum_{1}^{n} T_i \text{ [min]} \quad (6.2)$$

kde:

- Z ... životnost VBD [min],
- p ... počet stran VBD [-],
- T_i ... trvanlivost jednoho břítu VBD [min],
- n ... počet využitelných břitů na jedné straně VBD [-].

$$Z_{5/1} = p_{5/1} \cdot \sum_{1}^{n_{5/1}} T_{5/1} = 1 \cdot \sum_{1}^{3} 4,97 = 1 \cdot (3 \cdot 4,97) = 14,91 \text{ min}$$

Celková životnost jednotlivých VBD je uvedena v tab. 22.

Tab. 22 Zhodnocení životnosti VBD nástroje.

Životnost vyměnitelné břitové destičky nástroje [min]	Stávající způsob výroby		Inovovaný způsob výroby	
	Hrubovací VBD	Dokončovací VBD	Hrubovací VBD	Dokončovací VBD
	7,32	1,1	10,6	14,91

Z tab. 22 je patrné, že životnost hrubovací VBD se zvýšila přibližně o 45 % a u dokončovací VBD se životnost zvýšila přibližně o 1256 %.

6.2 Časové a finanční úspory

Veškeré úspory, jsou počítány na dobu dvou let. Jelikož je průměrný počet vyrobených pístnic stanoven na cca 300 kusů za měsíc, očekává se, že se do dvou let vyrobí přibližně 7200 kusů pístnic.

6.2.1 Úspora nákladů na řezných nástrojích

Vzhledem k nízké trvanlivosti původní dokončovací VBD a předpokladu, že jsou úspory počítány na dva roky, očekává se velké množství VBD, které budou zapotřebí k obrobení přibližně 7200 kusů. Vzorový výpočet pro potřebný počet VBD je dán vztahem (6.3).

$$N_c = \frac{N_{2r}}{T_i \cdot n \cdot p} [ks] \quad (6.3)$$

kde:

- N_c ... celkový počet VBD [ks],
- N_{2r} ... počet vyrobených kusů za dva roky [ks],
- p ... počet stran VBD [-],
- T_i ... trvanlivost jednoho bříty VBD [min],
- n ... počet využitelných břitů na jedné straně VBD [-].

$$N_{c\ 5/1} = \frac{N_{2r}}{T_{5/1} \cdot n_{5/1} \cdot p_{5/1}} = \frac{7200}{550 \cdot 3 \cdot 1} = 4,36\ ks \rightarrow 5\ ks$$

Celkový počet VBD, které jsou potřeba na obrobení 7200 kusů je uveden v tab. 23.

Tab. 23 Celkový počet potřebných VBD.

Celkový počet potřebných VBD [ks]	Stávající způsob výroby		Inovovaný způsob výroby	
	Hrubovací VBD	Dokončovací VBD	Hrubovací VBD	Dokončovací VBD
	15	144	5	5

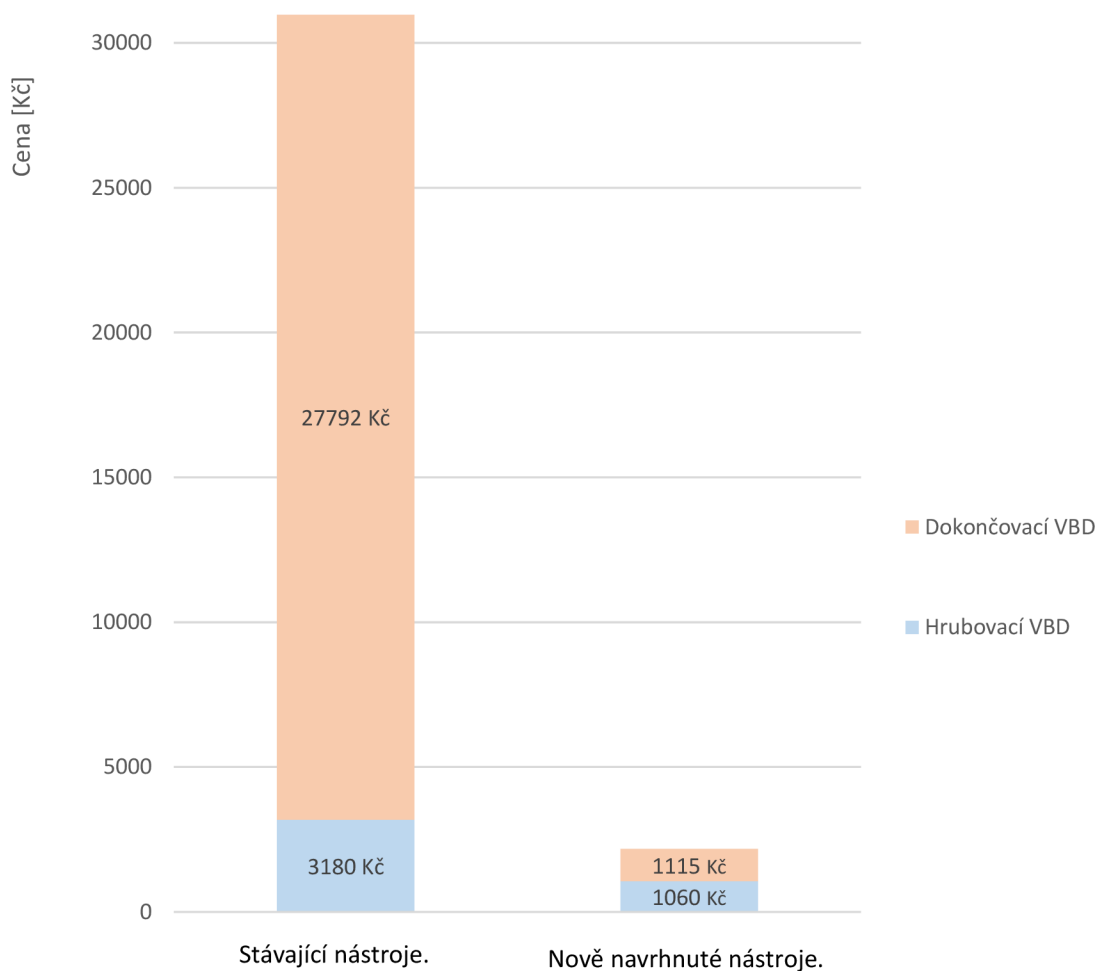
Z tab. 23 je patrné, že celkový potřebný počet hrubovacích VBD se snížil cca o 67 % a celkový potřebný počet dokončovacích VBD se snížil přibližně o 97 %.

Katalogové ceny jednotlivých VBD jsou uvedeny v tab. 24, stejně tak jako cena za všechny potřebné VBD za dobu dvou let [13, 14, 18, 20].

Tab. 24 Ceník VBD [13, 14, 18, 20].

Označení VBD	Popis	Cena za kus [Kč/ks]	Cena celkem [Kč]
CCMT 060204-MF 1115	Stávající hrubovací VBD	212	3 180
CCMT 060204-MM 2015	Stávající dokončovací VBD	193	27 792
Cena za všechny stávající VBD [Kč]			30 972
CCMT 060204-MF 1105	Nově zvolená hrubovací VBD	212	1 060
TCMT 060202-MF 1105	Nově zvolená dokončovací VBD	223	1 115
Cena za všechny nově zvolené VBD [Kč]			2 175

Náklady na potřebné nově zvolené řezné nástroje jsou přibližně o 93 % menší, než náklady na stávající řezné nástroje (viz tab. 24 a obr. 33).



Obr. 33 Grafické znázornění finančních úspor na řezných nástrojích za dva roky.

6.2.2 Úspora času na výměnu řezných nástrojů

Jelikož se jednotkový strojní čas snížil jen v řádu sekund (o 16 %), počet potřebných hrubovacích VBD se snížil o 67 % a počet potřebných dokončovacích VBD se snížil o 97 %, je mnohem výraznější úspora času na výměnu řezných nástrojů.

Po výměně nebo otočení VBD dochází vždy k obrobení zkušebnímu kusu a k jeho přeměření. Čas na výměnu VBD, obrobení zkušebnímu kusu a jeho změření je stanoven na 5,5 min. Potřebný čas na výměnu všech nově zvolených dokončovacích VBD za dva roky je dán vztahem (6.4).

$$T_N = N_c \cdot n \cdot p \cdot T_{N1} \text{ [min]} \quad (6.4)$$

kde:

- T_N ... celkový čas na výměnu všech VBD [min],
- N_c ... celkový počet VBD [ks],
- p ... počet stran VBD [-],
- n ... počet využitelných břitů na jedné straně VBD [-],
- T_{N1} ... čas na výměnu jedné VBD [min].

$$T_{N\ 5/1} = N_{c\ 5/1} \cdot n_{5/1} \cdot p_{5/1} \cdot T_{N1} = 5 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 5,5 = 82,5 \text{ min}$$

Časy na výměnu jednotlivých VBD jsou uvedeny v tab. 25.

Tab. 25 Čas na výměnu všech VBD za dva roky.

Celkový čas na výměnu všech VBD za dva roky [min]	Stávající způsob výroby		Inovovaný způsob výroby	
	Hrubovací VBD	Dokončovací VBD	Hrubovací VBD	Dokončovací VBD
	165	1584	55	83

Časová úspora, tj. rozdíl mezi celkovým časem na výměnu všech stávajících hrubovacích VBD a nově zvolených, je za dva roky přibližně 110 min (cca 1 hod a 50 min). Z tab. 25 je patrné, že největší časová úspora na výměnu řezného nástroje je u dokončovacích VBD, která činí 1501,5 min (cca 25 hod).

6.2.3 Úspora času na ručním odstraňování třísek po soustružení vnitřního závitu

Vhodnou kombinací nástroje s vnitřním chlazením a VBD s utvařečem třísky se podařilo eliminovat problém s nevhodně se utvářející třískou, která se namotávala na řezný nástroj nebo zůstávala viset z obrobku. Jelikož byl tento problém eliminován, byl eliminován také čas potřebný na ruční odstranění třísek, který byl stanoven na 0,5 min. Časová úspora, tedy čas na ruční odstranění třísek je dán vztahem (6.5).

$$T_{ROT} = 0,5 \cdot N_{2r} \text{ [min]} \quad (6.4)$$

kde:

- T_{ROT} ... celkový čas na ruční odstranění třísek [min],
- N_{2r} ... počet vyrobených kusů za dva roky [ks].

$$T_{ROT} = 0,5 \cdot N_{2r} = 0,5 \cdot 7200 = 3600 \text{ min}$$

Ušetřený čas na ručním odstraňování třísek po soustružení závitu je 60 hod za dva roky.

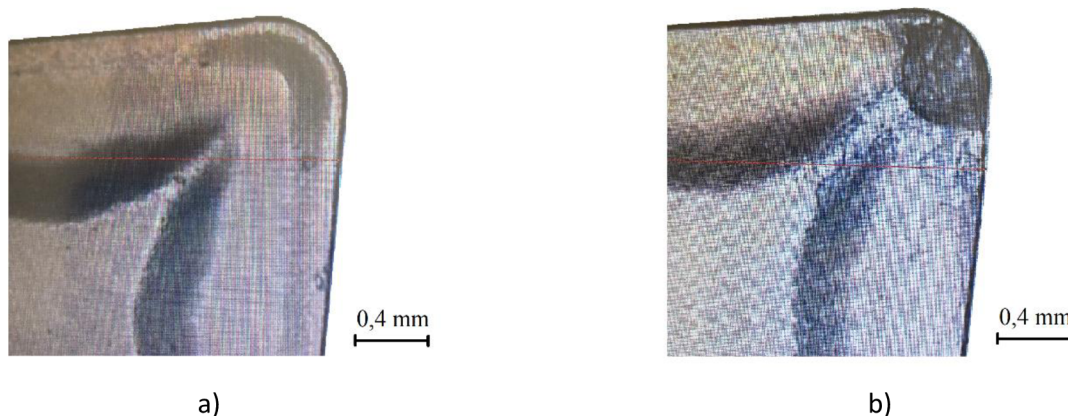
6.3 Zhodnocení opotřebení

Obě dokončovací VBD (viz obr. 34) byly z procesu obrábění odebrány vždy poté, kdy vyrobený kus nesplňoval požadované tolerance, nebo došlo k destrukci VBD a bylo vyhodnoceno jejich opotřebení.



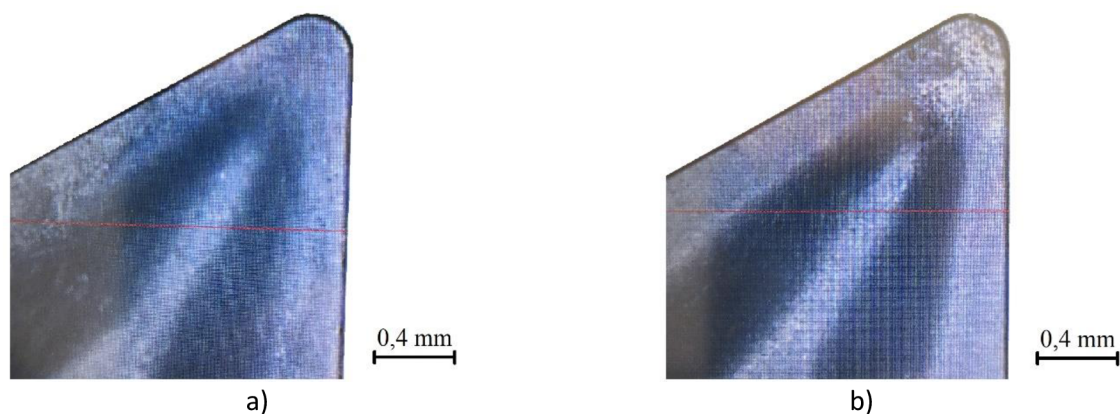
Obr. 34 Dokončovací VBD. a) původní, b) nově navržená.

Při dokončovací operaci stávající VBD CCMT 060204-MM 2015 došlo po obrobení přibližně 25 kusů ke křehkému lomu, kdy se vylomila špička VBD (viz obr. 35). Křehký lom byl pravděpodobně způsoben vysokým mechanickým zatížením a nevhodně zvolenými řeznými podmínkami, díky čemuž docházelo k adhezivnímu otěru a k opakovanému vytváření nárůstků, které měly na svědomí vylomení špičky VBD. Vzhledem k velikosti opotřebení bylo zapotřebí VBD otočit nebo vyměnit.



Obr. 35 Srovnání opotřebení původní VBD. a) nepoužitá, b) opotřebovaná.

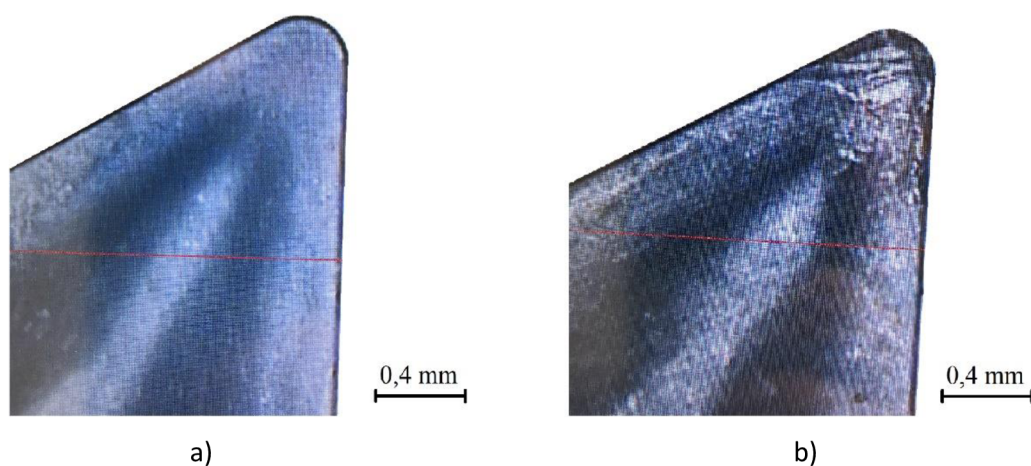
Opotřebení nově zvolené dokončovací VBD TCMT 060202-MF 1105 bylo vyhodnoceno po obrobení přibližně 70 kusů (viz obr. 36), kdy poslední vyrobená pístnice nesplňovala požadované výrobní tolerance. Na VBD nebyly známky většího opotřebení. Vlivem abrazivního otěru na hřbetě nástroje došlo k „odbroušení“ části břitu, což způsobilo vyrobení zmetkové součásti.



Obr. 36 Srovnání opotřebení nově navržené VBD. a) nepoužitá, b) použitá.

Po obrobení přibližně 70 kusů pístnic byla upravena korekce řezného nástroje a byl vyroben testovací kus, který splňoval požadované tolerance. Následovalo obrábění dalších pístnic až do doby, kdy vyrobená pístnice opět nespĺňovala požadované tolerance a muselo dojít k úpravě korekcí řezného nástroje.

Po obrobení cca 550 kusů nově navrhnoutou VBD bylo zjištěno vylomení špičky VBD (viz obr. 37). Lom mohl být způsoben vysokým mechanickým zatížením a během obrábění byla zaznamenána tvorba nárůstku v důsledku adhezivního otěru obráběného materiálu o řezný nástroj.



Obr. 37 Srovnání opotřebení nově navržené VBD. a) nepoužitá, b) opotřebovaná.

Vzhledem k velikosti opotřebení bylo zapotřebí VBD po obrobení 550 kusů otočit nebo vyměnit.

7 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Návrh na zefektivnění procesu obrábění specifických komponent pneumatických válců, který je popsán v předchozích kapitolách je jen jednou z mnoha variant, jak dosáhnout požadovaných cílů, jakými jsou např. zvýšení trvanlivosti řezných nástrojů. I přestože jednotlivé řezné nástroje, řezné podmínky i technologické postupy byly konzultovány a schváleny, lze vždy navrhnout jinou kombinaci jednotlivých parametrů, která vede k lepším nebo horším výsledkům.

7.1 Hrubovací operace

Změna třídy substrátu břitové destičky na jemnější zrna karbidu wolframu měla vést ke zvýšení trvanlivosti VBD. Během obrábění byla zjištěna vyšší odolnost proti abrazivnímu opotřebení a došlo k navýšení trvanlivosti hrubovacího řezného nástroje z 3,66 min na 5,3 min. Snížení počtu průjezdů řezného nástroje ze dvou na jeden rovněž přispělo ke zvýšení trvanlivosti VBD, protože se snížila doba, kdy byl řezný nástroj v řezu.

S ohledem na malé množství odebíraného materiálu při hrubování je možné zvolit jiný tvar VBD. Pokud by byla zvolena např. trojúhelníková VBD, snížil by se celkový počet VBD potřebných k obrobění požadovaného počtu kusů. Vhodnou volbou materiálu a třídy VBD a jejího povlaku lze volit vyšší řeznou rychlost a posuv na otáčku, čímž dojde ke snížení výrobního času.

7.2 Dokončovací operace

U dokončovací operace byl vkládán největší potenciál do nové volby geometrie VBD, menšího rádiusu špičky, a především do PVD povlaku. Správnost volby byla potvrzena poté, co se trvanlivost dokončovací VBD zvýšila z 0,55 min na 4,97 min. Změna řezných podmínek také přispěla ke zvýšení trvanlivosti VBD, protože již nedochází k tak enormnímu vzniku nárůstku. I přes zvýšení trvanlivosti řezného nástroje byl očekáván lepší výsledek, neboť po obrobění přibližně 70 kusů je zapotřebí upravit korekce řezného nástroje tak, aby vyrobené pístnice splňovaly požadované tolerance.

V případě dokončovací operace hraje velkou roli správně zvolený materiál řezného nástroje. Vzhledem k plynulému řezu, při kterém nedochází k žádným rázům, jsou možnou variantou řezného nástroje z cermetu. Tyto řezné nástroje mají vyšší odolnost vůči otěru a menší tendenci kulpívání materiálu obrobku na břitu. Jejich vlastnosti se dají ještě lépe zlepšovat pomocí CVD nebo PVD povlaku. [23]

7.3 Řezání závitů

U soustružení vnitřního závitu bylo snahou lépe kontrolovat odvod třísky z místa řezu. Jelikož byl stávající řezný nástroj bez vnitřního chlazení, byly možnosti kontroly odvodu třísky omezeny a zároveň docházelo k většímu opotřebení VBD. Nově navržený řezný nástroj s vnitřním chlazením v kombinaci s VBD s utvařečem třísky spolehlivě odvádí vznikající třísky z místa řezu a nenastává situace, kdy by se třísky namotaly na řezný nástroj nebo zůstaly viset z obrobku.

Možné varianty jsou s ohledem na nedostatek prostoru pro řezný nástroj uvnitř obrobku omezené, avšak lze použít i jiný typ VBD. K dosažení lepších výsledků by mohl přispět rovněž vysokotlaký ostřík řezného nástroje, který by lépe odváděl vznikající třísku a přispěl by ke zvýšení trvanlivosti VBD. Zásadní vliv na utváření třísky při soustružení vnitřního závitu má i samotný závitový cyklus. V cyklu je možné nastavit, zdali řezný nástroj bude odebírat konstantní tloušťku třísky či nikoli, nebo jestli bude do řezu najíždět středem, jedním směrem po hraně závitu, anebo bude VBD střídat levou a pravou stranu.

7.4 Obráběcí stroj

Jedním z hlavních parametrů, který může omezovat možnosti obrábění, je samotný obráběcí stroj. Pokud by bylo možné zvolit výkonnější obráběcí stroj, mohly by se zvolit i vyšší řezné podmínky a celý proces by byl urychlen.

Dalším důležitým faktorem je chod obráběcího stroje. Jelikož se v tomto případě jedná o jednosměnný provoz, tak stroj není trvale zahřátý na provozní teplotu. Před obráběním pístnic s tolerovanými rozměry je zapotřebí obráběcí stroj vždy zahřát na provozní teplotu, aby se eliminovaly výrobní chyby a tolerance. Tomuto problému se dá předejít např. vyhříváním obráběcího stroje nebo zavedením více směnného provozu.

7.5 Obráběcí proces

Výrobní proces je nastavený tak, že operátor výroby obsluhuje dva obráběcí stroje, avšak s původním nastavením bylo zapotřebí neustálé přítomnosti operátora výroby u obráběcího stroje, kde byly vyráběny pístnice. Zvýšením trvanlivosti řezných nástrojů, snížením vedlejších časů a odstraněním problému s nevhodně utvářející se třískou u soustružení vnitřního závitu se celý výrobní proces zefektivní a operátor výroby je opět schopný obsluhovat dva obráběcí stroje.

ZÁVĚR

Výsledkem diplomové práce je splnění požadavků společnosti SMC Industrial Automation CZ s.r.o. Pomocí vhodné volby řezných nástrojů a řezných podmínek došlo ke zvýšení trvanlivosti vyměnitelných břitových destiček, snížení hlavních i vedlejších časů, snížení nákladů na řezné nástroje, a tím i k zefektivnění celého procesu obrábění specifických komponent pneumatikých válců. Celý proces je popsán od rozboru stávajícího způsobu výroby, přes volbu nových řezných nástrojů a řezných podmínek až po zhodnocení inovovaného způsobu výroby. Poslední kapitola se zabývá diskusí výsledků a možnými variantami, které nejsou v práci z různých důvodů uvedeny.

Zefektivnění procesu obrábění specifických komponent pneumatikých válců lze shrnout těmito body:

- zvýšení trvanlivosti hrubovacího řezného nástroje o 45 %,
- zvýšení počtu obrobeneých kusů jedním břitem hrubovací VBD o 200 %,
- zvýšení trvanlivosti dokončovacího řezného nástroje o 804 %,
- zvýšení počtu obrobeneých kusů jedním břitem dokončovací VBD o 2100 %,
- zvýšení počtu obrobeneých kusů bez zásahu operátora z jednoho na 70 kusů,
- zefektivnění práce operátorů výroby (jeden operátor obsluhuje dva stroje),
- snížení nákladů na řezné nástroje o 93 % za dva roky,
- snížení času na výměnu hrubovacího řezného nástroje přibližně o 67 % za dva roky,
- snížení času na výměnu dokončovacího řezného nástroje přibližně o 95 % za dva roky,
- odstranění problému s utvářením třísky po soustružení vnitřního závitu,
- snížení času na ruční odstraňování třísek po řezání závitu o 100 %.

Vzhledem k tomu, že existuje nespočet možností, jak celý proces obrábění zefektivnit, nejedná se o konečné řešení, ale spíše o dobrou zkušenost, a především další krok k lepším výsledkům, které jsou do budoucna očekávány.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Profil společnosti SMC. *SMC Expertise - Passion - Automation* [online]. SMC Corporation, c2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://www.smc.eu/portal_ssl/webpages/04_news_events/press_room/company_profile/company_profile.jsp
2. SMC Výrobní závod ve Vyškově. *SMC Expertise - Passion - Automation* [online]. SMC Corporation, c2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://www.smc.eu/portal_ssl/webpages/00_local/cee/about_us/vyskov_factory.jsp
3. *Základy průmyslové automatizace (4. vydání) 1. tisk.* Hudcova 78a, CZ-61200 Brno, Česká republika, 2019.
4. HAMMER, Miloš. *Elektrotechnika a elektronika: přednášky.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-3334-5.
5. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
6. MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů.* 3. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016-. ISBN 978-80-248-3936-3.
7. HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část* [online]. Brno, 2003 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
8. *GARANT příručka obrábění,* 2013. ISBN 3-00-016882-6.
9. *Training Handbook: Metal Cutting Technology* [online]. Sandviken: AB Sandvik Coromant, 2017 [cit. 2019-04-11]. C-2920:40 en-GB. Dostupné z: http://sandvik.ecbook.se/se/en/training_handbook/
10. *Experimentální metody.* Brno, 2003. Syllabus pro magisterský studijní program. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Prof.Ing.Milan Forejt, CSc. Doc.Ing.Anton Humár,CSc. Doc.Ing.Miroslav Piška, CSc. Dr.Ing.Libor Janíček.
11. Bolzano | X5CrNi18-10 (1.4301) austenitické. *Bolzano* [online]. Kladno: Bohdan Bolzano, c2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobyky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobyky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crni18-10-austeniticke>
12. A10K-SCLCR 06. *Sandvik Coromant* [online]. Sandviken: Sandvik Coromant, c2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=A10K-SCLCR%2006>
13. CCMT 06 02 04-MF 1115. *Sandvik Coromant* [online]. Sandviken: Sandvik Coromant, c2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=CCMT%2006%2002%2004-MF%20%20%20%201115>
14. CCMT 060204-MM 2015. *Sandvik Coromant* [online]. Sandviken: Sandvik Coromant, c2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=CCMT%2006%2002%2004-MM%20%20%20%202015>
15. ISCAR Cutting Tools - Metal Working Tools - SIR/L : 3800098 - SIR 0010 K11. *ISCAR Cutting Tools* [online]. Migdal: ISCAR Cutting Tools, c2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=3800098&fnum=391&mapp=TH&GFSTYP=M&srch=1&lang=WZ>

16. ISCAR Cutting Tools - Metal Working Tools - IR/L-60° : 5901906 - 11IR A 60. *ISCAR Cutting Tools* [online]. Migdal: ISCAR Cutting Tools, c2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=5901906&fnum=257&mapp=ML&lang=WZ&GFSTYP=M>
17. ISCAR Cutting Tools - Metal Working Tools - Jakost : IC908. *ISCAR Cutting Tools* [online]. Migdal: ISCAR Cutting Tools, c2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Grade.aspx?grade=IC908&item=5921233&fnum=265&mapp=TH&app=0>
18. CCMT 060204-MF 1105. *Sandvik Coromant* [online]. Sandviken: Sandvik Coromant, c2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=CCMT%2006%2002%2004-MF%20%20%20%201105>
19. A10K-STFCR 09-R. *Sandvik Coromant* [online]. Sandviken: Sandvik Coromant, c2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=A10K-STFCR%2009-R>
20. TCMT 090202-MF 1105. *Sandvik Coromant* [online]. Sandviken: Sandvik Coromant, c2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=TCMT%2009%2002%2002-MF%20%20%20%201105>
21. ISCAR Cutting Tools - Metal Working Tools - IR/L-ISO : 5921233 - 11IRM 1.00 ISO. *ISCAR Cutting Tools* [online]. Migdal: ISCAR Cutting Tools, c2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=5921233&fnum=265&mapp=TH&app=0&GFSTYP=M&isoD=1>
22. R166.0KF-10E-11. *Sandvik Coromant* [online]. Sandviken: Sandvik Coromant, c2019 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=r166.0kf-10e-11>
23. *MM. Průmyslové spektrum*. 2016, **2016**(4). ISSN 1212-2572.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

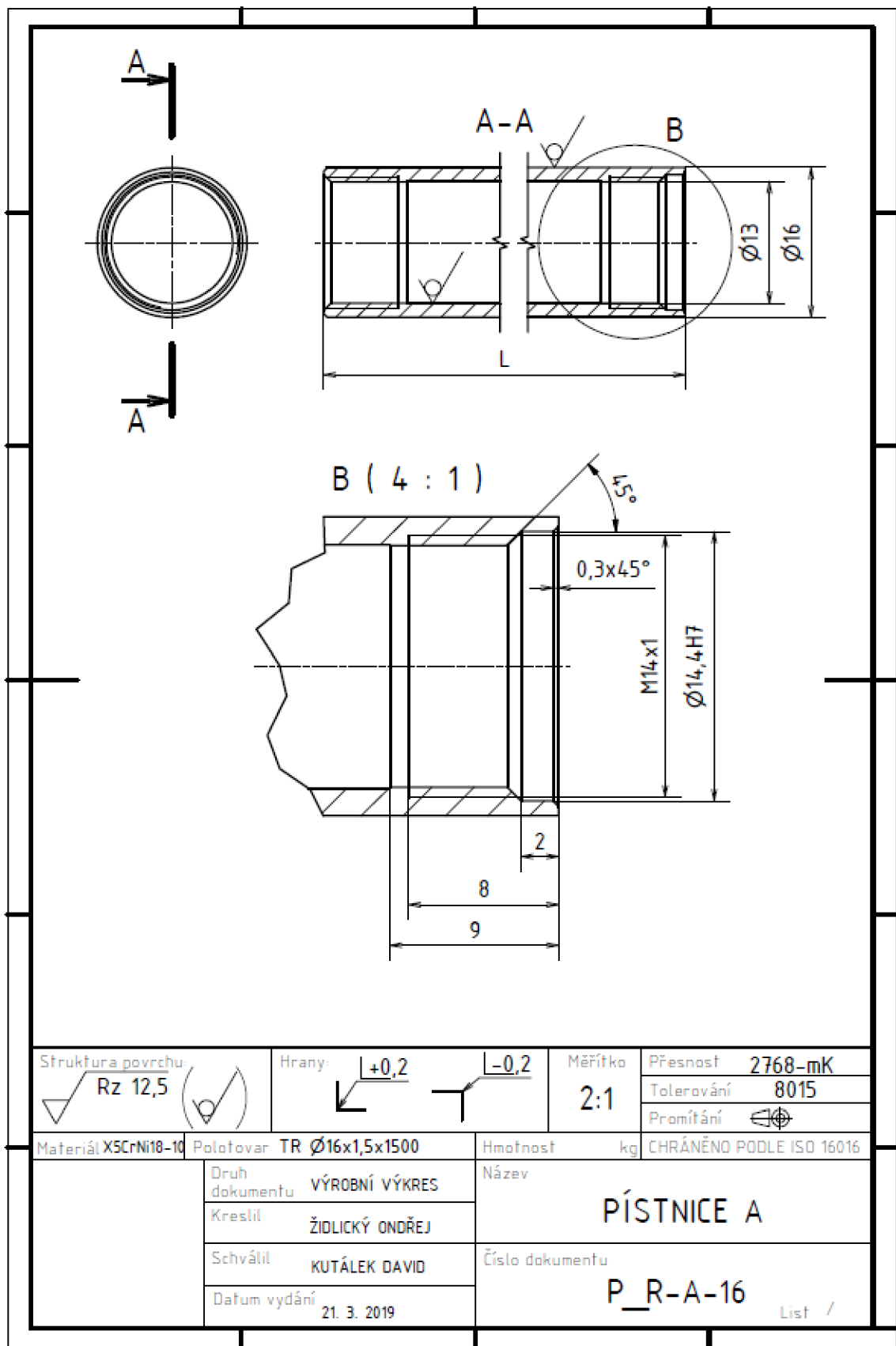
Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A ₅	%	tažnost
Al	-	hliník
C	-	uhlík
CNC	-	Computer Numeric Control
Co	-	kobalt
Cr	-	chrom
CVD	-	Chemical Vapor Deposition
ČSN	-	Česká státní norma
D	mm	vnější průměr nástroje, polotovaru, obrobku
HB	-	Brinell Hardness – zkouška tvrdosti podle Brinella
KT	mm	hloubka výmolu na čele
KV _y	mm	radiální opotřebení špičky nástroje
L	mm	dráha nástroje ve směru posuvu
Mn	-	mangan
Mo	-	molybden
N	-	dusík
N	-	počet obrobků
N _c	ks	celkový počet vyměnitelných břitových destiček
Ni	-	nikl
N _{2r}	ks	počet vyrobených kusů za dva roky
O	-	oxid
P	-	fosfor
P	kW	příkon stroje
PVD	-	Physical Vapour Deposition
Re	MPa	mez kluzu
Rm	MPa	mez pevnosti
Rp	MPa	mez kluzu
T	min	trvanlivost jednoho břitu nástroje
Ti	-	titan
T _N	min	celkový čas na výměnu všech břitových destiček
T _{N1}	min	čas na výměnu jedné vyměnitelné břitové destičky
T _{ROT}	min	celkový čas na ruční odstranění třísek
S	-	sýra
Si	-	křemík
SK	-	slinutý karbid
V	-	vanad
VB	mm	šířka fazety opotřebení na hřbetě
VBD	-	vyměnitelná břitová destička
Z	min	životnost vyměnitelné břitové destičky nástroje
ap	mm	šířka záběru ostří
f	mm	posuv na otáčku
i	-	počet průchodů nástroje
j	-	úsek
l	mm	délka obráběné plochy
ln	mm	délka náběhu
lp	mm	délka přeběhu
n	min ⁻¹	otáčky nástroje, obrobku
n	-	počet využitelných břitů na jedné straně destičky

např.	-	například
p	-	počet stran břitové destičky
t_{AS}	min	jednotkový strojní čas
tASC	min	celkový strojní čas
v_c	$m \cdot min^{-1}$	řezná rychlost
v_e	$m \cdot min^{-1}$	výsledná rychlost řezného pohybu
v_f	$mm \cdot min^{-1}$	posuvová rychlost

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres pístnice A.
- Příloha 2 Výkres pístnice B.

PŘÍLOHA 1: Výkres pístnice A.



PŘÍLOHA 2: Výkres pístitnice B.

