

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Optimalizace předúpravy povrchu pístních kroužků před chromováním

Autor: **Petr Šafařík**

Vedoucí práce: **Ing. Ondřej Chocholatý, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Šafařík	Jméno Petr	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Chocholatý, Ph.D.	Jméno Ondřej	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KMM		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Optimalizace předúpravy povrchu pístních kroužků před chromováním		

FAKULTA	strojí	KATEDRA	KMM	ROK ODEVZD.	2015
----------------	--------	----------------	-----	------------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	54	TEXTOVÁ ČÁST	48	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato bakalářská práce je zaměřena na optimalizaci povrchové úpravy pístních kroužků před nanesením chromu. Popisuje vývoj pístních kroužků, jejich povrchové úpravy, princip chromování a požadavky na ně kladené. Na vzorcích pístních kroužků autor experimentálně zjišťuje optimální úpravu povrchu před finálním pochromováním.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Pístní kroužek, tryskání, moření, povrchová úprava, opotřebení materiálu, zkoušky materiálu, chromování.</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Šafařík	Name Petr	
FIELD OF STUDY	2301R016 „Materials Engineering and Engineering Metallurgy”		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Chocholatý, Ph.D.	Name Ondřej	
INSTITUTION	ZČU - FST - KMM		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Optimization of piston rings for surface preparation prior to chrome		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2015
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	54	TEXT PART	48	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor thesis is focused on optimizing the surface treatment of piston rings before applying chromium. It describes the evolution of piston rings, their finishes, chrome principles and requirements placed on them. The samples piston rings author experimentally determined the optimum surface treatment prior to final deposition of chromium.
KEY WORDS	Piston ring, blasting, pickling, coating, wear material, material testing, chromium.

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: **2014/2015**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr ŠAFAŘÍK**
Osobní číslo: **S14B0033K**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie**
Název tématu: **Optimalizace předúpravy povrchu pístních kroužků před chromováním**
Zadávací katedra: **Katedra materiálů a strojírenské metalurgie**

Zásady pro vypracování:

1. Povrchové úpravy pístních kroužků
2. Chromování, obecně, základní principy, adheze povlaku k základnímu materiálu
3. Předúprava povrchu před chromováním
4. Metody hodnocení povrchu výrobku
5. Návrh řešení + ověření v průmyslovém provozu
6. Diskuze výsledků
7. Závěr

Poděkování

Úvodem bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřejovi Chocholatému, Ph.D., za trpělivé vedení a cenné odborné rady. Poděkování také patří pracovníkům Slévárny Plzeň s.r.o. a dále mé rodině, která mě ve všem podporovala a byla velkou oporou po dobu studia.

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni, dne:

.....

podpis autora

Obsah

Obsah.....	1
Úvod.....	3
1 Úvod do pístních kroužků spalovacích motorů	4
1.1 Požadavky na pístní kroužky:.....	4
1.2 Tvary nejběžnějších pístních kroužků	6
2 Síly působící na kroužek.....	7
3 Materiál pístních kroužků	8
4 Předúprava povrchu před chromováním	9
4.1 Tryskání.....	9
4.2 Korund – chemické složení	10
4.3 Balatonin (ocelové mikro kuličky) – chemické složení	11
4.4 Ocelová drť – chemické složení	11
4.5 Moření	11
5 Povrchové úpravy pístních kroužků.....	13
6 Opotřebení	15
6.1 Abrazivní opotřebení	15
6.2 Adhezivní opotřebení	16
6.3 Korozní opotřebení	16
6.4 Únavové opotřebení.....	16
6.5 Vibrační opotřebení	17
6.6 Erozní opotřebení	17
6.7 Opotřebení kavitací.....	17
7 Chromování	18
7.1 Vylučování galvanického chromu	18
7.2 Druhy chromování.....	18
7.3 Chromování pístních kroužků	18
7.4 Proces chromování	19
8 Metody hodnocení povrchu pístního kroužku.....	20
8.1 Měření zbytkového napětí	20
8.2 Měření tvrdosti	21
8.3 Měření jakosti povrchu	23
8.4 Adheze povlaku k základnímu materiálu	24

8.5	Impact test.....	25
8.6	Motorové zkoušky	25
9	Experimentální část – bez čísla pokud možno	26
9.1	Vzorky	26
10	Návrh řešení a ověření	30
10.1	Experimentální tryskání s ověřením v průmyslu	30
11	Experimentální moření	34
12	Diskuze výsledků	43
13	Závěr.....	44
14	Použité zdroje	45
	Seznam obrázků	46
	Seznam tabulek.....	48

Úvod

Tématem této bakalářské práce je optimalizace předúprav povrchu stíracích pístních kroužků spalovacích motorů před chromováním, se zaměřením na automobilový průmysl. Automobil je v dnešní době standardní věc pro každého podobně jako telefon. Automobilový průmysl, je průkopníkem nejmodernějších technologií.

Již během druhé světové války začalo být hojně využíváno tvrdé chromování. Průkopníkem chromování pístních kroužků se stalo letectví. Z prostého důvodu, kdy se dbalo na výrazné snížení opotřebení pístních kroužků a snížení tření mezi válcem a pístním kroužkem. V současnosti se chromování používá běžně jako povrchová úprava pro pracovní plochy těsnících i stíracích pístních kroužků. Chromují se kroužky pro vznětové i zážehové motory a to bez rozdílu zda jde o kroužek litinový či ocelový. [1]

Nyní již začíná být samotný chromový povlak nevyhovující, což způsobují stále se zvyšující nároky na spalovací motory. Výrobci se snaží, aby motory byly lehčí s co nejmenším ztrátovým příkonem a s nízkou spotřebou paliva. Dále je žádané snižování emisí, které se provádí redukcí mazacího oleje, ale zároveň však musí stoupnout výkon. Z těchto požadavků se odvíjí konstrukce pístních kroužků. Tvrdochromové povlakování se dostalo na hranici životnosti respektive použitelnosti, kvůli snižování průřezu pístních kroužků, společně se snižováním axiální výšky na úkor vhodného tlaku a teploty.

Je třeba podotknout, že vlastnosti chromového povlaku jsou omezené vlastnostmi a využitím, které platí do určitých tepelných a mechanických hodnot zatížení pístního kroužku. Po překročení těchto hodnot může dojít k poruše vrstvy mazacího filmu.

Nejvyšší pozornost bude věnována předúpravám povrchu před nanášením chromu na povrch materiálu. Respektive se zaměřím na způsoby a počet tryskání čistého povrchu materiálu. Jelikož se vyskytl problém loupání nachromované povrchové úpravy na plochách (tzv. fázky) přiléhajících k válci motoru. Není zatím známo, který jev způsobuje toto loupání, zda předúprava či předchozí obrábění. Nicméně se usuzuje, že největší vliv má povrchová předúprava. Proto se budu snažit dostat experimentálním mořením a tryskáním nejbliže k povrchu, který je zaručený. Jde o povrch, který je tryskán třikrát.

Na začátek jsou dodány stírací pístní kroužky s povrchovou předúpravou i bez předúpravy. Jedná se o neotryskané a o tryskané pístní kroužky různými způsoby. V experimentu je provedeno tryskání za jiných podmínek, než byly dodány kroužky zadavatelem zakázky. Dále je provedeno moření povrchu pístního kroužku, jako povrchová předúprava, kterou se budu snažit nahradit náročný proces tryskání za mokra.

1 Úvod do pístních kroužků spalovacích motorů

Pístní kroužek slouží k roztírání olejového filmu, odvádí teplo až 80% a hlavně zabezpečí těsnost spalovacího prostoru proti průniku spalované směsi do klikové skříně. Těsnící kroužek - utěšňuje prostor mezi pístem a stěnou válce. Stírací kroužek – roztírá a stírá olejový film. Olej se nesmí dostat nad píst – regulují olejovou vrstvu. Zážehové motory mívají tři pístní kroužky a to dva pístní těsnící a jeden stírací. Vznětové motory mívají obvykle dva těsnící a dva stírací, ale nemusí být pravidlem.

Kroužek má tvar napruženého přerušného prstence. V sevřeném stavu je jeho průměr o něco menší než průměr válce. Hned ze tří důvodů. Aby se dal namontovat do drážek pístu. Respektive je zapotřebí, aby se roztáhl a pak zpětně stáhl do obvodové drážky v pístu. Druhým důvodem je, aby byl pořád předepnutý ve válci a tak pořád těsnil - tedy přilnul ke stěně válce. A třetím je vymezení tepelné dilatace. Materiál musí být tvrdý, ale zároveň pružný. Běžně se využívá ocel nebo litina.

1.1 Požadavky na pístní kroužky:

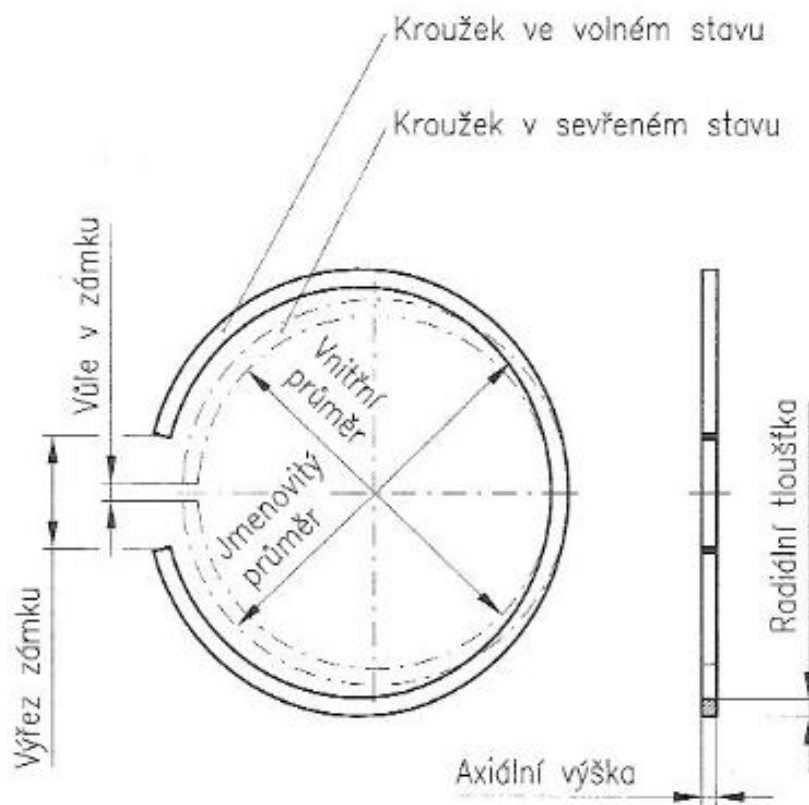
- utěsnění spalovací komory
- krátká záběhová doba
- částečné odvedení tepla píst-válec
- nízké ztráty způsobené třením
- životnost i při nevhodných mazacích podmínkách
- malá hmotnost
- cena

Na spalovací motory jsou stále častěji kladeny vyšší nároky kvůli výkonům, ale i kvůli emisím. Je tedy nutné snížit spotřebu mazacího oleje a zvýšit tlak ve válci. Pro lepší emise je možné ještě zefektivnit recirkulaci plynů spálené směsi. To znamená, že je zapotřebí zvýšení otěruvzdornosti a zamezit přidírání. Teplota na prvním pístním kroužku od spalovací komory vznětového motoru je kolem 250°C. Teplota u zážehového motoru na stejném místě je však kolem 220°C.

Dvoudobé motory mají v tomto místě tzv. výřez pístního kroužku. V tomto místě v drážce pístu pro pístní kroužek je kolík. Zajišťuje, aby nedošlo k pootočení. Zámek kroužku by se mohl natočit proti kanálu ve válci, kde by nastalo lehké rozevření zámku do volného prostoru a následné střížení (vyštípnutí) o hranu kanálu při pohybu mezi horní a dolní úvratí. Dojde tak k nenavratitelné poruše kroužku, pístu i válce.

Čtyřdobé motory mají téměř stejné pístní kroužky jako dvoudobé. Zámek není tvarovaný na zajištění kolíkem, nezajišťují se. Kroužky jsou natočeny většinou po 120°, tak aby se zámky nepřekrývaly nad sebou. Spodní je stírací, jelikož se pod něj stříká olej většinou skrze píst na mazání.[13]






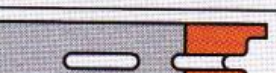

Při vložení pístního kroužku do vložky válce, se vůle (mezera) přerušení prstence měří na spároměrkách v řádu tisícín maximálně desetín milimetru (bývalo u starších motorů).

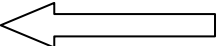


Obr. 1: Popis pístního kroužku [1]

1.2 Tvary nejběžnějších pístních kroužků

Tato bakalářská práce se zabývá pístními stíracími kroužky s olejovou štěrbinou, které jsou označené a zakreslené vřezu na obr. 2.

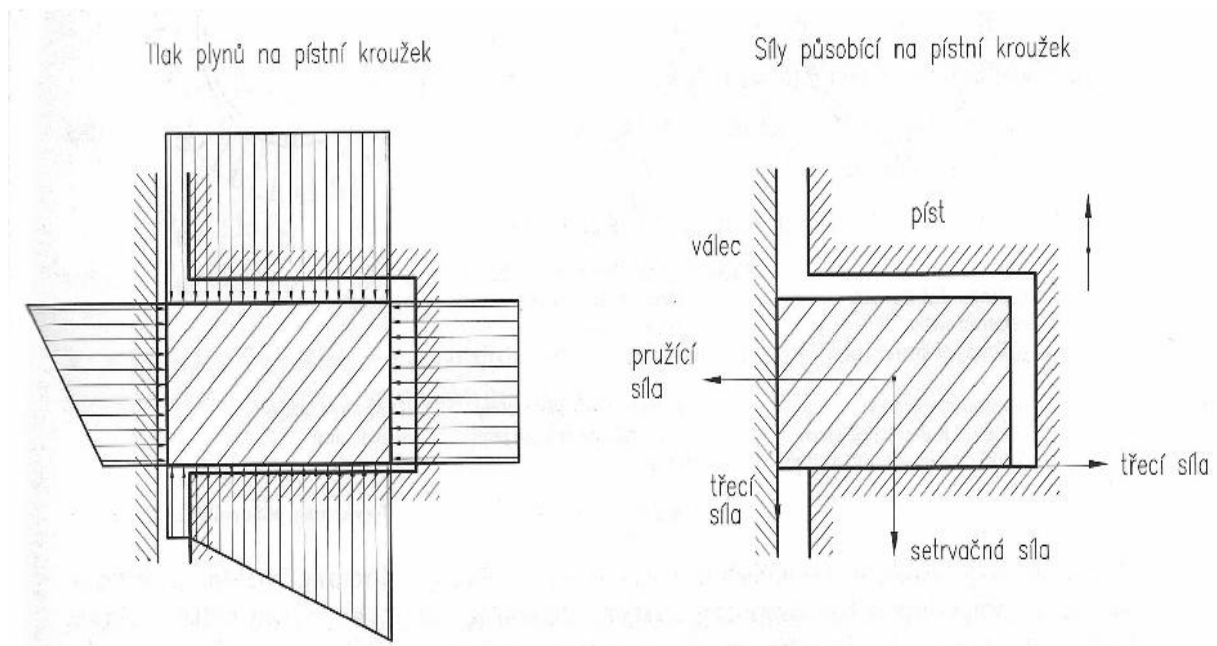
tvar pístního kroužku	
průřez	označení
	pravoúhlý kroužek (těsnicí kroužek)
	těsnicí kroužek s kuželovým profilem (minutový)
	lichoběžníkový těsnicí kroužek (jednostranný)
	L-kroužek
	těsnicí kroužek s nosem (polostírací)
	stírací kroužek s olejovou štěrbinou (normální)
	stírací kroužek s pružinou (expander)



Obr. 2: Tvar - průřez pístních kroužků [21]

2 Síly působící na kroužek

Kroužek přilíná celým svým obvodem na stěnu válce a spodní boční plochou na plochu drážky v pístu. Se zvyšováním výkonů motorů roste i tlak plynů ve spalovací komoře. Dle obrázku je vidět, že přítlačová síla je zvyšována vzniklým tlakem plynů, jež pronikají na dno drážky. Zjednodušeně: zvýšení tlaku ve spalovací komoře, zvyšuje přítlak kroužku na stěnu válce. Což si žádá vyšší požadavky na pracovní plochu pístního kroužku. Jedním z důvodů, proč je používání povrchových úprav.



Obr. 3: Síly působící na pístní kroužek [1]

3 Materiál pístních kroužků

Požadavky:

- odolnost proti opotřebení
- malý sklon k zadírání, vhodné kluzné vlastnosti kroužek - válec
- vydržet určitou dobu nedostatečné mazání
- pružnost
- pevnost
- malá hmotnost
- vhodná tepelná stálost
- antikorozi odolnost
- tepelná vodivost píst – kroužek - válec
- vyrobitelnost a cena

Z hlediska tribologie je výborným materiálem litina s lupínkovým grafitem, případně tepelně zpracovaná litina. Grafit je v takové fázi, kdy může fungovat jako suché mazání, při nedostatečném mazání mazacím olejem.

Nároky na první těsnící kroužek jsou tak vysoké u nových naftových i benzinových motorů, že není možné použít ani legované šedé litiny. Proto se používá tvárná litina s kuličkovým grafitem v zušlechtěném stavu s pevností v ohybu přesahující 1100N/mm^2 . Bohužel má tvárná litina horší kluzné vlastnosti ve srovnání s litinou šedou. Proto se ve většině případů používá s povrchovou úpravou.

Ocel se používá pro stírací kroužky, které jsou chromované, nitridované nebo s PVD povlakem. Jejich užití je v široké škále i v nových zážehových motorech.

Materiálem užitým na pístní kroužky, které jsou v této práci studovány je tvárná litina s kuličkovým grafitem zušlechtěná dle ISO 6621-3, třída 50, podtřída 56. Tento materiál je přímo určený pro použití k výrobě pístních kroužků s vysokou pevností a mechanickou odolností.

Chemické složení:

C	3,0 – 4,0 %	S	≤ 0,05 %
Si	2,4 – 3,8 %	Cr	≤ 0,2 %
Mn	0,3 – 0,6 %	Ni+Cu	≤ 2,00 %
P	≤ 0,30 %		

Ostatní legující prvky mohou být přítomny v celkovém množství max. 0,2 %.

Struktura materiálu:

Mikrostruktura: grafit – převážně kuličková forma – min. 85 %.

Struktura zušlechtěná – jehlicová s drobnými body karbidů.

Mechanické vlastnosti:

Tvrдость:	40 – 46 HRC
Pevnost v ohybu:	≥ 1300 N/mm ²
Modul pružnosti:	≥ 150 000 N/mm ²
Specifická hodnota:	7,3 g/cm ³

4 Předúprava povrchu před chromováním

4.1 Tryskání

Dobrou přílnavost konečných povlaků zajišťuje správná příprava povrchu k povlakování. Úpravu povrchu lze provést dvěma základními způsoby. Povrch můžeme opracovat mechanicky, nebo na něj můžeme použít chemickou úpravu. Někdy se používají oba tyto způsoby dohromady. Prvním krokem je nutné povrch mechanicky zarovnat a poté chemicky očistit. Broušení, leštění, kartáčování, omílání, tryskání a opalování plamenem jsou nejpoužívanější a nejdostupnější technologie pro úpravy povrchů. Nejdůležitějším krokem je správné zvolení technologie pro danou situaci. Chemické úpravy povrchu mají význam především v odstraňování nečistot z povrchu materiálů před dalšími úpravami. Provádí se takzvané odmašťování povrchů, moření povrchů, elektrochemické a chemické leštění povrchů. Na kvalitně připravený povrch můžeme nanášet kvalitní povlaky [11]

Účelem tryskání je čištění od korozních produktů, grafitu, písku, apod. Též se využívá k dodání vhodné drsnosti povrchu upravovaného výrobku a jeho zpevnění. Při tryskání dopadají abrazivní částice neboli volná zrna různých materiálů, velkou rychlostí (kinetickou energií) stlačeným vzduchem, tlakovou vodou, metacím kolem nebo kombinací tlaku, vzduchu a vody na povrch. Jedním druhem přípravy povrchu je tzv. hydrofinašování. Spočívá v otryskávání brusivem s kapalinou (vodou), která je urychlována vzduchem ze směšovací pistole. Volné zrno pak podle velikosti, tvrdosti, tvaru a kinetické energie vykoná na daném povrchu materiálu odpovídající práci. Tvrdá ostrá zrna působí podle úhlu dopadu a vysekávají z povrchu částice kovu a zároveň zbaví povrch nečistot, rzi, okují a výsledný povrch je podle velikosti a druhu otryskávacího materiálu příslušně zdrsněn. Dopadem tupých a tvrdých zrn nedochází k úběru materiálu, ale povrch se otloukáním očistí, zpevní a upravený povrch materiálu je pokryt malými důlky. Nejpoužívanější materiál pro tryskání je mletý korund, dále ocelová drť nebo kuličky a sekaný drát, křemičitý písek se používá stále méně, hlavně z hygienických důvodů. [14]

Tryskání se stále využívá jako velmi produktivní způsob příprava a čištění povrchu pod smalty, nátěry, žárové nástřiky kovů a keramických materiálů. Patří mezi nejúčinnější mechanické způsoby odstranění rzi a okují z povrchu hutních výrobků, ale i rozměrných a velkoplošných konstrukcí. [14]

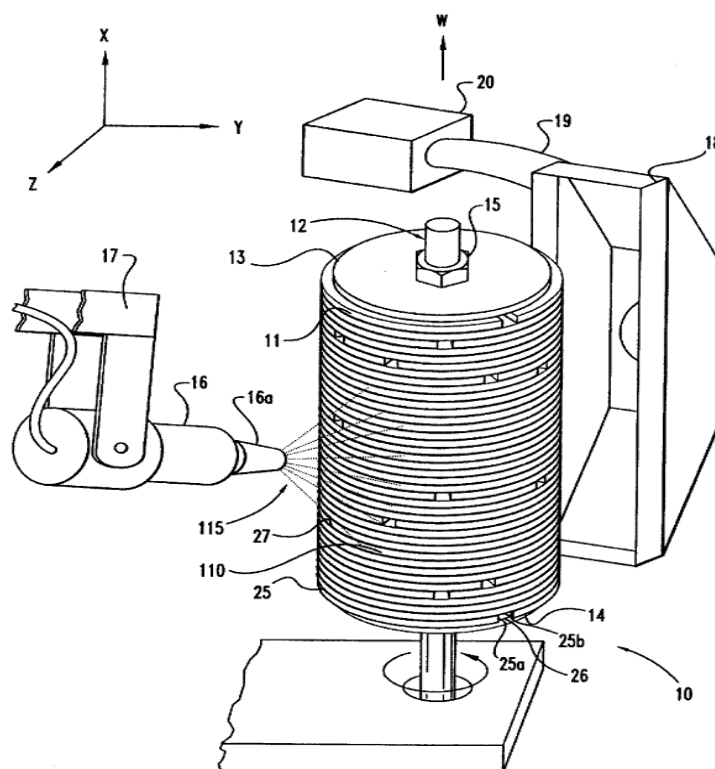
Výkon tryskání (tzv. úběr) se reguluje:

- Velikostí zrn
- Velikostí trysky
- Tlakem
- Druhem otryskávaného materiálu
- Úhlem a vzdáleností tryskání

Nejčastěji používané tryskací hmoty:

- Brusiva (korund, karbid křemíku – ostřejší zrno, trvanlivější než křemičitý písek, stejnoměrnější)
- Křemičitý písek (levný, úběr malý, tříští se, nebezpečí silikózy, použití do tlaku 0,3 MPa)

- Litinová drť a broky (výroba granulací litiny, dobrá úběrová schopnost i trvanlivost až 60x vyšší než křemičitý písek, dražší a hospodárnější, použití do tlaku 0,7 MPa)
- Sekaný drát (nejpevnější – patentovaný drát 160 MPa, méně opotřebovává metací kola, neštěpí se, použití do tlaku 0,3 MPa)
- Umělé a speciální materiály (drť z pecek a plastických hmot, skleněné kuličky – balotina – vyhlazování, snížení drsnosti)[15]



Obr. 4: Trn s písními kroužky při tryskání [22]

4.2 Korund – chemické složení

- Al_2O_3 95,50 % min.
- SiO_2 1,40 % max.
- Fe_2O_3 0,60 % max.
- CaO 0,40 % max.
- TiO_2 1,80 % - 2,80 %

Označení	F 12	F 14	F 16	F 20	F 24	F 30	F 36
Velikost (μm)	2000- 1400	1700- 1180	1400- 1000	1180- 850	850- 600	710- 500	600- 425
Označení	F 40	F 46	F 54	F 60	F 70	F 80	F 90
Velikost (μm)	500-355	425-300	355-700	300-212	250- 180	212- 150	180- 125

Tab. 1: Označení korundu a velikost zrn [17]

4.3 Balatonin (ocelové mikro kuličky) – chemické složení

- SiO₂ min. 65,0 %
- Na₂O min. 14,0 %
- CaO min. 8,0 %
- MgO min. 2,5 %
- Al₂O₃ min. 0,5 - 2,0 %
- Fe₂O₃ max. 0,15 %
- Ostatní max. 2,0 %

Obchodní název	B 7	B 8	B 9	B 10	B 112	B 114	B 159
Velikost (μm)	570-700	430-570	325-430	200-300	150-250	100-250	70-110

Tab. 2: Označení baltoninu a velikosti zrn [17]

4.4 Ocelová drť – chemické složení

- C 0,75 - 1,20 %
- Mn 0,60 - 1,10 %
- Si 0,60 - 1,10 %
- P max. 0,04 %
- S max. 0,04 %

Obch. název	G 14	G 16	G 18	G 25	G 40	G 50	G 80
Velikost (μm)	1700- -2000	1400- -1700	1400- -1180	850- -1180	500- -1000	360- -710	300- -420

Tab. 3: Označení ocelové drtě a velikost zrn [17]

4.5 Moření

Jednou z metod použitých pro předúpravu je i moření. Téměř 98% hmotnosti povrchově upravené oceli se moří v kyselině sírové a chlorovodíkové. Tyto anorganické kyseliny mají specifické podmínky. I když ve velkých kontinuálních linkách převládá užívání kyselina chlorovodíková, v mnoha menších mořárnách je to však kyselina sírová. [20]

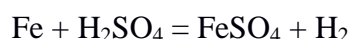
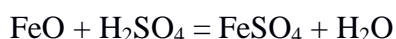
Povrch je pokryt korozními produkty a dalšími zbytky produktů z předchozích operací ať jde o soustružení či broušení písních kroužků. Tyto produkty by mohly být efektivně odstraněny od základního materiálu mořením. Jelikož se tato povrchová předúprava před chromováním nikde nezmiňuje v literaturách ani jiných experimentech, je v této práci zohledněna a provedena.

Používá se i na odstranění korozních produktů z povrchu kovů, kdy jde o odstraňování kovových oxidů vznikajících při tepelném zpracování kovů a hydratovaných oxidů vznikajících při atmosférické korozi.

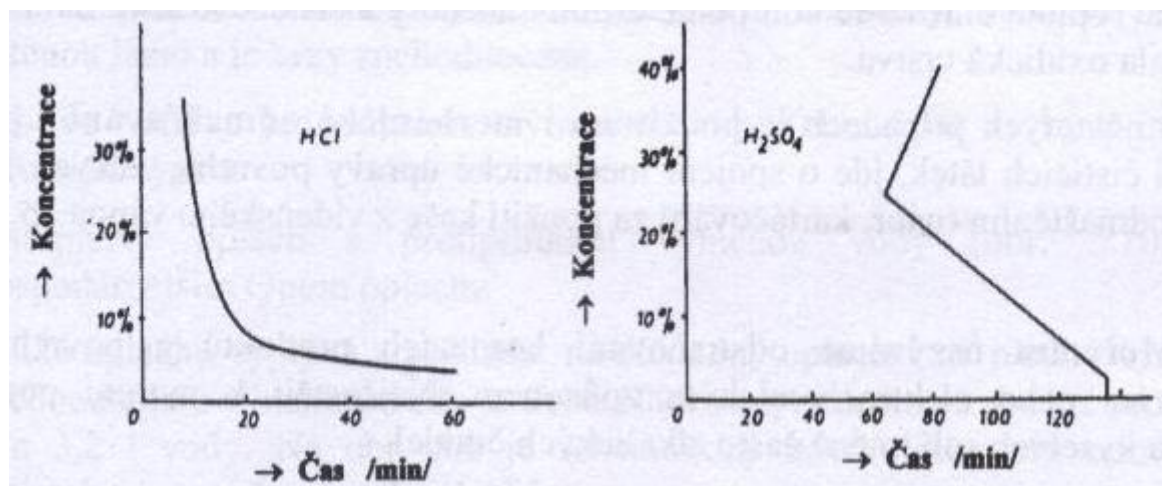
Odstraňování nečistot se provádí i za použití tzv. sdruženého moření s odmašťováním. Jde o aplikaci roztoků minerálních kyselin obsahující větší množství organických tenzidů. Takovéto roztoky mají nejen mořící schopnost, ale i schopnost odmašťovací. Tudiž lze provádět moření současně a odmašťování v jedné lázni. [16]

Moření v kyselině sírové – k moření se používá roztok okolo 10 - 20 % H_2SO_4 . Dodávaná kyselina sírová v koncentraci 94 až 96 % s obsahem 0,001 % arsenu, nemá obsahovat jiné rozpuštěné látky např. nitrosní plyny, kyselina nitrosylsírová apod. Rozpětí koncentrace kyseliny se používá dle druhu mořené oceli a podle technologie moření. Během moření se rozpouští oxidy železa, okuje, ale i železo z povrchu oceli, za účasti vzniku síranu železnatého. [20]

Kyselina sírová vniká póry a trhlinami do povrchu materiálu a rozpouští převážně oxid železnatý FeO a kovový povrch.

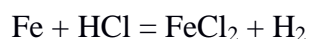
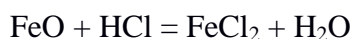


Působením vnikajícího vodíku dojde k odprýskávání a klesání ke dnu nečistot z povrchu materiálu. Maximální rychlost moření dosahuje kyselina sírová při koncentraci 25%. Pro dosažení kratších časů je vhodné mořit za vyšších teplot 40 – 70°C. Při provozu ztrácí lázeň svoji účinnost, klesá koncentrace a zvyšuje se obsah železa.[15]



Obr. 5: Vliv koncentrace lázní HCl a H_2SO_4 na rychlosti moření [15]

Moření v kyselině chlorovodíkové – k moření se používá roztok 10 až 20 %. Pouze malé množství odpadá čistě mechanicky působením vodíku. Tato kyselina méně napadá kovový povrch než kyselina sírová. Způsobeno tím, že kyselina chlorovodíková rozpouští okuje převážně chemicky, zatím co v kyselině sírové zůstává jejich větší část jako kal nerozpuštěna, je proto spotřeba kyseliny chlorovodíkové mnohem větší.



Výhodou je vyšší rychlost moření a povrch oceli je méně napadán, což znamená, že je tedy čistější. Naopak po překročení horní hranice koncentrace se zvyšuje exhalace chlorovodíku. Z tohoto důvodu a vzhledem k dostatečné rychlosti se moří bez ohřevu lázně.[15]

5 Povrchové úpravy pístních kroužků

Nejznámějších povrchové úpravy materiálu a jejich charakteristika.

Druhy povrchových úprav	Tvrdość [HV]	Tloušťka vrstvy [mm]	Drsnost Ra[μ m]	Dokončovací operace
Galvanické chromování	1000 – 1350	0,05 – 1	0,1 – 0,2	Broušení
Fosfátování	200	0,005	0,2 – 0,4	Broušení
Galvanické niklování	500 – 1000	0,004 -0,015	0,025 – 0,1	Honování
Kompozitní povlaky	900 – 1200	0,001 – 0,0012	0,1 – 0,2	Broušení
Nitridace	600 – 1100	0,1 – 0,5	0,025 – 0,1	X / Honování
Karbonitridace	800 – 1500	0,001 – 0,02	0,025 – 0,1	X / Honování
Cínování	Velmi měkké	0,004 – 0,008	X	X
Nitrocementace	700 – 800	0,1 – 0,75	0,025 – 0,1	X / Honování
Sulfinitridace	350 – 800	0,02 – 0,05	0,1 – 0,2	Broušení
Ferroxování	350 – 800	0,004 – 0,0075	0,025 – 0,1	Honování
Technické nástřiky	1000 – 1200	0,02 – 1	0,005 – 0,1	Lapování
PVD / CVD	1800 – 4000	0,01 – 0,1	0,1 – 0,2	Broušení

Tab. 4: Porovnání opotřebení [1, 37]

Vzhledem k vhodným materiálům pro výrobu pístních kroužků, ale nevhodnosti kluzným vlastností, je žádoucí užití v některých případech povrchových úprav. Snižují tření, slouží jako zásobník mazacího oleje, zvyšují ořezuvzdornost PK. Důležitou funkci má povlakování při záběhu, jelikož PK není nikdy po montáži do válce celou svou plochou na stěně válce. Nejdříve se stěně válce přizpůsobuje – záběh. K tomu jsou určeny některé měkké povlaky. Jde o galvanicky nanášený cín, o tloušťce vrstvy 0,005 – 0,01mm, který má dobré antikorozi vlastnosti a adhezi oleje. Nicméně se již nevyužívá a je nahrazován fosfátem.

Manganaté fosfátování – proces chemické konverzní povrchové úpravy. Na povrchu kroužku se vytvoří vrstva fosforečnanu manganatého cca 0,002mm silná. Namočení v oleji zaručí, že se vytvoří při zabíhání z ořezu zabrušovací vrstva. Tvrdość 200 HV, drsnost 0,2 – 0,4 Ra [μ m].

Ferroxace – dobrý vliv na záběh a i životnost PK. Jde o oxidační proces v atmosféře přehřáté páry. Vytvoření vrstvy Fe₃O₄, která může jímát olej a zlepšit tak záběh. Tvrdość 350 – 800 HV, drsnost 0,025 – 0,1 Ra [μ m].

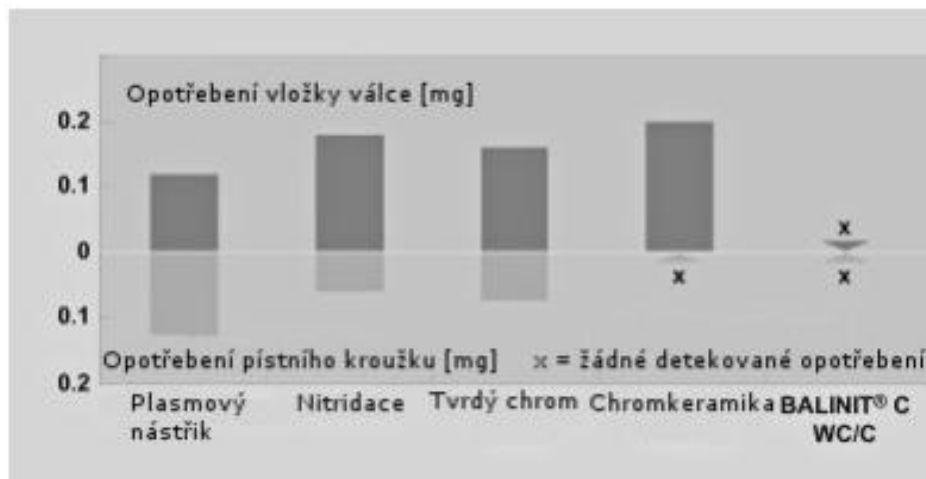
Tvrde chromování – nejznámější a nejvíce používaná úprava pro zvýšení životnosti a kluzných vlastností PK. Při použití chromování se zvýší životnost motoru 2x až 3x, nežli bez povrchové úpravy. Tvrdość 1000 – 1250 HV.

Nástřík molybdenu plamenem – proti povlaku chromu má nižší koeficient tření, vyšší tvrdość a vyšší tavicí teplotu. Mo vrstva je částečně porézní se schopností nasakování oleje, zlepšení záběhu a snížení nebezpečí zadírání.

Plazmové nástřiky Mo slitin a cermetů - hlediska životnosti jsou uspokojivé. Avšak cena Cr povlaku stále nižší.

PVD a CVD povlaky – TiN, CrN, WC/C jsou velmi vhodnými povlaky na PK. Velkoobjemové nasazení např. CrN povlaků. Nicméně je Cr levnější úpravou.

Plynová nitridace – pro ocelové pístní kroužky v moderních zážehových motorech, popřípadě kombinace s PVD povlakem pro vznětové motory.



Obr. 6: Porovnání opotřebení [23]

6 Opotřebení

Tento jev je nežádoucí změnou neboť jde o poškození povrchu a rozměrů pevných těles. Což je způsobené vzájemným působením funkčních povrchů nebo funkčního povrchu s médiem, které vyvolává opotřebení.

Ve spalovacích motorech ať jde o zážehový či vznětový dochází ke kontaktu strojních součástí. Například pístních kroužků s válcem, přičemž dochází k opotřebení. Vlastně dochází k opotřebení vzájemně pohyblivě uložených součástek, ploch vystavených tuhým částicím prostředí a částicím, které jsou unášeny kapalinou nebo plynem. Kavítace neboli eroze povrchu patří také k důležitému opotřebení.

6.1 Abrazivní opotřebení

Nastává, když hrubý a tvrdý povrch jednoho tělesa klouže po měkčím povrchu jiného tělesa. Tvrdý materiál tímto pohybem odebírá částice z měkkého materiálu. Abrazivní opotřebení též nastává, když se mezi měkké po sobě se pohybující plochy dostanou částice tvrdé. Velikost opotřebení závisí na velikosti, tvaru, tvrdosti, množství cizích částic a na hrubosti povrchu.



Obr. 7: Zadržný píst [24]

6.2 Adhezivní opotřebení

Nastává, když při klouzavém pohybu funkčních ploch dochází k vytrhávání částiček jednoho materiálu a přenášeny na materiál druhý. Vzniká tzv. mikro svar. Velikost opotřebení je úměrné zatížení velikosti posuvu, ale ne přímo mezi kluzu. Tomuto se dá předejít volbou vhodných materiálů.



Obr. 8: Zadřený válec s drobným nanesením Al slitiny pocházející z pístu [26]

6.3 Korozní opotřebení

Ten to jev se objevuje, při odstraňování korozních produktů z materiálu působením adheze nebo abraze. Známým je opotřebení tvoření ochranných oxidických vrstev na exponovaných plochách.

6.4 Únavové opotřebení

Únavové opotřebení nastává střádání poruch materiálu při opakování stykových napětí v místech funkčních povrchů. Výskyt bývá především v převodech soukolí, u zdvihátek ventilů a samozřejmě pístních kroužků.

Za stálého působení namáhání, se mohou začít tvořit trhlinky, které se šíří rovnoměrně s povrchem. Což vzápětí způsobuje odlupování materiálu. Je známo, že tento jev může iniciovat i únavové lomy.

Vysoká tvrdost povrchových vrstev se může stát prevencí před únavou, dále nízká drsnost a co nejmenší počet vměstků a jiných materiálových vad.

6.5 Vibrační opotřebení

Vzájemným kmitavým pohybem funkčních povrchů těles dochází k poškozování povrchu a oddělování části materiálu. V oblasti dotyku může dojít k vytlačení nebo znehodnocení maziva v případě mikro nerovností.

Toto opotřebení se vyskytuje hlavně u zařízení, ke kterým se dostávají kmity. Například valivá ložiska, čepy, spojky, pístní kroužky a jiné.

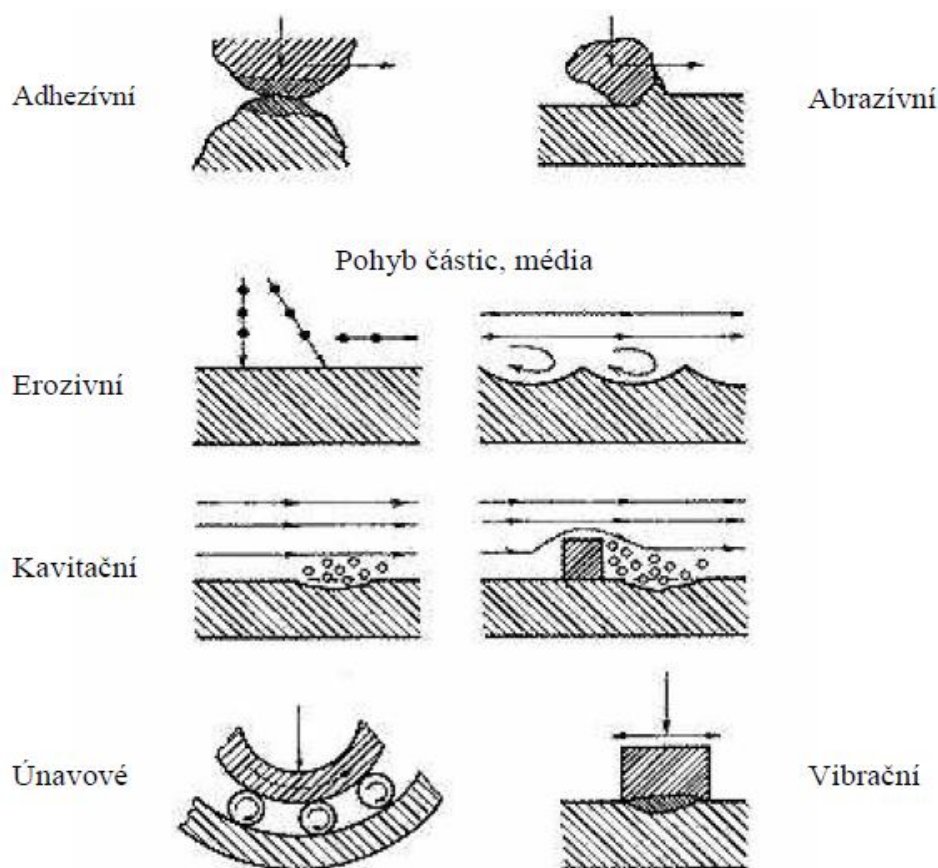
Vibračním opotřebením se narušují povrchové vrstvy a to i u velmi kvalitních a tvrdých materiálů. Tím to může být i iniciován únavový lom.

6.6 Erozní opotřebení

Jde o povrchové rozrušování materiálu tuhými částicemi, které jsou unášeny proudícím médiem. Způsobené opotřebení závisí na druhu unášených částic

6.7 Opotřebení kavitací

Tento druh opotřebení vzniká, tehdy když se vyskytují rázy v proudícím kapalném prostředí.



Obr. 9: Nejčastější druhy opotřebení [27]

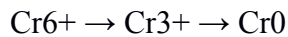
7 Chromování

Chromování se začalo využívat již v polovině 19. století. Došlo k prvnímu galvanickému nanesení chromu. Prve se vyloučil chromový povlak z vodného roztoku kyseliny chromové. Chrom se vylučuje pouze za přítomnosti kyseliny sírové. Což zjistil Reese a tím položil základy dnešního elektrolytu.

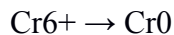
7.1 Vylučování galvanického chromu

Oxid chromový CrO_3 je hlavní složkou chromových lázní, jelikož je hlavním dodavatelem kovu do lázně. Používají se olovené elektrody do chromovacích lázní. CrO_3 má koncentraci v lázních v rozmezí 250 až 500g/l. Chrom je obsažen formou aniontu. Vzniká redukcí chromu na katodě. [14]

Stále není ještě prokázána depozice chromu. Zatím je známo, že vylučování probíhá v několika krocích dle Liebricha.



E. Muller, jako první obhajoval teorii o přímé depozici chromu z šestimocného stavu.



Co se týče mechanismu vylučování chromových povlaků, vytvářejí se při katodické redukci kyslíčnicku chromového na katodě filmy chromanu chromitého.[14]

7.2 Druhy chromování

- **Dekorativní** – tloušťka vrstvy 0,2 – 0,5 μm . Pro ozdobné ochranné pokovení. Vzhledem ke zvýšení korozní odolnosti se nanášejí nejčastěji kombinací s niklem nebo mědí.
- **Speciální** – jde o černé nebo duplexní chromování s využitím mléčných povlaků chromu. Speciální chromování patří mezi dekorativní i funkční chromování.
- **Tvrdé chromování** – vznik tvrdých a ořezuvzdorných povlaků chromu. Vrstvy se nanášejí od několika mikrometrů až k několika set mikrometrům. Vyloučení trvá i řadu hodiny, na rozdíl od dekorativního. Používá se v průmyslu a aplikuje se, kde je zapotřebí vysoké odolnosti otěru a nízký koeficient tření. Jedná se o zemědělství, letectví, automobilový, chemický, těžební průmysl atd. Tato úprava se používá pro PK a tvrdý chrom je jako matrice pro kompozitní chromové povlaky.[14]

7.3 Chromování pístních kroužků

V začátcích našly využití chromované pístní kroužky v leteckých motorech. Již během druhé světové války se využíval tvrdý chrom na stírací i těsnící kroužky a to ve vznětových i zážehových motorech.

PK se po úpravě, kdy se nanese chrom, tvarově brousí a honují. Konečná vrstva Cr povlaku je od 50 μm do cca 150 μm . Proto se chromuje na tloušťku pohybující se mezi 100 μm až 200 μm . Někdy i dle potřeby se využívá vrstvy i vyšší.[1]

7.4 Proces chromování

PK se chromují upevněné na trnu ve staženém tvaru. Zámky jsou vyplněny lakem, aby nedošlo k nevhodnému nanesení chromové vrstvy v jejich okolí. To je v důsledku vznikajícího vodíku. Dříve se vyplňovaly zámky před nanášením Cr olovem. [1]

Přehled operací:

- montáž kroužků na trn
- tryskání korundem za mokra
- tlakové mytí
- pasivace v kyselině chromové cca 100 g/l
- izolování ploch, které se nemají chromovat
- navěšení na katodovou tyč
- vložení do chromovací vany
- anodické naleptání (zdrsnění)
- proudový náraz, cca 130% chromovacího proudu po dobu 2 – 5 minut
- chromování
- oplach
- kontrola chromových povlaků



Obr. 10: Trn s pístními kroužky při chromování [25]

8 Metody hodnocení povrchu pístitního kroužku

Když opustí pístitní kroužek výrobní linku, musí být zaručeno, že odpovídá všem parametrům, které jsou potřebné pro správnou funkci.

- Materiálové vlastnosti (chemické složení, pevnost a pružnost)
- Rozměry s dodrženími tolerancemi, předepsaný stupeň kvality opracování
- Správný tvar při těsném přiléhání v kalibru

8.1 Měření zbytkového napětí

Zbytkové napětí může vznikat v povrchové vrstvě pouze tehdy, když dojde k plastické deformaci. Smysl zbytkového napětí (tah nebo tlak) je podle toho, jak deformace vznikla.

K tomuto zbytkovému napětí dochází s největší pravděpodobností při technologickém procesu, kdy dochází u povrchové vrstvy k přetvoření plastickému (třením hřbetu nástroje o povrch, tváření zastudena ap.). Zatímco materiál jádra zůstává (téměř) beze změny a je namáhán pouze elasticky. Většinou nedochází ke zvýšení teploty při tomto procesu. [12]

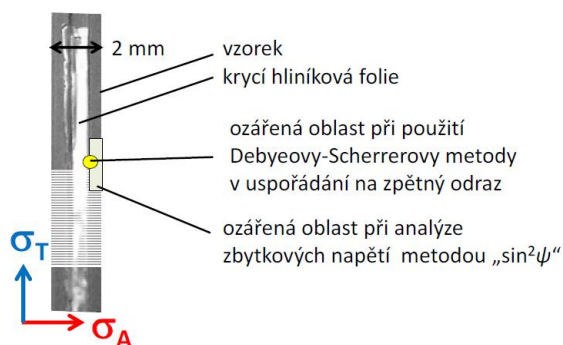
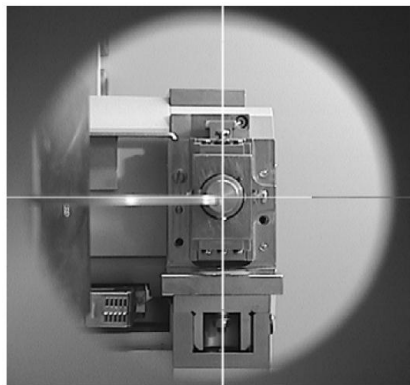
Mezi příčiny patří: Nerovnoměrná plastická deformace (rozdíly mezi změnami v povrchové vrstvě a v jádře vzorku), vyvolaná mechanickými silami. (silový účinek při obrábění reznými silami). Dále nerovnoměrný ohřev nebo ochlazení (tepelné napětí). Vylučování nových strukturních složek (strukturní napětí) nebo nerovnoměrná fázová transformace, tento pochod je obvykle podnícen deformací nebo teplotou. [11]

V tomto případě se zaměřuji na zbytkové napětí v povrchové vrstvě pístitních kroužků.

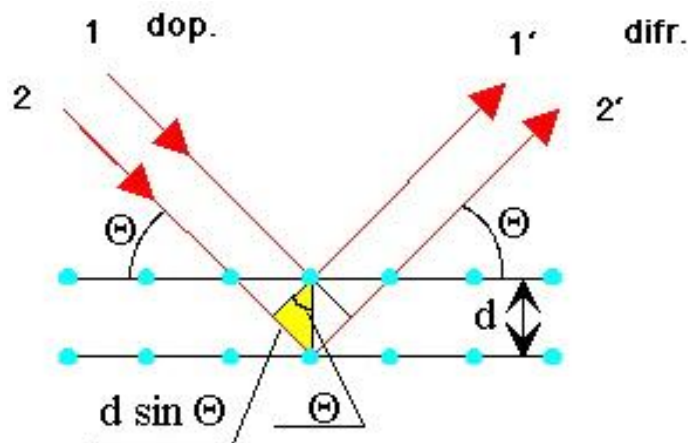
Je prokázáno, že zbytkové napětí po tryskání více nebo méně, podle materiálu a podle použitých technologických podmínek, zvyšují nebo snižují životnost, pevnost, dynamickou únosnost, odolnost vůči opotřebení, rozměrovou stálost součástí.

Vybraná metoda: RTG difrakční měření povrchu.

Rentgenová difrakce – využívá rozptyl rentgenových paprsků na krystalech materiálu k měření změn vzdáleností atomových mřížkových rovin d vyvolaných napětím, která se porovná s mezi rovinnou vzdáleností nedeformované mřížky. Výchozí jsou vztahy teorie elasticity. Po ozáření mřížky dojde k rozptylu a ke vzniku interferenčního maxima, ale jen při dosažení příznivého směru paprsků k mřížce. Nedestruktivní metoda, měří napětí I. II. a III. druh, dokáže stanovit napětí na jednotlivých fázích. Bohužel měří jen tenké vrstvy kolem 10^{-3} mm, není možné měřit amorfní materiály, pouze elastické deformace. [11]



Obr. 11: Vlevo: Snímek vzorku - bílý kříž značí polohu středu ozářené oblasti 0,25 x 1 mm² na vzorku v tangenciálním směru. Vpravo: Poloha a velikosti ozářených oblastí pro směry měření [28]



Obr. 12: Deformace vzdáleností rovin mřížky a změny úhlové polohy interferenčního maxima [29]

Pístní kroužek	$\sigma_A \pm \Delta\sigma$ [MPa]	$\sigma_T \pm \Delta\sigma$ [MPa]
Bez tryskání	118	388
1x tryskaný	324	442
2x tryskaný	414	486
3x tryskaný	396	582

Tab. 5: Hodnoty povrchových zbytkových napětí σ_T a σ_A , MPa na povrchu analyzovaných pístních kroužků [18]

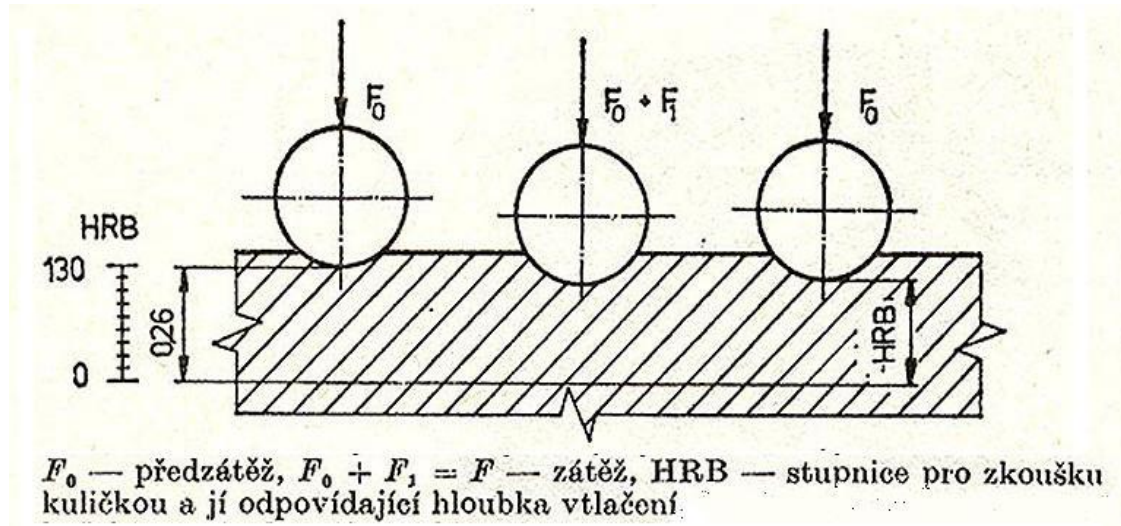
8.2 Měření tvrdosti

Tvrdost je jedna z mechanických vlastností materiálů. Jde o odolnost povrchu proti místní deformaci, která je způsobena zatěžovaným tělesem o přesných geometrických tvarech. Jde o statickou zkoušku tvrdosti, kdy je vtlačováno vnikací těleso do zkušebního tělesa. Zkouškou dojde k porušení povrchu zkoušeného tělesa a vznikne vtisk., který se měří mikroskopem. Vnikací těleso však nesmí podléhat plastickým deformacím, musí mít největší tvrdost a mez pružnosti. Odolnost proti vniknutí vnikacího tělesa je dána velikostí sil, jež vázají navzájem atomy kovu. Tentýž kov může mít různou tvrdost v závislosti na těchto činitelích: velikost zrna, teplota, cizí příměsi, vnitřní pnutí. Povrch zkoušeného materiálu musí být čistý, rovný a hladký. Mírou tvrdosti je velikost vtisku.

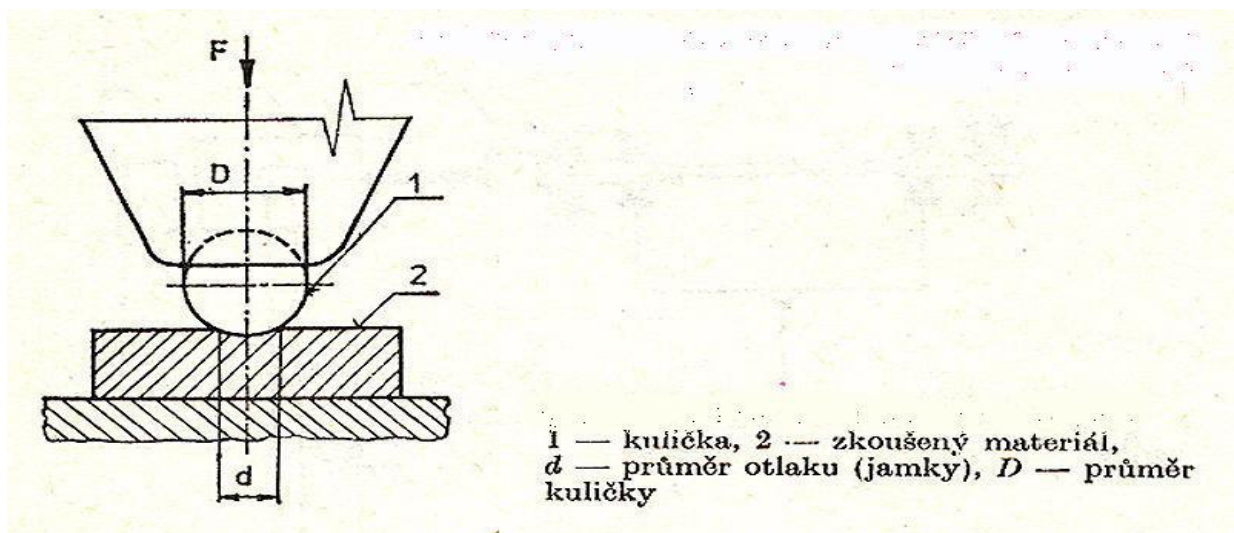
Měření se provádí na tvrdoměru Rockwell HR_B vtlačováním ocelovou kuličkou o průměru $1/16''$ zatížením 100kp při měření kroužků menší $80mm^2$. Pro průměr větší $80mm^2$ se měří na tvrdoměru Brinell. Tvrdost u pístních kroužků se pohybuje v rozsahu dle materiálu 96 - 114 HR_B . [1]

Rockwell – podstatou je zatlačování ocelové kalené kuličky o daném průměru do vyleštěné plochy zkoušeného materiálu s konstantním zatížením.

Brinell – obdobně jako u Rockwellovy zkoušky dochází k zatlačování ocelové kalené kuličky o daném průměru do vyleštěné plochy zkoušeného materiálu s konstantním zatížením.



Obr. 13: Průběh Rockwellovy zkoušky tvrdosti [30]



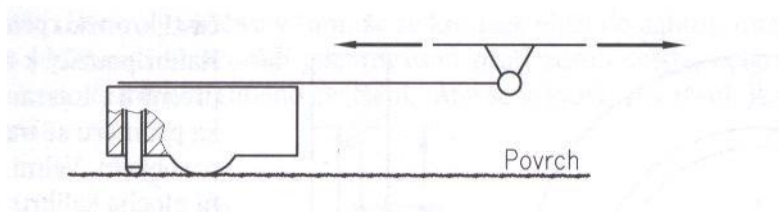
Obr. 14: Brinellova zkouška tvrdosti [31]

8.3 Měření jakosti povrchu

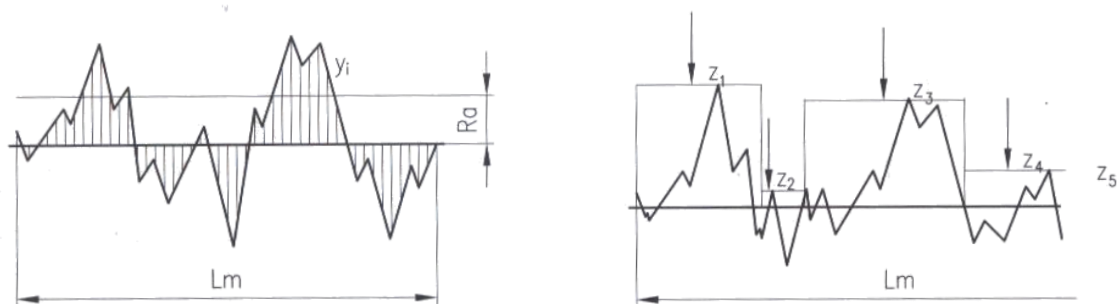
Drsnost povrchových ploch je závislá na obrábění v tomto rozsahu – podle ČSN 027001. Obvyklé měření je v hodnotách R_a a R_z .

Plocha	lapovaná	broušená	jemně soustruž.	soustružená
Drsnost R_a	> 0,6	> 0,8	3,2	6,3

Kontrola se provádí za pomoci laboratorního nebo dílenského přístroje, který je založen na systému snímání povrchu s jednou sanicí.



Obr. 15: Schéma snímání profilu povrchu při měření drsnosti [1]



Obr. 16: Diagram s vyjádřením vztahu R_a (střední hodnoty drsnosti) a R_z (střední průměrné hodnoty drsnosti) [1]

Současné přístroje vyhodnocují drsnost v jednotkách R_z (střední průměrné hloubky drsnosti). Tyto přístroje obvykle vyhodnocují hodnotu drsnosti R_z jako aritmetický střed jednotlivých hloubek drsností Z , které jsou z pěti jednotlivých měřených drah.

Vztah mezi R_a a R_z : $R_a = R_z / 6,6$

V tuto chvíli je již zjištěno, že je zapotřebí stejnorodosti povrchu základního materiálu před nanášením chromu. Této stejnorodosti se dosáhlo až po třetím cyklu tryskání.

8.4 Adheze povlaku k základnímu materiálu

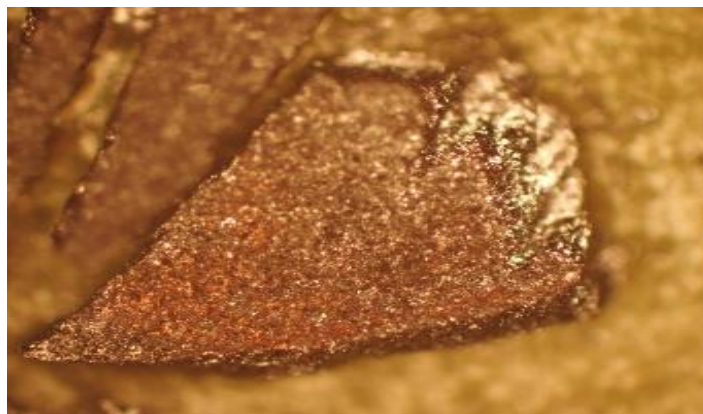
Tato kontrola se provádí přímo po chromování a je nejméně náročnou a ihned informativní. Přílnavost Cr povlaku se zkouší zkroucením výrobku o stanovený úhel, který se požaduje 90 – 100°.



Obr. 17: Nenakroucený a nakroucený pístní kroužek

V případě, kdy se povlak neodlupuje, je hodnocena přílnavost povlaku jako vyhovující a v opačném případě nevyhovující. Jde tedy o destruktivní zkoušku. Zkouška se dobře provádí na tvárné litině i na oceli. Při zkoušen PK větších průměrů, je nutné vynaložit vyšší síly a kroužek mnohokrát praskne. Šedá litina nemá snahu dovolovat kroucení kroužku, jelikož praskne. Potom je nutné kroužek zlomit a vyhodnotit stav povlaku v okolí lomu. [1]

V tuto chvíli je již zjištěno, že při nakroucení pístního kroužku dochází k loupání nachromované vrstvy, která před nanesením povrchové vrstvy bez předúpravy, dále s jedním a dvěma cykly tryskání. Až po třetím cyklu nachromovaná vrstva vydržela nakroucení pístního kroužku bez loupání. [18] A. Jones, přílnavost Cr povlaku testoval pomocí impact testu. Výsledky jsou zde na obrázku.



Obr. 18: Odloupnutý kus Cr povlaku [32]

8.5 Impact test

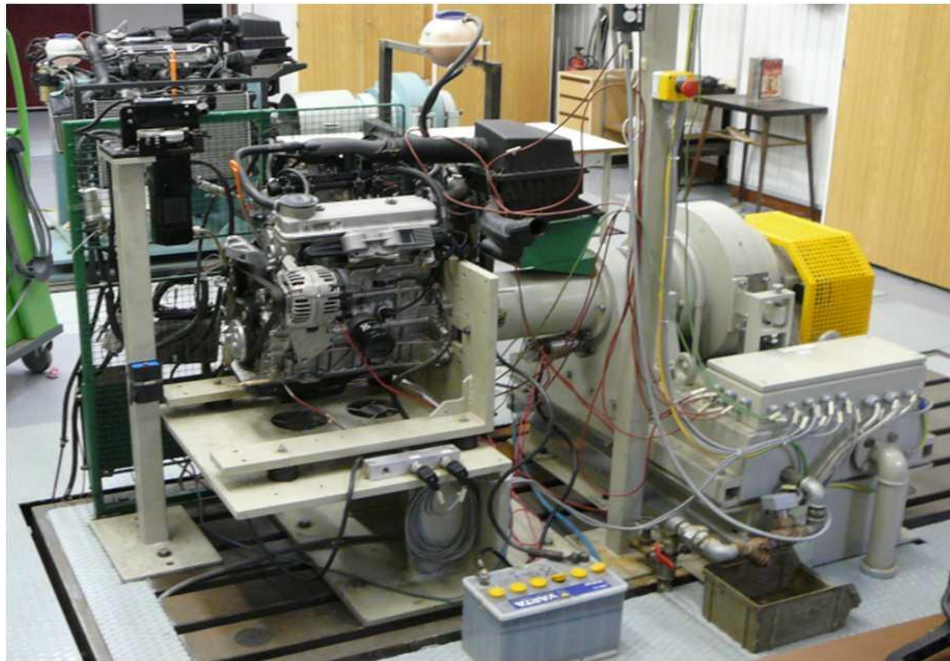
Jde o cyklické rázové zatěžování povrchu materiálu indentorem. Vnikací těleso je většinou karbidová kulička. Na povrchu se nejdříve vyskytuje plastická deformace a poté dojde ke zpevnění povrchových vrstev. Dojde k poškození, jež se nazývá „impact kráter“. Když dojde k vyčerpání plastických vlastností, vytvoří se různé degradační jevy – trhliny a odlupování materiálu. [19]

8.6 Motorové zkoušky

Zkoušky na motorové brzdě neboli na dynamometru - stacionární zkoušení spalovacího motoru.

Krátkodobé – ověření vlivu součástek na parametry motoru (výkon, spotřeba oleje a paliva), provádí se cca 50 hodin na motorové brzdě.

Dlouhodobé – sledování životnosti pístních kroužků a stálosti parametrů zkoušeného motoru.



Obr. 19: Zkouška motoru na motorové brzdě [33]

9 Experimentální část – bez čísla pokud možno

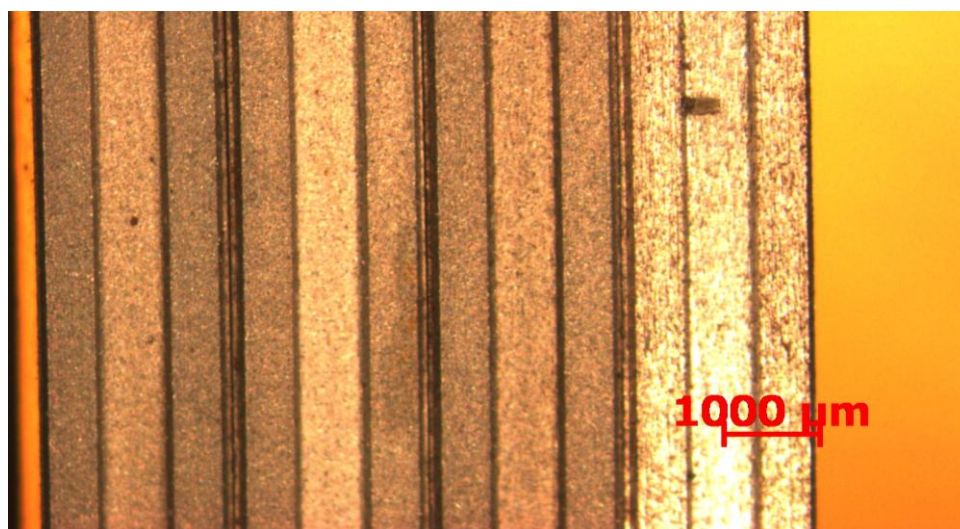
9.1 Vzorky

Jedná se o stírací pístoní kroužky z materiálu tvárné litiny. V této sérii jsou kroužky bez povrchové úpravy, 1x, 2x, 3x tryskány korundem (Al_2O_3). Každý interval jednoho cyklu tryskání trvá čtyři minuty. Výsledkem experimentu je zjištění povrchového stavu a objasnění, z jakého důvodu se tyto kroužky dobře chromují až po trojitém tryskání. Při tryskání i pouze dvojitým dojde k loupání nachromované vrstvy. Vícenásobné tryskání je složité ze strany nákladů na výrobu i pro průchodnost výrobní linky. Tryskací linka je sestavena na jeden cyklus, kdy průchod trnu s pístoními kroužky má program trvajících čtyři minuty, proto se musí cyklus opakovat, aby se dosáhlo trojitého tryskání. Celý proces se tedy zpomaluje. V tuto chvíli se zatím uvažuje, jako s poslední možností přestavování trykací linky, proto se hledá optimální řešení úpravy povrchu před chromováním.

Analýza stavu byla provedena za pomoci mikroskopu NIKON SMZ 800 a softwaru AxionVision Rel. 4.8.

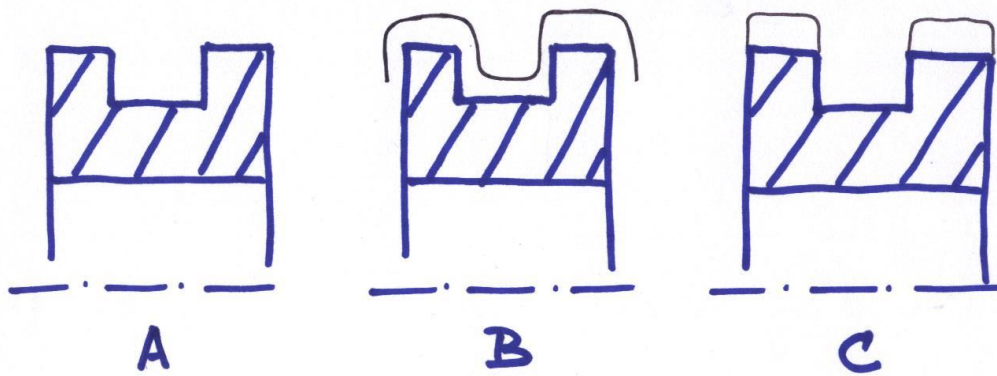
Pístoní kroužek	Médium	Zrnitost	Doba tryskání
Bez tryskání	Korund bílý	250 μm	0 minut
1x tryskáno	Korund bílý	250 μm	1x 4 minuty
2x tryskáno	Korund bílý	250 μm	2x 4 minuty
3x tryskáno	Korund bílý	250 μm	3x 4 minuty

Tab. 6: Přehled dodaných pístoních kroužků

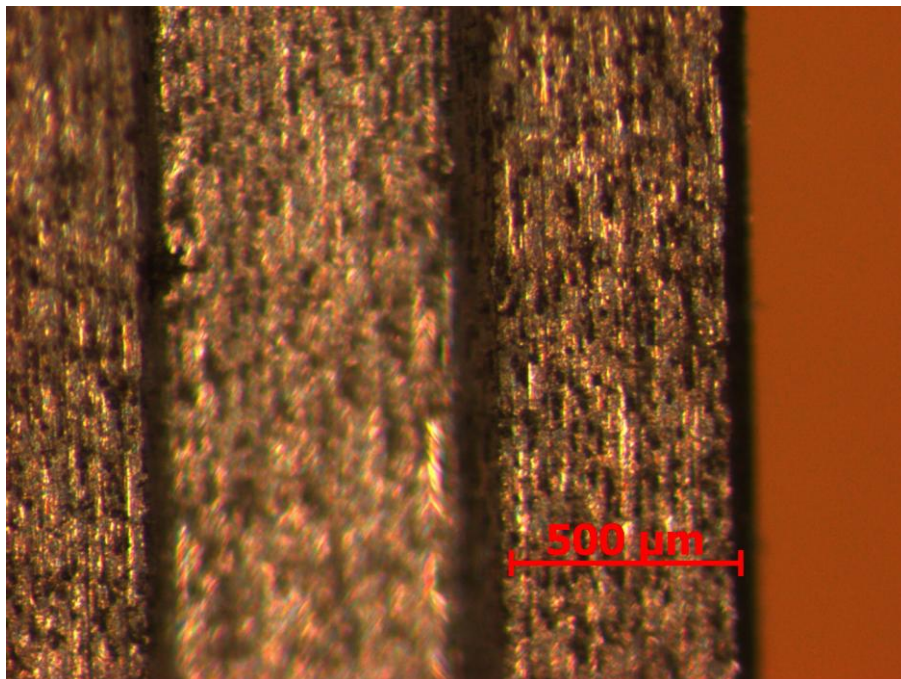


Obr. 20: Pístoní kroužky, zleva: 3x, 2x, 1x tryskání a bez tryskání

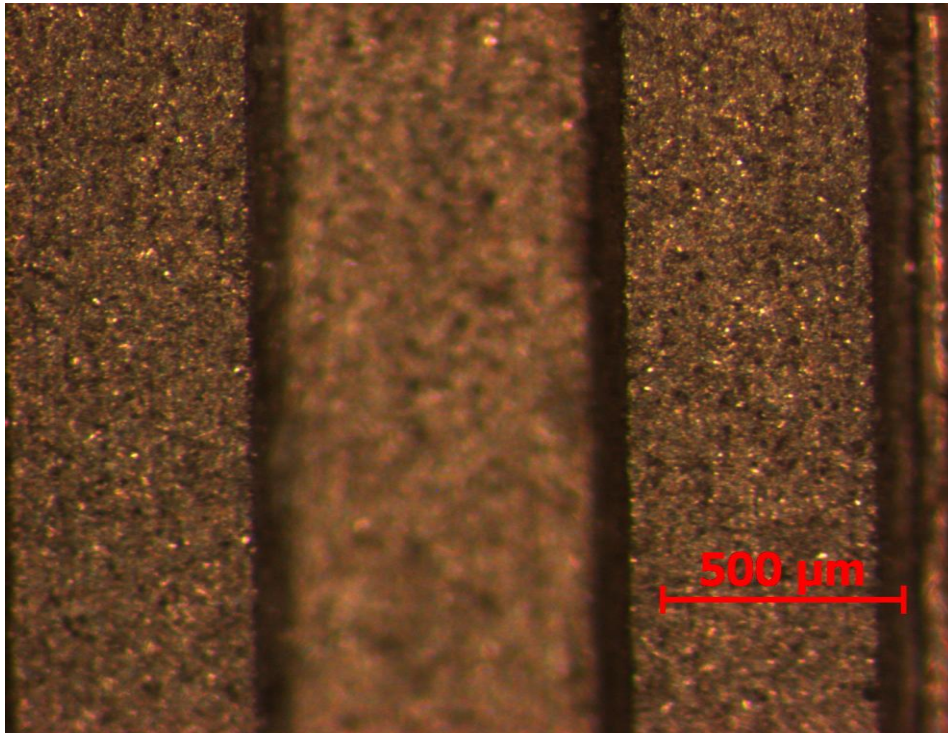
Na obrázku 20 jsou pístní kroužky v pohledu na pracovní plochu, která přilíná ke stěně válce. Již na tomto zobrazení je patrný barevný rozdíl, respektive povrchová nestejnorodost, kdy je použita povrchová předúprava tryskáním a kdy ne. Dále je celkem patrný rozdíl mezi počtem tryskání PK. Další obrázky jsou detailněji vyfotografovány jednotlivě. Obrázek 21 je schematicky zakreslen 3x řez PK nejdříve po soustružení, dále po na chromování, kdy došlo k nanesení chromu i do drážky určené pro tzv. zásobník oleje. Na posledním obrázku je v řezu PK již vybroušena drážka pro olej. Pístní kroužek musí být ve výsledku nachromován pouze a jen na tzv. fázkách, viz obr. 21 (C).



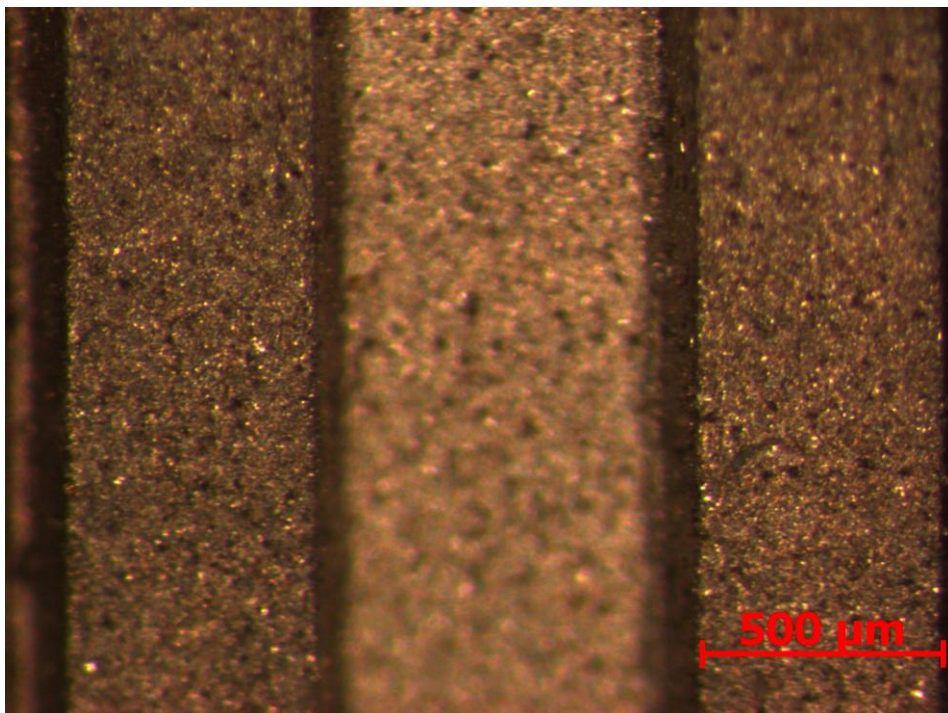
Obr. 21: Řez pístního kroužku, A - po obrábění, B - po nachromování, C - po broušení drážky. Nanesený chrom je vyznačen tenkou čarou po obvodu PK.



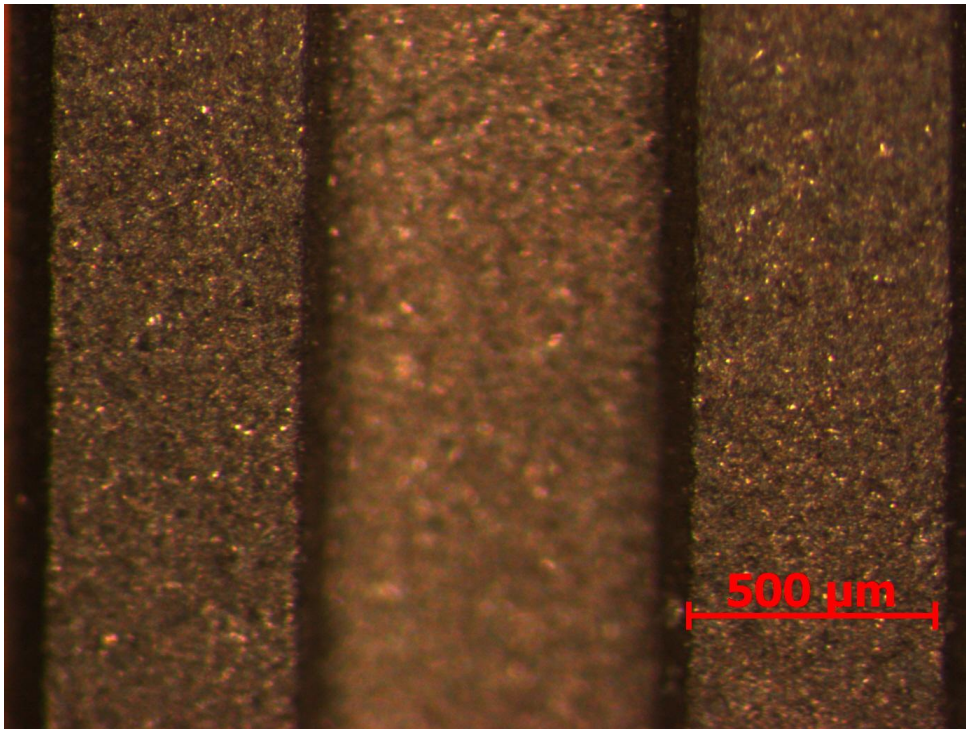
Obr. 22: Pístní kroužek bez tryskání



Obr. 23: Pístní kroužek 1x tryskaný



Obr. 24: Pístní kroužek 2x tryskaný



Obr. 25: Pistní kroužek 3x tryskaný

U fotografií, které jsou pořízené z mikroskopu je zajímavé pozorovat barvy a lesklost mezi kroužkem 1x tryskaným a kroužkem 3x tryskaným. Tyto kroužky si byly vzhledově nejvíce podobné. Však nejvíce stejnorodý povrch pístního kroužku je zřejmí na obrázku č. 25. Již z těchto fotografií lze říct, že je rozdíl v drsnosti povrchu podle počtu chromovacích cyklů. Tedy zaručeně je drsnost jedenou z možností, která má vliv na loupání nachromované vrstvy.

10 Návrh řešení a ověření

10.1 Experimentální tryskání s ověřením v průmyslu

Pro experiment byla zvolena povrchová předúprava tryskání za sucha. Jde téměř o stejnou metodu povrchové úpravy jako u předchozích kroužků s rozdílným tryskacím médiem. V tomto případě jde o méně náročnou technologii a o daleko levnější cestu povrchové přípravy. Experimentální tryskání bylo provedeno ve firmě zabývající se touto technologií. Jedná se o firmu Slévárna Plzeň s.r.o. Tento podnik byl založen v roce 1918 pro tehdejší železniční dopravu. Především se zabývá výrobou odlitků do pískových forem z šedé, tvárné, chromové a legované litiny a formováním do bentonitu na syrovo.

Tryskání bylo provedeno dvěma způsoby na závěsném tryskači viz obrázek 26 a jedním způsobem na stolním tryskači obrázek 27.



Obr. 26: Závěsný tryskač [34]



Obr. 27: Stolní tryskač [35]

	Tryskač	Doba tryskání	Tryskací segmenty
1. návrh	Škoda TMZ 12,25 (závěsný tryskač)	5 min	granulát WS 46010 S460
2. návrh	Škoda TMZ 12,25 (závěsný tryskač)	10 min	granulát WS 46010 S460
3. návrh	Škoda TMSO 2,4/5 (stolní tryskač)	10 + 10 min	granulát WS 46010 S460

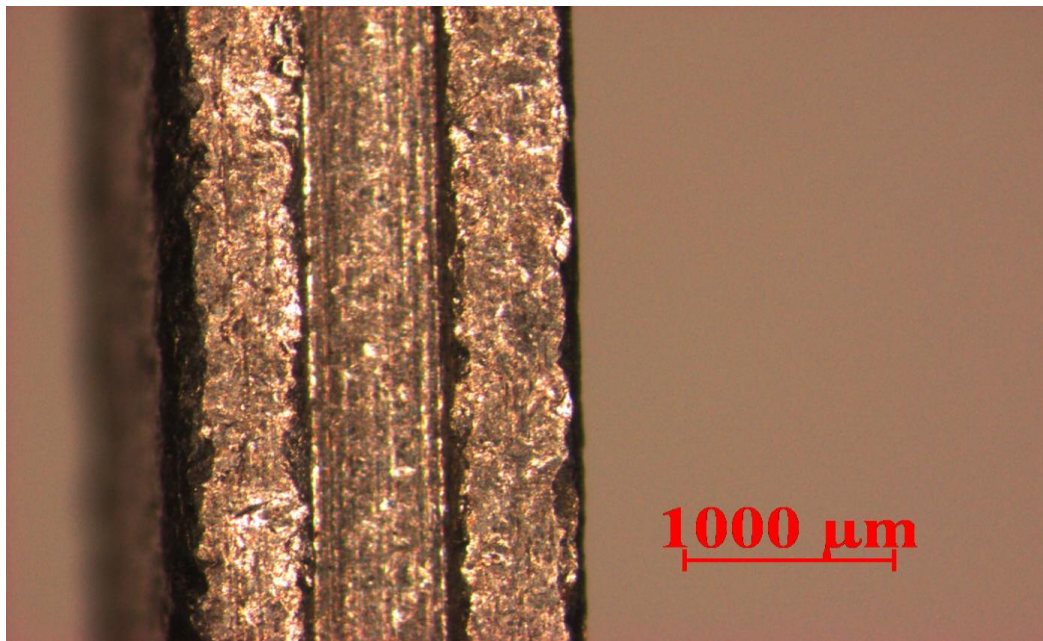
Tab. 7: Typy návrhů ověřených v průmyslu

Tryskacím segmentem jsou kuličky. Jde o kalený, temperovaný granulát z hypereutektoidní oceli ($C \geq 0,85\%$). Při tepelné úpravě dochází k dokonalé kontrole, která zaručuje optimální vlastnosti a odolnost vůči opotřebení. Typ tohoto abraziva se používá při aplikacích, kdy je požadován účinek hmotnosti a maximálního odrazu. Výrobce je Kovobrasiv Mníšek s.r.o.

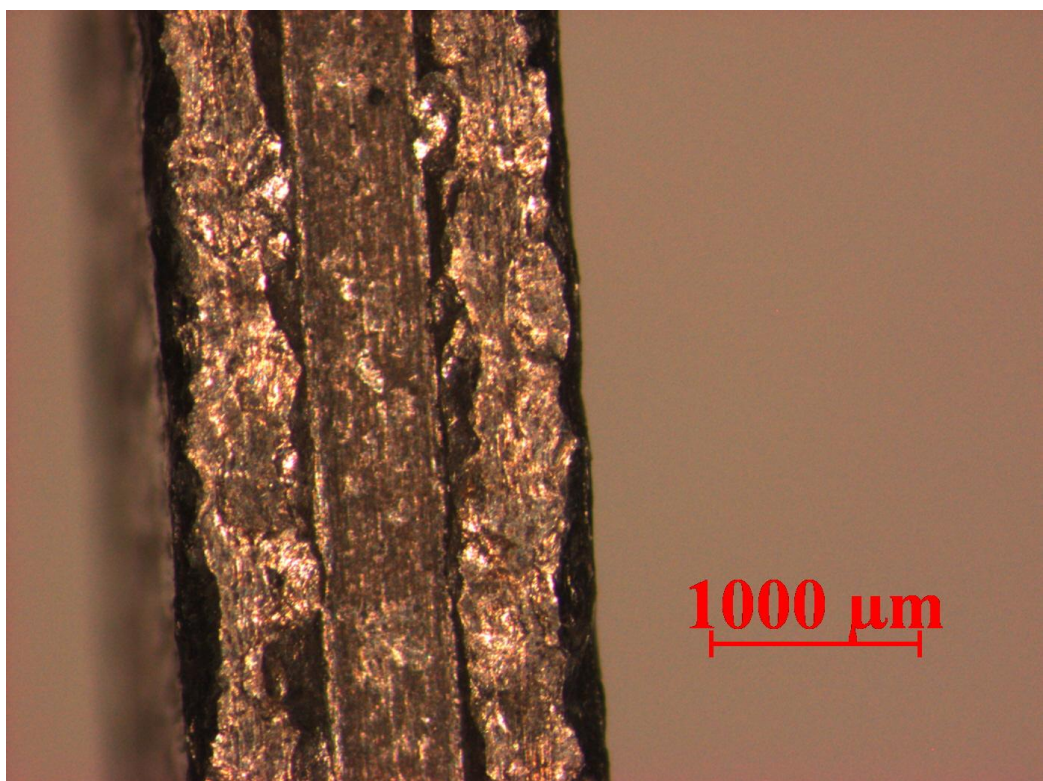
Výrobek	7	8	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50	80	120	Průměrný počet částic na 1 kg drti
WS 780	↘		90 min	97 min													25 000
WS 660	↘	20 max		97 min													42 000
WS 550		↘	30 max		90 min	97 min											70 000
WS 460			↘	30 max		90 min	97 min										120 000
WS 390				↘	20 max		85 min	97 min									205 000
WS 330					↘	10 max		85 min	97 min								335 000
WS 280						↘	30 max		90 min	97 min							550 000
WS 230							↘	30 max		90 min	97 min						925 000
WS 170 SAE								↘	10 max			85 min	97 min				2 640 000
WS 110 SAE										↘	10 max			80 min	90 min		7 480 000
WS 70 SAE												↘	10 max		80 min	90 min	26 400 000
Číslo síta	7	8	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50	80	120	
Rozměr síta	2,80	2,36	2,00	1,70	1,40	1,18	1,00	0,85	0,71	0,60	0,50	0,42	0,35	0,30	0,18	0,12	

↘ : Vše prochází %: Celkově zachyceno na

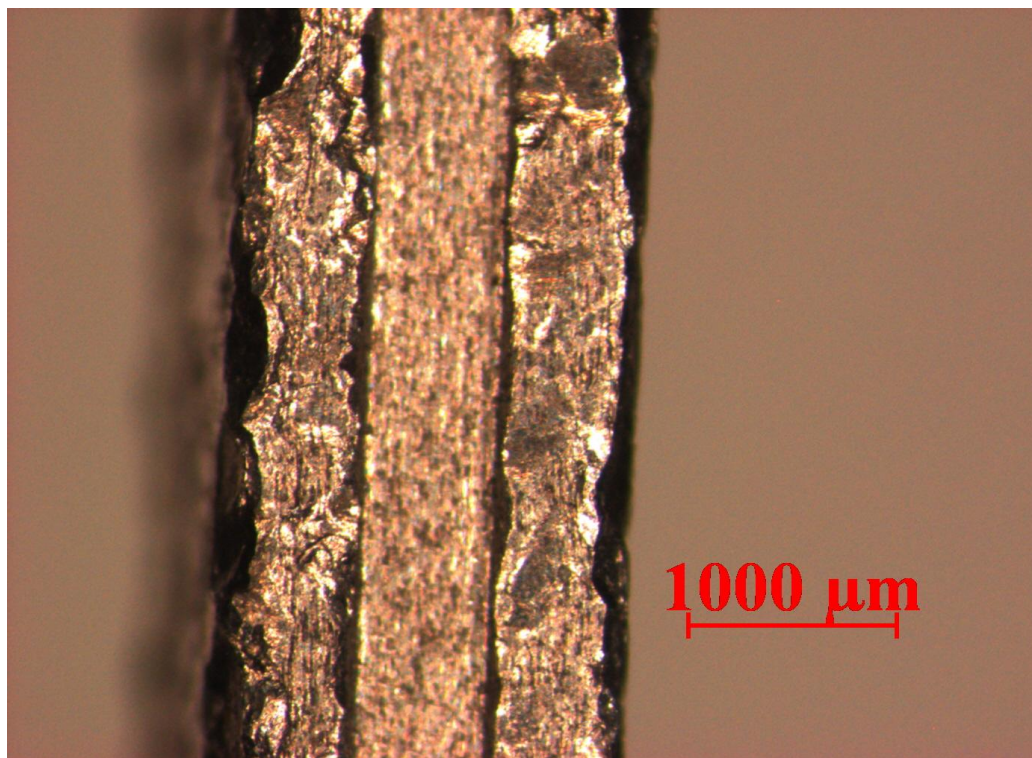
Tab. 8: Přehled granulátů [36]



Obr. 28: 1. návrh, závěsný tryskač, 5 min, granulát „S 460“



Obr. 29: 2. návrh, závěsný tryskač, 10 min, granulát „S 460“



Obr. 30: 3. návrh, stolní tryskač, 10 + 10 min, granulát „S 460“

11 Experimentální moření

Pro odstraňování nechtěných produktů z povrchu kovu jsem použil jeden z nejdůležitějších chemických způsobů, a to moření. Moření se provádí zpravidla nejčastěji do těchto dvou mořících lázní.

- Kyselina chlorovodíková
- Kyselina sírová

Experiment je proveden vzhledem k dostupnosti kyselin v obvyklých koncentracích, dle domluvy s vedoucím této bakalářské práce na Katedře materiálu a strojírenské metalurgie Západočeské univerzity v Plzni.

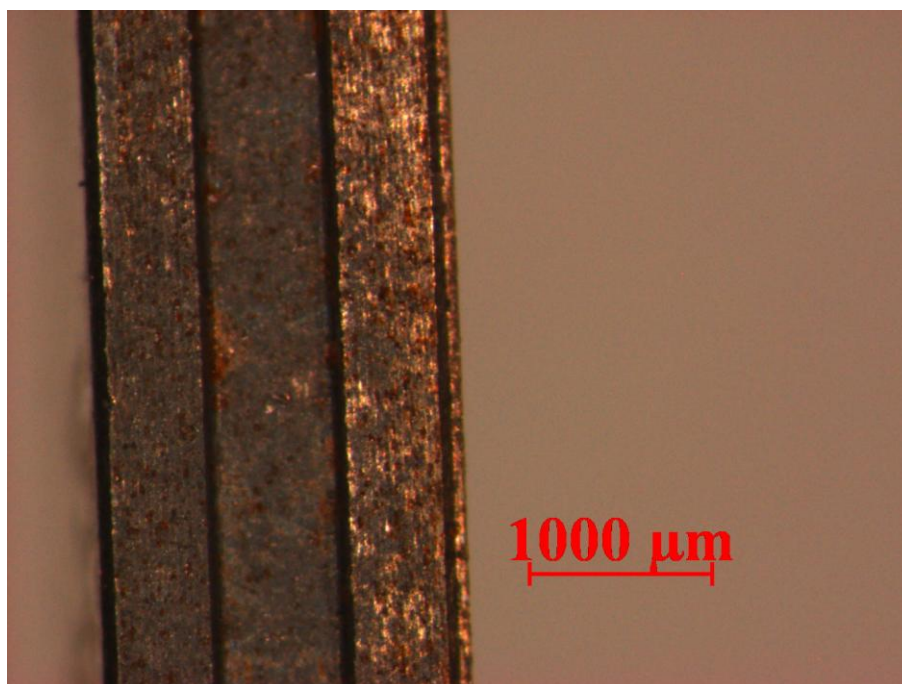
Postup:

- Odmaštění písních kroužků
- Moření v kyselině po danou dobu
- Oplach v demineralizované vodě
- Oplach v etanolu
- Vysušení

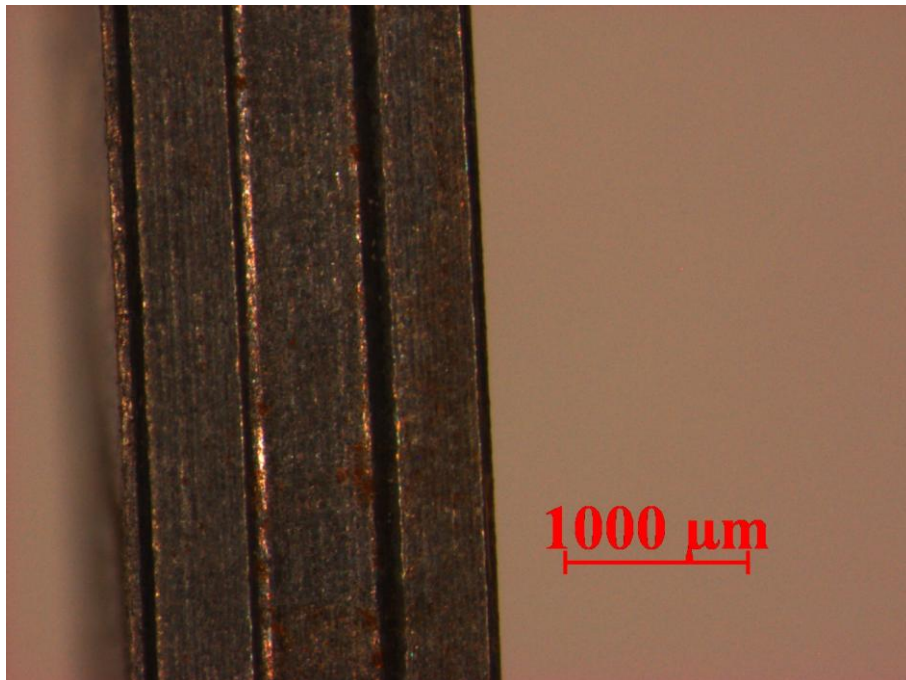
Doby moření kyselinou chlorovodíkovou

Kroužky bez tryskání	Doba moření	1. koncentrace
1. kroužek	0,5 min	1:1
2. kroužek	1 min	1:1
3. kroužek	3 min	1:1
4. kroužek	5 min	1:1

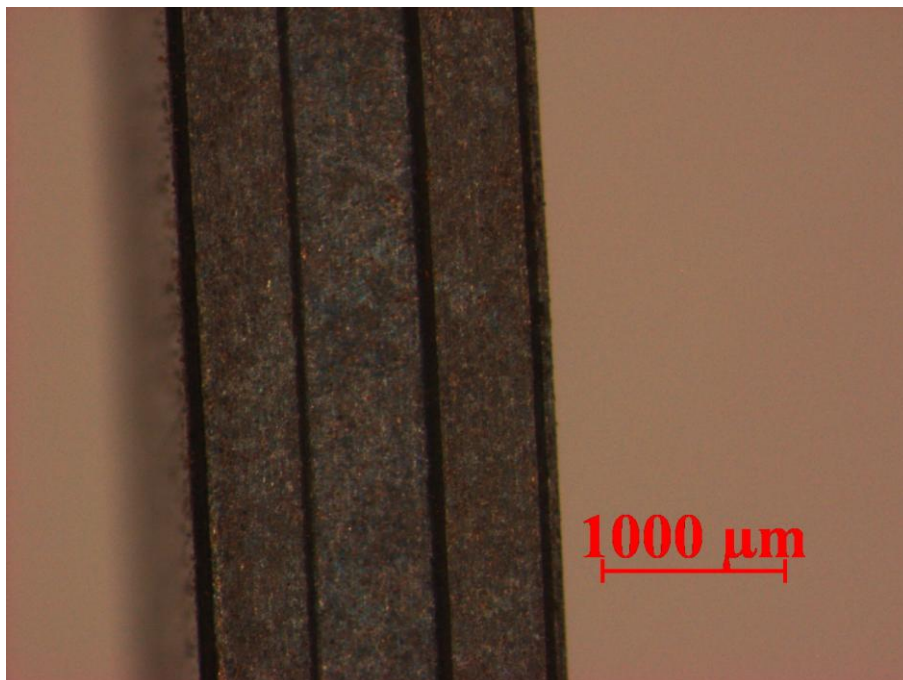
Tab. 9: Kyselina chlorovodíková 35%, koncentrace 1:1



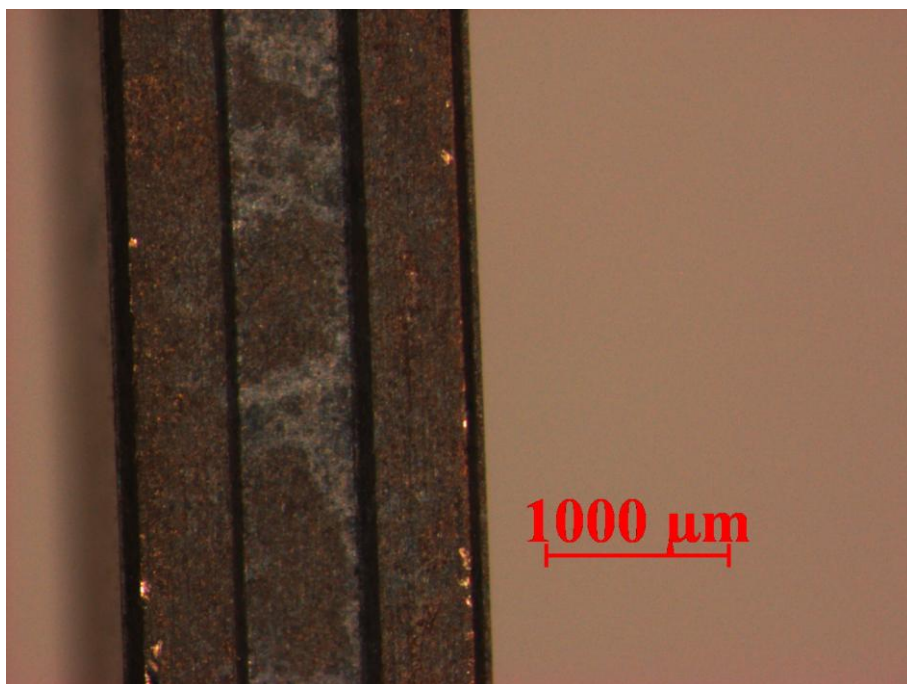
Obr. 31: kyselina chlorovodíková 35%, doba 30 sec, koncentrace 1:1



Obr. 32: kyselina chlorovodíková 35%, doba 1 min, koncentrace 1:1



Obr. 33: kyselina chlorovodíková 35%, doba 3 min, koncentrace 1:1

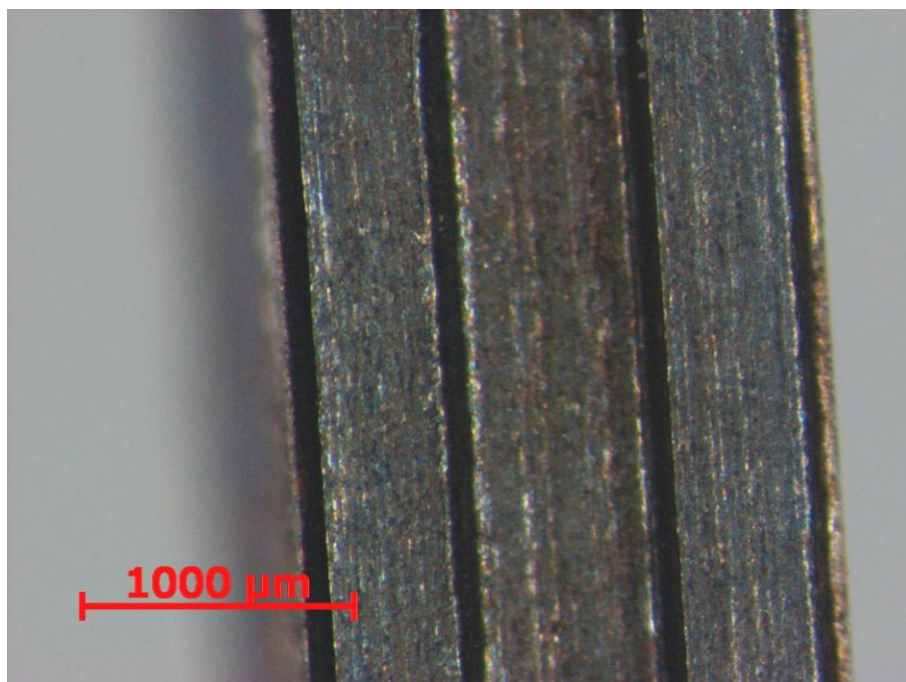


Obr. 34: kyselina chlorovodíková 35%, doba 5 min, koncentrace 1:1

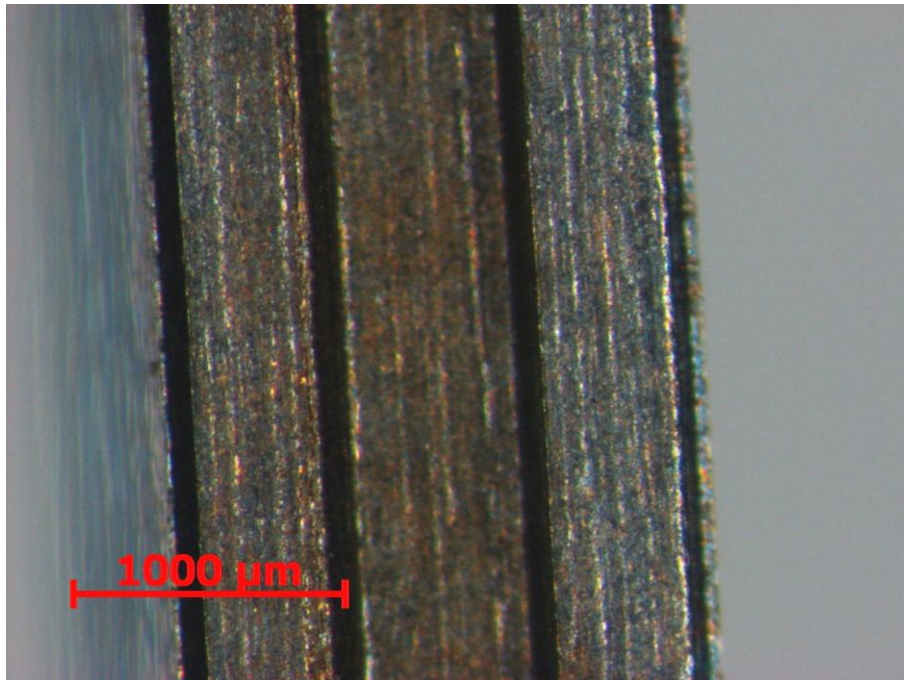
Doby moření kyselinou chlorovodíkovou

Kroužky bez tryskání	Doba moření	2. koncentrace
1. kroužek	0,5 min	1:2
2. kroužek	1 min	1:2
3. kroužek	3 min	1:2
4. kroužek	5 min	1:2

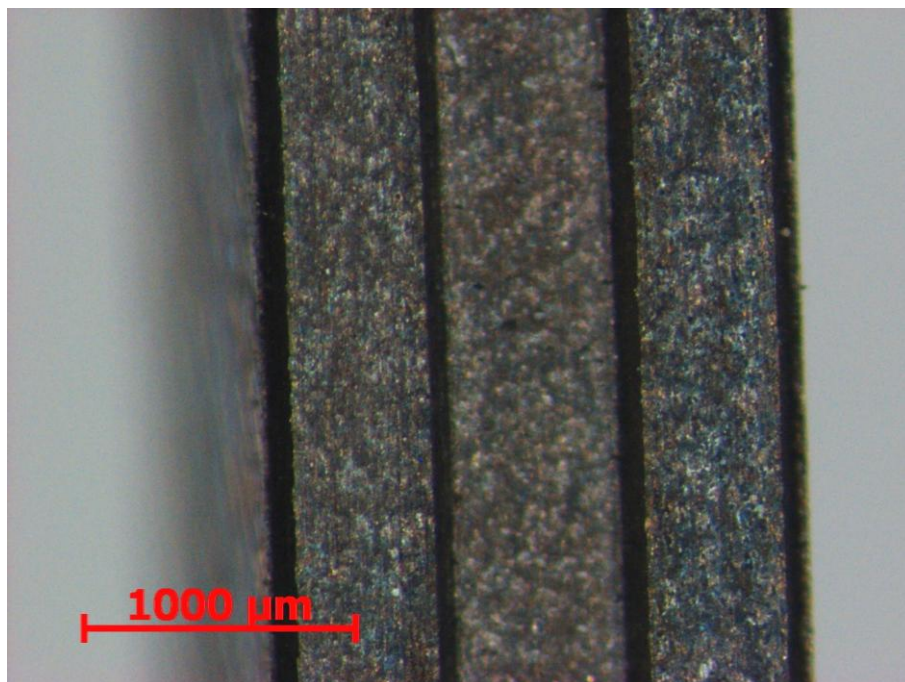
Tab. 10: Kyselina chlorovodíková 35%, koncentrace 1:2



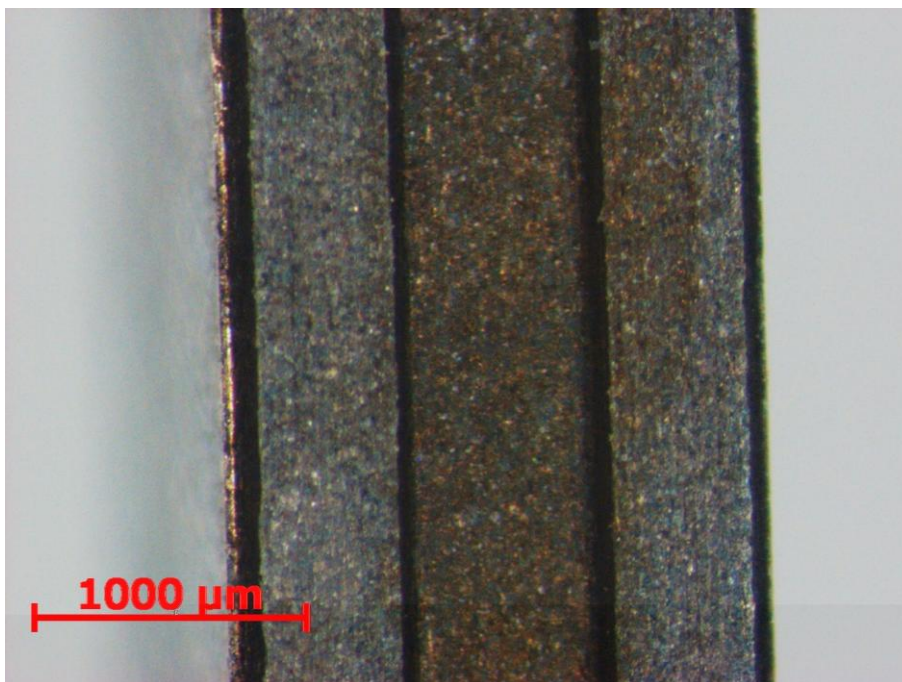
Obr. 35: kyselina chlorovodíková 35%, doba 30 sec, koncentrace 1:2



Obr. 36: kyselina chlorovodíková 35%, doba 1 min, koncentrace 1:2



Obr. 37: kyselina chlorovodíková 35%, doba 3 min, koncentrace 1:2

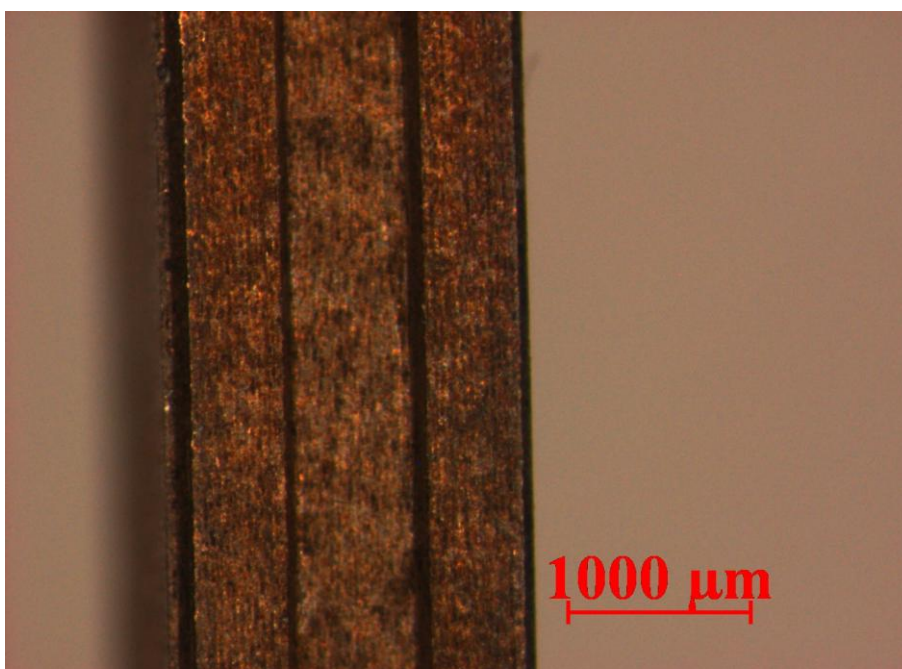


Obr. 38: kyselina chlorovodíková 35%, doba 5 min, koncentrace 1:2

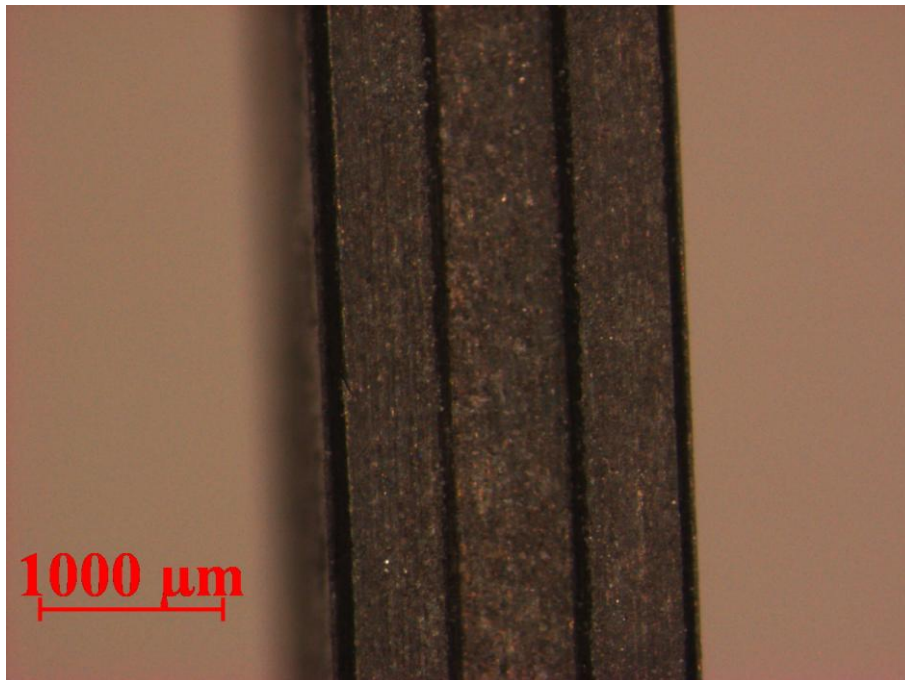
Doby moření kyselinou chlorovodíkovou

Kroužky bez tryskání	Doba moření	1. koncentrace
1. kroužek	0,5 min	1:1
2. kroužek	1 min	1:1
3. kroužek	3 min	1:1
4. kroužek	5 min	1:1

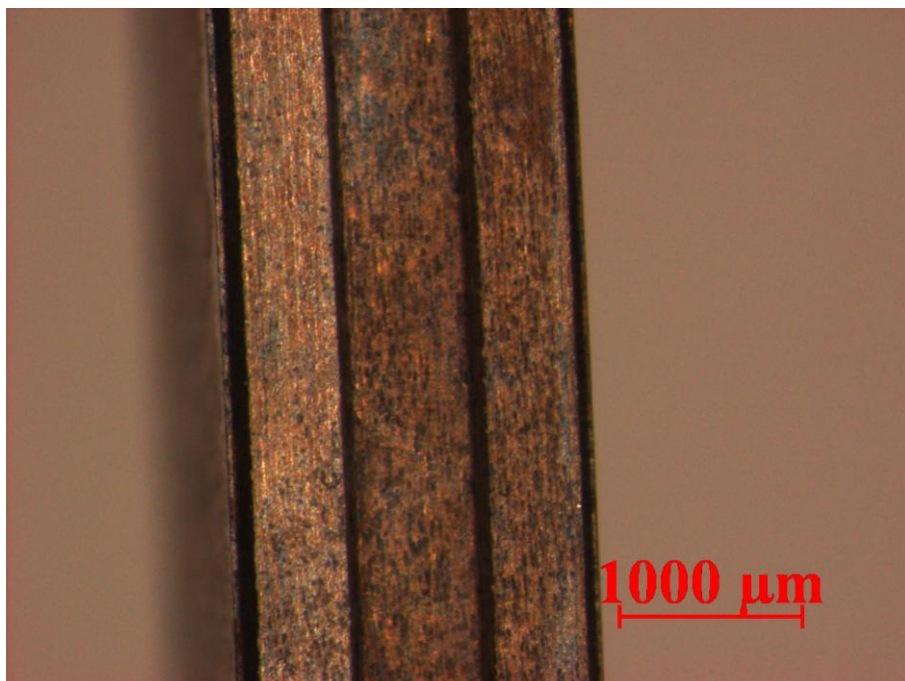
Tab. 11: Kyselina sírová 96%, koncentrace 1:1



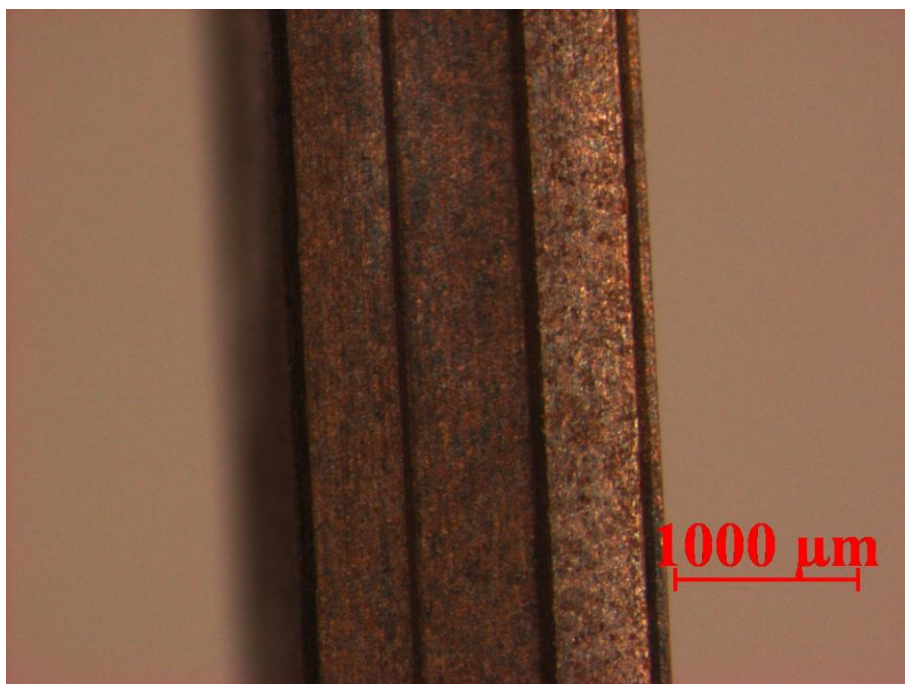
Obr. 39: kyselina sírová 96%, doba 30 sec, koncentrace 1:1



Obr. 40: kyselina sírová 96%, doba 1 min, koncentrace 1:1



Obr. 41: kyselina sírová 96%, doba 3 min, koncentrace 1:1

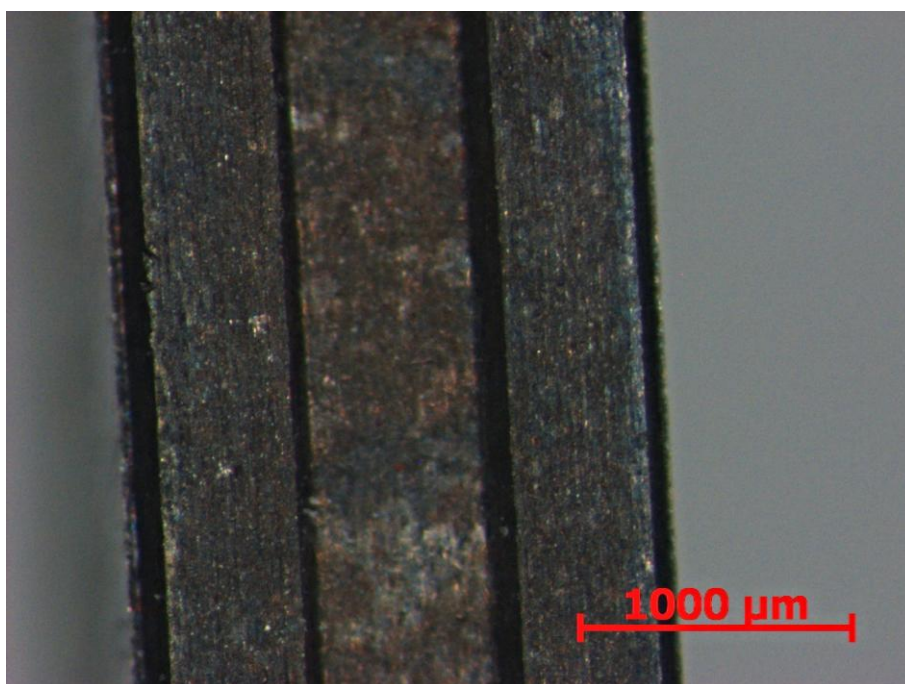


Obr. 42: kyselina sírová 96%, doba 5 min, koncentrace 1:1

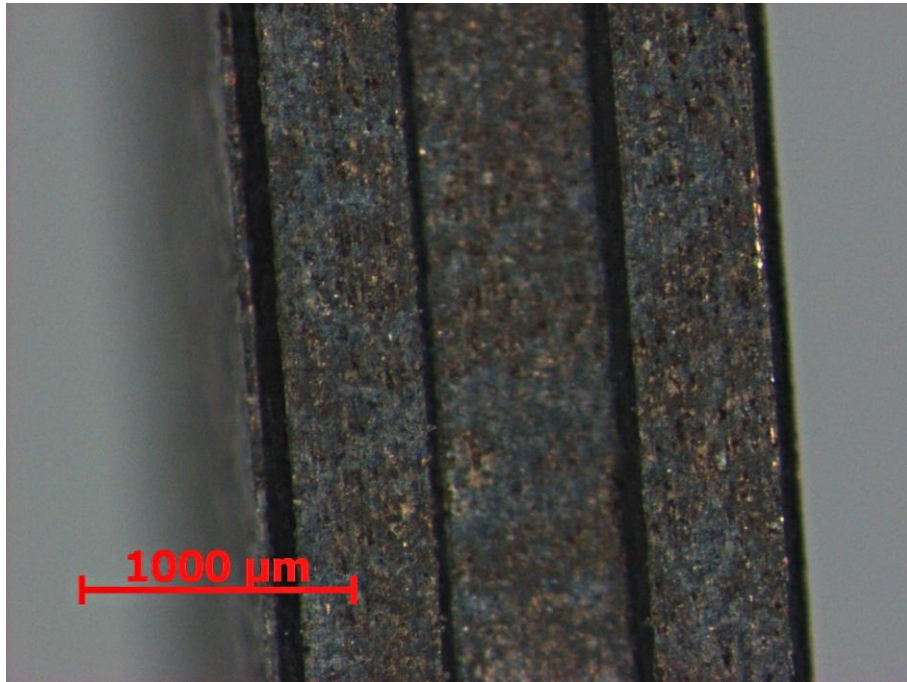
Doby moření kyselinou sírovou

Kroužky bez tryskání	Doba moření	2. koncentrace
1. kroužek	0,5 min	1:2
2. kroužek	1 min	1:2
3. kroužek	3 min	1:2
4. kroužek	5 min	1:2

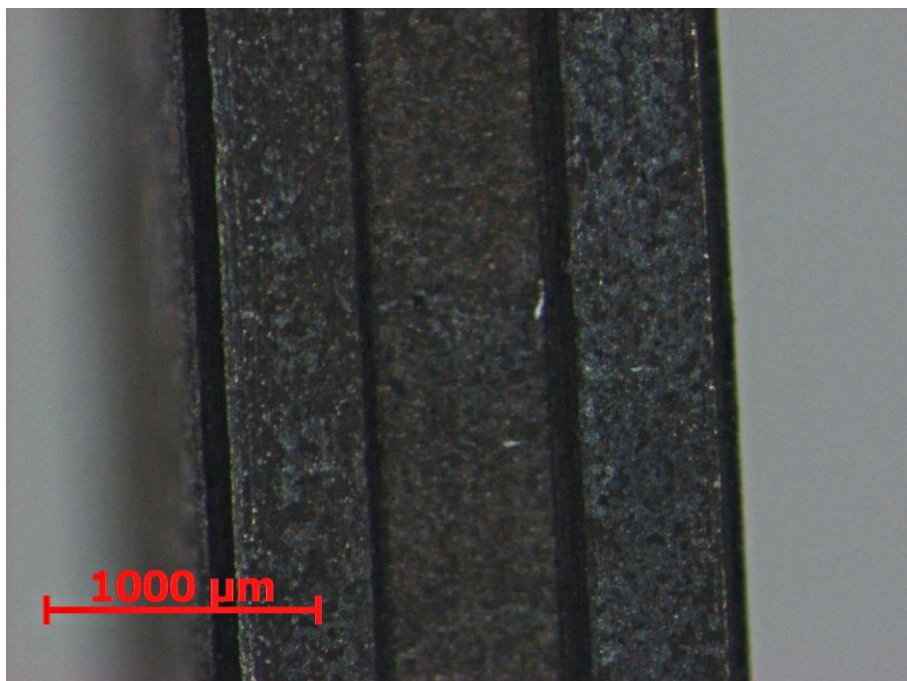
Tab. 12: Kyselina sírová 96%, koncentrace 1:2



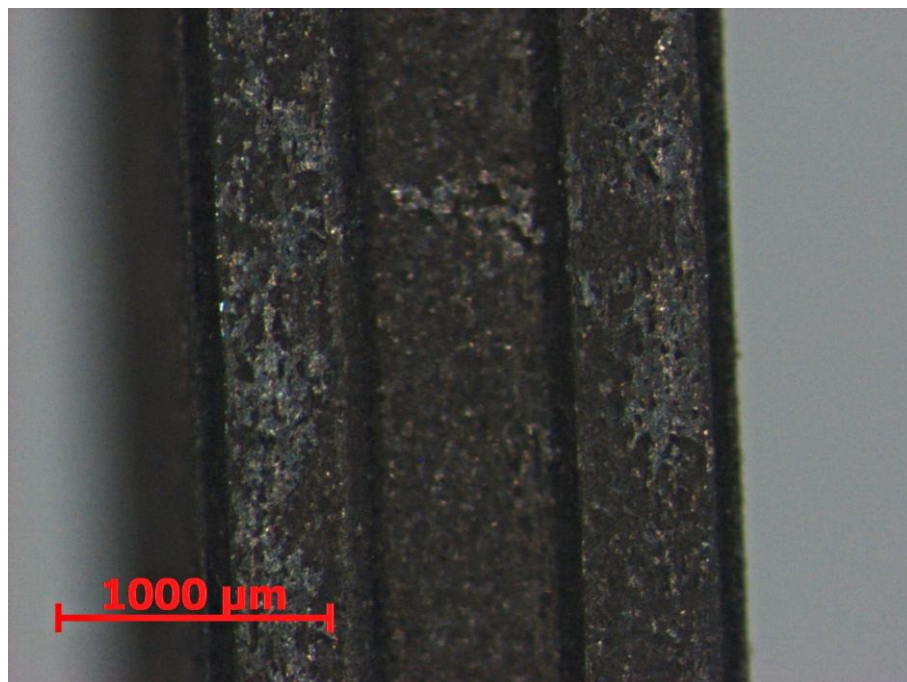
Obr. 43: kyselina sírová 96%, doba 30 sec, koncentrace 1:2



Obr. 44: kyselina sírová 96%, doba 1 min, koncentrace 1:2



Obr. 45: kyselina sírová 96%, doba 3 min, koncentrace 1:2



Obr. 46: kyselina sírová 96%, doba 5 min, koncentrace 1:2

12 Diskuze výsledků

Mořením bohužel nedošlo k naleptání povrchu pístního kroužku tak, aby byl povrch co nejvíce stejnorodý. Tedy povrch pístního kroužku, aby byl všude stejný jako po tryskání. Z fotografií vyplývá, že největším podílem na přilnavosti chromu je stejnorodost povrchu základního materiálu, kde se jedná o stejnou drsnot ve všech místech. Došlo k naleptání určitých míst, které jsou vidět pod mikroskopem, ale ne však všude a tedy povrch není sjednocený a je členitý. K naleptání celého povrchu nedošlo ani se zvyšováním doby moření.

Pouze u kyseliny chlorovodíkové 35%, doba moření 3 minuty a při koncentraci 1:2, došlo k naleptání povrchu, které bylo nejbližší k povrchu třikrát otryskanému. Bohužel už pístní kroužek začínal černat, respektive se začal vylučovat grafit.

Dalším zjištěným problémem je grafit. Jelikož došlo při těchto koncentracích a délce času moření k vyloučení grafitu na povrch základního materiálu. Kroužky už na první pohled zčernaly. Dále pak při delší době moření a menší koncentraci došlo k pasivaci. Tudiž ani změna času moření nepomohla. Začaly kroužky černat, korodovat nebo se zapasivovaly.

Dále je nutné zmínit, že je zapotřebí po povrchové předúpravě, tedy po moření, ihned provést povrchovou úpravu. Z důvodu téměř okamžité koroze při vyšších koncentrovaných lázní. Snižováním koncentrací lázní dochází k menšímu výskytu koroze na povrchu kroužků.

Shrnutí poznatků k závěru je takové, že nebylo možné dosáhnout takové kvality povrchu pístního kroužku, jako po tryskání, pouze podobné a to u kyseliny chlorovodíkové 35%, doba moření 3 min a koncentrace 1:2, obrázek 37. Z toho vyplývá, že takto prováděná povrchová předúprava mořením je v tuto chvíli nevhodná.

Tryskáním se došlo k povrchu, který nejevil známky po předchozí operaci soustružení. Bohužel však došlo k velkému natlučení hran na fázkách. Povrch je zaručeně očištěný, ale takto odloupaný a natlučený základní materiál není vhodně připravený pro nanášení chromu.

Tryskání by mělo dostat větší přednost před mořením. U tryskání je, alespoň možné ještě dalšími a časově náročnými pokusy se dostat k požadovanému povrchu.

Shrnutí poznatků k závěru je takové, že nebylo dosaženo takové kvality povrchu pístního kroužku, jako po původním tryskání za mokra. Pouze vzdáleně podobného povrchu se dosáhlo při 1. návrhu tryskání za sucha na závěsném tryskači, doba tryskání 5 minut, granulát „S 460“. Ale i tam byly fázky hodně rozbité. Z toho vyplývá, že takto prováděná povrchová předúprava tryskání je v tuto chvíli nevhodná. Ještě pokusem o nachromování by se dalo zjistit, zda je takový povrch vhodný. Nicméně k aktuálnímu stavu a vyhodnocení je tato cesta nevyhovující.

V tuto chvíli však není možné aplikovat chrom na takto otryskané pístní kroužky.

13 Závěr

Tryskání není možné aplikovat způsobem, kterým jsem prováděl experiment. Z důvodu velkého úbytku základního materiálu pístního kroužku. Navíc se drsnost zvýšila na tolik, že již pouhým okem lze usoudit, že je tato operace nepřijatelná a tudíž ji nemůžeme aplikovat jako jistou povrchovou předúpravu před chromováním. Chromový povlak by kopíroval rozbité fásky a kroužek by tak nebylo možné použít. Pouze vzdáleně podobného povrchu se dosáhlo při 1. návrhu tryskání za sucha na závěsném tryskači s dobou tryskání 5 minut. Ale i tak došlo k velkému rozbití fázek a kroužek tedy nevyhovuje.

S mořením jako povrchovou předúpravou před nanášením chromu jsem se nesešel v žádné literatuře, proto byla velmi zajímavá pro tento experiment. Ve většině případů nedošlo k pořádnému naleptání povrchu. A proto bych tuto aplikaci nedoporučoval jako povrchovou předúpravu. Nicméně se osvědčila v aplikaci odmašťování, bohužel je nutné podotknout, že po moření je nutné výrobky ošetřit tak, aby nedošlo k rychlé korozi, jako u pístních kroužků. V závěru by bylo možné tedy zkusit nachromovat pístní kroužky po aplikaci moření kyselinou chlorovodíkovou 35%, doba moření 3 min a při koncentraci 1:2.

Závěrem bych chtěl shrnout, že tuto dvojí experimentální povrchovou předúpravu nedoporučuji. Avšak navrhuji změnu stávajícího programu tryskání a to takovým způsobem, aby došlo ke zpomalení průchodu otryskávaného trnu s pístními kroužky. Po tomto pochodu by se eventuálně mohlo dosáhnout povrchu, jako po trojitěm tryskání.

14 Použité zdroje

- [1] HRABÁK, V., A kol., Pístní kroužky, Konstrukce, výroba, provoz, Buzuluk, a.s., Charlie Hořovice, 2000
- [2] LAUSMANN, G. A., Chromium Plating, 1st edition, Band Saulgau, Eugen G Verlag, 2007, Schichtenreihe Galvanotechnik und Oberflächenbehandlung, ISBN 3-87480-228-0
- [3] MUDROCH O., Chromování, Tvrdé a porosní povlaky, Vyd. 1., SNTL, Praha, 1959, Typové číslo L 13 – B1-3-II/2368
- [4] EDWARDS, J., (1997). Coating and Surface Treatment Systems for Metals. Finishing Publications Ltd. And ASM International. Pp. 214-217. ISBN 0-904477-16-9
- [5] Odborné konzultace a materiály Ing. Ondřej Chocholatý, Ph.D.
- [6] DŮMÉNY, T., Vliv podmínek broušení na průběh zbytkových napětí. Bakalářská práce v oboru „Strojírenská technologie“. Brno:VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2006. 42 s.
- [7] http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/EMO_kapitola_12.pdf
- [8] <http://www.vutium.vutbr.cz/tituly/pdf/ukazka/80-214-2131-2.pdf>
- [9] ŠTEMBERK, J., KOC, J.: Měření vnitřních pnutí ultrazvukem. Výzkumná zpráva VYZ 0964/06, ŠKODA VÝZKUM s.r.o., Plzeň, 1996
- [10] VÁCLAVÍK J., BOHDAN, P., HOLÝ, S., WEINBERG, O.: Residual stress evaluation according ASTM E 837-08 revision. Sb. konference EAN 2009, červen 2009, Sychrov.
- [11] http://ateam.zcu.cz/download/Integrita_prednaskaTZ.pdf
- [12] PUTZOVÁ, I. Modelování a procesu řezání se zaměřením na broušení a integritu obrobené plochy aplikací NS a FL. Disertační práce v oboru "Strojírenská technologie". Brno: VUT-FS, Ústav strojírenské technologie. 2004
- [13] Odborná konzultace – Pavel Ryba, Čejkovy
- [14] BENEDIKT, V., Povrchové úpravy kovových materiálů. VŠSE v Plzni 1985
- [15] KRAUS, V., Povrchy a jejich úpravy. ZČU v Plzni 2009
- [16] KREIBICH, V., Teorie a technologie povrchových úprav. ČVUT v Praze 1999
- [17] http://www.spolmont.cz/sortiment/abraziva-na-tryskani_cz.html#korund
- [18] Firemní podklady firmy Buzuluk a.s., Komárov, 2011
- [19] KŘÍŽ, A., BENEŠ, P., ŠIMEČEK, J., Impact tester pro kontaktní cyklické testování, Metal 2009 – Sborník přednášek, Ostrava, Tanger, s.r.o., 2009, s. 19 – 25, ISBN 978-80-87294-04-8
- [20] ŠTURC, J., a kolektiv, Moření oceli, Vydalo SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1985
- [21] Projekt: Autodiagnostika pro žáky SŠ - COPT Kroměříž, Registrační číslo: CZ.1.07/1.1.38/01.0006 <http://coptel.coptkm.cz/reposit.php?action=0&id=35637&revision=-1&instance=4>
- [22] <http://www.google.com/patents/US5713129>

- [23] Webová prezentace firmy Oerlikon Balzers, [online], [cit. 2015-24-02]
- [24] http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/stranka.php?kod=3596
- [25] OBR, L., Funkční chromování – Heef 25; Jihlava, 2008
(<http://produkty.atotech.cz/ostatni/heef.pdf>)
- [26] <http://www.motorkari.cz/forum-detail/?ft=132403&fid=53>
- [27] <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TU/TU/4kapitola.pdf>
- [28] http://vega.fjfi.cvut.cz/docs/sfbe/rtg_difrakce/4.html /
- [29] KŘÍŽ, A., FULEMOVÁ, J., KOLAŘÍK, K., Analýza povrchu pístních kroužků, Zpráva č. 42/2014/ KMM, 2014
- [30] http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/kom/tvrdost/rock1.jpg
- [31] http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/kom/tvrdost/brin1.jpg
- [32] JONES, A. R., Examination of Piston rings from Czech Republic, Technická zpráva, Atotech GMF Worldwide, Rock Hill, 2007
- [33] <http://www.iae.fme.vu,ktbr.cz/userfiles/motory/images/z1.jpg>
- [34] http://oteco.cz/sites/default/files/fotogalerie/2015/02/optima-12-17-t_02.jpg
- [35] http://www.inzerce2.cz/inz/236869_1.jpg
- [36] http://kovobrasiv.testwebu.cz/sites/default/files/tabulky/tabulky_cz_granulaty.pdf
- [37] <http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/>

Seznam obrázků

Obr. 1: Popis pístního kroužku [1]	5
Obr. 2: Tvar - průřez pístních kroužků [21]	6
Obr. 3: Síly působící na pístní kroužek [1]	7
Obr. 4: Trn s pístními kroužky při tryskání [22]	10
Obr. 5: Vliv koncentrace lázní HCl a H ₂ SO ₄ na rychlosti moření [15]	12
Obr. 6: Porovnání opotřebení [23]	14
Obr. 7: Zadřený píst [24]	15
Obr. 8: Zadřený válec s drobným nanesením Al slitiny pocházející z pístu [26]	16
Obr. 9: Nejčastější druhy opotřebení [27]	17
Obr. 10: Trn s pístními kroužky při chromování [25]	19
Obr. 11: Vlevo: Snímek vzorku - bílý kříž značí polohu středu ozářené oblasti 0,25 x 1 mm ² na vzorku v tangenciálním směru. Vpravo: Poloha a velikosti ozářených oblastí pro směry měření [28]	20

Obr. 12: Deformace vzdáleností rovin mřížky a změny úhlové polohy interferenčního maxima [29].....	21
Obr. 13: Průběh Rockwellovy zkoušky tvrdosti [30].....	22
Obr. 14: Brinellova zkouška tvrdosti [31].....	22
Obr. 15: Schéma snímání profilu povrchu při měření drsnosti [1]	23
Obr. 16: Diagram s vyjádřením vztahu Ra (střední hodnoty drsnosti) a Rz (střední průměrné hodnoty drsnosti [1].....	23
Obr. 17: Nenakroucený a nakroucený pístní kroužek	24
Obr. 18: Odloupený kus Cr povlaku [32]	24
Obr. 19: Zkouška motoru na motorové brzdě [33].....	25
Obr. 20: Pístní kroužky, zleva: 3x, 2x, 1x tryskány a bez tryskání.....	26
Obr. 21: Řez pístního kroužku, A - po obrábění, B - po nachromování, C - po broušení drážky. Nanesený chrom je vyznačen tenkou čarou po obvodu PK.	27
Obr. 22: Pístní kroužek bez tryskání	27
Obr. 23: Pístní kroužek 1x tryskaný.....	28
Obr. 24: Pístní kroužek 2x tryskaný.....	28
Obr. 25: Pístní kroužek 3x tryskaný.....	29
Obr. 26: Závěsný tryskač [34].....	30
Obr. 27: Stolní tryskač [35].....	30
Obr. 28: 1. návrh, závěsný tryskač, 5 min, granulát „S 460“.....	32
Obr. 29: 2. návrh, závěsný tryskač, 10 min, granulát „S 460"	32
Obr. 30: 3. návrh, stolní tryskač, 10 + 10 min, granulát „S 460".....	33
Obr. 31: kyselina chlorovodíková 35%, doba 30 sec, koncentrace 1:1	34
Obr. 32: kyselina chlorovodíková 35%, doba 1 min, koncentrace 1:1	35
Obr. 33: kyselina chlorovodíková 35%, doba 3 min, koncentrace 1:1	35
Obr. 34: kyselina chlorovodíková 35%, doba 5 min, koncentrace 1:1	36
Obr. 35: kyselina chlorovodíková 35%, doba 30 sec, koncentrace 1:2	36
Obr. 36: kyselina chlorovodíková 35%, doba 1 min, koncentrace 1:2	37
Obr. 37: kyselina chlorovodíková 35%, doba 3 min, koncentrace 1:2	37
Obr. 38: kyselina chlorovodíková 35%, doba 5 min, koncentrace 1:2	38
Obr. 39: kyselina sírová 96%, doba 30 sec, koncentrace 1:1	38
Obr. 40: kyselina sírová 96%, doba 1 min, koncentrace 1:1	39
Obr. 41: kyselina sírová 96%, doba 3 min, koncentrace 1:1.....	39
Obr. 42: kyselina sírová 96%, doba 5 min, koncentrace 1:1	40
Obr. 43: kyselina sírová 96%, doba 30 sec, koncentrace 1:2.....	40
Obr. 44: kyselina sírová 96%, doba 1 min, koncentrace 1:2.....	41

Obr. 45: kyselina sírová 96%, doba 3 min, koncentrace 1:2.....	41
Obr. 46: kyselina sírová 96%, doba 5 min, koncentrace 1:2.....	42

Seznam tabulek

Tab. 1: Označení korundu a velikost zrn [17].....	10
Tab. 2: Označení baltoninu a velikosti zrn [17].....	11
Tab. 3: Označení ocelové drtě a velikost zrn [17].....	11
Tab. 4: Porovnání opotřebení [1, 37]	13
Tab. 5: Hodnoty povrchových zbytkových napětí σ_T a σ_A , MPa na povrchu analyzovaných písňích kroužků [18].....	21
Tab. 6: Přehled dodaných písních kroužků	26
Tab. 7: Typy návrhů ověřených v průmyslu	31
Tab. 8: Přehled granulátů [36].....	31
Tab. 9: Kyselina chlorovodíková 35%, koncentrace 1:1	34
Tab. 10: Kyselina chlorovodíková 35%, koncentrace 1:2	36
Tab. 11: Kyselina sírová 96%, koncentrace 1:1	38
Tab. 12: Kyselina sírová 96%, koncentrace 1:2.....	40