

Ověření oceli 1.2714 pro výrobní nástroje

Jaroslav Šerák

Bakalářská práce
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Jaroslav Šerák
Osobní číslo: T17104
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
Forma studia: Kombinovaná
Téma práce: Ověření oceli 1.2714 pro výrobní nástroje

Zásady pro vypracování

1. Vypracování literární studie na dané téma
2. Příprava experimentálních vzorků
3. Použití vzorků pro zvolenou výrobní technologii
4. Vyhodnocení vlastností oceli

Forma zpracování bakalářské práce: Tiskárenská/elektronická

Seznam doporučené literatury:

PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II. 2., opr. a rozš. vyd.* Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.

HAZLINGER, Marián a Roman MORAVČÍK. *Chemicko-tepelné spracovanie materiálov.* Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2013, 171 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3924-5.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Bednařík, Ph.D.
Ústav výrobního inženýrství

Konzultant bakalářské práce: Ing. Dana Shejbalová, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 2. ledna 2020

Termín odevzdání bakalářské práce: 22. května 2020

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 29. dubna 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou volby materiálu a jeho úprav pro výrobní nástroje. Teoretická část popisuje základní rozdělení výrobních nástrojů, dále je pak vztažena na nástroj lisovací formu pro kaučukové směsi. Uvádí její konstrukční řešení, vhodné materiály pro výrobu dutiny a povrchové úpravy. Praktická část popisuje materiál s aplikovanými povrchovými úpravami, jenž reprezentuje dutinu formy, dále vybranou použitou kaučukovou směs a proces jejího lisování. Po provedení experimentu je realizován rozbor výsledků a jejich vyhodnocení.

Klíčová slova: lisovací forma, kaučuková směs, nástrojová ocel, povrchové úpravy, drsnost, tvrdost, kontaminace

ABSTRACT

The bachelors thesis deals with the choice of material and its modifications for production tools. The theoretical part describes the basic division of production tools, then it is related to the tool mold for rubber compounds. It presents its design solution, suitable materials for the production of the cavity and surface treatment. The practical part describes the material with applied surface treatments, which represents the mold cavity, the selected rubber compound used and the process of its pressing. After performing the experiment, the analysis of the results and their evaluation is performed.

Keywords: mold, rubber compound, tool steel, surface, treatments, roughness, hardness, contamination

Touto cestou bych rád poděkoval paní Ing. Daně Shejbalové, Ph.D. za její odborné vedení, cenné rady, konzultace, čas a trpělivost, které věnovala mé bakalářské práci.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD..... | 9 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 10 |
| 1 VÝROBNÍ NÁSTROJE..... | 11 |
| 1.1 ROZDĚLENÍ NÁSTROJŮ PODLE TECHNOLOGICKÉHO HLEDISKA..... | 11 |
| 1.2 ROZDĚLENÍ NÁSTROJŮ PODLE DRUHU ZPRACOVÁVANÉHO MATERIÁLU..... | 12 |
| 2 LISOVACÍ FORMY | 14 |
| 2.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ LISOVACÍCH FOREM..... | 14 |
| 2.2 NÁVRH A KONSTRUKCE FOREM | 15 |
| 2.2.1 Konstrukční požadavky..... | 16 |
| 2.2.2 Technologičnost výrobku..... | 16 |
| 2.2.3 Zaformování směsi-výrobek | 16 |
| 2.2.4 Dělicí rovina..... | 16 |
| 2.2.5 Dutina formy | 17 |
| 3 MATERIÁLY DUTIN FOREM | 19 |
| 3.1 OCEL | 19 |
| 3.2 NÁSTROJOVÉ OCELI..... | 20 |
| 3.2.1 Rozdělení nástrojových ocelí | 20 |
| 3.2.2 Typické nástrojové oceli na výrobu forem..... | 21 |
| 3.2.3 Neželezné kovy a jejich slitiny | 21 |
| 3.2.4 Hliník a jeho slitiny | 22 |
| 4 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ | 24 |
| 4.1 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ OCELÍ | 24 |
| 4.2 DRUHY TEPELNÝCH ZPRACOVÁNÍ OCELÍ | 25 |
| 4.2.1 Žihání | 25 |
| 4.2.2 Kalení | 25 |
| 4.2.3 Popouštění | 27 |
| 4.2.4 Zušlechťování..... | 27 |
| 5 POVRCHOVÉ ÚPRAVY (CHEMICKO-TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ) | 28 |
| 5.1 DRUHY POVRCHOVÝCH ÚPRAV..... | 29 |
| 5.1.1 Sycení povrchu nekovy | 29 |
| 5.1.2 Sycení povrchu kovy | 30 |
| 5.1.3 Chemické a fyzikální povrchové úpravy-povlakování..... | 31 |
| 6 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI..... | 35 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 36 |
| 7 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE | 37 |
| 8 ZPRACOVÁNÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI | 38 |
| 8.1 POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ VZORKY | 38 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 8.1.1 | Ocel 1.2714 | 38 |
| 8.1.2 | Povrchové úpravy zkoušených vzorků..... | 39 |
| 8.1.3 | Druhy úprav | 39 |
| 8.2 | MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU VZORKŮ | 40 |
| 8.3 | MĚŘENÍ TVRDOSTI VZORKŮ..... | 41 |
| 8.4 | PŘÍPRAVA A LISOVÁNÍ KAUČUKOVÉ SMĚSI | 42 |
| 8.4.1 | Kaučuková směs..... | 42 |
| 8.4.2 | Proces vulkanizace | 44 |
| 8.4.3 | Hydraulický vulkanizační lis..... | 45 |
| 8.4.4 | Vulkanizační lisovací forma | 46 |
| 8.5 | MĚŘENÍ FTIR..... | 46 |
| 8.6 | RENTGENOVÁ FLUORESCENCE XRF | 48 |
| 8.7 | MĚŘENÍ KONTAKTNÍHO ÚHLU | 49 |
| 8.8 | VZHLED VZORKŮ (FOTO VZORKŮ + MIKROSKOPICKÉ SNÍMKY)..... | 50 |
| 9 | DISKUZE A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ..... | 51 |
| 9.1 | DRSNOST POVRCHŮ | 51 |
| 9.2 | TVRDOST POVRCHŮ..... | 52 |
| 9.3 | ANALÝZA FTIR..... | 53 |
| 9.4 | XRF | 55 |
| 9.5 | KONTAKTNÍ ÚHEL | 62 |
| 9.6 | VIZUÁLNÍ POROVNÁNÍ VZORKŮ..... | 63 |
| | ZÁVĚR | 67 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 69 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 73 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 75 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 78 |

ÚVOD

Již v době kamenné začali lidé vnímat, že se okolo nich nachází množství přírodních produktů jako je dřevo, kameny nebo třeba kosti uhynulých zvířat, ve kterých později našli využití pro snadnější způsob života. Tyto produkty začali brát zejména jako materiály na výrobu jednoduchých zbraní pro lov zvěře. Nejstarším nástrojem v tomto historickém období se stal opracovaný kámen, později nazývaný pěstní klín, který nesl využití jako zbraň, ale také jako všestranný prvek pro další účely. Postupem času se nástroje staly nezbytnou součástí lidstva a na jejich vývoji se podílela všechna historická období až po současnost. Podobně jako celý vývoj populace lidstva a jejího systematického technického vzrůstu, tak i rozvoj jednotlivých nástrojů a s nimi spojených technologií, nesl s sebou během částečných krůčků i přešlapování po dobu jeho dlouhého vzniku mnoho nevyjasněných okolností a problémů, než se dostal do stavu takového, jak je znám v současnosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝROBNÍ NÁSTROJE

Obecně lze nástroj chápat jako pomůcku ve spojitosti se zpracováním určitého materiálu. Jedná se tedy o prvek, který vykonává konkrétní činnosti. Jeho použití je vůči výrobku všestranné podle potřebného účelu (změna rozměru, tvar, vzhled, jakost povrchu, životnost a jiné). Při opomenutí ručních nástrojů, které jsou přímo používané člověkem, se vychází ze soustavy stroj-nástroj-výrobek. Nejvýznamnější uplatnění lze zcela jistě najít ve výrobní sféře všech průmyslových odvětví. Výrobní nástroje velmi úzce souvisí s výrobními a technologickými postupy. Na základě mnoha okolností je lze začlenit do několika skupin a podskupin. V následujícím textu je uvedeno dělení podle technologického hlediska a podle materiálu, který nástroj zpracovává. [1]

1.1 Rozdělení nástrojů podle technologického hlediska

V běžné praxi se lze setkat s technologickými procesy na zpracování, které jsou odlišně podmíněné s ohledem na zpracovávaný materiál. Je tedy zřejmé, že na nástroje jsou kladeny nejrůznější požadavky, často ve spojitosti s jejich životností. Tuto problematiku je možné s velkou účinností realizovat pomocí tepelného, chemicko-tepelného zpracování nebo jiných povrchových úprav. [2]

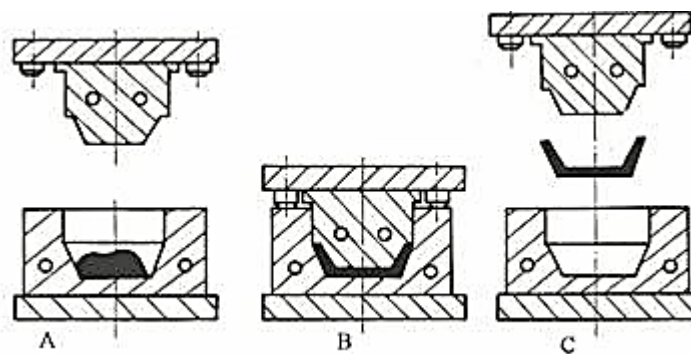
Nástroje podle základních zpracovatelských technologií:

- **Nástroje používané ke tváření** – nástroje zpracovávají materiál do výsledného výrobku působením vnějších sil (lisování, kování, válcování ...) nebo působením vysokých tlaků (u lisování, přetlačování, vstřikování ...), často za vlivu vysokých teplot. To má značný vliv na opotřebení a celkovou životnost nástroje. Patříčnými povrchovými úpravami je možné toto riziko eliminovat.
- **Nástroje používané ke tvarování** – u této technologie se vychází často z polotovaru, kde materiál už výrazně nemění vnitřní strukturu. Použité tvarovací síly jsou podstatně menší než u tváření a nástroj není vystaven dlouhodobému teplotnímu namáhání, což má za následek, že materiál nástroje nemusí být výrazně pevný.
- **Nástroje používané k obrábění** – jedná se o řezné a obráběcí nástroje, které oddělují nebo odebírají materiál za zvýšených teplot, rychlostí, otáček a posuvů. Často i vlivem špatné obrobitelnosti materiálu se zmenšuje životnost nástroje.

Specifické požadavky jsou proto kladeny na ostří, ve kterém je břit mechanicky a tepelně namáhán. Tedy je nevyhnutelné, aby materiál břitu byl pevnější, houževnatější, tvrdší a odolnější teplotám než materiál obráběný. V současné době je možné toto riziko eliminovat vhodným výběrem řezných materiálů nebo jejich kombinací. Mimo běžné nástrojové oceli stojí za zmínku i rychlořezná ocel, řezná keramika, slinuté karbidy, cermety, technický diamant nebo kubický nitrid bóru.

- **Speciální nástroje** – nástroje pro vytváření spojů, kde typickými představiteli jsou svařovací jednotky. U plastových součástí v moderní době našla uplatnění velmi oblíbená ultrazvuková technika. Svařovací hroty (sonotrody) jsou namáhané mechanickými vibracemi, proto jejich materiály musí nést vysokou pevnost. Za nejstarší metodu svařování kovů lze zcela jistě brát obloukové svařování, kde se za hlavní nástroj považuje elektroda, respektive přídavný materiál za účelem vytvoření nerozebíratelného spojení. Mezi fenomény dnešní moderní doby patří bezesporu technologie využívající laser. Mimo povrchové kalení nebo zmiňované svařování je velmi efektivní nástroj pro dělení plastových i kovových materiálů. [2]

Vzhledem k široké škále druhů nástrojů byl pro bakalářskou práci zvolen jeden nástroj, a to lisovací forma určená pro vulkanizaci kaučukové směsi. Další část BP proto pojednává o tomto nástroji.



Obrázek 1 Princip lisování termoplastů, A-vložení termoplastu do dutiny formy, B-lisování a vytvrzování, C-vyhození výlisku [3]

1.2 Rozdělení nástrojů podle druhu zpracovávaného materiálu

V průmyslových odvětvích se pro výrobu nástrojů uplatňují jak kovové, tak nekovové

materiály.

Při výběru vhodného nástroje na zpracování je nezbytně nutná znalost zpracovávaného materiálu, především jeho mechanických, fyzikálních, chemických a technologických vlastností jako je tuhost, tvrdost, pevnost, pružnost, tepelná vodivost, objemová roztažnost, magnetický charakter, korozivzdornost, svařitelnost, obrobitelnost a jiné. [2]

Rozdělení nástrojů podle zpracovávaných materiálů:

- na zpracování železných i neželezných kovů
- na zpracování polymerních materiálů
- na zpracování kompozitů
- na zpracování keramických hmot
- na zpracování dřeva
- na zpracování stavebních materiálů
- na zpracování skla
- na zpracování textilií
- na zpracování kůže
- na zpracování papíru



Obrázek 2 Příklady forem – vlevo pro kokilové lití hliníku, vpravo pro vakuové lití plastů [4] [5]

2 LISOVACÍ FORMY

Formy slouží k produkci výrobků, které se liší konstrukcí, tvarem, druhem materiálu atd. Forma je negativ výrobku a jasně definuje jeho výsledný tvar. Dutina formy přichází do přímého kontaktu se zpracovávaným materiálem, který ji tepelně, chemicky a abrazivně namáhá.

Lisovací forma je složena zpravidla z několika dílů (tvárnice, tvárník atd.), které vlivem působení zvýšené teploty, vysokých tlaků a cyklického namáhání udávají výsledný tvar a rozměry požadovaného výrobku. Proto při její konstrukci je důkladně brán zřetel na vhodnou volbu materiálu, který bude schopen těmto vlivům odolávat. Většina lisovacích forem je proto vyrobena z oceli. K dalším požadovaným vlastnostem je potřeba také zařadit nenáročnost z hlediska složení a následného rozebírání formy, efektivní vyhazování výrobků, povrchová jakost dutiny, vhodná volba odvodušňovacího systému, rychlé a snadné čištění, minimalizovat vznik přetoků, kvalitní zaplnění dutiny materiálem atd.

Lisovací formy se obvykle vyrábějí vícenásobné s tvarovými vložkami. Jednonásobné formy se zhotovují bezvlozkově. [6] [7]



Obrázek 3 Příklad formy pro lisování EPS, EPP [8]

2.1 Základní rozdělení lisovacích forem

Lisovací formy lze třídit podle různých hledisek, a to:

- podle konstrukčního řešení (násobnosti formy)
- podle způsobu upínání na lis
- podle působení tlaku

Podle konstrukčního řešení

- **Etážové** - konstrukce tvoří více dělicích rovin nad sebou a v každé z nich jsou umístěny shodné tvarové dutiny.
- **Dělené** - pro lepší vyjímání výrobku jsou tvárník nebo tvárnice řešeny ze dvou, respektive více pohyblivých částí.
- **Sdružené** (kombinované) - jsou vícenásobné formy, které mají tvarově rozdílné díly.

Podle způsobu upínání na lis

- **Snímací** - veškerá manipulace s formou probíhá mimo lisovací stroj.
- **Upínací** - forma je nepřetržitě upnuta na lisovacím stroji.

Podle působení tlaku

- S neomezeným tlakovým působením
- S částečně omezeným tlakovým působením
- S omezeným tlakovým působením [9]

Podle hodnoty lisovacího tlaku se posoudí a určí výchozí lisovací síla, která je podkladem pro volbu lisovacího stroje.

Lisovací síla by neměla překročit její doporučené maximum, které činí zpravidla 90 % této síly.

Lisovací tlaky mají velký vliv na životnost formy, proto při konstrukci je na místě výběr kvalitního materiálu, nejčastěji ocel. Tato volba má však také pozitivní vliv na tvarově složitější výrobky, jejich přesnější geometrii a kvalitu povrchu. [7] [10]

2.2 Návrh a konstrukce forem

Pro efektivní řešení konstrukce formy je základním kritériem cena a množství vylisků, které má forma vyrobit. Od těchto požadavků se odvíjí ekonomické hledisko na volbu materiálu a aplikaci výrobních strojů na zhotovení formy. Neméně důležitou roli hraje technologičnost výrobku.

Je zřejmé, že forma jako výrobní nástroj by měla zajistit v adekvátním čase produktivitu výroby s požadovanou kvalitou výrobků. [11]

2.2.1 Konstrukční požadavky

- snadná a rychlá rozebíratelnost spojovacích prvků
- vhodné řešení pro naplnění materiálem
- efektivní vyjímání výlisků
- snadné čištění
- vhodné řešení odvodu vzduchu
- přesná geometrie dělicích rovin
- vhodné vodící kolíky na stabilitu spojovacích dílů (v dělicí rovině)
- přijatelná hmotnost formy (při ruční manipulaci značná výhoda)
- materiál formy (zřetel brán na lisovací tlaky, chemický vliv polymerních tavenin)

2.2.2 Technologičnost výrobku

Hlavním požadavkem na výrobek je geometrická přesnost s možnými tolerancemi, jeho rozměrová stabilita a kvalita povrchu. Samotné řešení tvaru výrobku je z hlediska výroby závislé na výrobním postupu. Standardní postup zastává tvarově nenáročné provedení výrobku, tímto se rozumí volba rádiusů, zaoblení ostrých hran, řešení úkosů a jiné. Důležitým požadavkem je také minimalizovat dodatečné úpravy (například odstraňování přetoku). [11]

2.2.3 Zaformování směsi-výrobek

Samotný výrobek je podmíněn konstrukčním řešením formy, proto často není brán zřetel na spojitost s jeho výrobou. Je tedy nezbytné výrobek upravit tak, aby byl tvarově řešen v souladu s navrhovaným výrobním postupem - jeho technologičností. Cílem je zabezpečit požadované vlastnosti výrobků za předpokladu vysoké výrobní spolehlivosti a přijatelného ekonomického hlediska. [11]

2.2.4 Dělicí rovina

Dělicí roviny jsou stykové plochy pro dosedání částí při uzavírání dutiny formy. Tato pomyslná dělicí plocha je řešena převážně z výrobního důvodu, její umístění je vzhledem k výrobku takové, aby bylo dosaženo jeho efektivního vyjmutí z dutiny formy. Dalším

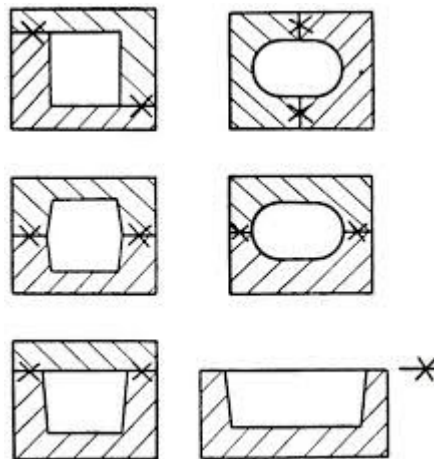
požadavkem je, aby výrobek nezměnil svoji funkčnost, respektive neutrpěl estetické poškození po stopě dělicí roviny. Působením nepřiměřených tlaků při lisování je možnost vzniku přetoku, který by se měl vůči výrobku šetrně odstranit. U složitějších výrobků je řešení dělicích rovin náročnější. Často se volí i jejich větší počet. [11] [10]

V běžné praxi se lze setkat se dvěma typy dělicích rovin, jedná se o hlavní a vedlejší dělicí rovinu.

Směr hlavní dělicí roviny je kolmý na směr uzavírání formy, vedlejší dělicí rovina je pak brána jako vedlejší.

Umístění dělicích rovin je cíleně řešeno do hran a plošně velkých rádiusů výrobku. Odsazení dělicí roviny musí mít být vhodně zesíleno, aby nedošlo k případnému poškození výrobku.

U výrobků s rotačním charakterem se stopy po dělicích rovinách upravují důkladněji. [11]



Obrázek 4 Příklady řešení dělicích rovin

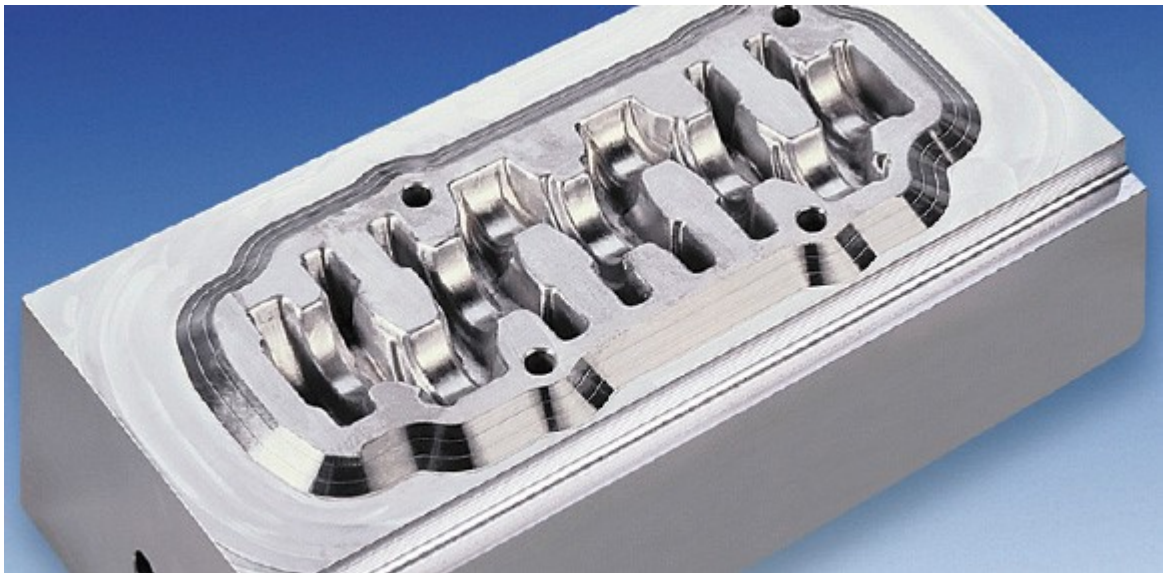
2.2.5 Dutina formy

Samotná dutina formy je přizpůsobena charakteristickému chování výrobku. S ohledem na jeho výrobní výkres se musí brát v potaz druh materiálu, který disponuje výsledným smrštěním. Ne však jen tato kritéria mají vliv na správné určení rozměrů dutiny formy. [7] [11]

Faktory ovlivňující dutiny rozměrově:

- geometricky přesná výroba formy
- materiálové hledisko (opotřebování ploch)
- mezní úchytky a tolerance rozměrů výrobku
- smrštění lisovaného materiálu

Dalším požadavkem na dutiny forem bývá většinou tuhost, dále se uvažuje dovozené namáhání v tlaku, které udává materiál. Hodnoty lisovacích tlaků v jednotkách MPa se volí na základě zpracovávané polymerní směsi. [6] [11]



Obrázek 5 Pohled do dutiny formy z nástrojové oceli [12]

3 MATERIÁLY DUTIN FOREM

Při výběru materiálu bude hrát roli ekonomické hledisko, množství, tvar a přesnost lisovaných výrobků. Dále pak odolnost vůči lisovacím tlakům, teplotám a chemickým vlivům lisovaných směsí. [7]

Průmyslové formy jsou vyrobeny z nástrojových ocelí.

Oceli jsou výrazně náročnější na zpracování ve srovnání s neželeznými kovy. Zde se už bez kvalitního strojního vybavení nelze obejít, zejména bez kvalitních obráběcích strojů. Oceli lze obrábět jak klasickými konvenčními metodami – frézování, soustružení, tak metodami elektroerozivního obrábění – vyjiskřování a drátové řezání, hlavně v takových částech formy, které tvarují pohledové plochy výlisku, kde záleží na kvalitě a estetice povrchu. Při vyjiskřování je potřeba použít mnoho elektrod pro výrobu tvarů. Nevýhodou ocelových forem je vysoká pořizovací cena, naopak velká výhoda spočívá v trvanlivosti nástroje, konstrukční přesnosti a minimálního rizika poškození. [13] [14]

Alternativou nástrojovým ocelím bývají neželezné kovy a jejich slitiny. Nejsou levnější volbou, za to však relativně dostupnějším materiálem. Mezi jejich přednosti patří hlavně nízká hmotnost, korozivzdornost, nenáročná obráběcí procesy, tepelná vodivost a stabilita. Naopak značná nevýhoda spočívá v krátké životnosti formy, poškození dutiny je velmi snadné, proto je při lisování důležitá vysoká ostrážitost. [14]

Příklady běžně dostupných neželezných kovů, respektive jejich slitin:

- hliník
- měď
- olovo
- dural
- mosaz
- bronz

3.1 Ocel

Ocel je slitina železa, uhlíku a dalších legujících prvků (Si, Mn, P, S, Cu), které obsahují méně než 2,14 % uhlíku. Je obecně primárním materiálem na výrobu průmyslových forem. Ocelové formy zaručují vysokou geometrickou přesnost a velkou životnost proti opotřebení. [14] [13]

3.2 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli se řadí do skupiny ušlechtilých legovaných ocelí. Jejich výrobu zajišťují zejména elektrické obloukové pece. Jsou typické hlavně svým zvýšeným obsahem legujících karbidotvorných prvků a vysokým obsahem uhlíku. Vynikají velmi dobrou houževnatostí a jsou dobře tepelně zpracovatelné, je uvažována hlavně vysoká povrchová prokalitelnost. [15]

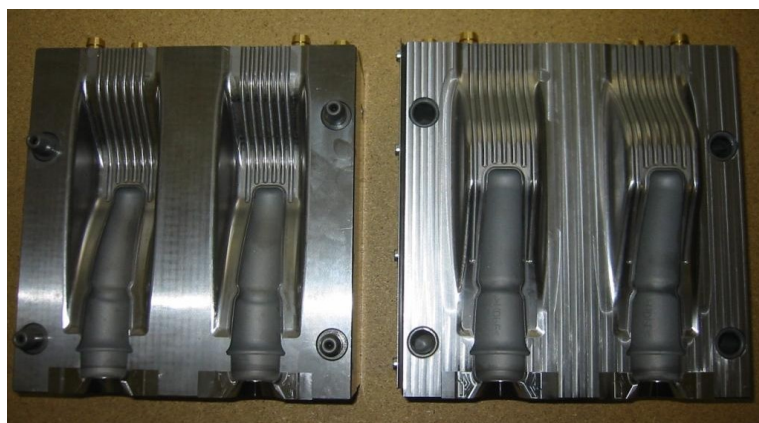
Tyto oceli splňují požadavky pro různé druhy nástrojů, nachází využití zejména u obrábění, tváření za tepla i za studena, vyhovují měřidlům nebo i tlakově namáhaným formám. Tyto materiály splňují kvalitativní náročnost oceli, jsou tvrdé, pevné, houževnaté, dobře odolávají popouštění, mají dobrou prokalitelnost, vysokou stabilitu rozměrů atd. [15]

3.2.1 Rozdělení nástrojových ocelí

Nástrojové oceli se dělí převážně podle chemického složení, a to na uhlíkové a slitinové. Zvláštní případ slitinových ocelí tvoří skupina rychlořezných ocelí, jedná se o vysoce legovanou ocel, která může mít ve své struktuře až 18 % wolframu a dalších obtížně tavitelných kovů. Samostatnou skupinu tvoří slitinové oceli na odlévací nástroje. Se zřetelem na společné charakteristické znaky a technický význam tvoří nástrojové oceli samostatnou kategorii. [14] [15]

Nástrojové oceli se dělí na:

- Uhlíkové
- Slitinové (legující prvky Cr, W, V, Mo...)



Obrázek 6 Vyfukovací forma z nerezové nástrojové oceli [16]

3.2.2 Typické nástrojové oceli na výrobu forem

1.2083 – tato martenzitická ocel má vysoký obsah Cr a je vysoce odolná proti korozi. Ocel výborně odolává opotřebení, je dobře obrobitelná a lešitelná. Vyrábějí se z nich lisovací formy na zpracování chemicky agresivních směsí. [12]

1.2311 – jedná se o chrom-molybden-manganovou ocel určenou ke kalení na vzduchu s dobrou prokalitelností a pevností. Je charakteristická dobrou tvárností za tepla. Ve stavu žíhaném na měkko je snadno obrobitelná.

Vhodná na výrobu vysoce tepelně namáhaných forem. [12]

1.2343 – ocel se zvýšeným obsahem chromu, molybdenu, vanadu a křemíku. Je určena pro kalení v oleji i na vzduchu. Disponuje velmi dobrou prokalitelností, vysokou pevností, dobře odolává popouštěcím teplotám a je velmi houževnatá. Vyniká velmi dobrou odolností proti vzniku trhlin následkem tepelné únavy a je méně citlivá na prudké změny teploty. Doporučuje se ke tváření za tepla a dobře se obrábí ve stavu žíhaném na měkko. [12]

Dalšími představiteli nástrojových ocelí pro výrobu forem jsou 1.2358, 1.2738, 1.2767 a jiné. [12]

3.2.3 Neželezné kovy a jejich slitiny

Technické neželezné kovy jsou všechny kovy mimo železa. Neželezné kovy jsou nejen důležitými konstrukčními materiály, ale i surovinami pro výrobu slitinových ocelí a pro povrchové úpravy. Jedná se o velmi širokou a různorodou kategorii materiálů.

Význam jednotlivých kovů lze hodnotit především jejich specifickými vlastnostmi, kterými disponují a které často nelze jinými prostředky dosáhnout. Pro aplikace ve strojírenství se používají čisté kovy jen velmi zřídka, neboť mívají špatné mechanické i technologické vlastnosti. Téměř vždy se jedná o slitiny ze dvou nebo více prvků. Slitiny mají lepší mechanické a technologické vlastnosti než čisté kovy a vhodnou kombinací prvků lze získat slitiny s velmi rozdílnými vlastnostmi. Některé z nich mají naprosto jedinečné vlastnosti. Technický význam má však pouze malá část kovových prvků. [17]

Tabulka 1 Technicky důležité neželezné kovy [17]

| Kov | Hustota ρ | Teplota tavení °C | Rm (MPa) |
|-------------|----------------|-------------------|-------------|
| Měď (Cu) | 8,94 | 1083 | 230 |
| Olovo (Pb) | 11,34 | 327 | 10 |
| Cín (Sn) | 7,3 | 232 | 20 |
| Zinek (Zn) | 7,14 | 419 | ~120 |
| Mangan (Mn) | 7,34 | 1269 | |
| Wolfram (W) | 19,1 | 3400 | 1100 |
| Hliník (Al) | 2,7 | 658 | 270 |
| Hořčík (Mg) | 1,74 | 650 | 170 |
| Titan (Ti) | 4,5 | 1665 | vytvrz.1150 |

Druhy slitin se rozlišují zejména podle základního prvku. Bývá to prvek, jehož obsah ve slitině je nejvyšší, obvykle více než 50 %. Podle něho se pak hovoří např. o slitinách hliníku, hořčíku, slitinách mědi apod. Za technicky nejpoužívanější slitiny lze bezpečně označit dural, mosaz a bronz. [17]

3.2.4 Hliník a jeho slitiny

Hliník lze považovat za nejpoužívanější neželezný kov. Vyniká velmi nízkou měrnou hmotností a chemickou odolností. Jeho využití má široké spektrum, zejména v oblasti elektrotechniky, ale také ve strojírenských aplikacích.

Nejčastější uplatnění má však ve formě slitin, kde jako nejznámější je slitina s mědí, hořčíkem a manganem, obecně známá pod názvem dural. Slitiny mají oproti čistému hliníku výrazně vyšší pevnost, tvrdost i značnou odolnost proti korozi. Nejvýznamnější prvky, které se vyskytují ve slitinách s hliníkem jsou, měď, hořčík, mangan, křemík, zinek a nikl. [18] [19]

Vlivy jednotlivých prvků:

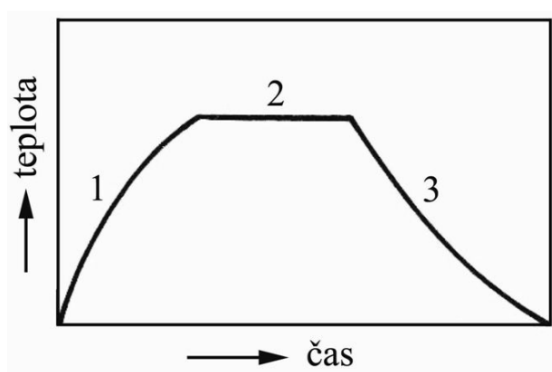
- Měď zaručuje vyšší tvrdost i pevnost, má však nepříznivý vliv proti korozi.
- Hořčík zajišťuje vytvrditelnost, pevnost a zlepšuje odolnost proti korozi.
- Mangan zvyšuje tvárnost, pevnost, houževnatost a odolnost proti korozi.

- Křemík zvyšuje pevnost a korozivzdornost.
- Zinek zaručuje vyšší pevnost za cenu nižší korozivzdornosti.
- Nikl podporuje odolnost proti zvýšeným teplotám, pevnost, houževnatost i korozivzdornost. [18] [19]

Pro výrobu vulkanizačních forem se preferují hliníkové slitiny řady 5000, které jsou doporučené pro mechanicky namáhané aplikace. Typickým představitelem je slitina s označením 5083, která vyniká nejvyšší pevností. [19]

4 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

Obecně tepelným zpracováním kovů rozumíme děj, při kterém se řízeně mění teploty a někdy také chemické složení kovu. Účelem tepelného zpracování je zejména dosažení požadovaných mechanických a technologických vlastností kovových materiálů. V některých případech dochází i k dalším pozitivním efektům. Průběh tepelného zpracování je u všech způsobů a u všech kovových materiálů v podstatě stejný. Skládá se z ohřevu na vhodnou teplotu, setrvání na teplotě (ohřev) a následném ochlazení, přičemž se tento postup může i několikrát opakovat. Konkrétní druh tepelného zpracování je charakterizován rychlostí a průběhem ohřevu, konečnou hodnotou teploty ohřevu, dobou setrvání na dané teplotě a rychlostí ochlazování, případně podmínkami při opakování základního postupu. Vhodná rychlost ohřevu a průběh ohřívání závisí na účelu tepelného zpracování. Volba výšky konečné teploty ohřevu závisí na povaze strukturálních změn. Doba prohřívání materiálu opět závisí na účelu zpracování a na rozměrech materiálu. Rychlost ochlazování je závislá na cíli tepelného zpracování. [14] [20]



Obrázek 7 Schéma průběhu tepelného zpracování: 1 – ohřev, 2 – výdrž na teplotě, 3 – ochlazování [21]

4.1 Tepelné zpracování ocelí

Tepelné zpracování oceli je založeno na řízené difuzi atomů materiálu. Z tohoto hlediska je možné tepelné zpracování rozdělit do dvou základních skupin:

- způsoby, při kterých je difuze podporována
- způsoby, při kterých je difuze potlačována, do této skupiny patří především kalení

U postupů první skupiny probíhají děje tak pomalu, že stav soustavy je blízký rovnováze (žihání).

Pro postupy druhé skupiny je naopak typický rychlý průběh teplotních změn, při kterém je vlivem setrvačnosti materiálu rovnováha soustavy porušena.

Z hlediska výšky teploty ohřevu je možné tepelné zpracování rozdělit na postupy:

- bez překrystalizace (je zachována feritická a perlitická struktura)
- s překrystalizací (ferit a perlit je ohřevem převeden na austenit-austenizace)

U bez překrystalizačního postupu probíhají uvnitř materiálu pouze dílčí procesy v krystalické struktuře, spojené se změnou velikosti, formy a vzájemné polohy krystalů.

U postupu s překrystalizací dochází k zásadním změnám struktury v důsledku modifikace oceli. [20]

4.2 Druhy tepelných zpracování ocelí

4.2.1 Žihání

Cílem žihání ocelí je zpravidla jejich uvedení do stavu blízké rovnováze. Proto se při žihání užívá rovnoměrného a pomalého ohřevu, dlouhé doby prohřátí a pomalého ochlazování. Podle užití teploty se dělí do dvou skupin:

- **Bez překrystalizace**
 - ke snížení pnutí (cílem je odstranit nebo snížit pnutí po předchozím zpracování)
 - rekrystalizační (cílem je obnovení tvárnosti oceli)
 - na měkko (cílem je zlepšit obrobiteľnost oceli)
- **S překrystalizací**
 - normalizační (nejčastěji používaný způsob)
 - izotermické (jeho výhodou je kratší doba procesu)
 - homogenizační (zejména u velkých odlitků ze slitinových ocelí)

4.2.2 Kalení

Účelem kalení je zvýšení tvrdosti oceli. Tohoto cíle je možné dosáhnout i jinými způsoby TZ.

Kalení je však nejčastějším způsobem. Principem kalení je převod perlitické struktury na martenzit nebo bainit. Z toho vyplývá, že kalitelné oceli jsou s obsahem uhlíku alespoň 0,3 %.

U ocelí pod tuto hranici se vytváří jen malé množství martenzitu, které se v tvrdosti finální struktury výrazně neprojeví. Oceli s obsahem uhlíku pod 0,2 % jsou označovány jako nekalitelné.

Kalící postup je stejně jako ostatní způsoby TZ složen z fáze ohřevu, prohřátí a ochlazení. Výše ohřívací teploty pro kalení vyplývá ze samého požadavku zvýšení tvrdosti materiálu. [20]

Podle konečné struktury a průběhu ochlazování rozlišujeme:

- Kalení martenzitické
 - nepřetržité
 - přetržité (lomené, termální, se zmrazováním)
- Kalení bainitické
 - izotermické
 - nepřetržité

Zvláštním případem kalení je kalení povrchové. Metoda je založena na tak rychlém zahřátí povrchu materiálu, že pouze povrchová vrstva požadované tloušťky dosáhne teploty vhodné pro kalení a po ochlazení se zakalí. [20]



Obrázek 8 Pásová pec pro kalení a popouštění v ochranné atmosféře pro hromadné díly [22]

4.2.3 Popouštění

Cílem popouštění ocelí je odstranit nebo snížit křehkost vzniklou po kalení. Je založeno na částečné přeměně struktury materiálu při teplotách mezi 150 a 400 °C. Nežádoucím jevem spojeným s popouštěním je pokles tvrdosti zakaleného materiálu. [20]

4.2.4 Zušlechťování

Účel zušlechťování spočívá v dosažení sorbitické struktury vyznačující se vysokou pevností, houževnatostí a zvýšenou mezí kluzu. [21]



Obrázek 9 Laserově kalené ozubené kolo [23]

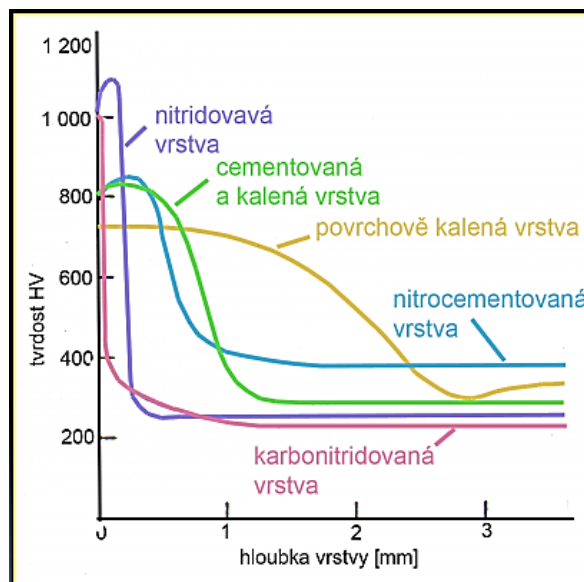
5 POVRCHOVÉ ÚPRAVY (CHEMICKO-TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ)

Obecným principem povrchových úprav je nasycení daného typu oceli přídatným prvkem, materiálem kovovým i nekovovým. S cílem dosáhnout rozdílných mechanických vlastností povrchu a jádra součásti. Na rozdíl od povrchového kalení, při němž se rozdíl povrchu a jádra získávají změnou struktury povrchové vrstvy teplotního průřezu součásti, je základem chemicko – tepelného zpracování změna chemického složení povrchové vrstvy. [24]

Požadovaných vlastností se buď dosahuje přímo, tzn. jen obohacením povrchové vrstvy přísadovým prvkem za zvýšených teplot a pomalým ochlazováním nebo následujícím tepelným zpracováním, kterým bývá obvykle kalení a popouštění při nízkých teplotách. [24]

Cílem povrchových úprav bývá často zvýšení tvrdosti a odolnosti proti opotřebení, přičemž jádro součásti zůstává zachované v houževnatém stavu.

Podle druhu sycení se následně provádí nebo neprovádí následné TZ jakým je výše zmiňované kalení a popouštění. [24]



Obrázek 10 Diagram typů povrchových úprav – závislost tvrdosti na hloubce [25]

5.1 Druhy povrchových úprav

5.1.1 Sycení povrchu nekovy

Cementace – je to nejpoužívanější způsob, jedná se o sycení povrchu uhlíkem v kapalném, plynném nebo pevném prostředí při teplotě nad rozpadem austenitu, nauhličená vrstva je vysoce tvrdá a jádro při tom zachová houževnatost. Uplatnění pro oceli s obsahem C do 0,25 % [26]

Nitridace – sycení povrchu dusíkem, často jako dokončovací metoda pro hotové opracované součásti, které jsou náchylnější na otěr (ozubená kola, vačky, kluzná ložiska, čepy na hřídelích atd.) [26]

Karbonitridace – rozumíme tím obohacení povrchové vrstvy oceli dusíkem a v malém množství uhlíkem. Tato úprava slouží ke zlepšení odolnosti proti opotřebení a trvalé pevnosti. V případě použití silné oxidační ochlazovací lázně dostanou součástky efektní černý vzhled a odolnost proti korozi. [26]

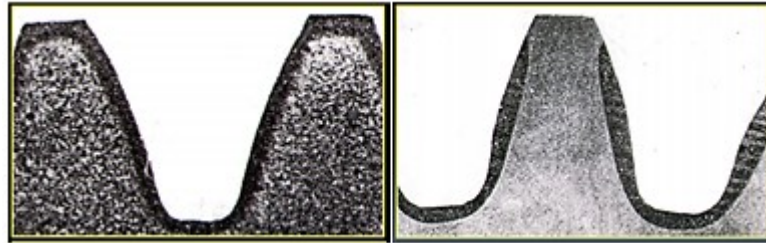


Obrázek 11 Aplikovaná karbonitridace před a po korozním testu [27]

Nitrocementace – jedná se o proces sycení povrchu uhlíkem a dusíkem za podpory kyanidových solných lázní, tento proces je následně doprovázen kalením. Tvrdost povrchové vrstvy je nižší než třeba u cementace, ale doba procesu je výrazně kratší. [26]

Sulfonitridace – jedná se o difúzní sycení povrchu kovů sírou, dusíkem a uhlíkem v plynné atmosféře. Povrch součástí se vyznačuje kromě vysoké tvrdosti také vynikajícími kluznými vlastnostmi. [26]

Boridování – povrch součásti je sycen bórem, tzv. nadifundování bóru do povrchu kovu. Podle účinnosti boridovacího prvku se aplikují jednofázové nebo dvoufázové vrstvy. Vzniklá železoboridová vrstva je výrazně tvrdá. [26]



Obrázek 12 Porovnání hloubky prokalení na ozubeném kole – vlevo cementace v plynu, vpravo mezerové povrchové kalení [25]

5.1.2 Sycení povrchu kovy

Chromování – nejčastější metoda, kdy povrch je galvanicky sycen chromem, často mu předchází vrstvy z jiných kovů, jako je například měď. Nanesená vrstva je dobře mechanicky odolná, ale její předností jsou hlavně estetické vlastnosti. [24] [20]

Zinkování – povrch je sycen zinkem za účelem ochrany proti korozi, vrstva je mechanicky i chemicky odolnější. Nanášení zinku na materiál se provádí za studena nebo nořením do roztaveného zinku. [24] [20]

Niklování – povrch je galvanicky sycen niklem za účelem zvýšení korozivzdornosti a odolnosti proti kyselinám, obdobně jako u chromování mu předchází měděná vrstva. [24] [20]

Alitování – na povrch materiálu je nanášena vrstva hliníku za vysokých teplot, účelem je dosažení odolnosti proti korozi. [24] [20]

Pozlacování – jedná se o nanášení tenké vrstvy zlata. Cílem jsou hlavně vysoké dekorativní vlastnosti a ochrana proti korozi. Tato metoda se z důvodu ekonomického hlediska příliš často nepoužívá. [24] [20]

5.1.3 Chemické a fyzikální povrchové úpravy-povlakování

Technologie povlakování kovů se využívá hlavně pro dosažení hladkého povrchu, vysoké tvrdosti, odolnosti vůči oxidaci, zvýšení abrazivní odolnosti, nízkého koeficientu tření a minimalizace zbytkového pnutí. Tyto jevy mají pozitivní vliv na snížení spotřeby výrobních nástrojů, tím pádem i snížení výrobních nákladů, zvýšení produktivity a zlepšení kvality produkce. Povlaky se nanáší na materiál v rozmezí teplot 180-1100 °C a jejich vrstva se pohybuje v řádu 1–15 μm, dle zvoleného druhu povlaku. Aplikace povlaků všeobecně nese široké využití v různých oblastech (strojní průmysl, zdravotnictví, potravinářství atd.) [28]

Průmyslové aplikace:

- obráběcí a řezné nástroje
- tvářecí a lisovací nástroje
- formy pro tlakové lití kovů
- formy na lisování a vstřikování plastů
- strojní díly
- chirurgické nástroje a implantáty
- díly u potravinářských strojů
- dekorativní charakter



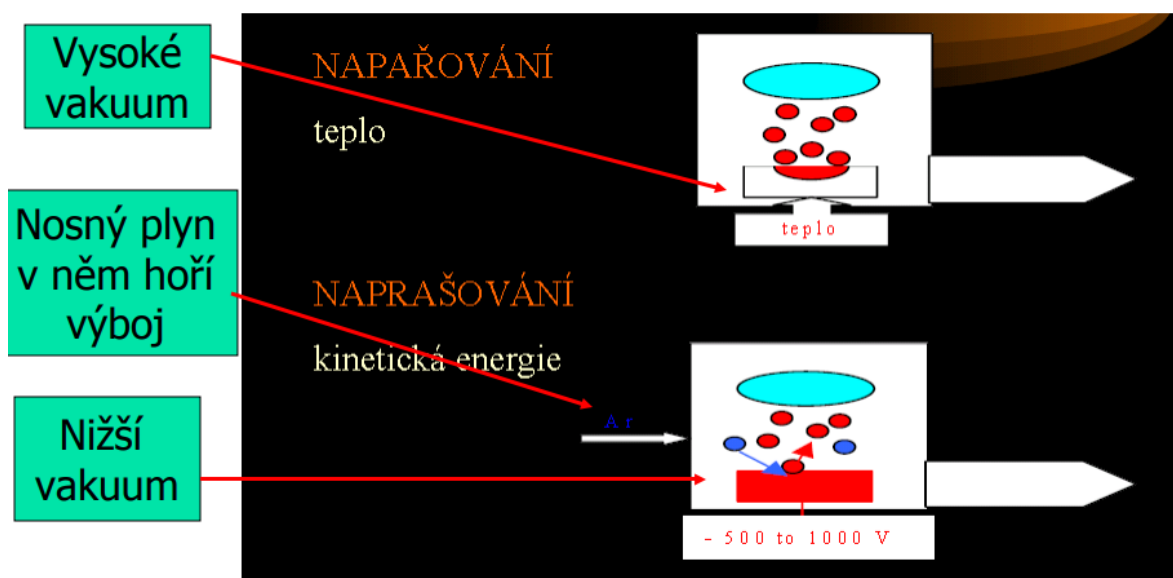
Obrázek 13 Povlakované součástky metodou PACVD a PVD [29]

Mezi tři základní druhy chemických a fyzikálních povrchových úprav patří PVD, CVD a PACVD.

PVD

Jde o nanášení tenkých vrstev s vynikajícími fyzikálními i chemickými vlastnostmi. Povlak disponuje nízkým třením, vysokou tvrdostí, odolává otěru, vysoké teplotě, korozi i kyselinám. Proces je realizován mezi odpařovací elektrodou a zvolenou součástí. Elektroda obsahuje kov určený k povlakování, druhou složku tvoří pracovní plyn. Materiál je v plynném prostředí ionizován, vzniklé ionty se přemísťují k povrchu povlakované součásti a během tohoto procesu reagují s atomy pracovního plynu.

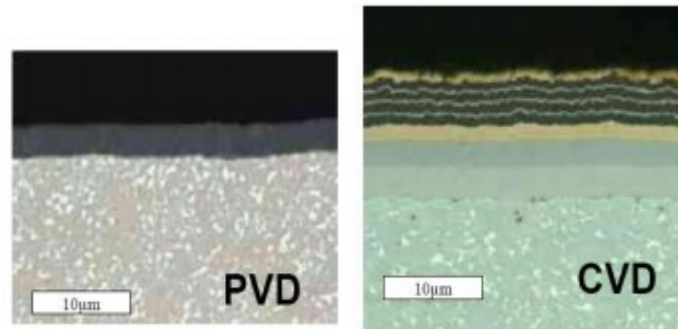
Povlakované součásti mají vysokou životnost a jsou často nasazeny v podmínkách, kde nástroje bez povlaku pracovat nemohou. Mají několikanásobně vyšší životnost. Mezi nejčastěji nanášenými prvky patří TiN – nitrid titanu a TiAlN – titan-aluminium-nitrid. Povlakovací teploty se pohybují v rozmezí 180-550 °C. Maximální tloušťka je 6 μm a vyniká tvrdostí v rozsahu 1500-4000 HV. [30]



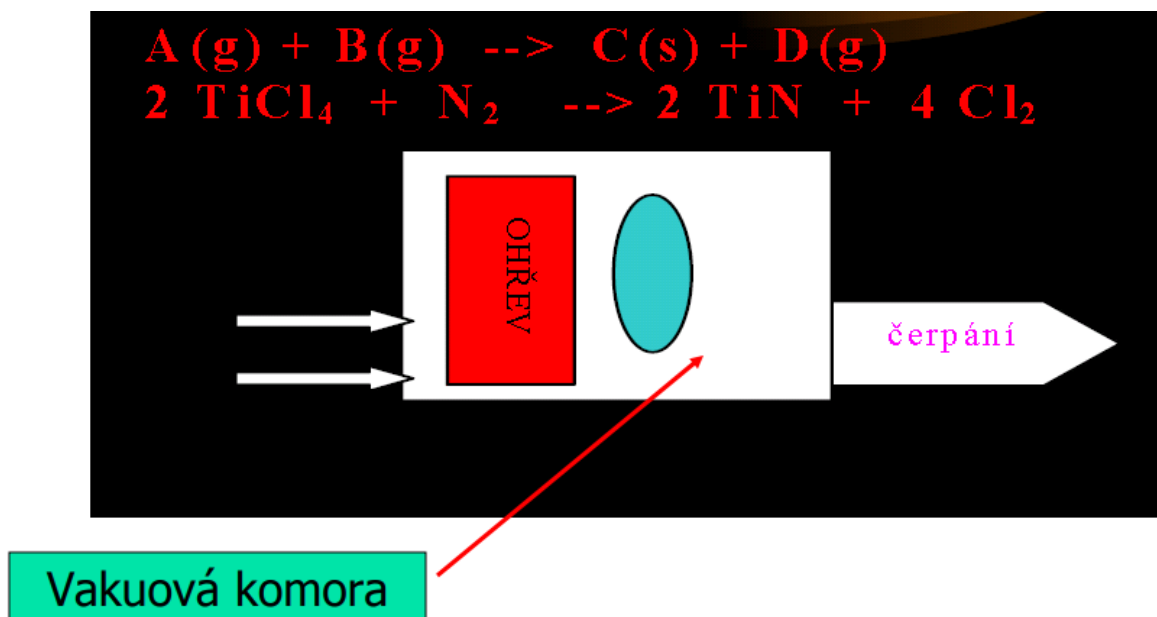
Obrázek 14 Dva základní druhy technologie PVD [31]

CVD

Metoda patří k prvotním technologiím povlakování, jedná se o chemický proces z plynné fáze, který je realizován za vysokých teplot (950-1050 °C). Uplatnění nachází převážně ve výrobě velkých sérií a náročných průmyslových aplikacích. Mezi typické představitele patří bezpochyby ostří řezných nástrojů. Aplikace CVD zaručuje kromě vysoce kvalitních mechanických vlastností také dobrou adhezi a difuzi. Tloušťka povlaku bývá mezi 10-15 μm a tvrdost se primárně pohybuje okolo 2000 HV. [32]



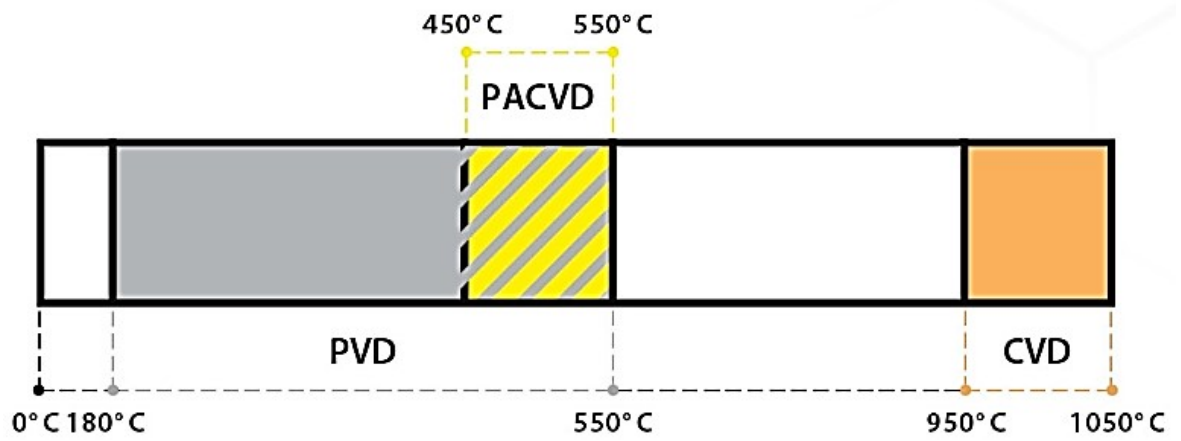
Obrázek 15 Porovnání mikrostruktur PVD a CVD [33]



Obrázek 16 Princip metody CVD [31]

PACVD

Tento typ povlakování vychází z původní technologie CVD, provádí se ovšem za mnohem nižších teplot než CVD, běžně mezi teplotami 450-550 °C. Proces je založený na depozici vrstev za přítomnosti plazmatu. Povlaky se velmi vhodně aplikují i na součásti dutého charakteru a vyznačují se minimálním koeficientem tření. Nanášená vrstva je výrazně menší a to maximálně 4 µm při běžné tvrdosti 2000-2600 HV. [32]



Obrázek 17 Teplotní rozptyl technologie PVD, CVD a PACVD [30]

6 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část zachycuje základní rozdělení výrobních nástrojů. Vzhledem k počtu druhů nástrojů byl pro účely bakalářské práce zvolen jeden nástroj, a to dutina vulkanizační formy. Kapitola Lisovací formy popisuje možnosti konstrukčních řešení forem. Dále je proveden rozbor možných výrobních materiálů a jejich alternativ se zaměřením na nástrojové oceli. Závěrečná část teoretické části pojednává o povrchových úpravách, které lze použít pro zmiňované materiály dutin forem. Mimo běžné druhy tepelného zpracování uvádí také metody chemicko-tepelné a fyzikální.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo zjistit, zda a s jakou povrchovou úpravou je nástrojová ocel 1.2714 vhodná pro výrobu dutiny lisovací vulkanizační formy. Ocel 1.2714 byla opatřena různými povrchovými úpravami. Záměrem bylo vyhodnotit, který povrch vykazuje nejlepší parametry po lisování kaučukové směsi.

Pro vyhodnocení bylo použito následujících metod:

- měření drsnosti povrchu
- měření tvrdosti povrchu
- analýza FTIR
- analýza XRF
- měření kontaktních úhlů
- porovnání vzhledu vzorků (foto vzorků + mikroskopické snímky)

8 ZPRACOVÁNÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI

Zkušební vzorky pro experimentální účel byly důkladně zbaveny všech nečistot technickým benzinem. Následně byla změřena jejich povrchová drsnost a tvrdost, v laboratorních podmínkách byla provedena analýza FTIR, XRF a měření kontaktního úhlu. Před samotným lisováním byly pořízeny fotografické snímky a mikrosnímky jednotlivých povrchů vzorků. Proces lisování obsahoval celkem 150 lisovacích cyklů. Po 100 lisovacích cyklech opětovně proběhlo měření IČ spekter FTIR a byly pořízeny další mikroskopické snímky povrchů. Po dalších 50 lisovacích cyklech proběhla opakovaná měření všech zmiňovaných parametrů a byly pořízeny konečné snímky a mikrosnímky jednotlivých povrchů. Všechny shromážděné údaje byly podkladem pro vyhodnocení experimentu. Cílem bylo porovnat jednotlivé vzorky a určit, který povrch vykazuje nejlepší parametry.

8.1 Použité zkušební vzorky

K experimentu bylo použito celkem 6 vzorků, přičemž každý vzorek měl jiný charakter povrchu. Jeden vzorek byl bez úprav, na dalších pět byla aplikována jiná povrchová úprava. Všechny vzorky byly nové a rozměrově upraveny na 70*20*9 mm, při výrobě vzorků bylo cílem dosáhnout stejné hodnoty drsnosti povrchu u všech vzorků.

8.1.1 Ocel 1.2714

Všechny použité vzorky byly vyrobeny z oceli 1.2714. Ocel byla vybrána proto, že je pro výrobu dutin forem vhodná. Záměrem bakalářské práce bylo otestovat ocel 1.2714 ve spojení s novými povrchovými úpravami a porovnat je s běžně používaným tepelným či chemicko-tepelným zpracováním.

Ocel 1.2714 je nástrojová ocel s velmi dobrou prokalitelností. Po kalení disponuje vysokou tvrdostí, dobře odolává popouštění, je pevná, vysoce houževnatá a dobře snáší teplotní zatížení. Díky vysoké rozměrové stabilitě a vysoké odolnosti proti opotřebení se využívá hlavně u přesných a vysoce namáhaných komponentů. Nejčastější využití má bezpochyby u tvářecích nástrojů, jedná se zejména o zápustky, buchary, kovací lis, průtlačníky a jiné. V oblasti lisování polymerních materiálů se používá k výrobě tvárníků a tvárnic. Vyhovuje

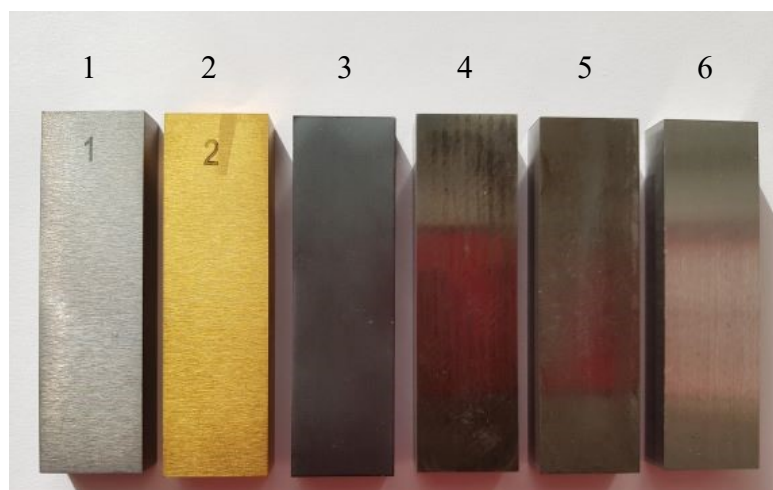
také střížným nástrojům, nožům pro stříhání materiálů velkých tlouštěk za studena. [12] [15] [34]

Tabulka 2 Chemické složení legujících prvků oceli 1.2714 v % [12]

| Chemické složení legujících prvků oceli 1.2714 v % | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| C | Mn | Si | Mo | Cr | Ni |
| 0,50-0,60 | 0,50-0,90 | 0,30-0,60 | 0,30-0,50 | 0,90-1,30 | 1,50-1,90 |

8.1.2 Povrchové úpravy zkoušených vzorků

U vzorků č. 1, 2 a 3 byly zvoleny odlišné úpravy povlakováním PVD. Všechny PVD povlaky byly provedeny ve firmě SHM, s.r.o. v Šumperku. Vzorek č. 4 byl kalen a následně popuštěn, vzorek č. 5 byl karbonitridován a vzorek č. 6 byl bez povrchové úpravy.



Obrázek 18 Upravené vzorky před lisováním

8.1.3 Druhy úprav

Vzorek č. 1 – pro tento vzorek byla zvolena úprava typu PVD. Pod značením Alwin se jedná o nanokompozitní povlak CrAlSiN s vysokým obsahem chromu, který je vhodný pro průmyslové aplikace náročné na oxidaci a nalepování materiálu na nástroj při obráběcích procesech. Nanášení povlaku bylo provedeno odpařováním nízkonapěťovým obloukem při depoziční teplotě 450 °C, charakteristika obsahu podílu kovových prvků se mění, ale v průměru se jedná o Cr:Al:Si - 50:44:6 at.%, vůči dusíku to je přibližně 50:50 [33]

Vzorek č. 2 – jako u předchozího vzorku se jedná o metodu povlakování PVD. Už podle názvu TiN je zřejmé, že na povrch vzorku byla nanесena vrstva nitridu titanu. Tento typ se užívá v méně náročných aplikacích, zejména u nižších řezných rychlostí. Nanášení povlaku bylo provedeno odpařováním nízkonapětovým obloukem při depoziční teplotě 450 °C, charakteristika obsahu podílu kovových prvků je Ti:N - 50:50 at.%.

Vzorek č. 3 – poslední zvolený povlak PVD, pod názvem Sigaan s obsahem křemíku a bóru. Jedná se o univerzální povlak se širokou škálou využití převážně u obráběcích nástrojů. Kromě vysoké tvrdosti vyniká vysokou tepelnou i chemickou stabilitou. Nanášení povlaku bylo provedeno magnetronovým naprašováním při depoziční teplotě 300 °C.

Vzorek č. 4 – vzorek byl kalen v ochranné atmosféře při teplotě 840 °C a popouštěn v olejové lázni při teplotě 300 °C.

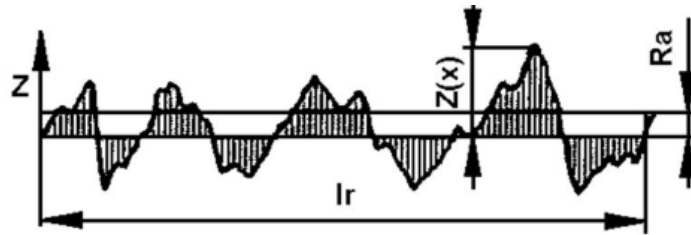
Vzorek č. 5 – povrch vzorku byl v ochranné atmosféře nasycen uhlíkem a dusíkem při teplotě 880 °C, tedy karbonitridován.

Vzorek č. 6 – bez povrchové úpravy.

8.2 Měření drsnosti povrchu vzorků

Měření všech vzorků bylo provedeno na drsnoměru Hommel Waweline W20. Tento proces byl redukován pouze na parametr Ra, tedy střední aritmetickou hodnotu drsnosti.

Podkladem pro měření byla norma ČSN EN ISO 4287.



Střední aritmetická úchylka profilu R_a –

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx$$

aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky. Vypovídací schopnost parametru je nízká, R_a nereaguje citlivě na extrémní výšky hrotů profilu a hloubky rýh profilu.

Obrázek 19 Parametr drsnosti R_a [35]

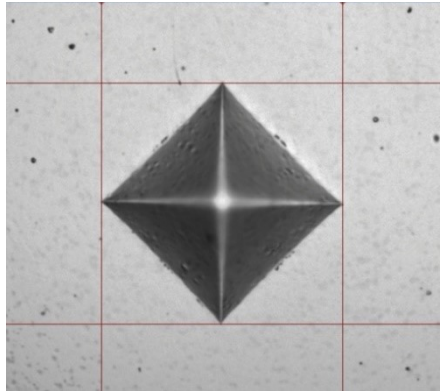


Obrázek 20 Drsnoměr Hommel Waweline W20 [36]

8.3 Měření tvrdosti vzorků

Tvrdot a mikrotvrdot zkušebních vzorků byla změřena nejrozšířenější metodou podle Vickerse na tvrdoměru Wilson VH3100. Kompletní způsob jejího provedení popisuje a ujednocuje norma ČSN EN ISO 6507-1. Princip je založen na pronikání zkušebního tělesa (indentoru) do zkoušeného materiálu a následné zjištění míry deformace. Deformaci lze rozumět délkou dvou úhlopříček útvaru, který po vpichu vznikne na povrchu zkoušeného materiálu. Po výpočtu se vyhodnotí výsledná hloubka vpichu a tvrdost. Indentor je v tomto případě pravidelný čtyřboký diamantový jehlan, jehož vrcholový úhel je 136° . Zkouška

podle Vickerse se označuje symbolem HV a lze ji brát jako univerzální, její použití vyhovuje měkkým i tvrdým materiálům. [37]



Obrázek 21 Stopa po vpichu indentoru [37]



Obrázek 22 Tvrdoměr Wilson VH3100 [38]

8.4 Příprava a lisování kaučukové směsi

8.4.1 Kaučuková směs

Pro experiment byla poskytnuta kaučuková směs z firmy Continental Barum s.r.o., která se používá na výrobu bočnic plášťů osobních pneumatik. Kvůli ochraně know-how výrobce není uvedeno konkrétní složení směsi. Orientační složení směsi je následující:

- Syntetické kaučuky
- Regenerát
- Silica
- Saze
- Olej
- Aktivátory
- Síra
- Urychlovače
- Antioxidanty
- Antidegradanty

8.4.2 Proces vulkanizace

Při vulkanizaci kaučukové směsi byl brán zřetel na šetrné zacházení vůči kontaminaci a jiné možnosti znečištění povrchu testovaných vzorků. Proto při manipulaci s kaučukovou směsí byly použity bavlněné rukavice. Jednotlivé nálože byly nastříhány a naváženy tak, aby tvarem odpovídaly výslednému výrobku. Nálož vážila 38 g.



Obrázek 23 Příprava náloží

Forma byla vyhřátá na teplotu 170 °C, doba vulkanizace byla stanovena na 4 minuty 40 sekund. Procesní podmínky byly poskytnuty dodavatelem kaučukové směsi.



Obrázek 24 Vylisované výrobky

8.4.3 Hydraulický vulkanizační lis

Pro lisování kaučukové směsi byl použit hydraulický vulkanizační lis IGTT v laboratoři UIP na FT UTB.

Obrázek 25 Hydraulický vulkanizační lis
IGTT

8.4.4 Vulkanizační lisovací forma

Pro lisování byla využita vulkanizační forma, která byla již dříve zkonstruována v rámci jiné absolventské práce na FT UTB.

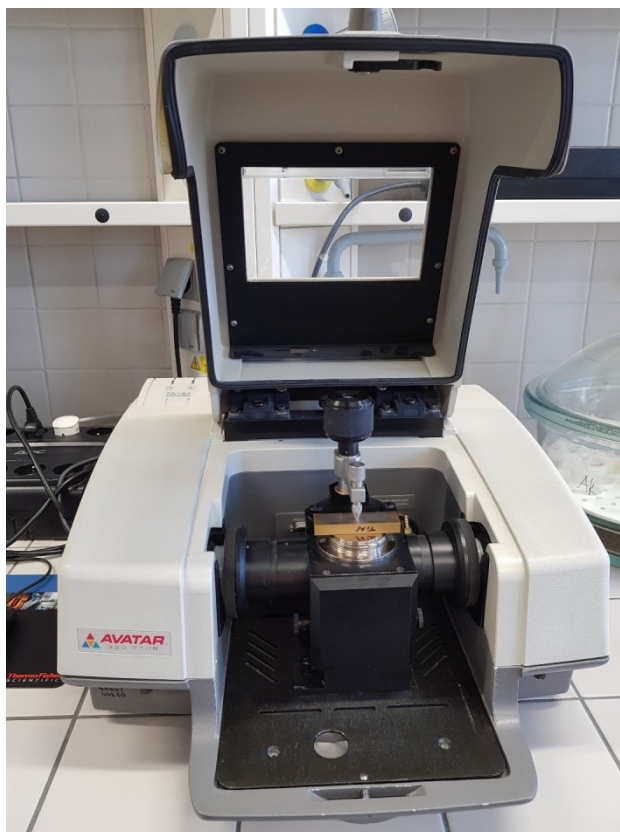


Obrázek 26 Připravené vzorky ve formě

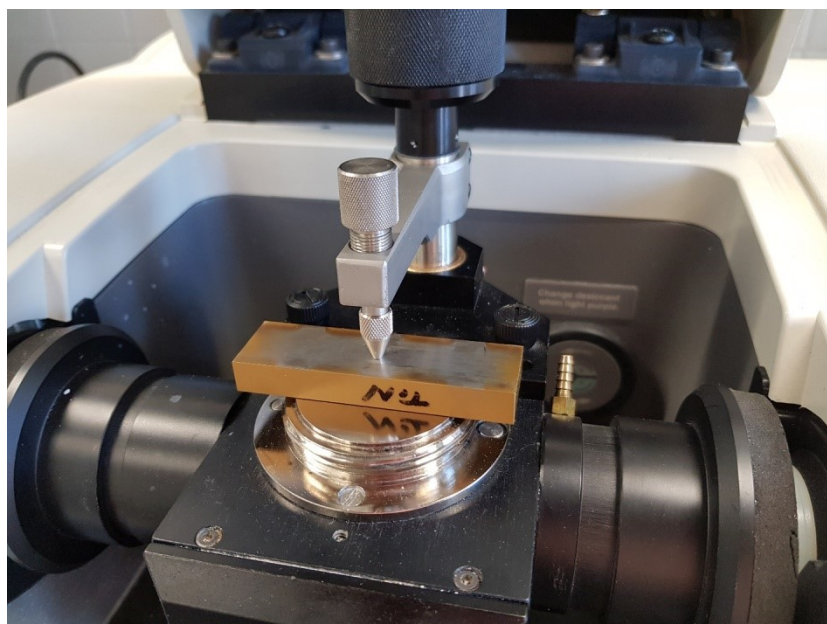
8.5 Měření FTIR

Spektra u zkušebních vzorků byla měřena metodou infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací (FTIR). Tato metoda slouží k nedestruktivním analýzám především pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin i anorganických látek. Metoda měří pohlcování infračerveného záření o různých vlnových délkách. Funguje na principu absorpce infračerveného záření při průchodu zkoušeným vzorkem, při které dochází ke změně rotačně vibračních energetických stavů molekuly v závislosti na změně dipólového momentu molekuly. Grafickým zobrazením je možné vyhodnotit funkční závislost energie vyjádřené transmitancí (propustností) v procentech nebo absorpencí na vlnové délce dopadajícího záření. Fourierova transformace vychází z matematických integrálních transformací, které přemísťují časové signály do frekvenčních oblastí. [39]

Měření FTIR bylo uskutečněno při laboratorní teplotě 23 °C a atmosférickém tlaku. Testované vzorky byly měřeny na spektrometru Nicolet AVATAR 320 FTIR technikou ATR a to ve třech fázích. Před každým měřením byl ZnSe krystal spektrometru očištěn alkoholem. Dále bylo změřeno spektrum pozadí, aby nedocházelo k ovlivnění měřeného IČ spektra vzorku. Poté bylo změřeno IČ spektrum vzorku. Přístroj je propojený softwarem OMNIC přes počítač, kterým je ovládán. Přístroj automaticky vyhodnotí spektrum na testovaném vzorku a jeho podobu zobrazí na monitoru počítače. Rozsah vlnových délek byl použit 4000-750 cm^{-1} , rozlišení 2 cm^{-1} , počet skenů 64.



Obrázek 27 Spektrometr Nicolet AVATAR 320 FTIR



Obrázek 28 Spektrometr Nicolet AVATAR 320 FTIR se zkoušeným vzorkem

8.6 Rentgenová fluorescence XRF

Pod zkratkou z anglického převzetí X-ray fluorescence se jedná o spektroskopickou metodu analytické chemie, která se zahrnuje pod elektromagnetickou spektroskopií. Měření je nedestruktivní a využívá podrobnou analýzu širokého spektra materiálu. Metoda je založena na stimulaci vnitřních elektronů atomu. Díky prostupnosti rentgenového záření i zcela neprůhledným materiálem nachází uplatnění v různých průmyslových sférách. Princip spočívá v ozařování materiálu paprsky X nebo paprsky gama, které nabíjí elektrony ve vnitřním obalu atomů, jež jsou obsaženy v povrchové vrstvě měřeného materiálu a vytvoří fotoelektrický jev. Paprsky X tedy transformují elektrony do vnější části obalu, po kterém následuje rychlý návrat zpět do vnější vrstvy. Velikost rentgenových paprsků lze měřit dvěma způsoby v závislosti na vlnovém rozpětí. Konkrétně se jedná o disperzní vlnové délky XRF a disperzní energie XRF. [40]

U zkušebních vzorků probíhala analýza XRF na spektrometru Elva X se spárovaným softwarem počítače za laboratorních podmínek, teplotě 23 °C a atmosférického tlaku. Velikost měřené plošky byla 2x2 mm, doba měření 1 min.



Obrázek 29 Spektrometr Elva X

8.7 Měření kontaktního úhlu

Tato metoda je představitelem citlivé charakteristiky povrchu pevných látek. Jejím měřením lze určit volnou povrchovou energii pevných materiálů a získat předpověď o tom, jaký charakter bude vykazovat povrch materiálu po aplikaci tenké vrstvy jiného druhu materiálu. Vyhodnocuje povrchový charakter materiálu v hydrofilní vs. hydrofobní podobě. Kontaktní úhel se označuje také jako úhel smáčení. Konkrétně jde o úhel, který svírá tečna k povrchu kapky, ta je vedená v bodě styku kapky s rozhraním, jedná se o hlavní charakteristiku tvaru kapky kapaliny nanesené na povrchu nerozpustné pevné látky. Metoda měření kontaktního úhlu je pro svoji přesnost, ekonomickou nenáročnost a rychlost vhodná pro nejrůznější průmyslové aplikace. Lze ji provádět různými způsoby, které závisí na kvalitě přístroje. Současná doba využívá hlavně kamerový záznam tvaru kapky a vyhodnocující software. Měření umožňuje vyhodnotit povrchovou energii na základě použití několika druhů kapalin. U každé kapaliny lze zvlášť určit chybu měření. Kontaktní úhel vzniká interakcí kapaliny s pevnou látkou. Pokud je systém v klidu, vzniká statický kontaktní úhel, je-li však v pohybu, vzniká úhel dynamický. U homogenní látky vzniká stabilní rovnováha a kontaktní úhel je rovnovážný, u heterogenní látky může být systém v metastabilním stavu a kontaktní úhel je pak metastabilní. [41]

Pro účely měření bakalářské práce byla použita pro měření velikosti kontaktních úhlů deionizovaná voda. Jiné kapaliny, které jsou na chemické bázi, nebyly použity proto, aby nedošlo k chemické interakci povrchu vzorků.

Měření kontaktních úhlů na zkušebních vzorcích probíhalo na přístroji Krüss Drop Shape Analyzer – DSA30.

Před měřením kontaktního úhlu musely být všechny vzorky očištěny stlačeným vzduchem medicínské kvality. Nastavení přístroje bylo takové, aby rovnoměrně a opakovaně došlo k rozmístění kapek kapaliny na celou plochu testovacích vzorků. Bylo zvoleno celkem 16 kapek deionizované vody, dvě řady po 8 kapkách, podmínkou bylo, že se kapky nesmí dotýkat. Objem každé kapky byl 2 μl . Poté, co kapka dopadla na povrch testovaného vzorku, se vyčkalo 4 s, až se kapka ustálí. Pak se pomocí kamerového záznamu změřila hodnota kontaktního úhlu. Měření probíhala při laboratorních podmínkách, teplotě 23 °C a atmosférickém tlaku.



Obrázek 30 přístroj Krüss Drop Shape Analyzer – DSA30 [42]

8.8 Vzhled vzorků (foto vzorků + mikroskopické snímky)

Snímky zachycují změny ve znečištění jednotlivých povrchů. Mikroskopické foto snímky byly pořízeny na mikroskopu ProScope HR se zvětšením 30x. Snímky byly pořizovány před začátkem lisování, po 100 a po 150 lisovacích cyklech.



Obrázek 31 Mikroskop ProScope HR

9 DISKUZE A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

9.1 Drsnost povrchů

Naměřené parametry drsnosti Ra popisují tři následující tabulky níže.

Tabulka 3 Parametry Ra před povrchovou úpravou

| Vzorek č. 1 | Vzorek č. 2 | Vzorek č. 3 | Vzorek č. 4 | Vzorek č. 5 | Vzorek č. 6 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ra | Ra | Ra | Ra | Ra | Ra |
| 0,518 | 0,569 | 0,523 | 0,553 | 0,532 | 0,529 |
| 0,523 | 0,532 | 0,531 | 0,542 | 0,541 | 0,562 |
| 0,506 | 0,549 | 0,533 | 0,530 | 0,518 | 0,512 |

Tabulka 4 Parametry Ra po povrchové úpravě (PÚ)

| Vzorek č. 1 | Vzorek č. 2 | Vzorek č. 3 | Vzorek č. 4 | Vzorek č. 5 | Vzorek č. 6 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ra | Ra | Ra | Ra | Ra | Ra |
| 0,318 | 0,231 | 0,148 | 0,090 | 0,182 | Bez PÚ |
| 0,292 | 0,215 | 0,131 | 0,095 | 0,173 | Bez PÚ |
| 0,289 | 0,237 | 0,133 | 0,090 | 0,119 | Bez PÚ |

Tabulka 5 Parametry Ra po lisování

| Vzorek č. 1 | Vzorek č. 2 | Vzorek č. 3 | Vzorek č. 4 | Vzorek č. 5 | Vzorek č. 6 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Ra | Ra | Ra | Ra | Ra | Ra |
| 0,286 | 0,324 | 0,098 | 0,118 | 0,085 | 0,343 |
| 0,252 | 0,315 | 0,092 | 0,138 | 0,081 | 0,429 |
| 0,263 | 0,331 | 0,091 | 0,141 | 0,079 | 0,396 |

Z naměřených hodnot je patrné, že po povrchových úpravách došlo ke zlepšení drsnosti povrchu. U vzorků č. 2 a 4 došlo k nepatrnému zvýšení drsnosti povrchu ve srovnání s drsností povrchu po povrchových úpravách. U vzorků č. 1, 3, 5 a 6 došlo ke snížení drsnosti povrchu. Z pohledu vhodnosti oceli 1.2714 na vulkanizační formu jsou dle výsledků drsnosti povrchu použitelné čtyři vzorky, a to ocel s povrchovou úpravou Alwin (vzorek č. 1), Sigaan (vzorek č. 3), ocel upravená karbonitridací (vzorek č. 5) a ocel bez povrchových úprav (vzorek č. 6).

9.2 Tvrdość povrchů

Naměřené hodnoty tvrdosti dle Vickerse (HV) jsou uvedeny v tabulkách č. 6, 7 a 8.

Tabulka 6 Hodnoty tvrdosti ve stavu za měkka

| Vzorek č. 1 | Vzorek č. 2 | Vzorek č. 3 | Vzorek č. 4 | Vzorek č. 5 | Vzorek č. 6 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| HV | HV | HV | HV | HV | HV |
| 241 | 243 | 238 | 246 | 233 | 242 |
| 238 | 244 | 241 | 240 | 239 | 244 |
| 241 | 239 | 242 | 235 | 246 | 236 |

Tabulka 7 Hodnoty tvrdosti po povrchové úpravě

| Vzorek č. 1 | Vzorek č. 2 | Vzorek č. 3 | Vzorek č. 4 | Vzorek č. 5 | Vzorek č. 6 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| HV | HV | HV | HV | HV | HV |
| 1520 | 1830 | 1790 | 644 | 1080 | Bez PÚ |
| 1571 | 1780 | 1805 | 652 | 1064 | Bez PÚ |
| 1549 | 1815 | 1805 | 642 | 1072 | Bez PÚ |

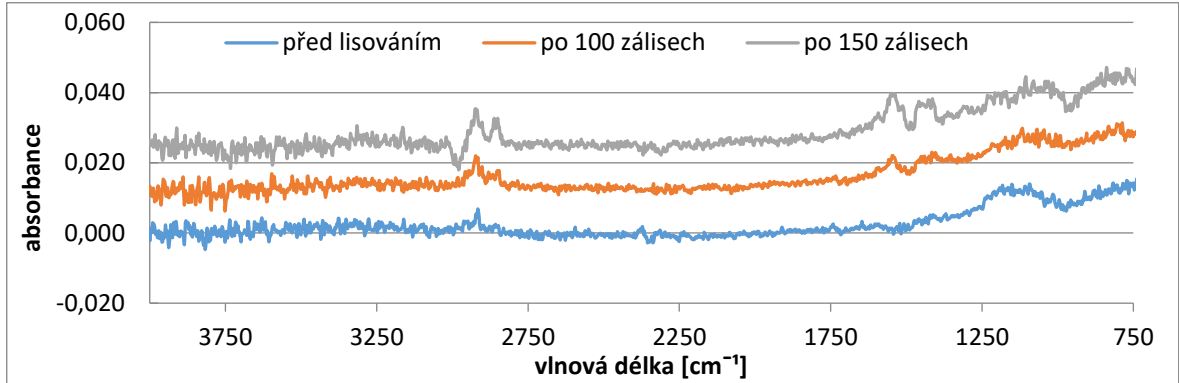
Tabulka 8 Hodnoty tvrdosti po lisování

| Vzorek č. 1 | Vzorek č. 2 | Vzorek č. 3 | Vzorek č. 4 | Vzorek č. 5 | Vzorek č. 6 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| HV | HV | HV | HV | HV | HV |
| 1517 | 1795 | 1810 | 631 | 591 | 252 |
| 1542 | 1810 | 1785 | 621 | 620 | 248 |
| 1553 | 1845 | 1792 | 620 | 637 | 243 |

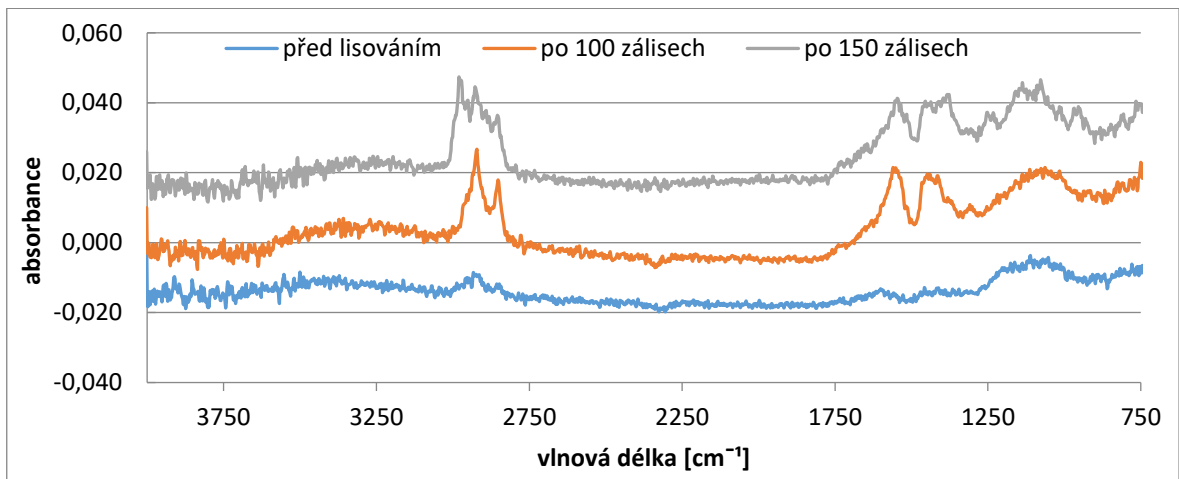
Naměřené hodnoty tvrdostí povrchu ukazují, že aplikací každé povrchové úpravy došlo ke zvýšení tvrdosti povrchu. Nejvíce se tvrdost povrchu zvýšila u vzorků č. 2 a 3 (pohybuje se kolem 1800 HV), dále vzorku č. 1 (kolem 1550 HV), pak následuje vzorek č. 5 (kolem 1060 HV), pak vzorek č. 4 (kolem 645 HV), nejmenší tvrdost povrchu má vzorek č. 6 (kolem 240 HV). Po 150 lisovacích cyklech se u vzorku č. 5, jehož povrch byl karbonitridován, tvrdost povrchu snížila asi o třetinu. U vzorku č. 4, který byl kalený a popuštěný, se tvrdost povrchu snížila nepatrně. U ostatních vzorků nemělo lisování na tvrdost povrchu žádný vliv. Z hlediska vhodnosti oceli 1.2714 jsou vhodné pro vulkanizační formu materiály opatřené PVD povrchovými úpravami, které jsou velmi tvrdé, odolné vůči opotřebení a odolné vůči následnému čištění od kontaminantů.

9.3 Analýza FTIR

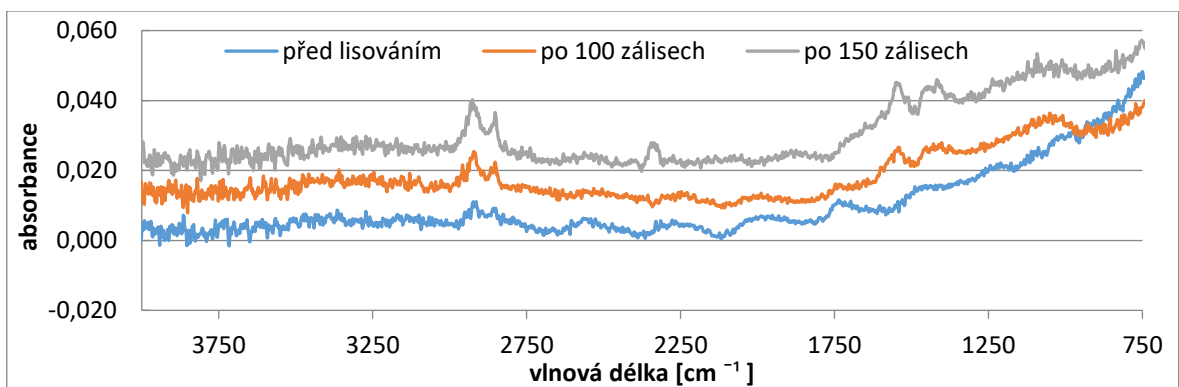
Níže uvedené grafy zobrazují IČ spektra jednotlivých zkoušených vzorků.



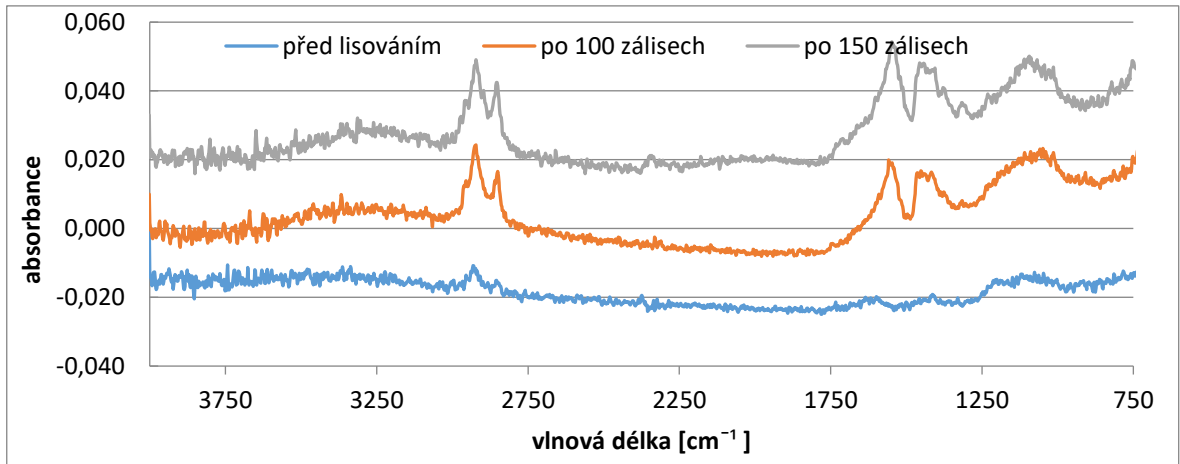
Obrázek 32 IČ spektra vzorku č. 1 s úpravou PVD ALWIN



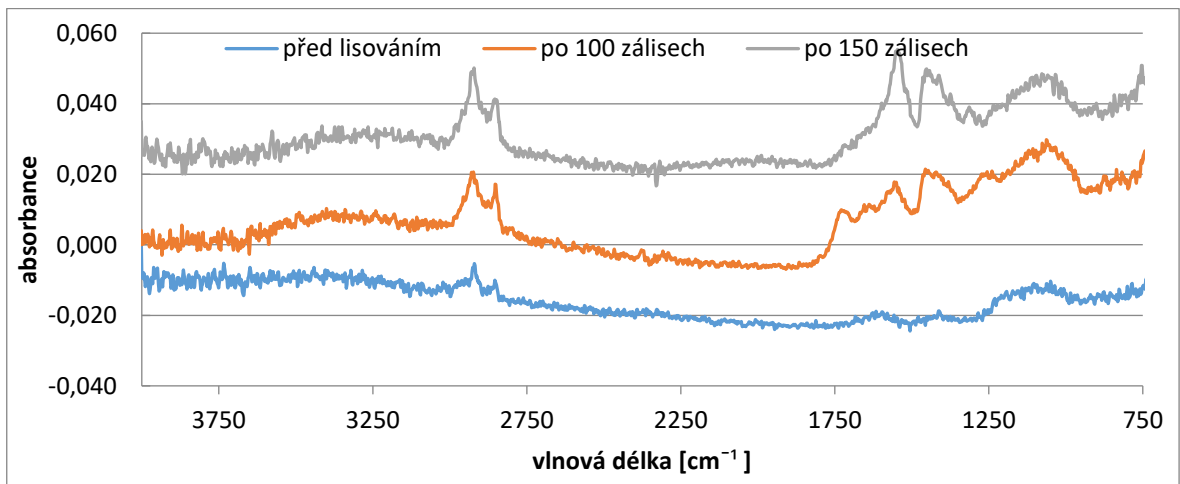
Obrázek 33 IČ spektra vzorku č. 2 s úpravou PVD TiN



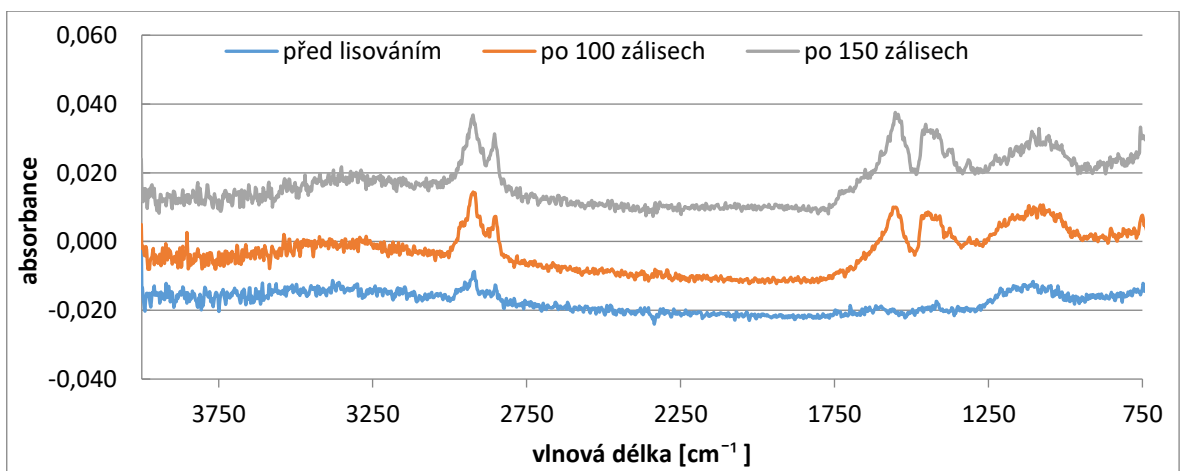
Obrázek 34 IČ spektra vzorku č. 3 s úpravou PVD Sigaan



Obrázek 35 IČ spektra vzorku č. 4 s povrchem kaleným a popuštěným



Obrázek 36 IČ spektra vzorku č. 5 s povrchem karbonitridovaným



Obrázek 37 IČ spektra vzorku č. 6 s povrchem bez úprav

Další aspekt, který byl brán v potaz při vyhodnocování vhodnosti oceli 1.2714 pro vulkanizační formu, bylo zjišťování kontaminace. Kontaminanty byly vyhodnocovány pomocí IČ spekter. Podobná spektra jsou u vzorků č. 1 a 3, jedná se o vzorky s PVD vrstvou Alwin (1) a Sigaan (3). U těchto vzorků byl zjištěn výraznější pás v oblasti vlnové délky 2960-2895 cm^{-1} s dalším charakteristickým pásem v oblasti vlnové délky 2870-2827 cm^{-1} , pravděpodobně patří $-\text{CH}_2$ funkčním skupinám. Další výraznější pás byl v oblasti vlnové délky 1580-1490 cm^{-1} , pravděpodobně se jedná o $-\text{NH}-$ skupiny. Tato vazba patří amidům. V oblasti vlnové délky 1480-1330 cm^{-1} se objevuje pás, který je poměrně široký, bez výrazného vrcholu. Tento pás pravděpodobně odpovídá $-\text{CH}_3$ funkčním skupinám.

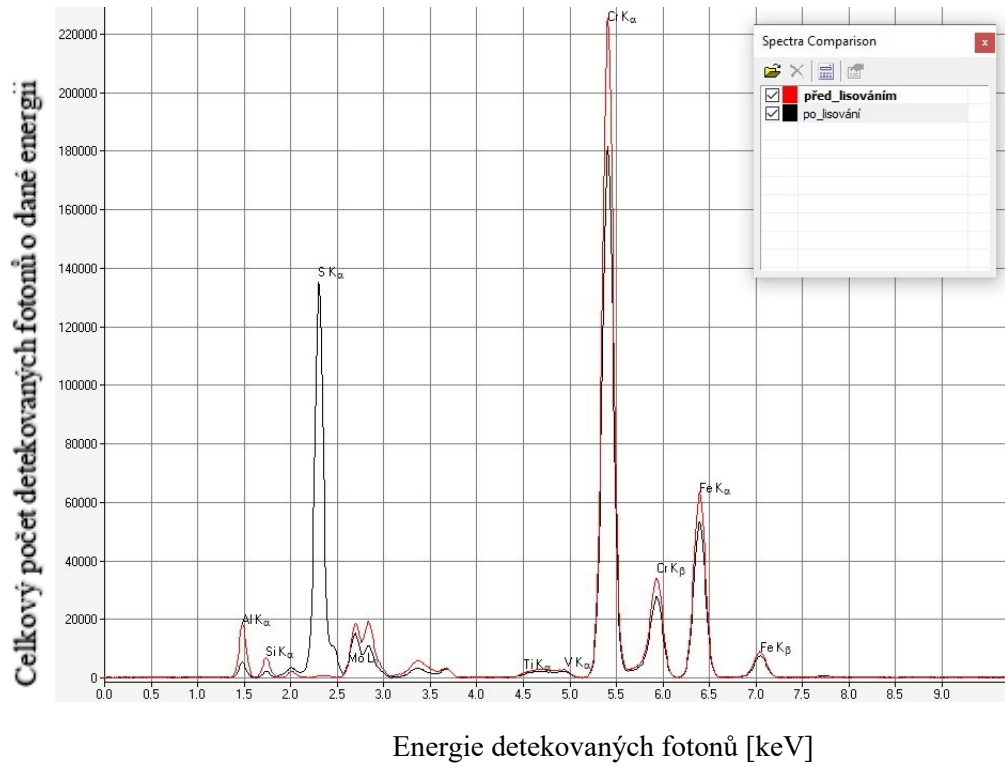
Vzorek č. 2 s PVD povlakem TiN má navíc oproti vzorkům č. 1 a 3 pás v oblasti vlnových délek 3005-2945 cm^{-1} , který pravděpodobně odpovídá $-\text{CH}_3$ funkčním skupinám, pak pásy v oblasti vlnových délek 1260-950 cm^{-1} , které pravděpodobně odpovídají amidům karboxylových skupin, z nichž se časem vytváří amidová skupina $-\text{NH}_2$.

IČ spektra vzorků č. 4 (kalen a popuštěn), 5 (karbonitridován) a 6 (bez povrchové úpravy) získaná před lisováním a po 150 lisovacích cyklech jsou po bližším porovnání podobná. IČ spektrum vzorku č. 5 naměřené po 100 lisovacích cyklech je nepatrně odlišné od IČ spekter vzorků č. 4 a 6. Pásky nalezené u vzorků č. 4, 5 a 6 jsou stejné jako pásky zjištěné u vzorků č. 1, 2 a 3, konkrétně se jedná o pásky o vlnových délkách 2960-2895 cm^{-1} s dalším charakteristickým pásem v oblasti vlnové délky 2870-2827 cm^{-1} , 1580-1490 cm^{-1} , 1480-1330 cm^{-1} a 1260-950 cm^{-1} .

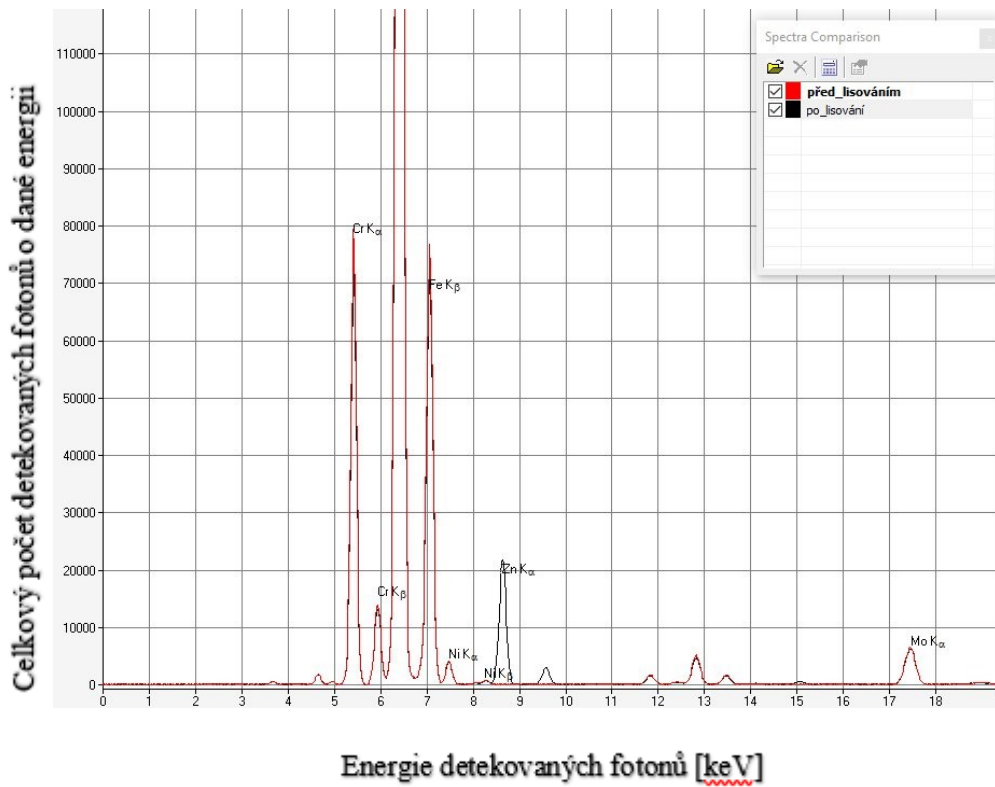
Ze získaných výsledků lze usoudit, že nejméně náchylné na ulpívání kontaminantů jsou vzorky č. 1 s PVD povrchovou úpravou Alwin a vzorek č. 3 s PVD povrchovou úpravou Sigaan. Pravděpodobná příčina spočívá ve složení povlaku, neboť oba tyto povlaky obsahují Si, který může vykazovat pozitivní vlastnosti z hlediska kontaminace.

9.4 XRF

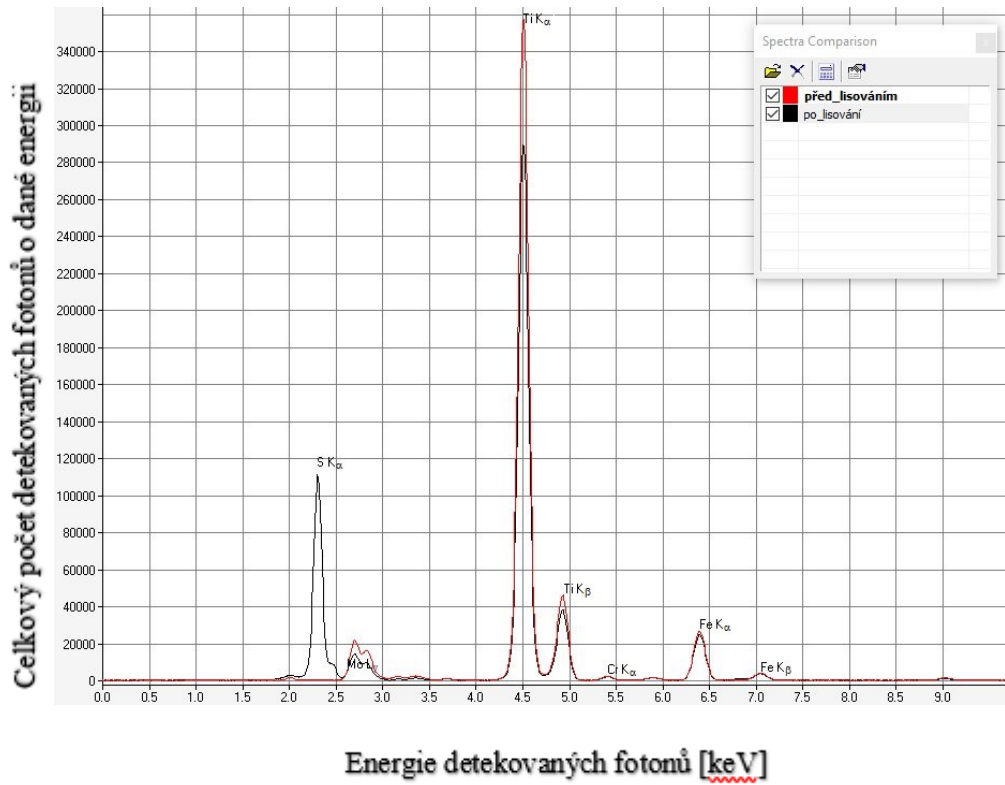
Na následujících obrázcích jsou uvedena XRF spektra měřených před lisováním a po 150 lisovacích cyklech. Pro každý vzorek existují dva grafy, jeden znázorňuje XRF spektra pro lehké prvky, druhý pro těžké prvky.



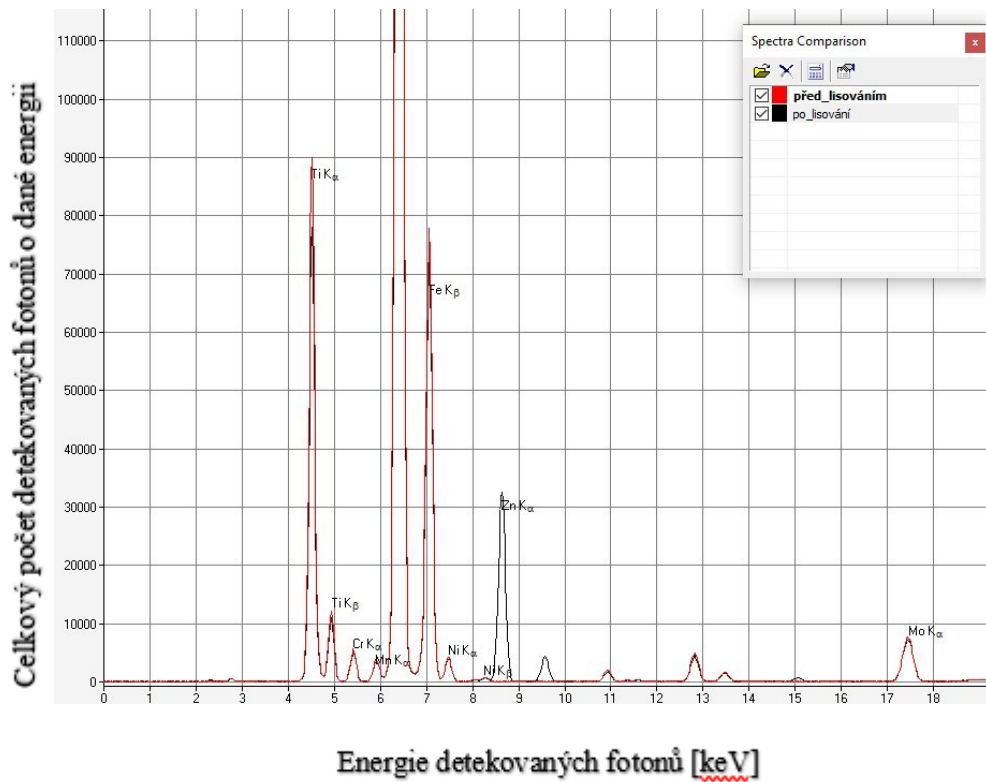
Obrázek 38 Srovnávací spektra lehkých prvků vzorku č. 1



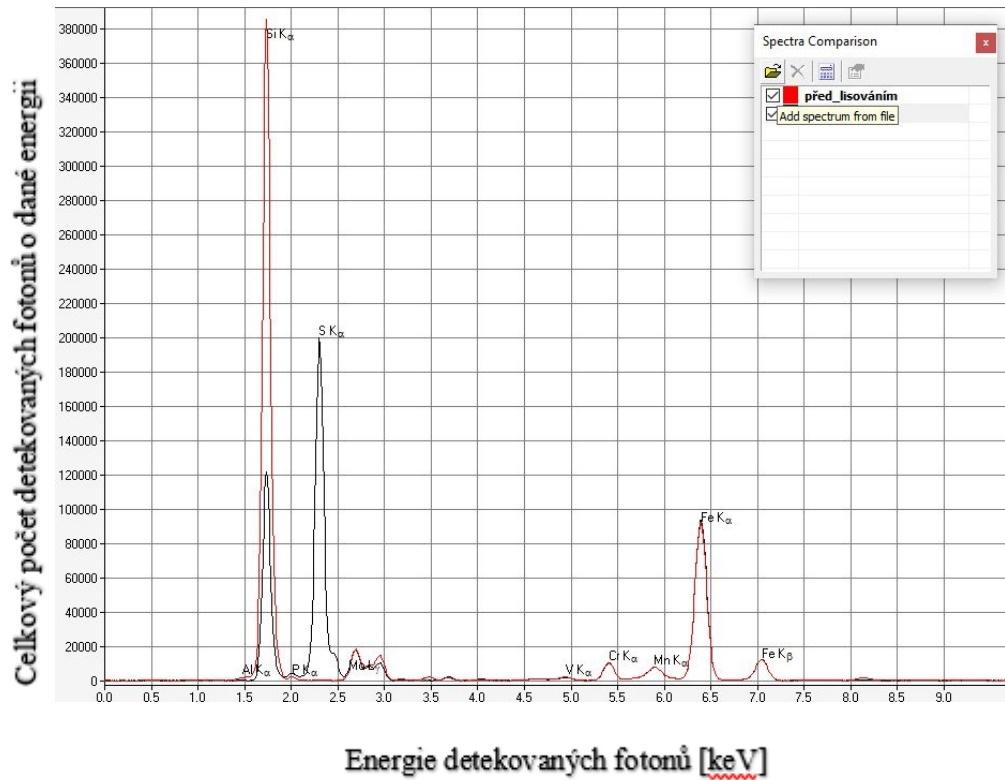
Obrázek 39 Srovnávací spektra těžkých prvků vzorku č. 1



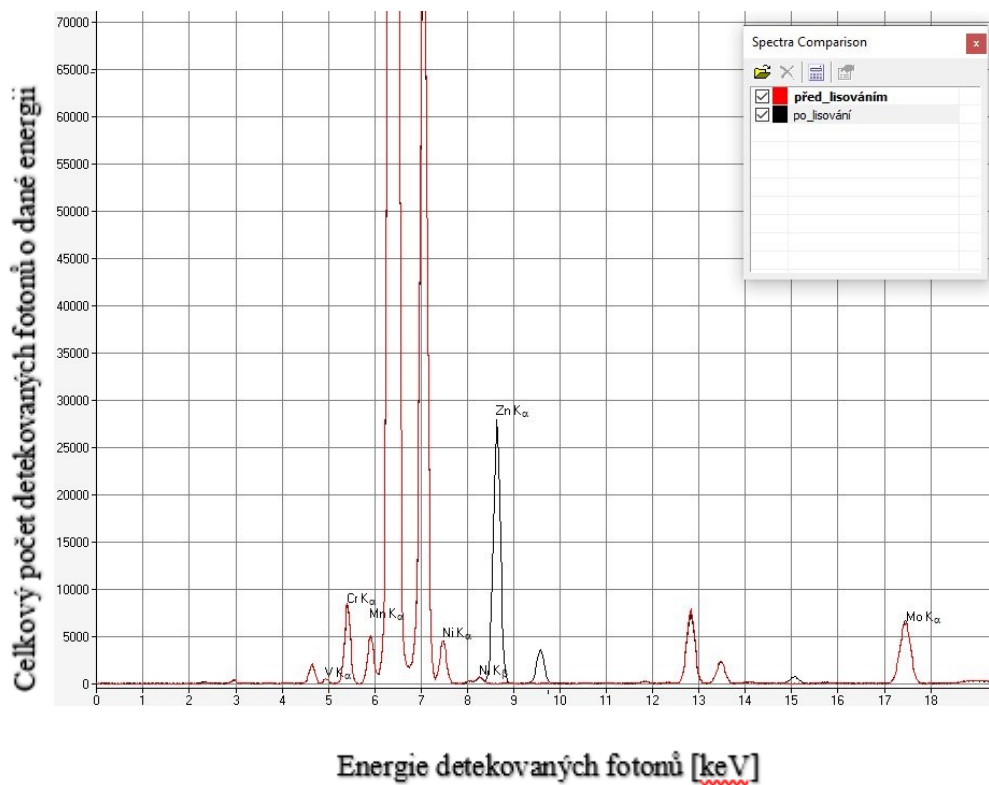
Obrázek 40 Srovnávací spektra lehkých prvků vzorku č. 2



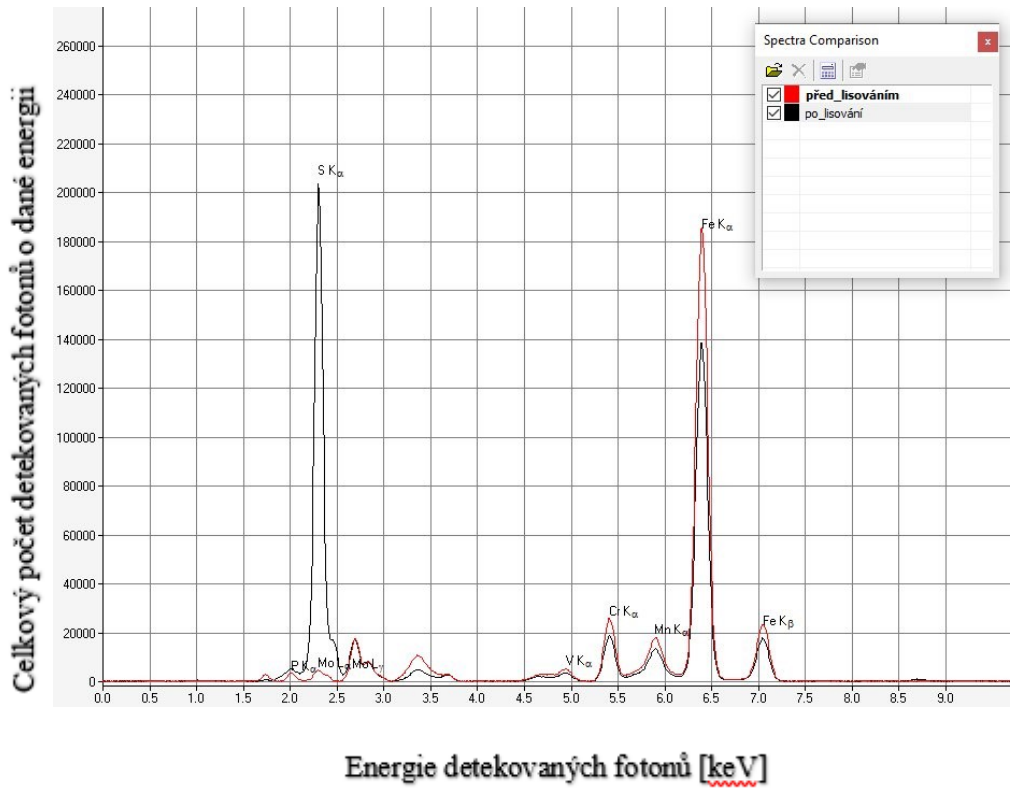
Obrázek 41 Srovnávací spektra těžkých prvků vzorku č. 2



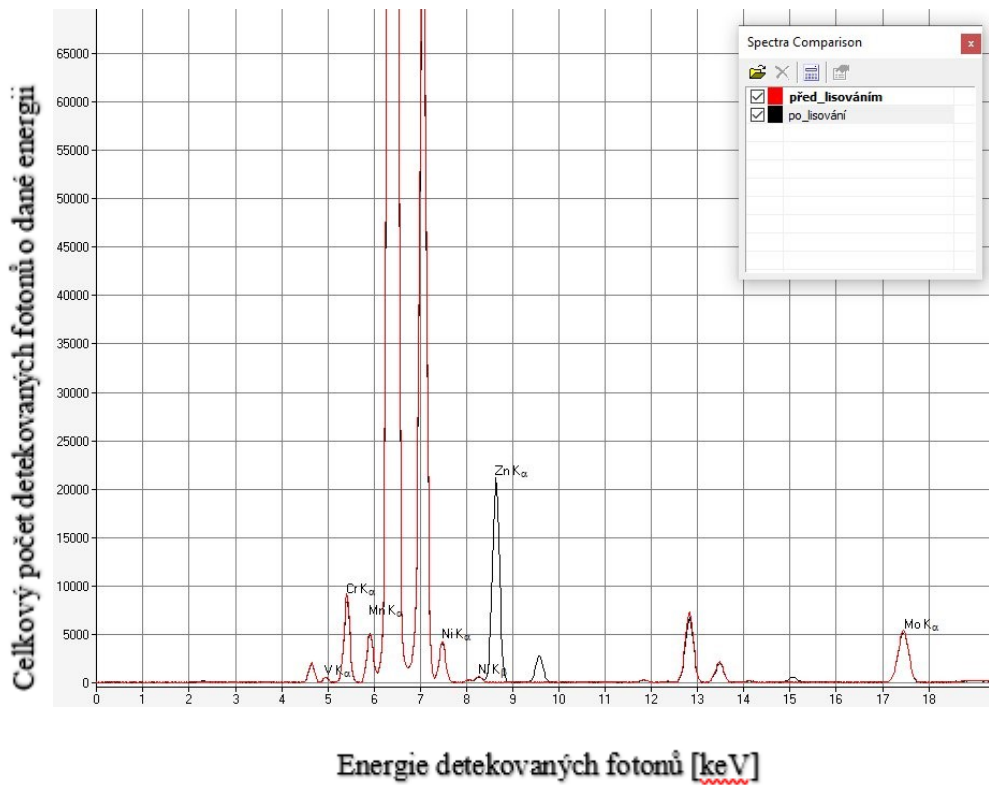
Obrázek 42 Srovnávací spektra lehkých prvků vzorku č. 3



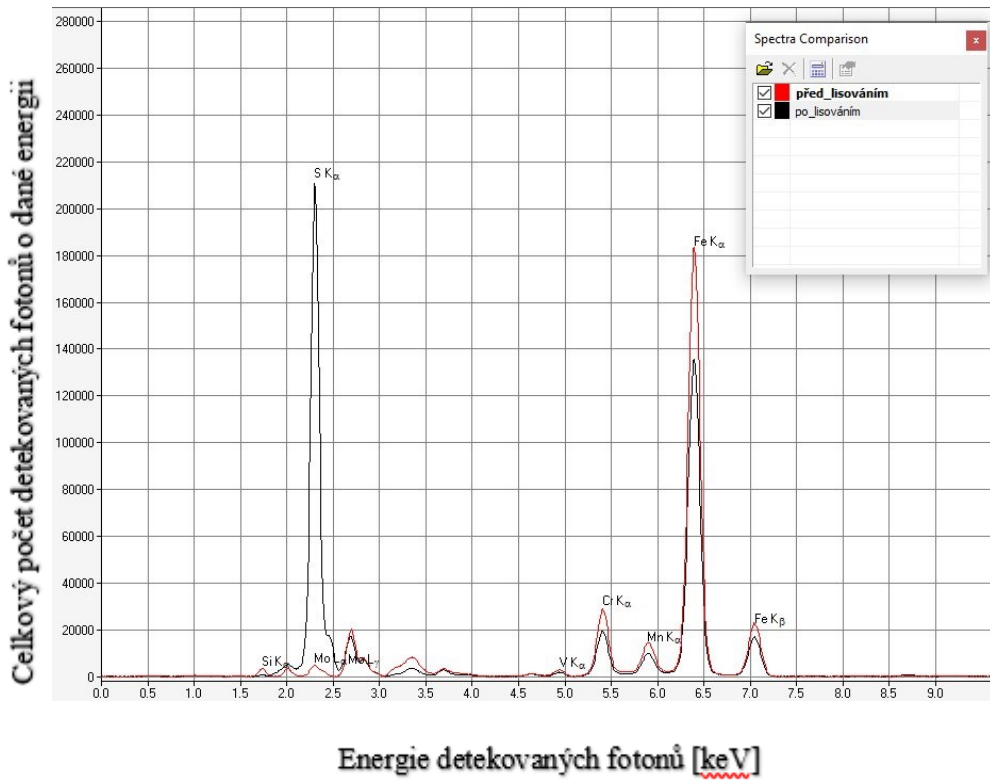
Obrázek 43 Srovnávací spektra těžkých prvků vzorku č. 3



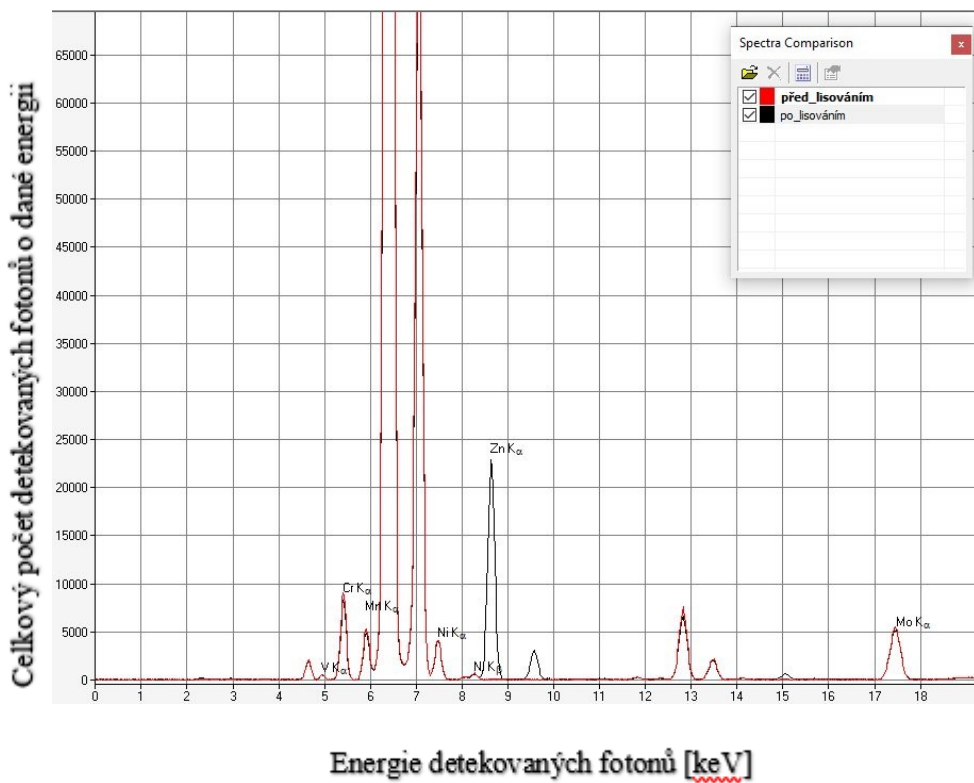
Obrázek 44 Srovnávací spektra lehkých prvků vzorku č. 4



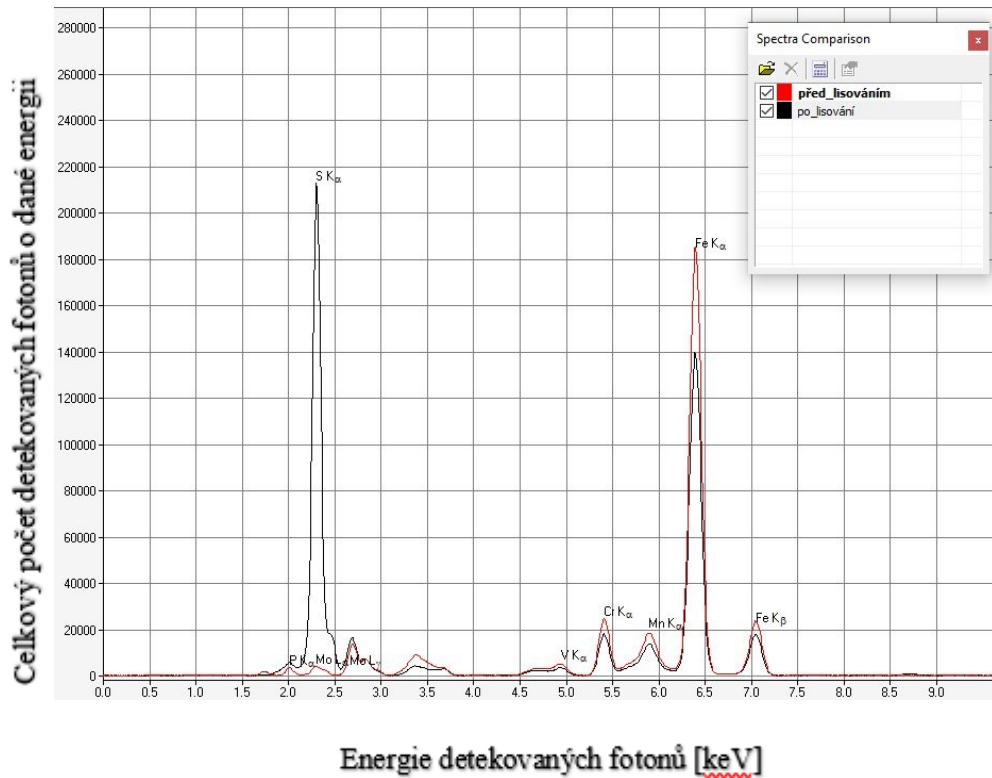
Obrázek 45 Srovnávací spektra těžkých prvků vzorku č. 4



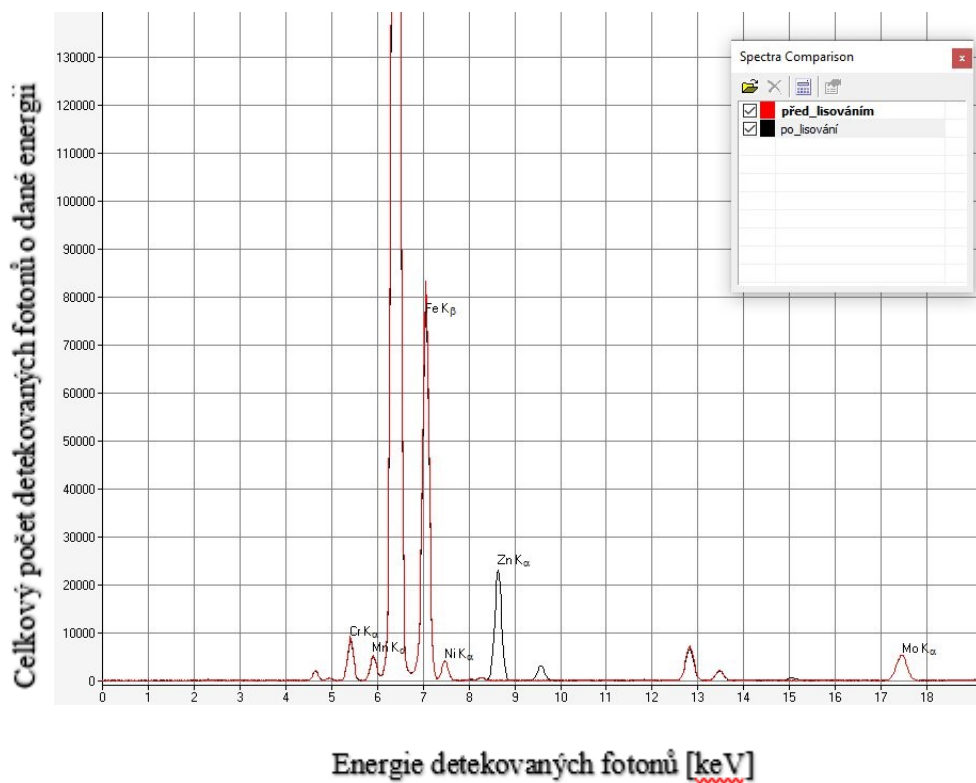
Obrázek 46 Srovnávací spektra lehkých prvků vzorku č. 5



Obrázek 47 Srovnávací spektra těžkých prvků vzorku č. 5



Obrázek 48 Srovnávací spektra lehkých prvků vzorku č. 6



Obrázek 49 Srovnávací spektra těžkých prvků vzorku č. 6

XRF analýzou byla zjištěna spektra všech zkoumaných vzorků před lisováním a po 150 lisovacích cyklech. Z XRF spekter získaných pro vzorek č. 1 je vidět, že po 150 lisovacích cyklech došlo ke snížení počtu detekovaných fotonů u Al, Si, Mo, Cr a Fe. Jedná se o prvky základního kovu a prvky povrchové úpravy Alwin. Po 150 lisovacích cyklech se naopak zvýšil počet detekovaných fotonů u S a Zn. U vzorku č. 2, který byl opatřen povrchovou úpravou TiN, došlo ke snížení počtu detekovaných fotonů u Ti (povlak Alwin) a Mo (ocel 1.2714) a ke zvýšení počtu detekovaných fotonů u S a Zn. U vzorku č. 3, na který byl aplikován povlak Sigaan, došlo ke snížení počtu detekovaných fotonů u Si (součást povlaku) a ke zvýšení počtu detekovaných fotonů u S a Zn.

U vzorků č. 4, 5 a 6 došlo ke snížení počtu detekovaných fotonů u Cr, Mn a Fe (tyto prvky jsou součástí oceli 1.2714) a ke zvýšení počtu detekovaných fotonů u S a Zn. Tento výsledek byl očekáván, neboť na povrchu vzorků není žádná vrstvička, která by zabránila kontaktu rentgenového paprsku se základním materiálem.

Ke snížení počtu detekovaných fotonů u všech výše zmíněných prvků došlo proto, že tyto prvky překryl kontaminant, který je prvkově složen ze S a Zn. S a Zn jsou součástí kaučukových směsí, konkrétně vulkanizačního systému (S jako vulkanizační činidlo a Zn se může být součástí ZnO – aktivátoru vulkanizace). S a Zn může tvořit ZnS (sulfid zinečnatý). Vliv ZnS na počátek vzniku kontaminantů byl již dříve publikován např. v [43] [44].

Z hlediska vhodnosti použitelnosti oceli 1.2714 pro vulkanizační formu XRF analýza ukázala, že na všech vzorcích ulpěl kontaminant, jehož prvkové složení je S a Zn. Žádný z použitých vzorků nelze na základě XRF analýzy označit za výhodnější pro výrobu vulkanizačních forem.

9.5 Kontaktní úhel

Zjištěné hodnoty průměrů kontaktních úhlů jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tabulka 9 Hodnoty průměrů kontaktních úhlů před lisováním a po 150 lisovacích cyklech

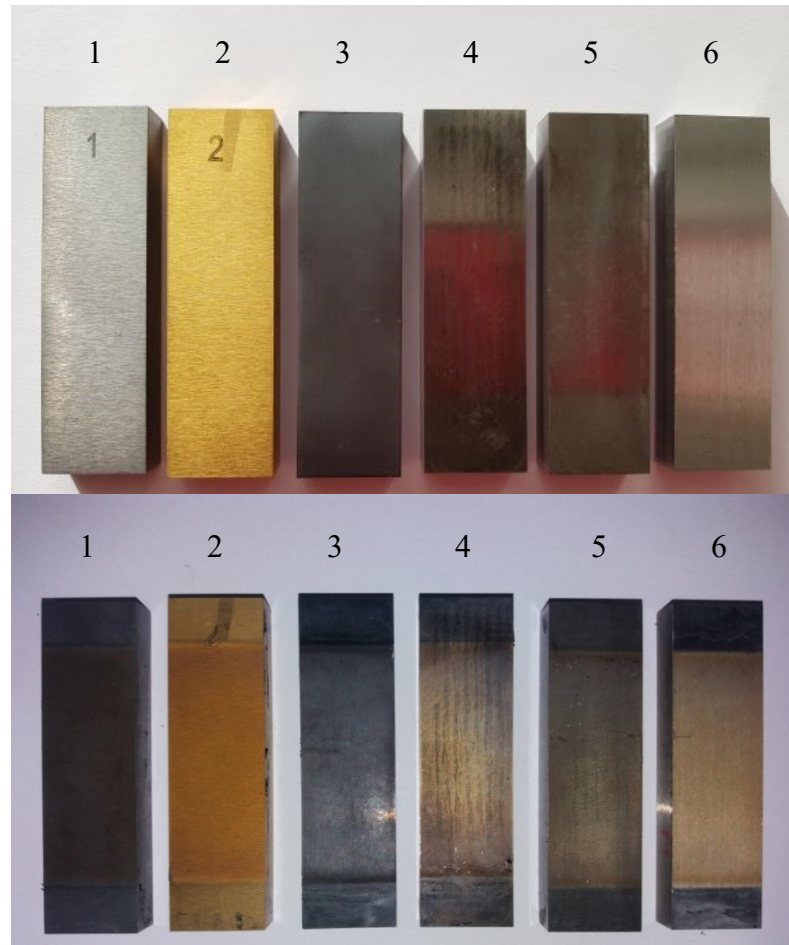
| Vzorek č. | Před lisováním [°] | Po 150 lisovacích cyklech [°] |
|-----------|--------------------|-------------------------------|
| 1 | 98 (± 4) | 127 (± 6) |
| 2 | 84 (± 10) | 128 (± 5) |
| 3 | 53 (± 6) | 117 (± 4) |
| 4 | 75 (± 14) | 121 (± 5) |
| 5 | 72 (± 8) | 126 (± 5) |
| 6 | 86 (± 3) | 127 (± 5) |

Z naměřených kontaktních úhlů před lisováním v tabulce (Tab. 9) vyplývá, že u všech vzorků kromě vzorku č. 1, který byl opatřen PVD vrstvou Alwin, došlo ke snížení kontaktního úhlu ve srovnání se vzorkem č. 6, který byl bez povrchových úprav. Lze usoudit, že z hlediska velikosti kontaktních úhlů se jedná o různorodé povrchy. Naměřené hodnoty po 150 lisovacích cyklech vypovídají o tom, že dochází ke kontaminaci vzorků bez ohledu na zvolené povrchové úpravy, protože průměrné velikosti kontaktních úhlů po 150 lisovacích cyklech jsou v rámci odchylek do jisté míry srovnatelné.

Zjištěný výsledek značí, že se na povrchu vytvořila tenká vrstvička, která je svým charakterem kontaminant a překrývá původní povrch. Charakter povrchu se po provedení 150 lisovacích cyklů změnil. Lze odvodit, že z pohledu kontaktních úhlů nezáleží na původním povrchu, tzn. z hlediska vhodnosti použitelnosti oceli 1.2714 pro vulkanizační formu nezáleží na tom, zda a jaká povrchová úprava se použije.

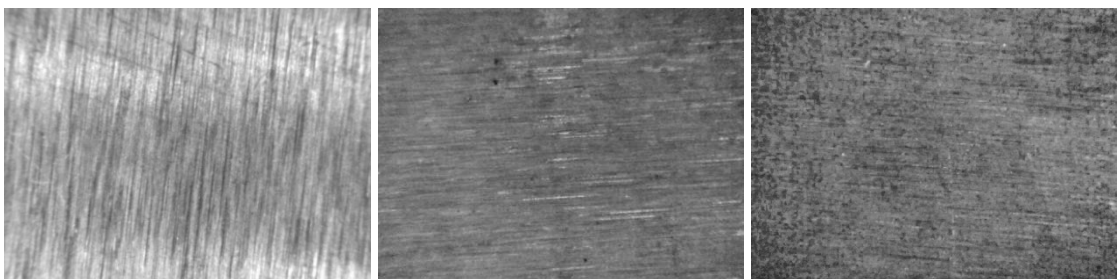
9.6 Vizuální porovnání vzorků

Na obrázku (Obr. 50) jsou uvedené fotografie vzorků, které byly pořízeny před lisováním a po 150 lisovacích cyklech. Vzorky jsou očíslovány v pořadí: 1 – PVD Alwin, 2 – PVD TiN, 3 – PVD Sigaan, 4 – kaleno a popouštěno, 5 – karbonitridováno, 6 – bez povrchových úprav.



Obrázek 50 Vizuální porovnání vzorků, nahoře před lisováním, dole po lisování

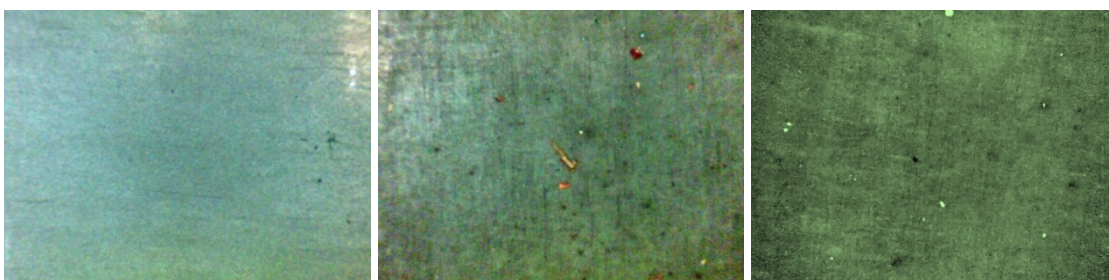
Byly pořízeny mikroskopické snímky testovaných vzorků. Na následujících obrázcích jsou zobrazeny snímky vzorků v pořadí: vlevo – před lisováním, uprostřed – po 100 lisovacích cyklech, vpravo – po 150 lisovacích cyklech.



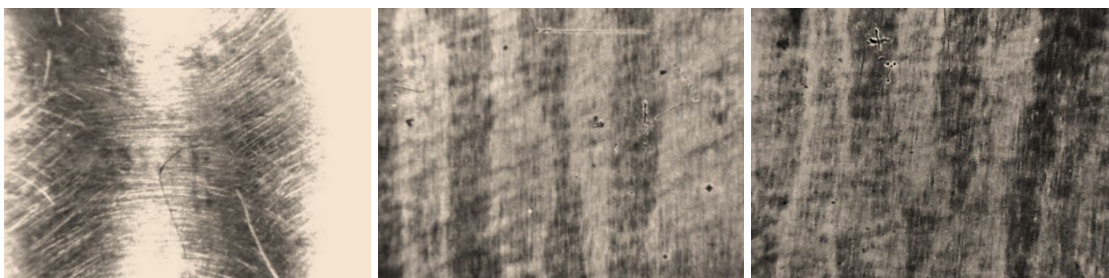
Obrázek 51 Mikroskopické snímky vzorku č. 1 – PVD Alwin



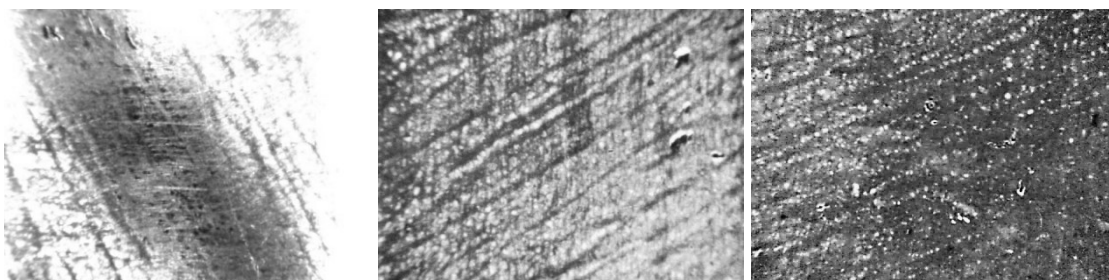
Obrázek 52 Mikroskopické snímky vzorku č. 2 – PVD TiN



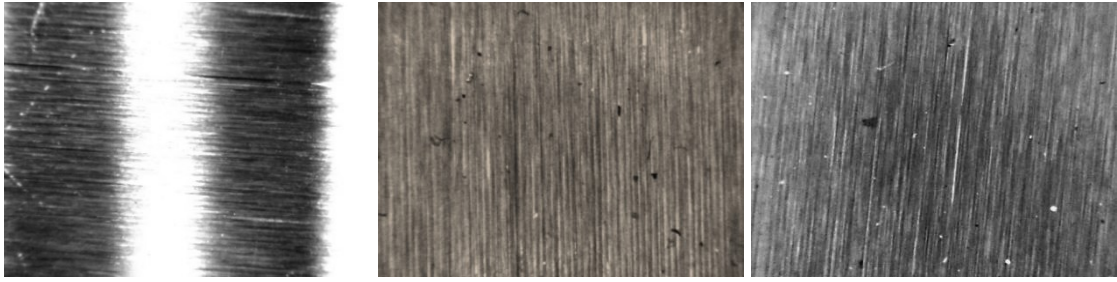
Obrázek 53 Mikroskopické snímky vzorku č. 3 – PVD Sigaan



Obrázek 54 Mikroskopické snímky vzorku č. 4 – kaleno a popouštěno



Obrázek 55 Mikroskopické snímky vzorku č. 5 – karbonitridováno



Obrázek 56 Mikroskopické snímky vzorku č. 6 – bez povrchových úprav

Z fotografií vzorků, které byly pořízeny před lisováním a po 150 lisovacích cyklech, je patrné, že po lisování je povrch tmavší, znečištěný.

Mikroskopické snímky, které byly snímány před lisováním, po 100 a po 150 lisovacích cyklech, ukazují na skutečnost, že k vyššímu ulpívání kontaminantů dochází s vyšším počtem lisovacích cyklů.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zjistit, zda je ocel 1.2714 v kombinaci se zvolenými povrchovými úpravami vhodná k výrobě dutiny vulkanizační lisovací formy pro lisování kaučukových směsí. Pomyslné dutiny formy reprezentovaly zkušební vzorky, které byly vystaveny lisovacím cyklům. Pro lisování byla použita kaučuková směs od firmy Continental Barum, s.r.o., která se používá na výrobu bočnic osobních plášťů pneumatik. Celkový počet lisovacích cyklů činil 150. K vyhodnocení parametrů bylo zvoleno šest ukazatelů. První metoda spočívala v kontaktním měření drsnosti povrchů na dotykovém drsnoměru. Další metoda obsahovala měření povrchové tvrdosti podle Vickerse. Dále byla provedena analýza FTIR (infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací), dále rentgenová fluorescence XRF a byly měřeny kontaktní úhly testovaných povrchů. Jako poslední metodou vyhodnocení bylo zvoleno vizuální porovnání kvality povrchů pomocí fotografií a mikroskopických snímků.

K experimentu bylo zvoleno 6 vzorků z oceli 1.2714, které se lišily rozdílnou povrchovou úpravou, čímž bylo dosaženo odlišných drsností. První tři vzorky byly upraveny technologií povlakováním PVD, u prvního vzorku byla aplikována nanokompozitní vrstva Alwin, druhý vzorek byl opatřen vrstvou TiN, na třetí vzorek byla nanesena vrstva Sigaan. Čtvrtý vzorek byl tepelně zpracován kalením a popouštěním. Předposlední vzorek byl karbonitridován v ochranné atmosféře a poslední vzorek byl bez povrchové úpravy. Všechny zkušební vzorky byly před lisováním řádně zbaveny nečistot.

Před lisováním byla znovu změřena drsnost a tvrdost povrchů všech zkoušených vzorků. Bylo také provedeno měření kontaktních úhlů. Následovalo provedení analýzy FTIR a pořízení mikroskopických snímků. Samotné lisování proběhlo v laboratoři UIP FT UTB na hydraulickém vulkanizačním lisu. První proces obsahoval 100 zálisů, po kterém opětovně proběhlo měření FTIR a byly pořízeny další mikroskopické snímky. Druhá série obsahovala 50 zálisů, po níž byla provedena finální kontrola drsnosti, tvrdosti, měření FTIR, XRF a kontaktních úhlů. Závěrem byly pořízeny poslední srovnávací fotografie a mikroskopické snímky povrchů.

Parametry drsnosti ukázaly, že nejlepším povrchem disponuje vzorek č. 3 s úpravou PVD-Siggan, dále vzorek č. 5 upravený karbonitridací a vzorek č. 6 bez úprav. Z hlediska tvrdosti vykazují nejlepší hodnoty vzorky č. 1, 2 a 3, které jsou opatřeny technologií PVD (Alwin, TiN a Sigaan); jejich tvrdost zůstala téměř nezměněna, což má pozitivní vliv vůči

opotřebení a na čištění od kontaminantů. Analýza infračervených spekter FTIR prokázala, že nejlepší hodnoty vykazují vzorky č. 1 (Alwin) a 3 (Sigaan), které jsou specifické obsahem křemíku, což může mít pozitivní vliv vůči kontaminaci. Rozbor XRF jednoznačně neprokázal výhodnější povrch pro výrobu vulkanizační formy. Metoda měření kontaktních úhlů potvrdila pouze to, že pro použití oceli 1.2714 volba povrchové úpravy není rozhodujícím parametrem. Finální snímky a mikroskopické snímky zřetelně ukazují, že povrchy po lisování jsou zaneseny ulpíváním kontaminantů, což se s rostoucím počtem lisovacích cyklů průběžně zhoršuje.

Z pohledu dutin vulkanizačních forem je nejdůležitějším aspektem pro hodnocení vhodnosti materiálu dutiny formy kontaminace. Získané výsledky ukázaly, že kontaminanty se na povrchu vzorků vyskytují. Na kontaminaci má do jisté míry vliv drsnost povrchu i tvrdost povrchu. Provedené testy prokázaly, že kontaminanty ulpívají na površích všech testovaných vzorků, jeden se však chová příznivěji než ostatní. Jako nejlepší volbou pro výrobu dutiny vulkanizační formy se jeví vzorek č. 3 opatřený povlakem PVD – Sigaan.

Další nespornou výhodou tohoto vzorku je fakt, že má mezi testovanými vzorky nejvyšší tvrdost (společně se vzorkem č. 2). To mu dává předpoklad pro lepší čištění dutin forem a zvyšuje šance na vyšší počet čistících procesů do nutnosti opravy, tzn., že forma bude moci být využita pro vyšší počet lisovacích cyklů, než vznikne potřeba dutinu formy opravit.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Nástroj, [online]. [cit. 2020-05-10], Dostupný z:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%A1stroj>.
- [2] J. a. V. G. ŘASA, Strojírenská technologie 3, Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
- [3] Katedra strojírenské technologie, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/09.htm
- [4] Silesia - Tech s.r.o, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://www.silesia-tech.cz/kokilov%C3%A9-liti>
- [5] MCAE, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:
<https://www.mcae.cz/cs/sluzby/vakuove-liti/>
- [6] J. A. K. a. J. Z. ŠTĚPEK, Technologie zpracování a vlastnosti plastů: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemickotechnologické, studijní obor 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů., Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [7] Š. a. L. V. A. K. PREKOP, Gumárska technológia II, Trenčín: GC Tech., 2003. ISBN 80-88914-85-X.
- [8] OKFORM, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.ok-form.cz/formy-pro-lisovani-tvarovek-zpenovych-plastu-eps-epp>
- [9] P. LENFELD, Technologie II., Liberec: 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. ISBN 978-80-7494-305-8.
- [10] F. a. Z. O. NUHLÍČEK, Termosety: výroba, spracovanie, použitie, Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1959.
- [11] JKZ BUČOVICE, a.s. [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:
<https://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/>
- [12] Z. JONŠTA, Nauka o kovech II, Ostrava: 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2000. ISBN 80-7078-958-1.
- [13] L. PTÁČEK, Nauka o materiálu II, 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
- [14] TOOLSTEEL, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://toolsteel.cz/skupiny-nastrojovych-oceli/>

- [15] OTAKAR KVAPIL KANA -KOVO, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:
<http://www.kana-kovo.cz/index.php?page=catal&group=9>
- [16] NEŽELEZNÉ KOVY A JEJICH SLITINY, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:
<https://docplayer.cz/31930719-Nezelezne-kovy-a-jejich-slitiny.html>
- [17] Alumeco, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:
<https://www.alumeco.cz/technick%C3%A9-informace>
- [18] HLINÍKOVÉ proal PROFILY, [online]. [cit. 2020-05-10],“ [Online]. Dostupné z:
<https://proal.cz/hlinik/>
- [19] M. O. M. a. R. P. HLUCHÝ, Strojírenská technologie 1 - 2. díl: Metalografie a tepelné zpracování, 2. vyd. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-140-9.
- [20] Tepelné zpracování ocelí, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:
<https://slideplayer.cz/slide/2810347/>
- [21] Bodycote Bandofen, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:
<https://htsbb.eu/technik/bandofen/?lang=de>
- [22] TechPark, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:
<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22013/laserove-kaleni-ozubenych-kol.html>
- [23] M. a. R. M. HAZLINGER, Chemicko-tepelné spracovanie materiálov, Bratislava: STU, 2013, 171 s.Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3924-5
- [24] Vzdělávací portál Moodle, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:
<https://www.moodle-trebesin.cz/>
- [25] Tumlikovo Metal Cutting Technologies, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:
<http://www.tumlikovo.cz/rubriky/procesy/chemicko-tepelne-zpracovani-kovu/>
- [26] Bodycote, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:
<https://www.bodycote.com/technical-glossary/corr-i-dur/>
- [27] voestalpine, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:
<https://www.voestalpine.com/highperformancemetals/cs/cs/pvd-povlakovani/>
- [28] MM, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:
<https://www.mmspektrum.com/clanek/povlakovani-nastroju-metodou-pacvd.html>
- [29] VUHZ, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.vuhz.cz/povlaky-pvd-pacvd-a-cvd/technologie>
- [30] Vybrané technologie povrchových úprav, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z:

- http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/VTM/vtm%20Dad/13metody%20na%20vrstvy.pdf
- [31] CemeCon The Tool Coating, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.cemecon.cz/technologie-povlakovani>
- [32] SHM Super Hard Materials, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://shm-cz.cz/zakladni-nabidka-povlaku-shm/>
- [33] PlasticPortal, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/nova-tvrzena-hasco-ocel-12714hh/c/4934/>
- [34] JENOPTIK, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.jenoptik.cz/cz/>
- [35] JENOPTIK, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.jenoptik.cz/produkty/mereni-drsnosti-kontury/waveline-w20/>
- [36] JD METODIKY A NORMY, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.testsysteme.cz/vickers-iso-6507>
- [37] BUEHLER, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.buehler.com/hardness-testing.php>
- [38] Infračervená spektroskopie, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/lms/Zverze/Infrared.htm>
- [39] Rentgenová Fluorescence - Wikipedie, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Rentgenov%C3%A1_fluorescence
- [40] C.-M. CHAN, Polymer surface modification and characterization, Munich: Hanser, 1994. ISBN 1-56990-158-9
- [41] KRÜSS Advancing your Surface Science, [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.kruss-scientific.com/products/drop-shape/dsa30/drop-shape-analyzer-dsa30/>
- [42] BAARLE, B. Mold fouling during vulcanization. Rubber world akron [online]. December 2001 [cit. 2020-05-15]. ISSN 0035-9572, Dostupné z: <https://www.tib.eu/en/search/id/BLSE%3ARN107649268/Mold-fouling-during-rubber-vulcanization/>
- [43] BAARLE, B. Mold fouling during rubber vulcanization. Rubber world akron [online]. December 2004 [cit. 2020-05-15]. ISSN 0035-9572, Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/293723285_Mold_fouling_during_rubber_

vulcanization

- [44] F. J. K. a. J. H. TOMIS, Formy a přípravky, Brno: VUT, 1979. Učební texty vysokých škol.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|-------|--|
| % | Procento |
| ° | Stupeň |
| °C | Stupeň Celsia |
| Al | Hliník |
| ATR | Attenuated Total Reflection |
| C | Uhlík |
| Cr | Chrom |
| Cu | Měď |
| CVD | Chemical Vapour Deposition |
| EPP | Lehčený polypropylen |
| EPS | Expandovaný polystyren |
| Fe | Železo |
| FTIR | Fourier transform infrared (spectroscopy) |
| HV | Symbol tvrdosti podle Vickerse |
| IČ | Infračervené spektrum |
| keV | KiloelektronVolt |
| Mg | Hořčík |
| mm | Milimetr |
| Mn | Mangan |
| Mo | Molybden |
| MPa | Mega Pascal |
| Ni | Nikl |
| PACVD | Plasma Assisted Chemical Vapour Deposition |
| Pb | Olovo |
| PÚ | Povrchová úprava |

| | |
|---------------|-------------------------------------|
| PVD | Physical Vapour Deposition |
| Ra | Střední aritmetická úchylka profilu |
| Rm | Mez pevnosti |
| S | Síra |
| Si | Křemík |
| Sn | Cín |
| Ti | Titan |
| TiN | Nitrid titanu |
| TZ | Tepelné zpracování |
| V | Vanad |
| W | Wolfram |
| XRF | X-ray fluorescence |
| Zn | Zinek |
| ZnS | Sulfid zinečnatý |
| μl | Mikrolitr |
| μm | Mikrometr |
| ρ | Hustota |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 Princip lisování termoplastů, A-vložení termoplastu do dutiny formy, B-lisování a vytvrzování, C-vyhození výlisku [3] | 12 |
| Obrázek 2 Příklady forem – vlevo pro kokilové lití hliníku, vpravo pro vakuové lití plastů [4] [5] | 13 |
| Obrázek 3 Příklad formy pro lisování EPS, EPP [8] | 14 |
| Obrázek 4 Příklady řešení dělicích rovin..... | 17 |
| Obrázek 5 Pohled do dutiny formy z nástrojové oceli [12] | 18 |
| Obrázek 6 Vyfukovací forma z nerezové nástrojové oceli [16] | 20 |
| Obrázek 7 Schéma průběhu tepelného zpracování: 1 – ohřev, 2 – výdrž na teplotě, 3 – ochlazování [21] | 24 |
| Obrázek 8 Pásová pec pro kalení a popouštění v ochranné atmosféře pro hromadné díly [22]..... | 26 |
| Obrázek 9 Laserově kalené ozubené kolo [23]..... | 27 |
| Obrázek 10 Diagram typů povrchových úprav – závislost tvrdosti na hloubce [25]..... | 28 |
| Obrázek 11 Aplikovaná karbonitridace před a po korozním testu [27]..... | 29 |
| Obrázek 12 Porovnání hloubky prokalení na ozubeném kole – vlevo cementace v plynu, vpravo mezerové povrchové kalení [25] | 30 |
| Obrázek 13 Povlakované součástky metodou PACVD a PVD [29] | 31 |
| Obrázek 14 Dva základní druhy technologie PVD [31] | 32 |
| Obrázek 15 Porovnání mikrostruktur PVD a CVD [33]..... | 33 |
| Obrázek 16 Princip metody CVD [31] | 33 |
| Obrázek 17 Teplotní rozptyl technologie PVD, CVD a PACVD [30]..... | 34 |
| Obrázek 18 Upravené vzorky před lisováním | 39 |
| Obrázek 19 Parametr drsnosti Ra [35]..... | 41 |
| Obrázek 20 Drsnoměr Hommel Waweline W20 [36] | 41 |
| Obrázek 21 Stopa po vpichu indentoru [37]..... | 42 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 22 Tvrdoměr Wilson VH3100 [38] | 42 |
| Obrázek 23 Příprava náloží..... | 44 |
| Obrázek 24 Vylisované výrobky | 45 |
| Obrázek 25 Hydraulický vulkanizační lis IGTT..... | 45 |
| Obrázek 26 Připravené vzorky ve formě | 46 |
| Obrázek 27 Spektrometr Nicolet AVATAR 320 FTIR | 47 |
| Obrázek 28 Spektrometr Nicolet AVATAR 320 FTIR se zkoušeným vzorkem | 47 |
| Obrázek 29 Spektrometr Elva X..... | 48 |
| Obrázek 30 přístroj Krüss Drop Shape Analyzer – DSA30 [42]..... | 50 |
| Obrázek 31 Mikroskop ProScope HR | 50 |
| Obrázek 32 IČ spektra vzorku č. 1 s úpravou PVD ALWIN | 53 |
| Obrázek 33 IČ spektra vzorku č. 2 s úpravou PVD TiN | 53 |
| Obrázek 34 IČ spektra vzorku č. 3 s úpravou PVD Sigaan..... | 53 |
| Obrázek 35 IČ spektra vzorku č. 4 s povrchem kaleným a popuštěným..... | 54 |
| Obrázek 36 IČ spektra vzorku č. 5 s povrchem karbonitridovaným | 54 |
| Obrázek 37 IČ spektra vzorku č. 6 s povrchem bez úprav | 54 |
| Obrázek 38 Srovnávací spektra lehkých prvků vzorku č. 1 | 56 |
| Obrázek 39 Srovnávací spektra těžkých prvků vzorku č. 1..... | 56 |
| Obrázek 40 Srovnávací spektra lehkých prvků vzorku č. 2 | 57 |
| Obrázek 41 Srovnávací spektra těžkých prvků vzorku č. 2..... | 57 |
| Obrázek 42 Srovnávací spektra lehkých prvků vzorku č. 3 | 58 |
| Obrázek 43 Srovnávací spektra těžkých prvků vzorku č. 3..... | 58 |
| Obrázek 44 Srovnávací spektra lehkých prvků vzorku č. 4 | 59 |
| Obrázek 45 Srovnávací spektra těžkých prvků vzorku č. 4..... | 59 |
| Obrázek 46 Srovnávací spektra lehkých prvků vzorku č. 5 | 60 |
| Obrázek 47 Srovnávací spektra těžkých prvků vzorku č. 5..... | 60 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 48 Srovnávací spektra lehkých prvků vzorku č. 6 | 61 |
| Obrázek 49 Srovnávací spektra těžkých prvků vzorku č. 6..... | 61 |
| Obrázek 50 Vizuální porovnání vzorků, nahoře před lisováním, dole po lisování | 64 |
| Obrázek 51 Mikroskopické snímky vzorku č. 1 – PVD Alwin..... | 64 |
| Obrázek 52 Mikroskopické snímky vzorku č. 2 – PVD TiN..... | 65 |
| Obrázek 53 Mikroskopické snímky vzorku č. 3 – PVD Sigaan | 65 |
| Obrázek 54 Mikroskopické snímky vzorku č. 4 – kaleno a popouštěno | 65 |
| Obrázek 55 Mikroskopické snímky vzorku č. 5 – karbonitridováno | 65 |
| Obrázek 56 Mikroskopické snímky vzorku č. 6 – bez povrchových úprav | 66 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 Technicky důležité neželezné kovy [17] | 22 |
| Tabulka 2 Chemické složení legujících prvků oceli 1.2714 v % [12] | 39 |
| Tabulka 3 Parametry Ra před povrchovou úpravou | 51 |
| Tabulka 4 Parametry Ra po povrchové úpravě (PÚ) | 51 |
| Tabulka 5 Parametry Ra po lisování | 51 |
| Tabulka 6 Hodnoty tvrdosti ve stavu za měkka | 52 |
| Tabulka 7 Hodnoty tvrdosti po povrchové úpravě | 52 |
| Tabulka 8 Hodnoty tvrdosti po lisování | 52 |
| Tabulka 9 Hodnoty průměrů kontaktních úhlů před lisováním a po 150 lisovacích cyklech | 63 |