

Vliv výrobního zatížení na dutinu formy

Bc. Černá Eva

Diplomová práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Eva Černá
Osobní číslo:	T18588
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní inženýrství
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Vliv výrobního zatížení na dutinu formy

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Specifikujte výběr materiálů vhodných pro výrobu dutin forem, navrhnete vhodné optacování povrchu včetně povrchových úprav
3. Navrhnete způsob ověření vybraných materiálů dutin forem, provedte experiment
4. Vyhodnotte získané výsledky

Forma zpracování diplomové práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

MACHEK, Václav. Kovové materiály 3: speciální kovové materiály. V Praze: České vysoké učení technické, 2015, 133 s. ISBN 978-80-01-05685-1.

PACKHAM, David. Mould Sticking, Fouling and Cleaning. Shropshire: Smithers Rapra Publishing, 2002. ISBN 1-85957-357-6.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jakub Huba, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Konzultant diplomové práce: **Ing. Dana Shejbalová, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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 užít své dílo – diplomovou 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 diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové 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 diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá vlivem výrobního zatížení na povrch dutiny formy pro lisování elastomerů. Teoretická část se věnuje životnosti a výrobě forem, materiálu, ze kterého se formy vyrábí, povrchovým úpravám, opravám, čištění, konzervaci a kontaminaci. V praktické části se použily vzorky s různými povrchovými úpravami, simulující povrch dutiny formy. Na vzorcích bylo provedeno měření drsnosti, kontaktního úhlu smáčení s kapalinou, byly pořízeny mikroskopické snímky a byly provedeny analýzy FTIR a XRF v intervalech před lisováním, po 75 a 150 lisovacích cyklech. Výsledky experimentu jsou vyhodnoceny v diskuzi.

Klíčová slova: výrobní zatížení, povrchová úprava, kontaminace

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the influence of production load on the surface of the mold cavity for elastomer molding. The theoretical part is dedicated to the lifetime and production of molds, the material from which the molds are made, surface treatments, repairs, cleaning, preservation and contamination. In the practical part, samples with different surface treatments were used, simulating the surface of the mold cavity. The samples were measured for roughness, contact angle of wetting with the liquid, microscopic pictures were taken and FTIR and XRF analyzes were performed in intervals before pressing, after 75 and 150 press cycles. The results of the experiment are evaluated in the discussion.

Keywords: production load, surface treatment, contamination

Tímto bych chtěla velice poděkovat mojí původní vedoucí diplomové práce paní Ing. Daně Shejbalové, Ph.D., nyní konzultantce mojí DP, za odborné vedení, rady a zkušenosti, vynikající přístup, rychlé odpovědi na dotazy a za čas, který mi věnovala při konzultacích a kontrolou mé diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat celé mojí rodině za podporu a trpělivost během mého studia.

OBSAH

ÚVOD	7
I TEORETICKÁ ČÁST	8
1 LISOVACÍ FORMY	9
1.1 ŽIVOTNOST FOREM	9
1.2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ LISOVACÍCH FOREM.....	10
1.3 POSTUP NÁVRHU FORMY PRO LISOVÁNÍ ELASTOMERŮ	11
1.4 VÝROBA FORMY	12
1.4.1 Výroba litím do sádry.....	12
1.4.2 Výroba frézováním.....	12
1.4.3 Výroba částí lisovací formy a dokončovací operace.....	13
2 MATERIÁL LISOVACÍCH FOREM	14
2.1 NÁSTROJOVÉ OCELI.....	14
2.1.1 Materiálová charakteristika	15
2.1.2 Legující prvky	16
2.2 OCEL NA VÝROBU ODLITKŮ	16
2.3 SLITINY HLINÍKU	17
3 DRUHY POVRCHŮ A POVRCHOVÝCH ÚPRAV	19
3.1 POVRCHY ZÍSKANÉ TEPELNÝM ZPRACOVÁNÍM	19
3.2 POVRCHY ZÍSKANÉ CHEMICKO-TEPELNÝM ZPRACOVÁNÍM	20
3.2.1 Cementace	20
3.2.2 Nitridace	21
3.2.3 Nitrocementace	22
3.2.4 Karbonitridace.....	22
3.3 SPECIÁLNÍ POVRCHOVÉ VRSTVY.....	22
3.3.1 PVD povlaky	23
3.3.2 CVD povlaky	24
3.3.3 Eloxování	24
3.3.4 Elektrochemické a chemické pokovování.....	25
3.3.5 Termické nástřiky.....	26
4 KONTAMINACE	28
4.1 PROCESY A PODMÍNKY PŘI KONTAMINACI LISOVACÍCH FOREM	29
4.2 TVORBA KONTAMINANTŮ.....	30
4.3 ČIŠTĚNÍ POVRCHŮ KONTAMINOVANÝCH FOREM.....	30
4.3.1 Mechanické metody čištění.....	31
4.3.2 Chemické metody čištění	31
4.3.3 Ostatní metody čištění.....	32
5 OPOTŘEBENÍ A OPRAVA POVRCHŮ DUTIN FOREM	34

5.1	HLAVNÍ MECHANIZMY OPOTŘEBENÍ PŘI VÝROBNÍM ZATÍŽENÍ	34
5.2	OPRAVA POVRCHŮ FOREM.....	36
6	ÚDRŽBA A KONZERVACE.....	38
7	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	40
II	PRAKTICKÁ ČÁST	41
8	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	42
9	POPIS PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	43
10	VSTUPNÍ MATERIÁLY A MĚŘENÍ	44
10.1	POPIS ZKUŠEBNÍCH DESTIČEK.....	44
10.2	MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU	45
10.3	POŘÍZENÍ MIKROSKOPICKÝCH SNÍMKŮ	46
10.4	FTIR ANALÝZA	46
10.5	XRF ANALÝZA	48
10.6	MĚŘENÍ KONTAKTNÍHO ÚHLU	48
11	PŘÍPRAVA A LISOVÁNÍ KAUČUKOVÉ SMĚSI.....	51
11.1	KAUČUKOVÁ SMĚS.....	51
11.2	LISOVACÍ FORMA A VULKANIZAČNÍ LIS	51
11.3	LISOVÁNÍ	52
12	VYHODNOCENÍ A DISKUZE NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ	54
12.1	POROVNÁNÍ DRSNOSTÍ POVRCHŮ.....	54
12.2	POROVNÁNÍ VZHLEDU DESTIČEK.....	54
12.3	NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY FTIR ANALÝZY	58
12.4	NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY XRF ANALÝZY	65
12.5	POROVNÁNÍ KONTAKTNÍCH ÚHLŮ	73
	ZÁVĚR	75
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	81
	SEZNAM OBRÁZKŮ	84
	SEZNAM TABULEK.....	87

ÚVOD

Diplomová práce se zabývá vlivem výrobního zatížení na povrch dutiny formy pro lisování elastomerů. Lisování elastomerů ve vulkanizačních formách je velice rozšířená technologie, a proto je snahou proces výroby urychlit a co nejvíce zjednodušit, např. vyvíjením nových povrchových úprav nebo účinných separačních prostředků.

Teoretická část se zabývá problematikou lisovacích forem, jejich životností, výrobou a materiálem, ze kterého se formy vyrábí. S tím jsou úzce spjaty druhy povrchů a povrchových úprav. Dále je v teoretické části popsán význam kontaminace v technologii lisování elastomerů. Poslední dvě kapitoly jsou zaměřeny na opotřebení, opravu, údržbu a konzervaci povrchů dutin lisovacích forem.

V praktické části byl proveden experiment, kde se do lisovací formy vložilo sedm destiček vyrobených z různého materiálu a různými povrchovými úpravami. Tyto destičky simulují povrch lisovací formy. Na destičkách bylo provedeno několik měření v intervalech před lisováním, po 75 a 150 lisovacích cyklech. Měřila se drsnost, kontaktní úhel smáčení kapalinou, byly pořízeny mikroskopické snímky povrchů a byly provedeny analýzy povrchu metodami FTIR a XRF. Výsledky experimentu jsou vyhodnoceny v diskuzi diplomové práce.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 LISOVACÍ FORMY

Lisování je jedním ze základních způsobů výroby gumárenských výrobků (*Obr. 1*). Jedná se o způsob tváření kaučukových směsí ve formě za působení tlaku a vulkanizační teploty po stanovenou dobu. Lisovacím tlakem směs zaplní tvarovou dutinu formy a převezme její tvar. Výsledný tvar se zafixuje vulkanizací, při které dochází k chemickým změnám neboli k síťování. [1]

Výše zmíněné faktory jako tlak, teplota, chemické reakce a kaučukové směsi mají významný vliv na životnost lisovací formy. Další faktory, které významně ovlivňují životnost lisovacích forem, jsou např. počet lisovacích cyklů, materiál forem, konstrukce forem, údržba, čištění, opravy, úpravy, manipulace, skladování a konzervace. Nevhodným výběrem těchto kroků a nevhodným postupem jejich realizace, může dojít k poruše nebo poškození povrchové vrstvy dutiny formy. [1]



Obr. 1. Gumárenské výrobky [2]

1.1 Životnost forem

Životnost lisovacích forem je dána různými vlivy, proto je stanovení hodnoty životnosti formy velmi problematické. Ve snaze zavést do problematiky určitou systémovost v posuzování životnosti by bylo možné použít následující členění.

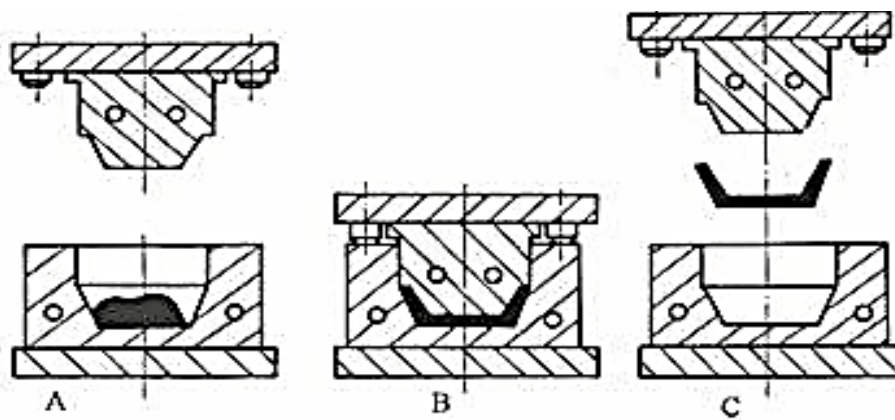
- Ekonomická životnost – je dána postupným odepisováním formy až po dosažení její nulové hodnoty.

- Morální životnost – je dána inovačními cykly výrobků. V případě výroby pneumatik je rozdělena pro různé skupiny výrobků. Pro méně exponované pláště, kde nejsou výrazné inovační tlaky, lze vidět patnácti i víceleté formy. Druhý extrém tvoří moderní radiální pláště pro osobní automobily atraktivních rozměrů, kde z někdejších šestiročních cyklech obměny forem se dnes výrobci posouvají k čtyřroční hranici.
- Technická životnost – je nejpoužívanějším parametrem pro hodnocení životnosti. Vyjadřuje se počtem lisovacích cyklů na jednu formu. Přesné hodnoty se začínají objevovat až v posledních letech, což je dané zavedením počítačového řízení výroby, a tím i možností přesné evidence vytiženosti každé lisovací formy. [3]

1.2 Základní rozdělení lisovacích forem

Lisovací formy mohou být uzavřené, otevřené a polouzavřené. [4]

- Uzavřené (bezpřetokové) (Obr. 2) – vyžadují přesné dávkování množství materiálu. Dutina odpovídá výlisku bez vedlejších prostor (výronků). Výlisky jsou rovnoměrné hustoty a přesnějšího provedení.
- Otevřené (přetokové) – jsou opatřeny přetokem (otevřenou výronkovou drážkou), který umožňuje únik určitého množství zplastizovaného materiálu. Přesné dávkování není třeba, je však větší nebezpečí pórovitých a méně přesných výlisků, vzniká větší odpad a nutnost odstraňování výronků. I přesto je tento typ nástrojů nejpoužívanější.
- Polouzavřené – jsou kompromisem obou předcházejících řešení. Dovolují omezený únik materiálu, menší přetok je tvořen uzavřenou drážkou. Pórovitost i ztráty jsou menší, rozměry a dávkování přesnější. [4]



Obr. 2. Lisování v uzavřené lisovací formě: A – vložení kaučukové směsi do dutiny formy, B – lisování a vulkanizace, C – odformování výlisku [5]

1.3 Postup návrhu formy pro lisování elastomerů

Vstupní informace potřebné pro návrh formy:

- Výlisek:
 - tvar a rozměry (dutiny, tloušťky stěn, zaoblení hran, úkosy, zálisky apod.);
 - sériovost výroby, přesnost, složitost;
 - materiál – vlastnosti, teploty a tlaky pro zpracování, chlazení, přetlačování, druh plniva;
 - výchozí polotovar. [4]
- Stroj:
 - lisovací síla, zdvih;
 - stupeň automatizace pracovního cyklu;
 - rozměry upínacích ploch, připojovací rozměry a způsob pro upínání forem;
 - přídatná zařízení – tahače jader, odformování výlisků, ohřev formy apod. [4]

Postup návrhu:

- Návrh dutiny:
 - rozměry výlisku zvětšené o smrštění podle roztažností materiálu výlisku (i formy) při teplotě vyjímání z formy;
 - tolerance (mezní úchytky rozměrů) minimálně o stupeň přesnější než výlisek.
- Umístění dutin v bloku formy.
- Určení násobnosti formy dle síly lisu, rozměrů výlisku, upínací plochy lisu.
- Zvolení dělicí roviny, umístění drážky pro přebytek materiálu.
- Řešení odvodu vzduchu.
- Způsob odformování výlisků.
- Zvolit tvar, umístění a způsob ovládnutí jader.
- Určit tvar lůžka a jeho polohu pro umístění kovových zálisků v tvárnici.
- Zvolit rozměry základních částí formy podle rozměrů upínacích ploch stroje a plochy dutiny výlisků v dělicí rovině.
- Návrh vyhřívání tvárnice i tvárnice – způsob, výkon odporových tělísek. Rozměry a umístění kanálů pro temperaci pomocí kapaliny.
- Návrh izolačních krytů, uložení přírodních vodičů, připojení rozvodů.

- Zvolení snímače teploty pro regulaci – umístění, rozměry, způsob upevnění.
- Zvolení materiálu a způsobu výroby jednotlivých částí formy. [4]

1.4 Výroba formy

Lisovací (vulkanizační) forma je jedním z nejdůležitějších výrobních zařízení při lisování pláštěů, membrán, duší, protektorovacích běhounů, ale i celé řady dalších výrobků z technické pryže, např. hadic, těsnění atd. [2]

Předpokladem úspěšné výroby forem jsou moderní, bezvadné, a dokonale udržované obráběcí stroje, které jsou obsluhovány kvalifikovanými pracovníky. Základními technologiemi pro výrobu moderních forem jsou v současnosti přesné lití do sádry a frézování. [3]

1.4.1 Výroba litím do sádry

Výrobní postup je následující (postup fy Matador – následující materiály nejsou blíže specifikovány):

- vytvoření 3D modelu dezénu za pomoci CAD programu;
- vygenerování NCL dat (příkazový jazyk NCAR);
- vyfrézování formy s dezénem do speciálního plastu (pozitiv);
- vyrobení otisku do speciální gumy, která kopíruje přesný tvar (negativ);
- vyrobení sádrového otisku (pozitiv);
- odlití hliníkové formy (negativ);
- opracování formy. [3]

Lisovací formy vyrobené litím do sádry se vyznačují velmi dobrou přesností a kvalitou povrchu, a téměř nevyžadují dodatečné úpravy a dokončovací operace. [3]

1.4.2 Výroba frézováním

Výroba forem frézováním je velmi rozšířená díky zdokonalení CAD/CAM technologií, včetně nasazení pěti a víceosých CNC frézek. Frézováním se dosahuje vysoké tvarové a rozměrové přesnosti forem a jejich dezénů, vyžadují však větší podíl dokončovacích operací než při odlévání. [3]

1.4.3 Výroba částí lisovací formy a dokončovací operace

K lití do sádry i k frézování se používá jako doplňková technologie elektroerozivní obrábění (např. pro výrobu jemných drážek pro osazení lamel). [3]

Bočnice a kroužky

Bočnice a kroužky se můžou vyrábět z ocelových odlitků, výkovek nebo plechů. [3]

Segmenty

Segmenty se vyrábí výhradně z ocelových odlitků nebo výkovek. [3]

Dokončovací operace

Popis se provádí na speciální gravírovací frézce současně s příčnými odvzdušňovacími drážkami. Obvodové drážky, které jsou nepřerušované lze vyrobit na karuselech (vertikálních soustruzích). Kolíky pro odvzdušnění s vnitřním průměrem 0,6 mm se vyrábí z kapilárních trubiček. Do formy se vsazují narážením do předvrtaných otvorů. [3]

Nejnáročnější pro výrobu je dezénová část formy. Pro její výrobu existuje vícero výrobních postupů, a to od klasických, až po postupy s podporou nejnovějších technologií. Použití konkrétní výrobní technologie závisí na požadavcích zadavatele a na výrobcu a jeho možnostech. [3]

2 MATERIÁL LISOVACÍCH FOREM

Je velmi důležité, aby byl pro každý návrh formy, zvolen správný materiál, ze kterého bude forma vyrobena. Nesprávná volba materiálu může vést ke snížené životnosti a selhání nástroje. Používají se tedy takové materiály, které splňují provozní požadavky, a jejich vlastnosti jsou následující:

- dobrá obrobiteľnosť;
- snadné tepelné zpracování tam, kde je vyžadováno zpevnění;
- dobrá pevnost a houževnatost;
- odolnost vůči teplotě a opotřebení;
- odolnost proti únavě;
- vysoká tepelná vodivost pro efektivní temperaci;
- dobrá odolnost vůči korozi. [6]

V praxi žádný jednotlivý materiál nebude vykazovat všechny tyto vlastnosti, a proto bylo dosaženo kompromisu v závislosti na typu konstrukce formy. Mezi hlavní řídicí faktory, které je třeba zvážit, patří:

- životnost formy v závislosti na požadovaném množství výrobků, které mají být ve formě vyrobeny;
- materiál lisovaný ve formě (abrazivní, korozivní atd.);
- požadavky na texturu a lesk;
- zda je požadovaná vysoká tepelná vodivost;
- požadavek na použití vysokých lisovacích tlaků. [6]

Nejpoužívanější materiály pro výrobu dutin forem jsou nástrojové oceli, oceli na výrobu odlitků a slitiny hliníku. [6]

2.1 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli se převážně používají k výrobě forem, které jsou následně tepelně zpracovány kalíčovými procesy. Přísady karbidotvorných prvků (Cr, V, W, Mo) tvoří tvrdé, a až do vysokých teplot stálé karbidy. [7]

Nástrojové oceli, vzhledem k velkému množství, členíme podle různých kritérií. Nejčastější je dělení na nástrojové oceli:

- uhlíkové;

- legované pro práci zatepla;
- legované pro práci zastudena;
- rychlořezné. [7]

2.1.1 Materiálová charakteristika

U nástrojových ocelí jsou nejdůležitější technologické a mechanické vlastnosti materiálu jako jsou:

- houževnatost;
- tvrdost (pevnost);
- zakalitelnost;
- prokalitelnost;
- odolnost proti otěru;
- odolnost proti popouštění;
- rozměrová stálost. [7]

Houževnatost a tvrdost – pro výrobu forem je důležité nalezení vhodné kombinace houževnatosti a tvrdosti, které zajistí formě odolnost vůči namáhání materiálu a dlouhou životnost. [7]

Zakalitelnost a prokalitelnost – důležitá schopnost materiálu dosáhnout kalením zvýšení tvrdosti v celé objemu nebo do určité hloubky pod povrchem. Dobře kalitelné oceli jsou oceli nelegované obsahující více než 0,35 % uhlíku. [7]

Odolnost proti oděru – převážně závisí na tvrdosti karbidů, které jsou vytvořeny jednotlivými prvky s uhlíkem. Odolnost proti otěru je vlastnost, kterou se hodnotí odolnost vůči mechanickému opotřebení (poškození). Nejpoužívanější prvky jsou V, Mo, W a Cr. [7]

Odolnost proti popouštění – je důležitá u ocelí, které se používají za tepla, kdy teplota dosahuje vysokých hodnot. Odolnost proti popouštění zajišťuje nekarbidotvorný Co a karbidotvorné prvky Cr, W, Mo a V. [7]

Rozměrová stálost – během tepelného zpracování dochází k různým deformacím, které se projevují změnou tvaru nebo prohýbáním součástí. Deformace je způsobena změnami teplot, strukturními přeměnami nebo rozdílnou teplotou v průřezu tepelně zpracovávané součásti. [7]

2.1.2 Legující prvky

Nejběžnější legující prvky, které se používají při výrobě ocelových forem, jsou Cr, Ni, V, Mo, W, Co.

- Cr – zvyšuje povrchovou odolnost proti opotřebení a korozi.
- Ni – zlepšuje houževnatost při nízkých teplotách, zvyšuje odolnost proti únavě.
- V – zvyšuje pevnost, tvrdost a odolnost proti nárazu.
- W – zvyšuje pevnost, houževnatost a teplotní odolnost. [6]
- Co – snižuje prokalitelnost, zvyšuje odolnost proti popouštění.
- Mo – potlačuje popouštěcí křehkost, zvyšuje prokalitelnost a odolnost proti popouštění. [7]

Přestože jsou tyto legující prvky určeny ke zlepšení určitých vlastností, musí se brát v úvahu, že mohou mít také nepříznivé účinky na jiné vlastnosti. Například pomocí zvýšením obsahu Cr klesá tepelná vodivost legované oceli. [6]

2.2 Ocel na výrobu odlitků

Oceli k odlévání jsou slitiny železa s jinými prvky. Obsah uhlíku bývá většinou nižší než 1,7 %. Používá se k výrobě nejnáročnějších konstrukčních odlitků, které vykazují dobré plastické vlastnosti a značnou pevnost, až 800 MPa. Oceli na odlitky se rozdělují podle stupně legování do čtyř skupin:

- nelegované – obsahují jen nutné množství přísadových prvků a pouze doprovodné prvky;
- nízkolegované – obsah přísadových prvků nepřesahuje hodnotu vyšší než 5 %;
- středně legované – obsah přísadových prvků je v rozmezí 5-10 %;
- vysokolegované – obsah legujících prvků je vyšší než 10 %. [8]

Požadovanou vlastností oceli na odlitky je dobrá svařitelnost, aby bylo možné opravovat povrchové vady odlitých forem. Ocel na odlitky se vyznačuje vysokou smrštitivostí, cca 2 %. Tím se zvyšuje riziko vzniku trhlin a tvoření staženin při tuhnutí. Struktura odlévaných forem vykazuje malou houževnatost a značné vnitřní pnutí. Pevnostní vlastnosti lze zlepšit tepelným zpracováním, konkrétně zušlechťováním nebo difúzním či normalizačním žiháním. [8]

2.3 Slitiny hliníku

Hliníkové slitiny nabízí spoustu možností a výhod v oblasti obrábění tak, aby bylo možné vyhovět dnešním požadavkům, tj. krátkému uvedení výrobku na trh na míru a v malých dávkách. V oblasti konstrukce forem je pozorován rostoucí zájem o materiály, které kombinují vysoké mechanické vlastnosti s možností rychlejšího a snadnějšího obrábění. [9]

Existuje znatelný trend v používání hliníkových slitin pro střední až velkoobjemové výroby ve Velké Británii, USA a stále více v kontinentální Evropě. [6]

Hlavní výhody těchto materiálů jsou:

- nižší cena než u oceli;
- velice dobrá obrobiteľnosť (5-10 x rychlejší než ocel);
- deformace během obrábění jsou ve srovnání s ocelí minimální, díky speciálnímu tepelnému zpracování materiálu během výroby;
- tepelná vodivost je vynikající, mnohem vyšší než u oceli. Podporuje rychlé a účinné odvádění tepla z formy během formování;
- dutiny forem mohou být vyráběny pomocí technik EDM (Electrodischarge Machining – obrábění elektrodou), rychlostí až šestkrát rychlejší než u oceli;
- hmotnost hliníkových slitin je nižší než u oceli;
- můžou být chromovány nebo eloxovány, aby se zvýšila odolnost proti opotřebení a odolnost proti korozi;
- lze je leštit a leptat stejně jako ocel. [6]

Hlavní nevýhody těchto materiálů jsou:

- modul pružnosti je pouze 30 % v porovnání s ocelí;
- nelze dosáhnout stejné úrovně tvrdosti jako u oceli;
- protože je mechanicky slabší než ocel, musí být tloušťka materiálu přibližně o 40 % větší než u oceli;
- nízká odolnost proti opotřebení a otláčeninám. [6]

Al-Mg a Al-Mn

Řadí se do skupiny slitin nízkopevnostních s dobrou odolností proti korozi. Neobsahují měď, tzn. že mají dobrou odolnost proti korozi i bez povrchové ochrany, nelze je však tepelným

zpracováním podstatně vytvrdit. Předností těchto slitin je dobrá svařitelnost, tvářitelnost, dobrá lomová houževnatost a odolnost proti vibračnímu zatížení. [10]

Al-Cu-Mg

Al-Cu-Mg jsou slitiny s vyšší a vysokou pevností, ale s nízkou odolností proti korozi. Značné pevnosti po vytvrzení tepelným zpracováním (RM až 530 MPa) dosahují zejména duraly AlCu4Mg1, AlCu4Mg a AlCu4Mg1Mn. Mechanické vlastnosti slitin Al-Cu závisí na tom, jestli se Cu nachází v tuhém roztoku ve formě sféroidické, případně jako rozptýlené částice, anebo zda na hranicích zrn vytváří síť. [9]

Al-Si

Al-Si je slitina, která se používá pro tvorbu odlitků litím do písku, tlakově nebo do kovových forem. Odlitky nedosahují takových mechanických hodnot jako výrobky tvářené. Pevnost v tahu bývá asi 250 MPa, a značně závisí na způsobu odlévání. [10]

Al-Si-Mg, Al-Si-Cu

Al-Si-Mg, Al-Si-Cu jsou speciální slitiny. Přísady Mg a Cu umožňují tyto slitiny vytvrzovat. [10]

3 DRUHY POVRCHŮ A POVRCHOVÝCH ÚPRAV

Povrchové inženýrství se stává stále důležitější pro řešení problémů opotřebení a prodloužení životnosti strojních dílů, jako jsou formy, které musí odolávat velmi nepříznivým pracovním podmínkám. [11]

Druhy povrchů lze rozlišit podle toho, jakou technologií byly vytvořeny. Různými obráběcími technologiemi materiálu vznikají různé drsnosti povrchů. Drsnost dutin forem a jakost povrchu je zpravidla dána zadavatelem formy. Další druhy povrchů se rozlišují podle toho, zda jsou např. vytvořené tepelným zpracováním, chemicko-tepelným zpracováním nebo opatřeny speciálním povlakem. [4]

Vytvoření povrchové vrstvy nebo povlaku s větší odolností proti opotřebení, může prodloužit životnost lisovací formy. Způsoby povrchových úprav lze dělit následovně:

- Vytvořením povrchové vrstvy s fázovou přeměnou bez změny chemického složení (tepelné procesy).
- Vytvořením povrchové vrstvy se změněným chemickým složením a mikrostrukturou (chemicko-tepelné procesy).
- Vytvořením povlaků s odlišným chemickým složením a mikrostrukturou (chemické a elektrochemické povlaky, návary, nástříky apod.). [11]

3.1 Povrchy získané tepelným zpracováním

Žihání

Rovnoměrným ohřevem se díl zahřeje na žihací teplotu, nechá se setrvat po určitou dobu na této teplotě, a potom se pomalu ochlazuje. U ocelí rozlišujeme žihání následovně:

- rekrystalizační žihání – slouží k odstranění zpevnění způsobené tažením za studena;
- žihání ke snížení pnutí – slouží ke snížení vnitřního pnutí;
- žihání na měkko – slouží k dosažení nejnižší možné tvrdosti struktury;
- normalizační žihání – slouží k odstranění nerovnosti struktury;
- izotermické žihání – stejný účel jako žihání na měkko, kratší žihací časy. [8]

Kalení

Kalením se získávají lepší mechanické a fyzikální vlastnosti ocelí. Ocel se zahřeje na kalící teplotu a následně se prudce ochlazuje ve vodě, v oleji, na vzduchu, v roztavené solné lázni

nebo v roztavené kovové lázni. Snahou je, aby bylo dosaženo, co možno nejvyšší tvrdosti dílu. Zároveň se tímto ocel stává křehčí a ztrácí houževnatost. V praxi se používá martenzitické kalení a bainitické kalení. [8]

Popouštění

Popouštěním je snaha odstranit vnitřní pnutí, které vzniklo po předchozím kalení. Materiál se pomalu ohřeje na popouštěcí teplotu. Nedochází k fázovým a strukturním změnám, protože je teplota nižší než teplota bodu A_{c1} . [8]

Vytvrzování

Vytvrzování se používá převážně pro zvýšení tvrdosti a pevnosti u slitin neželezných kovů, ale také u oceli. Vytvrzování předchází rozpouštění, jímž se získá nestabilní přesycený tuhý roztok, který se rozpadá uvnitř zrn za normální teploty nebo zvýšené teploty. [12]

3.2 Povrchy získané chemicko-tepelným zpracováním

Jsou to procesy, kterými se zabezpečí změna chemického složení povrchu kovů a slitin, vytvořením jiného typu mikrostruktury povrchové vrstvy, čímž se získají výhodnější mechanické, fyzikální nebo chemické vlastnosti lisovacích forem. Změny chemického složení povrchu dílů forem se dosahuje chemickým působením okolního prostředí při zvýšené nebo vysoké teplotě. Povrchové vrstvy dílů forem lze modifikovat sycením povrchu uhlíkem (cementace), dusíkem (nitridace), bórem (bórování), chrómem (difúzní chromování), vanadem (vanadování), kombinací prvků např. uhlíkem a dusíkem (karbonitridace, nitrocementace), případně bórem v kombinaci s dalšími prvky (Al, V, Nb, Cr, Ti) apod. [11] [12]

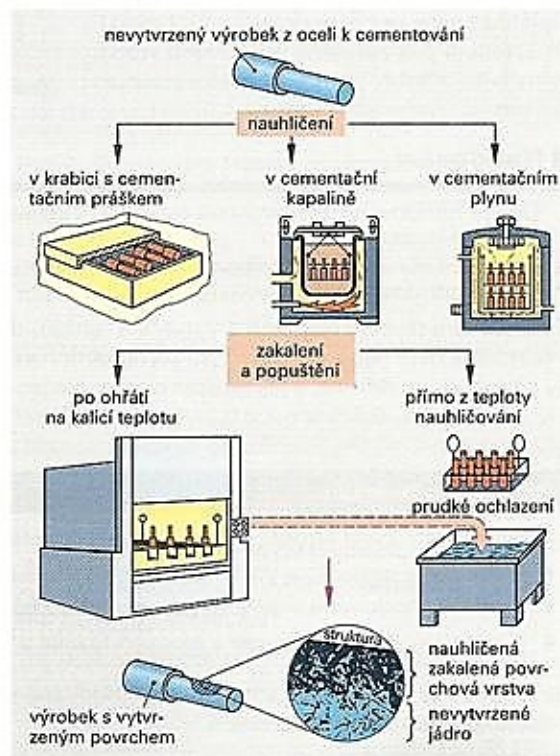
Cílem chemicko-tepelného zpracování materiálů je nejběžněji zvýšení tvrdosti povrchu a zlepšení odolnosti forem proti opotřebení. V jádře formy je jiný typ mikrostruktury v porovnání s povrchem, většinou charakterizovaný nižší tvrdostí a vyšší houževnatostí, čímž se zvýší odolnost forem proti křehkému lomu a únavovému porušení. V některých specifických případech se chemicko-tepelným zpracováním dosáhnou i výborné korozivzdorné nebo žáruvzdorné vlastnosti materiálů. [12]

3.2.1 Cementace

Cementovaný povrch získá vysokou tvrdost, velmi dobře odolává erozivnímu opotřebení a únavovému porušení. Cementace probíhá v prostředích, které mají vysoký sytící potenciál

uhlíku při teplotách nad A_{c3} , tj. v oblasti austenitu. Cementační prostředí obsahuje vysoký obsah CO a nízký obsah CO_2 . Difúzní činitel výrazně roste s teplotou, a proto je snahou používat vysoké cementační teploty. Vysoké cementační teploty mohou však vést k přesycení povrchové vrstvy oceli uhlíkem a k zhrubnutí zrna, což se projeví křehkostí cementované vrstvy. Teploty cementace se tedy volí v rozmezí 850-950 °C a tloušťky cementační vrstvy do 2 mm. Díly formy je nutno po cementaci zakalit a popustit na nízkou teplotu (do 150-180 °C). Výsledná tvrdost povrch je 800-900 HV. [11] [12]

Nauhličování povrchu dílů forem je možné realizovat v tuhém prostředí, v plynném prostředí, v roztavených solích, v plazmě a při sníženém tlaku ve vakuu. [12]



Obr. 3. Postup při cementaci [13]

3.2.2 Nitridace

Nitridace je difúzní sycení povrchu atomárním dusíkem. Může probíhat v solných lázních nebo v plynném prostředí (směs vodíku a dusíku nebo disociovaný čpavek) při teplotách 450-600 °C. Tloušťka nitridační vrstvy je do 0,65 mm, tedy menší než u cementace, i přes podstatně delší dobu přechodu. Tvrdosti nitridačních vrstev jsou vyšší než u cementovaných povrchů (až 1200 HV), ale jejich poměrná odolnost proti opotřebení je poněkud nižší. Vhodné je nitridovat nízkolegované i vysokolegované konstrukční a nástrojové oceli se

středním obsahem uhlíku, pokud obsahují prvky tvořící stabilní a tvrdé nitridy (Mo, V, Al). [11]

Procesem nitridace je možné dosáhnout vysoké povrchové tvrdosti, vysoké odolnosti proti mechanickému opotřebení (adhezní, abrazivní, erozivní, kontaktní únava), omezení negativních vrubových vlivů, vysoké meze únavy (u oceli), zvýšené odolnost proti kavitaci a korozi, vysoké žáruvzdornosti. [12]

3.2.3 Nitrocementace

Nitrocementace je proces chemicko-tepelného zpracování, při kterém se povrch oceli obohacuje současně uhlíkem i dusíkem při teplotách 840-860 °C. Nasycovací prostředí je složeno ze směsi uhlovodíků a dusíku získaného štěpením amoniaku. Po vytvoření difúzní povrchové vrstvy následuje kalení dílu formy. Nitrocementované vrstvy obvykle dosahují hloubky do 0,4 mm za 2-3 hodiny. Popouštění se uskutečňuje při nízkých teplotách do 180 °C a vydrží na popouštěcí teplotě 1 hodinu. Výsledná povrchová tvrdost je pak 700 HV. [12]

3.2.4 Karbonitridace

Karbonitridace je úprava procesu nitridace. Cílem procesu je vytvořit souvislou povrchovou vrstvu karbonitridů ϵ -fáze o tloušťce 5-15 μm a tvrdostí až 1000 HV. Povrch ocelí se obohacuje uhlíkem a dusíkem při teplotách přibližně 570 °C v atmosféře vytvořené ze směsi amoniaku s přídavkem uhlovodíků. Proces trvá přibližně 3 hodiny. Po vytvoření vrstvy následuje kalení dílu formy. [12]

Karbonitridované vrstvy nejsou vhodné pro zatěžování velkými měrnými tlaky, protože může dojít k deformaci jádra a přelomu vrstvy, která je velmi tenká. Použití je vhodné pro díly forem, které jsou zatěžovány intenzivním otěrem. [12]

3.3 Speciální povrchové vrstvy

Z důvodu zvýšení trvanlivosti a provozní bezpečnosti různých součástí, je snahou vytvářet různé povrchové vrstvy, resp. povlaky. K vytvoření povlaku se uplatňují úplně jiné principy tvorby v porovnání s klasickými procesy chemicko-tepelného zpracování materiálů. Povrchové vrstvy se tvoří v širokém intervalu dosahovaných tlouštěk. Povlaky se aplikují z různých

ných důvodů, např. zvýšení ořezuvzdornosti, odolnosti proti korozi, vytvoření tepelné bariéry, zvýšení tvrdosti apod. Všeobecně lze procesy pro tvorbu speciálních povrchových vrstev materiálů dělit do těchto základních skupin:

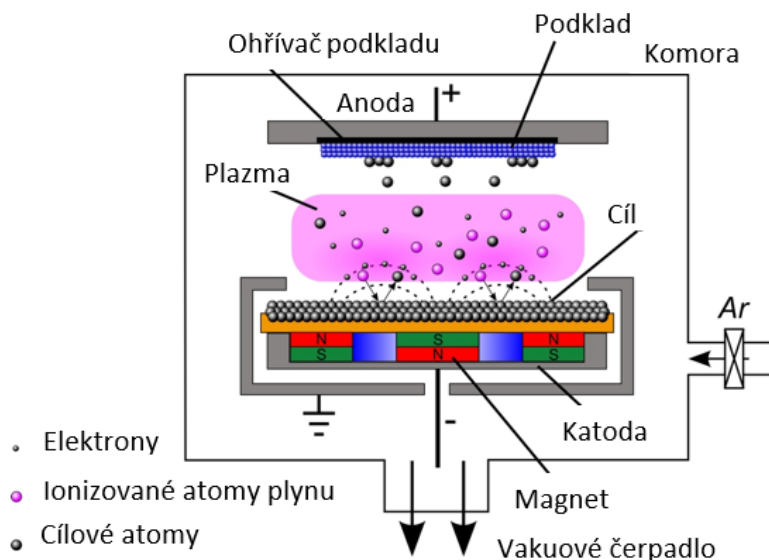
- fyzikální způsoby tvorby povlaků ve vakuu (PVD);
- chemické způsoby tvorby povlaků (CVD);
- elektrochemicky vyloučené povlaky;
- chemicky vyloučené povlaky;
- tepelné nástřiky. [12]

3.3.1 PVD povlaky

U metody PVD (Physical Vapour Deposition – fyzikální napařování) jsou povlaky vytvářeny za sníženého tlaku kondenzací částic, které jsou uvolňovány ze zdroje částic fyzikálními metodami. Uvolněné částice jsou ionizovány, reagují s atmosférou komory, kterou tvoří inertní a reaktivní plyn (např. Ar a N₂), a záporným předpětím jsou urychlovány k povrchu substrátu, kde se usazují ve formě tenké vrstvy homogenního povlaku. [14]

Povlak je nejčastěji vytvářen:

- napařováním (evaporation) – přímé, reaktivní, aktivované reaktivní, s asistencí iontového paprsku;
- napařováním (sputtering) – doutnavý výboj, iontový paprsek;
- iontovou implantací (ion-plating) (Obr. 4) – doutnavý výboj, iontový paprsek. [14]



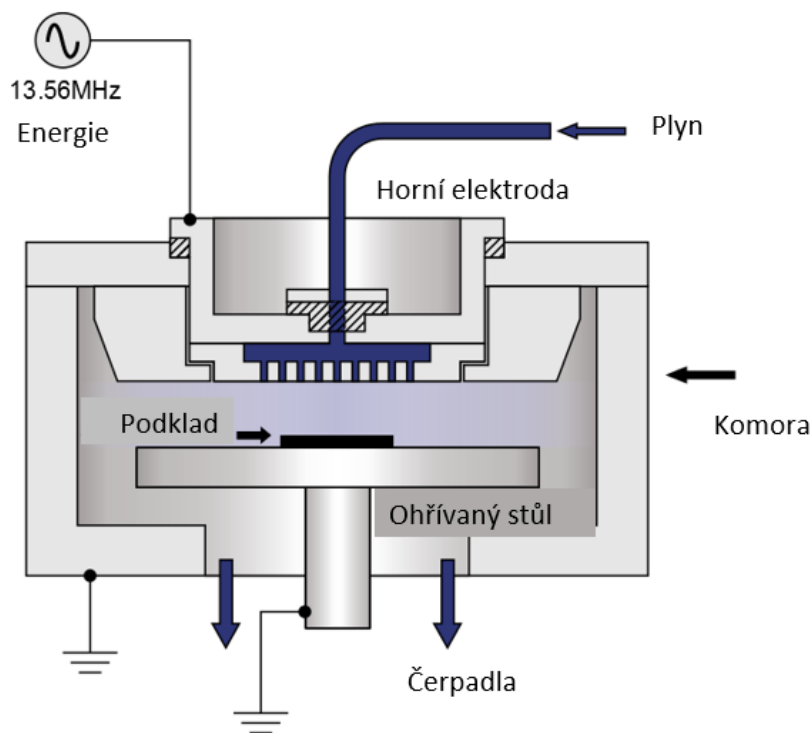
Obr. 4. Princip nanášení PVD vrstvy iontovou implantací [15]

3.3.2 CVD povlaky

Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition) (*Obr. 5*) je chemický proces povlakování, který je založen na reakci plynných chemických sloučenin v plazmě, která se tvoří v bezprostřední blízkosti povrchu podkladu, a následném uložení produktů heterogenní reakce na tomto povrchu. [14]

CVD metoda může být realizována ve čtyřech variantách:

- tepelně indukovaná;
- plazmaticky aktivována;
- elektronově indukována (paprsek elektronů);
- fotonově indukována (např. laserem). [14]

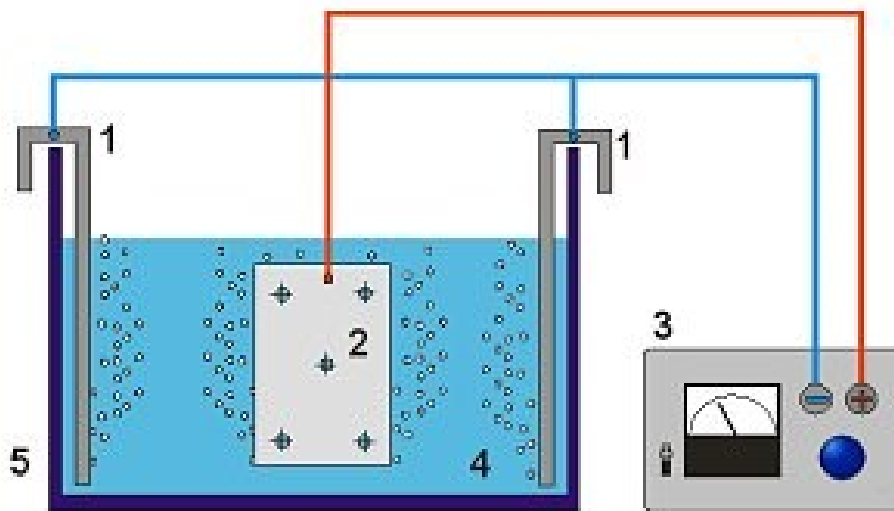


Obr. 5. Princip nanášení CVD vrstvy [16]

3.3.3 Eloxování

Eloxování (*Obr. 6*) je chemické konverzní povlakování, kde jsou ochranné povlaky vytvořené chemickou reakcí s hliníkovým povrchem. Oxidové povlaky se na hliníku vyrábějí při pokojové teplotě anodickou oxidací hliníku ve vhodném elektrolytu (např. zředěná kyselina sírová) při proudové hustotě 100 nebo více A/m². Výsledné povlakování může mít tloušťku 0,0025-0,025 mm. Takto vytvořený oxid musí být hydratován, aby se zlepšily jeho ochranné

vlastnosti, vystavením eloxovaných předmětů páře nebo horké vodě po dobu několika minut, což se nazývá utěšňování. [17]



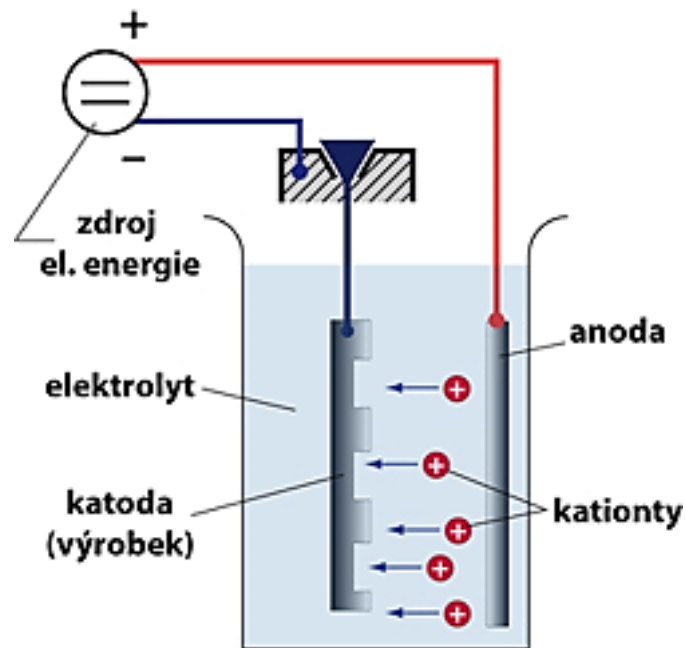
Obr. 6. Princip eloxování hliníku [18]

1. Katoda, 2. Anoda (eloxovaný předmět), 3. Proudový regulační zdroj, 4. Eloxovací lázeň, 5. Kontejner s lázní

3.3.4 Elektrochemické a chemické pokovování

Podstatou chemického pokovování je vylučování ušlechtlejšího kovu na povrchu kovu, který je méně ušlechtilý vlivem rozdílu potenciálů v roztoku, nebo vyredukováním kovu z jeho soli příslušným redukčním činidlem. Vylučovat lze chemicky povlaky téměř všech kovů, proces se nejčastěji používá pro tvorbu vrstev mědi, zinku, niklu, cínu, stříbra, mosazi atd. [17]

U elektrochemického pokovování (Obr. 7) je nejrozšířenější metoda ochrany povrchů kovových materiálů elektrolytický (galvanizační) proces. Při vhodných pracovních podmínkách a vhodném složení lázně lze elektrolyticky vyloučit z roztoku prakticky všechny kovy. Obvykle se vylučují kovy jako zinek, měď, kadmium, nikl, cín, chrom, mosaz, stříbro, olovo, rhodium a zlato. [17]



Obr. 7. Princip elektrochemického (galvanického) pokovování [19]

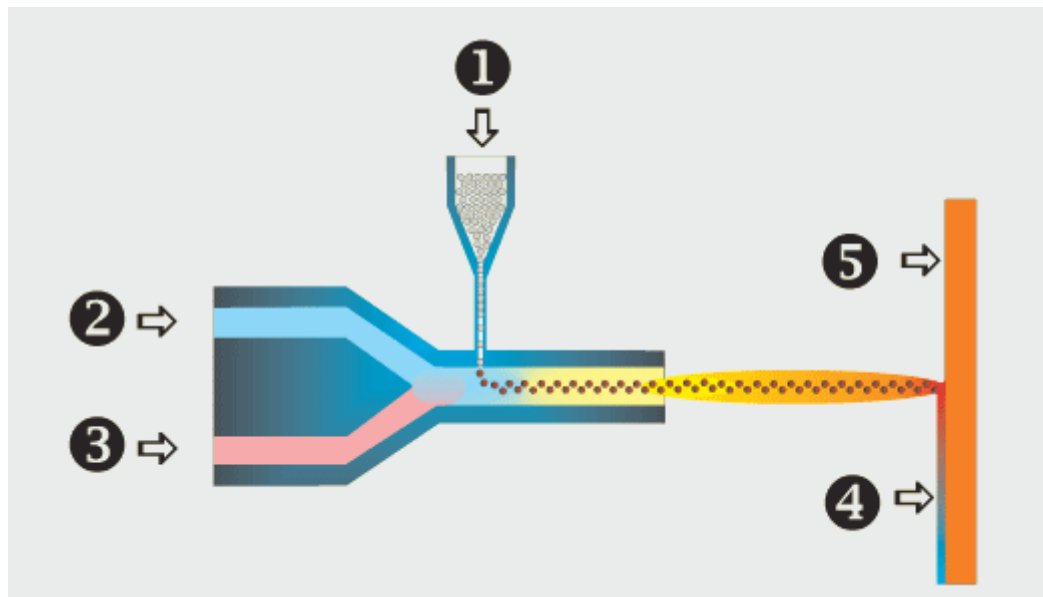
3.3.5 Termické nástřiky

Termické nástřiky se využívají ve strojírenském průmyslu pro zvýšení ošetrivostnosti a korozivzdornosti kovových materiálů. Nástřiky se mohou vytvářet z různých materiálů na bázi železa, neželezných kovů, keramických materiálů a cementů. [12]

Během procesu tvorby termického nástřiku je prášek (materiál nástřiku) ohřátý na částečně roztavený stav a nanášený vysokou rychlostí na povrch upravovaného materiálu. Hloubka nanášené vrstvy dosahuje 0,05-1 mm. Při dopadu na podkladový materiál dochází k deformaci částic, které postupně velmi rychle tuhnou a ochlazují se, přičemž vytvářejí heterogenní strukturu. Každá částice je vystavena termo-mechanickému působení. [12]

Pro vytvoření termického nástřiku se využívá:

- plamene (Obr. 8);
- elektrického oblouku;
- plazmy;
- výbuchu;
- vysokootanových palivových procesů. [12]



Obr. 8. Nástřik plamenem [20]

1. Přídavný materiál – prášek, 2. Přívod kyslíku, 3. Přívod acetylénu, 4. Nástřik,
5. Podklad

4 KONTAMINACE

Kontaminanty na površích mají zásadní význam v technologii lisování elastomerů. Hromadění usazenin na povrchu formy, někdy i po poměrně malém počtu lisovacích cyklů, zásadně omezuje rychlost výroby a snižuje jakost výsledného produktu. Toto znečištění formy je často spojováno s obtížemi při odformování z vulkanizovaného výlisku. Může to vést k vážným problémům s odformováním, nebo alespoň k zašpinění na povrchu formy. [21]

Obtíže s odformováním výlisků jsou obecně snižovány na přijatelnou úroveň, použitím prostředků pro jednodušší odformování výlisku. První způsob je nanášení silikonů, které tvoří uvolňovací vrstvu, která se během několika lisovacích cyklů odstraní, a je potřeba vrstvu znovu nanést. Další způsob je nanesení polopermanentních činidel, které se zpravidla spékají na povrchu formy. Tyto činidla způsobují snadné odformování po mnoho lisovacích cyklů, ale nakonec se opotřebují. [21]

Ulpívání zbytků a špatná odformovatelnost je úzce spojena s adhezí, povrchovou aktivitou a nekompatibilitou polymer-aditiva. Kontaminace je nežádoucí jev, který způsobuje prostoje během procesu. Znečištěné formy je nutno pravidelně čistit i s rizikem možného poškození formy. [21]



Obr. 9. Vada výrobku způsobena kontaminovanou formou [22]

4.1 Procesy a podmínky při kontaminaci lisovacích forem

Vliv na kontaminaci povrchu dutin forem mají především následující faktory:

- technologie, kterou je forma vyrobena;
- materiál, povrch, povrchová úprava, tepelné zpracování a geometrie dutiny formy;
- kaučuková směs a její složení;
- procesní podmínky zpracování kaučukové směsi, počet lisovacích cyklů. [23]

Technologie výroby formy, resp. její dutiny, závisí na vícero faktorech, např. požadovaná kvalita povrchu dutiny, s tím souvisí finální cena formy. S ohledem na drsnost povrchu dutiny formy a cenu výroby jsou nejpoužívanějšími technologiemi obrábění třískové, broušení, leštění, nekonvenční metody obrábění nebo 3D tisk povrchů z kovových materiálů. Použitá technologie výroby ovlivňuje výslednou drsnost povrchu. Čím vyšší je drsnost povrchu dutiny formy, tím se zvyšuje adheze lisovaného materiálu k povrchu dutiny, tzn. větší množství ulpělého kontaminantu. [24] [25] [26]

Vliv na kontaminaci má také materiál, ze kterého je lisovací forma vyrobena. Nejčastěji to jsou nástrojové oceli, oceli na výrobu odlitků a slitiny hliníku, viz. kapitola 2. Materiál formy musí být odolný vůči vysokým tlakům, teplotám a chemickému působení, které vzniká při vulkanizaci kaučukové směsi v dutině formy. Odolnost lze zvýšit tepelnými nebo chemicko-tepelnými úpravami, nebo opatřením povrchu vhodnou povrchovou vrstvou, viz. kapitola 3. Vhodnou povrchovou úpravou lze také zlepšit separační vlastnosti povrchu formy a usnadnit tak odformování výrobku. Geometrie dutiny formy významně ovlivňuje míru kontaminace ve formě. Nejvíce kontaminovaná místa jsou různé ostré úhly, drážky a vybrání nebo místa soutoku proudů kaučukové směsi. [21]

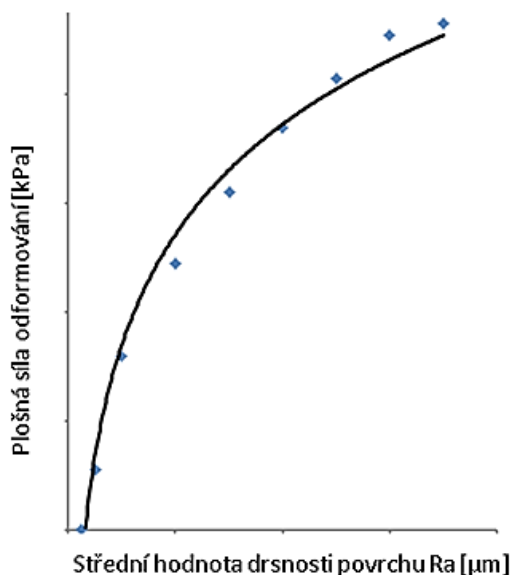
Kaučuková směs je obecně složena z kaučuku, plnicího systému, zpracovatelského systému, vulkanizačního systému a ochranného systému. Při vulkanizaci vznikají chemické produkty, které vytváří problémy při procesu zpracování kaučukové směsi, dochází např. ke kontaminaci dutin lisovacích forem. [23] [27]

Kontaminaci ovlivňují také procesní podmínky během zpracování kaučukové směsi. Nutné je sledovat tepelnou bilanci soustavy stroje, lisovací formy a kaučukové směsi, a udržovat konstantní teplotu v dutině formy. Při nedodržení správných vulkanizačních podmínek jako jsou teplota, tlak a vulkanizační doba, může dojít k degradaci výrobku nebo k nedostatečnému zasítování výrobku, a tím i k vyšší míře kontaminace dutiny lisovací formy. [23]

4.2 Tvorba kontaminantů

K tvorbě kontaminantů obecně dochází na povrchu dutin a funkčních ploch formy. Vznikají převážně na oxidační vrstvě, kde se může vyskytovat vrstva absorbovaných plynů a vodních par. Za vznik kontaminantů především odpovídá vznik sloučenin síry převážně s kyslíkem nebo zinkem a jiných organických sloučenin, které závisí na skladbě kaučukové směsi. [28]

S větší drsností povrchu lisovacích forem se zvyšuje i míra kontaminace, a tím narůstá síla potřebná k odformování vylisku (Obr. 10). Čištění povrchů dutin forem většinou způsobuje změnu povrchové drsnosti, čímž dochází ke zvýšení kontaminace. Rychlost kontaminace povrchu dutin lisovacích forem závisí především na vulkanizační teplotě. [21]



Obr. 10. Nárůst síly potřebné k odformování v závislosti na střední hodnotě drsnosti povrchu formy [29]

Další problém, který ovlivňuje míru kontaminace povrchu lisovacích forem je počet lisovacích cyklů. Míra kontaminace se zvyšuje, se zvyšujícím se počtem lisovacích cyklů. [30]

4.3 Čištění povrchů kontaminovaných forem

Za znečištění formy se považuje ulpělá vrstva na stěně formy, která vzniká během vulkanizace, a která se postupně zvětšuje s každým následným výrobním cyklem. Snižuje estetickou hodnotu, degraduje fyzikální vlastnosti formovaného výrobku a způsobuje problémy s odformováním. V gumárenském průmyslu vyžaduje znečištění formy pravidelné čištění. To

stojí více času a peněz, a je to tedy problém, u kterého se řešení netrpělivě očekává. Formy jsou drahé, a pokud nejsou řádně udržovány, jsou náchylné k poškození a korozi. [6] [24]

4.3.1 Mechanické metody čištění

K odstranění mechanických nečistot se používají různé druhy kartáčů (např. mosazné), leštící prostředky, diamantové pasty, ocelové hadříky, utěrky atd. Jde o ruční práci, která není příliš efektivní a je obvykle zdoluhavá. V některých případech je tato metoda nepoužitelná z důvodu problematické přístupnosti. Mechanickým čištěním se povrch formy opotřebovává a hrozí nebezpečí poškození povrchu lisovací formy. [31]

Pískování

Pískováním lze odstranit nečistoty, které pevně ulpívají na povrchu, i nečistoty uchycené v mírně pórovitém povrchu. Jako médium se používá abrazivo SiC nebo Al₂O₃. [14]

4.3.2 Chemické metody čištění

Odmašťování a rozpouštědlové odstraňování

Odmašťování slouží pro odstranění konzervačních a jiných mastných látek z povrchů forem pomocí průmyslových odmašťovačů na bázi ropných derivátů. Veškerá mastnota a usazeniny na povrchu dutiny lisovacích forem jsou nežádoucí a nedovolují kvalitní sejmutí povrchu formy, a proto je nutné je odstranit. [14] [31]

Mokrý čištění

Mokrý čištění se provádí pomocí kombinovaných metod s využitím oplachů, ultrazvuku, elektrochemických metod, vakuového sušení nebo odstředění, vyhřátí či odpaření těkavých kapalin. Pracovním médiem jsou většinou čisticí prostředky v kapalně formě. Čištění probíhá v alkalickém prostředí (roztoky obsahující KOH či NaOH), a pro zvýšení odmašťovacího účinku mohou roztoky obsahovat malá množství tenzidů, nebo kyseliny citronové či fosforečné. [14]

Po čištění následují oplachy, které musí nejen odstranit zbytky čisticích lázní, ale i chránit očištěný povrch proti korozi prostřednictvím pasivátorů. Pro zajištění kvalitního povrchu je nutné smáčené plochy rychle osušit. K tomu se používají různé metody založené na odstředění zbytkové kapaliny, nebo odpaření na vzduchu či ve vakuu. [14]

4.3.3 Ostatní metody čištění

Čištění povrchů suchým ledem

Tryskání povrchů lisovacích forem suchým ledem je tryskací proces působící třemi účinky. Prvním účinkem procesu se dodává kinetická energie peletám suchého ledu (kysličník uhličitý). Zrychlení pelet se uskutečňuje stlačeným vzduchem až na rychlost zvuku, a nárazem na povrch dutiny formy se nečistoty rozrušují a odstraňují. Druhým působícím účinkem je nízká teplota pelet ($-79\text{ }^{\circ}\text{C}$), která způsobuje zkřehnutí nánosu nečistot, následné popraskání nečistot a jejich uvolnění z čištěného povrchu. Třetím účinkem proniká suchý led do nečistoty a okamžitě sublimuje – přeměňuje se na plynnou fázi – a to má za následek až 700x zvětšení jeho objemu a vytvoření expanzivního objemu, který nečistoty z povrchu dutiny strhne. [31]

Laserové čištění povrchů

Laserové čištění povrchů využívá laserové sublimace nežádoucích usazenin na čištěném povrchu dutiny lisovací formy. Kromě zdroje energie potřebné pro provoz laseru, tato technologie nepotřebuje žádné další prostředky, jako například media. Proces laserového čištění do čištěného povrchu vysílá tisíce ultrakrátkých laserových pulzů za sekundu, které jsou zaměřovány do lineárního paprsku na velikost ústí čistící pistole. Většina laserové energie se absorbuje povrchovou vrstvou a následně je přeměněna na energii tepelnou, která zaručí odpaření nečistot, a zároveň nedojde k porušení materiálu lisovací formy. [31]



Obr. 11. Lisovací forma částečně znečištěna, částečně vyčištěna laserem [32]

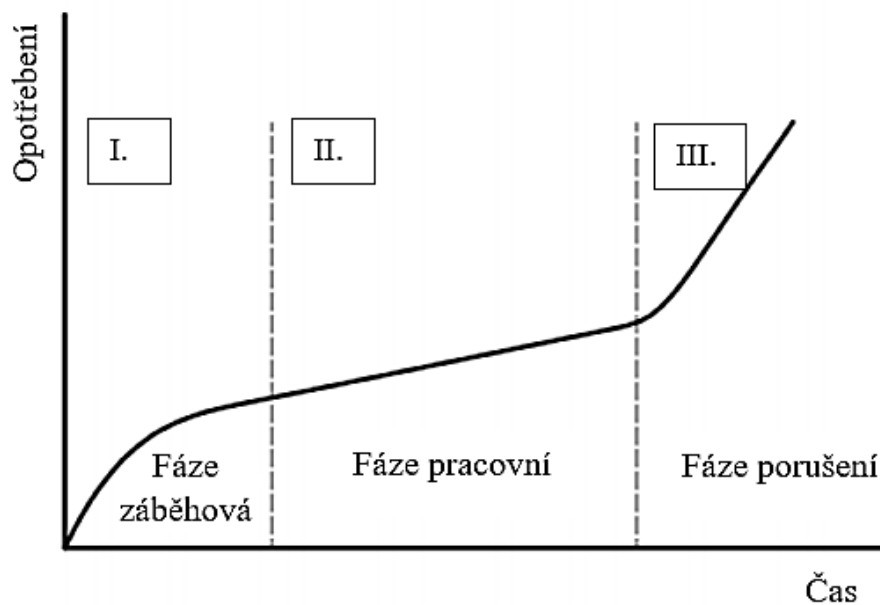
Ultrazvukové čištění povrchů

Ultrazvukové čištění je prováděno v čistícím médiu (na bázi organických rozpouštědel nebo na bázi vody) kde se vytváří miliony mikroskopických bublinek, které se stahují do sebe (implodují) a tím uvolněná energie strhává nečistoty, z vnějších i vnitřních povrchů lisovacích forem, bez jakéhokoliv mechanického poškození. Ultrazvukový měnič, který je napájený z generátoru transformuje vysokofrekvenční energii na akusticko-mechanické kmity. [31]

5 OPOTŘEBENÍ A OPRAVA POVRCHŮ DUTIN FOREM

K opotřebení lisovací formy a povrchu dutiny formy dochází různými způsoby, jak při provozu, tak i během údržby a manipulace s formou. Opotřebení se projevuje úbytkem materiálu. Mechanismů opotřebení je celá řada – abraze, adheze, oxidace, difúze, křehký lom, plastické deformace, tepelná únava, mechanická únava, chemické opotřebení, termoelektrické opotřebení, rozpouštění, delaminační opotřebení (odlupování povrchových vrstev). [33]

Opakujícími se lisovacími cykly, se forma postupně opotřebovává (Obr. 12). V první fázi (záběhová fáze) je opotřebení největší, ale postupně se snižuje. Druhá fáze (pracovní fáze) vykazuje opotřebení nejmenší intenzity. Ve třetí fázi opotřebení prudce stoupá, dokud se forma stane nepoužitelná, tzn., že by způsobovala nežádoucí otisky na výlisku, až v krajním případě funkční vadu. [33]



Obr. 12. Závislost opotřebení lisovací formy na čase [33]

5.1 Hlavní mechanismy opotřebení při výrobním zatížení

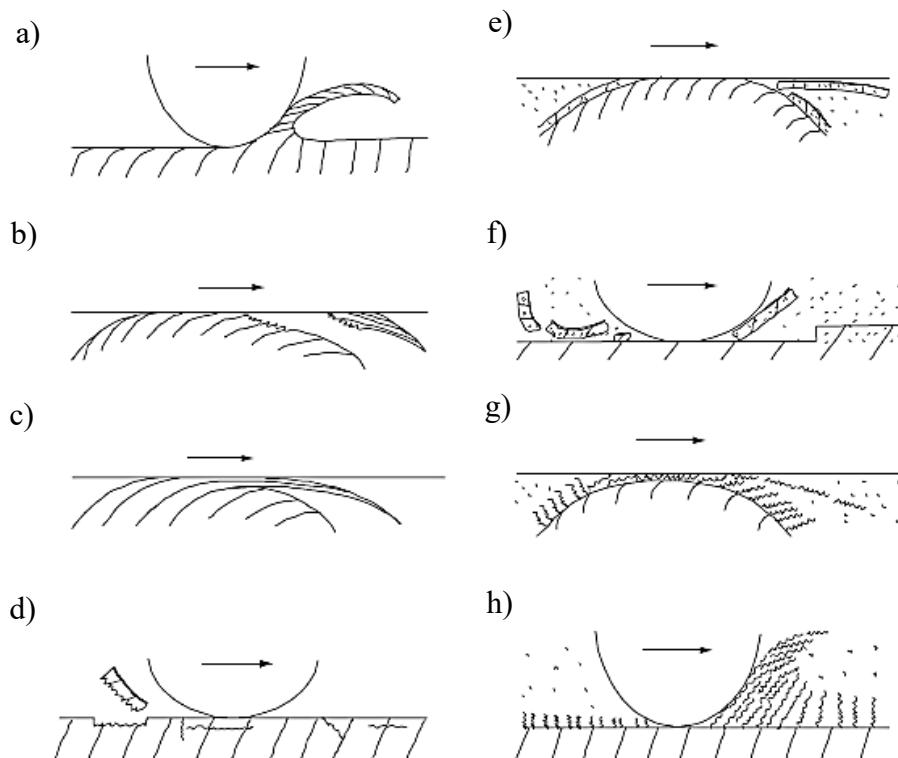
Výrobní zatížení se ve svém důsledku projevuje vznikem opotřebení. Mechanismy opotřebení lze rozdělit do třech základních skupin:

- mechanické opotřebení;
- chemické opotřebení;
- tepelné opotřebení. [33]

Mechanické opotřebení popisuje opotřebení způsobené plastickou deformací a křehkým lomem. Deformační proces má zásadní vliv na opotřebení houževnatých materiálů, a proces křehkého lomu má hlavní roli v opotřebení křehkých materiálů. Např. může při použití příliš vysokého lisovacího tlaku dojít k plastické deformaci houževnatého jádra lisovací formy a následnému popraskání vytvrzeného nebo povlakovaného povrchu. Chemické opotřebení popisuje rychlost růstu filmu chemické reakce na povrchu dutiny formy. Rychlost růstu filmu se mechanicky zrychluje třením. Do tepelného opotřebení je zahrnuto difúzní opotřebení, protože je patrné pouze při vysokých teplotách. Fraktury křehkých materiálů vzniklé po tepelných šocích mohou být také zahrnuty do tepelného opotřebení. [33]

S rostoucím počtem lisovacích cyklů se opotřebení zvětšuje a dochází ke kontaminaci lisovací formy. Následným čištěním kontaminantů opět dochází k dalšímu opotřebení lisovací formy, především ke změně drsnosti povrchu, počet lisovacích cyklů se snižuje.

Na obrázku (*Obr. 13*) jsou schematicky znázorněné obecné mechanismy opotřebení, které mohou vznikat vlivem výrobního zatížení kde a) je abrazivní opotřebení, b) je adhezivní opotřebení (stříhem), c) je opotřebení tokem akumulované plastické hmoty, d) je únavové opotřebení a e) – h) je korozivní opotřebení. [33]



Obr. 13. Schematicky znázorněné obecné mechanismy opotřebení [33]

5.2 Oprava povrchů forem

Během lisovacího cyklu mohou formy prasknout nebo se mohou některé její části poškodit, protože se během fáze lisování v dutině vytváří velmi velké síly. Další faktor, který může zapříčinit poškození, např. povrchové vrstvy, je teplota. Většina materiálu se roztahuje, když je vystavena zvýšení teploty, a se snížením teploty se zase smrští. Materiál, ze kterého je forma vyrobena, může vykazovat větší roztažnost než povrchová vrstva, kterou je forma opatřena, a tak může dojít k poškození povrchové vrstvy popraskáním. K poškození formy může také dojít při nevhodné manipulaci a skladování. Poškození forem se předchází správným návrhem a konstrukcí. Pakliže k poškození formy nebo jejího povrchu dojde, pak se uvažuje o vhodné opravě. [6]

Odstraňování starých povlaků

Odstraňování starých nebo poškozených povlaků je prováděno chemickou a elektrochemickou metodou, a využívá silných oxidačních činidel. Nejčastěji se používá roztok peroxidu vodíku, vody a tetranatriumdifosfátu pro odstraňování povlaků z povrchu forem. Směs roztoku se ohřívá na teplotu přibližně 70 °C. Bezprostředně po odstranění starého povlaku je nutné povrch formy opláchnout a krátkodobě pasivovat pomocí vhodného činidla. Po odstranění povlaků následuje nanesení povlaku nového, popř. jiná technologie povrchových úprav. [14]

Nanášení kovu na poškozená místa

Na poškozená místa v lisovací formě se navařováním nanáší kov a vzniklý návar se následně opravuje. K opravám se používají takové technologie navařování, které v co nejmenší míře tepelně ovlivní okolí návaru: navařování laserové, navařování mikroplazmové, vibračně pulzní navařování, impulzní svařování za studena, mikropulzní navařování elektrickým obloukem, navařování obalovanou elektrodou a typu WIG, MIG, MAG apod. Složení nanášeného kovu musí odpovídat složení a tepelnému zpracování základního, opravovaného materiálu formy. [31]

Vložkování

Výroba vložek se provádí klasickými metodami třískového obrábění s následujícím tepelným zpracováním a dolícováním do lisovací formy, nebo je možnost použít technologie DMLS – Direct Metal Laser Sintering. Je to aditivní metoda, kde je kovový prášek nanášen

laserem na povrch. Materiál pro opravu se buď nanáší přímo na poškozenou formu nebo se vyrobí nová část, která se do formy vloží. [31]

6 ÚDRŽBA A KONZERVACE

Údržba lisovacích forem je jednou z nejvýznamnějších složek výroby pryžových výrobků. Formy jsou jedinečná a relativně drahá zařízení, o které je nutné dostatečně pečovat, aby bezvadně sloužili po dobu své životnosti. Typy údržby lze rozdělit do čtyř kategorií:

- oprava po poruše – nejzákladnější způsob údržby. Reakce na vzniklou situaci, která nebyla předpovídána;
- plánovaná preventivní údržba – forma je kontrolována v rámci předem plánované preventivní prohlídky s cílem odhalit problémy;
- prediktivní údržba – forma je sledována a hodnocena pro zjištění a následující odstranění počínajícího problému dříve, než dojde ke zhoršení fyzického stavu nebo k jejímu nevratnému poškození;
- totálně produktivní údržba – podstatou je zapojení všech pracovníků pracoviště do aktivit, které směřují k minimalizaci prostojů a k minimalizaci výroby vadných výrobků. [31]

Konzervace se provádí za účelem zajištění ochrany lisovacích forem proti korozi. Riziko koroze je nejvyšší převážně ve fázi přepravy, skladování a manipulace, tedy v období, než se forma dostane do provozu. [34]

Konzervační prostředky se nanášejí na vyčištěné a suché plochy forem. Obvykle se používají konzervační prostředky ve spreji, což umožňuje velmi snadno pokrýt celou chráněnou plochu suchým a pevným filmem. Některé prostředky naneseného konzervačního filmu umožňují i vizuální kontrolu, protože jsou probarvené. Výhodné je používat antikorozi ochranné prostředky takové, které se po montáži lisovací formy na lisovací stroj nemusí odstraňovat. Při lisování se tyto prostředky chovají jako separátory a po několika lisovacích cyklech se sami z povrchu dutin formy odstraní. [31]

Požadavky na konzervaci lisovacích forem jsou:

- spolehlivost při krátkodobé i dlouhodobé konzervaci;
- vzlínavost do spár a dutin o malých rozměrech;
- dobrá přilnavost i na svislých plochách;
- odpuzování vody;
- antikorozi ochrana;
- odolnost při namáhání – manipulace s formou;

- vytváření rovnoměrné slabé vrstvy;
- odolnost teplotám lisovací formy. [31]

Konzervační oleje a roztoky

Konzervační oleje jsou určeny především pro krátkodobou a střednědobou ochranu lisovacích forem v řádu měsíců, v kombinaci s vhodným balením je lze použít i pro ochranu dlouhodobou. Konzervační účinek těchto produktů je dán jednak povlakem oleje, který zabraňuje přístupu vlhkosti k povrchu, tak i následnou bariérou v podobě přítomného inhibitoru. [34]

Konzervační roztoky nacházejí uplatnění tam, kde z ekologických či bezpečnostních důvodů nelze použít jiné konzervační prostředky. Roztoky jsou snadno biologicky odbouratelné, kapaliny mají široké spektrum užitečných vlastností. Lze je aplikovat ihned po opracování, kde je povrch forem ještě se zbytky provozních médií (chladicích a obráběcích vodou mísitelných kapalin). [34]

7 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část diplomové práce se zabývala lisovacími formami a materiálem, ze kterých se lisovací formy běžně vyrábějí. Dále byly popsány druhy povrchů, povrchových úprav a následná kontaminace povrchů lisovacích forem. Poslední dvě kapitoly pojímaly o opotřebení, opravách, údržbě a konzervaci povrchů dutin lisovacích forem.

Hlavních příčin, které se podílejí na výrobním zatížení, je celá řada, nejčastější jsou charakterizovány v kap. 5.1 jako je mechanické opotřebení, chemické opotřebení a tepelné opotřebení. Pro lisovací formy se jako nejdůležitější problém výrobního zatížení projevila kontaminace dutin forem. Kontaminace zatěžuje formu technologicky, dutiny forem je nutné čistit.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo zjistit vliv výrobního zatížení na dutinu formy. Vzhledem k tomu, že je problematika výrobního zatížení velice rozsáhlá, je práce zaměřena pouze na technologické zatížení forem, které bylo vyhodnocováno pomocí kontaminace dutin forem.

Cíle práce:

- Vyhodnocení vstupních vlastností zkušebních destiček.
 - Měření drsnosti povrchu;
 - pořízení mikroskopických snímků povrchu;
 - analýza FTIR;
 - analýza XRF;
 - měření kontaktního úhlu smáčení povrchu destiček s kapalinou.
- Provedení experimentu – celkem 150 lisovacích cyklů.
 - Po 75 lisovacích cyklech provedení analýzy FTIR;
 - pořízení mikroskopických snímků;
 - po dalších 75 lisovacích cyklech provedení všech měření a analýz.
- Vyhodnocení výstupních vlastností zkušebních destiček.
- Vyhodnocení naměřených výsledků v diskusi.

9 POPIS PRAKTICKÉ ČÁSTI

Praktická část se zabývá zkoumáním vlivu výrobního zatížení na dutinu formy. Jak bylo již specifikováno, aspektů, které se podílejí na výrobním zatížení, je velké množství. Největší problém způsobuje kontaminace dutin forem a následné čištění dutin forem od kontaminantů. Vzhledem k rozsáhlosti prací byla pro účely diplomové práce zvolena pouze problematika kontaminace.

Pro tento účel bylo vyrobeno sedm zkušebních destiček, které simulují povrch dutiny lisovací formy. Destičky jsou vyrobeny z různého materiálu, s různou drsností povrchu a některé jsou opatřeny povrchovou úpravou.

V první fázi experimentu byly vyhodnoceny vstupní vlastnosti zkušebních destiček. Bylo provedeno měření drsnosti povrchu destiček, analýzy FTIR a XRF, měření kontaktních úhlů smáčení povrchu s kapalinou a byly pořízeny mikroskopické snímky povrchu destiček. Nedílnou součástí byla i příprava kaučukové směsi k lisování.

Po zjištění všech potřebných vlastností zkušebních destiček proběhla první série lisování o počtu 75 lisovacích cyklů. Následně byla znovu provedena analýza FTIR a byly pořízeny mikroskopické snímky. Druhá série lisování byla také provedena o počtu 75 lisovacích cyklů. Dohromady bylo provedeno celkem 150 lisovacích cyklů.

Po závěrečném lisování byly vyhodnoceny výstupní vlastnosti zkušebních destiček. Opět bylo provedeno měření drsnosti povrchu destiček, analýzy FTIR a XRF, měření kontaktních úhlů a byly pořízeny mikroskopické snímky povrchu destiček. Na závěr byly naměřené výsledky vyhodnoceny a porovnány v diskusi.

10 VSTUPNÍ MATERIÁLY A MĚŘENÍ

10.1 Popis zkušebních destiček

- 1) **Al** – první zkušební destička je slitina hliníku AlMg3Si1, jejíž složení je uvedeno v tabulce (Tab. 1). Destička je vyrobena frézováním, a její vlastnosti nejsou nijak upraveny.

Tab. 1. Chemické složení slitiny hliníku AlMg3Si1 [35]

Prvek	Al	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Si	Ti	Zn	Pb	Sn
%	94 min	0,10 max	0,50 max	2,7 - 3,4	0,2 - 0,4	0,05 max	0,9 - 1,2	0,05 - 0,20	0,10 max	0,03	0,04

- 2) **Al pískovaná** – druhá zkušební destička je slitina hliníku AlMg3Si1. Destička je vyrobena frézováním a povrch destičky je pískovaný.
- 3) **Al Sigaan** – třetí zkušební destička je slitina hliníku AlMg3Si1. Destička je vyrobena frézováním a povrch destičky je pískovaný. Zkušební destička je opatřena povrchovou úpravou Sigaan s obsahem křemíku a bóru.
- 4) **1.2343** - čtvrtá zkušební destička je středně legovaná nástrojová ocel 1.2343, jejíž složení je uvedeno v tabulce (Tab. 2). Destička je vyrobena frézováním a broušením, a její vlastnosti nejsou nijak upraveny.

Tab. 2. Chemické složení oceli 1.2343 [36]

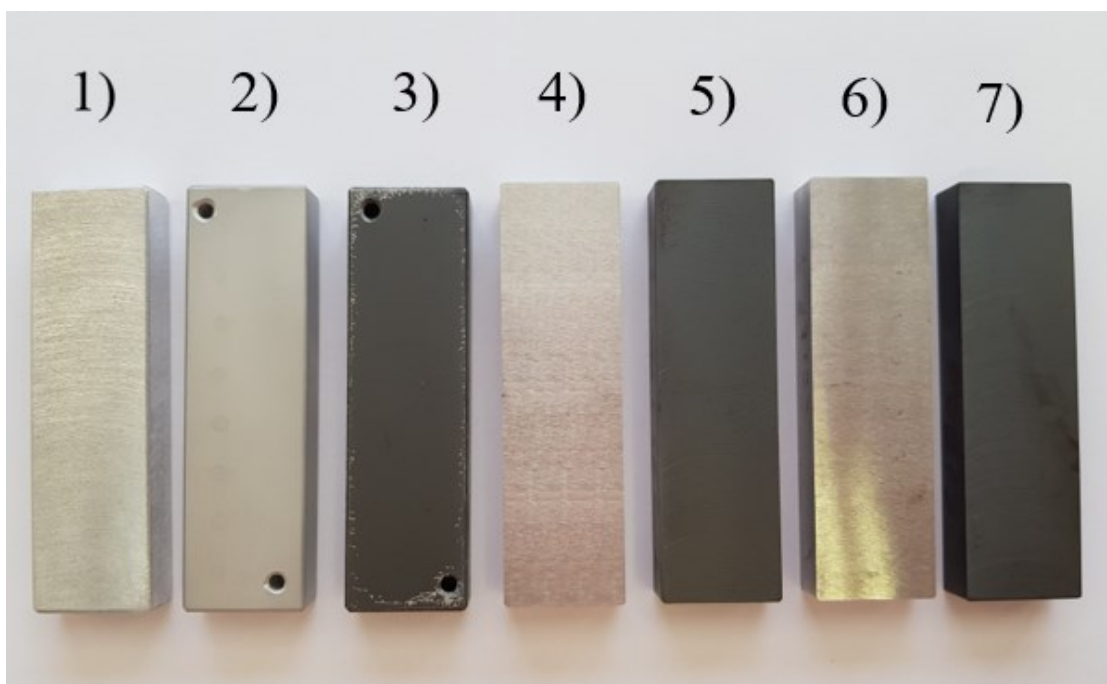
Prvek	Fe	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V
%	90,50 min	0,33 - 0,41	0,25 - 0,5	0,8 - 1,2	0,03 max	0,02 max	4,8 - 5,5	1,1 - 1,5	0,3 - 0,5

- 5) **1.2343 Sigaan** – pátá zkušební destička je středně legovaná nástrojová ocel 1.2343. Destička je vyrobena frézováním. Zkušební destička je opatřena povrchovou úpravou Sigaan s obsahem křemíku a bóru.
- 6) **1.2312** – šestá zkušební destička je chrom – mangan – molybdenová nástrojová ocel 1.2312, jejíž složení je uvedeno v tabulce (Tab. 3). Destička je vyrobena frézováním a broušením, a její vlastnosti nejsou nijak upraveny.

Tab. 3. Chemické složení oceli 1.2312 [37]

Prvek	Fe	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
%	95 min	0,35 - 0,45	1,4 - 1,6	0,3 - 0,5	0,03 max	0,05 - 0,1 max	1,8 - 2	0,15 - 0,25

- 7) **1.2312 Sigaan** – sedmá zkušební destička je chrom – mangan – molybdenová nástrojová ocel 1.2312. Destička je vyrobena frézováním. Zkušební destička je opatřena povrchovou úpravou Sigaan s obsahem křemíku a bóru.



Obr. 14. Zkušební destičky

Sigaan je PVD povlak nanášený magnetronovým naprašováním.

10.2 Měření drsnosti povrchu

Zkušební destičky byly podrobeny měření drsnosti povrchu na optickém bezkontaktním přístroji Alicona InfiniteFocus G5 plus (Obr. 15). Přístroj je vysoce přesný, rychlý a flexibilní optický 3D měřicí systém. Zvětšení měřeného povrchu může být až 100x.

V případě této diplomové práce bylo použito 20x zvětšení. Dráha pro měření Ra byla 50 mm a plocha pro měření Sa byla přibližně 6x3 mm. Měření drsnosti povrchu zkušebních destiček probíhalo za atmosférického tlaku při laboratorní teplotě 23 °C. Ovládání stroje a vyhodnocování výsledků probíhalo pomocí programu Alicona.



Obr. 15. Měření drsnosti na přístroji Alicona InfiniteFocus G5 plus

10.3 Pořízení mikroskopických snímků

Mikroskopické snímky byly pořízeny mikroskopem ProScope HR (Obr. 16). Zvětšení mikroskopu se liší podle připojeného objektivu a může být až tisícinásobné. V případě této diplomové práce bylo použito 30x zvětšení. Snímky byly pořízeny před lisováním, po 75 cyklech lisování a po 150 cyklech lisování.



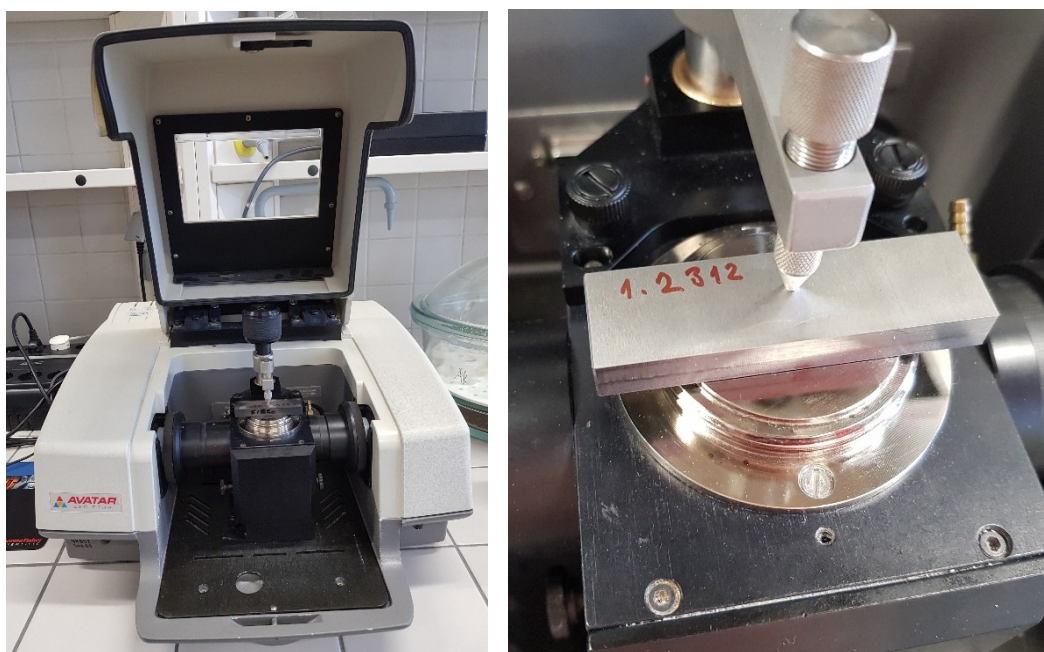
Obr. 16. Mikroskop ProScope HR a pořízení mikroskopického snímku na zkušební destičce

10.4 FTIR analýza

Zkušební destičky byly analyzovány nedestruktivní metodou infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací za použití spektrometru Nicolet AVATAR 320 FT – IR (Obr. 17). Analýza byla provedena před lisováním, po 75 cyklech lisování a po 150 cyklech lisování.

Nedestruktivní analytická metoda FTIR umožňuje na základě různých infračervených (IR) interakcí identifikovat a strukturálně charakterizovat vazby, které jsou typické v dané organické látce. Princip této metody spočívá ve zkoumání absorpce IR záření procházejícího zkoumaným materiálem. Mění se tak rotačně vibrační energetické stavy molekul v závislosti na změně dipólových momentů molekul dané látky. Každý atom v molekule vykazuje vibrace kolem své rovnovážné polohy, přičemž frekvence této vibrace je určena hmotností zúčastněných částí a pevností vazby. Frekvence záření může rezonovat při určitých frekvencích s molekulárními vibracemi, a energie tohoto záření tak může být absorbována současně. [38]

Analýza FTIR byla provedena za atmosférického tlaku při laboratorní teplotě 23 °C metodou ATR. Před prvním měřením a po každém dalším měření byl ZnSe krystal a jeho okolí, očištěn etanolem. Před měřením každé ze zkušebních destiček se nejprve změřilo spektrum pozadí bez zkušebních destiček. Ovládání stroje a vyhodnocování výsledků probíhalo pomocí programu OMNIC. Rozsah vlnočtů byl 4000–750 cm^{-1} a rozlišením 2 cm^{-1} a počtem skenů 64.



Obr. 17. FTIR analýza na spektrometru Nicolet AVATAR 320 FT – IR

10.5 XRF analýza

Zkušební destičky byly analyzovány nedestruktivní metodou XRF za použití rentgenového fluorescenčního spektrometru ElvaX (Obr. 18). Analýza byla provedena před lisováním a po 150 cyklech lisování.

XRF neboli rentgenofluorescenční analýza je metoda atomové spektroskopie subvalenčních elektronů. Tato metoda analyzuje povrchovou vrstvu zkoumaného vzorku, a je vhodná především k analyzování pevných předmětů. Princip metody spočívá v ionizaci atomů zkoumaného vzorku, dopadajícím primárním rentgenovým zářením na povrch vzorku. Na vzorku dojde k vyražení elektronů z obalu atomů a nahrazení těchto elektronů elektrony z vyšších hladin atomu, kde je současně vysíláno fluorescenční rentgenové záření. V podstatě se sleduje sekundární rentgenové záření. Výstupem zkoumaných vzorků je čárové spektrum, které zobrazuje množství pulsů za 1 sekundu pro odpovídající vlnové délky, nebo odpovídající energie. [39]

Analýza XRF byla provedena za atmosférického tlaku při laboratorní teplotě 23 °C. Měření probíhalo na plošce o rozměrech 2x2 mm po dobu 1 min.



Obr. 18. Rentgenový fluorescenční spektrometr ElvaX

10.6 Měření kontaktního úhlu

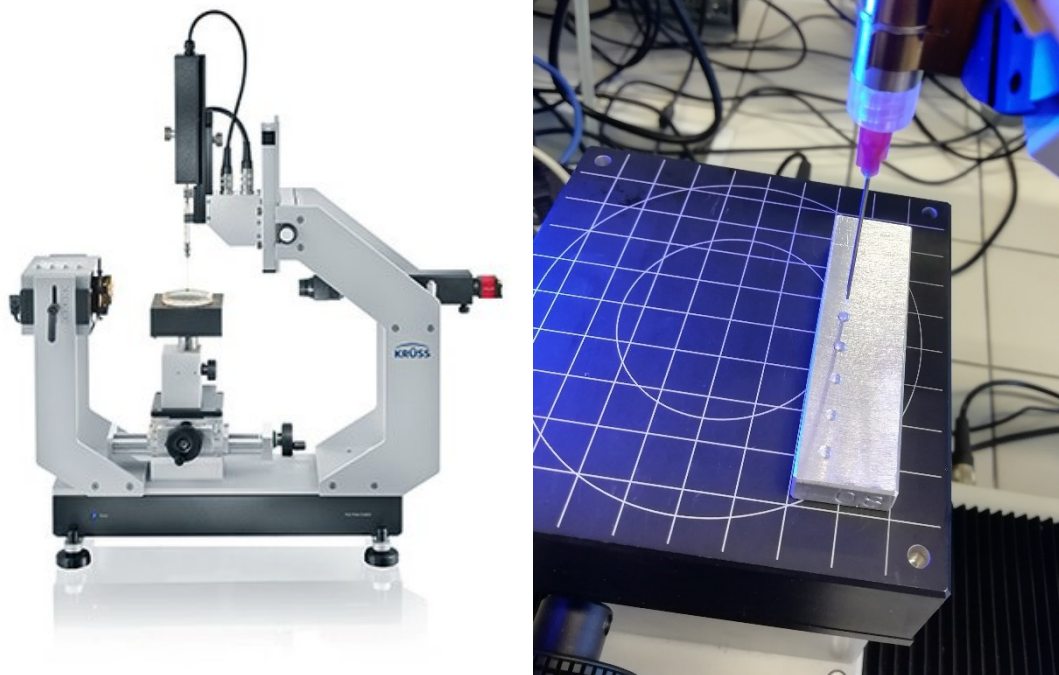
Zkušební destičky byly podrobeny měření kontaktního úhlu smáčení s kapalinou pomocí přístroje Drop Shape Analyzer – DSA30 od výrobce Krüss (Obr. 19). Měření byla provedena před lisováním a po 150 cyklech lisování.

Přístroj lze flexibilně použít pro přesné měření kontaktního úhlu a povrchové volné energie. Díky vysoce kvalitním komponentům a různým možnostem automatizace analyzuje DSA30 smáčení a adhezi na pevných površích [40]. Nastavení přístroje a vyhodnocení naměřených výsledků probíhalo v programu Krüss ADVANCE.

Měření kontaktního úhlu bylo použito, protože byla předpokládána tvorba kontaminantů na povrchu lisovací formy, které mohou značně ovlivnit vlastnosti povrchu formy. Hodnota kontaktního úhlu s povrchem může být ovlivněna adsorpcí látek, které jsou přítomné v plynné fázi na povrchu pevné látky. Dále jí ovlivňují různé děje, ke kterým může docházet na rozhraní kapaliny a pevné látky jako např. chemická reakce, botnění povrchu či rozpouštění pevné látky kapalinou. V neposlední řadě ovlivňuje hodnotu úhlu drsnost a nehomogenita povrchu. [41]

Před samotným měřením byly všechny zkušební destičky očištěny stlačeným vzduchem medicínské kvality. Přístroj byl nastaven tak, aby opakovatelně a rovnoměrně rozmísťoval kapky kapaliny po celé ploše zkušebních destiček. Nastaveno bylo 16 kapek deionizované vody, každá o objemu 2 μ l. Po dopadu kapky na povrch zkušební destičky a jejím ustálení po 4 s byl pomocí kamery a programu změřen kontaktní úhel smáčení s vodou. Měření byla provedena za atmosférického tlaku při laboratorní teplotě 23 °C.

Nebylo přistoupeno ke zjišťování povrchové energie, neboť pro účely DP stačilo sledovat změnu povrchových vlastností materiálu. Jedním ze způsobů zjišťování povrchové energie pevných látek je smáčení materiálu řadou kapalin s různým povrchovým napětím. Nejčastěji používanými kapalinami pro měření kontaktního úhlu jsou: voda, ethylenglykol, glycerol, ethanol, diiodomethan a další, přičemž je vhodné kombinovat alespoň jednu polární a jednu nepolární kapalinu. [42] Pro účely DP byla použita, pro zjišťování velikosti kontaktního úhlu, pouze voda. Ve srovnání s ostatními kapalinami u vody hrozilo nejmenší riziko chemické interakce s povrchem.



Obr. 19. Krüss Drop Shape Analyzer – DSA30 (vlevo) [40], umístění a průběh kapání na zkušební destičku (vpravo)

11 PŘÍPRAVA A LISOVÁNÍ KAUČUKOVÉ SMĚSI

11.1 Kaučuková směs

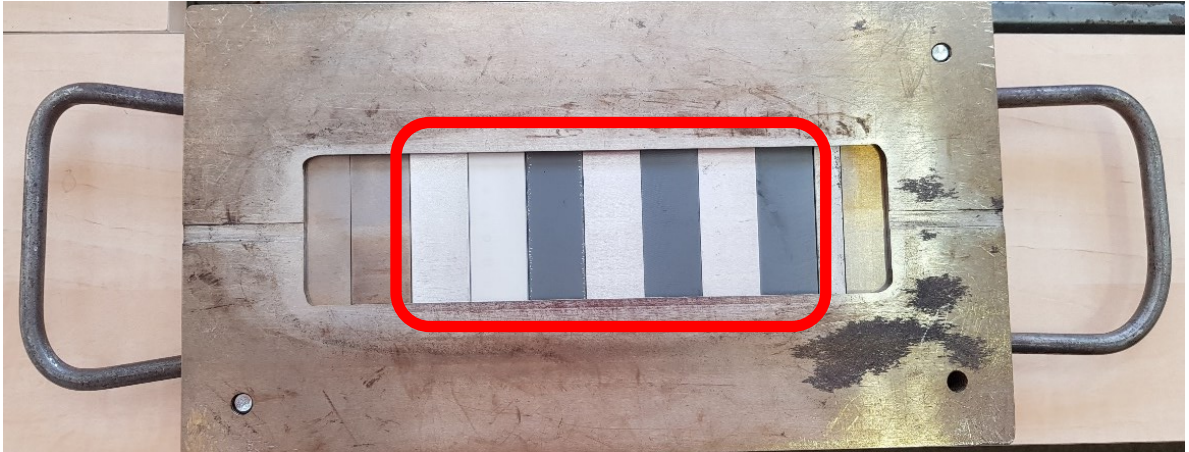
Pro experiment k této diplomové práci byla použita kaučuková směs pro výrobu bočnic pneumatik plášťů osobních automobilů. Kaučuková směs byla vyválnovaná na tloušťku 3,5 mm. Složení kaučukové směsi je know-how výrobce, přesnou recepturu výrobce neuvádí. Orientační složení bez konkrétního množství přísad je následující:

- syntetické kaučuky;
- regenerát;
- saze;
- silica;
- olej;
- aktivátory;
- antidegradanty;
- antioxidanty;
- urychlovače;
- síra.

Na základě vulkanizačních charakteristik uvedených v technickém listu od dodavatele kaučukové směsi byl čas vulkanizace stanoven na 6,5 min při vulkanizační teplotě 170 °C.

11.2 Lisovací forma a vulkanizační lis

K provedení experimentu byla použita lisovací forma na obrázku (*Obr. 20*). Zkušební destičky byly nainstalovány do formy tak, aby tvořily povrch dutiny formy. Forma byla kvůli zaplnění dutiny doplněna o destičky, které nebyly předmětem studie pro diplomovou práci. Rozměry dutiny formy jsou 200x50x3 mm.



Obr. 20. Lisovací forma k provedení experimentu s vyznačenými zkušebními destičkami

Pro lisování vulkanizační směsi ve formě byl použit hydraulický vulkanizační lis IGTT (*Obr. 21*).



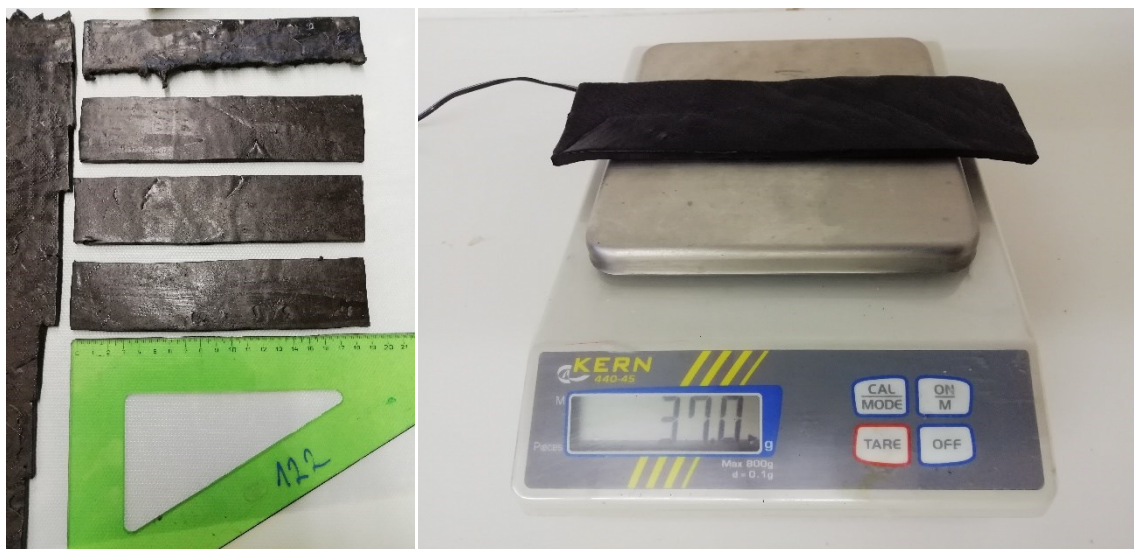
Obr. 21. Vulkanizační lis IGTT – hydraulický

11.3 Lisování

Před samotným lisováním kaučukové směsi bylo nutné nahřát vulkanizační lis včetně formy na ustálenou teplotu 170 °C. Mezitím a v průběhu lisování byly nastříhány nálože kaučukové směsi (*Obr. 22*). Při hustotě kaučukové směsi 1,21 g/cm³ byla potřebná hmotnost nálože

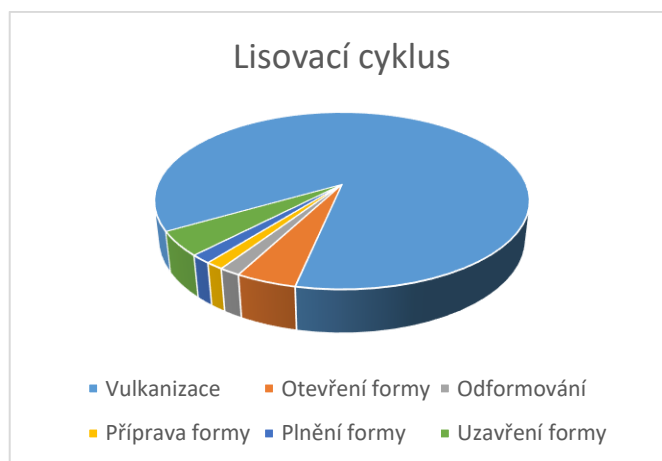
36,3 g (*rovnice 1*). Nálože byly odvažovány na hmotnost 37-38 g pro snadnější vyjmutí z lisovací formy za pomoci přetoků (*Obr. 22*). Manipulace s kaučukovou směsí se prováděla pomocí bavlněných rukavic, aby nedošlo ke kontaminaci kaučukové směsi a následně i povrchu dutiny lisovací formy.

$$20 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 0,3 \text{ cm} \times 1,21 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 36,3 \text{ g} \quad (1)$$



Obr. 22. Nastříhané a navážené nálože

Po dosažení vulkanizační teploty byl vulkanizační lis otevřen a forma vyňata a otevřena (20 s). Následovalo odformování, příprava a plnění formy (7 s, 6 s, 7 s). Dále byla forma i s nábojem uzavřena, vložena do lisu a lis uzavřen (20 s). Na závěr probíhala nejdelší část lisovacího cyklu a to vulkanizace (6,5 min). Lisovací cyklus je znázorněn graficky (*Obr. 23*). Takto bylo provedeno 2x75 lisování.



Obr. 23. Graf znázorňující průběh lisovacího cyklu

12 VYHODNOCENÍ A DISKUZE NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

12.1 Porovnání drsností povrchů

Naměřené hodnoty drsností povrchu uvádí následující tabulka (Tab. 4). Byly měřeny parametry Ra, Rz, Sa, Sp, Sv. Ve sloupci s označením „před“ jsou hodnoty drsnosti povrchu získané před lisováním, ve sloupci s označením „po“ jsou hodnoty drsnosti povrchu získané po 150 lisovacích cyklech.

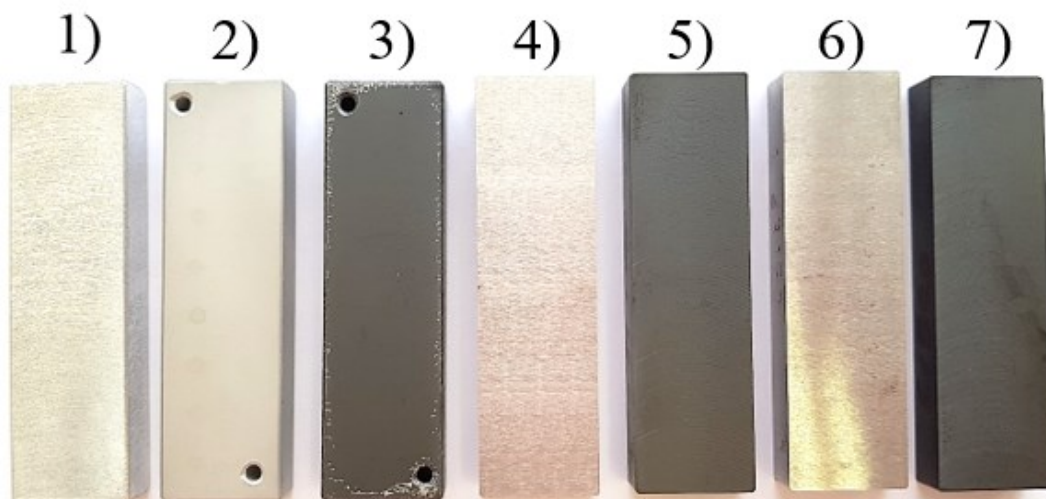
Tab. 4. Drsnosti povrchů zkušebních destiček před a po lisování (μm)

Destička	Ra před	Ra po	Rz před	Rz po	Sa před	Sa po	Sp před	Sp po	Sv před	Sv po
Al	1,43	0,69	10,13	5,96	1,49	0,72	6,16	7,40	12,33	5,05
Al pískovaný	1,54	0,72	10,64	7,02	1,71	0,75	6,26	15,44	8,70	15,43
Al Sigaan	0,99	0,89	7,77	9,34	1,10	0,95	9,16	10,22	9,38	11,00
1.2343	0,87	0,91	8,24	7,55	0,91	0,91	19,66	17,22	6,18	5,27
1.2343 Sigaan	3,15	2,23	22,17	19,70	2,73	2,01	10,88	29,96	22,03	20,53
1.2312	0,70	0,77	6,65	9,85	0,72	0,77	10,36	14,68	4,59	5,07
1.2312 Sigaan	1,70	2,29	13,94	17,96	1,79	2,14	9,08	10,75	10,78	10,76

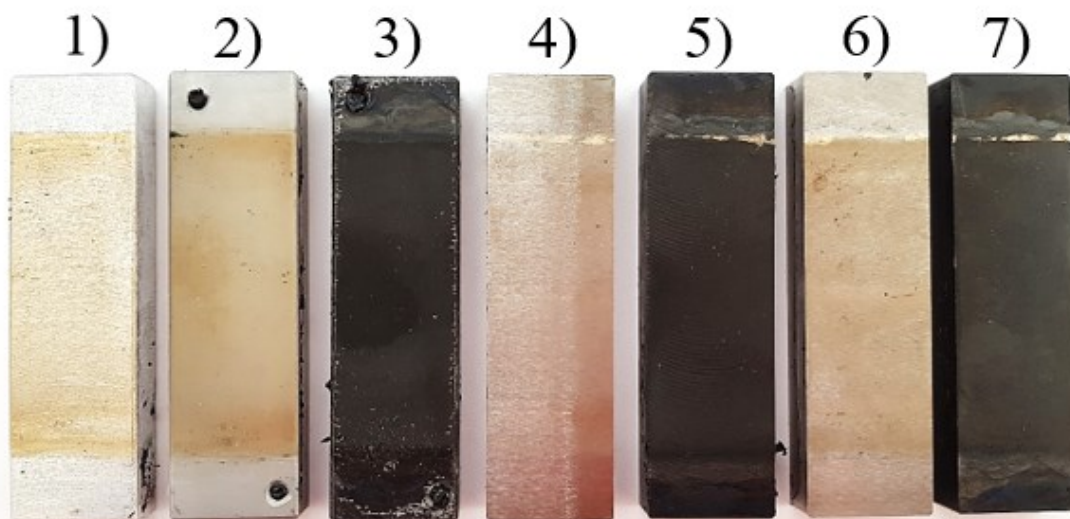
Drsnost povrchu destiček měřená po lisování neukazuje na žádný jednoznačný výsledek. U všech destiček vyrobených ze slitin hliníku došlo ke snížení Ra (Sa), u destičky Al Sigaan jen nepatrně. U destiček vyrobených z 1.2343 a 1.2312 bez povrchové úpravy a 1.2312 Sigaan došlo pravděpodobně k nepatrnému zvýšení drsnosti povrchu. U destičky vyrobené z 1.2343 Sigaan došlo pravděpodobně ke snížení drsnosti povrchu. Z těchto výsledků nelze usoudit uchopitelný závěr.

12.2 Porovnání vzhledu destiček

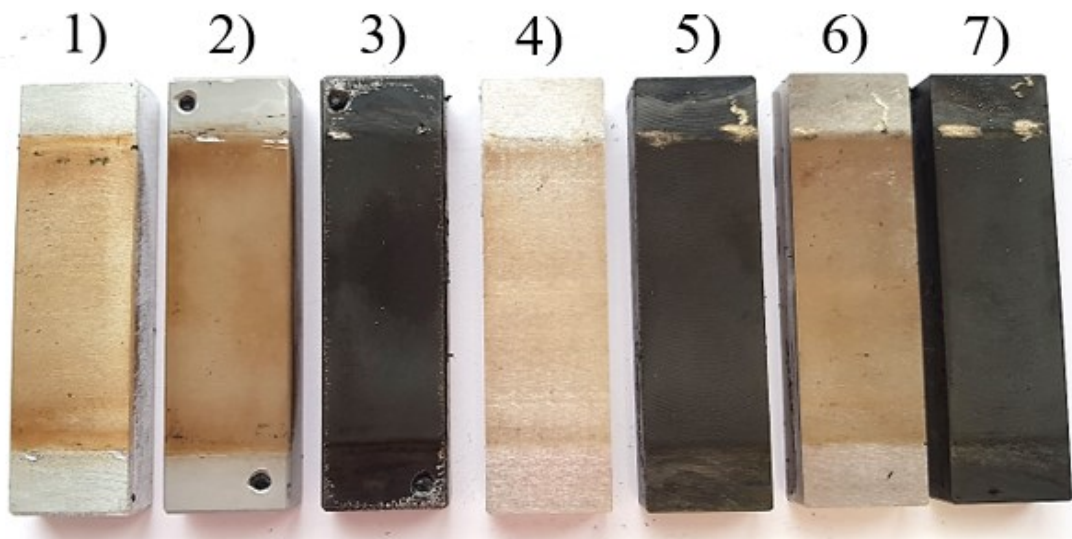
Před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech byly pořízeny snímky zkušebních destiček. Zkušební destičky jsou označeny čísly 1–7. Přičemž 1) = Al, 2) = Al pískovaný, 3) = Al Sigaan, 4) = 1.2343, 5) = 1.2343 Sigaan, 6) = 1.2312 a 7) = 1.2312 Sigaan.



Obr. 24. Zkušební destičky před lisováním



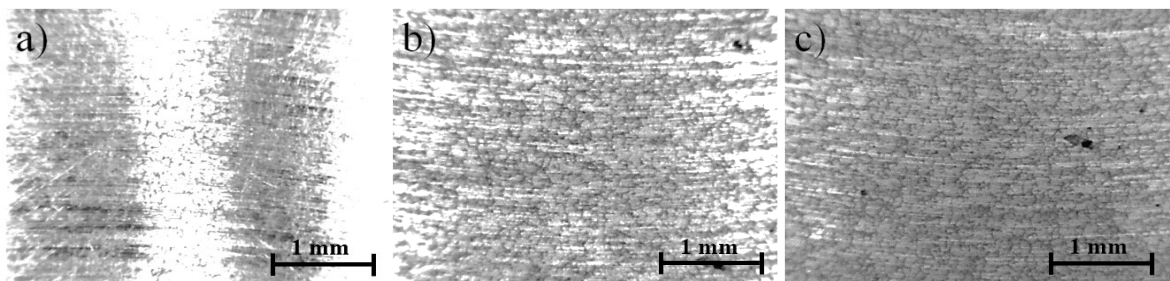
Obr. 25. Zkušební destičky po 75 lisovacích cyklech



Obr. 26. Zkušební destičky po 150 lisovacích cyklech

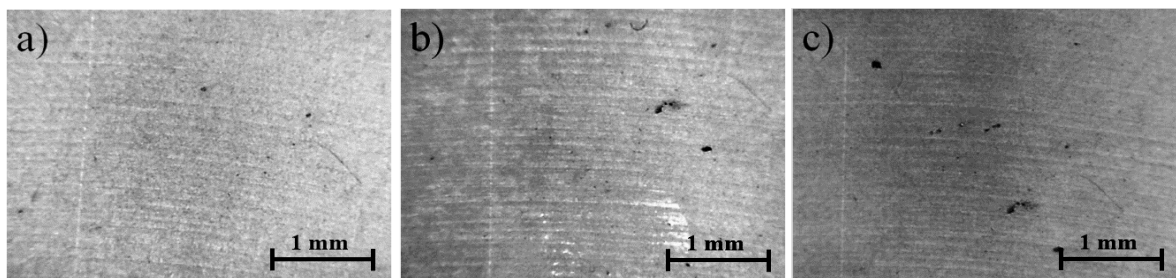
Mikroskopické snímky jsou označeny a), b) a c). Snímky zkušebních destiček s označením a) byly snímány před lisováním, snímky s označením b) byly snímány po 75 cyklech lisování a snímky s označením c) byly snímány po 150 cyklech lisování.

- Al



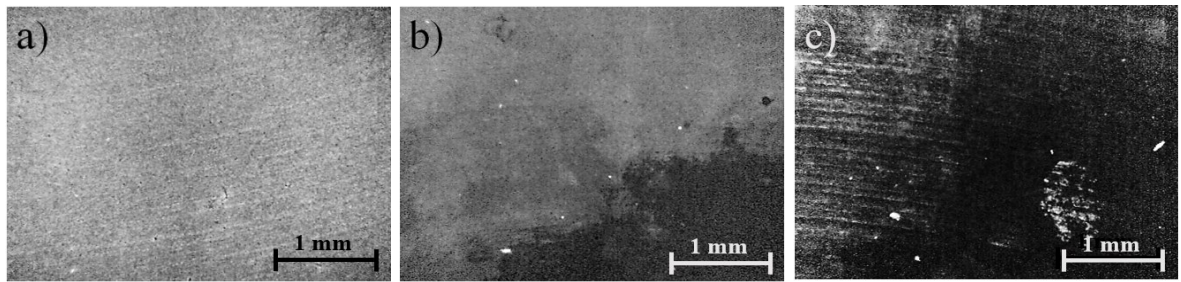
Obr. 27. Zkušební destička Al

- Al pískovaný



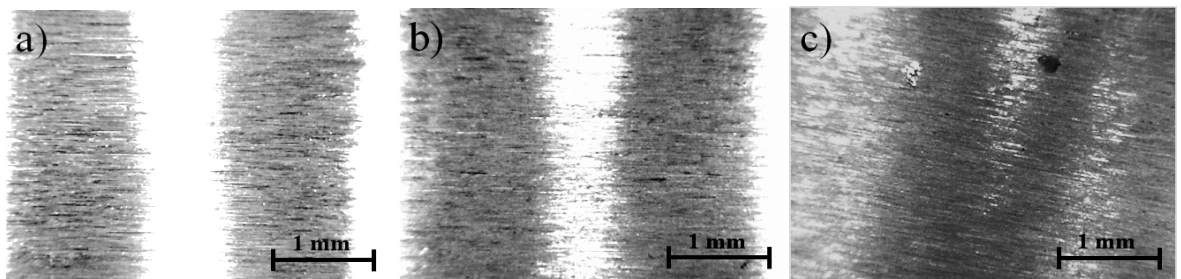
Obr. 28. Zkušební destička Al pískovaný

- Al Sigaan



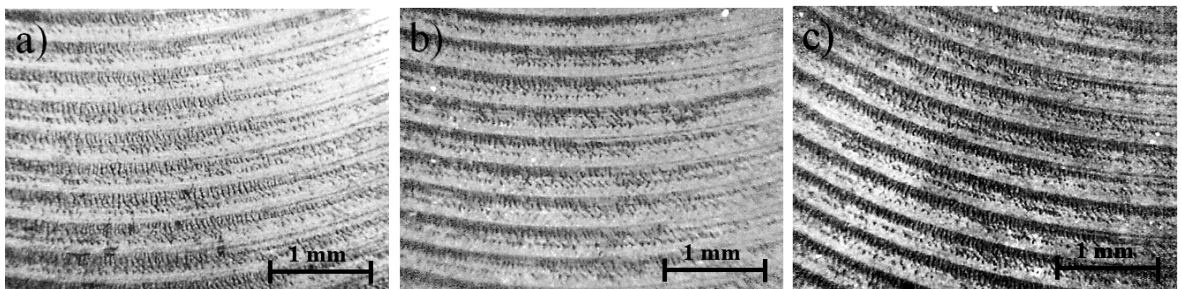
Obr. 29. Zkušební destička Al Sigaan

- 1.2343



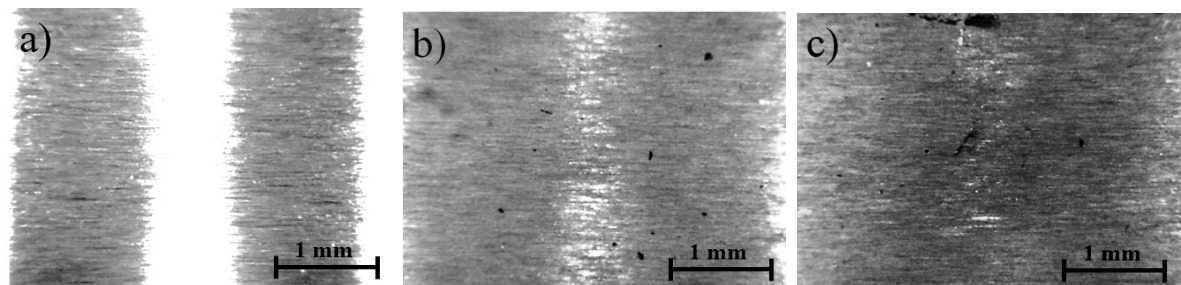
Obr. 30. Zkušební destička 1.2343

- 1.2343 Sigaan



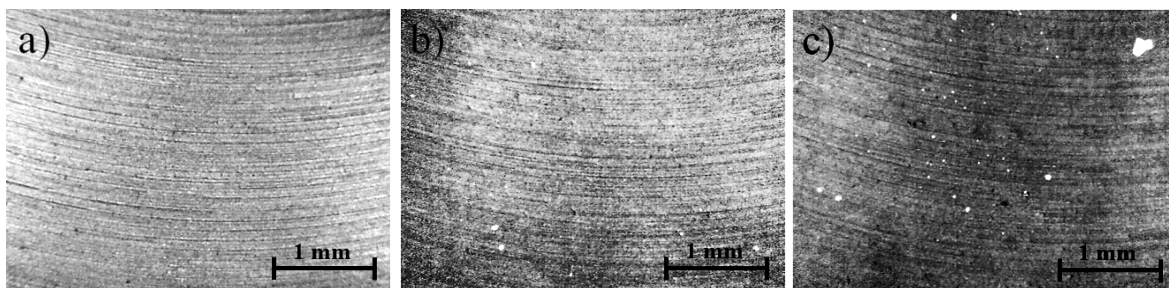
Obr. 31. Zkušební destička 1.2343 Sigaan

- 1.2312



Obr. 32. Zkušební destička 1.2312

- 1.2312 Sigaan



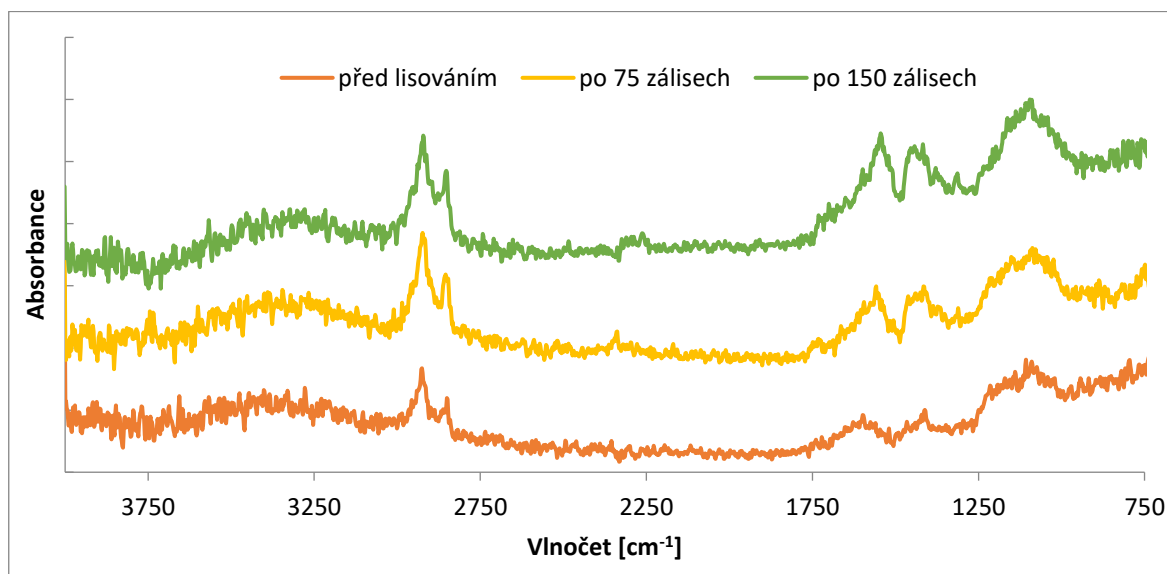
Obr. 33. Zkušební destička 1.2312 Sigaan

Při porovnání vzhledu destiček je patrné, že se zvyšujícím se počtem lisovacích cyklů dochází k většímu ulpívání kontaminantů na povrchu destiček. Tuto skutečnost potvrzují mikroskopické snímky destiček pořízených před lisováním, po 75, a po 150 lisovacích cyklech.

12.3 Naměřené výsledky FTIR analýzy

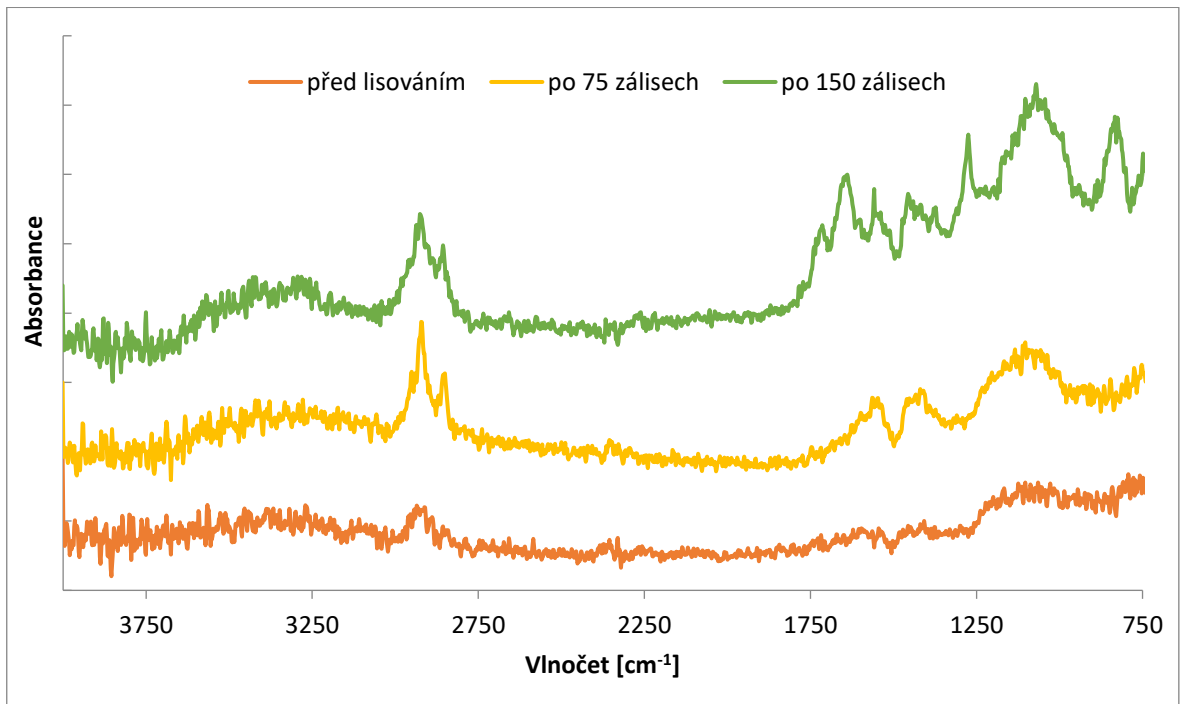
Na obrázcích 34–44 jsou znázorněny srovnávací grafy analýz FTIR. Ve všech grafech jsou zobrazena tři IČ spektra, která byla získána před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech. Grafy znázorňují získaná spektra, která byla porovnána v databázích se známými spektry dostupnými v databázi FT UTB.

- Al



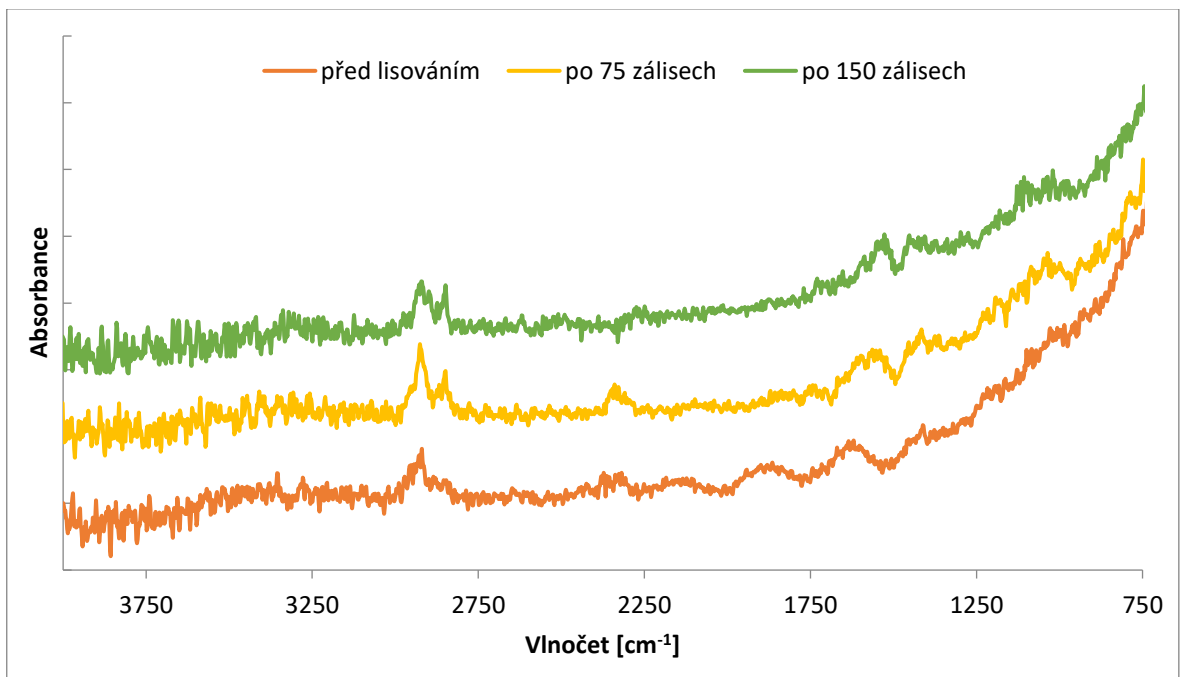
Obr. 34. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky Al před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech

- Al pískovaný



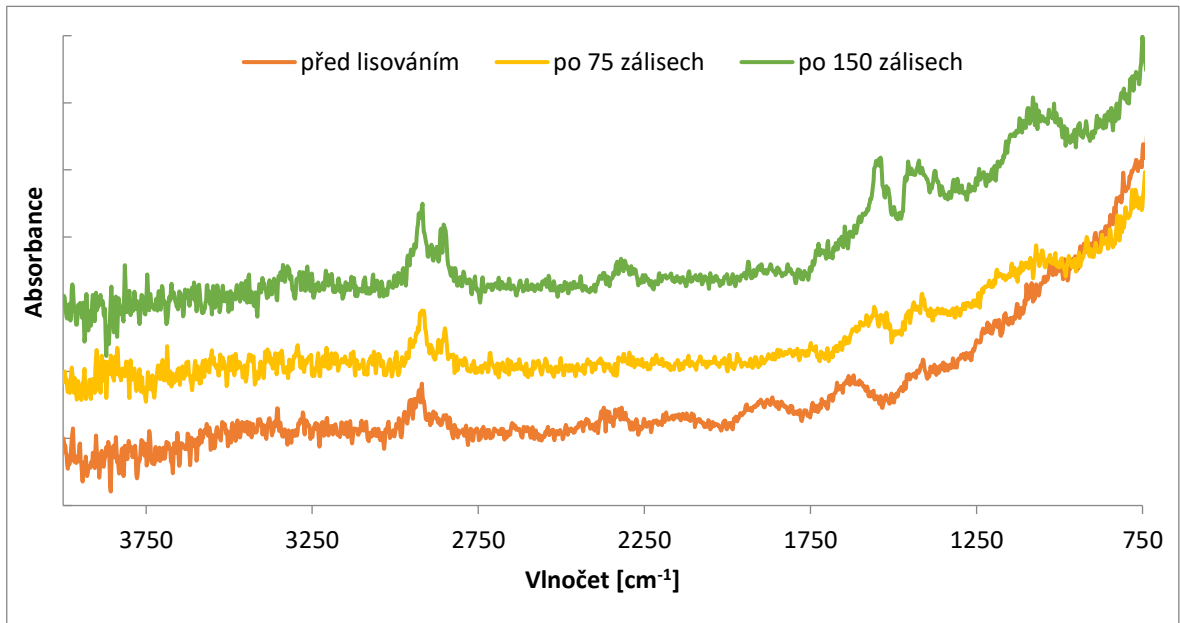
Obr. 35. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky Al pískovaný před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech

- Al Sigaan (měřeno mimo skvrnu)



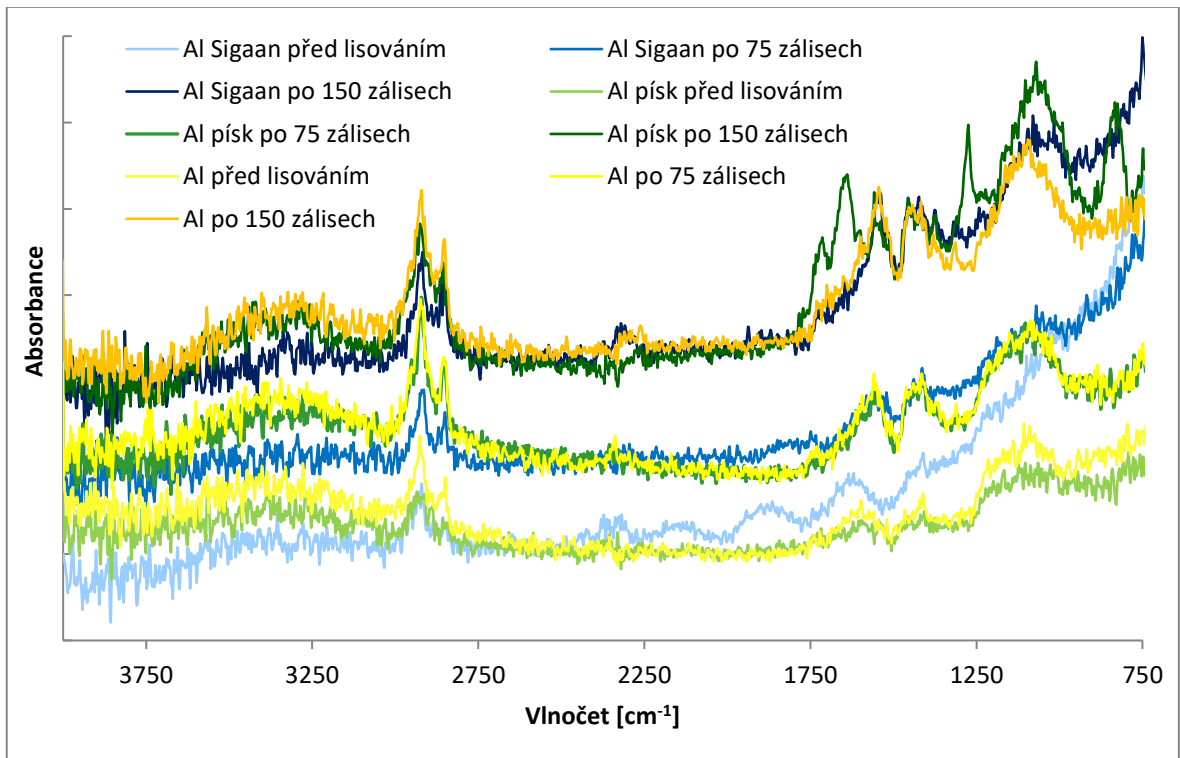
Obr. 36. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky Al Sigaan před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech – oblast mimo skvrnu

- Al Sigaan (měřeno na skvrně)



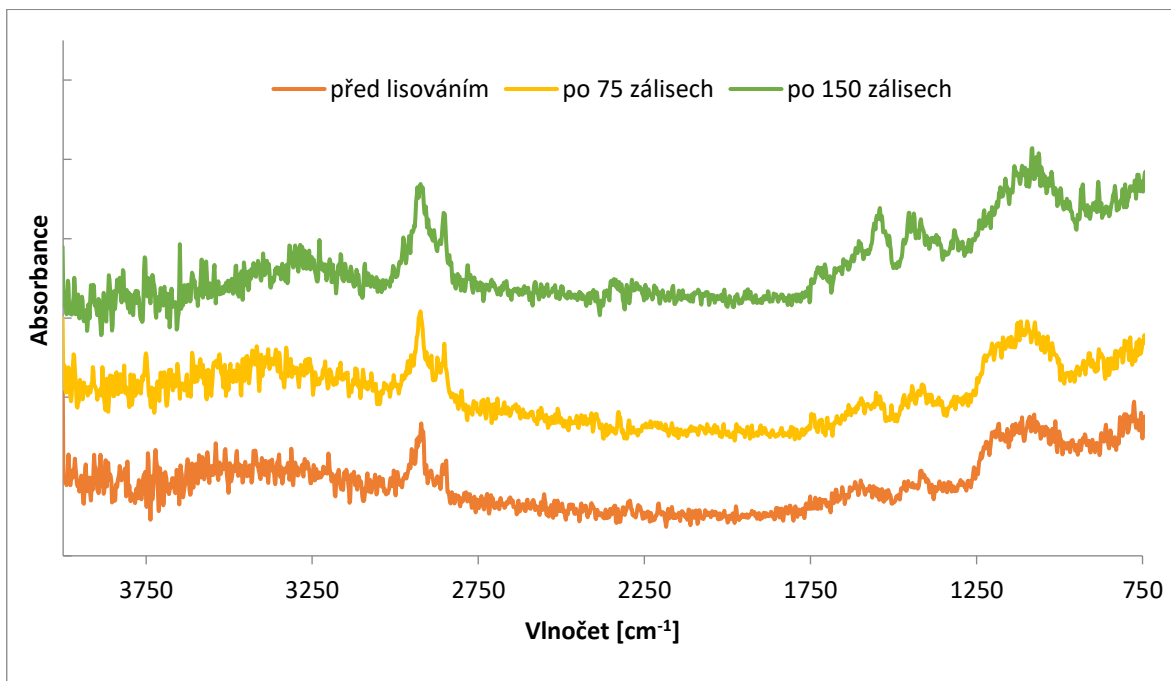
Obr. 37. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky Al Sigaan před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech – oblast skvrny

- FTIR graf všech Al spekter



Obr. 38. Srovnávací graf analýz FTIR všech zkušebních destiček Al před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech

- 1.2343



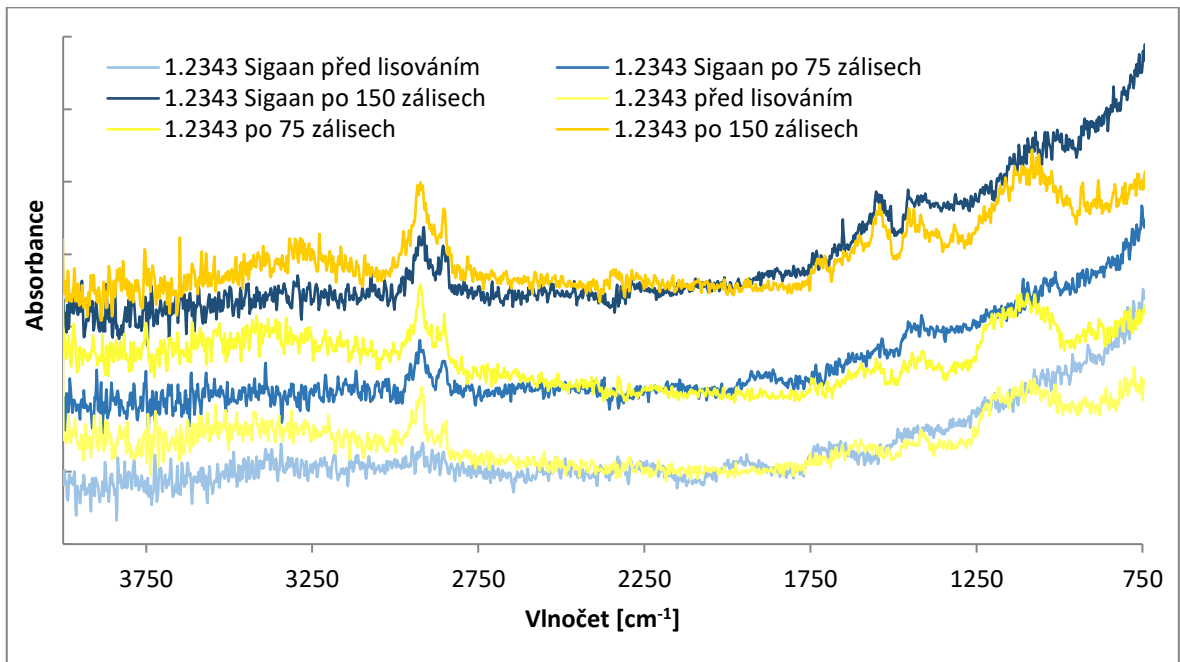
Obr. 39. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky 1.2343 před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech

- 1.2343 Sigaan



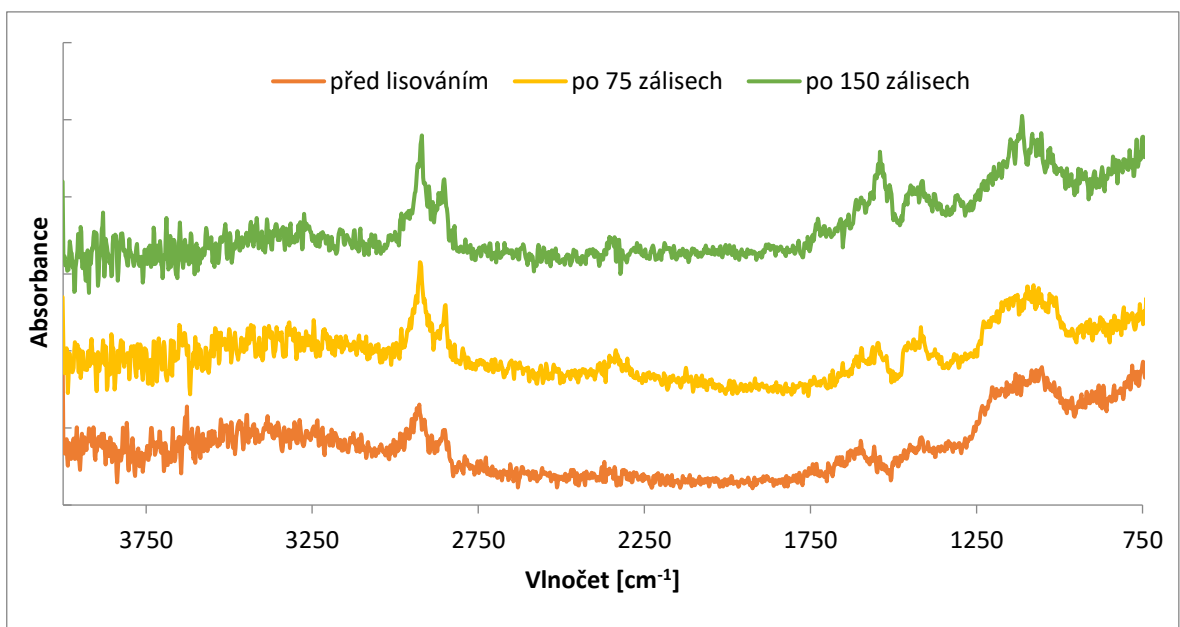
Obr. 40. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky 1.2343 Sigaan před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech

- FTIR graf všech spekter 1.2343



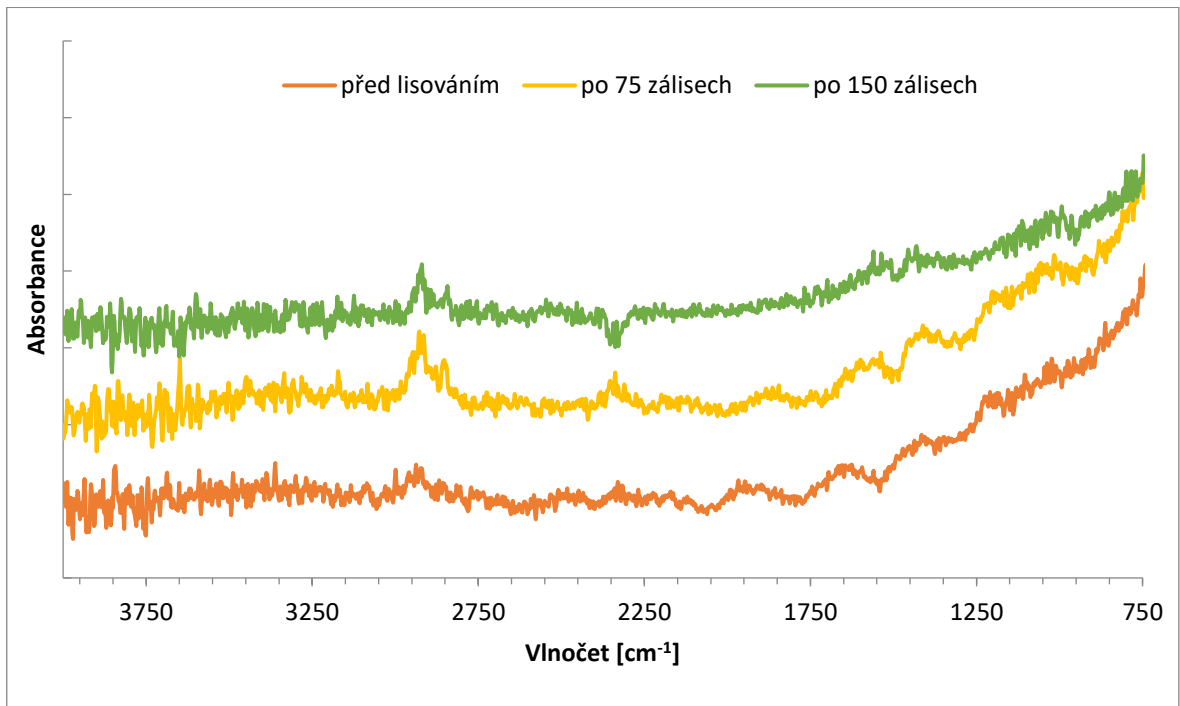
Obr. 41. Srovnávací graf analýz FTIR všech zkušebních destiček 1.2343 před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech

- 1.2312



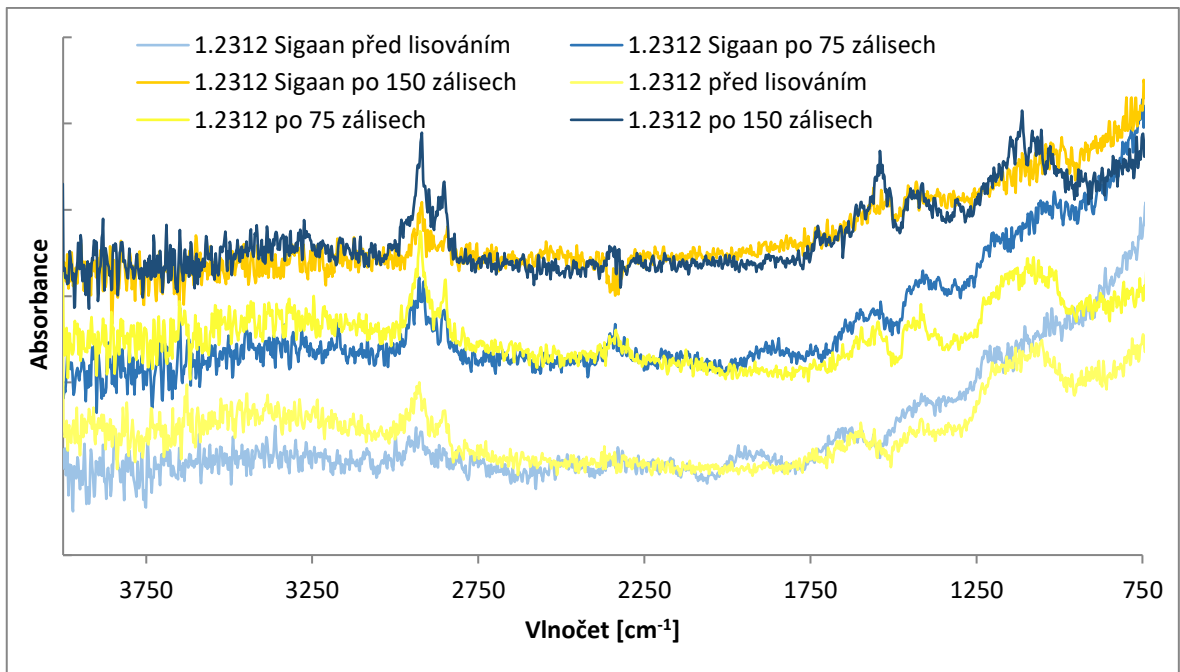
Obr. 42. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky 1.2312 před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech

- 1.2312 Sigaan



Obr. 43. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky 1.2312 Sigaan před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech

- Graf FTIR všech spekter 1.2312



Obr. 44. Srovnávací graf analýz FTIR všech zkušebních destiček 1.2312 před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech

Pro zjišťování kontaminantů bylo použito IČ spekter. U všech destiček byly zjištěny výraznější náznaky pásů pod 3000 cm^{-1} , konkrétně se jedná o dvouvrcholový pík v pásu $2965\text{--}2825\text{ cm}^{-1}$ odpovídající pravděpodobně $-\text{CH}_2$ funkčním skupinám. Nejmenší píky jsou patrné z IČ spekter, které byly zjištěny před lisováním, u IČ spekter získaných po 75 lisovacích cyklech se píky zvýraznily. Bylo očekáváno, že podobný nárůst se projeví u IČ spekter změřených po 150 lisovacích cyklech. Tento předpoklad se nepotvrdil.

Na IČ spektru destičky ze slitiny hliníku bez povrchové úpravy (Al) (*Obr. 34*) je dále patrný spektrální pás $1580\text{--}1490\text{ cm}^{-1}$, který odpovídá $-\text{NH}-$ skupinám, což je vazba odpovídající amidům. Spektrální pás $1477\text{--}1375\text{ cm}^{-1}$ je typický pro $-\text{CH}_3$ skupiny.

Na IČ spektru destičky ze slitiny hliníku s pískovaným povrchem (Al pískovaný) (*Obr. 35*) jsou další významné spektrální pásy, a to pás $1761\text{--}1695\text{ cm}^{-1}$ charakteristický uhlovodíkovým řetězcem $\text{R-CO-R}'$, který odpovídá nasyceným ketonům obsahujícím karbonylovou skupinu, spektrální pás $1700\text{--}1608\text{ cm}^{-1}$, který odpovídá skupině $-\text{CO-NH}-$. Jedná se o peptidovou vazbu patřící amidům.

U destiček ze slitiny hliníku bez povrchové úpravy a s pískovaným povrchem (Al a Al pískovaný) (*Obr. 34, Obr. 35*) se na IČ spektru projevil pás $1230\text{--}920\text{ cm}^{-1}$, který patří amidům karboxylových skupin. Bylo zjištěno, že z karboxylových skupin se v čase tvoří skupina amidová $-\text{NH}_2$.

U hliníkové destičky s povrchovou úpravou Sigaan (Al Sigaan) (*Obr. 36, Obr. 37*) se během lisování vytvořila místa s tmavším zbarvením. Byla měřena IČ spektra v obou oblastech. Na IČ spektru se v oblasti vlnočtu $1750\text{--}950\text{ cm}^{-1}$ objevují náznaky pásů, které by mohly odpovídat výsledkům získaným v téže oblasti vlnočtů u destiček ze slitiny hliníku bez povrchové úpravy a s pískovaným povrchem. V oblasti tmavšího zbarvení se tyto pásy jeví výraznější. Tato skutečnost může mít příčinu ve vlastním nanášení povlaku Sigaan, kdy v oblasti, kde došlo během lisování k tmavšímu zbarvení, mohlo dojít např. k horšímu uchycení povlaku na základní materiál. Tuto domněnku bude nutné ověřit v dalším výzkumu.

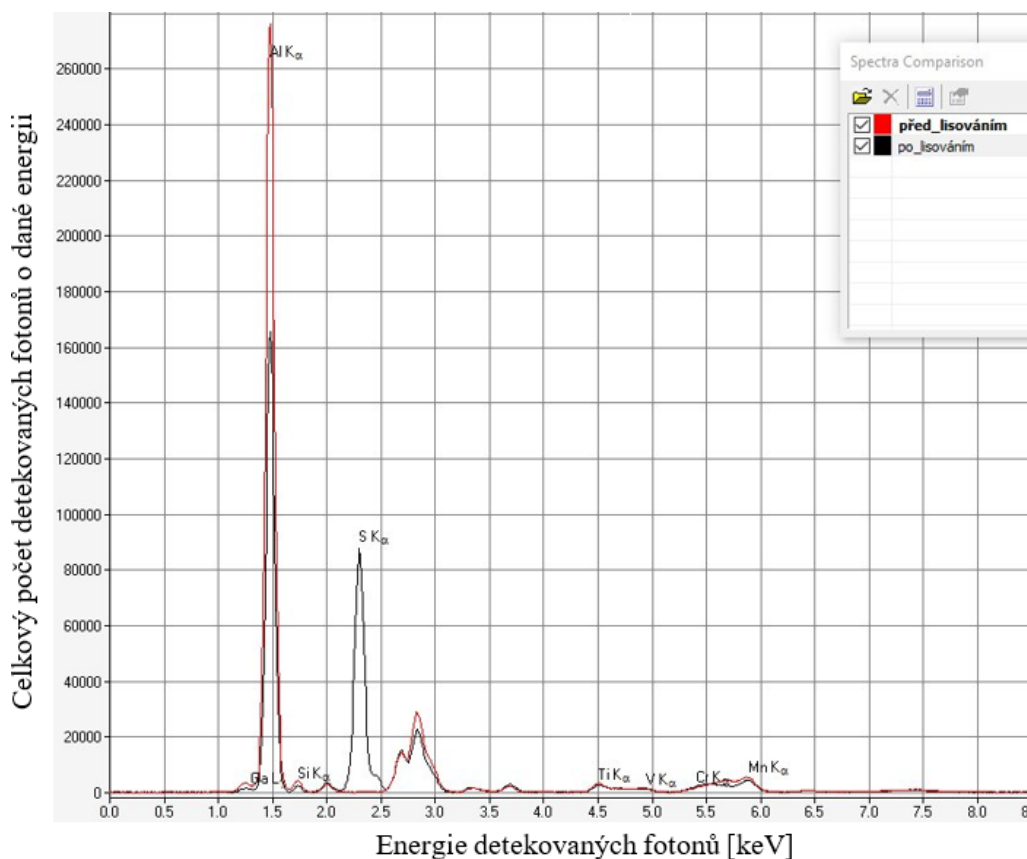
U destiček z materiálů 1.2343 a 1.2312 bez povrchové úpravy (*Obr. 39, Obr. 42*) a s povrchovou úpravou Sigaan (*Obr. 40, Obr. 43*) se vyskytují spektrální pásy stejných vlnočtů jako u destiček vyrobených ze slitiny hliníku.

Při porovnání IČ spekter získaných z destiček s povrchovou úpravou Sigaan a IČ spekter získaných z ostatních povrchů zkoumaných destiček (*Obr. 38, Obr. 41, Obr. 44*) nebyl zjištěn významný rozdíl. Lze tedy říci, že se nijak významně neprojevil způsob povrchové

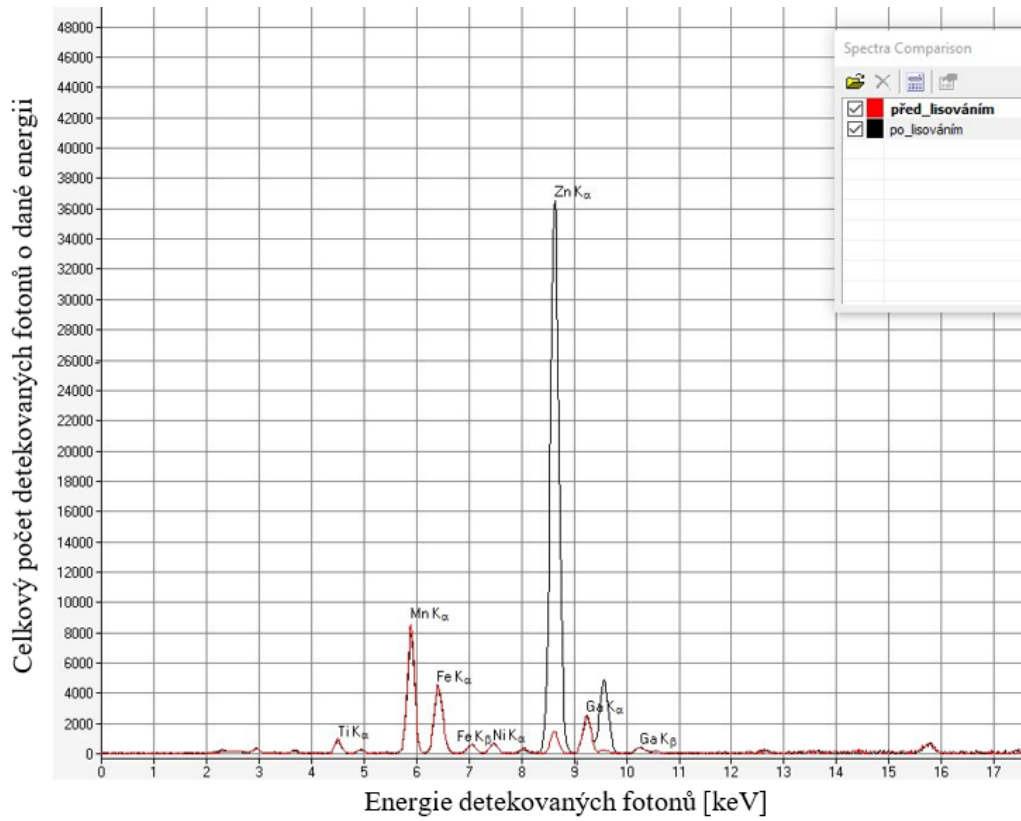
úpravy (s výjimkou IČ spektra získaného z destičky ze slitiny hliníku s pískovaným povrchem). Povrchy s úpravou Sigaan se zpočátku chovají příznivěji (IČ spektra po 75 lisovacích cyklech), ale postupně se kontaminují, dojde k jejich zanesení do stejné míry jako u povrchů, kde není úprava Sigaan (IČ spektra po 150 lisovacích cyklech). Výhodou PVD povrchů je však skutečnost, že se lépe čistí. Povlak nanesený PVD technikou je několikanásobně tvrdší než zakalená ocel, natož slitiny hliníku. Tvrdost povrchu bude mít významný vliv na životnost forem. Forma opatřená PVD povlakem zvládne větší počet čištění do doby nutné k opravě.

12.4 Naměřené výsledky XRF analýzy

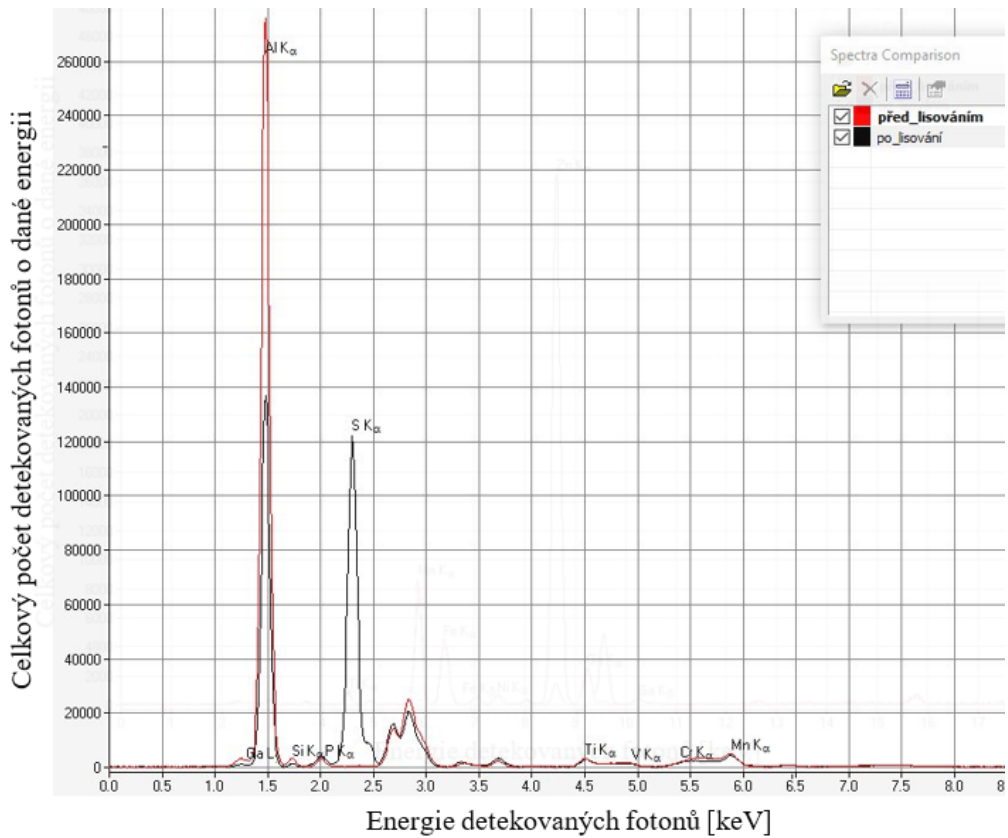
Na obrázcích 45–58 jsou znázorněny srovnávací grafy XRF analýzy před lisováním a po 150 lisovacích cyklech. K jedné zkušební destičce vždy náleží dva grafy. Jeden znázorňuje počet detekovaných fotonů o dané energii pro lehké prvky a druhý znázorňuje počet detekovaných fotonů o dané energii pro těžké prvky.



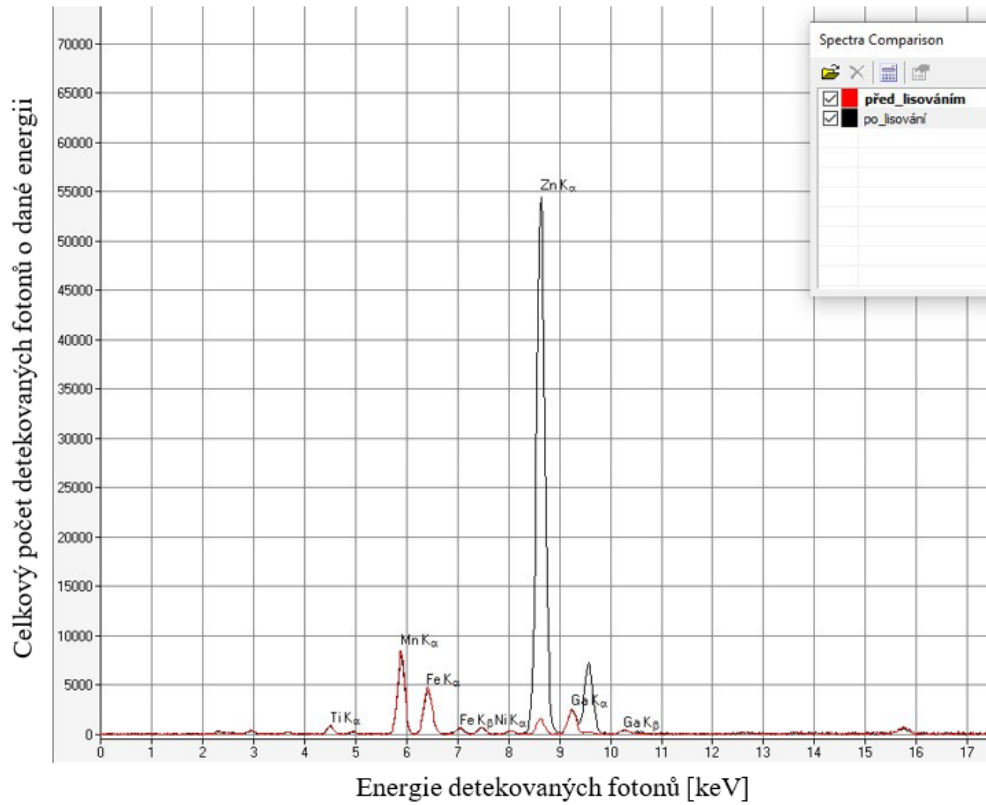
Obr. 45. Zkušební destička Al – lehké prvky



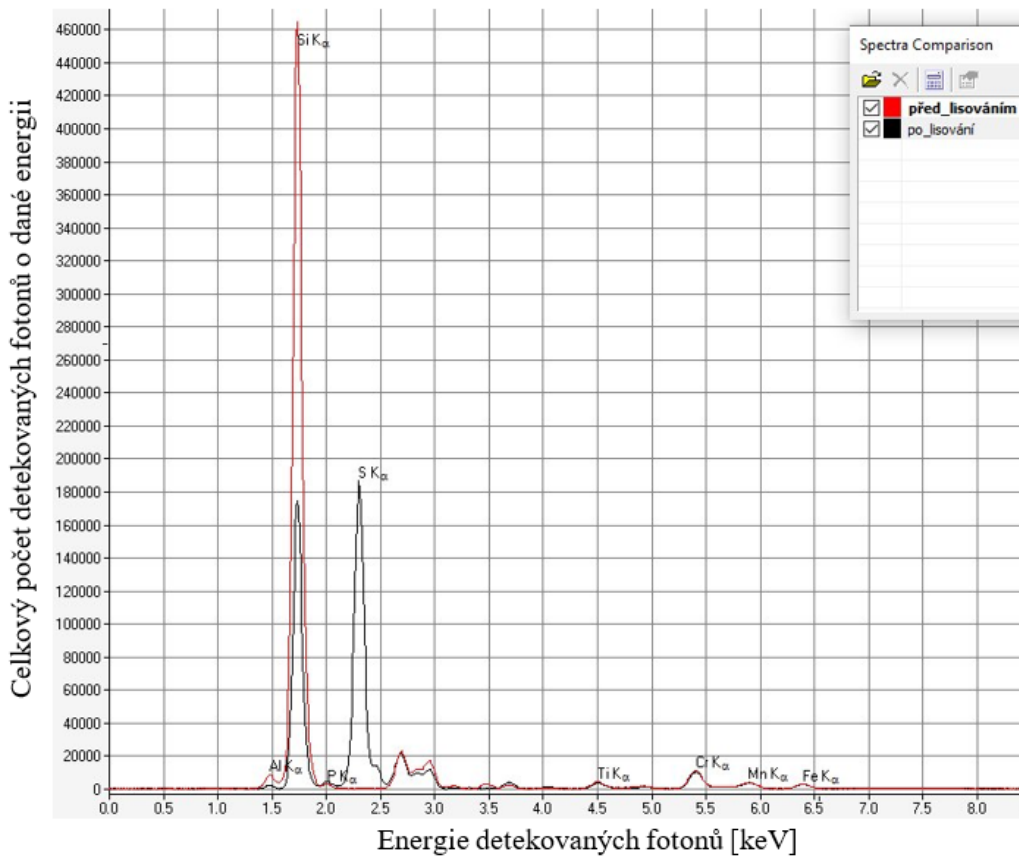
Obr. 46. Zkušební destička Al – těžké prvky



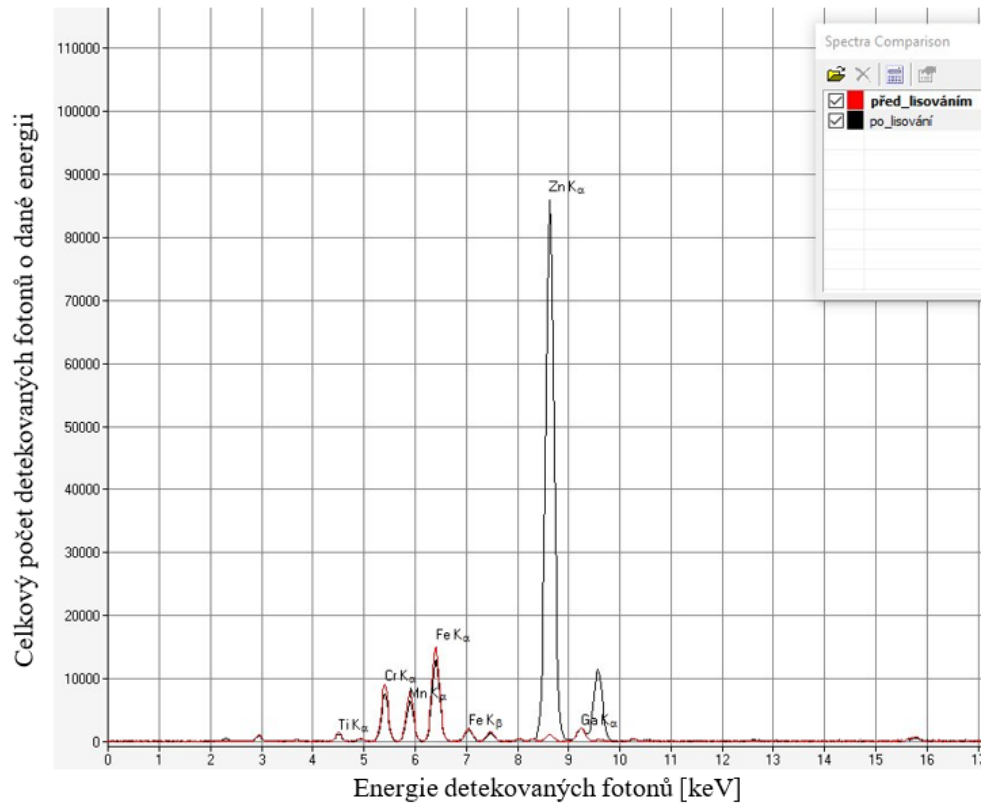
Obr. 47. Zkušební destička Al pískovaný – lehké prvky



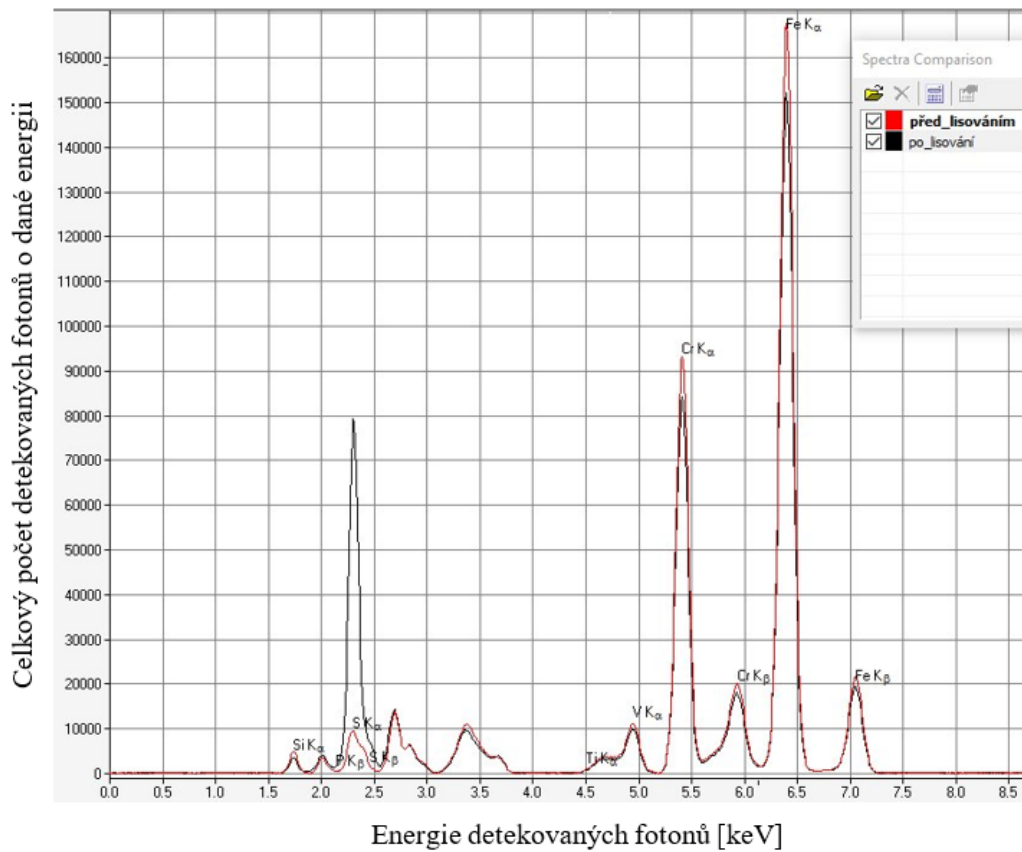
Obr. 48. Zkušební destička Al pískovaný – těžké prvky



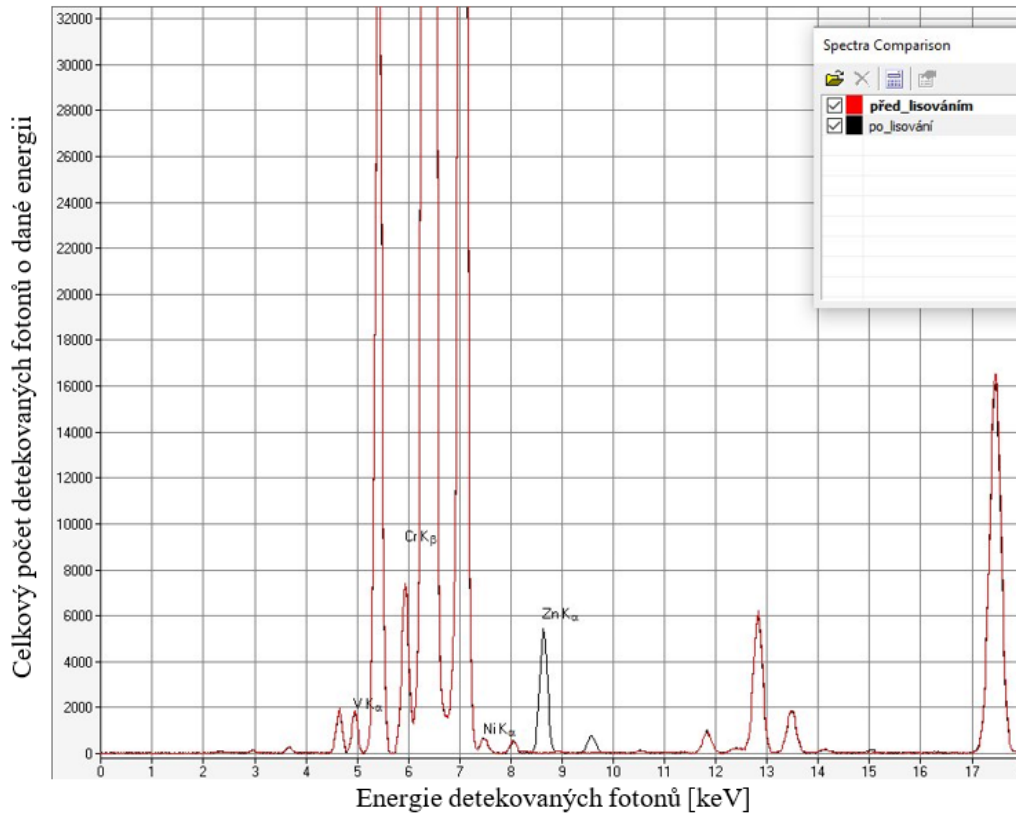
Obr. 49. Zkušební destička Al Sigaan – lehké prvky



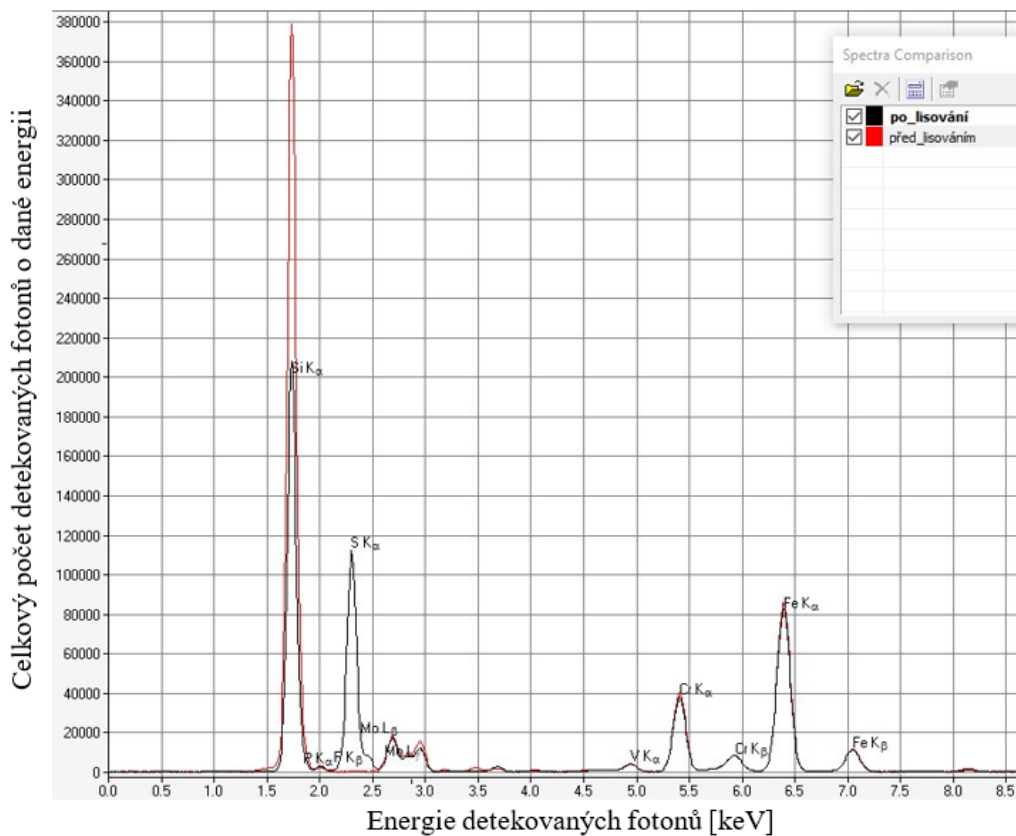
Obr. 50. Zkušební destička Al Sigaan – těžké prvky



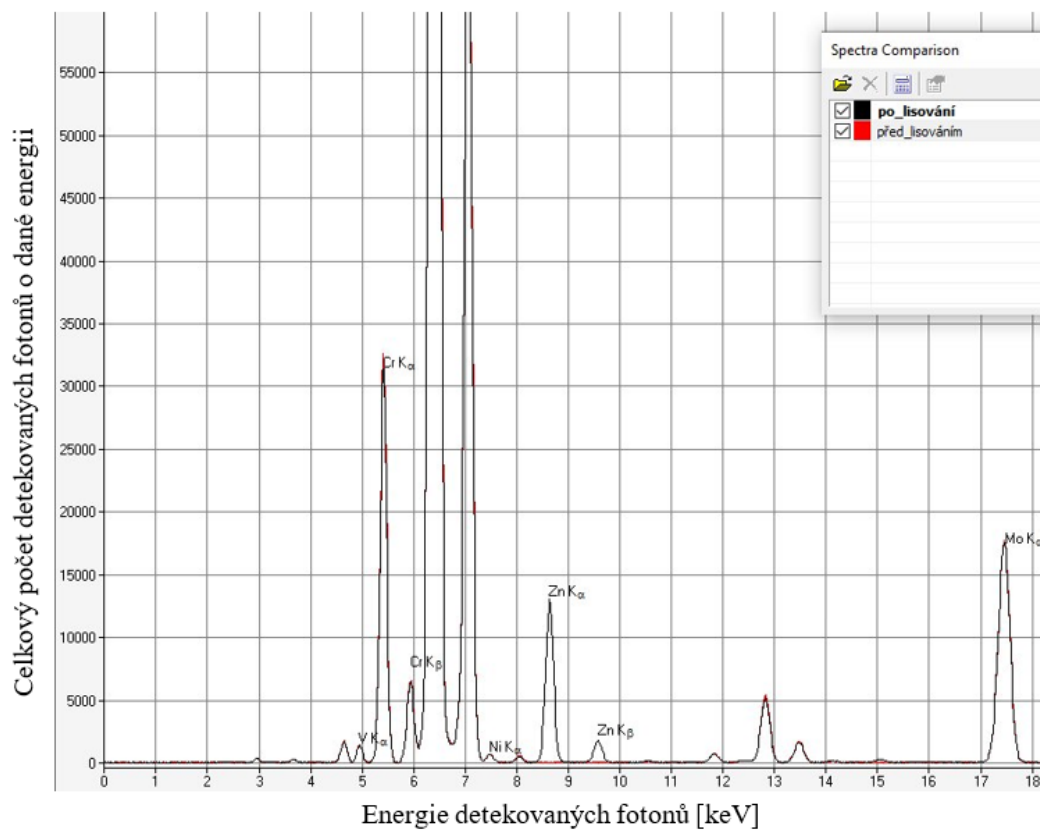
Obr. 51. Zkušební destička 1.2343 – lehké prvky



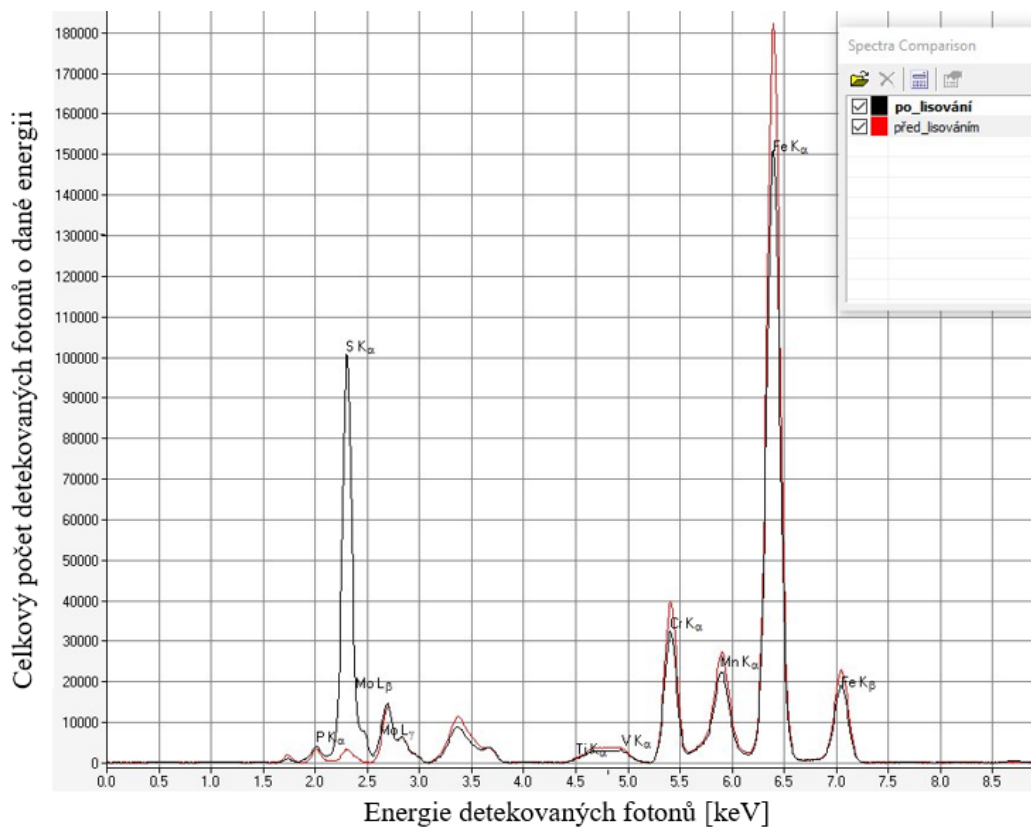
Obr. 52. Zkušební destička 1.2343 – těžké prvky



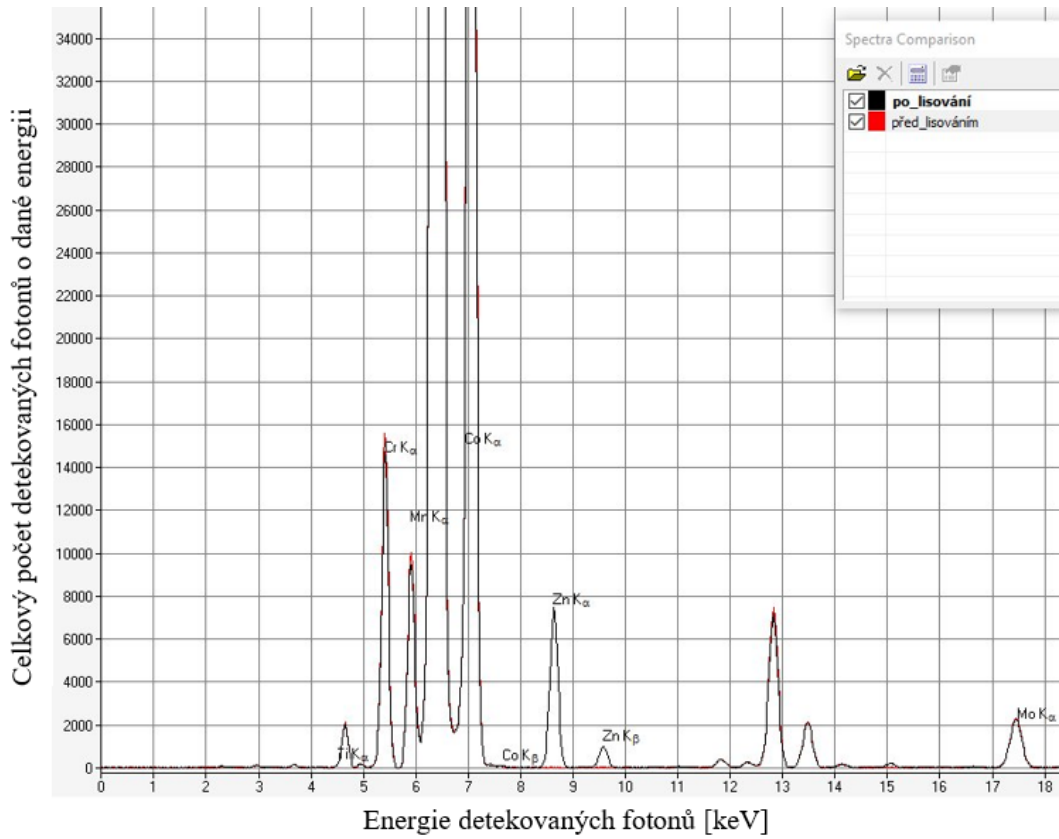
Obr. 53. Zkušební destička 1.2343 Sigaan – lehké prvky



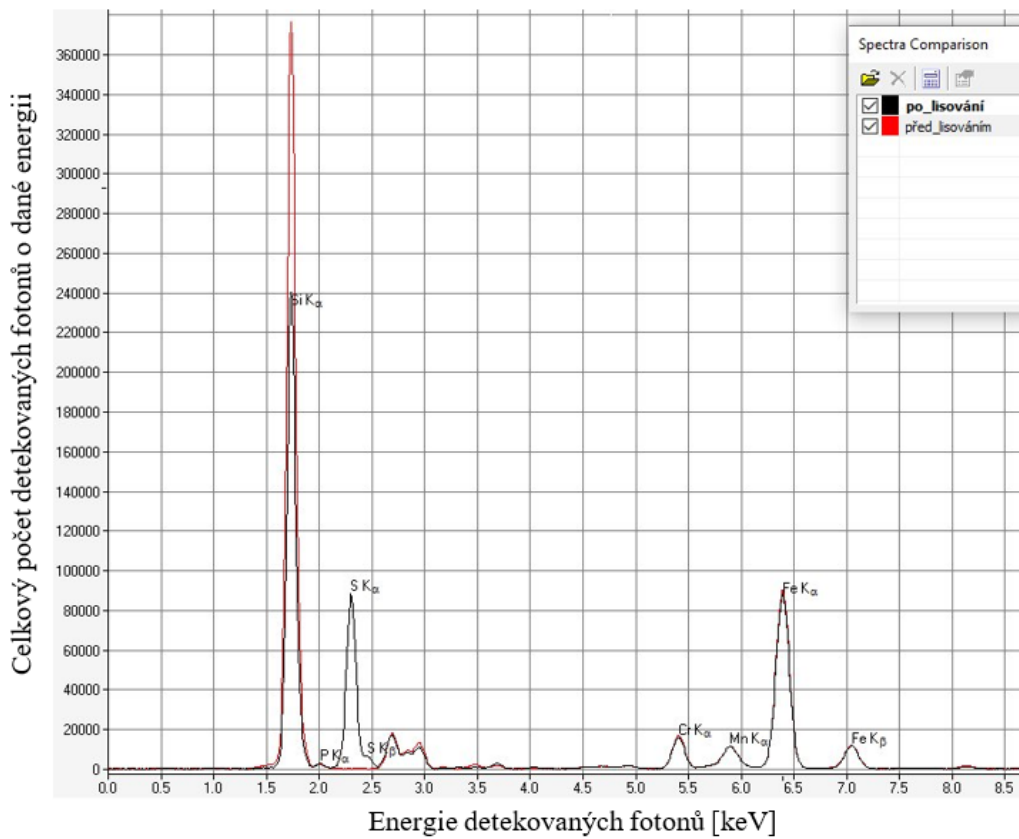
Obr. 54. Zkušební destička 1.2343 Sigaan – těžké prvky



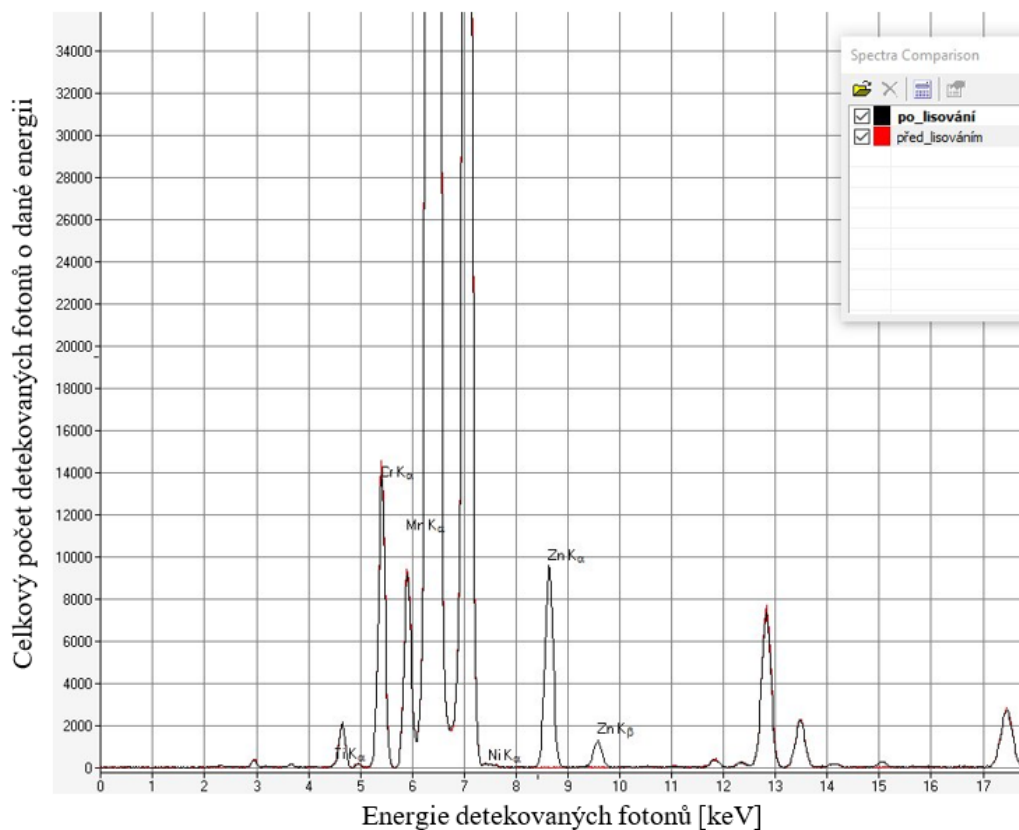
Obr. 55. Zkušební destička 1.2312 – lehké prvky



Obr. 56. Zkušební destička 1.2312 – těžké prvky



Obr. 57. Zkušební destička 1.2312 Sigaan – lehké prvky



Obr. 58. Zkušební destička 1.2312 Sigaan – těžké prvky

Měřením nekontaminovaných a kontaminovaných testovaných ploch zkoumaných destiček rentgenovou fluorescenční spektrometrií byly zjištěny rozdíly v přítomnosti prvků nalezených na površích zkoumaných destiček. Na každém obrázku je zobrazeno XRF spektrum destičky před lisováním a po 150 lisovacích cyklech. Na všech obrázcích je patrný rozdíl v XRF spektrech. Na XRF spektrech pořízených na destičkách vyrobených ze slitin hliníku bez povrchové úpravy (Al) (Obr. 45, Obr. 46) a s pískovaným povrchem (Al pískovaný) (Obr. 47, Obr. 48) jsou patrné změny v odrazech píků, které patří Al, S a Zn. Na XRF spektrech pořízených na destičce vyrobené ze slitiny hliníku s povrchovou úpravou Sigaan (Al Sigaan) (Obr. 49, Obr. 50) jsou patrné změny v odrazech píků, které patří Si, S a Zn. Na XRF spektrech pořízených na destičce vyrobených z ocelí 1.2343 a 1.2312 bez povrchové úpravy (Obr. 51, Obr. 52, Obr. 55, Obr. 56) jsou patrné změny v odrazech píků, které patří S, Zn a Fe. Na XRF spektrech pořízených na destičce vyrobených z ocelí 1.2343 a 1.2312 s povrchovou úpravou Sigaan (Obr. 53, Obr. 54, Obr. 57, Obr. 58) jsou patrné změny v odrazech píků, které patří Si, S a Zn.

Odrazy píků patřících Zn a S jsou ve všech případech vyšší ve spektrech měřených po lisování, odrazy píků patřících Si, Al a Fe jsou naopak nižší. To znamená, že Si, který je základním prvkem povrchové úpravy Sigaan a Al a Fe, které jsou základními prvky destiček ze slitiny hliníku a ocelových destiček, jsou překryty kontaminantem, který obsahuje prvky Zn a S.

Zn a S se běžně přidávají do kaučukových směsí v rámci vulkanizačního systému. U Zn se konkrétně může jednat o aktivátor vulkanizace ZnO, S se přidává jako vulkanizační činidlo. Již v předchozích pracích [43] [44] bylo uváděno zjištění vlivu sulfidu zinečnatého (ZnS) na zdroj vzniku kontaminace. Z tohoto místa se kontaminace postupně rozšiřuje po celém povrchu.

12.5 Porovnání kontaktních úhlů

Tab. 5. Průměrné naměřené kontaktní úhly před lisováním a po 150 lisovacích cyklech

Destička	Ø úhel [°] před lisováním	Ø úhel [°] po 150 lis. cyklech
Al	(57 ± 5)	(115 ± 4)
Al pískovaný	(67 ± 5)	(121 ± 7)
Al Sigaan	(40 ± 5)	(126 ± 9)
1.2343	(107 ± 5)	(110 ± 3)
1.2343 Sigaan	(38 ± 9)	(121 ± 3)
1.2312	(70 ± 11)	(116 ± 5)
1.2312 Sigaan	(47 ± 6)	(119 ± 4)

Z tabulky (Tab. 5) vyplývá, že u hliníkové destičky došlo po pískování ke zvýšení kontaktního úhlu smáčení s vodou, po povrchové úpravě Sigaan byla naměřena nižší hodnota kontaktního úhlu. Data zároveň ukazují, že ačkoliv měly obě čisté ocelové destičky (1.2343 a 1.2312) vyšší kontaktní úhel smáčení než čistá hliníková destička, po úpravě Sigaan se všechny tři materiály projevovaly z hlediska hydrofilicity obdobně. V případě použití této úpravy tedy nemá materiál formy vliv na její schopnost být smáčena vodou. Dále je zjevné, že po 150 lisovacích cyklech nedochází k opotřebení povrchové úpravy, nýbrž ke kontaminaci povrchu formy bez ohledu na provedené či neprovedené povrchové úpravy, jelikož průměrné kontaktní úhly smáčení jsou po těchto lisováních v rámci odchylek do jisté míry srovnatelné.

Tato skutečnost potvrzuje, že se na povrchu vytvoří nová vrstvička, která má charakter kontaminantu a překryje základní povrch. Ze získaných dat z měření kontaktních úhlů je patrné, že se charakter povrchu zkoumaných destiček po 150 lisovacích cyklech změnil. Získaná data se sjednocují, což chápeme jako důkaz toho, že na destičkách ulpěla právě pryž.

ZÁVĚR

Nejdůležitějším problémem z hlediska výrobního zatížení forem je kontaminace povrchu dutin forem. Cílem práce bylo zjistit, informace o kontaminantech, tzn. jejich složení a místa, kde dochází k prvotnímu ulpívání kontaminantů na povrch dutiny formy.

Pro experiment bylo použito sedm zkušebních destiček, které po vložení do lisovací formy simulovali sedm různých povrchů při jednom lisovacím cyklu. Při lisování byla použita kaučuková směs pro výrobu bočnic pneumatik plášťů osobních automobilů. Tři zkušební destičky byly vyrobeny ze slitiny hliníku AlMg3Si1, z toho jedna byla bez úpravy, druhá byla pouze pískovaná a třetí byla pískovaná a opatřena PVD povrchovou úpravou nazvanou Sigaan (obsahuje Si a B). Dvě zkušební destičky byly vyrobené z nástrojové oceli 1.2343, z toho jedna byla broušena a druhá byla opatřena PVD povrchovou úpravou Sigaan. Poslední dvě zkušební destičky byly vyrobené z nástrojové oceli 1.2312, z toho jedna byla broušena a druhá byla opatřena PVD povrchovou úpravou Sigaan.

Před provedením experimentu bylo provedeno měření drsnosti a měření kontaktního úhlu smáčení s vodou na povrchu zkušebních destiček, a následně byly pořízeny mikroskopické snímky jejich povrchů. Dále byly provedeny nedestruktivní analýzy FTIR a XRF. Po 75 lisovacích cyklech byly pořízeny mikroskopické snímky a byla provedena analýza FTIR. Po posledním lisování o počtu 150 lisovacích cyklů byly opět pořízeny mikroskopické snímky a byla provedena všechna měření zmíněná výše na površích zkušebních destiček.

Porovnáním vzhledu zkušebních destiček bylo patrné, že se zvyšujícím se počtem lisovacích cyklů docházelo k většímu ulpívání kontaminantů na povrchu destiček. Mikroskopické snímky zkušebních destiček tuto skutečnost potvrzují.

Analýzou FTIR bylo zjištěno, že u všech destiček byly výraznější náznaky pásu odpovídající pravděpodobně $-CH_2$ funkčním skupinám. Na IČ spektru destičky ze slitiny hliníku bez povrchové úpravy byl patrný spektrální pás odpovídající pravděpodobně amidům ($-NH-$ skupiny) a dále pás charakteristický $-CH_3$ skupinami. U slitiny hliníku s pískovaným povrchem byly objeveny nasycené ketony s obsahem karboxylové skupiny (charakteristický uhlovodíkovým řetězcem $R-CO-R'$) a amidy (charakteristické peptidovou vazbou $-CO-NH-$). U zmíněných destiček se na IČ spektru projevil pás, který patří amidům karboxylových skupin. Všechny zmíněné látky mohou mít původ v použitých změkčovadlech. Bylo zjištěno, že z karboxylových skupin se v čase tvoří skupina amidová $-NH_2$. U destiček z materiálů 1.2343 a 1.2312 se vyskytují spektrální pásy stejných vlnočtů jako u destiček vyrobených ze

slitiny hliníku. Při porovnání IČ spekter destiček s povrchovou úpravou Sigaan a IČ spekter z ostatních povrchů zkoumaných destiček nebyl zjištěn významný rozdíl. Došlo k jejich zanesení do stejné míry jako u povrchů, kde není úprava Sigaan. Výhodou povrchu Sigaan je však skutečnost, že se lépe čistí. Povlak nanesený PVD technikou je několikanásobně tvrdší než zakalená ocel, natož slitiny hliníku.

Analýzou XRF byly zjištěny rozdíly v přítomnosti prvků nalezených na površích zkoumaných destiček. Ve všech případech byly zjištěny vyšší odrazy píků Zn a S, které se běžně přidávají do kaučukových směsí (aktivátor vulkanizace a vulkanizační činidlo).

Výsledky měření drsnosti povrchu zkušebních destiček po lisování neukazují žádný jednoznačný výsledek.

Měřeními kontaktních úhlů bylo zjištěno, že se charakter povrchu zkoumaných destiček změnil. Tato skutečnost potvrdila, že se na povrchu bez ohledu na druhu povrchové úpravy vytvořila nová vrstvička neboli kontaminant, který překryl základní povrch destiček.

Diplomová práce prokazuje složitost problému kontaminace forem. Používané metody zkoumání vykazují jejich oprávněnost použití v širokém spektru výsledků a jejich citlivosti na řešený problém.

Postupně bylo přistupováno k rozšiřování metod zkoumání problematiky, sledování vlivu počtu lisovacích cyklů, složení materiálů a povrchové úpravy povrchu formy.

U provedených laboratorních prací se odhalilo, že kontaminace povrchu formy pravděpodobně spočívá v energetické aktivaci jakéhokoli povrchu v počátku prvních lisovacích cyklů a nezávisí na použitém materiálu formy. Důležité je definovat, jak kontaminant odstranit s minimálními náklady a bez porušení povrchu formy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] J. S. Dick, Rubber technology : compounding and testing for performance, 2. editor, Mnichov: Hanser Publishers ; Hanser Publications, 2009, p. 567, ISBN 978-3-446-42155-4.
- [2] „Industry-eu.cz, Business portal,“ 24 04 2020. [Online]. Available: <https://www.industry-eu.cz/firmy/gumarna-morava-s-r-o>.
- [3] Š. Prekop, Gumárenská technológia II, Trenčín: GC TECH Ing. Peter Gerši ve spolupráci s univerzitou A. Dubčeka v Trenčíně, 2003, p. 374, ISBN 80-88914-85-x.
- [4] J. Řasa, V. Haněk a J. Kafka, Strojírenská technologie - Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel. Zásady montáže., Praha: Scientia, spol. s.r.o., pedagogické nakladatelství, 2003, p. 505, ISBN 80-7183-284-7.
- [5] „Technologie II., Technická univerzita Liberec,“ 24 04 2020. [Online]. Available: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/09.htm.
- [6] P. Jones, The Mould Design Guide, Shropshire UK: Smithers Rapra Technology Limited, 2008, ISBN 978-1-84735-088-6.
- [7] V. Machek, Kovové materiály 3: speciální kovové materiály., Praha: České vysoké učení technické, 2015, p. 118, ISBN 978-80-01-05685-1.
- [8] W. Callister a D. Rethwisch, Material science and engineering an introduction, Danvers: John Wiley & Sons, Inc., 2010, p. 999, ISBN 978-0-470-41997-7.
- [9] T. Kvačkaj a R. Bidulský, Aluminium Alloys, Theory and Applications, Rijeka: InTech, 2011, p. 412, ISBN 978-953-307-244-9.
- [10] „Hliník a slitiny hliníku,“ 13 12 2019. [Online]. Available: https://www.opi.zcu.cz/download/Slitiny09_10.pdf.
- [11] J. Suchánek, Erozivní opotřebení materiálů, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014, p. 294, ISBN 978-80-01-05532-8.

- [12] M. Hazlinger a R. Moravčík, Chemicko-tepelné spracovanie materiálov, Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2013, p. 171, ISBN 978-80-227-3924-5.
- [13] „Slideplayer.cz Inc.,“ 24 04 2020. [Online]. Available: <https://slideplayer.cz/slide/3660630/>.
- [14] A. Humár, Materiály pro řezné nástroje, Praha: MM publishing, s.r.o., 2008, p. 235, ISBN 978-80-254-2250-2.
- [15] „Julich Forschungszentrum,“ 29 01 2020[Online]. Available: https://www.fz-juelich.de/iek/iek-1/EN/Expertise/Duennschichttechnologien/PVD_CVD.html?nn=511122.
- [16] „Oxford instruments - Plasma technology,“ 29 01 2020 [Online]. Available: <https://plasma.oxinst.com/campaigns/technology/chemical-vapour-deposition>.
- [17] R. W. Revie a H. H. Uhlig, Corrosion and Corrosion Control - An Introduction to Corrosion Science and Engineering, 4.th edition editor, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2008, p. 490, ISBN 978-0-471-73279-2.
- [18] M. Hroch, „Přírodní vědy a technika,“ 29 01 2020 [Online]. Available: <http://www.astronom.cz/procyon/chemistry/elox.html>.
- [19] „Galvanovna Omega,“ 29 01 2020 [Online]. Available: <http://www.galvanovnaomega.cz/pokov/pokoveni.html>.
- [20] „Servis Armatur - nástřik plamenem,“ 29 01 2020 [Online]. Available: <http://www.servisarmatur.cz/index.php?page=flame-spray-with-melting-process>.
- [21] D. E. Packham, Mould Sticking, Fouling and Cleaning, Shropshire: Rapra Technology Limited, 2002, p. 116, ISBN 1-85957-357-6.
- [22] „Mold Fouling,“ Chem-Trend L.P., 17 01 2020. [Online]. Available: <https://chemtrend.com/problem/mold-fouling/>.
- [23] J. Dick, How to improve rubber compounds: 1800 experimental ideas for problem solving., 2nd edition editor, Munich: Carl Hanser Verlag, 2014, p. 407, ISBN 9781569905340.

- [24] Y.-j. Mai, X.-h. Jie, L.-l. Liu, N. Yu a X.-x. Zheng, „Surface and Intergace Analysis,“ John Wiley & Sons, Ltd., 2011, DOI 10.1002/sia.3799.
- [25] J. Davin, Surface integrity in machining., London : Springer, 2009, ISBN 978-1-84882-873-5.
- [26] H. Rees a B. Catoen, Selecting injection molds: weighing cost vs. productivity, Munich: Hanser Publishers, 2006, ISBN 1569903891 .
- [27] M. Bukhina, Y. Morozov, P. Van de Ven a J. Noordermeer, „Mould fouling of EPDM rubber compounds,“ *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, pp. 172-182, 2003, .
- [28] J. Sommer, Troubleshooting rubber problems., Munich: Hanser Publications, 2013. ISBN 9781569905531.
- [29] Z. Dvořák, D. Shejbalová a J. Hába , „Kontaminace vulkanizačních forem,“ *Gumárenské listy*, č. 4, pp. 9-14, 2019.
- [30] P. Hornsby , I. Singh, J. Daley a J. Firth, „Characterization of Mold Fouling During Elastomer Injection Molding,“ *Journal of applied polymer science*, č. 4, 2006.
- [31] L. Zeman, „Sborník Formy 2017 - Údržba a oprava vstřikovacích forem,“ 17 01 2020. [Online]. Available: <https://www.technickytydenik.cz/priloha/5ab7b3998309b/lubomirzeman-5ab7b6dc8d398.pdf>.
- [32] „Lascam,“ 24 04 2020. [Online]. Available: <https://www.lascam.cz/cisteniprovoznich-necistot-z-forem/>.
- [33] G. Stachowiak, Wear - Materials, Mechanisms and Practice, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2005, p. 458, ISBN-13:978-0-470-01628-2.
- [34] P. Beneš a L. Krejčík, „Koroze a konzervace, MM průmyslové spektrum,“ MM publishing, s.r.o., 2014. 17 01 2020 [Online]. Available: <https://www.mmspektrum.com/clanek/koroze-a-konzervace.html>
- [35] F. Cverna a S. Dunigan, Worldwide Guide to Equivalent Nonferrous Metals and Alloys, Materials Park: ASM International, 2001, ISBN 0-87170-741-1.

- [36] B. Edelstahl, „Bogner Edelstahl,“ 03 04 2020. [Online]. Available: http://www.bogner.cz/files/files/Materialovy_list_1.2343.pdf.
- [37] JKZ Bučovice, a.s., „JKZ Bučovice, a.s.,“ 03 04 2020. [Online]. Available: <https://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/na-vyrobu-forem/w-nr-12312/>.
- [38] L. Sýkorová, J. Knedlová, D. Měřínská a V. Pata, „Comparison of Quantitative Changes after passing the Laser Beam trough Polymeric Material,“ 01 04 2020. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Nicolet-Avatar-320-ATR_fig2_335295862.
- [39] M. Shackley, X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology, California: Springer Science+Business Media, 2011, ISBN 978-1-4419-6885-2.
- [40] „Krüss Advancing your Surface Science,“ 01 04 2020. [Online]. Available: <https://www.kruss-scientific.com/products/drop-shape/dsa30/drop-shape-analyzer-dsa30/>.
- [41] K. Mittal, Advances in contact angle, wettability and adhesion, Volume 3, Beverly: Jhon Wiley & Sons, Inc., 2018, ISBN 978-1-119-45995-8.
- [42] R. Pashley a M. Karaman, Applied colloid and surface chemistry, Hoboken, N.J.: J.Wiley, 2004, ISBN 0470868821.
- [43] B. Van Baarle, „Mold fouling during vulcanization,“ *Rubber World*, December 2001.
- [44] B. Van Baarle, „Mold fouling during rubber vulcanization,“ *Rubber World*, December 2004.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

.stl	Souborový formát 3D tisku stereolitografie
μl	Mikrolitr
μm	Mikrometr
A (%)	Deformace v procentech
A_{c1}	Překrystalizační teplota
A_{c3}	Překrystalizační teplota
A_{cm}	Segregační teplota
Al	Hliník
Al_2O_3	Oxid hlinitý
Apod.	A podobně
Ar	Argon
C	Uhlík
cm^{-1}	Centimetr na minus prvou
cm^3	Centimetr krychlový
Co	Kobalt
CO	Oxid uhelnatý
CO_2	Oxid uhličitý
Cr	Chrom
Cu	Měď
EDM	Obrábění elektrodou
Fe	Železo
g	Gram
hm%	Hmotnostní procenta
HV	Tvrдость podle Vickerse

CH ₂	Methylen
CH ₃	Methyl
IČ	Infračervený
KOH	Hydroxid draselný
m ²	Metr čtvereční
MAG	Poloautomatické svařování kovů v ochranné atmosféře aktivního plynu
Mg	Hořčík
MIG	Poloautomatické svařování kovů v ochranné atmosféře inertního plynu
mm	Milimetr
Mn	Mangan
Mo	Molybden
MPa	Megapascal
N ₂	Molekula dusíku
NaOH	Hydroxid sodný
Např.	Například
Nb	Niobium
NH	Amidová skupina
NH ₂	Amidová skupina
Ni	Nikl
Obr.	Obrázek
Ra	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
Rm	Pevnost v tahu
Rp	Pevnost v kluzu
Rz	Největší výška profilu
s	Sekunda
S	Síra

Sa	Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu
Si	Křemík
SiC	Karbid křemíku
Sp	Maximální výška piku (vrcholu) omezené stupnice povrchu
Sv	Maximální hloubka prohlubně omezené stupnice povrchu
T (°C)	Teplota ve stupních celsia
Tab.	Tabulka
Ti	Titan
V	Vanad
W	Wolfram
WIG	Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atm. inertního plynu
Zn	Zinek
ZnO	Oxid zinečnatý
ZnSe	Selenid zinečnatý

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Gumárenské výrobky [2]</i>	9
<i>Obr. 2. Lisování v uzavřené lisovací formě [5]</i>	10
<i>Obr. 3. Postup při cementaci [13]</i>	21
<i>Obr. 4. Princip nanášení PVD vrstvy iontovou implantací [15]</i>	23
<i>Obr. 5. Princip nanášení CVD vrstvy [16]</i>	24
<i>Obr. 6. Princip eloxování hliníku [18]</i>	25
<i>Obr. 7. Princip elektrochemického (galvanického) pokovování [19]</i>	26
<i>Obr. 8. Nástřik plamenem [20]</i>	27
<i>Obr. 9. Vada výrobku způsobena kontaminovanou formou [22]</i>	28
<i>Obr. 10. Nárůst síly potřebné k odformování v závislosti na střední hodnotě drsnosti povrchu formy [29]</i>	30
<i>Obr. 11. Lisovací forma částečně znečištěna, částečně vyčištěna laserem [32]</i>	32
<i>Obr. 12. Závislost opotřebení lisovací formy na čase [33]</i>	34
<i>Obr. 13. Schematicky znázorněné obecné mechanismy opotřebení [33]</i>	35
<i>Obr. 14. Zkušební destičky</i>	45
<i>Obr. 15. Měření drsnosti na přístroji Alicona InfiniteFocus G5 plus</i>	46
<i>Obr. 16. Mikroskop ProScope HR a pořízení mikroskopického snímku na zkušební destičce</i>	46
<i>Obr. 17. FTIR analýza na spektrometru Nicolet AVATAR 320 FT – IR</i>	47
<i>Obr. 18. Rentgenový fluorescenční spektrometr ElvaX</i>	48
<i>Obr. 19. Krüss Drop Shape Analyzer – DSA30 (vlevo) [40], umístění a průběh kapání na zkušební destičku (vpravo)</i>	50
<i>Obr. 20. Lisovací forma k provedení experimentu s vyznačenými zkušebními destičkami</i>	52
<i>Obr. 21. Vulkanizační lis IGTT – hydraulický</i>	52
<i>Obr. 22. Nastříhané a navážené nálože</i>	53
<i>Obr. 23. Graf znázorňující průběh lisovacího cyklu</i>	53
<i>Obr. 24. Zkušební destičky před lisováním</i>	55
<i>Obr. 25. Zkušební destičky po 75 lisovacích cyklech</i>	55
<i>Obr. 26. Zkušební destičky po 150 lisovacích cyklech</i>	56
<i>Obr. 27. Zkušební destička Al</i>	56
<i>Obr. 28. Zkušební destička Al pískovaný</i>	56

<i>Obr. 29. Zkušební destička Al Sigaan</i>	57
<i>Obr. 30. Zkušební destička 1.2343</i>	57
<i>Obr. 31. Zkušební destička 1.2343 Sigaan</i>	57
<i>Obr. 32. Zkušební destička 1.2312</i>	57
<i>Obr. 33. Zkušební destička 1.2312 Sigaan</i>	58
<i>Obr. 34. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky Al před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech</i>	58
<i>Obr. 35. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky Al pískovaný před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech</i>	59
<i>Obr. 36. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky Al Sigaan před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech – oblast mimo skvrnu</i>	59
<i>Obr. 37. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky Al Sigaan před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech – oblast skvrny</i>	60
<i>Obr. 38. Srovnávací graf analýz FTIR všech zkušebních destiček Al před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech</i>	60
<i>Obr. 39. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky 1.2343 před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech</i>	61
<i>Obr. 40. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky 1.2343 Sigaan před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech</i>	61
<i>Obr. 41. Srovnávací graf analýz FTIR všech zkušebních destiček 1.2343 před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech</i>	62
<i>Obr. 42. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky 1.2312 před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech</i>	62
<i>Obr. 43. Srovnávací graf analýz FTIR zkušební destičky 1.2312 Sigaan před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech</i>	63
<i>Obr. 44. Srovnávací graf analýz FTIR všech zkušebních destiček 1.2312 před lisováním, po 75 lisovacích cyklech a po 150 lisovacích cyklech</i>	63
<i>Obr. 45. Zkušební destička Al – lehké prvky</i>	65
<i>Obr. 46. Zkušební destička Al – těžké prvky</i>	66
<i>Obr. 47. Zkušební destička Al pískovaný – lehké prvky</i>	66
<i>Obr. 48. Zkušební destička Al pískovaný – těžké prvky</i>	67
<i>Obr. 49. Zkušební destička Al Sigaan – lehké prvky</i>	67
<i>Obr. 50. Zkušební destička Al Sigaan – těžké prvky</i>	68

<i>Obr. 51. Zkušební destička 1.2343 – lehké prvky</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 52. Zkušební destička 1.2343 – těžké prvky.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 53. Zkušební destička 1.2343 Sigaan – lehké prvky</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 54. Zkušební destička 1.2343 Sigaan – těžké prvky</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 55. Zkušební destička 1.2312 – lehké prvky</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 56. Zkušební destička 1.2312 – těžké prvky.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 57. Zkušební destička 1.2312 Sigaan – lehké prvky</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 58. Zkušební destička 1.2312 Sigaan – těžké prvky</i>	<i>72</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Chemické složení slitiny hlinku AlMg3Si1 [35].....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 2. Chemické složení oceli 1.2343 [36].....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 3. Chemické složení oceli 1.2312 [37].....</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 4. Drsnosti povrchů zkušebních destiček před a po lisování (μm)</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 5. Průměrné naměřené kontaktní úhly před lisováním a po 150 lisovacích cyklech</i>	<i>73</i>