

Kontaminace a ochrana povrchu forem vyrobených ze slitin Al

Bc. Martin Červenka

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Červenka**

Osobní číslo: **T13610**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Kontaminace a ochrana povrchu forem vyrobených ze slitin Al**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracování studie na vybrané téma
2. Vyberte materiály a metody k realizování praktické části
3. Vykonání experimentální části
4. Zpracujte vyhodnocení a diskuze výsledků experimentů



Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:


1. **DUCHÁČEK, V. Gumárenské suroviny a jejich zpracování**
2. **DVOŘÁK, Z. Zpracovatelské procesy gumárenské: pro konstrukční směry**
3. **Dle doporučení vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

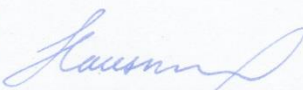
Datum zadání diplomové práce: **30. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2015**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: ČERVENKA MARTIN

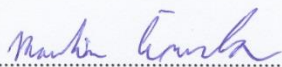
Obor: VÝROBNÍ INŽENÝRSTVÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 11.5.2015


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění

stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlíží k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou kontaminací a ochranou povrchu forem od vulkanizačních zbytků. V teoretické části je popsána skladby kaučukových směsí, míchání, technologie výroby, příčiny zanášení forem a úpravy povrchu. V praktické části je lisovaná kaučuková směs na zkušebních tělíscích vybraných slitin Al. Po odformování formy je zkoumán povrch tělísek metodou FTIR. Je stanoven závěr o kontaminaci povrchu a doporučení pro pokračování v experimentu.

Klíčová slova: kontaminace, vulkanizace, úpravy forem, FTIR

ABSTRACT

This thesis deals with problems of contamination and surface protection molds of vulcanization residues. The theoretical part describes the track rubber mixture, mixing, production technology, causes clogging of molds and surface finishes. The practical part is a molded rubber compound to test body selected aluminum alloys. After demolding the mold surface is examined by FTIR body. It is determined conclusion about the contamination of surface and recommendations to continue the experiment

Keywords: contamination, vulcanization, finish molds, FTIR

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Zdeňku Dvořákovi, CSc. Za ochotu a odborné vedení při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě a zaměstnancům Continental Barum s.r.o. kteří mi pomáhali.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 KAUKYKY	13
1.1 PŘÍRODNÍ KAUKYK	13
1.1.1 Výroba kaučuku z pampelišek	15
1.2 SYNTETICKÝ KAUKYK	15
1.2.1 Izoprenový kaučuk (IR)	16
1.2.2 Butadien-styrenový kaučuk (SBR)	16
1.2.3 Butadienový kaučuk (BR).....	17
1.2.4 Butylkaučuk (IIR)	17
1.2.5 Chloroprenový kaučuk (CR).....	18
1.2.6 Butadien-akrylonitrový kaučuk (NBR).....	18
1.2.7 Silikonový kaučuk (MQ).....	18
1.3 PŘÍSADY DO KAUKYKŮ A POMOCNÉ LÁTKY	19
1.3.1 Změkčovadla	19
1.3.2 Vulkanizační činidla.....	20
1.3.3 Retardéry vulkanizace	20
1.3.4 Urychlovače vulkanizace	20
1.3.5 Aktivátory vulkanizace	21
1.3.6 Antidegradanty	21
1.3.7 Plniva.....	22
1.3.8 Saze	22
1.3.9 Světlá plniva.....	23
1.3.10 Pigmenty	24
1.3.11 Nadouvadla	24
2 PŘÍPRAVA KAUKYKOVÝCH SMĚSÍ	25
2.1 PLASTIKACE KAUKYKU	25
2.2 MÍCHÁNÍ NA DVOUVÁLCI	25
2.3 PŘÍPRAVA SMĚSI V HNĚTACÍCH STROJÍCH.....	26
3 TECHNOLOGIE VÝROBY	28
3.1 LISOVÁNÍ	28
3.1.1 Lisovací cyklus.....	29
3.1.2 Způsob přípravy nálože.....	29
3.1.3 Vulkanizace ve formě	29
3.2 PŘETLAČOVÁNÍ	29
3.2.1 Přetlačovací cyklus.....	30
3.3 VSTŘIKOVÁNÍ.....	30
3.4 VYTLAČOVÁNÍ	31
3.5 VULKANIZACE.....	31
4 PŘÍČINY ZANÁŠENÍ FOREM	34
4.1 MECHANISMY ZNEČIŠTĚNÍ FOREM.....	34
4.1.1 Reakce styku kovu a organických látek	34

4.2	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ZNEČIŠTĚNÍ FOREM	35
4.2.1	Reakce styku kovu a organických látek	35
4.3	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ZNEČIŠTĚNÍ FOREM	35
4.3.1	Vliv povrchových vlastností formy	36
4.3.2	Vliv drsnosti formy	36
4.4	VLIV TECHNOLOGIE A TEPLoty NA ZNEČIŠTĚNÍ FOREM	37
4.4.1	Vliv vulkanizační teploty	37
4.4.2	Vliv množství vulkanizačních cyklů a doby otevření formy	38
4.5	VLIV JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK KAUČUKOVÉ SMĚSI NA ZNEČIŠTĚNÍ FOREM	38
4.5.1	Vliv polymeru	38
4.5.2	Vliv plniv	39
4.5.3	Vliv vulkanizačních činidel	39
4.5.4	Vliv změkčovadel	39
4.6	MOŽNOSTI SNÍŽENÍ ZNEČIŠTĚNÍ FOREM	40
4.6.1	Snížení znečišťování formy úpravou technologických parametrů	40
4.6.2	Chemická úprava formy	40
5	MATERIÁLY PRO VÝROBU FOREM	42
5.1	SLITINY HLINÍKU	43
5.1.1	Slitiny Al-Mg	44
5.1.2	Slitiny Al-Mg-Si	44
5.1.3	Slitiny Al-Mn	45
6	ÚPRAVY POVRCHU FOREM	46
6.1	CHEMICAL VAPOUR DEPOSITION (CVD)	46
6.2	PHYSICAL VAPOUR DEPOSITION (PVD)	47
7	SOUHRN TEORETICKÉ ČÁSTI	51
II	PRAKTICKÁ ČÁST	52
8	STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE	53
9	SLITINY HLINÍKU	54
9.1	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK ZE SLITIN AL	54
9.1.1	Měření jakosti povrchu zkušebních tělísek	55
9.1.2	Povrchová úprava zkušebních tělísek	58
10	ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKA PŘED LISOVÁNÍM	59
10.1	POVRCH ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK POD MIKROSKOPEM	59
11	PŘÍPRAVA KAUČUKOVÉ SMĚSI A LISOVÁNÍ	63
11.1	PŘÍPRAVA NÁLOŽE DO FORMY	65
11.2	VULKANIZACE FORMY	66
11.2.1	Příprava formy	67
12	ANALÝZA VULKANIZAČNÍCH ZBYTKŮ	70
12.1	INFRAČERVENÁ SPEKTROMETRIE S FOURIEROVOU TRANSFORMACÍ	70
12.2	RENTGENOVÁ FLUORESCENČNÍ SPEKTROMETRIE	71
12.2.1	Spektrální analýza FTIR	71
12.2.2	Výsledky FTIR analýzy před lisováním	72
12.2.3	Výsledky FTIR analýzy při 50 a 100 zálisích	73

13 ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKA PO 100 CYKLECH LISOVÁNÍ	79
DISKUZE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ.....	82
ZÁVĚR	83
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	84
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	86
SEZNAM OBRÁZKŮ	88
SEZNAM TABULEK.....	90
SEZNAM PŘÍLOH.....	91

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá kontaminací a ochranou povrchu forem se slitin Al. Teoretická část se zabývá skladbou kaučukových směsí. Jsou popsány jednotlivé druhy kaučuků. Další část představuje komponenty kaučukových směsí jako vulkanizační činidla, urychlovače, aktivátory, retardéry, změkčovadla, plniva, antidegradanty, antioxidanty, antiozonanty, atd. Popsáno je míchání kaučukových směsí. Míchání na dvouválci a v hnětiči. Z hlediska významnosti je nejdůležitější míchání v hnětiči. Dále je popsána technologie výroby přetlačování, vytlačování, vstřikování a lisování. Kvůli vysokým nákladům na formu, které představují značnou část celkových nákladů na výrobu pryžového výrobku a během opakovaného čištění může dojít i k poškození formy, představuje znečišťování forem závažný problém. Ekonomické ztráty, které jsou způsobeny znečišťováním forem, jsou mnohdy značné. Hlavní příčiny jsou zatím zjištěny na základě zkušeností a pozorování. Těchto příčin je mnoho a mohou se i navzájem ovlivňovat. Mohou to být např. různé přísady v kaučukových směsích, vulkanizační teplota, povrchová úprava a materiál formy, konstrukce vulkanizační formy, použité technologie nebo samotný druh kaučuku apod. Přesné příčiny znečišťování forem nebyly doposud zjištěny. Znečištění formy vede k zvýšenému riziku výroby nekvalitních výrobků, nepříznivému ovlivnění vzhledu i tvarové a rozměrové odchylky výrobků a znesnadňuje vyjímání dílů z formy. Znečišťování vulkanizačních forem lze snížit např. vhodnou konstrukcí formy, použitím separačních činidel, úpravou technologických parametrů, volbou vhodného materiálu pro výrobu formy nebo chemickou úpravou formy apod. Separační činidla se používají především ke snadnějšímu vyjímání dílů z formy. Znečišťování forem lze snížit např. pochromováním povrchu, který přichází do styku s kaučukovou směsí. Lépe je však nečistoty zůstávající ve formě co možná nejdříve odstranit, a to bez porušení povrchu formy.

Pro praktickou část byla vyrobena zkušební tělíska z vybraných slitin Al. Povrch tělísek byl zhodnocen metodou FTIR. Z naměřených hodnot byl stanoven závěr o vhodnosti dané slitiny.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KAUČUKY

Pod pojmem kaučuky rozumíme takové polymery, které mohou být převedeny chemickým (nebo i fyzikálním) zesíťováním v elastomery (pryže). Kaučuk je základní složkou, který dává směsi i pryži základní charakteristické vlastnosti. Existuje široká škála kaučuků s typickými vlastnostmi, podle nichž volíme vhodný kaučuk pro danou aplikaci. Po zvolení základního elastomeru je třeba uvážit jeho gumovitost, tj. obsah ve směsi. Kaučuk jako základní složka směsi se někdy doplňuje regenerátem, popř. jiným polymerem. Ten mimo svou kaučukovitou hodnotu dává směsi i další vlastnosti, usnadňuje a zkracuje míchání, což představuje úsporu energie a zvýšení kapacity zařízení. Dále ovlivňuje zpracovatelnost, tj. směs se snadno a dobře tváří, dotéká a vyplňuje formu při lisování. Je-li regenerát jemný, směs se dobře vytlačuje, méně sráží a narůstá a vytlačený profil se při volné vulkanizaci nedeformuje. [1]

1.1 Přírodní kaučuk

Přírodní kaučuk se získává ze stromů kaučukovníku, obvykle z *Hevea brasiliensis*. Po naříznutí kůry stromu vytéká bílá, mlékovitá kapalina zvaná latex, která obsahuje 30 - 40% koloidních částic kaučuku (koloidní částicí jsou látky, které nejsou schopny krystalizace). Kaučuk se vysráží např. kyselinou mravenčí, vypere se vodou a suší se buď jen teplým vzduchem (bílá krepa) nebo dýmem (hnědá krepa, též jako uzený kaučuk). Z jednoho stromu lze získat 5 - 25 kg kaučuku. [7]



Obrázek 1 *Hevea brasiliensis* [9]

Rozvoj automobilového průmyslu a s ním rostoucí potřeba kaučuku na výrobu pneumatik přiměl chemiky k hledání odpovídající náhrady. I když se dnes vyrábí desítky druhů různých syntetických kaučuků, přírodní kaučuk se používá stále, protože dodává směsím žádané vlastnosti. Přírodní kaučuk se před vlastní přípravou směsi zpracovává tzv. lámáním. Příliš dlouhé řetězce se při něm štěpí účinkem vzdušného kyslíku v místě dvojných vazeb. [7]

Kaučukovníky rostou a přibližně od roku 1900 se i uměle pěstují na plantážích v tropických pásmech Jižní Ameriky, jihovýchodní Asie i Afriky. [6]

Hlavními zeměmi produkujícími přírodní kaučuk jsou v současné době Thajsko, Indonésie, Malajsie, Indie, Vietnam a Čína. Také západní Afrika se stává oblastí s významnou produkcí přírodního kaučuku. Přírodní kaučuk byl původně zpracováván do vizuálně odlišných druhů, jako například žebrované uzené desky (RSS), číslované 1 až 5, a hnědé a světlé krepy. Program technicky stanoveného kaučuku (Technically Specified Rubber (TSR)) byl zaveden v Malajsií před 50 let za účelem poskytnout zákazníkům měřitelné údaje týkající se vlastností kaučuku. [6]



Obrázek 2 Uzený kaučuk [10]

1.1.1 Výroba kaučuku z pampelišek

Na mezinárodním veletrhu užitkových vozidel v Hannoveru představila společnost Continental první testovací pneumatiky vyrobené z materiálu, pro který zvolila název Taraxagum odvozený z botanického názvu pampelišky (taraxacum). V běhounu testovacích pneumatik byl přírodní kaučuk zcela nahrazen materiálem Taraxagum. [8]

Přírodní kaučuk s názvem Taraxagum™ získávaný z asijské pampelišky je výsledkem společného úsilí společnosti Continental, Fraunhoferova institutu pro molekulární biologii a aplikovanou ekologii, Institutu Julia Kühna a ústavu pro šlechtění rostlin Aeskulap GmbH. Představuje alternativu k tradičnímu přírodnímu kaučuku z tropických oblastí. Tento inovativní materiál významnou měrou přispěje k udržitelnému zvýšení poptávky po přírodním kaučuku a omezí výkyvy na trhu s přírodním kaučukem. V květnu 2014 získal projekt pampeliškového kaučuku první místo v prestižní ekologické a ekonomické soutěži „GreenTec Award“ v kategorii automobilů. [8]



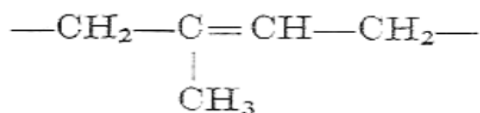
Obrázek 3 Plášt' ze směsi Taraxagum [8]

1.2 Syntetický kaučuk

Hlavní rozdíl mezi syntetickým a přírodním kaučukem je v technologii výroby. Přírodní kaučuk je čistě produktem přírody. Výroba syntetického kaučuku potřebuje výrobu monomerů, nejčastěji z petrochemických surovin a až poté probíhá polymerace. Syntetický kau-

čuk předstihl v mnohém vlastnosti přírodní kaučuku. Charakter syntetického kaučuku je dán chemickým složením, makro a mikrostrukturou. [2]

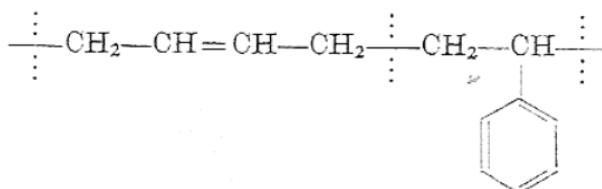
1.2.1 Izoprenový kaučuk (IR)



Obrázek 4 Izoprenový kaučuk

Pokud jde o lepidlost směsí, pevnost, odrazovou pružnost a strukturní pevnost, tak izoprenový kaučuk jakož to průmyslově vyráběný kaučuk je nejvíce podobný přírodnímu kaučuku. Za použití stereospecifických katalyzátorů byly připraveny polyizopreny s velkým obsahem cis-1,4- struktury. Použití IR je možno v běhounových a kostrových směsích pro výrobu pneumatik nákladních automobilu, letadel, traktorů, ale uplatnění našel i v lékařství a obuvnictví. IR se přidává do jiných kaučuku pro zlepšení zpracovatelnosti směsí. [2]

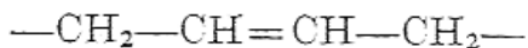
1.2.2 Butadien-styrenový kaučuk (SBR)



Obrázek 5 Butadien-styrenový kaučuk

Butadien-styrenový kaučuk je nejdůležitějším druhem syntetických kaučuků. SBR se připravuje emulzní nebo roztokovou polymerací. Emulzní polymerace butadienu a styrenu probíhá radikálovým mechanismem. Vzniklý kaučuk je ve formě latexu. Při roztokové polymeraci se nejčastěji používá jako katalyzátor lithium. Z důvodu horší zpracovatelnosti SBR než u NR je nutné přidávat změkčovadla. SBR se používá k výrobě pneumatik, kde se míchá s NR, z důvodu dosažení lepší konfekční lepidlosti. [2]

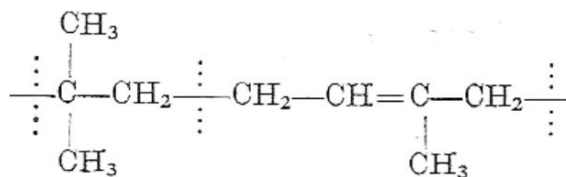
1.2.3 Butadienový kaučuk (BR)



Obrázek 6 Butadienový kaučuk

Butadienový kaučuk se používá pro výrobu pneumatik, řadí se na druhé místo v použití syntetických kaučuků. Nachází se téměř ve všech gumárenských směsích, kde je míchán s ostatními kaučuky. Samotný BR se těžko zpracovává. Butadienový kaučuk se připravuje roztokovou polymerací za pomoci organokovových katalyzátorů. Použitý kov ovlivňuje vlastnosti BR. Přítomnost BR v běhounových směsích má vliv na vyšší odolnost vůči praskání a opotřebení. Přítomnost BR snižuje koeficient tření a s tím je doprovázeno snížení záběrových podmínek, ty lze zlepšit přidáním sazí. Pro vulkanizaci BR se používá menší množství síry, které příznivě ovlivňuje odolnost vůči stárnutí. [2]

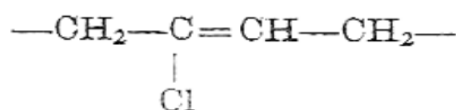
1.2.4 Butylkaučuk (IIR)



Obrázek 7 Butylkaučuk

Butylkaučuk se připravuje roztokovou kationtovou kopolymerací izobutylenu s izoprenem, reakce probíhá při -90°C . Je možno připravit halogenové deriváty zaváděním proudu halogenu do roztoku butylkaučuku. Tato modifikace kaučuků má vliv na lepší vlastnosti a lze je kovulkanizovat s kaučuky pro všeobecné použití. Hlavní výhodou je malá propustnost pro plyny, odolnost vůči kyslíku, ozonu a chemickému působení. IIR se používá na výrobu duší, membrán pneumatik, tlumicích prvků. Ze speciálních typů CIIR nebo BIIR se vyrábí vnitřní část pneumatik. [2]

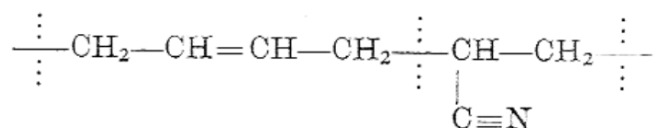
1.2.5 Chloroprenový kaučuk (CR)



Obrázek 8 Chloroprenový kaučuk

Chloroprenový kaučuk je jeden z nejstarších připravovaných druhů syntetického kaučuku. Má vysokou elasticitu, malou hořlavost a dobře odolává povětrnostním vlivům. Vyrábí se emulzní polymerací. Podle regulátoru molekulové hmotnosti máme G - typy (tiuramdisulfid, síra) a W - typy (merkaptany). K vulkanizaci není potřeba síry, vulkanizovat může působením oxidů kovu např. MgO, ZnO. Používá se na výrobu dopravních pásů, těsnění, membrán, klikových řemenů atd. [2]

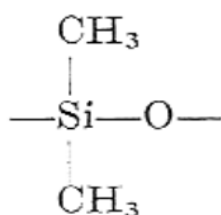
1.2.6 Butadien-akrylonitrový kaučuk (NBR)



Obrázek 9 Butadien-akrylonitrový kaučuk

Kopolymery na speciální použití. V přítomnosti minerálních olejů se nenadouvají, jsou odolné vůči teplu a nepolárním rozpouštědlům. Připravují se emulzní polymerací. Použití nacházejí v automobilovém průmyslu na výrobu těsnění, palivových soustav, klínových řemenů. [2]

1.2.7 Silikonový kaučuk (MQ)



Obrázek 10 Silikonový kaučuk

Silikonový kaučuk patří mezi speciální druhy kaučuků. Mezi jeho výhody řadíme dobrou snášenlivost s lidským organismem, odolností vůči ozonu, odolnost vůči vysokým teplotám a dobrou ohebnost za nízkých teplot. Použití nachází v rozmezí teplot od -60 až do 180°C. Polydimethylsloxan (MQ) je základním silikonovým polymerem a jako elastomeru se ho nepoužívá. Je přidáván převážně do licích, tmelových a nátěrových směsí. [2]

1.3 Přísady do kaučuků a pomocné látky

1.3.1 Změkčovadla

Změkčovadla jsou přísady zmenšující tuhost kaučukové směsi a tím usnadňují mechanické zpracování (míchání, válcování, vytlačování atd.). To mají splňovat nejrůznější nízko molekulové kapaliny nebo tuhé látky, pokud jsou mísitelné s kaučukem. Nejčastěji se používají minerální oleje. Změkčovadla fungují na principu pronikání mezi makromolekuly kaučuku, zvětšují jejich průměrnou vzdálenost, zmenšují propletení, omezují vnitřní tření mezi molekulami a usnadňují tak přeskupování hmoty. Přítomnost změkčovadel snižuje mechanické vlastnosti vulkanizátu (tvrdost, pružnost, mrazuvzdornost atd.). Rozhodující není druh změkčovadla, ale jeho množství. Použitím plniv zlepšíme disperzi plniv a snížíme spotřebu energie na míchání. Maziva jako vazelína nebo parafín jsou nepolární změkčovadla. Mají vliv na hladkost povrchu vytlačovaných profilů a fólií. Při vyšším dávkování vystupují na povrch v podobě souvislého filmu. To může být příznivé i při ochraně před ozonem. Snižují přilnavost k válcům a konfekční lepivost. Jako mazivo se chová i stearin, který je součástí aktivačního systému. [2]

Pryskyřice se používá ke zlepšení konfekční lepivosti a zpracovatelnosti, zvláště u syntetických kaučuků. Nejběžněji používanou pryskyřicí je kalafuna. Ze syntetických pryskyřic se používá kamaronová pryskyřice, která zlepšuje zpracovatelnost, ale konfekční lepivost ne tak dobře jako kalafuna. Emulzní změkčovadla zlepšují zpracovatelnost vysoce plněných směsí, zvláště při vytlačování nebo vstřikování a následné kontinuální vulkanizaci. Některé z emulzních změkčovadel nám mohou usnadnit homogenizaci kaučuků s rozdílnou strukturou a viskozitou.

Základní požadavky kladené na změkčovadla v gumárenském průmyslu jsou:

- dobrá mísitelnost s kaučukem
- nízká viskozita a malá závislost viskozity na teplotě [2]

- chemická a tepelná stabilita při zpracování směsí
- nízká těkavost [2]

1.3.2 Vulkanizační činidla

Aby z plastického stavu kaučuku byl převeden na elastickou pryž je potřeba vulkanizačních činidel. Při vulkanizaci se vytváří příčné chemické vazby mezi molekulami kaučuku a dochází ke zlepšení pevnosti, odrazové pružnosti, odolnosti vůči nízkým i vysokým teplotám a tvrdosti. Snižuje se tažnost. Obvyklým vulkanizačním činidlem je síra. Podle množství síry může vzniknout pryž:

- měkká: do 4 dsk síry, vysoce elastická
- polotvrdá: 12-25 dsk síry, snížené mechanické vlastnosti
- tvrdá: vysoká tvrdost, nízká tažnost a ohebnost

Mezi dále využívané vulkanizační činidla patří: selen, telur, peroxidy, reaktivní pryskyřice a donory síry. [2]

1.3.3 Retardéry vulkanizace

U směsí obsahující vysoce aktivní vulkanizační přísady nebo urychlovače vulkanizace je nutné použití retardérů vulkanizace. Retardéry vulkanizace chrání směs před předčasným navulkanizováním, například během míchání nebo během dalšího zpracování.

K předčasnému navulkanizování může dojít při zpracování v provozních podmínkách, kde je problém s chlazením technologických zařízení. Retardéry se dělí na: organické (kalafuna, octan sodný) a anorganické (MgO, PbO). [2]

1.3.4 Urychlovače vulkanizace

Při použití urychlovačů vulkanizace se doba potřebná k vulkanizaci snižuje z hodin na minuty. Tyto látky zároveň snižují vulkanizační teplotu a zlepšují vlastnosti pryže hlavně teplo vzdornost a odolnost proti stárnutí. Důležité je, že snižují potřebné množství síry k vulkanizaci. Urychlovače dělíme do skupin podle toho, jak rychle urychlují chemickou reakci. [2]

Máme 4 základní skupiny:

- pomalé (aminy, guanidiny)

- rychlé (tiazoly, sulfonamidy)
- velmi rychlé (tiuramy)
- ultra urychlovače (ditiokarbamáty, xantogenáty)

Dobrý urychlovač musí mít následující vlastnosti:

- bezpečný při zpracování danou technologií
- rychlý při vulkanizaci
- musí příznivě upravovat vlastnosti kaučuku
- nesmí být jedovatý nebo dráždivý
- nesmí zbarvovat vulkanizát
- musí být ekonomický [2]

1.3.5 Aktivátory vulkanizace

Bez přidání urychlovače síra není příliš účinným vulkanizačním činidlem. K vytvoření příčných vazeb mezi kaučukem by bylo nutné dávkovat velké množství síry nebo donoru síry. Podstata aktivace při vulkanizaci sírou spočívá ve zvýšení síťovací účinnosti vulkanizačního systému. Aktivátory jsou nejčastěji oxidy kovů: ZnO, MgO, CaO, PbO atd.

Osvědčený je oxid zinečnatý, kyselina stearová, a pro transparentní směsi stearan zinečnatý. Aktivátory vulkanizace s retardéry, vulkanizačními činidly a urychlovači tvoří vulkanizační systém. [2]

1.3.6 Antidegradanty

Po vulkanizaci jsou stále v polymeru přítomny dvojně vazby. Tyto vazby jsou napadány kyslíkem a ozonem. Dávají vznik nestabilním peroxidům a ozonidům, které se radikálově štěpí a následně dochází k procesu stárnutí pryže. Na stárnutí pryže se podílí působení tepla, světla, UV záření, dynamického, statického a mechanického namáhání. K zpomalování stárnutí se používají látky zvané Antidegradanty. Stárnutí je možné zpomalit použitím:

- antioxidantů a antiozonantů
- činidel chrání proti účinkům světla, hlavně UV záření
- ochranných vosků - potlačují hydrolýzu funkčních skupin [2]
- akceptorů rozkladných produktů [2]

1.3.7 Plniva

Většina gumárenských směsí obsahuje cca 30% plniv. Důvodem použití plniv je úprava zpracovatelnosti směsí a úprava fyzikálních a mechanických vlastností vulkanizátu. Další důvod je ekonomický. [2]

Plniva dělíme na:

- saze
- světlá plniva (minerální plniva)
- ostatní

Správné použití plniv závisí na technických požadavcích, použití ovlivní téměř všechny vlastnosti jako jsou: hustotu, tvrdost, modul, elasticitu, tažnost, strukturní pevnost, dále zpracovatelnost, propustnost pro plyny a páry, ale především cenu pryže. Zlepšení vlastností vulkanizátu plněním nazýváme - ztužení. Ve vulkanizátech má kromě sazí ztužující účinek i silika, některé silikáty, pigmenty a pryskyřice. S plněním klesá plasticita a směs se hůře hněte. [2]

Podle toho, jak jsou kaučukové směsi ovlivněny plnivy, se dělí:

Ztužující plniva často zvýší pevnost v tahu, strukturní pevnost a odolnost proti oděru (jemné saze, srážená silika, velikost částic 0,01 - 0,1 μm).

Poloztužující plniva podobně jako ztužující plniva zvýší pevnost v tahu, strukturní pevnost, ale nedojde ke zlepšení odolnosti proti oděru (hrubé saze, kaolin, srážený CaCO_3 , velikost částic 0,1 - 1 μm).

Neztužující plniva vůbec vlastnosti vulkanizátu nezlepší (měkký kaolin, mastek, CaCO_3 , velikost částic 1 - 10 μm). Částice nad 10 μm by se v kaučukových směsích neměli nacházet, protože iniciují ke vzniku trhlin. [2]

1.3.8 Saze

Saze se řadí mezi nejdůležitější gumárenská plniva, proto je i naprostá většina gumárenských výrobků černá. Saze svou černou barvou pohlcují světelné záření a tím výrobek chrání proti degradaci slunečním zářením. Ztužující účinek sazí je větší, čím menší jsou částice a čím větší je povrch sazí. Zavedením plniva do polymerní matrice změníme vlastnosti celého systému. Důležitým faktorem jsou povrchové síly mezi plnivem a matricí, tvar částic. Mezi reálnými plnivy jsou rozdíly, které závisí na velikosti částic, vzdáleností mezi

jednotlivými částicemi a smáčivostí. Při výrobě se používají saze kanálové, retortové olejové, retortové plynové, termické, lampové a forsunkové. Nejvíce se používají saze retortové. [2]

1.3.9 Světlá plniva

Jsou někdy uváděna pod názvem minerální plniva. Představují velkou skupinu plniv přírodních, nebo syntetických. Jde o přírodní materiály, které jsou těženy a následně mlety. Minerální plniva se nejprve využívaly jako neztužující přísady ke snížení ceny. V 70. letech minulého století se začaly využívat pro své dobré vlastnosti, využívají u výrobků, u kterých požadujeme barvu jinou než černou nebo u výrobků, které mají propouštět světlo. Ztužující účinek závisí na měrném povrchu a na interakci mezi plnivem a polymerní maticí. [2]

Z tohoto pohledu je možné pohlížet na tato plniva:

- aktivní
- neaktivní
- ostatní

Aktivita plniv se projevuje ve ztužujícím účinku plniv, tj. velikosti, tvaru, disperzi atd. Mezi povrchem plniva a kaučukovou směsí dochází ke spojení různým druhem a typem vazeb. U výrobků, u kterých požadujeme nízkou viskozitu, dobrou trvalou deformaci a dobrou zpracovatelnost (hadice, barevná těsnění) použijeme minerálních plniv s nízkou aktivitou. Vysokou pevnost a oděru vzdornost výrobků zajistíme přidáním minerálních plniv s vysokou aktivitou. U takto aktivních plniv je nutné dávkovat i aktivátor (např. diethylen-glykol) nebo organosilan, aby se zlepšila viskozita směsi a zlepšila se charakteristika vulkanizace. Málo aktivní nebo neaktivní minerální plniva se společně se sazemi využívají u výrobků, u nichž nehraje roli barva, a které nejsou namáhány. Představitelem aktivního minerálního plniva je zejména SiO_2 - silika, která působí v kaučukové směsi obdobně jako saze. Vyrábí se buď hydrolýzou z chloridu křemičitého, nebo z písku. [2]

Neaktivní, neztužující minerální plniva představují přírodní látky na bázi sloučenin Si, Ca, Na, Al atd. Jejich účel je především ekonomický. Mechanické vlastnosti vulkanizátu tato plniva ovlivňují v závislosti na velikosti jejich částí. [2]

1.3.10 Pigmenty

Měkká pryž, která je bez plnění a je světle hnědá. Neplněná tvrdá pryž vyrobená z kaučuku, síry a malého množství aktivátoru je téměř černá. Pryž plněná sazemi je černá. Aby byly uspokojeny potřeby trhu po zbarvených směsích, se začalo používat pigmentů. Pigmenty byly nejprve minerální, později se začaly využívat organické. Organické pigmenty odolávají vůči teplotě a síře. [2]

Aby byly pigmenty použitelné do kaučukových směsí, tak musí splňovat:

- v kaučuku se musí dobře dispergovat
- nesmějí se rozpouštět
- musí odolávat vulkanizační teplotě v přítomnosti síry a běžných přísad kaučukových směsí
- nesmějí měnit odstín účinkem přímé páry
- nesmějí ovlivňovat průběh vulkanizace
- nesmějí nepříznivě ovlivňovat fyzikální vlastnosti a stárnutí pryže
- musí být stálé na světle a odolávat povětrnostním vlivům [2]

1.3.11 Nadouvadla

Nadouvadla se přidávají při výrobě mechové nebo houbové pryže, též nazývané jako lehčené. Nadouvadla obsažená ve směsi se za potřebné teploty rozkládají na plyn. Aby nadouvání proběhlo, tak kaučuková směs musí mít dostatečně vysokou plasticitu. Dělíme je na organická a anorganická. Anorganickým nadouvadlem je hydrouhličitán sodný, uhličitán amonný, etylalkohol, voda, močovina aj. Mezi organické nadouvadla řadíme například benzensulfohydrazid. [2]

2 PŘÍPRAVA KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ

Příprava směsí a zvláště míchání je jedním z nejdůležitějších procesů v gumárenském průmyslu. Gumárenské směsi je možno připravovat na dvouválcových strojích, v hnětičích či v kontinuálních hnětičích. [1]

2.1 Plastikace kaučuku

V průběhu plastikace se snižuje molekulová hmotnost kaučuku, což umožňuje a zlepšuje průběh dalších technologických operací. Plastikaci je třeba vést jen do takového stupně, kterého je nevyhnutelně třeba pro úspěšné zpracování. Nadměrnou plastikací se zhoršují mechanické vlastnosti vulkanizátů a zhoršuje se i odolnost proti únavě a stárnutí. Plastikace na dvouválci, v hnětiči nebo ve šnekovém plastikačním stroji vyžaduje značné množství energie, nákladné strojní zařízení, velký počet pracovních sil. Řešením jak odstranit tyto nároky je zpracovávat kaučuky regulované při polymeraci tak, aby byly přímo zpracovatelné či maximálně zkrátit dobu plastikace. To je umožněno zavedením plastikačních činidel. [1]

2.2 Míchání na dvouválci

Patří již překonaným technologiím. Používá se jen pro přípravu speciálních směsí v malém množství, pro barevné směsi s vysokými nároky na dodržení odstínu a směsí pro houbovou pryž. Zařízení se skládá ze dvou ocelolitinových válců rovnoběžně horizontálně uložených, které se otáčejí různou rychlostí proti sobě. Skluz válců bývá 1:1,2 – 1:1,5. Pro syntetické kaučuky s malou pevností se používá menšího skluzu. Válce jsou duté nebo jinak uzpůsobené (př. mají navrtané otvory) pro chlazení vodou, popř. vyhřívání párou. Přebytkem materiálu nad šterbinou se vytváří návalek 2. Souvislá vrstva válcovaného materiálu 3 dopravovaná u dvouválce přímo nebo přes pomocné válečky zpět do skusu (u víceválců do další šterbiny) se nazývá opásání. Šířka šterbiny se nastavuje ručně, motoricky. Podle průměru a pracovní délky se dělí:

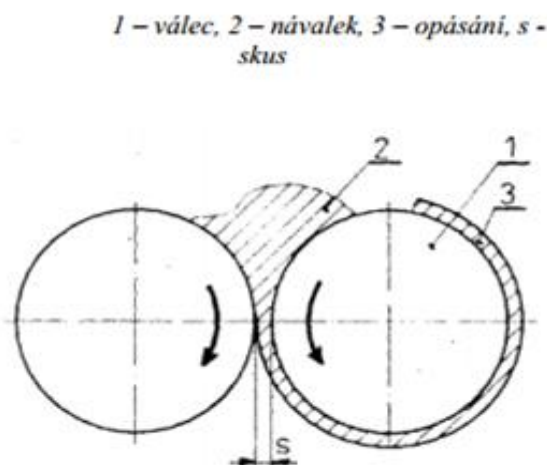
- malé – $D < 315\text{mm}$

- velké – $D > 315\text{mm}$

Pracovní délka bývá v rozmezí $1,4 \div 3D$

Dvouválce se v gumárenské technologii obvykle používají k:

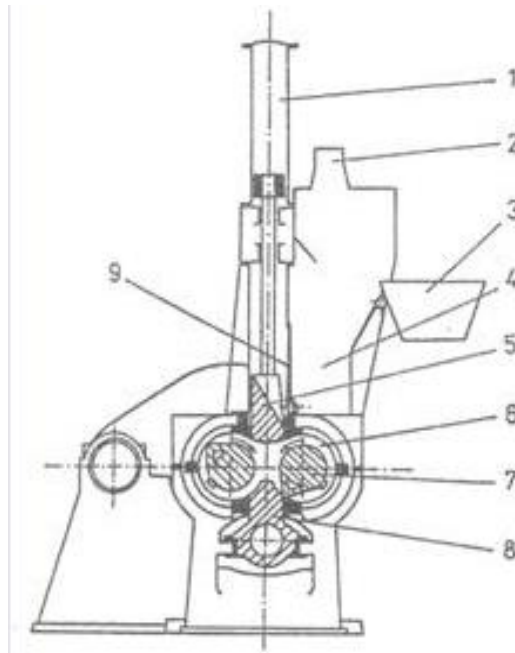
- plastikaci kaučuků
- míchání směsí
- chlazení směsí
- předeřevu směsí [1]



Obrázek 11 Schéma míchání kaučuku na dvouválci [1]

2.3 Příprava směsi v hnětacích strojích

Malá výkonnost dvouválců vedly ke konstrukci speciálních hnětacích strojů – hnětičů, které se používají u kaučukových směsí a u prášků. Výhodou je vyšší výkon, menší spotřeba energie, lepší homogenita směsí, atd. Nevýhodou je nestejněměrný produkt a musí následovat další operace pro úpravu. Diskontinuální hnětiče jsou konstruovány tak, že hnětadla do sebe nezasahují a mají různou obvodovou rychlost anebo do sebe hnětadla zasahují a mají stejnou obvodovou rychlost. Materiál je vlačován klínem do procesu mezi rotory, proto jsou to zařízení tlaková. [11]



Obrázek 12 Tlakový hnětič

1 – vzduchový válec pro klín, 2 – odsávání prachu, 3 – plnění, 4 – plnicí násypka, 5 – přítlačný klín, 6 – míchací komora, 7 – hnětadla, 8 – spodní výpust, 9 - klapka

Hnětení nastává hlavně na stěnách komory roztíráním vlivem otáčejících se hnětadel. Komora je dutá pro vytápění nebo chlazení, výstup je ve spodní části. Doba cyklu je velmi krátká, kolem 2 až 3 min. Objem komory je kolem 600 l. Kolísání kvality směsi je omezeno přesným dávkováním. Za hnětiči se obvykle umísťuje dvouválec nebo vytlačovací stroj.

Hnětičové stroje jsou určeny především pro:

- mícháním
- plastikaci přírodního a syntetického kaučuku
- regeneraci pryžového odpadu [11]

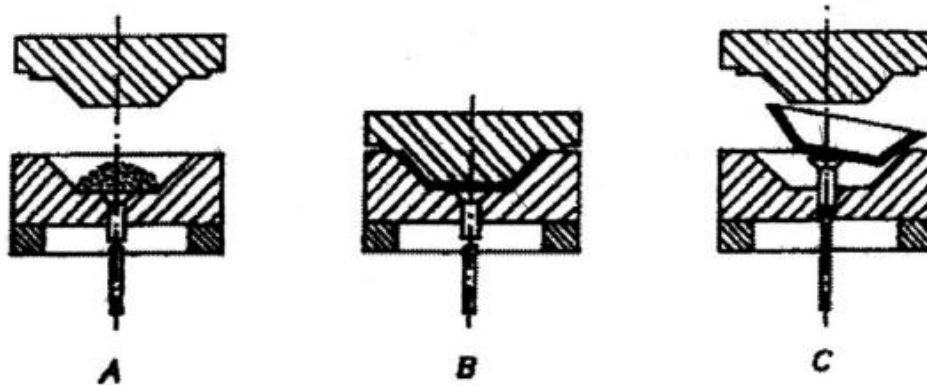
3 TECHNOLOGIE VÝROBY

Gumárenské výrobky se dají vyrábět několika základními způsoby, z nichž nejpoužívanější jsou:

- a) lisování
- b) přetlačování
- c) vstřikování
- d) vytlačování s následnou vulkanizací
- e) další metody (natírání, máčení, válcování, atd.) [4]

3.1 Lisování

Patří mezi cyklické tvářecí postupy. Lisováním se zpravidla rozumí způsob tváření materiálu ve formě účinkem tlaku za vulkanizační teploty. Schematicky je tento proces znázorněn na obrázku. [4]



Obrázek 13 Princip lisování a) plnění formy, b) lisování, c) vyjímání výlisku z formy [4]

Nálož gumárenské směsi se plní do otevřené tvarové dutiny formy. Účinkem lisovacího tlaku materiál zaplní tvarovou dutinu a převezme její tvar. Lisovací tlak je síla vztažená na průmět dutiny formy včetně dosedacích ploch. Vylisovaný tvar se fixuje pomocí vulkanizace. Mohou ovšem nastat i nežádoucí chemické reakce jako degradace, proto, musíme volit optimální technologické podmínky pro jednotlivé materiály. [4]

3.1.1 Lisovací cyklus

Lisovací cyklus zahrnuje všechny opakující se operace, které se musí provést pro zhotovení vylisku. Pro gumárenské materiály to jsou: 1) plnění formy 2) uzavření formy 3) odvzdušnění 4) vulkanizace 5) otevření formy 6) vyhazování, vyjmutí vylisků z formy 7) čištění a úprava formy [4]

3.1.2 Způsob přípravy nálože

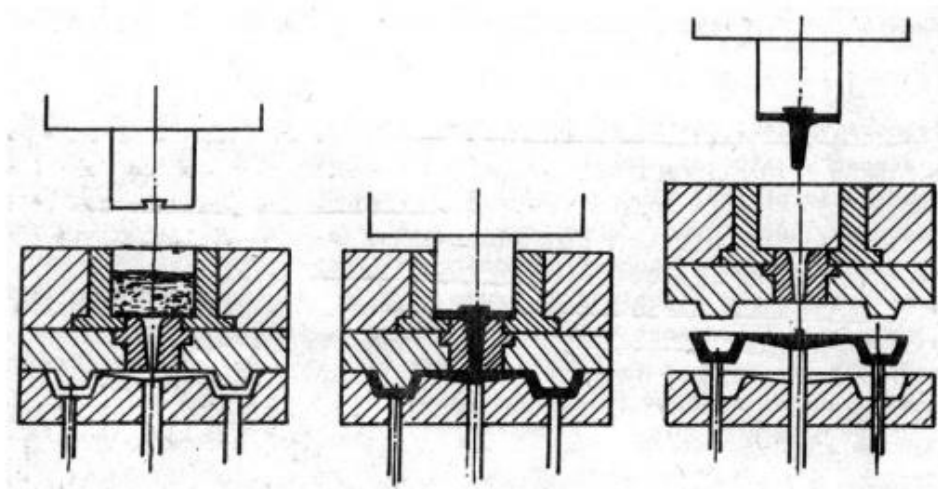
Způsob přípravy nálože závisí na tvaru výrobku, konstrukci formy a skladbě gumárenské směsi. Zásadou je, aby nálož měla co nejpodobnější tvar jako konečný vylisek. Pak stačí poměrně krátký tok materiálu, vyvolaný lisovacím tlakem, k úplnému zaplnění dutiny formy. Tvar nálože a její umístění do formy musí umožňovat uniknutí vzduchu z formy, proto se volí tvar nálože spíše vyšší a užší. Popřípadě lze použít tzv. odvzdušnění, kdy se po zalisování tlak uvolní. Toto se může i několikrát zopakovat než se forma uzavře definitivně lisovacím tlakem. Nálož se připravuje z polotovarů vzniklých válcováním, či vytlačováním. Váha nálože se rovná váze hotového výrobku zvětšené o normální velikost přetoku. V případě menší váhy, vznikají nedolinsky, naopak při velké váze mohou vzniknout zbytečně velké přetoky, popř. může dojít i k tvarové či rozměrové odchylce. [4]

3.1.3 Vulkanizace ve formě

Do předehřáté formy předehřáté na vulkanizační teplotu (dodávají výrobkům požadovaný tvar) se vkládá připravená nálož, tato forma musí být dobře odseparována separačním činidlem. Následně se lis s touto formou malou silou uzavře a stlačí vysokým tlakem. Forma musí dokonale přiléhat k topným deskám lisu, aby mohla zvulkanizovat za dané teploty a času. [4]

3.2 Přetlačování

Je to způsob tváření polymerních materiálů, při němž se dávka zpracovávaného materiálu z pomocné přetlačovací komory přetlačí do uzavřené dutiny formy. Přetlačovací komora bývá většinou součástí formy. Před zahájením nového vstřikovacího cyklu se forma zcela vyprázdní a to včetně přetlačovací komory. [4]



Obrázek 14 Princip přetlačování [4]

Materiál teče z přetlačovací komory spojovacími kanály do uzavřené dutiny formy. Přitom se může ohřívat, popř. odvzdušňovat. To umožňuje vyrábět výrobky s větší tloušťkou stěny případně i zkrácení vstřikovacího cyklu. Omezení tloušťky stěny je dáno tepelnou stabilitou materiálu. Všechna jádra a vložky jsou ve formě pevně upnuty. Toto má vliv na přesnost rozměrů hotového výrobku. Případné obtékání velkých překážek v dutině formy může zapříčinit vzhledové i jiné závady. Nevýhodou je zejména vyšší materiálová spotřeba, protože v přetlačovací komoře a vtokových kanálech zůstává poměrně velké množství materiálu. Není tedy vhodné pro malé výrobky. [4]

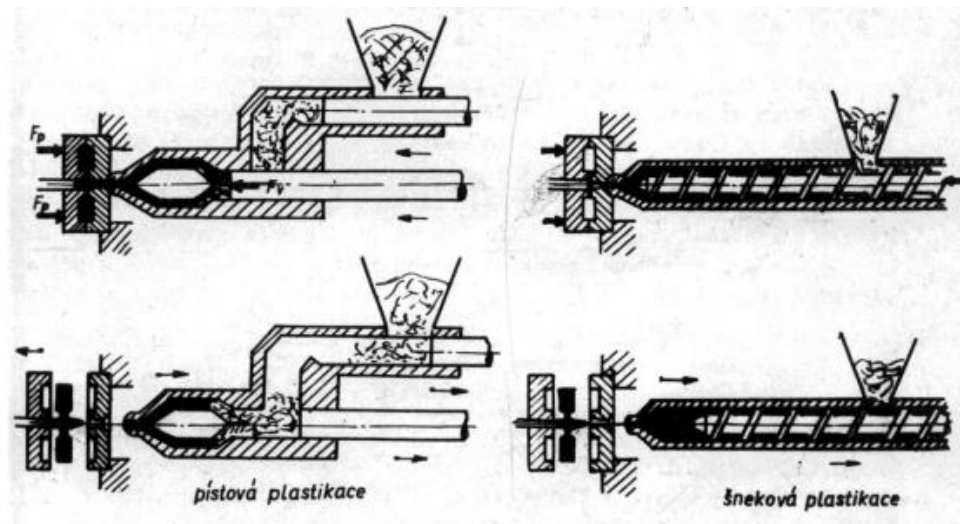
3.2.1 Přetlačovací cyklus

Přetlačovací cyklus je analogický jako cyklus lisovací či vstřikovací cyklus, pouze s tím rozdílem, že při vyprazdňování se musí vyprázdnit nejen dutina formy, ale i přetlačovací komora a příslušné vtokové kanálky. Předehřev materiálu pro přetlačování se zpravidla provádí mimo formu. Konečný ohřev na vysokou teplotu nastává ve formě, jednak účinkem disipované energie při tečení a taky přestupem ze stěn formy. Intenzita se může zvýšit zabudováním topných těles. Pro srovnatelný výrobek, bývá délka přetlačovacího cyklu obvykle kratší než u cyklu lisovacího. [4]

3.3 Vstřikování

Je to takový způsob tváření, kdy se zplastikovaný materiál plní (vstřikuje) vysokou rychlostí do dutiny formy, která je temperovaná. Materiál se plastikuje v plastikační jednotce, která je součástí vstřikovacího stroje. Plastikací rozumíme převedení materiálu do plastic-

kého stavu, zpravidla účinkem tepla. Princip plastikačních jednotek s pístovou a šnekovou plastikací zobrazuje obrázek. [4]



Obrázek 15 Princip vstřikování [4]

Tento způsob se nejdříve uplatňoval pro zpracování plastických hmot. Gumárenský průmysl musel změnit teplotní režimy se zřetelem na reologické vlastnosti gumárenských směsí a její vulkanizační schopnost. Vstřikování probíhá do uzavřených forem za vysokého uzavíracího a vstřikovacího tlaku. Účinky obou tlaků jsou oddělené, přičemž uzavírací tlak působí dříve, což umožňuje dokonalé bezpřetokové lisování i u velkých a tlustých výrobků. Směs se před vlastním vstřikování ohřívá, což vede ke zkrácení doby vulkanizace. [4]

3.4 Vytlačování

Slouží především pro výrobu polotovarů. Je to proces, kdy je materiál tvářen průtokem přes profilový otvor (vytlačovací hlavicí) do prostoru. Potřebný pracovní tlak můžeme získat několika způsoby, nejčastěji pomocí šneku, ale lze použít i pístová či rotační zařízení. Touto metodou, ač je velice produktivní, se vyrábí především profily či další konfekce, tak se dále tato práce nezabývá, protože s její pomocí je nemožné vyrábět membrány. [4]

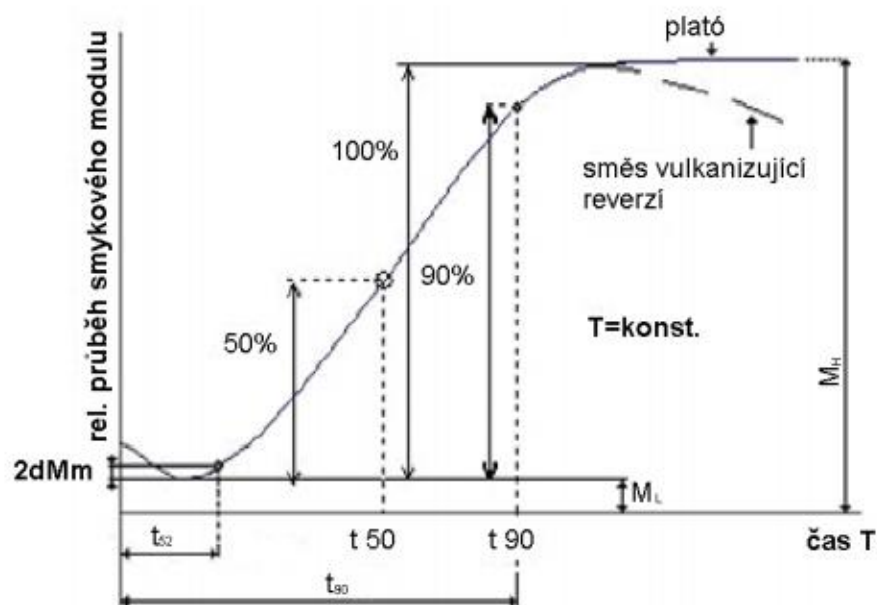
3.5 Vulkanizace

Při vulkanizaci se váže síra na kaučuk a tvoří se síťová struktura. Zesíťováním - vulkanizací – se stává z kaučukové směsi technicky použitelný materiál – pryž. Vulkanizační sys-

tém, který ovlivňuje průběh a stav vulkanizace, se většinou skládá z vulkanizačního činidla, urychlovače a aktivátoru. [12]

Po přidání všech složek vulkanizačního systému do směsi při dostatečné teplotě nastává jeho působení. Nejdříve se vytváří aktivní meziprodukt, později vznikají příčné vazby. Jakmile tvorba příčných vazeb dosáhne určitého stupně, mění se zpracovatelské vlastnosti, indikované změnou plasticity. Doba potřebná k dosažení této změny se nazývá bezpečnost směsi. Nejčastěji se určuje vulkanometrem Mooney. V praxi se považuje hodnota 20 min. při 120°C za spolehlivě bezpečnou. [12]

Optimální hustota síťové prostorové struktury závisí na teplotě a čase, po které působí na elastomerní směs. Vzájemný vztah teploty a doby vulkanizace se vyjadřuje – teplotní koeficient vulkanizace. Ten udává vzrůst rychlosti vulkanizace při zvýšení teploty o 10°C (jeho hodnoty jsou 1,8-2,5 v závislosti na skladbě elastomerní směsi). Teplota vulkanizace je funkcí i typu kaučuku a volí se v rozmezí 140-200°C. Vyšší teplota - zkrátí se vulkanizační čas, zvýší se teplotní spád se všemi důsledky. Pro kvalitní vulkanizát je důležitý tlak při vulkanizaci. [1]



Obrázek 16 Vulkanizační křivka [12]

Provozní způsoby vulkanizace jsou:

- kontinuální ve vulkanizačních tunelech (solné lázně, horkovzdušné tunely, MW tunely), bubnových lisech.
- diskontinuální vulkanizace ve formách, přímé páře, horké vodě, horkém vzduchu, bubnových lisech. [1]

Technologický postup vulkanizace:

- tvarování elastomerní směsi do tvaru výrobku (za tepla, za studena),
- zahřívání na vulkanizační teplotu,
- výdrž na vulkanizační teplotě
- vulkanizace (teplota, čas, tlak),
- vyjmutí výrobku z formy (výrobek se ve formě nechladí). [1]

4 PŘÍČINY ZANÁŠENÍ FOREM

V průběhu vulkanizace kaučuků ve formách dochází postupně k znečišťování vnitřního povrchu forem. Znečišťování forem má mnoho negativních účinků. Znečištěný povrch formy zvyšuje riziko výroby nekvalitních výrobků, má nepříznivý vliv na vzhled i tvarové a rozměrové odchylky výrobků a znesnadňuje vyjímání výlisků z formy. Nutná potřeba opakovaně čistit formu vede k prostojům výrobních strojů, zvyšuje výrobní náklady. Cena formy představuje značnou část nákladů na výrobu lisované pryže při čištění formy vzniká riziko jejího poškození. Znečištění forem je závažným problémem. Ekonomické ztráty, které znečištění forem způsobuje, bývají mnohdy značné. [5]

4.1 Mechanismy znečištění forem

Znečišťování forem je způsobeno difundováním složek kaučukové směsi, k němuž dochází vlivem různých faktorů např. vlivem teploty. Difundované části směsi ulpívají na vnitřním povrchu formy a postupně se na něm usazují. Znečištění je způsobováno jak účinkem jednotlivých složek kaučukové směsi, ale i degradací použitých separačních činidel. Elastomery podléhají reverzi nebo oxidaci. Reverze tvoří lepidlo zbytků, které ulpívají uvnitř dutiny formy. Oxidace tvoří houževnatý film, který se přichytává pevně k povrchu formy. Znečištění forem mívá, podle intenzity znečištění, několik forem. Bývá to pouhé ztmavnutí vnitřního povrchu formy nebo usazování kaučukové směsi na povrchu formy. Další formou bývají šupinovité nánosy způsobující nejprve vzhledové a později i rozměrové vady výrobku. [5]

4.1.1 Reakce styku kovu a organických látek

Podmínky na rozhraní mezi kovem a organickým materiálem úzce souvisejí s adhezí, mazáním, třením, oděrem a separačními vlastnostmi. Na povrchu formy se skoro vždy vyskytuje jisté množství řezného nebo protikorozního oleje. Vlivem přítomnosti polárních skupin jsou na povrchu kovu absorbovány polární sloučeniny. Ze zkušeností z gumárenských podniků je známo, že při peroxidické vulkanizaci při použití nových forem, bývá povrch výlisku často lepidlo. Lepivost je způsobena rozkladem peroxidu na povrchu pryže oxidem železa, který je přítomný na povrchu formy. Tímto způsobem zůstane povrch výrobku nevulkanizován a stane se lepidlovým. Vlivem lepidlosti část kaučukové směsi ulpí na povrchu formy. Platí, jakmile se na vnitřním povrchu formy objeví i malé usazeniny kaučuku, usazování kaučuku pokračuje ve značné míře. [5]

4.2 Faktory ovlivňující znečištění forem

Vliv na znečištění forem má spousta proměnných faktorů, jedná se o: samotnou kaučukovou směs a její složení (kaučuk, přísady, plniva, změkčovadla, vulkanizační činidla) vulkanizační forma: geometrie, geometrie vtokových kanálků, tvarová složitost, materiál, z níž je forma zhotovena. Tvrdost a drsnost vnitřního povrchu formy, který přichází do styku s pryží, stupeň oxidace kovového povrchu, typ a množství separačního činidla použitého k usnadnění vyjímání vylisku z formy, zvolené vulkanizační podmínky, jako je vulkanizační teplota, vlhkost ve vzduchu pracovního prostředí a přítomnost kyslíku, technologie výroby pryžových výrobků (zejména tlakové lisování, vstřikování), počet provedených cyklů, atd. Významnou roli hrají tepelné a reologické podmínky při plnění formy kaučukovou směsí a podmínky na čele toku taveniny, které jsou dány geometrií formy. [5]

4.2.1 Reakce styku kovu a organických látek

Vrstva materiálu, která se usazuje na povrchu formy, je složena ze zbytků lisované kaučukové směsi (polymerů a gumárenských přísad). Složení usazeniny závisí na směsi kaučuku a na jednotlivých složkách směsi. Složení směsi má vliv na adhezi kaučuku k formě. Usazenin ve formách obvykle obsahují:

- a) nízkomolekulární kaučuky
- b) anorganické přísady: vlivem vysokého plnění anorganickými plnivými, např. kaolinem, křemičitanem vápenatým a sráženým oxidem křemičitým, dále použitím velkého množství oxidu zinečnatého
- c) organické přísady
- d) rez
- e) separační činidlo (mastek nebo slída)
- f) povrchově aktivní činidla
- g) síťovací činidla

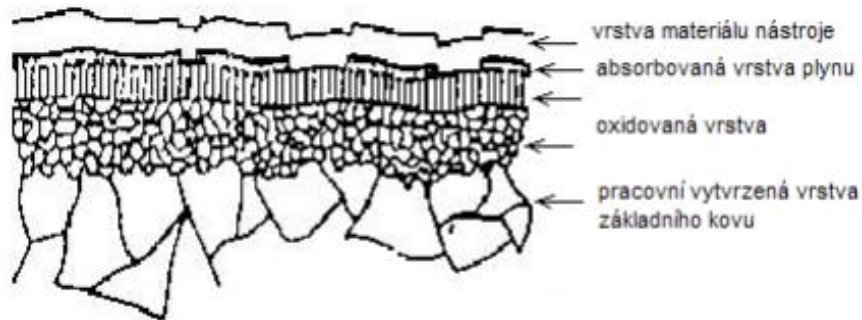
Jednotlivé usazeniny lze identifikovat pomocí infračervené spektrografie. [5]

4.3 Faktory ovlivňující znečištění forem

Znečištění formy urychluje komplikovaný tvar formy, druh kovu použitého k zhotovení formy, drsnost a úprava jejího povrchu. [5]

4.3.1 Vliv povrchových vlastností formy

Povrch kovu netvoří samotný kov, nýbrž tenký film jeho oxidu. Povrch kovu formy je výsledkem technologického opracování kovu, které vede ke vzniku zakalené vrstvy, na níž se pak nachází vrstva oxidu kovu, z něhož je forma zhotovena. Mezi touto vrstvou a znečišťující usazeninou se nachází obvykle ještě vrstva absorbovaného plynu. [5]

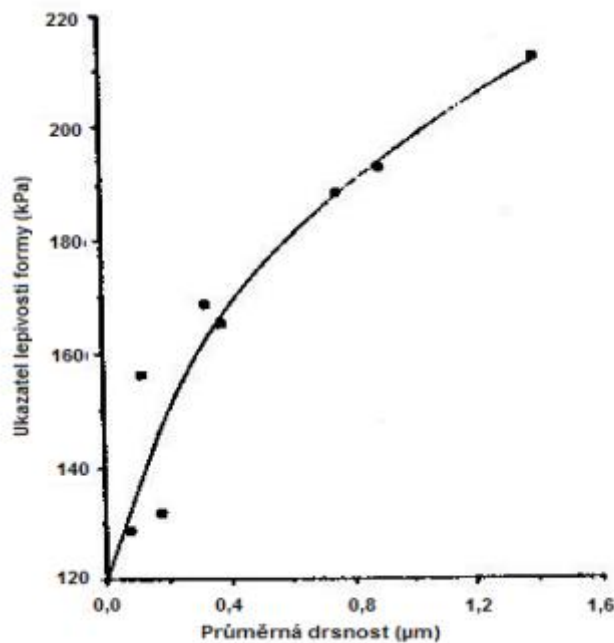


Obrázek 17 Struktura povrchu kovové formy se znečišťující vrstvou usazeného kaučuku [5]

Povrch kovových forem je nutné opatřit vrstvou kovu, jenž lépe odolává nejrůznějším chemickým vlivům, včetně koroze, neinteraguje s materiálem lisovaného výrobku, odolává mechanickému opotřebení a dodává povrchu lisovaného výrobku požadovanou kvalitu.[5]

4.3.2 Vliv drsnosti formy

Adheze pryže k formě a množství kaučuku ulpívajícího k povrchu formy se zvyšuje v závislosti na drsnosti povrchu formy. [5]



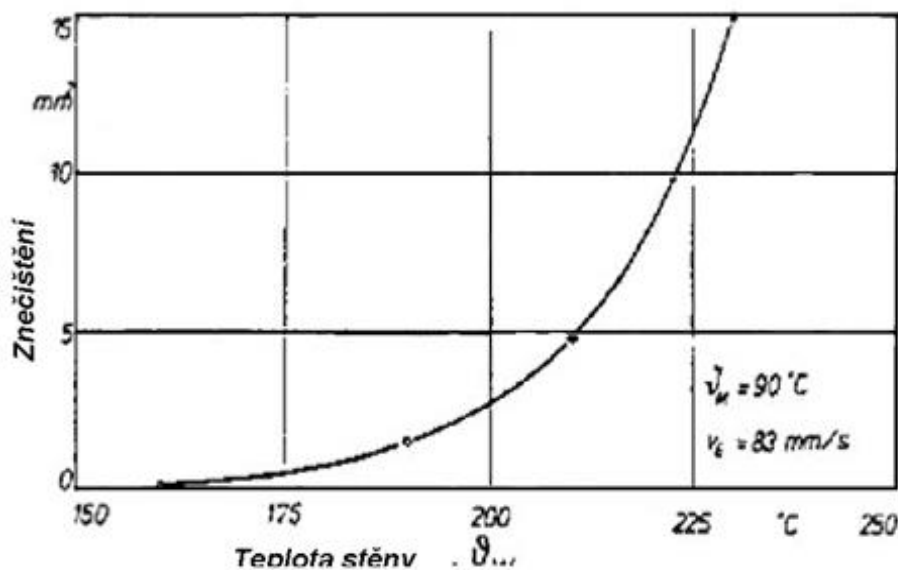
Obrázek 18 Lepivost vulkanizované standardní směsi na bázi NBR v závislosti na drsnosti slitiny [5]

Zdrsnění povrchu formy, které dochází při otryskávání usazenin, vede ke zhoršení separačních vlastností formy s důsledkem je podstatné zanášení formy. Vliv na separační vlastnosti pryže a plynoucí znečišťování formy má povrchová úprava formy. [5]

4.4 Vliv technologie a teploty na znečištění forem

4.4.1 Vliv vulkanizační teploty

Rychlost i stupeň znečišťování forem závisí na vulkanizační teplotě. Platí, že čím vyšší je teplota, tím větší je znečištění a tím rychleji k němu dochází. V literatuře je uvedeno, že při teplotě 170°C až 190°C se stupeň znečišťování zvyšuje až trojnásobně. Při konstantní teplotě se míra znečištění zvyšuje tehdy, jestliže poklesne stupeň vulkanizace. [5]



Obrázek 19 Závislost znečištění na teplotě formy [5]

4.4.2 Vliv množství vulkanizačních cyklů a doby otevření formy

S rostoucím počtem vulkanizačních cyklů se znečišťujícími usazeninami ve formě zvětšuje, zejména v jejich užších a jemnějších částech, důsledkem je obtížnější vyjímání výlisků z formy. Především v technologii vstřikování je snaha výrobců zkrátit vulkanizační dobu a zvýšit tak produktivitu výroby. Používají se vyšší teploty a krátké vulkanizační doby. Vlivem vysokých vstřikovacích teplot, dochází k relativně velkému a rychlému znečišťování forem. [5]

4.5 Vliv jednotlivých složek kaučukové směsi na znečištění forem

4.5.1 Vliv polymeru

Polymer, má na znečištění forem značný vliv. Ve srovnání s přírodním kaučukem se výlisky ze syntetického kaučuku separují od formy obtížněji a způsobují značné znečištění forem. Kaučuky podléhají při vulkanizaci reverzi, činí materiál lepivým a způsobuje, že ve formě zůstávají zbytky kaučukové směsi. K snížení oxidace, která je příčinou tvorby houževnatého filmu ulpívajícího pevně k povrchu formy, se doporučuje přidat do některých směsí (na bázi SBR a BR) přírodní kaučuk. V případě chloroprenového kaučuku se problémem řeší přidávkou hořčíku. [5]

Formy jsou znečišťovány kaučuky na bázi halogenů, jako je například chloroprenový kaučuk, fluorkaučuk, epichlorhydrinový kaučuk a další. Vzhledem k vlastnostem silikonů má nejlepší separační vlastnosti nepochybně silikonový kaučuk. Separace pryžových výrobků zhotovených ze silikonového kaučuku nečiní žádné potíže. Proto nevznikají žádné problémy ani se znečišťováním forem. V posledních letech se však silikonový kaučuk začal používat k výrobě tvarově složitých dílců, při jejichž lisování - v důsledku tvarové složitosti forem – se formy začaly znečišťovat. [5]

4.5.2 Vliv plniv

K vysoce znečišťujícím patří zpravidla směsi, obsahující minerální plniva, například oxid křemičitý a uhličitan vápenatý. Plnivo snižuje účinnost vulkanizačního systému, což může vést k podvulkanizaci pryže. Nedostatečně zvulkanizovaná pryž se pak vyjímá z formy obtížně a zanechává ve formě nečistotu. To se stává zejména tehdy, je-li množství vulkanizačního činidla ve směsi příliš nízké. K typickým plnivům zpomalujícím vulkanizaci patří zejména světlá plniva a tvrdý kaolin. Vysoké dávkování minerálních plniv, jako například kaolinu, křemičitanu vápenatého, sráženého oxidu křemičitého, způsobuje tvorbu lepivých přetoků. Ve srovnání se sazemí způsobují minerální plniva menší míru znečištění. [5]

4.5.3 Vliv vulkanizačních činidel

Znečišťování forem způsobují také vulkanizační činidla přítomná v kaučukové směsi. Pokud je koncentrace vulkanizačního činidla příliš malá, je síťová hustota nízká a pryžový výrobek je podvulkanizován a z vulkanizační formy se pak špatně vyjímá. Vyjímatelnost z formy lze zlepšit použitím většího množství vulkanizačního činidla (síťová hustota se zvýší a adheze vulkanizátu k formě se sníží). Stupeň znečištění formy se sice sníží, ale poklesne tažnost a strukturní pevnost, což prakticky znamená, že při vyjímání výlisku z formy se mohou části výlisku odtrhnout. [5]

4.5.4 Vliv změkčovadel

Informací o vlivu změkčovadel na znečišťování forem je v dostupné literatuře jen velmi málo. Změkčovadla se vlivem vysokých teplot používaných běžně v technologii vstřikování a nízkého tlaku na čele toku taveniny ve formě odpařují, což má nepříznivý vliv na strukturní pevnost pryžového výlisku při jeho vyjímání z formy a ulpívání částí pryže na povrchu formy. [5]

4.6 Možnosti snížení znečištění forem

Znečišťování vulkanizačních forem (tvorbu usazenin) lze vyloučit či aspoň snížit v podstatě několika způsoby. [5]

4.6.1 Snížení znečišťování formy úpravou technologických parametrů

Existuje jasný vztah mezi vznikem či růstem usazenin a technologickými parametry, jako je teplota formy a rychlost vstřikování. Vzhledem k tomu, že teplotu nelze z ekonomických důvodů často příliš snížit, lze stupeň znečištění redukovat snížením rychlosti vstřikování (což znamená malé prodloužení vstřikovacího cyklu). Při snižování vstřikovací rychlosti je však třeba dbát na to, aby během plnění formy kaučukovou taveninou nedošlo k předčasné vulkanizaci. [5]

4.6.2 Chemická úprava formy

Znečišťování forem lze snížit pochromováním povrchu formy přicházejícího do styku s kaučukovou směsí. Je však lépe nečistoty zůstávající ve formě co možná nejdříve odstranit, a to tak, aby se povrch formy nepoškodil. [5]

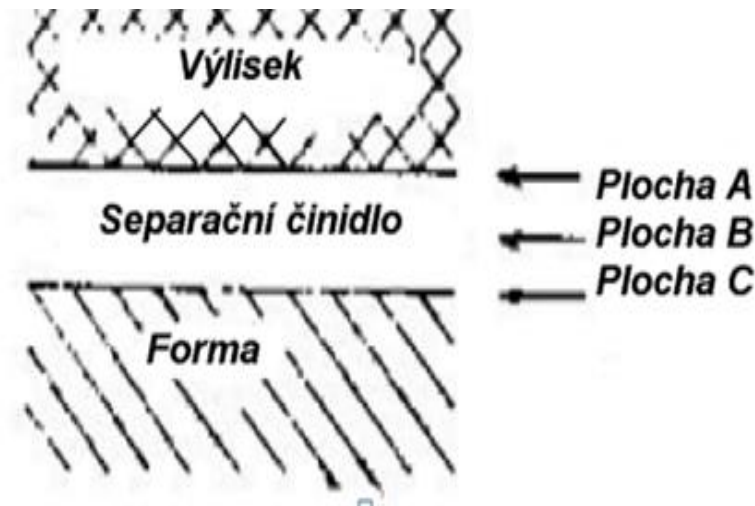
Separální činidla Úkolem separálních činidel je oddělit - separovat – od sebe dvě různé fáze tvořené formou na jedné straně a výliskem na straně druhé. Separální činidla se dělí na dvě hlavní skupiny, a to:

- vnitřní (přidávané do kaučukové směsi)-maziva
- vnější (aplikované na vnitřní povrch formy)

Hlavní princip separace výlisku od formy spočívá k snížení adheze a tření mezi formou a kaučukovou směsí (výliskem) před vulkanizací a po ní. Častěji se k snížení lepkavosti a následného znečišťování formy používají vnější separální činidla aplikovaná na vnitřní povrch formy. [5]

Vnitřní separální činidla, nazývaná též “maziva“ jsou látky přidávané do kaučukové směsi za účelem zabránění či aspoň snížení lepkavosti směsi ve formě. Vnitřní separální činidla mají jednu nevýhodu. Často zhoršují vlastnosti pryžového výrobku. Použitím vnitřního separálního činidla se zlepšují separační vlastnosti výrobku, ale současně se zvyšuje i jeho trvalá deformace tlakem a zhoršuje se jeho adheze. Vnější separální činidla

Vnější separální činidla (nazývaná též “separátory“) jsou látky nanášené na vnitřní povrch formy s cílem usnadnit vyjímání z vulkanizovaných výlisků z formy [5]



Obrázek 20 Separační činidlo mezi formou
a výliskem [5]

Některá separační činidla (například silikonová) působí tak, že při vyjímání výlisku z formy se část separačního činidla, díky jeho malé kohezi, přenesou na pryžový výrobek. Způsob aplikace separačních činidel ve formě Separační činidla se na vnitřní povrch formy zpravidla nastříkují (bez použití vzduchu jako nosiče) nebo nanášejí v tenké vrstvě štětcem. V případě vstřikovacích forem, u nichž jsou dutiny formy (otisky) často velmi úzké či tvarově složité, je dosažení stejnoměrného nánosu ve všech částech vnitřního povrchu formy někdy dosti obtížné. Proto se separační činidlo nanáší ve formě aerosolu. Separační vlastnosti nové, dosud nepoužité formy jsou špatné. Totéž platí i o právě vyčištěných formách. Proto se doporučuje opatřit formy nánosem separačního činidla ještě před jejich prvním použitím. Degradované separační činidlo a usazeniny je třeba periodicky odstraňovat, například pomocí čisticí kaučukové směsi. Čisticí směs lze odstranit prakticky veškeré zbytky separačního činidla tak, aby ji bylo možné připravit pro aplikaci čerstvé vrstvy.[5]

5 MATERIÁLY PRO VÝROBU FOREM

Obecně lze za vulkanizační formu označit nástroj, který slouží k formování budoucího výrobku, kde směs je vstříknuta nebo vložena do dutiny formy za pomoci vysokých tlaků.

[5]

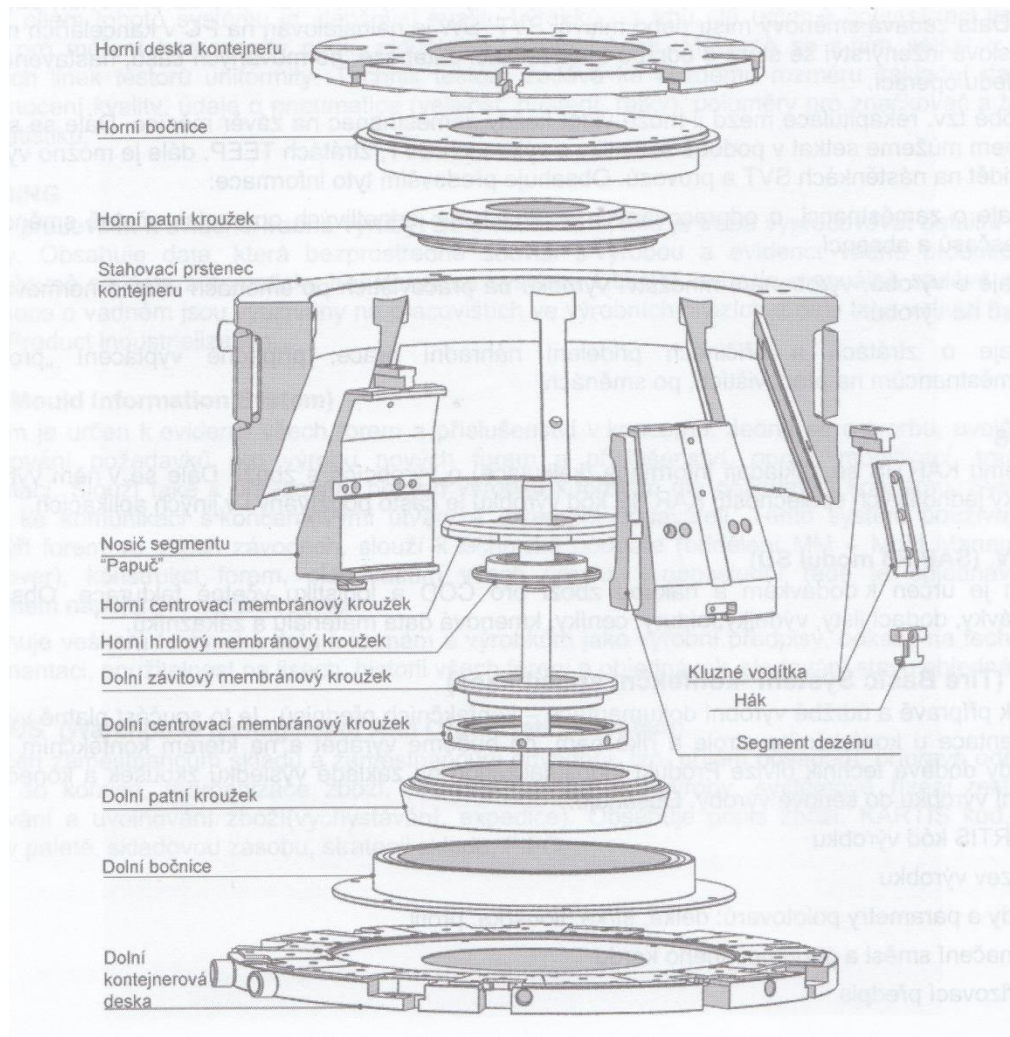
Forma je složena obvykle z těchto dílů:

- Upínací desky formy
- Kotevní (tvarové) desky
- Opěrné desky
- Vyhazovací desky
- Tvárnice a tvárníky
- Středící kroužky
- Vodící součásti
- Spojovací součásti
- a jiné součásti

Vulkanizační forma musí odolávat poměrně vysokým teplotám, tlakům a musí být odolná vůči použité kaučukové směsi. Od tohoto se odvíjí použití vhodného materiálu pro formu. Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci, a proto kladou specifické požadavky na materiál. [5]

S ohledem na funkci dílu musí materiál splňovat:

- dobrou obrábitelnost (od hrubování až po leštění)
- zvýšenou odolnost proti otěru
- odolnost proti korozi a chemickým vlivům polymeru
- vyhovující tepelnou zpracovatelnost (kalení, cementování,...)
- stálost rozměrů a minimální deformace při kalení
- vhodné fyzikální vlastnosti [5]



Obrázek 21 Segmentová vulkanizační forma na pláště [22]

5.1 Slitiny hliníku

Nejdůležitější je uplatnění hliníku ve formě slitin, z nichž bezesporu nejznámější je slitina s mědí a hořčíkem, obecně známá jako dural. Slitiny mají oproti čistému hliníku vyšší pevnost a tvrdost při zachování velmi malé měrné hmotnosti a dobrou odolnost vůči korozi. Všechny vlastnosti určují slitiny hliníku jako ideální materiál pro letecký a automobilový průmysl, potravinářský průmysl apod. [17]

Vlastnosti hliníku je možno zlepšit přísadami dalších prvků. Z přísad, které se vyskytují ve slitinách hliníku jsou významné zejména: Cu, Mg, Mn, Si a Zn. Jednotlivé prvky působí ve slitinách hliníku následovně:

- měď ve slitinách hliníku zvyšuje pevnost a tvrdost, ale také zhoršuje tvárnost a odolnost proti korozi. Ve tvářených slitinách bývá její obsah max. 6 %, ve slévárenských do 12 %.

- hořčík zlepšuje pevnost, vytvrditelnost slitin a odolnost proti korozi. Ve tvářených slitinách bývá do 8 %, ve slévárenských až do 11 %.
- mangan zvyšuje pevnost, tvárnost a odolnost proti korozi. Jeho obsah obvykle nepřekročí 2 %.
- křemík zvyšuje pevnost tuhého roztoku a poněkud také odolnost proti korozi. Při větším obsahu je přítomen jako čistý Si, čímž se zvyšuje křehkost. Slitiny tvářené obsahují do 1 % Si, oproti tomu slitiny slévárenské obsahují až 25 % Si.
- zinek zvyšuje pevnost, ale zhoršuje houževnatost a odolnost proti korozi. Ve tvářených slitinách ho bývá až do 8 %, ve slévárenských maximálně do 6 %.
- železo zvyšuje pevnost a zlepšuje tvárnost, ale zhoršuje houževnatost a odolnost proti korozi. Ve slitinách pro tvářenání bývá jeho obsah do 0,5 %, výjimečně až do 1,6 %, ve slévárenských slitinách do 1 %.
- nikl zvyšuje pevnost i houževnatost za normální i zvýšené teploty. Používá se proto ve slitinách určených pro práci za vyšších teplot, a to do obsahu 2 %. U slitin s Cu zlepšuje rovněž odolnost proti korozi. [17]

5.1.1 Slitiny Al-Mg

Do skupiny slitin Al-Mg patří AlMg₂, AlMg₃, AlMg₅ a AlMg₆. Slitiny s obsahem hořčíku do 6% mají velmi dobrou odolnost proti korozi, při vyšším obsahu než 6hm.% však mají sklon ke korozi po hranicích zrn, zejména při mechanickém zatížení, proto se obvykle nepoužívají. Pevnost slitin Al-Mg je relativně nízká, pohybuje se okolo 7 140 až 200 MPa. Dobrá svařitelnost a dobrá korozní odolnost i v mořské vodě předurčují tento materiál pro výrobu součástí lodního průmyslu a automobilového průmyslu [17]

5.1.2 Slitiny Al-Mg-Si

Al-Mg-Si jsou charakteristické nízkými obsahy přísadových prvků, které zpravidla nepřekračují 1,5%. Na rozdíl od slitin Al-Mg je lze vytvrdzovat tepelným zpracováním, přičemž lze dosáhnout meze pevnosti v tahu až 350 MPa. Jsou velmi dobře tvárné a svařitelné. Nacházejí použití zejména v letectví a stavebnictví. V automobilovém průmyslu jsou používány na součásti karosérií, žebrované hlavy válců, automobilové kování [17]

5.1.3 Slitiny Al-Mn

Slitiny Al-Mn se tepelně nevytvrzují, protože u nich lze vyvolat jen malé přesycení tuhého roztoku α , tudíž nelze docílit větší zvýšení pevnosti. Vlastnosti a použití jsou podobné jak u slitin Al-Mg. V průmyslu se vyrábí pouze slitina AlMn1, která má v měkkém stavu $R_m = 130$ MPa a po deformačním zpevnění až $R_m = 220$ MPa. Jedná se o materiál dobře tvařitelný a svařitelný s uspokojivou korozní odolností. Jeho využití nalézáme jako pevnější náhrada místo čistého hliníku nebo u pevnostně nepříliš namáhaných součástí v chemickém, potravinářském, stavebním, leteckém nebo automobilovém průmyslu.[17]

6 ÚPRAVY POVRCHU FOREM

Chromování

V případě gumárenských forem je nejčastější povrchovou úpravou pochromování. Vyznačuje se vynikající odolností proti oděru, korozi a zvýšeným teplotám. Má dobré separační vlastnosti a proto se technologie chromování používá zejména v těch případech, kdy kvalitní povrch lisovaného výrobku je velmi důležitý. Chrom vytváří na povrchu kovové formy oxid s jemnou povrchovou strukturou, jež jí činí odolnou korozi. Avšak vrstva tohoto oxidu je propustná pro kyselinu chlorovodíkovou a fluorovodíkovou a z tohoto důvodu pochromované formy nelze doporučit pro lisování například halogenovaných kaučuků. Kromě toho je na pochromovaném povrchu síť jemných trhlinek o hloubce asi 50 μm . Pokud je vrstva chromu tenčí než uvedených 50 μm , trhliny se mohou prohloubit až k základnímu (povrchově neupravenému) kovu. Kov začne korodovat a vrstva chromu se začne postupně odlupovat. [5]

Niklování

Poniklování (včetně neelektrolytického) je z hlediska odolnosti proti kyselinám a kvality povrchu vrstvy niklu lepší než chromování. Proto se poniklování často používá k vytvoření podkladu pro chromování a tím i zvýšení odolnosti formy proti korozi. Samotné niklování (bez následného chromování) nelze použít vzhledem k špatným separačním vlastnostem niklu v kontaktu s pryží. Kromě toho se poniklování obnovuje jen velmi obtížně. [5]

Teflon

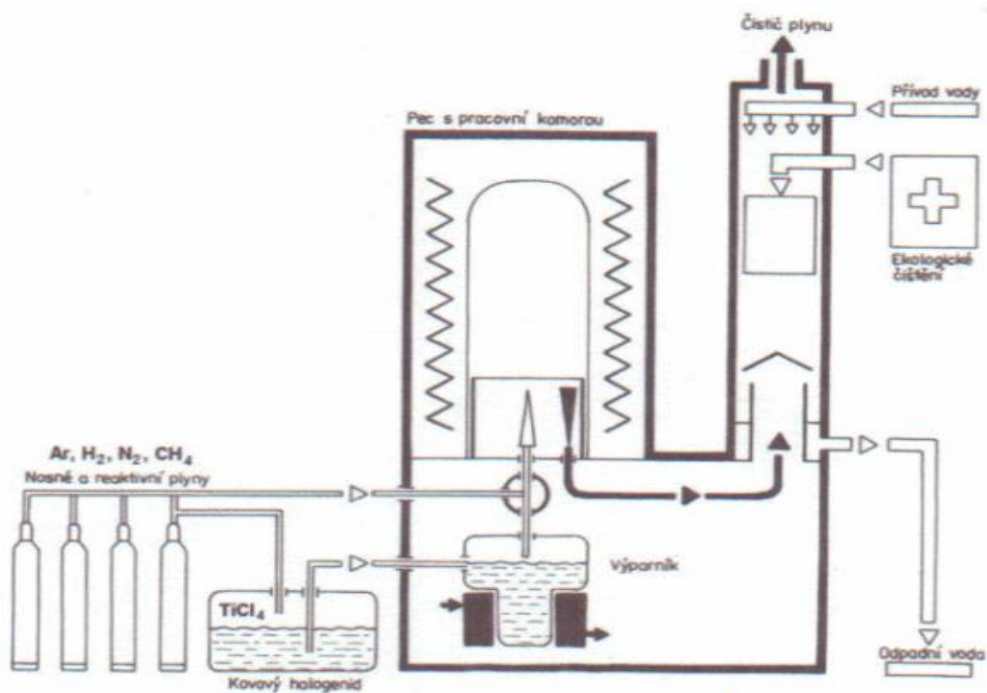
V poslední době se k povrchové úpravě kovových forem začal používat teflon (polytetrafluoretylén). Teflonové částice se smíchají s neelektrolytickým “pokovovacím” roztokem a na povrchu kovu se vytvoří vrstva obsahující teflon. [5]

6.1 Chemical Vapour Deposition (CVD)

Technologie CVD je chemická depozice povlaků z par (chemical vapor deposition), která v konvenčním provedení probíhá za vysokých teplot (cca 1000°C a výše), takže po povlakování nástrojů musí následovat zušlechťování na požadovanou tvrdost. Nástroje s povlaky CVD mají výrazně vyšší životnost než PVD, ale vzhledem k objemovým změnám při následném zušlechťování nástrojů, nelze metodu CVD použít pro některé tvarově náročné a vysoce přesné nástroje, ani pro součásti s přísnými rozměrovými tolerancemi. Velmi často

používanými povlaky jsou vrstvy typu TiCN, které mají oproti nejčastěji používaným vrstvám TiN nižší koeficient tření a lepší tepelnou vodivost. [13]

V případech, kdy je aplikace CVD povlaků z rozměrových hledisek možná, je kvalita povlaků TiCN nanášených touto technologií zcela bezkonkurenční. Zejména v případech extrémního namáhání nástrojů při výrobě strojních dílů z vysoce pevných materiálů lisováním a tvářením. Pro další zlepšování kvality těchto povlaků, zejména jejich koeficientu tření, jsou vyvíjeny další varianty těchto povlaků. [13]



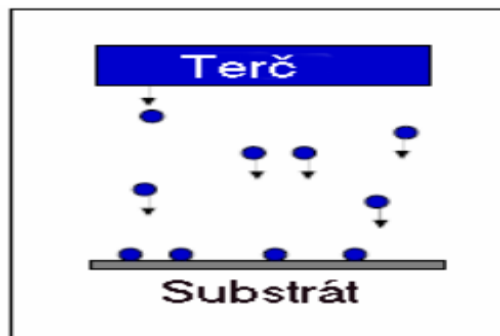
Obrázek 22 Schéma CVD [14]

6.2 Physical Vapour Deposition (PVD)

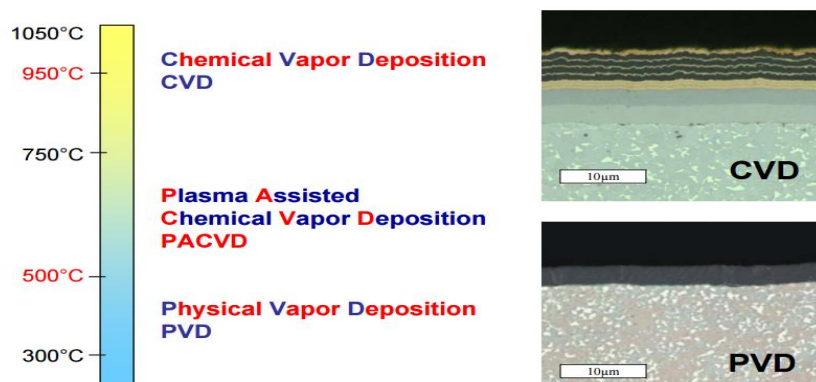
PVD je technologie přípravy zhruba 2 μ m tenkých vrstev vynikajících fyzikálními i chemickými vlastnostmi. Nízkým třením, vysokou tvrdostí, odolností vůči otěru, vysoké teplotě (standardně 550°C, ale i 750°C a více), korozi i kyselinám. [15]

Fyzikální metoda depozice vrstev PVD – technologie je založena na fyzikálních principech, odpaření nebo odprášení materiálů obsažených ve vrstvě (nap ř. Ti, Al, Si, Cr, atd.) a

jejich následné nanesení na substrát. Za hlavní charakteristický rozdíl je brán způsob přípravy vrstvy, tj. z pevného terče u PVD metod a z plynu u CVD. [23]



Obrázek 23 PVD [23]



Obrázek 24 Oblast použití CVD a PVD [23]

Jedná se o ekologicky nejšetrnější metodu depozice vrstev, neboť zde není použito žádného nebezpečného materiálu a při procesu depozice se neuvolňují žádné toxické látky. Dalšími výhodami PVD depozice jsou vysoká odolnost vrstev, nízký koeficient tření, možnost vytvořit velké množství různých druhů (kombinací) vrstev, malá a snadno reprodukovatelná tloušťka vrstev, možnost tvorby přesných tloušťek vrstev. PVD proces se uskutečňuje v prostředí vysokého vakua při teplotách mezi 150 – 500°C. Vysoká čistota procesu je dosažena tepelným odpařováním materiálu, jenž je použit k povlakování (z kovů jsou to například titan, chrom, nebo hliník), a také jeho bombardováním ionty (naprašování). Současně je vpuštěn aktivní plyn (např. dusík, nebo jiný plyn obsahující uhlík), který reaguje s kovo-

vými parami, čímž se vytvoří chemická sloučenina. Tato sloučenina se následně deponuje na substrát v podobě tenké, vysoce přilnavé vrstvy. [23]

Technologie PVD mohou být použity pro vytváření tenkých vrstev nejen na nástrojích z rychlořezné oceli, součástkách z hliníku a plastů, ale dokonce i na velmi tenkých, pouze několik mikrometrů silných fóliích z PP, PE a dalších materiálů bez jejich tepelné degradace během depozice vrstvy. Podstatou fyzikální depozice je vypařování materiálu (vytvářejícího vrstvy) ve vakuu nebo rozprašování ve výboji udržovaném za nízkých tlaků. Celý proces depozice může být obecně rozdělen do třech na sebe navazujících kroků:

- převedení materiálu do plynné fáze
- transport par ze zdroje k substrátu
- vytváření vrstvy na povrchu substrátu.

Nejčastěji používané fyzikální metody jsou:

- naprašování
- napařování
- iontové plátování

Reaktivní napařování je založeno na odpařování materiálu ve vakuu a na kondenzaci jeho par na substrátu. Odpařování terče lze provádět následujícími způsoby:

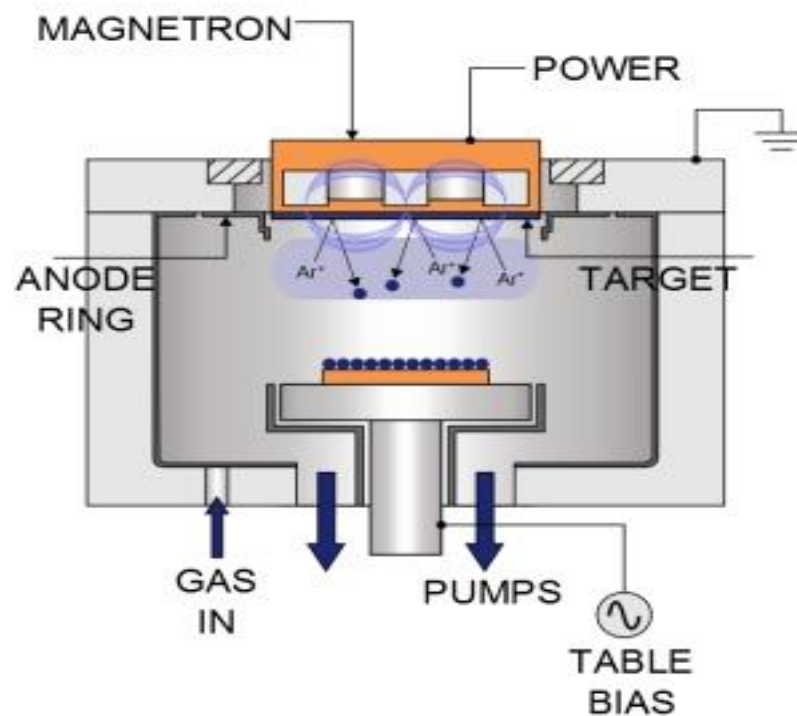
- a) elektronovým svazkem
- b) obloukovým výbojem
- c) pomocí laseru

Odpařovaný terč se nachází v roztaveném stavu, proto musí být umístěn ve spodní části zařízení [23]

Reaktivní naprašování je založeno na rozprašování materiálu katody (terče) energetickými ionty a kondenzací částic odprášeného materiálu na substrátu. Ionty pracovního plynu jsou urychlovány elektrickým polem a dopadají na povrch naprašovaného materiálu, který je ve formě plochého nebo válcového terče (targetu). Jejich účinkem jsou z povrchu vytrhávány atomy terče, které se často průchodem oblasti ionizovaného pracovního plynu samy ionizují a dopadají na povrch povlakovaných součástí. Rozprašování probíhá v přítomnosti plazmatu [23]

Faktory, kterými se liší techniky PVD a CVD

1. Druh zdroje deponovaných atomů (pevná látka, tavenina, plyn).
2. Fyzikální mechanismy (odpařování nebo srážky) kterými atomy ze zdroje vstupují do plynné fáze.
3. Prostředí sníženého tlaku, kterým jsou plynné částice transportovány.
4. Obecná absence chemických reakcí v plynné fázi a na povrchu substrátu (výjimkou jsou reaktivní PVD procesy). [23]



Obrázek 25 Schéma PVD [16]

7 SOUHRN TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části diplomové práce bylo popsáno základní rozdělení kaučuků, přírodních a syntetických. Dále přísady do kaučuků a pomocné látky, změkčovadla, vulkanizační činidla, retardéry vulkanizace, urychlovače vulkanizace, aktivátory vulkanizace, antidegradanty, nadouvadla, pigmenty a jako plniva mohou být použita buď saze anebo minerální plniva. Takto vytvořená směs je míchána v hnětiči nebo méně často na dvouválci. Po homogenizaci směsi se vytváří výrobek pomocí technologií lisování, přetlačování, vstřikování, vytlačování na požadovaný tvar a rozměr. V práci se dále zabývám příčinami zanášení forem a ochranou povrchu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE

Pro diplomovou práci byli stanoveny tyto cíle:

- Výběr materiálů a jejich vlastností, výroba zkušebních tělísek, měření jakosti povrchu a úprava povrchu zkušebních tělísek
- Zkoumání povrchu tělísek pod mikroskopem před lisováním
- Příprava kaučukové směsi, její vlastnosti, procesní parametry při lisování
- Sledování změn zkušebních tělísek po 50 cyklech a 100 cyklech FTIR analýzou
- Vyhodnocení zkušebních tělísek FTIR analýzou

9 SLITINY HLINÍKU

Pro experimentální část práce byly vybrány 3 druhy slitin Al. Jedná se o slitiny Peraluman 30, Peraluman 36 (obě slitiny se používají na výrobu dezénové části formy, v současnosti se trvale přechází jenom na slitinu Perlaman 36), dále byla použita slitina G. AL C210, která se používá na formy pro vstřikování PUR pěn.

Tabulka 1 složení slitin Al [18],[19]

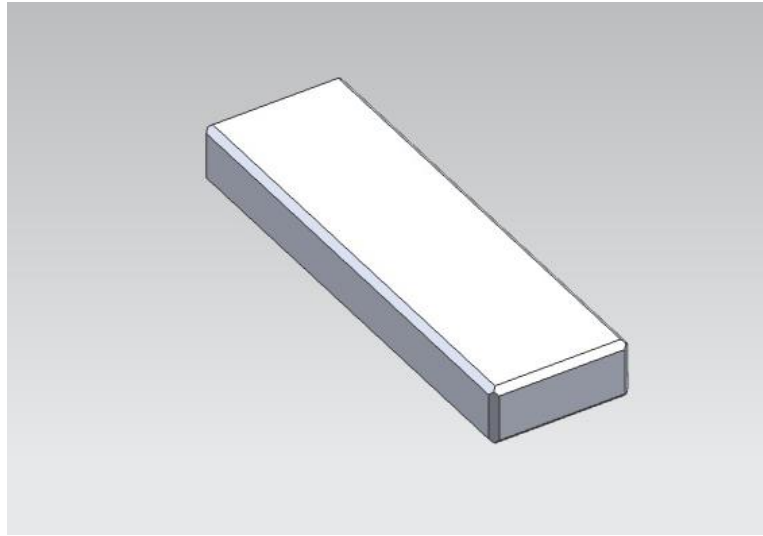
Obchodní název	Chemické značení	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Ostat- ní
Peraluman 30	AlMg3	0,45	0,15	0,02	0,01-0,4	2,7-3,5	0,1	0,01- 0,15	Be
Peraluman 36	AlMg3Si	0,9- 1,3	0,15	0,02	0,01-0,4	2,7-3,5	0,1	0,01- 0,15	Be
G. Al C210	AlMg4,5 Mn	0,4	0,4	0,1	0,5-1	4,3-5,2	0,2	0,15	Be

9.1 Výroba zkušebních tělísek ze slitin Al

Zkušební tělíska byla vyráběna frézováním na konvenční frézce FGU 32 výrobce Tos Olomouc. Rozměr tělísek byl 70x21x9 mm.



Obrázek 26 Konvenční frézka FGU32



Obrázek 27 Zkušební tělísko

9.1.1 Měření jakosti povrchu zkušebních tělísek

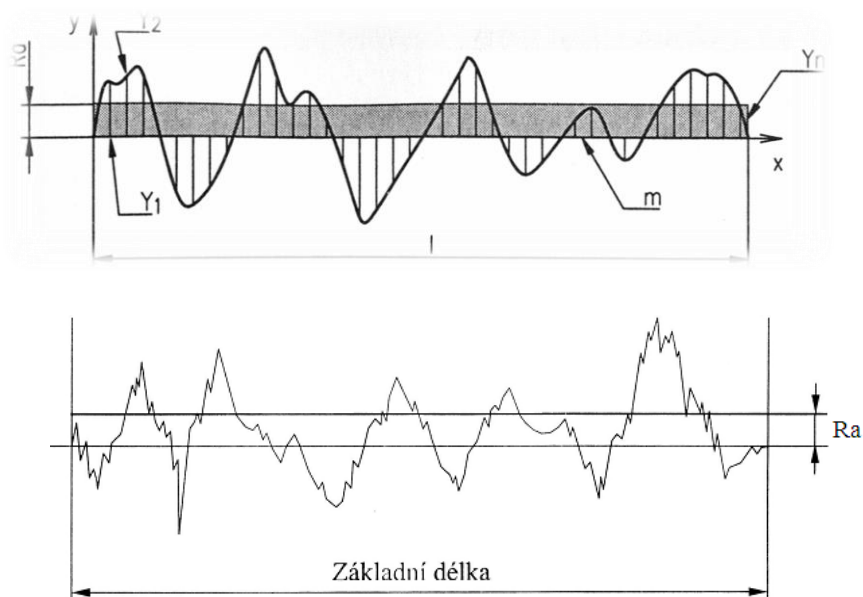
Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu – Ra

Nazývá se též „Střední aritmetická úchylka“ a příslušnou normou je definována jako aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Y(x)$ v rozsahu základní délky. [20]

Vzorec pro statistickou metodu určení Ra:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| = \frac{|y_1| + |y_2| + |y_3| + \dots + |y_n|}{n} [\mu\text{m}]$$

Doporučené základní délky l [mm] jsou: 0,08 0,25 0,8 2,5 8 25 mm



Tabulka 2 Hodnoty Ra [20]

Střední aritmetická úchylka povrchu Ra [μm]						Typická metoda výroby povrchu
0,012	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	Dokončovací metody (broušení, lapování, apod.)
1,6	3,2	6,3	12,5			Běžné obrábění (soustružení, frézování, apod.)
25	50	100	200	400		Povrch polotovarů (výkovky, odlitky, apod.)

Největší výška profilu – Rz

Je definovaná jako součet výšky Yp největšího výstupku profilu a hloubky Yv nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. [20]



Měření jakosti povrchu na vyfrézovaných zkušebních tělískách se provádělo přenosným dotykovým měřicím přístrojem od firmy Mitutoyo SJ-301. Měření se provádělo v podélném směru.



Obrázek 28 Měření drsnosti na zkušebním tělisku



Obrázek 29 Měřicí přístroj Mitutoyo SJ-301

Tabulka 3 Jakost povrchu na měřených tělíscích

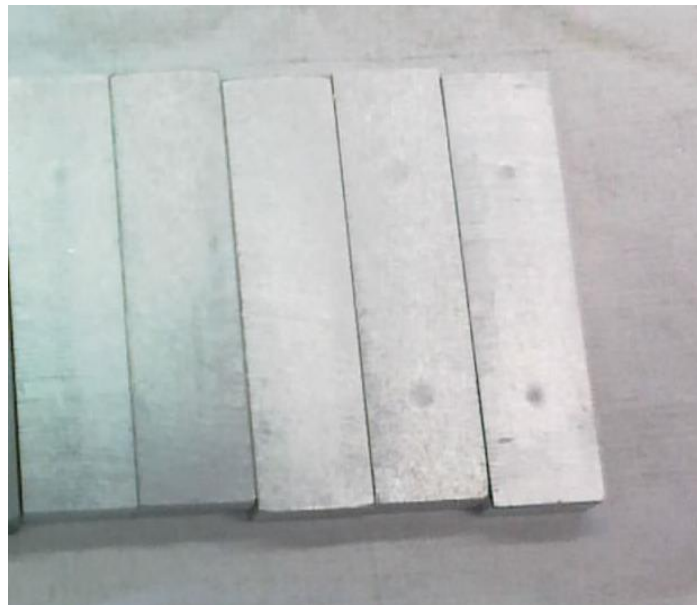
Jakost obrobene plochy Ra[μm]						x	s
Pe30_1	1,140	1,560	1,180	1,450	1,250	1,255	0,079
Pe30_2	1,200	1,480	1,080	1,148	1,330	1,248	0,071
Pe30_3	1,110	1,180	1,020	1,480	1,380	1,234	0,085
Pe36_1	2,630	1,230	1,050	1,050	1,750	1,542	0,301
Pe36_2	1,800	1,950	1,240	1,390	1,250	1,526	0,147
Pe36_2	1,440	1,190	1,360	1,480	1,550	1,344	0,055
G.Al C210_1	0,690	0,760	1,900	1,480	2,150	1,396	0,294
G.Al C210_1	0,640	0,900	1,750	1,480	2,150	1,384	0,275
G.Al C210_1	0,590	0,770	1,150	1,480	1,850	1,168	0,230

9.1.2 Povrchová úprava zkušebních tělísek

Povrchová úprava se aplikovala na 5 zkušebních tělísek z materiálu Peraluman 30, Peraluman 36 a na slitinu G. AL C210. Úprava povrchu se prováděla metodou PVD za použití Cr a N, výsledný povlak tvořil sloučeninu CrN tloušťka se pohybovala v rozmezí 2,5-3 μ m.



Obrázek 30 Povrchová úprava tělísek
vrstvičkou CrN



Obrázek 31 tělíska bez povrchové úpravy

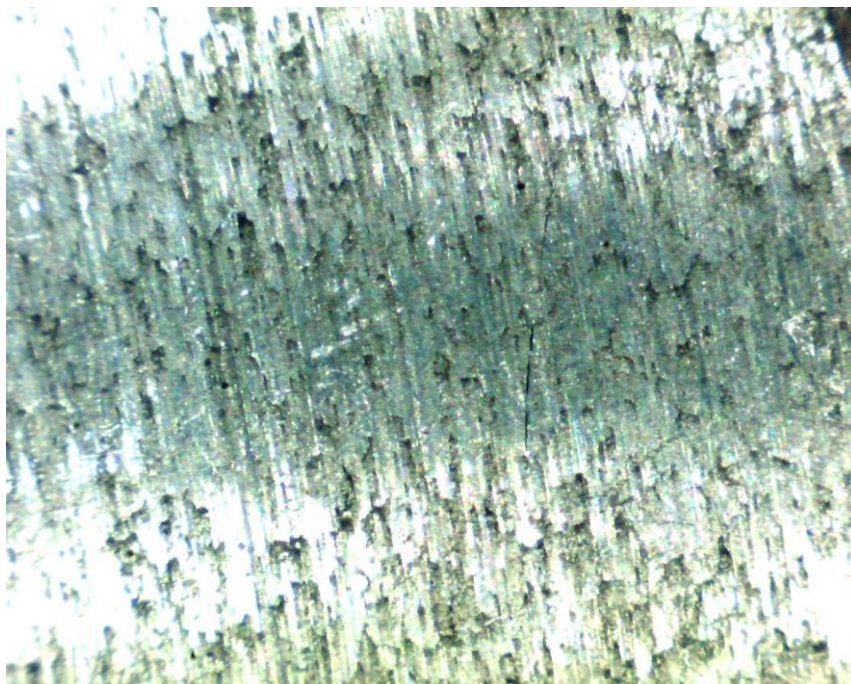
10 ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKA PŘED LISOVÁNÍM

Před lisováním bylo nutné pořídit snímky zkušebních tělísek. Pro detailnější snímky byl použit přenosný mikroskop ProScope HR, má možnost zvětšení až 400x.

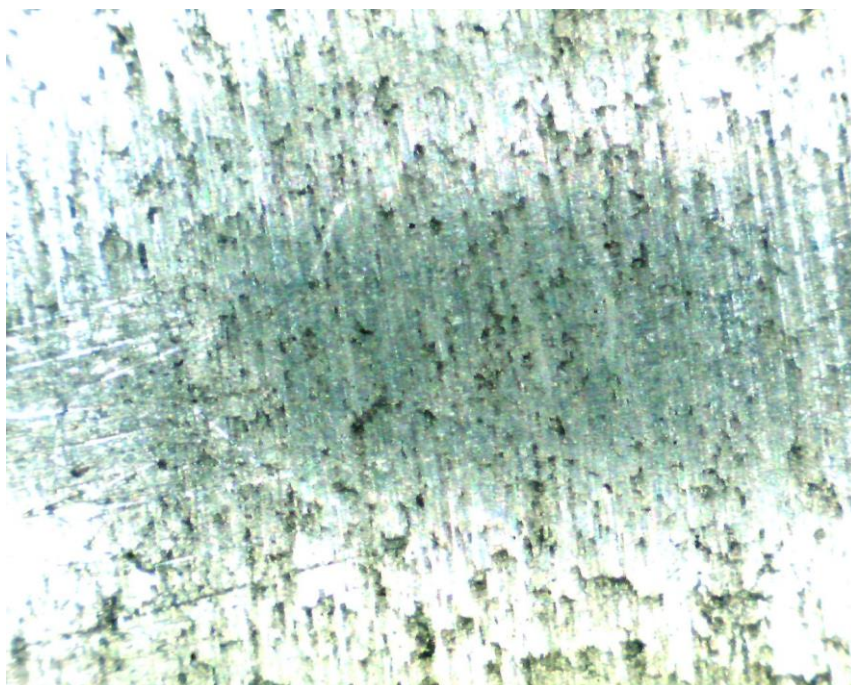
10.1 Povrch zkušebních tělísek pod mikroskopem



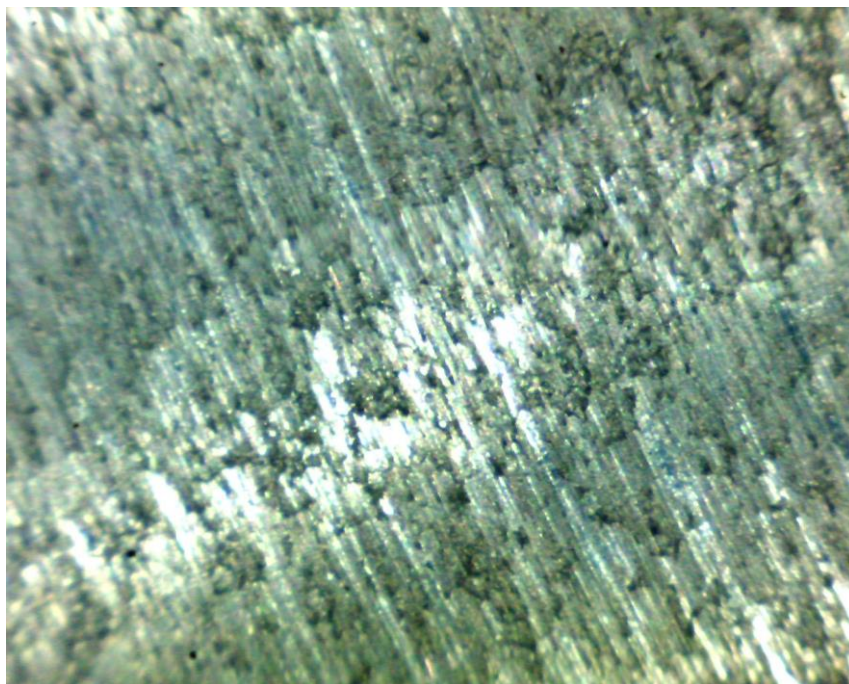
Obrázek 32 Mikroskop ProScope HR [21]



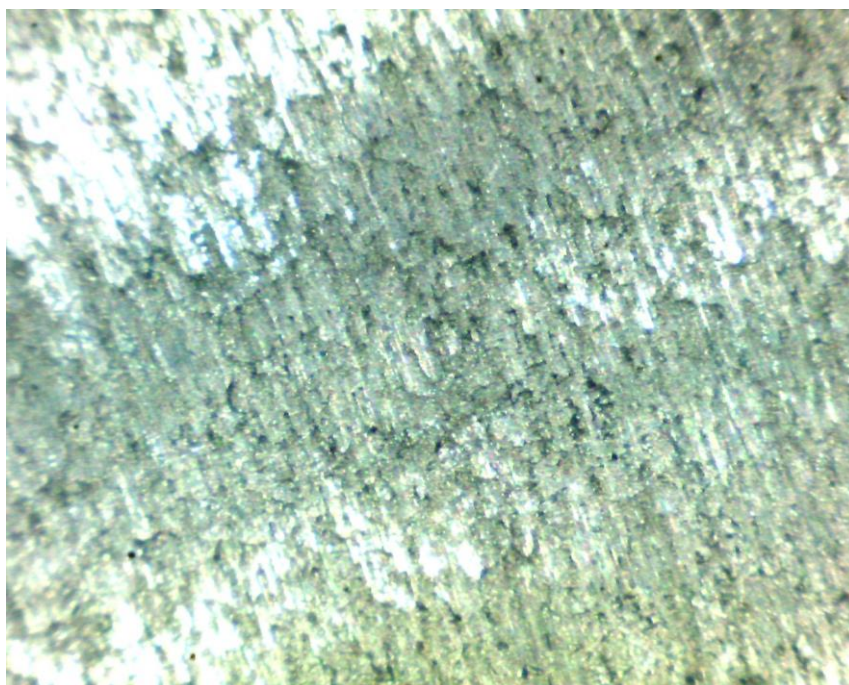
Obrázek 33 Peraluman 30 bez povrchové úpravy



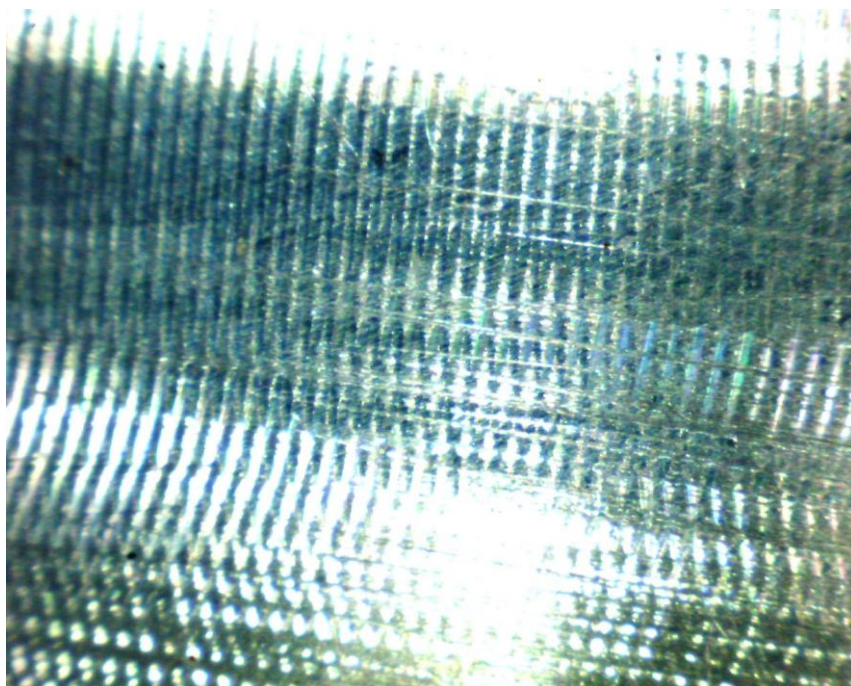
Obrázek 34 Peraluman 30 s povrchovou úpravou



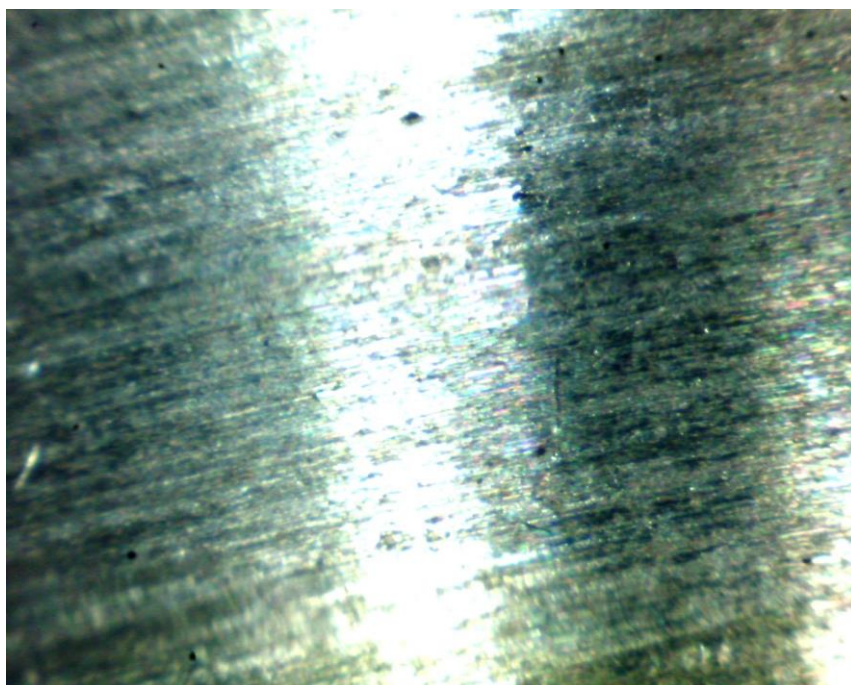
Obrázek 35 Peraluman 36 bez povrchové úpravy



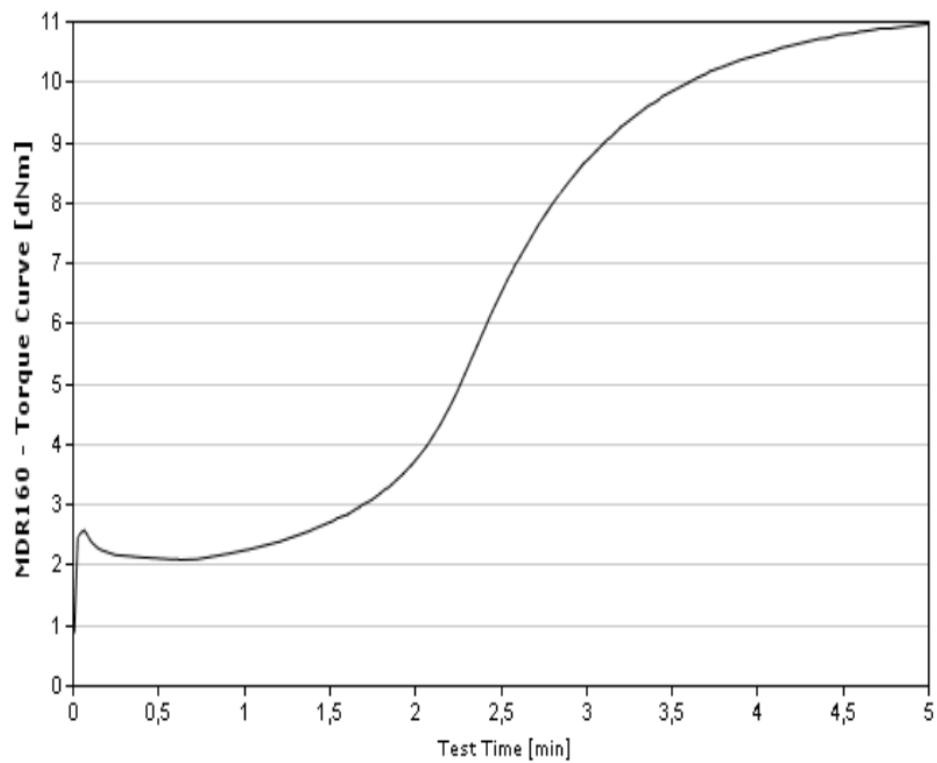
Obrázek 36 Peraluman 36 s povrchovou úpravou



Obrázek 37 Slitina G. Al C210 bez povrchové úpravy

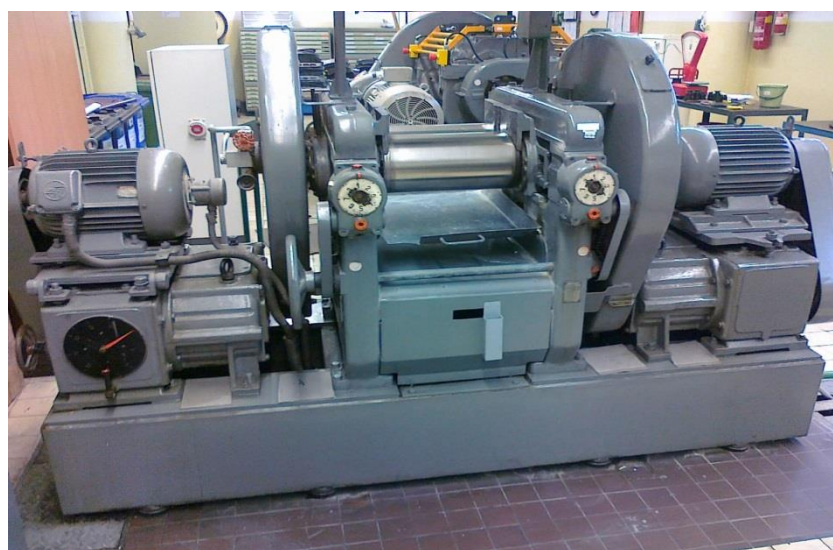


Obrázek 38 Slitina G. Al C210 s povrchovou úpravou



Obrázek 39 Vulkanizační křivka materiálu 260

Směs dodána firmou MITAS a.s., měla tloušťku 6mm, v laboratořích firmy Continental Barum s.r.o. byla směs vyválcována na tloušťku 5mm, po prvních zálisech byly velké přetoky, směs se znovu vyválcovovala na dvouválcí na tloušťku 4mm.



Obrázek 40 Dvouválec 400



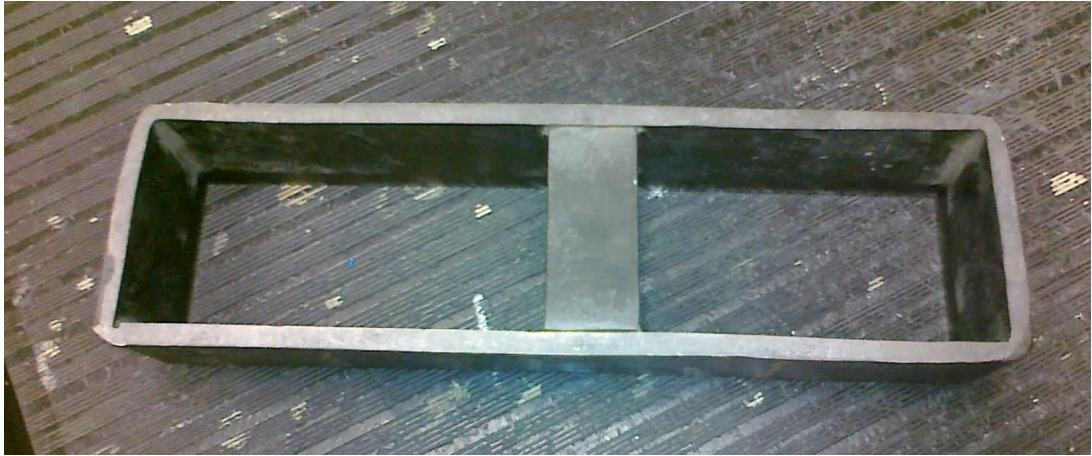
Obrázek 41 Přetok směsi

11.1 Příprava nálože do formy

Z běhounové směsi 260 bylo nutno připravit na zalisování 50 cyklů a 100 cyklů nálož. K tomu se používal vysekávací lis značky Svit a šablona s rozměrem 270x70 mm



Obrázek 42 Vysekávací lis Svit



Obrázek 43 Šablona na vysekávání polotovarů



Obrázek 44 Vyseknutý polotovar

11.2 Vulkanizace formy

Vulkanizace pláštíů pneumatik probíhá v rozmezí teplot od 156°C -170°C. Byla zvolena teplota 170°C a čas 5 min.

Tabulka 6 Procesní parametry vulkanizace

Procesní parametry vulkanizace		
Teplota vulkanizace	170	[min]
Čas vulkanizace	5	[°C]
Lisovací tlak	12	[MPa]



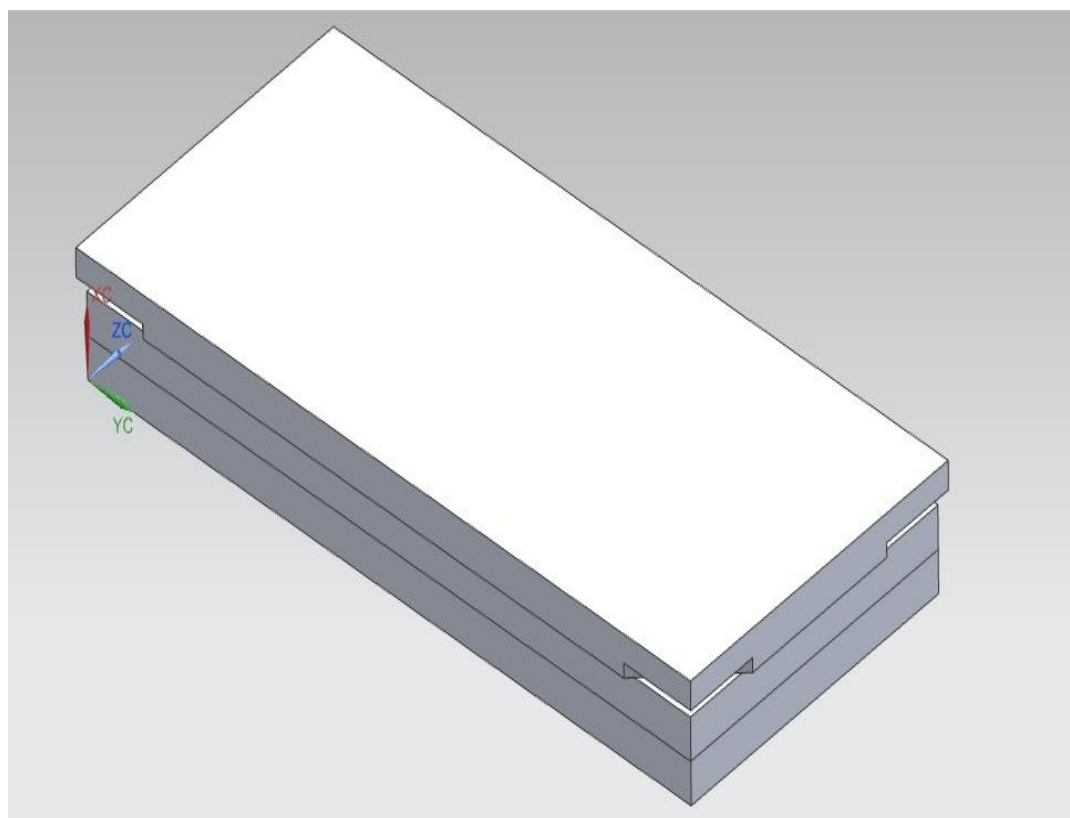
Obrázek 45 Vulkanizační lis 300x300

11.2.1 Příprava formy

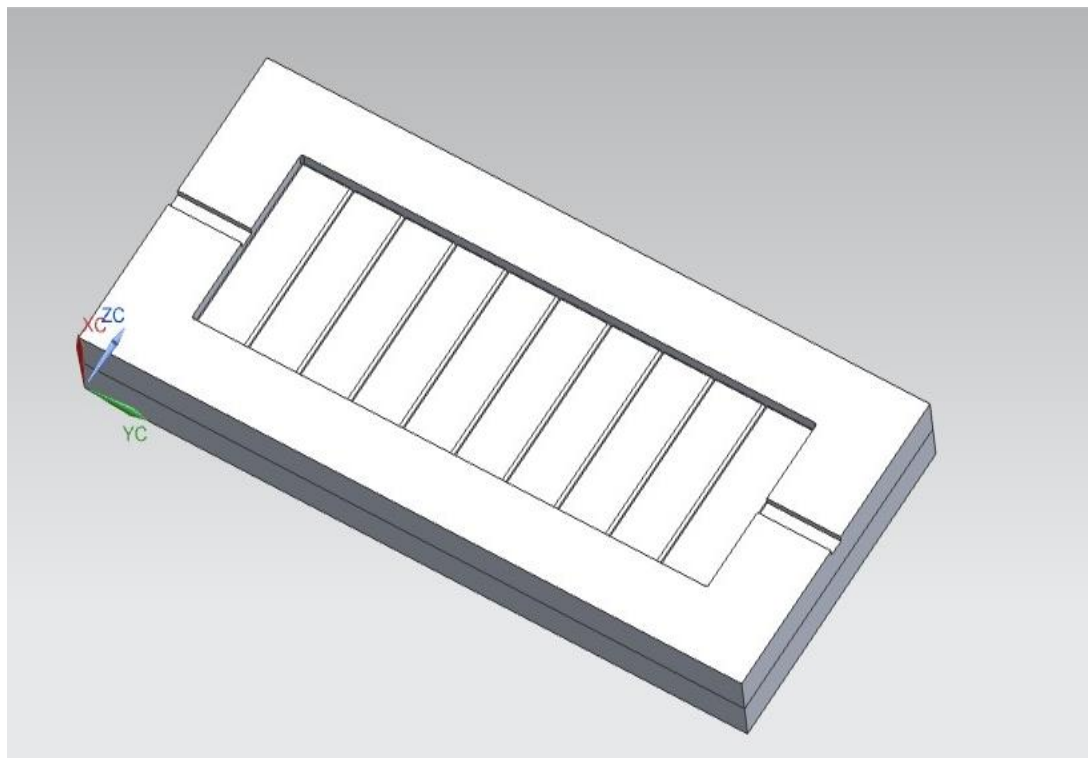
Forma musela být řádně vyčištěna. Pro snadnější odformování byl použitý, pouze na formu, přípravek na bázi PTFE od firmy FUSCH Lubritech.



Obrázek 46 Přípravek
gleitmo 980



Obrázek 47 Uzavřená forma



Obrázek 48 Dutina formy se zkušebními tělísky

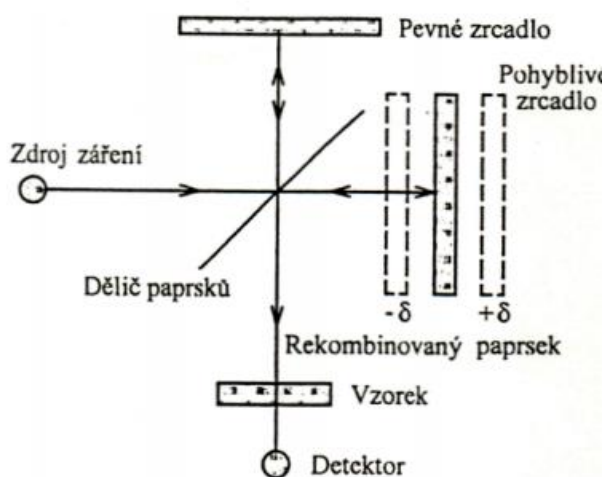


Obrázek 49 Dutina formy s náloží

12 ANALÝZA VULKANIZAČNÍCH ZBYTKŮ

12.1 Infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací

Disperzní infračervené spektrometry s mřížkovým monochromátorem mají svá omezení. Nedostatkem je především pomalost získávání spektra, malá citlivost, nízký poměr signálu k šumu, nemožnost získat dostatečně velké rozlišení v širokém rozsahu vlnočtů a obtížnost měření silně absorbujících vzorků. Při infračervené spektrometrii s Fourierovou transformací (FTIR) se interferometricky získaný signál převede matematickou operací - Fourierovou transformací - na infračervené spektrum. Základem FTIR spektrometru je např. Michelsonův interferometr. Na obrázku je znázorněn princip tohoto interferometru. Záření ze zdroje přichází na polopropustný dělič paprsků, který jednu polovinu paprsků propustí k pohyblivému zrcadlu, druhá se odráží směrem k pevnému zrcadlu. Paprsky se od obou vzájemně kolmých zrcadel zpětně odrážejí a na děliči paprsků se podle polohy pohyblivého zrcadla buď sčítají nebo odčítají; dochází k interferenci. Jak se mění optický dráhový rozdíl δ obou paprsků, signál dopadající na detektor generuje interferogram. [24]



Obrázek 50 Michelsonův interferometr [24]

FTIR spektrometry mají celou řadu výhod, jako je vysoká světelnost, velká rozlišovací schopnost, vlnočtová správnost získaného spektra, velká rychlost záznamu a možnost měřit v širokém vlnočtovém rozsahu. Pro zlepšení poměru signálu k šumu se ve FTIR spektrometrech spektra akumulují vícenásobným záznamem. Takto získané kvalitní záznamy (v

digitální formě) lze dále zpracovávat, vyhodnocovat a interpretovat s použitím výpočetní techniky. [24]

12.2 Rentgenová fluorescenční spektrometrie

Rentgenová fluorescenční spektrometrie je metoda, jejíž počátky sahají až do prvních let 20. století. První komerční prototyp fluorescenčního spektrometru byl vyroben v 50. letech 20. století. Principem metody je interakce rentgenového záření, které emituje rentgenka, se vzorkem. Při této interakci dochází k vyražení elektronu z vnitřních slupek zkoumané látky. Následně dojde k přesunu elektronu z vyšších energetických hladin a vyzáření sekundárního rentgenového záření, které je charakteristické pro všechny prvky. Toto záření je poté detekováno na detektoru. Fluorescenční spektrometry dělíme na dva základní typy - vlnově dispersní a energeticky dispersní. Zatímco u vlnově energeticky dispersních spektrometrů dochází k separaci rtg. záření na krystalu na základě různých vlnových délek, disperzních spektrometrů dochází k detekci na základě různých energií fotonů sekundárního rtg. záření. [25]

Využití rentgenové fluorescenční spektrometrie je velmi široké. Zasahuje do všech oblastí průmyslu i výzkumu. Tato metoda je schopna identifikovat prvky v rozsahu Al - U na vzduchu a při použití vakua je možno identifikovat až Be. [25]

12.2.1 Spektrální analýza FTIR

Analýza zkušebních tělísek byla prováděna pomocí FTIR. Byl použit infračervený mikroskop Nicolet iN10



Obrázek 51 Infračervený mikroskop Nicolet iN 10 [26]

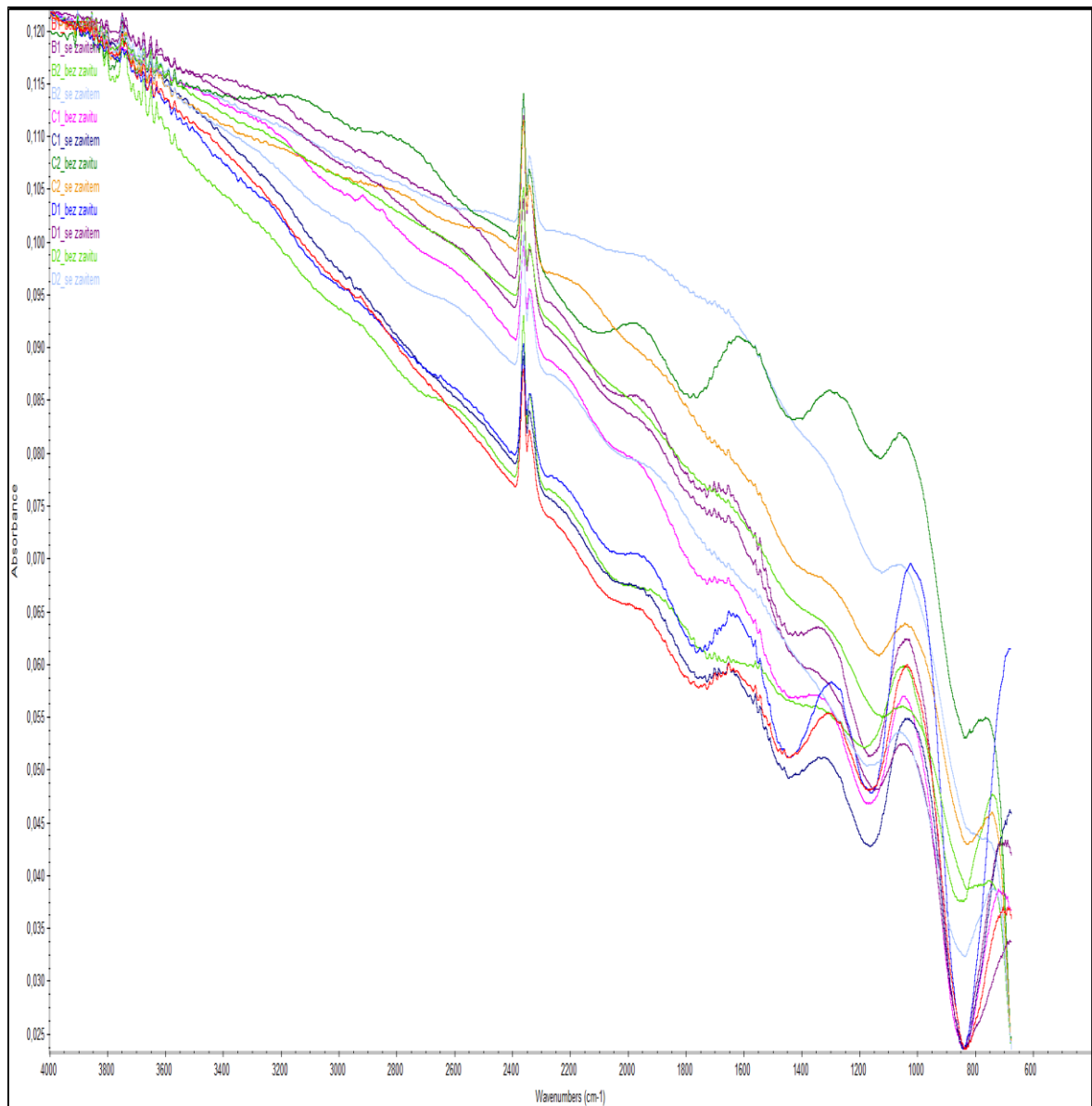
Infračervený mikroskop Nicolet iN10 má následující parametry:

- Spektrální rozsah: 7800 - 720 cm^{-1}
- Rychlost měření: 150 spekter za vteřinu
- Mapování: 1,2 x 1,2 mm = 20 vteřin (45 minut se standartním detektorem)!

- Chlazení MCT-A detektoru dusíkem: 16-ti hodinová výdrž! [26]

12.2.2 Výsledky FTIR analýzy před lisováním

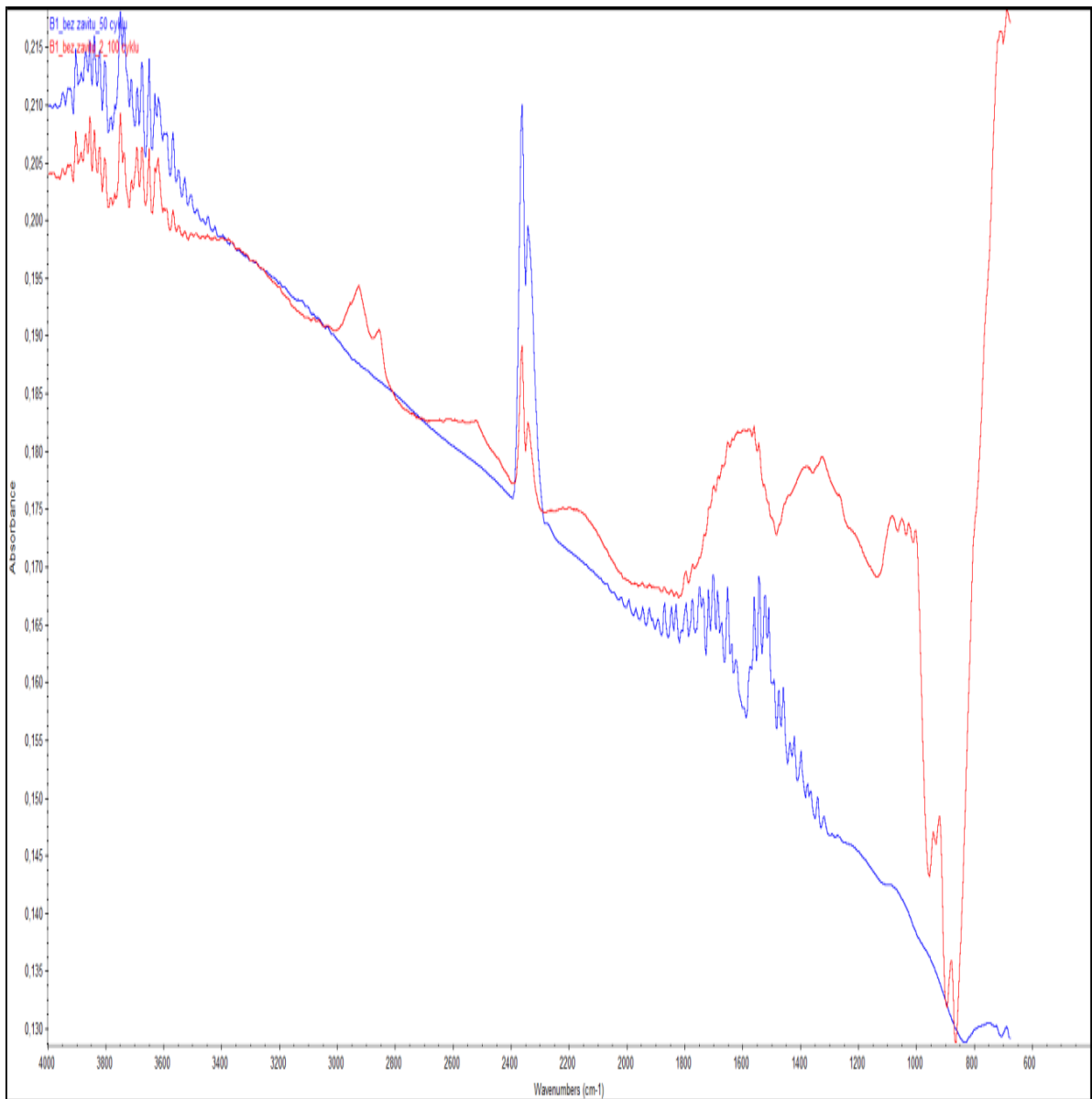
Spektrální analýzou u všech slitin Al před lisováním byl zjištěn pík v rozmezí 2300 cm^{-1} jednalo se o CO_2



Obrázek 52 FTIR analýza všech slitin Al

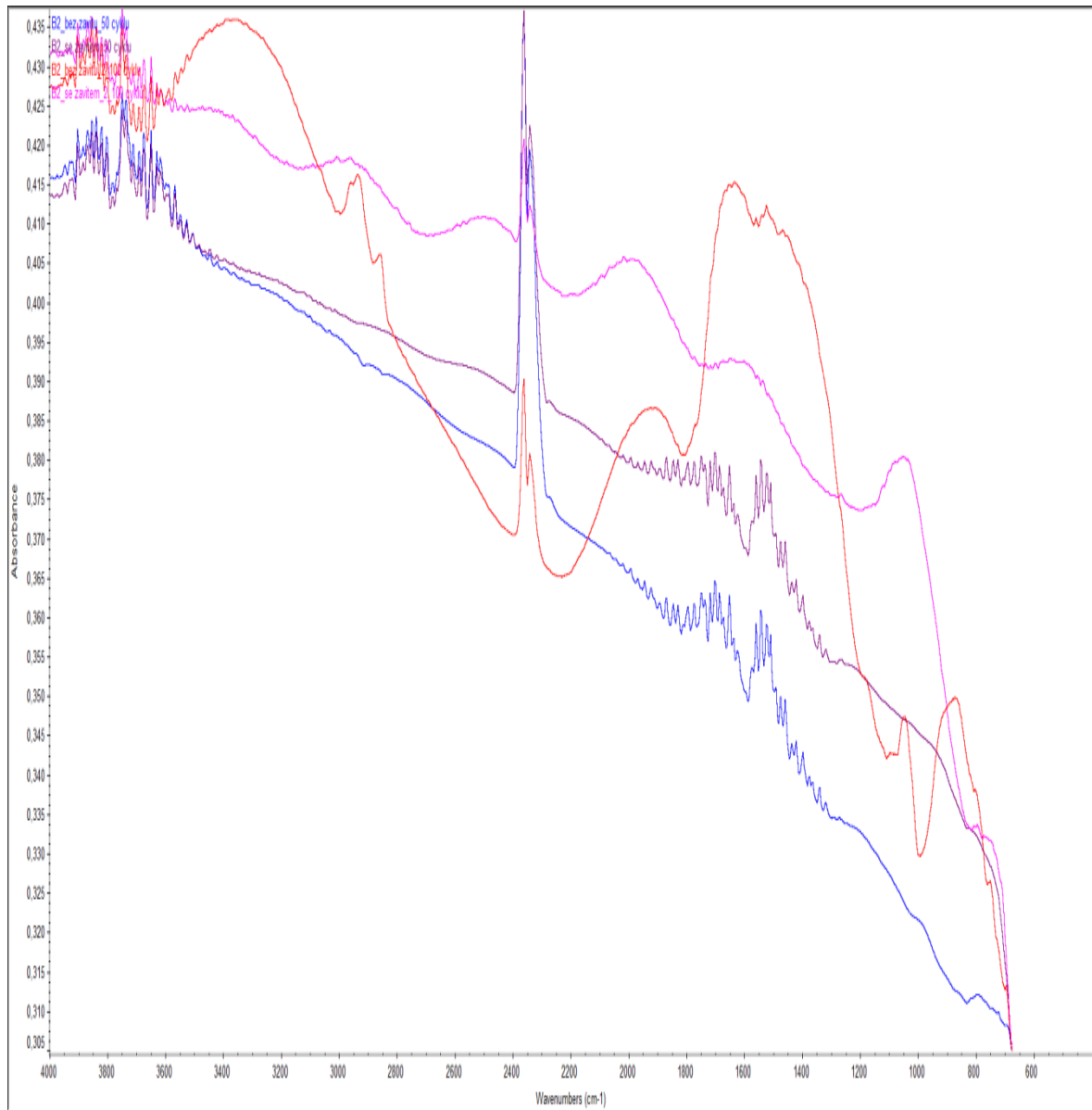
12.2.3 Výsledky FTIR analýzy při 50 a 100 zálisech

Analyzováno bylo chemické složení ulpěných zbytků. Tyto zbytky se vyznačují širokým pásem od 1100-3400 cm^{-1} . Pásky se vyskytují v materiálech typu fenol-formaldehydových pryskyřic. Jde o velmi široce definované struktury, karboxyly, karbonyly, $-\text{CH}_2$, CH_3 , vazby apod.



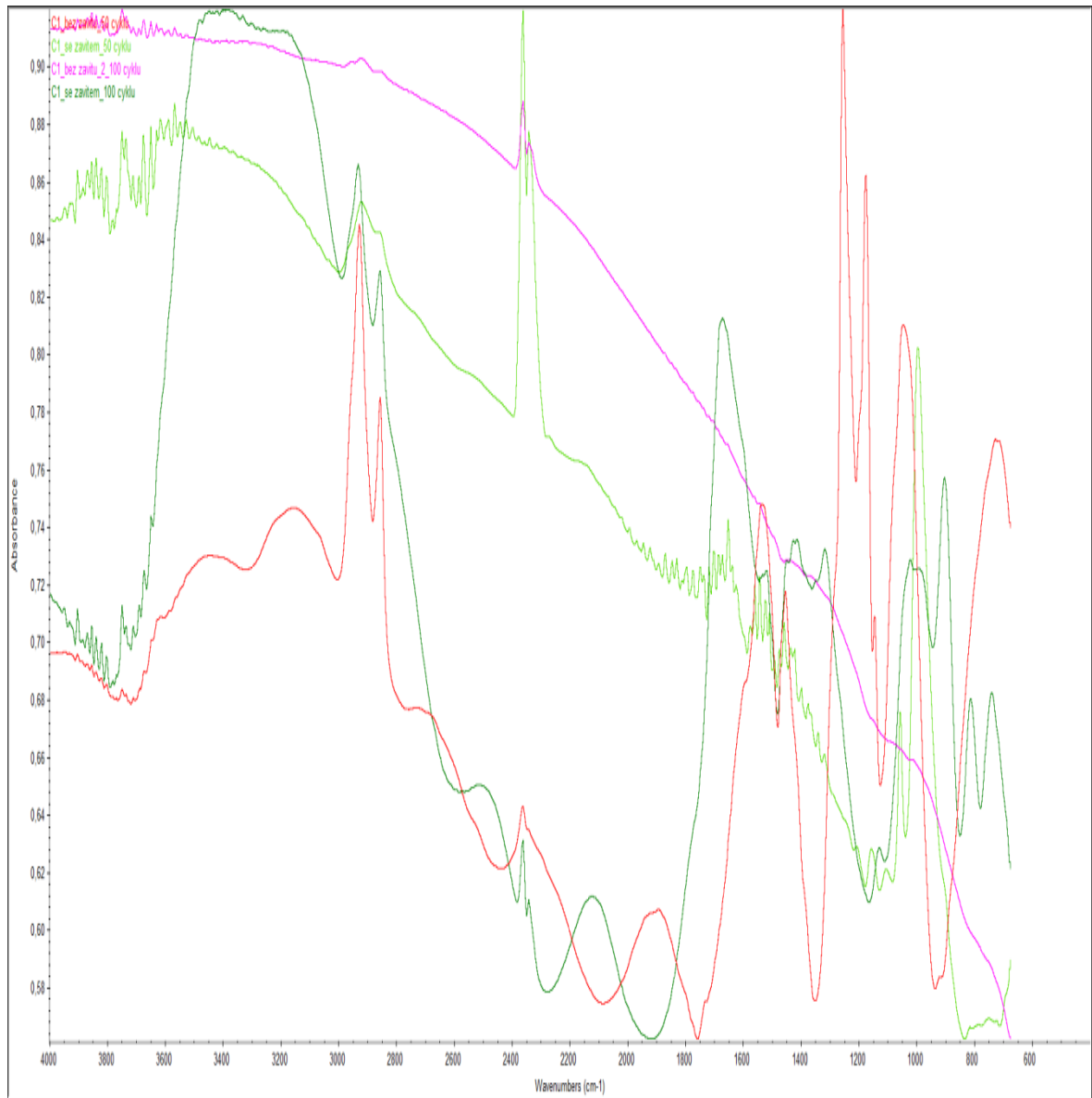
Obrázek 53 FTIR analýza Peraluman 30 bez povrchové úpravy

Spektrální analýzou u vzorku Peraluman 30 s povrchovou úpravou byly zjištěny tyto spektra: 1100 cm^{-1} C-O valenční skupiny, 1450 cm^{-1} CH_2, CH_3 deformační skupiny, 2300 cm^{-1} CO_2 , 3400 cm^{-1} OH skupiny valenční



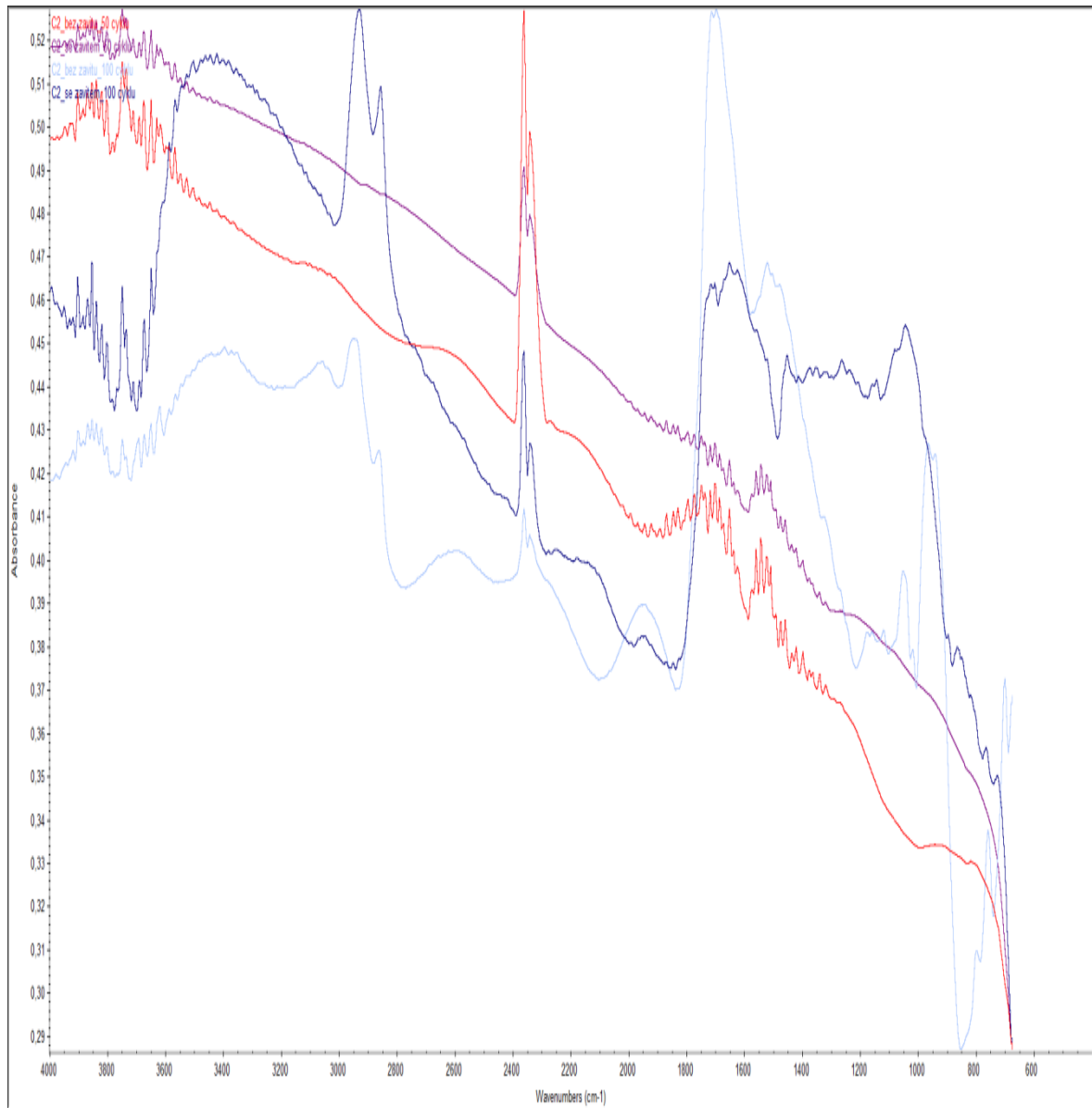
Obrázek 54 analýza Peraluman 30 s povrchovou úpravou

Spektrální analýzou u vzorku Peraluman 36 bez povrchové úpravy byl vzorek kontaminován, nejspíše z důvodu chybného odformování nebo manipulací se zkušebním tělískem. Obrázek spektra byl vložen z důvodu zobrazení odlišnosti od ostatních spekter.



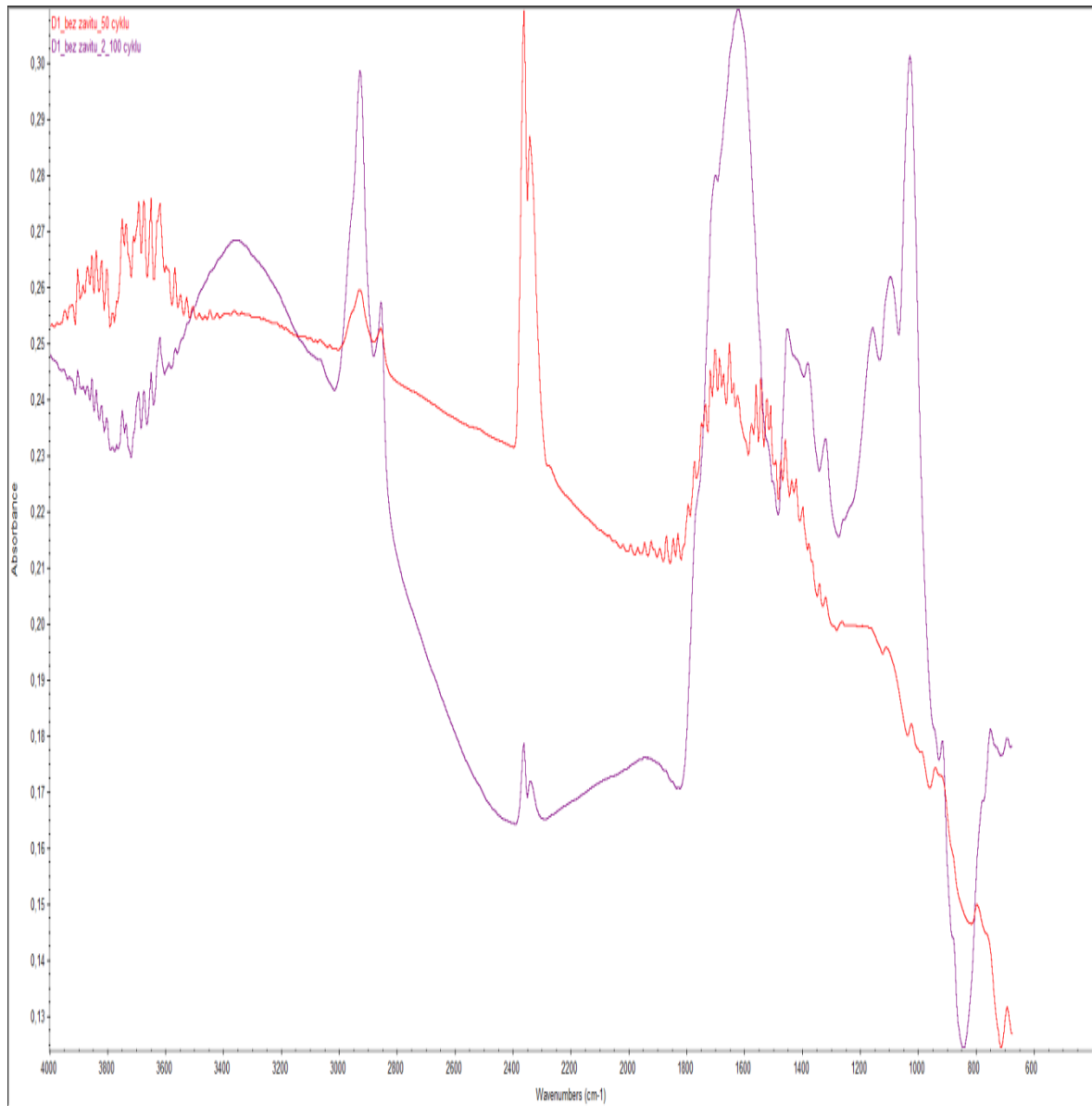
Obrázek 55 analýza Peraluman 36 bez povrchové úpravy

Spektrální analýzou u vzorku Peraluman 36 s povrchovou úpravou byly zjištěny tyto spektra: $1600\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ C=O valenční skupiny, 2300 cm^{-1} CO₂, 2900 cm^{-1} CH₂,CH₃ valenční skupiny



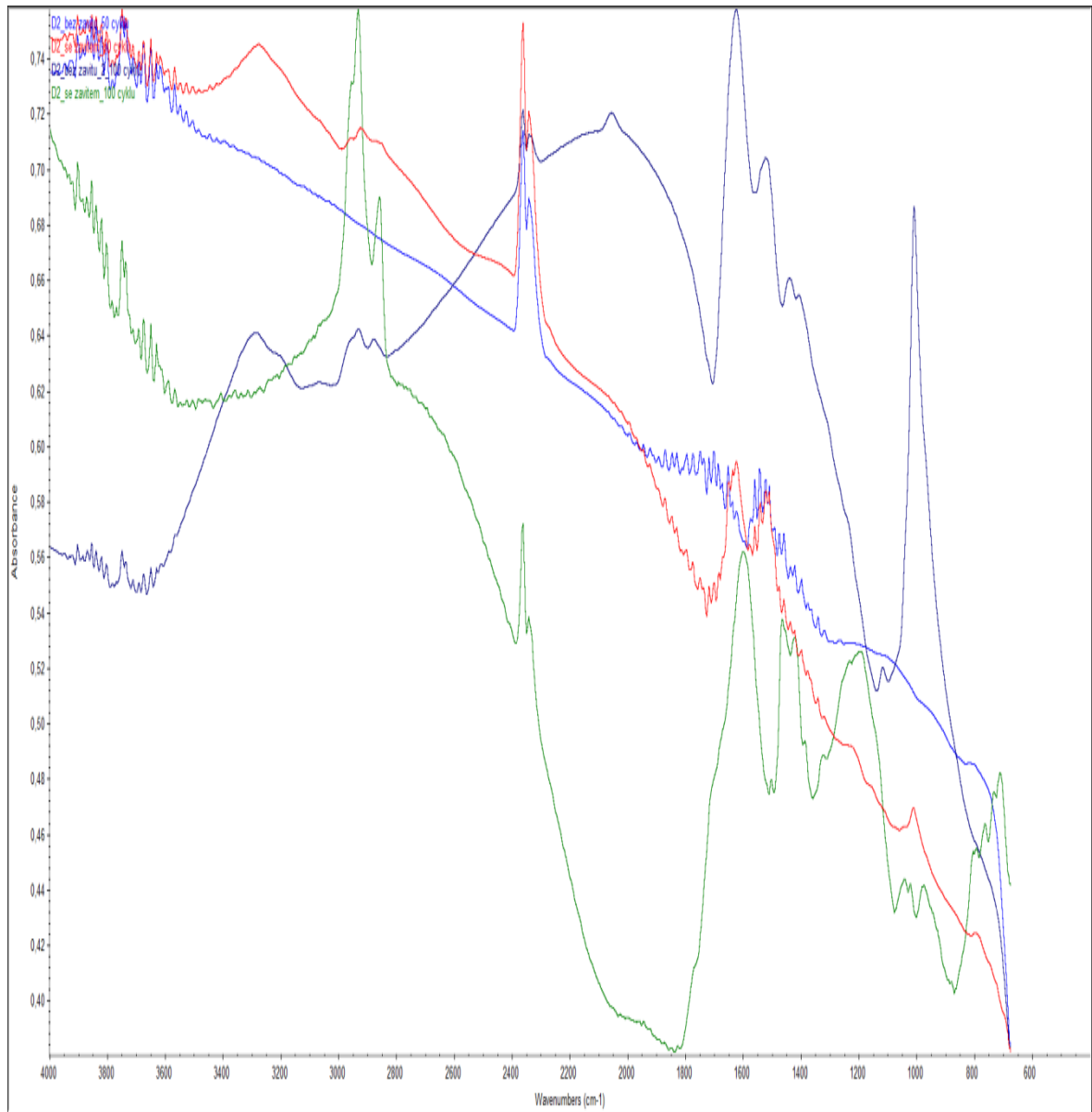
Obrázek 56 analýza Peraluman 36 s povrchovou úpravou

Spektrální analýzou u vzorku Peraluman G. Al C210 bez povrchové úpravy byly zjištěny tyto spektra: 1100 cm^{-1} C-O valenční skupina, $1600\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ C=O valenční skupiny, 2300 cm^{-1} CO₂, 2900 cm^{-1} CH₂,CH₃ Valenční skupiny



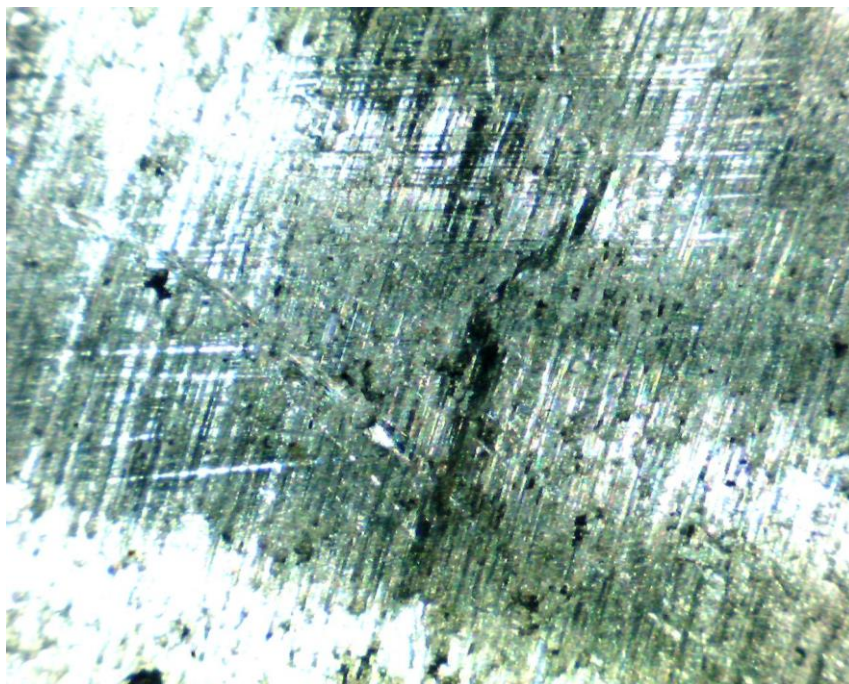
Obrázek 57 analýza G.Al C210 bez povrchové úpravy

Spektrální analýzou u vzorku Peraluman G. Al C210 s povrchovou úpravou byly zjištěny tyto spektra: 1100 cm^{-1} C-O valenční skupina, $1600\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ C=O valenční skupiny, 2300 cm^{-1} CO₂, 2900 cm^{-1} CH₂,CH₃ Valenční skupiny

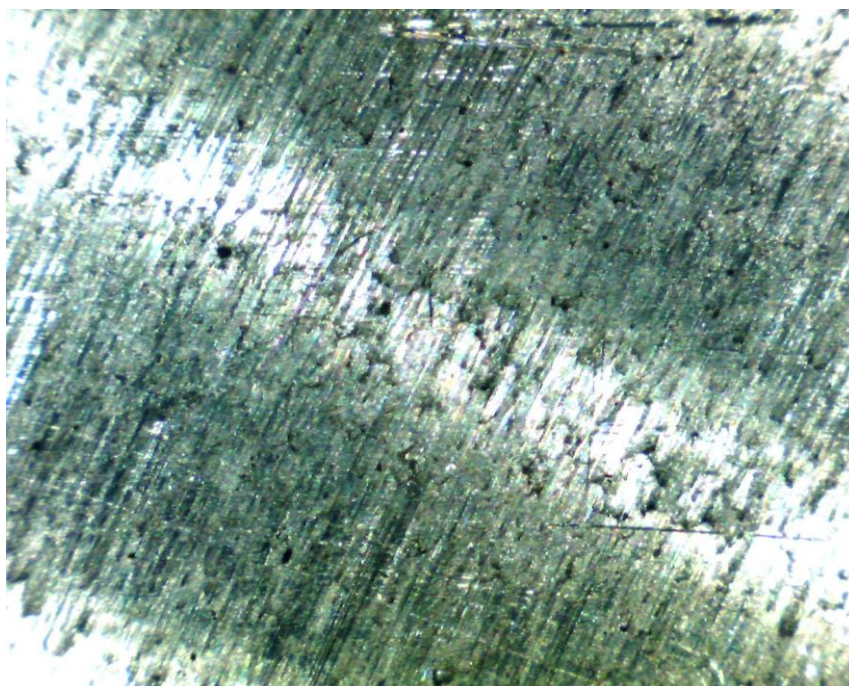


Obrázek 58 analýza G.Al C210 s povrchovou úpravou

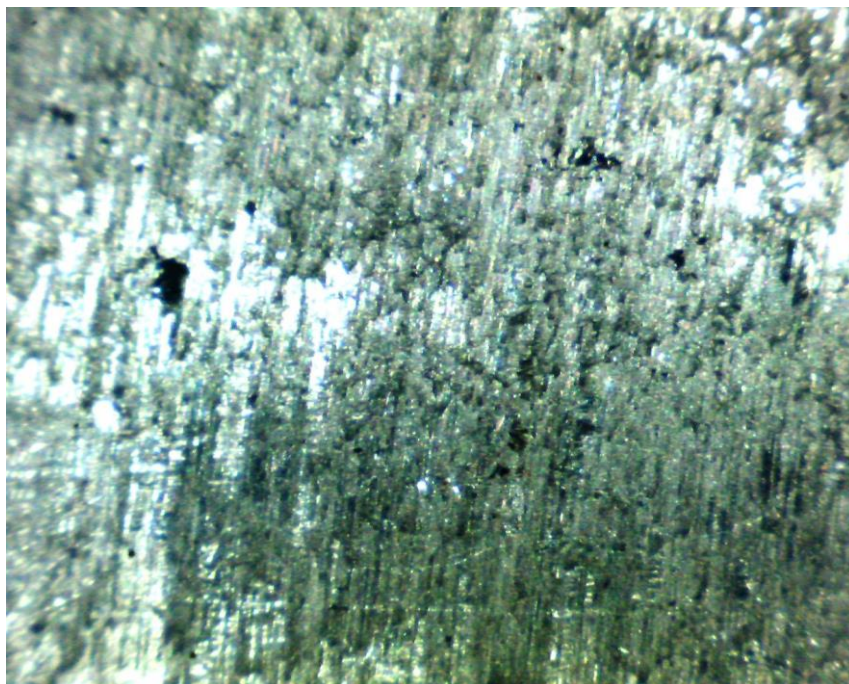
13 ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKA PO 100 CYKLECH LISOVÁNÍ



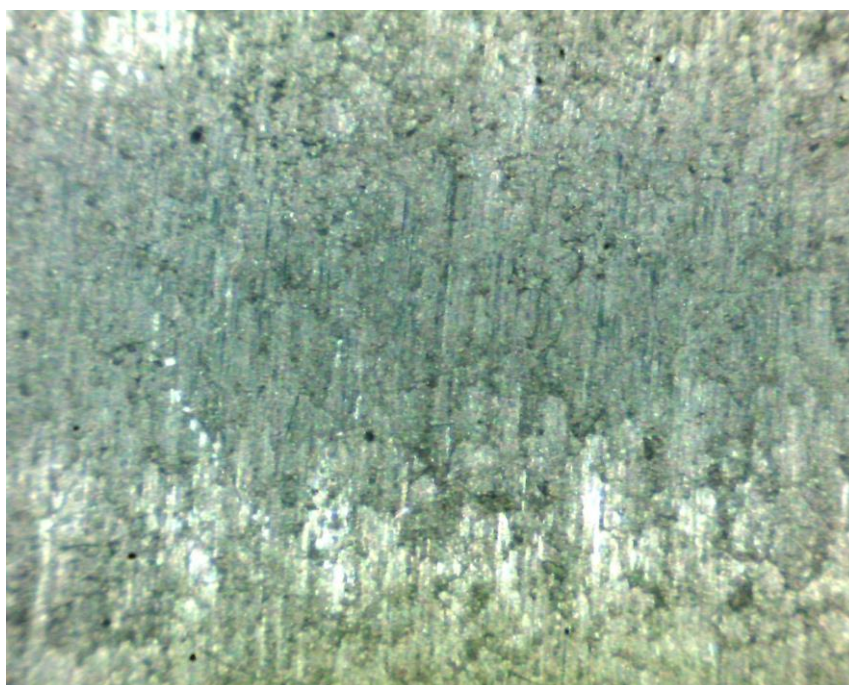
Obrázek 59 Peraluman 30 bez povrchové úpravy po 100 cyklech



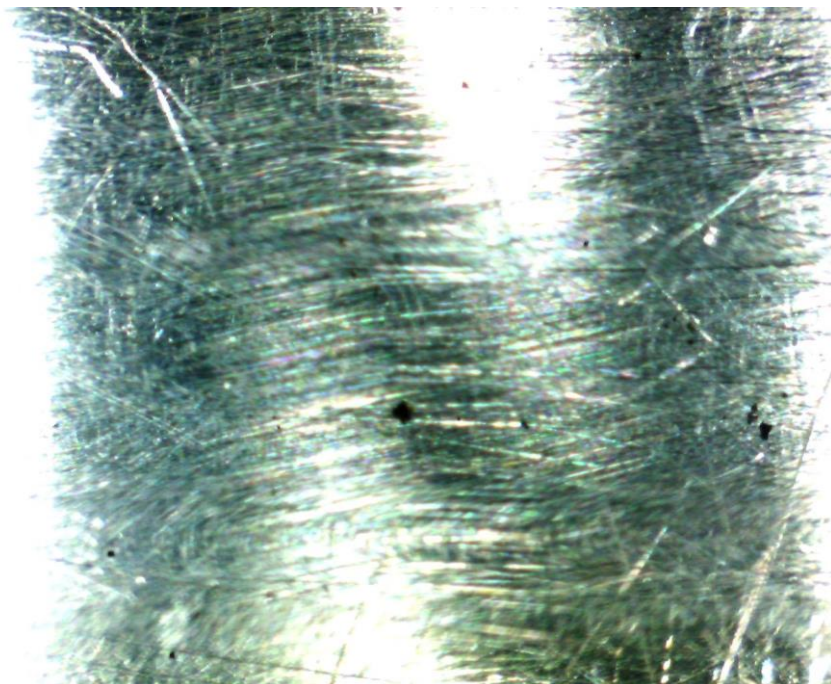
Obrázek 60 Peraluman 30 s povrchovou úpravou po 100 cyklech



Obrázek 61 Peraluman 36 bez povrchové úpravy po
100 cyklech



Obrázek 62 Peraluman 36 s povrchovou úpravou po
100 cyklech



Obrázek 63 G. Al C210 bez povrchové úpravy po
100 cyklech



Obrázek 64 G. Al C210 s povrchovou úpravou po
100 cyklech

DISKUZE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

K experimentální části byli vybrány následující slitiny hliníku: Peraluman 30 (AlMg3), Peraluman 36 (AlMg3Si), G. Al C210 (AlMg4,5Mn), které byly vyfrézovány na rozměr 70x21x9 mm. Vyfrézovaný materiál nevykazoval žádné vady.

Pro vyhodnocení jakosti povrchu se použilo měřicí přístroj Mitutoyo SJ-301 největší a nejmenší jakost obrobenej plochy je uvedena v tabulce.

Zkušební tělíska byly opatřeny povlakem CrN metodou PVD. Tloušťka se pohybovala v rozmezí 2,5-3 μ m.

Pro zkoumání povrchu před lisováním a po lisování 100 cyklů se použilo přenosného mikroskopu ProScope HR, má možnost zvětšení až 400x.

Při přípravě kaučukové směsi dodané firmou MITAS a.s. bylo nutné směs před lisováním vyválcovat na tloušťku 5mm, to se později ukázalo, jako hodně důsledkem byly velké přetoky. Směs byla vyválcována na konečnou tloušťku 4mm. Před samotným lisováním se forma bez zkušebních tělísek musela separovat přípravkem FUSCH Lubritech gleitmo 980 na bázi PTFE pro snadnější odformování. Lisování probíhalo za teploty 170°C a času 5 minut.

Po odlisování 50 cyklů se udělala FTIR analýza v CPS UTB Zlín. Ve výsledcích se neobjevovaly příliš změny. Po odlisování 100 cyklů se znovu udělala FTIR analýza. Analyzováno bylo chemické složení ulpěných zbytků. Tyto zbytky se vyznačují širokým pásem od 1100-3400 cm^{-1} . Pásky se vyskytují v materiálech typu fenol-formaldehydových pryskyřic. Jde o velmi široce definované struktury, karboxyly, karbonyly, -CH₂, CH₃, vazby apod.

U všech slitin Al se vyskytoval v rozmezí 2300 cm^{-1} CO₂, dále se vyskytovala 1100 cm^{-1} C-O valenční skupina, 1600-1700 cm^{-1} C=O valenční skupina, 2300 cm^{-1} CO₂, 2900 cm^{-1} CH₂, CH₃ Valenční skupiny

Vzorek Peraluman 36 bez povrchové úpravy byl kontaminován, nejspíše z důvodu chybného odformování nebo manipulací se zkušebním tělískem. Obrázek spektra byl vložen z důvodu zobrazení odlišnosti od ostatních spekter.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo stanovení optimální metody k analyzování gumárenských zbytků na povrchu formy.

Z rozboru práce lze učinit následující závěry:

- Nejvhodnější metoda k analyzování kontaminovaných kovů je FTIR metoda
- Metoda FTIR je velmi citlivá na kontaminaci vzorků z okolí
- V počátcích lisování mohou degradovat jednotlivé složky gumárenské směsi je nutno zvýšit frekvenci měření.

Metodou FTIR byly na zkušebních tělesech analyzovány typické pásy, které se vyskytovali na všech vzorcích. Byly to pásy typické pro fenol-formaldehydové pryskyřice, což jsou široce definované struktury a dále látky se siloxanovými skupinami.

Elementární prvková analýza XRF nebyla v diplomové práci provedena z důvodu nevhodnosti na přesné určení prvků. Jednotlivé píky prvků se mohou překrývat s jinými prvky např. S-Mo

Téměř na všech zkušebních tělíscích kromě Obr.58 analýza Peraluman 36 bez povrchové úpravy se zjistila téměř stejná spektra, liší se pouze intenzitou, nelze stanovit žádnou závislost kontaminace na druhu slitiny Al. Kontaminace je závislá na jakosti povrchu. Povrch, který má méně kavit nebude tak zanášen jako povrch který má mnoho kavit. V kavitách ulpívají zbytky zpracovatelských surovin, vosků, olejů atd. Následně degradují přes komplikované chemické reakce, které ztěžují analýzu.

Vzhledem k rozsahu a časové náročnosti experimentů se nepodařilo plně odhalit všechny příčiny a způsoby kontaminace povrchu forem. Výsledky provedených prací ale směřují další postup řešení do dvou zásadních směrů. Předpokládá se na základě provedených prací, že problém se dělí do dvou směrů, první příčinou kontaminace povrchu je mechanické ulpívání zejména tepelně degradovaných částí kaučukové směsi, zejména jejich složek s nízkou teplotou tání a degradace, Druhou část tvoří chemické vazby vznikající mezi gumárenskými činidly a prvky, které jsou součástí hliníkové slitiny.

Pro další pokračování výzkumu je navrženo experimentálně oddělit popsané jevy a experimenty, uvedené v diplomové práci zopakovat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DVOŘÁK, Zdeněk. ZRACOVATELSKÉ PROCESY GUMÁRENSKÉ: pro konstrukční směry. Zlín, 2013, 177 s. Dostupné z: <http://www.utb.cz/ft/intranet-ft/studijni-podpora>
- [2] FRANTA, Ivan. Gumárenské suroviny. 3., přeprac. a dopl. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1979, 606 s.
- [3] FRANTA, Ivan a kol. Gumárenská technologie I: Gumárenské suroviny. Praha: SNTL Nakladatelství technické literatury, 1979.
- [4] DVOŘÁK, Zdeněk; ZÁKLADY VÝROBNÍCH PROCESŮ Konstrukce gumárenských výrobků a forem pro jejich výrobu [online]. Zlín, 2007 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.utb.cz/ft/intranet-ft/studijni-podpora>
- [5] HAVLÍČKOVÁ, K., Diplomová práce – Způsoby čištění forem od vulkanizačních zbytků. Zlín: UTB, 2014. 89 s.
- [6] RESINEX, [online]. [cit. 2014-12-21]. Dostupný z: <http://www.resinex.cz/polymerove-typy/natural-rubber.html>
- [7] GVP, [online]. [cit. 2014-12-28]. Dostupný z: [www.gvp.cz/.../PŘÍRODNÍ%20KAUČUK\(Chadim%20Mirek\).doc](http://www.gvp.cz/.../PŘÍRODNÍ%20KAUČUK(Chadim%20Mirek).doc)
- [8] TRANSPORT-LOGISTIKA, [online]. [cit. 2015-01-12]. Dostupný z: <http://www.transport-logistika.cz/zpravy/auto-aktuality/957-continental-predstavuje-prvni-testovaci-pneumatiky-z-kaucuku-taraxagum-ziskaneho-z-pampelisek.html>
- [9] 123RF, [online]. [cit. 2015-01-12]. Dostupný z: http://www.123rf.com/photo_18404924_milky-latex-extracted-from-rubber-tree-hevea-brasiliensis-as-a-source-of-natural-rubber.html
- [10] STEMA, [online]. [cit. 2015-01-12]. Dostupný z: <http://www.stema.otrokovice.cz/kaucuky-prirodni.html>
- [11] KSP. TUL, [online]. [cit. 2015-01-20]. Dostupný z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm
- [12] DVOŘÁK, Zdeněk; JAVOŘÍK, Jakub. UTB ZLÍN. Konstrukce výrobků, konstrukční materiály elastomerní a formy pro jejich výrobu [online]. Zlín, 2013 [cit. 2015-01-20].

- [13] POVRCHOVÁ ÚPRAVA, [online]. [cit. 2015-01-30]. Dostupný z:
<http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/casopisy/pu-2007-03.pdf>
- [14] FYZIKA, ČVUT, [online]. [cit. 2015-01-30]. Dostupný z:
http://fyzika.fs.cvut.cz/subjects/fzmt/lectures/FZMT_7.pdf
- [15] PVD, [online]. [cit. 2015-01-31]. Dostupný z: <http://www.pvd.cz/uvod1.html>
- [16] OXFORD-INSTRUMENTS, [online]. [cit. 2015-01-30]. Dostupný z:
[http://www.oxford-instruments.com/products/etching-deposition-and-growth/plasma-etch-deposition/physical-vapour-deposition-\(pvd\)](http://www.oxford-instruments.com/products/etching-deposition-and-growth/plasma-etch-deposition/physical-vapour-deposition-(pvd))
- [17] VUTBR závěrečná práce, [online]. [cit. 2015-03-31]. Dostupný z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_veřejne.php?file_id=38353
- [18] CERTILAS, [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupný z:
- [19] RHEINFELDEN ALLOYS Leporello, [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupný z:
http://www.rheinfeldenalloys.eu/c/document_library/get_file?p_l_id=11905&folderId=320393&name=DLFE-3812.pdf&version=1.0
- [20] SOSBLANSKO, [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupný z:
www.sosblansko.cz/suplovaci_rozvrh/stanoveni_drsnosti.doc
- [21] BODELIN, [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupný z:
<https://www.bodelin.com/proscope/proscope-hr>
- [22] KOLEKTIV AUTORŮ. Gumárenská technologie. Otrokovice Barum Continental spol. s.r.o., 2008 100s
- [23] ATEAM. ZCU[online]. [cit. 2015-05-9]. Dostupný z:
http://www.ateam.zcu.cz/tenke_vrstvy_fel_1.pdf
- [24] Přírodovědecká fakulta UK v Praze, [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupný z:
<http://web.natur.cuni.cz/analchem/pprakt/ftir.pdf>
- [25] Chempoint, [online]. [cit. 2015-05-9]. Dostupný z:
<http://www.chempoint.cz/rentgenova-fluorescencni-spektrometri>
- [26] NICOLET, [online]. [cit. 2015-05-9]. Dostupný z: http://www.nicoletcz.cz/in10_mx/

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

TSR	Technické stanovení kaučuku
RSS	Žebrované uzené desky
IR	Izoprenový kaučuk
SBR	Butadien-styrenový kaučuk
NR	Přírodní kaučuk
BR	Butadienový kaučuk
IRR	Butylkaučuk
CR	Chloroprenový kaučuk
MgO	Oxid hořečnatý
ZnO	Oxid zinečnatý
NBR	Butadien-akrylonitrový kaučuk
MQ	Silikonový kaučuk
PbO	Oxid olovnatý
CaO	Oxid vápenatý
UV	Ultrafialové záření
CaCO ₃	Uhličitan vápenatý
SiO ₂	Oxid křemičitý
Si	Křemík
Ca	Vápník
Na	Draslík
Al	Hliník
Mg	Hořčík
MPa	Jednotka tlaku
Rm	Pevnost v tahu

CVD	Chemické nanášení povrchu
PVD	Fyzikální nanášení povrchu
TiN	Nitrid titanu
TiCN	Karbo-nitrid titanu
FTIR	Infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací
CrN	Chrom-nitrid
PTFE	Polytetrafluorethylen
CO ₂	Oxid uhličitý
B1	Peraluman 30 bez povrchové úpravy
B2	Peraluman 30 s povrchovou úpravou
C1	Peraluman 36 bez povrchové úpravy
C2	Peraluman 36 s povrchovou úpravou
D1	G. Al C210 bez povrchové úpravy
D2	G. Al C210 s povrchovou úpravou

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Hevea brasiliensis [9]	13
Obrázek 2 Uzený kaučuk [10]	14
Obrázek 3 Plášť ze směsi Taraxagum [8]	15
Obrázek 4 Izoprenový kaučuk	16
Obrázek 5 Butadien-styrenový kaučuk	16
Obrázek 6 Butadienový kaučuk	17
Obrázek 7 Butylkaučuk	17
Obrázek 8 Chloroprenový kaučuk	18
Obrázek 9 Butadien-akrylonitrový kaučuk	18
Obrázek 10 Silikonový kaučuk	18
Obrázek 11 Schéma míchání kaučuku na dvouválci [1]	26
Obrázek 12 Tlakový hnětič	27
Obrázek 13 Princip lisování a) plnění formy, b) lisování,	28
Obrázek 14 Princip přetlačování [4]	30
Obrázek 15 Princip vstřikování [4]	31
Obrázek 16 Vulkanizační křivka [12]	32
Obrázek 17 Struktura povrchu kovové formy se	36
Obrázek 18 Lepivost vulkanizované standardní	37
Obrázek 22 Závislost znečištění na teplotě formy [5]	38
Obrázek 23 Separační činidlo mezi formou	41
Obrázek 24 Segmentová vulkanizační forma na plášť [22]	43
Obrázek 25 Schéma CVD [14]	47
Obrázek 26 PVD [23]	48
Obrázek 27 Oblast použití CVD a PVD [23]	48
Obrázek 28 Schéma PVD [16]	50
Obrázek 29 Konvenční frézka FGU32	54
Obrázek 30 Zkušební tělísko	55
Obrázek 31 Měření drsnosti na zkušebním tělísku	56
Obrázek 32 Měřicí přístroj Mitutoyo SJ-301	57
Obrázek 33 Povrchová úprava tělísek	58
Obrázek 34 tělíska bez povrchové úpravy	58
Obrázek 35 Mikroskop ProScope HR [21]	59

Obrázek 36 Peraluman 30 bez povrchové úpravy	60
Obrázek 37 Peraluman 30 s povrchovou úpravou	60
Obrázek 38 Peraluman 36 bez povrchové úpravy	61
Obrázek 39 Peraluman 36 s povrchovou úpravou	61
Obrázek 40 Slitina G. Al C210 bez povrchové úpravy	62
Obrázek 41 Slitina G. Al C210 s povrchovou úpravou	62
Obrázek 42 Vulkanizační křivka materiálu 260	64
Obrázek 43 Dvouválec 400.....	64
Obrázek 44 Přetok směsi	65
Obrázek 45 Vysekávací lis Svit.....	66
Obrázek 46 Šablona na vysekávání polotovarů	66
Obrázek 47 Vyseknutý polotovar	66
Obrázek 48 Vulkanizační lis 300x300.....	67
Obrázek 49 Přípravek	68
Obrázek 50 Uzavřená forma	68
Obrázek 51 Dutina formy se zkušebními tělísky.....	69
Obrázek 52 Dutina formy s náloží	69
Obrázek 53 Michelsonův interferometr [24]	70
Obrázek 54 Infračervený mikroskop Nicolet iN 10 [26].....	71
Obrázek 55 FTIR analýza všech slitin Al	72
Obrázek 56 FTIR analýza Peraluman 30 bez povrchové úpravy	73
Obrázek 57 analýza Peraluman 30 s povrchovou úpravou.....	74
Obrázek 58 analýza Peraluman 36 bez povrchové úpravy	75
Obrázek 59 analýza Peraluman 36 s povrchovou úpravou.....	76
Obrázek 60 analýza G.Al C210 bez povrchové úpravy.....	77
Obrázek 61 analýza G.Al C210 s povrchovou úpravou	78
Obrázek 62 Peraluman 30 bez povrchové úpravy po	79
Obrázek 63 Peraluman 30 s povrchovou úpravou po	79
Obrázek 64 Peraluman 36 bez povrchové úpravy po	80
Obrázek 65 Peraluman 36 s povrchovou úpravou po	80
Obrázek 66 G. Al C210 bez povrchové úpravy po.....	81
Obrázek 67 G. Al C210 s povrchovou úpravou po.....	81

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 složení slitin Al [18],[19].....	54
Tabulka 2 Hodnoty Ra [20]	56
Tabulka 3 Jakost povrchu na měřených tělískách	57
Tabulka 4 Skladba směsi 260	63
Tabulka 5 vulkanizační hodnoty.....	63
Tabulka 6 Procesní parametry vulkanizace	67

SEZNAM PŘÍLOH

Příloh PI: Spektra slitin Al, fotky povrchu vloženy na DVD