

VLIV ZPRACOVATELSKÉHO SYSTÉMU NA KONTAMINACI FOREM

Bc. Tomáš Franěk

Diplomová práce
2018

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Franěk**
Osobní číslo: **T15703**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vliv zpracovatelského systému na kontaminaci forem**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární rešerši na dané téma**
- 2. Sestavte návrh postupu experimentální části**
- 3. Provedte experimentální část**
- 4. Zhodnoťte experimentální část a proveďte diskuzi získaných výsledků**

Rozsah diplomové práce:
Rozsah příloh:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:
Dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Dana Shejbalová, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2018**

Ve Zlíně dne 5. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno:

Obor:

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

.....

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 nevydělečně 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou vlivu zpracovatelského procesu na kontaminaci forem. V teoretické části práce je rozebrána vulkanizace, příprava kaučukových směsí, jejich složení a rozbor materiálů při výrobě forem pro vulkanizaci. Praktická část zahrnuje přípravu kaučukových směsí a jejich následné lisování různými materiály vhodnými pro výrobu forem. Vliv směsí na různé materiály je následně zpracován a vyhodnocen. Výsledkem je vhodné zvolení materiálu pro výrobu formy.

Klíčová slova: Vulkanizace, změkčovadla, forma, kontaminace, plniva

ABSTRACT

This thesis deals with the impact of manufacturing processes on contamination forms. The theoretical part analyzes the vulcanization of rubber mixtures, preparation, the composition and analysis of materials in the manufacture of molds for vulcanization. The practical part includes the preparation of rubber mixtures and subsequent pressing various materials suitable for form. Effects of a mixture of various material is then processed and evaluated. The result is the appropriate selection of the material for making the form.

Keywords: Vulcanization, plasticizers, form, contamination, filler

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce, paní Ing. Shejbalové, Ph.D., za odborné vedení, cenné připomínky a pozornost, kterou mi věnovala při řešení diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Vavříkovi za pomoc při vstřikování směsí.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 KAUKUKOVÉ SMĚSI	13
1.1 KAUKUKY	13
1.1.1 Přírodní kaučuk.....	13
1.1.2 Syntetické kaučuky	14
1.1.3 Regeneráty	16
1.1.4 Plnicí systém.....	16
1.1.5 Saze.....	16
1.1.6 Světlá plniva.....	17
1.2 OCHRANNÝ SYSTÉM	17
1.3 ZPRACOVATELSKÝ SYSTÉM	17
1.4 PŘÍSADY	17
1.4.1 Pigmenty	18
1.4.2 Nadouvadla.....	18
1.5 VULKANIZAČNÍ SYSTÉM.....	18
1.5.1 Vulkanizační činidla.....	18
1.5.2 Aktivátory	19
1.5.3 Urychlovače	19
1.5.4 Retardéry	20
2 ZPRACOVATELSKÝ SYSTÉM	21
2.1 ZMĚKČOVADLA	21
2.1.1 Minerální oleje.....	22
2.1.2 Parafín	22
2.1.3 Asfalt.....	22
2.1.4 Produkty zpracování uhlí a uhelných dehtů	22
2.1.5 Produkty zpracování dřeva	22
2.1.6 Přírodní oleje a tuky	23
2.1.7 Syntetická změkčovadla.....	23
2.2 VLIV ZMĚKČOVADEL NA KAUKUKOVÉ SMĚSI.....	23
3 PŘÍPRAVA KAUKUKOVÝCH SMĚSÍ	25
3.1 PŘÍPRAVA SMĚSI V HNĚTIČI.....	25
3.2 PŘÍPRAVA SMĚSI NA DVOUVÁLCI	27
4 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ KAUKUKOVÝCH SMĚSÍ	28
4.1 LISOVÁNÍ KAUKUKOVÝCH SMĚSÍ.....	28
4.2 VSTŘIKOVÁNÍ KAUKUKOVÝCH SMĚSÍ	29
4.3 PŘETLAČOVÁNÍ KAUKUKOVÝCH SMĚSÍ.....	31
5 VULKANIZACE	33

5.1	PRINCIP VULKANIZACE	33
5.2	VULKANIZAČNÍ KŘIVKA	34
5.3	FÁZE VULKANIZACE	36
5.4	TEPLOTNÍ VLIVY NA PRŮBĚH VULKANIZACE	37
5.5	MĚŘENÍ ZPRACOVATELSKÝCH VLASTNOSTÍ KS	38
5.5.1	Měření plasticity	38
5.5.2	Měření viskozity	38
6	MATERIÁLY FOREM	39
6.1	KONSTRUKČNÍ OCELI	39
6.2	NÁSTROJOVÉ OCELI	39
6.3	SLITINY AL	40
6.3.1	Slitiny Al-Mg	40
6.3.2	Slitiny Al-Mn	40
6.3.3	Slitiny Al-Cu-Mg	40
7	KONTAMINACE	41
7.1	ÚPRAVA MATERIÁLU DUTIN FOREM	42
7.1.1	Úprava pomocí chromu	44
7.1.2	Úprava pomocí niklu	44
7.2	ČIŠTĚNÍ ZNEČIŠTĚNÝCH FOREM	44
8	SOUHRN TEORETICÉ ČÁSTI	45
II PRAKTICKÁ ČÁST		46
9	STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE	47
10	POUŽITÉ OCELI	48
10.1	OCEL 1.2312	48
10.2	OCEL 1.2316	49
10.3	OCEL 1.2343	49
10.4	DRSNOST POVRCHU DESTIČEK	50
11	VSTŘIKOVACÍ PROCES	51
11.1	VSTŘIKOVANÉ EPDM SMĚSI	52
11.2	ČIŠTĚNÍ DESTIČEK	55
12	ANALÝZA TESTOVANÝCH DESTIČEK	56
12.1	OPTICKÁ ANALÝZA	56
12.2	ANALÝZA INFRAČERVENOU SPEKTROMETRIÍ	57
12.3	VÝSLEDKY ANALÝZ	59
12.3.1	Analýzy zpracovatelského systému	59
12.3.2	Vliv drsností na kontaminaci	60
12.3.3	Vliv zpracovatelského systému na kontaminaci	62
12.3.4	Vliv směru toku směsi	65
12.3.5	Vliv čisticích roztoků	66

13 SHRNUTÍ A DISKUZE ZJIŠTĚNÝCH VÝSLEDKŮ	68
ZÁVĚR	70
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	71
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	74
SEZNAM OBRÁZKŮ	75
SEZNAM TABULEK	77
SEZNAM GRAFŮ	78
SEZNAM PŘÍLOH	79

ÚVOD

Kvůli velkému rozmachu automobilového průmyslu se mnohonásobně zvýšila celosvětová spotřeba kaučuku. Velkým podílem na této spotřebě nese výroba pneumatik. V gumárenském průmyslu se využívá spousta materiálů pro jejich výrobu a s tím vznikají různé technologické problémy. Jedním z těchto problémů je vliv zpracování na kontaminaci forem. Tímto problémem se zabývá tato diplomová práce.

V teoretické části je přiblížena problematika zpracování kaučukových směsí a jejich složení. Jsou rozebrány jednotlivé složky a jejich význam ve zpracování kaučuku. Následně jsou řešeny materiály pro výrobu forem a jejich povrchová úprava.

Diplomová práce se zabývá problémem, který vzniká při opakovaném lisování, a to kontaminací forem. Lisovaný materiál ulpívá na povrchu formy a tím ji kontaminuje a znehodnocuje výsledný produkt. V práci jsou charakterizovány jednotlivé složky kaučukové směsi a určeny problémové složky, které mají největší podíl na uchycování na povrchu formy.

V praktické části jsou lisovány kaučukové směsi v různých cyklech. Tyto cykly jsou sledovány a následně vyhodnoceny. Z výsledků jsou stanoveny závěry a volba vhodných směsí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KAUČUKOVÉ SMĚSI

Kaučuková směs je tvořena více složkami. Každá z těchto složek má na směs určitý vliv. Poměr všech složek je udáván v jednotkách dsk, což znamená poměr ke 100 dílkům kaučuku a dalších přísad. Složení kaučukových směsí se firmy snaží co nejvíce utajit, aby neprozrazovaly recepturu konkurenci. [1]

Základní kaučukovou směs na 100 dsk kaučuku tvoří:

- 0–150 dsk změkčovadel
- 0–150 dsk plniv
- 0–4 dsk síry
- 1–3 dsk antioxidantů
- 0–5 dsk aktivátorů (ZnO)
- 0–2 dsk stearinu
- 0,5–3 dsk urychlovačů [9]

1.1 Kaučuky

Kaučuky se řadí do skupiny polymerů se specifickými vlastnostmi. Díky unikátním vlastnostem se v gumárenském průmyslu řadí na první místa ve využívání a spotřebě. Obsah kaučuků ve směsi může být od 5 % až do 95 %. [2]

Kaučuky řadíme do dvou skupin:

- Přírodní
- Syntetické [2]

1.1.1 Přírodní kaučuk

Přírodní kaučuk neboli latex se vyskytuje ve formě bílé tekutiny v řadě rostlin. Tato tekutina se získává převážně z kaučukovníku brazilského, tento strom se pěstuje na plantážích v tropických částech Jižní Ameriky, Asie a Afriky. Nařezáním kůry tohoto tropického stromu dojde k vytékání tekutiny, která je následně zachycována do připravených nádob. [2]

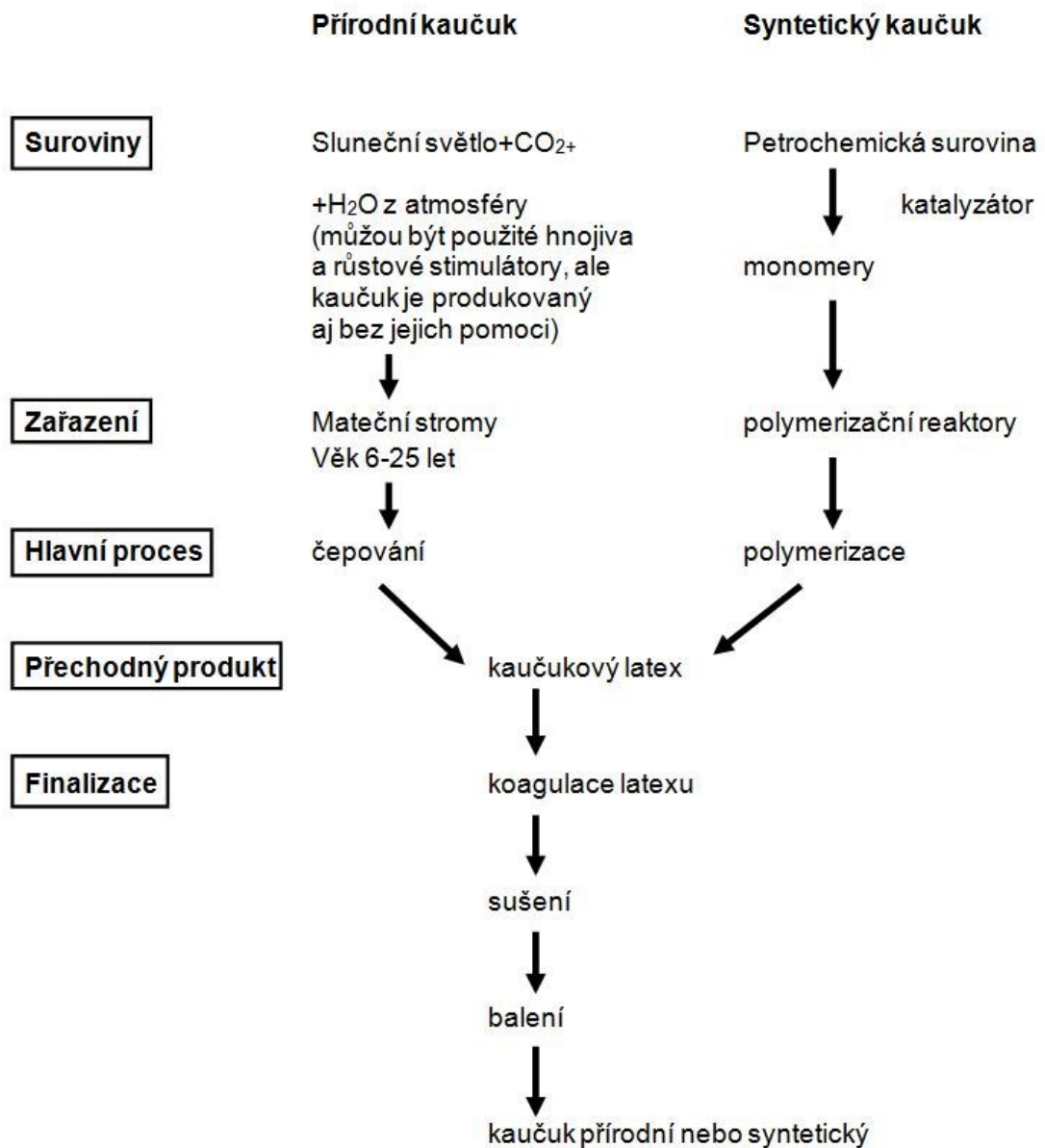


Obr. 1.1 Sběr přírodního kaučuku [3]

Dalším zpracováním jako například srážením pomocí kyseliny mravenčí, praním ve vodě a usušením se získává surovina, která se nazývá krepa. Nejčastějším využitím latexu je na výrobu latexových nití, netkaných textilií, impregnací a lepidel. Přírodní kaučuk je možné zpracovávat pomocí odlévání či máčení. [2]

1.1.2 Syntetické kaučuky

Získávání syntetického kaučuku se od přírodního liší technologií výroby. Přírodní kaučuk vzniká přirozeně uvnitř stromu, zatím co pro výrobu syntetického kaučuku je zapotřebí monomérů, které se získávají z petrochemických surovin. Poté následuje jejich polymerizace a další zpracování pro většinu syntetických kaučuků je obdobné. [2]



Obr. 1.2 Schéma výroby kaučuků [2]

Některé druhy syntetických kaučuků:

- Izoprenové kaučuky (IR)
- Butadienové kaučuky (BR)
- Butadienstyrenové kaučuky (SBR)
- Butylkaučuky (IIR)
- Chloroprenové kaučuky (CR)
- Butadienakrylonitrilové kaučuky (NBR) [2]

1.1.3 Regeneráty

Regeneráty se získávají především z recyklovaného materiálu jako jsou autopláště nebo duše. Podrcený materiál se pomocí tepelného nebo mechanického zpracování upraví do plastického stavu. V tomto stavu je možné regenerát znovu aktivovat nebo vmíchat do směsi. Hlavním důvodem přidávání regenerátů snížení ceny směsi nebo zlepšení některých vlastností směsi. [4]

1.1.4 Plnicí systém

Přidáním plniv do kaučukových směsí můžeme ovlivňovat jejich fyzikální, tak i mechanické vlastnosti jako například tvrdost, pevnost, otěruvzdornost nebo odolnost vůči bobtnání. Tyto látky nemění jen vlastnosti směsi, ale mají dopad i na vlastnosti samotné pryže. Plniva můžeme rozdělit podle barvy anebo podle jejich účinku na vlastnosti směsi. [2], [5]

Rozdělení dle účinku:

- Aktivní
- Poloaktivní
- Neaktivní

Rozdělení dle barvy:

- Saze
- Světlá plniva [5]

1.1.5 Saze

Saze jsou nejpoužívanější plnivo pro gumárenské směsi. Jejich použití omezuje degradaci vlivem slunečního záření, dále ovlivňují průběh vulkanizace a mají ztužující vliv na samotný vulkanizát. [5]

Saze se rozdělují do skupin podle způsobu výroby:

- Retortové
- Kanálové
- Termické
- Lampové
- Vodivé [5]

Saze se vyrábí nedokonalým hořením organických látek nebo rozkladem uhlovdíků za použití vysokých teplot. Saze jsou ve své podstatě anorganické látky, které jsou vedlejším produktem hoření. [5]

1.1.6 Světlá plniva

Světlá plniva mají podobný účinek jako saze. Používají se ve směsích, kde je požadována světlejší barva, a ne černá jako při použití sazí. Jako světlá plniva se používá například oxidy křemičitého, uhličitany nebo sírany. Rozdělení těchto plniv je dle velikosti použitých částic. Velikost těchto částic se pohybuje od 0,1 μm až po 5 μm . [2]

1.2 Ochranný systém

Vlivem času a působení vnějších vlivů dochází ke stárnutí a k nežádoucím změnám některých vlastností materiálu. Tyto změny jsou nežádoucí, proto se do vulkanizačních směsí přidávají ochranné látky tzv. antidegradanty, aby se tyto nežádoucí účinky zpomalily. [2]

Antioxidanty – slouží k ochraně proti stárnutí vlivem kyslíku.

Antiozonanty – zmírňují vliv ozónu na povrch pryže a tím zpomalují jeho degradaci. [2]

1.3 Zpracovatelský systém

Pro lepší zpracovatelnost se do směsi přidávají změkčovadla nebo plastikátory. Tyto látky zvyšují vzdálenost mezi makromolekulami kaučuku a snižují tření mezi molekulami. To usnadňuje zpracování kaučukové směsi a snižuje spotřebu energie při míchání. Změkčovadla by měla být dobře mísitelná s použitým kaučukem a musí být chemicky i tepelně stabilní, aby odolaly vulkanizační teplotě. [4]

1.4 Přísady

Přísady jsou látky, které jsou do směsi přidávány pro doplnění některých vlastností. Tyto látky mohou dodat výrobku požadovanou barvu nebo zmenšit jeho váhu. [4]

1.4.1 Pigmenty

Pigmenty se do směsi přidávají, aby bylo dosaženo požadovaného zbarvení vulkanizátu. Mohou být buď organického nebo anorganického původu. Pigmenty musí být odolné vůči vyšším teplotám a účinkům síry. [5]

Anorganické pigmenty:

- Titanová běloba
- Zinková běloba
- Kadmiová žluť
- Červeň H
- Ultramarin [5]

1.4.2 Nadouvadla

Nadouvadla jsou látky, které se vlivem vyšších teplot rozkládají a způsobují vznik plynů. Tento plyn utvoří ve výrobku buď uzavřené nebo otevřené póry. Nadouva- del se využívá pro výrobu lehčené pryže. [4]

1.5 Vulkanizační systém

Vulkanizační systém má za úkol vytvářet chemické vazby mezi molekulami kaučuku. To mění vlastnosti samotného kaučuku. Vlivem vulkanizačního systému přechází kaučuk z plastického stavu do elastického. Tím se zlepší jeho pevnost, odolnost vůči teplotám nebo odrazová pružnost. [4]

1.5.1 Vulkanizační činidla

Jedná se o látky, které jsou schopné vyvolávat chemickou reakci při které se vytváří příčné vazby mezi molekulami kaučuku. Nejvyužívanější vulkanizační činidlo je síra. Síra se dokáže vázat na kaučuk a vytvářet síťové struktury. Jako další možné činidla jsou donory síry, selen, reaktivní pryskyřice nebo diaminy, peroxidy. Podle množství použité síry ve směsi je možné vulkanizát rozdělit na:

- Měkkou pryž – s obsahem síry do 4 dsk
- Polotvrdou pryž – s obsahem síry 12–25 dsk
- Tvrdou pryž – s větším obsahem síry jak 25 dsk [4]

1.5.2 Aktivátory

Jedná se o látky, které ve směsi mají za úkol aktivovat vliv vulkanizačních činidel. Aktivátory například zvyšují účinky vulkanizačních činidel a zlepšují tím síťovací účinky celé směsi. Jako aktivátory se používají některé oxidy kovů, mastné kyseliny a jejich soli. [2]

Příklady vlastností některých aktivátorů:

- **Oxid zinečnatý** – používá se jako aktivátor sirné vulkanizace. Tento oxid je možné použít v kombinaci mastnými kyselinami. Je dobře rozpustný ve vulkanizačních směsích a vytváří ve směsi příčné vazby.
- **Oxid olovnatý** – využívá se především k výrobě rukavic a zástěr, které jsou používané pro ochranu před rentgenovým zářením. Nevýhodou oxidu olovnatého je to, že způsobuje tmavnutí vulkanizátu.
- **Oxid kademnatý** – přidává se do směsí u kterých je požadována lepší odolnost vůči teplotám a stárnutím v olejích. [2]

1.5.3 Urychlovače

Použití urychlovačů ve vulkanizačních směsích zkracuje dobu vulkanizace z hodin na minuty. Další výhodou je zvýšení síťovací účinnosti. Urychlovače mají také pozitivní vliv na zvětšení odolnosti vůči stárnutí. Účinnost vulkanizačního systému závisí na vlastnostech urychlovačů, ale také i na obsahu síry ve směsi. Pokud je poměr urychlovačů vůči síře (U/S) menší, klesá tím i účinnost vulkanizačního systému. Vyšší obsah některých urychlovačů může způsobovat při výrobě vytékání na povrch výrobku, a tím jej znehodnocovat. Tuto nežádoucí vlastnost lze omezit vhodnou volbou kombinací různých urychlovačů nebo přísadami, které ovlivňují lepší rozpustitelnost urychlovačů ve směsi. [5]

Tab. 1 Rozdělení urychlovačů podle chemického složení [5]

Urychlovače	Chemické složení	Obsah síry [dsk]	Teplota [°C]
Pomalé	Guanidiny	3–4	145–155
Rychlé	Thiazoly a sulfenamidy	1,5 - 3	135–150
Velmi rychlé	Thiuramsulfidy	1–2	125–140
Ultra urychlovače	Dithiokarbamáty a xantháty	0,5 – 1,5	100–125

1.5.4 Retardéry

V některých případech může docházet k předčasnému navulkanizování. Aby se zabránilo tomuto nežádoucímu efektu přidávají se do směsi retardéry. Tyto látky zpomalují průběh vulkanizace a zabraňují napalování směsi. Retardéry bývají ve většině případů látky kyselého původu. Jedná se například o kyselinu benzoovou nebo kyselinu salicylovou. [2]

2 ZPRACOVATELSKÝ SYSTÉM

Zpracovatelský systém ovlivňuje míchání směsi, ale i vlastnosti výsledného vulkanizátu. Ve směsi snižuje tření mezi molekulami a snižuje i koncentraci propletení makromolekul. [6], [4]

2.1 Změkčovadla

Změkčovadla se při přípravě kaučukových směsí používají jako zpracovatelské přísady. Přidávají se do směsí pro snazší zpracování v dalších operacích – míchání na dvouválci nebo vytlačování. Přidáním změkčovadla do směsi je možné ovlivnit i některé vlastnosti pryže, např. zlepšit přilnavost pneumatiky k povrchu vozovky. Další výhodou je možnost zpracovávat kaučukové směsi s vyšším obsahem plniv. [6]

Jako změkčovadla se používají:

- Minerální oleje
- Parafíny
- Asfalt
- Produkty zpracování uhlí a uhelných dehtů
- Produkty zpracování dřeva
- Přírodní oleje a tuky
- Syntetická změkčovadla [6]

Změkčovadla se rozdělují podle snášitelnosti s polymery na primární změkčovadla a sekundární změkčovadla. Primární změkčovadla jsou snášitelná s polymery. Jejich přítomnost ve směsi významně ovlivňuje vlastnosti směsi a to tím, že se zvyšuje pohyblivost a ohebnost makromolekul a jejich vzájemné tření. Dále je ovlivněná tvrdost a elasticita výsledného materiálu. Nesnášitelná změkčovadla se nazývají sekundární. Jejich význam ve směsích je spíše mazací, jelikož rozpouštějí polymery jen částečně. Tyto změkčovadla ovlivňují velmi málo viskozitu a pohyblivost makromolekul. [6]

2.1.1 Minerální oleje

Výhodou použití minerálních olejů je jejich nízká cena a velmi dobrá snášenlivost s mnohými kaučuky. V gumárenských směsích se využívají aromatické, naftenické nebo parafinické oleje. Pro volbu vhodného oleje do kaučukové směsi je nutné brát v potaz jeho mísitelnost, protože některé oleje se mohou chovat v různých kaučucích odlišně. Parafinické oleje v nepolárních kaučucích snižují hysterezi, zatímco aromatické zvyšují pevnost a odolnost proti růstu trhlin. S vyšším dávkováním změkčovadel může dojít ke zhoršení vlastností vulkanizátu. Některé kaučuky mohou být dodávány od výrobce již smíchané s oleji. [7]

2.1.2 Parafín

Tyto látky se získávají z ropy. Jde o látky, které jsou za pokojové teploty tuhé. Teplota, při které parafín taje na nízkoviskózní kapalinu, je dána molekulární hmotností a stupněm větvení. U válcovaných nebo vytlačovaných kaučukových směsí parafín zvyšuje hladkost povrchu směsi. [7]

2.1.3 Asfalt

Způsob ropné destilace ovlivňuje složení i teplotu měknutí asfaltu. Zvýšit tvrdost a teplotu měknutí u produktu je možné kondenzačními reakcemi. Oxidací, která je způsobena foukáním vzduchu za tepla, vzniká tzv. foukaný asfalt. Takto upravený asfalt je křehký, ale je možné ho rozemlít na prášek. [6]

2.1.4 Produkty zpracování uhlí a uhelných dehtů

Jedná se o komplikovaná změkčovadla, která se skládají z mnoha látek. Mohou být složené z nearomatických uhlovodíků přes aromatické až po polární – sirné, dusíkaté a kyslíkaté sloučeniny. Teplota, při které vzniká dehet ovlivňuje i obsah aromatických látek. Čím vyšší je teplota, tím se obsah aromatických látek zvyšuje. Tyto produkty v kaučukové směsi zvyšují lepivost. [6]

2.1.5 Produkty zpracování dřeva

Mezi tyto produkty patří smrkový dehet nebo kalafuna. Smrkový dehet vzniká karbonizací dřeva vlivem nízkých teplot. Nízké teploty musí být proto, aby se mohly

dobře oddělit další produkty jako jsou např. plyny, voda nebo kyselina octová. Po užitím dehtu ve směsi se zvýší její lepivost. Kalafuna je žlutá až tmavohnědá látka. Jedná se o pryskyřici, která vytéká z jehličnatých stromů. Kalafuna může kvůli své kyselosti zpomalovat vulkanizaci sírou. Dále může způsobovat zhoršení odolnosti pryže vůči stárnutí. Zmírnit tuto nežádoucí vlastnost lze modifikací – hydrogenací. Kalafuna stejně jako smrkový dehet zvyšuje lepivost kaučukové směsi. [6]

2.1.6 Přírodní oleje a tuky

Přidáním rostlinných olejů do směsi je možné snížit její viskozitu a zrychlit zpracování plniv do směsi. Vhodné oleje jsou např. palmový nebo sójový. Mezi zvířecí látky patří tuky nebo lanolin. Lanolin je látka, kterou vylučují např. ovce svými mazovými žlázami. Svým chemickým složením je spíše podobná vosku. Přimíchání lanolinu do směsi zlepšuje míchání, vytlačování a válcování. U zvířecích tuků (kliču) je nutné před začátkem zpracování klíž nechat ve směsi zbobtnat. Zvířecí klíž zvyšuje tvrdost a tažnost. [7]

2.1.7 Syntetická změkčovadla

Využívají se především u polárních kaučuků, kde není vhodné používat minerální oleje z důvodu špatné mísitelnosti. Syntetická změkčovadla zvyšují odolnost kaučuku vůči mrazu a zároveň ho změkčují. Jsou sice dražší než minerální oleje, ale jejich spotřeba ve směsích je menší. Mezi syntetická změkčovadla patří:

- Esterová změkčovadla
- Etherová změkčovadla
- Chlorované uhlovodíky
- Polymerní změkčovadla [7]

2.2 Vliv změkčovadel na kaučukové směsi

Přidáním změkčovadel do kaučukových směsí je ovlivněna zpracovatelnost směsi i vlastnosti vulkanizátu. Zpracovatelnost není možné vyjádřit jednou hodnotou, protože pod tímto pojmem je zahrnuta viskozita směsi, tvarovatelnost nebo lepivost. Kaučukové směsi s nižší viskozitou se při zpracování snáze přeskupují a nedochází, tak k nežádoucímu vzniku tepla, které může způsobit dřívější navulka-

nizování směsi. Pro dobrou tvarovatelnost při zvýšené teplotě se volí změkčovadla termoplastická jako například asfalt. Volbou změkčovadla může být ovlivněna i lepivost. Pokud se po směsi požaduje, aby byla co nejméně lepivá a při vytlačování se nelepila na hubici nebo při válcování na válce, volí se spíše změkčovadla s omezenou rozpustností. Nebo naopak pokud je lepivost požadována jako například u výroby, kde je nutné spojovat části výrobku k sobě, lze lepivost zvýšit přidáním změkčovadla na bázi pryskyřice, která je dobře rozpustná v celé směsi. Změkčovadlo ve směsích má také vliv na snížení teploty skelného přechodu. [6]

Celkový vliv změkčovadel na kaučukovou směs je určen především základními vlastnostmi jako je molární hmotnost, reaktivita změkčovadla, chemické složení, které určuje snášenlivost s kaučukem nebo hodnota koncentrace změkčovadla ve směsi. Přidáním změkčovadel do kaučukové směsi nedochází pouze ke snížení koncentrace kaučuku, ale také ke zmenšení tření mezi polymerními řetězci při přesunech. V těchto případech změkčovadlo účinkuje i jako mazivo. [6]

3 PŘÍPRAVA KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ

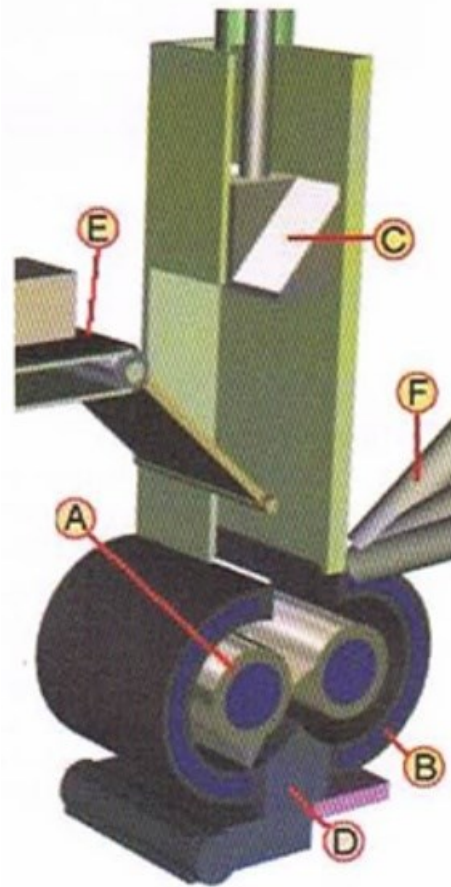
Kaučuková směs je tvořena mnoha různými složkami. Tyto přísady musí být pro další zpracování dobře smíchány, aby výsledná směs měla všechny složky rovnoměrně promíchané a vznikla tak požadovaná kaučuková směs. Ve zvláštních případech je dokonalé promíchání složek naopak nežádoucí, a to například u sazových směsí kde je požadována vysoká vodivost. Takovéto nedokonalé promíchání má však svůj přesně definovaný postup. [8]

Míchání jednotlivých složek kaučukové směsi je ovlivňována i fyzikálním stavem látek, ve kterém se do směsi přidávají. Například kaučuky mohou být v tekutém stavu, zatímco plniva jsou ve většině případů ve formě prášku. Tyto vlastnosti jednotlivých složek jsou i různě rozpustné s jinými složkami, proto je nutné, aby došlo k co nejlepší homogenizaci směsi. U některých kaučuků je nutné před samotným mícháním směsi zlepšit jejich zpracovatelnost. Tento proces se nazývá plastikace kaučuku. Plastikací kaučuku se snižuje jeho tuhost a zvyšuje jeho plasticita, která je potřebná pro lepší promíchání směsi. Míchání směsí i plastikace kaučuku probíhá na hnětacích strojích nebo dvouválcích. Pro míchání směsí je důležitým parametrem i teplota, proto jsou některé části míchacích zařízení chlazeny, aby nedocházelo k přehřívání míchaných směsí. [9]

3.1 Příprava směsi v hnětiči

Nejvyužívanějšími stroji pro míchání kaučukových směsí jsou právě hnětiče. Jejich možnost řídit jejich provoz pomocí počítače a tím automatizovat celý proces je velkou výhodou. Proces je možné nastavit tak, že si sám dávkuje, kdy a kolik surovin má nasypat do stroje. To značně usnadňuje práci obsluze a eliminuje lidskou chybu při míchání směsí. [10]

Hnětací stroj míchá kaučuk a další suroviny otáčením profilovaných válců s hnětadly. Směs je uzavřena v komoře a vlivem otáčení se tře mezi válci a stěnou, tímto dochází k promíchání jednotlivých prvků ve směsi. [10]



Obr 3.1 Hnětací stroj [11]

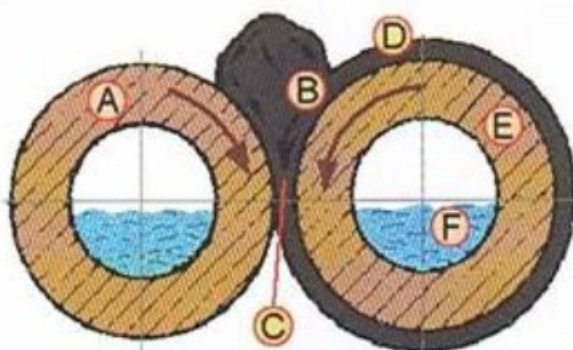
A) hnětadla, B) hnětací komora, C) přítlačný klín, D) spodní uzávěr,
E) váhový dopravník, F) násypka

Výhody míchání směsi v hnětiči jsou:

- Možnost automatizace
- Možnost připojení do výrobní linky
- Vyšší výtěžnost
- Uzavřené míchání
- Zvýšení bezpečnosti obsluhy [10]

3.2 Příprava směsi na dvouválci

Dvouválce se výrobě využívají mnohem méně než hnětiče. Jejich využití je spíše pro míchání menšího množství směsi nebo pro laboratorní účely. Míchání probíhá mezi dvěma válci, které se otáčejí. Každý válec je samostatně chlazený vodou a otáčejí se různou rychlostí proti sobě. Otáčením dochází k vtahování směsi do mezer mezi válci, kde dochází k promíchávání složek. Z důvodu otevřeného prostoru pro míchání se nedoporučuje míchat vysoce plněné směsi. Mohlo by docházet ke znečištění prostředí sazemí nebo jinými složkami. Nevýhodou míchání směsí na dvouválci je ekonomická náročnost a vyšší riziko poranění pro jeho obsluhu. [10]



Obr. 3.3 Princip míchání na dvouválci [11]

A) zadní válec, B) návalek, C) místo míchání, D) opásání směsí,
E) přední válec, F) chladicí kapalina (voda)

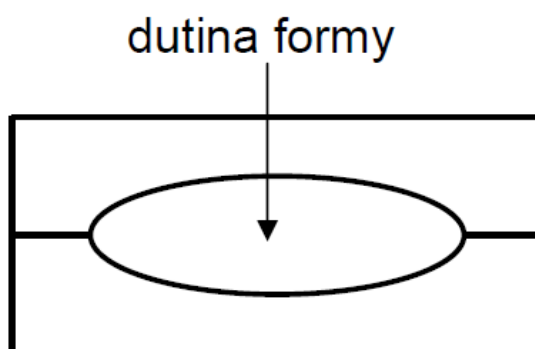


Obr. 3.2 Míchání vzorků směsi na dvouválci [12]

4 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ

Kaučukové směsi je možné zpracovávat různými technologiemi. Volba vhodné technologie závisí na mnoha faktorech, např. na tvaru výrobku, velikosti výrobní série nebo možnostech strojů. [8]

4.1 Lisování kaučukových směsí



Obr. 4.1 Schéma lisovací formy [8]

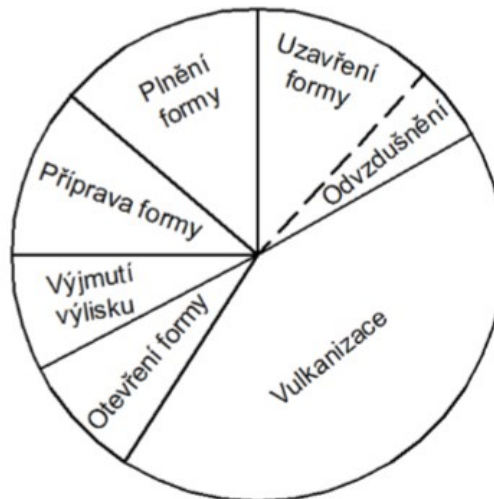
Při lisování je mezi dvě části formy vložena nevulkanizovaná kaučuková směs. Vlivem vyvinutého tlaku lisem dojde k uzavření formy a směs vyplní celou dutinu. Aby bylo vyplnění dutiny zaručeno, je směs dávkována ve větším množství, než je objem samotné dutiny. Tento přebytek je pak odváděn pomocí přetokových kanálů. Aby bylo možné směs vulkanizovat, jsou obě části formy nahřáté na vulkanizační teplotu. Pro zkrácení cyklu je možné polotovar před vložením do formy předehřát a tím dosáhnout rychleji vulkanizační teploty. Po vyjmutí výrobku z formy dojde k jeho ochlazení a následnému smrštění, proto musí být dutina formy navrhována o něco větší, než je požadovaný výrobek. Zvětšení formy bývá navrženo většinou o 1,5 % než jsou rozměry finálního výrobku. [8]

Výhody lisování:

- jednodušší konstrukce formy
- bezvtokové systémy
- jednodušší manipulace s formou [13]

Nevýhody lisování:

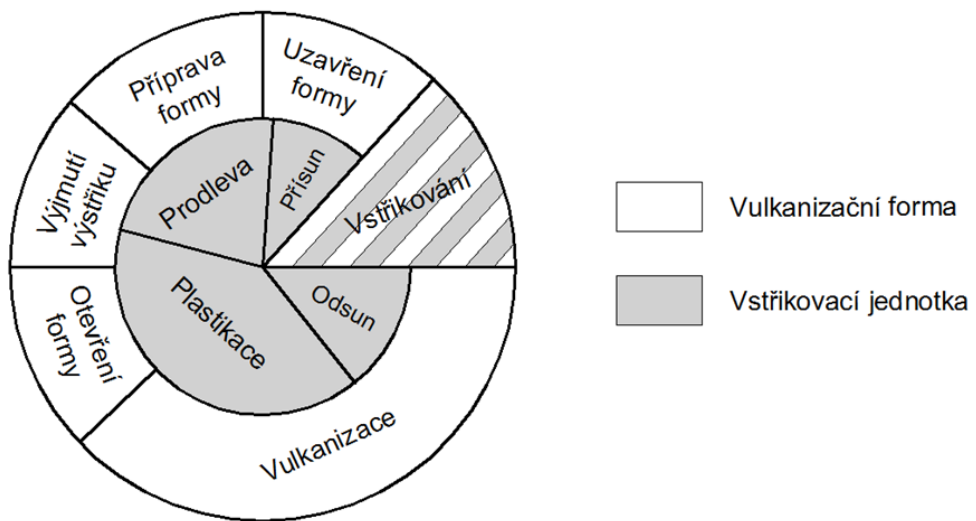
- přebytečný odpad
- vznik vad vlivem uzavřeného vzduchu
- menší výtěžnost procesu [13]



Obr. 4.2 Lisovací cyklus [13]

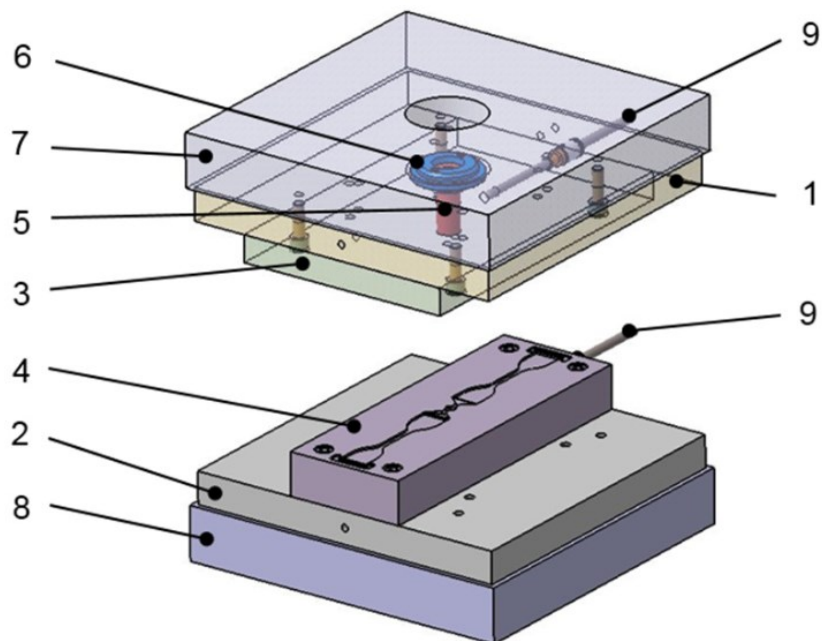
4.2 Vstřikování kaučukových směsí

Vstřikování se využívá při větších výrobních sériích. Kaučuková směs je plastifikována ve šnekové plastikační jednotce. Směs v podobě pásku je před vstříknutím do formy zahřívána. Aby nedocházelo k navulkanizování předčasně nesmí teplota směsi přesáhnout 100 °C. Poté je materiál vstříknut do formy pomocí pístu nebo šneku. Pro předejití tepelným ztrátám je forma předehtřívána na teplotu 150 °C až 200 °C. Vyšší teploty předehtřáté směsi i formy dopomáhají ke zkrácení celého procesu. Vstřikování umožňuje výrobu složitějších tvarů a kvalitnější vlastnosti vulkanizátu. [8], [13]



Obr. 4.3 Vstřikovací cyklus [13]

Vstřikovací cyklus je oproti lisovacímu rozdělen na dvě fáze. V první fázi je zobrazena práce vstřikovací jednotky a ve druhé fázi samotná vulkanizace ve formě viz. obr. 5.3. [13]



Obr. 4.4 Forma pro vstřikování zkušebních těles [13]

- 1) horní upínací deska, 2) dolní upínací deska, 3) a 4) tvarovací desky,
 5) vtoková vložka, 6) středící kroužek, 7) a 8) upínací desky stroje,
 9) teplotní čidla

Výhody vstřikování:

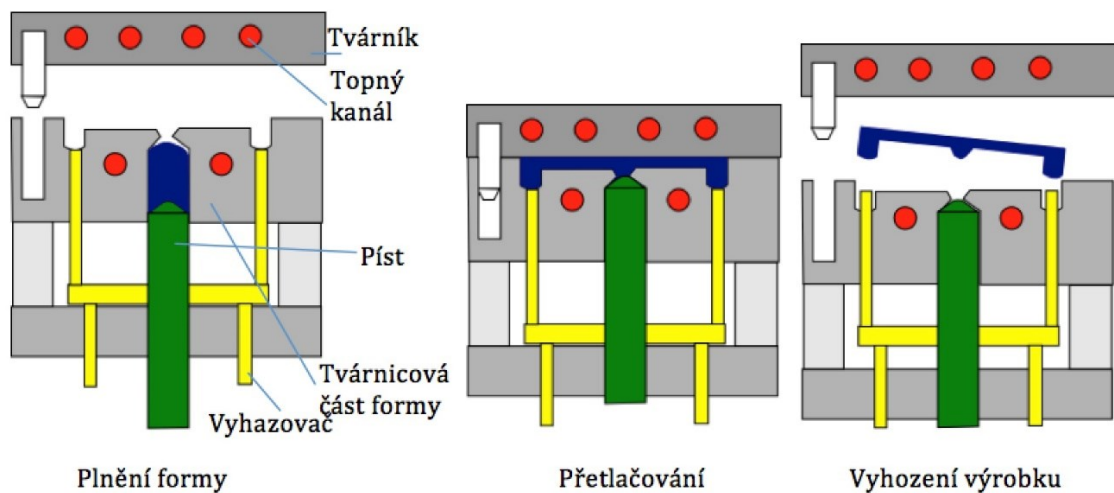
- velká výtěžnost
- možnost automatizace
- méně odpadu

Nevýhody vstřikování:

- velké pořizovací náklady jak strojů, tak i forem
- možný vznik vnitřního pnutí výrobku
- složitá konstrukce forem [13]

4.3 Přetlačování kaučukových směsí

Kaučuková směs je pomocí pístu přetlačena z pomocné komory do dutiny formy. Při tomto cyklu musí být forma uzavřená. Směs vyplní celou dutinu vulkanizační formy. Při pohybu směsi z pomocné komory může docházet k ohřevu nebo k odvzdušnění. Přetlačováním je možné vyrábět i výrobky větší tloušťkou stěny. [4]



Obr. 4.5 Schéma přetlačovacího cyklu [14]

Výhody přetlačování:

- výroba tlustostěnných výrobků
- jednodušší stroje
- menší i větší série výroby

Nevýhody přetlačování:

- možný vznik vnitřního pnutí výrobku
- složitá konstrukce forem
- přebytečný odpad [4]

5 VULKANIZACE

Vulkanizace je nejdůležitější fází v celém výrobním procesu. Je také i energicky a časově nejvíce náročná. Jedná se o proces, ve kterém je vulkanizační směs po určitou dobu zahřívána na požadovanou teplotu. Prostřednictvím těchto procesních podmínek dojde k chemickým reakcím ve směsi. Vlivem těchto reakcí dochází ke vzniku příčných vazeb mezi řetězci kaučuku. Během vulkanizace se významně mění fyzikální a mechanické vlastnosti kaučuku, ten přechází z plastického stavu do stavu elastického. Vzniká tak výsledný produkt, označovaný jako vulkanizát nebo pryž. [5]

5.1 Princip vulkanizace

Teplota vulkanizace u běžných směsí se pohybuje v rozmezí 120 °C až 180 °C. Vztah mezi teplotou a časem vulkanizace je možné vyjádřit jako teplotní koeficient. Tento koeficient určuje nárůst rychlosti při navýšení teploty o 10 °C, jeho hodnota je cca 2. Tato hodnota je ovlivněna složením vulkanizační směsi. [15]

Jako optimální doba vulkanizace je považována doba, za kterou směs dosáhne 90 % konzervace. Tento čas se určuje výpočtem, empiricky nebo měřením fyzikálních veličin. [15]

Vzorec pro výpočet doby vulkanizace:

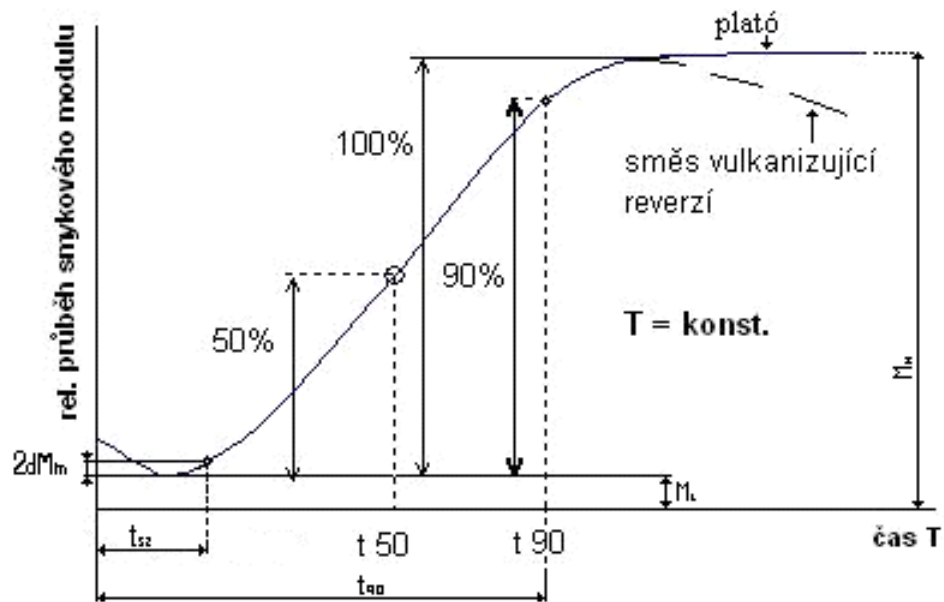
$$t_{90} = t_i + 2,3/k \quad 4.1$$

kde: t_i – indukční perioda [min]

k – konstanta síťovací reakce [1/min]

Při vulkanizaci mohou vznikat vlivem plynných látek nebo vypařováním vody ve vulkanizátu póry. Proto se kaučukové směsi vulkanizují za použití tlaku. Použitý tlak musí být větší než tenze par, které podporují vznik pórů. [15]

5.2 Vulkanizační křivka



Obr. 5.1 Vulkanizační křivka [16]

t_{s2} – čas bezpečnosti

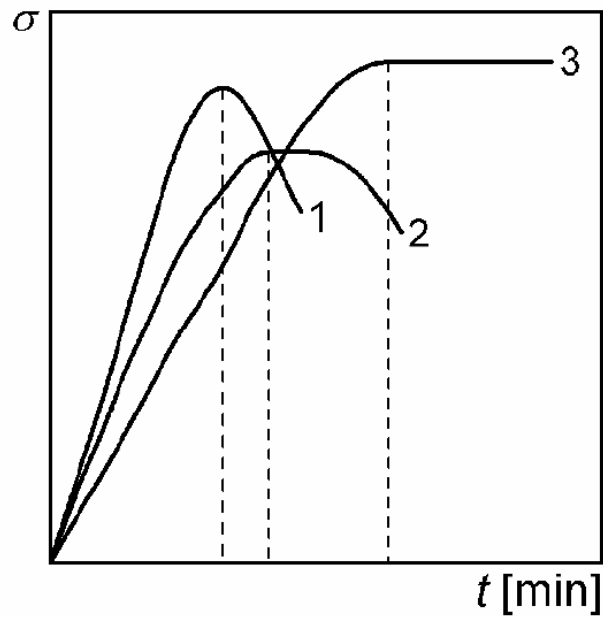
t_{50} – čas vulkanizace 50 % materiálu

t_{90} – čas vulkanizace 90 % materiálu

M_H – maximální hodnota kroutícího momentu

M_L – minimální hodnoty kroutícího momentu

Průběh vulkanizace je možné sledovat na vulkanizační křivce (obr.4.1). Jedná se o závislost jakékoliv měřitelné vlastnosti vulkanizátu na čase. Je tedy možné znázornit například pokles obsahu síry během vulkanizace, pevnost v tahu nebo modul pružnosti v tahu. Celkový čas vulkanizace je brán od konce času pro bezpečnost t_{s2} až po dosažení vulkanizačního optima M_H . Při dosažení hodnoty t_{90} , kdy je 90 % materiálu již navulkanizováno je možné vulkanizát vyjmout z formy. [15]



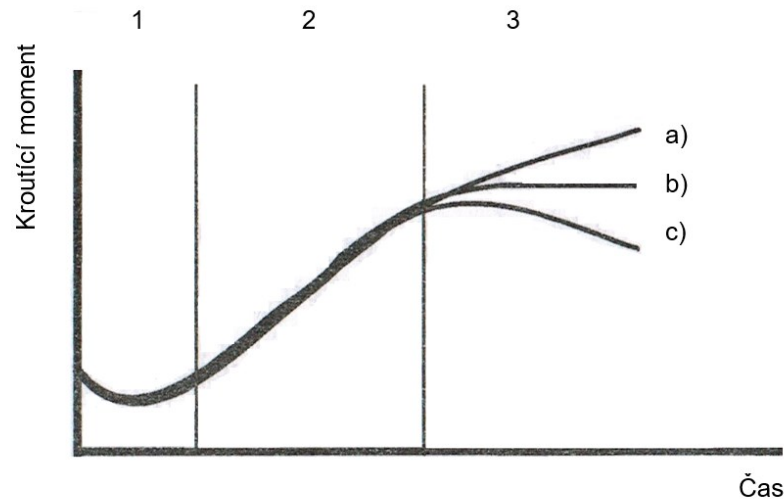
Obr. 5.2 Vulkanizační křivky pro stanovení vulkanizačního optima na základě pevnosti v tahu [17]

- 1) Vulkanizační křivka s reverzí
- 2) Vulkanizační křivka se širokým platem a zpožděnou reverzí
- 3) Vulkanizační křivka bez reverze

Na obrázku 4.2 jsou znázorněny vulkanizační křivky s vyznačenými vulkanizačními optimy. Tato optima ukazují dosažení maximálních hodnot pro sledované veličiny. Hodnoty vulkanizační křivky se měří na speciálních vulkametrech. Pomocí těchto měřidel je možné měřit souběžně tuhost směsi a podmínky vulkanizace jako například tlak nebo teplotu. Vulkametry využívají principu malých oscilací při kterých se měří změny veličiny závislé na smykovém napětí při konstantní deformaci. [17]

5.3 Fáze vulkanizace

Celý průběh vulkanizace je pro podrobnější studie rozdělen do tří fází.



Obr. 5.3 Závislost kroucího momentu a čase [15]

1 – indukční perioda vulkanizace

2 – síťovací reakce

3 – změny ve struktuře vzniklé sítě

a) dodatečné síťování, b) relaxace, c) reverze

Indukční perioda – dochází zde k reakcím kaučuku s vulkanizačními činidly a ostatními složkami, které jsou ve směsi obsaženy. Dochází zde ke vzniku meziproduktů rozpustných v kaučuku. Délka periody musí být optimalizována, aby nebyla příliš krátká nebo naopak příliš dlouhá. Kratší doba periody zvyšuje riziko, že síťovací reakce začne předčasně. Během této fáze je možné se směsí ještě pracovat. [15]

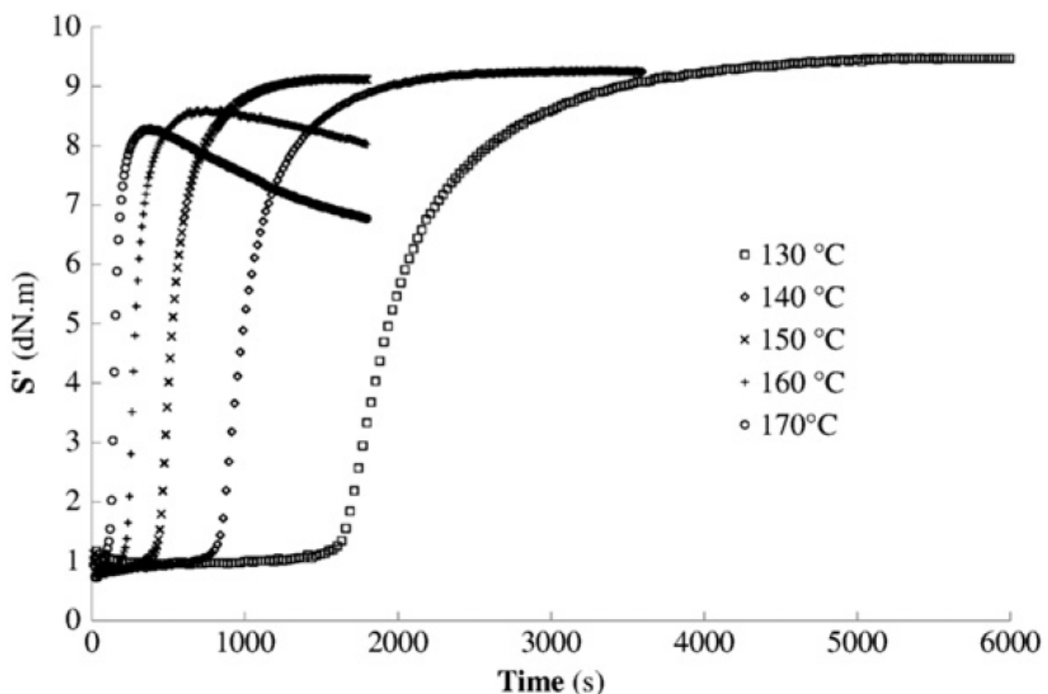
Vlastní síťovací reakce – je časový úsek mezi indukční periodou a optimem vulkanizace. V tomto úseku dochází k fyzikálním a mechanickým změnám vulkanizované směsi a vytváří se síť. Při těchto změnách dochází k rychlému spotřebování vulkanizačních činidel, čímž klesá jejich koncentrace ve směsi. [15]

Změny ve struktuře vzniklé sítě – v této fázi dochází ke klesání rychlosti síťovací reakce nebo k jejímu úplnému zastavení. Pokud během této fáze nedochází ke změnám vlastností vulkanizátu, nazýváme tento stav plató vulkanizace. Když dochází ke zhoršováním vlastností, jedná se o reverzi vulkanizace. Ta může napří-

klad vznikat, když dojde k přivulkanizování vulkanizátu. Pro zajištění vulkanizačního plata je nutné zvolit vhodnou vulkanizační směs a vulkanizačním systémem. Jestliže konec vulkanizační křivky neustále mírně stoupá, jedná se o tzv. krácející modul. [15]

5.4 Teplotní vlivy na průběh vulkanizace

Velký vliv na průběh vulkanizace a na výsledné vlastnosti vulkanizátu u kaučuků vulkanizovaných sírou má právě teplota, při které proces probíhá. Negativní vliv teploty se může projevit ve 3. fázi vulkanizace, kdy dochází ke změnám ve struktuře vzniklé sítě. Zde může docházet při teplotách, které jsou většinou nad 140 °C k reverzi. Na obrázku 4.4 je možné vidět, jaký mají vliv různé vytvrzovací teploty na závislosti krouťícího momentu na čase. Při teplotách 160 °C a 170 °C je zřetelně vidět průběh reverze, zatím co při teplotě 140 °C je už vliv teploty na reverzi velmi nepatrný. Krouťící moment je nejvíce stabilní při vytvrzovací teplotě okolo 130 °C. [18]



Obr. 5.4 Křivky závislosti krouťícího momentu na čase pro různé teploty [18]

5.5 Měření zpracovatelských vlastností KS

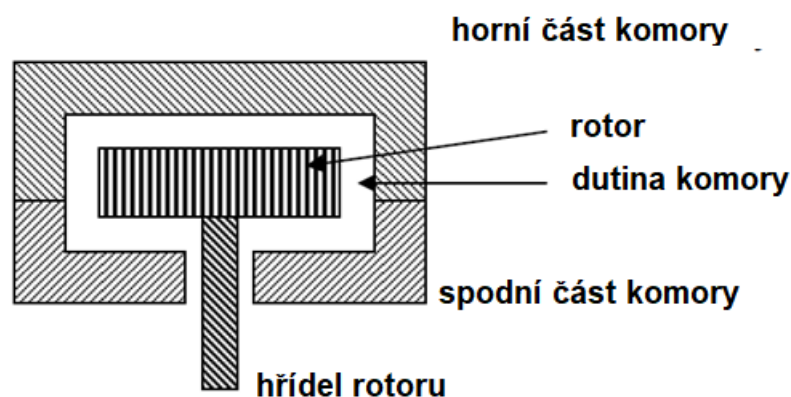
Vlastnosti kaučukových směsí se měří před zpracováním, aby mohly být stanovené vhodné podmínky pro další zpracování. Měřením se především zabývá viskozitou a plasticitou. Viskozita určuje, jaký odpor klade směs vůči deformaci. Plasticita určuje, jak lehce je možné deformace dosáhnout. [19]

5.5.1 Měření plasticity

Plasticitu je možné měřit pomocí tlakového plastometru. Princip metody měření spočívá ve stlačování zkušebního vzorku mezi dvěma rovnoběžnými deskami konstantním tlakem po určitý čas při dané teplotě. Poté jsou výsledné rozměry zkušebního tělesa změřeny a vyhodnoceny. [19]

5.5.2 Měření viskozity

Nejčastějším přístrojem pro měření viskozity kaučukových směsí a jejich zpracovatelských vlastností je používán viskozimetr Mooney. Přístrojem je možné určovat viskozitu Mooney, relaxaci Money nebo dobu zpracovatelské bezpečnosti. Celý proces měření je závislý na teplotě. [19]



Obr. 5.5 Schéma viskozimetru Mooney [19]

6 MATERIÁLY FOREM

Vhodný výběr materiálu na výrobu formy může vést ke kvalitnějšímu výrobku nebo pro lepší průběh celého zpracování. Formy jsou velice nákladné a musí vydržet velký počet cyklů, proto je kladen velký důraz na výběr materiálů, ze kterých je forma zhotovená. Při výběru by měly být zohledněny tyto vlastnosti:

- Mechanická pevnost
- Obrobitelnost a tvářitelnost
- Odolnost vůči chemickým vlivům
- Odolnost vůči otěru
- Leštitelnost
- Atd. [20]

6.1 Konstrukční oceli

Tyto oceli se využívají pro výrobu méně namáhaných dílů forem. Oceli mohou být v přírodním stavu nebo normalizačně žíhané. Odolnost ocelí vůči opotřebení je možné zlepšit vhodnými tepelnými nebo chemickými úpravami. Mezi tyto úpravy patří například cementování nebo nitridace. Rozdělení konstrukčních ocelí dle jejich využití:

- Nelegované oceli obvyklých jakostí
- Jakostní a ušlechtilé oceli
- Oceli k cementování
- Oceli k nitridaci
- Oceli k zušlechťování [21]

6.2 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli mají díky svým vlastnostem široké využití. Mohou se používat pro výrobu nástrojů na obrábění jiných materiálů nebo pro tvářecí nástroje. Podle potřeby využití je možné nástrojové oceli rozdělit do těchto skupin:

- Nelegované
- Legované pro práci za studena
- Legované pro práci za tepla

- Rychlořezné [21]

6.3 Slitiny Al

Slitinami hliníku lze v některých konstrukčních případech nahradit i ocel. Výhodou těchto materiálů je především nízká hmotnost a dobrá pevnost. Pokud slitina neobsahuje měď, dobře odolává korozi a látkám, které mají kyselou povahu. Velkou nevýhodou je malá tvrdost, což může vést k snadnému mechanickému poškození. Také třískové obrábění hliníkových slitin je technicky náročnější než obrábění ocelí. Vlastnosti slitin jsou ovlivňovány především přidanými prvky jako například měď, hořčík nebo zinek. [21]

6.3.1 Slitiny Al-Mg

Pokud obsahuje tato slitina více jak 6 hm.% hořčíku má při mechanickém zatížení sklon ke korozi po hranicích zrn. Pomocí tváření za studena vlivem deformačního zpevnění lze dosáhnout u slitiny pevnosti až 420 MPa. [21]

6.3.2 Slitiny Al-Mn

Tuto slitinu není nutné tepelně vytvrzovat, protože při vytvrzení je nárůst pevnosti jen nepatrný. Slitina AlMn1 je vyráběna průmyslově, má deformační zpevnění 220 MPa. Je využívána spíše jako náhrada čistého hliníku. Slitiny Al-Mn i Al-Mg mají dobrou odolnost vůči korozi. [21]

6.3.3 Slitiny Al-Cu-Mg

Tato slitina je jedna z nejpoužívanějších slitin hliníku. Jedná se o tzv. duraly. Pomocí tepelného vytvrzení je možné dosáhnout pevnosti až 530 MPa. Duraly s obsahem hořčíku do 2 – 2,5 hm.% je možné dlouhodobě vystavovat teplotám až do 200°C. [21]

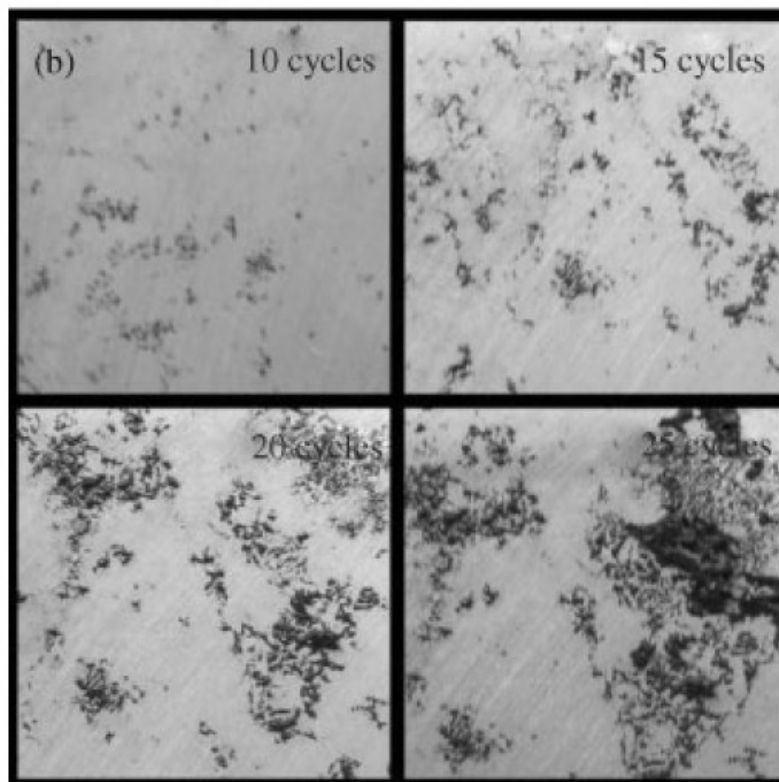
7 KONTAMINACE

Během vulkanizace pryže dochází k ulpívání drobných částic na povrchu formy. Tento jev je brán v průmyslovém zpracování jako nežádoucí. Kontaminace ve většině případů způsobuje problémy se zaváděním automatizačních procesů a má nežádoucí vliv na kvalitu výrobků. Kontaminované formy je nutné častěji čistit, aby se předešlo zbytečným materiálovým ztrátám vlivem nestandardně vyrobených kusů. Další nežádoucí věc, která je s kontaminací spojená jsou ztrátové časy stroje způsobené čištěním kontaminované dutiny formy. Nevyužitý stroj má negativní vliv na ekonomickou stránku firmy. [22]

Hlavními důvody kontaminace povrchu dutiny formy jsou:

1. chemické reakce mezi kaučukovou směsí a povrchem dutiny formy
2. nízkomolekulární složky oddělené od sloučeniny, které ulpívají na povrchu dutiny formy
3. obsah tuhých částic v kaučukové směsi, které mohou přiléhat ke kovovému povrchu.

Kontaminace dutiny formy se zvyšuje s počtem výrobních cyklů. [23]



Obr. 7.1 Ukázka kontaminace formy v průběhu 25 cyklů [24]

Ovlivnit usazování částic na povrchu dutiny formy je možné zmírnit změnou některých parametrů, a to například:

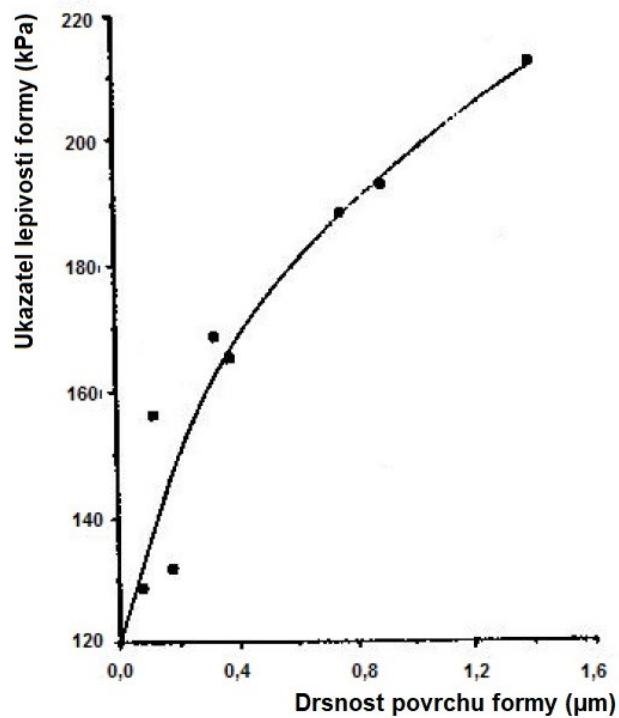
- vhodnou konstrukcí formy
- změnou technologických parametrů
- použitím separačních činidel
- složením směsi [25]



Obr 7.2 Separační činidlo na povrchu formy [26]

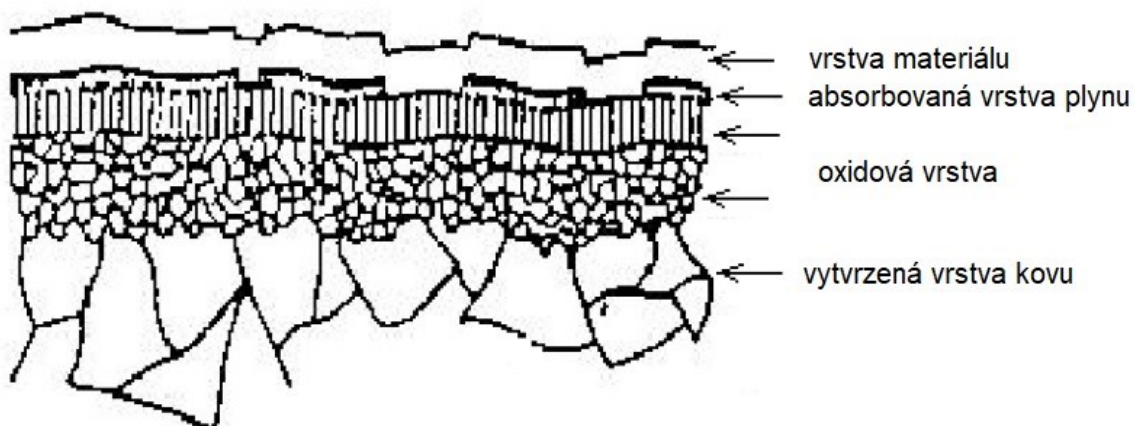
7.1 Úprava materiálu dutin forem

Snížení znečišťování povrchu dutin forem je možné různými způsoby. Je možné úpravou samotného povrchu nebo použitím chemických látek jako je například teflon. Velký vliv na ulpívání materiálu na povrchu formy má i jeho drsnost. Čím je větší drsnost povrchu formy, tím více na ní materiál ulpívá. [22]



Obr. 7.3 Vliv drsnosti povrchu formy na lepivost pryže [25]

Na opracovaném povrchu formy se tvoří i vrstva oxidy kovu. Mezi vrstvou materiálu, který povrch kontaminoval a oxidovou vrstvou, je uzavřen i absorbovaný plyn, který vytvoří další vrstvu. Povrch formy je nutné upravit, aby odolával lépe chemickým vlivům, korozi nebo mechanickému opotřebení. [26]



Obr. 7.4 Struktura povrchu dutiny formy [26]

7.1.1 Úprava pomocí chromu

Mezi nejčastější úpravy povrchu dutiny formy patří právě úprava pomocí chromu tzv. chromování. Pomocí této úpravy je možné dosáhnout větší odolnosti proti korozi, zvýšeným teplotám nebo mechanickému opotřebení. Chromování se využívá především v případech, kdy jsou kladeny vysoké nároky na kvalitu povrchu výrobku. Nevýhodou pochromovaného povrchu formy je propustnost kyseliny chlorovodíkové a fluorovodíkové, proto je tato úprava nevhodná pro zpracovávání halogenových kaučuků. [26]

7.1.2 Úprava pomocí niklu

Velkou výhodou poniklovaných povrchů oproti pochromovaným je odolnost vůči kyselinám. Také samotná kvalita povrchu je lepší. Úprava pomocí niklu se používá i jako podkladová vrstva pro chromování. Takto upravený povrch dutiny formy je mnohem odolnější vůči korozi. [26]

7.2 Čištění znečištěných forem

Znečištěný povrch formy je pro výrobu nežádoucí. Proto je nutné tento povrch v průběhu výroby čistit. To způsobuje zvýšení nákladů a výrobních časů. Nečistoty z povrchu formy je možné odstranit mechanicky nebo chemicky. Tyto způsoby čištění ovšem přinášejí snížení produktivity a možné riziko poškození formy. Mezi mechanické způsoby patří například tryskání suchým ledem, částicemi kovu nebo ruční čištění pomocí kartáčů. Při chemickém čištění je povrch formy vystaven vlivu čisticí kapaliny nebo kyseliny. Způsob čištění je zvolen dle zvoleného materiálu formy i samotného vulkanizátu. [24]

8 SOUHRN TEORETICÉ ČÁSTI

V teoretické části diplomové práce je seznámení s kaučukovými směsmi a jejich složení. Dále je blíže popsán zpracovatelský systém, který byl hlavním předmětem zkoumání. Dále byla rozebrána příprava směsí, jejich následné zpracovávání a samotný proces vulkanizace. Dále je v teoretické části přiblížení používaných materiálů pro výrobu forem. V poslední řadě byla probrána problematika kontaminace forem a její negativní následky na výrobní proces.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

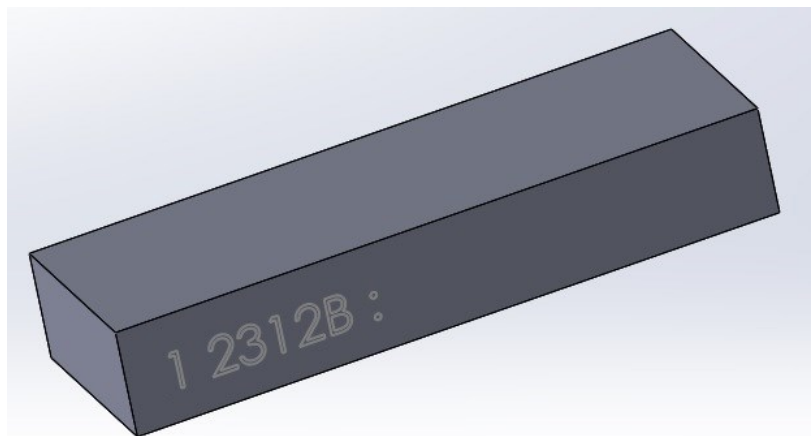
9 STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE

V diplomové práci byly zvoleny tyto cíle:

- Volba zkušebního materiálu a složení vulkanizační směsi
- Příprava směsí a zkušebních vzorků
- Vyhodnocení vulkanizačních charakteristik a lisovacích parametrů
- Vstříkování kaučukových směsí a sledování kontaminace na zkušebních těleších
- Vyhodnocení zkušebních těles po lisovacích cyklech

10 POUŽITÉ OCELI

Pro praktickou část diplomové práce byly použity tři různé nástrojové oceli. Z vybraných ocelí byly vyrobeny zkušební destičky. Každá ocel byla zastoupena ve třech různých drsnostech povrchu. Celkový počet zkušebních destiček pro testování byl 18 ks. Dále byly použity dvě hliníkové destičky, které sloužily jako koncové destičky formy.



Obr. 10.1 Zkušební destička

10.1 Ocel 1.2312

Chrom – mangan – molybdenová ocel, která je vhodná ke kalení v oleji i na vzduchu. Ocel je za tepla dobře tvárná, tak i snáze obrobitelná v zušlechtěném stavu, ale i ve stavu žíhaném na měkko. Materiál lze dále povrchově upravovat, jako například cementovat nebo nanášet chromovou vrstvu. Ocel je také dobře lešitelná. Pro svoje vlastnosti se využívá na výrobu forem pro vstřikování plastů nebo lití plastických hmot pod tlakem. [27]

Značka oceli	Chemické složení v %										Tvrdost ve stavu		
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max	Co	P max.	S max.	Žíh. na měkko	Zušlechtěném
												HB max.	HRC min.
DIN 40CrMnMoS86	0,35- 0,45	1,40- 1,60	0,30- 0,50	1,80- 2,00		0,15- 0,25				0,030	0,05- 0,10	235	51
ČSN není													

Obr. 10.2 Chemické složení oceli 1.2312 [27]

10.2 Ocel 1.2316

Chrom – molybdenová ocel je vhodná pro kalení v oleji. Ocel má díky většímu obsahu chromu zvýšenou odolnost proti korozi. Dalšími výhodami oceli jsou dobrá odolnost vůči opotřebení, dobrá leštitelnost, obrobiteľnosť a dobrá pevnost za tepla. Ocel je vhodná pro výrobu forem pro lisování chemicky agresivních plastických směsí. [27]

Značka oceli	Chemické složení v %											Tvrdost ve stavu	
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max	Co	P max.	S max.	Žíh. na měkko	Zušlechťeném
												HB max.	HRC min.
DIN X42Cr13	0,33-0,43	1,00	1,00	15-17	1,00-1,30			1,00		0,030	0,030	250	49
ČSN není													

Obr. 10.3 Chemické složení oceli 1.2316 [30]

10.3 Ocel 1.2343

Chrom – molybden – křemík – vanadová ocel je vhodná pro kalení na vzduchu i v oleji. Vyznačuje se především dobrou prokalitelností i pevností za tepla. Výhodami této oceli jsou také odolnost proti vzniku trhlin a malá citlivost na rychlé změny teplot. Z oceli se především vyrábí formy a nástroje, které mohou být chlazeny např. vodou. Matrice mohou mít vysokou pevnost, a to až 1800 N/mm². [27]

Značka oceli	Chemické složení v %											Tvrdost ve stavu	
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max	Co	P max.	S max.	Žíh. na měkko	Zušlechťeném
												HB max.	HRC min.
DIN X38CrMoV51	0,36-0,42	0,30-0,50	0,90-1,20	4,80-5,50		1,10-1,40	0,25-0,50			0,030	0,030	229	50
ČSN 19 552	0,32-0,42	0,20-0,50	0,80-1,20	4,50-5,50		1,10-1,60	0,35-0,60			0,030	0,030	240	50

Obr. 10.4 Chemické složení oceli 1.2343 [27]

10.4 Drsnost povrchu destiček

Pro účel diplomové práce byly použité destičky, u kterých byl záměrně opracovaný povrch na tři různé drsnosti, a to na $Ra\ 0,4$, $Ra\ 0,8$ a $Ra\ 1,6$. Důvodem tohoto broušení bylo ověření vlivu jakosti povrchu na kontaminaci oceli. Kontrola povrchu byla provedena pomocí měřicího přístroje Mitutoyo SJ-401 viz. obr. 10.5.



Obr. 10.5 Drsnoměr Mitutoyo SJ-401 [28]

Naměřené hodnoty povrchu destiček jsou uvedeny v tabulce tab.2. Hodnota drsnosti byla měřena na destičkách pro pravou i levou stranu. Z každé destičky jsou naměřeny tři hodnoty. Destičky pro pravou stranu formy byly označeny dvojtečkou.

Tab. 2 Povrchová drsnost použitých destiček

Drsnost Ra	1.12312		1.12316		1.12343	
	Levá strana	Pravá strana	Levá strana	Pravá strana	Levá strana	Pravá strana
B	0,4 μm	0,46 μm	0,43 μm	0,38 μm	0,44 μm	0,41 μm
	0,35 μm	0,34 μm	0,37 μm	0,34 μm	0,34 μm	0,34 μm
	0,44 μm	0,41 μm	0,39 μm	0,43 μm	0,37 μm	0,37 μm
C	0,87 μm	0,75 μm	0,91 μm	0,83 μm	0,84 μm	0,87 μm
	0,83 μm	0,74 μm	0,98 μm	0,99 μm	1,09 μm	1,09 μm
	0,93 μm	0,91 μm	0,69 μm	0,94 μm	1,15 μm	0,73 μm
D	1,69 μm	1,86 μm	1,62 μm	1,76 μm	2,78 μm	2,35 μm
	1,9 μm	1,66 μm	1,63 μm	1,69 μm	2,04 μm	1,87 μm
	1,62 μm	1,59 μm	1,55 μm	1,69 μm	1,35 μm	1,79 μm

11 VSTŘIKOVACÍ PROCES

Vstřikování směsi pro praktickou část práce probíhalo v laboratořích UTB Zlín. Byla vstřikována směs EPDM ve dvou verzích. Tyto verze se lišily rozdílným množstvím přidaného změkčovadla. Tyto směsi dodala firma Hexpol Compounding s.r.o. Dodané směsi byly zpracovány na vstřikovacím stroji REP V27 Y125.



Obr. 11.1 Vstřikovací stroj REP V27 Y125

Tab.3 Technické údaje vstřikovacího stroje [32]

Uzavírací síla	57 kN
Maximální rozměr formy	300x300x495 mm
Průměr šneku	20 mm
Maximální vstřikovaný objem	125 cm ³

11.1 Vstřikované EPDM směsi

U použitých směsí pro vstřikování není možné uvést jejich přesné složení. Složení těchto směsí podléhá firemnímu tajemství. Uveden může být jen příklad základního složení EPDM směsi viz. tabulka 4.

Tab. 4 Příklad směsi EPDM vyráběné firmou Hexpol Compounding s.r.o.

Kaučuk EPDM 100 dsk		
Vulkanizační systém	Síra	1,2
	MBT	1,5
	DPTT	2
	ZnO	3
	Stearin	1,5
Ochranný systém	Flectol H	2
Modifikační systém	Saze	až 130
Zpracovatelský systém	Parafinický olej	až 100

Označení použitých směsí:

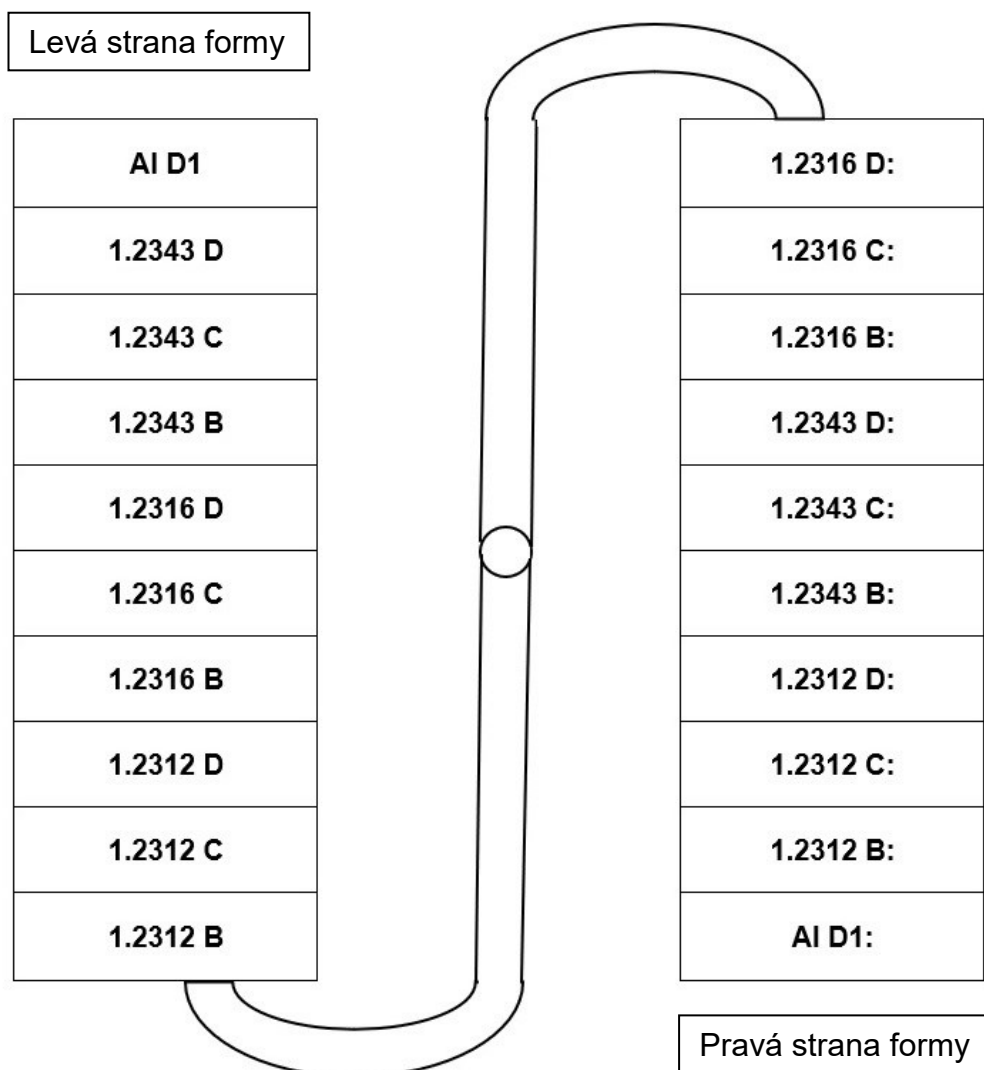
- 918 175 – směs s přidáním 10 dsk změkčovadla oproti běžně používané směsi
- 918 176 – směs s přidáním 20 dsk změkčovadla oproti běžně používané směsi

Směsi byly dodány v navinutých pásech. Pásky pro naše účely byly širší, než byl otvor stroje pro dávkování, proto musely být před použitím rozstříhány na polovinu, aby je bylo možné vkládat do odebírací části stroje. Pro každou směs byly nastaveny pracovní parametry dle tabulky 5.

Tab. 5 Nastavené vstřikovací parametry

Směs	918 175	918 176
Dávka	680	680
Vstřikovací tlak	200 bar	200 bar
Tlak systému	250bar	250 bar
Doba nástřiku	10 s	10 s
Doba vulkanizace	180 s	180 s
Teplota formy	195 °C	195 °C
Teplota šneku	70 °C	70 °C
Teplota válce	100 °C	100 °C
Počet cyklů	182	186

Pomocí dávkovacího šneku se naplnil pracovní válec stroje, kde docházelo k zahřívání směsi. Po zahřátí směsi na požadovanou teplotu byla směs pomocí hydraulického pístu vstříknuta do formy, která byla složená z testovaných ocelových destiček. Vulkanizační doba byla nastavena u všech směsí na stejnou hodnotu, a to na 180 s. Po ztvárnění kaučukové směsi se forma otevřela, aby bylo možné vyjmout vstříknutý polotovár. Poté se celý proces opakoval pro celou dávku směsi. Pořadí destiček ve formě je znázorněno na obr. 11.2, toto pořadí bylo dodrženo při vstřikování obou směsí. Hliníkové destičky slouží k ukončení dutiny formy a pro snazší vyjímání zkušebních destiček z dutiny.



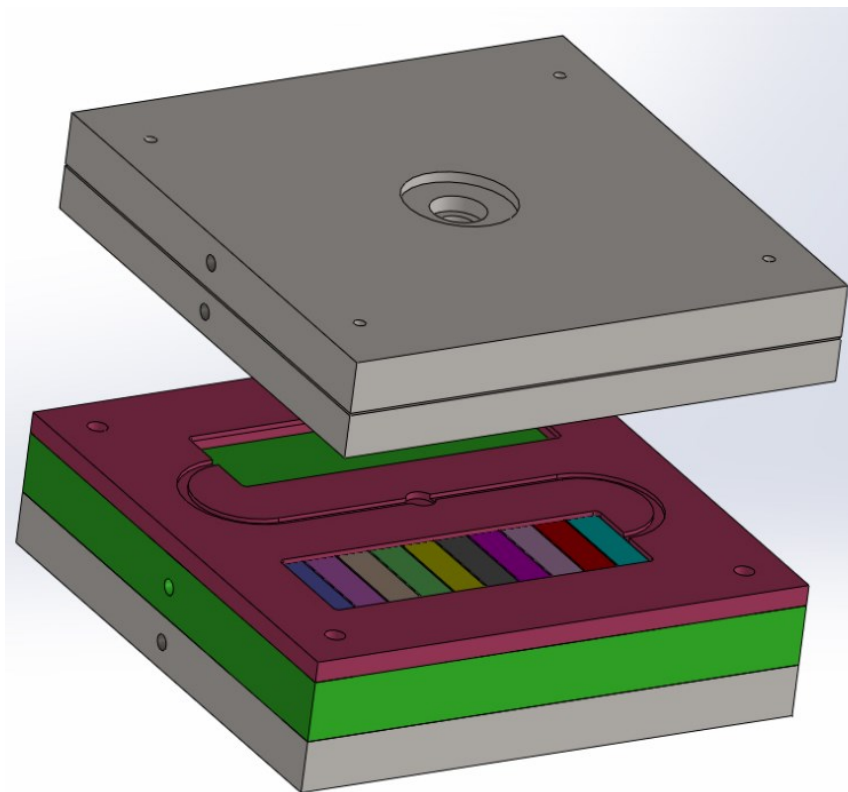
Obr. 11.2 Schéma rozmístění testovaných destiček



Obr. 11.3 Forma s destičkami



Obr. 11.4 Vzorek z vulkanizovaného kaučuku po vyjmutí z formy



Obr. 11.5 3D model vstřikovací formy [31]

11.2 Čištění destiček

Mezi jednotlivými vstřikovacími cykly bylo nutné očistit jednotlivé destičky i samotnou formu od zbytků vstřikované směsi, která ulpěla na jejich povrchu. Očištění muselo být důkladné, aby nedošlo ke zkreslování výsledku kontaminace z předešlého měření. Čištění destiček bylo provedeno mechanicky pomocí mosazných kartáčů a následně chemicky technickým benzínem. Před samotným vstřikovacím cyklem byly destičky ještě otřeny acetonem. Mezi vstřikováním směsi s obsahem +10 dsk změkčovadla a směsí s obsahem +20 dsk změkčovadla byly destičky očištěny navíc dvěma roztoky slabých kyselin. Levá polovina destiček byla očištěna čirým čisticím roztokem a pravá polovina modrým čisticím roztokem. Rozdíl mezi těmito roztoky byl dán různým poměrem použitých složek.

12 ANALÝZA TESTOVANÝCH DESTIČEK

Testované destičky byly zkoumány pomocí mikroskopu ProScope HR a metodou infračervené spektrometrie FTIR na přístroji Nicolet AVATAR 320. Po každém vstřikovacím procesu, kdy byly vstřikovány různé EPDM směsi, byla provedena analýza po vstřikování a následně po očištění vzorků. Analýza povrchu byla provedena v laboratořích UTB ve Zlíně.

12.1 Optická analýza

Pro optické porovnání množství kontaminace na různých povrchových drsnostech a různých použitých materiálech bylo využito mikroskopu ProScope HR s třicetinásobným zvětšením viz. obr.12.1. Z každé testované destičky byly pořízeny snímky povrchu a výsledky byly porovnány. Zkoumání vzorku proběhlo vždy po vylisování celé dávky kaučukové směsi. Po následném očištění destiček byly opět pořízeny zvětšené snímky povrchu pro optické ověření účinnosti čištění.



Obr. 12.1 Mikroskop ProScope HR [29]

12.2 Analýza infračervenou spektrometrií

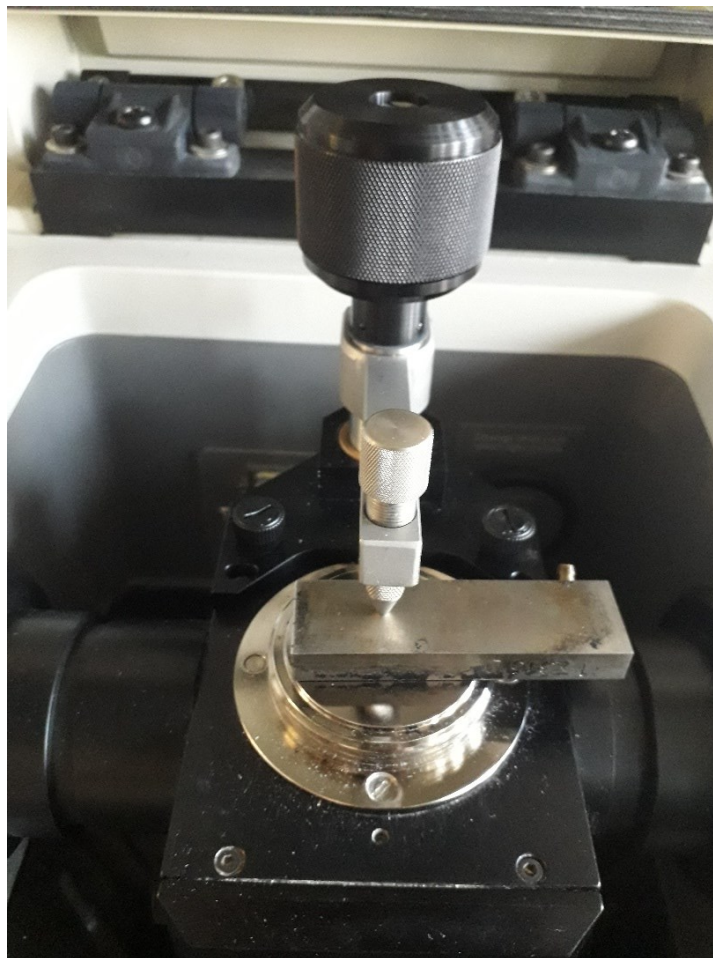
Infračervená spektrometrie neboli FTIR je nedestruktivní metoda pro analýzu vzorků. Analyzovaný vzorek touto metodou není nijak poškozen. Metoda FTIR pracuje na principu interakce infračerveného záření s analyzovanou látkou. Pokud dojde k pohlcení fotonu zkoumanou látkou, jedná se o absorpční spektrometrii. Pokud dojde k vyzařování fotonu, jde o emisní spektrometrii. Pro zjišťování chemických látek je nejvhodnější střední oblast infračerveného záření, která je mezi $4000\text{--}200\text{ cm}^{-1}$. [30]



Obr. 12.2 Spektrometr Nicolet AVATAR 320

Postup měření vzorků na přístroji AVATAR 320:

1. Očištění krystalu alkoholem
2. Posečkání minimálně 30 s, než se alkohol odpaří
3. Měření pozadí bez měřeného vzorku
4. Uložení křivky pozadí
5. Měření testovaného vzorku
6. Uložení křivky naměřeného vzorku
7. Očištění krystalu alkoholem



Obr. 12.3 Ukázka měření na spektrometru

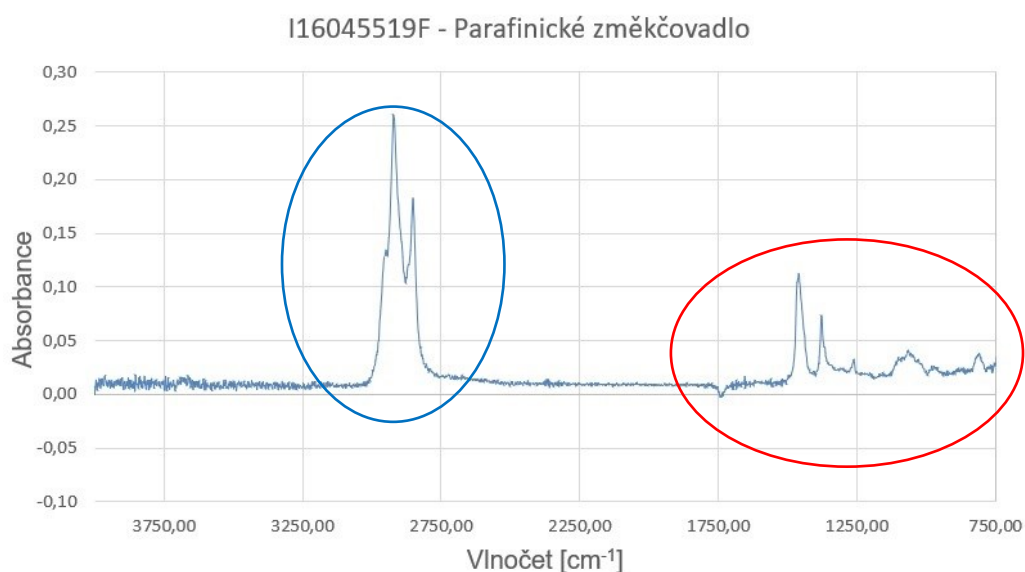
Tato měřicí metoda je velice citlivá, a proto se při měření muselo zacházet se vzorky velmi opatrně, aby nedošlo ke kontaminaci jejich povrchu např. dotykem holé ruky. To by mohlo způsobit zkreslení výsledných hodnot. Naměřené hodnoty byly následně zpracovány do grafů.

12.3 Výsledky analýz

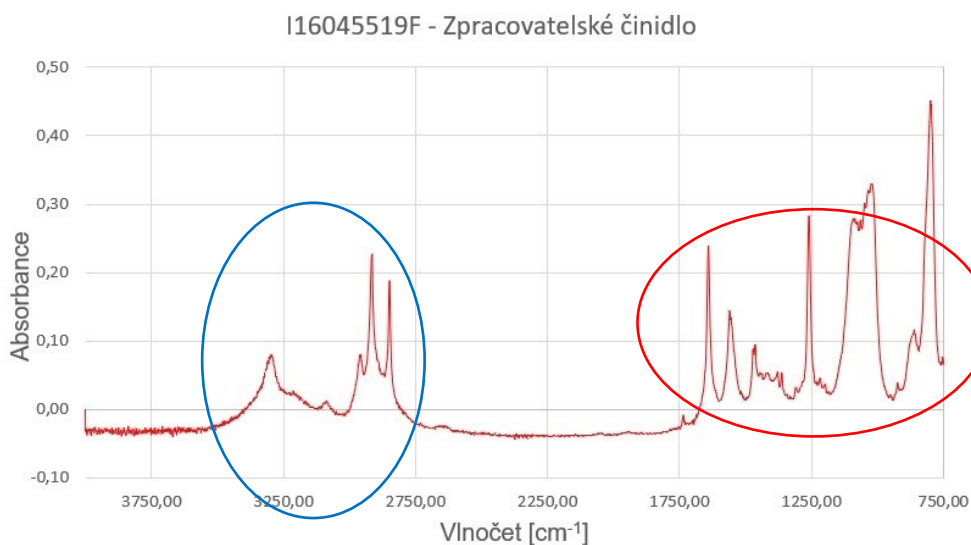
Pro zhodnocení vlivu množství změkčovadla na kontaminaci forem byly porovnávány všechny naměřené hodnoty. Pro práci byly poté vybrány jen některé ukázkové příklady a zbylé analýzy jsou nahrány na přiloženém DVD-ROMu v příloze.

12.3.1 Analýzy zpracovatelského systému

Byla provedena FTIR analýza zpracovatelského systému použitého ve směsích, viz graf 1 a 2.



Graf 1 Analýza FTIR parafinického změkčovadla

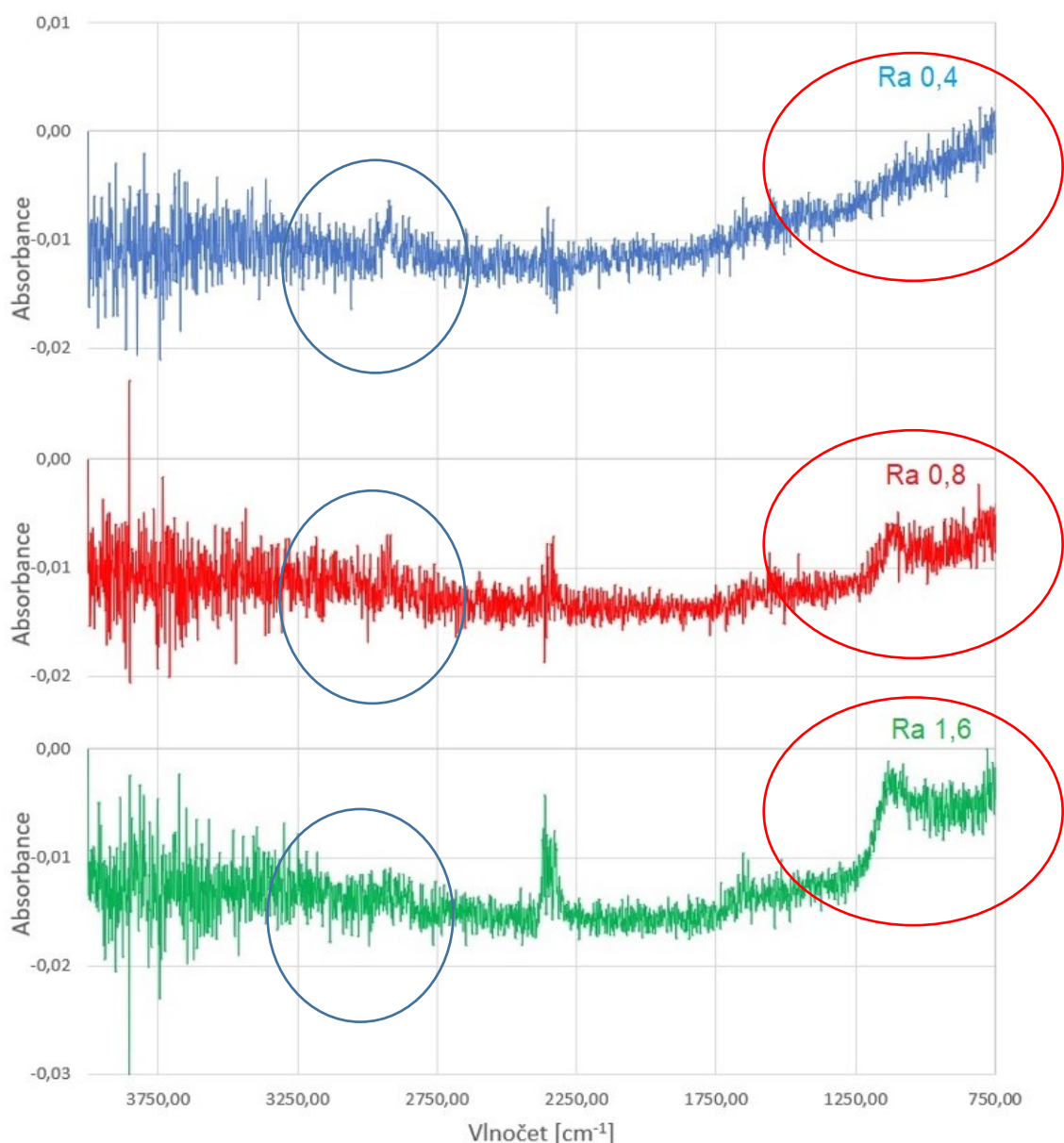


Graf 2 Analýza FTIR zpracovatelského činidla

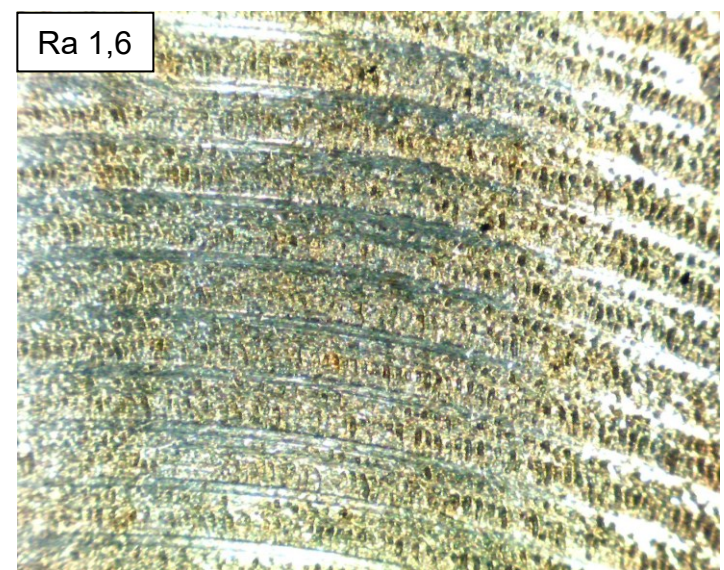
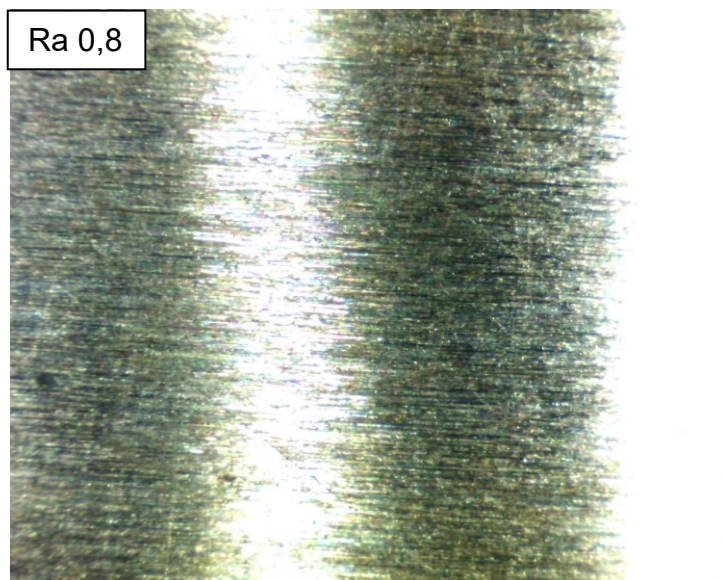
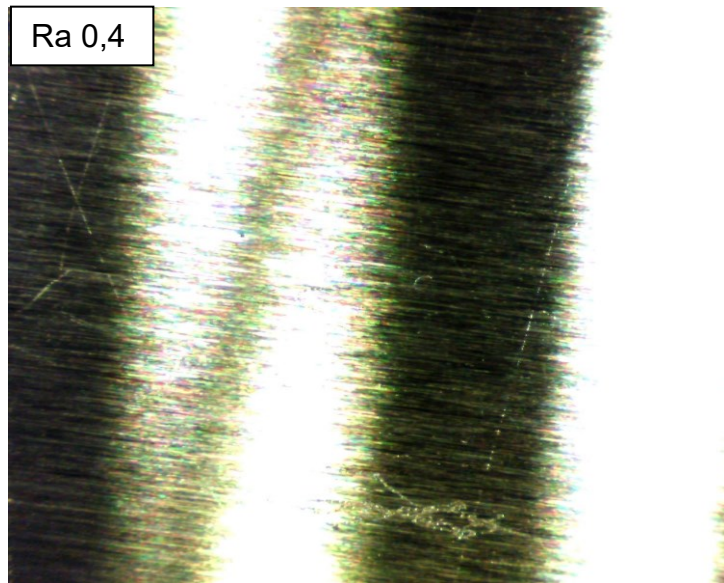
Z analýz FTIR pro parafinické změkčovadlo a zpracovatelské činidlo, které byly použity ve směsi jako zpracovatelský systém, byly zjištěny hledané oblasti. Tyto oblasti jsou zvýrazněny v grafu 1 a v grafu 2. Modře označená oblast, která se nachází v rozmezí vlnočtu 3500–2750 cm^{-1} , ukazuje na přítomnost CH_x skupin. Červená oblast je v rozmezí vlnočtu 1750–750 cm^{-1} . V tomto rozmezí se projevují látky s obsahem C-O. Tyto analýzy slouží k porovnávání s dalšími výsledky, které byly naměřeny u zkušebních destiček.

12.3.2 Vliv drsností na kontaminaci

Byla provedena FTIR analýza pro různé drsnosti u oceli 1.2343, viz graf 3.



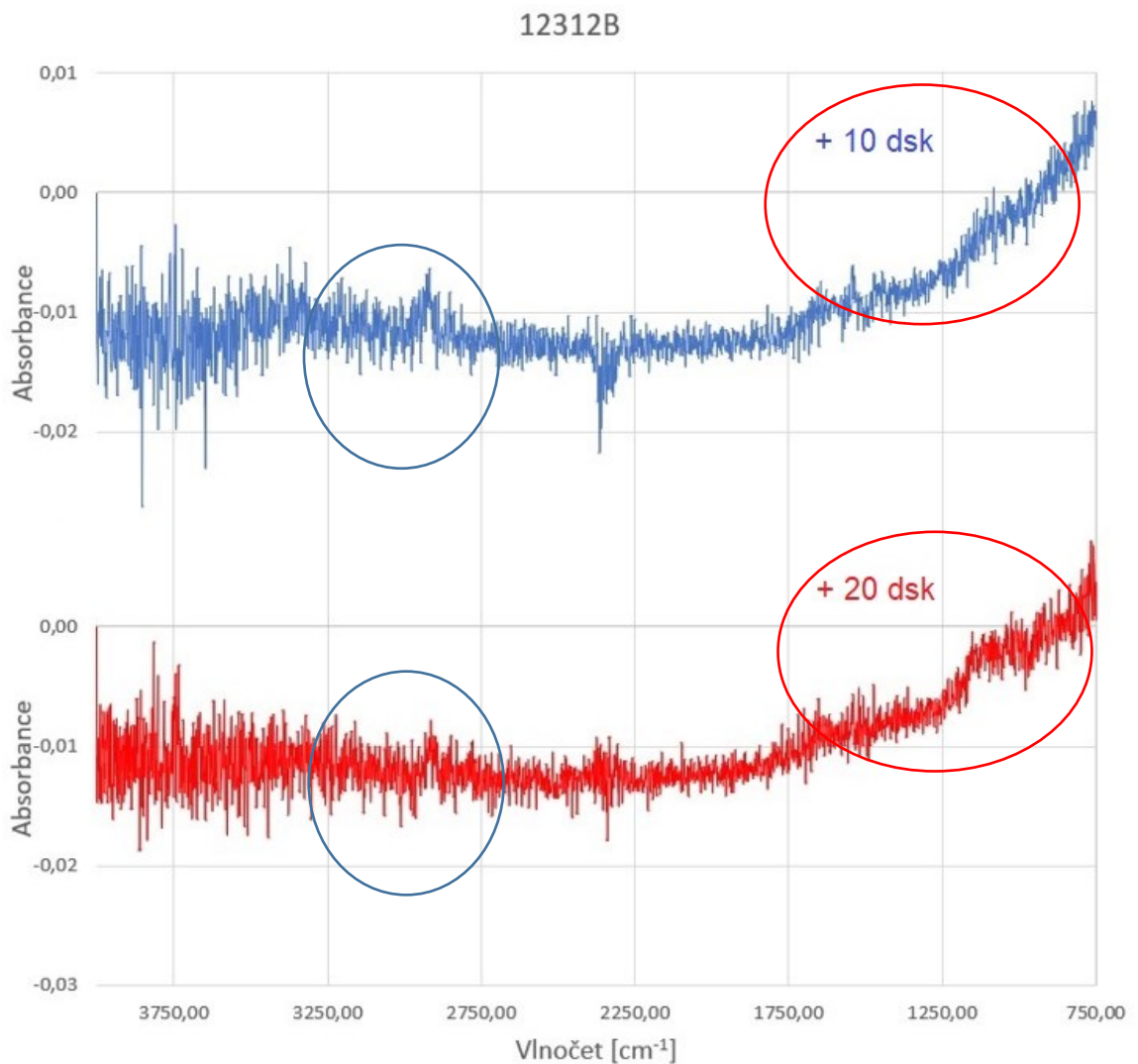
Graf 3 Srovnání analýz FTIR pro ocel 1.2343 a vstříkované směsi 918 175



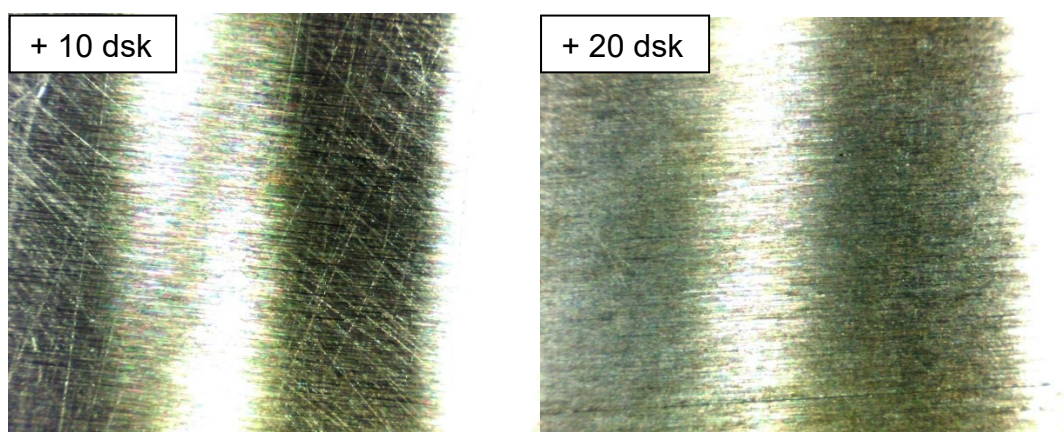
Obr. 12.4 Snímky povrchu zvětšené 30x ocel 1.2343

12.3.3 Vliv zpracovatelského systému na kontaminaci

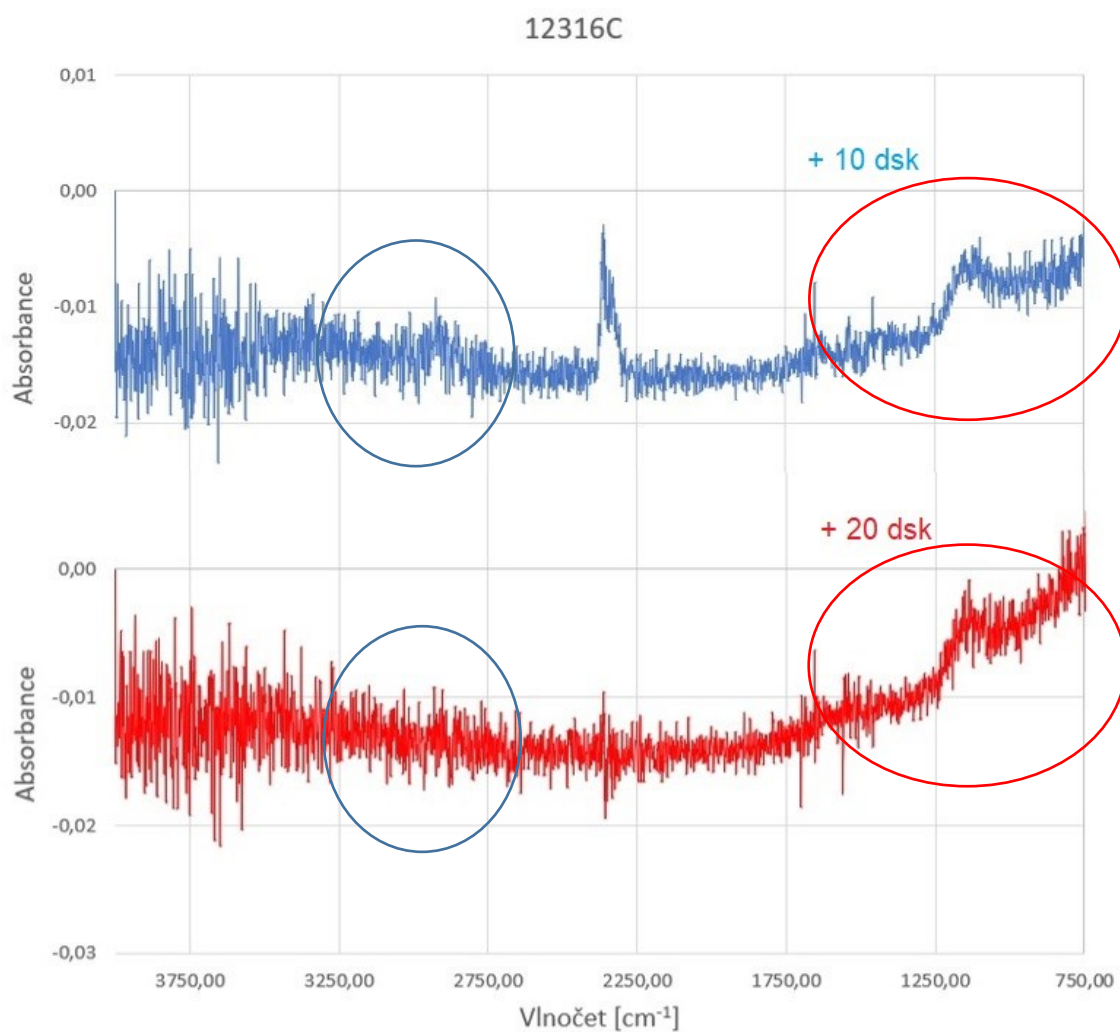
Byly provedeny analýzy pro srovnání obou vstříkovaných směsí, viz graf 4,5 a 6.



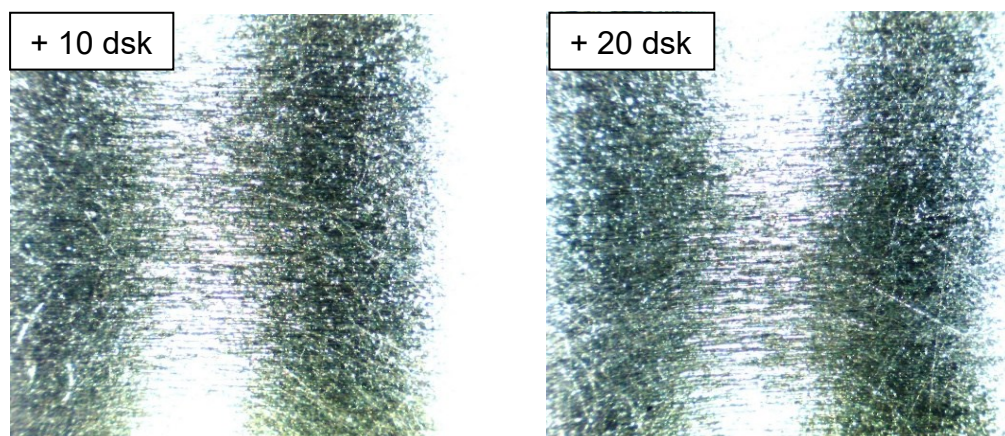
Graf 4 Analýza FTIR pro ocel 1.2312 o drsnosti Ra 0,4



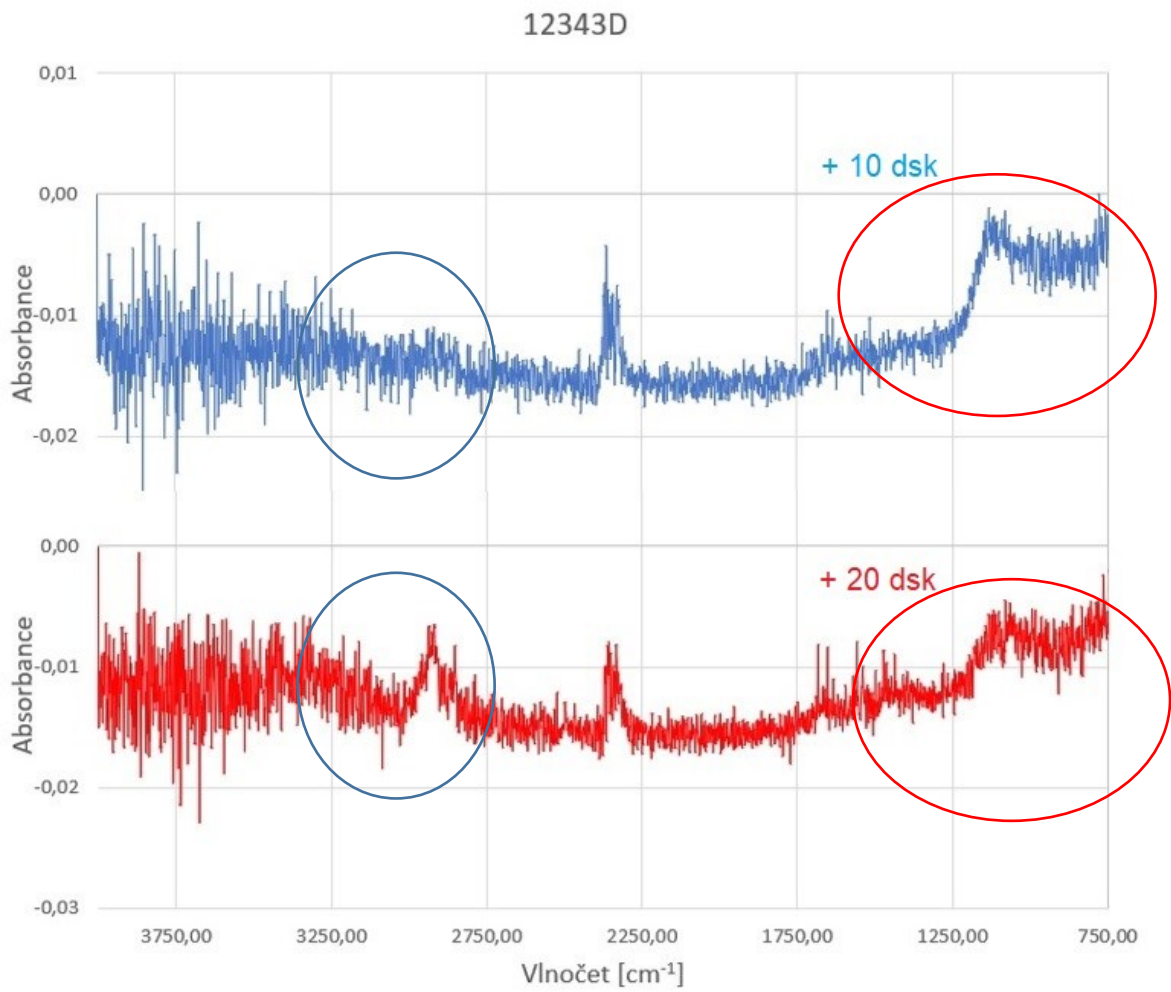
Obr. 12.5 Snímky povrchu zvětšené 30x ocel 1.2312



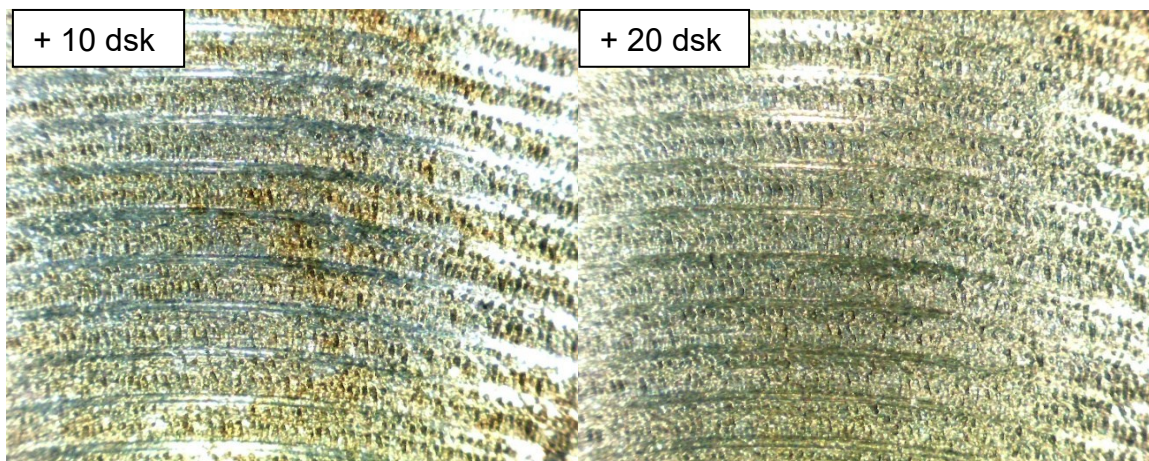
Graf 5 Analýza FTIR pro ocel 1.2316 o drsnosti Ra 0,8



Obr. 12.6 Snímky povrchu zvětšené 30x ocel 1.2316



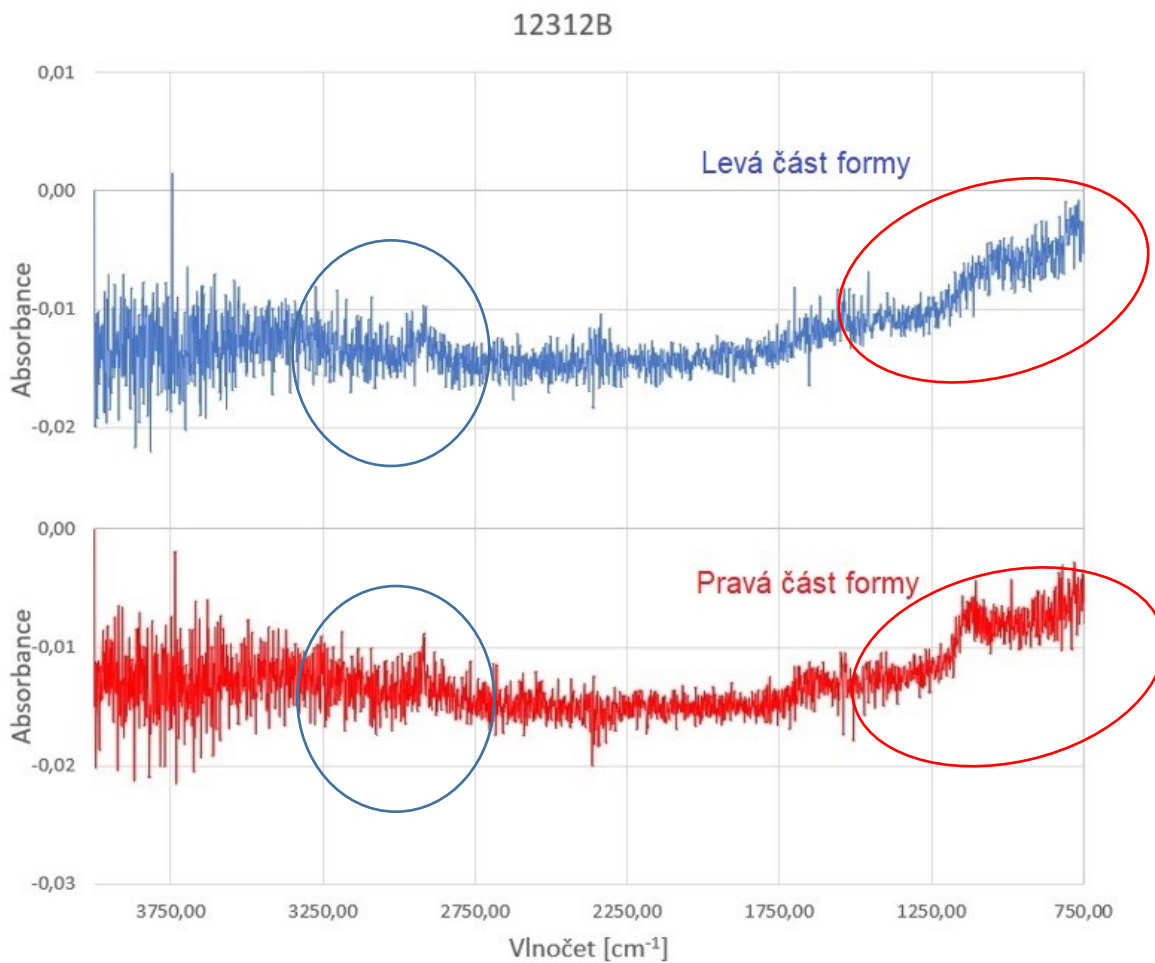
Graf 6 Analýza FTIR pro ocel 1.2343 o drsnosti Ra 1,6



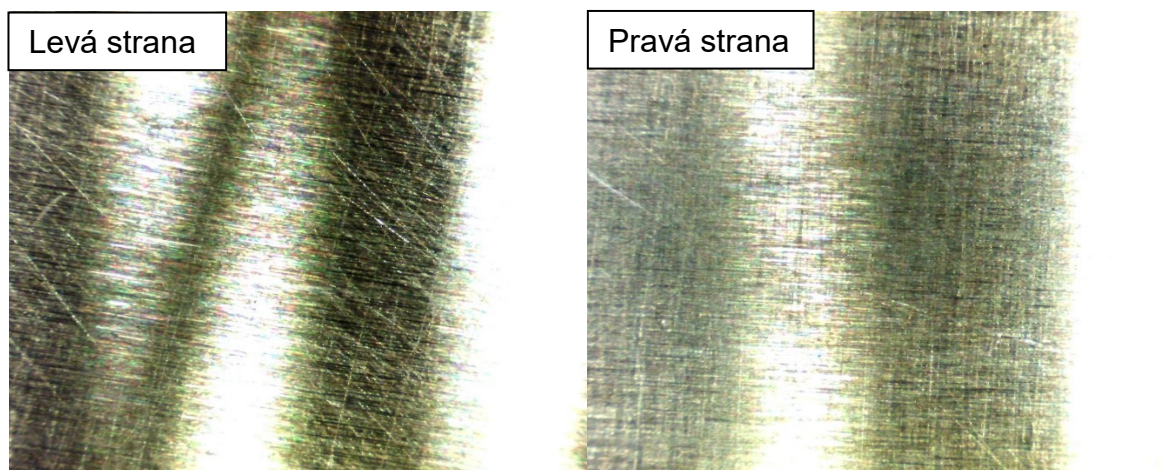
Obr. 12.7 Snímky povrchu zvětšené 30x ocel 1.2343

12.3.4 Vliv směru toku směsi

Zpracované analýzy srovnávají vliv směru toku na kontaminaci, viz graf 7.



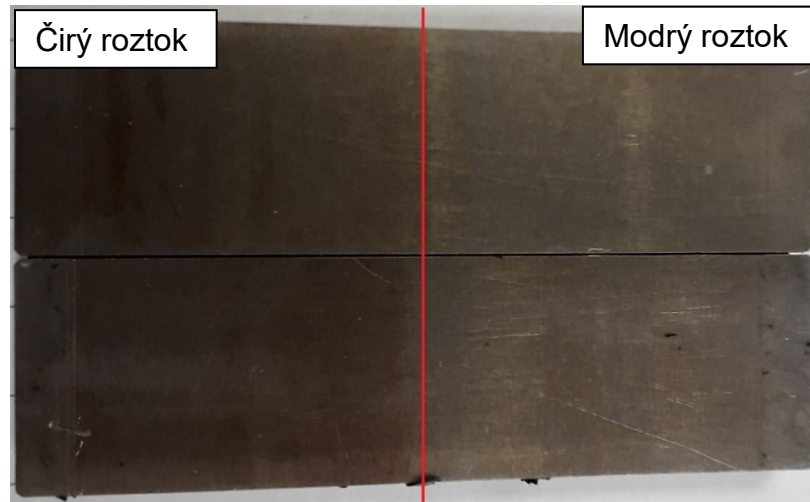
Graf 7 Analýza FTIR pro ocel 1.2312 o drsnosti Ra 0,4



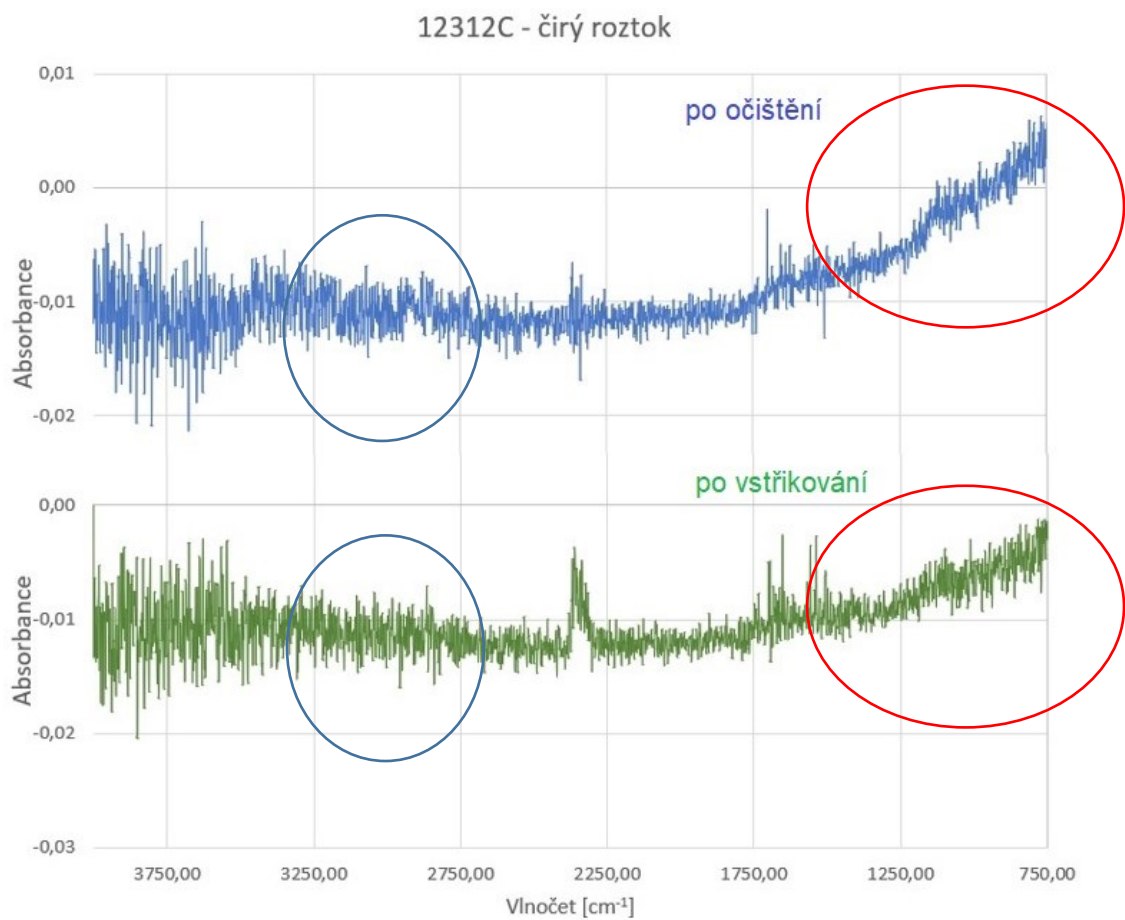
Obr. 12.8 Snímky povrchu zvětšené 30x ocel 1.2312

12.3.5 Vliv čisticích roztoků

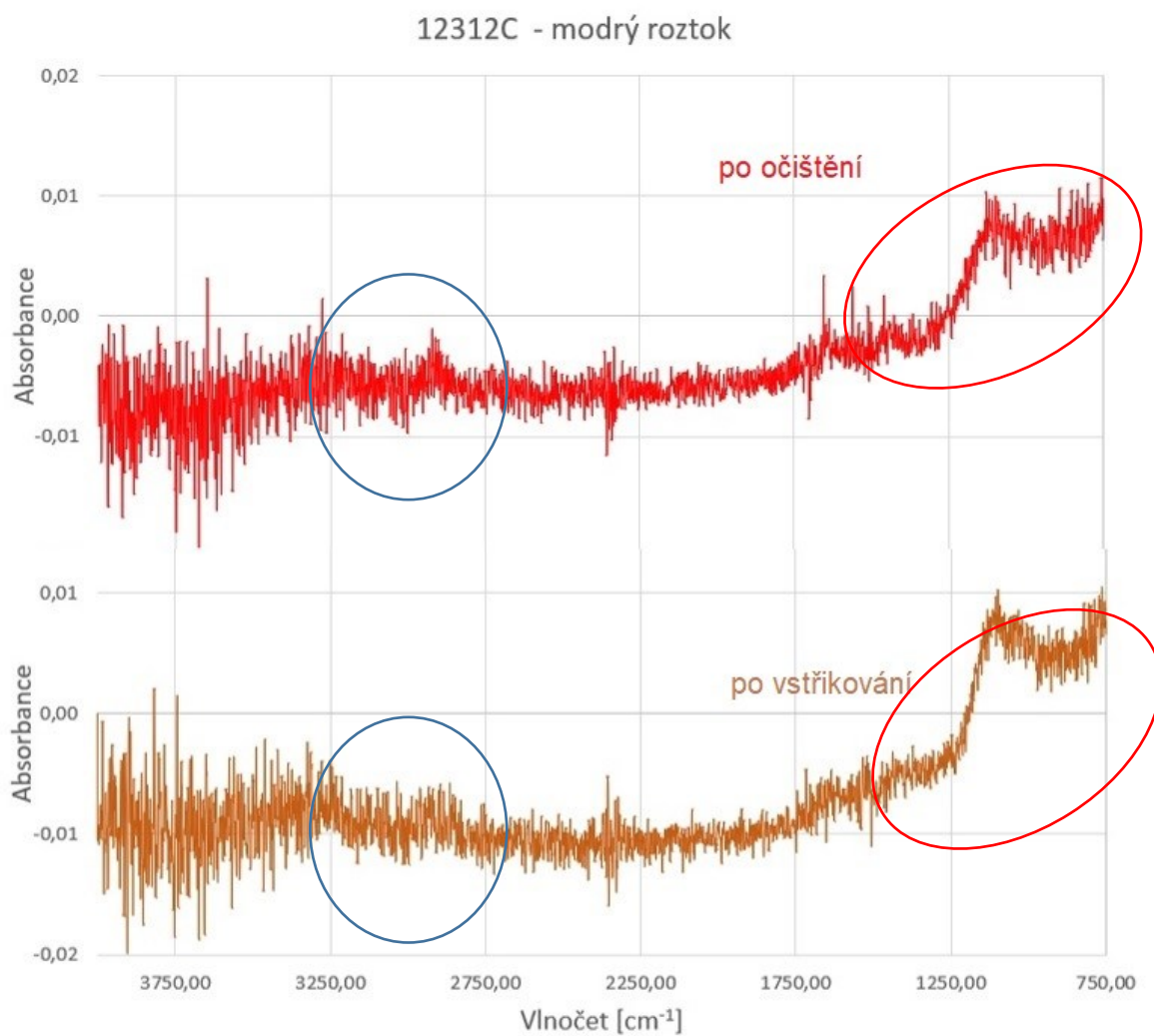
Byla provedena analýza, která porovnává vliv použitých čisticích roztoků, viz graf 8 a 9.



Obr. 12.9 Rozdíl povrchu destiček z oceli 1.2312 po použití různých čisticích roztoků



Graf 8 Analýza FTIR oceli 1.2312 Ra 0,8 pro čirý čisticí roztok



Graf 9 Analýza FTIR oceli 1.2312 Ra 0,8 pro modrý čistící roztok

13 SHRNU TÍ A DISKUZE ZJIŠTĚNÝCH VÝSLEDKŮ

V praktické části diplomové práce byly testovány zkušební destičky z nástrojových ocelí, a to 1.2312, 1.2316 a 1.2343. Povrch zkušebních destiček byl obroben na požadované hodnoty drsnosti Ra 0.4, Ra 0.8 a Ra 1.6, aby bylo možné posoudit vliv drsnosti povrchu na kontaminaci.

Pro účely experimentu byly vstřikovány dvě EPDM směsi se zvýšeným obsahem zpracovatelského systému. První směs s označením 918 175 obsahovala o 10 dsk změkčovadel více než základní směs, zatímco druhá směs, která měla označení 918 176, měla změkčovadel o 20 dsk více. Vstřikování obou směsí bylo provedeno za stejných podmínek a při stejném nastavení vstřikovacích parametrů. Počet vstřikovacích cyklů u první směsi byl 182 a u druhé 186.

Po vstřikování byly zkušební destičky analyzovány opticky pomocí mikroskopu ProScope HR, kterým bylo možné pořídit snímky povrchů destiček s 30násobným zvětšením. Dále byla pro důkladnější zjištění kontaminace povrchu použita infračervená spektrální analýza na spektrometru Nicolet AVATAR 320. Tato metoda měření je nedestruktivní pro zkušební destičky, ale je velice citlivá na okolní prostředí, a proto může při nesprávném postupu docházet k ovlivnění měření.

Vliv drsnosti povrchu na kontaminaci je porovnán v grafu 3. Pro ukázkou byla vybrána ocel 1.2343. V grafu je možné pozorovat vliv zpracovatelského systému. Pozorovatelný rozdíl je zřejmý mezi drsnostmi Ra 0,4 a Ra 1,6. U větší drsnosti povrchu destiček dochází v pásmu vlnočtu mezi hodnotami 3500-2750 cm^{-1} k nižšímu ovlivnění zpracovatelským systémem než u vzorků s nižší drsností.

U grafů 4, 5, a 6 jsou porovnávány jednotlivé vstřikované směsi. Zde jsou vidět určité rozdíly mezi vstřikovanými směsmi. K zajímavému úkazu dochází u grafu 6, kde u směsi, která obsahuje o 20 dsk změkčovadel více, dochází ke značnému nárůstu v oblasti vlnočtu 3000-2750 cm^{-1} , zatímco tento jev u grafu 4 a 5 vykazovala spíše směs, která měla změkčovadel jen o 10 dsk více.

Dále byl posuzován vliv toku směsi. Toto porovnání je zobrazeno v grafu 7. Z grafu je možné vyčíst, že pozice umístění destiček ve formě nijak výrazně neovlivnila kontaminaci povrchu.

V poslední řadě byl posuzován vliv čištění zkušebních destiček. Destičky byly čištěny mosaznými kartáči, které měly odstranit větší nečistoty. Poté byl povrch očištěn roztoky s různým poměrem slabých kyselin. Tyto roztoky nelze blíže specifikovat, jelikož budou podrobeny dalším výzkumům. Každá destička byla rozdělena na dvě poloviny a každá tato polovina byla očištěna jiným roztokem. Velký vliv těchto roztoků bylo možné pozorovat u oceli 1.2312. Na povrchu destičky, který byl očištěn čirým roztokem bylo možné pozorovat výrazné zbarvení, které bylo způsobeno chemickými reakcemi na povrchu kovu. Tento jev je ukázán na obrázku 12.9.

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá ovlivňováním kontaminace forem zpracovatelským systémem.

Pomocí spektrální analýzy FTIR byly zjištěny na povrchu zkušebních destiček oblasti vlnočtu, které mají vliv na kontaminaci. Z analýz bylo zjištěno, že se jedná především o CH_x skupiny a C-O skupiny. Vzhledem k šířce oblasti není možné tyto skupiny blíže specifikovat.

Analýzy obou směsí vykazují obdobné hodnoty. Tyto hodnoty se liší jen svojí rozdílnou intenzitou odrazu. V práci je možné pozorovat vliv množství zpracovatelského procesu na ulpívání nečistot na povrchu formy. U směsi 918 175 bylo pozorováno menší ulpívání v oblasti $3250\text{-}2750\text{ cm}^{-1}$ u oceli 1.2343 s drsností Ra 1,6. Tento jev je způsoben menšími povrchovými plochami, tudíž materiál se hůře přichytí ke zkušebnímu povrchu.

Jako vhodná ocel pro výrobu forem se jeví nástrojová ocel 1.2343, která měla menší sklony ke korozi povrchu po čištění. Tato odolnost byla způsobena vyšším obsahem chromu v oceli.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie: Směsi* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/smesi.pdf>
- [2] PREKOP, Štefan. *Gumárska technológia I*. Žilina: Žilinská univerzita, 1998, 282 s. ISBN 8071004839.
- [3] Podstata, význam a historie polymer. *Publi* [online]. [cit. 2017-11-14]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/01.html>
- [4] DVOŘÁK, Zdeněk a Eva HNÁTKOVÁ. *Zpracovatelské procesy gumárenské pro konstrukční směry*. Zlín, 2016.
- [5] DUCHÁČEK, Vratislav a Zdeněk HRDLIČKA. *Gumárenské suroviny a jejich zpracování. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online]. VŠCHT Praha, 2009 [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-978-80-7080-713-2/pages-img/obsah.html
- [6] DUCHÁČEK, Vratislav. *Změkčovadla*. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárenská skupina Zlín, 2011, 207 s. ISBN 978-80-02-02287-9.
- [7] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie: Přísady* [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/prisady.pdf>
- [8] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie: Procesy* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/procesy.pdf>
- [9] NOVÁK, Miroslav. *Technologie výroby technické pryže. Konstrukční kancelář* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.mn-kk.freepage.cz/nova-stranka-155756/>
- [10] MARCÍN, Jiří. *Příprava gumárenských směsí*. Praha: SNTL, 1961, 138 s. Knižnice dělníka v chemickém průmyslu.
- [11] VÍTŮ, Vladimír. *Výroba pneumatik* [online]. Otrokovice, 2013 [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3633575/>
- [12] FLUORELASTOMEROVÉ CENTRUM. *Zrunek Gummitechnik* [online]. [cit. 2018-01-13]. Dostupné z:

<http://www.zrunek.at/cz/viton/kompetence/fluoroelastomery/vlastnosti/vyznam-zruelast-fpm-viton-fkm.html>

[13] ŠKROBÁK, Adam, Michal STANĚK, David MAŇAS a Miroslav MAŇAS. *Gumárenské listy: Vliv vstřikování na mechanické vlastnosti pryžových zkušebních těles* [online]. Zlín, 2015 [cit. 2018-01-16]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/4275425-45-barum-czech-rally-zlin-28-30-8-2015.html>

[14] AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů: Lisování reaktoplastů a termoplastů* [online]. 2016 [cit. 2018-01-16]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/04.html>

[15] PREKOP, Štefan. *Gumárska technológia II*. Trenčín: GC TECH Ing. Peter Gerši, 2003, 370 s. ISBN 808891485X.

[16] DVOŘÁK, Zdeněk a Jakub JAVOŘÍK. *Elastomerní konstrukční materiály*. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárneská skupina Zlín, 2009, 93 s. ISBN 978-80-02-02155-1.

[17] *Kontrolní a zkušební metody: Hodnocení plasticity elastomerů* [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_04.pdf

[18] LEROY, Eric, Anouar SOUID a Rémi DETERRE. Polymer Testing: A continuous kinetic model of rubber vulcanization predicting induction and reversion. <https://www.sciencedirect.com/> [online]. 2013 [cit. 2018-01-13]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941813000056>

[19] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie: Zkoušky* [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <http://www.home.karneval.cz/0323339201/text/zkousky.pdf>

[20] *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů. Díl 2*. Brno: Uniplast, 1999, 214 s.

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

[22] HORNSBY, Peter R., Inderjeet SINGH, John R. DALEY a John FIRTH. *Characterization of mold fouling during elastomer injection molding* [online]. 29.8.2006 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.24450>

- [23] HORNSBY, Peter R., Inderjeet SINGH, John R. DALEY a John FIRTH. *Mould fouling of elastomers during injection moulding* [online]. 19.7.2013 [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1179/174328906X143831>
- [24] MAI, Yong-jin, Xiao-hua JIE, Li-li LIU, Neng YU a Xiang-xin ZHENG. *The study on vulcanization fouling behavior of nanocrystalline layer* [online]. 17.6.2011 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/sia.3799>
- [25] GUSKOVIČ, Gracián. *Hodnocení kontaminace forem z nástrojových ocelí*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2016. Vedoucí práce Shejbalová, Dana.
- [26] HAVLÍČKOVÁ, Klára. *Způsoby čištění forem od vulkanizačních zbytků*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014. Vedoucí práce Hnátková, Eva.
- [27] JKZ Bučovice a.s.: *Nástrojové oceli* [online]. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/>
- [28] *Mitutoyo katalog 2008: Měřitelná kvalita* [online]. 2008 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: http://www.iscarex.cz/txt/akce/mitutoyo/podzimni_akce_2008.pdf
- [29] ProScope. *Proscope digital* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <https://proscopedigital.com/shop/handheld-usb-microscope-proscope-hr-50x/>
- [30] KANIA, Patrik. *INFRAČERVENÁ SPEKTROMETRIE* [online]. PRAHA: VŠCHT PRAHA [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.vscht.cz/files/uzel/0005766/Infra%C4%8Derven%C3%A1+spektrometrie.pdf?redirected>
- [31] *Řešení problematiky kontaminace vstříkovacích forem: United Polymers, s.r.o.* 2014.
- [32] *REP rubber injection: The REP range.* 2004.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

IR		izoprenové kaučuky
BR		butadienové kaučuky
SBR		butadienstyrenové kaučuky
IIR		butylkaučuky
CR		chloroprenové kaučuky
NBR		butadienakrylonitrilové kaučuky
k	[-]	konstanta síťovací reakce
t ₉₀	[s]	doba vulkanizace 90 % materiálu
t _i	[s]	indukční perioda
t _{s2}	[s]	čas bezpečnosti
t ₅₀	[s]	čas vulkanizace 50 % materiálu
M _H	[Nm]	maximální hodnota kroutícího momentu
M _L	[Nm]	minimální hodnota kroutícího momentu
ZnO		oxid zinečnatý

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Sběr přírodního kaučuku

Obr. 1.2 Schéma výroby kaučuků

Obr. 3.1 Hnětací stroj

Obr. 3.3 Princip míchání na dvouválci

Obr. 3.2 Míchání vzorků směsi na dvouválci

Obr. 4.1 Schéma lisovací formy

Obr. 4.2 Lisovací cyklus

Obr. 4.3 Vstřikovací cyklus

Obr. 4.4 Forma pro vstřikování zkušebních těles

Obr. 4.5 Schéma přetlačovacího cyklu

Obr. 5.1 Vulkanizační křivka

Obr. 5.2 Vulkanizační křivky pro stanovení vulkanizačního optima na základě pevnosti v tahu

Obr. 5.3 Závislost kroutícího momentu a čase

Obr. 5.4 Křivky závislosti kroutícího momentu na čase pro různé teploty

Obr. 5.5 Schéma viskozimetru Mooney

Obr. 7.1 Ukázka kontaminace formy v průběhu 25 cyklů

Obr. 7.2 Separační činidlo na povrchu formy

Obr. 7.3 Vliv drsnosti povrchu formy na lepivost pryže

Obr. 7.4 Struktura povrchu dutiny formy

Obr. 10.1 Zkušební destička

Obr. 10.2 Chemické složení oceli 1.2312

Obr. 10.3 Chemické složení oceli 1.2316

Obr. 10.4 Chemické složení oceli 1.2343

Obr. 10.5 Drsnoměr Mitutoyo SJ-401

Obr. 11.1 Vstřikovací stroj REP V27 Y125

Obr. 11.2 Schéma rozmístění testovaných destiček

Obr. 11.3 Forma s destičkami

Obr. 11.4 Vzorek z vulkanizovaného kaučuku po vyjmutí z formy

Obr. 12.1 Mikroskop ProScope HR

Obr. 12.2 Spektrometr Nicolet AVATAR 320

Obr. 12.3 Ukázka měření na spektrometru

Obr. 12.4 Snímky povrchu zvětšené 30x ocel 1.2343

Obr. 12.5 Snímky povrchu zvětšené 30x ocel 1.2312

Obr. 12.6 Snímky povrchu zvětšené 30x ocel 1.2316

Obr. 12.7 Snímky povrchu zvětšené 30x ocel 1.2343

Obr. 12.8 Snímky povrchu zvětšené 30x ocel 1.2312

Obr. 12.9 Rozdíl povrchu destiček z oceli 1.2312 po použití různých čisticích roztoků

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rozdělení urychlovačů podle chemického složení

Tab. 2 Povrchová drsnost použitých destiček

Tab.3 Technické údaje vstřikovacího stroje

Tab. 4 Příklad směsi EPDM vyráběné firmou Hexpol Compounding s.r.o.

Tab. 5 Nastavené vstřikovací parametry

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Analýza FTIR parafinického změkčovadla

Graf 2 Analýza FTIR zpracovatelského činidla

Graf 3 Srovnání analýz FTIR pro ocel 12343 a vstříkované směsi 918 175

Graf 4 Analýza FTIR pro ocel 1.2312 o drsnosti Ra 0,4

Graf 5 Analýza FTIR pro ocel 1.2316 o drsnosti Ra 0,8

Graf 6 Analýza FTIR pro ocel 1.2343 o drsnosti Ra 1,6

Graf 7 Analýza FTIR pro ocel 1.2312 o drsnosti Ra 0,4

Graf 8 Analýza FTIR oceli 1.2312 Ra 0,8 pro čirý čisticí roztok

Graf 9 Analýza FTIR oceli 1.2312 Ra 0,8 pro modrý čisticí roztok

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I – grafy z analýz FTIR (DVD)

Příloha II – Snímky povrchů zkušebních destiček (DVD)

Příloha III – Parametry vstřikovacího lisu (DVD)