

Vliv technik vybraných povrchových úprav na kontaminaci povrchu dutiny formy

Tomáš Marcoň

Bakalářská práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Marcoň**
Osobní číslo: **T18443**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vliv technik vybraných povrchových úprav na kontaminaci povrchu dutiny formy**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši
2. Navrhněte vhodné povrchy části dutiny formy aplikované PVD technologií
3. Provedte experimentální ověření kvality navržených povrchů v procesu lisování kaučukové směsi
4. Experiment vyhodnoťte

Rozsah bakalářské práce: **cca 60 stran**
Rozsah příloh: **dle pokynů VDP**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **DUCHÁČEK Vratislav, HRDLIČKA Zdeněk: Gumárenské suroviny a jejich zpracování. 4. vyd. Praha: VŠCHT Praha, 2009. 144 s. ISBN 978-80-7080-713-2**
2. **HAZLINGER, Marián a Roman MORAVČÍK. Chemicko-tepelné spracovanie materiálov. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2013. ISBN 978-80-227-3924-5.**
3. **TRACTON, Arthur A. Coatings technology: fundamentals, testing, and processing techniques. Boca Raton: CRC Press, c2007, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 1-4200-4406-0.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Dana Shejbalová, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Ve Zlíně dne 19. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, 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 nevýdělečně 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

Tato bakalářská práce se zabývá kaučukovou směsí a jejím rozdělením a složkami směsi. Dále je popsán princip vulkanizace a její způsoby a možnosti zpracování kaučukové směsi. Následně jsou popsány materiály vhodné k výrobě dutin forem. Dále popisují povrchové úpravy, jejich rozdělení a použití. V neposlední řadě se zabývám vlivem procesních podmínek, materiálu dutiny formy a povrchové úpravy na kontaminaci. V praktické části byl vyhodnocován vliv odlišných povrchových úprav na kontaminaci destiček pomocí analýzy FTIR, bylo provedeno hodnocení drsnosti povrchu a byly pořízeny fotografie. pořízených fotografií.

Klíčová slova: Kaučuková směs, vulkanizace, kontaminace, fouling, PVD, CVD, FTIR analýza

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the rubber mixture and its distribution and components of the mixture. Next, the principle of vulcanization and its methods and possibilities of rubber compound processing are described. Subsequently, materials suitable for the manufacture of mold cavities are described. Furthermore, I describe surface treatments, their distribution and use. Last but not least, I deal with the influence of process conditions, mold cavity material and surface treatment on contamination. In the practical part, the effect of different surface treatments on platelet contamination by FTIR analysis was evaluated, surface roughness was evaluated and photographs were taken. photos.

Keywords: Rubber blend, vulcanization, contamination, fouling, PVD, CVD, FTIR analysis

Touto cestou bych rád poděkoval mé vedoucí bakalářské práce paní Ing. Daně Shejbalové Ph.D. za odborné vedení, cenné připomínky a pomoc během vypracovávání mé bakalářské práce. Taktéž děkuji panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi, paní Ing. Mileně Kubišové Ph.D. za odbornou pomoc při měření drsnosti povrchu a poděkování si také zaslouží pan Ing. Jaroslav Maloch CSc., kterému děkuji za pořízené fotografie povrchů.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 KAUKUKOVÁ SMĚS	12
1.1 KAUKUK.....	12
1.1.1 Přírodní kaučuk	12
1.1.2 Syntetický kaučuk	13
1.1.2.1 Druhy syntetických kaučuků	14
1.2 SLOŽKY KAUKUKOVÉ SMĚSI.....	16
1.2.1 Vulkanizační prostředky	16
1.2.2 Urychlovače vulkanizace	16
1.2.3 Aktivátory vulkanizace	16
1.2.4 Retardéry	16
1.2.5 Plniva.....	16
1.2.6 Změkčovadla	16
1.2.7 Antioxidanty.....	17
1.2.8 Peptisační činidla	17
1.2.9 Barviva, pigmenty	17
1.2.10 Nadouvadla	17
1.2.11 Inhibitory navulkanizování	18
2 VULKANIZACE	19
2.1 PRINCIP VULKANIZACE.....	20
2.2 DRUHY VULKANIZACE.....	20
2.3 VULKANIZAČNÍ ČINIDLA	21
2.4 ZMĚNY VLASTNOSTI KAUKUKOVÉ SMĚSI V PRŮBĚHU VULKANIZACE	21
2.5 RYCHLOST VULKANIZACE	22
2.6 OPTIMUM VULKANIZACE.....	23
2.7 ROZDĚLENÍ PRYŽE.....	24
2.8 ZPŮSOBY VULKANIZACE	25
3 ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ PRYŽE	26
3.1 LISOVÁNÍ KAUKUKOVÉ SMĚSI	26
3.2 VSTŘIKOVÁNÍ.....	27
3.2.1 Vstřikování pístem	28
3.2.2 Vstřikování pístem s předplastikací šnekem	28
3.2.3 Vstřikování šnekem s axiálním posuvem.....	28
4 MATERIÁLY VULKANIZAČNÍCH FOREM	29
4.1 NÁSTROJOVÉ OCELI.....	30
4.1.1 Příklady nástrojových ocelí.....	30

4.2	KONSTRUKČNÍ OCELI	31
4.3	SLITINY HLINÍKU	31
4.3.1	Slitiny Al-Mg	32
4.3.2	Slitiny Al-Mg-Si.....	32
4.3.3	Slitiny Al-Mn	32
4.3.4	Slitiny Al-Cu-Mg	32
5	SPECIÁLNÍ POVRCHOVÉ ÚPRAVY	33
	ÚPRAVA MATERIÁLU DUTIN FOREM	33
5.1	PHYSICAL VAPOUR DEPOSITION (PVD)	35
5.1.1	Vakuové napařování	37
5.1.2	Vakuové napařování.....	37
5.1.3	Iontové plátování.....	38
5.2	CHEMICAL VAPOUR DEPOSITION (CVD)	38
5.2.1	Tvorba keramických povlaků.....	40
5.2.2	Difuzní chromování	41
5.2.3	Difuzní křemíkování	41
5.2.4	Difuzní hliníkování	41
5.3	DALŠÍ METODY POVRCHOVÝCH ÚPRAV	41
6	KONTAMINACE.....	45
6.1	VLIV KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ	46
6.1.1	Vliv polymeru	46
6.1.2	Vliv vulkanizačního činidla	46
6.1.3	Vliv plniva.....	46
6.2	VLIV ZPRACOVATELSKÝCH PODMÍNEK	46
6.3	VLIV MATERIÁLU A ÚPRAVY POVRCHU DUTINY FORMY	47
6.4	ČIŠTĚNÍ POVRCHU FOREM.....	48
6.4.1	Mechanické čištění	48
6.4.2	Chemické čištění	48
6.4.3	Tepelné čištění	49
6.4.4	Nedestruktivní čištění.....	49
6.4.5	Čištění laserem	49
7	SHRUNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	51
II	PRAKTICKÁ ČÁST	52
8	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	53
9	POPIS EXPERIMENTU	54

9.1	PŘEHLED POUŽITÝCH DESTIČEK	54
9.2	POUŽITÁ KAUKUKOVÁ SMĚS.....	56
9.3	VULKANIZAČNÍ PODMÍNKY	56
9.4	LISOVÁNÍ KAUKUKOVÉ SMĚSI	57
9.5	ANALÝZA ZKUŠEBNÍCH TĚLES POMOCÍ METODY FTIR.....	60
9.6	MĚŘENÍ POVRCHU POMOCÍ 3D MĚŘICÍHO PŘÍSTROJE.....	60
9.7	POŘÍZENÍ FOTOGRAFIÍ	62
10	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	63
10.1	SNÍMKY Z PROFILOMĚRU ZYGO NV 8300	63
10.2	HODNOTY ZJIŠTĚNÉ ANALÝZOU FTIR.....	74
10.3	POŘÍZENÉ FOTOGRAFIE.....	78
	ZÁVĚR	81
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	83
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	87
	SEZNAM OBRÁZKŮ	90
	SEZNAM TABULEK.....	93
	SEZNAM GRAFŮ	94
	SEZNAM PŘÍLOH.....	95

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá speciálními povrchovými úpravami a jejich vlivem na kvalitu a kontaminaci materiálů z nich jsou vyráběny dutiny formy ať už pro lisování nebo pro vstřikování.

V teoretické části se zabývám složením kaučukové směsi a jejími složkami, vulkanizací kaučukové směsi a jejím zpracováním, materiály vhodnými k výrobě dutin forem a v neposlední řadě také jejich kontaminací a povrchovými úpravami.

Praktická část se zabývá vyhodnocováním vlivu drsnosti povrchu a jeho povrchové úpravy na kontaminaci destiček, které byly vystaveny 200 lisovacím cyklům kaučukové směsi.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KAUČUKOVÁ SMĚS

Základní surovinou kaučukové směsi je kaučuk. Do kaučukové směsi se přidávají takové přísady, které umožňují jeho vulkanizaci a dávají výrobku (vulkanizátu – pryži) žádané vlastnosti. [1]

1.1 Kaučuk

Kaučuk je polymerní materiál, který se podle původu dělí na přírodní a syntetický. Jeho charakteristickou vlastností je velká pružnost, tedy účinkem vnější síly dochází k deformaci, jakmile vnější síly přestanou působit, vrátí se do původního tvaru. Kaučuk je tedy tzv elastomer. Je základní surovina pro výrobu pryží. Pryž vzniká z kaučuku díky procesu zvaný vulkanizace, ta může být prováděna teplem nebo katalyzátory (urychlovači). Jako vulkanizační činidlo se používá např. síra nebo sírné sloučeniny. Čím déle vulkanizace probíhá, tím více vzniká disulfidických můstků mezi makromolekulami kaučuku a tím je výsledná pryž tvrdší. Vulkanizace vede k tomu, že se zlepší mechanické vlastnosti výsledného vulkanizátu jako např. pevnost v tahu, vratnost deformace, strukturní pevnost, odolnost vůči oděru apod. [2]

1.1.1 Přírodní kaučuk

Surový kaučuk (latex) se získává nařezáním kůry tropického stromu kaučukovníku (*Hevea brasiliensis*- obr. 1.1). Vytěžený surový kaučuk se upravuje srážením např. kyselinou mravenčí, pere vodou a suší se na materiál zvaný krepa. Přírodní pryž z něj vznikne přidáním plniv, dalších aditiv a především vulkanizací. [2]

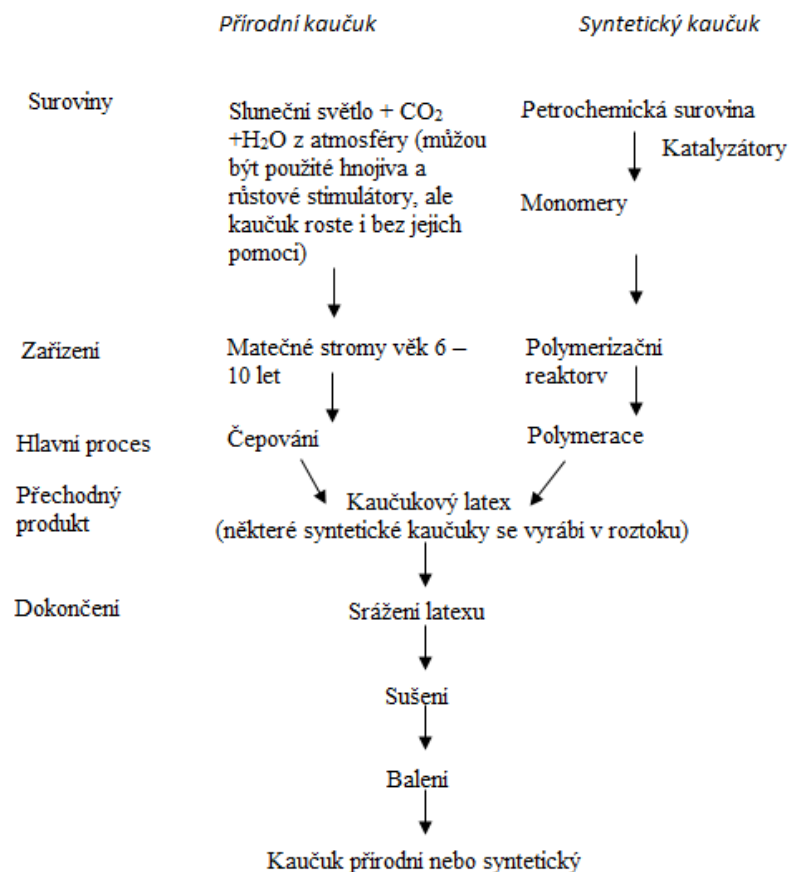


Obr. 1.1 Kaučukovník [35]

1.1.2 Syntetický kaučuk

Vlastnosti syntetických kaučuků jsou dány jeho chemickým složením, makro i mikrostrukturou. Více typů a druhů, které se vyrábí v rámci jednotlivých skupin se liší množstvím komonomeru, způsobu přípravy a viskozitou, bývají označovány různými obchodními názvy, čísly a zkratkami, avšak vždy je zachováno označení dle ISO a ASTM.

Syntetický kaučuk se vyrábí polymerací monomeru styrenu a butadienu, jejich polymerací se vyrábí styrenový butadienový kaučuk (SBR), a také poly-butadienový kaučuk (BR). Postupným vývojem byly do výroby syntetického kaučuku použity další monomery jako např. etylén a propylén, které slouží k výrobě EPDM. Další druhy syntetického kaučuku zahrnují: butyl, známý jako izobutylen izoprenový kaučuk. Ten lze díky atomům a halogenům (chlór nebo bróm) upravovat a vyrábět tak chlolorobutyl a bromobutyl, tyto skupiny kaučuku jsou známé pod společným názvem halogenové butyly a nitril (akrylonitril butadien). Syntetickou verzí přírodního kaučuku se nazývá polyizopren. [3], [4]



Obr. 1.2 Rozdělení kaučuků [1]

1.1.2.1 Druhy syntetických kaučuků

Syntetické kaučuky rozdělujeme na:

- Suché kaučuky (přírodní, izoprenové, butadien- styrenové, butadienové, butylkaučuky, ethylen- propylenové kaučuky)
- Olejovzdorné kaučuky (butadien- akrylonitrilové, akrylátové, chloroprenové, chlor-sulfovaný polyehtylen, polysulfidové)
- Teplovzdorné kaučuky (silikonové, fluorouhlíkové kaučuky)
- Tvrdá pryž
- Termoplastické elastomery (blokované styrenové kopolymery, termoplastické polyurethany, polyetherestery, kopolyamidy, směsi termoplastů a elastomerů) [3], [4]

Butadien – styrenové kaučuky (SBR)

Jedná se o kopolymer butadienu a styrenu. Jeho hlavním využitím je výrobní směs pneumatik a podrážky obuvi. Vulkanizací, tj. přidáním síry vznikají pryže. [6]

Mezi jeho výhody patří vyšší odolnost proti stárnutí za zvýšených teplot a negativní vlastností je horší pevnost než u přírodního kaučuku. [5]

Butadienový kaučuk (BR)

Jedná se homopolymery butadienu, které se v dnešní době vyrábí především roztokovou polymerací za přítomnosti Zieglerových – Nattových katalyzátorů.

Mezi tzv. kapalné kaučuky lze zařadit homopolymery butadienu o střední molární hmotnosti asi od 2 do 10 kg.mol⁻¹, které se vyrábí většinou iontovou polymerací.

Vulkanizáty butadienového kaučuku se vyznačují vysokou odolností v oděru, z toho důvodu se butadienový kaučuk přidává tam kde je těchto vlastností potřeba jako např. běhouny pneumatik, krycí vrstvy dopravních pásů. Butadienový kaučuk se zpravidla kombinuje s kaučukem přírodním, popřípadě izoprenovým a butadien-styrenovým. [1]

Izoprenový kaučuk (IR)

Izoprenové kaučuky nejsou identické s kaučukem přírodním, avšak úpravou receptur, technologií zpracování je možné jej v části receptur použít jako náhradu za kaučuk přírodní.

Syntetické poloizoprény neobsahují látky, které kladně ovlivňují rychlost vulkanizace tj. nekaučukovité látky. Vulkanizáty se vyznačují nižšími moduly v tahu, ale větší tažností než kaučuk přírodní ve stejných směsích. [7]

..

Chloroprenové kaučuky (CR)

Základní surovinou pro výrobu je chloropren z něhož se polymerací vyrábí kaučuk chloroprenový. Mezi jeho kladné vlastnosti patří jeho velká odolnost vůči nepolárním rozpouštědlům, ropě a olejům. Z toho důvodu najde využití např. jako vnitřní obložení cisteren užívaných k přepravě těchto surovin. Dále slouží k výrobě univerzálních lepidel (chemopren) nebo jako obleky pro potápěče (neopren). [7]

1.2 Složky kaučukové směsi

1.2.1 Vulkanizační prostředky

Aby bylo možné vyrobit pryž pomocí vulkanizace je zapotřebí takových látek, které svým chemickým účinkem způsobují změny ve struktuře uhlovodíkových řetězců. Velké množství kaučuku se vulkanizuje za pomoci síry, některé druhy se však vulkanizují pomocí organických peroxidů, oxidu kovu nebo syntetickými pryskyřicemi. [5]

1.2.2 Urychlovače vulkanizace

Tyto složky slouží k regulaci a nastavení vulkanizačního procesu.

Dle účinku se dělí na: pomalé, střední, rychlé, velmi rychlé, ultraurychlovače a urychlovače se zpožděným účinkem. [5]

1.2.3 Aktivátory vulkanizace

Slouží ke zlepšení účinnosti urychlovačů. Mezi aktivátory patří převážně oxidy kovů (zinková běloba – ZnO), organické látky (sterin nebo stearát zinečnatý). [5]

1.2.4 Retardéry

Retardéry vulkanizace jsou složky, které chrání směs před předčasným navulkanizováním při delším zpracovávání. Nutné použití ve směsích obsahující vysoce aktivní přísady a urychlovače vulkanizace pokud jsou takové směsi zpracovávány při vysokých teplotách. [5]

1.2.5 Plniva

Jsou to látky práškového charakteru. Tyto látky tvoří podstatnou část přísad, mají převážně ztužující účinek a ovlivňují tvrdost, strukturní pevnost, pevnostní modul a oděr vulkanizátu. Jejich účinek je závislý na několika parametrech a to na velikosti částic, aktivitě povrchu, sekundárním složení a chemickém složení. Mezi nejpoužívanější plniva patří saze (kanálové, lampové, retardové, technické, acetylenové, forsunkové). [5]

1.2.6 Změkčovadla

Jedná se o látky ropného původu v kapalně nebo tuhé fázi. Slouží ke zlepšení zpracovatelnosti a elastických vlastností. Jejich přítomností ve směsi se zvyšuje plasticita směsi,

zlepšuje zpracovatelnost bez nebezpečí navulkanizování, zvyšuje lepivost – usnadňují konfekci, zlepšují mrazuvzdornost a dovolují upravovat tvrdost vulkanizátu v širokém rozmezí. U olejivzdorných pryží mají za následek zvýšenou odolnost proti bobtnání a mrazu.

- a) Ropného původu – ozokerin, cersin, parafin, minerální oleje
- b) Rostlinného původu – kalafuna, smrkový dehet, faktis
- c) Syntetické pryskyřice – koresin, rubresin
- d) Organické estery – dibutilftalát, dibutylsebekát, dioktyftalát [5]

1.2.7 Antioxidanty

Tyto složky kaučukové směsi omezují přirozené stárnutí pryže – vliv kyselin, zvýšená teplota, povětrnostní vlivy, vliv světla, statické a dynamické namáhání, vliv ozónu. [5]

1.2.8 Peptisační činidla

Používají se pro změkčení kaučuku, urychlení procesu plastifikace – prováděný v hnětičích. Účinek je velký při vyšších teplotách (130 °C). [5]

1.2.9 Barviva, pigmenty

Slouží k přípravě barevných směsí.

Patří sem: červeň H, kadmiová žluť, okry, ultramarín, citrónová žluť (minerální a anorganický pigment) nebo vulkánová organická barviva. [5]

1.2.10 Nadouvadla

Slouží k výrobě lehčené pryže. Nadouvadla jsou látky, které se za zvýšené teploty rozkládají na plynné látky. Teplotu rozkladu lze ovlivnit přísadami, které slouží jako aktivátory rozkladu nadouvadla.

Nadouvadla rozeznáváme buď organického nebo anorganického původu. Používají se při vulkanizaci dutých předmětů (míče, hračky). [5]

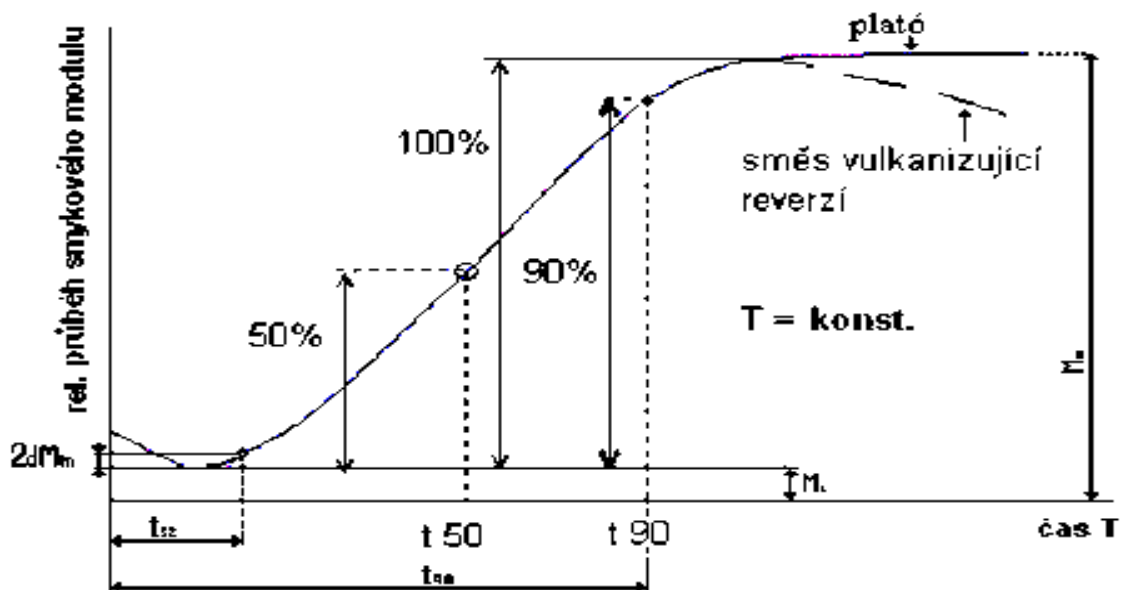
1.2.11 Inhibitory navulkanizování

Inhibitory navulkanizování slouží k prodloužení zpracovatelské doby směsi bez ovlivnění samotné rychlosti síťování. Doba prodloužení vulkanizace odpovídá době prodloužení zpracovatelské bezpečnosti [34]

2 VULKANIZACE

Před objevením vulkanizace bylo využití přírodního kaučuku limitováno tím, že výrobky z něj mely velmi krátkou životnost. Avšak koncem minulého století nastal obrat, kdy Ch. Goodyear roku 1839 a nezávisle na něm T. Hancock (1842) zjistili, že pokud se přírodní kaučuk vulkanizuje sírou, změní své fyzikální vlastnosti. [8]

V praxi se lze setkat s přírodními a syntetickými kaučuky ve formě vulkanizátů, jen malá část kaučuků je zpracovávána bez vulkanizace a to na výrobu lepidel, roztoků směsí (cementy) a ve zdravotnictví. Výrobky z pryže musí splňovat náročné požadavky jako: vysokou tvrdost, pevnost, odolnost vůči oděru, odolnost vůči působení kyslíku, ozónu, tepla a mnohým chemikáliím. Použitím vhodného kaučuku resp. jeho kombinací a různých přísad lze dosáhnout požadovaných vlastností konečného výrobku. Vulkanizační přísady (např. vulkanizační činidla, urychlovače, aktivátory a retardéry vulkanizace případně i inhibitory navulkanizování) se taktéž podílí nemalou měrou na kvalitě konečného výrobku. [4], [28], [29]



Obr. 2.1 Vulkanizační křivka [28]

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 hodnota kroutícího momentu

2.1 Princip vulkanizace

Proces vulkanizace je definován jako fyzikálně chemický děj, při kterém dochází za přítomnosti vulkanizačních činidel ke strukturním změnám elastomeru. Kaučuk, jenž má před procesem vulkanizace charakter plasticko- elastický, se během vulkanizace stává elastickým a dochází ke zvětšení jeho pevnosti a nerozpustnosti; vulkanizát jen bobtná, zachovává si tvar a mění pouze svůj objem. [8]

Při zahřátí kaučukové směsi na teplotu (např. 150 °C) nastává za určitou dobu (např. 30 minut) jeho vulkanizace, při které dochází k chemické reakci (dochází ke vzniku příčných vazeb) mezi kaučukem a ostatními složkami kaučukové směsi. Během vulkanizačního procesu klesá koncentrace vulkanizačních činidel až na nulovou hodnotu. [1], [28], [29]

K vulkanizaci kaučukové směsi dochází obvykle za tlaku, ten však zde není až tolik podstatný z hlediska chemických reakcí, ale jeho úkolem je zabránit vzniku nežádoucích pórů, které zde vznikají díky vzniku plynných látek a především díky odpařování vody. Z toho důvodu se volí tlak větší, než je odpovídající tenze par při dané vulkanizační teplotě. [1], [28], [29]

2.2 Druhy vulkanizace

- Sírová vulkanizace

Během procesu vulkanizace dojde k vytvoření sirného můstku (C-S-C) a dojde ke spojení sousedních molekul což má za následek vytvoření prostorové sítě. Právě z důvodu spojení molekul dojde k podstatným změnám u zvulkanizované pryže oproti nezvulkanizovanému kaučuku. [5]

- Bezsírová vulkanizace (radikálová)

Během tohoto typu vulkanizace dochází především ke spojení uhlíků atomu C-C. Díky tomu, že vazba C-C je stálejší, vulkanizáty dosahují lepších vlastností – odolnost proti tepelné destrukci, nižší trvalá deformace apod. Běžně se tento typ vulkanizace používá u kaučuků, které mají dvojně vazby jako např.: EPDM. [5]

2.3 Vulkanizační činidla

Jedná se o látky, pomocí kterých lze vytvářet chemickou reakci příčné vazby mezi molekulami kaučukových uhlovodíků.

Abychom zabránili neomezenému toku celých molekul na vedlejší molekuly, stačí malé množství příčných vazeb. Během vulkanizace se vlastnosti kaučuku mění z plastického stavu na stav elastický.

Vulkanizační činidla mají za následek kladné vlastnosti pryže a to např.: pevnost, odrazová pružnost, odolnost vůči nízkým, ale i vysokým teplotám, zvyšuje se její tvrdost a modul pružnosti v tahu a dochází ke snížení tažnosti a trvalé deformace.

Mezi nejběžněji používaná vulkanizační činidla lze zařadit: síru, selen, telur, peroxid, oxidy kovů, reaktivní pryskyřice, diaminy, chinondioxidy. [5]

2.4 Změny vlastnosti kaučukové směsi v průběhu vulkanizace

Během vulkanizace dochází k ovlivňování téměř všech vlastností kaučukové směsi, které taktéž závisí na složení směsi a použitém elastomeru. [4]

- a) *Pevnost v tahu* se během vulkanizace zvětšuje; po dosažení maxima vulkanizace (při optimální vulkanizaci) opět klesá.
- b) *Tažnost* (především u vulkanizátů z přírodních kaučuků) rovněž klesá.
- c) *Tvrdost* vulkanizátu se zvětšuje a po dosažení maximální hodnoty vulkanizace se už prakticky nemění.
- d) *Strukturní pevnost* při vulkanizaci postupně vzrůstá a potom opět klesá.
- e) *Bobtnání a rozpustnost* vulkanizátu se podstatně liší od bobtnání a rozpustnosti kaučukové směsi. Vulkanizáty se již v organických rozpouštědlech nerozpouštějí, nýbrž pouze bobtnají. Bobtnání je závislé na typu elastomeru, na stupni vulkanizace, na složení směsi a na druhu rozpouštědla.

Během vulkanizace dochází i k dalším změnám vlastností: zlepšuje se teplovzdornost a chemická odolnost. [8]

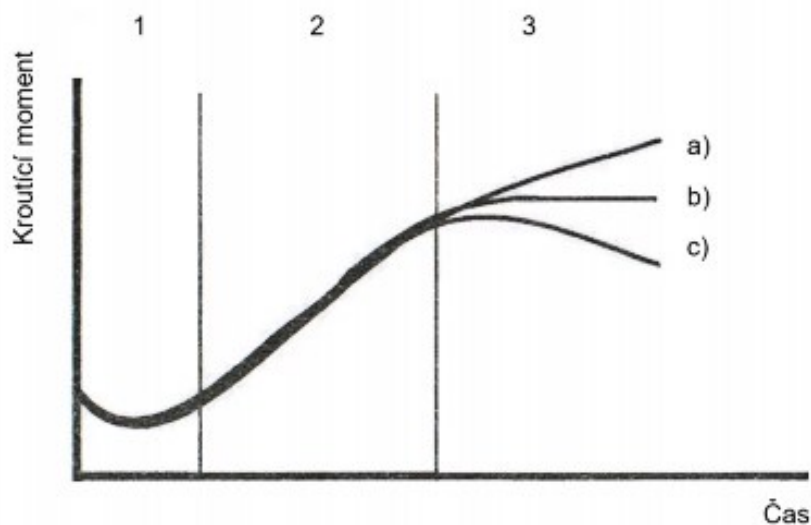
2.5 Rychlost vulkanizace

Typ kaučuku, složení kaučukové směsi, typ vulkanizace a teplota, při které vulkanizace probíhá, vulkanizační zařízení - tyto všechny parametry ovlivňují rychlost vulkanizace. Proces vulkanizace lze rozdělit do tří hlavních etap.:

- 1) *Bezpečnost směsi*
- 2) *Síťovací reakce*, dochází k přeměně kaučukové směsi na pryž
- 3) *Reverze*, jedná se o nežádoucí fázi vulkanizace, při níž dochází ke změnám ve struktuře a to díky působení světla, tepla a ostatních vlivů po dokončení vulkanizace. [9]

Bezpečnost směsi je jeden z hlavních faktorů, které ovlivňují rychlost vulkanizace. Kvalita konečného výrobku je ovlivňována reverzí, která má za následek zhoršené vlastnosti ve struktuře vulkanizátu. Pokud chceme vyrobit kvalitní produkt je velmi důležité tyto jednotlivé fáze vulkanizace a jejich časový průběh znát a v praxi jej respektovat. [9]

Časový úsek, kdy ještě neprobíhají vlastní síťovací reakce při tepelném zatížení směsi, označujeme jako tzv. bezpečnosti směsi proti navulkanizování. Jedná se o fázi, která umožňuje bezpečné zpracování kaučukové směsi do polotovarů a nevulkanizovaných výrobků při tepelném zatížení směsi. Také má za následek dobré vyplnění tvárnice během první fáze lisování. Tato fáze v praxi je velmi důležitá. Hodnotu bezpečnosti směsi lze zjistit např. zkouškou na plastometru Mooney, při této zkoušce se zjistí i její odolnost proti navulkanizování při tepelném zatížení. [9]



Obr. 2.2 Závislost kroucího momentu na čase [29]

1 Indukční perioda vulkanizace

2 síťovací reakce

3 změny ve struktuře vzniklé sítě

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

Optimálně stanovená bezpečnost směsi je taktéž důležitá z ekonomického hlediska, jelikož nadbytečně dlouhá doba navulkanizace prodlužuje vlastní vulkanizaci a její kvalita je taktéž zhoršena. Proto je stanovení bezpečnosti směsi a sestavení vhodné kaučukové směsi nesmírně důležité. [9]

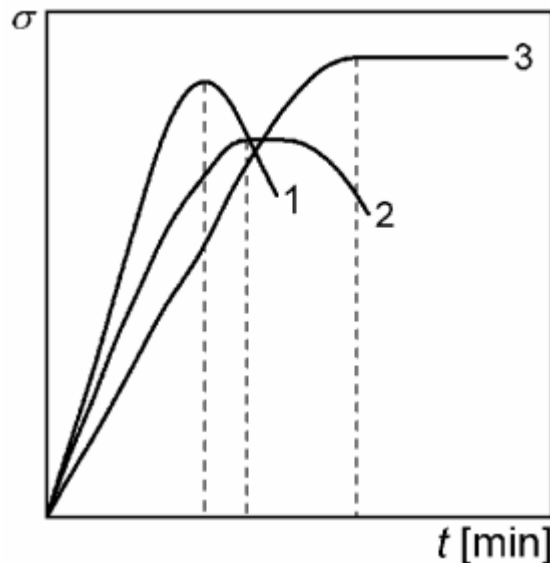
2.6 Optimum vulkanizace

Fáze, při které jsou sledované vlastnosti optimální. Nejčastěji se vyjadřuje v minutách. Je ovlivňováno mnoha faktory, z nichž je nejpodstatnější teplota, při které vulkanizace probíhá.

Pokud je teplota zvyšována, dochází ke zkrácení optima, tím se navyšuje počet vulkanizačních cyklů. Taktéž roste produktivita práce a klesají finanční náklady, které by bylo nutné vynaložit na další vulkanizační zařízení, pokud by nebyla zkrácena doba vulkanizace.

Ke zhoršení fyzikálních vlastností pryže dojde, pokud nastane reverze, jež je způsobena překročením optima vulkanizace. Pro potřeby praxe je důležité, aby k reverzi nedocházelo.

Hodnoty jako povrchová tvrdost, elasticita, pevnost v tahu, tažnost, modul aj. slouží k hodnocení optima vulkanizace. [10]



Obr. 2.3 Stanovení optima vulkanizace na základě pevnosti v tahu. [37]

Vulkanizační křivka s reverzí (1), vulkanizační křivka se širokým platem a zpožděnou reverzí (2) a vulkanizační křivka bez reverze (3)

2.7 Rozdělení pryže

Vlivem vulkanizace kaučukové směsi vznikají pomocí různých vulkanizačních systémů různé druhy pryže, které se dělí na tři základní skupiny: měkkou, polotvrdou a tvrdou. [10]

- **Měkká pryž**

Jedná se o velmi rozšířenou pryž ve všech důležitých odvětvích gumárenského průmyslu. Slouží k výrobě plášťů pneumatik, dopravních pásů, technické pryže a dalších důležitých výrobků a to z důvodu, výborných fyzikálních vlastností. [10]

- **Polotvrdá pryž**

Na rozdíl od měkké pryže má kožovitý charakter a rapidně horší vlastnosti. Z tohoto důvodu má jen omezené použití (např. k obštriku drátů patních lanek při výrobě pneumatik. [10]

- **Tvrdá pryž**

Tvrdá pryž slouží ve speciálním odvětví gumárenského průmyslu k obkládání kovových dílů, nádob a armatur z důvodu zlepšení odolnosti kovů vůči agresivnímu prostředí. [10]

2.8 Způsoby vulkanizace

Postupným vývojem vulkanizace docházelo k objevení různých způsobů vulkanizace, mezi těmito způsoby převládá vulkanizace za tepla. Druh použité vulkanizace se v praxi určuje tvarem a velikostí výrobků, hospodárností a efektivitou výroby. Mezi způsoby vulkanizace můžeme zařadit:

- Vulkanizace v přímé páře
- Vulkanizace v horkém vzduchu
- Vulkanizace v horké vodě
- Vulkanizace v autoklávech a v lisech s využitím forem
- Vulkanizace v etážových lisech s využitím forem
- Vulkanizace přetlačováním v etážových lisech
- Vulkanizace ve vstřikovacích lisech
- Vulkanizace v komorách a tunelech
- Vulkanizace na bubnových lisech [10]

3 ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ PRYŽE

Lisování je proces, při němž je do dutiny formy vložena směs, ta je následným tlakem a vulkanizační teplotou tvárníkem vytvarována do požadovaného tvaru (tvaru dutiny). Připravenou náloží kaučukové směsi je plněna otevřená dutina formy.

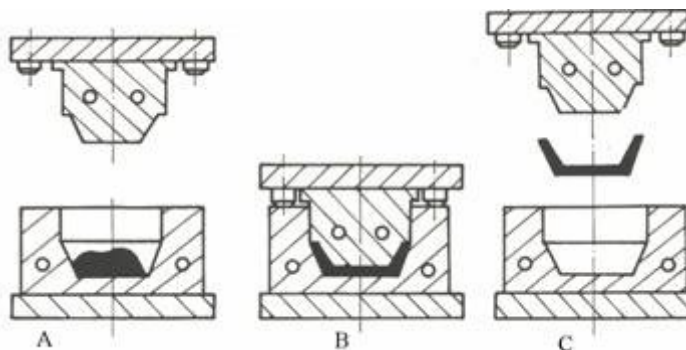
Nepřeberné množství technologií výroby umožňuje kaučukovou směs zpracovávat různými metodami. Mezi způsoby zpracování kaučukové směsi lze zařadit lisování, vstřikování, válcování a mnoho dalších způsobů. [25], [26]

3.1 Lisování kaučukové směsi

Velké množství výrobků z pryže se vyrábí pomocí lisování ve vulkanizačních lisech. Technologií lisování lze rozdělit na:

a) Tlakové lisování

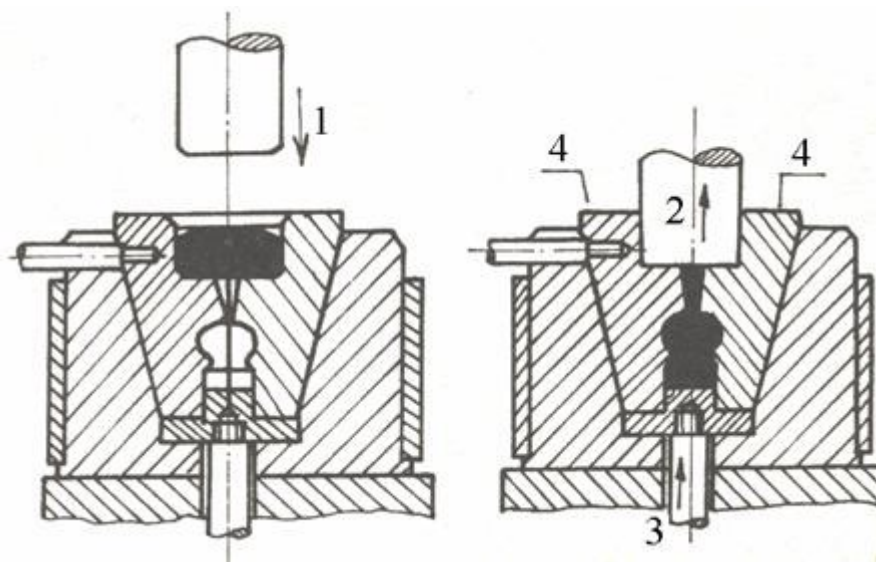
Tato technologie výroby spočívá v tom, že do předem vyhřáté dutiny formy se vloží připravená nálož, která musí mít větší objem i větší hmotnost než konečný výrobek a to z důvodu, aby došlo k úplnému vyplnění dutiny. Při uzavření formy se roztlačí nálož v dutině. Zároveň dochází k uzavírání vzduchu ve formě. Vzduchu ve formě se zbavuje pomocí odvzdušňování a to tak, že před úplným uzavřením dojde k uvolnění tlaku v lisu (podle složitosti formy se liší počet uvolnění) a následně dojde k uzavření formy. Přebytečný materiál, který je nutný ke správnému vyplnění dutiny je vtlačen do přetokových drážek. Tento způsob je ekonomicky nevýhodný (nákladná příprava náložce pomocí válcování, vytlačování a následné další úpravy jako je řezání, sekání, hlavní nevýhodou je nutnost přetoků). [25], [26], [27]



Obr. 3.1 Tlakové lisování A-vložení navážky, B-lisování, C-vyhození vylisku [27]

b) Přetlačování

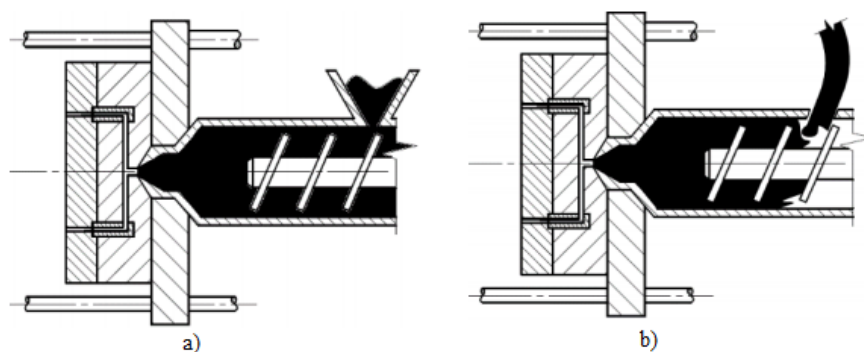
Jedná se o přechod mezi tlakovým lisováním a vstřikováním. Forma je konstruována tak, že se do prostoru nad dutinu vloží nálož, která je tlakem přetlačována do jednotlivých dutin. Výhodami přetlačování je jednodušší výroba složitých tvarů. Nevýhodou je vyšší spotřeba materiálu z důvodu zůstatku materiálu ve vtokových kanálech, ten je však nezbytný pro správné naplnění všech dutin. [25], [26], [27]



Obr. 3.2 Lisování přetlačováním [27]

3.2 Vstřikování

Jedná se o způsob výroby, kdy je předehřátá kaučuková směs vstříknuta do dutiny formy. Tento způsob je mnohem výhodnější než zmíněné předešlé způsoby (nízké množství vadných výrobků, možnost automatizace, delší životnost forem, zmenšení přetoků, atd.). Nevýhodou jsou však vysoké pořizovací náklady stroje. [25], [26]



Obr. 3.3 Vstřikování elastomerů [39]

a) Plnění granulátovou směsí b) Plnění páskou

3.2.1 Vstřikování pístem

Předehřátý materiál je vložen do plnicí komory, následně je tlakem pístu vstříknut do dutiny formy. Nevýhodou je přerušovaný chod a předehřívání kaučukové směsi mimo formu. [25], [26]

3.2.2 Vstřikování pístem s předplastikací šnekem

Značným rozdílem oproti vstřikování pístem je, že je vstřikovací část doplněna o šnekový vytlačovací stroj, v němž probíhá plastikace kaučukové směsi a je s něj zásobována plnicí komora. Plnicí komora je zásobována pásem kaučukové směsi, který je umístěn nad plastikační jednotkou. Po naplnění nástřikové komory je uveden v činnost píst a kaučuková směs je vstříknuta do dutiny formy. [25], [26]

3.2.3 Vstřikování šnekem s axiálním posuvem

Je kombinací vstřikování pomocí plastikačního šneku a pístu. Vstřikování probíhá pomocí šneku, který plní zároveň i funkci pístu. Materiál je plastikován pomocí šneku a je posouván do prostoru před šnek a poté je pomocí hydraulického válce vtlačen do dutiny formy. [25], [26]

4 MATERIÁLY VULKANIZAČNÍCH FOREM

Při návrhu nástroje (formy) je velmi důležité zohlednit jaký druh materiálu bude ve formě zpracováván (termoplasty, reaktoplasty a elastomery), dále je nutno zohlednit odolnost nástroje proti opotřebení, korozi, ale i zvýšeným teplotám. [11]

Mezi další hlediska, které se musí při návrhu materiálu nástroje zohlednit je jeho povrchová úprava a tepelné zpracování. Polymerní materiály, které se zpracovávají vstřikováním, jsou v jistém okamžiku kapalné, to nemá až takový vliv na opotřebení dutiny nástroje, ale mohou působit korozivně, z toho důvodu se volí materiály korozivzdorné nebo je zapotřebí dutinu formy chromovat (obvykle je tloušťka vrstvy 5 až 25 μm). Formy určené pro vyfukování fólií a desek jsou z hlediska mechanického namáhání namáhány nejméně. Tepelné zpracování dutiny je velmi důležité, neboť nesprávně zvolené tepelné zpracování nepříznivě ovlivňuje odolnost dutiny. Oproti tomu správně zvolené tepelné zpracování zajišťuje delší životnost nástroje a jeho správnou funkci. [11]

Volba materiálů dutiny nástroje je ovlivňována mnoha parametry:

- Druh zpracovávaného materiálu
- Technologie výroby (lisování, vstřikování, vyfukování apod.)
- Tvarová a rozměrová náročnost
- Životnost formy
- Mechanické vlastnosti materiálu (pevnost, houževnatost, tvrdost apod.)
- Odolnost vůči korozi a opotřebení
- Prokalitelnost materiálu
- Rozměrová a tvarová stálost při tepelném zpracování
- Obrobitelnost, lešitelnost, svařitelnost
- Finanční náklady [11]

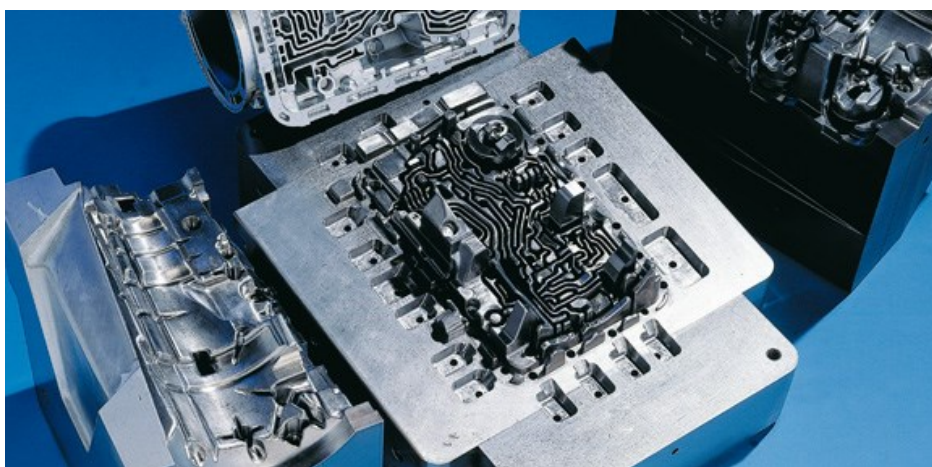
K výrobě forem jsou užívány materiály, které vyhovují provozním požadavkům v optimální míře. Mezi takové materiály patří:

- Oceli vhodných jakostí (konstrukční oceli, nástrojové oceli ...)
- Slitiny neželezných kovů (Al, Cu ...)
- Izolační a tepelně nevodivé materiály [12]

4.1 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli disponují vlastnostmi jako tvrdost, rozměrová stálost, prokalitelnost, odolnost oceli proti popouštění, houževnatost. Z tohoto důvodu jsou používány jako oceli vhodné k výrobě tvářecích nástrojů. Podle využití jsou nástrojové oceli rozděleny na:

- Nelegované oceli
- Legované oceli k práci za studena
- Legované oceli k práci za tepla
- Rychlořezné [13]



Obr. 4.1 Možnost využití nástrojové oceli [36]

4.1.1 Příklady nástrojových ocelí

1.2311 Jedná se o legovanou ocel s nízkým obsahem síry. Předností této oceli jsou vlastnosti jako houževnatost, rozměrová stálost, obrobiteľnosť, prokalitelnost a pevnost za tepla. Disponuje lepší leštitelností než ocel 1.2312. [14]

1.2312 Tato nástrojová ocel, která je zušlechtěná, je vhodná pro výrobu forem, disponuje dobrou obrobiteľností. Je nitridována z důvodu obsahu síry. Využívá se k lití pod tlakem, na formovací díly a pevnostní díly nástrojů. [14]

1.2358 V tomto případě se jedná o chrom, molybden, vanadovou ocel. Vyznačuje se vlastnostmi jako je vysoká houževnatost, odolnost proti opotřebení, prokalitelnost a rozměrovou stálostí po kalení a popouštění, dobře svařitelná a také leštitelná. Vhodná pro práci za studena nebo na výrobu forem. [14]

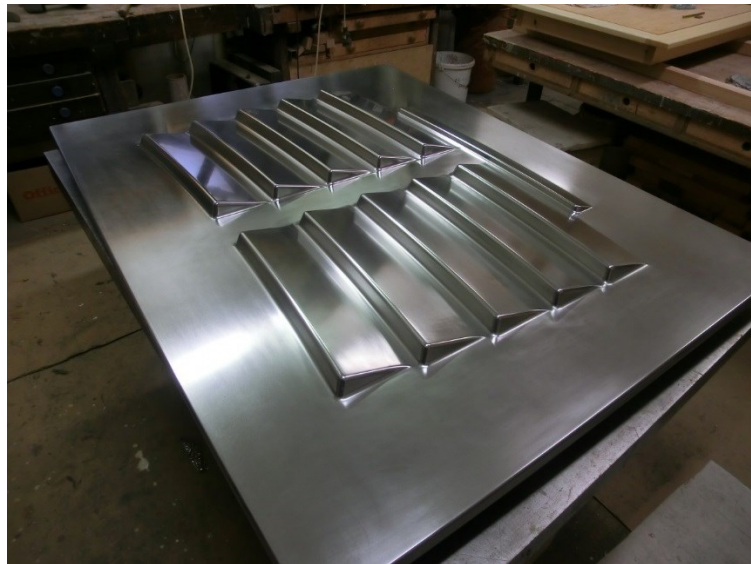
4.2 Konstrukční oceli

Konstrukční oceli jsou využívány pro méně namáhané díly formy. Konstrukční oceli nedosahují zdaleka takových vlastností jako oceli nástrojové, to se však dá zlepšit vhodným tepelným a chemickým zpracováním. Oceli se dělí dle využití na:

- Nelegované oceli běžných jakostí
- Oceli ušlechtilé a jakostní
- Oceli zušlechťování
- Oceli k nitridaci
- Oceli k cementování [13]

4.3 Slitiny hliníku

Čistý hliník se vyznačuje malou pevností a měkkostí, za to má velmi dobrou tepelnou a elektrickou vodivost a tažnost. Z toho důvodu se v praxi více využívá slitin hliníku, které mohou v některých případech nahradit i ocel. Slitiny hliníku jsou dobře tvářitelné, svařitelné, odolné proti korozi (pokud neobsahují Cu), mají nižší hmotnost než oceli. Těchto vlastností se dosahuje přídatnými kovy (Cu, Si, Zn, Mn, Ni). Nevýhodou je však horší obrobiteľnosť u některých druhů slitin. [13], [15], [16]



Obr. 4.2 Ukázka lisovací formy ze slitiny hliníku [38]

4.3.1 Slitiny Al-Mg

Při obsahu hořčíku přesahující 6 hm. % jsou tyto slitiny náchylné ke korozi na hranici zrn a to zejména při mechanickém zatížení. Jejich nevelkou pevnost lze zvýšit tvářením za studena a to až na 420 MPa. Slitiny Al-Mg se moc nepoužívají. [13]

4.3.2 Slitiny Al-Mg-Si

Slitiny lze tepelným zpracováním vytvrdit až na 350 MPa. Dobrá tvárnost a svařitelnost. Použití zejména v letectví. [13]

4.3.3 Slitiny Al-Mn

Tepelně se nevytvrzují neboť nárůst pevnosti je nepatrný. Vlastnostmi se podobá slitině Al-Mg. Používána jako náhrada čistého hliníku. [13]

4.3.4 Slitiny Al-Cu-Mg

Jedná se o nejvíce používanou slitinu hliníku. Jedná se o tzv. duraly. Tepelným zpracováním lze dosáhnout pevnosti až 530 MPa. Duraly o obsahu hořčíku do 2 až 2,5 hm. % lze dlouhodobě vystavovat teplotám až 200 °C. [13]

5 SPECIÁLNÍ POVRCHOVÉ ÚPRAVY

Většina příčin povrchových degradací je způsobena různými vadami povrchové vrstvy. Z toho důvodu se na povrchu součásti vytváří různé povrchové vrstvy, povlaky, které zvyšují tvrdost, trvanlivost a provozní bezpečnost součástí. K vytvoření takového povlaku se zpravidla používají rozdílné technologie v porovnání s běžnými způsoby chemicko-tepelné úpravy povrchu materiálu. [20], [17] [18], [19]

Povrchové vrstvy (povlaky) jsou na součást nanášeny z různých důvodů (zvýšení ořezavzdornosti, korozivzdornosti, tepelné izolace apod.). Velmi důležitým faktorem, který ovlivňuje kvalitu povlaku je koheze (přilnavost) mezi povrchem součásti, na který je nanášen samotný substrát, proto je podstatné zvolit vhodnou předúpravu povrchu. [20], [17] [18], [19]

Ve všeobecnosti je možné rozdělit speciální povrchové úpravy:

- Fyzikální způsoby tvorby povrchu ve vakuu (PVD)
- Chemické způsoby tvorby povlaku (CVD)
- Elektrochemické nanášení
- Chemické nanášení (bezproudové) [20], [17] [18], [19]

Úprava materiálu dutin forem

Pro zachování vysoké kvality, jakosti povrchu výrobku a zamezení špinění (špatný vliv na odformování a kvalitu výrobku) je nutno povrch dutiny upravovat. Je proto nutno materiál povrchu dutiny různými metodami upravovat a chránit před nežádoucími vlivy (snížení drsnosti, povlakování povrchu, použití separačních prostředků atd.). [22], [23], [24]

Chemicko-tepelné zpracování

Cílem chemicko-tepelného zpracování je dosáhnout rozdílných mechanických a fyzikálních vlastností jádra a povrchu součásti a zvýšit tvrdost a odolnost povrchu vůči opotřebení při zachování houževnatosti jádra. Jedná se o difuzní sycení povrchu oceli prvky (C, Al, N, C+N, Si, B, aj.). [13], [21]

Cementování-jedná se o sycení povrchu uhlíkem o koncentraci 0,8 až 1 hm.% uhlíku, tedy o koncentraci eutektoidní nebo těsně nadeutektoidní. Cementováním lze dosáhnout vysoké tvrdosti až 800 HV a to zásluhou následného kalení a nízkoteplotního popouštění, při zachování houževnatosti jádra, neboť se používají oceli s nízkým obsahem uhlíku (0,10 až 0,25

hm.%. V praxi se nejčastěji cementují ozubená kola, drážkové hřídele, čepy apod. Cementování je možné realizovat za teplot 800 °C až 950 °C a lze dosáhnout vrstvy 2 až 3 mm. Cementování lze provádět ve třech prostředích:

- v plynném
- v kapalném
- v sytkém [13], [21]

Nitridování-proces nitridace může probíhat buď v prostředí plynném nebo kapalném. Nitridování je sycení povrchu dusíkem za teplot pohybujících se kolem 550 °C. Povrchová vrstva zahrnuje vysoce disperzní tvrdé nitridy prvků vhodných k nitridaci (Al, V, Cr). Nitridovaná vrstva pomocí hliníku má nejvyšší tvrdost. Tvrdost nitridované vrstvy je vyšší než např. po kalení nebo cementaci, deformace součásti je minimální a to vlivem poměrně nízkých teplot procesu. Vrstva zhotovená nitridací je v řádu desetin milimetru. Před samotnou nitridací se součást zušlechťuje, po nitridaci nenásleduje již žádná metoda tepelného zpracování. [13], [21]

Nitrocementování-proces se provádí v atmosféře, která je tvořena směsí uhlovodíků a čpavku, za teplot 820 °C až 840 °C. Oceli určené k nitrocementování jsou charakteristické obsahem uhlíku 0,25 až 0,40 hm.%. Po nitrocementování následuje kalení a popuštění. Tvrdost vrstvy je 700 až 800 HV, houževnatost jádra je vyšší než po cementaci. Hloubka vrstvy se pohybuje v rozmezí 0,3 až 0,4 mm a získá se přibližně za 2 hodiny. Urychlení procesu pomocí solných lázní s obsahem kyanidu – kyanování). [13], [21]

Karbonitridování-probíhá za teplot 600 °C až 630 °C v atmosféře, která je tvořena směsí čpavku s přídavkem uhlovodíků po dobu až 4 hodiny. Souvislá vrstva karbonitridů o tloušťce přibližně 0,05 mm disponuje tvrdostí až 1000 HV. Karbonitridové vrstvy jsou odolné vůči opotřebení a zadírání a proto se z výhodou využívají u řezných nástrojů, lisovadel, protlačovacích nástrojů apod. Vrstva karbonitridů se dále nekalí, deformace jsou menší než po nitrocementaci. [13], [21]

Sulfonitridování a sulfonizování- sulfidové, karbonitridové a oxidové vrstvy o tloušťce 10^{-3} až 10^{-2} mm. Tyto vrstvy jsou odolné vůči opotřebení, korozi a zadírání. [13], [21]

Úprava materiálu pomocí chromu

Jedná se o metodu, kdy je na povrch dutiny nanесena tenká vrstva chromu. Tato vrstva zvyšuje odolnost dutiny proti korozi, zvýšeným teplotám a mechanickému opotřebení. Najde využití v případech, kdy jsou kladeny vysoké nároky na kvalitu povrchu výrobku. Nehodí se pro vulkanizaci z halogenových kaučuků, neboť propouští kyselinu chlorovodíkovou a fluorovodíkovou. [22], [23], [24]

Úprava materiálu pomocí niklu

Oproti chromovaným povrchům má tu výhodu, že odolává kyselinám, má vyšší kvalitu povrchu a výraznější odolnost vůči korozi. Používá se i jako podkladová vrstva pro chromování. [22], [23], [24]

5.1 Physical Vapour Deposition (PVD)

Jedná se o fyzikální princip, kdy je na povrch povlakované součásti nanášena vrstva (např. Ti, Al, Si, Cr, atd.) metodou odpaření nebo odprášení. Proces nanášení probíhá v rozmezí teplot 200 až 500 °C ve vakuu při tlaku 0,1 – 1 Pa. Tloušťka nanášené vrstvy se pohybuje v rozmezí 2 až 5 μm. Tvrdost povlaku záleží na typu nanášeného materiálu (přibližně 2500 HV). Pokud je povlak nanесen správně, zvýší se životnost nástroje až dvojnásobně. Nanášení se realizuje při poměrně nízkých teplotách, při kterých je malá difuzní rychlost. Dokonale hladký povrch je předpoklad pro dostatečnou kohezi mezi povrchem a substrátem. [20], [17] [18], [19]

Nanášení se realizuje při poměrně nízkých teplotách, při kterých je malá difuzní rychlost, jenž se odehrává v plazmatickém výboji ve vakuové komoře v níž jsou umístěny součástky k povlakování. Vysoké čistoty procesu je dosaženo je dosaženo tepelným odpařováním materiálu určeného k povlakování, ale i jeho naprašování (bombardování) ionty. V tom je do prostředí, v němž proces probíhá vpouštěn aktivní plyn (dusík, nebo jiný plyn obsahující uhlík), který reaguje s kovovými párami a tím se vytvoří chemická sloučenina, ta následně přilne na substrát a tím se vytvoří velice tenká přilnavá vrstva. [20], [17] [18], [19]

Technologie PVD není určena jen k nanášení tenkých vrstev na nástroje z kovu, ale i hliníku, plastu a dokonce i k vytvoření vrstvy na několik milimetrů silných fólií z PE, PP a mnoha dalších materiálů bez jejich tepelné degradace. Celý proces lze rozdělit do tří fází: [20], [17] [18], [19]

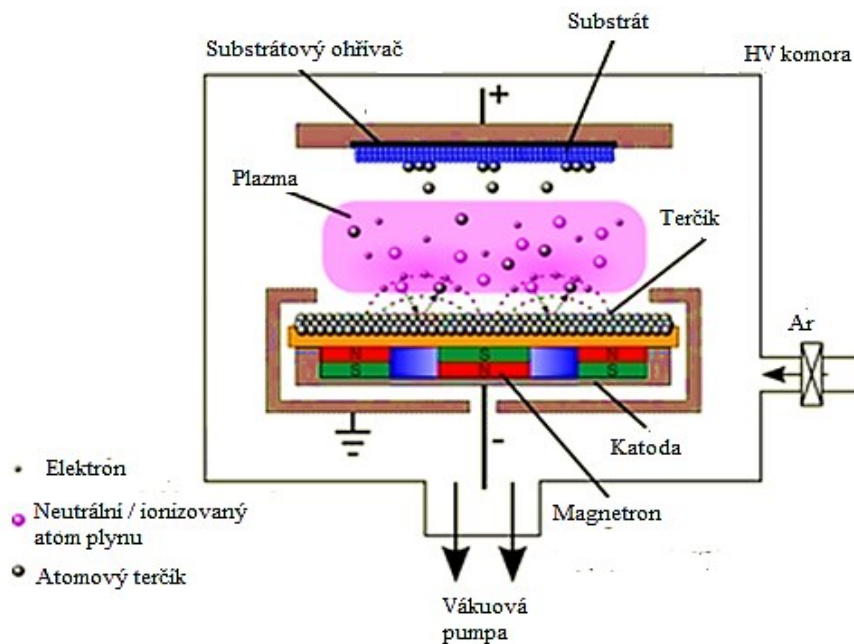
- Převedení materiálu do plynné fáze
- Transport par od zdroje k substrátu
- Vytvoření vrstvy na povrchu součásti

V praxi se nejčastěji používají tyto způsoby ohřevu:

- Obloukový výboj
- Elektronový svazek
- Laser
- Odporový ohřev
- Indukční ohřev s využitím vnitřních proudů indukovaných do odpařovaného materiálu [20], [17], [18], [19]

Mezi nejčastěji používané fyzikální metody lze zařadit:

- Vakuové napařování
- Vakuové napařování
- Iontové plátování [20], [17], [18], [19]



Obr. 5.1 Proces PVD nanášení [22]



Obr. 5.2 Využití PVD povlaků [33]

5.1.1 Vakuové naprašování

Jedná se o pomalý způsob, k navýšení rychlosti se využívá magnetické pole (zvyšuje pravděpodobnost ionizace). Vakuové naprašování se používá k vytvoření povlaku TiN na nástrojích. Nízká teplota procesu slouží k povlakování kalených ocelí, citlivých z hlediska popouštění (povlakování kuličkových ložisek).

Tento proces využívá vypařování materiálu terče iontovým bombardováním z plazmatického výboje. Připojením terče na záporný pól stejnosměrného proudu se dosáhne rozprašování pro elektricky vodivé materiály. Pro materiály nevodivé se využívá vysokofrekvenčního napětí. [20], [17], [18], [19]

5.1.2 Vakuové napařování

Proces je realizován ve vysokém vakuu, aby nevznikla kontaminace napařovaného kovu. Z kovu, z něhož má být vrstva vytvořená, se odpařuje materiál za vysokých teplot z ohřívaného zdroje. Kov, který se odpařil v komoře kondenzuje na povrchu součásti. Tento proces není vhodný na povlakování nástrojů. Je využíván k povlakování bižuterie, elektrotechniky, optiky. [20], [17], [18], [19]

5.1.3 Iontové plátování

K povlakování lze využít keramiky (karbidy, nitridy), které je použito pro nástroje z rychlořezných ocelí. Odpařování materiálu se nejčastěji provádí pomocí elektronového paprsku nebo elektrickým obloukovým ohřevem nasměřovaným na kovový terčik. [20], [17] [18], [19]

5.2 Chemical Vapour Deposition (CVD)

Jedná se o proces, při kterém se na povrch součásti nanáší povlaky z chemických sloučenin, kovy reagují v plynech při vysokých teplotách (900 až 1050 °C), tudíž musí následovat zušlechťování na požadovanou tvrdost, vysoké teploty mohou způsobit deformaci a také popuštění kaleného materiálu. Nástroje povlakované metodou CVD disponují výrazně větší životností než nástroje povlakované metodou PVD. Proces se uskutečňuje při atmosférickém tlaku nebo ve vakuu. Proces se realizuje v otevřeném nebo uzavřeném (využívá se minimálně) systému.

U nástrojů povlakovaných touto technologií dochází k objemovým změnám, tudíž se nevyužívá k povlakování tvarově a rozměrově přesných nástrojů.

Dle podmínek (teplota, tlak...), za kterých probíhají chemické reakce a nárůst povlaku, se metody CVD dělí: [20], [17]

1) Dle teploty:

- **Vysokoteplotní** – HT CVD (High Temperature CVD)
- **Nízkoteplotní** - LT CVD (Low Temperature CVD)

2) Podle tlaku:

- **Za normálního tlaku** – AP CVD (Atmospheric Pressure CVD)
- **Za sníženého tlaku** – SB CVD (Subatmospheric Pressure CVD)
- **Za nízkého tlaku** - LP CVD (Low Pressure CVD)

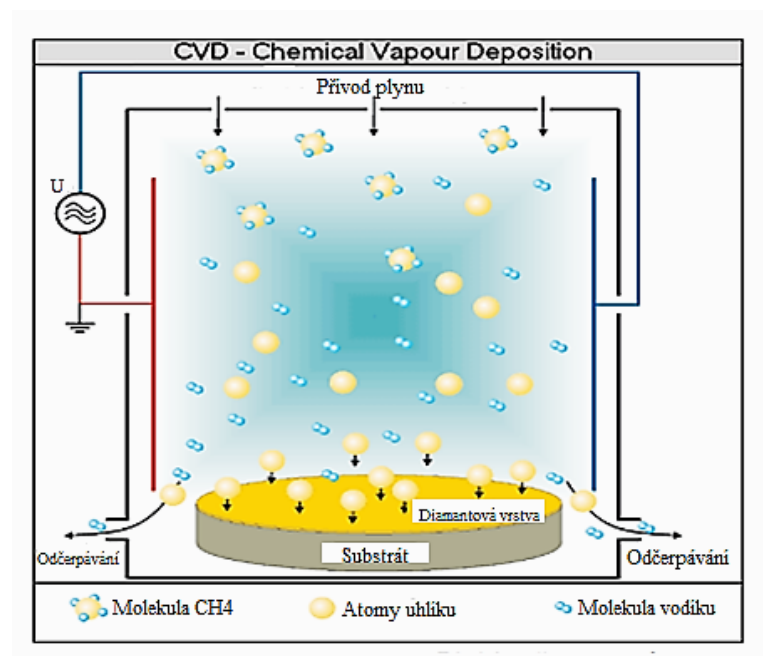
3) Vyvolané a zesílené plazmou

- **Vyvolané plazmou** – PA CVD (Plasma Activated / Assised CVD)
- **Zesilování plazmou** – PE CVD (Plasma Enhanced CVD)
- **Z organicko-kovových sloučenin** – MO CVD (Metallo-Organic CVD) [20], [17]

Proces CVD umožňuje vytvářet tyto typy povlaků:

- Keramické – TiC, TiN, TiCN, SiC, Al₂O₃, ZrO₃ – zvýšení otěruvzdornosti a odolnosti vůči korozi
- Difuzně chromované – odolnost vůči vysokým teplotám, zlepšení korozi-vzdornosti
- Difuzně křemíkové – vysoký nárůst odolnosti vůči korozi
- Eloxované – zvýšená odolnost vůči oxidaci, chemikáliím a žáruvzdornosti.

[20], [17]



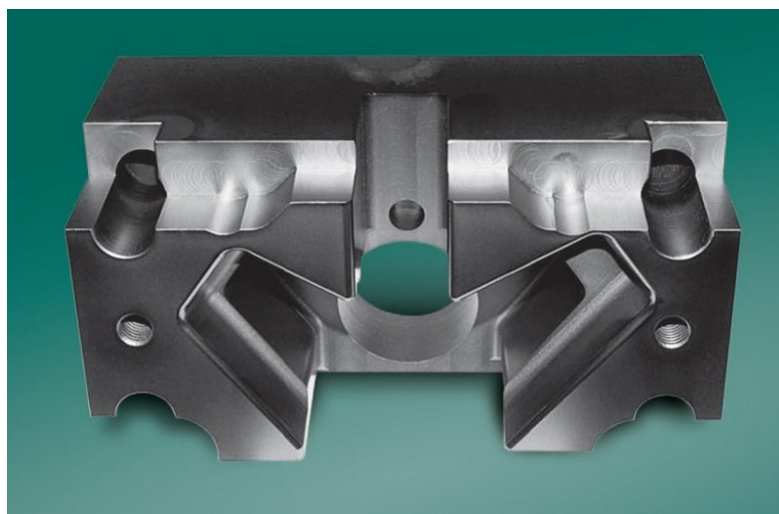
Obr. 5.3 Princip metody CVD [30]



Obr. 5.4 Ukázka povlakované součásti metodou CVD [41]

5.2.1 Tvorba keramických povlaků

Pomocí termochemické reakce je keramický materiál oxidu chromu vázán na požadované místo. Keramické částice se skládají z vybraných keramických materiálů, jejichž velikost nepřesahuje jeden mikron. Výhodou je tvrdost, ochrana před korozi, nízké tření, elektrická nevodivost. [20], [17]



Obr. 5.5 Povlakování části formy metodou CVD [31]

5.2.2 Difuzní chromování

Jedná se o proces, kdy je povrch součásti nasycen vrstvou slitin chromu při teplotě 900 - 1300 °C. Vhodným materiálem jsou ocele s obsahem uhlíku min 0,6 %, to proto, že se v povrchové vrstvě vytvoří komplexní karbidy chromu. Difuzní chromování má za následek navýšení tvrdosti, odolnosti proti opotřebení, korozi, životnosti a žáruvzdornosti až do teplot 850 °C. K difuznímu chromování lze použít i austenitické korozivzdorné oceli za účelem zvýšení jejich korozivzdornosti a žáruvzdornosti. Rozeznáváme čtyři způsoby difuzního chromování:

- V tuhém prostředí
- Z parní fáze
- Z kapalné fáze
- Z plynné fáze [20], [17], [21]

5.2.3 Difuzní křemíkování

Hovoříme o obohacení povrchu oceli křemíkem. Povrchová vrstva se vyznačuje vysokou odolností proti korozi, mořské vodě, kyselinám, její tvrdost je 200–250 HV a odolností proti oxidaci do teplot 750 °C. Povrchová vrstva je nanášena při teplotách 800–1100 °C po dobu 4–12 hodin v práškové směsi nebo v plynu. [20], [17], [21]

5.2.4 Difuzní hliníkování

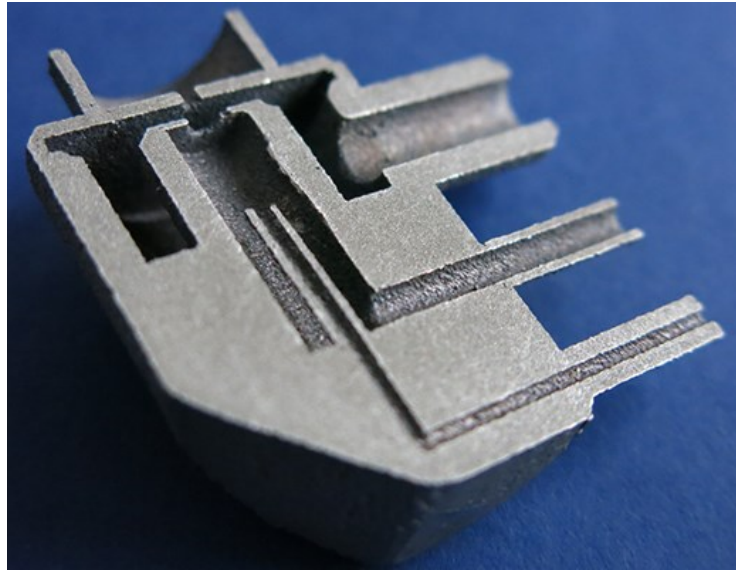
Difuzní hliníkování je nasycení povrchu litin a ocelí hliníkem, kdy je zvyšována jejich žáruvzdornost a korozivzdornost. Běžně se využívá pro oceli s nízkým a středním obsahem uhlíku. Probíhá při teplotách 700–1000 °C po dobu 0,5 – 6 hodin. [20], [17], [21]

5.3 Další metody povrchových úprav

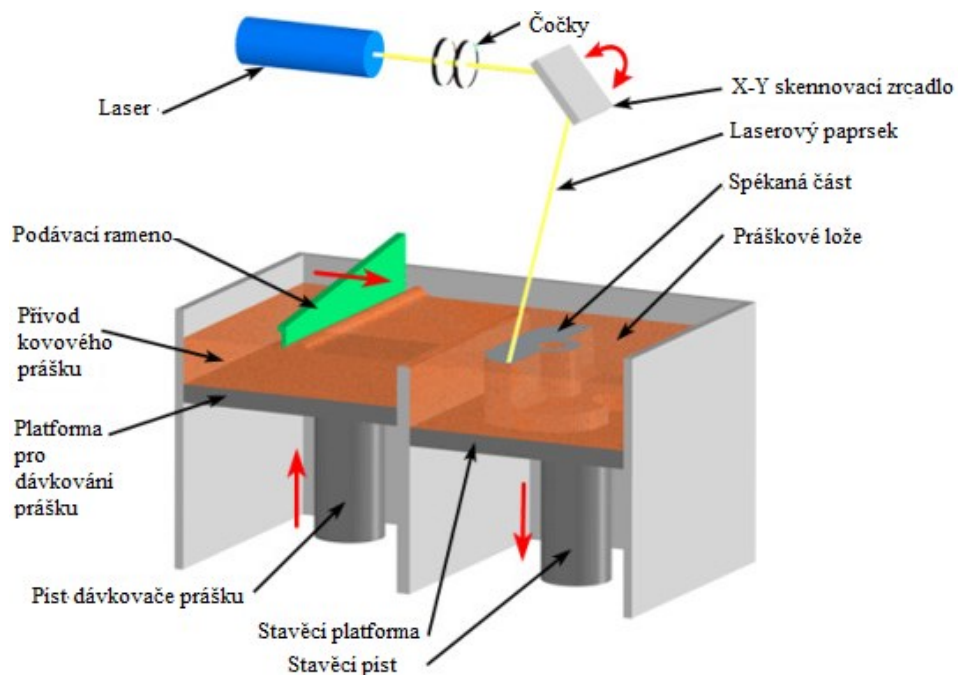
Selective Laser Melting (SLM)

Aditivní metoda speciálně vyvinutá pro 3D tisk ze slitin kovu. Dochází k úplnému tavení kovového prášku. Na rozdíl od technologie SLS dochází k úplnému roztavení prášku a tím dojde k vytvoření homogennější vrstvy. Výrobky vyrobeny technologií SLS mají větší pórovitost z důvodu, že dochází pouze ke spékání prášku. SLM je vhodná pro čisté kovy jako hliník a titan. Paprsek má mnohem vyšší energii než u SLS [42], [50]

Výhodami SLM je relativně rychlá výroba kovových dílů, umožňuje vyrábět tenkostěnné objekty, složitou geometrií a díky použitým materiálům i lehkých konstrukcí. [42], [50]



Obr. 5.6 Součást vyrobená SLM technologií [50]



Obr. 5.7 Princip výroby SLM součástí [42]

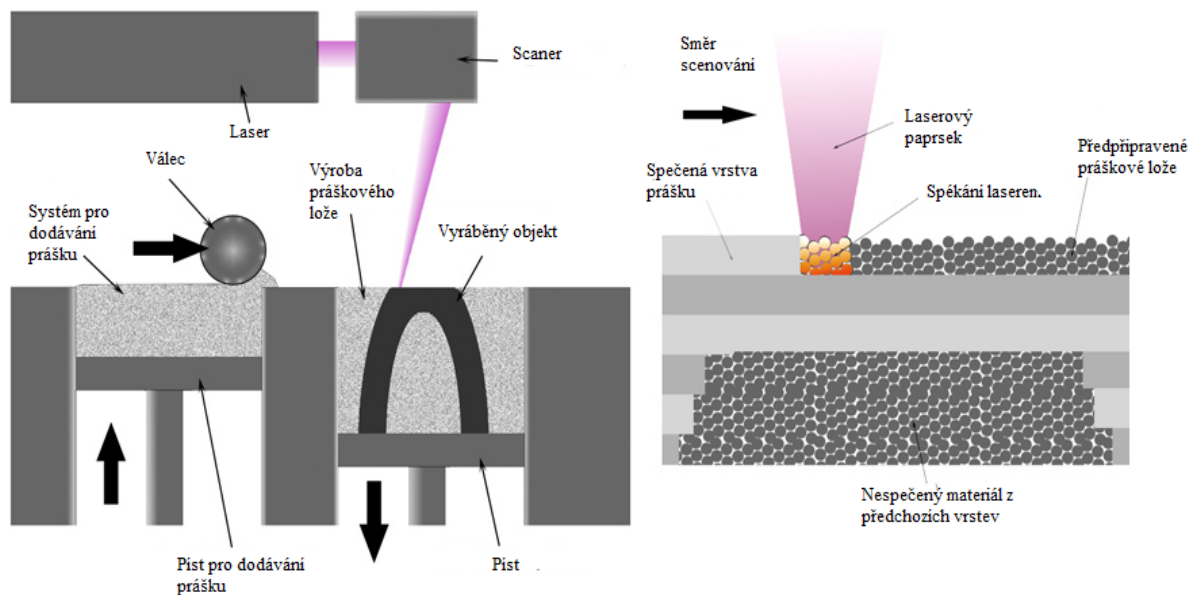
Selective Laser Sintering (SLS)

Jedná se o proces aditivní výroby nebo 3D tisku. V češtině lze tento proces označit jako selektivní spékání laserem „sintrování“. Při výrobě je na materiál nanášena vrstva práškového materiálu (plast, kov, keramika nebo sklo), který je spékán po tenkých vrstvách

výkonným laserem dle modelu. Nanesená vrstva prášku je po celé ploše platformy, ta je následně strojem předehřáta na teplotu blízkou teplotě bodu tání daného materiálu, aby bylo možno využít veškerou energii laseru ke spékání materiálu. V okamžiku, kdy laser nasvítí celou plochu, dojde k poklesu platformy o tloušťku jedné vrstvy a dojde k nanesení další vrstvy prášku. Touto metodou lze dosáhnout srovnatelných kvalit jako při využití konvekčních technologií. Výhodou této metody je možnost výroby složitých tvarů, rychlost výroby za dosažení vysoké kvality vyráběných součástí, ekologicky nenáročný. [45], [47], [48], [49]



Obr. 5.8 Součástka vyrobená technologií SLS [46]



Obr. 5.9 Popis výroby SLS technologie [44]

Elektrochemické nanášení

Jedná se o způsob, kterým lze z vodních roztoků vyrobit vrstvu z více jak 30 kovů (Cr, Ni, Cu, Au, Ag, Pb). Každý z kovů lze uplatnit v různých odvětvích průmyslu (zvýšení otěruvzdornosti, korozivzdornosti, dosažení speciálních elektrických vlastností, dekorativní účely apod.). [20], [17], [21]

Chemické nanášení

Spočívá v ponoření ocelových součástek do reakčního roztoku, z něhož se následně vytvoří tenká vrstva na povrchu materiálu. Nejčastěji je používána technologie ve formě koupele, ale je možno použít i kašovitou směs, pastu (využívané pro barvení, namáčení a nástřík). [20], [17], [21]

Eloxování

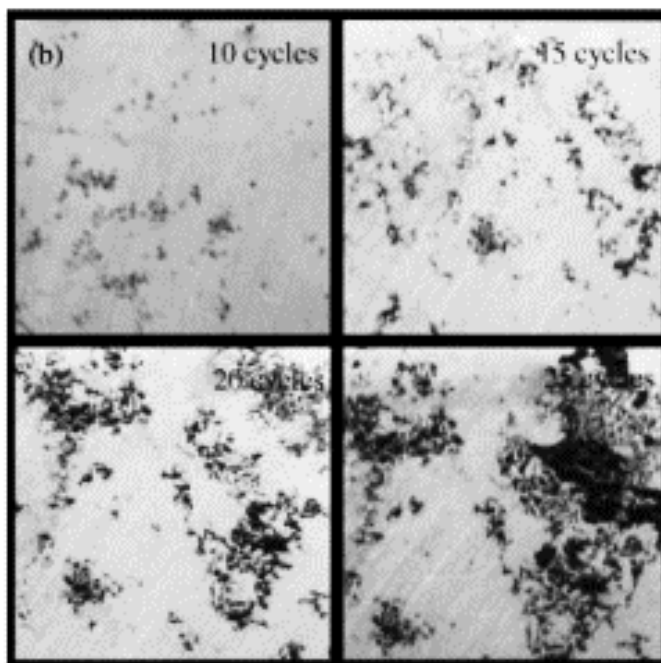
Chemicko-technologický způsob (konečná vrstva) povrchové úpravy hliníku a jeho slitin případně titanu. Na povrchu hliníku se vytvoří tenká vrstva Al_2O_3 v rozmezí 5 až 20 μm . Vrstva má pórovitou strukturu, což umožňuje použití nátěrových hmot, maziv apod. Slouží ke zvýšení odolnosti vůči korozi, zlepšuje otěruvzdornost a celkovou kvalitu povrchu (lesk). [20], [17], [21]

6 KONTAMINACE

K znečištění formy dochází při vstřikování elastomeru, ale i při lisování elastomeru. Na stěně dutiny formy ulpívají části materiálu. Tento jev je nazýván kontaminace. Jedná se v praxi o nežádoucí jev, který má za následek zhoršenou kvalitu výrobku, to jak fyzikálních vlastností výrobků, tak i estetické vlastnosti, ale především tvarových vlastností. Kontaminace přináší zvýšení výrobních nákladů v podobě nutného čištění formy. Nevýhodou je i špatné vyjímání (vyhazování) výrobku z formy. S počtem pracovních cyklů narůstá i míra kontaminace povrchu dutiny formy. Vliv znečištění forem lze eliminovat pravidelnou údržbou dutiny formy. Náklady na čištění povrchu dutiny formy jsou poměrně vysoké.

Mezi hlavní příčiny znečištění povrchu dutin forem patří:

- Dochází-li k chemické reakci mezi povrchem dutiny formy a kaučukovou směsí.
- Dochází-li k přilnutí nízkomolekulárních složek oddělených od sloučenin k povrchu forem.
- Jsou-li v kaučukové směsi obsaženy tuhé částice, které mohou přilnout ke kovovému povrchu dutiny formy. [22], [23], [24]



Obr. 6.1 Příklad kontaminace povrchu formy [23]

6.1 Vliv kaučukových směsí

Na znečištění dutin formy má vliv několik faktorů

6.1.1 Vliv polymeru

Produkty zhotovené ze syntetického kaučuku jsou obtížněji odseparovány od formy, než výlisky z kaučuku přírodního. Syntetické kaučuky při vulkanizaci podléhají reverzi, která způsobuje, že se kaučuk stává lepivým a zůstávají při vyjmutí výlisku na stěně dutiny zbytky materiálu. Z toho důvodu se přidává přírodní kaučuk do směsi k syntetickým kaučukům na bázi SBR nebo BR. Do směsi k chloroprenovému kaučuku se přidává jako separační činidlo hořčík. Mezi nejlépe odformovatelné kaučuky patří kaučuk silikonový. Ten nečiní žádné problémy při odformování a z toho důvodu se začal používat pro tvarově složitě dílce. [22], [23], [24]

6.1.2 Vliv vulkanizačního činidla

Vliv na znečištění forem mají také vulkanizační činidla. Jejich malá síťová hustota vede k podvulkanizování směsi, což má za následek špatné vyjímání výrobku z forem, při nejhorším může dojít k odtržení části výrobku. [22], [23], [24]

6.1.3 Vliv plniva

Plnivo v kaučukové směsi snižuje účinek vulkanizačního systému což vede k podvulkanizaci směsi (zhoršené vyjímání výrobku z formy) a má za následek vysoké znečištění povrchu dutiny formy. Mezi plniva, která vysoce znečišťují dutinu formy, můžeme zařadit např. saze, nebo minerální plniva (oxid křemičitý, uhličitán vápenatý), tyto plniva však neznečišťují dutinu do takové míry jako saze. [22], [23], [24]

6.2 Vliv zpracovatelských podmínek

Značný vliv na znečištění povrchu dutin forem má vulkanizační teplota. S rostoucí teplotou se zvyšuje znečištění dutin forem. Dalším faktorem ovlivňujícím míru znečištění je počet vulkanizačních cyklů. Vyšší počet cyklů znamená vyšší znečištění a zhoršení vyjímání výrobku z formy. Z toho důvodu je snaha ve výrobě zavádět takové technologické postupy, které mají za následek zkrácení vulkanizační doby na minimum (zvýšení produktivity

výroby) a zvýšení teploty vstřikování, lisování, což má za následek zvýšení znečištění a je nutno formu častěji čistit. [22], [23], [24]

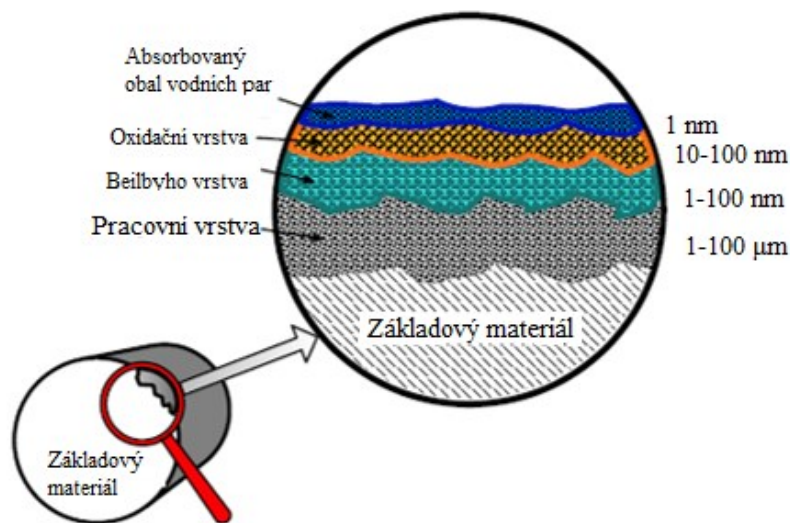
6.3 Vliv materiálu a úpravy povrchu dutiny formy

Vliv na kontaminaci povrchu dutiny formy má také materiál, drsnost a povrchová úprava. Materiál bývá zpravidla zakalený a to z důvodu opracování. Na povrch bývá nanesená tenká vrstva oxidů, mezi touto vrstvou oxidů a znečišťující usazeninou se běžně nachází neurčitá vrstva absorbovaného plynu. Tenká vrstva kovu na povrchu dutiny formy zamezuje vzniku koroze, odolává mechanickému opotřebení a zvyšuje kvalitu formy.

Drsnost povrchu ovlivňuje kontaminaci formy dost zásadním způsobem. Se zvyšující se drsností povrchu dutiny formy se zvyšuje i adheze materiálu k povrchu dutiny formy. Proto je vhodné zvolit vhodnou povrchovou úpravu, aby se zlepšily separační vlastnosti formy, docházelo ke snazšímu vyjímání výrobku z dutiny formy. [22], [23], [24]

Zmírnit některé z nežádoucích vlastností povrchu dutiny formy lze například:

- Vhodnou konstrukcí formy
- Složením směsi
- Použitím vhodných separačních prostředků
- Optimalizací technologických podmínek výroby



Obr. 6.2 Povrch kovové formy [32]

6.4 Čištění povrchu forem

Povrch, který je znečištěn, je pro další výrobu nežádoucí. Proto je nutnost formy v průběhu výroby po určitém počtu vulkanizačních cyklů čistit. Čištění povrchu má za následek navýšení výrobních časů a tudíž i zvýšení výrobních nákladů. Používají se dva způsoby čištění forem mechanický a chemický. [22], [23], [24]

Při výběru metody čištění je nutnost zohlednit některé faktory

- Požadavek na čištění
- Znečišťující materiál
- Povrchová úprava formy
- Stupeň znečištění
- Časová a finanční náročnost
- Stupeň čistoty
- Tvarová geometrie formy [22], [23], [24]

6.4.1 Mechanické čištění

Mechanické čištění by mělo být zařazeno jako první způsob čištění. Tato metoda využívá různých kartáčů, škrabek, brusných nástrojů, pomocí kterých se odstraňuje znečištění. Další metodou mechanického čištění je tryskání. Tento způsob lze rozdělit na dvě metody tryskání a to na tlakovzdušné (abrazivní materiál je tryskán pod tlakem na povrch dutiny formy, čímž dochází k odstranění nečistot) a tzv. metání (abrazivní materiál je pomocí lopatek metacích kol v uzavřeném prostoru vrhán na povrch dutiny formy). [22], [23], [24]

6.4.2 Chemické čištění

Nevýhodou tohoto způsobu čištění je nutnost demontovat formu. Tento způsob je založen na aplikaci chemický činidel. Nutností je aby nečistoty nasákly chemické činidlo, které se nechá působit i několik hodin. Po změknutí usazenin je nutno je mechanicky odstranit, například broušením. [22], [23], [24]

6.4.3 Tepelné čištění

Využívá se jako před operace při čištění forem, kdy dojde k zahřátí nečistot, ty jsou následně za využití dalších metod odstraněny. Ohřevu je docíleno pomocí indukčního ohřevu, horké solné lázně atd. [22], [23], [24]

6.4.4 Nedestruktivní čištění

Využívá elektrolýzy a elektroforézy (je založena na kombinaci chemických a fyzikálních procesů), kdy je forma ponořena do alkalické lázně. Dochází ke vzniku bublinek plynu, které odlupují nečistoty z formy. Pokud je forma upravena chromováním je nutnost zabránit ztrátě chromu z formy (elektrolytická povaha procesu). [22], [23], [24]

6.4.5 Čištění laserem

Výhodou tohoto procesu je, že nepoškozuje povrch formy a nepůsobí nepříznivě na životní prostředí. Proto nahrazuje chemické a mechanické čištění. Výhodou je, že může být čištěno jen určité místo dutiny formy, kde je povrch znečištěn. Jedná se o velmi účinnou metodu. [22], [23], [24]

Při výběru metody čištění je nutnost zohlednit některé faktory

- Požadavek na čištění
- Znečišťující materiál
- Povrchová úprava formy
- Stupeň znečištění
- Časová a finanční náročnost
- Stupeň čistoty
- Tvarová geometrie formy



Obr. 6.3 Čištění dutiny formy pomocí laseru [40]

7 SHRUNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části bakalářské práce je popsána kaučuková směs, přísady, z nichž je samotná směs sestavena, co je kaučuk a jeho dělení. Následně byla popsána vulkanizace, její druhy, způsoby vulkanizace a další pojmy, které se týkají vulkanizace. Následující kapitola se věnuje způsobům zpracování kaučukové směsi. Konkrétně se jedná o lisování a vstřikování. V další kapitole jsou popsány materiály užívající se k výrobě dutin forem. Jsou zde popsány materiály od konstrukčních ocelí přes slitiny hliníku až po nástrojové materiály. V další kapitole je uveden přehled povrchových úprav, jež jsou v dnešní době nejčastěji využívány pro povrchovou úpravu dutin forem. Převážná část kapitoly je věnována metodám PVD a CVD. Kromě zmíněných metod jsou zde popsány metody jako např. SLM technologie, jež se zabývá nanášením kovového prášku pomocí 3D tisku na podkladový materiál. V poslední kapitole praktické části byla popsána kontaminace, faktory, které ji ovlivňují a způsoby čištění dutin forem.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce je zjišťování vlivu povrchu na ulpívání kontaminantů na površích, které disponují různými povrchovými úpravami.

- Volba materiálu pro dutinu formy
- Volba povrchových úprav dutiny formy
- Lisování bočnicové kaučukové směsi ve formě
- Vyhodnocení povrchů pomocí analýzy FTIR, změny drsnosti povrchu a porovnáním povrchu pomocí fotografií

9 POPIS EXPERIMENTU

Destičky, které byly použity pro experiment byly před lisováním řádně očištěny od prachu a nečistot technickým benzínem a acetonem. Byla změřena jejich drsnost povrchu, provedena analýza FTIR a pořízeny fotografie veškerých použitých destiček.

První část experimentu spočívala v provedení 100 lisovacích cyklů, po níž následovala FTIR analýza destiček.

Ve druhé části experimentu bylo uskutečněno dalších 100 lisovacích cyklů. Celkem bylo tedy provedeno 200 lisovacích cyklů. Nyní byly opět destičky podrobeny měření drsnosti, analýze FTIR a opět byly pořízeny fotografie destiček. Po uskutečnění všech potřebných měření a nashromáždění dat bylo provedeno zpracování výsledku a jejich porovnání.

9.1 Přehled použitých destiček

V rámci experimentu bylo použito 5 destiček, které byly vloženy do formy (Obr. 9.1). Z důvodu úplného vyplnění a dodržení konstantních tlaků při lisování formy byly do formy vloženy další destičky které nebyly součástí experimentu. Destičky č. 1-3 byly vyrobeny ze slitiny hliníku $AlMg_3Si_1$, složení je uvedeno v tabulce (Tab.1.). U těchto destiček byla výrobcem deklarována různá drsnost povrchu. Materiálové složení destičky č. 4 a 5 uvádí tabulky (Tab.2.) a (Tab.3.).

Tab. 1. Chemické složení $AlMg_3Si_1$ [53]

Chemické složení $AlMg_3Si_1$								
	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Si	Ti	Zn
Obsah prvku [%]	0,10	0,50	2,70-3,40	0,20-0,40	max 0,05	0,90-1,20	0,05-0,20	max 0,10

Tab. 2. Chemické složení 1.2709 [51]

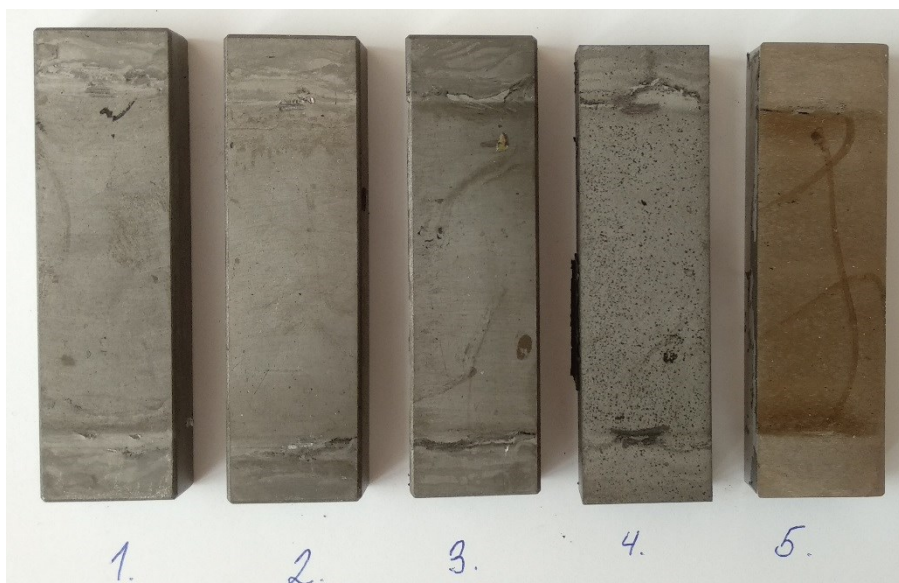
Chemické složení 1. 2709										
	Cu	Si	Mn	P	S	Co	Cr	Mo	Ni	Ti
Obsah prvku [%]	max 0,03	max 0,10	max 0,15	max 0,010	max 0,010	8,50-10,0	max 0,25	4,50-5,20	17,0-19,0	0,80-1,20

Tab. 3. Chemické složení 1. 2316 [52]

Chemické složení oceli 1. 2316								
	C	Mn	Si	Cr	W	Ni	P	S
Obsah prvku [%]	0,33-0,43	1,00	1,00	15,00-17,00	1,00-1,30	1,00	0,03	0,03

Přehled použitých destiček:

- **1:** Tato destička je vyrobená ze slitiny hliníku $AlMg_3Si_1$. Výrobce deklaruje drsnost destičky před nasycením vrstvou PVD je $Ra=1,6 \mu m$. Při předchozím použití byla lisována při $170 \text{ }^\circ C$ po dobu 4,5 minut běhounovou směsí na 150 lisovacích cyklů. Její povrch je upraven vrstvou PVD-CrN. Destičky byly očištěny pomocí technického benzínu a acetonu.
- **2:** Vyrobena ze slitiny hliníku $AlMg_3Si_1$. Výrobce deklaruje drsnost povrchu před nasycením PVD vrstvou $Ra=0,8 \mu m$. Destička byla při předchozím lisování vystavena lisování běhounové směsí na 150 lisovacích cyklů, při vulkanizačních podmínkách $170 \text{ }^\circ C$ a době vulkanizace 4,5 minuty. Povrch destičky upraven vrstvou PVD-CrN. Destička čištěna pomocí technického benzínu a acetonu.
- **3:** Vyrobena ze slitiny hliníku $AlMg_3Si_1$. Výrobce deklaruje drsnost povrchu před nasycením PVD vrstvou $Ra=0,4 \mu m$. Při předchozím použití byla lisována za vulkanizačních podmínek $170 \text{ }^\circ C$ po dobu 4,5 minut běhounovou směsí na 150 lisovacích cyklů. Její povrch je upraven vrstvou PVD-CrN. Destičky byly očištěny pomocí technického benzínu a acetonu.
- **4:** Jedná se o novou novu destičku. Na její povrch byla aplikována vrstva práškové nástrojové oceli 1. 2709 pomocí metody SLM a následně nanášena vrstva PVD-CrN. Destička byla čištěna technickým benzínem a acetonem.
- **5:** Jedná se o novou destičku vyrobenou z materiálu 1. 2316. Destička je bez povrchové úpravy. Čištěna technickým benzínem a acetonem.



Obr. 9.1 Použité destičky

9.2 Použitá kaučuková směs

U kaučukové směsi, jež byla použita k lisování, není známo přesné složení, jelikož se jedná o firemní “know-how“, z toho důvodu je v tabulce (Tab.4.) uvedeno pouze orientační složení kaučukové směsi.

Tab. 4 Orientační složení kaučukové směsi

Kaučuková směs bočnicová	
Syntetické kaučuky	SK-A, SK-B, SK-C
Regenerát	REG-A
Saze	SAZE-A
Sílica	SI-B
Olej	O-E
Aktivátory	AKT-A, AKT-C, AKT-E
Antidegradanty	ANT-A, ANT-B, ANT-C
Antioxidanty	ATNX-A
Urychlovače	U-B, U-C
Síra	SUL-A

9.3 Vulkanizační podmínky

Vulkanizační podmínky vhodné pro kaučukovou směs byly specifikovány dodavatelem směsi. Bylo provedeno jejich ověření na rotačním reometru firmy Alpha Technologies, typ Premium MDR (Obr. 9.2). Zařízení se nachází v laboratoři firmy Alpha Technologies na FT

UTB. Vulkanizační charakteristiky jsou uvedeny v příloze P I. Teplota vulkanizace byla použita 170 °C a doba vulkanizace 4,5 minuty.



Obr. 9.2 Reometr Alpha technologies Premier MDR [54]

9.4 Lisování kaučukové směsi

Samotné lisování bylo prováděno na hydraulickém vulkanizačním lisu IGTT o rozměrech vulkanizačních desek 300 x 400 mm (Obr. 9.3). Lisovací forma byla teplotu 170 °C.

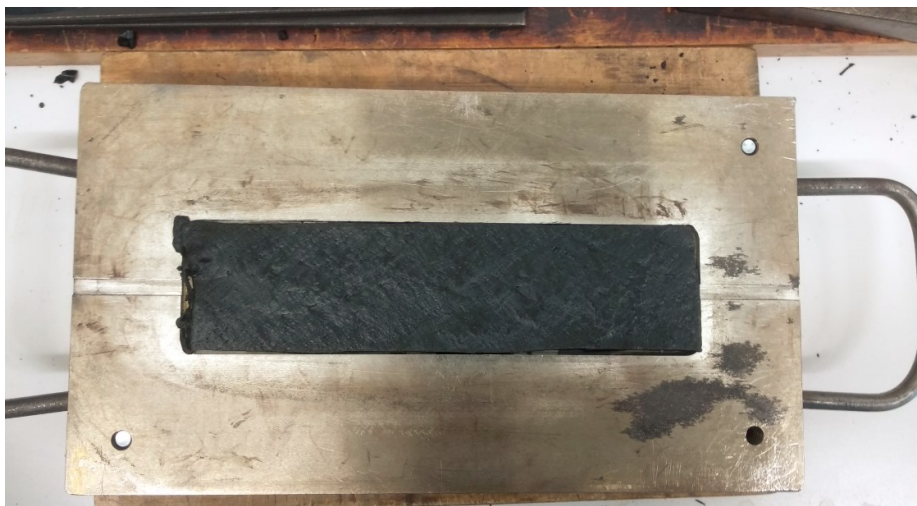
Po vytemperování formy na stanovenou teplotu byla forma vyjmuta z lisu a byla do ní vložena předem připravená nálož. Naplněná forma byla vložena do lisu a lisována po dobu 4,5 minuty. Po uplynutí doby byla forma vyjmuta z lisu, vyjmut výlisek a vložena nová nálož.



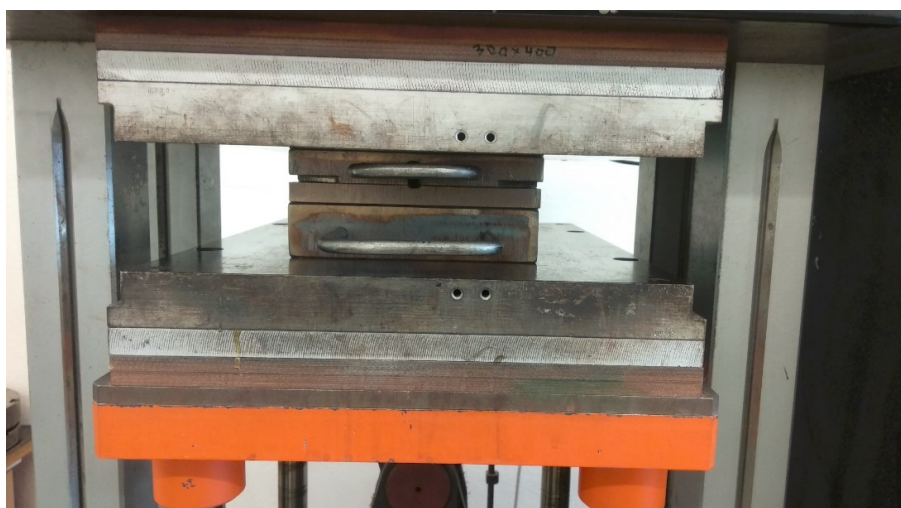
Obr. 9.3 Použitý hydraulický vulkanizační lis IGTT



Obr. 9.4 Prázdná dutina formy před vložením nálože



Obr. 9.5 Forma připravená k lisování



Obr. 9.6 Lisování kaučukové směsi

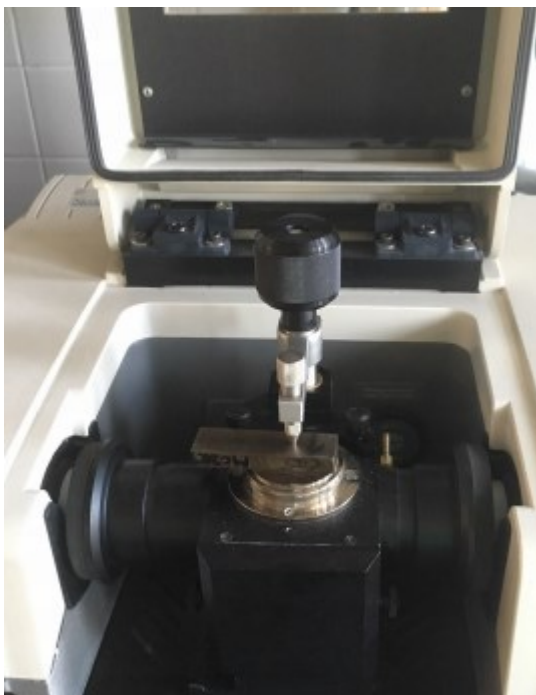


Obr. 9.7 Otevřená forma po vylisování

9.5 Analýza zkušebních těles pomocí metody FTIR

Analýza destiček byla provedena pomocí metody infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací FTIR. K měření byl použit jednopaprskový spektrometr Nicolet AVATAR 320 FTIR (Obr. 9.8). Pro měření byla využita metoda ATR, krystal ZnSe. Měření bylo prováděno v rozsahu $4000\text{-}750\text{ cm}^{-1}$ s rozlišením 2 cm^{-1} a počtem 64 skenů.

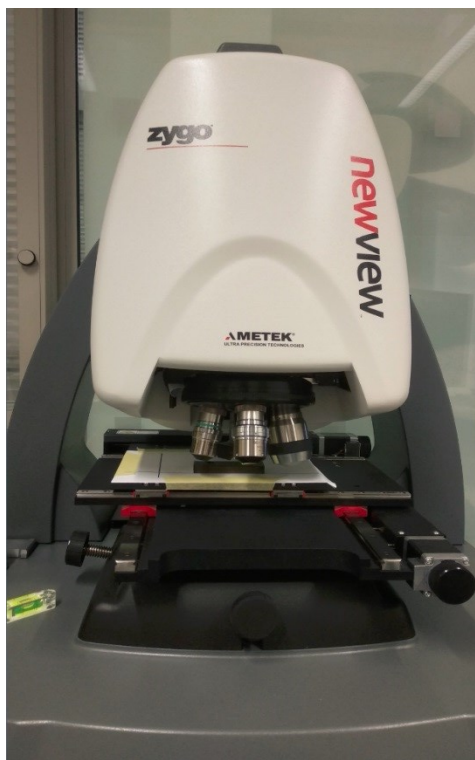
Při měření IČ spekter bylo postupováno tak, že se nejprve pomocí alkoholu očistil krystal, následně bylo nutné změřit pozadí. Pozadí bylo měřeno před samotným měřením IČ spektra každé destičky. Po změření pozadí bylo možné měřit IČ spektrum samotné destičky. Pak následovalo opět očištění krystalu alkoholem, po jehož odpaření bylo možné změřit pozadí před měřením další zkušební destičky. Přístroj je ovládán připojeným počítačem prostřednictvím software OMNIC. Na monitoru připojeného počítače se zobrazují naměřená spektra.



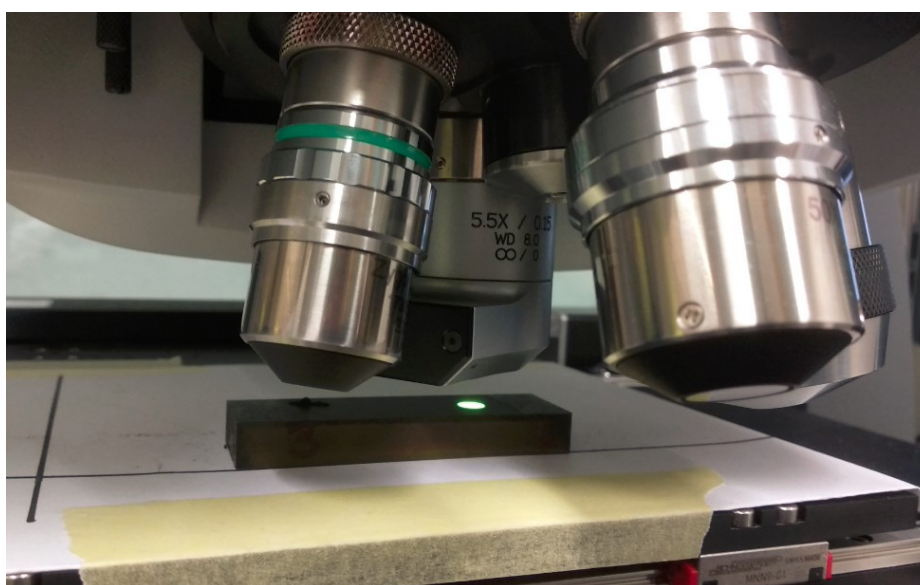
Obr. 9.8 Analýza FTIR

9.6 Měření povrchu pomocí 3D měřicího přístroje

Cílem této metody měření bylo zhodnotit drsnost povrchu vyhodnocovaných destiček. Měření probíhalo na měřicím přístroji, konkrétně se jednalo o optický profiloměr ZYGO NV 8300 (Obr. 9.9) Za použití čočky 5,5x / 0,15 byly vyhodnocovány parametry S_a , S_p , S_v , S_z na ploše o rozměrech 3 mm x 3 mm.



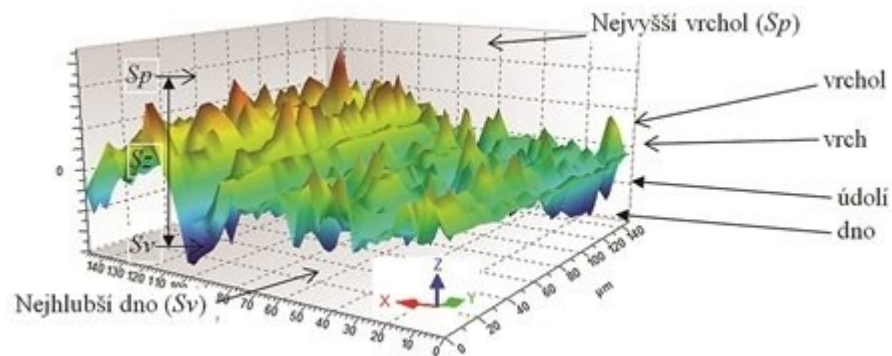
Obr. 9.9 Optický profiloměr Zygo NV 8300



Obr. 9.10 Měření povrchu destičky

Tab. 5. Přehled vyhodnocovaných parametrů

Přehled vyhodnocovaných parametrů	
Sa	Průměrná aritmetický výška posuzované plochy [μm]
Sp	Maximální výška vrcholu posuzované plochy [μm]
Sv	Maximální hloubka dna posuzované plochy [μm]
Sz	Maximální výška posuzované plochy [μm]



Obr. 9.11 Vyhodnocované parametry [43]

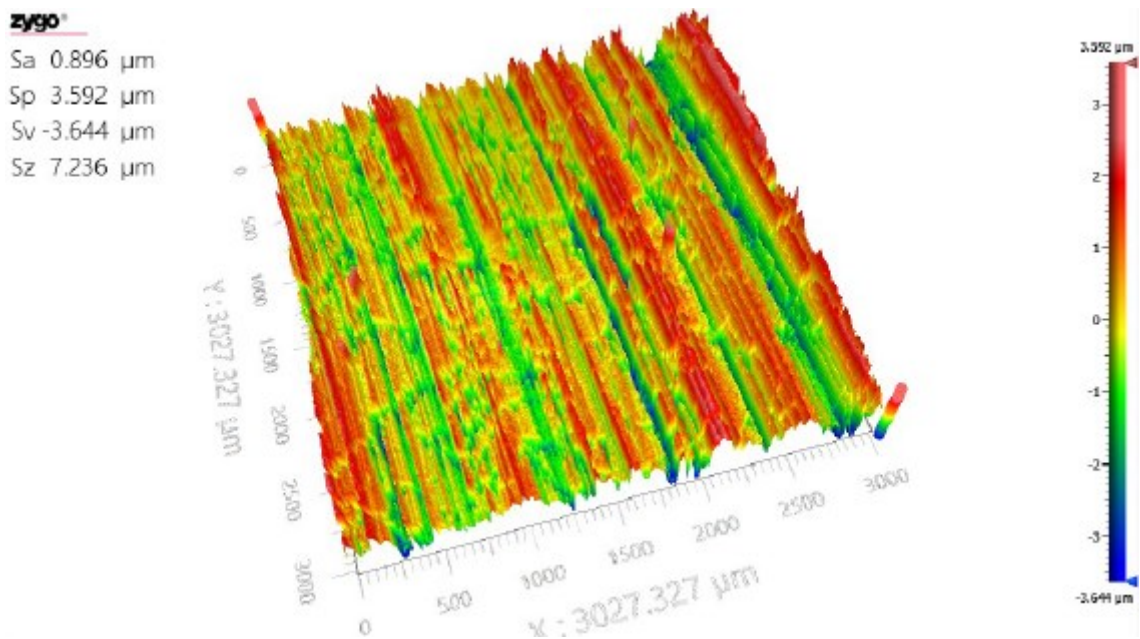
9.7 Pořízení fotografií

Fotografie destiček byly pořízeny pomocí fotoaparátu Panasonic Lumix FZ82 s makro předsádkou Raynox 250, zvětšení 30x. Bylo snahou fotografie destiček před lisováním (vlevo) i po 200 lisovacích cyklech (vpravo) pořídit vždy přibližně ve stejném místě.

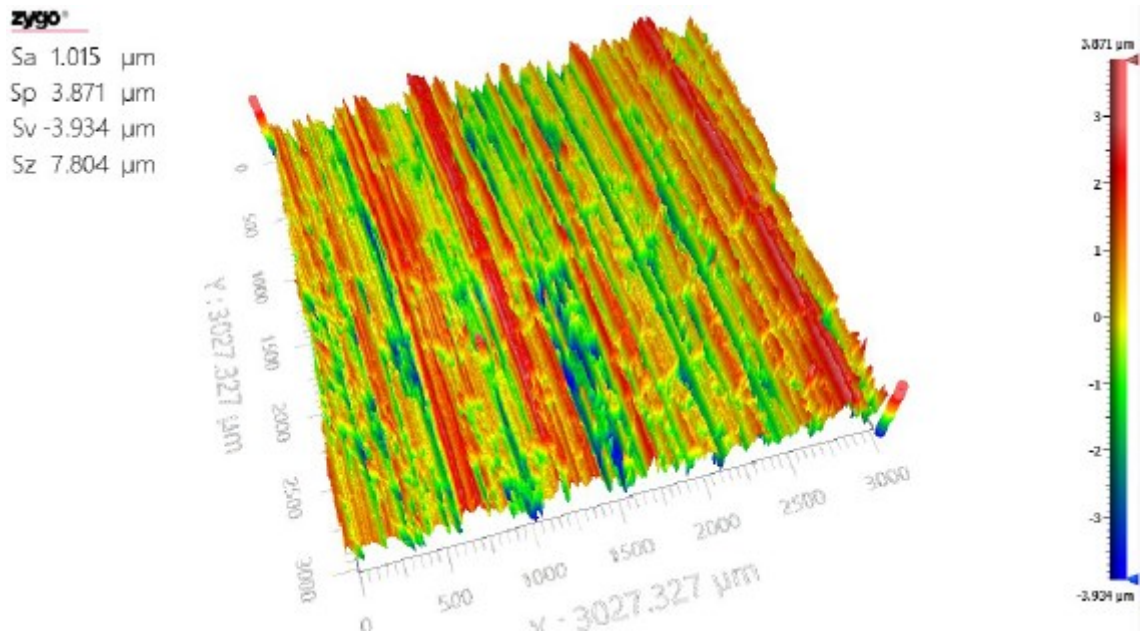
10 DISKUZE VÝSLEDKŮ

10.1 Snímky z profiloměru Zygo NV 8300

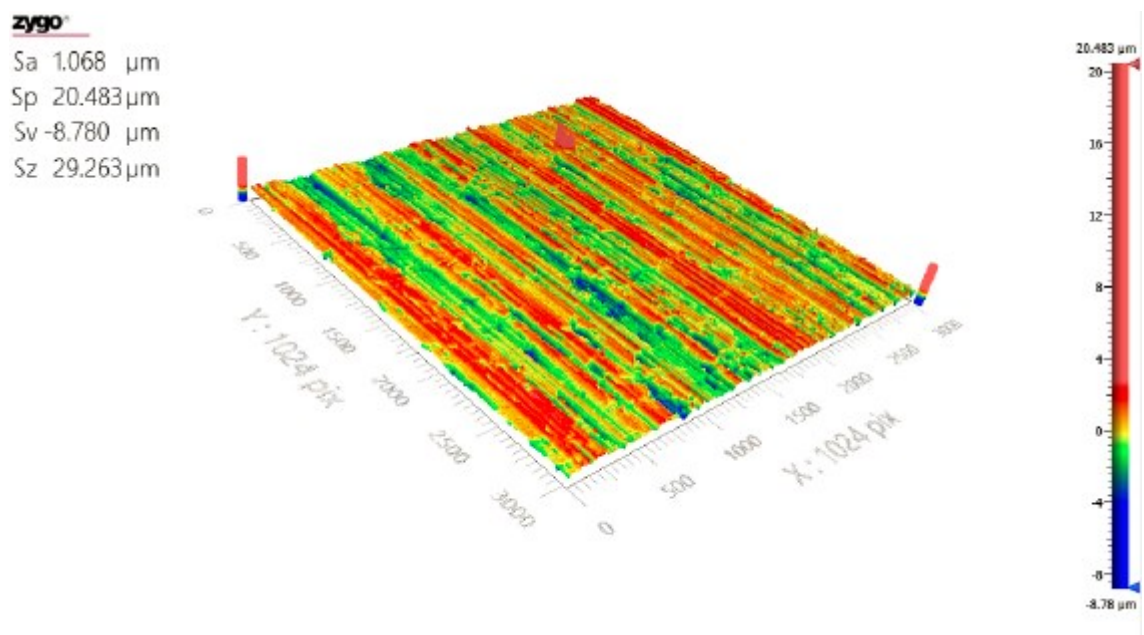
Měření drsnosti povrchu zkušebních destiček bylo provedeno na dvou místech každé destičky. Toto měření bylo provedeno před lisováním, to proto, aby byla známa drsnost v „nekontaminovaném“ stavu a po zhotovení 200 lisovacích cyklů. Snahou bylo provést měření ve stejných místech.



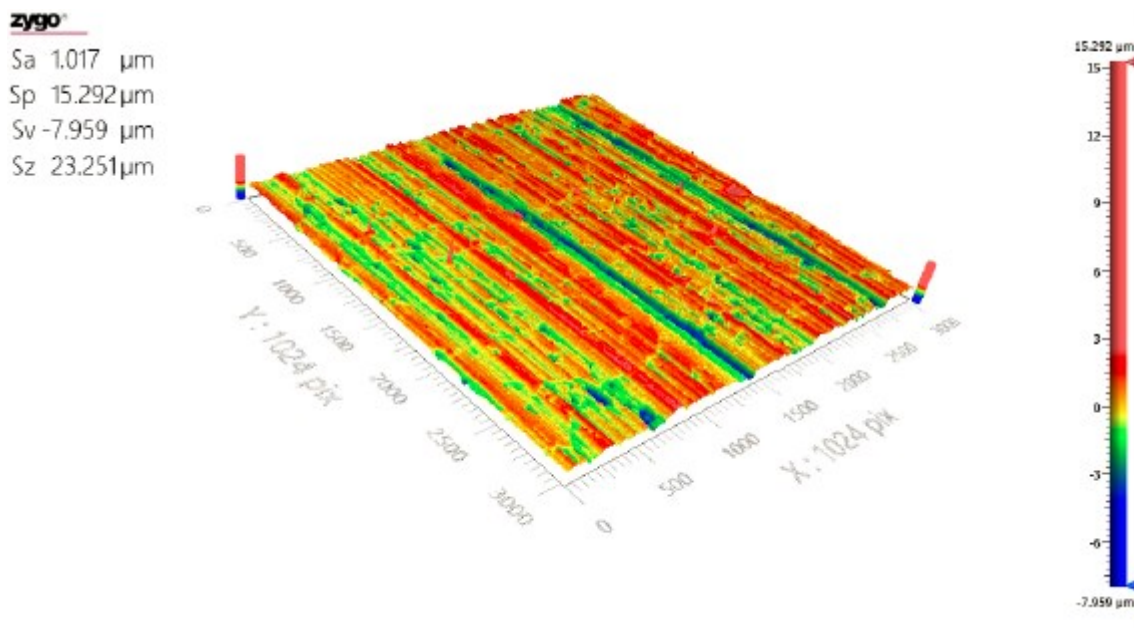
Obr. 10.1 Naměřená drsnost destičky 1 před lisováním-první měřené místo



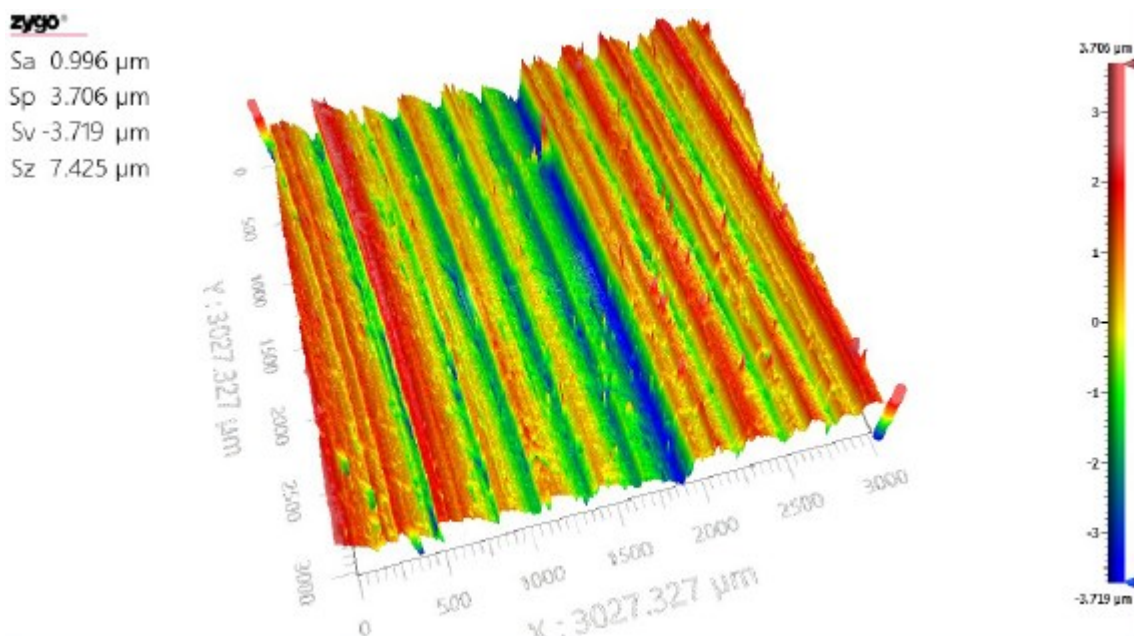
Obr. 10.2 Naměřená drsnost destičky 1 před lisováním-druhé měřené místo



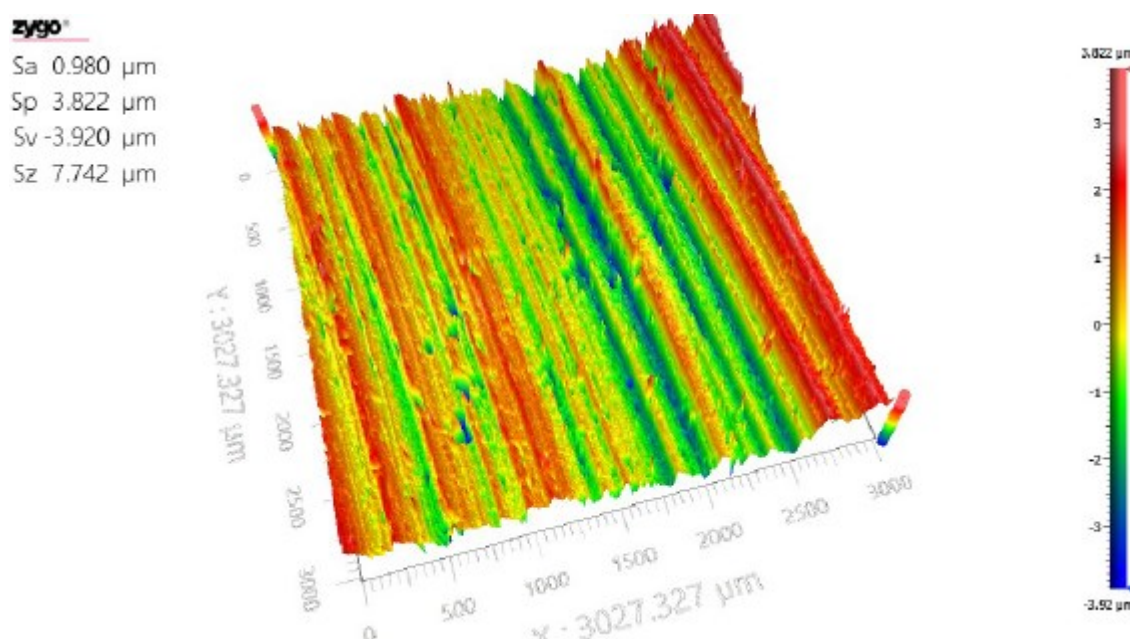
Obr. 10.3 Naměřená drsnost destičky 1 po 200 lisovacích cyklech-první měřené místo



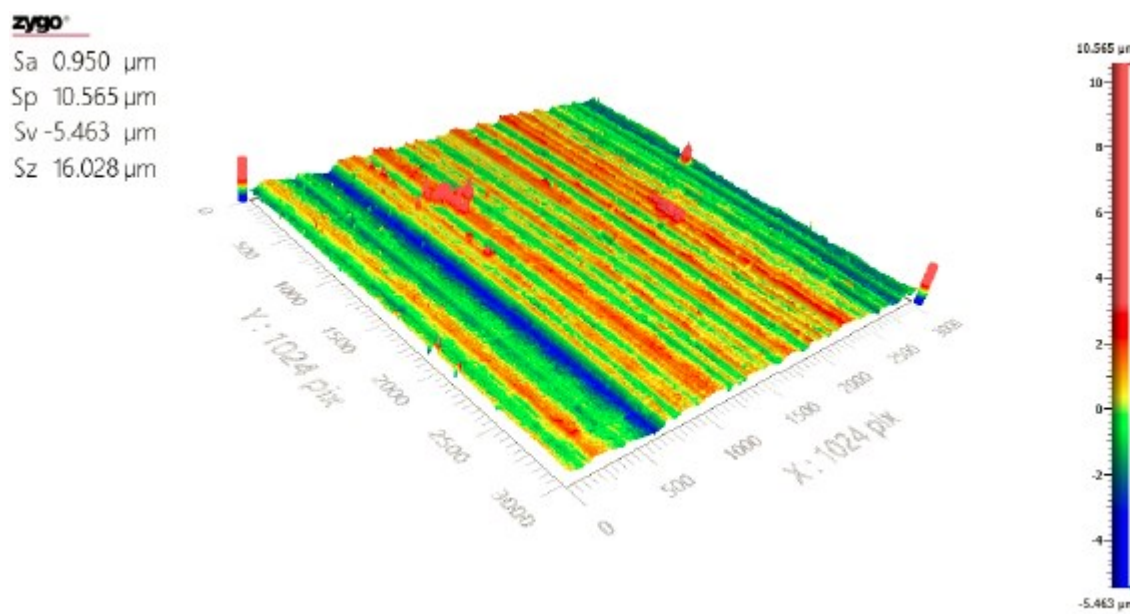
Obr. 10.4 Naměřená drsnost destičky 1 po 200 lisovacích cyklech-druhé měřené místo



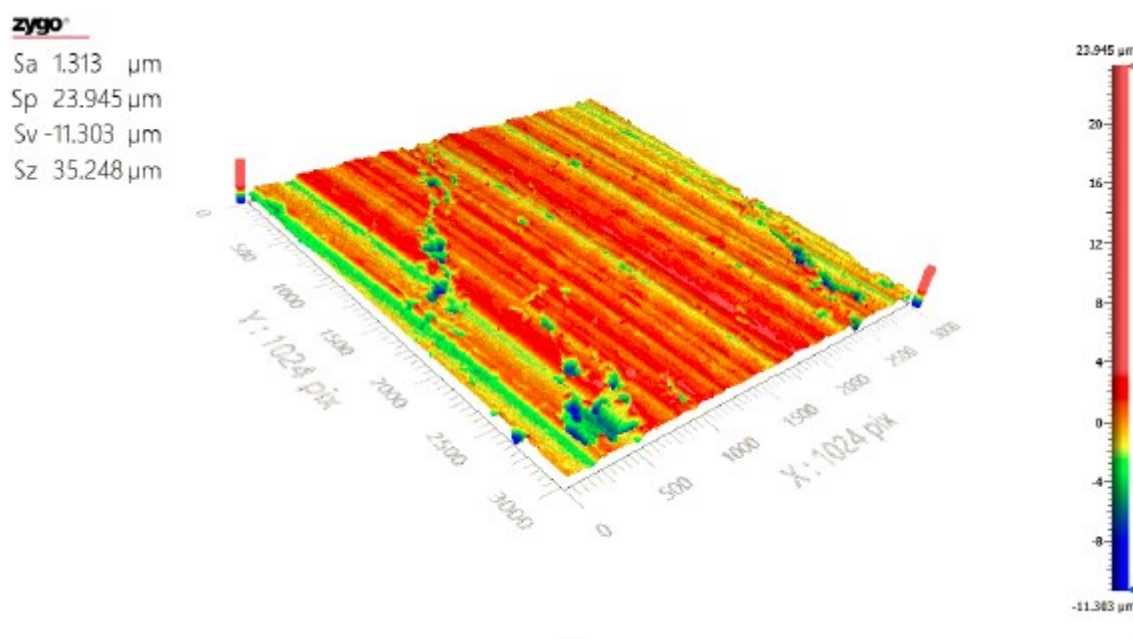
Obr. 10.5 Naměřená drsnost destičky 2 před lisováním-první měřené místo



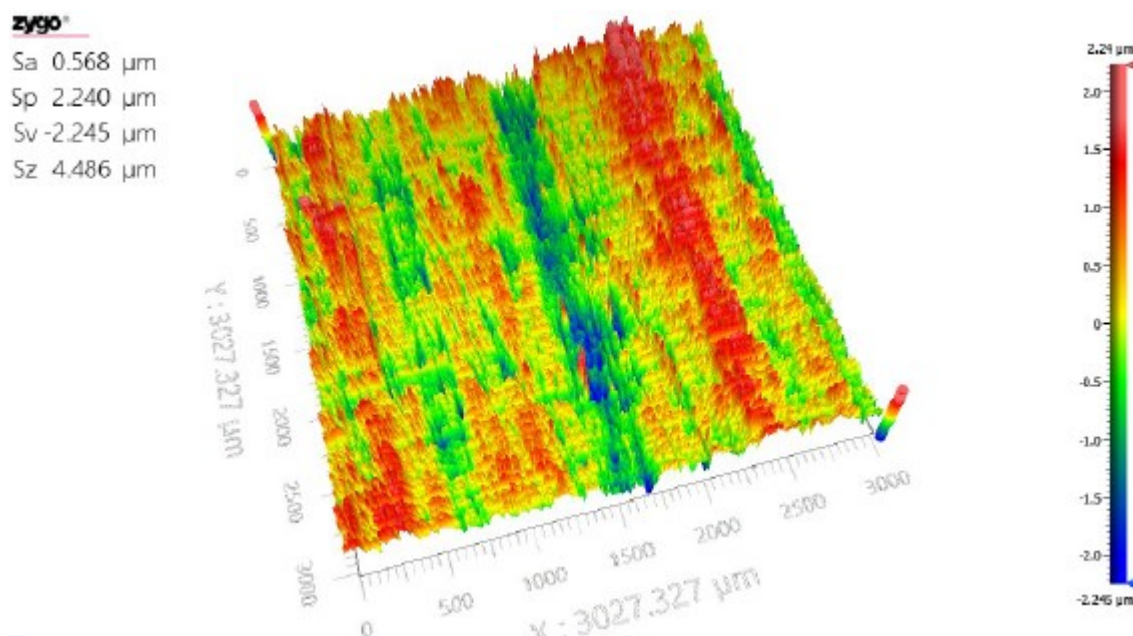
Obr. 10.6 Naměřená drsnost destičky 2 před lisováním-druhé měřené místo



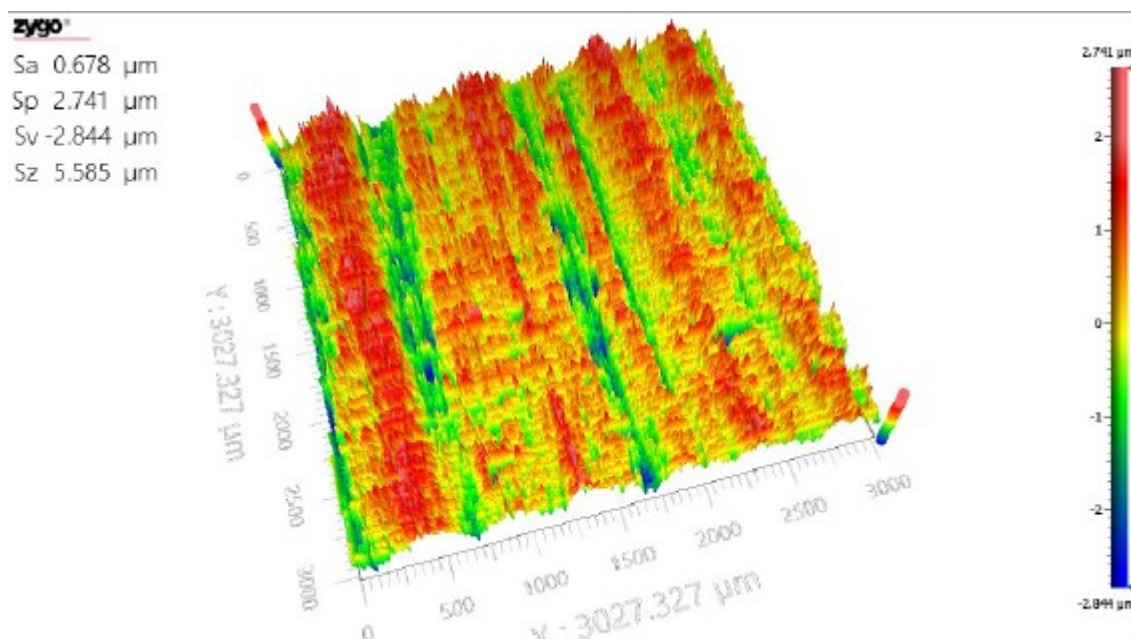
Obr. 10.7 Naměřená drsnost destičky 2 po 200 lisovacích cyklech-první měřené místo



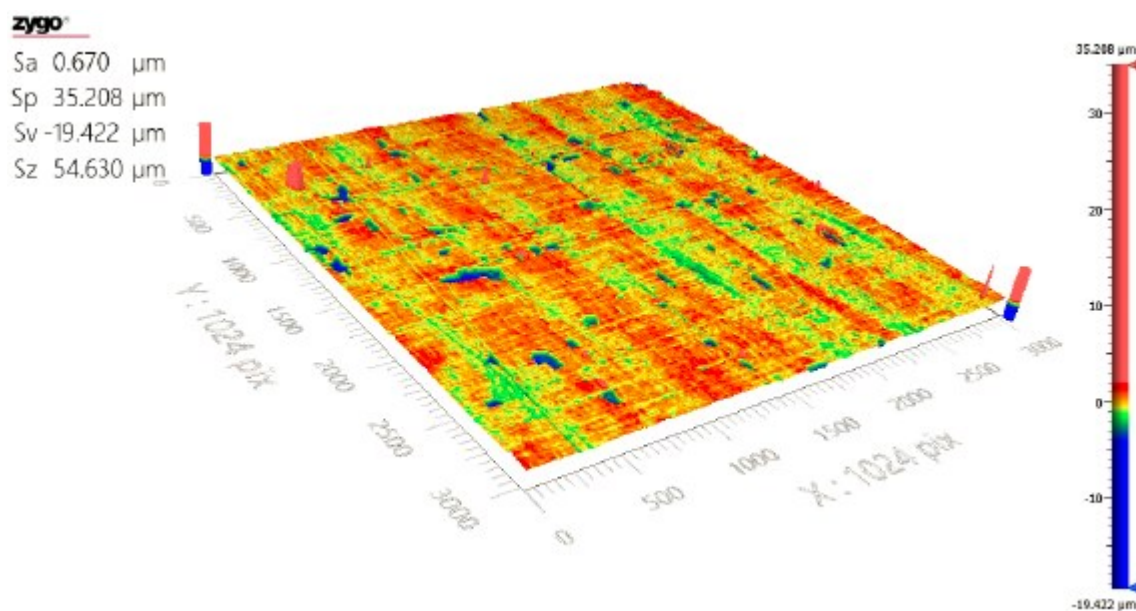
Obr. 10.8 Naměřená drsnost destičky 2 po 200 lisovacích cyklech-druhé měřené místo



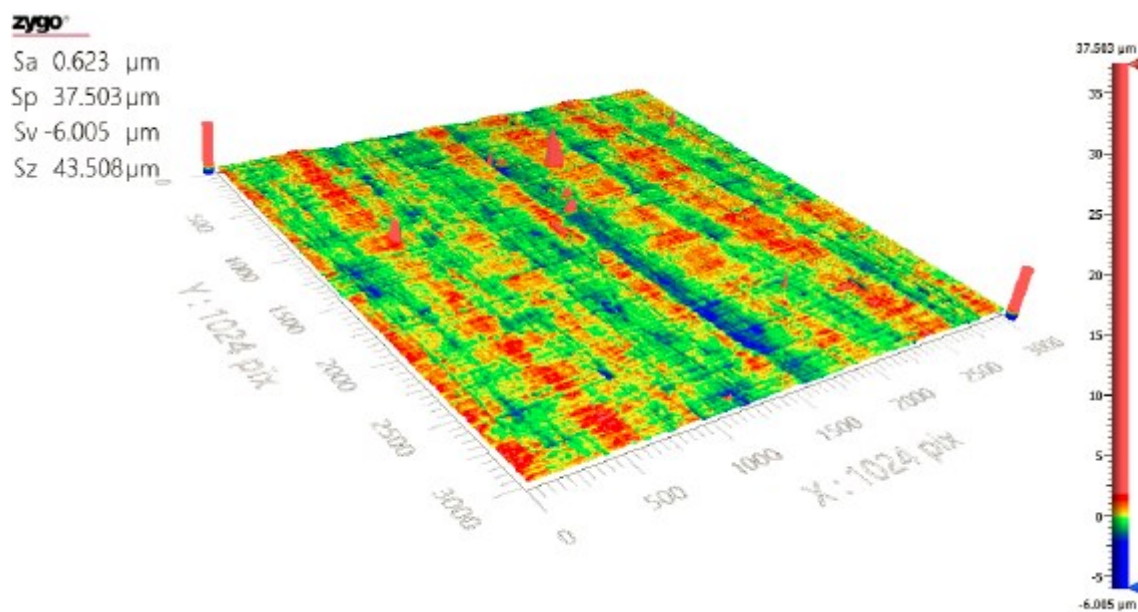
Obr. 10.9 Naměřená drsnost destičky 3 před lisováním-první měřené místo



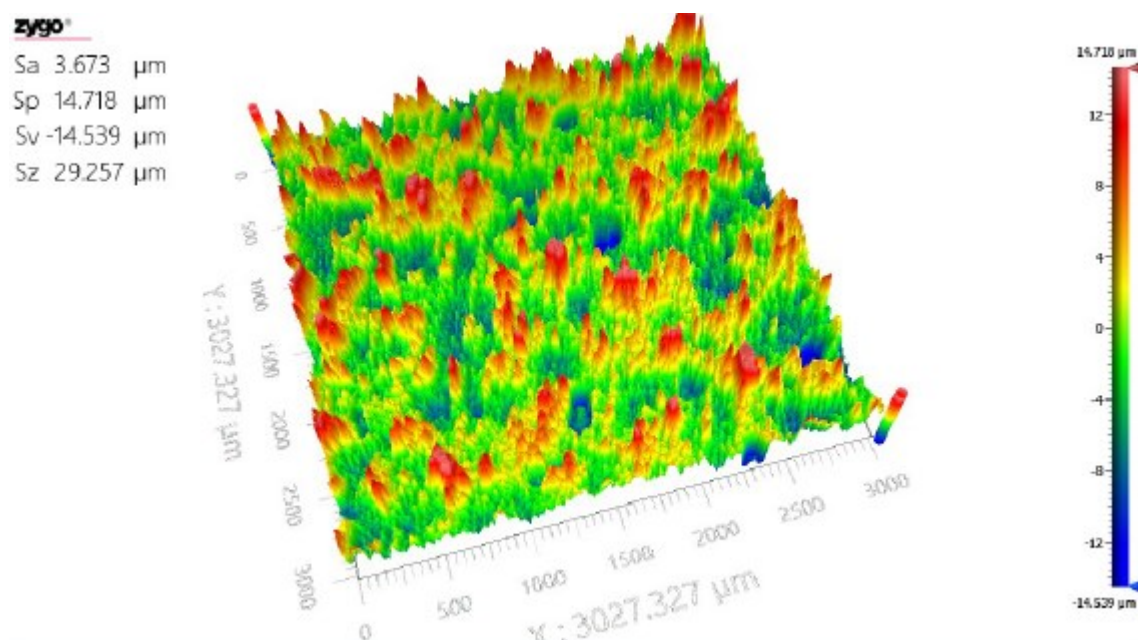
Obr. 10.10 Naměřená drsnost destičky 3 před lisováním-druhé měřené místo



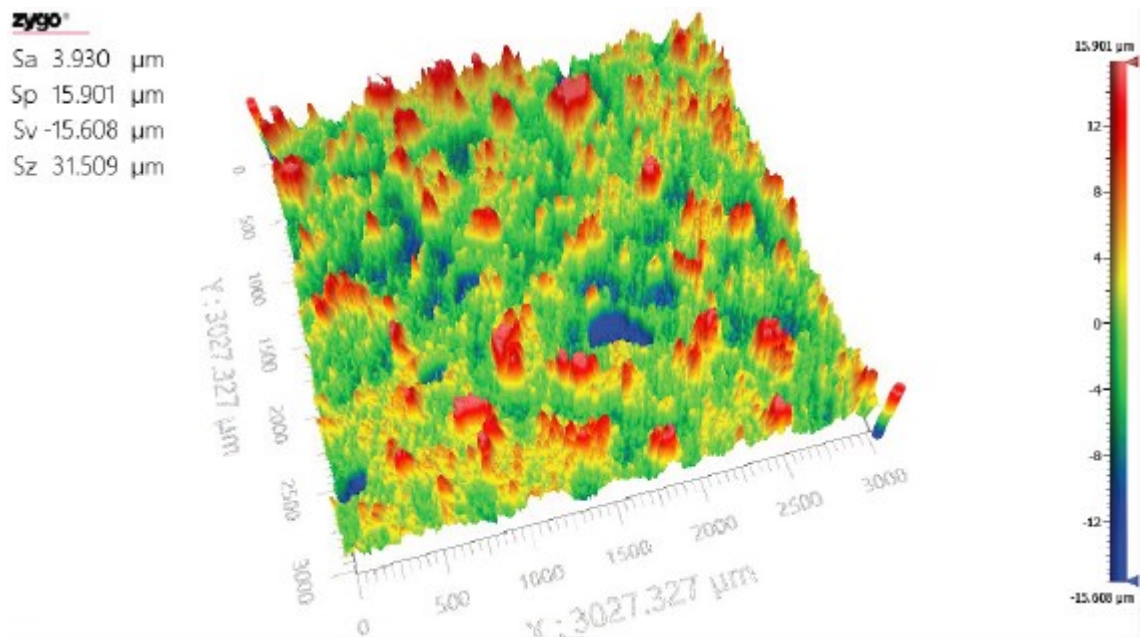
Obr. 10.11 Naměřená drsnost destičky 3 po 200 lisovacích cyklech-první měřené místo



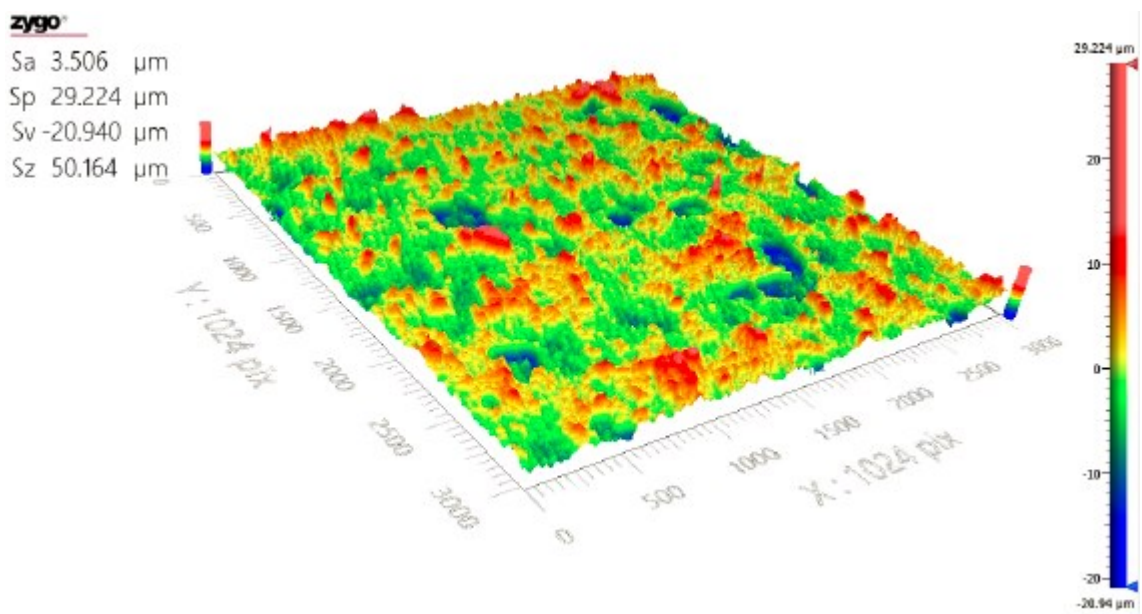
Obr. 10.12 Naměřená drsnost destičky 3 po 200 lisovacích cyklech-druhé měřené místo



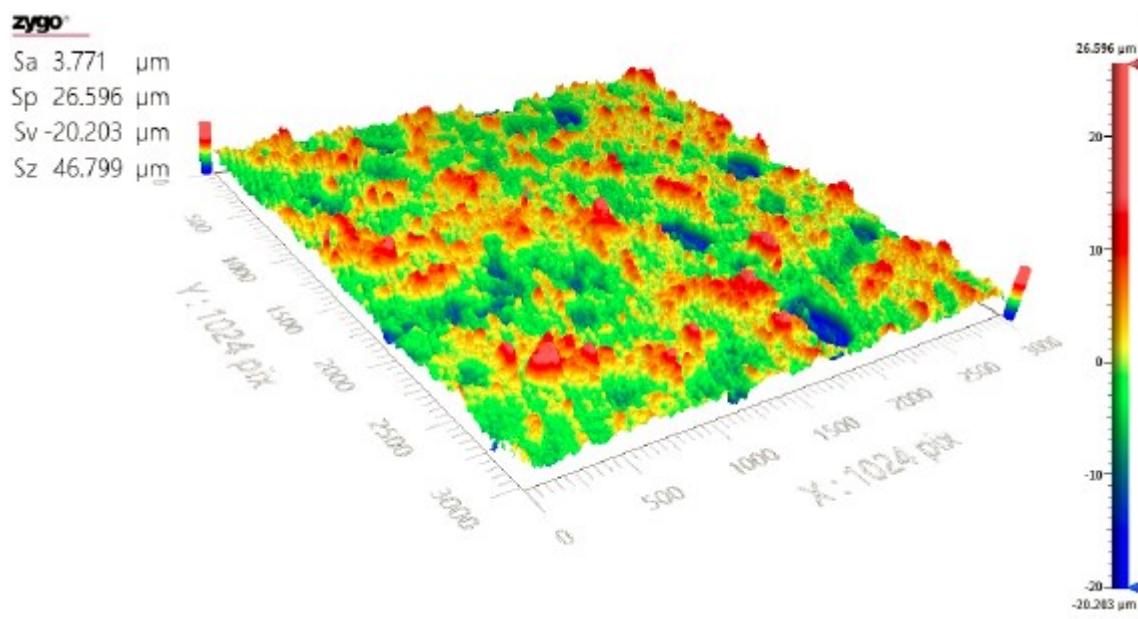
Obr. 10.13 Naměřená drsnost destičky 4 před lisováním-první měřené místo



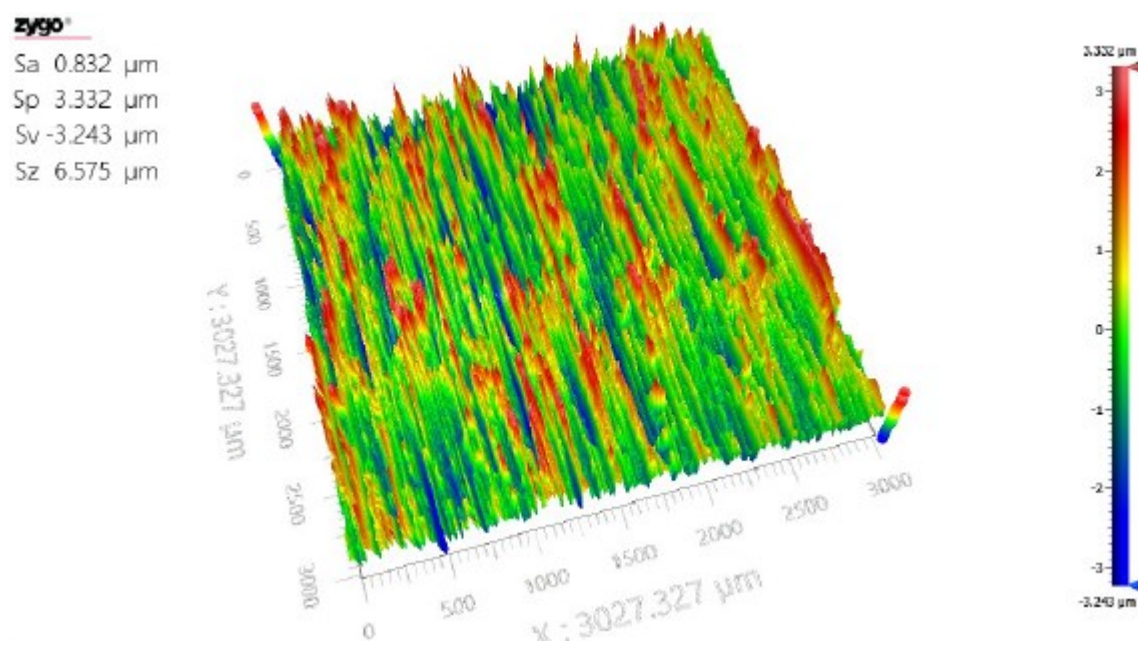
Obr. 10.14 Naměřená drsnost destičky 4 před lisováním-druhé měřené místo



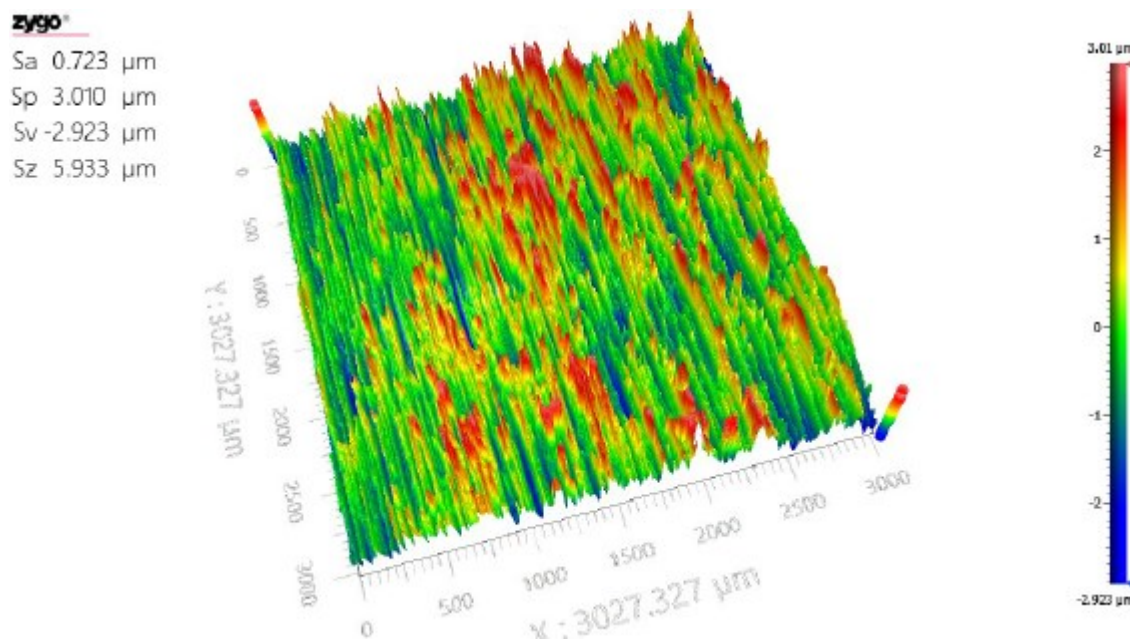
Obr. 10.15 Naměřená drsnost destičky 4 po 200 lisovacích cyklech-první měřené místo



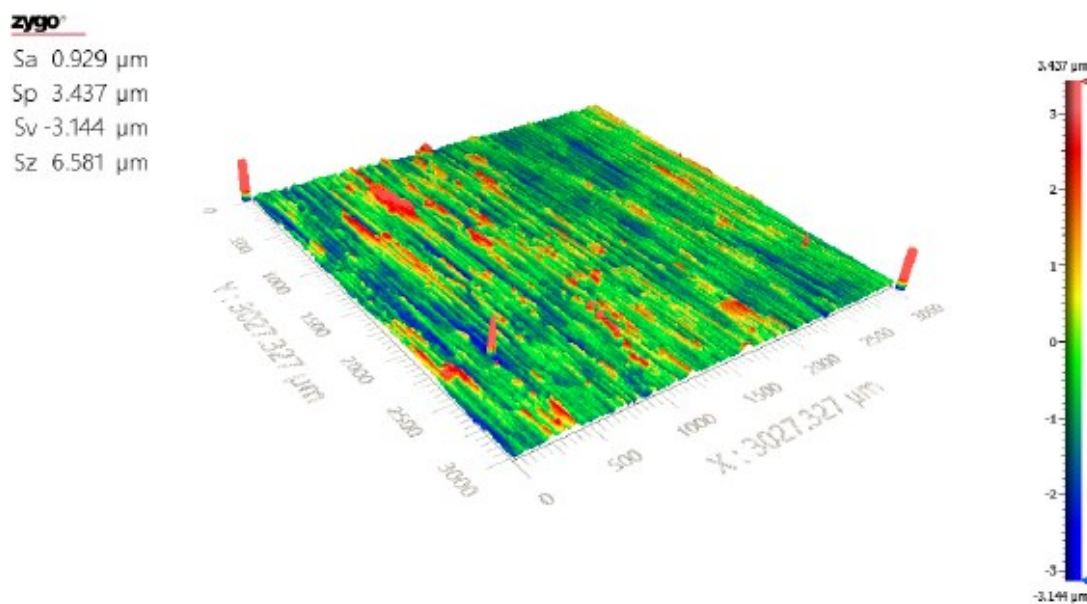
Obr. 10.16 Naměřená drsnost destičky 4 po 200 lisovacích cyklech-druhé měřené místo



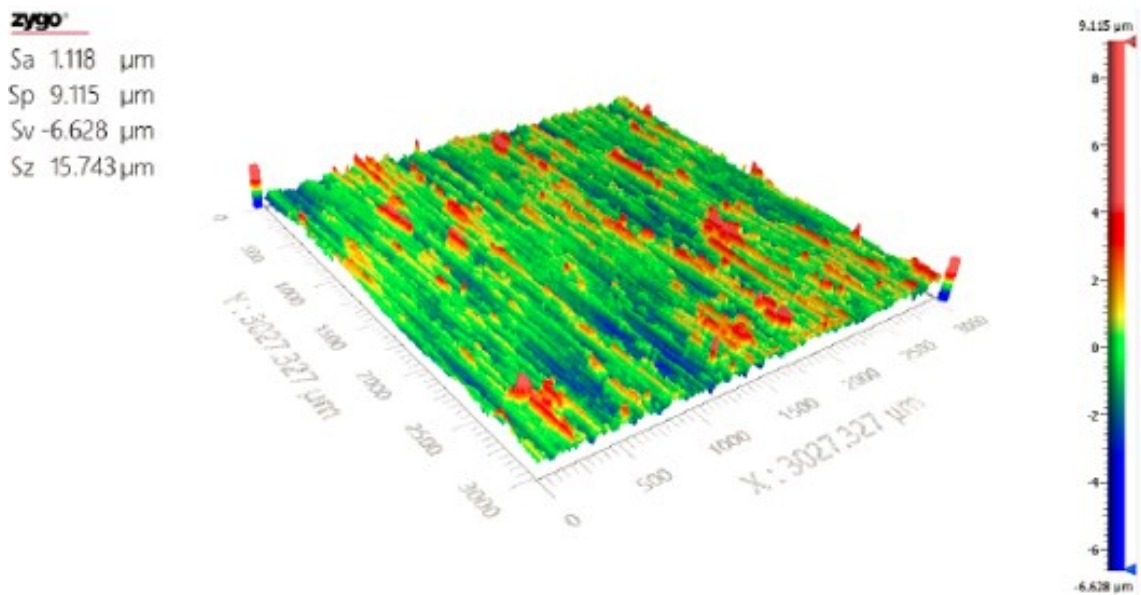
Obr. 10.17 Naměřená drsnost destičky 5 před lisováním-první měřené místo



Obr. 10.18 Naměřená drsnost destičky 5 před lisováním-druhé měřené místo



Obr. 10.19 Naměřená drsnost destičky 5 po 200 lisovacích cyklech-první měřené místo



Obr. 10.20 Naměřená drsnost destičky po 200 lisovacích cyklech-druhé měřené místo

Tab. 6 Naměřené hodnoty pomocí optického profiloměru Zygo NV 8300

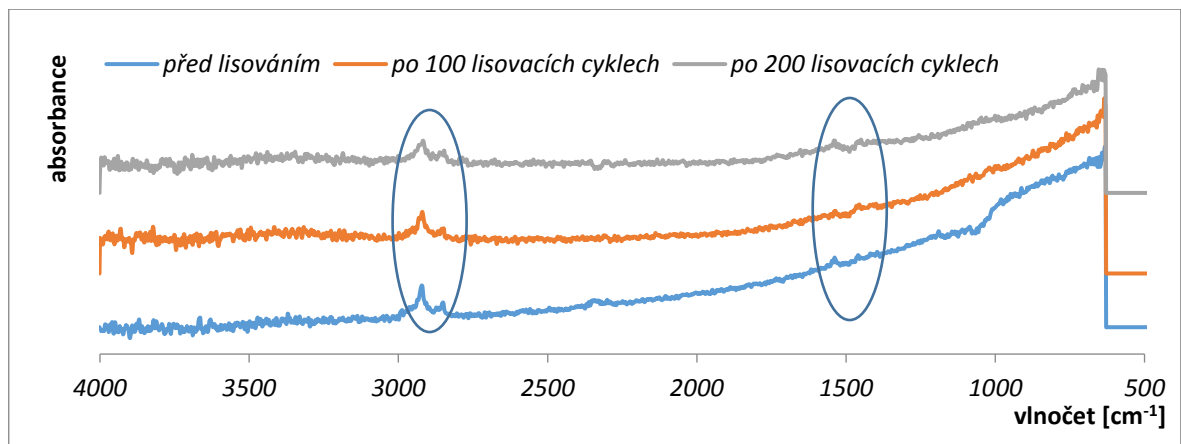
Přehled naměřených hodnot 3D metodou na profiloměru ZYGO NV 8300									
		První měřené místo				Druhé měřené místo			
		Sa [μm]	Sp [μm]	Sv [μm]	Sz [μm]	Sa [μm]	Sp [μm]	Sv [μm]	Sz [μm]
Měření před lisováním	1	0,896	3,592	-3,644	7,236	1,015	3,871	-3,934	7,804
	2	0,996	3,706	-3,719	7,425	0,980	3,822	-3,920	7,742
	3	0,568	2,240	-2,245	4,486	0,678	2,741	-2,844	5,587
	4	3,673	14,718	-14,539	29,257	3,930	15,901	-15,608	31,509
	5	0,832	3,332	-3,243	6,575	0,723	3,010	-2,923	5,933
Měření po 200 lisovacích cyklech	1	1,068	20,483	-8,790	29,263	1,017	15,292	-7,959	23,251
	2	0,950	10,565	-5,463	16,028	1,313	23,945	-11,303	35,248
	3	0,670	35,208	-19,422	54,630	0,623	37,503	-6,005	43,508
	4	3,506	29,224	-20,940	50,164	3,771	26,596	-20,203	46,799
	5	0,929	3,437	-3,144	6,581	1,118	9,115	-6,628	15,743

Dle závěrů z předchozích absolventských prací provedených na UTB a odborných publikací získaných z dostupných databází bylo očekáváno, že se bude drsnost povrchu se zvyšujícím se počtem lisovacích cyklů snižovat. Tento předpoklad nebyl výsledky měření pomocí bezkontaktního optického přístroje potvrzen. Možnou příčinou může být skutečnost, že v předchozích pracích byla měřena drsnost povrchu Ra (střední aritmetická úchylka

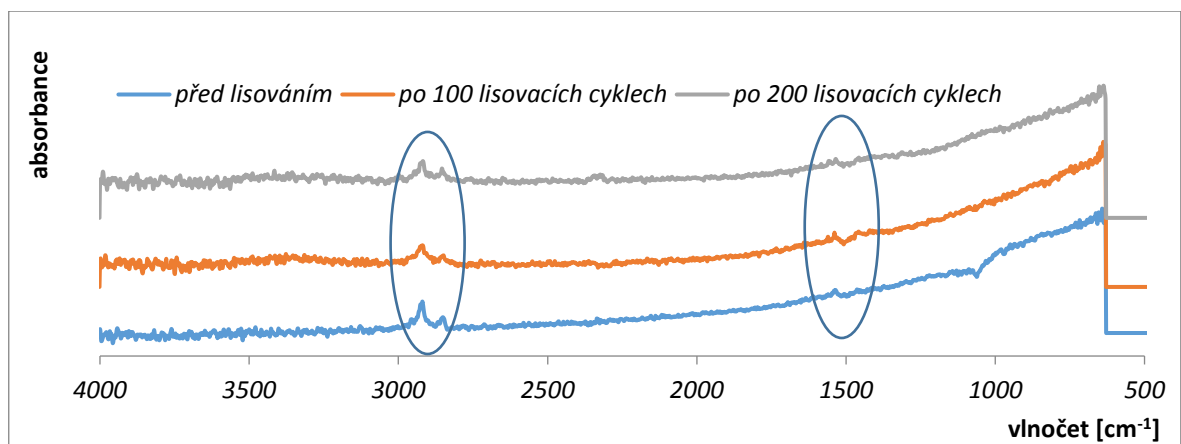
posuzovaného profilu) kontaktním způsobem, kdežto v rámci této práce byl sledován parametr Sa (aritmetický průměr posuzovaného topografického povrchu) měřený bezkontaktním způsobem. Jedná se o obdobu Ra s tím rozdílem, že parametr Sa je vztažen na plochu. Tyto parametry tedy nelze srovnávat z důvodu odlišnosti parametrů a z důvodu různých způsobů jejich získávání. Nelze tedy říct, že zákonitosti platné pro Ra jsou platné také pro Sa.

10.2 Hodnoty zjištěné analýzou FTIR

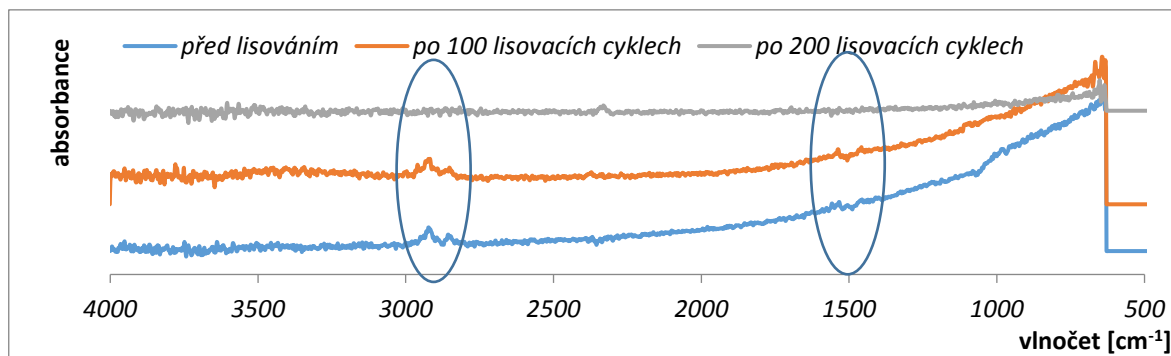
V následujících pěti přiložených grafech se nachází výsledky analýzy FTIR. V grafech jsou uvedena infračervená (IČ) spektra pro jednotlivé počty lisovacích cyklů pro daný materiál. Naměřená IČ spektra byla porovnána s organickými i anorganickými spektry v dostupných databázích.



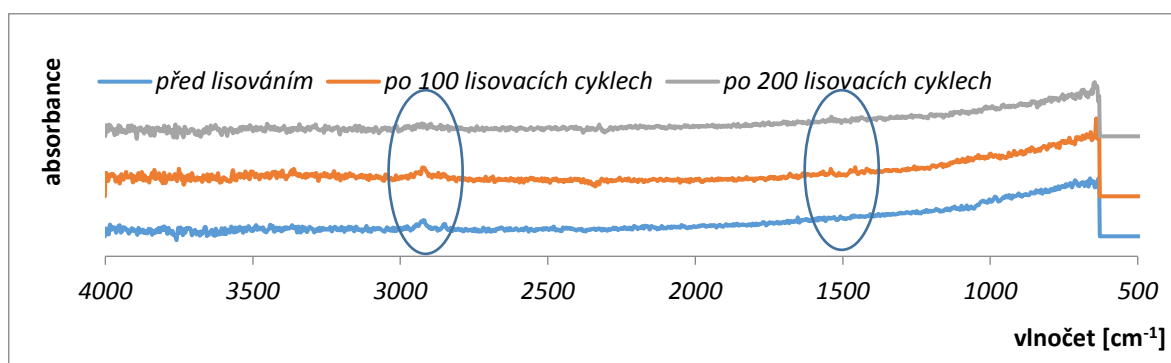
Graf 1. Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro 1. destičku



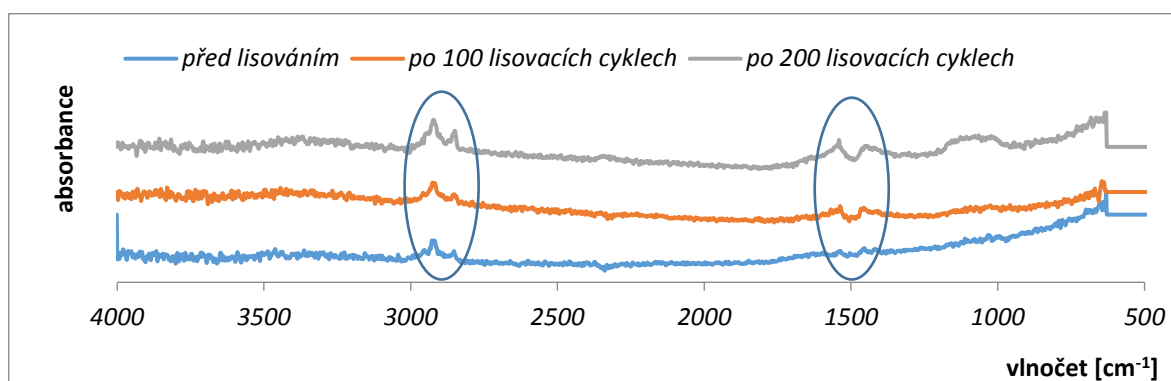
Graf 2. Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro 2. destičku



Graf 3 Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro 3. Destičku



Graf 4 Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro 4. destičku



Graf 5 Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro 5. destičku

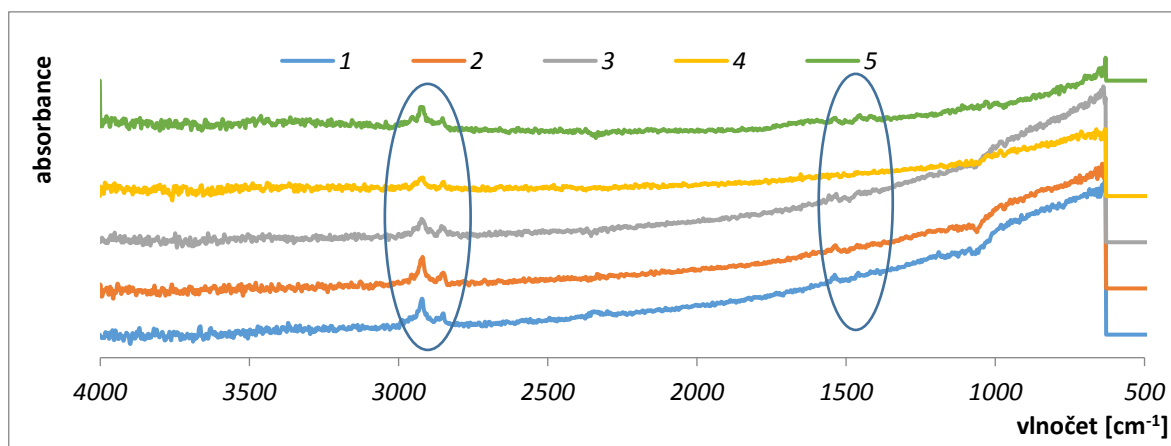
Jak je vidět z uvedených grafů, IČ spektra, která se zde vyskytují, se kvalitativně příliš neliší. Tato skutečnost naznačuje, že za kontaminaci může být odpovědná stejná složka kaučukové směsi. Navíc se jeví jako pravděpodobný fakt, že materiál povrchové vrstvy dutiny forem na složení kontaminantů nemá vliv. Ze získaných IČ spekter všech destiček vyplývá,

že zjištěné pásy spekter se projevují na shodných vlnočtech, pokud se projevují. V některých případech se na některých vlnočtech pás spektra nezobrazil.

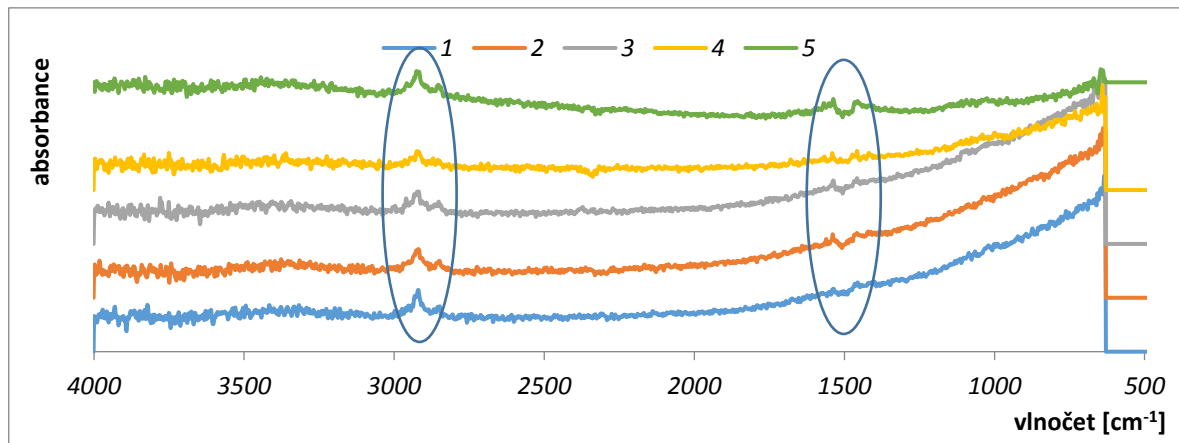
U všech destiček se vyskytují pásy na vlnočtech $2955\text{--}2915\text{ cm}^{-1}$, $2889\text{--}2829\text{ cm}^{-1}$. V prvním případě jde o funkční skupinu --CH_2 , ve druhém případě jde o funkční skupinu --CH_3 . Pravděpodobně se jedná o alifatické uhlovodíky, které mají původ ve změkčovadlech, která se přidávají do kaučukových směsí z důvodu lepší zpracovatelnosti.

U destiček č. 1, 2 a 3 se vyskytují nepatrné pásy na vlnočtech $1550\text{--}1510\text{ cm}^{-1}$ a $1470\text{--}1440\text{ cm}^{-1}$. U destičky č. 4 se tyto pásy neprojeví, u destičky č. 5 byly nejvýraznější. V případě pásu na vlnočtu $1550\text{--}1510\text{ cm}^{-1}$ se jedná o funkční skupinu --CO-NH- , v případě pásu na vlnočtu $1470\text{--}1440\text{ cm}^{-1}$ se jedná o funkční skupinu --CH_2 . V případě --CO-NH- se může jednat o amidy, které jsou derivátem karboxylových kyselin. Vyskytují se pravděpodobně opět ve změkčovadlech. Amidy vznikají náhradou skupiny --OH za skupinu amidovou --NH_2 .

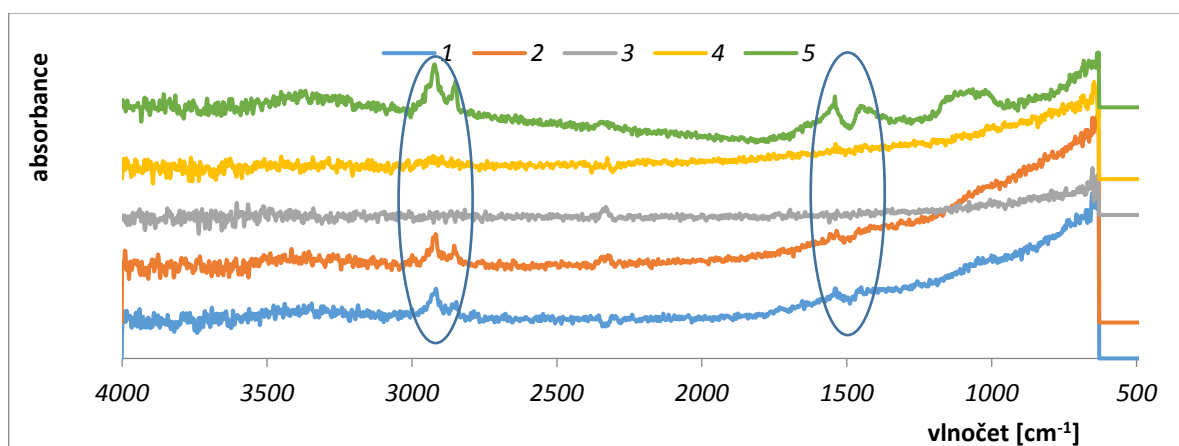
V následujících grafech jsou uvedeny křivky pro jednotlivé materiály destiček pro daný počet lisovacích cyklů. V grafu (Graf.6) jsou uvedena získaná IČ spektra pro všechny destičky před lisováním. V grafu (Graf. 7) jsou uvedena získaná IČ spektra pro všechny destičky po 100 lisovacích cyklech. V poslední grafu (Graf. 8) jsou uvedena získaná IČ spektra pro všechny destičky, které byly měřeny po 200 lisovacích cyklech.



Graf 6. Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro destičky před lisováním



Graf 7. Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro destičky po 100 lisovacích cyklech

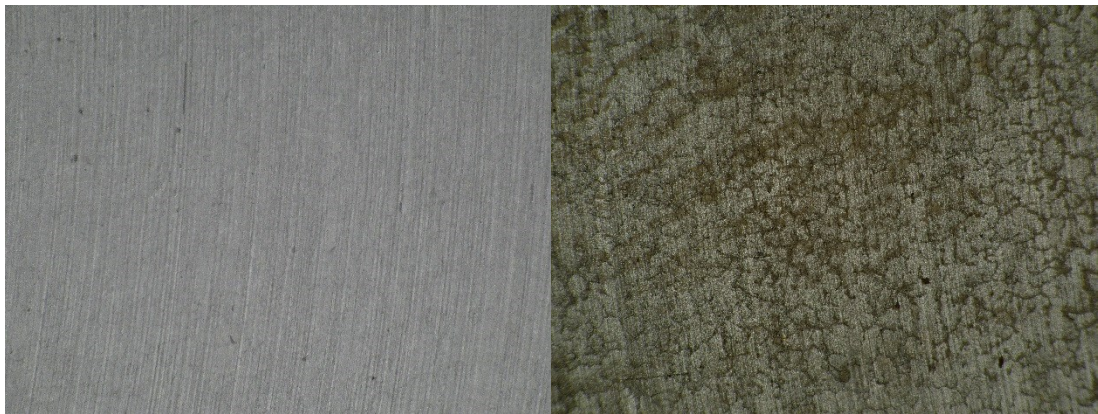


Graf 8. Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro destičky po 200 lisovacích cyklech

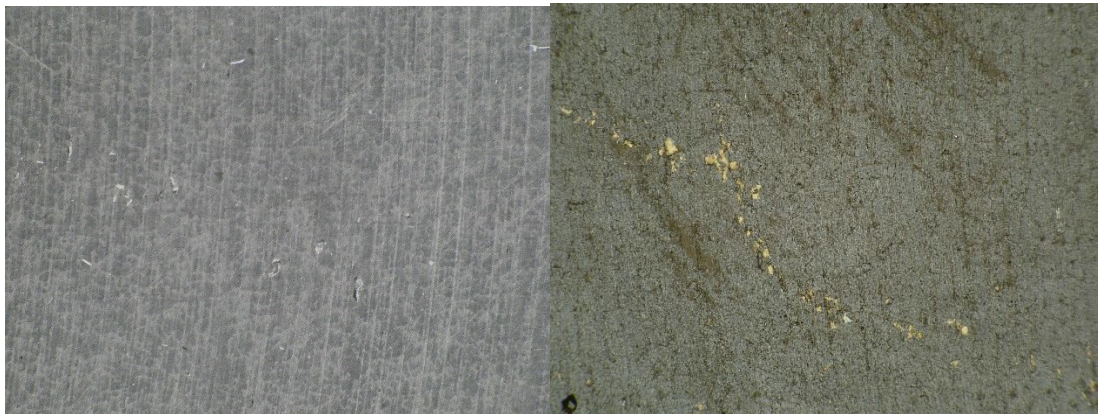
Z IČ spekter vyplývá, že nejnižší píky pásů spekter byly detekovány u zkušebních destiček č. 3 a 4. Destička č. 3 byla vyrobena ze slitiny hliníku, má nejmenší hodnoty drsnosti povrchu ze srovnávaných destiček ze slitiny hliníku. Destička č. 4 byla z oceli, povrchová vrstva destičky byla vyrobena pomocí 3D tisku. Obě destičky byly opatřeny vrstvou PVD – CrN. Podle tohoto výsledku jsou uvažovány destičky č. 3 a 4 jako destičky s nejlepším výsledkem. Horší výsledky prokázaly destičky č. 1 a 2, které byly obě vyrobeny ze slitiny hliníku, obě byly opatřeny vrstvou PVD – CrN. Oproti destičce č. 1 mají větší drsnost povrchu. Nejhoršího výsledku bylo dosaženo u destičky č. 5, která hrála roli porovnávací destičky. Byla vyrobena třískovým obráběním z nástrojové oceli.

10.3 Pořízené fotografie

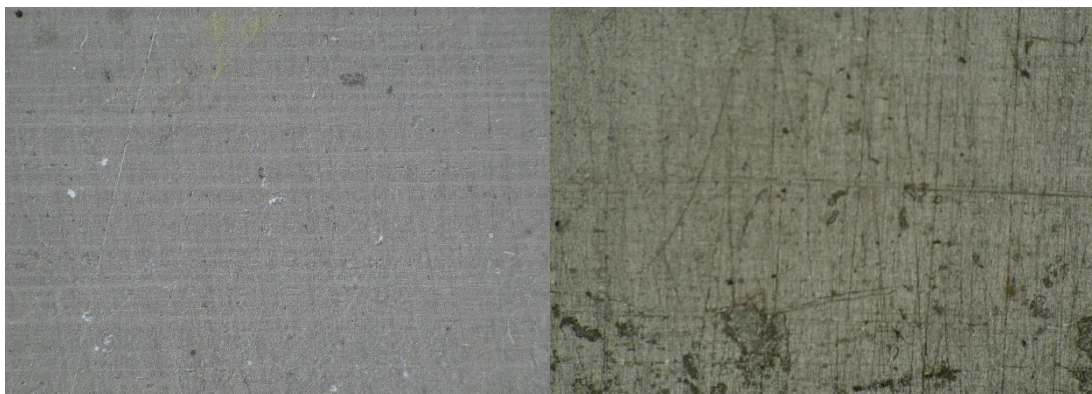
Fotografie destiček byly pořízeny před započítím lisování (na obrázku vlevo) a po 200 lisovacích cyklech (na obrázku vpravo). Bylo snahou fotografie destiček pořídit vždy přibližně ve stejném místě. Fotografie slouží pro doplnění informací zjištěných pomocí měření drsnosti povrchu a analýzy FTIR.



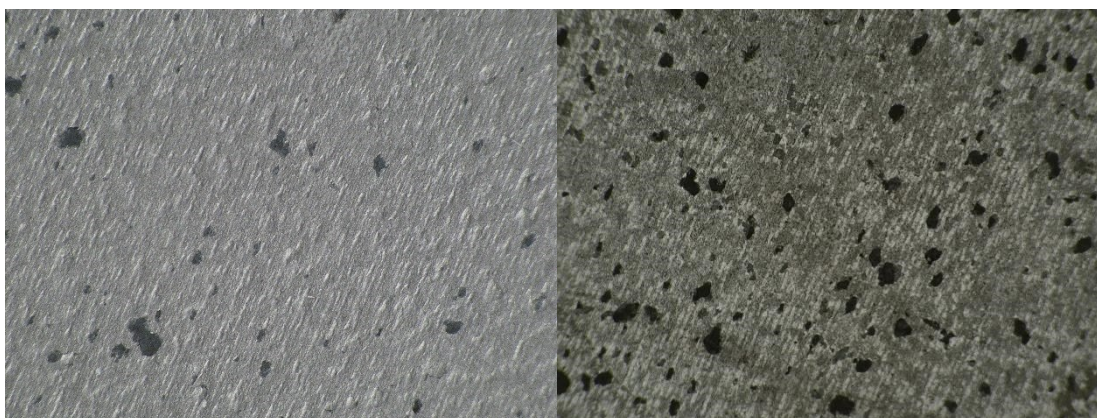
Obr. 10.21 Fotografie povrchu destičky 1 - vlevo před lisováním, vpravo po 200 lisovacích cyklech



Obr. 10.22 Fotografie povrchu destičky 2 - vlevo před lisováním, vpravo po 200 lisovacích cyklech



Obr. 10.23 Fotografie povrchu destičky 3 - vlevo před lisováním, vpravo po 200 lisovacích cyklech



Obr. 10.24 Fotografie povrchu destičky 4 - vlevo před lisováním, vpravo po 200 lisovacích cyklech



Obr. 10.25 Fotografie povrchu destičky 5 - vlevo před lisováním, vpravo po 200 lisovacích cyklech

Fotografie povrchu pořízené před a po experimentu (Obr. 10.22.-.10.26) nepotvrzují výsledky získané analýzou FTIR (Graf 1 – 8), a to, že nejlepší povrch se jeví na destičkách č. 3 a 4 a nejhorší na destičce č. 5. Na fotografiích pořízených po 200 lisovacích cyklech jsou jasně viditelné známky znečištění, které nebyly analýzou FTIR prokázány.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zjistit vliv materiálu, jednotlivých povrchových úprav a drsnosti povrchu na míru kontaminace dutiny formy. Dutina formy byla vystavena lisování, konkrétně byla lisována bočnicová kaučuková směs v počtu 200 lisovacích cyklů. K vyhodnocení míry kontaminace byly zvoleny 3 metody. Jako první metoda byla použita bezkontaktní metoda snímání drsnosti povrchu pomocí optického profiloměru. Další metodou byla infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací FTIR. Poslední zvolenou metodou byla vizuální kontrola povrchu pomocí snímků.

K experimentální části bylo vybráno 5 odlišných destiček, jež se lišily povrchovou úpravou, drsností povrchu a použitým materiálem. Mezi destičky, které jsou v práci zkoumány byly zařazeny 3 destičky vyrobené ze slitiny hliníku AlMg₃Si₁, na tyto destičky byla nanesena vrstva PVD-CrN. Destičky se lišily pouze vlastní drsností, která byla deklarována výrobcem. Na další destičku byla nanesena vrstva práškového materiálu 1.2709 pomocí technologie SLM, na tuto vrstvu byla následně nanesena vrstva PVD-CrN. Poslední destička byla vyrobena z materiálu 1.2316. Tato destička nebyla nijak povrchově upravena. Všechny destičky byly před lisováním důkladně očištěny technickým benzínem a acetonem od prachu a nečistot.

Před samotným lisováním byla změřena drsnost destiček na optickém profiloměru, provedena FTIR analýza a pořízeny fotografie povrchů. Lisování probíhalo v laboratořích FT UTB na hydraulickém vulkanizačním lisu. V první etapě lisování bylo zhotoveno 100 výlisků, které byly následně podrobeny analýze FTIR. V druhé etapě lisování bylo opět vylisováno 100 výlisků. Po dokončení lisování byla stanovena drsnost povrchu optickým profiloměrem po 200 lisovacích cyklech, vyhotovena analýza FTIR a pořízeny fotografie povrchu.

FTIR analýza prokázala na zkušebních destičkách přítomnost funkčních skupin –CH₂ a CH₃, pravděpodobně se jedná o alifatické uhlovodíky, které mohou pocházet ze změkčovadel. Dále se v IČ spektrech projevila funkční skupina –CO-NH. Může se jednat o amidy, které se mohou vyskytovat také ve změkčovadlech. Podle IČ spekter se jeví jako nejméně kontaminované zkušební destičky č. 3 a 4, nejvíce kontaminovaná je pak destička č. 5. Ovšem pořízené fotografie tyto závěry nepotvrzují.

Podle vzhledu zkušebních destiček po 200 lisovacích cyklech byl předpoklad, že se v IČ spektrech projeví více pásů nebo budou pásy výraznější. Vzhledem k tomu, že se tak nestalo,

je důvod se domnívat, že na zkušebních destičkách ulpěly látky, které se v IČ spektrech neprojevily. Proto by bylo vhodné v příštích experimentech hledat a zařadit další zkušební metodu, která by pomohla odhalit další složky kontaminantů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Ducháček, V. Hrdlička, Z. Gumárenské suroviny a jejich zpracování. Praha, 2009. ISBN: 978-80-7080-713-2
- [2] Kaučuk, [online]. [cit.2018-10-12]. Dostupný z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kau%C4%8Duk>
- [3] Přírodní kaučuk, [online]. [cit.2018-10-12]. Dostupný z: <http://www.resinex.cz/polymerove-typy/natural-rubber.html>
- [4] Gumárenská technologie I. Žilinská univerzita v Žiline, 1998. ISBN:80-7100-483-9
- [5] Gumárenská směs, [online]. [cit.2018-10-14]. Dostupný z: <http://mn-kk.free-page.cz/nova-stranka-155756/>
- [6] Přísady kaučukové směsi, [online]. [cit.2018-10-15]. Dostupný z: http://www.mojechemie.cz/Organick%C3%A1_Chemie:Makromolekul%C3%A1rn%C3%AD_1%C3%A1tky
- [7] Chloroprenový kaučuk, [online]. [cit.2018-10-15]. Dostupný z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2400>
- [8] KOMÁREK, Zdeněk. *Přehled výroby pryže*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1973. Knihnice dělníka v chemickém průmyslu.
- [9] D. A. Hills. Heat transfer & vulcanisation of rubber. New Zealand Branch, 1971. Institution of the Rubber Industry
- [10] MARCÍN, Jiří. *Vulkanizace*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1972. Knihnice dělníka v chemickém průmyslu.
- [11] Morávek, O. Baborovský, V. *Nástrojové materiály a tepelné zpracování nástrojů*, Praha: Nakladatelství technické literatury, 1972.
- [12] *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů. Díl 2.* Brno: Uniplast, 1999,
- [13] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II. 2., opr. a rozš. vyd.* Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [14] Ocel na výrobu forem, [online]. [cit.2018-11-29]. Dostupný z: <https://www.lentus-ocel.cz/ocel-na-vyrobu-forem>
- [15] Kaštánek, O. *Strojírenské materiály a technologie*. Brno: Ediční středisko VUT Brno

- [16] Machek, V. Sodomka, J. Speciální kovové materiály. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. ISBN:978-80-01-04212-0
- [17] POVRCHOVÁÚPRAVA, [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupný z: <http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/casopisy/pu-2007-03.pdf>
- [18] PVD, [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupný z: <http://www.pvd.cz/uvod1.html>
- [19] PVD, [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupný z: http://www.fz-juelich.de/iek/iek-1/EN/Expertise/Duennschichttechnologien/PVD_CVD.html?nn=511122
- [20] ATEAM. ZCU, [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupný z: http://www.ateam.zcu.cz/tenke_vrstvy_fel_1.pdf
- [21] HAZLINGER, Marián a Roman MORAVČÍK. Chemicko-tepelné spracovanie materiálov. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2013. ISBN 978-80-227-3924-5.
- [22] HORNSBY, Peter R., Inderjeet SINGH, John R. DALEY a John FIRTH. Characterization of mold fouling during elastomer injection molding [online]. [cit. 2018-12-24]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.24450>
- [23] 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]. [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/sia.3799>
- [24] HORNSBY, Peter R., Inderjeet SINGH, John R. DALEY a John FIRTH. Mould fouling of elastomers during injection moulding[online]. [cit. 2018-12-24]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1179/174328906X143831>
- [25] Knedla, O. Technická pryž. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1973. Knižnice dělníka v chemickém průmyslu.
- [26] Leptov, V.A. Technická pryž. Leningrad: nakladatelství Goschimizdat, 1959
- [27] Lisování pryže, [online]. [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/09.htm
- [28] 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.

- [29] PREKOP, Štefan. Gumárenská technológia II. Trenčín: GC TECH Ing. Peter Gerši, 2003, 370 s. ISBN 808891485X.
- [30] Metoda CVD, [online]. [cit. 2018-12-26]. Dostupný z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/
- [31] CVD povlakování. [online]. [cit.2019-02-14]. Dostupný z: <https://www.plasticportal.sk/sk/podla-cinnosti/vUhZ-as/f/367/#gallery-5>
- [32] Davin, J. Paulo. Surface integrity in machining. London: Springer, 2009. ISBN 978-1-84882-873-5
- [33] PVD nástroje. [online]. [cit. 2018-12-26]. Dostupný z: <http://www.nako-mb.cz/cs/povlakovani-nastroju/>
- [34] Inhibitors of vulkanizatin. [online]. [cit.2019-02-13]. Dostupný z: <http://www.no-cil.com/Downloadfile/DTechnicalNote>
- [35] Kaučukovník. [online]. [cit.2019-02-14]. Dostupný z: <https://www.kopeko.cz/blog/35-prirodni-a-synteticky-latex/>
- [36] Nástrojové oceli. [online]. [cit.2019-02-14]. Dostupný z: <http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/>
- [37] Optimum vulkanizace. [online]. [cit.2019-02-14]. Dostupný z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_04.pdf
- [38] Slitiny hliníku. [online]. [cit.2019-02-14]. Dostupný z: <https://www.modelarna-klima.cz/formy-pro-lisovani-plastu-1/>
- [39]. Injection of elastomers. [online]. [cit.2019-02-14]. Dostupný z: <https://core.ac.uk/download/pdf/44401329.pdf>
- [40] Laserové čištění forem. [online]. [cit.2019-02-14]. Dostupný z: <https://www.plasticportal.cz/cs/Cisteni-forem-laserem-od-spolecnosti-dysk-spol-s-ro/c/5362/>
- [41] CVD povlakování. [online]. [cit.2019-02-14]. Dostupný z: [http://www.ticoating.com/cvd-coatings/#iLightbox\[gallery-2\]/2](http://www.ticoating.com/cvd-coatings/#iLightbox[gallery-2]/2)
- [42] SLM technology. [online]. [cit.2019-05-18]. Dostupný z: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/selective-laser-melting>

- [43] Výškové parametry. [online]. [cit.2019-05-14]. Dostupný z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyskove-parametry-textury-povrchu.html>
- [44] SLS technologie. [online]. [cit.2019-03-22]. Dostupný z: <https://www.easy-cnc.cz/inpage/informace-o-technologiech-3d-tisku/>
- [45] SLS technologie. [online]. [cit.2019-03-22]. Dostupný z: <https://www.3d-tisk.cz/selective-laser-sintering/>
- [46] SLS technologie. [online]. [cit.2019-03-22]. Dostupný z: <https://www.sculpteo.com/en/materials/sls-material/>
- [47] SLS technologie. [online]. [cit.2019-03-22]. Dostupný z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642515000389>
- [48] SLS technologie. [online]. [cit.2019-03-22]. Dostupný z: <http://technology-applied.com/materials-technology/>
- [49] GEBHARDT, Andreas. Understanding additive manufacturing: rapid prototyping-rapid tooling - rapid manufacturing. Munich: Hanser, c2012. ISBN 978-1-56990-507-4.
- [50] SLM Technology. [online]. [cit.2019-05-18]. Dostupný z: <https://www.sculpteo.com/en/materials/slm-material/>
- [52] Chemické složení 1. 2709. [online]. [cit.2019-05-18]. Dostupný z: <http://toolsteel.cz/1-2709-x3nicomoti18-9-5/>
- [53] Chemické složení 1. 2316. [online]. [cit.2019-05-18]. Dostupný z: <http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/na-vyrobu-forem/w-nr-12316/>
- [54] Chemické složení AlMg₃Si₁. [online]. [cit.2019-05-18]. Dostupný z: <https://books.google.cz/books?id=g-aUf3nM6AEC&pg=PT103&lpg=PT103&dq=AlMg3Si1&source=bl&ots=ohNikI#v=onepage&q=AlMg3Si1&f=false>
- [55] Alpha technologies Premier MDR. [online]. [cit.2019-05-18]. Dostupný z: <http://alpha-technologies.com/products/premier-mdr>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ISO	Mezinárodní norma
ASTM	Americká státní norma
SBR	Butadien styrenový kaučuk
BR	Butadienový kaučuk
IR	Izoprenový kaučuk
CR	Chloroprenový kaučuk
EPDM	Ethylen-propylen-dienový kaučuk
ZnO	Zinková běloba
AlMg ₃ Si ₁	Slitina hliníku
CH ₃	Methyl
CH ₂	Methylen
CO-NH	Peptidová vazba
NH ₂	Aniont amidů
Al ₂ O ₃	Oxid hlinitý
CrN	Nitrid chromu
ZnSe	Selenid zinečnatý
Al	Hliník
Cu	Měď
Si	Křemík
Zn	Zinek
Mn	Mangan
Ni	Nikl
N	Dusík
B	Bor

Cr	Chrom
Ti	Titan
Au	Zlato
Ag	Stříbro
Pb	Olovo
Mg	Hořčík
Mo	Molybden
Fe	Železo
P	Fosfor
Co	Kobalt
W	Wolfram
S	Síra
TiN	Nitrid titanu
TiC	Karbid titanu
TiCN	Karbonitrid titanu
SiC	Karbid křemíku
atd	a tak dále
např.	například
apod.	A podobně
cm	Centimetr
mm	Milimetr
μm	Mikro milimetr
hm%	Hmotnostní procento
MPa	Mega Pascal
Pa	Pascal
°C	Stupeň Celsia

HV	Tvrdost dle Vickerse
PVD	Physical Vapour Deposition
CVD	Chemical Vapour Deposition
SLM	Selective Laser Melting
SLS	Selective Laser Sintering
FTIR	Fourierova transformace
ATR	Attenuated total reflection
IČ	infračervený
Ra	Střední aritmetická úchylka posuzovaného profilu
Sa	Aritmetický průměr posuzovaného topografického povrchu

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1.1 Kaučukovník [35] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 1.2 Rozdělení kaučuků –upraveno [1] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 2.1 Vulkanizační křivka [28] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 2.2 Závislost kroutícího momentu na čase [29] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 2.3 Stanovení optima vulkanizace na základě pevnosti v tahu. [37] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 3.1 Tlakové lisování A-vložení navážky, B-lisování, C-vyhození vylisku [27] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 3.2 Lisování přetlačováním [27] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 3.3 Vstřikování elastomerů [39] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 4.1 Možnost využití nástrojové oceli [36] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 4.2 Ukázka lisovací formy ze slitiny hliníku [38] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 5.1 Proces PVD nanášení [22] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 5.2 Využití PVD povlaků [33] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 5.3 Princip metody CVD [30] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 5.4 Ukázka povlakované součásti metodou CVD [41] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 5.5 Povlakování části formy metodou CVD [31] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 5.6. Součást vyrobená SLM technologií [50] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 5.7 Princip výroby SLM součástí [42] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 5.8 Součástka vyrobená technologií SLS [46] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 5.9 Popis výroby SLS technologie [44] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 6.1 Příklad kontaminace povrchu formy [23] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 6.2 Povrch kovové formy [32] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 6.3 Čištění dutiny formy pomocí laseru [40] Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 9.1 Použité destičky Chyba! Záložka není definována.*
- Obr. 9.2 Reometr Alpha technologies Premier MDR [54] Chyba! Záložka není definována.*

- Obr. 9.3 Použitý hydraulický vulkanizační lis IGTT **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 9.4 Prázdna dutina formy před vložením nálože **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 9.5 Forma připravená k lisování **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 9.6 Lisování kaučukové směsi **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 9.7 Otevřená forma po vylisování **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 9.8. Analýza FTIR..... **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 9.9 Optický profiloměr Zygo NV 830061
- Obr. 9.10 Měření povrchu destičky **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 9.11 Vyhodnocované parametry [43] **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.1 Naměřená drsnost destičky 1 před lisováním-první měřené místo.... **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.2 Naměřená drsnost destičky 1 před lisováním-druhé měřené místo... **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.3 Naměřená drsnost destičky 1 po 200 lisovacích cyklech-první měřené místo **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.4 Naměřená drsnost destičky 1 po 200 lisovacích cyklech-druhé měřené místo **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.5 Naměřená drsnost destičky 2 před lisováním-první měřené místo.... **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.6 Naměřená drsnost destičky 2 před lisováním-druhé měřené místo... **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.7 Naměřená drsnost destičky 2 po 200 lisovacích cyklech-první měřené místo **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.9 Naměřená drsnost destičky 2 po 200 lisovacích cyklech-druhé měřené místo **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.10 Naměřená drsnost destičky 3 před lisováním-první měřené místo.. **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.11 Naměřená drsnost destičky 3 před lisováním-druhé měřené místo. **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.12 Naměřená drsnost destičky 3 po 200 lisovacích cyklech-první měřené místo **Chyba! Záložka není definována.**

- Obr. 10.13 Naměřená drsnost destičky 3 po 200 lisovacích cyklech-druhé měřené místo **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.14 Naměřená drsnost destičky 4 před lisováním-první měřené místo.. **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.15 Naměřená drsnost destičky 4 před lisováním-druhé měřené místo. **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.16 Naměřená drsnost destičky 4 po 200 lisovacích cyklech-první měřené místo **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.17 Naměřená drsnost destičky 4 po 200 lisovacích cyklech-druhé měřené místo **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.18 Naměřená drsnost destičky 5 před lisováním-první měřené místo.. **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.19 Naměřená drsnost destičky 5 před lisováním-druhé měřené místo. **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.20 Naměřená drsnost destičky 5 po 200 lisovacích cyklech-první měřené místo **Chyba! Záložka není definována.**
- Obr. 10.21 Naměřená drsnost destičky po 200 lisovacích cyklech-druhé měřené místo **Chyba! Záložka není definována.**

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Chemické složení $AlMg_3Si_1$ [53]</i>	54
<i>Tab. 2. Chemické složení 1.2709 [51]</i>	54
<i>Tab. 3. Chemické složení 1. 2316 [52]</i>	55
<i>Tab. 4 Orientační složení kaučukové směsi</i>	56
<i>Tab. 5. Přehled vyhodnocovaných parametrů</i>	61
<i>Tab. 6 Naměřené hodnoty pomocí optického profiloměru Zygo NV 8300</i>	73

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf 1. Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro 1. destičku</i>	<i>74</i>
<i>Graf 2. Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro 2. destičku</i>	<i>74</i>
<i>Graf 3 Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro 3. Destičku</i>	<i>75</i>
<i>Graf 4 Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro 4. destičku</i>	<i>75</i>
<i>Graf 5 Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro 5. destičku</i>	<i>75</i>
<i>Graf 6. Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro destičky před lisováním</i>	<i>76</i>
<i>Graf 7. Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro destičky po 100 lisovacích cyklech</i>	<i>77</i>
<i>Graf 8. Naměřené hodnoty pomocí analýzy FTIR pro destičky po 200 lisovacích cyklech</i>	<i>77</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P I: Vulkanizační charakteristiky

PŘÍLOHA P I: VULKANIZAČNÍ CHARAKTERISTIKY

Alpha Technologies



11/04/2019 11:04:45

Quick report

Page 1 of 1

Sample information

Batch/Descr	1	Company	ulb
Material	FMO-S00211		

Instrument information

Instrument type:	MDR2000	Instrument model:	Premier
Instrument name:	Premier MDR	Instrument serial no.:	

Premier MDR Poschl 160C : Completed

Start time : 11/04/2019 10:45:25 End time : 11/04/2019 11:00:23

Setpoints

Test Time	15 min	Test Temp	160 C
-----------	--------	-----------	-------

Datapoints

Variable	Result	Unit	LSL	LWL	UWL	USL	Status
ML	1.53	dNm					Tested
MH	13.18	dNm					Tested
Max Rate	5.36	dNm/min					Tested
Final Torque	12.99	dNm					Tested
TS1 dNm	3.08	min					Tested
T10	3.30	min					Tested
T50	4.65	min					Tested
T90	6.98	min					Tested

	tanD	S"	Time
	[]	dNm	min
MaxRate			4.30
MH	0.02	0.26	
ML		1.26	

Charts

