

ABSTRAKT

Abstrakt česky

V předložené bakalářské práci jsou popsány změny vybraných fyzikálně chemických úprav povrchů syntetických polymerních materiálů používaných v technické praxi účinkem nízkoteplotního plazmatu.

Abstrakt ve světovém jazyce

In the Bachelor thesis presented the selected physical and chemical modifications of synthetic polymers surfaces used in technical praxis treated by low temperature physical plasma were described.

Za odborné vedení, cenné připomínky a návrhy k vypracování této bakalářské práce děkuji svému vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. L. Lapčíkovi, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Slavičíně dne 26.5.2005

.....

podpis

OBSAH

<u>OBSAH</u>	5
<u>1.ÚVOD</u>	6
1.1. FYZIKÁLNÍ PODSTATA PLAZMY.....	7
1.1.1 Výhody a nevýhody plazmových technologií.....	7
1.1.2. Základní fyzikální parametry charakterizující plazma.....	8
1.2. ZDROJE PLAZMY.....	10
1.2.1. Plynové zdroje plazmy.....	10
1.2.2. Laserové plazmové zdroje.....	10
1.3. MODIFIKACE POVRCHU POMOCÍ PLAZMATU.....	10
1.3.1. Povrchové čištění, leptání a naprašování.....	11
1.3.2. Plazmová implantace.....	12
1.3.3. Plazmová depozice.....	13
1.3.4. Duální plazmová depozice.....	13
1.3.5. Plazmová polymerace.....	13
1.3.6. Plazmové roubování - kopolymerace.....	14
1.3.7. Laserová ablace.....	15
1.3.8. Plazmové naprašování.....	15
<u>ZÁVĚR</u>	16
<u>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</u>	17

1.ÚVOD

Na počátku třetího tisíciletí představují polymerní materiály nejvýznamnější segment ze všech materiálů podle objemu výroby a spotřeby. V konkurenci s klasickými materiály, zejména kovy, se polymery prosadily především svojí snadnou zpracovatelností, nízkou měrnou hmotností a obecně výhodným poměrem mezi užitnými vlastnostmi a cenou.

V oblasti polymerních materiálů probíhá právě v současné době velmi zajímavý vývoj. Objevují se nečekané oblasti jejich aplikací a současně netušené možnosti modifikací jejich vlastností. Vývoj se odehrává v podstatě ve dvou směrech: Na jedné straně se neobyčejně rozšiřují aplikace tzv. komoditních polymerů, které samozřejmě souvisejí s nejnovějšími výsledky vývoje a výzkumu jejich modifikací. Na druhé straně pokračuje velmi intenzivní výzkum polymerních materiálů pro speciální aplikace v elektronice, při záznamu informací a pro náročné biolékařské účely. Orientace ve všech těchto výrobních a aplikačních oblastech není snadná. Právě tak je obtížné spolehlivě předpovědět další vývoj. Je však zřejmé, že vývoj bude pokračovat v obou zmíněných směrech a úspěch jednotlivých materiálů vyvinutých základním a průmyslovým výzkumem bude v rozhodující míře ovlivněn cenou, přesněji řečeno poměrem mezi cenou a užitnou hodnotou (price/performance ratio).

1.1. FYZIKÁLNÍ PODSTATA PLAZMY

1.1.1. Výhody a nevýhody plazmových technologií.

Plazma může být vytvořeno mnoha různými způsoby: elektrickým polem, zahříváním, laserovým zářením a chemickými procesy. Je-li plyn vystaven působení elektrického pole, náhodně přítomné volné elektrony (např. z kosmického záření nebo radioaktivity pozadí) jsou urychlovány a dochází k jejich pružným a nepružným srážkám. V případě nepružných srážek může dojít k ionizaci a současnému uvolnění sekundárních elektronů. Nastává lavinový efekt za současného vzniku iontů, atomů, metastabilů, volných radikálů a elektromagnetického záření.

Plazma může existovat ve třech formách: v úplné termodynamické rovnováze (teplota všech částic je stejná, např. hvězdná plazma), lokální termodynamické rovnováze (částice mají stejnou teplotu mimo fotony, např. elektrický oblouk) a v nerovnovážném stavu (teplota elektronů ($\approx 10\,000\text{ K}$) zdaleka převyšuje teplotu ostatních částic plynu ($300 - 500\text{ K}$). S rovnovážnou plazmou se pracuje v oblastech anorganických chemických syntéz, jaderné fúze, metalurgie atd..

Nerovnovážná plazma otvírá cestu k reakcím bez nutnosti tepelné aktivace. V případech bez přítomnosti magnetického pole je stupeň ionizace nízký ($10^{-5} - 10^{-1}$), takže plyn obsahuje hlavně neutrální částice při laboratorní teplotě. Střední energie elektronů se pohybuje v rozmezí $1 - 30\text{ eV}$, ovšem pouze elektrony z horního konce energetického spektra jsou schopny vyvolat ionizaci. Nerovnovážné plazma umožňuje při nízkých teplotách průběh reakcí, které jsou jinak z termodynamického hlediska nemožné.

Obecně lze výhody plazmových postupů při práci s polymery shrnout do následujících bodů:

- Modifikace se může provést pouze v povrchové vrstvě bez toho, aniž by se změnila vlastnosti v objemu samotného materiálu.
- Excitované částice v plazmovém plynu mohou modifikovat povrchy všech polymerů, bez ohledu na jejich strukturu a chemickou reaktivitu.

- Volbou pracovního plynu je možné určit typ chemické modifikace povrchu polymeru.
- Použití plazmového plynu může odstranit problémy, které se objevují při běžných chemických technikách, jako například zbytky rozpouštědla na povrchu nebo botnání substrátu.
- Modifikace je rovnoměrná na celém povrchu.

Naopak mezi nevýhody patří:

- Plazmová úprava se musí provádět ve vakuu. Tento požadavek prodražuje použití této technologie.
- Parametry procesu jsou silně závislé na geometrii použité aparatury, optimalizované podmínky pro jedno zařízení nemohou být použity automaticky pro druhé
- Škálování laboratorních podmínek na velký výrobní reaktor je velmi komplikovaný proces.
- Plazmový proces je extrémně komplexní jev, je obtížné porozumět všem vzájemným interakcím mezi plazmatem a povrchem, což je nezbytné pro plnou kontrolu všech parametrů jako objem, frekvence, příkon, průtok plynů, složení a tlak plynů, teplota vzorků, geometrie reaktoru, atd.
- Je velmi obtížné přesně regulovat množství jednotlivých funkčních skupin vznikajících na povrchu.

1.1.2 Základní fyzikální parametry charakterizující plazma

Obecně lze plazma definovat jako plyn sestávající z různých typů částic, jako např. elektronů, kladných a záporných iontů, excitovaných molekul s různým stupněm excitace, volných radikálů a fotonů různých energií. Ionty a radikály vznikají při srážkách elektronů a iontů. Náboje v plazmatu se pohybují působením elektrického pole a získávají kinetickou energii. Z kinetické teorie lze odvodit vztah mezi translační kinetickou energií molekul plynů a absolutní teplotou:

$$E_t = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT$$

kde je	m	hmotnost molekuly
	v^2	střední hodnota čtverců rychlosti molekul
	k	Boltzmannova konstanta
	T	absolutní teplota

Teplota je tak mírou energie. Elektrony, které jsou mnohem lehčí než ionty nebo neutrální částice ($1836 \times$ lehčí než proton), se pohybují mnohem většími rychlostmi a přísluší jim tak mnohem vyšší teploty než iontům a neutrálním částicím. Střední energie elektronů je vyjádřena elektronovou teplotou T_e . Fyzikální jednotkou, která se používá k vyjádření elektronové teploty, je 1 elektronvolt (eV). Ten je ekvivalentní teplotě přibližně 11 600 K. Elektronová teplota 2 eV potom odpovídá teplotě 23 200 K. To ovšem nesouvisí s teplotou např. stěny reaktoru, protože tepelná kapacita elektronu je velmi malá. Vyšší teploty dosahují rovněž ionty ve srovnání s neutrálními částicemi. Důsledkem toho je, že v závislosti na složení plazmy se může teplota měnit v širokém rozsahu. Tak např. v doutnavém výboji je teplota iontů a molekul přibližně rovna teplotě okolního prostředí, zatímco teplota elektronů je vyšší 10 až 100krát. Plazma vznikající v doutnavém výboji se proto nazývá nerovnovážné, protože elektronová teplota je mnohem vyšší než teplota plynu. Plazma je charakterizována elektronovou hustotou a energií elektronů.

Rozlišujeme plazmu o nízké elektronové energii – tzv. studenou plazmu, která zahrnuje např. mezihvězdnou plazmu, dále plazma alkalických par v plynu a zemskou ionosféru a nakonec hustou a horkou plazmu, používanou při řízené fúzi.

Ve stabilním stavu se musí rychlost ionizace rovnat rychlosti, kterou ubývají elektrony a ionty z objemu plazmy v důsledku rekombinací, difúzí nebo vedením mimo mezi elektrodový prostor. Pro udržení plazmatu je tedy nutno dodávat energii tak, aby mohla v daném objemu probíhat dostačující ionizace. Při aplikacích zaměřených na modifikaci povrchů nebo polymerizaci se iniciuje a udržuje plazma elektrickým polem ze stejnosměrných nebo střídavých zdrojů.

1.2. Zdroje plazmy

K vytvoření plazmatu je zapotřebí vytržení elektronu od atomu nebo molekuly absorpcí dostatečného množství energie od externího excitačního zdroje nebo srážkami s ostatními částicemi. Existuje řada plazmových zdrojů, nejběžnějšími jsou plynové zdroje, metalické zdroje a zdroje na bázi laseru. Základními charakteristikami těchto zdrojů jsou teplota elektronů, teplota iontů, elektronová hustota a jejich rozložení v plazmovém výboji.

1.2.1. Plynové zdroje plazmy

K zapálení výboje plynových zdrojů se používá vložený elektrický potenciál. Jeho velikost a rozložení závisí na tlaku a vzdálenosti mezi elektrodami.

1.2.2. Laserové plazmové zdroje

Při malé intenzitě laserového záření se páry vznikající během náběžné hrany světelného pulsu chovají jako tenká vrstva, kterou laserový paprsek prochází téměř bez útlumu. Při vysokých intenzitách laserového záření je teplota par dostatečně vysoká pro excitaci atomů a ionizaci. Páry absorbují dopadající záření, ustává vypařování a vzniká plazma.

1.3. Modifikace povrchu pomocí plazmatu

V závislosti na substrátu, chemickém složení plynu, struktuře reaktoru a provozních parametrech rozlišujeme čtyři základní typy působení plazmy:

- povrchové čištění – odstranění organických nečistot z povrchu,
- ablace neboli leptání materiálu z povrchu – odstranění povrchové vrstvy,
- naprašování,
- síťování nebo větvení molekul v blízkosti povrchu,
- modifikace povrchu, depozice

1.3.1. Povrchové čištění, leptání a naprašování

Při čistících a naprašovacích procesech dochází k odstraňování povrchové vrstvy materiálu buď tvorbou plynných složek nebo přímo fyzikálně mechanickým odstraněním. Používají se při těchto technikách inertní plyny jako neon, resp. argon. Argon pak díky relativně nízké ceně a vysoké efektivitě patří mezi nejpoužívanější.

Plasmové naprašování patří mezi jednoduché povrchové metody. Na substrát je přivedeno záporné předpětí (1 až několik kV) a generuje se obvykle argonový plazmový výboj rfGD nebo ECR. Ionty jsou v elektrickém poli urychlovány směrem k substrátu a díky poměrně malé energii nepronikají hluboko do materiálu. Velká část energie je prostřednictvím elastických a pružných srážek předána povrchovým atomům substrátu. Některé z nich tak mohou získat dostatek energie potřebné k odtržení z povrchu do vakuového reaktoru. Po odprášení první vrstvy atomů z povrchu jsou postupně narušovány a odstraňovány další vrstvy a při dostatečně dlouhém čase působení je možno odstranit celou kontaminovanou povrchovou vrstvu. Tento proces je možno využít pro následnou implantaci a depozici.

Interakce mezi plazmatem a polymerem může vést ke dvěma protichůdným dějům. Na jedné straně k modifikaci povrchu nebo k jeho degradaci. Převáží-li modifikace, dochází ke změnám vlastností na povrchu substrátu díky interakci mezi dopadajícími ionty a povrchovými atomy, kopolymeraci a plazmové polymeraci. Převáží-li degradační procesy, dochází k postupnému odleptávání vrstev z povrchu v závislosti na době expozice. Úbytek hmotnosti substrátu pak kromě času závisí na charakteru polymeru a na energii plazmatu. Polymery s obsahem kyslíkových skupin (ethery, karboxylové skupiny, esterové skupiny, apod.) jsou relativně citlivé na působení plazmatu, naopak polyolefiny bez substituentů nejsou. Celý proces se omezuje pouze na nejsvrchnější vrstvu materiálu a chemické, resp. fyzikální vlastnosti polymeru jako celku se v podstatě nemění. Zachovává se složení prvků, chemická struktura, stupeň polymerace, podíl krystalické fáze apod. Změna hmotnosti vzorku je tak způsobena především štěpením polymerních vazeb a chemickými reakcemi radikálů vznikajících na polymerním řetězci při expozici plazmatu.

Expozice v plazmatu může zlepšit vzájemnou adhezi polymerů s plazmaticky upravenými povrchy. Ve srovnání s chemickým čištěním plazmové čištění nezanechává na povrchu vrstvu organických nečistot, která pak negativně ovlivňuje samotnou adhezi.

1.3.2. Plazmová implantace

Plazmová implantace může navázat na povrch kovu (slitiny) nebo polymeru nové chemické prvky téměř bez termodynamických omezení.

V případě kovů a slitin se tato technika označuje jako tzv. plazma immersion ion implantation (PIII). Vzorek je obklopen vysoko hustotním plazmatem a je pulsně připojen k vysokému zápornému potenciálu vzhledem ke stěně reaktoru. Ionty generované v okolní plazmě jsou urychlovány a implantovány do jeho povrchu. Pro nepřítomnost iontové optiky je plazmový výboj velmi intenzivní. Oproti klasickým technologiím vyžívajícím usměrněný svazek částic lze PIII využít také pro vzorky s komplikovanými tvary, kde lze dosáhnout dobrou rovnoměrnost povrchové úpravy. Výhodnou možností je vícenásobné opracování buďto simultánně nebo po sobě následujícími implantacemi, leptáním či depozicí a to pouhou změnou parametrů bez přerušení vakua v reaktoru. Proces probíhá při nízké teplotě, navíc vzorek je možno průběžně chladit a tak jsou minimalizovány možné teplotní deformace. K buzení plazmatu se využívají kapacitně, resp. indukčně vázané rfGD zdroje nebo zdroje ECR. Jako zdroj plazmatu s kovovými ionty se využívá obloukový výboj s přidáním požadovaných kovových prvků.

PIII může být velmi efektivní při změnách celé řady povrchových vlastností jako například zvýšení odolnosti proti korozi nebo proti otěru, zvýšení tvrdosti atd. PIII může upravit povrch substrátu před následnou depozicí implantování vhodných plynných, resp. kovových prvků může zlepšit adhezi jednotlivých vrstev a na druhou stranu snížit tepelné napětí mezi vrstvou a základním materiálem. Podmínkou dostatečné rovnoměrnosti povrchové úpravy zvláště u komplikovaných tvarů substrátu je optimalizace celého procesu, zejména změnou hustoty plazmatu, šířkou záporného pulsu a velikosti použitého předpětí. Pro malé vzorky složitějších tvarů je výhodná vysoká hustota plazmatu, krátký puls s vysokou frekvencí.

Je-li opracovávaným materiál polymer, při vhodné volbě nastavených parametrů plazmového zdroje lze v blízkosti povrchu vytvořit nové funkční skupiny, popř. iniciovat síťování. Při typickém plazmovém implantačním procesu dochází nejdříve k abstrakci vodíku z polymerního řetězce za současného vzniku radikálů. Polymerní radikály pak následně rekombinují s radikály vznikajícími v plynném plazmatu za současného vzniku nejčastěji kyslíkových a dusíkových funkčních skupin. Platí, že volné radikály vznikající v plazmatu jsou při implantování účinnější než ionty.

Obecně možno polymery na bázi polyolefinů charakterizovat jako hydrofobní materiály. Jejich přeměna na hydrofilní zlepšuje pak adhezi, biokompatibilitu a další vlastnosti. Tvorba kyslíkových funkčních skupin je jednou z nejpoužívanějších a nejefektivnějších metod povrchové modifikace. Ke změně polymerního povrchu na hydrofilní se kromě kyslíkového plazmatu také používají směsi obsahující CO_2 , CO , NO_2 , NO . Také Cl funkční skupiny mohou přispívat ke zvýšení hydrofilního charakteru např. použitím CF_2C a CCl_4 . Opačný efekt, tedy zvýšení hydrofobního charakteru, lze dosáhnout se směsmi na bázi fluoru, např. SF_6 , CF_4 a C_2F_6 .

1.3.3 Plazmová depozice

Plazmová depozice umožňuje vytváření povrchové vrstvy materiálu s vlastnostmi často výrazně odlišnými od vlastností podkladového. Do této skupiny procesů patří duální plazmová depozice, kopolymerizace s plazmovým roubováním, plazmová polymerace, laserová ablace a plazmové naprašování.

1.3.4. Duální plazmová depozice

Při této technologii je generován plazmový výboj v pracovním plynu (rfGD zdroj) a současně obloukový výboj mezi kovovými elektrodami. Tato technologie našla největší uplatnění zejména při tvorbě povrchových tenkých vrstev. Taková vrstva složená z více prvků (plynných a kovových) se utváří jenom v jednom kroku bez nutnosti přerušování vakua v reaktoru. Protože obloukový výboj pracuje v pulsním režimu, dosahují se vysoké koncentrace kovových iontů a současně mohou mezi jednotlivými pulsy proběhnout depozice na poměrně velkém povrchu. Jsou-li substrát a deponovaná vrstva elektricky vodivé, lze změnou stejnosměrného napětí regulovat energii dopadajících iontů na vzorek.

Duální plazmová depozice se používá např. k syntéze složené TiN a TiO_2 vrstev. Obloukový výboj s Ti katodou spolu s rfGD výbojem a dusíkem jako pracovním plynem pak vytváří tenkou povrchovou vrstvu TiN . Po dosažení vhodné tloušťky se dusík nahradí kyslíkem a začne se deponovat vrstva TiO_2 . Prvkové složení vrstvy lze regulovat průtoky O_2 a N_2 . Vrstvy tohoto typu vykazují vynikající mechanické a biomedicínské vlastnosti.

1.3.5. Plazmová polymerace

Při plazmové polymeraci dochází k transformaci monomerů (s nízkou molekulární hmotností) na polymerní řetězec účinkem vysokoenergetických částic plazmy (elektronů, iontů a radikálů). Tím se plazmová polymerace liší od konvenční polymerace a plazmové

polymery se pak v mnoha případech také liší v případě shodného monomeru chemickým složením a fyzikálními vlastnostmi od běžných polymerů. Při plazmové polymeraci dochází k aktivaci monomerů na volné radikály, k rekombinaci vznikajících radikálů a k dalším reaktivacím a rekombinacím molekul. Vzniklé polymery neobsahují opakující se monomerní jednotky, ale složitější vzájemně zesíťované jednotky, rozdělené nebo nově uspořádané z molekul původního monomeru. Obvykle tyto materiály dosahují vyšších hodnot modulu pružnosti a obvykle teplota skelného přechodu T_G u těchto materiálu není jednoznačně vymezena.

Uhlovodíky metan, etan, etylén, acetylén a benzen se často používají k plazmové polymeraci tenkých uhlovodíkových vrstev. Zvýšená mikrotvrdost, optický index lomu a nepropustnost zlepšují řadu vlastností, např. odolnost vůči abrazi.

Plazma obsahující anorganické plyny fluoru, fluorovodíku, NF_3 , SF_4 , SF_6 jako monomeru vede ke vzniku hydrofobních polymerů. Použití orga-silikonových monomerů výrazně zlepšuje tepelnou a chemickou odolnost a také elektrické, optické a biomedicínské vlastnosti opracovaných materiálů. Nejpoužívanější organo-silikonové materiály jsou silany, disilany ($SiSi$), disiloxany ($SiOSi$), disilazany ($SiNHSi$) a disilthyany ($SiSSi$).

1.3.6. Plazmové roubování – kopolymerace

Při expozici polymerního materiálu v plazmatu vznikají v polymerním řetězci radikáli. Tyto mohou iniciovat v případě jejich kontaktu s monomery v kapalně nebo plynné fázi polymerační reakce. Tím mohou v povrchové vrstvě vznikat roubované kopolymery. Při této technice je prvním krokem expozice polymerního materiálu do plazmatu s cílem vytvoření radikálů v povrchové vrstvě substrátu. Radikály vznikají nepružnými srážkami elektronů s polymerními řetězci na povrchu. Pak následuje expozice v parách monomeru, resp. s vodnými nebo organickými roztoky monomerů. Protože radikály vznikají pouze v blízkosti povrchu, je plazmové roubování omezeno jen na tuto oblast.

Plazmové roubování – kopolymerace se často používá pro dosažení změny povrchové hydrofility. Následuje po expozici v Ar, He nebo N_2 plazmatu (po dobu několik sekund). Vzniklé radikály pak zůstávají na opracovaném povrchu po dobu několika dní. Následně je polymer vystaven působení par monomeru za zvýšené teploty. Přítomnost O_2 v parách nebo roztocích monomeru brzdí reakci a proto by měla být eliminována.

1.3.7. Laserová ablace

Během laserové ablace je plazmový oblak generován v blízkosti povrchu terčíku laserovým paprskem a odrážen na substrát tak, aby vznikla povrchová vrstva. Kritickými parametry jsou hustota a kinetická energie plazmatu. Tloušťka vrstvy a její složení má kosinové prostorové rozdělení. Částice vyražené z terčíku lze také rozdělit na částice s úzkým rozdělením (přímo vyražené) a se širokým rozdělením (odpovídá tepelnému vypařování). Důležitou pozorovanou vlastností je skutečnost, že složení povrchové vrstvy procházející z částic s úzkým rozdělením je velmi blízké složení terčíku.

Optimální uspořádání závisí na vzájemné poloze terčíku a substrátu (běžná vzdálenost 2 – 5 cm) a na tlaku plynu. Důležitá je rovněž čistota terčíku, přičemž platí, že materiály o vyšší hustotě poskytují kvalitnější povrchové vrstvy s méně defekty.

Laserová ablace umožňuje depozici materiálu o vysoké teplotě tání. Kontaminace vrstvy je menší ve srovnání s klasickým napařováním pomocí vlákna nebo topného tělesa. Proces rovněž není citlivý na oxidativní prostředí a umožňuje práci při relativně vysokém tlaku. Nevýhodou tohoto postupu je poměrně velký počet kapkových defektů na opracovaném povrchu.

1.3.8. Plazmové naprašování

Při plazmovém naprašování za atmosférického tlaku jsou práškové materiály vstříkovány do oblasti plazmového výboje. Díky vysoké teplotě a toku částic plazmatu jsou zcela nebo částečně roztaveny a urychlovány směrem k substrátu vysokou rychlostí za tvorby povrchů s laminární strukturou. Díky dosahované vysoké teplotě tato technologie umožňuje depozici téměř všech kovových materiálu nebo jejich kombinaci s keramikou, cermety, tvorbou refrakčních vrstev apod.

Tato technologie umožňuje úpravy vzorků složitějších tvarů. Lze nanášet materiály zlepšující odolnost vůči korozi a vysoké teplotě, otěruvzdorné a biokompatibilní filmy. Nevýhodou je zhoršená adheze mezi substrátem a vrstvou. Toto lze zlepšit např. snížením teplotního gradientu mezi substrátem a povrchovou vrstvou nebo použitím materiálu s blízkými koeficienty teplotní roztažnosti.

ZÁVĚR

Předchozí kapitoly shrnují vybrané techniky používané v oblasti plazmových technologií. Jedná se bezesporu o odvětví, které svým rychlým rozvojem neustále prokazuje svou životaschopnost v nejrůznějších oblastech vědy a průmyslu. Umožňuje měnit fyzikální a chemické vlastnosti materiálů rovnoměrně na celém povrchu při současném zachování vlastností objemových. Parametrů, které ovlivňují při plazmovém opracování konečný výsledek je však celá řada. Jejich studium a hledání optimálních kombinací jsou cestou k dalšímu poznání a zdokonalení při zavádění těchto moderních technologií.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Lapčík , Jr., Raab M.: Nauka o materiálech II., Učební texty pro VŠ. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín (2004), 2. rozšířené vydání. ISBN 80 – 7318 – 229 – 7.
- [2] Lehocký M.: Deposition/Detachment Phenomenon of Micro-Particles at Solid Polymer/Liquid Interface., Ph.D.dissertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín (2004)

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkr.	Vysvětlení.
------	-------------

SEZNAM OBRÁZKŮ

SEZNAM TABULEK

SEZNAM PŘÍLOH

P I První.

PŘÍLOHA P I: PRVNÍ.

Text.