Vliv technologie přípravy kompozitních nátěrových hmot s příměsí funkčních plniv na aplikační a funkční vlastnosti

Bc. Michal Zoubek

Vedoucí práce: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Abstrakt

Funkční nátěrové hmoty (dále jen n.h.) mají v současnosti v oboru povrchových úprav významné postavení. Volbou vhodné matrice, plniva a jeho množství lze dosáhnout modifikace n.h., a tím dosáhnout změny funkčních, mechanických a užitných vlastností plynoucích z povahy daného plniva. V případě organických povlaků se specifickými funkčními vlastnostmi se jedná především o plniva ve formě mikro a nanočástic, přičemž požadavkem na finální produkt může být například vyšší korozní odolnost, tvrdost, odolnost proti opotřebení, elektrická vodivost, antibakteriální účinky atd. Cílem je tedy nalezení vhodného plniva a optimálního množství, jenž zajistí dosažení požadovaných funkčních vlastností při zachování dokonalého přilnutí k substrátu a korozní odolnosti povlaku. Tato práce se zabývá problematikou přípravy a aplikace kompozitních nátěrových hmot se zvýšenou odolností proti opotřebení a n.h. se zvýšenou elektrickou vodivostí. V prvním případě jako plnivo slouží vícestěnné uhlíkové nanotuby, v druhém se jedná o mikročástice grafitu. Vlivem použití různých technologií a parametrů dispergace těchto částic dochází k ovlivnění aplikačních a funkčních vlastností celého systému. Cílem práce je tedy stanovit vhodnou technologii přípravy nátěrového systému, parametry procesu a technologický postup k dosažení co nejlepších vlastností finálního produktu.

Klíčová slova

nátěrová hmota, epoxidová pryskyřice, MWCNT, grafit, dispergace, funkční vlastnosti, abraze, elektrická vodivost, přilnavost, kompozitní nátěrový systém

1. Úvod

V rámci řešení projektu TA02010648 „Vývoj nových kompozitních povlaků na bázi 1D nanoobjektů“ na Ústavu strojírenské technologie ČVUT v Praze byly vyvíjeny dva typy nátěrových systémů na bázi epoxidové pryskyřice se specifickými funkčními vlastnostmi. Jedná se o nátěrový systém se zvýšenou odolností proti otěru a o nátěrový systém se zvýšenou elektrickou vodivostí. Cílem vývoje bylo stanovení vhodného plniva epoxidové matrice, jeho množství, způsob dispergace, ověření funkčnosti a stanovení technologických postupů pro dosažení funkčních a vzhledových vlastností povlaku. Cílem příspěvku je prezentace těchto nátěrů, jejich vlastností a představení způsobu stanovení vhodné metody dispergace částic použitých jako plnidel.

2. Nátěrový systém se zvýšenou odolností proti opotřebení

Jedná se o nanokompozitní nátěrový systém na bázi epoxidové pryskyřice uspokojující náročné požadavky v oblasti funkčních organických povlaků spojující otěruvzdorné vlastnosti s protikorozní ochranou základního materiálu. V rámci výzkumu v projektu TA02010648 „Výzkum a vývoj v oblasti progresivních strojírenských technologií“ byl vyvinut a otestován nakompozitní nátěrový systém na bázi epoxidové pryskyřice, kde jako plnivo pro dosažení

otěruvzdorných vlastností byly použity nanočástice MWCNT (Multi Wall Carbon Nanotubes – vícestěnné uhlíkové nanotuby). Vyvinutý nátěrový systém vytváří na chráněném povrchu bariérovou ochranu proti koroznímu napadení a zároveň odolávat účinkům abraze a eroze. Další vlastnost povlaku, jenž byla pozitivně ovlivněná, je přilnavost k základnímu materiálu. Veškeré výše uvedené srovnání je bráno k matrici systému, kterou tvoří epoxydová nátěrová hmota LV EPS 620 od výrobce Synpo a.s.[1][2]

2.1 Složky nátěrového systému

Jak již bylo uvedeno tvoří matrici nátěrového systému epoxidová nátěrová hmota LV EPS 620, do které jsou zakomponovány vícestěnné uhlíkové nanotuby, jenž tvoří jedno hmotnostní procento výsledné směsi. Nanotuby jsou do systému přidávány ve formě koncentrované směsi EPOCYL XCR 128-06 na bázi bisfenolu A s obsahem 5% hm. MWCNT belgického výrobce Nanocyl. Zmiňovaná matrice je základní antikorozní epoxidová barva na železné a neželezné kovy, přičemž jako tvrdidlo slouží LV BU 45 N přidávané v poměru 6:1 ve prospěch epoxidové pryskyřice. Vytvořený nátěrové systém lze úspěšně aplikovat všemi běžnými způsoby, přičemž jako optimální se jeví vzduchové stříkání.[1][3]

2.2 Užití nátěrového systému

Uvedený nátěrový systém lze aplikovat v prostředích, kde je povrch chráněného předmětu vystaven působení mechanického opotřebení. Jako vhodné se jeví například ošetření podvozků a funkčních částí zemědělské a těžké techniky, pracovních nástrojů, částí zařízení na jejichž povrch dopadají abrazivní částice apod. Svojí povahou zvyšuje otěruvzdorný nátěrový systém životnost a funkčnost daného výrobku.

3. Nátěrový systém se zvýšenou elektrickou vodivostí

V případě nátěrového systému s požadavkem na zvýšenou elektrickou vodivost bylo použito jako matrice rovněž epoxidové pryskyřice LV EPS 620, jejíž vlastnosti jsou modifikovány vodivými mikročásticemi. Funkčním požadavkem na tento systém bylo docílení měrného elektrického odporu povlaku na hodnotu $\leq 1.10^6$ Ω. Snížením měrného odporu pod tuto hodnotu získává povlak antistatické vlastnosti, jenž zamezují negativním jevům, kterými jsou statická přitažlivost (akumulace prachu a nečistot na povrchu vlivem elektrického náboje) a statické vybíjení (elektrické výboje nastávající při vybíjení).[5]

3.1 Složky nátěrového systému

Matrice LV EPS 620 je v tomto případě plněna částicemi vodivých sazí CHEZACARB B (Unipetrol RPA) o hmotnostním podílu dvou procent výsledné směsi nebo částicemi grafitu FICHEMA – Grafit jemný (FICHEMA s.r.o.) o hmotnostním podílu 8%. Vhodnou dispergací těchto částic je dosaženo požadovaných antistatických vlastností při zachování korozní ochrany. Tento nátěrový systém lze opět s úspěchem aplikovat všemi běžnými způsoby.[4][5]

3.2 Užití antistatického nátěrového systému

Antistatické nátěrové systémy nacházejí uplatnění v oblastech se zvýšeným rizikem nehody či znehodnocení zařízení účinky statického náboje. Jedná se především o ošetření ploch v chemickém, petrochemickém a energetickém průmyslu, strojírenství, letectví a elektrotechnice. Užití antistatického nátěru například v chemickém průmyslu snižuje riziko vzniku požáru či výbuchu v případě jiskrového výboje ve skladovacích prostorách hořlavých či výbušných látek.

4. Vliv technologie přípravy na aplikační a funkční vlastnosti

Použití správného funkčního plniva ve vhodném poměru nemusí nutně znamenat zlepšení finálních vlastností nátěrové hmoty. Důležitá je především jeho dispergace (rozptýlení) do celého objemu směsi a rozbití případných shluků pevné fáze. Použitím vhodného zařízení – dispergačního míchacího ústrojí lze v míchaném médiu vytvořit podmínky vysokého smyku, a tím i zmenšit výsledný rozměr pevných částic plniva. V současné době z publikovaných poznatků z oboru nanotechnologie o vlastnostech nanoobjektů je známo, že se objekty dosahující nanorozměrů mohou chovat zcela odlišně než jejich ekvivalent v makroskopickém měřítku a vykazovat zcela odlišné případně unikátní vlastnosti. Dispergací za optimálních podmínek vhodným ústrojím lze tedy vhodně modifikovat rozměr použitých mikročástic v případě nátěrů se zvýšenou elektrickou vodivostí či umožnit rovnoměrné rozptýlení MWCNT do celého objemu otěruvzdorné nátěrové hmoty. Naopak nedostatečné rozptýlení či úprava rozměru plniva může znehodnotit finální produkt. V případě nedostatečné úpravy rozměru plniva a jeho nedokonalého rozptýlení bude finální povlak vykazovat nepřijatelné vzhledové vlastnosti, jeho přilnavost a ochranná funkce bude značně omezená, spektrum možných technologií nanášení bude značně omezeno a požadovaných funkčních vlastností bude dosahovat jen obtížně případně pouze v určitých oblastech z celkové plochy povlaku.[6][7]

4.1 Princip experimentu

V rámci experimentální části mé diplomové práce řešené v rámci projektu SGS13/187/OHK2/3T/12 „Výzkum a vývoj v oblasti progresivních strojírenských technologií“ se zabývám problematikou vlivu použité technologie dispergace plniva na aplikační a funkční vlastnosti nátěrové hmoty. Cílem je porovnání otěruvzdorných a antistatických nátěrových hmot stejného složení připravených různou technologií dispergace (příp. různých parametrech procesu) a ze získaných poznatků stanovení nejvhodnější metody. Rozhodujícím porovnávacím faktorem se tak v tomto případě stávají hodnoty funkčních parametrů, aplikační a vzhledové vlastnosti povlaku.

4.2 Porovnávané nátěrové hmoty

Níže uvedené nátěrové hmoty byly dispergovány ve spolupráci s Prof. Ing. Tomášem Jiroutem Ph.D. z Ústavu procesní a zpracovatelské techniky, ČVUT v Praze. Otěruvzdorný nátěrový systém zde představuje již zmíněný funkční vzorek LV EPS 620 s hm. podílem 1% MWCNT. Nátěrový systém se zvýšenou elektrickou vodivostí byl pro experiment zvolen s příměsí grafitu jehož podíl v nátěrovém systému tvoří 8 hm. %. Jedná se o grafit FICHEMA – Grafit jemný o zrnitosti 0,025 mm.

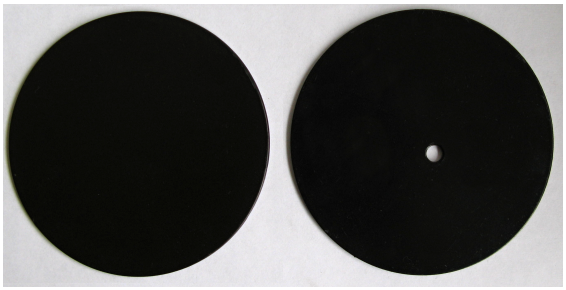
4.3 Značení jednotlivých vzorků

V závislosti na metodě a parametrech dispergace byly jednotlivé nátěry a jimi opatřené vzorky označeny následovně:

X_ Y_	příměs / hmotnostní podíl/ metoda/ varianta (parametry),
LV EPS 620	matrice nátěrového systému, ruční promísení,
G8 Z1	zubové míchadlo, t = 1 min,
G8 Z5	zubové míchadlo, t = 5 min,
G8 SRVZ1	míchadlo stator - rotor, 12 000 min^{-1}, t = 10 min,
G8 SRVZ2	míchadlo stator - rotor, 11 000 min^{-1}, t = 5 min,
G8 SRVZ3	míchadlo stator - rotor, 13 000 min^{-1}, t = 1,5 min,
G8 USVZ1	ultrazvukový homogenizátor, t = 5 min, 300 W,
G8 USVZ2	ultrazvukový homogenizátor, t = 1,5 min, 300 W,

MWCNT Z2	zubové míchadlo, t = 2 min,
MWCNT Z10	zubové míchadlo, t = 10 min,
MWCNT SRVZ1	míchadlo stator - rotor, 10 000 min^{-1}, t = 10 min,
MWCNT SRVZ2	míchadlo stator - rotor, 10 000 min^{-1}, t = 5 min,
MWCNT SRVZ3	míchadlo stator - rotor, 7 000 min^{-1}, t = 1,5 min,
MWCNT USVZ1	ultrazvukový homogenizátor, t = 5 min, 300 W,
MWCNT USVZ2	ultrazvukový homogenizátor, t = 1,5 min, 300 W.

V případě zubového míchadla byly otáčky a geometrie míchadla pro všechny směsi stejné, rozdíl byl pouze v její délce. V případě technologie stator - rotor bylo použito stejné geometrie míchadla pro všechny varianty, lišila se pouze doba procesu a otáčky (min^{-1}). Při použití ultrazvukového homogenizátoru byla rozdílným parametrem procesu pouze doba dispergace. Antistatické nátěrové hmoty byly míchány za pokojové teploty. Otěruvzdorné nátěrové hmoty bylo nutné z důvodu vysoké viskozity koncentrované směsi EPOCYL XCR 128-06 před zahájením dispergace temperovat na teplotu ~ 65°C. Ve všech případech bylo dispergováno množství o objemu ~ 500 ml.



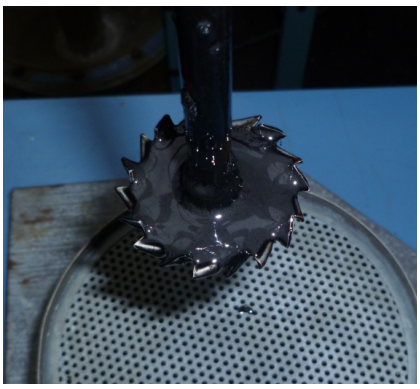
Obr. 1. *Funkční vzorek LV EPS 620 MWCNT 1 hm.%* [1]

4.4 Použité technologie dispergace

Z povahy jednotlivých metod dispergace lze lépe pochopit možnosti ovlivnění finálních vlastí nátěrového hmoty.

Zubové míchadlo

Nástroj – zubové míchadlo o průměru 50 mm disperguje směs pomocí vzniku vysokého smykového napětí, čímž je vytvořena suspenze. Míchadlo bylo vloženo do nádoby excentricky mimo osu nádoby, čímž bylo eliminováno přisávání vzduchových bublin do směsi. Otáčky byly stanoveny na 2 000 min^{-1}, doba trvání procesu dispergace je uvedena v bodu 4.2 u značení jednotlivých vzorků.



Obr. 2. *Detail použitého zubového míchadla*[2]

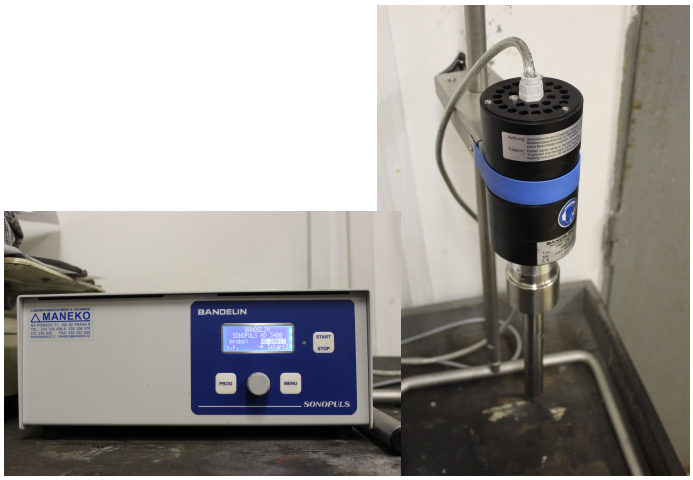
Míchadlo stator - rotor

Míchadlo rotor – stator umožňuje svojí povahou dosažení velice homogenní směsi. Rotor, který představuje radiální míchadlo se otáčí uvnitř stacionární pouzdra se štěrbinami. Částice plniva jsou v prostoru štěrbiny mlety mezi hranou statoru a rotoru a je dále vystaven vysokým hydraulickým smykovým silám. Vzhledem k vysokým otáčkám míchadla dochází k dostatečné cirkulaci směsi a zajištění rovnoměrné distribuce plnidla do celého objemu matrice. V rámci experimentu bylo použito zařízení IKA T25 Digital, osazené míchadlem SR – 25G.[6]

Obr. 3. *IKA T25 Digital (vlevo), míchadlo stator – rotor SR – 25G (vpravo)*[8]

Ultrazvukový homogenizátor

Při použití ultrazvukového homogenizátoru byla směs podrobena nejprve mechanickému ručnímu promíchání. K samotné dispergaci byl použit ultrazvukový homogenizátor Bedelin Sonopuls HD 3400 osazený sondou VS 200T o průměru 25 mm. Pomocí ultrazvuku dochází k akustické kavitaci a tvorbě tlakových diferencí, jenž vytváří turbulence a proudy kapaliny. Tímto způsobem dochází k vytvoření sil, jenž umožňují působit na shluky částic a jejich rozptýlení do suspenze. Proces probíhal při výkonu 300 W a parametrech pulsu (0,8 s ON / 1,0 s OFF).[9]



Obr. 4. *Bedelin Sonopuls HD 3400 (vlevo), sonda VS 200T (vpravo)*

4.5 Nanášení a vytvrzení povlaku

Jednotlivé nátěrové hmoty byly po dispergaci naneseny s časovým odstupem 24 hodin, technologií pneumatického stříkání. K aplikaci bylo použito stříkací pistole EST 116 českého výrobce EST+ (Dürr Systems ČR). Jedná se o profesionální rovnotlakou stříkací pistoli, osazenou tryskovým kompletem 18 (průměr trysky 1,8 mm) se svrchním plněním. U všech nanášených nátěrů byly výchozí parametry procesu nastaveny shodně (pracovní tlak 3,8 bar),

přičemž bylo zaznamenáváno chování nátěrové hmoty (potřeba zvýšení pracovního tlaku, rozstřik, rozliv, vlastnosti po natužení, vzhled). Vytvrzení probíhalo volně na vzduchu, přičemž první zkoušky byly provedeny týden po aplikaci nátěru.

4.6 Rozměry a povaha vzorků

Byly použity dva druhy vzorků. Ocelovou drtí tryskané kruhové výstřižky z konstrukční oceli (11 373) o průměru 105 mm, tloušťky 1,2 mm. Neupravované zkušební ocelové plechy Q – Panel (11 375.1) o rozměrech 102 mm x 102 mm x 0,5 mm. Tryskané vzorky vykazovaly následující parametry povrchu: Ra = 4,7 um, Rq = 5,96 um, Rz = 28,02 um (dle ČSN EN ISO 4287:1997).

4.7 Realizované experimenty

Všechny nátěry byly podrobeny následujícím zkouškám:

- zhodnocení aplikačních a vzhledových vlastností – vícekriteriální hodnocení,
- zkouška přilnavosti – odtrhová zkouška dle ČSN EN ISO 4624,
- stanovení lesku nátěru – dle ČSN ISO 2813 při úhlu 60°,
- zkouška ohybem – na válcovém trnu dle ČSN EN ISO 1519.

Nátěry se zvýšenou elektrickou vodivostí byly dále podrobeny:

- stanovení vnitřního elektrického odporu – zařízení TESPO 1,
- porovnání rozložení grafitu v povrchové vrstvě – optickým mikroskopem.

Otěruvzdorné nátěrové systémy:

- stanovení abrazivní odolnosti – zařízení Taber Abraser.

4.8 Zhodnocení aplikačních a vzhledových vlastností

Během aplikace nátěrových hmot byly zaznamenávány údaje charakterizující jejich chování. Po vytvrzení byly tyto údaje doplněny o zhodnocení vzhledu povlaku. Ze získaných poznatků byly jednotlivé varianty porovnány metodou vícekriteriálního hodnocení. Je nutné dodat, že se jedná o hodnocení značně subjektivní. Jednotlivé parametry byly bodovány v rozpětí 1 – 5, přičemž nižší hodnota představuje kladné hodnocení.

Tabulka 1. *– Porovnávané parametry a jejich značení*

Parametr	Značení
Vlastnosti po natužení	A
Potřeba ředění	B
Pracovní tlak	C
Vzhled mokré vrstvy	D
Vzhled po vytvrzení	E

Tabulka 2. *– Vícekriteriální zhodnocení aplikačních a vzhledových vlastností*

Povlak	A	B	C	D	E	∑
G8 SRVZ1	2	1	1	1	2	7
G8 SRVZ2	3	1	1	3	2	10
G8 SRVZ3	1	1	1	1	1	5
G8 Z1	2	2	1	2	2	9
G8 Z5	3	1	1	3	2	10
G8 USVZ1	2	2	2	3	4	13

G8 USVZ2	2	2	2	2	4	12
Povlak	A	B	C	D	E	∑
MWCNT SRVZ1	1	1,5	2	1	1,25	6,75
MWCNT SRVZ2	1,5	1	1	1	2,5	7
MWCNT SRVZ3	3	1	1,5	1	2	8,5
MWCNT Z2	2	1,5	2	1	2	8,5
MWCNT Z10	3	1	2	2	3	11
MWCNT USVZ1	2	1,5	2	2	2	9,5
MWCNT USVZ2	2	2	2	2	2,5	10,5

Jak je z tabulky patrné, nejlepších výsledků dosahovaly nátěrové hmoty připravované technologií stator – rotor. Takto dispergované nátěrové hmoty vykazovaly nejlepší aplikační vlastnosti při dosažení vysoce kvalitního jednolitého povrchu bez viditelných shluků. Nejlépe v hodnocení dispergace antistatických nátěrů dopadla varianta G8 SRVZ3, tj. dispergace za nejvyšších otáček po nejkratší čas v porovnání s ostatními variantami stator – rotor (tj. otáčky 13 000 min^{-1}, po dobu 1,5 min). V případě otěruvzdorných systémů dopadla v hodnocení nejlépe varianta MWCNT SRVZ1. V tomto případě lze výsledek interpretovat tak, že pro dispergaci je vhodný delší čas (10 min) při vysokých otáčkách (10 000 min^{-1}).

4.9 Zkouška přilnavosti povlaku

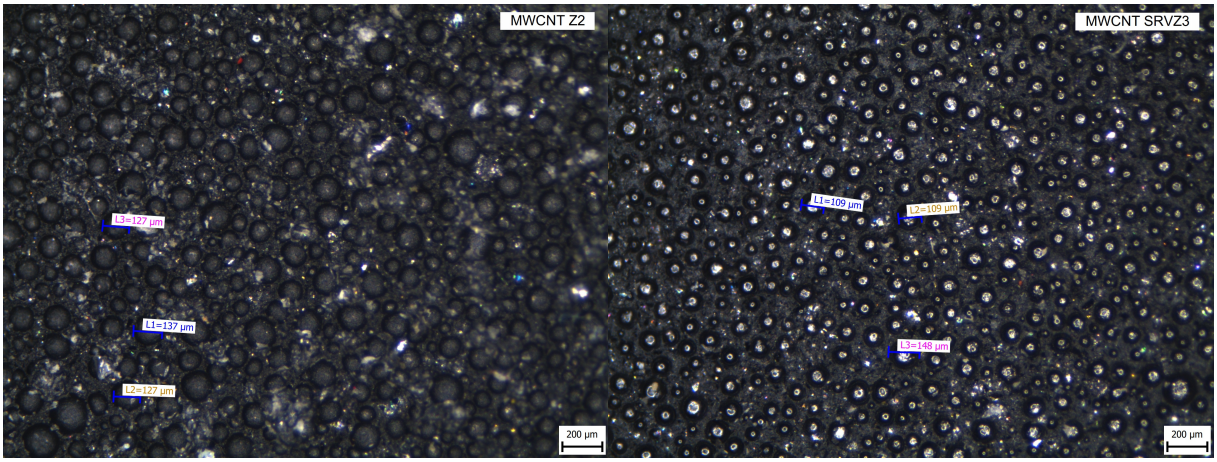
Zkouška přilnavosti nátěrové hmoty k substrátu byla realizována odtrhovou zkouškou dle ČSN EN ISO 4624. Veškeré odtrhy byly realizovány na nátěrových hmotách nanesených na tryskané kruhové výstřižky. Úprava povrchu tryskáním nejen že odstraňuje z povrchu veškeré nečistoty (korozní produkty, mastnotu apod.), ale přispívá i ke zvýšení přilnavosti organických nátěrových hmot k substrátu. Odtrhová zkouška spočívá v nalepení zkušebního tělíska o průměru 20 mm zvoleným lepidlem na nátěr a po jeho zaschnutí v odtržení tělíska odtrhoměrem. Během odtrhu je zaznamenáván nárůst tahového napětí, jenž dosáhne maximální hodnoty s odtrhem tělíska. Hodnota tohoto napětí je následně spolu s typem lomu určující k vyhodnocení zkoušky. Při odtržení může dojít k lomu adheznímu nebo koheznímu. Při testování přilnavosti kompozitních nátěrových hmot bylo použito vteřinového lepidla 3M Scotch-Weld SF100. Odtrhové zařízení bylo použito Comtest OP2, s elektromechanickým pohonem.

Tabulka 3. *– Zkouška přilnavosti – velikost odtrhového napětí*

Odtrhové napětí jednotlivých nátěrových systémů [MPa]							
	G8___						
LV EPS 620	Z1	Z5	SRVZ1	SRVZ2	SRVZ3	USVZ1	USVZ2
3,862	3,477	3,975	3,238	3,778	3,261	3,789	3,673
	MWCNT___						
LV EPS 620	Z2	Z10	SRVZ1	SRVZ2	SRVZ3	USVZ1	USVZ2
3,862	2,369	3,237	3,583	4,417	5,172	4,390	4,097

K odtržení tělíska došlo ve všech případech v nátěrové hmotě, přičemž v tabulce jsou uvedeny aritmetické průměry ze tří měření. Jak je z tabulky patrné, příměs grafitu mírně snižuje soudržnost nátěru (v porovnání s odtrhovým napětím matrice LV EPS 620). Z mikroskopických snímků lomové plochy ovšem nejsou patrné žádné znatelné rozdíly v povaze lomu. V případě otěruvzdorných nátěrů dosáhly nejnižších hodnoty varianty u

kterých byla dispergace provedena pomocí zubového míchadla. Při hledání odpovědi na otázku čím je způsoben pokles napětí je třeba porovnat snímky lomové plochy vyhotovené pomocí optického mikroskopu Olympus SZ61 (Infinity 1, Lumenera). Příčina je patrná z obrázku č.5, kde je porovnán při stejném zvětšení vzhled plochy s nejnižším napětím (MWCNT Z2) a nejvyšším napětím (MWCNT SRVZ3). Na snímcích lze pozorovat kulové vrchlíky v lomové ploše matrice způsobené vzduchem vneseným během procesu dispergace. Vzhledem k většímu množství vneseného vzduchu v případě dispergace pomocí zubového míchadla je plocha, která musí přenést zatížení během odtrhové zkoušky podstatně menší, a tím dochází k přetržení při nižších hodnotách napětí.



Obr. 5. *Lomová plocha MWCNT Z2 (vlevo) a MWCNT SRVZ3 (vpravo)*

4.10 Stanovení lesku nátěru

Ke stanovení lesku nátěru pod úhlem 60°dle normy ČSN ISO 2813 bylo použito zařízení GL0010 výrobce QLC. Přístroj po kalibraci měří lesklost povrchu v jednotkách lesku [GU], přičemž za vysoký lesk je pod úhlem dopadu osvětlovacího paprsku 60 považována hodnota >70 GU. Myšlenka porovnání jednotlivých povlaků vychází z faktu, že při použití grafitu jako plnidla dochází k poklesu lesku oproti původní nátěrové hmotě LV EPS 620, zatímco při použití plniva Epocyl obsahující uhlíkové vícestěnné nanotuby dochází naopak ke zvýšení lesku. Tímto způsobem lze tedy nepřímo určit k jak dokonalému rozptýlení plniva při dispergaci došlo.

Tabulka 4. *Stanovení lesku nátěru*

Lesk vrstvy povlaku [GU]							
	G8___						
LV EPS 620	Z1	Z5	SRVZ1	SRVZ2	SRVZ3	USVZ1	USVZ2
24,9	5,2	4,9	4,2	4,4	4,8	5,7	9,8
	MWCNT___						
LV EPS 620	Z2	Z10	SRVZ1	SRVZ2	SRVZ3	USVZ1	USVZ2
24,9	38,0	42,8	46,9	63,2	70,8	62,7	59,8

Při vyhodnocování této zkoušky je patrné, že nejnižších hodnot (největšího zmatnění) v případě antistatického nátěrového systému bylo dosaženo dispergací pomocí míchadla stator – rotor. Nejnižší hodnoty (hodnota aritmetického průměru ze tří měření) dosahuje varianta G8 SRVZ1, což indikuje dobré rozptýlení plnidla do matrice nátěru. V případě otěruvzdorného nátěrového systému dosahuje největšího lesku, a tím i nejvyššího stupně

rozptýlení plniva varianta MWCNT SRVZ3, přičemž nejhorších výsledků jako u předchozí zkoušky přilnavosti dosahuje vzorek MWCNT Z2. Z výsledků je tedy patrné, že dispergace zubovým míchadlem v tomto případě nebyla dostatečná.

4.11 Zkouška ohybem

Ohybová zkouška byla realizována na vzorcích Q-Panel pomocí válcového trnu podle normy dle ČSN EN ISO 1519. Mezi testovanými povlaky nebyly patrné znatelné rozdíly při zatížení povlaku ohybem. Jediné, co lze z provedeného porovnávacího měření konstatovat je, že u nátěrů nedocházelo k viditelnému odlupu od substrátu či porušení soudržnosti vlivem vyvolaného pnutí v povlaku.

4.12 Stanovení vnitřního elektrického odporu povlaku

K určení vnitřního odporu nátěrů se zvýšenou elektrickou vodivostí bylo použito zařízení Tespo 1. Jedná se měření přímou dvoubodovou metodou, kdy rozsah měřitelných hodnot se pohybuje od 10^4 - 10^{11} Ω. Výsledky naměřených hodnot vnitřního elektrického odporu udává tabulka 5.

Obr. 6. *Tespo 1*

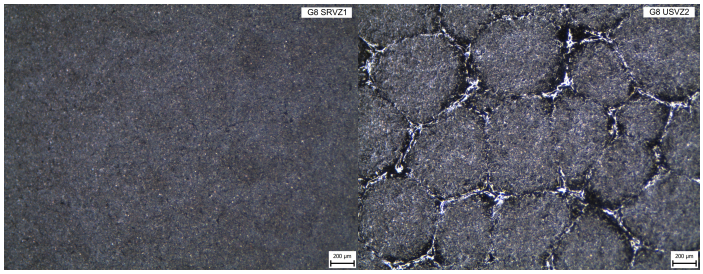
Tabulka 5. *Měření elektrického odporu povlaku*

Vnitřní elektrický odpor povlaku [Ω]						
G8___						
Z1	Z5	SRVZ1	SRVZ2	SRVZ3	USVZ1	USVZ2
$9{,}3.10^8$	$1{,}8.10^8$	$1{,}5.10^5$	$7{,}6.10^6$	$3{,}8.10^6$	$4{,}8.10^6$	$2{,}0.10^8$

Z naměřených hodnot vyplývá, že nejlepší vodivosti dosahuje povlak G8 SRVZ1. Tento typ oproti G8 SRVZ3 vykazuje lepší vodivost, ovšem z ekonomického hlediska je jeho příprava náročnější. .

4.13 Porovnání rozložení grafitu v povrchové vrstvě

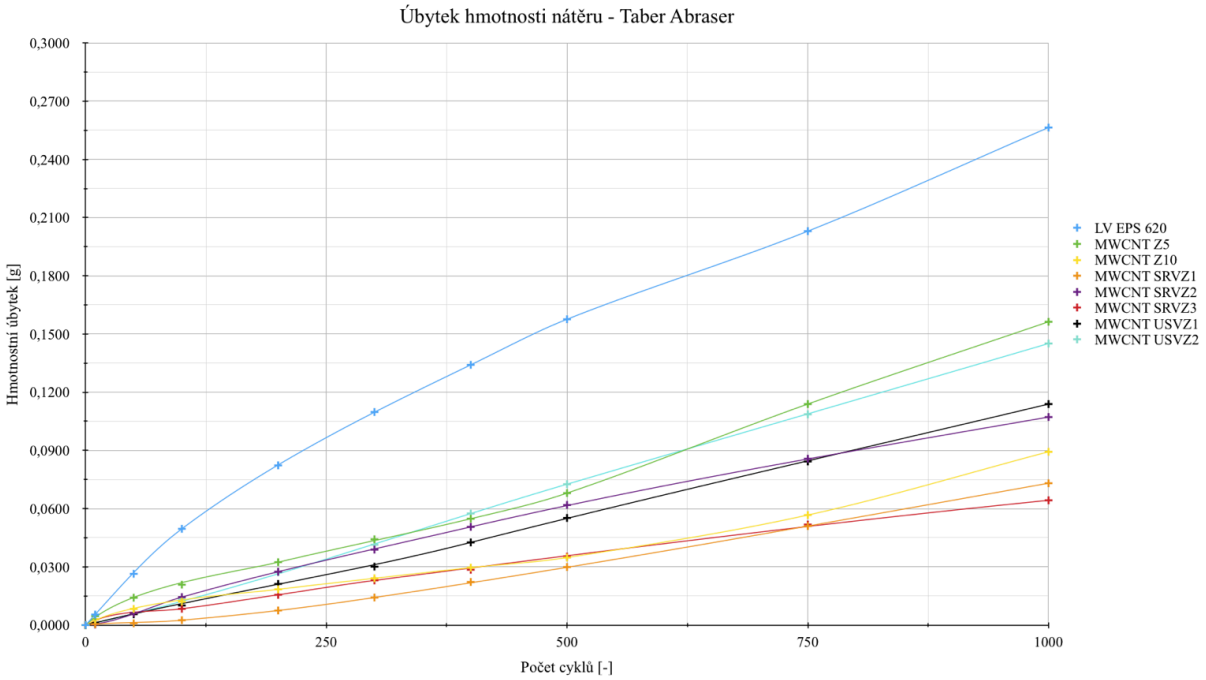
Snímky ve velkém zvětšení poskytují představu o příčinách rozdílných hodnot lesku (viz. bod 4.10). Jak je patrné z obrázku 7, homogenní vrstva G8 SRVZ1 vykazovala nejmenší hodnotu lesku. V případě nejlesklejšího typu antistatické nátěrové hmoty G8 USVZ2 je patrné, že nedošlo pomocí ultrazvukového homogenizátoru k dostatečné modifikaci rozměru grafitu (původní velikost částic 0,025 mm), a tím je povrchová vrstva nejednotná a nehomogenní.



Obr. 7. *Rozložení grafitu v povrchové vrstvě G8 SRVZ1 (vlevo) a G8 USVZ2 (vpravo)*

4.14 Abrazivní odolnost

Abrazivní odolnost otěruvzdorných nátěrových systémů byla zjišťována na zařízení Taber – Abrazer. Princip zkoušky spočívá v abrazivním účinku otěrových kotoučů (definované hrubosti), jenž jsou na vzorek, který se otáčí přitlačovány závažím definované hmotnosti. U zkoušených vzorků kruhového tvaru byl sledován hmotnostní úbytek po 10, 50, 100, 200, 300, 400, 500, 750 a 1 000 zátěžových cyklech. K stanovení hmotnostních úbytků bylo použito analytických vah Mettler H64. Při experimentu bylo použito brusných kotoučů Taber Industries H-10 přitlačovaných na vzorek závažím o hmotnosti 500 g. Průběh hmotnostních úbytků je patrný z obrázku 8.



Obr. 8. *Průběh hmotnostních úbytků – abrazivní odolnost*

Nejvyšší abrazivní odolnost vykazuje povlak MWCNT SRVZ3, jehož opotřebení je oproti původní matrici 3,98 x nižší. Velmi dobrých výsledků dále dosahují nátěry MWCNT SRVZ1 (3,5x nižší opotřebení) a Z10 (2,9x nižší opotřebení). Oproti tomu odolnost proti opotřebení vzorku MWCNT Z5 je oproti matrici pouze 1,5 vyšší.

5. Závěr

Výše popsanými metodami hodnocení vlastností nátěrových systémů byl zjištěn značný vliv metody dispergace funkčního plniva na finální vlastnosti nátěrové hmoty. Z doposud zjištěných výsledků je patrné, že je důležitá nejenom vhodná metoda, ale i optimální nastavení pracovních parametrů tak, aby došlo k modifikaci rozměrů plniva (tj. k zmenšení jeho rozměrů) a rovnoměrnému rozptýlení do celého objemu matrice. Nejlépe je tato problematika patrná na výsledcích abrazivní odolnosti otěruvzdorných nátěrů, kdy vhodná metoda a proces dispergace vylepší vlastnosti finálního produktu téměř čtyřnásobně (o polovinu více než v případě nejméně účinné metody). V případě nátěrových systémů se zvýšenou elektrickou vodivostí je nedostatečná rozptýlení a modifikace plniva patrná již pouhým okem, ovšem mikroskopické snímky povlaku, korespondující spolu s výsledky měření intenzity lesku nátěru hovoří v tomto případě zcela ve prospěch metody stator-rotor. Tato metoda svým charakterem umožňuje jak úpravu plniva tak jeho dokonalou dispergaci. Jako vhodné způsoby dispergace nátěrových systémů se zvýšenou odolností vůči opotřebení lze tedy doporučit postup uváděný jako MWCNT SRVZ3 (jenž má navíc nejkratší dobu přípravy) a MWCNT

SRVZ1. V případě nátěrů se zvýšenou elektrickou vodivostí s přihlédnutím na dobu trvání procesu lze jako nejvhodnější považovat postup G8 SRVZ3.

Tento článek byl vytvořen v rámci řešení projektu SGS13/187/OHK2/3T/12 „Výzkum a vývoj v oblasti progresivních strojírenských technologií“.

Seznam použité literatury

[1] KUDLÁČEK, Jan, Michal ZOUBEK, Linda DIBLÍKOVÁ, Alena KOUKALOVÁ a František HERRMANN. Nátěrové systémy s funkčními vlastnostmi. *TriboTechnika*. 2014, VII, č. 2.

[2] ZOUBEK, Michal. *Vliv nanočástic na vlastnosti nátěrové hmoty*. Praha, 2013. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

[3] POUR, Petr. *Využití 1D nanomateriálů pro nátěrové systémy*. Praha, 2013. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

[4] KUDLÁČEK, Jan, Michal ZOUBEK, Viktor KREIBICH, Miroslav VALEŠ a František HERRMANN. Aplikace nátěrových systémů se zvýšenou elektrickou vodivostí. Povrcháři. 2014, č. 7. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201407_povrchari.pdf

[5] SVOBODA, Jakub. *Povlaky z nátěrových hmot se zvýšenou vodivostí*. Praha, 2014. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

[6] RIEGER, František, Václav NOVÁK a Tomáš JIROUT. Hydromechanické procesy II. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005, 167 s. ISBN 80-01-03302-3.

[7] FOJTÍK, Anton. Nano - fascinující fenomén současnosti: nanočástice, nanostruktury a nanotechnologie - důmyslné formy hmoty : od objevu fenoménu po biomedicínské aplikace. 1. vyd. Praha [i.e. Dobřany]: COMTES FHT, 2014, 288 s. ISBN 978-80-260-7135-8.

[8] IKA. Dispersers. Dostupné z: http://www.ika.com/ika/pdf/flyer-catalog/Disperser_Brochure_IWS_EN_wop_screen.pdf

[9] HEILSCHER. Heilscher - Ultrazvukové technologie [online]. 2004 [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: http://www.hielscher.com/cs/nano_01.htm