

Posudek disertační práce
NÁTĚROVÉ SYSTÉMY S VYSOKÝMI UŽITNÝMI VLASTNOSTMI

Disertant:	Ing. Michal Zoubek
Doktorský studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Školitel:	doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
Školitel specialista:	Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
Pracoviště, na kterém byla práce vypracována:	Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojní ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07, Praha 6
Posudek vypracovala:	prof. Ing. Andrea Kalendová, Dr.

1. Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Cílem předložené disertační práce bylo ověření vhodnosti vybraných práškových nanomateriálů v různých typech pojivové báze nátěrových hmot pro tvorbu organických funkčních a ochranných povlaků s cílenými funkčními vlastnostmi, dále sledování vlivu vybraných způsobů dispergace testovaných nano a mikro částic pigmentů v nátěrových hmotách na funkční a ochranné vlastnosti vzniklých povlaků. Hlavní cílem byl v případě této disertační práce konkrétně vývoj nové antistatické nátěrové hmoty splňující parametry povrchového odporu pro disipativní materiály dané příslušnými normami. Pro splnění cílů přípravy antistatických organických povlaků byly testovány tři typy pojiv a nátěrových hmot (dvou složková epoxidová základní antikorozi nátěrová hmota, vrchní dvojsložková polyurethanová nátěrová hmota a vodouředitelná nátěrová hmota na bázi nízkomolekulární epoxidové pryskyřice), jako funkční pigmenty pro navrhovanou elektrostatickou nátěrovou hmotu (NH) byly vybrány mikro a nanočásticové pigmenty na bázi C, Cu, různé typy sazí, dále Zn a vodivý polymer PEDOT. V rámci provedených experimentů byl zvolen podíl/koncentrace funkčních pigmentů s cílem posouzení dosažených parametrů ochranných a funkčních vlastností povlaků v závislosti na množství použitého pigmentu. Jedním z důležitých kroků v této DP byl proto i návrh podílů/koncentrací dalších zvolených pigmentů pro dosažení požadovaných cílů – vysokých užitných vlastností finálních povlaků a pigmentů či pojivových matic nejen pro připravené antistatické nátěrové hmoty, ale i pro otěruvzdorné nátěrové hmoty/ antikorozi nátěrové hmoty. Dalším důležitým cílem, jak vyplývá ze zvoleného tématu, byl výběr vhodného dispergačního zařízení, resp. parametrů dispergace a optimalizace tohoto procesu s cílem dosažení kvalitních povlaků s co nejnižšími vzniklými náklady. Jako dispergační nebo míchací zařízení byly testovány vrtulové míchadlo, lopatkové míchadlo, rotor – stator, zubové míchadlo, míchadlo Visco Jet a ultrazvukový homogenizátor. Dispergační zařízení byla volena s ohledem na hodnoty dosahovaného měrného disipovaného příkonu pro posouzení vlivu tohoto parametru na vlastnosti nátěrových hmot. Vytvořené povlaky byly posuzovány z hlediska fyzikálních vlastností, především povrchového odporu a ochranných a funkčních vlastností povlaků, resp. i v závislosti na množství použitého pigmentu a dispergačního zařízení/techniky. Optimalizací procesu se podařilo nejen dosáhnout zlepšení funkčních vlastností povlaků, ale zkrátit i potřebný čas dispergace a snížit potřebný podíl funkčních částic v matici. Výsledky provedených zkoušek ochranných vlastností speciálních povlaků prokázaly vhodnost výchozí nátěrové hmoty pro ochranu před účinky statické elektřiny v atmosférických prostředích nízké korozní agresivity.

Současně byly hodnoceny aplikační/technologické vlastnosti vytvořených nátěrových hmot a tzv. vzhledové vlastnosti povlaků. Ověření funkčních a ochranných vlastností vytvořených povlaků nátěrových hmot metodami používanými v oboru povrchových úprav. Vytvořené povlaky byly testovány nejen z hlediska své specifické funkce – hodnoty povrchového odporu v případě antistatických

povlaků, odolnosti vůči abrazivnímu opotřebení v případě otěruvzdorných povlaků či odolnosti vůči agresivním atmosférám v případě antikoročních nátěrových hmot, ale byly vždy podrobeny i sérii normalizovaných zkoušek z oboru povrchových úprav.

Je možno konstatovat, že všechny stanovené cíle, které byly v předložené disertační práci stanoveny, byly splněny.

2. Úroveň rozboru současného stavu

Současný stav poznání, teoretická část „Současný stav poznání a trendy ve formulaci a přípravě antistatických nátěrových hmot týkající se obsahu problematiky řešené v disertační práci je svým zadáním multidisciplinárního charakteru. Disertační práce zahrnuje jak popis antistatických nátěrových hmot, funkčních pigmentů, popis zásad formulace, popis formulace antistatických nátěrových hmot tak i popis procesu míchání nátěrových hmot a zároveň i popis základních principů elektrostatiky.

Doktorand Ing. Michal Zoubek zpracoval současný stav problematiky na takové úrovni, aby vystihl důležité principy a zákonitosti týkající se daného tématu disertační práce. Nezbytné části týkající se současného stavu problematiky jsou dostatečně podchyceny a podloženy dostatečným počtem literárních zdrojů.

3. Teoretický přínos

Hlavní přínos disertační práce pro vědu a praxi spočívá v navržení uspořádání a v popisu vlivu metod a parametrů dispergace ve vztahu na finální funkční vlastnosti připravených povlaků, především antistatických. Dalším přínosem je návrh a popis vybraných typů pojiv a typů pigmentů pro vyvžené funkční povlaky s kvantifikací výsledných vlastností. Zejména vytipování, kvantifikaci a interpretaci výsledků testovaných funkčních pigmentů pro antistatické nátěrové hmoty považuji za významný přínos.

Disertační práce s názvem „Nátěrové systémy s vysokými užitnými vlastnostmi“ byla vypracována na Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojní ČVUT v Praze, které patří mezi pracoviště s dlouhodobou tradicí ve výzkumu a aplikaci technologií povrchových úprav. Autor směřoval svoji práci do oblasti, kterou stávající výzkum dosud plně nepokrýval, a v rámci takto vymezeného tématu dosáhl hodnotných výsledků.

4. Praktický přínos

Důležitým praktickým přínosem je antistatická nátěrová hmota splňující parametry povrchového odporu pro disipativní materiály dané příslušnou normou. Vytvořená antistatická vodou ředitelná nátěrová hmota obsahující uhlíkové nanotrubky typu MWCNT pak může být použita jako forma ochrany před negativními účinky statické elektřiny, neboť výsledky provedených zkoušek ochranných vlastností povlaků prokázaly vhodnost této nátěrové hmoty pro ochranu před účinky statické elektřiny v atmosférických prostředích nízké korozní agresivity dle ČSN EN ISO 9223. Rovněž další nátěrové hmoty vytvořené v rámci experimentální části lze použít pro jejich zamýšlené účely v reálných aplikacích. Otěruvzdorná nátěrová hmota s podílem hořčíkových částic byla zapsána i jako Funkční vzorek. Rovněž docílení významné redukce nutného podílu nanočástic obsažených v nátěrové hmotě pro dosažení funkčních parametrů povlaku definovanou změnou parametrů procesu dispergace, pak může posloužit jako podklad pro optimalizaci stávajících výrobních procesů.

5. Vhodnost použitých metod

Autor použil k řešení své práce rozsáhlou skupinu metod, které pokrývají jednotlivé aspekty řešených cílů a podcílů disertační práce, počínaje od návrhu metodiky řešení, stanovení podcílů, volby odpovídajících metod a kroků řešení až po konečné zhodnocení jednotlivých funkčních vlastností či projevů korozní degradace povlaků. Autor kladl při výzkumu nátěrových hmot důraz zejména na volbu vhodné metody a parametrů dispergace, která by vedla ke snížení množství suroviny – konkrétně funkčního pigmentu a tím i ke snížení energetických a výrobních nákladů. Hodnocení nátěrů a nátěrových systémů dle technických norem a zkušebních postupů z oboru povrchových úprav bylo provedeno adekvátně s dostatečnou přesností a vypovídající schopností odpovídající danému účelu.

Vhodně použité metody byly předpokladem pro splnění cílů práce a staly se dostatečným podkladem při získání nových poznatků.

6. Způsob, jakým byly použité metody aplikovány

Pro řešení práce byla navržena a vyzkoušena metodika testování pro hodnocení vlastností připravených funkčních nátěrových hmot a povlaků. Tímto způsobem byly získány výsledky, které doktorand řádně diskutoval.

Výsledky práce byly získané metodami experimentálního výzkumu za pomoci přístrojového vybavení s vysokou úrovní a odpovídající požadavkům na současně vedené vědecké práce. Lze konstatovat, že metody aplikované pro splnění zadání cílů, způsoby měření a vedená metodika prací byly správně zvolené, ověřené a podložené dostatečným množstvím experimentů.

7. Prokázání znalostí doktoranda v daném oboru

Dokladem toho, že autor disertační práce úspěšně prokázal znalosti oboru je jeho publikační aktivita v počtu 29 výstupů formou odborných článků – příspěvků ve sbornících (typ A). Dále autor vykazuje publikace zaměřené na jinou oblast ochranných povlaků v počtu celkem 39 (typ B). Dalším publikovaným výstupem je funkční vzorek a rovněž i další výstupy ve formě funkčního vzorku a užitého vzoru (typ FVZ, UZV).

Znalost v daném oboru doktorand prokázal i formou publikací, které obsahovaly nové poznatky a teoretické a praktické přínosy disertační práce. Doktorand se dokázal vypořádat se zadáním práce a rozmanitou problematikou oboru díky zvolenému postupu řešení. Musel provést rozbor teoretických podkladů oboru týkající se nejen nových materiálů a technologií, ale i se seznámit s řadou nových metod dispergačních postupů spojených s aplikací pojiv a pigmentů.

8. Formální úroveň práce

Autor zpracoval svoji disertační práce standardním způsobem do odpovídajících kapitol, kde formální části práce jsou následovány úvodem do problematiky zkoumané oblasti, teoretickou částí práce obsahující výchozí stav problematiky oboru (*Současný stav poznání a trendy ve formulaci a přípravě antistatických nátěrových hmot*). Následně byly autorem v textu uvedeny cíle práce a zvolené experimentální metody práce vyplývající ze zvolené metodiky a rovněž i diskusi dosažených výsledků (*Volba vhodných matric nátěrových hmot, Formulace a vlastnosti jednotlivých hmot, Nátěrové hmoty na bázi epoxidových pryskyřic, Nátěrové hmoty na bázi polyuretanu, Vodou ředitelné nátěrové hmoty, Popis parametrů dispergace a jejich vlivu na finální vlastnosti povlaků, Vytvořené funkční nátěrové systémy*), které zahrnovaly výsledkovou a diskusní část práce. Výsledky práce jsou názorně zpracovány do formy tabulek, obrázků a grafů. Celkově se jedná o 6 tabulek, 11 grafů, 62 obrázků, ve výsledkové a diskusní části práce je 61 stran textu. Celkový rozsah práce činí 145 číslovaných stran textu, počet příloh je 1. Obrázky a vložené fotografická dokumentace a prezentace získaných výsledků práce jsou dostatečně kvalitní, záznamy uvedených snímků povrchu a provedených analýz jsou dostatečně popsány. V textu jsou náležitě zpracovány kromě závěru i přínosy práce pro vědu a praxi (*Závěr, Přínosy pro vědu a praxi*) a je konstatováno splnění cílů (*Splnění cílů disertační práce*). Na konec práce byl vložen seznam citované literatury (*Seznam použité literatury*) a seznam publikovaných prací autorem předkládané disertační práce (*Publikace autora vztahující se k práci a Publikace autora přímo nesouvisějící s disertační prací*) a přílohy práce. Seznam citované literatury čítá 93 odkazů. *K disertační práci jsou přiloženy požadované teze práce.*

Je možné konstatovat, že předkládaná práce je vypracována na vysoké obsahové i grafické úrovni, předepsaná formální stránka práce koresponduje s naplněním obsahové části práce. K provedené úpravě práce nemám žádné výhrady, práce je gramaticky správně napsaná a dobře čitelná. Výsledky a závěry práce spolu s experimentální prací jsou zpracovány na dostatečném počtu stran a byly získány že správně metodicky rozvržené a ověřené experimentální práce s provedením dostatečného množství experimentů

Disertační práce je napsána dobře srozumitelným způsobem, bez významných překlepů a nejasných slovních vyjádření. Práce splňuje po formální, grafické i jazykové úrovni požadavky kladené na disertační práce.

K práci mám pár drobných připomínek a otázek, například pro diskusi během obhajoby:

- Str. 31 nadpis „Proces míchání nátěrových hmot“ – je tímto pravděpodobně myšlena operace (proces) míchání kapalných a pevných podílů při přípravě nátěrových hmot.

Nadpis evokuje míchání připravované nátěrové hmoty, tedy např. operaci při jejím dokončování.

- Str.31: Cituji „Procesem dispergace a distribuce vznikne směs látek, kde je jedna látka jemně rozptýlena v druhé. V mnoha aplikacích je třeba, aby byly použité pevné částice v dobře dispergovaném a distribuovaném stavu.“


Obecně dochází při dispergaci v případě fyzikálního aspektu ke třem stádiím tohoto procesu: ke smáčení (1), rozdužení /dezaglomeraci (2) a ke stabilizaci (3) homogenní vzniklé disperze/NH. Právě stabilizace pevných částic pigmentů je důležitá v otázce nanočástic nebo plniv s neizometrickými částicemi.

- Vysvětlíte stručně pojem „vnitřně elektricky vodivý polymer“.
- Jaký je důvod – proč docházelo v případě vodouředitelných pojiv, například u Vaší epoxidové nátěrové hmoty s obsahem PEDOT, k bleskové korozi?
- Jaký je důvod – proč docházelo u systémů s obsahem pigmentu více jak 55 % k obtížné dispergaci? (str. 24)
- K otázce C nanotrubeček: jsou dostupné údaje k hodnotám KOKP samotných MWCNT nebo SWCNT v práškovém stavu? Jaké jsou výhody a nevýhody C nanotrubeček ve stavu disperze nebo suspenze?
- Uvádíte velikost částic sazí Chemacarb B AC70 v rozmezí 0,5 až 2,5 µm. Co vypovídá tato hodnota o daných částicích sazí?
- Jaká byla tloušťka Vašich testovaných nátěrů a nátěrových systémů (DFT) na zkušebních panelech? Jaký obsah sušiny vykazovaly Vaše testované nátěrové hmoty? Můžete uvést příklady nejdůležitějších testovaných povlaků?

9. Závěr

Na závěr svého posudku konstatuji, že doktorand Ing. Michal Zoubek prokázal schopnost samostatné vědecké práce, získané výsledky jeho disertační práce jsou přínosem pro další rozvoj vědy a techniky oboru Strojírenská technologie. Protože je zřejmé, že hodnocená práce splňuje požadavky na obsah i podobu disertační práce, doporučuji Ing. Michalu Zoubkovi po úspěšné obhajobě předložené práce udělit titul Ph. D.

V Pardubicích, 23.2. 2024


.....
prof. Ing. Andrea Kalendová, Dr.