

Technologie práškového lakování

Ondřej Tkadlec

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: **Ondřej Tkadlec**
Osobní číslo: **T16118**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Technologie práškového lakování**

Zásady pro vypracování:

- 1. Literární rešerše dané problematiky.**
- 2. Návrh a příprava experimentu nanášení práškových laků.**
- 3. Hodnocení kvality vrstvy laku v závislosti na technologických parametrech procesu.**

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

Seznam odborné literatury:

NOVOTNÝ, Jiljí. *Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)* . Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 227 s. ISBN 80-01-02351-6.

KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy* . Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2000, 216 s. ISBN 80-7082-668-1.

MISCHKE, Peter. *Film formation in modern paint systems* . Hannover: Vincentz Network, c2010, 192 s. European coatings tech files. ISBN 978-3-86630-861-9.

...

...

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, 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

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 15. 5. 2019

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložil, 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

Bakalářská práce pojednává o povrchové úpravě práškovým lakováním. Práce obsahuje literární rešerši na problematiku práškového lakování. Práce dále obsahuje metody a postupy pro ověření kvality naneseného povlaku. V experimentální části bude provedena předúprava a nalakování několika zkušebních vzorků, jejich vytvrzení v různých pecích a ověření dosažených vlastností povlaku.

Klíčová slova: Ochrana před korozi, povrchová úprava, práškové lakování, práškové plasty, předúprava, elektrostatické nanášení, vytvrzování, kvalita povlaku

ABSTRACT

My bachelor's thesis deals with powder coating surface treatment. Thesis includes a literature research on the issue of powder coating. Thesis also includes methods and procedures for checking the quality of the applied coating. In the experimental part will be performed pre-treatment and coated several test samples, their curing in different furnaces and verification of achieved coating properties.

Keywords: Corrosion protection, surface treatment, powder coating, powder plastic, pre-treatment, electrostatic application, curing process, quality coating

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce, doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a připomínky při řešení této práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Martinovi Ovsíkovi Ph.D., za zprostředkování měření tvrdosti povlaku v laboratoři Ústavu výrobního inženýrství.

Rád bych zmínil firmu Perito s.r.o, za poskytnutí cenných informací a za možnost vytvoření zkušebních vzorků pomocí práškové technologie.

Mé poděkování také patří mé rodině za dlouhodobou psychickou a materiální podporu, kterou mi dodávali během celého studia.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 POVRCHOVÁ ÚPRAVA.....	11
1.1 KOROZE	11
1.1.1 Chemická koroze.....	12
1.1.2 Elektrochemická koroze.....	13
1.2 OCHRANA PŘED KOROZÍ	14
1.2.1 Úprava korozního prostředí.....	14
1.2.2 Volba materiálu	16
1.2.3 Návrh vhodného konstrukčního řešení.....	16
1.2.4 Tvorba ochranných povlaků.....	18
2 HISTORIE PRÁŠKOVÉHO LAKOVÁNÍ.....	20
3 PRÁŠKOVÉ LAKOVÁNÍ.....	21
3.1 PŘEDÚPRAVA POVRCHU	21
3.1.1 Mechanická předúprava	22
3.1.1.1 Broušení, kartáčování, leštění.....	22
3.1.1.2 Omílání	23
3.1.1.3 Otryskávání.....	24
3.1.2 Chemická předúprava.....	24
3.1.2.1 Odmaštění	24
3.1.2.2 Moření.....	25
3.1.2.3 Pasivování.....	26
3.1.2.4 Oplachy.....	26
3.1.2.5 Sušení.....	27
3.2 PRÁŠKOVÉ NÁTĚROVÉ HMOTY	27
3.2.1 Rozdělení práškových nátěrových hmot podle typu pojiva	28
3.2.1.1 Termoplasty	28
3.2.1.2 Reaktoplasty.....	29
3.2.1.3 Speciální typy barev.....	30
3.2.2 Skladování práškových nátěrových hmot	31
3.2.3 Výroba práškových nátěrových hmot	32
3.3 NANÁŠENÍ PRÁŠKOVÝCH NÁTĚROVÝCH HMOT	34
3.3.1 Elektrostatické nabíjení	35
3.3.2 Elektrokinetické nabíjení	36
3.3.3 Podmínky pro správnou aplikaci.....	37
3.4 VYTVRZOVÁNÍ PRÁŠKOVÝCH NÁTĚROVÝCH HMOT	38
3.4.1 Horkovzdušné pece	38
3.4.2 Infračervené pece	39
3.4.3 Vytvrzovací podmínky.....	40
4 KONTROLA KVALITY NANESENÉ VRSTVY.....	41

4.1	CELKOVÝ VZHLED POVLAKU	41
4.2	MĚŘENÍ TLOUŠŤKY POVLAKU	42
4.3	MĚŘENÍ PŘILNAVOSTI POVLAKU	43
4.4	MĚŘENÍ LESKU	44
4.5	MĚŘENÍ TVRDOSTI	45
4.5.1	Instrumentovaná zkouška tvrdosti – DSI	46
5	SHRnutí TEORETICKÉ ČÁSTI	48
II	PRAKTICKÁ ČÁST	49
6	NÁVRH EXPERIMENTU	50
6.1	PŘÍPRAVA VZORKŮ	50
6.2	PŘEDÚPRAVA POVRCHU	50
6.3	NANÁŠENÍ PRÁŠKOVÉ NÁTĚROVÉ HMOTY	51
6.4	VYTVRZENÍ PRÁŠKOVÉ NÁTĚROVÉ HMOTY	54
6.5	OZNAČENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	55
6.6	MĚŘICÍ PŘÍSTROJE, POSTUP A VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK	55
6.6.1	Měření tloušťky povlaku	55
6.6.2	Mřížková zkouška	60
6.6.3	Měření lesku	63
6.6.4	Měření tvrdosti povlaku	66
	ZÁVĚR	70
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	72
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	77
	SEZNAM TABULEK	79

ÚVOD

Velké množství kovových předmětů podléhá působení kyslíku, agresivním plynům ve vzduchu, kapalinám a různým chemikáliím. Tyto vnější vlivy působí zejména na povrchu předmětu a mění jeho vzhled. Avšak mnohdy je předmět tak zkorodovaný, že dojde i ke změně jeho mechanických vlastností a tím se stává nevyhovující pro svůj účel. Proto je velmi důležité předměty povrchově upravovat, aby byly odolnější.

V bakalářské práci jsem se zaměřil na technologii povrchové úpravy práškovým lakováním. Tato metoda povrchové úpravy materiálu se rychle rozvíjí a rozšiřuje. Rozvoj metody je způsoben dobrými vlastnostmi výsledného povlaku, malou odpadovostí práškové barvy a šetrností k životnímu prostředí. Technologie práškového lakování se skládá z několika fází. Poslední fáze je proces vytvrzování (vypalování), který se někdy označuje jako proces zesíťování. Jelikož je tento proces poslední fází technologie práškového lakování, má proto zásadní vliv na finální vzhled a kvalitu celého povlaku. Je ovšem časově a energeticky nejnáročnější částí celého technologického procesu práškového lakování, proto by měl být kladen velký důraz na výběr vhodného vytvrzovacího zařízení a na teplotu a čas vytvrzování.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POVRCHOVÁ ÚPRAVA

Všechny materiály jsou vystaveny vnějším vlivům a působení okolního prostředí, tudíž jsou svým způsobem povrchově namáhány a poškozovány, proto postupně ztrácí svoje vlastnosti a parametry.

Technologie povrchových úprav vstupuje do všech výrobních procesů a svým významem rozhoduje o funkční spolehlivosti, prodejnosti výrobků, kvalitě, ale i o efektivním a hospodárném využívání materiálů. [1]

Hlavní podstatou použití povrchových úprav je ochrana výrobku a jeho jednotlivých částí před účinky koroze a opotřebení. Jsou i povrchové úpravy s vytvářením nových vlastností, jako je například zlepšení estetické stránky výrobku, zvýšení tvrdosti povrchu a odolnosti vůči opotřebení, elektrické vodivosti, schopnost zlepšení odrazení světelných paprsků nebo schopnost elektrické izolace. Při korozní úpravě povrchu je třeba vytvářet povlaky. Vytváření různých druhů povlaků patří mezi nejpoužívanější způsoby ochrany materiálu. [2]

1.1 Koroze

Korozi rozumíme jako samovolný probíhající nevratný proces postupného rozrušování a znehodnocování materiálů chemickými a fyzikálními vlivy prostředí. Korozi podléhají nejen kovy a jejich slitiny, ale též nekovové materiály, jako jsou anorganické látky, keramické nebo silikátové (beton, sklo), organické látky (plasty, guma) a další materiály. Znehodnocení materiálu může být různé, například od změny jeho vzhledu (ztráta barvy, lesku) až po jeho úplné rozpadnutí (porušení celistvosti v celém průřezu). [3]

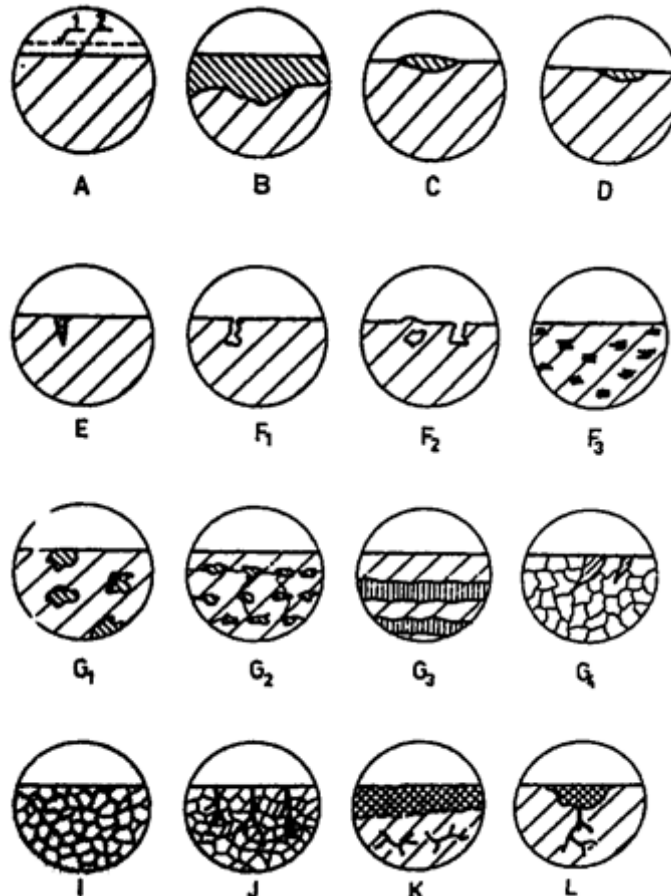
Téměř všechny kovy jsou z termodynamického hlediska nestabilní. Především technické kovy, které nenalezneme v přírodě v ryzím stavu, ale ve formě stabilních sloučenin jako jsou jejich oxidy nebo siřičky. Proto se do stabilního stavu kovy snaží vrátit působením okolního prostředí, když jim v tom vhodně zvolenou povrchovou úpravou nezabráníme.[1]

Korozní porušení materiálu či korozní děje je možno hodnotit a rozdělit podle následujících hledisek:

- Typ napadení (makroskopické hledisko)
- Charakter korozního děje

- Korozní (reakční) prostředí
- Rozhodujícího činitele, který má vliv na korozní napadení nebo děj

Různé formy korozního napadení jsou závislé na materiálu (druh, struktura, jakost), na korozním prostředí a podmínkách, kterým je materiál v korozním prostředí vystaven.[3]



Obr. 1. Některé druhy korozního napadení: A - rovnoměrné napadení (1 - původní povrch, 2 - napadený povrch), B - nerovnoměrné napadení, C - skvrnité napadení, D - důlkové napadení, E - bodové napadení, F - podpovrchové napadení, G - selektivní napadení, I - mezikrystalové napadení, J - transkrystalové napadení, K - extrakční napadení, L - korozní trhliny [3]

1.1.1 Chemická koroze

Je takový děj, při kterém dochází k narušení kovových materiálů vlivem chemické reakce vnějšího prostředí (vzduch, plyny, nafta, benzen ...) s materiálem. Přesněji jde o to,

že atomy materiálu, které jsou v přímém kontaktu s atomy obklopujícího prostředí, se navzájem ovlivňují.

Běžným případem chemické koroze je oxidace, při níž se na povrchu kovu vytvoří vrstva oxidů. Když je vzniklá vrstva oxidů pórovitá, nebo z povrchu odpadá, může koroze pokračovat tak dlouho, dokud se materiál nerozruší úplně. Je-li vrstva nepropustná nebo dobře přilnula k povrchu materiálu, tak se chemická reakce zpomalí nebo úplně zastaví.

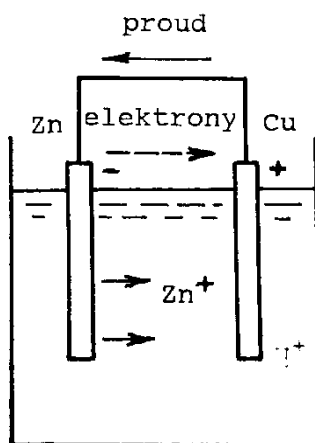
Velmi vysokou odolnost vůči chemické korozi má stříbro a platina, které neoxidují ani při velmi vysokých teplotách. [4]

1.1.2 Elektrochemická koroze

Na rozdíl od chemické koroze se vyznačuje elektrochemická koroze tím, že pro její vzniknutí a průběh je zapotřebí přítomnost elektrolytu (roztoky kyselin, zásad, solí rozpuštěné ve vodě), ve kterém je průchod proudu umožněn pohybem iontů a elektronů. Z kovu se tyto částice mohou přenášet na větší vzdálenost, než kterou mají dva sousední atomy. Potom vzniká korozní článek, který můžeme přirovnat ke galvanickému článku.

Mezi elektrodou článku a elektrolytem vznikne elektrické napětí, tzv. elektrodový potenciál. Jeho velikost, která je závislá na druhu kovu a elektrolytu, nám může přibližně určit náchylnost daného kovu ke korozi. Pro srovnání je ovšem nutné vycházet z tzv. standardního potenciálu příslušného kovu.

Standardním potenciálem je poté možné charakterizovat elektrochemickou ušlechtilost kovu, nebo z fyzikálního pohledu, snahu kovu uvolňovat elektrony a přecházet do iontového stavu (oxidovat). Pak rozdělujeme kovy na ušlechtilé, které mají tuto snahu menší než ostatní neušlechtilé kovy. [1]



Obr. 2. Schéma galvanického článku [1]

1.2 Ochrana před korozi

Základní poznatky o mechanismech a kinetice koroze nám umožňují vhodnými způsoby korozi zabránit nebo ji omezit na přijatelnou mez, aby se zvýšila životnost výrobků. Povrchová ochrana dává kovovému materiálu nové vlastnosti lišící se od vlastností základního kovu.

Jednotlivé druhy a formy koroze nelze uvažovat odděleně. Je nutné o korozních pochodech a o korozním napadení uvažovat komplexně. Proto je velmi důležité při návrhu protikorozní ochrany vzájemné sladění a kombinace jednotlivých ochran při současném zvážení ekonomické efektivity a ekologického působení.

Požadované ochrany lze dosáhnout dvěma způsoby. Zaprvé se může použít uspořádání soustavy (tj. předmět a prostředí), založené na volbě termodynamicky stabilnějšího konstrukčního materiálu nebo povlaku, ve vhodně zvoleném prostředí s menším degradačním účinkem. Druhým způsobem jsou opatření, která ovlivňují rychlost reakcí použitím materiálů a povlaků s pomalejším průběhem korozních reakcí, dále dodatečnou úpravou prostředí přidáním látek vytvářející bariéry, které brzdí korozi a opotřebení kovu.

Z hlediska charakteru korozní ochrany dělíme zamezení koroze kovových materiálů následovně:

- úprava korozního prostředí
- volba vhodného konstrukčního materiálu
- vhodné konstrukční řešení výrobku
- tvorba ochranných povrchových povlaků

1.2.1 Úprava korozního prostředí

To jestli k porušování povrchu bude docházet, a jakou rychlostí, závisí na vlastnostech obklopujícího prostředí. Jestliže známe činitele, kteří významně ovlivňují prostředí, ve kterém se povrch nachází, potom je možné dosáhnout účinné ochrany změnou složení tohoto prostředí. Úprava prostředí může být provedena dvěma způsoby:

- Odstranění činitelů zvyšující míru agresivity prostředí
- Přidáním látek, které ovlivní samotný průběh koroze nebo jej alespoň zpomalí

Každé prostředí (atmosféra, kapaliny, půda, spaliny ...) je charakterizované rozhodujícími činiteli, kteří ovlivňují stupeň agresivity a intenzitu korozního působení, kterému

je tento materiál vystaven. Na agresivitu prostředí se dále podílí i řada samostatně bezvýznamných činitelů, ale teprve až jejich společné působení se uplatňuje.

V atmosférickém prostředí se jedná především o snížení vlhkosti vzduchu pod kritickou hodnotu, která je 60 % relativní vlhkosti. Toho může být dosaženo zahřátím vzduchu, ventilací (sklady, garáže), vysoušením a pohlčováním vlhkosti, znemožnění kondenzace vodní páry (při časté změně a střídání teploty), vakuováním a hermetizací.

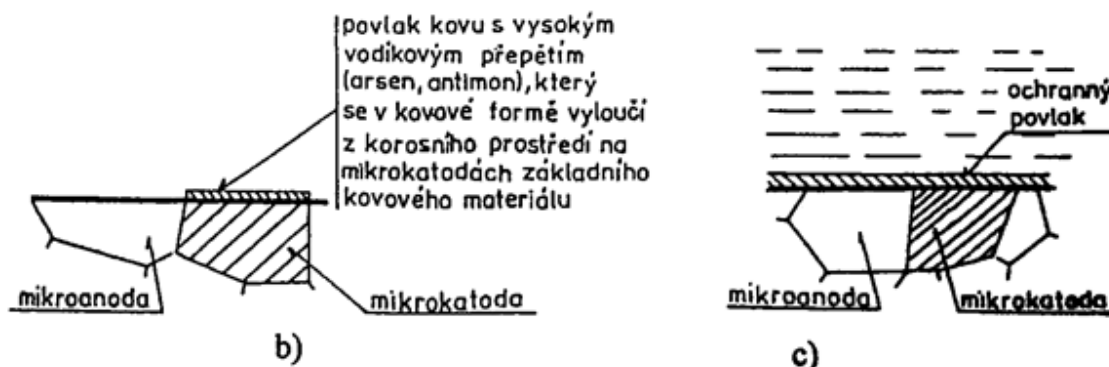
V prostředí vody jde o odstranění aktivní korozní složky, kterou je zejména kyslík a mnoho dalších plynů v uzavřených oběžných systémech (topení, energetická zařízení). Snížení obsahu kyslíku ve vodě můžeme dosáhnout předběžným ohřevem, snížením parciálního tlaku vzduchu nad kondenzátorem nebo chemickou vazbou kyslíku na alkalizační látky (hydrazin, siřičitan sodný ...). Obsah plynů v kapalinách zvyšuje i intenzitu kavitačního účinku proudícího média.

Při ohřevu kovů v pecích je třeba vyloučit přístup vzduchu zavedením ochranné atmosféry, resp. změnou parciálního tlaku oxidačních složek k dosažení jejich eliminace.

Průběh korozního působení může být ovlivněn přidanými látkami, a to především inhibitory koroze. Inhibitory jsou látky, které chrání povrch kovu v agresivním prostředí před korozí tím způsobem, že změní vlastnosti fázového rozhraní mezi kovem a prostředím. Reakcí kovu s přidaným inhibitorem za působení korozního prostředí vznikají na povrchu kovu tenké vrstvičky povlaku (filmu) prvků a jejich sloučeniny. Tyto zplodiny mají vliv na rychlost korozního procesu.

Aplikace inhibitorů se v technické praxi nejvíce používají pasivační inhibitory, které mají chránit oceli před atmosférickou korozí, především při skladování a přepravě. Zde je využíván dusitan sodný. [3]

Povlakové inhibitory vytvářejí na povrchu kovu ochranné povlaky. Sem patří fosforečnany, křemičitany, uhličitany apod. [4]



Obr. 3. Schéma funkce některých inhibitorů: b) chemický s pasivačními vlastnostmi, c) vytvářející povlak [3]

1.2.2 Volba materiálu

Různé materiály při stejných podmínkách korodují a opotřebovávají se různou rychlostí nebo jsou různě náchylné k jednotlivým formám koroze. Volba materiálu vychází z dobré znalosti chování kovů za různých podmínek a v daných prostředích. [1]

Korozní odolnost se posuzuje dle charakteru kovu, prostředí a podle fyzikálních podmínek korozního systému. Volbu vhodného materiálu provádíme s ohledem na následující hlediska:

- Termodynamická stálost kovu proti přeměně v jeho sloučeniny. Takovou stálost vykazují ušlechtilé kovy jako platina, zlato, měď, nikl a molybden.
- Schopnost snadné a účinné pasivace. Jedná se o vytvoření takového stavu na povrchu kovu, který se poté stává odolným proti účinkům prostředí. Jde o vytvoření korozně odolné oxidické vrstvy, která zvyšuje korozní odolnost povrchu.
- Vytvoření stabilní korozní vrstvy, která vyvolá zvýšenou odolnost proti dalšímu průběhu korozního napadení. Je to např. zinek, olovo, měď.
- Stupeň chemické čistoty kovu, který také ovlivňuje korozní odolnost. U slitin kovů záleží na podílu jednotlivých legujících prvků a na vztahu složek slitiny ke koroznímu prostředí.

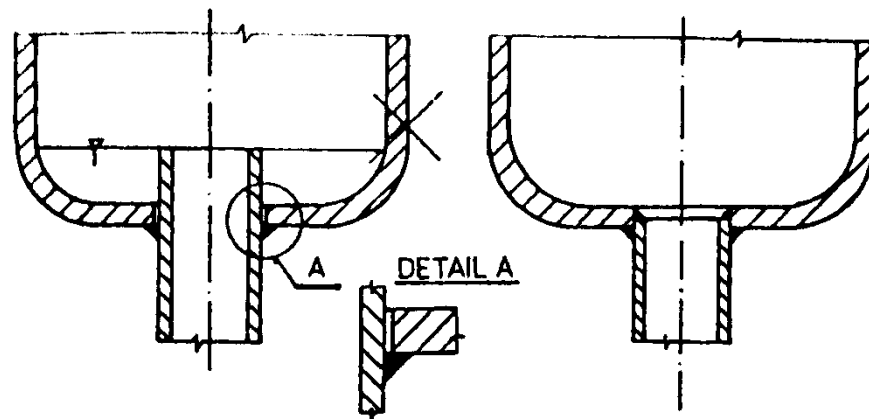
Vzhledem k odlišným korozním úbytkům kovů v různých prostředích a jejich rozdílných cenách je volba kovu spjata také s ekonomickými hledisky. Jestliže bude použit kvalitnější materiál a tudíž i dražší, může být v celkové životnosti výrobku levnější, především jedná-li se o obzvláště náročné podmínky. Mnohdy se dá využít levnější materiál v kombinaci s vhodnou povrchovou úpravou, pokud je dobře známé korozní chování povrchově upravovaného materiálu. [3]

1.2.3 Návrh vhodného konstrukčního řešení

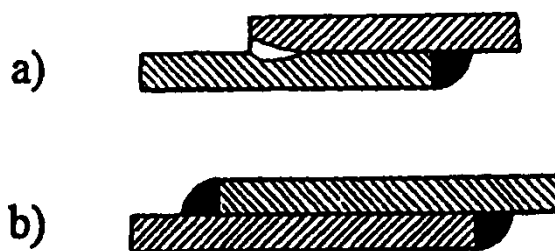
Součástí každého projektu a konstrukce má být vyřešení protikorozní ochrany a opotřebení. Samotné konstrukční řešení má za úkol minimalizovat uvedená namáhání. Optimální konstrukční řešení má respektovat všechny poznatky a pravidla pro danou ochranu. K nejzákladnějším pravidlům, která by měla být uvažována v konstrukční praxi, patří tyto zásady.:

Zkrácení doby styku s agresivním prostředím, které je velmi významné při tvorbě korozního napadení. Je proto potřeba výrobky konstrukčně řešit tak, aby se korozní pro-

středí nikde nezdržovalo déle, než je nezbytně nutné. Na konstrukci je nutné vyvarovat se štěrbinám a švům (viz *Obr. 4*), kde je kapilárním účinkem vlhkost nasávána do vzniklé mezery. Je nutné předejít ostrým úhlům mezi spojovanými dílci, uzavřeným prostorům a koutům, kde by mohlo docházet k zadržování kapaliny a usazování kalů. [3]

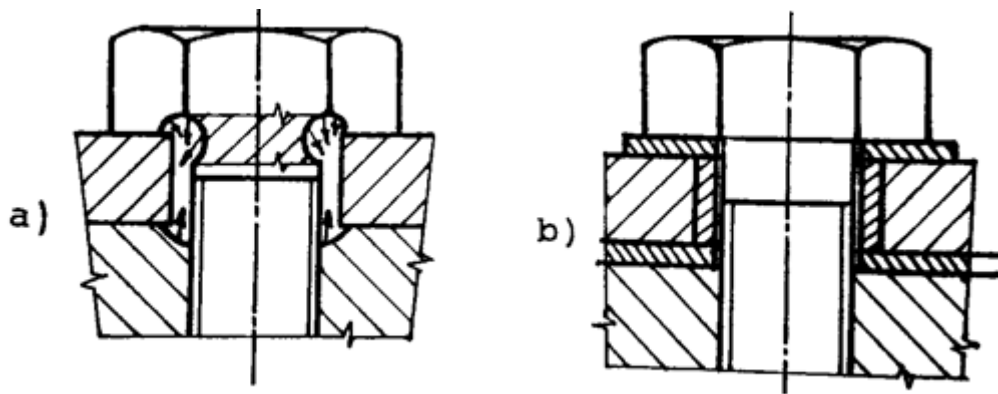


Obr. 4. Rozdílné umístění odtokového potrubí z hlediska korozního namáhání [3]



Obr. 5. Vznik štěrbin (řešení: a-nehodné, b-vhodné) [3]

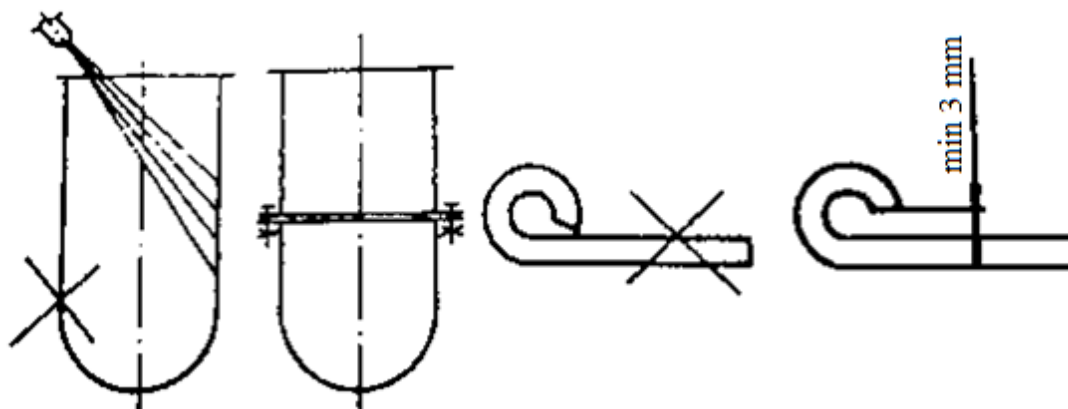
Zrovnoměnění korozních podmínek na celém povrchu předmětu směřuje k tomu, že nedochází ke zvýšení účinku některého korozního činitele a k urychlení korozní reakce. Je nutné vyhnout se takovým konstrukčním řešením, kde vzniká bimetalický spoj dvou elektrochemicky rozdílných kovů (např. spojení pozinkovaných plechů měděným šroubem), kdy koroze nejprve napadne kov méně ušlechtilý. V tomto případě to tedy je zinková vrstva. Jedná se o tzv. korozní makročlánek. Jestliže není možné vyhnout se použití dvou elektrochemicky rozdílných kovů, potom se musí zamezit vzniku korozního makročláneku použitím izolační vložky (*Obr. 6*). [1]



Obr. 6. Korozní makročlánek : a) korozní poškození, b) zamezení vzniku makročláneku izolační vložkou [1]

Vzájemný pohyb mezi výrobkem a prostředím také ovlivňuje korozní reakci na povrchu předmětu. Příznivě působí mírné proudění, protože zabraňuje usazování nečistot a sedimentů a tím i nerovnoměrnému napadení kovů. Naopak místní prudké turbulentní proudění je škodlivé, neboť odstraňuje tuhé korozní produkty a má za následek vznik makročláneků. Navíc velká rychlost proudění zvyšuje intenzitu erozivního a kavitačního namáhání výrobku.

Provedení i obnovení povrchové úpravy by mělo být zahrnuto v konstrukčním návrhu. Požadavky, které jednotlivé povrchové úpravy kladou na tvar a kvalitu povrchu se od sebe liší tak, jak se liší i ochranné vlastnosti daných povrchových úprav při jejich vytváření. Při návrhu je nutné počítat i s ovlivněním základního materiálu samotným technologickým procesem při povrchové úpravě. [3]



Obr. 7. Konstrukční řešení z hlediska možnosti vytvoření povrchové úpravy [3]

1.2.4 Tvorba ochranných povlaků

Vytváření povlaků na základní materiál je nejčastěji používaný druh protikorozní ochrany, která mění povrchové vlastnosti a vzhled výrobku. Nároky a požadavky na povr-

chovou úpravu a protikorozi ochranu jsou různorodé a velmi rozsáhlé. Toho docílíme vytvořením pasivních povlaků (jeden druh materiálu v jedné nebo více vrstvách), popřípadě povlakových systémů (několik vrstev materiálu více druhů). Ve výrobě je na povrchové úpravě kladen velký důraz, tak aby vytvořený povlak splňoval po celou dobu životnosti výrobku očekávané funkční, dekorativní i vzhledové vlastnosti. Snahou je zabránit předčasnému selhání protikorozi ochrany a zvýšit provozní životnost a spolehlivost výrobků.

Povrchová ochrana základního materiálu spočívá v několika mechanismech: [4]

- povlak dává základnímu kovu katodickou ochranu (zinkové povlaky na oceli)
- povlak izoluje chráněný povrch od korozního prostředí (plastové a pryžové povlaky, niklové povlaky na oceli, obklady, nátěry ...)
- slitina kovu vytvořená obohacujícími legujícími prvky (difúzní chromování, hliníkování ...)
- vytvořené sloučeniny chráněného kovu mají lepší ochranné vlastnosti (fosfátové vrstvy na oceli, oxidické vrstvy na hliníku a oceli)
- použité povlaky mají na chráněný kov inhibiční účinek vůči koroznímu napadení

2 HISTORIE PRÁŠKOVÉHO LAKOVÁNÍ

První historické zmínky o práškovém lakování začínají koncem 40. a začátkem 50. let minulého století. V této době byly organické polymery v práškové barvě nanášeny na kovové podklady žárovým stříkáním. Německý vědec Dr. Erwin Gemmer tehdy vyvíjel novou metodu nanášení práškové barvy ve fluidním loži, kterou si nechal v květnu roku 1953 patřičně patentovat. Touto metodou nanášení se vrstvy nánosu pohybovaly od 150 μm do 500 μm . Právě pro příliš velkou tloušťku se metoda ve fluidním loži přestala využívat.

Roku 1962 až 1964 se ve Spojených státech amerických i v Evropě rozšířila technologie elektrostatického nanášení práškových laků, která umožňovala nanášet mnohem menší vrstvy povlaku. Firma Sames v té době uvedla na trh elektrostatické nanášecí pistole. Tato metoda nanášení práškové barvy pomocí elektrostatických pistolí je využívána až dodnes.

V letech 1966 a 1973 byly na trh uvedeny čtyři základní typy práškových laků: epoxid, epoxi-polyester, polyuretan, polyester. Tyto typy jsou využívány i v dnešní době.

Od počátku 80. let 20. století se celá technologie rapidně rozšířila a stala dostupnější. Postupně byly vylepšovány jednotlivé charakteristiky nanášení práškových barev (menší tloušťka nánosu, struktura výsledného povlaku, výměna barev, vytvrzovací teplota ...), které omezovaly vyniknutí barevných efektů. Tento vývoj nastal i díky řadě přísnějších opatření k životnímu prostředí.

Metoda povrchové úpravy materiálu práškovými nátěrovými hmotami se v současné době vyvíjí po celém světě. Tento rozvoj způsobily především výborné vlastnosti práškového povlaku, velmi malá odpadovost práškové barvy a šetrnost technologie k životnímu prostředí. [5,6]

3 PRÁŠKOVÉ LAKOVÁNÍ

Technologie práškového lakování, někdy také zvaná jako komaxit, je moderní povrchová úprava především kovových materiálů jako je ocel, hliník a měď, ale existují i speciální typy práškových barev, kterými se může povrchově upravit i materiál jako např. plast, keramika, sklo a teplotně málo odolné materiály (minimální vytvrzovací teplota 150 °C). Tato technologie se používá k lakování výrobků tzv. bílého programu (lednice, pračky, mikrovlnné trouby), kovového nábytku, kancelářských potřeb, krytů výpočetní techniky, sportovního náradí, jízdních kol, dílů pro automobilový průmysl, radiátorů, poštovních schránek, vchodových dveří, osvětlovacích lamp a spoustu dalších výrobků.

Práškové lakování patří mezi jednovrstvou povrchovou úpravou. Tato vrstva laku o tloušťce několik desítek mikrometrů, dokáže ochránit podkladový materiál proti korozi a klimatickým vlivům okolního prostředí, a to i v průmyslově zatížených oblastech. Mnohé laky mají vynikající chemickou odolnost a zvyšují životnost i v extrémním korozním prostředí. Avšak zásadním faktorem je výsledný vzhled laku, proto některé práškové nátěrové hmoty nelze využít na výrobcích, které jsou silně pórovité, vlhké nebo znečištěné.

Nanášení práškových laků probíhá v lakovacích linkách složených z několika částí. Každá část má danou funkci a svou důležitost pro finální kvalitu povlaku součástí. Každý druh podkladového materiálu a použitý práškový lak má jiné nároky na předúpravu, nanášení prášku a potřebné vypalovací parametry. [7,8,9]

3.1 Předúprava povrchu

Důležitou částí celého technologického procesu práškového lakování je předúprava povrchu lakované součásti. Předúprava před samotným nanášením práškové nátěrové hmoty má zásadní vliv na vlastnosti nátěru, například na přilnavost prášku a tím i celkovou životnost nátěru. Správnou volbou předúpravy zaručíme vytvoření konverzní vrstvy, která zaručí adhezi mezi povrchem a naneseným práškovým povlakem. Nedostatečně provedená předúprava vede ke snížení přilnavosti, vzniku puchýřů anebo jiných vad povlaku.

Předúpravu lze rozdělit do dvou skupin:

- Mechanická předúprava (broušení, omílání, otryskávání)
- Chemická předúprava (odmašťování, moření, fosfátování)

3.1.1 Mechanická předúprava

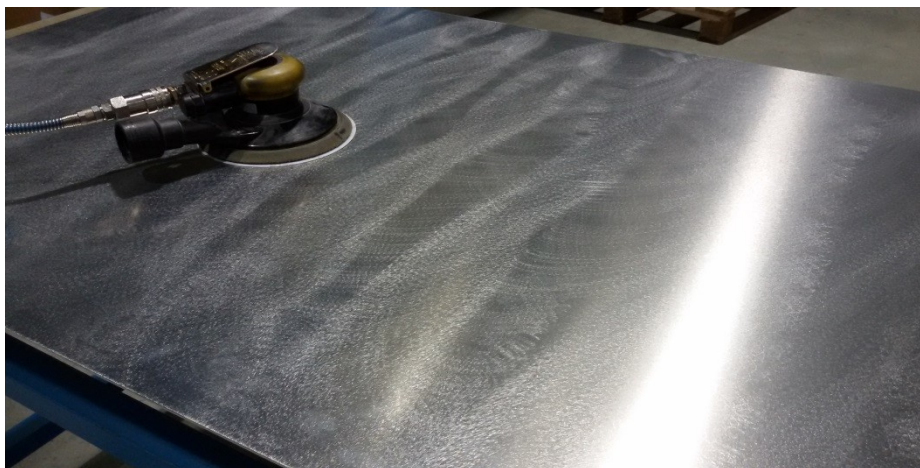
Mechanická předúprava má za úkol odstranit z výrobku nečistoty jako jsou okuje, rez, struska, které mohou zůstat na povrchu výrobku z předešlých technologických operací jeho výroby. Těmito předběžnými úpravami se zajistí nejenom odstranění nečistot, ale i vhodná mikrogeometrie a mikrostruktura (obvykle je hodnocená drsnost povrchu).

3.1.1.1 Broušení, kartáčování, leštění

V povrchových úpravách má broušení jiný význam než u přesného obrábění. Zde se nejedná o přesnost rozměrů, ale spíše o odstranění nerovnosti povrchu, dosažení lesku nebo požadované kvality povrchu pod následující povlak. Pro broušení se používají jako pracovní nástroje buďto kotouče nebo pásy, na kterých jsou nalepeny brusné částice (zrna). Při vybrušování nerovností nebo rýh v podkladovém materiálu se postupuje od hrubějších brusiv k jemnějším, přičemž směr jednotlivých brousících operací by měl být různý.

Broušení a leštění je nejnákladnější operací z mechanických úprav, proto se volí jen tam, kde jsou kladeny maximální nároky na kvalitu a jakost povrchu upravovaného dílce. Hranice mezi broušením a leštěním není přesně stanovena. Leštění je operace, při které dochází k malému úběru materiálu a navíc i k plastické deformaci povrchové vrstvy. Jedná se tedy o odstraňování nejjemnějších stop po nástroji z předešlé operace, za dosažení velmi nízké drsnosti a vysokého lesku. Na výsledný lesk má vliv nejenom leštící nástroj a jeho obvodová rychlost, ale i použitá leštící pasta.

Kartáčování se používá pro dva druhy operací. Jednak k odstranění hrubých nečistot a dále jako operace zařazovaná po broušení nebo před leštěním k odstranění oxidické vrstvy, která vznikla po předchozím broušení. [3]



Obr. 8. Broušení hliníkového plechu pneumatickou bruskou

3.1.1.2 Omílání

Je způsob mechanické úpravy povrchu členitých a drobných výrobků. Omílání je založeno na vzájemném odírání výrobku, omílajících těles, brusiva (křemenný písek, ocelové broky nebo kamenné oblázky) a vhodném chemickém přípravku, který odvede částky omletého materiálu a tím tak čistí povrch výrobku i povrch omílacích tělísek. Dalším úkolem přípravku může být odrezování nebo odmašťování. Pomocí omílání můžeme řešit mnoho technologických požadavků jako je odstraňování otřepů, zaoblování hran, vyhlazování povrchu, odstranění okují i povrchové zpevnění součástí.

Podle druhu omílací operace se volí omílací prostředky i chemické přípravky. Pro hrubování se používá větších omílacích prostředků s vyšší tvrdostí a hrubostí a zrnitostí. Životnost přírodních omílacích tělísek je nízká. Syntetická tělíska v normalizovaných velikostech lze zvolit dle druhu výrobku. Velikostí zrna i druhem pojiva je možné regulovat úběr a drsnost opracovávaného povrchu.

Omílat můžeme v horizontálních bubnech nebo průběžně. Používají se také vibrační omílací stroje. To jsou nádoby, které se rozkmitají pomocí vibrací či kmitů, tím se zkracuje doba procesu až o 50 – 70 % a zmenšuje se možnost poškození choulostivějších předmětů. Výhodou této předúpravy je zpevnění povrchu a zvýšení korozní odolnosti. Naopak nevýhodou je nerovnoměrný úběr materiálu, který je největší na hranách předmětu. Nemohou se omílat předměty, u nichž otupení hran znamená poškození výrobku. [4]



Obr. 9. Omílání výrobků v horizontálním bubnu [10]

3.1.1.3 Otryskávání

Tryskání je technologie úpravy povrchu materiálu proudem jemných částic. Tím dosáhneme odstranění nečistot, koroze a zdrsnění povrchu. Zdrsnění povrchu zlepšuje přilnavost pro práškové nátěrové hmoty. Příliš velké zdrsnění plochy má naopak nežádoucí účinek a to ten, že vrcholky struktury otryskané plochy jsou schovány jen malou vrstvou nátěrové hmoty. Nejčastěji používané tryskací materiály jsou ocelové broky, křemičitý písek, ocelová drť. Velikost tryskacího materiálu je 0,4 – 0,8 mm. Technolog musí vždy dobře zvolit tryskací materiál. Pro hliník se doporučuje korund nebo křemičitý písek. [1,4]

3.1.2 Chemická předúprava

Chemický proces předúpravy je několikanásobně složitější než mechanický. Úkolem chemické předúpravy je odstranění mastnot, solí a prachu z povrchu lakovaných dílů. Chemická předúprava je u práškového lakování velice důležitá, ale také složitá. Může být prováděna technologií ponorovou, kde jsou lázně odděleny a obrobky větších rozměrů jsou za pomoci pojezdových jeřábů spouštěny a ponořeny do požadovaných částí lázně. Předúprava je složena z několika za sebou jdoucích operací. [4]

3.1.2.1 Odmaštění

Odmašťování je součástí každé povrchové předúpravy, které má za úkol odstranit mastnoty, prach, soli a jiné chemické látky z povrchu dílu. Musí se vycházet z druhu nečistot, které se mají odstranit a také druhu upravovaného materiálu. Avšak často je k dispozici jen jedna linka, na které se musí proces odmaštění uskutečnit. Proto se klade požadavek na její univerzálnost. Organická rozpouštědla odstraňují pouze mastné nečistoty jako oleje, tuky, maziva a další. Více se používají odmašťovadla s kyselými, neutrálními nebo alkalickými chemikáliemi. [4,11]

- Alkalické odmaštění

Nejčastěji se používá hydroxid sodný nebo uhličitán sodný ředěný smáčedly (tzv. tenzidy) při koncentraci do 10 % účinných látek a teplotách 40 až 70 °C po dobu 1 až 20 minut. Vše závisí na stupni znečištění podkladu. Mastnota v roztocích emulguje (zmýdlovatí) a má snahu se usazovat na hladině zásobníku s roztokem. Při odmašťování v ponorných lázních je důležité zajistit účinné proudění roztoku, při postřiku zase to, aby se nevytvářela pěna. Postřikový způsob odmašťování využívá mechanického účinku dopadající

kapaliny k snadnějšímu vytěsnění mastnot a jejich emulgaci a umožňuje tím snížení operační doby, koncentrace odmašťovací lázně a pracovní teploty. Poté musí následovat oplach demineralizovanou vodou (tzv. demivodou).

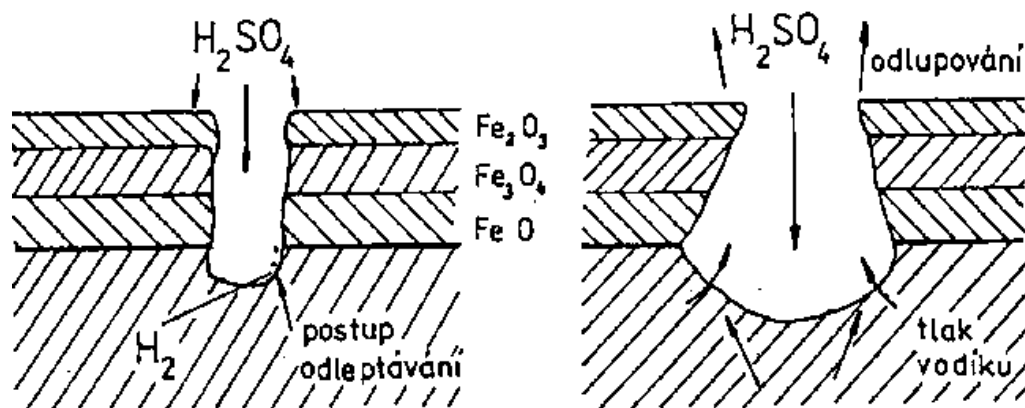
- Odmaštění organickými rozpouštědly

Při tomto způsobu čištění se rozpouštějí mastná látky a tím se zároveň uvolní i ostatní ulpělé nečistoty. Odmašťování je rychlé a hodí se pro předběžné čištění od silných vrstev nečistot na povrchu dílce. Ideální rozpouštědlo by mělo odstranit všechny druhy nečistot, mělo by být stálé, nejedovaté, nehořlavé a mělo by se dát lehce regenerovat. Nejvíce používaným rozpouštědlem je trichlorethalén a perchlorethylen, které jsou nehořlavé, nenapadají kov (kromě hliníku a hořčíku), jsou poměrně stálá. Jejich nevýhodou jsou narkotizační účinky a možnost rozkladu při zvýšených teplotách (120 °C, 150 °C) a přímým slunečním světlem. Rozpouštědla se dají regenerovat oddělením vody a destilací. Dalším používaným rozpouštědlem je nafta, petrolej, benzín, benzen, toluen. Druhou nevýhodou tohoto způsobu odstranění nečistot je skutečnost, že tato rozpouštědla nevyhovují požadavkům bezpečné a zdravotně nezávadné práce. [4,11]

3.1.2.2 Moření

Moření je chemický způsob odstraňování korozních produktů, jako jsou rez a okuje, které vznikly při tepelném zpracování za působení běžných atmosférických podmínek. Nejčastěji se k moření používají kyseliny, které rozpouští nečistoty, ale částečně naleptávají i základní kov a tím zvyšují přilnavost mezi nanášenou vrstvou a samotným výrobkem.

V technické praxi se používá kyselina sírová. Kyselina podleptává povlak a vodík, který se uvolňuje při rozpouštění materiálu ve formě bublinek, svým tlakem podporuje odtrhávání oxidické vrstvy od základního materiálu. Vodík má na moření špatný vliv tím, že vniká do povrchu dílce, kde se koncentruje a způsobuje křehnutí, a tak nepříznivě ovlivňuje následující operace povrchových úprav. Při vytvrzování práškových barev by se vodík mohl začít uvolňovat a tím způsobit opětovnou korozi materiálu. Proto by po moření měla následovat pasivace. [4]



Obr. 10. Moření v kyselině sírové: Rozpuštění kovu v místě ponoru do kyseliny, Odtrhávání okují vodíkem od kovového základu [4]

3.1.2.3 Pasivování

K dosažení požadované přilnavosti a korozní odolnosti je potřeba povrch nejen důkladně odmastit, ale i připravit na jeho povrchu vrstvu, která bude mít dobré vlastnosti pro přilnavost nátěrové hmoty a její protikorozní účinnost. Toho se dosahuje pomocí konverzní vrstvy železnatým nebo zinečnatým fosfátováním.

- Železnaté fosfátování

Nejčastěji se provádí postřikem. Kyselina fosforečná působí na kov a vznikají nerozpustné fosforečnany, které jsou vázané do krystalické mřížky kovu a mají záporný náboj. Na povrchu kovu vytváří tenkou vrstvičku fosforečnanu železnatého. Tato vrstva je velmi tenká a kompaktní, její síla se pohybuje v rozmezí 0,25 – 4 μm . Příliš tlustá vrstva může být křehká a způsobovat horší přilnavost laku v namáhaných místech. Po procesu fosfátování se aplikuje oplach demivodou. [4,12]

3.1.2.4 Oplachy

V chemických předúpravách povrchu je velmi důležité provádět oplachy mezi jednotlivými operacemi. Při přemísťování výrobků z jednotlivých lázní vznikají ztráty lázně vynesemím na povrchu nebo v dutinách předmětu a je zde možnost znečištění plovoucími nečistotami na hladině ponorové lázně. [3]

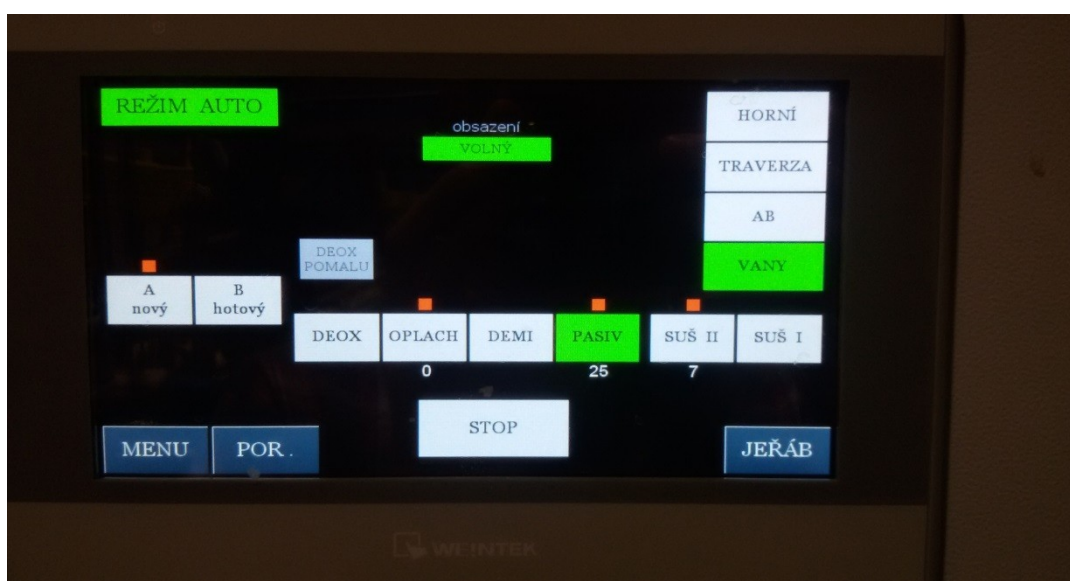
Po nanesení konverzních povlaků prochází díly ještě oplachy teplou demineralizovanou vodou (demivodou). Smývají se chemikálie a anorganické soli z povlaku, které nezreagovaly.

Demivoda

Voda z běžného vodovodního řádu obsahuje minerály a látky ve formě solí. Soli mohou ovlivnit přilnavost práškové barvy a zvyšují míru koroze podkladu. Voda proto musí být upravena chemickými prostředky před tím, než je použita na oplachy a odmašťování.

3.1.2.5 Sušení

Poslední částí předúpravy je sušení. Upravovaný díl je pomocí dopravního jeřábu spuštěn do sušicí komory s cirkulací vzduchu o teplotě 120 °C na 20 minut. Pro nanášení prášku musí být povrch dílu dokonale vysušený.



Obr. 11. Ovládací panel automatizované linky chemické předúpravy

3.2 Práškové nátěrové hmoty

Práškové hmoty tvoří zvláštní skupinu povrchových úprav. Svou charakteristikou a způsobem nanášení se sice řadí do skupiny tzv. průmyslových nátěrových hmot, ale od nátěrových hmot se významně liší. Protože jsou svým složením a vlastnostmi bližší více plastům než klasickým nátěrovým hmotám, místo názvu práškové nátěrové hmoty se často používá název práškové plasty.

Původně byly práškové nátěrové hmoty určeny k povrchové úpravě kovových materiálů, snášejících vytvrzovací teplotu min. 150 °C. I dnes jsou kovy, především železo, hliník a měď hlavní částí produkce. S vývojem práškových nátěrových hmot se začaly nabízet hmoty pro povrchovou úpravu skla, plastů, některých druhů keramiky a dřeva. I přes neu-

stálý moderní vývoj stále na některé výrobky práškové nátěrové hmoty nelze použít. Jedná se o plasty, které nevydrží vypalovací teplotu, dřevo obsahující vlhkost a silně pórovité materiály.

Práškové nátěrové hmoty jsou významné nejen kvůli konečnému estetickému vzhledu, ale i díky svým ochranným vlastnostem, které zvyšují životnost výrobku, ovlivňují jeho funkčnost a rozšiřitelnost použití i v extrémních podmínkách, kde by bez vhodné povrchové úpravy nemohl být použit, anebo by mohl být použit jen po omezenou dobu.

Nejrozšířenější druhy práškových plastů se vyrábějí v mnoha vzhledových typech a široké škále odstínů (nejčastěji dle stupnice RAL) v různých verzích – lesk, pololesk, polomat, mat a v provedení struktury jemné, střední a hrubé.

Práškové laky mají 100 % tuhé skupenství ve formě prášku. Jsou složeny ze směsi pojiva (pryskyřice), tvrdidel, pigmentu, plniv a dalších aditiv, dodávajících povlakům tvrdost, lesk, strukturní vzhled atd.

Výhody práškového lakování ve srovnání s klasickými rozpouštědlovými nátěrovými hmotami jsou tyto.: [13,14]

- Při výrobě se nepoužívají žádná rozpouštědla
- Ochranné vlastnosti jsou srovnatelné, mnohdy i lepší
- Pro většinu aplikací stačí jedna vrstva povlaku
- Tato technologie je téměř bezodpadová. Použitý prášek lze recyklovat a tím odpadovost zredukovat až na 2 – 3 %

3.2.1 Rozdělení práškových nátěrových hmot podle typu pojiva

Práškové nátěrové barvy jsou tuhé hmoty ve formě částic o velikosti od 10 µm do 500 µm. Práškový plast je tvořen pryskyřicí, plnidlem, pigmentem a složkami pro úpravu rozlivu a vytvrzování. Na základě vytvrzovacích vlastností můžeme rozdělit práškové nátěrové hmoty do dvou základních skupin:

- Termoplasty
- Reaktoplasty

3.2.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou plasty, které se při vyšších teplotách stávají tvárnými až tekutými a při ochlazení se stávají pevnými. Tuto změnu je možné provádět opakovaně, proto se také označují jako vratné plasty. Jsou to barvy na bázi polyvinylchloridu nebo polyetylenu

určené především pro ponorové (fluidní) nanášení. Vzhledem k jejich nevýhodným vlastnostem je jejich použití omezené.

3.2.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou nevratné plasty. Oproti termoplastům se po opakovaném zahřátí nedají vrátit do plastického stavu. To je způsobeno tím, že při zahřátí proběhne chemické zesíťování a tím ztrácí své počáteční plastické vlastnosti. Výhodou těchto práškových plastů je nízká vytvrzovací teplota od 120 °C do 180 °C. Mezi další výhody těchto plastů patří vysoká kryvost 30 μm – 90μm, velký výběr odstínů, druhů struktury povrchu a dobré nabíjecí vlastnosti. Díky těmto vlastnostem se staly velice používanou povrchovou úpravou. Reaktoplasty dělíme dle základního pojiva (pryskyřice) na epoxidy, epoxi – polyester, polyestery, polyuretany, akryláty.

- **Epoxidy (EP)**

Reaktoplastický prášek je složený z pevné epoxidové pryskyřice, vybraných tvrdidel, pigmentů, plniv a aditiv. Je určen výhradně do interiéru. Při styku s UV zářením pozvolna ztrácí lesk, křídovatí a postupně mění odstín. Křídovatění je zmatnění povrchu a zároveň rozložení polymerního filmu, což má za následek úbytek nanesené vrstvy. Další nevýhodou je sklon k přepalování. To se projevuje při nedokonalém vypalování, kde především bílé odstíny mohou zažloutnout. Epoxidové nátěry velmi dobře odolávají korozi a mají vysokou odolnost proti otěru. Tloušťky vytvrzeného povlaku se pohybují od 60 μm do 90 μm. Hlavní použití: kancelářské potřeby, domácí spotřebiče, armatury, elektroprůmysl.

- **Epoxi – polyester (EP+PES)**

Epoxi-polyestery jsou označovány jako hybridy nebo mixy. Dnes jsou nejvíce používanými práškovými plasty. Skládají se z kombinace epoxidových a polyesterových pryskyřic v poměrech od 30:70 až 50:50. Jsou určeny především do vnitřního prostředí, ale vzhledem k tomu, že jsou oproti epoxidovým typům odolnější vůči UV záření, lze je používat i na výrobky krátkodobě vystavené povětrnostním vlivům. Oproti epoxidům mají nižší chemickou odolnost. Jejich výhodou je nízká cena a široká škála odstínů, lesků, typů povrchu a metalických úprav. Jejich vypalovací teploty jsou velmi nízké od 140 °C po dobu 10 minut. Optimální tloušťka povlaku po vypálení je od 60 μm do 90 μm, ale existují i tzv. tenkovrstvé povlaky, které mají vysokou kryvost již při tloušťce 30 μm. Hlavní použití: regálové systémy, výpočetní technika, radiátory, domácí spotřebiče.

- **Polyestery (PES)**

Jsou vyráběné především k použití v exteriéru. Mají vysokou odolnosti proti UV záření a povětrnostním podmínkám. Rozdělují se na fasádní polyestery a průmyslové polyestery. Fasádní polyesterové práškové nátěrové hmoty se vyrábí ze surovin, které mají výborné vlastnosti. Díky tomu je možné garantovat stálost odstínu a lesku až na 20 let. Běžně se používají na hliníkový podklad ve stavebnictví – okna, dveře, profily, rolety. Průmyslové polyestery nepodléhají tak vysokým požadavkům jako fasádní. Proto suroviny na výrobu barev nemusí mít tak kvalitní vlastnosti. To se projeví i na ceně, která je menší. Jsou vhodné pro průmyslové výrobky jako zemědělské stroje, kempingový a zahradní nábytek, osvětlovací zařízení.

- **Polyuretany (PUR)**

Základním složením je hydroxylová polyesterová pryskyřice, vybrané pigmenty s dobrou světelnou a vodivou odolností, plniva a aditiva. Tento typ prášku se vyznačuje velkou tvrdostí, dobrou odolností proti povětrnostnímu prostředí a velmi dobrým rozlívem. Polyuretany se dají vyrábět i jako antigrafitické. Nevýhodou je jejich vysoká cena. Pro vytvrzování je nutná teplota od 180 °C. Využití je podobné jako u polyesterů, ale díky vysoké čirosti se více používají na odolné transparentní laky, na disky kol, jízdní kola a části motocyklu.

- **Akryláty**

Akryláty jsou relativně novou specifickou řadou nátěrových hmot. Skládají se z akrylátové pryskyřice zesíťované různými tvrdidly. Hlavní nevýhodou je nekompatibilita s aplikací jiných práškových nátěrových hmot, vysoká cena, velká náchylnost na změnu teploty. Aplikace musí probíhat v klimatizovaném boxu za stálé teploty 20 °C. Jejich výhodnými vlastnostmi jsou dokonalý rozlív, vysoký stupeň lesku, vysoká mechanická a chemická odolnost. Proto se tyto barvy používají především v automobilovém průmyslu. [15,16,17,18]

3.2.1.3 Speciální typy barev

- **Decoral**

Tato technologie je patentována firmou Decoral System. Jde o vytvoření dekorativního autentického vzhledu dřeva, mramorového žilkování nebo žuly na hliníkových profilech. Používá se dvouvrstvé nanášení. První vrstva je základová barva, druhá vrstva je na-

nesena pomocí fólie s požadovaným motivem. Vyznačuje se chemickou odolností a možností venkovního použití se zárukou neměnnosti vzhledu barvy a lesku. [22]



Obr. 12 Nanesení dekoru dřeva na hliníkové profily

- **Antibakteriální**

Tento speciální druh práškových barev navíc obsahuje stříbro, které je vázané na nanočástice. Stříbro je dezinfekční a antibakteriální, proto zamezuje tvorbě bakterií a hub, které mohou ulpět na povrchu povlaku. Při kontaktu povlaku s vlhkostí se uvolňují ionty stříbra. Využití tohoto typu barev je především v potravinářském průmyslu a u zdravotnických zařízení a nástrojů.

- **Anti-graffity**

Povlaky těchto barev mají velmi nízkou porézní absorpci. Tato vlastnost se často používá k úplnému odstranění posprejovaných ploch. Dalšími výhodnými vlastnostmi jsou vysoká odolnost proti chemikáliím a poškrábání. Využití těchto barev spočívá především v chemickém a tiskařském průmyslu, ale také v ochraně předmětů před vandalismem. [16]

3.2.2 Skladování práškových nátěrových hmot

Práškové barvy je nutno skladovat při teplotě max. do 25 °C v suchém prostředí. Nemělo by docházet k teplotním výkyvům, které by mohly způsobit kondenzování vlhkosti na obalu a následné zvlhnutí prášku. Dodržování skladovacích podmínek ovlivňuje život-

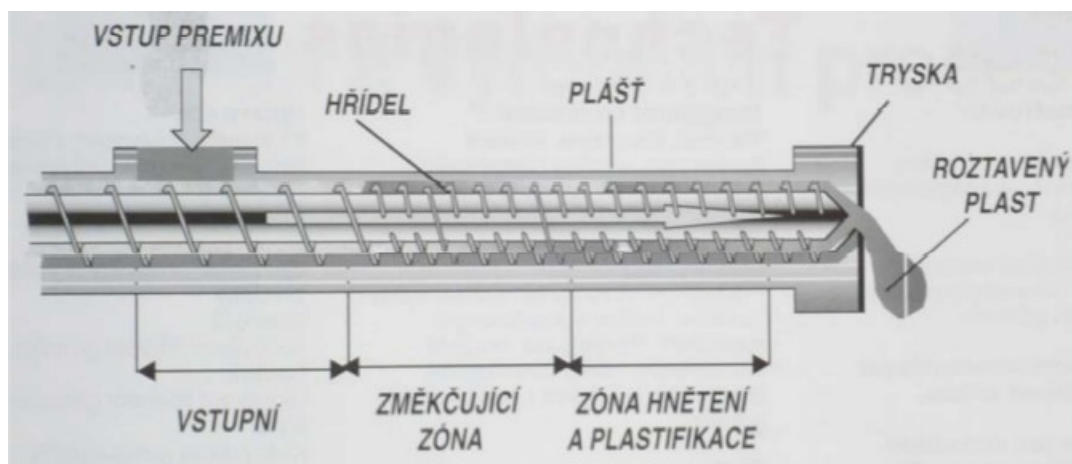
nost a kvalitu prášku v lakovně. Výrobci doporučují odzkoušení prášku otevřeného 6 měsíců. Minimální životnost barev se pohybuje od 24 do 36 měsíců.



Obr. 13. Vlevo - Klimatizovaný sklad barev na 20 °C, Vpravo - Uskladněná barva

3.2.3 Výroba práškových nátěrových hmot

Výroba práškové barvy začíná tím, že se smíchají všechny potřebné přísady v určitém poměru. Přesný poměr je vždy závislý na požadovaných mechanických, chemických a protikorozních vlastnostech, ale do jisté míry bývá i výrobním tajemstvím jednotlivých dodavatelů. Obecně se dá říci, že práškové barvy se skládají z tvrdidla, pryskyřice, pigmentů, plniv, katalyzátorů, činidel regulujících rozliv a mnoho dalších aditiv zlepšujících výsledný povlak. Všechny tyto složky jsou smíchány dohromady a tím vzniká tzv. premix. Ten je posléze nasypán do extruderu, kde se postupně mění v taveninu.



Obr. 14. Proces extruze při výrobě práškových nátěrových hmot [20]

Roztavená plastová barva je vedena přes chladičí a rovnací válce na pásový dopravník, který dopraví zchlazený plastový plát k drtiči. Drtič tento plát rozmělní na hrubé částice o velikosti zhruba 10 – 60 mm. Hrubé částice jsou dalším dopravníkem nasypany do mlýna, kde jsou rozemlety na požadovanou velikost a pokračují do separátoru, který oddělí velmi jemné částice barvy a případné nečistoty. Výsledná prášková barva je dávkovačem nasypana do obalu. Nejčastěji je barva dodávána v 20 nebo 25 kg balení. Pro velké průmyslové firmy může být dodávána v pytlích, které mohou vážit 100 – 300 kg. [19,20]



Obr. 15. Rozválcování a drcení práškového plastu [21]



Obr. 16. Dávkování do balení [21]

3.3 Nanášení práškových nátěrových hmot

Dnes se prakticky všechny práškové plasty nanášejí stříkáním v elektrostatickém poli. Aby mohla být prášková barva použita k aplikaci na výrobek, který má být povrchově upraven, je potřeba jí dát vlastnosti tekutiny. V aplikačním zařízení je prášková barva smíchána s tlakovým vzduchem a hnána ze zásobníku tlakovou hadicí do aplikační pistole a z ní stříkána na výrobek. Aby nanesený prášek na výrobku zůstal a nespádl z něj dříve, než dojde k jeho roztavení na povrchu výrobku ve vytvrzovací peci, je mu v aplikačním zařízení dodána elektrostatická energie, která způsobuje přitahování jeho částic ke stříkanému výrobku a následné ulpění na něm. Toto nabití je zajišťováno dvěma způsoby: třením o vnitřní stěny aplikačních pistolí, případně i tlakových hadic a dalších pomocných dílů, vyráběných zpravidla z teflonu, nebo získáním náboje pomocí elektrody vysokého napětí umístěné u výstupové části aplikační pistole. Nanášet můžeme dvěma způsoby: [4,14]

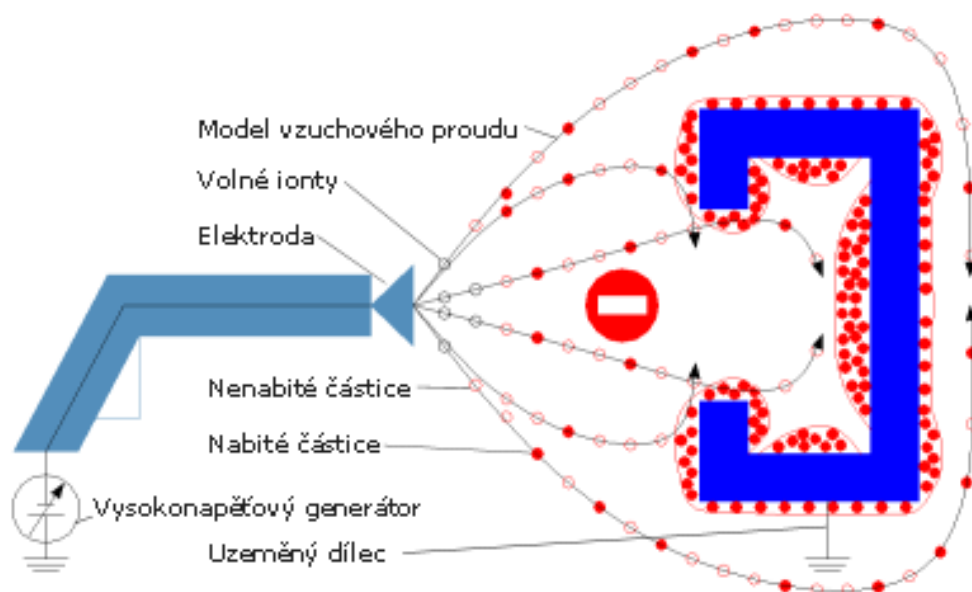
- Elektrostaticky – (Korona) nabíjením při průchodu prášku vysokonapětovým elektrostatickým polem
- Elektrokineticky – (Tribo) nabíjením, kde elektrostatický náboj na částicích prášku vznikne díky jejich tření



Obr. 17. Aplikační zařízení s nanášecí pistolí

3.3.1 Elektrostatické nabíjení

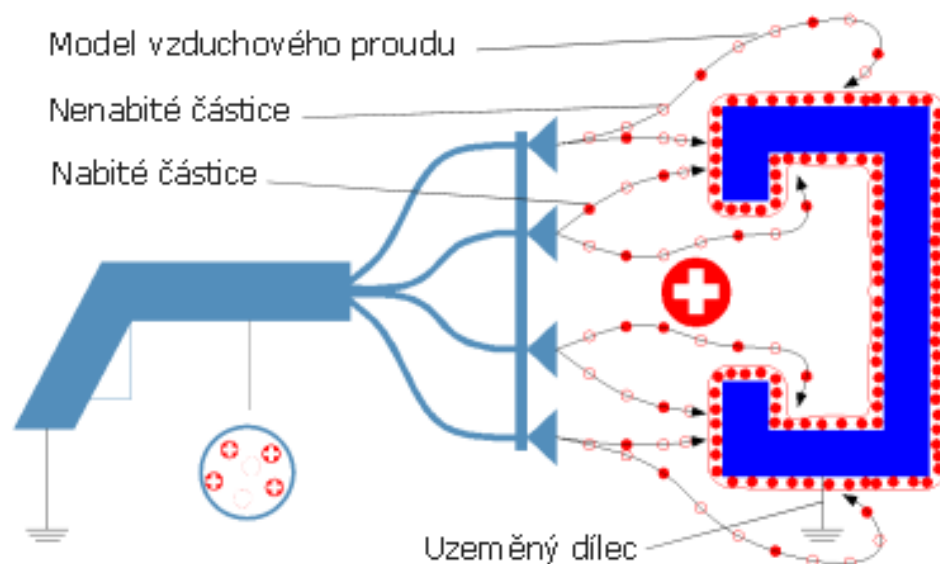
Vysoké napětí (30 – 100 kV), soustředěné na trysce stříkací pistole, způsobuje ionizaci vzduchu procházející pistolí. Při průchodu prášku tímto ionizovaným vzduchem se volné ionty přichytí na určitém počtu částic prášku, tím se na částicích vytvoří záporný náboj. Mezi elektrostatickou stříkací pistolí a povlakovaným předmětem jsou přítomny záporně nabitě částice prášku, nenabitě částice prášku a volné ionty. Cílem je vždy dosáhnout co největšího počtu nabitých částic během procesu. Kvalita nanášecího zařízení nejvýrazněji ovlivní tento počet částic. Volné ionty jsou malé a mnohem pohyblivější než částice prášku. Přebytké ionty se rychleji pohybují směrem k předmětu a tím na něj přenášejí velké množství záporných nábojů. Regulací napětí ovlivníme množství volných iontů. Příliš vysokým napětím způsobíme nadbytečný přísun volných iontů, což má za následek zhoršení rozlivu a celkové zhoršení vzniku dobrých vlastností naneseného povrchu. Vlivem vysokých hodnot napětí vznikají mezi tryskou stříkací pistole a předmětem elektrostatická pole. Tento jev se označuje jako efekt Faradayovy klece a v důsledku jeho působení je obtížné nanést prášek do míst s menší hustotou pole (vnitřní plochy, dutiny). To může způsobit nestejnou tloušťku barvy na výrobku. Zkušená obsluha by měla dokázat nastavit optimální hodnoty napětí a tento jev eliminovat. Výhodou elektrostatického nanášení je široký rozsah regulace nabíjení a tím je možné aplikovat široké spektrum práškových nátěrových hmot od metalických odstínů, tenkovrstvých povlaků až po různé typy struktur. [4,14]



Obr. 18. Schéma elektrostatického nanášení práškové barvy [7]

3.3.2 Elektrokinetické nabíjení

Částice prášku se elektrokineticky nabíjejí díky tomu, že při rychlém pohybu se otírají o speciální druh izolačního materiálu, kterým je obložen válec stříkací pistole. Mezi elektrokinetickou stříkací pistolí a předmětem jsou přítomny kladně nabitě částice prášku a nenabitě částice prášku. U elektrokinetického nabíjení se nevyužívá vysokého napětí, které by mohlo generovat volné ionty nebo vytvářet elektrické pole. Účinnost nabíjených částic prášku závisí na proudění prášku ve stříkací pistolí. Optimální poměr nabitých částic nátěrové hmoty lze dosáhnout pomocí regulace průtoku vzduchu proudícího pistolí a poměru množství prášku se vzduchem. Na některých moderních nanášecích pistolích je zabudován mikroampérmetr, který nepřímo udává hodnotu elektrického proudu a tím účinnost procesu nabíjení částic. Velké hodnoty mA nám také ale nezaručí dobré výsledky nanášení práškové hmoty. Hodnota naměřeného elektrického proudu závisí na množství prášku, který projde stříkací pistolí, ale nejdůležitější údaj je poměr nabitých a nenabitých částic nátěrové hmoty. Hlavní předností elektrokinetického nabíjení je, že při něm nemůže dojít k efektu Faradayovy klece, které by mohlo způsobit nestejnou tloušťku výsledného povlaku. Nevýhoda je při aplikaci práškových nátěrových hmot s metalickými pigmenty, které nedokáže tribo aplikace dostatečně nabít. [4,14]



Obr. 19. Schéma elektrokinetického nanášení práškové barvy [7]

3.3.3 Podmínky pro správnou aplikaci

Při aplikaci práškové barvy je podstatné, aby byl dodržen správný technologický postup, který začíná předúpravou a končí vytvrzením. Samotná prášková barva proces nijak výrazně ovlivnit nemůže, ale mohou být ovlivněny technické parametry nanášení. Tyto parametry předepisuje dodavatel nanášecího zařízení. Pro dosažení nejlepšího možného povlaku je nutné stanovené parametry dodržovat. [14]

- **Kvalita stlačeného vzduchu**

Do nanášecího ústrojí má být přiváděn pouze čistý a suchý stlačený vzduch. Kvalita stlačeného vzduchu může ovlivnit proces nabíjení a transportní vlastnosti prášku. Nečistý stlačený vzduch může také způsobit vzhledové vady na povlaku. Tlakový vzduch nesmí obsahovat olej, vodu a musí být co nejsušší. Vzduch opouštějící chladič (sušič) při teplotě 3 °C je suchý a je vhodný pro nanášení práškových hmot. Přípustná koncentrace vody ve stlačeném vzduchu je 1,3 g/m³ a oleje 0,1 g/m³.

- **Kvalita vzduchu v lakovně**

Při aplikaci má velký význam relativní vlhkost pracovního prostředí, ideální vlhkost je mezi 45 – 50 %. Regulací relativní vlhkosti lze získat rychlejší a rovnoměrnější tvorbu povlaku. Zvláště důležitá je vyšší vlhkost při nanášení další vrstvy.

- **Kvalita práškového plastru**

Vlhkost prášku by neměla být vyšší než 0,4 %. Teplota skelného přechodu by neměla být nižší než 50 °C. Prášková barva má obsahovat maximální podíl částic o velikosti 35 – 40 µm. Podíl částic menších než 10 µm by neměl přeskočit 10 % a prášek nesmí obsahovat částice větších rozměrů. Proto rozdílná velikost částic prášku má být co nejmenší. Je důležité určit poměr přidaného recyklovaného a nepoužitého prášku.

- **Dobré uzemnění předmětu**

Při elektrostatickém nanášení prášku se na předmět přenáší velké množství záporného náboje. Není-li velký přebytek elektronů účinně odveden dostatečným uzemněním, vytvoří se na povrchu silný záporný náboj, která poté odpuzuje záporně nabitě částice prášku. Při elektrostatickém nanášení vychází z pistole prášek s kladným nábojem, to znamená, že má deficit elektronů. Pokud předmět není dobře uzemněn, vytvoří se na povrchu silný kladný náboj, který pak odpuzuje kladně nabitý prášek opouštějící pistoli. Důsledkem je pak nedostatečná tloušťka vrstvy prášku. Pro zajištění bezpečnosti provozu je důležité dokonalé a účinné uzemnění stříkací pistole a kabiny. [14]

3.4 Vytvrzování práškových nátěrových hmot

Vytvrzování práškového povlaku, někdy nazývané také vypalování, je proces, který má velmi významný vliv na vlastnosti výsledného povlaku. Ovlivňuje zejména mechanické vlastnosti, protikorozní a chemickou odolnost a především vzhled budoucího povrchu. Vytvrzování lze provádět pouze u reaktoplastických práškových plastů. Je to proces, kdy v určitém teplotním rozmezí dochází k polymeraci. Reakce nastává mezi molekulami použité pryskyřice a molekulami použitého tvrdidla. Polymerace je endotermní reakce, tzn. reakce spotřebovávající teplo, které je nutné neustále dodávat. Teplotu a čas vytvrzování v peci je nutno volit dle tloušťky, tvaru a tepelné vodivosti výrobku. Problematické jsou povlaky na výrobcích o větších tloušťkách cca od 10 do 20 mm.

Přílnavost povlaku a jeho další vlastnosti závisí na kvalitě vytvrzování. Špatným nastavením nebo malou výkonností pece můžeme způsobit zhoršení kvality vlastností povlaku, jako jsou lesk, odstín barvy, drsnost a další.

Typy vypalovacích pecí se dělí dle způsobu vytvrzování. Rozdíly mezi nimi jsou tvořené způsobem vytváření tepla v peci. Pece rozdělujeme do dvou základních skupin, a to na horkovzdušné a infračervené. [14]

3.4.1 Horkovzdušné pece

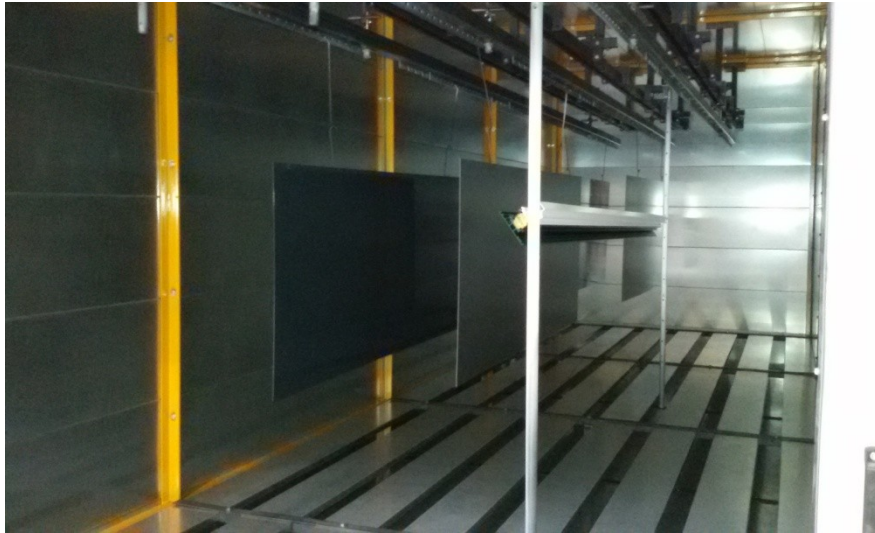
Horkovzdušné pece jsou nejvyužívanějším typem pro vytvrzování práškových nátěrových hmot. Dělí se dle topného média na plynové s přímým a nepřímým ohřevem, elektrické a lehké topné oleje. Tyto pece fungují na principu cirkulace teplého vzduchu, který předává teplo na povrch dílce. Velkou výhodou těchto pecí je jejich univerzálnost, díky které mají možnost vytvrzovat všechny typy práškových nátěrových hmot a tvary výrobků. Nejčastěji využívané jsou pece s plynovým vyhříváním, kde dle velikosti pece je jeden či více plynových hořáků. Tyto hořáky vytváří teplo, které je vháněné do pece. Náklady na provoz těchto pecí jsou jedny z nejnižších.

Nejlevnější variantou je plynová pec s přímým ohřevem. Plynový hořák vhání ohřátý vzduch přímo do vytvrzovacího prostoru. Hlavní nevýhoda této pece je ve spalinách z hořáku, které zůstávají v prostoru vytvrzování a mohou znehodnocovat kvalitu povrchu po vytvrzení.

Pec s nepřímým ohřevem obsahuje tepelný výměník, díky kterému se spaliny nedostanou do prostoru pece. Ohřátý vzduch je vháněn do trubkového potrubí. Toto trubkové výměňkové potrubí je vedeno prostorem pece až do venkovního prostředí. Díky výměňko-

vému potrubí je zajištěno plynulejší rozvedení teploty v peci.

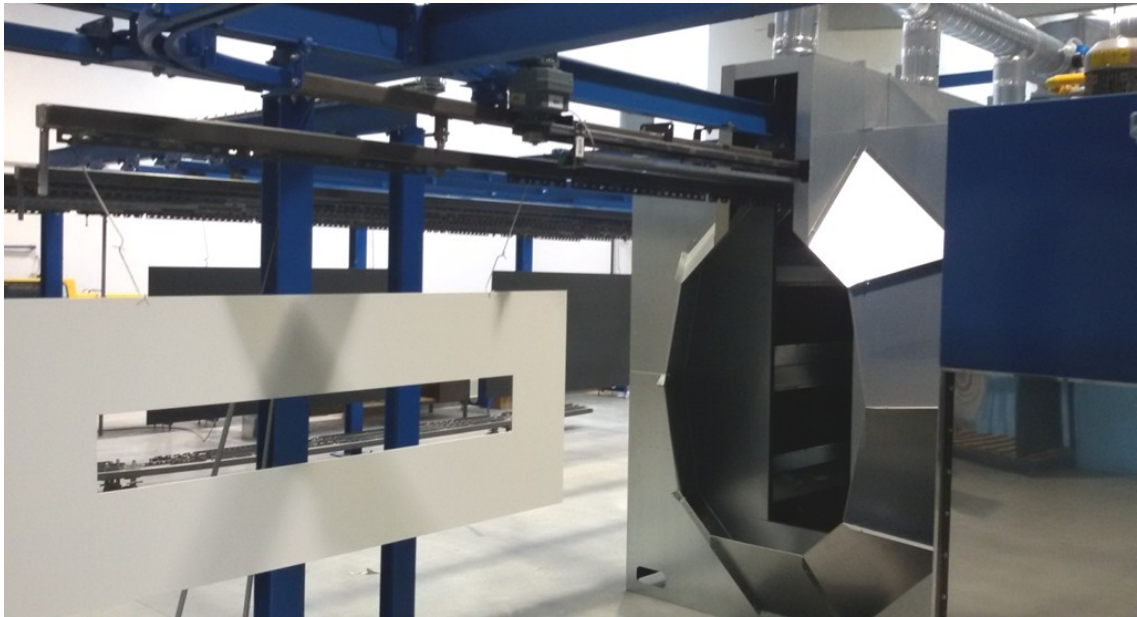
Elektrické a LTO (lehké topné oleje) pece se využívají tam, kde není možné přivést plyn nebo je to finančně nákladné. [23]



Obr. 20. Vytvrzovací horkovzdušná pec

3.4.2 Infračervené pece

Infračervené vytvrzovací pece využívají bezplamennou technologii. Pece vytvářejí rovnoměrně nežhavé teplo s nízkou intenzitou. Tato energie je stejnoměrně absorbována širokou škálou materiálů i práškových barev. Rozdíl je v tom, že se neohřívá vzduch, jako je tomu u horkovzdušných pecí, ale přímo povrch lakovaného výrobku. To způsobuje rychlejší vytvrzování práškové barvy, než u pecí horkovzdušných. Infračervené pece mohou být dle zdroje infračerveného záření elektrické nebo katalytické plynové. Elektrické se skládají z trubic, které vyzařují infračervené záření. Nevýhoda těchto pecí spočívá ve vysoké energetické náročnosti a servisních nákladech. Proto jsou dnes používány více katalytické. Nedochozí k žádnému nucenému přívodu vzduchu nebo kyslíku pro chemickou reakci. Vzduch, který je potřebný pro reakci se rozptyluje skrze povrch ohříváče a do míst reakce. Katalytický ohříváč dosahuje teplot okolo 480 °C a 80 % přivedeného plynu převede na infračervené záření o vlnové délce 3,5 mikronů. Výhodou této pece je rychlost náběhu teploty a rychlost celkového vytvrzování. Další výhodou je to, že nedochází k zahřívání dílce, na kterém je prášková barva nanесena. Nevýhoda této pece je, že infračervené paprsky dopadají pouze na venkovní část dílce, proto dílce s dutinou nebo složitým tvarem nemohou být v této peci vytvrzováni. [23,24]



Obr. 21. Vytvrzovací infračervená katalytická pec

3.4.3 Vytvrzovací podmínky

Nedostatečná nebo naopak příliš vysoká vytvrzovací teplota a čas může mít negativní vliv na výsledné vlastnosti povlaku. Nedostatečně vytvrzená vrstva práškové barvy má především špatné mechanické vlastnosti např. špatnou přilnavost. Zhoršuje se chemická i korozní odolnost a u transparentních laků (laky vykazující vysokou čírost) může dojít k vzniku trhlin v povrchu. Při použití matných laků se nedostatečné vytvrzení projeví i vizuálně nedostatečným zmatováním dílu nebo zmatováním jen některých jeho částí do určitého stupně lesku. Přepálení může vznikat příliš dlouhou dobou vytvrzování nebo použitím vyšší teploty než je předepsáno. Přepálení je všeobecně považováno za méně škodlivé, než nedostatečné vypálení. Nežádoucími jevy při přepálení jsou změna odstínu nebo snížení lesku povrchu. Na změny odstínu jsou náchylnější především světlé odstíny a matné barvy. Ostatní vlastnosti při mírném přepálení zůstávají zachovány nebo se liší jen velmi málo. Podmínky uvedené v technickém listu, udávají na jakou teplotu je nutné díl ohřát a jakou dobu má toto ohřátí trvat, aby bylo dosaženo správného vytvrzení.

Většina dodavatelů práškových barev uvádí vytvrzovací podmínky pro horkovzdušné pece, u kterých je podstatné zajistit konstantní teplotu v každém místě komory pece. Maximální teplotní rozdíl v různých místech komory může být dle výrobce 5 °C.[25]

4 KONTROLA KVALITY NANESENÉ VRSTVY

Kvalitu nedefinuje výrobce, ale jen a pouze zákazník. Pouze zákazník posuzuje, co je a co není kvalita. Kvalita je tedy vztah mezi zákazníkem a výrobcem, zatímco jakost je vztah mezi výrobcem a certifikátorem. Pro různé chápání pojmu kvalita vznikla velká řada systémů kvality, jejichž cílem je stanovit objektivní kritéria pro hodnocení, která mají pomoci zákazníkovi při definování jeho požadavků.

Oblast povrchových úprav práškovými nátěrovými hmotami zažívá období mohutného rozvoje a úměrně s ním stoupá i počet práškových lakoven. Zvyšující se produkce v této oblasti s sebou přináší vyšší požadavky zákazníka na kvalitu povrchové úpravy. A proto i v této oblasti vznikly organizace, které udržují a zvyšují kvalitu povrchových systémů. [26]

Systematická kontrola povrchové úpravy je nedílnou součástí výrobního procesu. Kvalitu je možné sledovat při mezioperační kontrole v technologickém sledu jednotlivých operací a při výstupní konečné kontrole. Na základě toho se posuzuje a hodnotí splnění předepsaných nároků na kvalitu povlaku.

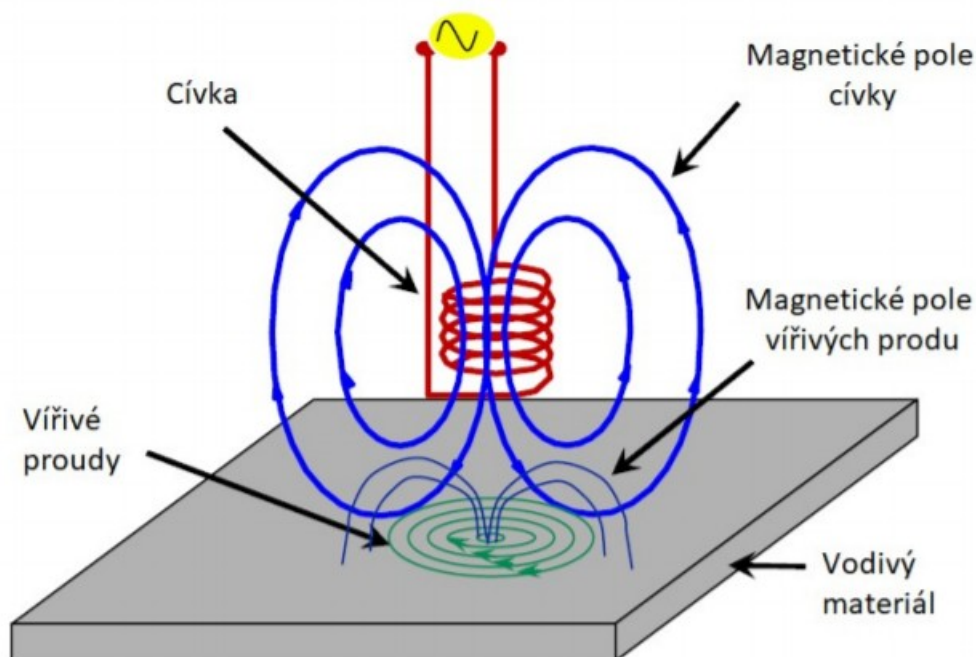
4.1 Celkový vzhled povlaku

Vzhledové vlastnosti tvoří řadu optických parametrů povrchu. Tyto vlastnosti představují nejen estetické hledisko, ale jsou jednou z charakteristik hodnocení korozního napadení eventuálně opotřebení povrchu. Do celkového vzhledu povrchu se především zahrnuje vizuální stejnorodost (homogenita) a optická izotropie povrchu. Celkový vzhled se nejčastěji posuzuje vizuální kontrolou, která je předepsána normou ČSN EN ISO 13076. Tato kontrola je snadno zajištěna při manipulaci s výrobky s minimálními nároky na investice, prostor a čas. Problémem je však subjektivní odhad vady a určení procenta vadné plochy povrchu. Pro správné uplatnění kontroly je nutné zajistit vhodné osvětlení a pracovní podmínky. Vizuální nestejnorodost povrchu se charakterizuje slovním popisem s označením typu vady popřípadě i číselně (počet vad nebo procenta vadné plochy). Vady mohou být bodového, lineárního nebo plošného charakteru s plynulou nebo náhlou změnou vzhledu. Vizuální hodnocení optických nehomogenit, jejich tvaru a charakteru umožňuje větší nou stanovit a rozlišit místa bez povlaku, makroskopické póry, odlupující se povlak, trhliny, škrábance, puchýře, vměstky, důlky v povlaku, nerozlité pramence a kapky, nežádoucí strukturu, ulpělé nečistoty, průnik korozních zplodin substrátu povlakem i vlastní korozní zplodiny povlaku a mnoho dalších vad. [3]

4.2 Měření tloušťky povlaku

Tloušťka povlaku je základním nepřímým ukazatelem očekávané účinnosti provedené protikorozní ochrany proti působení vnějšího prostředí. Tloušťka přímo ovlivňuje bariérový efekt povlaku, jeho dokonalou celistvost, pórovitost i další řadu fyzikálně chemických vlastností. Tloušťka povlaku se v oboru povrchových úprav obvykle udává v μm . [3]

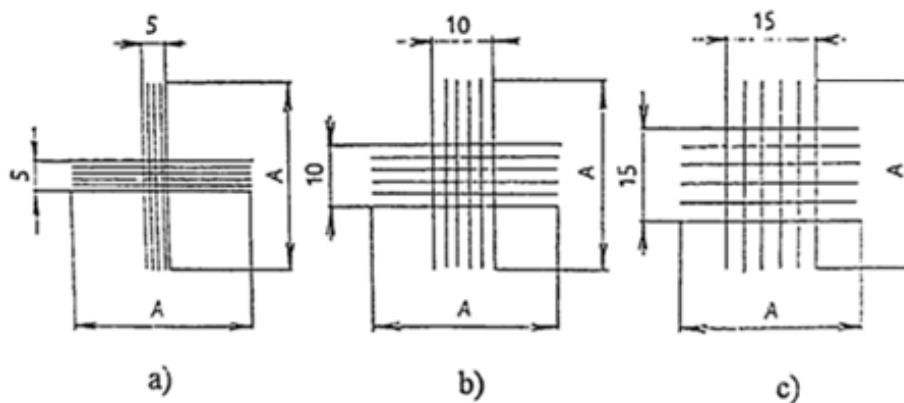
Testování tloušťky povlaku probíhá podle normy ČSN EN ISO 2360, která udává, že tloušťka povlaku je hodnocena jako průměrná hodnota nejméně pěti měření, provedených na jednom vyhodnocovaném vzorku. Platí zde pravidlo 80 : 20, což znamená, že žádná z průměrných hodnot nesmí být menší než 80 % specifikované minimální tloušťky povlaku. Tato norma se využívá při měření nevodivých povlaků na nemagnetických elektricky vodivých podkladech a nazývá se metoda vířivých proudů. Princip metody je založen na rozdílné vodivosti povlaku a podkladu. Metoda vířivých proudů spočívá ve vyhodnocování zpětného působení vířivých proudů, které jsou vybudeny v nemagnetickém kovovém podkladu. Měřicí sondou je cívka bez jádra, která je napájena střídavým proudem o vysoké frekvenci. Jestliže je v blízkosti sondy elektricky vodivý materiál, vznikají v něm tzv. vířivé proudy, které vytvářejí vysokofrekvenční střídavé elektromagnetické pole opačného směru. Výsledné pole vzniká vektorovým součtem obou polí. Změna pole se dá změřit a odpovídá vzdálenosti elektricky vodivého materiálu od sondy. [27]



Obr. 22. Princip metody vířivých proudů [28]

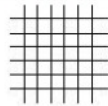
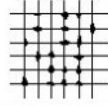
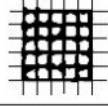
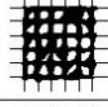

4.3 Měření přilnavosti povlaku

Celková funkčnost povlaku je vyloučena, pokud povlak pevně nezakotví na základním materiálu. Přilnavost povlaku je určována jako souhrn adhezních i mechanických sil vztažených na jednotku plochy, kterými je povrchová úprava poutána k základnímu materiálu. Přilnavost závisí nejen na podkladovém materiálu a povlaku, druhu povrchové technologie, ale i na způsobu oddělování povlaku od podkladu. V praxi nejpoužívanější metodou stanovení přilnavosti nátěrů je mřížková zkouška, která je daná normou ČSN EN ISO 2409. Zkouška spočívá v proříznutí povlaku šesti na sebe kolmých řezů a v hodnocení míry odlupování povlaku. Povlak musí být proříznut na podkladu v délce nejméně 20 mm a vzdálenost mezi jednotlivými řezy je závislá na tloušťce povlaku. Pro tloušťku do 60 μm je vzdálenost stanovena na 1 mm, pro tloušťky povlaku od 61 μm do 120 μm je vzdálenost mezi řezy 2 mm a pro tloušťku 121 μm až 250 μm to jsou 3 mm. Mřížková zkouška není vhodná pro nátěry o celkové tloušťce větší než 250 μm . [3,29]



Obr. 23. Mřížkový řez pro nátěry dle celkové tloušťky povlaku: a) do 60 μm , b) 61 až 120 μm , c) 121 až 250 μm , $A = \text{min. } 20 \text{ mm}$ [3]

Tab. 1. Klasifikace výsledků mřížkové zkoušky [29]

Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkou, na které se vyskytlo odlupování ^a (Příklad pro šest rovnoběžných řezů) ^a
0	Hrany řezů jsou zcela hladké; žádný čtverec mřížky není odloupen	
1	Odloupení malých šupinek povlaku v místech křížení řezů. Zasažená plocha není větší než 5 % plochy mřížky.	
2	Nátěr odloupen podél hran řezů a v místech jejich křížení. Zasažená plocha převyšuje 5 %, ale není větší než 15 % plochy mřížky.	
3	Nátěr částečně nebo zcela odloupen ve velkých pásech podél hran řezů a/nebo částečně nebo zcela odloupen na různých částech čtverců. Zasažená plocha převyšuje 15 %, ale není větší než 35 % plochy mřížky.	
4	Nátěr odloupen ve velkých pásech podél hran řezů a/nebo se některé čtverce částečně nebo zcela odlouply. Zasažená plocha převyšuje 35 %, ale není větší než 65 % plochy mřížky.	
5	Jakýkoli rozsah odloupení, který nelze klasifikovat ani stupněm 4.	–

^a Obrázky znázorňují příklady mřížek v rámci jednotlivých klasifikačních stupňů. Uvedené procentuální podíly jsou založeny na vizuálním dojmu z obrázků a při digitálním zpracování obrazu nemusí být nutně dosaženy stejné podíly.

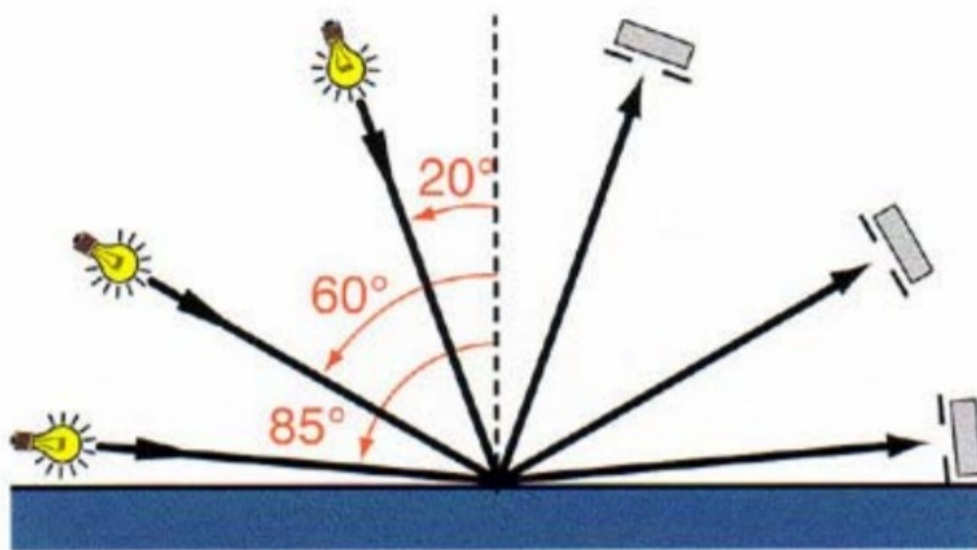
4.4 Měření lesku

Při hodnocení výsledné kvality povrchu se většinou klade důraz na odstín, strukturu, přilnavost a další parametry. Ovšem mnohem méně se hovoří o lesku. Přitom samotný stupeň lesku může výrazně ovlivnit výsledný povrchový efekt. Měření lesku se mimo jiné používá k hodnocení odolnosti nátěru, protože změna lesku signalizuje nastávající degradaci nátěru.

Lesk je vizuální vjem vznikající při pohledu na povrch. Zrcadlový odraz předmětu je tím výraznější, čím více se směrově odráží světlo od povrchu. U velmi lesklých povrchů se světlo odráží pouze v hlavním směru zrcadlového odrazu. U matných povrchů se světlo odráží nejen v hlavním směru zrcadlového odrazu, ale navíc se rozptyluje do všech směrů. Čím rovnoměrněji se světlo rozptyluje do prostoru, tím menší je intenzita jeho směrové složky a tím matnější se povrch jeví.

Princip měření lesku stanovuje norma ČSN EN ISO 2813, která stupeň lesku definuje jako poměr mezi intenzitou dopadajícího a odraženého světelného záření určitého spekt-

ra od sledovaného povrchu. V praxi se používají přenosné leskoměry, které se kalibrují podle standardu z černého skla v určitém indexu lomu (obvykle 1,567), který odpovídá 100 jednotkám lesku GU (gloss units). Leskoměry lze dále rozdělit podle úhlu dopadajícího světla. Geometrie jsou standardně stanoveny na 20° , 60° a 85° . Za běžných podmínek lze lesk měřit pod úhlem 60° , což je také nejpoužívanější varianta. Tato geometrie se hodí pro běžné povrchy a naměřené hodnoty by se měly pohybovat v rozmezí 10 – 70 GU. Optický dojem lesklého povrchu závisí nejen na skutečném lesku povlaku, ale i na typu povrchu, zda se jedná o rovný povrch nebo jde o jemnou strukturovanou barvu. [30,31]



Obr. 24. Standardní úhly měření lesku povlaku [32]

4.5 Měření tvrdosti

Definice tvrdosti je odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa. Tvrdost materiálu se nejčastěji měří různými vnikacími metodami, které spočívají ve vtlačování indentoru (vnikacího tělíska) s definovanou geometrií a určitou silou do povrchu zkoušeného materiálu. Mezi tyto metody např. patří měření tvrdosti podle Brinella, Rockwella, Vickerse, Poldi kladívko, Shoreho skleroskop a duroskop, které se hodí pro běžné měření, ale pro měření tvrdosti u tenkých vrstev se použít nedají.

Mikrotvrdost se určuje především u tenkých vrstev s tím rozdílem, že maximální zátěž je v řádu desítek mN (milinewtonů, což odpovídá gramům). Důvodem použití tak malého zatížení spočívá v nutnosti měření tvrdosti samotné vrstvy bez vlivu substrátu, na kterém je vrstva nanášena. Proto s postupným rozvojem technologie nanášení tenkých vrstev

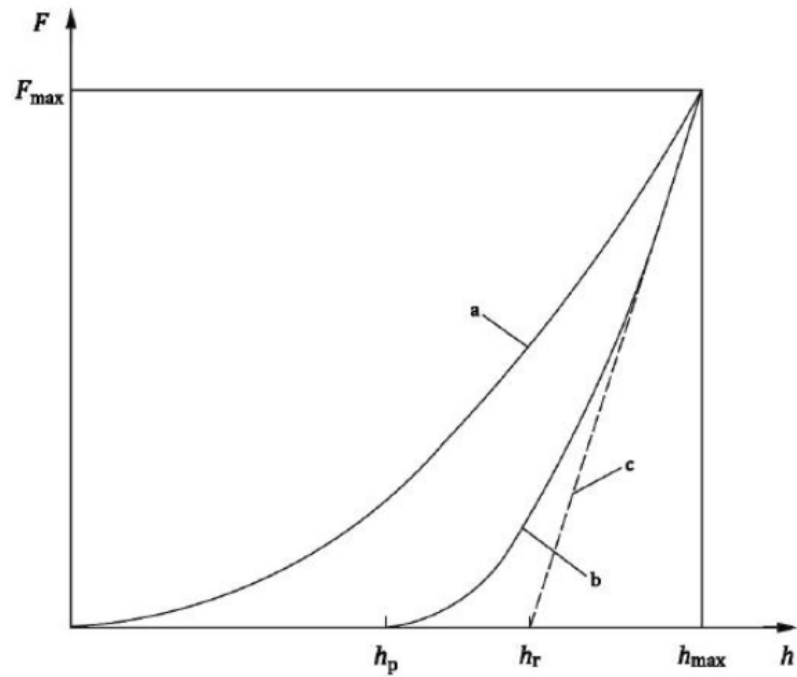
a požadavků na měření lokálních mechanických vlastností, se klasické metody měření tvrdosti staly nedostatečné. Z toho důvodu vznikla nová indentační metoda DSI (Depth Sensing Indentation), pro kterou byl zvolen český ekvivalent, Instrumentovaná vnikací zkouška tvrdosti. Tato zkouška je popsána normou ČSN EN ISO 14577-1. [33,34]

4.5.1 Instrumentovaná zkouška tvrdosti – DSI

Metoda DSI vznikla v sedmdesátých letech dvacátého století, jejíž autoři byli Bulichev a Alekin. Zásadní zlepšení metodologie, analýzy a shromáždění dat provedli až Oliver a Pharr na začátku osmdesátých let. Ve srovnání s ostatními metodami měření tvrdosti je DSI nová metoda.

Podstatou metody je současné detekování okamžité změny hloubky vtisku ve zkoumaném materiálu a poklesu nebo nárůstu zatížení v průběhu celého zatěžování/odlehčování. Průběh zkoušky se zaznamenává současně s vyhodnocením dalších měřených charakteristik díky propojení měřicího přístroje a počítače. Pomocí Instrumentované zkoušky lze vyhodnotit vtiskovou tvrdost, elastický modul, tečení materiálu (creep), lomovou houževnatost, fázové transformace a deformační práci.

Grafickým zpracováním dat vzniká charakteristická indentační křivka závislosti zatížení na hloubce vtisku. První fází měřicího cyklu je zatěžování, během kterého je na indentor přesnou rychlostí aplikována zatěžující síla. Druhá fáze cyklu je odlehčování, při kterém se postupně snižuje zatěžovací síla až na nulovou hodnotu. [34,35]



Obr. 25. Znázornění zkušební postupu [35]

- a – aplikace zkušební zátěží
- b – odlehčení zkušební zátěží
- c – tečna ke křivce b v F_{\max}

5 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části byla popsána a rozebrána problematika korozního napadení a jak mu vhodnými opatřeními lze předcházet. Dále byl zpracován jeden ze způsobů ochrany před korozi, kterým je vytvoření ochranného povlaku pomocí technologie práškového lakování.

Zmíněná technologie se skládá ze tří po sobě následujících procesů, kterými jsou: předúprava povrchu lakovaného dílce, nanesení práškové nátěrové hmoty a její vytvrzení.

Vytvrzený povlak na lakovaném dílci musí splňovat stanovené parametry, a proto byla poslední část teorie zaměřená na měření a hodnocení kvality nanesené vrstvy.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 NÁVRH EXPERIMENTU

Praktická část byla vyhotovena na hliníkových destičkách o rozměrech 200 x 100 mm a tloušťce 2 mm. Technologický proces povrchové úpravy je složen z předúpravy, nanese-ní a vytvrzení práškové barvy. U všech vzorků byla provedena mechanická i chemická předúprava povrchu. Prášková hmota byla nanášena pomocí ruční aplikační pistole dle příslušného technického listu dané barvy. Nátěrová barva byla použita vždy stejná, jen s různými barevnými odstíny. Před samotným nanesením barvy bylo aplikační ústrojí vždy řádně vyčištěno, aby nedošlo ke smíchání s předchozí nanášenou barvou z výroby. Naná-šení práškové barvy bylo provedeno školenou obsluhou, která vlastní příslušná osvědčení, certifikáty a pracuje na daném pracovišti.

Proces vytvrzování práškové nátěrové hmoty byl uskutečněn ve dvou pecích. První pec je průjezdná s infračerveným katalytickým ohřevem a druhá pec je komorová horko-vzdušná s plynovým vytápěním. Teplota a čas vytvrzování byla nastavena podle technic-kého listu práškové barvy pro úplné vypálení.

Po dokončení povrchové úpravy byla na zkušebních vzorcích provedena jednotlivá měření a zkoušky povlaku. Byla měřena tloušťka povlaku podle normy ČSN EN ISO 2360, přilnavost povlaku mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 2409. Dále bylo provedeno mě-ření lesku povlaku dle normy ČSN EN ISO 2813 a měření tvrdosti pomocí Instrumentova-né zkoušky tvrdosti dle ČSN EN ISO 14577-1. Všechny naměřené hodnoty byly zazname-nány a posléze vyhodnoceny.

6.1 Příprava vzorků

Jednotlivé zkušební vzorky byly nejprve vyměřeny ze zbytkových odřezků plechů a poté nastříhány na přesný rozměr hydraulickými nůžkami na plech. Do vrchní části byl vyvrtán otvor pro háček, pomocí kterého se vzorky zavěsily na dopravník. Všechny hrany plechových vzorků byly odjehleny, aby se předešlo zbytečným úrazům při manipulaci.

6.2 Předúprava povrchu

Připravené vzorky prošly procesem předúpravy, který se skládal z mechanické a chemické části. V mechanické části byly vzorky obroušeny brusným papírem. Tento typ předúpravy je výhodný v tom, že je ekologicky nezávadný a zdrsňený povrch zajišťuje lepší přilnutí barvy.

Druhou částí předúpravy bylo chemické ošetření povrchu vzorků. Tato část se skládá z několika po sobě jdoucích operací, které se provádí v ponorných lázních. Zavěšené výrobky se mezi jednotlivými lázněmi přemísťují pomocí automatizovaného dopravního jeřábu. První lázeň slouží k deoxidaci a odmaštění dílu, poté následuje opláchnutí vodou. Před tím než se výrobky spustí do pasivační lázně, jsou ponořeny a oplachovány demivodou. Po vytvoření pasivační vrstvy jsou zavěšené výrobky opět přemístěny do demivody a poté jsou sušeny po dobu 20 minut při 120 °C.



Obr. 26. První operace chemické předúpravy – deoxidace a odmaštění vzorků

6.3 Nanášení práškové nátěrové hmoty

Nanášená prášková barva byla použita od firmy TIGERLAK v barevném odstínu RAL 7016 – antracitová šedá (lesklá, pololesklá, matná) a RAL 3020 – dopravní červená (lesklá). Jedná se o fasádní barvy s hladkým povrchem na bázi polyesteru. Nanášení práškového plastu probíhalo pomocí aplikačního elektrostatického zařízení Nordson Encore s vibračním podkladem pro obal s barvou. Při lakování byly na aplikačním zařízení nastá-

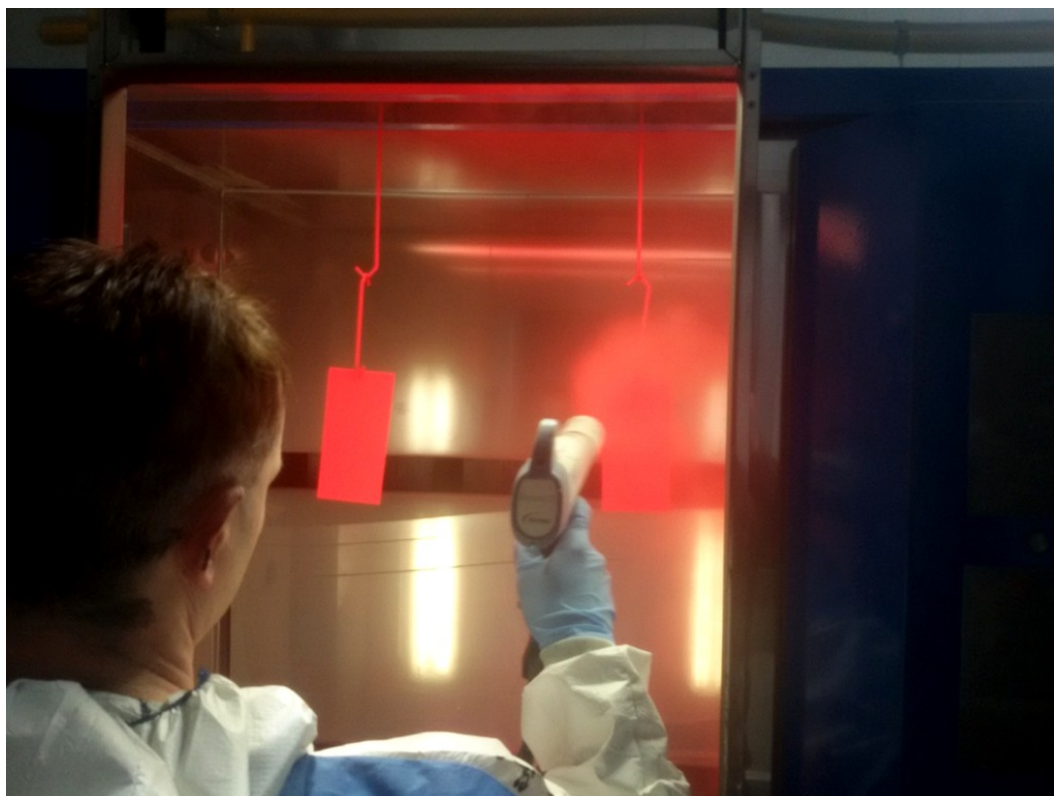
veny hodnoty napětí 75 kV a proudu 45 μ A. Lakování bylo provedeno ruční pistolí v nanášecí kabině, vyrobené z leštěného nerezového plechu. Kabina je vybavena osvětlením a má 6 odsávacích filtračních prvků pro odstranění přebytku poletujícího práškového plastu.



Obr. 27. Předupravené vzorky v nanášecí kabině



Obr. 28. Nalakovaný vzorek práškovou barvou



Obr. 29. Nanášení práškové barvy pomocí aplikační pistole

6.4 Vytvrzení práškové nátěrové hmoty

Vytvrzování proběhlo ve dvou pecích. První pecí byla průběžná infračervená katalytická pec, která je vytápěna zemním plynem pomocí 8 ohřívacích panelů. Tato pec se nejčastěji používá v kombinaci s horkovzdušnou pecí, kdy použití infračervené pece na začátku vypalování umožní rychlé natavení prášku. Horkovzdušná konvenční pec v dalším kroku funguje účinněji tím, že zahřátý vzduch bude rychleji proudit. Rychlejší proudění vzduchu okolo nalakovaného dílce má za následek i rychlejší přestup tepla do nataveného prášku. U běžných horkovzdušných pecí nemůže být využito rychlejšího proudění, protože by elektrostaticky ulpěná prášková barva mohla z dílce spadnout.



Obr. 30. Průjezd nalakovaných vzorků infračervenou pecí

Některé vzorky byly po průjezdu infračervenou pecí sundány a ochlazeny na vzduchu na okolní teplotu. Zbylé vzorky byly co nejrychleji přemístěny do druhé vypalovací pece, kterou byla horkovzdušná komorová pec s plynovým vytápěním. Dle technického listu práškové barvy byla nastavena doporučená vypalovací doba a teplota na 20 minut při 190 °C.

6.5 Označení zkušebních vzorků

- 1 – barva RAL 7016, pololesklá, infračervená pec
- 2 – barva RAL 7016, pololesklá, horkovzdušná pec
- 3 – barva RAL 7016, matná, infračervená pec
- 4 – barva RAL 7016, matná, horkovzdušná pec
- 5 – barva RAL 7016, lesklá, infračervená pec
- 6 – barva RAL 7016, lesklá, horkovzdušná pec
- 7 – barva RAL 3020, infračervená pec
- 8 – barva RAL 3020, infračervená pec
- 9 – barva RAL 3020, horkovzdušná pec
- 10 – barva RAL 3020, horkovzdušná pec

6.6 Měřicí přístroje, postup a vyhodnocení zkoušek

Po zhotovení zkušebních vzorků bylo provedeno několik měření, na základě kterých se hodnotí a porovnává kvalita povlaku s technickými parametry určené výrobcem barvy.

6.6.1 Měření tloušťky povlaku

Tloušťka povlaku byla měřena přístrojem LIST-MAGNETIK MEGA-CHECK Pocket, který se automaticky přepíná mezi feromagnetickým a neferomagnetickým měřením. Tloušťka povlaku by se měla pohybovat dle doporučení výrobce barvy v rozmezí 60 μm až 120 μm . Dodržením doporučené hodnoty tloušťky povlaku zajistíme mechanickou a chemickou odolnost.

- Rozsah měřicího přístroje: Fe 0 – 5000 μm , NFe 0 – 2000 μm
- Rozlišitelnost přístroje: 1 – 100 μm : 0,1 μm
100 – 1000 μm : 1 μm
<1000 μm : 10 μm
- Přesnost přístroje: >100 μm : $\pm 1 \mu\text{m}$
100 – 1000 μm : $\pm 1 \%$
1000 – 2000 μm : $\pm 3 \%$
<2000 μm : $\pm 5 \%$

Měření tloušťky povlaku zároveň slouží jako vstupní údaj pro měření přilnavosti mřížkovou zkouškou. Před samotným měřením byl měřicí přístroj kalibrován pomocí kalibračních fólií, které jsou součástí měřicí soupravy. Na každém zkušebním vzorku bylo naměřeno deset hodnot v různých místech. Výsledná hodnota bude vypočítána jako aritmetický průměr dle vzorce:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} \cdot (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \dots + x_n) \quad (1)$$

- x jsou jednotlivé naměřené hodnoty tloušťky povlaku [μm]
- n je počet měření

Dále bude vypočítána směrodatná odchylka vyjádřená vztahem:

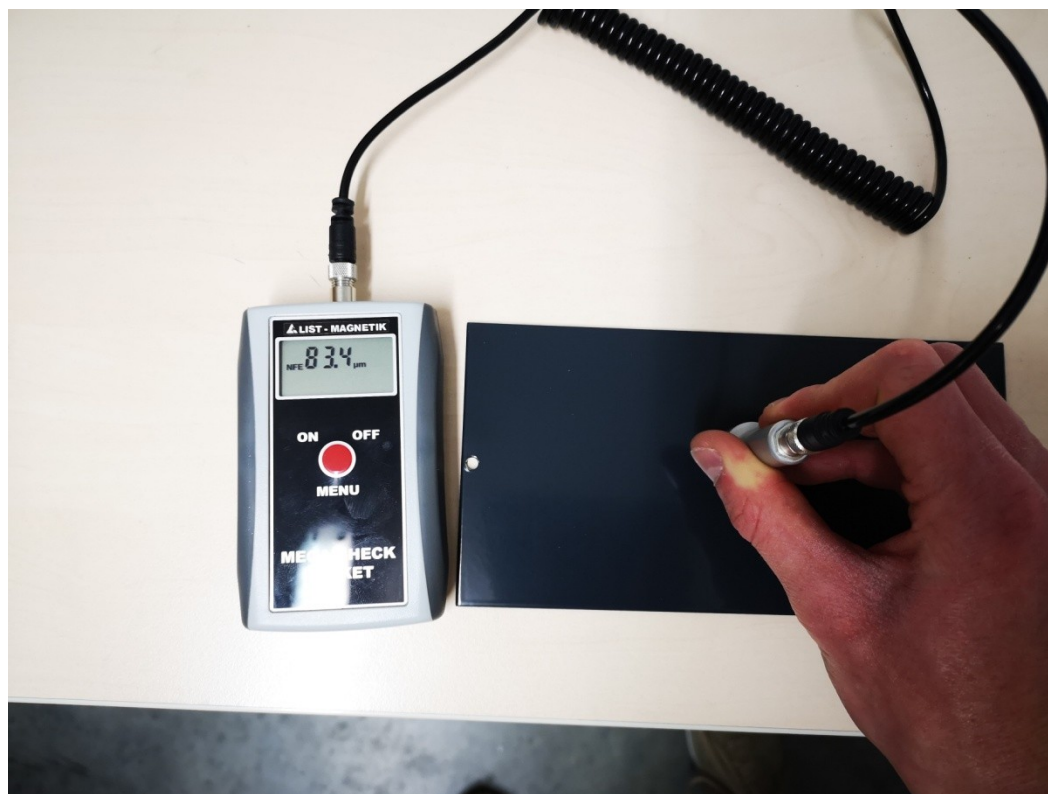
$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

- \bar{x} je aritmetický průměr
- x_i je i -tá hodnota měřené veličiny
- n je počet měření

Variační koeficient parametru tloušťky povlaku se vyjádří vztahem:

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (3)$$

- s je směrodatná odchylka
- \bar{x} je aritmetický průměr



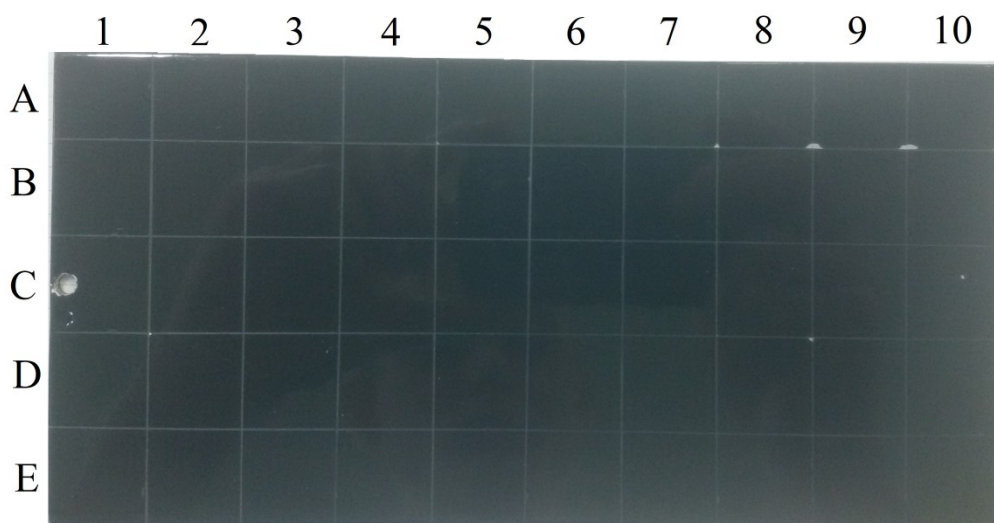
Obr. 31. Měření tloušťky povlaku na zkušebním vzorku

Tab. 2. Naměřené a vypočítané hodnoty tloušťky povlaku

Vz. č. 1		Vz. č. 2		Vz. č. 3		Vz. č. 4	
n	t [μm]	n	t [μm]	n	t [μm]	n	t [μm]
1	132	1	69,8	1	79,8	1	93,7
2	139	2	84,8	2	87,1	2	90,3
3	131	3	87,7	3	79,6	3	77,4
4	120	4	80,9	4	81,6	4	87,5
5	112	5	85,4	5	86,8	5	79,1
6	121	6	86,9	6	84	6	81,4
7	112	7	89,6	7	88	7	87,4
8	120	8	100	8	86,8	8	87,3
9	121	9	92,1	9	82,8	9	83
10	114	10	83,9	10	79,8	10	93,2
\bar{x}	122,2	\bar{x}	86,1	\bar{x}	83,6	\bar{x}	86,0
s	9,1	s	7,8	s	3,4	s	5,6
V	7,4	V	9,0	V	4,0	V	6,6
Vz. č. 5		Vz. č. 6		Vz. č. 7		Vz. č. 8	
n	t [μm]	n	t [μm]	n	t [μm]	n	t [μm]
1	98,7	1	119	1	67,7	1	88,4
2	113	2	103	2	71,3	2	102
3	103	3	92,9	3	72,6	3	109
4	93,2	4	95,1	4	60,8	4	78,9
5	110	5	90,4	5	60,6	5	96,6
6	88,4	6	87,4	6	59,3	6	99
7	92,5	7	95,1	7	64,8	7	82,8
8	107	8	90,5	8	65,6	8	94,7
9	93,9	9	91,8	9	66,9	9	100
10	95,3	10	85,2	10	60,9	10	98,1
\bar{x}	99,5	\bar{x}	95,0	\bar{x}	65,1	\bar{x}	95,0
s	8,3	s	9,7	s	4,7	s	9,1
V	8,4	V	10,2	V	7,2	V	9,6
Vz. č. 9		Vz. č. 10					
n	t [μm]	n	t [μm]				
1	80,7	1	114				
2	83,6	2	118				
3	84,4	3	96,2				
4	69,8	4	103				
5	81,6	5	101				
6	84,1	6	98,3				
7	73,6	7	103				
8	87,9	8	99				
9	87,5	9	89,6				
10	78,8	10	98,1				
\bar{x}	81,2	\bar{x}	102,0				
s	5,8	s	8,4				
V	7,1	V	8,2				

V Tab. 2. jsou zaznamenány naměřené hodnoty tloušťky povlaku. Výsledné hodnoty byly porovnány s technickým listem od výrobce práškové barvy. Ten stanovil doporučenou tloušťku povlaku minimálně od 60 μm do 80 μm a neměl by mít více než 110 μm . Nejmenší tloušťka povlaku byla naměřená na vzorku číslo 7, kde vyšel aritmetický průměr se směrodatnou odchylkou $t = 65,1 \pm 4,7 \mu\text{m}$. Naopak největší tloušťka povlaku byla zjištěna u vzorku číslo 1, kde tloušťka vyšla $t = 122,2 \pm 9,1 \mu\text{m}$. Zde již byla překročena doporučená hodnota tloušťky naneseného povlaku. To může být zapříčiněno samotným lakýrníkem, který se nejprve musel seznámit s kryvostí dané barvy, tudíž se tloušťka povlaku pohybuje mírně nad maximální doporučenou hodnotou.

Všechny ostatní vzorky udávají uspokojivé výsledky a splňují technickou dokumentaci a doporučení výrobce barev. Hodnoty variačního koeficientu do 15 % vypovídají o malé variabilitě, tudíž lze aritmetický průměr považovat za typickou hodnotu měřeného souboru a může být použit pro prezentaci výsledků.



Obr. 32. Hodnocení tloušťky povlaku v závislosti na pozici na vzorku č. 5

Tab. 3. Naměřené hodnoty tloušťky povlaku pro vzorek č. 5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	112,2	113	127,3	132,1	138,8	135,2	137,1	124,4	115,4	122,4
B	96,19	95,72	105,33	105,26	107,1	113,5	111,9	100,13	98,43	108,2
C	83,87	90,69	96,13	100,08	107,2	111,4	108,4	97,87	92,38	104,46
D	92,91	90,7	94,49	101,59	103,64	107,4	104,43	96,06	96,75	107,4
E	100,94	102,44	108,55	119	116,9	125,1	116,7	115,6	113,4	116,6

U pátého zkušebního vzorku bylo provedeno detailní měření nanesené barvy v různých místech, sloupce 1 – 10, řádky A – E. V každém měřeném poli bylo provedeno 10 měření, ze kterých byl vypočten aritmetický průměr. Data byla zanesena do tabulky a barevně zvýrazněna od minimálních hodnot zeleně po maximální hodnoty červeně. Minimální hodnota pro zelenou barvu byla nastavena na 60 μm a maximální hodnota pro červenou na 120 μm , ostatní tloušťky povlaku se vybarvily pomocí 50 % percentilu.

Ze zjištěných hodnot, ale i z grafického probarvení je patrné, že v místě uchycení (1C) je nanesené barvy nejméně, naopak v krajních polohách (řádek A, E) je tloušťka povlaku nejvyšší. Toto nerovnoměrné rozložení tloušťky může být zapříčiněno malou velikostí zkušebních vzorků, ale také to může být příčinou elektrostatického nanášení práškové barvy. V důsledku vysokých hodnot napětí, při tomto nanášení, vznikají elektrostatická pole mezi aplikační pistolí a předmětem. Tento jev je označován jako efekt Faradayovy klece. Správným nastavením aplikačního zařízení lze tento nežádoucí efekt odstranit.

6.6.2 Mřížková zkouška

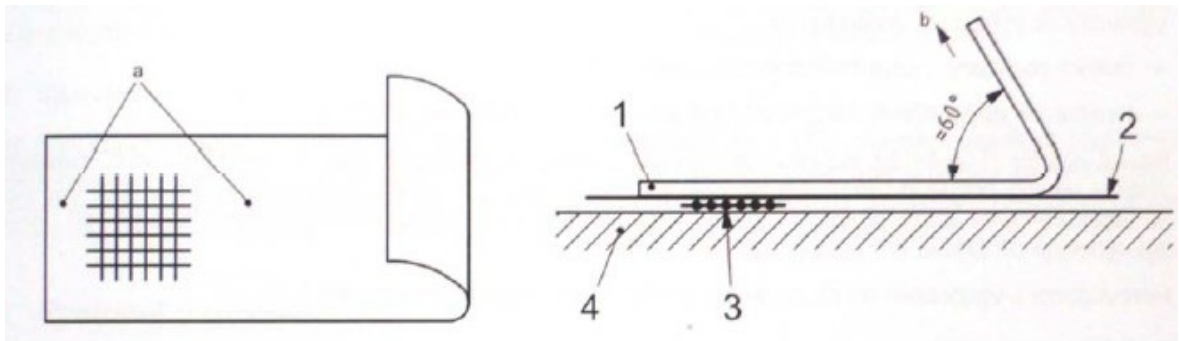
Pro stanovení přilnavosti povlaku k podkladovému materiálu byla použita mřížková zkouška. Popsanou metodu lze použít buď jako zkoušku vyhověl/nehověl a nebo jako šestistupňovou klasifikační zkoušku viz *Tab. 1*. Při vytváření mřížky je zvláště důležité zajistit, aby řezným nástrojem bylo možno vytvořit řez předepsaného profilu V skrz celou tloušťku nátěru a aby řezné hrany byly v dobrém stavu.

Pro měření byl použit řezný nůž Cutter 301 s pevnou čepelí s ostrím o přesně definovaném profilu tvaru V, lepicí páska a pravítko. Před samotným vytvořením mřížky byla určena tloušťka povlaku, která stanovila vzdálenost mezi jednotlivými řezy na 2 mm. Při běžných zkouškách se provádí jedno stanovení, pokud se požaduje vyšší preciznost, zkouška se provede na nejméně třech různých místech vzorku.

- Postup zkoušky (*Obr. 33*)

Před samotným provedením zkoušky musí být řádně připravený vzorek (4). Vzorek musí být rovný a nezdeformovaný. Změřením tloušťky vytvrzeného povlaku se stanoví vzdálenosti jednotlivých řezů. Řezný nástroj se drží kolmo k povrchu řezaného vzorku. Za rovnoměrného tlaku vedeme tento nástroj po zkušebním vzorku. Tlak na řezný nástroj musí být dostatečně velký, aby prořízl povlak (2) až na základní materiál. Poté provedeme řez (3) kolmý na původní stejným postupem. Kolmost řezů nám zajistí vytvoření mřížkové

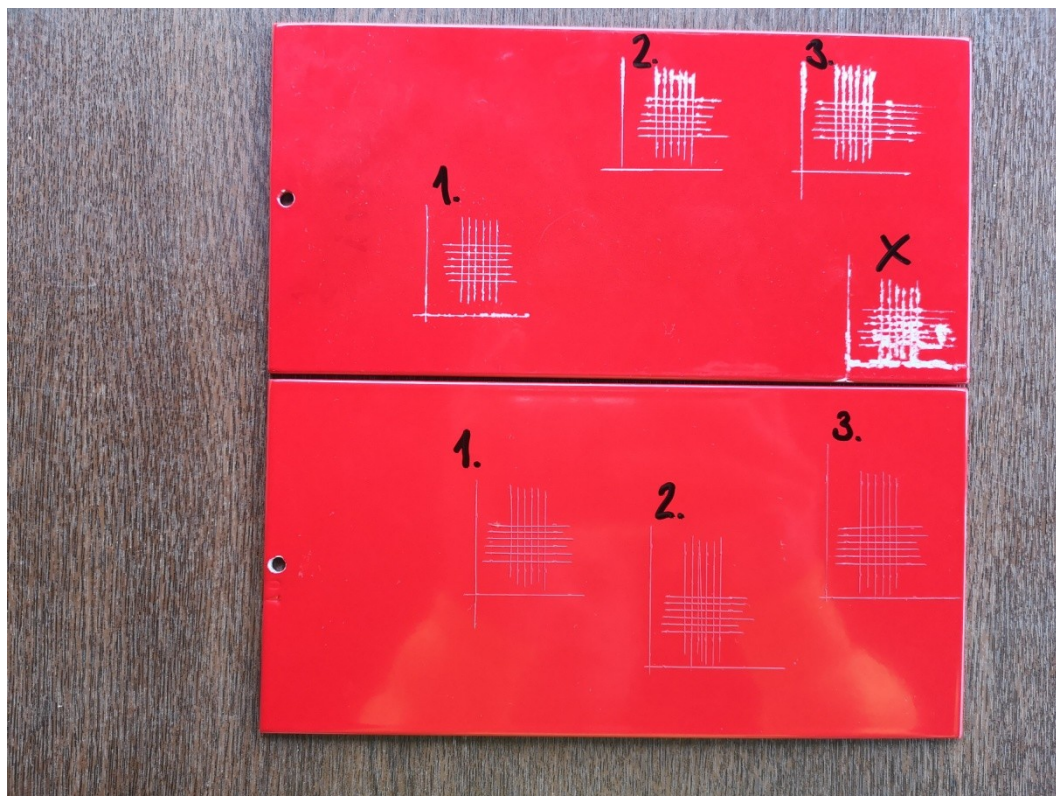
oblasti. Měkkým štětečkem očistíme mřížkovou oblast, aby ve vzniklých spárách nezůstaly uvolněné části povlaku. Poté odřízneme kus pásky přibližně 75 mm dlouhý. Střed pásky se umístí na střed mřížky tak, aby přibližně o 20 mm překrývala mřížkovou oblast. Pásku (1) v místě mřížky (a) uhladíme prstem, aby se zajistilo dobrého kontaktu s povlakem. Během 5 minut po aplikaci pásky se trhnutím za volný konec a tažením (b) pod úhlem 60° páska odstraní. [29]



Obr. 33. Postup mřížkové zkoušky [29]



Obr. 34. Praktické provedení mřížkové zkoušky



Obr. 35. Vyhotovená mřížková zkouška na vzorku č. 8 (nahore) a č. 10 (dole)

Po provedení mřížkové zkoušky se oblast řezů ve zkoušeném nátěru pozorně prohlédne prostým okem pod dobrým osvětlením. Zkušební plocha se porovnávala s vyobrazenými klasifikacemi podle Tab. 1, které má šest klasifikačních stupňů. První tři stupně jsou dostačující pro obecné účely a použijí se, pokud se vyžaduje hodnocení vyhověl/nehověl.

K zaznamenání výsledků zkoušky lze použít kódové označení, které musí obsahovat odkaz na mezinárodní normu, na použitý řezný nástroj a dosaženou klasifikaci.

Kódové označení výsledků zkoušky pro vzorek číslo 8 (Obr. 36. – nahore):

První mřížka - ISO 2409:2013 – 1c – 1, druhá mřížka - ISO 2409:2013 – 1c – 2 a třetí mřížka - ISO 2409:2013 – 1c – 2.

Kódové označení výsledků zkoušky pro vzorek číslo 10 (Obr. 36. – dole):

První mřížka - ISO 2409:2013 – 1c – 0, druhá mřížka - ISO 2409:2013 – 1c – 0 a třetí mřížka - ISO 2409:2013 – 1c – 0.

Výrobce barvy stanovil přilnavost klasifikačním stupněm 0. První ze zkoušených vzorků byl vzorek č. 8, který byl vytvrzený pouze v infračervené peci. Druhým zkoušeným

vzorkem byl vzorek č. 10, který byl kompletně vytvrzen v horkovzdušné peci. Vzorek č. 8 mřížkové zkoušce nevyhověl. Vzorek č. 10 byl bez známek poškození a hrany řezů byly zcela hladké, tudíž v provedené zkoušce vyhověl.

Na celkovou přilnavost povlaku má významný vliv nejenom předúprava, ale i samotné vytvrzení práškové barvy. Právě vytvrzení pouze pomocí infračervené pece se ukázalo jako nedostačující.

6.6.3 Měření lesku

Pro měření lesku byl použit leskoměr Elcometer 406 Statistical Glossmeter , který měřil lesk pod úhlem 60° . Součástí měřicího zařízení byla černá kalibrační destička, která měla hodnotu lesku 93,1 GU. Po kalibrování přístroje se přiloží na zkoušený vzorek. Přístroj provede měření, které spočívá ve snímání paprsků odraženého světla, vyzářeného světelným zdrojem pod určitým úhlem a konstantní intenzitě.

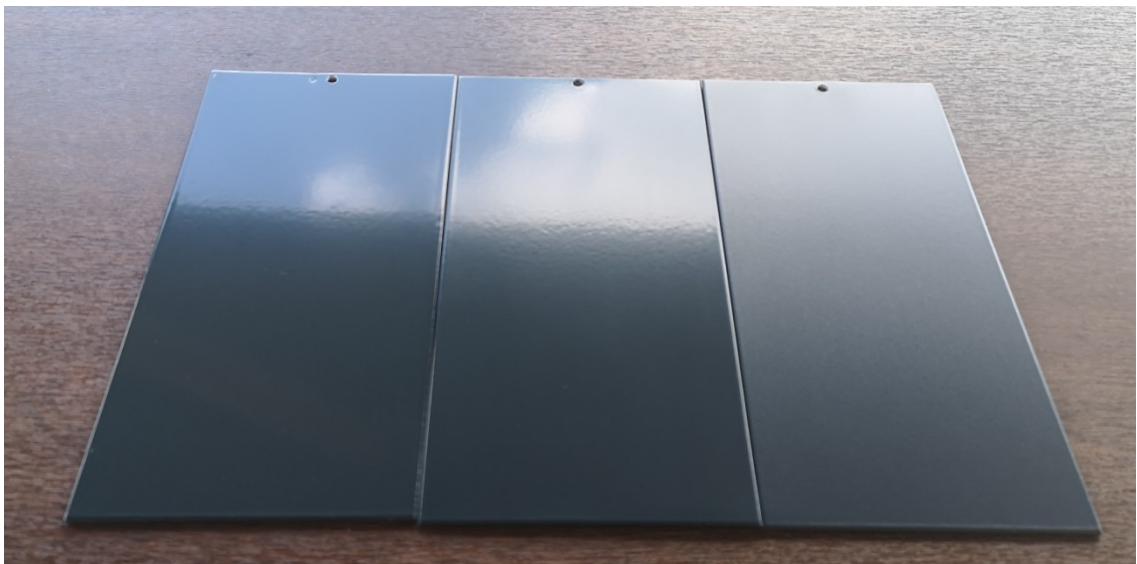
- Rozsah měřicího přístroje: 0 – 100 GU
- Úhel měření lesku: 20° , 60°
- Rozlišení přístroje: 0,1 GU
- Reprodukovatelnost: $\pm 0,5$ GU



Obr. 36. Použitý měřicí přístroj s kalibrační černou destičkou



Obr. 37. Příklad měření lesku na zkušebním vzorku



Obr. 38. Vytvrzená prášková barva RAL 7016 (zleva) v lesklém, pololesklém a matném provedení

Pro názornost byly vedle sebe položeny finálně vytvrzené vzorky stejného barevného odstínu RAL 7016 s odlišnou hodnotou lesku povlaku.

Tab. 4. Naměřené a vypočítané hodnoty lesku povlaku

Vz. č. 1		Vz. č. 2		Vz. č. 3	
n	lesk [GU]	n	lesk [GU]	n	lesk [GU]
1	79,2	1	63,6	1	79,0
2	79,8	2	62,5	2	78,8
3	79,4	3	62,1	3	79,8
4	79,3	4	62,3	4	79,5
5	78,8	5	63,8	5	79,7
6	79,3	6	62,7	6	79,4
7	79,1	7	63,0	7	80,0
8	78,8	8	63,2	8	79,2
9	78,9	9	63,7	9	79,4
10	79,1	10	62,6	10	79,5
\bar{x}	79,2	\bar{x}	63,0	\bar{x}	79,4
s	0,3	s	0,6	s	0,4
V	0,4	V	1,0	V	0,5
Vz. č. 4		Vz. č. 5		Vz. č. 6	
n	lesk [GU]	n	lesk [GU]	n	lesk [GU]
1	23,3	1	86,3	1	74,7
2	22,9	2	86,9	2	74,6
3	22,4	3	85,5	3	74,2
4	23,2	4	86,1	4	74,7
5	22,8	5	87,1	5	74,4
6	23,9	6	84,8	6	74,5
7	22,2	7	84,2	7	74,4
8	23,3	8	86,4	8	74,3
9	23,5	9	85,6	9	74,6
10	23,3	10	85,3	10	74,5
\bar{x}	23,1	\bar{x}	85,8	\bar{x}	74,5
s	0,5	s	0,9	s	0,2
V	2,2	V	1,1	V	0,2

Pro každý vzorek bylo provedeno deset měření lesku povlaku. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do Tab. 4. V příslušném technickém listu byly dohledány hodnoty lesku pro jednotlivé barevné provedení barvy. Pro lesklou verzi činí hodnota lesku 80 – 95 GU, pro pololesklou variantu se lesk pohybuje v rozmezí 65 – 75 GU a pro matovou barvu je lesk 20 – 35 GU.

Vzorky, které byly vytvrzeny pouze pomocí infračervené pece (Vz. č. 1, 3, 5) měly vždy hodnotu lesku vyšší než vzorky s finálním vytvrzeným povlakem. Kompletně vytvrzené vzorky (Vz. č. 2, 4, 6) mohou být porovnány s hodnotami v technickém listu barvy.

Vzorek číslo 2 byl nalakován barvou RAL 7016 v pololesklém provedení. Výsledná hodnota lesku činí $63,0 \pm 0,6$ jednotek lesku. Tato hodnota je mírně pod předepsanou hod-

notou od výrobce barev.

Na vzorek číslo 4 byla nanесena matová barva RAL 7016. Výsledný povlak splnil předpokládanou hodnotu lesku. Aritmetický průměr lesku u této barvy vyšel $23,1 \pm 0,5$ GU.

U vzorku číslo 6 byla vytvrzena lesklá barva RAL 7016. Zjištěná hodnota lesku u tohoto povlaku byla $74,5 \pm 0,2$ GU. Tato hodnota se pohybuje mírně pod spodní hranicí stanovené výrobcem barvy.

Z *Tab. 4* je zřejmé, že hodnoty směrodatné odchylky a variačního koeficientu jsou nízké, proto může být aritmetický průměr použit pro prezentování výsledků měření.

6.6.4 Měření tvrdosti povlaku

Měření mikrotvrdosti proběhlo na přístroji Micro-Combi Tester od firmy CSM Instruments. Toto měřicí zařízení se nachází v laboratoři Ústavu výrobního inženýrství.

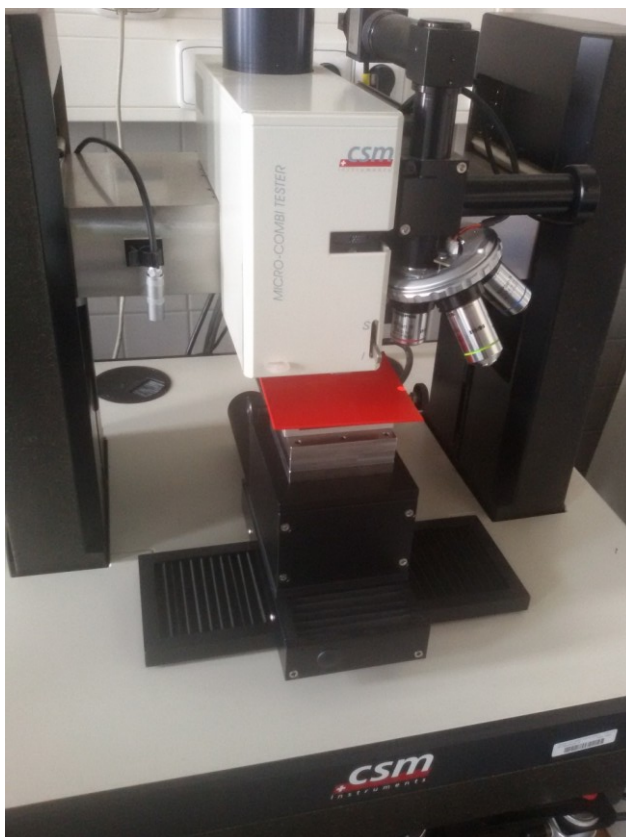
Jako vnikací indentační tělísko byl použit čtyřboký diamantový jehlan s vrcholovým úhlem 136° (Vickersův indentor). Měření bylo provedeno 10 krát na každém zkušebním vzorku za podmínek opakovatelnosti. Měření byla uskutečněna metodou DSI (Depth Sensing Indentation) a vyhodnocení vlastností bylo provedeno metodou Oliver & Pharr.

Vyhodnocovanou vlastností byla vtisková tvrdost H_{IT} , která se rovná podílu maximálního zatížení F_{max} a plochy A_p průměru kontaktu vnikacího tělesa s povrchem.

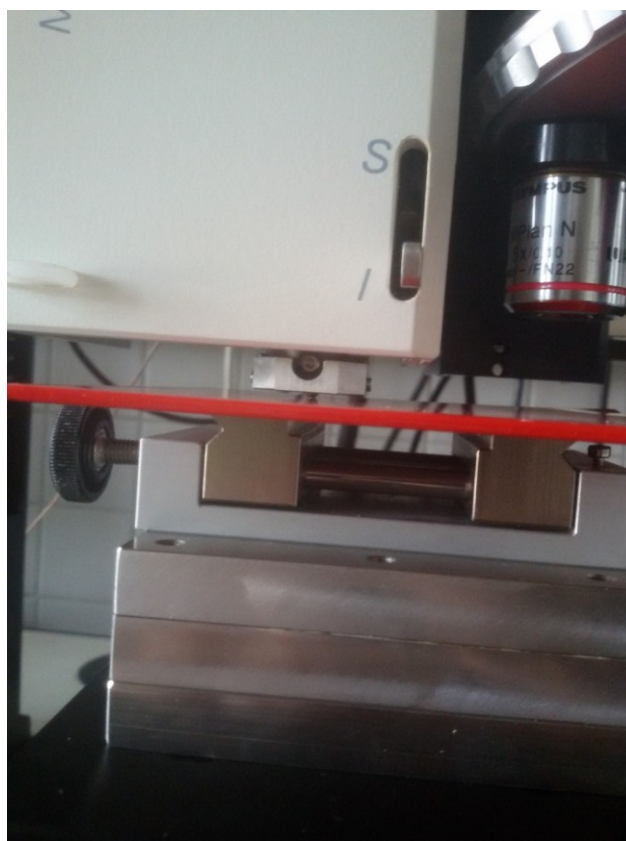
$$H_{IT} = \frac{F_{max}}{A_p} \quad (4)$$

Určení této vlastnosti je preferovanější, protože určit plochu průmětu vtisku je jednodušší, než určit plochu povrchu části indentoru, který vnikne do materiálu. Další výhodou je, že se měří v Pascalech, což umožňuje přejít od bezrozměrných stupnic k univerzální stupnici tvrdosti.

- Aplikované zatížení: 0,5 N
- Výdrž na maximálním zatížení: 90 s
- Zatěžující a odtěžující rychlost: 1 N/min



Obr. 39. Měřící zařízení Micro-Combi Tester

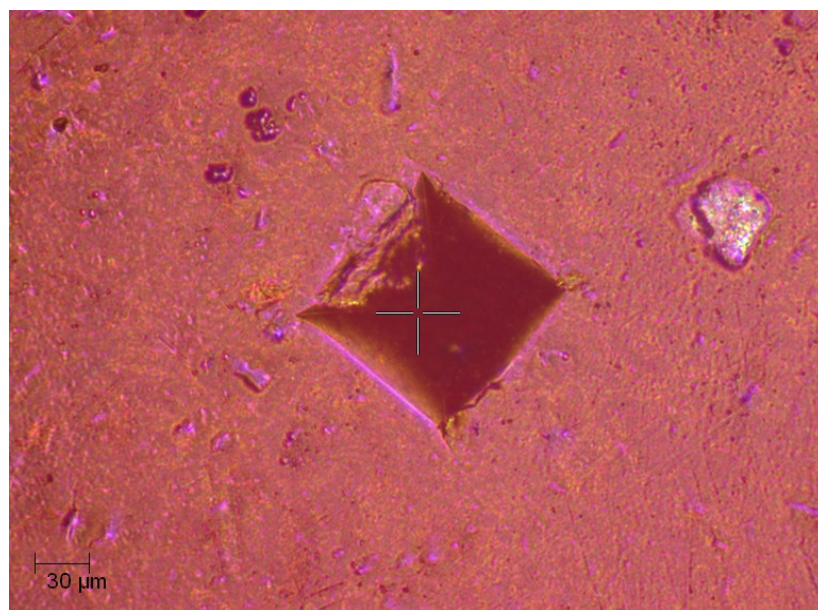


Obr. 40. Instrumentovaná zkouška tvrdosti - DSI

Tab. 5. Naměřené hodnoty vtiskové tvrdosti

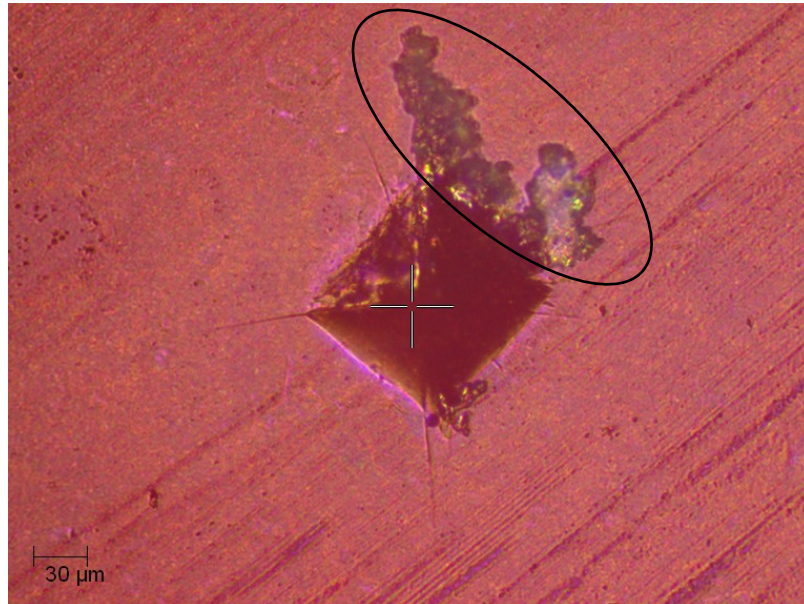
Vz. č. 7		Vz. č. 9	
n	H _{IT} [MPa]	n	H _{IT} [MPa]
1	178,82	1	168,17
2	170,43	2	172,65
3	176,30	3	166,56
4	174,39	4	169,45
5	172,43	5	172,37
6	177,67	6	168,58
7	176,60	7	168,14
8	168,77	8	172,30
9	174,56	9	167,28
10	171,78	10	167,12
\bar{x}	174,18	\bar{x}	169,26
s	3,27	s	2,34
V	1,88	V	1,38

Pro oba dva měřené vzorky bylo provedeno deset měření vtiskové tvrdosti pomocí Instrumentované zkoušky DSI. Zjištěné hodnoty byly zaneseny do Tab. 5. Rozdíl v měřených vzorcích byl pouze ve způsobu vytvrzení. Vzorek č. 7 byl vytvrzen v infračervené peci a vzorek č. 9 v horkovzdušné peci. U výsledků měření bylo očekáváno, že vzorek č. 7 bude vykazovat podstatně menší hodnoty tvrdosti, než vzorek č. 9. Indentační vtisk u vzorku č. 9 je možné pozorovat na Obr. 41



Obr. 41. Indentační vtisk u vzorku č. 9, 20x zvětšeno

Tento předpoklad vycházel z provedení řezů u tvorby mřížkové zkoušky, kdy u vzorku č. 7 byl nátěr odloupen podél hran řezů a v místě jejich křížení. Také u indentačního vtisku *Obr. 42*, lze vidět, že u jedné z hran je povlak barvy odprýsknutý.



Obr. 42. Indentační vtisk u vzorku č. 7, 20x zvětšeno

Dále je možné vidět v rozích vtisku povrchové trhliny, které jsou zapříčiněné povrchovým zbytkovým napětím. Toto napětí mohlo vzniknout při výrobním procesu vytvrzování za působení tepla, kdy mohlo dojít k nerovnoměrné změně struktury nebo k nerovnoměrnému spojení částic při chemické reakci – polymeraci.

Právě u Vickersova indentoru vznikají trhliny v rozích vtisku a negativně tím ovlivňují přesnost měření.

ZÁVĚR

Teoretická část byla zpracována jako literární rešerše dané problematiky, ve které byly popsány druhy korozního napadení a jakými vhodnými způsoby ochrany mu lze předejít. Dále pak byla popsána povrchová úprava pomocí technologie práškového lakování.

Povrchové úpravy jsou nezbytnou součástí výrobních procesů většiny předmětů, které v běžném životě používáme. Jejich pohledné a kvalitní zpracování může ovlivnit celkový dojem z výrobku, a proto by měla být povrchové úpravě věnována patřičná pozornost.

V praktické části byl navržen a posléze proveden experiment, ve kterém se hodnotí a zkoumá kvalita vrstvy laku vytvořená pomocí práškového lakování. Experiment byl zhotoven na hliníkových destičkách. Všechny zkušební destičky byly shodně předupraveny brusným papírem a chemickým ošetřením povrchu. Nanášení práškové barvy bylo provedeno ruční elektrostatickou aplikační pistolí. Vytvrzování proběhlo v průjezdné infračervené peci a v komorové horkovzdušné peci. Na vytvrzeném a ochlazeném povlaku byla provedena měření kvality dle platných příslušných norem. Prvním měřením byla zjištěna tloušťka povlaku, která je zároveň vstupním údajem pro měření přilnavosti mřížkovou zkouškou. Dále byl měřen lesk a mikrotvrдость naneseného povlaku.

Tloušťka naneseného nátěru splňuje technické požadavky výrobce. Avšak při detailnějším měření u zkušební vzorku č. 5, se ukázalo, že povlak není ve všech místech vzorku rovnoměrný. Tloušťka se v různých místech liší od minimální hodnoty 83,87 μm po maximální hodnotu 138,8 μm . Takto nerovnoměrná tloušťka povlaku mohla být příčinou elektrostatického způsobu nanášení práškové nátěrové hmoty.

Při měření přilnavosti povlaku k podkladovému materiálu mřížkovou zkouškou bylo zjištěno, že významný vliv na trvanlivost nátěru a jeho přilnavost má teplota a čas při vytvrzování. Všechny vzorky vytvrzené v horkovzdušné peci shodně dosáhli požadovaného nultého klasifikačního stupně, tedy nejlepšího. Vzorky, které byly vytvrzeny pomocí infračervené pece, zkoušce nevyhověly.

Výsledky měření lesku povlaku, u všech vzorků vytvrzených v horkovzdušné peci, byly splněny v mezích tolerance stanovené technickým listem od dodavatele práškové barvy.

Posledním zkoumaným parametrem výsledného povlaku byla mikrotvrдость, která

byla změřena metodou DSI. Bylo zjištěno, že použité typy pecí nemají vliv na vtiskovou tvrdost. Avšak v případě vzorků vytvrzených jenom v infračervené peci došlo při indexaci k odprýsknutí vrstvy povlaku, proto je tento způsob vytvrzení nedostačující. Tato vada mohla vzniknout během výrobního procesu vytvrzení příčinou povrchového zbytkového napětí.

Technologie povrchových úprav práškovým lakováním je stále více využívanou technologií. Hlavně díky své ekologické šetrnosti, minimální odpadovosti a relativně nízké ekonomické náročnosti, když pomineme pořizovací cenu zařízení. Do budoucna se výroba práškových nátěrových hmot bude posouvat směrem k vývoji barev se sníženou vypalovací teplotou. Tím se sníží náklady na energii, ale také bude možné práškově nalakovat materiály, které se za vyšších teplot taví nebo hoří, jako jsou plasty nebo dřevo.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NOVOTNÝ, Jiljí. *Technologie I: (Slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2006, 227 s. ISBN 80-01-02351-6.
- [2] KAŠTÁNEK, Otakar. *Strojírenské materiály a technologie*. Brno: VUT, 1979, 308 s.
- [3] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2000, 216 s. ISBN 80-7082-668-1
- [4] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1995. ISBN 80-7078-267-6.
- [5] GREIPLOVÁ, Ing. H., Ing. J. BENEŠOVÁ a M. PARÁKOVÁ, 2011. Vliv přípravy povrchu na životnost organických povlaků. *Tribotechnika* [online]. TechPark [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62012/vliv-pripravy-povrchu-na-zivotnost-organicky-povlaku.html>
- [6] *Tiger coatings: Dějiny práškového lakování* [online], [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.tiger-coatings.com/cz/produkty/praskove-laky>
- [7] *Technolak: Technologie* [online], [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.technolak.cz/technologie.html>
- [8] CHVÁTAL, Antonín a Jarmila KUPFOVÁ. *Povrchová ochrana práškovými plasty*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985
- [9] *Dor-sport: Komaxit* [online], [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.dorsport.cz/komaxit>
- [10] Tryskání-pískování-omílání, In: *Omílání ocele* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.tryskani-piskovani.com/img/omilani/vibratory-finishing.jpg>
- [11] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I. Dot.* Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1997. ISBN 80-7078-235-8.
- [12] SZELAG, Ing. Petr a Ing. Jaroslav CHOCHOLOUŠEK, 2008. Železnaté fosfatování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/zeleznate-fosfatovani.html>
- [13] TULKA, Jaromír. *Povrchové úpravy materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2005. ISBN 80-214-3062-1.

- [14] KREIBICH, Doc. Ing. Viktor, 2010. Povlaky z práškových plastů bezchybně. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/povlaky-z-praskovych-plastu-bezchybne.html>
- [15] ČVUT odborná literatura Centrum pro povrchové úpravy: *Povlaky z práškových plastů*. Praha, 2008.
- [16] Práškové barvy, *Surfin technology* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.surfin.cz/barvy/praskove-barvy.html>
- [17] *Powder coatings: Polyester powder & Types of Powder* [online], [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.powder-coatings.co.uk/types-of-powder-coating/>
- [18] *AzkoNobel Interpon powder coatings: Prášková barva* [online], [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.interpon.cz/our-coatings/powder-finder/>
- [19] Product Gallery: Vidoes, In: *Keyland polymer UV Powder* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.kpuvpowder.com/powder-coat-resources/pictures/>
- [20] Klimeš L. - KLIMEŠ, L. O historii a výrobě práškových plastů. *Povrchové úpravy*. 2003, roč. 2003, č. 3, s. 18-19. ISSN 0551-7354.
- [21] Práškové barvy, In: *Ekol* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.ekol.cz/barvy-praskove-barvy/>
- [22] Decoral Systém, *Surfin technology* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.surfin.cz/technologie/decoral-system.html>
- [23] HUBLAR, Martin, *Surface Quality Institute: Kontrola technologie vytvrzování*. Brno.
- [24] IR pece, *Surfin technology* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.surfin.cz/technologie/99-ir-pece.html>
- [25] BLAŽEK, Jaroslav. *Optimalizace teploty vytvrzování při práškovém lakování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009.
- [26] BRÁBNÍKOVÁ, Mgr. Radana, 2016. *Hodnocení kvality práškových barev*. Ostrava.
- [27] KREISLOVÁ, Kateřina a Markéta PARÁKOVÁ, Měření tloušťky povlaků. *Tribotechnika* [online]. TechPark [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42014/mereni-tloustky-povlaku-.html>
- [28] Eddy Current, In: *ACNDT* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://acndt.com/services/eddycurrent.asp>

- [29] ČSN EN ISO 2409, *Nátěrové hmoty - Mřížková zkouška*, 2013. Praha: Český normalizační institut.
- [30] MAZUREK, Ing. Pavel, 2007. Hodnocení lesku povrchové úpravy. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/hodnoceni-lesku-povrchove-upravy.html>
- [31] ČSN EN ISO 2813, *Nátěrové hmoty - Stanovení čísla lesku při úhlu 20°, 60° a 85°*, 2016. Praha: Český normalizační institut.
- [32] Měření lesku, In: *Stanovení povrchových vlastností (barva, lesk) materiálů exponovaných za podmínek simulující vnější prostředí v QUV panelu* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: https://vscht.cz/kat/download/lab2_stanoveni_povrchovych_vlastnosti.pdf
- [33] *Měření jednotlivých vlastností vrstev: Tvrdost* [online], [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: http://www.kom.tul.cz/to/sdilene/mereni_vrstev.pdf
- [34] OVŠÍK, Martin. *Výzkum možností nových metod měření tvrdosti polymerů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010, 179 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/25609>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Maňas, David.
- [35] ČSN EN ISO 14577-1, *Kovové materiály - Instrumentovaná vnikací zkouška stanovení tvrdosti a materiálových parametrů - Část 1: Zkušební metoda*, 2016. Praha: Český normalizační institut.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

%	Procento
resp.	Respektive
apod.	A podobně
např.	Například
tzv.	Takzvaně
μm	Mikrometr
°C	Stupeň Celsia
Obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka
mm	Milimetr
RAL	ReichsAusschuss für Lieferbedingungen (Říšský výbor pro dodací podmínky)
UV	Ultraviolet (Ultrafialové záření)
EP	Epoxidy
PES	Polyestery
PUR	Polyuretany
max.	Maximálně
kg	Kilogram
kV	Kilovolt
mA	Miliampér
g/m ³	Gram na metr krychlový
LTO	Lehké topné oleje
GU	Gloss units (Jednotky lesku)
°	Úhlový stupeň
mN	Milinewton

DSI	Depth Sensing Indentation (Instrumentovaná vnikací zkouška tvrdosti)
F	Zkušební zatížení
F_{\max}	Maximální zkušební zatížení
h	Hloubka vtisku
h_{\max}	Maximální hloubka vtisku
tj.	To je
μA	Mikroampér
Fe	Feromagnetické
NFe	Neferomagnetické
\bar{x}	Aritmetický průměr
s	Směrodatná odchylka
n	Počet měření
Vz.	Vzorek
č.	Číslo
t	Tloušťka
V	Variační koeficient
H_{IT}	Vtisková tvrdost
A_p	Plocha průmětu vnikacího tělesa
N	Newton
s	Sekunda
N/min	Newton za minutu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Některé druhy korozního napadení [3].....	12
Obr. 2. Schéma galvanického článku [1]	13
Obr. 3. Schéma funkce některých inhibitorů [3]	15
Obr. 4. Rozdílné umístění odtokového potrubí z hlediska korozního namáhání [3]	17
Obr. 5. Vznik štěrbin [3]	17
Obr. 6. Korozní makročlánek [1]	18
Obr. 7. Konstrukční řešení z hlediska možnosti vytvoření povrchové úpravy [3]	18
Obr. 8. Broušení hliníkového plechu pneumatickou brusku	22
Obr. 9. Omílání výrobků v horizontálním bubnu [10]	23
Obr. 10. Moření v kyselině sírové [4]	26
Obr. 11. Ovládací panel automatizované linky chemické předúpravy	27
Obr. 12. Nanesení dekoru dřeva na hliníkové profily	31
Obr. 13. Vlevo - Klimatizovaný sklad barev na 20 °C, Vpravo - Uskladněná barva.....	32
Obr. 14. Proces extruze při výrobě práškových nátěrových hmot [20]	32
Obr. 15. Rozválcování a drcení práškového plastu [21]	33
Obr. 16. Dávkování do balení [21]	33
Obr. 17. Aplikační zařízení s nanášecí pistolí	34
Obr. 18. Schéma elektrostatického nanášení práškové barvy [7].....	35
Obr. 19. Schéma elektrokinetického nanášení práškové barvy [7]	36
Obr. 20. Vytvrzovací horkovzdušná pec	39
Obr. 21. Vytvrzovací infračervená katalytická pec	40
Obr. 22. Princip metody vířivých proudů [28]	42
Obr. 23. Mřížkový řez pro nátěry dle celkové tloušťky povlaku [3]	43
Obr. 24. Standardní úhly měření lesku povlaku [32]	45
Obr. 25. Znázornění zkušební postupu [35]	47

Obr. 26. První operace chemické předúpravy – deoxidace a odmaštění vzorků	51
Obr. 27. Předupravené vzorky v nanášecí kabině	52
Obr. 28. Nalakovaný vzorek práškovou barvou	53
Obr. 29. Nanášení práškové barvy pomocí aplikační pistole	53
Obr. 30. Průjezd nalakovaných vzorků infračervenou pecí	54
Obr. 31. Měření tloušťky povlaku na zkušebním vzorku	57
Obr. 32. Hodnocení tloušťky povlaku v závislosti na pozici na vzorku č. 5	59
Obr. 33. Postup mřížkové zkoušky [29]	61
Obr. 34. Praktické provedení mřížkové zkoušky	61
Obr. 35. Vyhotovená mřížková zkouška na vzorku č. 8 (nahore) a č. 10 (dole).....	62
Obr. 36. Použitý měřicí přístroj s kalibrační černou destičkou	63
Obr. 37. Příklad měření lesku na zkušebním vzorku	64
Obr. 38. Vytvrzená prášková barva RAL 7016 (zleva) v lesklém, pololesklém a matném provedení	64
Obr. 39. Měřicí zařízení Micro-Combi Tester	66
Obr. 40. Instrumentovaná zkouška tvrdosti – DSI	67
Obr. 41. Indentační vtisk u vzorku č. 9, 20x zvětšeno	68
Obr. 42. Indentační vtisk u vzorku č. 7, 20x zvětšeno	69

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Klasifikace výsledků mřížkové zkoušky [29]	44
Tab. 2. Naměřené a vypočítané hodnoty tloušťky povlaku	58
Tab. 3. Naměřené hodnoty tloušťky povlaku pro vzorek č. 5	59
Tab. 4. Naměřené a vypočítané hodnoty lesku povlaku	65
Tab. 5. Naměřené hodnoty vtiskové tvrdosti	68