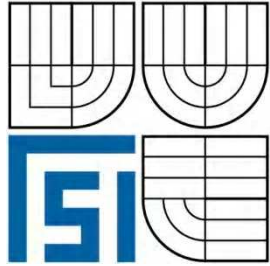


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POVRCHOVÁ ÚPRAVA MOKRÝM LAKOVÁNÍM SURFACE TREATMENT BY WET PAINTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KAREL FICAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Fical Karel

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Povrchová úprava mokrým lakováním

v anglickém jazyce:

Surface treatment by wet painting

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Mokrý lakování je významným procesem při povrchové úpravě většiny velkorozměrných konstrukcí. Vývoj směřuje k výrazně ekologickým pochodům při vlastní tvorbě povlaku.

Cíle bakalářské práce:

1. Rozbor současného stavu v daném oboru
2. Literární studie nových typů nátěrových systémů
3. Návrh postupu a zkoušek při procesu mokrého lakování

Seznam odborné literatury:

1. MOHYLA, M. Technologie povrchových úprav kovů. 3vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava. 2006. 156s. ISBN 80-248-1217-7.
2. SEDLÁČEK, V. Povrchy a povlaky kovů. 1vyd. Praha: Ediční středisko ČVUT Praha. 1992. 176s. ISBN 80-01-00799-5.
3. PODJUKLOVÁ, J. Speciální technologie povrchových úprav I. 1vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava. 1994. 76s. ISBN 80-7078-235-8.
4. www.povrchovauprava.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 19.11.2009

L.S.



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Ochrana materiálů různými nátěry, je v dnešní době velmi důležitá, jak z hlediska estetického, funkčního, tak především antikoroziního. Koroze každoročně způsobí nemalé škody na kovových konstrukcích a degradace materiálu může způsobit celkové poškození dané součásti, či celé konstrukce. Při vhodné volbě nátěrových hmot lze korozi potlačit a její projevy oddálit až o několik let. V dnešní době je ochrana materiálů organickými povlaky nejrozšířenějším způsobem a zaujímá 80 až 90% všech povlaků.

Při výběru nátěrových hmot a jejich následné aplikaci dbáme na vlastnostech upravovaného materiálu, jeho funkční využití, prostředí v jakém se bude nacházet a na vlastnostech samotného nátěru. Pro dosažení uspokojivých vlastností je třeba vytvořit technologický postup pro daný konkrétní případ.

Klíčová slova

Mokrý lakování, nátěrová hmota, pojiva, příprava povrchu, způsob nanášení

ABSTRACT

Protection of various coating materials is today very important, both in terms of aesthetic, functional and, especially corrosion. Corrosion annually causes significant damage to metal structures and degradation of material can cause a total damage of the parts or the whole structure. When appropriate choice of coating materials can suppress the corrosion and its manifestations delay up to several years. Today, the protection of organic material coats the most common way and takes 80 to 90% of all coatings.

When selecting paints and their subsequent applications we care about the material properties of the edit, its functional use, the environment in which they will be located and the properties of paint itself. To achieve satisfactory properties, it is necessary to create a technological process for the specific case.

Key words

Wet painting, organic coating, adhesives, surface preparation, method of application

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FICAL, Karel. *Povrchová úprava mokrým lakováním*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 48s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma povrchová úprava mokrým lakováním, vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....
Fical Karel

Poděkování

Děkuji tímto panu inženýru Jaroslavu Kubíčkovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	3
Prohlášení.....	7
Poděkování.....	9
Úvod.....	13
1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT.....	14
1.1 Transparentní nátěrové hmoty	14
1.2 Pigmentové nátěrové hmoty	14
2 SLOŽENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT.....	16
2.1 Seznámení.....	16
2.2 Pojiva	16
2.3 Pigmenty.....	18
2.3.1 Inhibiční pigmenty	18
2.3.2 Neutrální pigmenty	19
2.3.3 Stimulující pigmenty	19
2.3.4 Barevné odstíny pigmentů	20
2.4 Plniva	21
2.5 Aditiva	21
3 PŘÍPRAVA POVRCHU PŘED APLIKACÍ.....	22
3.1 Mechanická	22
3.1.1 Tryskání (pískování)	22
3.1.2 Omílání	23
3.1.3 Broušení (leštění a kartáčování)	24
3.2 Chemická	25
3.2.1 Odmašťování	25
3.2.2 Moření	26
3.2.3 Fosfátování	26
4 ZPŮSOB APLIKACE	28
4.1 Pomocí štětce	28
4.2 Stříkáním	29
4.2.1 Stříkací kabiny	30
4.2.2 Stříkací pistole	30
4.3 Máčením	31
4.4 Navalováním	31
4.5 Elektroforézou	32
4.5.1 Anaforéza	32
4.5.2 Kataforéza	32
5 ZKOUŠKA KVALITY MOKRÉHO LAKOVÁNÍ	34
5.1 Hodnocení nátěrové hmoty v kapalném stavu (před aplikací).....	34
5.1.1 Analytické metody	34
5.1.2 Technologické zkoušky kapalných nátěrových	35
5.1.3 Určení sušiny a viskozity nátěrové hmoty	35

5.2 Hodnocení vlastností nátěrových hmot ve stavu před nanášením a při nanášení	36
5.2.1 Vlastnosti při aplikaci	36
5.2.2 Vlastnosti bezprostředně po aplikaci	37
5.3 Technologické vlastnosti hotového nátěrového filmu	38
5.3.1 Zkouška tloušťky suchého nátěru	38
5.3.2 Zkoušky tvrdosti	38
5.3.3 Zkoušky elasticity (vláčnosti).....	39
5.3.4 Zkoušky přilnavosti k podkladové vrstvě	40
Závěr	43
Seznam použitých zdrojů	45
Seznam obrázků a tabulek	47

ÚVOD

V dnešní modernizované době se čím dál více obklopujeme předměty, stroji a přípravky, které jsou v každodenním životě pro nás nezbytné. Aby nám tyto předměty sloužily co nejdéle a esteticky vypadaly i po určité době, je nezbytné je chránit proti povětrnostním i jiným vlivům, které degradují materiál. V této práci se zaměřím na ochranu především kovových součástí.

V úvodu práce je uvedeno základní rozdělení podle pojivové báze, která je hlavní složkou každé nátěrové hmoty. U každé skupiny je stručný souhrn, čím je daná skupina specifická a její zajímavé vlastnosti oproti ostatním. V dalších kapitolách následuje prakticky technologický postup předúpravy materiálu mechanickou i chemickou cestou a různé způsoby aplikace povlaku. Předúprava podkladového materiálu a samotná aplikace je jednou z nejdůležitějších částí, proto jí je věnována větší pozornost. V průběhu celé práce jsou zmínky z historického pohledu, a kam se lakýrnictví ubírá dnes, ať už z hlediska ekologie, jednoduchosti aplikace, spotřeby nátěrových hmot či delší protikoroze ochrany. Práce je zakončena rozborem vybraných několika zkoušek kvality, které jsou přesně specifikované českými i mezinárodními normami.

1. ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT

1.1 Transparentní nátěrové hmoty

Transparentní nátěrové hmoty vytvářejí průhledný film obsahující pouze průhlednou filmotvornou složkou, která propouští světelné paprsky. V některých případech obsahují i složku těkavou k urychlení zasychání. Transparentní hmoty mohou být obarveny organickými barvivy.

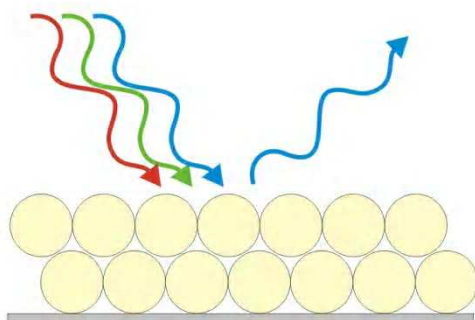
- **Fermeže a rozpouštědla** – fermež neboli lněný vysychavý olej slouží především jako ředidlo pro olejové, fermežové barvy a tmely. Dále je využívána k napouštění dřeva, papíru a jiných savých podkladů pod olejové, fermežové, syntetické a disperzní nátěrové hmoty.

- **Laky a politory** – politura je hladká lesklá povrchová vrstva vytvořená bezbarvým lakem sloužící převážně ke konzervaci materiálu

- **Vodné koloidní roztoky** - jsou směsi, jehož vlastnosti jsou mezi homogenní a heterogenní směsí (někdy se označuje jako mikroheterogenní). Je to směs velmi jemných částic rozptýlených v jiné látce.

1.2 Pigmentové nátěrové hmoty ^[10, 11]

Pigmentované nátěrové hmoty zpravidla vytváří neprůhledný nátěr zbarvený do nějakého odstínu. Pigment je materiál, který mění barvu odráženého světla, což je způsobeno selektivním pohlcováním určitých vlnových délek. Výsledná barva je dána spektrem odražených vlnových délek světla.



Obr. 1.1 Odrážení vlnových délek

Pigmenty mohou být anorganické i organické a v obou skupinách mohou být přírodní i uměle vyráběné (syntetické) materiály. Jde obvykle o velmi jemnozrné hmoty s velikostí částic od 0,2 do 10 μ m. Pigment je obvykle nerozpustný v pojivu, zatímco barvivo je buď přímo kapalné, nebo je v pojivu rozpustné. Doc. Ing. Miroslav Svoboda v knize „Povrchová

ochrana kovů organickými povlaky“ dělí pigmenty do základních třech skupin:

- **Inhibiční** – na rozhraní kov s nátěrem se vytváří prostředí, v němž je koroze výrazně zpomalena. V nedávné minulosti bylo hojně využíváno inhibičních pigmentů na bázi olova a chromu především suřík a zinková žluť. V dnešní době jsou zakázána díky karcinogenním účinkům.

- **Neutrální** - nemají na průběh koroze vliv.

- **Stimulující pigmenty** – zrychlují korozi, proto jsou velmi málo využívány (grafit, saze).

2 SLOŽENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT

2.1 Seznámení

Každá nátěrová hmota je složena z několika hlavních složek. Poměr těchto složek je velmi důležitý a ovlivňuje mnoho vlastností budoucího povlaku. Nejdůležitější složkou je pojivo, které úzce souvisí s přilnavostí k materiálu. Další neméně důležité složky jsou plnivo, pigmenty a aditiva.

2.2 Pojiva [2, 3, 10]

Hlavní složkou nátěrových hmot většinou bývají filmotvorné látky neboli pojiva. Pojiva jsou převážně netěkavé organické sloučeniny, které mohou vytvářet tuhý souvislý film různé tloušťky. Nejčastěji to jsou syntetické pryskyřice (alkydy, epoxidy, akrylové polymery atd.), vysychavé oleje (lněný, tungový), přírodní pryskyřice (kalafuna, šelak), deriváty kaučuku (chlorovaný kaučuk, cyklizovaný kaučuk), deriváty celulosy (nitrát celulosy, acetát celulosy) a asfalty (přírodní nebo získané při zpracování ropy).

Nejčastěji jsou nátěrové hmoty tříděny podle pojivové báze. Protože chemický průmysl jde v dnešní době mílovými kroky, zde jsou uvedeny jen ty nejvíce využívané a známé v běžné praxi.

akrylátové - pojivem jsou estery kyselin polyakrylové a polymethylakrylové. Nátěry z akrylátových pryskyřic vynikají odolností proti povětrnostním podmínkám a udržují si svoji stálou barvu a lesk. V současnosti jsou velmi využívány ve strojírenském a především automobilovém průmyslu. Velkým vlivem Evropské unie a jejich omezení, se dostávají do popředí vodouředitelné nátěrové hmoty kvůli menší ekologické zátěži.

alkydy - pojivem jsou polyestery, vzniklé esterifikací polykarboxylových kyselin polyalkoholy (do této skupiny patří hmoty v ČR označované jako "syntetické" základní barvy nebo emaily).

asfaltové – jako základní filmotvorná látka se používá přírodních nebo ropných asfaltů, případně kamenouhelná smola. Asfaltové nátěry se mohou kombinovat s epoxidy, polyuretany za vzniku epoxidehtů a polyuretandehťů. K zasychání je nutné zvýšených teplot (160-200°). Kládou vlastností těchto nátěrů je odolnost proti kyselinám.

epoxidové – nátěrové hmoty zpravidla obsahují epoxidovou pryskyřici a tvrdidlo (diethylentriamin, triethyltetraamin, atd.), která dává těmto nátěrům elastické a přitom velmi tvrdé vlastnosti povrchu. Nátěr značně odolává odírání, vlhkosti a neagresivním chemikáliím. Valná většina epoxidových nátěrových hmot zasychá na vzduchu za několik málo hodin a vytvrzený, v závislosti na teplotě, za cca 3 dny. Existují i jednosložkové epoxidové hmoty, které se vytvrzují díky vzdušné vlhkosti (ketiminy).

chlórkaučukové - základním pojivem je chlorovaný přírodní kaučuk nebo syntetický polysopren. Používá se jako základní nebo mezi vrstevní nátěr ocelových povrchů v kyselém a vlhkém prostředí. Proto je hojně využívána v přímořských zemích k ochraně mostů, přístavních zařízení a jiného.

nitrocelulóзовé - pojivem jsou takzvané průmyslová nitrocelulóza (sloučenina, která vznikne působením kyseliny dusičné a dalších látek z buničiny). Rozmanité druhy nitrocelulózy umožňují vyrábět celou škálu barev od tvrdých laků až po elastické nátěry. Tyto barvy rychle schnou, ale obsahují větší množství hořlavých látek. Velký rozmach tyto barvy zaznamenaly po první světové válce, kdy byly hojně využívány v automobilovém průmyslu a umožnily hromadnou výrobu na stříkacích linkách.

olejové – nátěrové hmoty jsou jedny z nejstarších nátěrů vůbec. Pojivem je vysychavý rostlinný olej (lněný, dřevný) spolu s přírodní nebo synteticky vyrobenou pryskyřicí. Vzájemný poměr oleje a pryskyřice určuje vlastnosti nátěru. Hmoty s větším obsahem oleje dobře odolávají povětrnostním podmínkám, a proto jsou vhodné pro venkovní použití. Nevýhodou těchto barev je dlouhá doba zasychání (8-72hod při běžné teplotě), při nižších teplotách je zasychání o mnoho delší. Díky této nevýhodě jsou dnes nahrazovány alkydovými či polyuretanovými nátěry.

polyesterové – základní filmotvornou látkou u těchto hmot jsou produkty reakce diolů s vícesytnými kyselinami. Základní složkou jsou nenasycené polyesterové pryskyřice, které barvám dodávají požadované vlastnosti, především barevnou stálost při vyšších teplotách nebo při jejich častém střídání. Zpravidla se prodávají v prášku a k nanesení potřebují speciální zařízení.

polyuretanové – nátěry se zhotovují z dvousložkových nátěrových hmot, přičemž jedna složka obsahuje izokyanáty, které mají aktivní skupinu – $N=C=O$, jež reaguje s látkami s aktivním vodíkem obsaženým ve druhé složce. To jsou nejčastěji rozvětvené polyestery (alkydy). Smícháním obou složek dochází k vzájemné reakci, která vede k zesíťování obou nízkomolekulárních látek.

Díky obsahu plastů (polymerů) nátěry tohoto typu dobře odolávají vnějším vlivům, proto se také tyto nátěrové hmoty používají na střechy, velmi namáhané dřevěné i železné konstrukce vystavené odírání.

silikonové – jsou barvy, jejichž hlavní složkou se silikonová pryskyřice, obsahující řetězce $-O-Si-O-$ (smíšené metylfenylpolysiloxany). Silikon je do barev přidáván zejména kvůli tomu, aby dobře propouštěly páru, odolávaly vlhku a vysokým teplotám a neodíraly se. Jde o silikonové fasádní barvy a rovněž o silikonové vypalovací barvy, které snesou vyšší teploty a používají se například pro kouřovody nebo automobilové výfuky.

Skupinové označení nátěrových hmot

A Asfaltové	K Silikonové	U Polyuretanové
B Bezrozpouštědlové	L Lihové	V Vodové a emulzní
C Celulózové	O Olejové	P Pomocné přípravky
H Chlórkaučukové	S Syntetické	

2.3 Pigmenty ^[3,11]

2.3.1 Inhibiční pigmenty

Olověný pigment známý pod názvem **suřík** (tetraoxid diolovnatu-olovičitý Pb_3O_4) je oranžovo – červený prášek, dříve velmi hojně využíván jako pigmentová složka do základových barev pro železné konstrukce. Vzhledem k jeho jedovatosti a tudíž i velké zátěži na životní prostředí se od něho ustupuje a nahrazuje se jinými pigmenty. Z hlediska antikoročních vlastností je ovšem suřík nenahraditelný a současné antikorozní nátěry ani zdaleka nedosahují jeho kvalit.



Obr. 2.1 Suřík

Chromový pigment **zinková žluť** (sůl chromanu zinečnatého a dichroman draselný $3ZnCrO_4 \cdot K_2Cr_2O_7$) je také nahrazována ekologicky šetrnější variantou - chromanem barnatý ($BaCrO_4$ - žlutý ultramarín) a chromanem olovnatým ($PbCrO_4$ - chromová žluť). Toxicita chromových složek nátěrů je závislá na mocenství, ve kterém se do organismu dostává. Zatímco trojmocný chrom je pokládán za převážně prospěšný a je nezbytnou součástí každodenní stravy, pak naopak šestimocný chrom působí negativně a je pokládán za potenciální karcinogen.

Fosforečnan zinečnatý - $Zn_3(PO_4)_2$ je nerozpustný dobře přilnavý pigment. Vzhledem k menší odolnosti v prostředí s $NaCl$ a v silně kyselém prostředí se často v nátěrových hmotách používá se sloučeninami neutralizujícími kyselá prostředí, např. se zinkovou bělobou nebo vápencem. Není toxický.

Kovový zinek – se využívá ve formě velmi jemnozrnného zinkového prachu ve formě lamelárních částic či vloček. Vzhledem ke své pozici v Beketovově řadě kovů (větší záporný standardní elektrodový potenciál než železo) oxidace zinku probíhá přednostně před oxidací železa, čím železo chrání.

Částice pigmentu ale musí být v poměrně vysoké koncentraci, aby se navzájem dotýkaly a byla zajištěna elektrická vodivost. Tyto nátěry se používají hlavně na povrchy vystavené působení mořské vody.

2.3.2 Neutrální pigmenty

Nemají na průběh koroze vliv.

chroman olovnatý – laickým názvem chromová žluť ($PbCrO_4$), je toxická pro reprodukci a karcinogenní látka. Používá pro výrobu pigmentů do barviv, detergentů, směsí na odbarvování vlasů, fotocitlivých materiálů, pyrotechnických směsí nebo k restaurování historických předmětů. V lednu 2010 byl Evropskou agenturou pro chemické látky zařazen na seznam nebezpečných látek.

titanová běloba – (TiO_2) Oxid titaničitý je neutrální pigment přidávaný do malířských nátěrů pro zvýšení bělosti. Titanová běloba je vhodná jako pigment do akrylátových, latexových a vápenných barev. Je to nejbělejší pigment a má nejlepší krycí schopnost ze všech bílých pigmentů. Přidává se do barev za účelem zvýšení bělosti nátěru. Není toxický.

oxid železitý - (Fe_2O_3) je červenohnědý prášek vyskytující se v přírodě jako minerál hematit. Můžeme se ale také setkat s modifikovanou fází gama (známý minerál pod názvem maghemit). Fáze gama je nestabilní a při zahřátí nad $500^\circ C$ přechází zpět na fázi alfa a stává se opět antiferomagnetickou.

2.3.3 Stimulující pigmenty

grafit - (český název tuha) je místy hojný měkký minerál. Jako pigment se používá už od starší doby kamenné. Jde o velmi stálý materiál s ocelově šedým odstínem, který není toxický. Jeho využití v nátěrových barvách omezuje snadná otíratelnost daná velkou měkkostí, na druhou stranu je hydrofobní a žáruvzdorný.

saze - se jako pigment používají už doby kamenné. Na rozdíl od grafitu, který je přírodní modifikací uhlíku s hexagonální krystalickou mřížkou, jsou saze prakticky čistý amorfni uhlík vzniklý nedokonalým spalováním uhlíkatých látek, např. minerálních olejů, vosků, asfaltu a uhlí. Díky velmi malé velikosti částic má vysokou krycí a barvicí schopnost a je dobře mísitelný se všemi pigmenty a pojivy. Podobně jako grafit je odolný vůči kyselinám i zásadám, navíc je jeho výroba velmi levná. Saze se jako pigment a plnidlo nejvíc uplatňují v gumárenství a pro barvení plastů. Dále jsou vhodné pro černé nátěry a tónování ostatních pigmentů. Zvláště důležité jsou saze pro výrobu tiskařských barev.

2.3.4 Barevné odstíny pigmentů

Jedním z hlavních úkolů pigmentů je zásadně obarvit nátěrovou hmotu do požadovaného odstínu, sytosti, a aby bylo dosaženo po aplikaci požadovaného lesku. Proto jsou mnohdy tyto složky tříděny podle barevného spektra.

Bílá – Titanová běloba (TiO_2), Zinková běloba (ZnO), Olovnatá běloba ($\text{Pb(OH)}_2 \cdot 2 \text{PbCO}_3$), Barytová běloba (BaSO_4), Sádra ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), Křída (CaCO_3), Hydroxid hlinitý (Al(OH)_3),

Žlutá – Chromová žluť (PbCrO_4), Kadmiová žluť (CdS), Barytová žluť (BaCrO_4), uranová žluť ($\text{K}_2\text{U}_2\text{O}_7$ nebo $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$)

Červená – červený okr (Fe_2O_3), minium (Pb_3O_4), chromová oranž ($\text{PbO} \cdot \text{PbCrO}_4$), chromová červen ($2 \text{Pb(OH)}_2 \cdot \text{PbCrO}_4$)

Modrá – kobaltová modř ($\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), manganová modř ($\text{BaMnO}_4 \cdot \text{BaSO}_4$), ultramarín ($(\text{Na,Ca})_8[\text{S,SO}_4,\text{Cl}_2]\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}$), azurit ($\text{Cu(OH)}_2 \cdot 2 \text{CuCO}_3$)

Zelená – chromová zeleň (PbCrO_4 , Cr_2O_3 nebo $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), zelené hlinky (minerály glaukonit a seladonit)

Černá – grafit, saze, manganová čern (MnO_2)

Barevné odstíny dle ČSN 67 3067

1000-1999 Šedé
2000-2999 Hnědé
3000-3999 Fialové

4000-4999 Modré
5000-5999 Zelené
6000-6999 Žluté

7000-7999 Oranžové
8000-8999 Červené
9000-9999 Ostatní



Obr. 2.2. Vzorníky barevných odstínů ČSN a RAL

2.4 Plniva

Jsou většinou malé, pevné částice anorganické látky, které se přidávají do pojiva. Plniva jsou v pojivu zpravidla nerozpustná a přidávají se za účelem zvýšit pevnost, tvrdost, vizuální a ochranou stálost, zlepšit aplikaci, popřípadě speciální vlastnosti, jako například snížit hořlavost či jako lapač bakteriálních částic. Mnohdy se ovšem přidávají pro zlevnění produktu. Nejužívanějšími plnivy jsou uhličitán vápenatý (křída), mastek, kaolin, křemenná moučka, baryt, wollastonit (přírodní silikát vápníku).

2.5 Aditiva

Jsou látky, které přidáním malého množství příznivě upravují některé vlastnosti nátěru, např. rychlost zasychání, otěruodolnost, regulace viskozity, stálost a zpřesnění odstínu, snížení či zvýšení lesku, pružnosti a přilnavosti. Speciální aditiva způsobí například interferenční efekt při odrazu a lomu dopadajícího světla nebo změni dynamickou viskozitu nátěru.

3 PŘÍPRAVA POVRCHU PŘED APLIKACÍ

Kvalita a vlastnosti budoucího nátěru nejsou závislé pouze na složení barvy jako takové. Ovlivňuje ji mnoho aspektů, jako je tloušťka nátěru, pórovitost, sluneční záření, teploty, plísň a nejdůležitější z těchto aspektů je úprava povrchu před vlastní aplikací.

Povrch kovů je znečištěn jednak látkami vázanými k povrchu mechanicky (mastnoty, zbytky past, mazadel, prach a podobně) a jednak látkami vázanými chemicky (oxidy, rez, okuje a podobně). Před aplikací povrchových úprav je nutno povrch kovů těchto nečistot zbavit a vytvořit kovově čistý povrch.

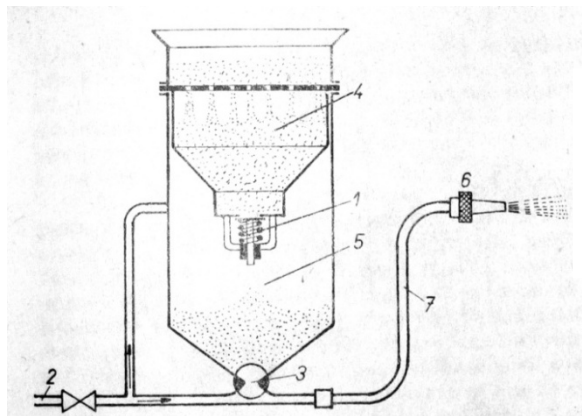
Rez, oxidy a podobné procesy degradace materiálu se odstraňují tryskáním, omíláním, broušením popřípadě mořením. Po těchto procesech je velmi důležité, aby základový nátěr byl nanesen v krátké době, aby na čistém povrchu kovu nestihly vzniknout zárodky rzi, které by byly pokryty nátěrovou hmotou a mohly posléze vézt k podpovrchové korozi a bobtnání povrchu. Mastnoty, prach a jiné znečištění při výrobě brání zasychání nátěru a dokonalému zakotvení ke chráněnému povrchu, proto je jeho odstranění také velmi důležité. Odstranění se provádí odmaštěním vodnými roztoky alkálií (hydroxid sodný, nebo uhličitán sodný se smáčedly), po kterém musí následovat oplach horkou vodou, nebo organickými rozpouštědly (technický benzín, stabilizovaný trichloretylen, aj).

3.1 Mechanická [3, 4, 5, 6]

3.1.1 Tryskání (pískování)

Otryskáváním je povrch vystaven tryskacímu materiálu, který je unášen silným proudem vzduchu. Povrch je pak zbaven koroze, nečistot, ale také dochází k jeho zdrsnění, což výrazně zlepšuje přilnavost pro barvy a tím snižuje náchylnost ke korozi. Přílišné zdrsnění je ovšem taky nežádoucí, pak jsou vrcholky struktury tryskaného podkladu zakryty jen malou vrstvou barvy z důvodu vytvoření Faraday klece ve výčnělcích nerovností. Materiálem pro tryskání se používá křemičitý písek, ocelové broky, korund, ale mohou to být taky drtě z ovocných pecek, plasty, sklo, struska, apod. Jejich použití je různé a také má své omezení např. nedoporučuje se ocelový tryskací materiál k tryskání hliníku (mohl by nastartovat korozi hliníku) Pro tryskání hliníku je nejvhodnější korund a dá se použít i písek. Velikost částic tryskacího materiálu je 0,4-0,8 mm a používáním se zmenšuje. Proto jsou drobné částice oddělovány spolu s otryskaným odpadem v cyklonech.

Tryskání povrchu částicemi je zpravidla doprovázeno plastickou deformací povrchové vrstvy, při které dochází ke zvyšování napětí v povrchové vrstvě, která má vysoké tlakové napětí a je v rovnováze s vnitřním tahovým napětím. Tryskáním dojde k lokálnímu zpevnění materiálu. Povrch materiálu a jeho struktura je závislá na použitém tryskacím materiálu (kulatý – vytváří důlky a zatlačuje nečistoty do povrchu, ostrý - zrna se zasekávají do materiálu a odstraňují i části kovu), kinetické energii částic, sklonu a vzdálenosti tryskače.



- 1- Přívod lakového vzduchu
- 2- Směšovací hlava
- 3- Zásobník tryskacího prostředku
- 4- Přetlakový zásobník
- 5- Tryska
- 6- Hadice

Obr. 3.1. Schéma tlakového způsobu tryskání

3.1.2 Omílání

Omílání je další mechanický způsob odstranění nečistot z povrchu především malých předmětů. Proces spočívá ve vzájemném odírání a obrušování omílaných těles, brusiva a tekutiny v otáčejícím se bubnu. Malé omílané předměty se volně v bubnu pohybují, u větších je nutné ukotvení, aby nedošlo k jejich poškození vlastní vahou.

Výhodou omílání jsou nízké provozní náklady, zpevnění povrchu, zvýšení odolnosti proti korozi, dosažení stejné jakosti povrchu u všech výrobků a minimální zmetkovitost. Nevýhodou je nerovnoměrný úběr materiálu (hrany jsou odírány více) a možnost poškození členitých výrobků. Omílacích zařízení je velké množství, principiálně je dělíme do tří skupin:

Rotační – Intenzita omílání závisí na otáčkách, průměru, tvaru a plnění bubnu, hmotnosti součástí a náplně. Při malém naplnění bubnu, dochází k velkému skluzu součásti a dochází k jednostrannému poškození, při plném naplnění, otěr nenastává. Optimální naplnění se experimentálně zjišťuje a bývá mezi 50 - 70%, z toho 20% jsou výrobky. K odírání dochází pouze v horní vrstvě náplně.



Obr. 3.2. Rotační omílací stroj od firmy Omílbrus Ledec s.r.o.¹

¹ <http://www.omilbrus.cz/index.php?menu=16>. Získáno 21. 3 2010

Vibrační - principiálně je tento postup stejný jako u rotačního, jen je zefektivněn vibracemi o vysoké frekvenci a malé amplitudě. Tyto vibrace způsobí neustálý rychlý pohyb všech částí v bubnu. Výhodou je, že dochází k obrušování v celém objemu, možnost většího podílu výrobků v bubnu (30%), plná automatizace, možnost průběžné kontroly a více jak dvojnásobná rychlost odírání při podstatně nižších otáčkách než u rotačního.



Obr. 3.3. Kruhový omílací vibrátor od firmy Rösler²

Odstředivé – je nejintenzivnější způsob omílání. Na rotujícím rámu jsou uloženy dva nebo čtyři bubny, které se otáčejí současně s rámem a ještě nezávisle a regulovatelně okolo vlastní osy. Při otáčení rámu vzniká velká odstředivá síla, náplň v bubnu je přitlačována ke stěně, dochází k vzájemnému stačování a tření součástí s omítacími tělisky, tedy k tlakovému omílání. Složení bubnu je stejné jako při rotačním omílání. Odstředivé omílání se používá zejména pro drobné součástky. Intenzita omílání je úměrná odstředivé síle, tj. otáčkám rámu. Doby omílání jsou minutové.

3.1.3 Broušení (leštění a kartáčování)

Broušení povrchu se používá k odstranění nečistot a především pro docílení určité jakosti povrchu. Při postupné broušení se postupuje od brusného kotouče s nejvyšší zrnitostí brusiva po nejnižší (hrubování 30-80, hlazení 100-150, jemné hlazení 200-240, předlešťování 280-320, jemné předlešťování 400-600). Poté může následovat kartáčování pomocí přírodních či syntetických vláken (fíbr, sisal, silon) s brusnou pastou. Při velkých požadavcích na jakost povrchu se povrchy i leští. Tato operace už neubírá materiál, pouze vyrovnává a vyhlazuje rýhy po předchozích operacích. Jako úprava před nástřiky nátěrových hmot se leštění nepoužívá, kartáčování jen zřídka, protože velmi jemný povrch brání zakotvení nátěru.

Pro ruční broušení (někdy i strojní) se používá plstěné a látkové kotouče polepené brusivem (smírek, korund, karbid křemíku atd.). Pro strojní se volí lamelové, lístkové či sisalové kotouče.

² <http://www.rosler-povrchove-upravy.cz/english/metanavigation/home.html>. Získáno 22.3 2010

Tuhost a pevnost kotoučů se volí podle technologických podmínek a tvaru součásti. Čím je součást členitější, tím by tuhost měla být nižší.



Obr. 3.2. Brusné kotouče (ploché, lamelové), brusná rouna³

3.2 Chemická^[3,11]

Chemické úpravy povrchu zahrnují způsoby úpravy, při kterých reagují chemická činidla s nečistotami na povrchu materiálu. Patří zde odmašťování, moření, leštění. Těmito operacemi se obvykle připravuje povrch pro různé povlaky. Požadovaná čistota základního povrchu je závislá na druhu povlaku. Nejchoulostivější jsou na čistotu povrchu galvanické povlaky, méně povlaky nátěrových hmot a povlaky difúzní.

3.2.1 Odmašťování

Je proces úpravy podkladového materiálu před aplikací nátěru, při kterém se zbavujeme ulpívajících nečistot a to především mastnot (prachu, soli, jiných chemických látek). Při odmašťování se je nutné překonat kohezní (vazebné) síly, které působí ve vrstvě mastnoty a adhezní síly, které působí mezi mastnotou a základním materiálem. Základní princip je snížit povrchové napětí mezi odmašťovacím roztokem a mastnotou na minimum. Odmašťování je prováděno mnoha způsoby, které se i vzájemně kombinují. Nejpoužívanější způsoby jsou:

Alkalické odmašťování používá nejčastěji hydroxid sodný, nebo uhličitán sodný ve spojení se smáčedly (tenzidy) při koncentracích do 10% účinných látek a teplotě 40-70°C po dobu 1-20 minut (závisí na stupni znečištění podkladu). Mastnota v roztocích emulguje - zmýdelňuje, a má snahu se opět usazovat na hladině zásobních nádrží, ze kterých je potřeba ji odstraňovat. Účinnost odmašťování snižuje tvrdá voda, která se nejčastěji upravuje fosfáty. Při odmaštění ponorem je důležité zajistit účinné proudění kapaliny a při postřiku, aby se netvořila pěna. Po alkalickém odmašťování následuje oplach demi-vodou (demineralizovaná voda).

³ <http://www.pdtech.cz/saint-gobain.htm>., Získáno 21. 3 2010

Odmaštění organickými rozpouštědly je rozšířenou metodou, především tam, kde nelze použít alkalických rozpouštědel. Základní technologií je snížení povrchového napětí a rozpouštění mastnot, čímž vzniká směs mastnoty a rozpouštědla, které jsou regenerovány destilací. Tímto způsobem je možné rozpouštědlo opětovně použít, čím se snižují výrobní náklady. Dnes se můžeme setkat s mnoha typy rozpouštědel, od technického benzínu (neekologické a neekonomické), halogenovými uhlovodíky používanými v mycích stolech, s uzavřenými systémy, kde se pára odmašťovadla sráží na výrobku a strhává mastnotu do sběrné nádrže a jinými.

Elektrolytické odmašťování, u něhož je základním principem zapojení dílce jako katody, na kterém se v roztoku elektrolytu uvolňuje vodík, který přispívá k uvolňování mastnot a nečistot. Možné je připojení i na anodické nebo katodicko-anodické. Zvýšení účinnosti lze dosáhnout pomocí ultrazvuku, která pomocí kavitace u stěny materiálu uvolňuje nečistoty i z nepřístupných míst a štěrbin. Využívá se magnetostričních budičů o frekvenci vlnění 20 - 40kHz.

3.2.2 Moření

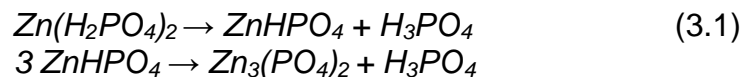
Moření je chemický proces odstraňování korozních produktů a okují z ocelí a jiných kovů pomocí kyselin či hydroxidů. Kromě nečistot se mořením rozpouští i samotný kov, ale také dochází k nežádoucímu vnikání vodíku a rozpustných solí do povrchu dílce. Soli se odstraňují oplachem a posléze pasivací. Problém způsobuje atomární vodík vnikající také do krystalické mřížky mořeného materiálu, koncentruje se a může se následně uvolňovat při vypalování barev či po nástřiku, což způsobí pnutí.

Moření v kyselině sírové (fosforečné a jiných) je vhodné ke zbavení okují z výroby u součástí, které byly žíhány či válcovány a také se využívá jako předběžná úprava před fosfátováním. Doba moření ve vanách se odvíjí od použité kyseliny (hydroxidu) a pohybuje se od několika sekund až po několik málo minut.

3.2.3 Fosfátování

Je chemická úprava povrchu ocelí a některých jiných kovů, při kterém se vytvoří na povrchu materiálu souvislá, krystalická vrstva fosforečnanů. Vrstva je souvislá a pevně spojena k podkladovému materiálu, ale zůstává pórovitá, tudíž ji nelze použít jako konečnou ochranu předmětu. Fosfátování je levný, rychlý, hospodářsky výhodný a nenáročný proces konverzního povlaku pod nátěry, to znamená, že při porušení nátěru nedochází ke korozi pod celým nátěrem, ale jen v místě poruchy. Fosfátové vrstvy jsou nerozpustné ve vodě a získávají tmavošedou až černou barvu.

Při fosfátování se přeměňují primární rozpustné fosforečnany na terciální nerozpustné fosforečnany.



Rovnice fosfatizačního děje⁴

Děj probíhá ve fosfatizační lázni, kdy při ponoření ocelového předmětu se využije část kyseliny fosforečné na reakci se železem. Rovnováha se obnoví tak, že se část fosforečnanu zinečnatého rozloží na kyselinu fosforečnou a terciární fosforečnan zinečnatý. Přítomnost volné kyseliny lokalizuje průběh reakce na kovovém povrchu. Bez této kyseliny by fosforečnany vznikaly také, ale neulpívaly by na materiálu a vytvářeli by kal. K urychlení reakce se přidávají přísady na bázi dusičnanů, dusitanů či chlorečnanů, které zkrátí proces až na desetinu stávající doby. Lázně se běžně připravují vhodným zředěním koncentrovaných přípravků vodou za předepsaných podmínek.

Celistvost fosfátové vrstvy se odvíjí od kvality připraveného povrchu. Na hrubě opracovaném povrchu se vytváří hrubé krystalické vrstvy, na pískovaném či jinak jemně očištěném povrchu se vytváří jemná struktura fosforečnanů. Na vzniku kvalitní vrstvy má vliv odmaštění a také chemické složení oceli. U vysoce legovaných ocelí se vytváří vrstva mnohem hůř díky legurám a karbidotvorných prvcích.

Fosfátování se provádí buď ponořením do lázně na dobu 5-15 minut, výjimečně se používá aplikace postřikem. Reakce probíhá za zvýšených teplot (50-75°) v závislosti na daném prostředí. Stejně jakou u jiných předúpravách materiálu, i zde následuje oplach a sušení.



Obr. 3.3. Jeden z možných způsobů fosfátování⁵

⁴ Mohyla, M. (1995). *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava: Technická univerzita ostrava. str 56

⁵ <http://www.turlak.brnsko.com/?cap=6069>, Získáno 22.3 2010

4 ZPŮSOB APLIKACE

Jedním a také nejjednodušším způsobem ochrany kovových součástí před korozí se může zdát aplikace nátěrové hmoty. Jednoduchost aplikace vidí spousta lidí v domácích improvizovaných podmínkách ze strany kutilů pouze vzít plechovku s barvou, štětec, více poučení dokonce i smirkový papír, ocelový kartáč a odmašťovací přípravek a tímto způsobem zkrášlit inkriminovaný předmět. Ano, lze to, ale výsledek zpravidla nesplní naše očekávání.

Velmi důležitým faktorem, který zásadním způsobem ovlivní jakost a životnost nátěru je vhodná volba technologie nanášení. Způsobů je mnoho a každý má své výhody a nevýhody. Proto správná volba není jednoduchý úkol a musíme brát v úvahu několik aspektů, jako například rozměry, tvar a počet upravovaných předmětů, požadované finální vlastnosti (vzhled, tloušťka, lesk, aj.), kvalita povrchu materiálu (čistota, pórovitost, nasákavost, aj.), vlastností použitých hmot (tekutost, rychlost zasychání, aj.) a nesmíme zapomenout na pracnost a efektivitu.

4.1 Pomocí štětce ^[3]

Tato metoda aplikace povlaku patří k jedné z nejstarších a je doposud velmi využívána. Vyžaduje řemeslnou zručnost dělníka a také, a to především, jeho svědomitost. Nátěr se provádí štětci, které jsou různých tvarů, velikostí a musí se vhodně udržovat. Nové štětce s dlouhými štětinami se podvazují, tímto se vytvoří kratší a pevnější svazek. Po opotřebení se podvazky uvolňují. Tyto štětce jsou vhodné pro řídkší a dobře roztíratelné nátěrové hmoty. U hustších hmot jsou štětiny kratší a pevnější.

Samotná aplikace se provádí ponořením štětce do barvy až k podvázání (u kulatých štětců), téměř až k plechové objímce (u plochých). Následně je nutné štětec zlehka otřít o hranu nádoby, tímto se barva dostane i mezi štětiny a dokonale je smočí. Po každém namáčení je vhodné štětec otřít, aby nedocházelo k odkapávání a potřísnění okolí natíraného předmětu.

Ve druhé fázi se nátěrová hmota nanese třemi až čtyřmi od sebe vzdálenými tahy za mírného tlaku štětce na povrch předmětu. Při prvním tahu je tlak mírnější, v následujících tazích se mírně stupňuje. Tlakem na štětec se nátěrová hmota uvolňuje a štětec se vyprazdňuje. V další fázi se vrstva nátěrové hmoty nanesená v předchozí operaci roztírá kolmo na původně nanesené pruhy. Tlak štětce je větší než při prvním nanášení a tahy jsou kladeny těsně vedle sebe. Pak se vrstva nátěrové hmoty roztírá ještě jednou důkladněji, opět kolmo na předcházející tahy. Tlak je v této fázi největší. Poslední fáze je uhlazení nátěru mírným tlakem na štětec, opět kolmo na předchozí tahy.

Výhodou tohoto nanášení je jednoduchost, nízké náklady na zařízení, dokonalé přilnutí k podkladu díky vetření do pórů a štěrbin materiálu, minimální ztráty nátěrové hmoty.

Hlavními nevýhodami jsou nízká produktivita, velká pracnost a nemožnost nátěru v dutinách a špatně přístupných místech.



Obr. 4.1. Ploché štětce⁶

4.2 Stříkáním ^[1,4]

V dnešní době je tento způsob nejrozšířenější, díky vysoké produktivitě, kvalitnímu a estetickému povlaku, a také díky možnosti mechanizace či úplné automatizaci. Tento způsob nanášení je vhodný pro aplikaci na velké plochy, kde kopíruje podkladovou vrstvu a vytváří rovnoměrný nástřík po zaschnutí s velmi hladkým povrchem.

Základem každého stříkání, ať už automatizovaného či ručního je stříkácí pistole. Přiváděným tlakem vzduchu (cca o tlaku 3 barů) je nátěrová hmota strhávána a po opuštění trysky vytváří kužel drobných kapiček. Kapičky dopadající na stříkaný předmět vytváří souvislou vrstvu a slévají se v homogenní celek. Aby toho mohlo bez obtíží proběhnout, je nutné, aby roztok barvy byl vhodně tekutý. Řídký lak by způsoboval stékání, příliš hustý by vytvářel pomerančovou strukturu, v horším případě by ucpával trysku.

Nanášení není tak intuitivní jako v předchozím případě pomocí štětky a vyžaduje určitou zkušenost a zručnost lakýrníka. Stříkání větší plochy se provádí postupovým stříkáním zleva-doprava s posunem o rozteč a zpět. Musíme ovšem pamatovat na fakt, že stříkaný kužel na předmětu vytváří kruh ve středu s větší vydatností než na okrajích. U menších a členitých profilů je pravidlem nejdříve nalakovat špatně přístupná místa a pokračovat k větším plochám. Pokud to součást dovolí, konečnou operací by měl být výjezd z předmětu, nikoli zastavení stříkání na viditelné ploše.

Hlavní nevýhodou stříkání je velké rozprašování hmoty do vzduchu a tímto způsobené velké ztráty. Za nevýhodu se dá považovat i prašné prostředí a pořizovací náklady - pistole, kompresory a stříkácké kabiny, sušičky, infrazářiče atd.

⁶ <http://www.e-zelezarstvi.cz/stetce-stetky/c-1397/>. Získáno dne 12. 4 2010

4.2.1 Stříkací kabiny

Hlavním úkolem je omezit rozstříkovanou hmotu na co nejmenší prostor a zamezit úniku těkavých podílů nátěrové hmoty do okolních prostor podniku. Zamezí se též průvanu, který strhává proud barvy a je dosaženo konstantních podmínek po delší časový interval. Stříkací kabiny dělíme podle velikosti a využití:

- **Stolové** – se používají pro stříkání drobných předmětů a malé sériovosti. Výhodou tohoto systému je malá zastavěná plocha a tichý chod odsávání, které se dá připojit ze všech stran i se stopu. Nevýhodou je omezený prostor pro provádění nástřiku a nutnost častého čistění suché filtrace.
- **Podlahové** - jsou vhodné pro větší předměty, které se zavážejí pomocí závěsných dopravníků, vysokozdvížných vozíků, kolových přepravníků či jinak. Odsává se zadní stěnou či podlahovými rošty, což způsobuje rovnoměrné a klidné proudění vzduchu v celé kabině.
- **Tunelové** – jsou pro průběžnou úpravu velkorozměrných předmětů jako například karosérií. Předměty jsou taženy na podvozcích a zároveň jsou ručně či automatizovaně stříkány. Vzduch je přiváděn po filtraci přiváděn stropními kazetami, odsávání zplodin je zpravidla prováděno podlahou. Důležité je intenzivní osvětlení prostoru kabiny.

Při aplikaci vodou ředitelných nátěrových hmot je nutné zajistit v lakovací kabině dostatečnou výměnu vzduchu (20 000-23 000 m³/h). Toto je způsobeno pomalejším odpařováním vody oproti těkavým látkám. Lepšího odpaření lze dosáhnout i použitím ofukovacích pistolí.

4.2.2 Stříkací pistole

Je pneumatický přístroj, určený k nanášení nátěrových hmot tlakem vzduchu. Hlavní součástí jsou - tryska, hubice, otvírací jehla, nádobka, spoušť. Tryskou je přiváděna nátěrová hmota do míst, odkud je rozprašována. Přísun nátěrové hmoty je regulován či zcela zastaven otvírací jehlou, která se ovládá pomocí spouště pistole. Pistole mnohdy mají dvoukrokový mechanismus, který zajišťuje při mírném stlačení spouště pouze proudění ofukujícího vzduchu, při větším stlačení je otevřen i kanálek, jímž prochází barva. Tlakový vzduch je přiváděn hubicí k ústí trysky, kde se vytvoří mezikruží a středem je přiváděna nátěrová hmota, která je strhávána. Stříkací obrazec je tvaru kužele a na ošetřovaném povrchu vytváří kruhový nebo elipsový obrazec (v závislosti na posunutí jehly).

Stříkací pistole se vyrábí ve dvou základních provedeních a to s horním nebo spodním plněním. Nádobka umístěná nahoře stříkací pistole je vyprazdňována samospádem, což je úspornější, ekologičtější a bývá zcela vyprázdněna.



Obr. 4.2. Stříkácí pistole s horním a spodním plněním

4.3 Máčéním ^[3,4]

Princip této metody je velmi jednoduchý a intuitivní jako u nanášení štětcem. Očištěný a připravený předmět se ponoří do nátěrové hmoty a posléze je rovnoměrnou rychlostí vynořován. Po vynoření, přebytečná nátěrová hmota steče zpět do nádrže a ulpělý zbytek vytvoří nátěr. Vany musí být optimální velikosti, aby nedocházelo k velkému odpařování rozpouštědel a zároveň bylo možné předmět bez obtíží ponořit. Máčéní se používá u velkosériové výroby pomocí závěsných dopravníků. Jsou takto ošetřovány například odlitky a jiné strojní součásti před dalším zpracováním.

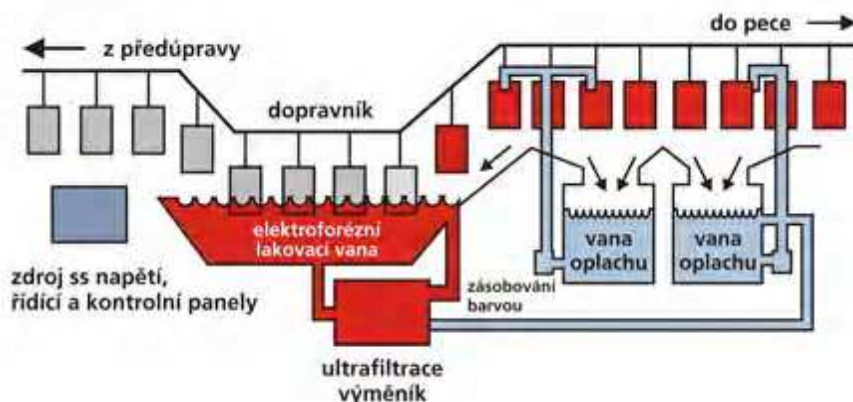
4.4 Navalováním ^[3]

Metoda je určena k nanášení nátěrové hmoty na rovinné plochy o velké sériovosti. Základní princip je, že navalovací válec ze speciální gumy na sebe naváže určité množství barvy a posléze je rozprostře na aplikovaný předmět, který se rovnoměrně pohybuje (viz. Obrázek 4.5). Nátěrová hmota o vyšší konzistenci vytváří rovnoměrnou hladkou vrstvu. Tloušťka vrstvy lze regulovat rychlostí posuvu či vzdáleností nanášecího válce od upravovaného povrchu. Tato metoda je díky plné automatizaci rychlá a relativně levná díky malým ztrátám při nanášení (2 - 5%). Navalování se využívá například při nanášení na transformátorové a dynamové plechy, obaly různých materiálů, dýhy, lepenky a jiné rovinné předměty.

4.5 Elektroforézou [7,8]

Je ekologický způsob nanášení nátěrových hmot pomocí elektrických sil. Metoda využívá fyzikálního zákona o vzájemné přitažlivosti opačně nabitých částic. Elektricky nabitě částice nátěrové hmoty rozpuštěné ve vodném roztoku se přemisťují směrem k opačně nabitému povrchu. Na dané součásti se vytváří souvislá rovnoměrná vrstva nátěru. Jako nátěrová hmota se používá epoxidové nebo akrylátové polymery ve formě iontů.

Elektroforéza je dělena na základní dva druhy, na anaforézu a kataforézu.



Obr. 4.3. Schéma elektroforézy

4.5.1 Anaforéza

Tohoto způsobu nanášení bylo poprvé využito ve firmě Ford počátkem roku 1963 k úpravě karoserií.

Princip této metody je relativně jednoduchý. Elektricky vodivý předmět je ponořen do lázně se záporně nabitými částicemi nátěrové hmoty. Předmět je připojen jako anoda, katoda je připojena ke kovové vaně či vnořené chemicky nereagující elektrodě. Zapojením stejnosměrného elektrického proudu se vytvoří mezi elektrodami elektrické pole, které unáší záporně nabitě částice hmoty k anodě. Po dosednutí na aplikovaný předmět je odevzdán elektrický náboj.

Rovnoměrný povlak je vytvořen nejen na rovinných plochách, ale i v dutinách vlivem elektroosmózy, která sníží obsah vody v usazeném povlaku o několik procent. Povlak má proto vyšší ohmický odpor než lázeň a proto jsou siločáry odkloněny do míst s menší tloušťkou nátěru. Větší rovnoměrnost vyloučeného povlaku docílíme použitím lépe vodivých materiálů, zvýšením délky ponoru, teploty lázně a či napětí.

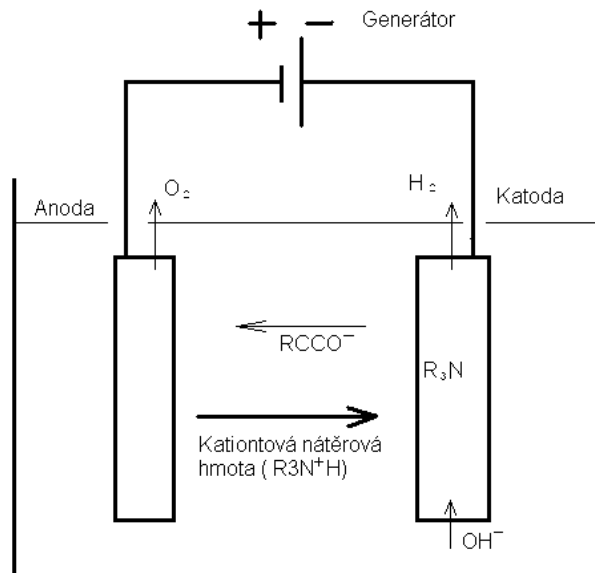
4.5.2 Kataforéza

Je obdobný proces nanášení jako dříve popsaná anaforéza, pouze s tím rozdílem, že aplikovaný předmět je připojen na katodu. Organický povlak je vylučován na katodu, kde dochází k redukci. Kladně nabitě částice hmoty jsou po dopadu na barvený povrch neutralizovány hydroxylovým aniontem. Ulpělá pryskyřice má neutrální charakter, ztrácí rozpustnost ve vodě a je pevně vázána

k podkladovému materiálu. Po vynoření z lázně následuje oplach demineralizovanou vodou a vypalování laku v peci horkým vzduchem o teplotě cca 200°C v závislosti na barvě.

Oba způsoby jsou si velmi podobné, avšak v dnešní době je upřednostňována aplikace kataforézou díky až 4x větším protikorozním vlastnostem než u anodického způsobu. Největšího uplatnění dosáhla v automobilovém průmyslu při lakování karosérií a disků kol. Kataforéza je včleněna do povrchové úpravy po fosfatizaci a posléze je možno nanášet přímo vrchní nátěr bez použití plniče.

Hlavními výhodami tohoto nanášení je rychlost, dokonalé přilnutí k podkladové vrstvě, otěru odolnost, výborné antikoroziční účinky, rovnoměrnost vrstvy, ekonomické a ekologické aspekty. Jako nevýhody v některých případech lze považovat nutnost elektricky vodivého materiálu, možnost ponořit předmět celým objemem do lázně a teplotní stálost i za teplot převyšující 200°C.



Obr. 4.4. Kataforéza

5 ZKOUŠKA KVALITY MOKRÉHO LAKOVÁNÍ

Na celkovou životnost nejenom kovových materiálů má vliv především jejich nátěr. Při jeho poškození dochází ke vzniku koroze, rychlejšímu opotřebení nebo může dojít k poruše součásti či celého stroje. Abychom tomuto mohli předejít, je nutné se v daných systémech orientovat a podle vyhodnocených parametrů jednotlivých nátěrových hmot zvolit tu nejvhodnější pro daný materiál, prostředí, zatížení atd. Aby jednotlivé testy byly navzájem porovnatelné a mezinárodně uznávané, je nutné dodržet základní předpisy stanovené v normách (např. DIN, ISO, ASTM atd.). Jednotlivé normy pod sebou skrývají několik desítek až stovek metod zkoušení a hodnocení nátěrových hmot.

Aby bylo možné organický povlak testovat, musí být splněny následující požadavky celé technologie zhotovení nátěru:

- musí být provedena vhodná a dokonalá úprava povrchu před nanášením
- nátěrová hmota musí mít požadované vlastnosti ve stavu před nanášením
- musí být použita vhodná technika nanášení a vyhovující podmínky při nanášení (teplota, vlhkost)
- nátěrový film musí být dostatečně zaschlý (vyzrálý)

Zkoušky nátěrových hmot jsou prováděny v laboratořích výrobců nátěrových hmot, výrobců vozidel, subdodavatelů dílů, v lakovnách či jiných provozech a v nezávislých certifikovaných laboratořích. Homologaci nátěrových hmot vystavuje výrobce prostřednictvím svých nebo nezávislých externích laboratoří. Jednotlivé homologace jsou udělovány pro dané území (celosvětově, pro Evropu, pro jednu zemi atd.), pro použití (pro sériovou výrobu, pro opravárenství) nebo jiná specifika.

5.1 Hodnocení nátěrové hmoty v kapalném stavu (před aplikací) ^[9,13]

Pro koncového zákazníka je rozhodující konečný povlak. Pro kvalitu jakéhokoliv povlaku jsou však zásadní vlastnosti surovin, ze kterých je připravena nátěrová hmota. Počet možných zkoušek je velmi vysoký, a proto jsou uvedeny jen některé. Tyto zkoušky nejčastěji provádí výrobce a jsou z malé části zaznamenány na obalu výrobku či k dostání na vyžádání.

5.1.1 Analytické metody

- určení čísla kyselosti nátěrové hmoty (ČSN EN ISO 2114)
- určení obsahu rozpustných kovů (ČSN EN ISO 3856-1 až 6)
- určení celkového obsahu olova (ČSN ISO 6503)
- zkoušení pigmentů a plniv (ČSN EN ISO 787-1 až 19)
- zkoušky plniv nátěrových hmot (ČSN EN ISO 3262- 1 až 22)

5.1.2 Technologické zkoušky kapalných nátěrových

- stanovení bodu vzplanutí (ČSN EN 456)
- stanovení hustoty (ČSN EN ISO 2811-1 až 4)
- stanovení jemnosti tření v NH (ČSN EN ISO 1524)

5.1.3 Určení sušiny a viskozity nátěrové hmoty

- stanovení těkavých a netěkavých látek v NH (ČSN EN ISO 3251)
- stanovení objemové sušiny (ČSN ISO 3233)
- stanovení výtokové doby z výtokového pohárku (ČSN EN ISO 2431)

Postup metody: Pohárek je naplněn testovanou nátěrovou hmotou. Hmota vytéká přes normovanou trysku a kinematická viskozita je obecně vyjádřena v sekundách výtokové doby. Tento způsob se hodí k rychlé kontrole konzistence nátěrových hmot, laků či jiných kapalin.



Obr. 5.1. Výtokový pohárek (Fordův kelímek)

- stanovením viskozity rotačním viskozimetrem (ČSN EN ISO 3219)

Postup metody: Měření kinematické viskozity tímto způsobem je jednodušší a přesnější než pomocí Fordova kelímku. Nevýhodou je několikanásobná pořizovací cena. Ponorná část viskozimetru je ponořena do nátěrové hmoty a pomocí speciálních rotorů otáčejících se v měřené kapalině se určí kinematická viskozita.



Obr. 5.2. Rotační viskozimetr

5.2 Hodnocení vlastností nátěrových hmot ve stavu před nanášením a při nanášení ^[9, 12,13]

Do další skupiny zkoušek lze zařadit ty, které určují vlastnosti nátěrové hmoty před nanášením, během aplikace a po ní. Tyto vlastnosti zajímá především personál, který povlak vytváří. Před nanášením se provádí tužení nátěrové hmoty, ředění, mísení, filtrace, popřípadě její ohřev. Díky těmto procesům se hmota mění a je nutné provádět zkoušky nebo alespoň zběžnou kontrolu. Hlavními vlastnostmi hmoty před nanášením jsou konzistence (zkouška výtoková doba z pohárku), ředitelnost (ČSN 67 3032), doba zpracovatelnosti u dvousložkových systémů (ČSN EN ISO 9514) atd.

5.2.1.1 Vlastnosti při aplikaci

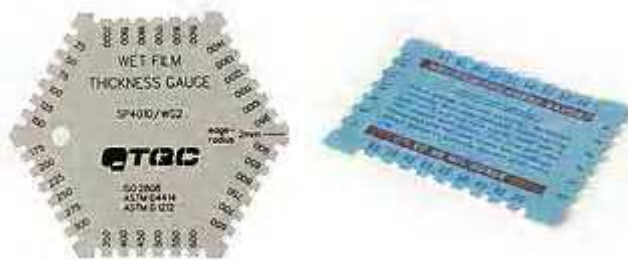
- Roztíratelnost, slévatelnost, stříkatelnost a vydatnost (ČSN 67 3051) – tyto vlastnosti se hodnotí se u nátěrových hmot určených hlavně pro nanášení štětcem. Testy se provádí nanášením nátěrové hmoty štětcem po celé ploše desky (skla) o velikosti minimálně 18x24 cm. Tloušťka hmoty musí odpovídat příslušné technické normě a výsledek je zařazen do jedné ze tří skupin.
- Stupeň rozlivu (ČSN 67 3054) - schopnost nátěrové hmoty vytvořit na ploše nátěrový film dokonale hladký, slitý, bez struktury a stop po nanášení. Zkouška je podobná jako u roztíratelnosti s tím rozdílem, že se nátěrová hmota nanáší štětcem tak dlouho, dokud se dokonale roztírá. Hodnotí se ihned po zhotovení zkušebního nátěru.
- Stupeň stékavosti nátěrové hmoty z vertikálního povrchu (ČSN 67 3021)

5.2.2 Vlastnosti bezprostředně po aplikaci

- Měření tloušťky mokrého filmu (ČSN 67 3062)

Měření je velmi jednoduché a k určování tloušťky filmu slouží hřebeny vyrobené z hliníku, nerezové oceli nebo ABS plastu. Na šestihranném (čtyřhranném, jiném) jsou kalibrovány zářezy.

Popis metody: Při samotné zkoušce je hřeben kolmo umístěn na povrch tak, aby se jej dotýkal. Po několika sekundách dojde k navlhčení zubů hřebene. Nyní lze hřeben z povrchu odstranit. Hodnota tloušťky mokré vrstvy je mezi zubem, který je ještě zbarven, a mezi zubem, který je čistý.



Obr. 5.3. Hřebeny pro měření tloušťky mokré vrstvy

- Stanovení čísla odpařivosti rozpouštědel a ředidel dle ČSN 67 3069
- Zkouška povrchového zasychání – metoda s balotinou (ČSN EN ISO1517)

Popis metody: Nátěrová hmota aplikovaná na podklad v normou stanovené tloušťce a v daném prostředí zasychá ve svislé poloze po stanovenou dobu. Poté se na nátěrovou hmotu nasype balotina a po 10 s se setře štětcem. Pokud po smetení balotiny je povrch bez poškození nátěru a bez zbytku přilepené balotiny je povrchově zaschlý.

- zkouška zasychání do stavu bez otisku (ČSN EN ISO 3678)

Popis metody: Hmota aplikovaná na normalizovaný povrch v předepsané vrstvě a podmínek určených v normě zasychá ve svislé poloze po stanovenou dobu. Poté se na nátěrovou hmotu přiloží gáza, na ní se umístí pryžový kotouček a ten se zatíží závažím o předepsané hmotnosti. Po 10 minutách se sejme a bezprostředně prohlédne. Výsledek se zaznamená jako „bez otisku“ nebo „s otiskem“.

- stanovení stavu proschnutí a doby proschnutí (ČSN EN 29117).

5.3 Technologické vlastnosti hotového nátěrového filmu ^[9]

Aby organický povlak byl akceptovatelný a oblíbený u koncových uživatelů, musí z technologického hlediska splňovat alespoň čtyři základní vlastnosti – tloušťka, tvrdost, vláčnost a přilnavost k podkladové vrstvě. Jednotlivé vlastnosti a jejich specifika jsou zahrnuty v příslušných normách a dosažení jejich splnění se určuje pomocí zkoušek.

5.3.1 Zkouška tloušťky suchého nátěru

Aplikovaná vrstva nátěru a především její tloušťka ovlivňuje životnost součástí, korozní odolnost, propustnost, nasákavost a jiné. Jednotlivé postupy zkoušky jsou popsány v normě ČSN EN ISO 2808 (673061).



Obr. 5.4. Tlustoměr - Elcometer 456 ⁷

5.3.2 Zkoušky tvrdosti

Tvrdost je základní vlastností a je nezbytnou součástí fungování nátěru. Tato vlastnost nátěrové hmoty je velmi důležitá a to především u součástí, které jsou otírány, či jiným způsobem v kontaktu s druhým předmětem.

- povrchová tvrdost tužkami podle ČSN 67 3075

Popis metody: Tato zjišťuje schopnost odolávat vtlačení hrotu do povrchu nátěrového filmu. Při testu se berou postupně jednotlivé tvrdosti tužek a pokračuje se tak dlouho, dokud tužka nevytvoří nepřetržitý vryp, který nelze odstranit setřením. Vlnové tahy tužky se provádí pod úhlem 30° o délce cca 50 mm s konstantním zatížením 300g (provádí se za pomoci technických vah).

- tvrdost tlumením kyvadla podle ČSN 67 3076

Popis metody: Na skleněný vzorek se plynule usadí opěrné kuličky kyvadla. Podle typu přístroje jsou vychýleny o 6° nebo 12° a kyvadlo se u volní.

⁷ http://www.tloustkomer.cz/tloustkomer-povlakomer/elcometer_456_digitalni_tloustkomer
Získáno dne 12. 4. 2010

Měří se doba útlumu kyvadla nebo počet kyvů. Následně se stejným způsobem změří zaschlá nátěrová hmota a podle vzorce se vypočte tvrdost nátěru. Princip této metody je jednoduchý. Čím je nátěr měkčí, tím více tlumí kyvadlo dosedající na zkoušený povrch.

- odolnost proti vrypu (Buchholz) podle ČSN ISO 2815 (673072)
- vnikající tvrdost nátěru mikrotvrdoměrem podle (zrušená ČSN 67 3074)

5.3.3 Zkoušky elasticity (vláčnosti)

Vysoká elasticita je další vlastností, která nesmí chybět u kvalitního nátěru. Vláčnost zamezuje vzniku mikroskopických trhlin způsobených teplotní roztažností podkladového materiálu nebo ohybem součásti.

- ohybovou zkouškou na válcovém trnu podle ČSN EN ISO 1519 (67 3079)

Touto zkouškou se zjišťuje odolnost povlaku vůči praskání a odtrhávání částí z kovového panelu. Vyhodnocení se provádí po ohnutí desky přes válcový trn. Díky možnosti výměny ohýbacích válců za menší (až do té doby, než se objeví první trhlina), je možno provádět zkoušku jako jednoduchý test vyhovuje/nehovuje.

Postup metody: Do přístroje je vložen trn o zvoleném průměru (2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32mm). Následně je umístěn a zajištěn testovaný vzorek mezi trn a válec. Testovaná natřená strana musí být otočena na druhou stranu od trnu. Pomocí držadla je plynulým tahem otočeno o 180°. Vzorek je vyjmut a vyhodnocen. Pokud je zapotřebí, zkouška je opakována s trnem o menším průměru.



Obr. 5.5. Zkoušky ohybem přes válcový trn⁸

- ohybovou zkouškou na kónickém trnu podle ČSN EN ISO 6860 (673080)

Tato zkouška je velmi podobná jako předchozí, pouze s tím rozdílem, že testovaný vzorek je ohýbaný přes kónus. Pozornost je zde soustředěna především na vyhodnocení roztažnosti nátěru a jako vedlejší odolnost vůči praskání nebo oddělení povlaku od povrchu.

⁸ <http://www.lakovna.cz/povrchove-upravy-laboratorni-zkousky/>. Získáno dne 26. 4. 2010

- stanovením odolnosti nátěrů hloubením podle ČSN EN ISO 1520 (673081)

Základním principem tohoto testu je vlačování kuličky do testovaného vzorku a vyhodnocení porušení nátěru z hlediska popraskání, tvoření trhlin a odtržení od kovového podkladu.

- stanovením odolnosti proti úderu dle ČSN EN ISO 6272-1 (673018)

5.3.4 Zkoušky přilnavosti k podkladové vrstvě

Zkoušky přilnavosti se provádí, abychom zjistili skutečné parametry přilnavosti mezi jednotlivými vrstvami nátěru nebo mezi nátěrem a podkladovou vrstvou. Tento způsob testování povlaků je velmi důležitý v širokém průmyslu a má nenahraditelnou funkci pro určení kvality povrchu. Odtrhová zkouška je jedinou cestou, jak určit vhodnost úpravy podkladu (nebo předchozích vrstev).

- Odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN 24624(673077)

Popis metody: K zaschlému testovanému nátěr je přilepena panenka a po vytvrdnutí je k ní přidělán nástroj. Otáčením přístroje se zvýší tlak, který odtrhává nátěr od podkladového materiálu. Velikost tlaku se zobrazuje na displeji. Dříve se lepily k nátěru válečky, které se dávaly do trhacích zařízení a získaná síla k roztržení vzorku se přepočítávala na odtrhovou pevnost v MPa.

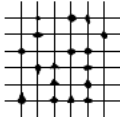
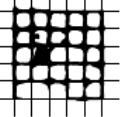
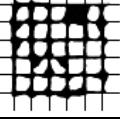
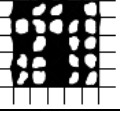
- Mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN ISO 2409 (673085)

Popis metody: Aplikovaný nátěr na deskách je proříznut až na podkladový materiál (kov). Řezy jsou od sebe vzdáleny v závislosti na tloušťce nátěru 1, 2 nebo 3mm a jsou vzájemně na sebe kolmé. Počet řezů v každém směru je zpravidla 6. Po prořezání je povrch očištěn kartáčem a je přiložena adhezivní páska., která se následně odtrhne. Kvalita nátěru se vyhodnotí podle stupně poškození vzniklé odtržením pásky.



Obr. 5.6. Řezací nástroj⁹

⁹ <http://www.lakovna.cz/povrchove-upravy-laboratorni-zkousky/>. Získáno dne 26. 4. 2010

Klasifikace	Popis	Vzhled
0	Hrany řezů jsou zcela hladké; žádný čtverec mřížky není poškozen	-
1	Malé kousky povlaku odloupnuty v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5 %	
2	Povlak se odlupuje podél řezů a/nebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha je větší než 5 %, ale menší než 15%	
3	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech částečně nebo zcela, a/nebo se odlupuje částečně nebo zcela na různých místech čtverců. Poškozená plocha je větší než 15 %, ale menší než 35%	
4	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech zcela a/nebo některé čtverce jsou odloupnuty částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35 %, ale menší než 65%	
5	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4	-

Tab. 5.1. Vyhodnocovací tabulka mřížkové zkoušky přilnavosti¹⁰

¹⁰ <http://www.sossou-spk.cz/esf/metrol.pdf> Získáno dne 18.5.2010

ZÁVĚR

V této bakalářské práci se zabývám vhodným výběrem nátěrové hmoty, přípravou podkladového materiálu, způsobem nanášení a zkouškami povlaku, které definují jeho kvalitu.

Nátěrové hmoty se s vývojem velmi změnily, dnešní sortiment je velmi široký a není jednoduché se v něm orientovat. První a druhá kapitola by čtenáři měla napomoci k výběru vhodné nátěrové hmoty pro dané prostředí, materiál a namáhání. Nesmíme však opomenout stránku estetickou, která v dnešní době „prodává výrobky“. Jedinečný vzhled každému povrchu dávají pigmenty, kterými je docíleno požadovaného odstínu. Lesk či speciální vlastnosti získává nátěrová hmota přidáním dalších aditiv.

V následující kapitole je prakticky uveden technologický postup přípravy podkladového materiálu před vlastní aplikací. Zpravidla jsou zahrnuty dvě základní operace, mechanická a chemická. Během mechanické části jsou odstraněny hrubé nečistoty a částice degradující materiál. Dnes je v hojně míře k tomuto účelu využíváno tryskání. K odstranění mastnoty a prachu se využívá alkalických či organických rozpouštědel.

Způsob samotné aplikace se měnila s vývojem lidstva a rozvojem průmyslu. Dříve hojně využívaný štětec byl nahrazen stříkací pistolí a dnes nemalé využití na trhu má kataforézní nanášení barev. Nesmíme však zapomenout na způsoby sice „zastaralé“, ale do dneška v určitých odvětvích nenahraditelné, jako jsou máčení a navalování.

V poslední kapitole je stručný výpis normovaných zkoušek prováděných na nátěrových hmotách. Tato tematika je velmi široká a není ji proto možné shrnout pouze do několika stran této práce.

Závěrem bych chtěl uvést jen pár slov. Aby nám předměty dlouho sloužily a hezky vypadaly, je nezbytné se o ně náležitě starat a vybudovat si k nim kladný vztah.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOŠŤÁL, Miroslav. *Autolakýrník*. 1.vyd. Plzeň: F.S.Publishing, 2004. 224 s. ISBN 80-903038-6-2.
- [2] SVOBODA, Miroslav. *Protikoroziční ochrana kovů organickými povlaky*. 1.vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1985. 235s. L16-B2-IV-41/62052
- [3] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3.vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. 150s. ISBN 80-248-1217-7
- [4] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: vydavatelství ČVUT, 1996. 89s. ISBN 80-01-01472-X
- [5] HRSTKA, Jan, MÍŠEK, Bohumil. *Koroze a povrchová úprava kovů*. 1.vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno : Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1972. 208s.
- [6] KREJČÍK, Vladimír. *Povrchová úprava kovů I*. 1.vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1987. 168s. L13-C1-V-31/25 893
- [7] KUČEROVÁ, Marie a kol., Kataforéza – progresivní povrchová úprava. In *Sborník přednášek a prezentací – 2. mezinárodní odborný seminář „Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav“*. Česká společnost pro povrchové úpravy, Brno, 2005
- [8] VOSTATEK, Petr, Elektroforetické lakování v galvanotechnice. In *Sborník přednášek – 13. seminář „Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav“*. Strojní fakulta ČVUT v Praze - Česká společnost pro povrchové úpravy, 1998
- [9] *Lakovna – poradenství v oblasti povrchových úprav* [online]. 5.10.2008, [cit. 12.5.2010], Dostupný z WWW: <<http://www.lakovna.cz/povrchove-upravy-laboratorni-zkousky/>>.
- [10] *Korozní inženýrství – VŠCHT Praha* [online], [cit. 12.5.2010], Dostupný WWW:<http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/>.
- [11] *Institut geologického inženýrství hornicko-geologická fakulta* [online], [cit. 10.3.2010], Dostupný z WWW: <<http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/index.html> >.
- [12] *Lakovna Salum* [online]. 2008, [cit. 12.5.2010], Dostupný z WWW: <http://www.salum.cz/cz_products_praskove_lakovani.htm>.

- [13] *Sdružení českých zkušeben a laboratoří* [online]. 2007, [cit. 18.4.2010],
Dostupný z WWW: < <http://www.sczl.cz/>>.

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1.1. Odrážení vlnových délek.....	14
Obr. 2.1. Sušík	18
Obr. 2.2. Vzorníky barevných odstínů ČSN a RAL	20
Obr. 3.1. Schéma tlakového způsobu tryskání	23
Obr. 3.2. Rotační omílací stroj od firmy Omílbrus Ledec s.r.o.	23
Obr. 3.3. Kruhový omílací vibrátor od firmy Rösler	24
Obr. 3.2. Brusné kotouče (ploché, lamelové), brusná rouna	25
Obr. 3.3. Jeden z možných způsobů fosfátování	27
Obr. 4.1. Ploché štětce	29
Obr. 4.2. Stříkácí pistole s horním a spodním plněním	31
Obr. 4.3. Schéma elektroforézy	32
Obr. 4.4. Kataforéza	33
Obr. 5.1. Výtokový pohárek (Fordův kelímek)	35
Obr. 5.2. Rotační viskozimetr	36
Obr. 5.3. Hřebeny pro měření tloušťky mokré vrstvy	37
Obr. 5.4. Tlustoměr - Elcometer 456	38
Obr. 5.5. Zkoušky ohybem přes válcový trn	39
Obr. 5.6. Řezací nástroj	40
Tab. 5.1. Vyhodnocovací tabulka mřížkové zkoušky přilnavosti	41

