

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Studium vlivu zaprášení povrchu substrátu na kvalitu tenkého ochranného povlaku

*Study of Influence Powdering Surface Substrate on Quality
of Thin Protective Coating*

Student:

Bařinka Tomáš

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Podjuklová Jitka, CSc.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Bařinka**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Studium vlivu zaprášení povrchu substrátu na kvalitu tenkého ochranného povlaku**
Study of Influence Powdering Surface Substrate on Quality of Thin Protective Coating

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte vlastnosti prachových částic ulpělých na povrchu ocelového substrátu.
2. Prostudujte vliv prachových částic na adhezi tenkého povlaku.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Proveďte experimentální práce a jejich vyhodnocení.
5. Zpracujte technickou zprávu včetně technicko-ekonomického zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.

BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P.: *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.

ČSN EN ISO 12 944. *Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. Český normalizační institut, 1998, 1999, 2008.

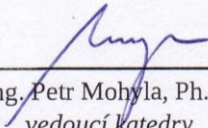
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

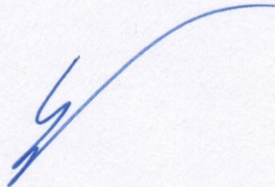
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014





Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19. 5. 2014

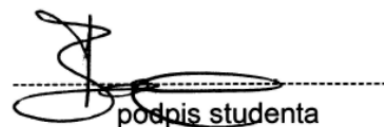


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své 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 předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 19. 5. 2014



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bařinka Tomáš

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Stiborova 590/12,
779 00 Olomouc

Anotace bakalářské práce

BAŘINKA, T. Studium vlivu zaprášení povrchu substrátu na kvalitu tenkého ochranného povlaku: *bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2014, 45 s. Vedoucí práce: doc. Ing. PODJUKLOVÁ, J. CSc.

Bakalářská práce se zabývá studiem vlivu zaprášení povrchu substrátu na kvalitu tenkého ochranného povlaku. V úvodu je popsána vliv prachových částic na adhezi nátěrových systému na podkladový materiál. Teoretická část bakalářské práce se zabývá studiem povrchových úprav, přípravy povrchu substrátu před aplikací nátěru, vlastnostmi prachových částic ulpělých na povrchu ocelového substrátu a jejich vlivu na adhezi tenkého organického povlaku. Experimentální část se zabývá zkoušením dvou nátěrových systémů pro ochranu povrchu podkladového materiálu slitiny hliníku pro automobilový průmysl. Zkoušené nátěry byly VCI-368 a impregnační povlak pro transport. Návrh postupu provedení a vyhodnocení experimentální práce je zpracován ve formě fotografií a tabulek. Dle výsledků mřížkové zkoušky a zkoušky křížovým řezem bylo prokázáno, že aplikované nátěrové hmoty měly velmi dobré adhezní vlastnosti k povrchu podkladového materiálu.

Annotation of Bachelor Work

BAŘINKA, T. *Study of Influence Powdering Surface Substrate on Quality of Thin Protective Coating: Bachelor's Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2014, 45 p. Thesis head: doc. Ing. PODJUKLOVÁ, J., CSc.

The bachelor thesis deals Study of Influence Powdering Surface Substrate on Quality of Thin Protective Coating. The introduction describes the influence of dust particles on the adhesion of the coating to the substrate material. The theoretical part of the thesis deals with the study of surface treatment, surface preparation of the substrate before to coating, the properties of dust particles adhering to the surface of the steel substrate and their effect on the adhesion of thin organic coating. The experimental part deals with the testing of two coating systems for protecting the surface of the base material aluminum alloy for automotive applications. Test paints were VCI-368 and impregnating the coating for transport. A proposal for the execution and evaluation of experimental work takes the form of photographs and tables. According to results of grid test and test of X-cut it was shown, that the applied coatings has very good adhesion properties to the surface substrate material.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
Úvod	9
1 Rozdělení povrchových úprav	10
1.1 Organické povlaky.....	12
1.1.1 Nátěrové hmoty a nátěry	12
1.1.2 Složení nátěrových hmot	12
1.1.3 Typy nátěrových systémů	14
1.1.4 Nanášení nátěrových hmot.....	14
1.1.5 Úprava nátěrových hmot po zaschnutí.....	16
1.2 Anorganické povlaky	16
2 Předběžné úpravy povrchu	18
2.1 Mechanické úpravy povrchu.....	18
2.1.1 Otryskávání.....	18
2.1.2 Broušení	21
3 Vliv a vlastnosti prachových částic u tenkých povlaků.....	22
3.1 Částice v atmosféře	22
3.2 Prachové částice.....	22
3.3 Klasifikace prachových částic podle původu.....	23
3.4 Rozdělení podle velikosti frakcí prachových částic.....	23
4 Návrh experimentální metodiky	27
4.1 Výběr materiálu.....	27
4.2 Příprava povrchu před aplikací nátěrového systému	28
4.2.1 Hodnocení zaprášení povrchu vzorků.....	28
4.2.2 Stanovení drsnosti povrchu podkladového materiálu	29
4.2.3 Vyhodnocení drsnosti na vzorku slitiny hliníku	29
4.3 Aplikace nátěrového systému	31
4.3.1 Nátěr VCI-368 („VCI“).....	32
4.3.2 Impregnační povlak pro transport („IPPT“).....	32
4.4 Stanovení tloušťek nátěrových systémů	32
4.4.1 Měření tloušťky mokré vrstvy vzorků.....	32
4.4.2 Měření tloušťky suché vrstvy vzorků	33
4.5 Měření přilnavosti nátěrových systémů	34
4.5.1 Mřížková zkouška.....	34
4.5.2 Zkouška křížovým řezem.....	35
5 Vyhodnocení experimentálního měření	37
5.1 Hodnocení zaprášení povrchu vzorků	37
5.2 Hodnocení drsnosti povrchu vzorků	37
5.3 Hodnocení tloušťky suché a mokré vrstvy nátěrových systémů.....	37
5.4 Hodnocení zkoušek přilnavosti antikorozního systému	38

6	Ekonomické zhodnocení	40
7	Závěr	41
8	Použitá literatura	42
9	Seznam příloh	44

Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Význam
CVD	Chemical Vapor Deposition
ČSN	Česká státní norma
DIN	Německá státní norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní norma
L	Délka měřeného úseku
PVC	Physical Vapour Deposition
Ra	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [μm]
Rp	Největší výška výstupku profilu [μm]
Rq	Kořenová průměrná čtvereční odchylka profilu [μm]
Ry	Nejvyšší výška nerovnosti povrchu [μm]
Rz	Maximální výška profilu [μm]
Rku	Špičatost posuzovaného profilu [-]
Rsk	Šikmost posuzovaného profilu [-]
TiC	Karbid titanu
TiN	Nitrid titanu
UFP	Ultrafine particles – ultrajemné částice
λ_c	Filtr profilu
pH	Stupnice kyselosti

Úvod

Na veškeré výrobky, které jsou v současné době vyrobeny nebo vyvíjeny, jsou čím dál tím více kladeny nároky jak po stránce životnosti, tak hlavně po stránce ekonomické. Od těchto požadavků se odvíjí i nároky na hospodárnost, jakost a produktivitu výroby. Každý materiál má ale svoji životnost a proto je potřeba tuto dobu co nejvíce prodloužit. Jedním ze způsobů prodloužení životnosti výrobků je ochrana povrchu za použití povlaků a nátěrů. Ty dokáží zároveň zlepšit povrch materiálu a díky nim získáme i lepší vlastnosti materiálu, jako jsou žárupevnost, otěruvzdornost, tvrdost, odolnost proti korozi a mnohé další. Výhodou povlaků a nátěrů je jejich snadná aplikace a dostupnost.

Ochranné povlaky lze nalézt téměř ve všech odvětvích, jako jsou stavebnictví, strojírenský průmysl, zdravotnictví, chemický průmysl, apod. Nejvíce jsou povlaky a nátěry aplikovány v odvětví automobilového průmyslu, kde povrchové úpravy nalézají největší uplatnění.

I u povrchových úprav nelze přehlédnout vývoj nových typů povlaků a nátěrů, které se přizpůsobují aktuálním potřebám firem, které dané povrchové úpravy aplikují na své výrobky. Najdou se však faktory, které perfektní aplikaci povlaků a nátěrů zpneřijemňují.

Jedním z faktorů jsou prachové částice, které se nacházejí všude kolem nás a jsou i pouhým okem neviditelné. Množství ulpělých částic na povrchu materiálu má značný vliv na adhezi povlaků a nátěrů. Před aplikací příslušné povrchové úpravy lze těmito škodlivým faktorům předcházet vhodnou přípravou povrchu materiálu. Dnes již neexistuje obor povrchové úpravy, kde by čištění a příprava povrchu netvořila důležitý výrobní úsek. V praxi se však povrchová předúprava provádí jen zběžně anebo neodborně. Je však nutné si uvědomit, že předúprava povrchu je právě tou důležitou operací, která nám zajistí konečný požadovaný výsledek, jak z hlediska kvality, tak i designu.

V této bakalářské práci je sepsáno základní rozdělení povrchových úprav, předběžné úpravy povrchu před samotnou aplikací nátěrových systémů a zejména pak vliv prachových částic na přilnavost u tenkých povlaků. Následně je navržen návrh experimentálních prací aplikací dvou nátěrových systémů VCI-368 a impregnačního povlak pro transport na podkladový materiál slitiny hliníku pro automobilový průmysl. V další kapitole je popsáno provedení experimentálních prací, včetně popisu a fotodokumentace. Zjištěné výsledky jsou sepsány i z pohledu ekonomického ve formě tabulek v závěrečném vyhodnocení.

1 Rozdělení povrchových úprav

V současné době jsou známy stovky technologických postupů pro vytváření povrchových úprav, které umožňují ve větší či menší míře řešit problémy nízké životnosti a spolehlivosti strojních součástí nástrojů a materiálů. Povrchové úpravy lze rozdělit na tři základní skupiny: [1]

- Povrchové vrstvy
- Povlaky
- Duplexní povlaky

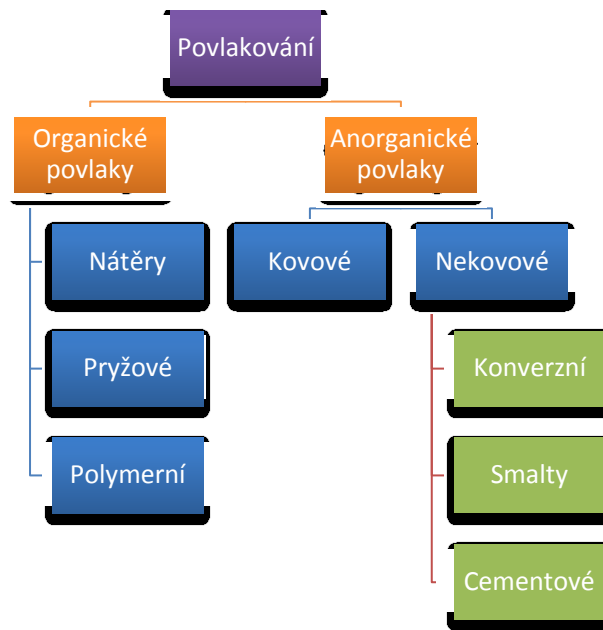
Povrchové vrstvy

Při vytváření povrchových vrstev se modifikuje chemické složení, struktura nebo substruktura na povrchu a v podpovrchových vrstvách základního materiálu. Od povrchu od jádra materiálu se vytváří gradient fyzikálně-mechanických i chemických vlastností bez jejich náhlé změny. Proto zpravidla nevzniká výrazné rozhraní mezi povrchovou vrstvou a jádrem, které může být slabým místem při provozním zatěžování součásti či nástroje. Mezi povrchové vrstvy, které získáváme pomocí technologických postupů, řadíme kalení, cementaci, nitridaci, bórování, vanadování, a jiné. [1]

Povlaky

Povlaky se nanášejí na původní povrch materiálu a obvykle mají odlišné chemické složení i strukturu než základní materiál. Přitom vzniká rozhraní s výraznou změnou fyzikálně-mechanických i chemických vlastností, což může vytvářet problémy jak při vytváření povlaků, tak při jejich aplikaci. Dochází k superpozici pole napětí vyvolaného zatěžováním součásti nebo nástroje při provozu a zbytkových pnutí v oblasti rozhraní povlaku a podkladu. Existuje mnoho druhů povlaků, které rozdělujeme podle charakteru vytvořeného povlaku [1]:

- organické (nátěrové, plastové, atd.)
- anorganické (keramické, sklovité, kovové, atd.)



Obr. 1 – Rozdělení postupu povlakování [3]

Způsobu vytvoření povlaku:

- chemickými reakcemi
- galvanickými procesy
- pomocí difúze
- ve vakuu (PVD, CVD)

Duplexní povlaky

Duplexní nátěrové systémy jsou systémy, které se skládají ze žárově zinkovaného povlaku ponorem a povlaku nátěrových hmot. Tato kombinace poskytuje ocelovému povrchu vysokou protikorozi ochranu a to zejména v oblastech s nejvyšším stupněm korozní agresivity prostředí. Zkušenosti ukazují, že duplexní systém je vzhledem k prodloužení doby do první opravy z hlediska nákladů nejúčinnější způsob ochrany oceli proti korozi pro požadovanou životnost. Duplexní systém je vhodný, pokud je obtížně proveditelná budoucí údržba. Příklad použití je výstražné nebo varovné značení, dále je také využito při ochraně proti galvanické korozi. Nátěr tvoří nevodivou mezivrstvu, pokud se má pozinkovaná ocel spojit s jiným kovem, např. mědí. Duplexní systém má zpravidla mnohem delší životnost než jeden i druhý povlak samostatně. V případě aplikace duplexního systému se nedoporučuje provádět dodatečné protikorozi úpravy (pasivace, konzervace). Duplexní procesy vyžadují kombinaci dvou i více technologických postupů, což komplikuje a zdržuje výrobu. [2] [15]

1.1 Organické povlaky

Ochrana povrchu ocelových výrobků za pomoci organických povlaků patří k nejstarším, ale zároveň nejběžnějším a nejrozšířenějším způsobům, jakým lze zabránit případné korozi. Organické povlaky tvoří asi 80 až 90 % všech povlaků a to díky své dostupnosti, způsobu vytváření těchto povlaků a jejich aplikaci, která není nijak složitá a nevyžaduje ani komplikovaná zařízení, čili je ekonomicky nenáročná. Povlaky zabraňují přístupu vody a agresivních složek k povrchu chráněného kovu proti povětrnosti, mořské vodě, ohni, oleji, apod. Povlaky nejsou nikdy úplně bez pórů, a proto se používají tzv. antikorozi pigmenty a inhibitory koroze, které zneškodňují agresivní složky. Tyto agresivní složky difundují vrstvou nátěru k povrchu kovu a plní funkci zpomalení, případně zastavení průběhu koroze. [4]

1.1.1 Nátěrové hmoty a nátěry

Pomocí nátěrových hmot chráníme povrch výrobků vytvářením nátěrů. Hotový nátěr je ucelený ochranný povlak jedné nebo více vrstev zaschlé nátěrové hmoty na povrchu předmětu. Podle účelu nátěru rozeznáváme nátěr [5]:

- a) ochranný (olejivzdorný, odolný povětrnosti, mořské vodě, chemickému prostředí, vyšší teplotě)
- b) maskovací
- c) signální (pro bezpečnostní návěští)
- d) dekorativní
- e) speciální (elektrovodivý, světélkující)

1.1.2 Složení nátěrových hmot

Nátěrová hmota je všeobecný pojem pro všechny výrobky, které se používají k provádění nátěrů. Jsou to organické látky různých druhů. Nanášejí se v tekutém nebo těstovitém stavu a vytvářejí na předmětu film požadovaných vlastností [5]:

- Transparentní - průhledný nátěrový film, nazývá se lak nebo fermež
- Pigmentované - neprůhledný film, nazývá se email (nízký obsah pigmentu), tmel (vysoký obsah pigmentu), barva

Nátěrové hmoty jsou složeny z těchto složek:**a) Filmotvorné složky – pojiva**

Jsou to netěkavé látky, které mají schopnost vytvořit tenkou souvislou vrstvu. Spojují k sobě vazbou rozptýlené částice pigmentu a plniv v zaschnutém filmu. Požadované vlastnosti nátěru se často docílí kombinací různých pojiv. Filmotvorné látky se od sebe odlišují chemickým složením a fyzikálními vlastnostmi.

b) Těkavé složky – rozpouštědla

Při výrobě nátěrových hmot se používají na rozpouštění pojiv a v procesu aplikace na úpravu jejich viskozity (konzistence). Nejběžnější rozpouštědla jsou [5]:

- benzíny
- benzén a jeho homology (toluén, xylén)
- alkoholy (metanol, etanol)
- ketony (aceton)
- terpentýnové silice

c) Pigmenty

Jedná se o organické nebo anorganické částičky, která jsou v pojivě jemně rozptýlena. Dávají nátěrům barevný odstín, tvrdost, krycí schopnost, snižují stárnutí nátěrů, zvyšují jeho tepelnou a korozní odolnost. Pigmenty můžeme rozdělit do tří skupin [5]:

- inhibitorové pigmenty – jejich ochranný účinek spočívá v pasivaci povrchu kovu vytvářením těžko rozpustných sloučenin, v regulaci pH a tvorbě inhibičních látek, nebo v elektrochemické ochraně. Nejvíce se používají při výrobě základních nátěrových hmot.
- neutrální pigmenty – používají se při výrobě vrchních nátěrů na zlepšení jejich fyzikálních vlastností a při výrobě základních nátěrů jako inertní substance.
- stimulující pigmenty – chemicky netečné pigmenty, mají dobrou elektrickou vodivost. Nejsou vhodné pro základní nátěry. Používají se na pigmentaci vrchních ochranných nátěrů, protože mají malou chemickou slučivost. Výběr pigmentů při vytváření základních a vrchních nátěrů velmi závisí na specifických vlastnostech korozního prostředí, pro které je nátěr určen.

d) Plnidla

Jsou to jemně rozemleté minerální látky (těživec, mastek, křída) nerozpustné v pojivech. Upravují technologické vlastnosti nátěrového povlaku, např. zabraňují smrštění filmu po uschnutí apod. [5]

e) Aditiva

Jsou přísady do nátěrových hmot obsahujících vysychavé oleje. Příklad aditiv – sušidla, emulgátory, stabilizátory, zvláčňovadla. Používají se při výrobě fermeží olejových a glyptalových nátěrových hmot. Základní účinnou složkou jsou kovová mýdla nebo jejich roztoky v organických rozpouštědlech. [5]

1.1.3 Typy nátěrových systémů

Podle počtu nátěrových vrstev dělíme nátěrové systémy na:

- Jednovrstvé
- Dvojvrstvé
- Trojvrstvé
- Vícevrstvé

Dále rozlišujeme podle pořadí v nátěrovém systému tyto nátěrové vrstvy:

- Základní
- Podkladové
- Vrchní

Definice těchto vrstev je popsáno v normě ČSN EN ISO 4618-1.

1.1.4 Nanášení nátěrových hmot

Správná volba technologie nanášení patří mezi nejdůležitější faktory, které rozhodujícím způsobem ovlivňují jakost a celkovou životnost nátěrů. Způsobů nanášení nátěrových hmot je mnoho, každý má své výhody a nevýhody. Proto je nutno při volbě správného způsobu nanášení přihlížet především k povaze nátěrové hmoty, dále k povaze natíraného předmětu a dalším podmínkám, za nichž je nátěr zhotovován. [4]

Hlediska pro volbu technologie nanášení [5]:

- a) velikost, tvar a množství upravovaných předmětů
- b) požadované konečné vlastnosti nátěru (vzhled, tloušťka, stupeň korozního namáhání)
- c) jakost povrchu materiálu (pórovitost, stupeň čistoty)
- d) vlastnosti použitých nátěrových hmot (rychlost zasychání, tekutost rozpouštědel, slévatelnost, měrná vodivost atd.)
- e) pracnost a ekonomie jednotlivých technologií nanášení

a) Štětcem

Nejpoužívanější způsob nanášení, vyžaduje kvalitní štětec, délka štětín nenabýt delší než 5 cm. Nanáší se 3 až 4 tahy vzdálenými od sebe, tlak na štětec se stupňuje, v další operaci se nátěrová hmota roztírá kolmo na původní nátěr. Štětcem se nanáší základní nátěry, dosahuje se dokonalé soudržnosti nátěru k podkladu. Proto se konstrukce a lodě natírají štětcem i přes značnou pracnost. [5]

b) Navalováním

Tato metoda je vhodná pro nanášení na rovinné plochy (dynamové a transformátorové plechy, obaly, linolea, apod.). Předností jsou malé ztráty (2 až 5 %) a možnost dokonalé mechanizace a automatizace. Nátěrová hmota se nanáší nejméně třemi válci, válce jsou ze speciální gumy, nátěrová hmota se dávkuje čerpadlem ze zásobní nádrže nebo z rozvodu. Používá se větší konzistence, 5edidlo nesmí obsahovat aromatické uhlovodíky, aby se nenaleptávali válce. Tloušťka se reguluje vzdáleností válce, rychlostí a směrem otáčení. [5]

c) Máčením

Do nádrže s nátěrovou hmotou se ponoří máčený předmět a potom se rovnoměrnou rychlostí vyořuje. Po vyoření přebytečná nátěrová hmota steče a zbytek vytvoří nátěr. Namáčecí vana musí být dimenzována tak, aby spotřeba nátěrové hmoty byla minimálně 10% obsahu vany za směnu. Nátěr je klínovitý. Používá se při povrchových úpravách předmětů vyráběných velkosériově (odlitky, díly jízdních kol, disky automobilových kol apod.). [5]

d) Poléváním

Tento způsob nanášení je obdobou máčení. Poléváním je možno nanášet nátěrové hmoty také na velmi rozměrné výrobky. Přitom ztráty a spotřeba nátěrových hmot jsou nižší. Nevýhodou této technologie je klínovitost nátěru, stékance a kapky na hranách. [5]

e) Pneumatickým stříkáním

Pneumatické stříkání dnes patří mezi nejrozšířenější způsob nanášení nátěrových hmot. Hodí se zvláště na velké plochy, kde se jím dosahuje rovnoměrného nástřiku a velmi hladkého povrchu. Stříkání se dá velmi dobře mechanizovat a automatizovat. [5]

Základem všech stříkacích zařízení je stříkací pistole. V ní je proud nátěrové hmoty strháván proudícím stlačeným vzduchem tak, že se vytvoří kužel jemných kapek, které dopadají na stříkaný předmět a slévají se v souvislý povlak. [5]

Nevýhodou této metody je značné rozprašování nátěrové hmoty do vzduchu a ztráty rozpouštědla, protože nátěrová hmota určená ke stříkání musí být dostatečně zředěna.

Střikání se provádí ve stříkacích kabinách. Jejich účelem je omezit rozstřík nátěrové hmoty na nejmenší prostor a zneškodnit unikání těkavých podílů nátěrových hmot. [5]

1.1.5 Úprava nátěrových hmot po zaschnutí

Sušení nátěrových hmot

V průběhu vytváření nátěrového filmu z mokrého nátěru v něm probíhají fyzikální a chemické změny. Mezi ně patří odpařování těkavých podílů a to především rozpouštědel a ředidel. Ředidla slouží k úpravě nátěrové hmoty na vhodnou konzistenci, potřebnou pro vytváření nátěrů zvolenou technologií. Při odpařování organických těkavých podílů z nátěrů vznikají exhalace. Ty jsou hygienicky závadné a mohou vytvářet se vzduchem hořlavé nebo výbušné směsi. Proto je nutno všechna zařízení (stříkací kabiny, máčecí lázně, zasychající tunely, sušárny) a jejich okolí vzduchotechnicky dimenzovat tak, aby byly zachovány podmínky pro hygienicky nezávadný a požárně bezpečný provoz.

V dnešní době se snažíme vyvíjet povrchové nátěry, které jsou fyziologicky nezávadné, nátěry s nízkým obsahem organických rozpouštědel, obsahující netoxické pigmenty atd. [5]

Zasychání nátěrů na vzduchu

Na vzduchu při normální teplotě 20 °C zasychají nátěrové hmoty zasychající jak fyzikálně, tak i chemicky. Pro dosažení požadovaných vlastností nátěrových hmot je třeba vytvořit pro zasychání vhodné podmínky. Většina nátěrových hmot je vyvinuta pro zrychlené zasychání při teplotě kolem 60 °C, což v technické praxi zkrátí průběžnou dobu realizace antikorozi ochrany.[5]

1.2 Anorganické povlaky

Mezi anorganické povlaky můžeme zařadit smalty, galvanické povlaky a povlaky vytvářené metodou PVD, CVD. Posledně zmíněné povlaky jsou jedny z nejrozšířenější ve strojním průmyslu a slouží k ochraně kovových součástí za účelem zvýšení životnosti a zlepšení užitných vlastností. V dnešní době se čím dál větší vahou zaměřujeme na vytváření povlaků ekologickou cestou. Mezi ekologické povlaky proto řadíme povlaky vytvořené ve vakuu - PVD,CVD. Jejich podstatou je vznik vrstvy kondenzací zvolené plynné látky na povrchu povlakovaného předmětu. [2]

Využití je velmi rozmanité: v mikroelektronice (čipy), elektrotechnice a počítačové technice (záznamová média, displeje), v optických zařízeních (filtry, odrazné vrstvy), ve strojírenství (tvrdé a otěruvzdorné povlaky nástrojů a strojních dílů, nesmáčivé povlaky

lisovacích forem aj.), v medicíně (tvrdé a biokompatibilní povlaky implantátů) i ve spotřebním průmyslu (dekorativní povlaky). [2]

Rychle expandující oblast aplikace PVD metod je povlakování tzv. dekorativními vrstvami, které buď velmi dokonale napodobují zlato či mosaz, nebo mají jinou atraktivní barvu. Dlouhodobě stálý vzhled těchto povlaků je zajištěn jejich vysokou tvrdostí zabraňující otěru a odolností proti korozi, uplatňující se například při výrobě koupelnových baterií, nábytkového kování, hodinek, bižuterie a jinde. [2]

Při povlakování starší z uvedených metod – CVD – se povlakovaný předmět (substrát) ohřeje ve směsi vhodných plynů, které na jeho povrchu reagují, a tím vytvářejí pevnou vrstvu požadované látky (např. TiC, TiN). Základní nevýhodou je udržování substrátu na teplotě nutné pro rovnovážnou chemickou reakci dávající vzniknout vrstvě. Prakticky významná modifikace této metody je plazmová polymerace, umožňující z plyných uhlovodíků nanášet polymerní vrstvy velmi zajímavých vlastností. [2]

2 Předběžné úpravy povrchu

Z koncové požadované podoby vybraného povlaku vycházíme při tvorbě nebo výběru specifického druhu povlaků. Abychom těch požadovaných povlaků docílili, je potřeba, abychom substrát, na který bude ochranný povlak nanesen, byl zbaven nečistot nebo jej tepelně upravit. Povlaky jsou všeobecně citlivé na čistotu podkladového materiálu. Z tohoto důvodu je nutné věnovat velkou pozornost a péči při čistotě povrchu materiálu, která nejvíce ovlivňuje finální kvalitu povlaku. Metody jednotlivých povrchových úprav řadíme do dvou základních skupin a to:

- Mechanické úpravy povrchu
- Chemické úpravy povrchu

2.1 Mechanické úpravy povrchu

Způsobem, jakým lze zbavit povrch hrubých nečistot a zároveň ke zdrsnění a zpevnění povrchu materiálu, lze docílit tzv. mechanickými úpravami. Tato technologie vede k lepšímu ukotvení povlaku. Mezi metody mechanické úpravy povrchu řadíme:

- Otryskávání
- Kartáčování
- Omílání
- Broušení

V technické praxi jsou mechanické úpravy povrchu významným zdrojem prachových nečistot lokalizovaných ve výrobních halách a jejich blízkém okolí.

2.1.1 Otryskávání

Tato metoda je založena na principu, kdy se tryskací materiál vrhá velkou rychlostí pod určitým úhlem na materiál. Vzhledem k velké energii, která se vytváří při dopadu tryskacího materiálu na tryskaný materiál, dochází k odtrhávání materiálu a případných nečistot na povrchu tryskaného materiálu. Takto vzniká charakteristická morfologie povrchu. Mikrogeometrie, která po otryskání vznikne na povrchu, je dána druhem použitého tryskacího materiálu. Odvíjí se od velikostí, zrnitostí, hmotností, ale i svoji tvrdostí. Abychom docílili námi požadovaného povrchu, je nutné správně zvolit druh tryskacího materiálu, kterým určíme koncovou mikrogeometrii a i čistotu povrchu. Drsnost otryskaného povrchu je závislá na zrnitosti použitého tryskacího materiálu. Od drsnosti povrchu se odvíjí přilnavost nátěru, která se úměrně zvyšuje s drsností povrchu

otryskaného materiálu. Obvykle je vhodné učinit kompromis mezi dosaženou drsností a čistotou povrchu. Podle druhu povrchu, stupně znečištění, tloušťky stěn a materiálu se volí druh tryskacího materiálu.

Účelem těchto úprav je:

- čištění povrchu materiálu (odstranění okují)
- Vytvoření podmínek pro zakotvení povlaku
- Zlepšení mechanických vlastností (zvýšení pevnosti, meze únavy)
- Vzhledové požadavky



Obr. 2 – Způsob ručního tryskání [9]

ČSN ISO 8501-1	DIN 55928	SIS 055900	SSCP	Popis
Sa 3	Sa 3	Sa 3	SP - 5	otryskání až na vizuálně čistý povrch
Sa 2,5	Sa 2,5	Sa 2,5	SP - 10	velmi důkladné otryskání
Sa 2	Sa 2	Sa 2	SP - 6	důkladné otryskání
Sa 1	Sa 1	Sa 1	SP - ?	lehké otryskání
St 3	St 3	St 3	SP - 03	velmi důkladné ruční a mech. čištění
St 2	St 2	St 2	SP - 2	důkladné ruční a mech. čištění

Tabulka 1 – Převodní tabulka a přehled norem pro čistotu povrchu [9]

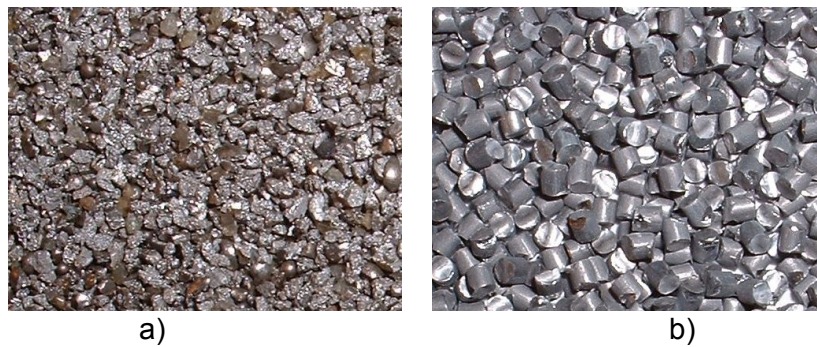
Tryskací materiály:

Materiály, které jsou používány při tryskání, jsou vyspecifikovány v jednotlivých částech norem ISO 11124 a ISO11126. Nejpoužívanějšími tryskací materiály jsou:

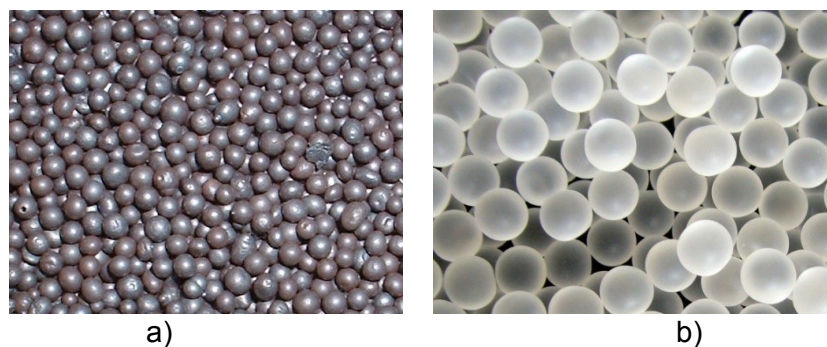
- Ocelová drť,
- sekaný drát,
- křemičitý písek,
- skleněné kuličky.



Obr. 3 – Tryskací materiál: a) sklářský písek [10]; b) křemičitý písek [11]



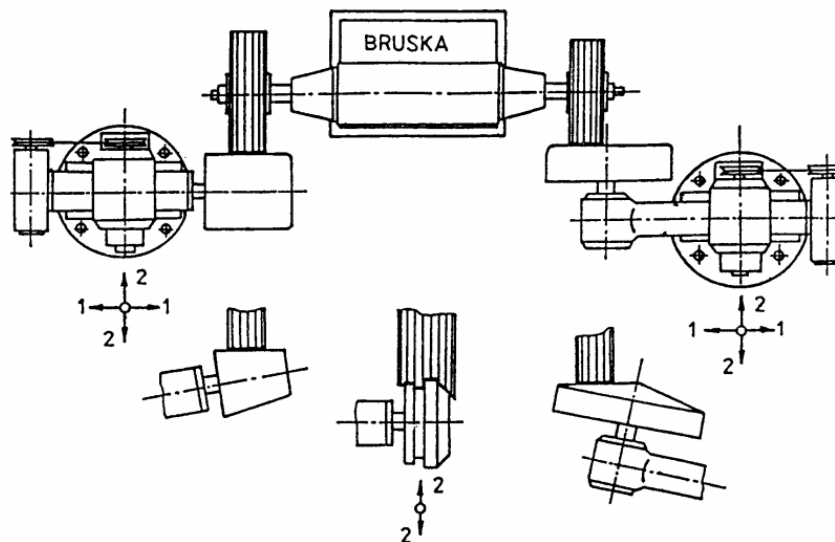
Obr. 4 – Tryskací materiál: a) ocelová drť [12]; b) sekaný drát [12]



Obr. 5 – Tryskací materiál: a) litinové granuláty [13]; b) skleněné kuličky [14]

2.1.2 Broušení

Broušením docílujeme postupného úběru materiálu a zároveň tím odstraňujeme hrubé nerovnosti povrchu, jako jsou švy odlitků a výkovků, rýhy, apod. Podle nerovnosti povrchu se volí postup broušení. Hrubé broušení, neboli hrubování, se provádí za sucha brusivem o velikosti zrnitosti 24 a 100. Při jemném broušení neboli vyhlazování, se brusné kotouče přimazávají, jelikož dochází ke snížení tření. Tím se zahřívají broušené materiály a dochází tak k jemnějšímu povrchu. U jemného broušení se používají brusiva o velikosti zrnitosti 120 a 240. Požadovaného povrchu dosáhneme tzv. předleštováním. Pro předleštování jsou brusiva zrnitosti 280 až 500 a používáme tzv. látkové kotouče. Při broušení se používají kotouče s pevnou nebo volnou vazbou abraziva či brusných pásů. [4]



Obr. 6 – Ukázka stroje a přípravků pro broušení a leštění [4]

Hranice mezi broušením a leštěním není přesně určena. Leštění chápeme jako operaci, při níž dochází k nižšímu úběru materiálu a dochází navíc k plastické deformaci povrchové vrstvy, jedná se tedy o odstraňování nejjemnějších stop po předchozích operacích za dosažení velmi nízké drsnosti (po 0,1 Ra) a vysokého lesku. Provádí se leštění jak základního materiálu, tak provedených povrchových úprav (galvanické povlaky). [4] Na výši lesku má kromě leštícího nástroje a jeho obvodové rychlosti vliv i použitá leštící pasta. Mimo homogenizované tukové komponenty obsahují pasty různé abrazivní látky jako leštící zeleň (oxid chromitý), leštící červeň (oxid železitý), umělý korund (oxid hlinitý), vídeňské vápno (oxid vápenatý), jemnou křemelinu, pemzu apod. Při předleštování se používají tvrdší látkové nebo plstěné či kožené kotouče a mastnější i ostřejší pasty při větších obvodových rychlostech. Pro doleštování měkké kotouče, sušší a jemnější pasty a menší obvodové rychlosti. [4]

3 Vliv a vlastnosti prachových částic u tenkých povlaků

3.1 Částice v atmosféře

Atmosféra je složená z hlavních plynných složek, kterými jsou dusík (78%), kyslík (21%), ale také z plynů, které se v atmosféře vyskytují ve velice malých množstvích, jako je vodík, oxid uhličitý, methan, argon nebo neon. Kromě plynné složky obsahuje atmosféra také rozptýlené kapalně a pevně částice tvořící dohromady aerosol. Pevné částice se do atmosféry dostávají buď z přirozených, nebo antropogenních zdrojů, mezi které patří hlavně doprava a různé druhy průmyslu. Antropogenní zdroje atmosférických částic nemají pouze bezprostřední vliv na složení atmosféry, ale také na chemické a fyzikální procesy, které v ní probíhají. [6]

3.2 Prachové částice

Ve vzduchu se kromě plynné frakce vyskytují prachové částice různého charakteru a velikosti. Mezi ně patří saze, pyl, krystalky mořské soli, minerální prach, azbestová vlákna, popílek a jiné typy částic. Částice mají velkou škálu velikostí od sub-nanometrů až po milimetrové prachové částice. Částice škodlivé pro člověka mají aerodynamický průměr částic menší nebo roven $10\ \mu\text{m}$ a označujeme je jako částice PM₁₀. Největší pozornost je ovšem celosvětově věnována tzv. respirabilním částicím menším než $2,5\ \mu\text{m}$ (PM_{2,5}), protože mají potenciálně největší negativní vliv na zdraví člověka. Koncentrace prachových částic se místo od místa různí, podle některých studií se zdá, že větší variabilitu mají hrubší částice. Zatímco koncentrace PM_{2,5} se dlouhodobě výrazně neměnily, koncentrace PM₁₀ se v čase měnily velice výrazně, největší rozdíly byly pozorovány na podzim a v zimě. Obsah prachových částic v atmosféře je značný. Ve stratosféře 20 km nad povrchem Země je obsah částic menší než 10 částic na cm^3 . V městských oblastech bývá naměřeno kolem 1×10^5 na cm^3 . Dokonce i v oblastech, kde je očekáváno minimální znečištění, jako například západní pobřeží Irska, byla naměřená hodnota částic více než 1×10^6 cm^3 . Koncentrace celkového naměřeného prашného aerosolu bývá v zimě vyšší než v létě. Tento jev je silně ovlivněn meteorologickými podmínkami, rychlostí větru, a atmosférickou stabilitou. [6]

3.3 Klasifikace prachových částic podle původu

Prachové částice v atmosféře můžeme dělit podle jejich vzniku a vstupu do atmosféry na primární a sekundární. [6]

- Primární částice vstupují do ovzduší z primárních zdrojů. Jsou to například minerální prachové částice, které se do atmosféry dostávají zvětráváním a erozí, saze ze spalovacích zdrojů, ale také částice mořských solí a pyly. [6]
- Sekundární částice se postupně vytvářejí v atmosféře tzv. plynovo-částicovou konverzí. Největší část těchto aerosolových částic o velikosti sub-mikrometrů tvoří sírany, dusičnany a některé organické sloučeniny. [6]

3.4 Rozdělení podle velikosti frakcí prachových částic

Prachové částice dělíme podle jejich velikosti na frakci hrubých částic PM₁₀, frakci jemných částic PM_{2,5} a frakci nejjemnějších částic, neboli ultra-jemné částice PM_{0,1} a menší (UFP). Velikostně rozlišenou koncentraci atmosférických částic je možné stanovit, pokud odebereme separátně různé velikosti částic pomocí kaskádových impaktorů (obr. 7). Z hlediska měření atmosférického aerosolu jsou komerčně dostupné dva typy kaskádových impaktorů. Konvenční impaktor, který pracuje za normálního atmosférického tlaku a je schopný rozdělovat částice až do dolní hranice 0,4 μm a druhý typ (LPI), který pracuje za sníženého tlaku. Je pro něj typické, že odděluje částice o velikosti 30 nm až 30 μm do 10 až 13 kategorií podle velikosti. Existují různé verze impaktorů pracujících za nízkého tlaku. [6]



Obr. 7 – Kaskádový impaktor SIOUTAS [8]

Před vlastním nanášením nátěrové hmoty je důležitá úprava chráněného povrchu. Uvádí se, že 70 % poškození nátěrů připadá na nekvalitně provedenou přípravu upravovaného povrchu. Znečištění povrchu mastnotami zpomaluje zasychání nátěrů a brání jejich dokonalému zakotvení na kovovém povrchu. Obdobně působí i zbytky starých nátěrů, prach, korozní zplodiny (rez, okuje apod.). Nátěr provedený na zrezivěném povrchu nezabrání průběhu koroze pod ním, neboť ve rzi je dostatek vody (až 6 %) ev. i zbytky solí pro vytvoření elektrolytu a pokračování koroze pod nátěrem. Při navrhování a volbě ochrany určitého základního materiálu pomocí nátěrových hmot z organických povlaků je třeba problém posuzovat komplexně. Volba ochranného povlaku by měla být optimalizována takovým způsobem, aby chránila výrobek proti korozi a klimatickým vlivům, zabezpečovala jeho provozní spolehlivost a dostatečnou životnost při nejnižších nákladech na celé období jeho technického života. [4]

Při volbě technologie nanášení nátěrových hmot je nutno uvažovat tato hlediska [4]:

- předmět (velikost, tvar, množství)
- požadované finální vlastnosti nátěru (vzhled, tloušťka, stupeň namáhání)
- kvalita povrchu (pórovitost, stupeň čistoty, předběžné úpravy)
- vlastnosti nátěrových hmot (reologické, rychlost zasychání, slévatelnost, měrná vodivost ap.)
- pracnost a ekonomie použití
- ekologické ovlivnění životního prostředí

Funkčnost ochranných povlaků vytvořených z nátěrů a podobných produktů nanesených na ocelovém podkladu závisí významně na stavu ocelového povrchu bezprostředně před nanesením nátěrů. Základní faktory ovlivňující plnění jejich funkce jsou [7]:

- a) Přítomnost rzi a okují
- b) Přítomnost nečistot na povrchu včetně solí, prachu, olejů a mastnot
- c) Profil povrchu

Mezinárodní normy ISO 8501, ISO 8502 a ISO 8503 se vztahují k hodnocení výše uvedených faktorů, ISO 8504 je vodítkem pro určení nejvhodnější metody pro čištění ocelových podkladů indikující dosažitelnou specifikovanou úroveň čistoty.

Tyto mezinárodní normy neobsahují žádná doporučení, týkající se aplikace následných ochranných systémů a souvislosti s požadavky na kvalitu povrchu přímo související s volbou aplikovaných povlaků. Neobsahují ani požadavky na jakost povrchu v těch specifických situacích, kdy jakost povrchu má dokonce přímý vliv na výběr ochranného povlaku, který má být nanesen, a na jeho trvanlivost [7].

Takováto doporučení jsou předmětem národních norem a dobré výrobní praxe. Uživatelé této mezinárodní normy musí zajistit, aby specifikovaná kvalita byla [7]:

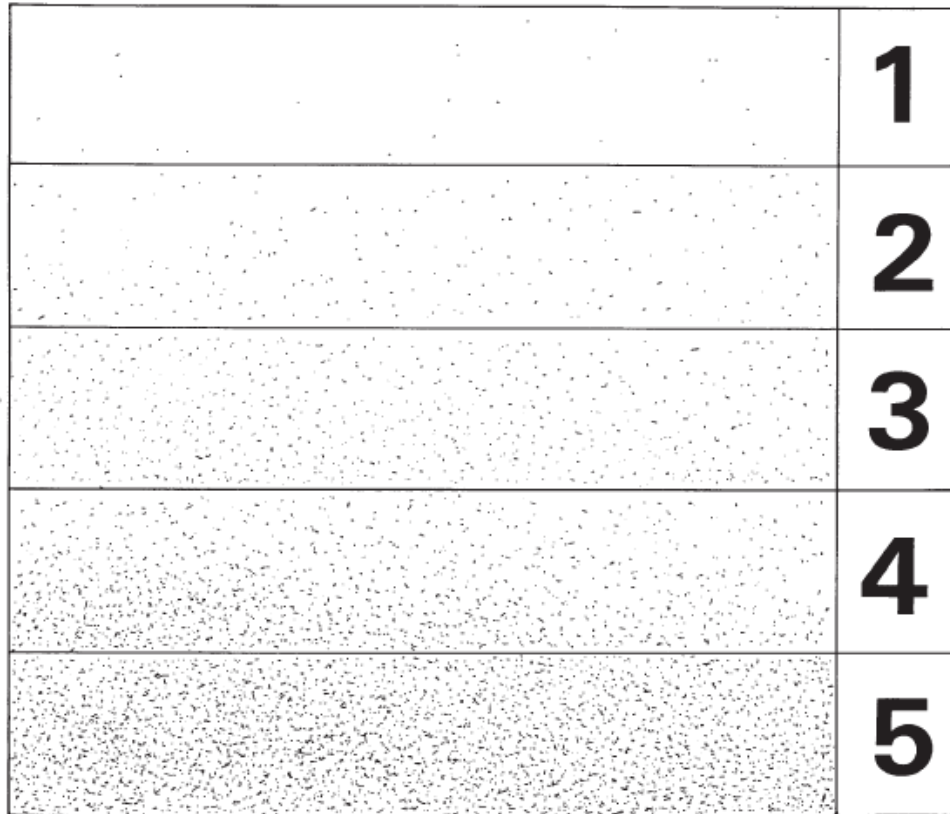
- slučitelná s danými atmosférickými podmínkami, ve kterých je ocel exponována
a s ochrannými povlaky, které budou použity;
- dosažitelná specifikovaná technologie čištění.

Níže uvedené čtyři mezinárodní normy se vztahují na následující aspekty přípravy povrchu ocelových podkladů [7]:

- ISO 8501 - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu
- ISO 8502 - Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu
- ISO 8503 - Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů
- ISO 8504 - Metody přípravy povrchu

Norma ISO 8502 popisuje metody stanovení množství a velikosti částic prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání pomocí samolepicí pásky. V předpisu požadavků pro natírání, který je součástí kontraktu, jsou uváděny podrobnosti o přípravě povrchu otryskáváním. Je běžně specifikováno, že povrch musí být zbaven veškerých nečistot včetně olejů, mastnot, prachu a ve vodě rozpustných nečistot. Prach na otryskaném povrchu může následně snižovat přilnavost organických povlaků, při absorbování vlhkosti může iniciovat korozi otryskaného ocelového povrchu. Akumulace prachu je často pozorována na vodorovném povrchu, vnitřku potrubí a v místech strukturální kavitace. Speciální následné prohlídky mohou dokladovat, že všechny plochy před natíráním jsou očištěny odpovídajícím způsobem. [7]

Protože způsob hodnocení zahrnuje subjektivní faktory, nedovoluje přesné stanovení množství prachu, který zůstal na otryskaném povrchu. Při jeho provedení zkušeným pracovníkem však, zejména při použití metody srovnáním se standardním vzorkem, jsou získané výsledky velmi užitečnou informací. Při provádění hodnocení v praxi přicházejí v úvahu velmi rozdílné podmínky. Počet hodnocení, plošné rozložení, datum a čas jsou předmětem dohody. [7]



Obr. 8 – Obrazová stupnice odpovídající množství prachu dle označení 1, 2, 3, 4 a 5 [7]

Třída	Popis prachových částic
0	částice neviditelné při zvětšení 10 x
1	částice viditelné při zvětšení 10 x, ale ne prostým okem (obvykle částice menší než 50 μm v průměru)
2	části již viditelné prostým okem (obvykle částice mezi 50 μm a 100 μm v průměru)
3	částice jasně viditelné prostým okem (částice od 0,5 mm v průměru)
4	částice mezi 0,5 a 2,5 mm v průměru
5	částice větší než 2,5 mm v průměru

Tabulka 2 – Třídy velikosti prachových částic [7]

4 Návrh experimentální metodiky

V rámci experimentálních zkoušek byly testovány nátěrové systémy v závislosti na ulpělých prachových částicích na jednom zkušebním vzorku slitiny hliníku pro automobilový průmysl. Experimentální zkoušky byly zaměřeny na zhodnocení vlastností ulpělých částic na povrchu podkladového materiálu.

Pro zhodnocení vlastností testovaných nátěrových systémů byla navržena následující metodika experimentálních prací:

- a) Příprava povrchu před aplikací nátěrového systému
 - Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3
 - Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 428
- b) Aplikace nátěrových systémů
 - Aplikace nátěru VCI-368 (dále označení „VCI“)
 - Aplikace impregnačního povlaku pro transport (dále označení „IPPT“)
- c) Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808
- d) Měření přilnavosti nátěrových systémů v závislosti na době exponování
 - Mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2
 - Křížový řez dle ČSN EN ISO 16276-2

4.1 Výběr materiálu

Jako zkušební vzorek byla použita slitina hliníku, která se používá pro automobilový průmysl. Rozměry zkušebního plechu jsou 100 x 100 x 2 mm.



Obr. 9 – Detail zkušebního vzorku slitiny hliníku pro automobilový průmysl

4.2 Příprava povrchu před aplikací nátěrového systému

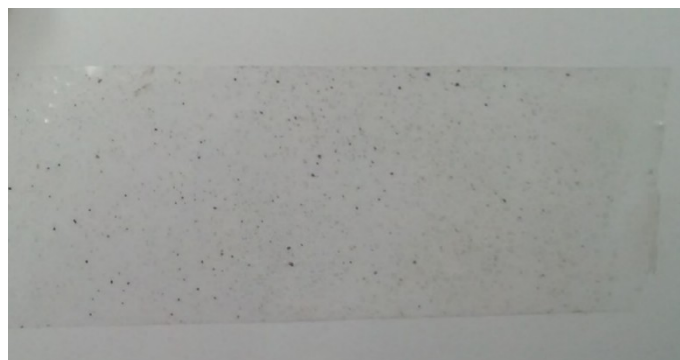
4.2.1 Hodnocení zaprášení povrchu vzorků

Dle normy ČSN ISO 8502-3 se zjišťuje, jaké je množství a velikost prachovým částic na povrchu ocelového substrátu. Nečistoty ovlivňují funkčnost ochranných povlaků, proto se zkouška provádí na ocelovém povrchu těsně před nanesením nátěru. [7]

Na vzorcích připravených k natírání, byla provedena zkouška prašnosti povrchu metodou snímací páskou dle ČSN ISO 8502-3. Hlavní pomůckou k provedení zkoušky je bezbarvá, průhledná samolepící páska, která se lehce přitlačí na povrch vzorku. Při dalším kroku se pod úhlem 180° sejme a je ihned nalepena na kontrastní podklad, v tomto případě bílý papír. Poté následuje vyhodnocení stupně zaprášení a třídy velikosti prachových částic. Pro vyhodnocení byly použity tabulky z normy, se kterými se porovnala hustota (1 – minimální zaprášení, 5 – maximální zaprášení) a velikost částic (od nejmenších 0 ÷ 5).



Obr. 10 – Nalepení samolepící pásky na podkladový materiál



Obr. 11 – Vyobrazení prachových částic ulpělých na podkladovém materiálu

Pomocí obrazové stupnice byl stanoven stupeň zaprášení (viz kap. 3.4 obr. 8) a velikost prachových částic (viz kap. 3.4 tab. 2).

Parametry	Velikost prachových částic	Stupeň zaprášení
Hliníkový podklad	3	3

Tabulka 3 – Vyhodnocení prachových částic ulpělých na povrchu vzorku

4.2.2 Stanovení drsnosti povrchu podkladového materiálu

Drsnost povrchu se stanovuje podle normy ČSN EN ISO 4287 a měření bylo provedeno na podkladovém materiálu před aplikací nátěrových hmot. Měření se provádělo na dotykovém profilometru SURFTEST 301 od firmy Mitutoyo (obr. 12). Tento přístroj umí vyhodnotit povrchové textury s různými parametry a získané hodnoty zobrazí ihned na digitální dotykové obrazovce. Na zkoumaném vzorku bylo měření provedeno 10 krát a to jak v příčném, tak v podélném směru. Tyto hodnoty jsou zapsány v tabulce 4 při měření v podélném směru a v tabulce 5 při měření v příčném směru.



Obr. 12 – Dotykový profilometr SurfTest 301 [16]

4.2.3 Vyhodnocení drsnosti na vzorku slitiny hliníku

Nastavení přístroje Mitutoyo SurfTest SJ-301

- měření probíhalo dle ISO 1997

Popis jednotlivých značek:

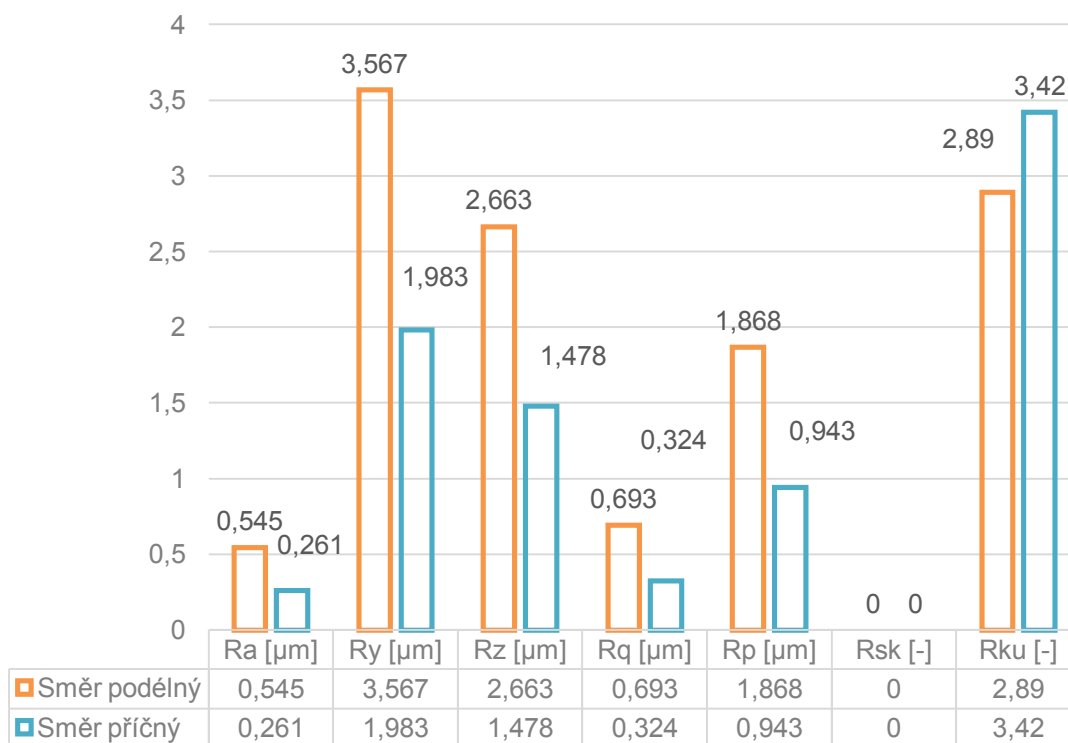
- λ_c - filtr profilu, který vymezuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti
- L - délka měřeného úseku

Směr podélný		Parametry: $\lambda_c = 0,8$, $l = 4$ [mm]					
Měření	Ra [μm]	Ry [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,48	3,29	2,31	0,61	1,83	0,27	3,18
2	0,49	3,31	2,34	0,65	1,89	0,24	3,17
3	0,58	3,59	2,81	0,75	1,87	0,23	2,71
4	0,57	3,51	2,66	0,71	1,75	0,09	2,62
5	0,60	4,02	2,93	0,76	1,86	-0,10	3,17
6	0,60	3,85	2,77	0,74	2,18	0,23	2,85
7	0,55	3,50	2,65	0,68	1,74	0,08	2,77
8	0,54	3,55	2,73	0,67	1,82	0,05	2,82
9	0,47	3,54	2,72	0,66	1,84	0,04	2,91
10	0,57	3,51	2,71	0,70	1,90	0,23	2,70
Ø	0,545	3,567	2,663	0,693	1,868	+	2,89
MIN	0,47	3,29	2,31	0,61	1,74	-	2,62
MAX	0,60	4,02	2,93	0,76	2,18	+	3,18

*Tabulka 4 - Tabulka hodnot parametrů drsnosti povrchu podkladového materiálu
(měřeno v podélném směru)*

Směr příčný			Parametry: $\lambda_c = 0,8$, $l = 4$ [mm]				
Měření	Ra [μm]	Ry [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,20	1,24	0,83	0,25	0,65	0,26	2,64
2	0,21	1,29	0,88	0,26	0,67	-0,04	2,88
3	0,22	2,81	2,31	0,33	1,11	0,31	4,41
4	0,22	1,52	0,99	0,27	0,88	0,36	4,65
5	0,26	1,28	0,87	0,24	0,66	-0,03	2,71
6	0,26	2,99	2,47	0,39	1,12	-0,62	3,77
7	0,41	3,03	2,08	0,57	1,35	-0,59	3,40
8	0,29	1,89	1,91	0,32	0,99	-0,14	2,66
9	0,30	1,77	1,15	0,30	0,92	-0,16	2,68
10	0,24	2,01	1,29	0,31	1,08	0,47	4,40
Ø	0,261	1,983	1,478	0,324	0,943	-	3,42
MIN	0,20	1,24	0,83	0,24	0,65	-	2,64
MAX	0,41	3,03	2,47	0,57	1,35	+	4,65

*Tabulka 5 – Tabulka hodnot parametrů drsnosti povrchu podkladového materiálu
(měřeno v příčném směru)*



Obr. 13 – Grafické znázornění průměrných hodnot parametrů drsnosti povrchu podkladového materiálu (měřeno v příčném a podélném směru)

4.3 Aplikace nátěrového systému

Všechny vzorky byly před aplikací nátěrů nejprve odmaštěny ponorem s nuceným oběhem v použitém 10 % koncentrátu o velikosti 9,5 ÷ 10,5 pH po dobu 10 minut. Jako koncentrát bylo použito odmašťovadlo Simple Green Precision Cleaner typu SG Precision Cleaner (Part number: 70540 – 10 kg kanystr).

Alkalita koncentrátu:

- 100% - pH 10,5
- 10% - pH 9,5 ÷ 10,5
- 1% - pH 8,5 ÷ 9,5

Po odmaštění byl proveden dvakrát oplach ponorem ve studené vodě s nuceným oběhem. Sušení vzorků probíhalo v elektronické peci typu SN30/4. Elektronická pec disponuje vlastnostmi jmenovitého příkonu 3 kW a jmenovitou provozní teplotou do teploty 200 °C. Teplota v peci byla nastavena na 40 °C a vzorky v peci byly sušeny po dobu 10 minut. Následně byl zkušební vzorek pro „IPPT“ předehřát na teplotu 40 °C po dobu 30 minut a pro nátěr „VCI“ se zkušební vzorek nechal volně na vzduchu vychladnout.

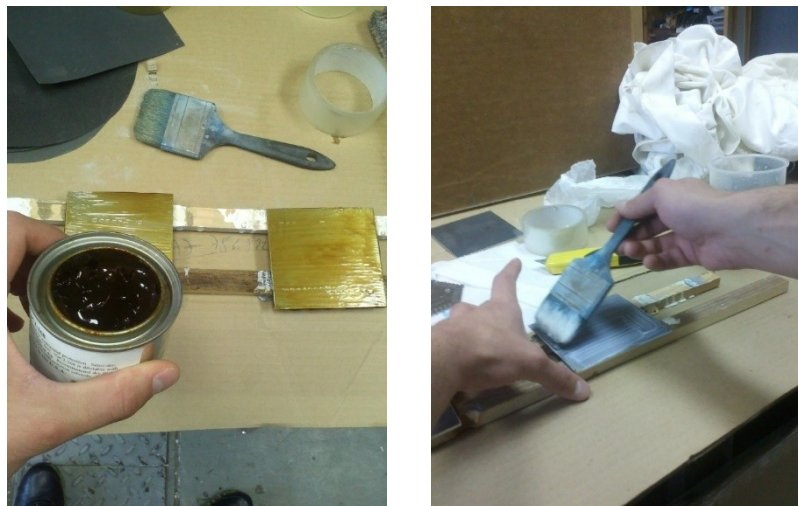
4.3.1 Nátěr VCI-368 („VCI“)

Tento typ nátěru patří k nejkvalitnějším nátěrům, který dokáže poskytnout výbornou ochranu kovů. Je charakterizován jako pevný, voskový povlak a hnědým barevným odstínem. Používá se pro ochranu všech druhů kovů zejména při jejich skladování.

V experimentální práci byl tento povlak nanesen na podkladový materiál za pomoci štětce, kterým docílíme malých ztrát při aplikaci nátěru. Rozsah schnutí nátěru se pohybuje okolo 12 ÷ 24 hodin.

4.3.2 Impregnační povlak pro transport („IPPT“)

Tento typ nátěru slouží pro dočasnou ochranu kovů pro transport. V experimentální práci byl tento povlak taktéž nanesen na podkladový materiál za pomoci štětce. Rozsah schnutí nátěru se pohybuje okolo jedné hodiny.



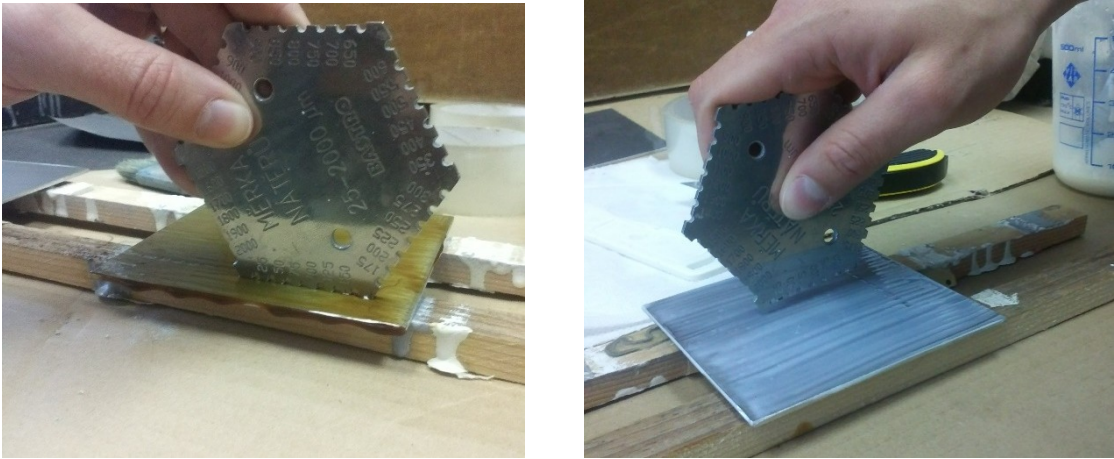
Obr. 14 – Aplikace nátěru „VCI“ (vlevo) a „IPPT“ (vpravo)

4.4 Stanovení tloušťek nátěrových systémů

4.4.1 Měření tloušťky mokré vrstvy vzorků

Norma ČSN EN ISO 2808 stanovuje přesný postup měření tloušťky mokré vrstvy a měření probíhalo v průběhu nanášení nátěrů. Zkouška se provádí za účelem zjištění správných a požadovaných účinků nátěrového systému. Zařízení, které se pro tuto zkoušku použilo, se nazývá hřebenová měrka. Jedná se o korozně odolný materiál plochého tvaru se zuby okolo kraje, přičemž každý zub je označen odpovídající hodnotou mezery.

Tloušťka nanesené mokré vrstvy se kontroluje pomocí hřebenové měřky dle ČSN EN ISO 2808. Pro kontrolu experimentálních prací byla použita hřebenová měřka od firmy BASTRO. Průměrné naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.



Obr. 15 – Měření mokré vrstvy nanášených povlaků
(vlevo „VCI“, vpravo „IPPT“)

Typ vzorku	Průměrná tloušťka mokré vrstvy [μm]
VCI	137,5
IPPT	120

Tabulka 6 – Hodnoty naměřené mokré vrstvy u jednotlivých vzorků

4.4.2 Měření tloušťky suché vrstvy vzorků

Kontrola byla provedena po vytvrzení nátěrů podle normy ČSN EN ISO 2808 za pomoci nedestruktivní metody měření přístrojem ELCOMETER 456. Přístroje pracuje na principu přijímání odražených magnetických vln od kovového materiálu. V místě měření po dotyku s podkladovým materiálem se naměřená hodnota zobrazí ihned na displeji přístroje. Měření bylo provedeno 10 krát a to na různých místech vzorku. Tyto hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 7.



Obr. 16 – Elcometer 456 [17]

Měření	Vzorek	
	"VCI"	"IPPT"
1	53,1	79,1
2	62,2	71,4
3	54,2	78,5
4	60,1	76,3
5	55,5	72,0
6	46,1	69,0
7	45,2	66,2
8	41,4	67,8
9	42,6	75,3
10	40,6	74,2
Ø	50,1	73,0

Tabulka 7 – Naměřené hodnoty v μm suché vrstvy u jednotlivých povlaků

4.5 Měření přilnavosti nátěrových systémů

4.5.1 Mřížková zkouška

Tato zkouška přilnavosti nátěrového systému byla provedena dle ČSN ISO 16276-2 u obou vzorků nátěru „VCI“ a „IPPT“.

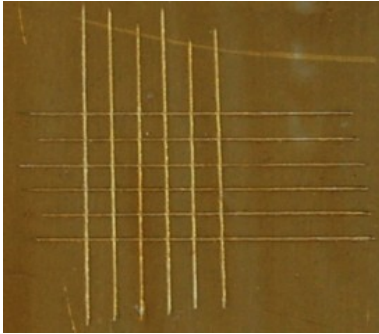
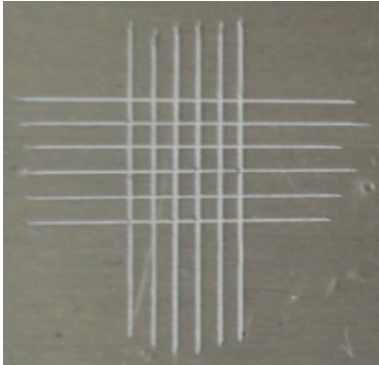
Pomůcky a prostředky potřebné k provedení mřížkové zkoušky:

- vodící šablona na mřížkovou zkoušku
- jednobřítý řezný nástroj
- průhledná samolepící páska šíře 50 mm
- měkký štětec
- lupa
- kontrastní papír

Postup provedení mřížkové zkoušky:

Samotný postup zkoušky začíná vyhodnocením zkoušené plochy pod dobrým světlem. Následně jsou zhotoveny jednotlivé řezy do nátěrových systému řezným nástrojem za pomoci vodící šablony. Řezy jsou zhotoveny šestkrát v rovnoběžném směru a šestkrát kolmo na předchozí řezy. Vzdálenosti jednotlivých řezů mezi sebou je podle

tloušťky nátěru stanovena na 2 mm. Následuje očištění povrchu vzorku, na kterém jsme provedli mřížkový řez, za pomoci měkkého štětce. Poté se přilepí na povrch důkladně samolepící páska o šířce 50 mm, která se řádně přitiskne a strhne pod úhlem vzorku 60° z povrchu vzorku. Strhnutá páska se přilepí na kontrastní povrch, v našem případě bílý papír a vizuálně se klasifikuje podle normy ČSN ISO 16276-2, která se dále odkazuje na ČSN ISO 2409.

Vzorek	Fotodokumentace	Stupeň poškození
"VCI"		0
"IPPT"		0

Tabulka 8 – Vyhodnocení poškození nátěrů u vzorku „VCI“ a „IPPT“

Provedena mřížková zkouška stanovuje kvalitu přilnavosti nátěrového systému k povrchu podkladového materiálu. Měření bylo provedeno jedenkrát a oba vzorky vykazují velmi dobrou adhezní schopnost. Na fotodokumentaci v tabulce 12 lze vidět, že řezy jsou čisté, hladké a žádný ze čtverců nebyl poškozený.

4.5.2 Zkouška křížovým řezem

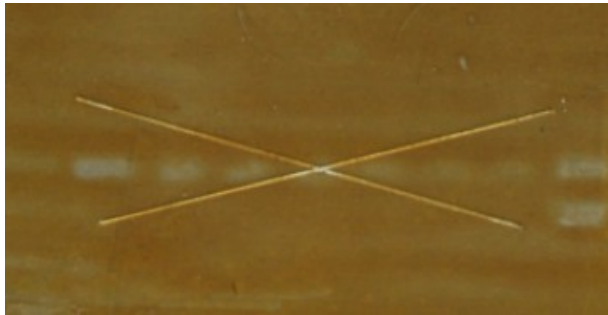
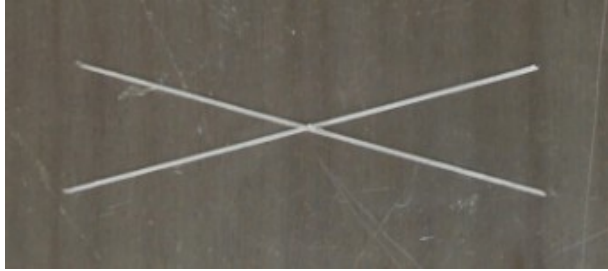
Tato zkouška přilnavosti nátěrového systému byla provedena dle ČSN ISO 16276-2 u obou vzorků nátěru „VCI“ a „IPPT“.

Pomůcky a prostředky potřebné k provedení zkoušky přilnavosti:

- vodící šablona na zkoušku přilnavosti křížového řezu
- jednobřítý řezný nástroj
- průhledná samolepící páska šíře 50 mm
- měkký štětec
- kontrastní papír

Postup provedení křížového řezu:

Samotný postup zkoušky spočívá ve vytvoření řezu ve tvaru písmene „X“ za pomoci řezného nástroje. Následuje očištění povrchu vzorku, na kterém jsme provedli křížový řez, za pomoci měkkého štětce. Poté se přilepí důkladně na povrch samolepící páska o šířce 50 mm, která se řádně přitiskne, nechá působit 5 minut a strhne se pod úhlem vzorku 60° z povrchu vzorku. Strhnutá páska se přilepí na kontrastní povrch, v našem případě bílý papír a vizuálně se klasifikuje podle normy ČSN ISO 16276-2.

Vzorek	Fotodokumentace	Stupeň poškození
"VCI"		0
"IPPT"		0

Tabulka 9 – Vyhodnocení poškození nátěru u jednotlivých vzorků

U této zkoušky dopadly oba nátěrové systémy velmi dobře. Nedošlo k žádnému odloupenutí, nebo odpadnutí nátěrů. Tato zkouška byla provedena na každém nátěru jedenkrát.

5 Vyhodnocení experimentálního měření

V této části jsou zpracována a vyhodnocena data do tabulek, z výše provedených zkoušek dle patřičných norem.

5.1 Hodnocení zaprášení povrchu vzorků

Vyhodnocení velikosti prachových částic a stupeň zaprášení bylo měřeno na jednom vzorku. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 10. Hodnoty prachových částic mohou velmi negativně ovlivnit přilnavost a hlavně životnost nanášeného nátěrového systému.

Parametry	Velikost prachových částic	Stupeň zaprášení
Hliníkový podklad	3	3

Tabulka 10 - Vyhodnocení prachových částic ulpělých na povrchu vzorku

5.2 Hodnocení drsnosti povrchu vzorků

Vyhodnocení drsnosti povrchu a jejich průměrné hodnoty v podélném a příčném směru jsou vyobrazeny v tabulce 11.

	Ra [μm]	Ry [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
Průměrné hodnoty (podélný řez) →	0,545	3,567	2,663	0,693	1,868	+	2,89
Průměrné hodnoty (příčný řez) ↓	0,41	3,03	2,08	0,57	1,35	-	3,40

Tabulka 11 - Průměrné hodnoty naměřené drsnosti povrchu v podélném a příčném řezu

5.3 Hodnocení tloušťky suché a mokré vrstvy nátěrových systémů

Měření probíhalo a bylo vyhodnoceno podle normy ČSN EN ISO 2808. Průměrné hodnoty suché a mokré vrstvy u jednotlivých nátěrových systémů jsou vyobrazeny v tabulce 12.

Typ vzorku	Průměrná tloušťka mokré vrstvy [μm]	Průměrná tloušťka suché vrstvy [μm]
"VCI"	137,5	50,1
"IPPT"	120	73,0

Tabulka 12 - Průměrné hodnoty tloušťek suché a mokré vrstvy u jednotlivých nátěrů

5.4 Hodnocení zkoušek přilnavosti antikorozičního systému

Oba nátěrové systémy byly podrobeny mřížkové zkoušce a křížovému řezu, které byly následně vyhodnoceny dle normy ČSN EN ISO 16276-2.

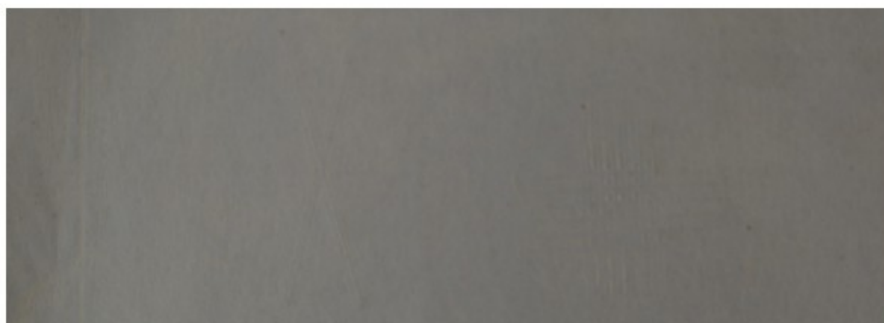
Mřížkovou zkouškou je posouzena přilnavost nátěrového systému a kvalita k podkladovému materiálu. Na obou aplikovaných nátěrech bylo provedeno jedno měření, přičemž oba nátěry vykazovaly výbornou adhezní schopnost. Taktéž i u zkoušky křížovým řezem nedošlo k žádnému odloupení nátěrů. Celkové hodnocení je zpracované v tabulce 13 a je vyobrazeno na obrázku 17 a 18.

Tabulka 13 – Hodnoty stupňů poškození jednotlivých nátěrových systémů

Vzorek	Stupeň poškození Mřížková zkouška	Stupeň poškození Křížový řez
"VCI"	0	0
"IPPT"	0	0



Obr. 17 – Vyhodnocení stupně poškození u nátěru „VCI“



Obr. 18 – Vyhodnocení stupně poškození nátěru „IPPT“

6 Ekonomické zhodnocení

V této kapitole je zhodnocena ekonomická stránka obou zmiňovaných nátěrových systémů a to nátěru VCI a nátěru IPPT. Nátěry byly posuzovány z hlediska aplikace, spotřeby a časové doby vytvrzení nátěrových systémů.

a) Dle spotřeby materiálu při aplikaci nátěrových systémů

- Aplikace u obou nátěru byla provedena za pomoci štětce. U této aplikace nátěrů se docílilo minimálních ztrát. Nevýhodou této aplikace nátěrových systémů jsou vysoké požadavky na kvalitu pracovní síly.

Typ vzorku	Průměrná tloušťka mokré vrstvy [μm]	Průměrná tloušťka suché vrstvy [μm]
"VCI"	137,5	50,1
"IPPT"	120	73,0

Tabulka 14 – Průměrné tloušťky mokré a suché vrstvy u aplikovaných nátěrů

b) Dle časové doby vytvrzení nátěrových systémů

- Vytvrzení u posuzovaných nátěrových systémů se liší. Jejich odlišnost je popsána v tabulce 15.

Typ nátěru	Doba vytvrzení [hod]
"VCI"	± 24
"IPPT"	± 1

Tabulka 15 – Doba vytvrzení jednotlivých nátěrových systémů

Doba schnutí je závislá na teplotě okolí, teplotě vzduchu, vlhkosti prostředí a hlavně na tloušťce aplikovaného nátěrového systému. Z tabulky 15 je patrné, že nátěr „IPPT“ má rychlejší schopnost vytvrzení, nežli nátěr „VCI“.

7 Závěr

V této bakalářské práci jsem se zaměřil na studium vlivu zaprášení povrchu ocelového substrátu na kvalitu a přilnavost nátěrových systémů.

V teoretické části jsem provedl základní rozdělení povrchových úprav a popis jejich vlastností, jednotlivé typy nátěrových systémů a jejich způsobů aplikací na podkladový materiál. Dále předběžné úpravy povrchu, jako je tryskání, materiály vhodné pro tryskací stroje a broušení. Důležitou kapitolou v této bakalářské práci bylo studium prachových částic, které jsou součástí naší atmosféry. Byly definovány vlastnosti prachových částic a byla provedena jejich klasifikace podle původu a také rozdělení podle velikosti frakcí.

V experimentální části práce byl proveden návrh experimentálních prací a to přípravy podkladového materiálu slitiny hliníku pro automobilový průmysl, který byl v první fázi podroben zkoušce prašnosti povrchu za pomoci metody snímací pásky. Po sejmutí lepicí pásky bylo vizuálně posouzeno a vyhodnoceno, že zkušební vzorek odpovídá stupni 3 jak zaprášení, tak i velikosti prachových částic. Tento povrch není vhodný pro jakoukoliv aplikaci nátěrových systémů a bylo nutné povrch zbavit veškerých prachových nečistot. Odstranění nečistot bylo provedeno odmaštěním s ponorem s nuceným oběhem v použitém 10 % koncentrátu Simple Green Precision Cleaner o velikosti 9,5 ÷ 10,5 pH po dobu 10 minut. Následně byla na vzorku podkladového materiálu změřena drsnost a posléze následovala samotná aplikace nátěrových systémů za pomoci štětce.

Aplikace nátěru VCI-368 a impregnačního povlaku byla provedena dle pokynů výrobce a po aplikaci byla změřena tloušťka mokré vrstvy u obou nátěrů. Po vytvrzení nátěrů byla změřena jejich suchá vrstva na deseti místech každého z natřených vzorků a veškeré údaje byly zpracovány do tabulek. Pro vyhodnocení adheze nátěrového systému na podkladový materiál byla provedena mřížková zkouška a zkouška křížovým řezem. Obě tyto zkoušky byly vyhodnoceny na výbornou. Oba nátěry vykazovali velmi dobrou kvalitu adheze a nedocházelo k odloupení šupinek povlaku v místech křížení řezu u mřížkové zkoušky.

Závěrečná část bakalářské práce obsahuje technicko-ekonomické zhodnocení z pohledu porovnání spotřeby materiálu, tloušťek povlaků a doby vytvrzení nátěrů. Z ekonomického i technického hlediska je přijatelnější aplikace impregnačního povlaku pro přepravu, z důvodu rychlého schnutí a menší aplikované tloušťky povlaku.

8 Použitá literatura

- [1] Tribotechnika [Online]. *Otěruvzdorné povrchové úpravy, 1. část.* [cit. 2014-05-07]. Dostupné na WWW: <<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32011/oteruvzdorne-povrchove-upravy-1-cast-.html>>
- [2] CHALUPA, O. *Studium ochranných povlaků na bázi nanočástic.* Bakalářská práce. Ostrava: VŠB-Fakulta strojní, katedra mechanické technologie, 2009, 47 s. Vedoucí práce: PODJUKLOVÁ, J.
- [3] VŠCHT [Online]. *Protikorozní ochrana povlaky.* [cit. 2014-05-07]. Dostupné na WWW: <http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/o_po_vlak.htm>
- [4] KRAUS, V. *Povrchy a jejich úpravy.* 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2000, 218 s. ISBN 80-7082-668-1.
- [5] MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů.* Učební texty VŠB - TU Ostrava, 2006, 3. vyd. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [6] VRTLÍKOVÁ, T. *Prachové částice v prostředí a jejich vliv na osud a transport persistentních organických látek.* Bakalářská práce. Brno: Masarykova univerzita, přírodovědecká fakulta, 2011, 41 s. Vedoucí práce: KLÁNOVÁ, J.
- [7] ČSN ISO 8502-3 *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků-Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu - Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepicí páskou)*
- [8] Chrom servis [Online]. *Kaskádový osobní impactor.* [cit. 2014-05-07]. Dostupné na WWW: <<http://chromservis.cz/item/sioutas-personal-cascade-impactor-optimized-at-9-l-min?lang=CZ>>
- [9] Wikipedie [Online]. *Otryskávání.* [cit. 2014-05-07]. Dostupné na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Otrysk%C3%A1v%C3%A1n%C3%AD>>
- [10] TRUCK-P [Online]. *Prodej a autodoprava štěrků-drtě-písek.* [cit. 2014-05-07]. Dostupné na WWW: <<http://www.truck-p.com/prodej-pisku.aspx>>
- [11] Sandsystem [Online]. *Křemičité písky přírodní.* [cit. 2014-05-07]. Dostupné na WWW: <<http://www.sandsystem.cz/vyroby/kremicite-pisky-prirodni/?lng=cs>>

- [12] Idda [Online]. *Výroba ocelových a litinových granulátů a drtí*. [cit. 2014-05-07]. Dostupné na WWW: <<http://www.idda.cz/oceloved.htm>>; <<http://www.idda.cz/drat.htm>>; <<http://www.idda.cz/granulaty.htm>>
- [13] Abranova [Online]. *Ocelolitina, vysokouhlikatá – broky*. [cit. 2014-05-07]. Dostupné na WWW: <<http://www.abranova.cz/ocelovy-a-nerezovy-tryskaci-material/ocelovy-tryskaci-material/ocelolitina-vysokouhlikata---broky.htm>>
- [14] Glass Sphere [Online]. *Skleněné kuličky*. [cit. 2014-05-07]. Dostupné na WWW: <<http://www.glass-sphere.com/eshop/kulicky-pro-technicke-a-dekoracni-ucely-10-mm-40-mm.html>>
- [15] ERIKSSON, H. a HIRNOVÁ, A. *Příručka žárového zinkování*. [cit. 2014-05-07]. Stockholm, 2005, Dostupné na WWW: <<http://zinkovna-plzen.mea.cz/upload/ck/files/prirucka-zaroveho-zinkovani.pdf>>
- [16] Surfrest 301 [Online]. [cit. 2014-05-07]. Dostupné na WWW: <<http://ecx.images-amazon.com/images/I/81WY%2B3VWJYL.jpg>>
- [17] Elcometer 456 [Online]. [cit. 2014-05-07]. Dostupné na WWW: <https://c2.staticflickr.com/6/5102/5692842287_1e79fdf7a0_z.jpg>
- [18] ČSN EN ISO 2409. *Nátěrové hmoty – mřížková zkouška*. Praha: Český normalizační institut, Říjen 2007. 16 s.
- [19] ČSN EN ISO 16276-2: *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – hodnocení a kritéria přijetí adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*. Praha: Český normalizační institut, Leden 2008. 16 s.
- [20] ČSN EN ISO 2808. *Nátěrové hmoty – stanovení tloušťky nátěru*. Praha: Český normalizační institut. Říjen 2007. 40 s.

9 Seznam příloh

Příloha A Technický list Cortec VCI-368