

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO – TECHNOLOGICKÁ

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Oddělení nátěrových hmot a organických povlaků

Povrchová úprava kovových materiálů pro průmyslové aplikace

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: Šimon Lenoč

VEDOUCÍ PRÁCE: doc. Ing. David Veselý, Ph.D.

2021

Prohlašuji:

Práci s názvem Povrchová úprava kovových materiálů pro průmyslové aplikace jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mou osobou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Hroubovicích dne 29. 6. 2021

Šimon Lenocho

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu doc. Ing. Davidu Veselému, Ph.D. za cenné rady, trpělivost a vstřícnost, kterou mi během vypracování bakalářské práce věnoval. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům z firmy Zbyněk Šustr s.r.o., kteří mi vyšli vstříc a dali mi důležité rady a informace, které mi napomáhaly při zpracování mé práce. Obrovské díky patří také mé rodině a přátelům za podporu při studiu na Univerzitě Pardubice.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá povrchovou úpravou kovových materiálů pro průmyslové aplikace. Na počátku jsou tyto materiály stručně charakterizovány spolu s jednotlivými technologiemi předúprav. Hlavní část bakalářské práce tvoří technologie nanášení organických povlaků, které se používají v průmyslu na ochranu konstrukčních kovů.

Klíčová slova

kovové materiály, nanášecí techniky, nátěrová hmota, organický povlak, předúprava, průmysl

Annotation

The bachelor thesis deals with the surface treatment of metallic materials for industrial applications. At the beginning, these materials are briefly characterized together with individual pretreatment technologies. The main part of the bachelor's thesis is the technology of application of organic coatings, which are used in the industry for the protection of construction metals.

Keywords

metallic materials, application techniques, painting substance, organic coating, pretreatment, industry

Obsah

Seznam obrázků	9
Úvod	10
1 Kovové materiály používané v průmyslu a jejich ochrana proti korozi.....	11
1.1 Historie a vývoj povrchových úprav.....	12
1.2 Kovové materiály	13
2 Technologie povrchových předúprav kovových materiálů	15
2.1 Mechanické předúpravy povrchů	16
2.1.1 Broušení, leštění, kartáčování	16
2.1.2 Omílání.....	16
2.1.3 Otryskávání	17
2.1.4 Čištění povrchu laserem	18
2.2 Chemické předúpravy povrchů.....	18
2.2.1 Odmašťování.....	19
2.2.1.1 Odmašťování v organických rozpouštědlech	19
2.2.1.2 Odmašťování v alkalických roztocích	20
2.2.1.3 Elektrolytické odmašťování.....	20
2.2.1.4 Odmašťování v neutrálních roztocích	21
2.2.1.5 Odmašťování v emulzních roztocích.....	21
2.2.1.6 Odmašťování opalováním	21
2.2.1.7 Vysokotlaké kapalinné odmašťování	22
2.2.1.8 Odmašťování ultrazvukem	22
2.2.1.9 Odmašťování v parách rozpouštědel	23
2.2.2 Moření	23
2.2.2.1 Moření v kyselině sírové	24
2.2.2.2 Moření v kyselině chlorovodíkové	24

2.2.2.3	Moření v kyselině fosforečné	25
2.2.3	Odrezování	25
2.2.4	Fosfátování	26
2.2.5	Pasivace	27
3	Technologie nanášení organických povlaků používané v průmyslové praxi	29
3.1	Nanášení povlaků na bázi rozpouštědlových nátěrových hmot	29
3.1.1	Nanášení nátěrových hmot štětcem	32
3.1.2	Nanášení nátěrových hmot technikou coil-coating	32
3.1.3	Nanášení nátěrových hmot máčením	33
3.1.4	Nanášení nátěrových hmot poléváním	35
3.1.5	Nanášení nátěrových hmot v bubnu	36
3.1.6	Nanášení nátěrových hmot pneumatickým stříkáním	38
3.1.7	Nanášení nátěrových hmot vysokotlakým stříkáním	39
3.1.8	Stříkání nátěrových hmot v ohřátém stavu	40
3.1.9	Nanášení nátěrových hmot v elektrostatickém poli	40
3.1.10	Elektroforézní nanášení nátěrových hmot	42
3.2	Nanášení práškových povlaků	44
3.2.1	Nanášení práškových povlaků ve fluidním loži	45
3.2.2	Nanášení nátěrových hmot pomocí elektrických sil	46
	Závěr	49
	Seznam použité literatury	50

Seznam obrázků

Obr. 1. Rozdělení povlaků [3].....	11
Obr. 2. Rozdíl mezi suchým a mokřým tryskáním [16].....	18
Obr. 3. Struktura zinečnatého fosfátu (vlevo) a nízkoteplotního zinečnatého fosfátu (vpravo) [28]	27
Obr. 4. Typicky zlatavá barva zirkonové pasivace	28
Obr. 5. Schéma procesu coil-coating [51].....	33
Obr. 6. Závislost tloušťky nátěru na rychlosti vynořování [3].....	34
Obr. 7. Kontinuální máčecí systém (vlevo) a cyklický máčecí systém (vpravo) [3].....	35
Obr. 8. Clonovací stroj [49]	36
Obr. 9. Schéma lakování v šestistěnném bubnu [3]	37
Obr. 10. Kataforetický lakovací buben [35].....	37
Obr. 11. Technika nanášení stříkáním [3]	38
Obr. 12. Stříkací pistole s nádobkou nad tělem pistole (vlevo), s nádobkou pod tělem pistole (uprostřed), s přívodem ze zásobníku (vpravo) [3]	39
Obr. 13. Schéma vysokotlakého stříkání [3]	39
Obr. 14. Schéma nanášení v ohřátém stavu [34].....	40
Obr. 15. Schéma nanášení nátěrových hmot v elektrostatickém poli [21].....	41
Obr. 16. Schéma kataforetického nanášení nátěrových hmot [41].....	43
Obr. 17. Princip fluidní lázně [50]	45
Obr. 18. Nabíjení částic prášku metodou tribo [21].....	46
Obr. 19. Práškové lakování metodou korona a tribo [39]	47

Úvod

Kovové materiály používané pro průmyslové aplikace jsou neustále vystavovány různým vlivům prostředí, které by mohly způsobit degradaci materiálu. Z tohoto důvodu je důležité vytvoření ochranné bariéry mezi povrchem kovu a okolím, která chrání povrch kovového materiálu. Pro ochranu kovových povrchů se používají zejména nátěry na polymerní bázi, které dosahují požadovaných vlastností pouze při správně provedené předúpravě kovu.

Aby nátěr dokonale přilnul na povrchu kovu, je důležité ho vhodně očistit neboli předupravit. Tento proces může být mechanického či chemického charakteru. Při tomto procesu dochází k odstranění rzi, okují, mastnot a dalších druhů nečistot, které by nepříznivě ovlivňovaly tvorbu nátěrového filmu a následně samotnou životnost materiálu.

Pro aplikaci organických nátěrových hmot je možné využít řadu technologií, které se dělí podle druhu nátěrové hmoty, na nanášení organických povlaků na bázi rozpouštědlových nátěrových hmot a na nanášení práškových povlaků. Rozpouštědlové nátěrové hmoty jsou tekutého charakteru a práškové nátěrové hmoty jsou v pevném stavu.

Využitím kovových materiálů v řadě průmyslových odvětví je kladen důraz na zlepšující se kvalitu jejich ochrany, z tohoto důvodu jsou neustále vyvíjeny nové nátěrové hmoty, technologie předúpravy nebo samotná aplikace ochranných složek, které by zajistily větší mechanickou odolnost nebo životnost kovových materiálů.

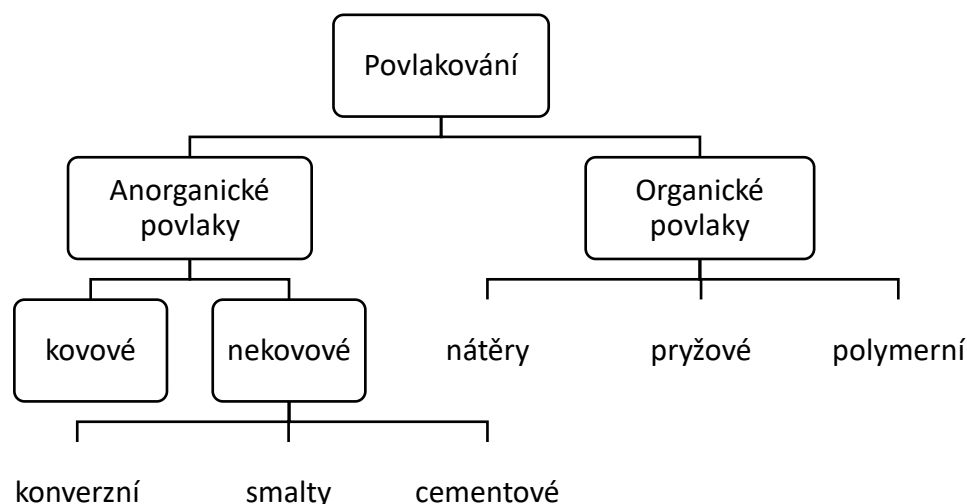
Převážná část nátěrových hmot obsahuje velké množství škodlivých látek, které mohou mít značný vliv na životní prostředí, ale i na lidské zdraví. Jejich vliv se projevuje už od výroby nátěrových hmot, dále při jejich použití a také při jejich likvidaci. Proto s vývojem nových technologií a samotnou výrobou nátěrových hmot je, kromě vysokého nároku na kvalitu, i požadavek na minimalizaci zatěžování životního prostředí.

1 Kovové materiály používané v průmyslu a jejich ochrana proti korozi

Konstrukční kovové materiály používané v průmyslu využívají zejména svých fyzikálně-mechanických vlastností, přičemž největší zastoupení zaujímají slitiny na bázi železa, tzv. oceli. Daleko větší význam s využitím mají slitiny kovů než kovy čisté. Mezi dále využívané kovy na bázi slitin jakožto konstrukčního materiálu, se využívají slitiny hliníku. U volby vhodného konstrukčního materiálu je vyžadovaná vysoká pevnost, houževnatost a míra odolnosti různému druhu opotřebení. [1]

Vhodné mechanické vlastnosti a dlouhodobá životnost kovových materiálů jsou klíčovými parametry pro jejich použití. Pro dosažení této vlastnosti je důležité, aby byl povrch kovu chráněn před atmosférickými a dalšími vlivy, které by mohly být příčinou vzniku koroze a následné deformace materiálu. Ochranou proti korozi se rozumí omezení rychlosti koroze kovů, tvořenou souborem technologických opatření. Od volby vhodného materiálu, úpravy agresivity prostředí až po povrchové úpravy pomocí ochranných povlaků. [2]

Povlaky lze dělit na anorganické a organické, které se dále větví do různých skupin, jak je tomu znázorněno na obrázku č. 1.



Obr. 1. Rozdělení povlaků [3]

Anorganické povlaky můžeme podle způsobu výroby rozdělit na kondenzační, difúzní, metalizované, galvanické, žárové a vytvořené plátováním. Organickými povlaky mohou být nátěrové hmoty na bázi rozpouštědel, vodou ředitelné nátěrové hmoty nebo práškové povlaky. [2]

1.1 Historie a vývoj povrchových úprav

První zmínky o materiálové úpravě dosahují až zhruba k 2000 let př.n.l. na asijském kontinentě, kde mistři využívali lak ze škumpy fermežové, který se nanášel pomocí zvířecích štětín nebo lidských vlasů, což vedlo postupem času k vzniku štětce. Lak se nanášel v desítkách vrstev, přičemž každá byla broušena a leštěna. Na přelomu 18. a 19. století dochází k tvorbě mechanizovaného způsobu nanášení. Tento způsob byl uplatněn jako první u nanášení nátěrových hmot v bubnu. Počátkem 19. století se začaly využívat další způsoby povrchových úprav, kterými byly např. ponor kovových výrobků do roztaveného asfaltu nebo roztírání roztaveného laku především na dřevěných výrobcích. Důležitou etapou ve vývoji povrchových úprav je počátek 20. století, kdy se začalo využívat pneumatického stříkání, které bylo hojně rozšířeno zejména v automobilovém průmyslu a postupem času se začaly využívat i další modifikace technologie stříkání, např. žárové stříkání. [3] O pár let později vznikl Wattsův elektrolyt pro galvanické niklování. Po konci druhé světové válce se namísto ručního polévání vyvinuly a začaly používat polévací stroje. Původ aplikace práškových povlaků začíná v 50. letech 20. století v Německu bez většího efektu, proto roku 1953 německý vědec Dr. Erwin Gemmer vytvořil nový způsob aplikace s fluidním ložem, na který později získal patent. K dalšímu vývinu aplikace ochranných povlaků došlo v 60. letech 20. století, kdy se začalo využívat elektrostatické nanášení pomocí speciálních elektrostatických pistolí. Kromě vývoje v odvětví práškového lakování se ve stejném období začaly využívat difúzní procesy. Roku 1959 je první zmínka o nanotechnologiích, která se připisuje americkému vědci Richardu Feynmannovi. [4] O rok později roku 1960 byl využit první plazmových nástřík kovů a keramiky. V roce 1970 se začaly využívat kompozitní a slitinné povlaky. Se zdokonalováním nanášecích technologií vzrůstal požadavek na kvalitu, ochranné i dekorativní funkce nátěru díky čemu docházelo i k vývoji předúprav povrchu materiálu. Tento požadavek vedl k vzniku zpracování povrchu kovů pomocí laseru. V roce 1985 se začaly průmyslově využívat metody PVD a CVD. [5]

1.2 Kovové materiály

Základním konstrukčním materiálem, a tedy nejvíce používaným v průmyslu je ocel, zejména nelegovaná ocel. Oceli jsou slitiny železa a uhlíku, popřípadě dalších legujících prvků. Hraniční hodnota obsahu uhlíku je 2,14 %, při vyšším obsahu uhlíku by se jednalo o litiny. Nelegovaná ocel se musí na rozdíl od legované oceli povrchově chránit. U legované oceli díky vysokému obsahu legujících prvků dochází k jevu zvanému pasivita, kdy se na povrchu kovu tvoří tenká oxidická vrstva, a tudíž nepodléhají korozi. [6]

Před každým nanášením ochranných povlaků a následně samotným použitím materiálu je důležitým krokem předběžná úprava povrchu. U ocelí je možné využít široké spektrum povrchových předúprav, které mohou být mechanického nebo chemického charakteru. Nejvíce používaným typem mechanické předúpravy je tryskání. Dalšími používanými způsoby jsou spíše chemické typy předúprav jako je např. odmašťování, moření a fosfátování. [2; 7] Následně po předupravení povrchu se materiál musí ochránit vhodným povlakem, aby nedocházelo k tvorbě koroze a destrukci materiálu. Výběr vhodného povlaku je určen na základě použití, způsobu umístění, vzhledu. Ocele mají širokou škálu využití jako jsou např. konstrukční ocele, ocele na potrubí, na kolejnice, na strojní součást, pro tlakové nádoby atd. [8]

Dalším velmi používaným materiálem je hliník. Čistý hliník je stříbrolesklý, lehký a odolává korozi díky pasivní ochranné vrstvě Al_2O_3 , která vzniká chemickým působením vzduchu na kov. Jedná se o poměrně měkký a tvárný kov kvůli kubické plošně centrované krystalové struktuře. Zlepšení mechanických vlastností lze dosáhnout přidávkem různých prvků, které vedou ke vzniku slitin. Slitiny hliníku lze dělit na slitiny slévárenské a slitiny pro tváření. Slitiny slévárenské jsou křehké a tvrdé, kvůli obsahu vyššího množství legujících prvků. Nejvýznamnějšími slévárenskými slitinami jsou slitiny Al-Si tzv. siluminy. Mezi nejvýznamnější slitiny pro tváření patří slitiny Al-Cu nebo Al-Cu-Mg tzv. duraly, které vykazují velmi dobré mechanické vlastnosti, ale jejich nevýhodou je zhoršená korozní odolnost oproti čistému hliníku. [6; 9]

Podobně jako ocel i hliník je důležité upravovat pro dosažení lepších vlastností a vzhledu, pro zlepšení odolnosti proti korozi nebo pro zvýšení povrchové tvrdosti, zejména u povrchů, které se následně ošetřují pomocí nátěrů. Vhodnou mechanickou úpravou se jeví tryskání. Tryskání probíhá za působení tlaku 0,2–0,3 MPa, ale je zapotřebí si dát pozor na předměty s vysokou mezí únavy, protože by během procesu tryskání mohlo dojít k trvalému poškození materiálu.

Z tohoto důvodu se takovéto předměty mechanicky neupravují. Nejběžněji využívanou chemickou předúpravou hliníku jsou procesy moření a leptání, ale v dnešní době je v průmyslové praxi hojně rozšířená elektrochemická předúprava hliníku, zejména elektrochemická oxidace tzv. eloxování, které spočívá v tvorbě ochranné vrstvy oxidu hliníku. [2] Dojde tak ke zlepšení korozní odolnosti, odolnosti proti oděru, zvýšení tvrdosti povrchu atd. Proces je možné provádět ponorem nebo postřikem, kdy se eloxovaný předmět připojí jako anoda a lázeň jako katoda. Po zapojení stejnosměrného proudu o napětí 10–50 V se bude povrch hliníku eloxovat. Jednou z nových technologií je plazmová elektrolytická oxidace (PEO), která využívá napětí v rozmezí 400–800 V. Vytvořený povlak dosahuje větší tvrdosti a vyšší záruky přilnavosti ochranného povlaku, který může být anorganického nebo organického původu oproti běžné elektrochemické oxidaci. [10; 11]

Použití hliníku a jeho slitin je možné využít ve stavebním průmyslu na výrobu střešních krytin, okenních rámců, lešení, žebříků nebo dokonce k výrobě jeřábů všech druhů. Další možné použití je v dopravě a letectví, které využívají lehkosti hliníkových slitin. Použití hliníkových slitin je možné i ve strojírenství, v chemickém a potravinářském průmyslu, v elektrotechnickém průmyslu a energetice. [6; 9]

2 Technologie povrchových předúprav kovových materiálů

Povrch kovu musí být před aplikací nátěrových hmot dokonale očištěn, tzn. zbaven všech druhů nečistot. Předúprava je proces, kterým se materiál připraví pro následný proces lakování. Před jakýmkoliv nanášením ochranného povlaku na povrch materiálu, musí být povrch kovu důkladně očištěn neboli předupraven. Jedná se o jednu z nevyhnutelných a důležitých dílčích etap povrchových úprav. Lze tvrdit, že špatně předupravený povrch kovového materiálu je příčinou degradace materiálu. [12] Tento způsob znehodnocení se nemusí projevit ihned po aplikaci, ale až po určité době, kdy může dojít k porušení celistvosti ochranného povlaku, kdy nečistoty získají dostatečnou energii. [13] Povrch kovu může být znečištěn mechanickými vlivy. Na povrch mohou vlivem větru dopadat částičky prachu, které mohou ochranný povlak nebo samotný kov obrušovat, popřípadě může být materiál znehodnocen jinými látkami jako je mastnota. Dále může být povrch kovu znečištěn chemicky vznikajícími produkty koroze jako jsou okuje nebo rez. Procesy, kterými lze dosáhnout zlepšení vlastností, např. zvýšení přilnavosti, odolnosti proti korozi či opotřebení, lze rozdělit do dvou základních skupin, těmi jsou mechanické úpravy povrchu a chemické úpravy povrchu, ale je možná i kombinace obou typů předúprav jako je např. kombinace tryskání a fosfátování. [14]

K mechanickým úpravám řadíme kartáčování, broušení, leštění, omílání, tryskání nebo čištění pomocí laseru. Účelem těchto úprav je zlepšení mechanických vlastností, dosažení požadovaného vzhledu, očištění povrchu od nečistot. Mezi chemické povrchové úpravy lze přiřadit odmašťování, moření, fosfátování a pasivaci. Jedná se o úpravy, které slouží zejména k odstranění nečistot z povrchu kovu.

Povrch základního kovu může být znečištěn různými druhy nečistot, které se zpravidla rozdělují na vlastní a ulpělé. Vlastní nečistoty jsou ke kovu vázány určitou chemickou vazbou tzv. chemisorpcí. Jedná se zejména o nečistoty jako jsou produkty koroze, rez a okuje. Tyto nečistoty jsou nejčastěji odstraňovány mořením. Ulpělé nečistoty jsou vázány k povrchu kovu adhezními silami. Nejčastěji se jedná o zbytky mastných látek, kovové nečistoty, anorganické zbytky a další druhy nečistot, které se odstraňují převážně odmašťováním. [14]

2.1 Mechanické předúpravy povrchů

Snahou mechanických předúprav je odstranění nečistot z povrchu kovu. Slouží i ke zlepšení podmínek pro ukotvení povlaku k povrchu kovu, zlepšení mechanických vlastností povrchu kovu, a dokonce zajištění vhodných vzhledových požadavků, mezi které patří např. jemnost povrchu nebo zvýšení lesku povrchu kovu. [14]

2.1.1 Broušení, leštění, kartáčování

Broušení se provádí za sucha, kdy se využívá brusného nástroje, kterým mohou být kotouče nebo brusné pásy, které lze rozdělit podle jejich hrubosti. K odstranění větších nerovností slouží tzv. hrubé broušení, při kterém se využívá brusných nástrojů s označením 24–100, což udává jejich hrubost. Dále je možné využít tzv. jemné broušení s brusivou o hrubosti 120–240 a tzv. předlešťování využívající kotouče s označením 280–500, kterými se povrch připraví pro leštění. Leštění lze využít pro odstranění nejjemnějších druhů nečistot z povrchu základního materiálu nebo k zvýšení lesku už upraveného povrchu kovu. Kartáčování lze použít stejně jako broušení, tedy k odstranění hrubých nečistot. Pro ocelové výrobky se k odstranění nečistot používají zejména ocelové drátky. A pro neželezné výrobky se používají drátky z jiných materiálů jako je mosaz nebo keramika. Možné je použít také měkké a pružné kartáče z přírodních nebo umělých vláken, na kterých lépe přilnou brusné pasty. Používanými materiály mohou být nylon, bavlna, semiš, plst' apod. [14]

2.1.2 Omílání

Omílání využívá během procesu čištění bubnu, který koná vibrační nebo rotující pohyby a slouží převážně k předúpravě povrchu malých kovových předmětů, jejichž hmotnost nepřesahuje 1 kg. Dochází zejména k omílání materiálu, k odlamování okují a ořepů, ale také k broušení nebo leštění. To vše je způsobeno pohybem omílacích tělísek a působení tlaku. Navíc je možné využít chemických prostředků pro odstranění mastnot a pro čištění omílaných

součástí. Jako omílací tělíska je možné využít různé druhy materiálů různého tvaru mezi které patří křemičitý písek, korundová tělíska, ocelové granulky apod. [14; 15]

2.1.3 Otryskávání

Otryskávání je jednou z nejpoužívanějších předúprav v průmyslu. Rozdělujeme dva způsoby technologie otryskávání, těmi jsou suché a mokré tryskání. Rozdíl mezi oběma způsoby je znázorněn na obrázku č. 2.

Suché tryskání je způsob úpravy, při kterém je tryskací materiál (abrazivo) vrhán vysokou rychlostí na povrchu kovu, kde zrna abraziva odstraní rez, okuje, a navíc materiál zdrsní díky čemu lépe přilne nátěrová hmota k povrchu kovu. Intenzita čištění povrchu kovu je závislá na abrazivu, zejména na tvaru zrn, hmotnosti, velikosti a tvrdosti. Jako abrazivo se nejběžněji používá křemičitý písek za maximálního působení tlaku 0,3 MPa, při kterém je abrazivo tryskáno na povrch kovu. Dále je možné využít litinovou drť s maximálním tlakem 0,7 MPa, umělý korund, balotinu nebo umělé a speciální materiály jako jsou skleněné kuličky, umělé hmoty, drť z pecek, skořápky ořechů. [2]

Mokré tryskání využívá abraziva, které je ve směsi s vodou, jenž je urychlována vzduchem. Tento způsob úpravy je velmi šetrný k základnímu materiálu, čímž lze dosáhnout velmi jemného, rovnoměrného, bez poškození upraveného povrchu. Využití kombinace abraziva s vodou má řadu výhod jako je menší spotřeba abraziva, vyšší tok abraziva, možnost použití jemnějšího abraziva, nevytváří se elektrostatický náboj, značné sjednocení povrchu, oplach povrchu, tzn. že povrch kovu je bez prachu nebo bez zaplnění otvorů abrazivem. Také je výhodou možnost kombinace odmaštění a tryskání v jednom kroku. Značnou výhodou je i možnost recirkulace, což způsobuje minimalizaci zatěžování životního prostředí. [16] Kvůli vodě, která se používá během procesu mokrého tryskání může docházet ke vzniku koroze. Tomuto problému se dá zabránit s použitím inhibitoru koroze, který se běžně mísí s tryskací vodou. Po procesu tryskání je potřeba odstranit veškerou přebytečnou vodu z povrchu kovu např. použitím elektrického ventilátoru. [17]



Obr. 2. Rozdíl mezi suchým a mokrým tryskáním [16]

2.1.4 Čištění povrchu laserem

Čištění povrchu laserem je proces, který nevyžaduje žádná abraziva nebo chemikálie, a který je šetrný k životnímu prostředí. Čištění pomocí laserového paprsku je významné díky své vysoké efektivitě, přesnosti, nenáročnosti na údržbu a nízkým provozním nákladům. Vzhledem k jeho účinku na podklad lze tuto techniku rozdělit na laserové čištění a laserové texturování. Laserový paprsek má nízkou hustotu energie a snadno odstraňuje z povrchu vrstvu oxidů nebo nečistot, bez poškození vrstev. Laserové textury vykazují vysokou hustotu energie, a to může vyvolávat mikroskopické deformace na povrchu, ale zaručuje dokonalou adhezi povlaku na základním kovu, navíc zvyšuje životnost a odolnost proti opotřebení. Výhodou čištění povrchu laserem je také odstranění vrstev nečistot ve volitelných hloubkách jak lokálně, tak i na velkých plochách. Existuje široké spektrum laserových zdrojů, a protože některé jsou poměrně nové, je zapotřebí nejprve provést test s optimálním nastavením celého procesu před samotnou aplikací. [18; 19] Čištění povrchu laserem je možné využít i pro odstranění mořského biofilmu, který se vytvořil na površích slitin hliníku. Tento způsob je využíván zejména v oceánských oblastech. Pro rychlé odstranění biofilmu je možné použít nanosekundový vláknový laser. [20]

2.2 Chemické předúpravy povrchů

Během chemické předúpravy dochází za pomoci chemických přípravků k odstranění nečistot z povrchu kovů, zejména olejů a dalších mastnot před samotným procesem lakování. Přípravky

určené k odmaštění sice splní požadavek přípravy povrchu materiálu před lakováním, ale už nesplňují nároky korozní odolnosti nátěrového systému. Z tohoto důvodu se využívá kombinovaných procesů, které v jednom kroku povrch kovu odmastí a zároveň vytvoří konverzní vrstvu. Tímto procesem je značně rozšířené železité a zirkonové fosfátování. [14; 21]

2.2.1 Odmašťování

Odmašťování slouží k odstranění všech druhů nečistot, které se díky odmašťovacím prostředkům převedou do roztoku nebo emulze a zároveň je zabráněno zpětnému vyloučení na povrchu kovového materiálu. Odmašťování se dělí dle použitého prostředku, proto je možné rozdělit procesy na odmašťování v organických rozpouštědlech, v alkalických roztocích, elektrolytické odmašťování, odmašťování v neutrálních roztocích, emulzní odmašťování, odmašťování opalováním, vysokotlaké kapalinné odmašťování a mezi nově používané patří také odmašťování ultrazvukem nebo odmašťování v parách. Dále rozlišujeme odmašťování podle způsobu aplikace, možnými technikami jsou odmašťování ponorem, postřikem, v parách, elektrolytické a ultrazvukem. Nejvhodnější aplikace je ovlivněna samotným výrobkem, zejména tvarem, hmotností, velikostí, kvalitou povrchu, ale také kapacitou zařízení. [14; 21]

2.2.1.1 Odmašťování v organických rozpouštědlech

Jedná se o nejjednodušší způsob odmašťování. Pro hrubě znečištěný povrch materiálu lze využít petrolej, který slouží pro předběžné čištění. Povrch materiálu zůstává lehce mastný, proto je zapotřebí ho dočistit jiným způsobem. Možné je použít i rozpouštědla na bázi benzínu a nafty. Nejvíce vyhovující jsou rozpouštědla chlorovaných uhlovodíků jako je trichloretylen, který má dobrou rozpouštěcí schopnost. Nevýhodou jsou jeho narkotizační účinky a schopnost se pomocí slunečního záření rozkládat. Rozkladem může vznikat chlorovodík, popřípadě fosgen, který je vysoce jedovatý, a navíc může způsobit korozi materiálu. Možnou alternativou je použití přípravků na bázi alifatických uhlovodíků. [2]

2.2.1.2 Odmašťování v alkalických roztocích

Roztoky jsou složeny z několika látek, neboť se na povrchu kovu mohou vyskytovat různé druhy nečistot. Rostlinné a živočišné tuky i oleje se působením chemicky mění, zmýdelňují se. Mastné látky minerálního původu, které jsou chemicky odolnější a nelze je tímto způsobem odstranit emulgují tzn., že přechází do roztoku v podobě kapek. Pro členité předměty, kde se hůře oplachují zbytky roztoku, není vhodné využívat alkalické roztoky, protože by mohly způsobovat korozi materiálu, nebo závady při dalších úpravách. Hlavní složkou těchto roztoků jsou hydroxidy, zásadité soli a povrchově aktivní látky, které mohou být emulgující, deemulgující nebo se může jednat o kombinované tenzidy. Proces se nejčastěji provádí ponorem v odmašťovacích lázních nebo postřikem při teplotě 30–60 °C. [14; 21]

2.2.1.3 Elektrolytické odmašťování

Využívá se jako konečná úprava před galvanickým pokovováním, kdy se jedná v podstatě o alkalické odmašťování včetně působení stejnosměrného proudu a následkem toho se látky alkalického roztoku disociují. Podle způsobu zapojení je možné elektrolytické odmašťování rozdělit na katodické, anodické a katodicko-anodické. Katodické odmašťování je účinnější než anodické, díky mechanickému vývinu vodíku, kterého je dvojnásobně více než kyslíku na anodě. Nevýhodou je možnost tvorby vodíkové křehkosti nebo může docházet k vylučování kovových nečistot a k jejich následnému usazování na odmaštěném povrchu. Během anodického odmašťování nedochází k tak velkému mechanickému účinku kyslíku. Narozdíl od katodického odmašťování u anodického nevzniká vodíková křehkost a díky vyvíjenému kyslíku dochází k částečnému naleptání povrchu kovu. [14] Nejúčinnější je však katodicko-anodické odmašťování, které využívá vlastností obou způsobů zapojení. Dochází k odmašťování materiálu po určitou dobu na katodě a kratší dobu na anodě, což je zapříčiněno efektivnějším odmašťováním na katodě. V praxi se nejvíce využívá pracovních podmínek proudové hustoty 6 A/dm², teploty 30 °C a napětí 3,5 V po dobu 2 minut. Vzhledem k nebezpečí vzniku vodíkové křehkosti by se neměla překračovat doba 5 minut. [3; 22] Dochází k difúzi vodíku do oceli, tedy zpravidla se jedná o korozi uvnitř materiálu, která se nemusí na povrchu kovu výrazně projevit. Vodík se hromadí v místě poruch, kde vytváří vysoký tlak, který může

způsobit zkřehnutí nebo popraskání materiálu. V některých případech je možné se setkat s vodíkovou křehkostí i na povrchu materiálu, kde dochází k tvorbě důlků a puchýřků. [23] Pro intenzivnější účinek a zkrácení doby odmaštění je možné do odmašťovací lázně zavést ultrazvukové vlnění. Toto vlnění zapříčiní tlakové změny což vyvolá pohyb malých částecek, které intenzivně napadají povrch kovu a tím ho čistí. [14]

2.2.1.4 Odmašťování v neutrálních roztocích

Jedná se o vodné roztoky tenzidů, které se používají pouze při ručním způsobu odmašťování, neboť by při jiném mohlo docházet k nekontrolovatelnému pění. Další způsob odmašťování je postřikem z proudnice, který používá pěnu s kapalným disperzním prostředím sloužící pro odstranění nečistot ze špatně přístupných míst. [2]

2.2.1.5 Odmašťování v emulzních roztocích

Odmašťuje se převážně postřikem nebo máčením, ale je možné využít i ručního nanášení, natíráním. Jedná se o směs organických rozpouštědel, která navíc obsahuje organické emulgátory jako jsou sulfonáty nebo mýdla a alkálie udržující mírnou alkalitu. Rozpouštědlo rozpouští mastnoty, snižuje jejich viskozitu a přítomný emulgátor podporuje průnik do hlubších vrstev nečistot. Následně při oplachu vodou dochází k odplavení rozpuštěných nečistot společně s emulgátorem ve formě vodné emulze. Problém nastává při čištění odpadních vod kvůli tvorbě stabilních emulzí. [14]

2.2.1.6 Odmašťování opalováním

Jedná se o způsob, který využívá ohřátí předmětu na teplotu, kdy dojde ke spálení nečistot, kterými jsou nejběžněji mastnoty. Podle druhu nečistot a materiálu volíme vhodnou teplotu. Dokonalé spálení u jednotlivých mastných látek je možné jen v určitém rozmezí teplot. Mastnoty se mění na plynné zplodiny a vodu a na povrchu materiálu zůstanou jen nečistoty ve

formě prášku, které je možné snadno odstranit. Při nižších teplotách dochází k tvorbě amorfního uhlíku, který vzniká kvůli uhelnatění mastných látek. Vzniklý amorfni uhlík se odstraňuje dodatečně. Při vyšších teplotách se mastné látky vpalují do povrchu kovu, kdy je následně velmi obtížné jejich odstranění. [3] Pokud se na povrchu kovu z důvodu spalování vytvoří oxidická vrstva, je možné ji odstranit mořením nebo mechanickými úpravami např. tryskáním. [14]

2.2.1.7 Vysokotlaké kapalinné odmašťování

Technologie využívá vodního paprsku nejběžněji o tlaku v rozmezí 1,5–2,5 baru, ale je možné využít tlaku až 60 MPa. Technologie slouží pro čištění povrchu kovového materiálu, a to od nečistot jako je mastnota, ale i rez. [2; 3] Při tryskání je možné použít demoliční trysky, které mají na výstupu pouze jednu trysku s různými průměry nebo je možné použít rotující trysky, které mají na výstupu tři až šest trysek, které zajišťují maximální účinek při čištění. Nejběžněji se k čištění používá voda, ale je možná i kombinace vody s inhibitory koroze k zajištění vyššího účinku. [24]

2.2.1.8 Odmašťování ultrazvukem

Jedná se o proces, který se využívá v mnoha průmyslových odvětvích pro přípravu povrchu pro pokovování a nanášení nátěrových hmot, čištění karosérií automobilů, pasivace atd. Výhodou ultrazvuku je značná efektivita odstranění nečistot ve špatně přístupných oblastech. V procesu čištění ultrazvukem jsou zavedeny dva mechanismy, těmi jsou kavitační a akustické proudění. Kavitační proudění spočívá v explozi kavitačních bublin a výslednou rázovou vlnou, která směřuje všemi směry. Akustické proudění je charakterizováno jednosměrným tokem, kdy tlakový gradient je kolmý k měniči a následkem toho se v kapalině vytvoří miliony bublin. Imploze těchto bublin společně s akustickým prouděním, které je vyvoláno zvukovými vlnami, uvolňuje nečistoty z povrchu kovů. Celý proces spočívá v převodu síťového napětí a následné transformaci v ultrazvukovém generátoru na vysokofrekvenční elektrický signál. Pomocí převodníku je energie přeměněna na mechanické zvukové vlny. [25] Aby se dosáhlo požadované efektivity, používá se megasonické čištění v rozsahu 0,8–0,9 MHz pro odstranění

nečistot bez známek poškození upravovaného povrchu kovu. [26] Díky zvukovým vlnám se vytvoří v kapalině miliony bublin, které rostou a implodují na čištěné povrchy kovů. Tento jev se nazývá kavitace a způsobuje silné stříhové působení pro čištění. Ultrazvukové čištění má značnou výhodu pro odstranění nečistot ze špatně přístupných míst. [3]

2.2.1.9 Odmašťování v parách rozpouštědel

Proces, při kterém dochází k ponoření čištěného kovu do par rozpouštědel. K odstranění nečistot z povrchu kovu jsou využívány nehořlavé kapaliny s nízkým bodem varu. Čištěný povrch má nižší teplotu než páry rozpouštědla, důsledkem toho páry kondenzují na povrchu a rozpouští nečistoty jako jsou tuky a oleje. Následně je materiál zapotřebí schladit, dojde k částečnému odpaření rozpouštědel a povrch kovu tak zůstane suchý a bez skvrn. Jedná se o nepřetržitý a automatický recyklační proces, který udržuje rozpouštědla čerstvá a účinná. Kromě výhody recyklace se jedná o spolehlivou a účinnou technologii s nízkou spotřebou energie. [25]

2.2.2 Moření

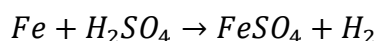
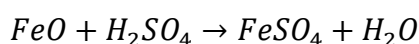
Moření je způsob odstraňování korozních zplodin, zejména okují a rzi z povrchu kovu. Okuje vznikají za vysokých teplot při výrobě oceli a rez je produktem atmosférické koroze. [3] Nečistoty se pomocí kyselin nebo louhů převedou na rozpustné soli, které se následně pomocí vody opláchnou. [2]

Nejčastěji využívanými kyselinami jsou kyselina chlorovodíková, kyselina sírová a kyselina fosforečná. [2] Během reakce při moření vznikají produkty, kterými jsou soli základního kovu. Pro ocel lze využít k moření např. kyselinu sírovou a důsledkem toho vznikne sůl základního kovu, kterou je síran železnatý a při moření kyselinou chlorovodíkovou vznikne chlorid železnatý. Kromě soli vzniká i vodík při reakci kyseliny se základním kovem, výjimkou je rozpouštění okují, kdy se vodík nevytváří. Pro moření hliníku se používá převážně roztok 3–10 % NaOH, který je zahřátý na teplotu 40–70 °C. Proces moření trvá zhruba 2 minuty, přičemž jsou rozpuštěny produkty koroze, ale může být rozpuštěn i základní kov. Z tohoto důvodu je

důležitou součástí oplach vodou, který by měl být zhruba po 0,5–1 minutě. Následně by se měl povrch kovu po oplachu pasivovat, protože pouhým sušením by mohl hrozit vznik koroze. [3; 9]

2.2.2.1 Moření v kyselině sírové

Kyselina sírová vniká trhlinkami a póry do vrstvy okují, které rozpouští. Kromě okují se rozpouští i samotný kov podle reakcí:

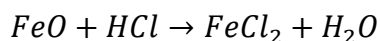


Rovnice 1. Moření v kyselině sírové [14]

Vodík během moření snadno difunduje do ocele, to je důvodem možného vzniku vodíkové křehkosti, a to vede k zhoršení mechanických vlastností i zhoršení přilnavosti ochranných povlaků. Nejčastěji se ocel moří v kyselině sírové o koncentraci 5–20 % a teplotě 40–70 °C po dobu 10–30 minut. Při moření se ocel ponořuje do lázně kyseliny, která se vyčerpává, ztrácí svoji účinnost a roste obsah železa. Lázeň je zapotřebí vyměnit, pokud je dosažená koncentrace železa 90 g/l. Po moření se musí povrch kovu opláchnout vodou, která obsahuje přísady Na_2CO_3 , $Ca(OH)_2$, které jsou zapotřebí k neutralizaci. [2]

2.2.2.2 Moření v kyselině chlorovodíkové

Kyselina chlorovodíková méně napadá kovový povrch a zaručuje vyšší rychlost moření a čistotu než kyselina sírová. Kromě toho celý proces probíhá rovnoměrněji a tím se rozpouštění oceli a vznik vodíku zpomaluje. Proces probíhá za teploty 20 °C, nedochází k ohřevu lázně a využívá se koncentrace 10–20 %. Kyselina chlorovodíková rozpouští oxidy železa obvykle na chlorid železnatý podle reakce:



Rovnice 2. Moření v kyselině chlorovodíkové [14]

Nejčastěji se tento pochod využívá před smaltováním a galvanickým pokovováním. Lázeň se mění při obsahu železa 100–110 g/l. [14]

2.2.2.3 Moření v kyselině fosforečné

Kyselina fosforečná dobře rozpouští okuje a málo naleptává kov. Oproti jiným kyselinám nevzniká nebezpečí vodíkové křehkosti. Používá se obvykle 10–20 % roztok kyseliny fosforečné, který je zahřátý na teplotu 40–70 °C. Za zvýšené teploty (nad 80 °C) by způsobovala silnou korozi oceli. Kyselina proniká trhlinkami a póry k povrchu základního kovu a rozpouští okuje. Během procesu můžou vznikat zplodiny, které mohou být nerozpustné. Vzniká primární fosforečnan železnatý, který je rozpustný ve vodě, sekundární fosforečnan železnatý, který je částečně rozpustný ve vodě a terciární fosforečnan železnatý, který je nerozpustný ve vodě. Z tohoto důvodu je možné, aby v lázni vznikal pouze primární fosforečnan železnatý, protože ostatní fosforečnany by působily pod nátěrem negativně, kvůli velkému množství rozpuštěného železa. Při koncentraci 150 g kyseliny fosforečné na 1 litr je možný obsah železa pouze 15 g/l. Možným zamezením je použití iontoměníčů, které odstraňují železo z lázně a zamezují vzniku sekundárního částečně rozpustného fosforečnanu. [3]

2.2.3 Odrezování

Technologie, která funguje v podstatě na stejném principu jako moření. Na rozdíl od moření, kde jsou odstraňovány okuje, dochází při odrezování k odstranění rzi z povrchu kovu. Rez je produkt atmosférické koroze a je lépe rozpustná než okuje. K odstranění rzi se nejběžněji využívá kyselina sírová, kyselina fosforečná a kyselina chlorovodíková. Tedy jsou využívány stejné látky jako pro odstraňování okují, ale s rozdílem, že při odrezování se používají kyseliny méně koncentrované, a dokonce samotný proces probíhá v kratším časovém úseku. [3] Odrezování je možné provést postřikem, ponorem nebo natíráním. [14]

Existují dva způsoby odrezování. První způsob je využití bez oplachových odrezovačů. Tento způsob spočívá v tom, že převede korozi na nerozpustné sloučeniny na povrchu kovu, které vykazují vysokou adhezi a vytvoří ochrannou vrstvu kovu. Druhým způsobem jsou oplachové

odrezovače. Nejběžněji se využívá kyselina fosforečná, která působí na rez, rozpustí ji a následně se povrch kovu opláchne vodou. [14]

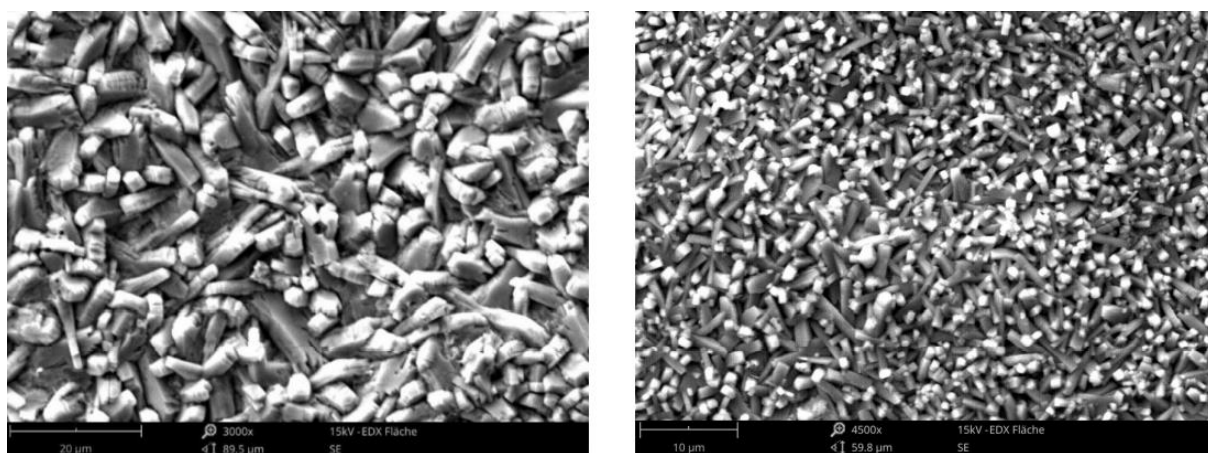
2.2.4 Fosfátování

Fosfátování patří k nejrozšířenějším technologiím používaným k předúpravě kovových materiálů. Povrch hliníku a zinku je chráněn pasivní vrstvou oxidů, která zpomaluje účinky fosfátu nebo dokonce zabrání reakci se základním kovem. Proto je důležité přidat do lázně látky, které povrch depasivují a zároveň zvyšují reaktivitu kovů. Aplikací, která může být provedena ponorem nebo postřikem, vzniká na povrchu kovu krystalická vrstva nerozpustných fosforečnanů. Nejběžněji využívanými přípravky jsou na bázi fosforečnanu zinečnatého nebo fosforečnanu železnatého. Fosfátování je významné kromě dobré povrchové úpravy i tím, že vytvoří vrstvu, která velmi dobře přilne k povrchu základního kovu. Vzniklá vrstva je pórovitá, tím se vytvoří vhodné podmínky pro ukotvení nátěru. [2; 3]

Nejrozšířenější typem lázně je jednosložkový, kapalný univerzální přípravek sdružené operace železnatého fosfátování a odmaštění. Aplikuje se ponorem, ale častěji postřikem a využívanými prostředky jsou složením kombinací anorganických složek dihydrogenfosforečnanů alkalických kovů a urychlovačů, které urychlují celý proces fosfátování a jsou nejčastěji na bázi molybdenanů s organickými povrchově aktivními látkami zajišťující schopnost odmaštění. Po aplikaci se vytváří amorfni, kompaktní, tenká vrstva fosforečnanu železnatého. Podle druhu nanášení fosfátového povlaku rozlišujeme rozdílné pracovní podmínky. Pro ponorovou aplikaci se používá koncentrace prostředků v lázni v rozmezí 2–3 %, zatímco pro postřikovou aplikaci je koncentrace v rozmezí 1–2 %. Dále se liší i doba fosfátování, která pro ponorovou aplikaci dosahuje 3–6 minut s teplotou lázně 50–70 °C a pH 3,5–5. Pro postřikovou aplikaci je doba fosfátování obvykle 1–3 minuty, teploty se pohybují mezi 40–60 °C a pH 4–5,5. [27]

Účinnější variantou je aplikace zinečnatého fosfátování, zajišťující výbornou přilnavost a korozní odolnost, zejména vyšší odolnost proti podkorodování. Stejně jako u železnatého fosfátování je možné aplikaci provádět ponorem, ale opět častěji se využívá aplikace postřikem, u které základními složkami jsou ionty zinku, fosforečnany a oxidační činidla. Koncentrace se značně liší. Pro silnější vrstvu povlaků se využívá koncentrace obsahující 3–4 g/l Zn^{2+} a pro tenkou vrstvu povlaků 0,7–1,5 g/l Zn^{2+} , navíc se jedná o minimální koncentraci pro tvorbu

povlaků ponorem. Obvykle používanými aditivy pro zlepšení vlastností (odolnost povlaku apod.) jsou dusičnany, fluoridy, fluorokřemičitany, ionty niklu a manganu. Oproti železnatému fosfátování probíhá proces o nižší teplotě dosahující 45–55 °C s pH lázně 2–3,5. V dnešní době lze nahradit běžný proces ponorového a postřikového zinečnatého fosfátování technologií nízkoteplotního zinečnatého fosfátování bez výrazných zásahů do procesní linky. Na obrázku č. 3 je znázorněna rozdílná struktura zinečnatého a nízkoteplotního zinečnatého fosfátu, která je způsobena rozdílnou teplotou během procesu. Zatímco zinečnaté fosfátování využívá teplot v rozmezí 45–55 °C, nízkoteplotní zinečnaté fosfátování využívá teplot lázně v rozmezí 30–40 °C. Následkem toho se dosáhne menší velikosti částic, ale i nižší energetické náročnosti, menšího obsahu kalu a snížení provozních nákladů, na rozdíl od běžného zinečnatého fosfátování. [28; 29]



Obr. 3. Struktura zinečnatého fosfátu (vlevo) a nízkoteplotního zinečnatého fosfátu (vpravo) [28]

2.2.5 Pasivace

Pasivací se rozumí proces, při kterém dochází k výraznému poklesu rychlosti korozivních reakcí nebo se reakce zcela zastaví a dosahuje tak chemické odolnosti. K tvorbě pasivační vrstvy může dojít samovolně nebo ji můžeme vytvořit uměle. Vytvořené ochranné vrstvy mohou být různé tloušťky a také rozdílného zbarvení od základního kovu. Důležitý je vhodný výběr látek, aby nedocházelo k možné nekontrolovatelné degradaci nátěru. Vhodnými látkami k pasivaci jsou chromové sloučeniny, které jsou poměrně stálé a nemají na nátěr negativní vliv. Pasivaci na bázi chromových sloučenin tzv. chromátování je možné provést roztokem kyseliny chromové. Proces pasivace se provádí ponorem do lázně o teplotě 95 °C po dobu 1 minuty a následně probíhá oplach horkou vodou a sušení. Tento způsob se využívá jako mezivrstva

před použitím vrchního povlaku nátěrové hmoty. [3; 22] Sloučeniny šestimocného chromu jsou již považovány za karcinogenní, způsobující rakovinu plic, nosu a dutin. Z tohoto důvodu se začaly vyvíjet nové metody pasivace. [30]

Novinkou v oblasti předúprav je zirkonová pasivace s výbornou adhezí a korozní odolností, a navíc je často označována jako náhrada za zinečnaté fosfátování. Samotný proces pasivace je srovnatelný s fosfátováním s rozdílem, že zirkonová pasivace má snížený dopad na životní a pracovní prostředí, má nižší regulační a energetické nároky a další náklady spojené s touto technologií předúpravy. Výhodou je i minimální množství kalu a dosažení nižší tloušťky se zachováním korozní odolnosti. Aplikaci je možné provádět ponorem i postříkem s nízkou teplotou lázně pohybující se v rozmezí 20–30 °C s hodnotou pH 4,2–5,2. Doba úpravy závisí na stavu povrchu materiálu, ale nejčastěji se pohybuje v rozmezí 0,5–2 minuty pro aplikaci postříkem a 2–5 minut pro aplikaci ponorem. [29; 31] Po provedení zirkonové pasivace se předmět pokryje vrstvou typické zlatavé barvy jako je znázorněno na obrázku č. 4.



Obr. 4. Typicky zlatavá barva zirkonové pasivace

3 Technologie nanášení organických povlaků používané v průmyslové praxi

Použití organických povlaků je v průmyslu nejvyužívanější způsob ochrany kovových materiálů vůči atmosférické korozi a je založen především na bariérovém způsobu ochrany. Značnou výhodou oproti ostatním povlakům je jednoduchost tvorby, nanášení, ale také široké spektrum barev, druhů a kvality nátěrového filmu. Mohou mít různorodé specifické vlastnosti pro rozdílné způsoby použití. Použitím nátěrových hmot na bázi organických povlaků se dosahuje zvýšené odolnosti kovového materiálu proti působení povětrnostních vlivů, mořské vodě, zvýšených teplot včetně ohně atd. Dále je možné organické povlaky používat díky dekorativním, fungicidním, baktericidním, svíticím, matovacím a dalším speciálním účelům. [14; 32]

Organický povlak lze chápat jako celek složený z polymerní matrice, pigmentů a plniv, popřípadě dalších aditiv, které slouží k dosažení požadovaných vlastností. Povlaky můžeme nanášet v různých vrstvách, proto nátěry lze dělit na jednovrstvé a vícevrstvé. [32; 33]

Pro průmyslové aplikace je důležitý i vývoj nových technologií, které by zaručovaly delší životnost povlaků, snížení spotřeby energie nebo minimalizaci zatěžování životního prostředí. Používanými organickými povlaky pro průmyslové aplikace jsou na bázi rozpouštědlových nátěrových hmot, vodou ředitelných nátěrových hmot nebo práškových nátěrových hmot. [14]

3.1 Nanášení povlaků na bázi rozpouštědlových nátěrových hmot

Nátěrové hmoty jsou označovány jako produkty sloužící k provádění nátěrů. Základními složkami jsou filmotvorné látky organického původu a rozpouštědla.

Nátěr je souvislý povlak požadovaných vlastností, který vznikne po nanesení a zaschnutí jedné nebo více nátěrových vrstev na povrchu upravovaného kovového předmětu.

Filmotvorné látky jsou netěkavé organické látky, které mají schopnost vázat dispergované částice pigmentu a plniv, a také schopnost tvořit po zaschnutí souvislý film různé tloušťky. Jedná se o látky určující fyzikální vlastnosti nátěrové hmoty, s čímž je spjata i ochranná

účinnost a životnost nátěru. Chemické vazby filmotvorných látek určují odolnost vůči chemikáliím a povětrnostním vlivům. [14]

Rozpouštědla jsou těkavé látky, ve kterých jsou rozpuštěny filmotvorné látky. Umožňují úpravu viskozity nátěrových hmot pro aplikaci na povrchy materiálů. Přítomností malého množství rozpouštědel v nátěru se značně snižuje ochranná účinnost nátěru. Výběr vhodného rozpouštědla závisí na rozpustnosti filmotvorných složek.

Pigmenty jsou rozptýleny v pojivech ve formě organických nebo anorganických látek. Udávají barevnost, neprůhlednost, krycí schopnost, zlepšují mechanické vlastnosti, zvyšují tepelnou a korozní odolnost.

Plniva jsou nejběžněji přírodní minerální látky jako jsou např. mastek, křídly, slídy, živce, vápence ve formě jemně mletého prášku, které jsou nerozpustné v pojivech. Slouží k upravování technologických vlastností. Zabraňují smrštění nátěrového filmu po zaschnutí, zabraňují sedimentaci atd.

Aditiva jsou přísady upravující technologické i fyzikální vlastnosti nátěrových hmot. Nejběžněji se jedná o emulgátory, sušidla, stabilizátory, změkčovadla aj. [2; 14]

Volba životnosti i vzhledu produktu závisí na volbě správného typu nátěrové hmoty, popřípadě kombinaci více nátěrových hmot. Nanesením ochranného povlaku se na povrchu materiálu vytvoří pohledová vrstva libovolné barvy a charakteru, která může být lesklá, matná, metalického charakteru a zbarvení, jemné nebo hrubé struktury atd. Na trhu existuje široká škála nátěrových hmot, které se liší svými vlastnostmi a pro dosažení požadovaných vlastností a konkrétního použití musíme volit nejen vhodný typ nátěrové hmoty, ale nesmíme opomenout ani na vhodný typ mechanické či chemické předúpravy. Pro průmyslové aplikace ochranných povlaků jsou v dnešní době nejvíce používané nátěry na bázi epoxidů, polyuretanů nebo melaminu. Dále se používají alkydové, akrylátové, silikátové, polyvinylchloridové a silikonové nátěrové hmoty nebo speciální antikorozi základové nátěrové hmoty, antimikrobiální, izolační a antigrafitové nátěrové hmoty. [21]

Pro snadnější orientaci při práci s nátěrovými hmotami byl kvůli jejich rozmanitosti vytvořen systém usnadňující rozeznání a rozdělení nátěrových hmot podle označení, druhu a barevného odstínu. Rozdělení a značení standartních nátěrových hmot je uváděno písmenem skupiny odkazující na základní surovinovou bázi výrobku, následuje čtyřmístné číslo. První číslice

udává druhy nátěrové hmoty. Například označení O 1108 – lak olejový venkovní, S 6022 – ředidlo do syntetických nátěrových hmot. [2]

Nátěrové hmoty je možné rozdělit na transparentní a pigmentované. Transparentní nátěrové hmoty tvoří průhledný nátěrový film, který můžeme označit jako lak. Pigmentované nátěrové hmoty tvoří neprůhledný nátěrový film, který se nazývá email, tmel nebo základový nátěr. Rozdíl je v obsahu pigmentu. Email má oproti tmelu nižší obsah pigmentové složky.

Nanášení a použití správné technologie je faktor, který výrazně ovlivňuje životnost i další vlastnosti ochranného povlaku. Navíc ovlivňuje ekonomii, pracnost a životní prostředí. Proto při volbě vhodné technologie závisí na upravovaných předmětech, zejména na jejich velikosti, tvaru a množství. Dále závisí na kvalitě povrchu kovového materiálu, na jeho pórovitosti, stupni očištění a s tím spojenou kvalitou provedené předúpravy. Volba technologie závisí i na požadovaných vlastnostech konečného nátěru, kde se požaduje různá tloušťka, vzhled a odolnost vůči různým druhům namáhání nátěrového filmu. S tím souvisejí vlastnosti nátěrových hmot, které mají různou rychlost zasychání, slévavost nebo jiné reologické vlastnosti. Také závisí na pracnosti a nákladech na proces nanášení ochranných povlaků, čímž jsou myšleny investiční náklady nebo další výdaje, které mohou být zapříčiněny ztrátami nátěrových hmot při jejich aplikaci. V dnešní době s řadou opatření závisí při volbě vhodné technologie i na bezpečnosti pracovníků a ochranně životního prostředí.

Před samotným nanášením nátěrových hmot je důležitým krokem předúprava povrchu materiálu. Jakákoliv nečistota jako je mastnota, rez, okuje, prach atd. výrazně ovlivňuje dobu zasychání a přilnavost nátěru, což může být důsledkem poškození ochranné vrstvy.

Existuje mnoho technologií využívaných pro nanášení nátěrových hmot. Aby se dosáhlo co nejmenších možných ztrát nátěrových hmot, náročnosti nanášení atd., jsou neustále vyvíjeny nové technologie.

Mezi nejběžněji využívané technologie pro nanášení povlaků na bázi rozpouštědlových nátěrových hmot patří nanášení štětcem, technikou coil-coating, máčením, poléváním a různé způsoby stříkání, přičemž nejmodernějšími a hojně rozšířenými technologiemi nanášení ochranných povlaků jsou postupy stříkání v elektrickém poli a kataforetické lakování. [14]

3.1.1 Nanášení nátěrových hmot štětcem

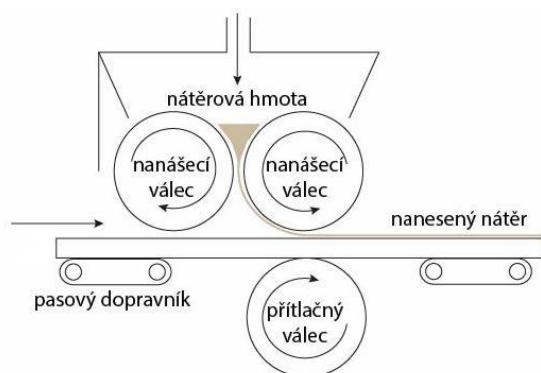
Jedná se o nejdéle využívanou technologii pro úpravu materiálu, kde není možné využít výhodnější technologii nanášení. Štětce mohou nabývat různých tvarů, kulatých nebo plochých s různou velikostí, ale i druhů štětin, které mohou mít syntetická vlákna, přírodní štětiny nebo žíně. [22] Před nanášením nátěrové hmoty je zapotřebí zajistit pro dobré roztírání vhodnou konzistenci, která se určuje pomocí výtokového pohárku. Nejvhodnější konzistence je při výtokové době 40–150 s o průměru výtokového pohárku 4 mm. [3] Dále se musí dbát na dostatečném očištění povrchu materiálu, aby nedocházelo k poškození nátěrové hmoty a tím k degradaci povrchu kovu. [34] Namočený štětec se mírným tlakem přitlačí k povrchu materiálu a roztírá se jedním směrem, přičemž se štětec vyprazdňuje a následně bez namočení se nátěr roztírá ve směru kolmém na původní tahy štětcem. Nátěry mají díky tlaku, který se vytváří přitlačením štětce k povrchu kovu dobrou přilnavost, neboť se nátěr zachytí v pórech materiálu. [2] Výhodou této technologie jsou malé ztráty nátěrových hmot a malé množství potřebných ředidel a díky tomu nátěr dosahuje větší tloušťky. Nevýhodou je lidská pracovní síla, která musí nabývat určité zručnosti a povrch nátěru nemusí dosahovat požadovaných kvalit jako u jiných technik nanášení ochranných vrstev na povrch materiálu. [34]

3.1.2 Nanášení nátěrových hmot technikou coil-coating

Technika coil-coating využívá navalovacího stroje k povrchové úpravě nekonečných kovových pásů. Upravované povrchy kovových pásů nabývají tloušťky 0,15–1,5 mm a šířky až 1800 mm. [34] Velkou výhodou této techniky je možnost automatizace, produktivita práce, vysoká kvalita požadovaných vlastností jako je tvrdost, životnost, stálobarevnost atd. Dalšími výhodami jsou nízké náklady a malé ztráty nátěrových hmot. [14]

Celá linka je konstruována způsobem, že v první části se odvíjí kovový pás z odvíjecího stojanu. V další části jsou jednotlivé konce spojovány (nejběžněji svářením) v nekonečný kovový pás. Před samotným nanášením nátěrové hmoty projíždí kovový pás linkou, kde je důkladně očištěn a zbaven nečistot např. fosfátováním, odmašťováním apod. V celém procesu mají pásy konstantní rychlost pohybující se v rozmezí 0,06–2,5 m.s⁻¹ pro dosažení požadovaných kvalit. [3] Schéma procesu coil-coating je znázorněn na obrázku č. 5. Kovový

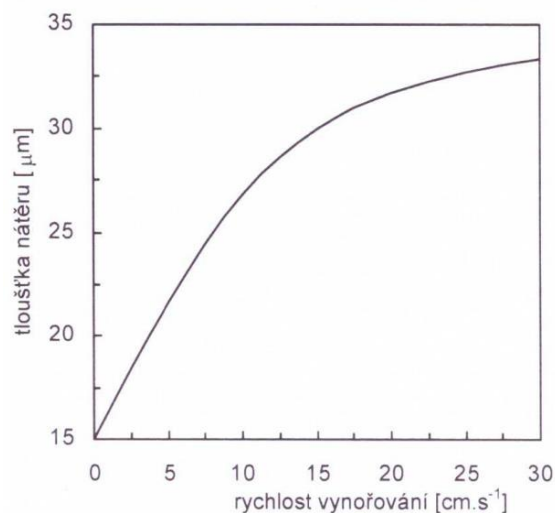
pás se pohybuje pomocí pásového dopravníku mezi nanášecí a přítlačný válec. Nátěrová hmota je aplikována na povrch kovových pásů navalováním pomocí válců, kterých je v lince několik, přičemž nátěr může být nanášen na jednu nebo na obě strany povrchu kovu. Válce mohou být ocelové nebo potaženy pryžovým povlakem. Tloušťka nátěrové hmoty se reguluje vzdáleností nanášecího válce, tlakem válců a jejich rychlostí. [14] Aplikaci nátěrových hmot můžeme rozdělit na dva postupy, přímý a nepřímý. Nejvýznamnější rozdíl mezi oběma postupy je ten, že u nepřímého se nanášecí válce pohybují opačným směrem a rozdílnou rychlostí, než je pohyb a rychlost kovového pásu. Tento postup se využívá k tvorbě většiny ochranných i dekorativních nátěrů. Pro zhotovení základového nebo podkladového nátěru se využívá přímého postupu, kdy se válce i pás pohybují stejnou rychlostí a stejným směrem. Po nanesení nátěru je proces zakončen v peci, kde dochází k zesítní nátěru na povrchu kovu. [3]



Obr. 5. Schéma procesu coil-coating [51]

3.1.3 Nanášení nátěrových hmot máčením

Máčení je proces, který spočívá v ponoření materiálu do nádoby obsahující nátěrovou hmotu a vynoření rovnoměrnou rychlostí. Přebytečná nátěrová hmota steče z povrchu materiálu a vytvoří se ochranný film. Tloušťka nátěru závisí na konzistenci, která se určuje pomocí výtokového pohárku o průměru 4 mm a obvykle se pohybuje v rozmezí 18–40 s. Kromě konzistence tloušťka nátěru závisí i na rychlosti vynoření materiálu z nádoby. Tato závislost je znázorněna v grafu na obrázku č. 6. Rychlost vynoření obvykle nabývá hodnot 8–25 cm.min⁻¹.



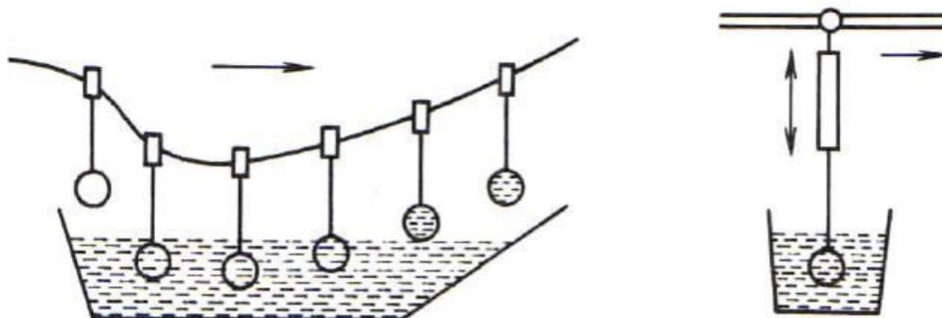
Obr. 6. Závislost tloušťky nátěru na rychlosti vyořování [3]

Kromě rychlosti máčení je důležitý i způsob zavěšování produktů, které je zapotřebí zavěšovat tak, aby nejužší plocha byla naspodu zavěšení, čímž se zamezí narušení vzhledu nátěru na povrchu materiálu. Následně přebytečná nátěrová hmota steče do zešikmeného plechového žlabu. Přebytečné kapky na hranách materiálu se odstraňují ručně (štetcem) nebo v elektrickém poli (odtrháváním). [22]

Dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje proces máčení je viskozita nátěrové hmoty. Proto je důležité do nádob zavádět zařízení, které promíchává celý objem lázně a zabraňuje usazování pigmentových částic. Kromě promíchávání je zapotřebí dodávat určité množství nové nátěrové hmoty, která se během procesu spotřebovala a rozpouštědla, která se z nádoby odpařila. [34]

Nevýhodou je tvorba velkých nádob, které neodpovídají velikosti máčených předmětů, což způsobuje větší ztráty rozpouštědel z důvodu odpařování. Není vhodné používat předměty k máčení, které obsahují ve své struktuře dutiny, ve kterých nátěrová hmota nemusí zcela zaschnout, což by mohlo vést ke vzniku nekontrolovatelných defektů.

Pro technologii máčení se v průmyslové výrobě uplatňují automatizované linky, čímž se výrazně snižuje množství potřebné obsluhy. V zásadě rozdělujeme máčecí systém na kontinuální a cyklický jako je znázorněno na obrázku č. 7. [3]



Obr. 7. Kontinuální máčecí systém (vlevo) a cyklický máčecí systém (vpravo) [3]

3.1.4 Nanášení nátěrových hmot poléváním

Polévání je obdobou technologie máčení, neboť není vhodné používat předměty obsahující dutiny, ze kterých nemá nátěrová hmota možnost vytéct. Značnou výhodou je menší spotřeba nátěrových hmot s možností úprav větší ploch. [2]

Před nanášením musí být povrch kovu dokonale očištěn, zbaven nečistot, které by způsobovaly defekty ochranného povlaku, popřípadě samotného materiálu. Následně dochází k procesu polévání tryskami nebo pomocí clony. Při polévání tryskami projíždí předmět nanášecí kabinou, ve které jsou umístěny trysky, pomocí nich je na kovový povrch materiálu rovnoměrně nanášena nátěrová hmota. Přebytková nátěrová hmota stéká do zásobníku, který je umístěn pod nanášecí kabinou a následně je přefiltrována zpět do trysek s možností opětovaného použití. Také u polévání pomocí clony je možné přebytkovou nátěrovou hmotu přečerpat ze zásobníku k opětovnému použití. Tento způsob procesu je založen na výtoku nátěrové hmoty pomocí štěrbin na povrch kovového materiálu, který se pohybuje ve vodorovném směru. Rychlostí, kterou se materiál pohybuje se reguluje tloušťka vznikajícího nátěrového filmu. [34; 14]

Při procesu clonování se používá tzv. clonovací stroj, který je znázorněn na obrázku č. 8. Tento stroj umožňuje pohyb kovových pasů rychlostí $0-150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a dosahuje obvyklé pracovní šíře okolo 125 cm a délky polévací štěrbin 135 cm. Stroj obsahuje polévací hlavy, které jsou umístěny 100–200 mm nad stolem a nastavitelnou štěrbinu, která dosahuje až 5 mm maximální šíře. Důležité je, aby stroj byl po skončení práce dokonale vyčištěn, protože by malé zbytky nátěru mohly poškodit zařízení. [34]

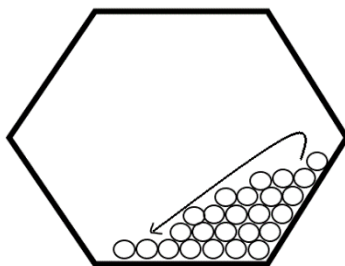


Obr. 8. Clonovací stroj [49]

3.1.5 Nanášení nátěrových hmot v bubnu

Proces nanášení nátěrových hmot v bubnu tzv. bubnování slouží k úpravě velkého množství malých výrobků za použití lakovacího bubnu. Schéma lakování je znázorněno na obrázku č. 9, které spočívá v otáčení bubnu. Nejčastěji se využívá šestistěnného uzavřeného nebo otevřeného bubnu, v němž jsou vloženy drobné předměty k úpravě společně s nátěrovou hmotou. Otáčivým pohybem dochází k obalování výrobků nátěrem a za pomoci vzájemného otírání jednotlivých výrobků vznikne rovnoměrný film. Počet otáček se pohybuje v rozmezí 24–50 ot.min⁻¹. Aby byl počet otáček optimální, využívají se variátory. Upravovaný výrobek musí splňovat určitá kritéria, aby nedocházelo k vzájemnému poškození předmětů. Výrobek musí mít specifický tvar a velikost. Měl by mít oblé tvary, bez ostrých hran a ostrých vydutín, a také by neměl přesahovat hmotnost 80–100 g. [3] Každý proces je zapotřebí stanovit individuálně. Z tohoto důvodu se experimentálně stanovuje množství výrobků, nátěrové hmoty, doba nanášení, počet otáček. Tloušťka ochranného nátěru se zajišťuje množstvím nátěrové hmoty. Je důležité tento parametr stanovit předem, neboť při malém množství by mohlo dojít k tvorbě malé tloušťky filmu a při větším množství by se nátěr mohl lepit, nabalovat se a mohlo by docházet k značným defektům. Nátěrová hmota se přidává do bubnu vždy za rotace. Je možné ji dávkovat před výrobky nebo do středu upravovaných výrobků. Pokud jsou upravované předměty potaženy

nátěrem, který je pouze slabě lepivý, dochází k ukončení nanášení a následuje proces sušení (na vzduchu nebo v sušárně) a vypalování. [34]



Obr. 9. Schéma lakování v šestistěnném bubnu [3]

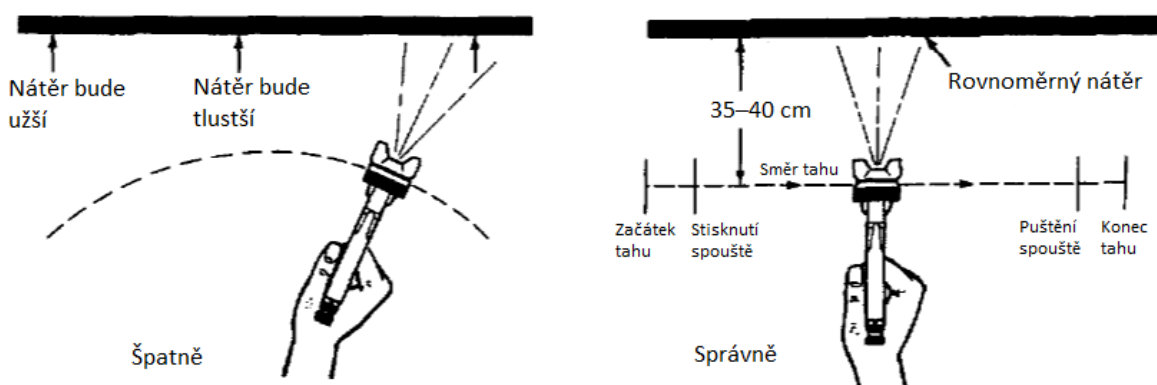
Nově používaným postupem je kataforetické lakování v bubnu, které je znázorněno na obrázku č. 10. Taktéž u tohoto postupu je použit šestistěnný buben, ve kterém jsou zasunuty vyměnitelné katody z nerez, s povrchovou úpravou zaručující jejich delší životnost. Pomocí elektrodové lůžka, které se nachází na hranách kataforetických van dochází k elektrickému kontaktu katod. Během lakování se používá napětí v rozmezí 300–380 V, teploty lázně 30–32 °C. Při běžně používaných podmínkách je možné dosáhnout tloušťky filmu 20–30 μm . Celá kataforetická linka je složena z předúpravy materiálu, kde se nejběžněji využívá technologie fosfátování, následuje transport přes předoplachovou vanu s demineralizovanou vodou, kataforetickou vanu s regulátorem teploty, kde probíhá samotný proces lakování a následně dochází k řadě oplachů v oplachových vanách. Všechny vany jsou vybaveny čerpadly zajišťující neustálou cirkulaci kapalného média. Proces je zakončen výpalem v polymerizační peci. [35]



Obr. 10. Kataforetický lakovací buben [35]

3.1.6 Nanášení nátěrových hmot pneumatickým stříkáním

Princip technologie pneumatického stříkání spočívá v nanášení nátěrové hmoty pomocí stříkací pistole a stlačeného vzduchu. Nátěrová hmota je díky vysokému tlaku (0,2–0,6 MPa) obrovskou rychlostí rozprašována na povrch kovového předmětu, kde přilne a vytvoří souvislý film. Nevýhodou této technologie jsou velké ztráty nátěrové hmoty a potřeba neustálé úpravy viskozity způsobené odpařováním rozpouštědel, která navíc mohou způsobovat zdravotní indispozice pracovníků, a proto se stříkání provádí ve speciálních stříkacích kabinách, kde je zabudován odsávací systém, který tyto páry odvádí pryč. [14] Kabiny je možné dělit na stolové, podlahové a tunelové. Stříkání je možné provádět ručně nebo s možností automatických linek. [2] U ručního stříkání je nátěr nanášen obdobně jako u technologie nanášení pomocí štětce, nejprve jedním směrem a následně ve směru kolmém na původní nátěr. Během ručního nanášení velkých ploch se mohou často vyskytovat chyby z hlediska různé tloušťky nátěrového filmu, které jsou způsobené chybnou technikou nanášení. [3] Aby byl nátěr rovnoměrný je zapotřebí, aby byla nátěrová hmota nanášena v kolmé poloze k upravovanému kovovému předmětu. Chybným, a tudíž nerovnoměrným nanášením nátěrové hmoty je ve tvaru půloblouku. Obě techniky nanášení jsou znázorněny na obrázku č. 11.



Obr. 11. Technika nanášení stříkáním [3]

Důležité je také, aby stříkací pistole směřovala k povrchu kovu pod úhlem 75–80° a nedocházelo k odrazu nanášených kapek již na nalakovanou část materiálu. [3]

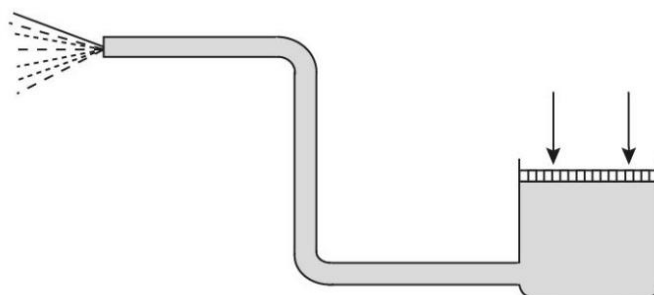
Stříkací pistole, které jsou uvedeny na obrázku č. 12 dělíme na spádové, sací a tlakové. Spádové pistole mají nádobkou umístěnou nad tělem pistole, sací pistole mají nádobkou umístěnou pod tělem pistole a tlakové pistole mají přívod nátěrové hmoty z tlakového zásobníku.



Obr. 12. Stříkací pistole s nádobkou nad tělem pistole (vlevo), s nádobkou pod tělem pistole (uprostřed), s přívodem ze zásobníku (vpravo) [3]

3.1.7 Nanášení nátěrových hmot vysokotlakým stříkáním

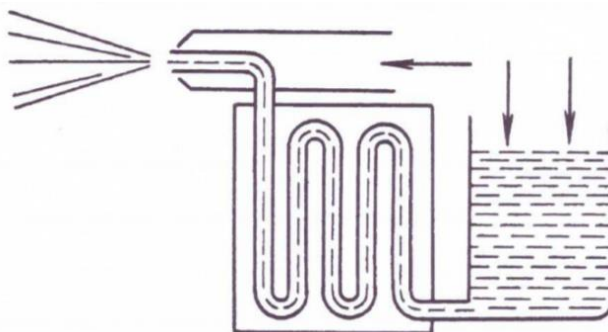
Hlavním rozdílem od pneumického stříkání je způsob dodávání nátěrové hmoty do stříkací pistole za pomoci vysokotlakého čerpadla. Nátěrová hmota je přiváděna za působení vysokého tlaku nejčastěji v rozmezí 8–16 MPa z tlakového zásobníku pomocí hadice do stříkací pistole, pomocí které je následně nátěrová hmota stříkána na povrch kovového materiálu. [14] Schéma vysokotlakého stříkání je znázorněno na obrázku č. 13. Velkou výhodou je snížený odraz nátěrové hmoty od povrchu kovu s použitím vyšší konzistence, čímž se sníží spotřeba rozpouštědel. Kromě snížení spotřeby rozpouštědel je její výhodou využití i pro aplikace v obtížně dostupných místech či na hranách předmětu, kde by se jinak nátěrová hmota špatně zachytávala. [3] Tuto technologii je možné využít pro finální úpravy povrchu, ale i pro nanášení základního nebo podkladového nátěru. [2]



Obr. 13. Schéma vysokotlakého stříkání [3]

3.1.8 Stříkání nátěrových hmot v ohřátém stavu

Stříkání v ohřátém stavu je prakticky modifikací pneumatického nebo vysokotlakého stříkání. Za působení tepla na nátěrovou hmotu, dochází ke změně konzistence a tím odpadá potřeba použití rozpouštědel. Pro dosažení požadované konzistence se obvykle používá teplota v rozmezí 70–80 °C. [14] K ohřátí nátěrové hmoty může docházet elektrickým ohřevem v pistoli nebo ve speciálním zařízení, do kterého je nátěrová hmota přiváděna ze zásobníku a ve kterém nátěrová hmota neustále cirkuluje, díky čemuž téměř nedochází ke změně teploty nebo konzistence. Takovéto zařízení je znázorněno na obrázku č. 14. Kromě značného snížení použití rozpouštědel je možné dosáhnout větší tloušťky nátěrového filmu a také se sníží spotřeba nátěrové hmoty o 15–18 % oproti běžně používanému pneumatickému stříkání. Technologie ohřátých nátěrových hmot má i řadu nevýhod, zejména v průmyslu, kde dochází k časté změně druhu i odstínu nátěrové hmoty, protože celý proces je poměrně složitý na údržbu. [34]



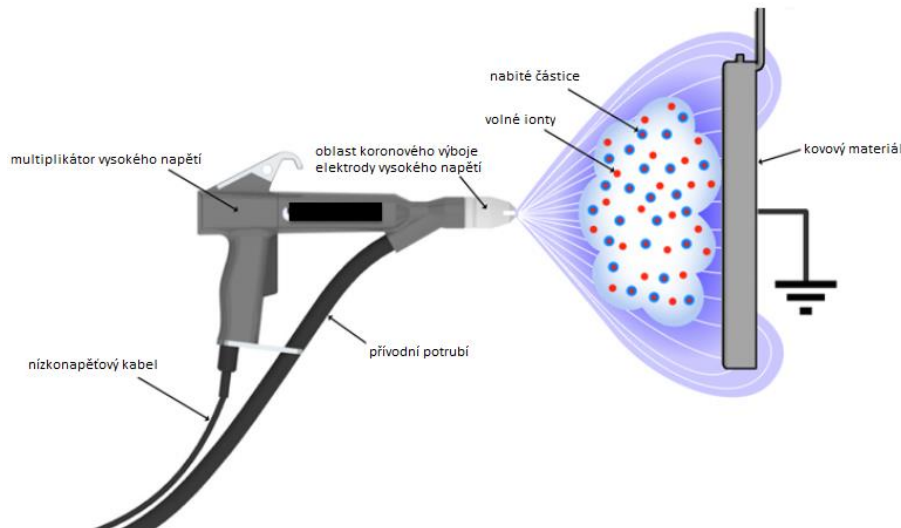
Obr. 14. Schéma nanášení v ohřátém stavu [34]

3.1.9 Nanášení nátěrových hmot v elektrostatickém poli

Způsob nanášení, který využívá elektrického pole vysokého napětí, kde dochází k přenosu nabitých částic nátěrové hmoty k opačně nabitému povrchu kovu. Následně na kovovém materiálu nátěrová hmota vytvoří ochranný film. [2]

Způsob, jakým jsou nátěrové hmoty nanášeny v elektrostatickém poli je uveden na obrázku č. 15. Aby nátěr dobře přilnul na kovovém povrchu, který je uzemněn a má kladný náboj (+), je zapotřebí aby nátěrová hmota byla nabita záporně (-). Zdrojem nabíjení je tzv. korona, která je umístěna v blízkosti ústí stříkací pistole. Dochází v ní k ionizaci vzduchu a vzniku

elektrického náboje. Nátěrová hmota je přiváděna ze zásobníku pomocí přívodního potrubí do speciální stříkací pistole, pomocí které je aplikována na kovový materiál. Nátěrová hmota převezme nabité náboje vzniklé v oblasti korónového výboje a působením elektrického pole podél siločar je přenesena na kovový předmět, který je uzemněn a má opačný náboj. Následně na povrchu kovu nátěrová hmota přilne a vytvoří souvislý film. [36]



Obr. 15. Schéma nanášení nátěrových hmot v elektrostatickém poli [21]

Nanášení ochranného povlaku je možné provádět pneumatickým stříkáním za použití stříkací pistole, kdy se nátěrová hmota s nábojem pohybuje v elektrickém poli o pracovním napětí 60–120 kV a následně přilne adhezními silami na předmět. Stříkání nátěrové hmoty o nízké konzistenci, která je měřena pomocí výtokového pohárku o průměru 4 mm po dobu 18–35 s, probíhá za působení poměrně nízkého tlaku v rozmezí 0,1–0,15 MPa, neboť větší tlak by způsoboval vyšší rychlost nanášení, a to by vedlo k zhoršení přilnavosti na povrch kovového předmětu. [3; 37]

Další možnou technikou je použití odstředivého rozprašování, které využívá tlakového vzduchu. Jako rozprašovače se obvykle využívají rotující kalíšky nebo zvonky, které jsou zapojeny záporně, zatímco nanášený předmět je uzemněn a má náboj kladný. Nátěrová hmota je přiváděna ze zásobníku do hlavic rozprašovačů, působením odstředivé síly se tvoří na hranách malé kapky, které se díky koruně záporně nabíjí, dostávají se do elektrického pole mezi oběma elektrodami, kde přechází v malé částičky, které přilnou na uzemněný kladně nabitý předmět a vytvoří hladký a souvislý film.

Technologie dokáže oproti konvenčním stříkáním výrazně snížit ztráty nátěrových hmot o 5–25 %, tedy se jedná o ekonomicky šetrný proces. Kromě toho se jedná o hygienicky šetrný proces, neboť nástřik se provádí u stacionárního zařízení v odsávané kabině.

3.1.10 Elektroforézní nanášení nátěrových hmot

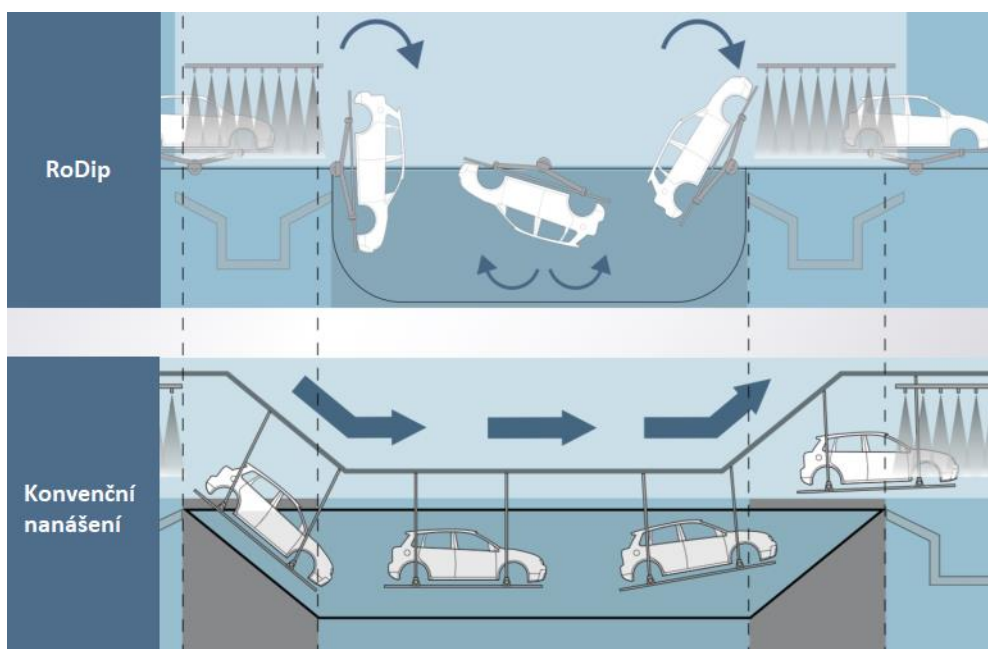
Elektroforéza je jedna z nejmodernějších technologií, která je používána v průmyslu pro povrchovou ochranu kovových materiálů. Elektroforézní nanášení můžeme dělit na dva způsoby, těmi jsou anaforézní a kataforézní nanášení. Rozdíl mezi oběma způsoby je v elektrodě. Nátěrová hmota se může vylučovat na katodě, bude se jednat o kataforetické nanášení nebo na anodě, jakožto anaforetické nanášení. [38] K možnému vylučování nátěrové hmoty je zapotřebí působení stejnoměrného proudu s použitím vodivého materiálu, na kterém se bude organický povlak vytvářet. Anaforéza má značnou nevýhodu kvůli rozpouštění kovu a jeho inkluzi do vytvářejícího se povlaku, protože může docházet k snížení korozní odolnosti. Z tohoto důvodu je v průmyslu využívána kataforéza. Na katodě dochází k redukci, kov se neionizuje a na anodě vzniká kyslík, který je zapotřebí odvádět. [2] Použitím elektroforézního boxu s kation selektivní membránou dochází k odvodu vzniklých aniontů, ale pro kationty je téměř nepropustná. [38]

Po předúpravě kovového předmětu dochází k ponoru kovového materiálu do lázně s vodou ředěnou nátěrovou hmotou. Velikost vany odpovídá způsobu nanášení (ručně, automatizovaná linka) a velikosti předmětu. V průmyslu se můžeme setkat s velikostí 0,1–500 m³. U kataforetické lázně je důležitý její obrat, tedy výměna nanášecího média. Doba mezi výměnami by neměla přesáhnout 12 měsíců jinak by mohlo docházet ovlivnění kvality nátěrového filmu. [39] Aby nedocházelo k sedimentaci nátěru, využívá se několika čerpadel vytvářející vířivé proudy, které způsobují proudění napříč celým objemem lázně. [40] Rychlost proudění by neměla klesnout pod hodnotu 0,3 m/s. Vylučovací napětí jsou mezi 150–450 V s vylučovací dobou 2–4 min, vodivostí lázně 1–2,8 mS/cm, pH lázně 5,5–6,1 a teplotou lázně 25–35 °C. [38] Během procesu může docházet k ohřívání lázně kvůli toku elektrického proudu nebo kvůli třecímu teplu vytvářeném čerpadly. Odchyly od standardních teplot, které přesahují 1 °C mohou značně ovlivnit kvalitu a tloušťku ochranné vrstvy nátěrového filmu. Působením elektroosmotických sil se z vyloučeného povlaku uvolňují molekuly vody,

důsledkem čehož dochází k zakotvení nátěru na povrchu kovu. Vytvořený povlak lze používat jako základní nebo finální ochrannou vrstvu materiálu o obvyklé tloušťce 15–25 μm . [39]

Po vyloučení ochranného povlaku na povrchu kovového materiálu dochází k oplachu ulpělých nátěrových hmot ponorem nebo postříkem. Následně probíhá vytvrzování povlaku vypalováním v peci o teplotě 180–200 $^{\circ}\text{C}$. Tím vznikne rovnoměrný film požadovaných vlastností. [2]

Kataforeza je ekologický způsob povrchové ochrany kovů díky nízkému obsahu rozpouštědel. Dosahuje nízkých ztrát nátěrových hmot, kdy ztráty jsou způsobené převážně čištěním nanášecí lázně. Další obrovskou výhodou je vysoká korozní odolnost. Technologie je vhodná pro ruční nebo plně automatizovanou výrobu. Největší uplatnění má v automobilovém průmyslu pro povrchovou úpravu karosérií. [14; 38] Novinkou zejména v automobilovém průmyslu je systém firmy Dürr zvaný RoDip, který je znázorněn na obrázku č. 16. Zavěšená karoserie je schopna se v lázni otáčet o 360 $^{\circ}$, čímž se zvyšuje efektivita, optimalizuje údržba a řeší problém s možným vznikem vzduchových kapes. [40; 41]



Obr. 16. Schéma kataforetického nanášení nátěrových hmot [41]

3.2 Nanášení práškových povlaků

Na rozdíl od nátěrových hmot na bázi rozpouštědel se práškové nátěrové hmoty zpracovávají jako pevné látky před roztavením v peci za vzniku nátěrového filmu. Práškové povlaky díky výborným antikorozičním a izolačním vlastnostem jsou v dnešní době velmi rozšířené pro povrchovou ochranu kovových materiálů. [2; 42] Největší zastoupení ve složení práškových nátěrových hmot mají polymery, jejichž obsah se pohybuje v rozmezí 50–80 %. Méně zastoupenými složkami kolem 10–25 % jsou pigmenty, 5–30 % dosahují plniva, 3–7 % tvoří tužidla a 1–3 % zastupují speciální aditiva, které mají za úkol zlepšit výsledné vlastnosti nátěru. Jednotlivé složky jsou v pevném skupenství a jsou pečlivě odměřeny a smíchány. Smíchaná směs je následně extrudována do dokonalé homogenní hmoty, která je rozemleta až na prášek o požadované zrnitosti. [21] Výroba práškových povlaků je velmi ekologický proces, protože nezpůsobuje téměř žádné emise, zejména díky chybějícímu použití rozpouštědel. [42] Důležitý je způsob skladování práškových nátěrových hmot, které je nutné skladovat v suchých a ventilovaných prostorech s maximální teplotou do 25 °C. [31]

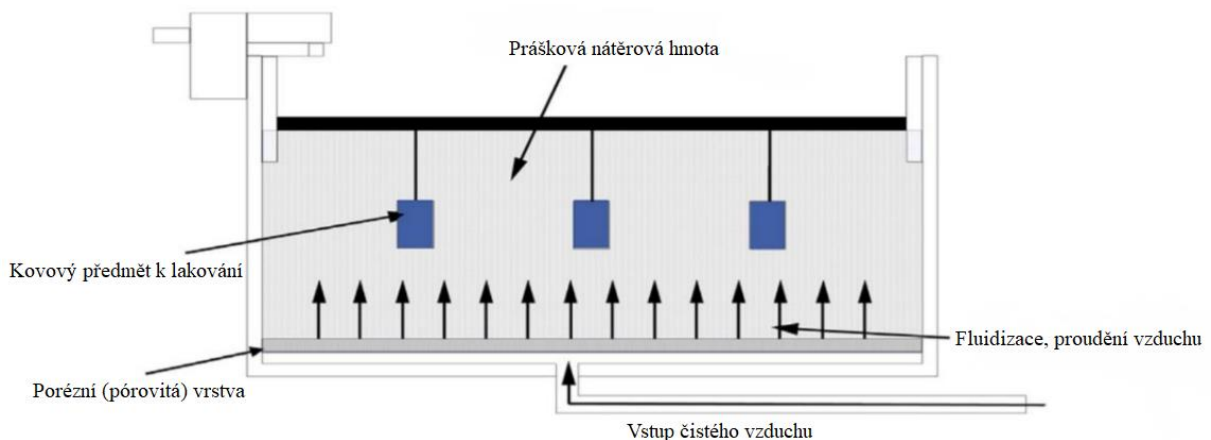
Stejně jako u nátěrových hmot na bázi rozpouštědel, nanášením práškového povlaku se vytvoří ochranná vrstva, která může být lesklá, matná, metalického zabarvení nebo jiného charakteru. Ochranným povlakem se dosáhne požadované životnosti a odolnosti proti atmosférické nebo chemické korozi způsobené např. mořským vzduchem. Pro průmyslové aplikace práškových ochranných povlaků jsou nejvíce používány polymery na bázi epoxidů, polyuretanů, polyesterů, epoxy-polyesterů, akrylátů. Dále je možné využít nylonové, polyvinylchloridové a fluorpolymerové nátěrové hmoty nebo nátěrové hmoty se speciálním využitím jako jsou tzv. antigraffiti. [21; 42] Nedávným pokrokem v technologii práškového lakování je vývoj práškových povlaků na bázi biologických materiálů, jejichž záměrem je snížit závislost na fosilních surovinách, zejména na ropě. Dochází k tvorbě polymerů nebo zesíťovacích prostředků z přírodních zdrojů jako jsou sójové boby, kukuřice, celulóza, kalafuna atd., které obsahují chemicky reaktivní funkční skupiny jako jsou hydroxylové, karboxylové nebo glycidové skupiny. [43]

Životnost kovového materiálu nezávisí pouze na volbě vhodného ochranného povlaku, ale i na pečlivě provedené předúpravě a způsobu nanášení práškových nátěrů. Stejně jako u nátěrových hmot na bázi rozpouštědel musí být kovový předmět důkladně předupraven, aby ochranný povlak mohl získat požadované vlastnosti a nedocházelo k předběžné degradaci materiálu. [13]

Po provedení předúpravy povrchu kovu se provádí proces aplikace práškových povlaků, ke které může docházet ve fluidním loži, ale v dnešní době se práškové nátěrové hmoty nanášejí převážně stříkáním v elektrostatickém poli. [44] Stříkání práškového povlaku je prováděno ve speciální lakovací kabině s odsáváním zejména pro dosažení maximální účinnosti a hygienické nezávadnosti. [21] Po procesu předúpravy a lakování se standartní práškové nátěry vypalují v pecích v rozmezí teplot 150–200 °C a speciální práškové nátěry je možné vypálit už od teploty 130 °C. [44]

3.2.1 Nanášení práškových povlaků ve fluidním loži

Princip této technologie spočívá v ponoru kovových předmětů, které byly předem důkladně očištěny a předem zahřáty. Takto připravené předměty se ponoří do lázně fluidní práškové nátěrové hmoty, která je predehřívána na teplotu vyšší, než je teplota tání nebo měknutí prášku. [42] Předem predehřátý předmět se v zahřátém prášku obalí a vytvoří slinutou vrstvu, jejíž tloušťka se zvyšuje s dobou ponoření. Velkou výhodou této technologie jsou minimální ztráty prášku, který se buď nanese na kovový materiál nebo zůstane ve fluidní loži. Povlaku pomocí fluidního lože lze dosáhnout i s použitím elektrostatického pole, kdy je nabitý prášek přitahován ke kovovému předmětu, díky čemuž je možné dosáhnout lepšího pokrytí a stability vytvořeného povlaku. [45]



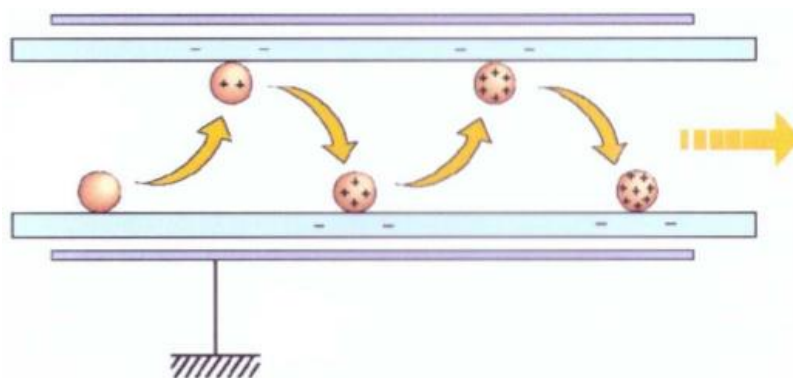
Obr. 17. Princip fluidní lázně [50]

Schéma nanášení práškových nátěrových hmot je popsáno na obrázku č. 17, kdy v první řadě dochází k ponoru kovového předmětu do vany s fluidní lázní, která obsahuje dvojité dno. Spodní částí je vháněn čistý vzduch pomocí ventilátorů do vany, který následně proudí přes

vnitřní dno, které tvoří pórovitá vrstva. Kromě průchodu vzduchu je její funkcí i udržet prášek v druhé části vany. [46] Provzdušňováním prášku neboli fluidizací dochází k pohybu částic, které budou dosahovat podobných vlastností jako kapalina a které následně přilnou na povrchu kovového předmětu. Takto upravený povrch kovu je zapotřebí vytvrdit v peci. [2] Nastane-li potřeba vyměnit práškovou nátěrovou hmotu je nutné, aby vana i porézní přepážka byly důkladně vyčištěny. [3]

3.2.2 Nanášení nátěrových hmot pomocí elektrických sil

Elektrostatické nanášení práškových nátěrových hmot funguje na stejném principu jako nanášení nátěrových hmot na bázi rozpouštědel v elektrostatickém poli. Principem je tedy nabití částic nátěrové hmoty, které jsou aplikovány na opačně nabitý kovový předmět. Nabití prášku můžeme provést dvěma způsoby. Prvním způsobem je nabití částic záporně, částice získají přebytek elektronů, které vytvoří celkový záporný náboj a tato metoda se nazývá korona. Metoda nanášení, u které se vytváří záporný náboj, byla podrobněji popsána v kapitole 3.1.9. Druhou možností je elektrony odebrat, přičemž zbyde přebytek protonů, vytvoří se celkový kladný náboj a jedná se o metodu tribo. Přidávání protonů má za následek stejný efekt, ale jedná se o výrazně složitější postup. [21]

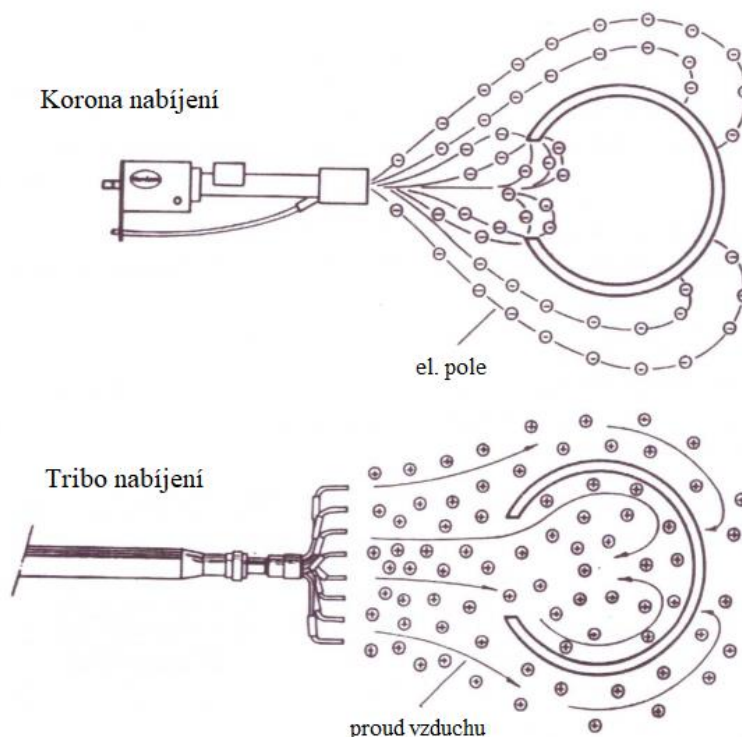


Obr. 18. Nabíjení částic prášku metodou tribo [21]

U nanášení práškových povlaků metodou tribo se částice prášku nabíjí pomocí tření v trubici uvnitř pistole a na trysce jako je znázorněno na obrázku č. 18. [47] Aby docházelo k odtržení elektronů, ke kterému dochází díky tření, je zapotřebí dodat velké množství energie, s tím je spjata více násobné opakování tření částic, a proto se pro lakování pomocí tribo pistole používají pistole s delší trubicí a omezeným průtokem prášku. [21] Obrovskou výhodou oproti

nabíjení metodou korona je mnohem menší velikost produkovaného elektrostatické pole, což vede ke snížení elektrické síly a větší citlivosti na různé druhy rušivých faktorů. [47] Minimální velikost elektrostatické pole navíc umožňuje aplikaci prášku do úzkých a členitých částí kovového předmětu, kde vytváří rovnoměrnou vrstvu nátěrového filmu. [21]

Na obrázku č. 19 je znázorněn největší rozdíl mezi nabíjením částic metodou korona a tribo a způsobem jejich aplikace na kovový předmět složitějšího tvaru. Zatímco u nabíjení částic prášku záporně je zdrojem tzv. korona a přenos těchto záporně nabitých částic na opačně nabitý kovový předmět je umožněn pomocí působení elektrického pole. U metody tribo dochází k nabíjení částic prášku třením a k přenosu těchto kladně nabitých částic pouze pomocí proudu stlačeného vzduchu na kovový předmět. [21] Pokud jsou takto nabitě částice převedeny do blízkosti uzemněného předmětu, tvoří s výrobkem diskretní elektrické pole. [42] Po nanesení práškové nátěrové hmoty je zapotřebí nátěr vytvrdit ve vypalovací peci. [14]



Obr. 19. Práškové lakování metodou korona a tribo [39]

Kromě omezeného průtoku prášku je další nevýhodou regulace vzduchu, pomocí kterého je nabitý prášek přenášen na povrch kovového materiálu. Vliv regulace vzduchu je natolik zásadní, že zcela vylučuje možnost nastavení nízkého nebo vysokého proudění vzduchu. [21] Na rozdíl od aplikace metodou korona je metoda tribo méně používanou technologií v průmyslu. Důvodem může být menší počet tribo-schopných filmotvorných látek, i přesto že

nabíjecí schopnost může být zlepšena použitím oxidu hlinitého jako přísady nebo důvodem může být nižší výkon, složitější nabíjení a zpracovatelnost malých částic. [42; 48]

Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá nejpoužívanějšími druhy povrchových úprav kovových materiálů, které se běžně používají v průmyslové praxi. Při výběru je kladen důraz na vhodnou technologii a její správné provedení. Hlavními kritérii jsou pracnost, technologické vybavení, ekonomická a estetická stránka.

Na výslednou kvalitu nátěrového systému má značný vliv provedení předúpravy materiálu. Pokud není povrch kovu důkladně očištěn, může docházet k odlupování vrstvy nátěrového filmu, k tvorbě puchýřků, což může mít za následek degradaci výrobku. Nejpoužívanější mechanickou předúpravou v průmyslu je tryskání, avšak i zde se musí dbát na správná nastavení tryskacího zařízení a zvolit vhodný tryskací materiál. V opačném případě by mohlo dojít k poškození výrobku. Mezi chemickými technologiemi předúprav jsou nejvíce rozšířenými metodami fosfátování nebo zirkonová pasivace, které odstraňují zbylé drobné nečistoty z povrchu kovu. Pomocí těchto technologií se navíc zvětšuje povrch podkladu, což způsobí lepší přilnavost nátěru. U slitin hliníku se v dnešní době nejvíce používá tzv. eloxování.

Po dokonalém provedení dané předúpravy se požadovaný materiál dále chrání nátěrovým filmem a ten plní řadu funkcí, tou hlavní je ochrana proti korozi. Jednotlivé technologie se značně liší způsobem nanášení nátěrových hmot, přičemž každá má řadu výhod i nevýhod, které je potřeba zvážit. Z hlediska ochrany životního prostředí by se dalo říct, že nejšetrnějšími technologiemi jsou takové, které pro svůj provoz spotřebovávají co nejmenší množství energie, nevypouštějí do ovzduší škodlivé látky a vzniká při nich co nejméně odpadů. Vhodným příkladem by mohly být moderní technologie využívající elektrostatické pole. Mezi nejmodernější a nepoužívanější technologie v průmyslu se v dnešní době řadí elektroforézní lakování a nanášení nátěrových hmot v elektrostatickém poli.

Seznam použité literatury

- [1] LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0399-3.
- [2] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1217-7.
- [3] KALEDOVÁ, Andrea. *Technologie nátěrových hmot II.: povrchové úpravy a způsoby předúpravy materiálů*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Ústav polymerních materiálů, 2003. ISBN 80-719-4555-2.
- [4] KUDLÁČEK, Jan a Viktor KREIBICH. Udržitelný rozvoj technologií povrchových úprav. *Povrcháři* [online]. 2011, (7), 2-4 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: doi:1802-9833
- [5] KREIBICH, Viktor a Jan KUDLÁČEK. Povrchové úpravy z pohledu vývojových etap a potřeb. *Povrcháři* [online]. ČVUT v Praze, FS, Ústav strojírenské technologie, 2019, (2), 2-4 [cit. 2021-04-27]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201902_povrchari.pdf
- [6] VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-708-0600-1.
- [7] VÁŇA, Pavel. Moření vysocelegovaných ocelí. *Povrcháři* [online]. 2018, **2018**(6), 21-26 [cit. 2021-03-11]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201806_povrchari.pdf
- [8] MACHEK, Václav. Označování ocelí část 2. *Povrcháři* [online]. 2012, **2012**(1), 3-7 [cit. 2021-03-11]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201201_povrchari.pdf
- [9] CHVOJKA, Jiří a Miroslav BRZOBOHATÝ. *Zpracování a použití hliníku a jeho slitin*. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961. Řada hutnické literatury. ISBN I 142310.

- [10] CHVOJKA, Martin a Viktor KREIBICH. Nová technologie oxidace neželezných kovů - „elox2“. *Povrcháři* [online]. 2018, **2018**(1), 7-8 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201801_povrchari.pdf
- [11] OSTRÁ, Vladislava a Petr HOLEČEK. Vliv doby anodické oxidace hliníku na parametry výsledné oxidické vrstvy. *Povrcháři* [online]. FS ČVUT v Praze, 2011, (5), 7-10 [cit. 2021-04-27]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201105_povrchari.pdf
- [12] SVOBODA, Miroslav. *Protikorozi ochrana kovů organickými povlaky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985. ISBN L16-B2-IV-41/62052.
- [13] SEDLÁČEK, Alexander a Jan KUDLÁČEK. Předúprava povrchu – nástroj kvality povrchových úprav. *Povrcháři* [online]. 2014, **2014**(6), 12-15 [cit. 2021-03-11]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201406_povrchari.pdf
- [14] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2668-1.
- [15] HRDINOVÁ, Hana a Viktor KREIBICH. Povrchové úpravy při procesu omílání. *Povrcháři* [online]. 2014, **2014**(5), 13-14 [cit. 2021-03-12]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201405_povrchari.pdf
- [16] PENC, Petr. Účinná bezprašná ekologická technologie mokrého tryskání směsí vody a abraziva. *Povrcháři* [online]. 2018, **2018**(3), 4-7 [cit. 2021-03-12]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201803_povrchari.pdf
- [17] Správné použití inhibitoru koroze. *Dustless Blasting* [online]. 2016 [cit. 2021-06-15]. Dostupné z: <https://dustlessblasting.sk/cs/skoleni/spravne-pouziti-inhibitoru-koroze/>
- [18] HRDINOVÁ, Hana. Laserové čištění povrchu. *Povrcháři* [online]. 2017, **2017**(1), 2-4 [cit. 2021-03-12]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201701_povrchari.pdf

- [19] WANG, Yao, Lida SHEN, Wei JIANG, Xin WANG, Mingzhi FAN, Zongjun TIAN a Xiao HANB. Laser processing as an alternative electrodeposition pretreatment. *Surface and Coatings Technology*. 2019, (357), 957-964. ISSN 0257-8972.
- [20] TIAN, Ze, Xi CHEN, Yanbin CHEN a Zhenglong LEI. Evaluation of laser cleaning for defouling of marine biofilm contamination on aluminum alloys. *Applied Surface Science*. 2020, (499). ISSN 0169-4332.
- [21] IDEAL-TRADE SERVICE, SPOL. S.R.O. *Průvodce práškovým lakováním*. Brno, 2020.
- [22] RUML, Vladimír. *Abeceda povrchových úprav kovů: příručka pro praxi a pomůcka k odbornému školení*. Praha: Práce, 1956. Knihnice Svazu zaměstnanců ve strojírenství.
- [23] LUKAVSKÝ, Jiří. *Konstrukce výrobních zařízení*. Praha: České vysoké učení technické, 1990. ISBN 80-01-00355-8.
- [24] SVOBODA, Jakub, Jan KUDLÁČEK, Michal ZOUBEK a Viktor KREIBICH. Odstranění korozních produktů a starých nátěrových systémy ocelových konstrukcí v místech s těžkou dostupností. *Povrcháři* [online]. 2020, **2020**(1), 9-10 [cit. 2021-04-21]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/202001_povrchari.pdf
- [25] ŠIŠKA, Jozef. Ultrazvukové odmašťovací stroje a chemie pro povrchové úpravy: nejúčinnější a ekologický způsob pro přesné čištění v průmyslu. In: JELÍNKOVÁ, Zdeňka. *Projektování a provoz povrchových úprav*. 46. Praha: Ofsetová tiskárna s.r.o., 2020, s. 33-35. ISBN 978-80-906304-4-4.
- [26] VETRIMURUGAN, R. Optimization of Hard Disk Drive Heads Cleaning by Using Ultrasonics and Prevention of Its Damage. *APCBEE Procedia*. Penang, Malaysia, 2012, (3), 222-230. ISSN 2212-6708.
- [27] SZELAG, Petr a Jaroslav CHOCHOLOUŠEK. Železnaté fosfátování, současný stav a směry vývoje. *Povrchová úprava* [online]. **5**, 7-8 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/15158486-Povrchova-uprava-soucasny-stav-a-smery-vyvoje-v-oblasti-zeleznateho-fosfatovani.html>

- [28] ČLUPEK, Matěj. Moderní technologie povrchových úprav společnosti Kluthe. In: JELÍNKOVÁ, Zdeňka. *Projektování a provoz povrchových úprav*. 46. Praha: Ofsetová tiskárna s.r.o., 2020, s. 41-43. ISBN 978-80-906304-4-4.
- [29] KONVALINKA, Roman. Nahrazování fosfátování konverzními povlaky na bázi zirkonu. *Povrcháři* [online]. 2018, (7), 3-5 [cit. 2021-04-23]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201807_povrchari.pdf
- [30] SHAW, Lorraine, Don SHAW, Michael HARDISTY, Philip BRITZ-MCKIBBIN a Dave K. VERMA. Relationships between inhalable and total hexavalent chromium exposures in steel passivation, welding and electroplating operations of Ontario. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. Canada, 2020, (230). ISSN 1438-4639.
- [31] ZBYNĚK ŠUSTR S.R.O. *Návrh technologie povrchové předúpravy: Komorové postřikové zařízení*. 2018.
- [32] KALEDOVÁ, Andrea a Miroslav KOHL. Antikorozní účinnost organických povlaků. In: *Engineering.sk* [online]. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.engineering.sk/clanky2/povrchove-upravy/3969-antikorozni-ucinnost-organicky-povlaku>
- [33] KREIBICH, Viktor. *Strojírenské materiály a povrchové úpravy: (část povrchové úpravy)*. Praha: České vysoké učení technické, 1987.
- [34] LUKAVSKÝ, Ladislav, Stanislav BOUŠKA a Václav FIALA. *Nátěrové hmoty*. 3., upravené vyd. Praha: Merkur, 1993. ISBN 80-703-2469-4.
- [35] MATUŠKA, Zbyněk, Kamil HYLÁK a Jan KUDLÁČEK. Kataforetické lakování drobných dílů – nový způsob lakování. *Povrcháři* [online]. 2021, **2021**(1), 2-5 [cit. 2021-03-25]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/202101_povrchari.pdf
- [36] HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 2*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-718-3245-6.

- [37] Nanášení nátěrových hmot stříkáním: Stříkání v elektrickém poli. *Publi* [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/172/09.html>
- [38] Kataforéza (KTL) a anaforéza (ATL) – elektroforézní metody lakování. *MEGA* [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.mega.cz/cs/kataforeticke-lakovani/>
- [39] GOLDSCHMIDT, Artur a Hans-Joachim STREITBERGER. *Lackiertechnik: BASF - Handbuch*. Hannover: Primedia, 2002. ISBN 3-87870-324-4.
- [40] KROK ZA KROKEM NEJMODERNĚJŠÍ LAKOVNOU ŠKODA AUTO. *ŠKODA - storyboard* [online]. Mladá Boleslav, 2019 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace-a-technologie/krok-za-krokem-nejmodernejsi-lakovnou-skoda-auto/>
- [41] RoDip® M – Mechanically driven dip coating with an efficient chain drive. *Dürr* [online]. [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: <https://www.durr.com/en/products/paint-shop-application-technology/pretreatment-and-electrocoating/rodip/rodip-m>
- [42] GOLDSCHMIDT, Artur a Hans-Joachim STREITBERGER. *Basics of Coating Technology: BASF HANDBOOK*. 2. Hannover, Germany: Bonifatius GmbH, 2007. ISBN 3-86630-903-1.
- [43] Recent Advancements in Bio-based Powder Coating Technology. *Focus on Powder Coatings*. 2019, (5), 4. ISSN 1364-5439.
- [44] TULKA, Jaromír. *Povrchové úpravy materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2005. ISBN 80-214-3062-1.
- [45] BARESCHINO, Piero, Francesco PEPE a Piero SALATINO. Shear-assisted fluidized bed powder-coating. *Powder Technology*. Napoli, Italy, 2012, (215-216), 151-155. ISSN 0032-5910.
- [46] BARLETTA, Massimiliano a V. TAGLIAFERRI. Electrostatic fluidized bed deposition of a high performance polymeric powder on metallic substrates. *Surface and Coatings Technology*. 2006, (14–15), 4282-4290. ISSN 0257-8972.

- [47] ADAMIĄK, Kazimierz. Numerical modelling of tribo-charge powder coating systems. *Journal of Electrostatics*. The University of Western Ontario London, Ontario, Canada, 1997, (40-41), 395-400. ISSN 0304-3886.
- [48] THOMAS, Aline, Khashayar SALEH, Pierre GUIGON a Claire CZECHOWSKI. Characterisation of electrostatic properties of powder coatings in relation with their industrial application. *Powder Technology*. 2009, (1–2), 230-235. ISSN 0032-5910.
- [49] AEROTERM, A.S. Polévačky Aeroterm SilkCurtain. In: *Aeroterm* [online]. Ostrava [cit. 2021-06-23]. Dostupné z: <https://www.aeroterm.cz/produkty/produkty-nabytkarstvi/silk-curtain/>
- [50] MCKEEN, Laurence. *Fluorinated Coatings and Finishes Handbook*. 2. William Andrew, 2015. ISBN 978-0-323-37126-1.
- [51] Technika nanášení nátěrů: Navalování nátěrových hmot. In: *Publi* [online]. [cit. 2021-06-23]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/166/18.html>