



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VLIV ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU NA VLASTNOSTI POVLAKU PŘÁŠKOVÉHO LAKOVÁNÍ

INFLUENCE OF BASIC MATERIAL ON THE PROPERTIES OF THE POWDER PAINTING COATING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Monika Šemrová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Studentka: **Monika Šemrová**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Kubíček**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vliv základního materiálu na vlastnosti povlaku práškového lakování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práškové lakování je moderní metoda nanášení povlaků na různorodé materiály. Fyzikální vlastnosti různých základních materiálů a stav povrchu má na jakost povlaků práškového lakování významný vliv.

Cíle bakalářské práce:

1. Vypracovat literární studii v oblasti práškového lakování.
2. Provést rozbor možných fyzikálních a chemických vlivů na kvalitu povlaků.
3. Navrhnout experimentální ověření podmínek práškového lakování a různých substrátů.
4. Provést a vyhodnotit experiment.

Seznam literatury:

- Mohyla, M. (2006): Technologie povrchových úprav kovů. Ediční středisko VŠB Ostrava.
- Sedláček, V. (1992): Povrchy a povlaky kovů. Ediční středisko ČVUT Praha.
- Podjuklová, J. (1994): Speciální technologie povrchových úprav I. Ediční středisko VŠB Ostrava.
- Povrchová úprava - elektronický odborný časopis, IMPEA s.r.o.,
<http://www.povrchovauprava.cz/free-pdf-magazine>, přístup 22.listopadu 2015

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ANOTACE

Tato bakalářská práce pojednává o problematice práškového lakování prováděném na více druhů základních materiálů za stejných podmínek. Práce obsahuje rešerši o práškovém lakování a vhodných předúpravách povrchu. Dále se zabývá chemickými a fyzikálními vlivy, které způsobují nedokonalost práškového lakování. V poslední části jsou navrženy zkoušky práškového laku na tloušťku materiálu a přilnavost k povrchu. Zkoušky byly provedeny na testovacích vzorcích z rozdílných základních materiálů. Všechny výrobní i měřicí procesy byly prováděny za dozoru autora i vedoucího, a tak je práce doplněna fotografiemi.

KLÍČOVÁ SLOVA

Základní materiál, chemická předúprava, práškové lakování, měření tloušťky, mřížková zkouška, odtrhovací zkouška.

ABSTRACT

The thesis is concerned with surface treatments, specialy powder coating with application of six types basic materials under the same conditions. The thesis contains a search for suitable powder coating and surface pretreatments. It also deals with the chemical and physical effects that cause imperfection powder coating. The tests were performed on test samples of different basic materials for thickness and adhesion of powder coating. All manufacturing and measurement processes are carried out under the supervision of the author and leader, so the thesis is supplemented by photographs.

KEY WORDS

Basic material, chemical surface pretreatments, powder coating, width measuring, cross-cut adhesion testing, pull-off adhesion testing.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠEMROVÁ, M. *Vliv základního materiálu na vlastnosti povlaku práškového lakování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci Vliv základního materiálu na vlastnosti povlaku práškového lakování jsem vypracovala samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně

Monika Šemrová

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla vyjádřit svůj vděk za cenné připomínky, odbornou a technickou pomoc při psaní svému vedoucímu práce, panu Ing. Kubíčkovi. Poděkování patří také společnosti SW MOTECH, kde jsem pod dohledem mohla provést praktickou část. Dále děkuji svým učitelům, kteří do mě vkládali důvěru, základy matematiky a probudili technické vnímání, na kterém jsem mohla začít pracovat, jmenovitě pan Mgr. Chalupský, pan Mgr. Majer a paní Mgr. Románková. Jako posledním jmenovaným děkuji své rodině, rodičům a sestře, kteří mě od začátku podporují a jsou tu vždy se mnou.

OBSAH

ANOTACE

KLÍČOVÁ SLOVA

ABSTRACT

KEY WORDS

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH.....	14
ÚVOD	15
1. PLECHY	16
2. ZÁKLADNÍ MATERIÁLY	18
2.1 Al99,5 – hliník.....	18
2.2 AlZn4,5Mg1 – hliník s příměsí zinku	19
2.3 EN 10 130 - ocel.....	19
2.4 DX51D+Z275MAC – pozinkovaná ocel.....	19
2.5 Cu 99 – měď	20
2.6 X5CrNi 18-10 – nerezová ocel.....	20
3. PRÁŠKOVÉ LAKOVÁNÍ	21
3.1 Tryskání.....	23
3.2 Chemická předúprava.....	24
3.3 Práškové lakování.....	26
3.4 Vypalování nátěrů	30
4. ROZBOR MOŽNÝCH FYZIKÁLNÍCH A CHEMICKÝCH VLIVŮ NA KVALITU POVLAKŮ	31
5. NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍHO ŘEŠENÍ.....	32
5.1 Mřížková zkouška	32
5.2 Měření tloušťkoměrem	33
5.3. Odtrhová zkouška.....	33
6. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	34
ZÁVĚRY.....	38
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	39
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	41
SEZNAM PŘÍLOH.....	41

ÚVOD

Pro svou bakalářskou práci jsem si zvolila téma týkající se povrchových úprav – práškové lakování. Práce se zaměřuje na rozdílné základní materiály, které mají odlišné fyzikální a chemické vlastnosti, které ovlivňují výsledek. Nepatří ovšem mezi jediné činitele, jedná se také o chemickou předúpravu a lakování samotné. Chemické předúpravy i lakování nabízí několik rozdílných technologií provádění.

Rozdílnost chemických předúprav závisí na základovém materiálu. Účel předúpravy je co nejdokonalejší vyčištění povrchu a jeho dokonalé odmaštění. Některé materiály tuto úpravu ani nevyžadují. Týká se to hlavně opravovaných kusů, kde stačí pouze nanést práškovou barvu na místo, kde je potřeba. Pro splnění zadání bude využit pouze jeden druh na všechny základní materiály, aby byly zachovány stejné podmínky.

Způsoby lakování se rozlišují podle požadovaného tvaru profilu, na který se má lak nanášet. Pokud je profil rovný, používají se jiné metody, než když je profil zahýbaný a s otvory. Nutně se musí na každém lakovaném kusu objevit minimálně jeden otvor na zavěšení. Pokud budoucí produkt nemá žádné otvory, v předem daných místech se vyvrtají pomocné otvory.

Vzorky materiálů se známým chemickým složením podstoupí proces týkající se lakování v práškové lakovně ve Vojkovicích u Brna, ve firmě SW-MOTECH.

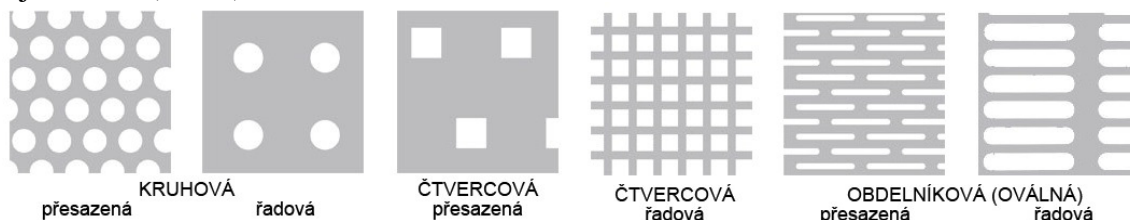
Po práškovém lakování následuje testování vzorků několika zkouškami na vlastnosti pro lakování důležité – přilnavost k povrchu a tloušťka povlaku. V současné době je mnoho dalších vlastností, které se testují, jako např. krycí schopnost, tvrdost, stupeň lesku, pórovitost, odolnost v kritických podmínkách, odolnost proti korozi, opotřebitelnost atd.

V rámci rozsahu a z hlediska finančních možností je množství zkoušek omezeno. Výsledky by měly směřovat k zhodnocení osvětlených fyzikálních a chemických vlastností, stejně tak k zhodnocení použité technologie práškového lakování a jejich vývoj. Tato metoda se stále rozvíjí kvůli výhodám z ekologického a praktického hlediska, tudíž je stále aktuální.

1. PLECHY [1], [2], [3]

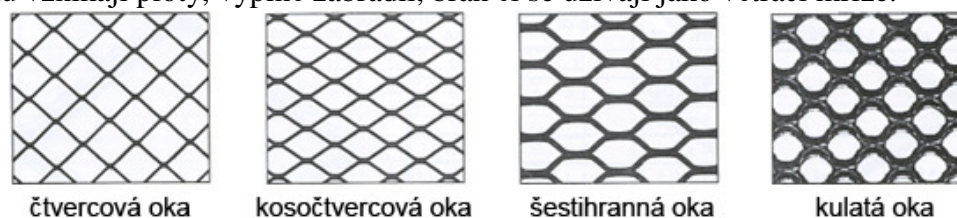
Plechý využívané v dnešní době mají velmi široké spektrum jak z hlediska tvaru, tak i dle možnosti využití. Lze je tvářet za studena, za tepla, natahovat, ohýbat atd. Vytvářejí se nejčastěji kontinuálním litím a válcováním. Skladují se v několikametrových rolích, které se později stříhají na menší rozměry. Níže jsou uvedeny nejznámější typy a jejich užití v praxi.

- *Perforované (děrované) plechy* – využívají se při výrobě regálů, sít, sušiček. V posledních letech se staly trendem i v architektuře jako balkóny, zástěny či arkády. Díry lze vyrábět jakékoliv (obr. 1).



Obrázek 1 Perforované plechy [1]

- *Tahokov* se může zdát vizuálně podobný perforovanému plechu, ale vyrábí se jinak. Oka tahokovu vznikají tažením nastříženého plechu, pak se opět nastříhne a následně natáhne. Materiál se po této úpravě mírně stáčí, proto je vhodné jej převálcovat a srovnat. V dnešní době je možné vyrábět oka různých geometrických tvarů (obr. 2). Z takto zpracovaného materiálu vznikají ploty, výplně zábradlí, bran či se užívají jako větrací mřížky.



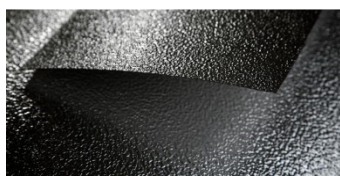
Obrázek 2 Tahokov [1]

- *Protiskluzové (slzové) plechy* vyráběné především z hliníku nebo hliníkových slitin pomocí protlačování speciálními nástroji se nachází nejčastěji na podlaze či podstavných plochách. Oválné výstupky na plechu (slzy) mohou být různě uspořádané, jak je možné vidět na obrázku.



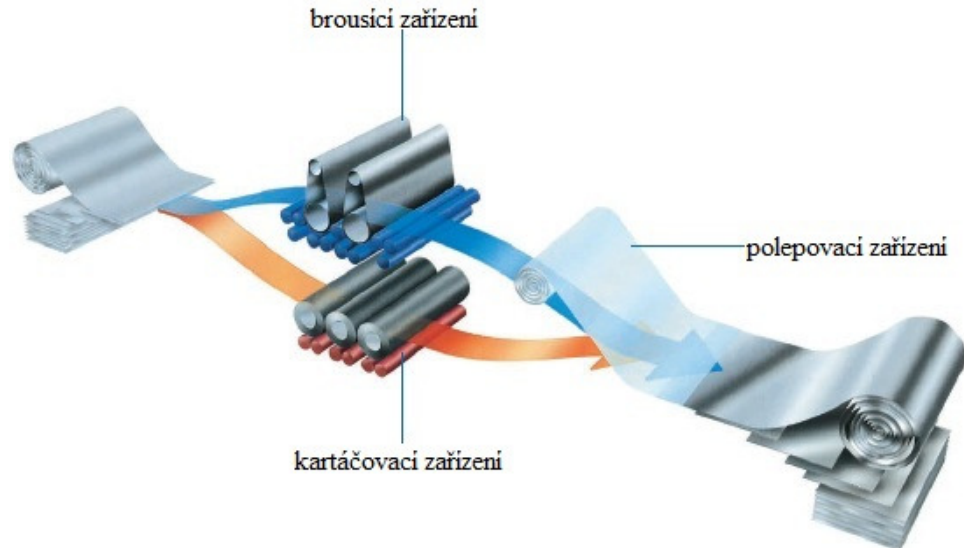
Obrázek 3 Protiskluzové plechy [2]

- *Embosované plechy* se stále častěji objevují jako krytiny či pokrývky povrchů. Vyrábí se pomocí dezénovacích válců, mezi něž se vkládá plech o různé tloušťce. Díky dezénu mají dekorativní vzhled přirovnávaný k pomerančové kůře, a také si uchovávají výborné izolační vlastnosti (obr. 4).



Obrázek 4 Embosovaný plech [3]

- *Kartáčované plechy* mají stejnorodou strukturu. Před samotným kartáčováním probíhá několik fází čištění. Po úpravě se plech pokrývá folií, kvůli ochraně povrchu a také určení směru kartáčování. Úpravy malých ploch lze provádět i ručně pomocí brusného rouna. Využití lze najít při výrobě kovových štítků, ovládacích panelů nebo grafických tabulek. V roce 2015 se navíc staly typickým materiálem japonské novodobé architektury, v níž je využité spojení kovu a umění 3D tiskáren.



Obrázek 5 Schéma výroby kartáčovaného plechu [4]

- *Válcované plechy* se objevují ve formě hladkých pásů o rozdílné tloušťce, nejčastěji 0,5 až 40mm namotaných do válců, z nichž se ostříhují menší formáty. Při vyšších tloušťkách či nižší elasticitě materiálu se plech stříhá rovnou bez natáčení do rolí. Standardní šíře jsou 1000, 1250 a 1500mm. Bez zmíněných povrchových úprav se objevují ve formě plochých krytin nebo naopak různě tvarovaných krytů a bočnic. Vytvářejí design velkých CNC strojů, přes notebooky až po stolní lampy aj. Velký úspěch se dostavil kovovým fasádám včetně střech, např. na nákupních střediscích či nádražích.
- Mezi velkosériově využívané kusy a podvědomě známé patří další druhy plechů *kotlové*, *pancéřové*, *odolné proti vodíkovým atmosférám*, *lodní*. Vzájemně se liší převážně použitým materiálem (ocelí) - tedy chemickým složením.

2. ZÁKLADNÍ MATERIÁLY

Pro praktickou část této bakalářské práce byly zvoleny základní materiály, které se běžně používají. Plechy s práškovým lakem nachází využití nejvíce v krytování. Používají se také jako parapety nebo různé držáky a nožičky. V takovém případě jsou často v podobě svařenců, a tak je důležité zachovávat jednotnou tloušťku, jinak dochází k rozdílným časům prohřátí materiálu při vypékání. Výběr materiálů tvoří sortiment podrobený zkouškám v následujících kapitolách.

2.1 Al99,5 – hliník [5], [6]

Hliník byl objeven v roce 1825 a je nejrozšířenější ze všech kovů na Zemi. Měkký kov má stříbrošedou barvu a poměrně nízkou hustotu. V praxi vyniká svou lehkostí, výbornou tepelnou i elektrickou vodivostí, tažností a odolností vůči korozi. Vyznačuje se svou vysokou afinitou ke kyslíku. Na vzduchu pak vzniká tenká souvislá vrstvička Al_2O_3 (oxid hlinitý).

Výbornou vlastností je tvárnost materiálu, a tak jej lze ohýbat i válcovat za tepla i za studena. Způsoby opracování jsou téměř bezmezně, do hliníku lze vrtat, řezat, lze jej protlačovat. Na rozdíl od většiny druhů ocelí se hliník při nízkých teplotách nestává křehkým. Je možné jej recyklovat na 100% bez ztráty kvality a vlastností, přičemž proces recyklace vyžaduje zhruba 5% spotřeby elektrické energie oproti výrobě primárního hliníku. Hliník je vhodný pro legování.

Hliníkový plech (vzorek) označený EN AW 1050A je za studena válcovaný, deformačně zpevněný a částečně žíhaný. Takové plechy se využívají ve stavebnictví, strojírenství, elektrotechnice a jinde, kde je potřeba dobrá svařitelnost (metody MIG, TIG), povrchová úprava, zároveň zmíněná odolnost vůči korozi a nízká hmotnost (jeho hustota $2,7g.cm^{-3}$ odpovídá třetině hustoty oceli). Co se týká elektrické vodivosti, tak stejnou hodnotu naměříme u hliníkového drátu, který má poloviční hmotnost oproti měděnému.

Hliník a jeho slitiny

Dříve se slitiny pro tváření u nás označovaly dle ČSN EN 573. Značení v současné době má tvar evropské normy, jíž značí písmena EN, dále následují AW (A jako hliník a W pro tvářené slitiny). Poslední jsou čísla, která určují chemické složení.

➤ Slitiny hliníku se rozdělují do následujících skupin:

Skupina 1000 – v podstatě čistý hliník s minimálním obsahem 99% hliníku

Skupina 2000 – slitina hliníku s mědí

Skupina 3000 – slitina hliníku s manganem

Skupina 4000 – slitina hliníku s křemíkem

Skupina 5000 – slitina hliníku s hořčíkem

Skupina 6000 – slitina hliníku s hořčíkem a silikonem

Skupina 7000 – slitina hliníku se zinkem

Skupina 8000 – slitina hliníku s různými prvky, převážně s lithiem

Nejčastěji využívané slitiny dle EN jsou EN AW-1050A - téměř čistý hliník používaný ve všech oblastech průmyslu pro konstrukční prvky málo mechanicky namáhané, nevhodný na obrábění řeznými nástroji kvůli své vysoké houževnatosti. Slitina hliníku s hořčíkem EN AW-5754 (viz 2.2) a v neposlední řadě slitina hliníku s hořčíkem a křemíkem EN AW-6082. Takový materiál je velice dobře tvárný, lešitelný, odolný proti korozi. Vyniká dobrými plastickými vlastnostmi v žíhaném stavu, je vytvrditelný a používá se pro jemnou mechaniku u letadel či vozidel nebo jinde tam, kde je požadována dobrá technologičnost.

2.2 AlZn4,5Mg1 – hliník s příměsí zinku [6], [7], [8], [9]

Označení dle normy EN je EN AW-7020. Zinek v kombinaci s hořčíkem vytváří intermetalickou vytvrzující fázi MgZn₂. Z pohledu slévárenství tato fáze pozitivně ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu. Zvyšuje pevnost již v litém stavu, po dalším tepelném zpracování ji lze ještě zvýšit. Značnou nevýhodou je náchylnost k tvorbě trhlin za tepla. Předností je nízká citlivost na rychlost ochlazování. Materiál pak má po svaření podobné mechanické vlastnosti a strukturu jako před svařením.

Tepelným zpracováním se získá nejpevnější ze všech hliníkových slitin. Zpevňuje se vytvrzováním, které se provádí za normální i zvýšené teploty. Materiál vykazuje dobrou tvárnost a příznivý průběh rozpouštěcího žhánání (tzv. samokalitelnost), zároveň se získá vlastnost - dobrá odolnost proti korozi. Lze jí tvářet také deformací za studena.

Materiál je dobře svařitelný, snadno leštitelný, svůj kovový lesk doplňuje květovaným vzorem, který je velice nápadný, a snadno ho tak můžeme rozeznat od předchozích zmíněných materiálů. U válcovaného plechu je hlavním příznakem, jak vizuálně rozlišit pravidelnost a nerovnoměrnost obsahu zinku.

Slitina EN AW-7020 se používá výhradně ve vytvrzeném stavu. Pro své dobré technologické vlastnosti a dobrou odolnost se využívá ve stavebnictví (mosty, jeřáby), na výrobu leteckých dopravních prostředků, v elektromechanice, radiotechnice a raketové technice. Není vhodná pro použití v potravinářství.

2.3 EN 10 130 - ocel [10]

Oceli se dělí na konstrukční a nástrojové, kde konstrukční dále na legované a nelegované a korozivzdorné.

Vzorek - za studena válcovaná ocel značená DC01 (1.0347) - dle normy EN 10 130 je konstrukční nelegovaná jakostní. Vyznačuje se tvárností za studena, je vhodná pro žárová pokovování ponorem (např. zinkování). Dalším speciálním prvkem v oceli je mangan Mn, jehož střední hodnota nepřekračuje 0,1%.

Taková ocel je vhodná pro tváření za studena, k nanášení povlaků žárovým pokovováním či elektrolyticky. Mohou se nanášet povlaky organické i jiného charakteru. Používá se na výrobu plechů a širokých pásů. Ocel se dá také svařovat běžnými postupy, vždy je vhodné uvést postup svařování. Svařitelnost je vzhledem k obsahu uhlíku zaručena.

2.4 DX51D+Z275MAC – pozinkovaná ocel [10], [11]

Základem je ocelový válcovaný plech, na který se nanáší vrstva zinku v rozsahu 10-25 μm. Vrstva má ochranné účinky proti korozi.

Při zpracovávání plechu dochází k čištění a žhánání, poté se máčí kontinuálně v zinkové lázni. Vzhledem k tloušťce plechu tak dojde k oboustranné povrchové úpravě. Když plech vychází z taveniny, celková tloušťka zinkové vrstvy je zaručena tryskovým stíráním, aby se zachovala rovnoměrnost. Při následném tuhnutí vzniká typický vzhled květovaného vzoru, dle kterého lze na první pohled rozlišit rovnoměrnost zinku či případné porušení. Velikost květu závisí na rychlosti tuhnutí a na chemickém složení. Následně dochází ještě jednou k válcování, tím se zarovná vnější vrstva květů.

Materiál je vhodný pro spojování šrouby, nýtováním aj., jeho velkou výhodou je odolnost proti korozi. Na povrchu vznikají oxidační vrstvy – *zinková patina*. Neustále se odbourává a doplňuje z nižších vrstev. Doba odolnosti proti korozi tak závisí na tloušťce vrstvy.

Při svařování se postupuje stejně jako u svařování oceli. Poté ale vzniká nový povrch svarové housenky, který není nijak ochráněn. Je tak proto vhodné dodatečně vrstvu ošetřit

zinkovým nátěrem. K výjimce dochází při svařování odporovým, kde vlastnosti svaru do jisté míry uchovávají ochranné vrstvy.

2.5 Cu 99 – měď [12], [13]

Měď patřila již od středověku do lidské historie, kde ji lidé opracovávali do podoby zbraní a ozdob. Bylo tomu tak, protože se v přírodě nacházela výjimečně v téměř čisté podobě. Častěji se vyskytuje v různých minerálech. Měď jako taková je velice měkká a tudíž dobře obrobitelná. Charakterizuje ji červeno-oranžová barva, která se mění podle čistoty kovu. Později se začala využívat i ve slitinách. Mezi nejznámější patří bronz a mosaz. Bronz obsahuje měď a kolem 10% cínu. V mosazích se vyskytuje měď a 5-40% zinku.

Patří mezi nejlépe elektricky vodivé kovové materiály. Charakterizuje ji červeno-oranžová barva, která se mění podle čistoty kovu.

2.6 X5CrNi 18-10 – nerezová ocel [4], [8]

První nerezová ocel vznikla směsí oceli s chromem a niklem. Byla použita pro hlavně zbraní a stalo se tomu tak ve firmě Poldi. V dalších letech (1930^{ty}) se začali vědci zabývat nově objeveným vlastnostem materiálu, postupem vylepšování se ve 40. letech 19. Století začaly vyrábět postupně normalizované materiály a následně i díly. První duplexní ocel byla vyrobena ve Švýcarsku, její složení obsahovalo 20% chromu, 7% niklu a 0,25% uhlíku.

Korozivzdorná ocel vzniká legováním, je vysoce odolná vůči elektrochemické a chemické korozi. Stříbrným kovovým leskem připomíná hliníkový materiál, jen je podstatně těžší. Svou odolnost nabývá při výrobě, kdy je vrchní vrstva materiálu pasivována. Při porušení vrstvy dochází k lokálním korozím, které znehodnocují materiál.

Podle obsahu uhlíku se dělí na feritické, martenzitické, austenitické a směsi těchto ocelí. Každá je vhodná pro jiné zpracování. Vzorek nerezové oceli AISi 304 (1.4301) se řadí do austenitické oceli.

Austenitické nerezové oceli mají široké spektrum využití. Obvykle obsahují méně než 0,1% uhlíku, 16-22% chromu, dále se ve složení vyskytuje 8-40% niklu, molybden, případně dusík, titan, niob, měď nebo křemík. Svůj název získaly podle vnitřní struktury, kterou si udržují do mrazivých teplot. Vyznačují se nízkou mezí kluzu a vysokou houževnatostí. Hodnota tažnosti se pohybuje v rozmezí 45-65%. Jsou velice dobře svařitelné a navíc jsou nemagnetické. Pokud zbylo při výrobě ve struktuře více feritu, může způsobovat slabý feromagnetismus. Mají nejlepší korozi odolné vlastnosti ze všech jmenovaných skupin a jsou vhodné pro tepelné zpracování. Přezdívá se jí „potravinářská“ ocel. Velice dobře se ohýbá a ohraňuje, příčinou je vysoká houževnatost. Lze ji snadno leštit. Je odolná do teplot 300-350° C, stejně tak i proti páře, vlhkosti, organickým kyselinám, povětrnostním vlivům, je stálá všude kromě oblastí s vysokou koncentrací agresivních látek či v přímořských oblastech.

Nevýhodou je, že se dá jen těžko obrábět. Je k tomu zapotřebí mít velmi ostré nástroje. I přesto neztrácí na kvantitě využití. Neobešli bychom se bez ní v potravinářském, mlékárenském, pivovarnickém, vinařském, farmaceutickém a kosmetickém průmyslu. Ve formě zařízení věcí pro domácnost, jako doplňky v lékárnice nebo snad ve formě šperků, bílých spotřebičů či konstrukčních prvků vozidel ji nalezneme také.

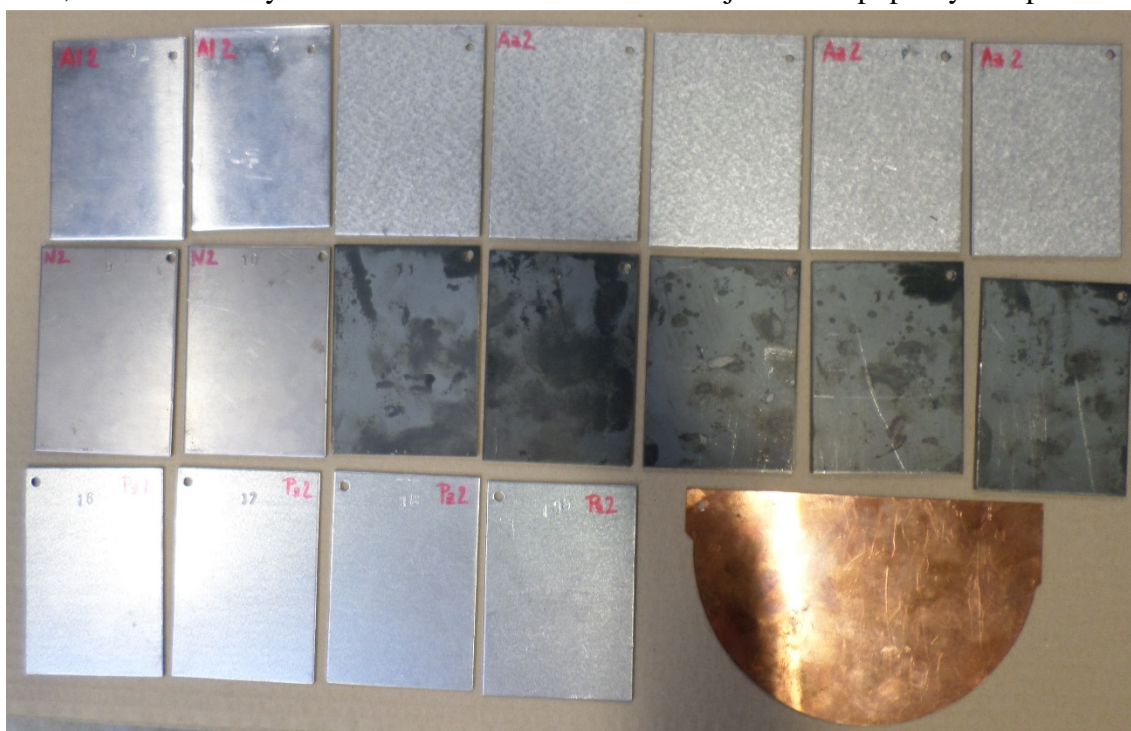
Ve všech odvětvích se využívá tedy především kvůli odolnosti proti korozi a výborné vlastnosti sváření. Svařuje se nejlépe ze všech druhů korozivzdorných ocelí. Při svařování ale mohou vznikat deformace a zbytková napětí. Povrch musí být velice dobře očištěn před samotným technologickým zpracováním, jinak by nově vzniklý povrch ztratil odolnost. Ke sváření se používá stejný nebo výše legovaný materiál.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3. PRÁŠKOVÉ LAKOVÁNÍ [14], [15], [16]

Při práškovém lakování dochází k rozptylování nabitých práškových částic. Požadovaný efekt je rovnoměrné rozptřeni hmoty po celém povrchu. Rozšíření práškování i do oboru strojírenství v podobě ochrany povrchů přineslo velkou úsporu rozpouštědel a ředidel, čímž se hodně ulehčilo životnímu prostředí. Počátky této praxe se datují kolem roku 1960, více v kapitole 3.3.

Na fotce níže jsou vidět původní vzorky před jakoukoliv úpravou. Měděný vzorek (vpravo dole) má tloušťku 0,8 mm a poloměr zaoblení 100 mm. Všechny ostatní vzorky mají tloušťku 1,5 mm a rozměry 100x70 mm. Vlastnosti materiálů jsou blíže popsány v kapitole 2.



Obrázek 6 Vzorky materiálů

Tabulka 1 Rozdělení vzorků

Rozdělení vzorků		
materiál	pracovní zkratka	čísla vzorků
Al 99,5	Al	1, 2
AlZn4,5Mg1	AlZn	3, 4, 5, 6, 7
Cu99,5	Cu	8
X5CrNi18-10	Nerez	9,10
EN 10 130	Fe	11, 12, 13, 14, 15
DX	FeZn	16, 17, 18, 19

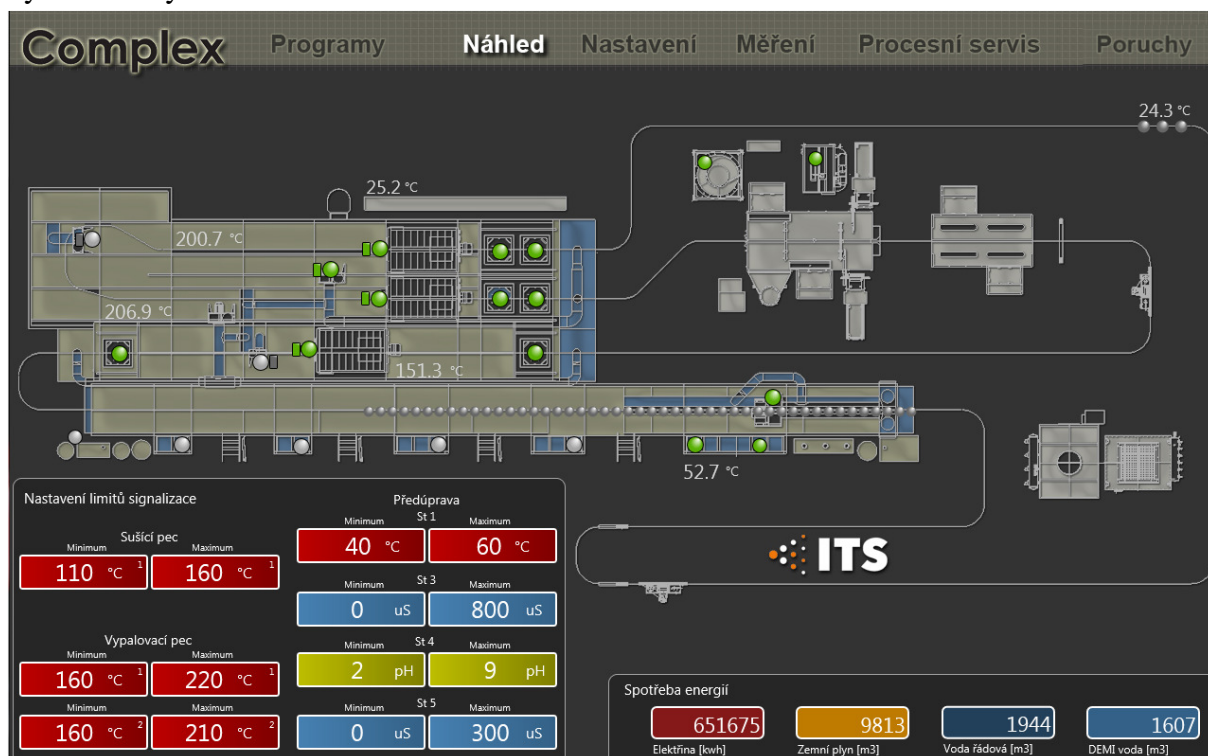
Příprava a samotné lakování je popsáno níže, doplněno o fotodokumentaci.

Lakování vzorků pro tuto práci včetně předúprav bylo provedeno dne 18. března v německé společnosti SW-MOTECH, s.r.o., která má zastoupení ve Vojkovicích u Brna. V novém sídle působí od září 2015. Firma se zabývá výrobou doplňků pro motorová vozidla – především kufry a padací protektory. Výroba je rozdělena na dva základní úseky – lisovnu se svařovnou a lakovnu. V lisovně se z plechů a trubek vyrábí části sestav, které jsou následně svařeny. Tato část je v provozu již několik let. Prášková lakovna je ve zdejší pobočce vcelku novou záležitostí. Zařízení je moderní a výsledky jsou uspokojivé, stále se pracuje na jejich zlepšování.



Obrázek 7 Logo firmy SW-MOTECH ve Vojkovicích

Zhruba polovinu haly zabírá lisovna a svařovna. Čtvrtinu zabírají skladové prostory a poslední díl připadá na lakovnu. Celý cyklus práškového lakování musí probíhat na uzavřené smyčce. Zajistí se tak konstantní rychlost pohybu, čímž se výrazně zjednoduší automatizace výrobní linky a časování.

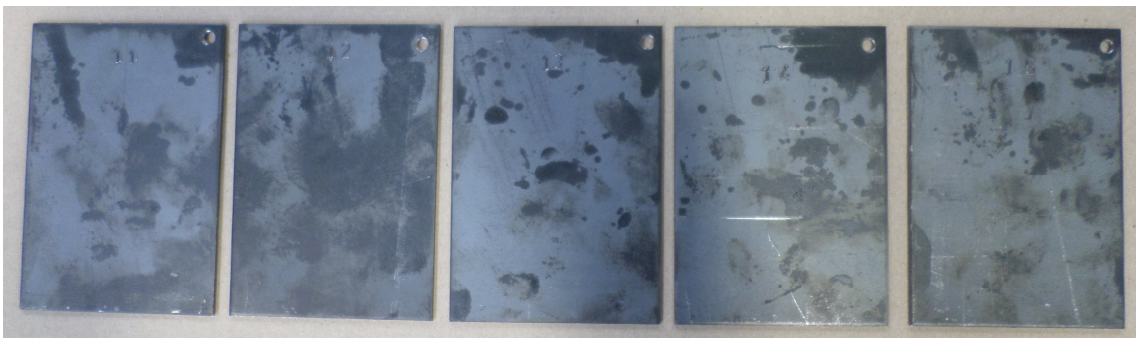


Obrázek 8 Náhled na smyčku v práškové lakovně

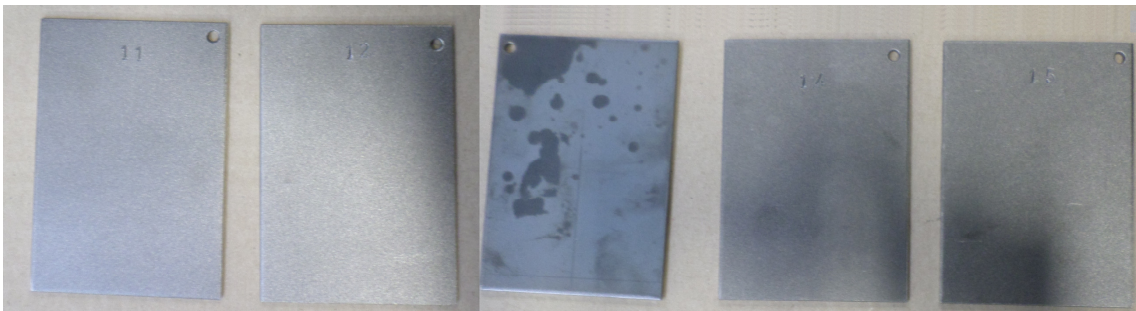
3.1 Tryskání [14]

Materiály podrobené lakování byly v surovém stavu. Působení okolního vzduchu na povrchu ocelového plechu způsobilo viditelnou oxidační vrstvu, a tak muselo dojít ještě k tryskání.

Tryskání je předběžná mechanická úprava povrchu zajišťující požadovanou čistotu povrchu zbavenou písku, oxidací a částečně zpevňuje novou vnější vrstvu. Provádí se v bubnovém či zavěšovacím zařízení. Plechy (obrázek 7) byly vloženy do bubnového tryskače, kde na jejich povrch dopadaly abrazivní částice po dobu sedmi minut. Po vyjmutí vzorků byla vidět nová struktura, která se skrývala pod oxidační vrstvou. Tímto tedy došlo k ubrání materiálu, které se reguluje velikostí zrn, druhem otryskávaného materiálu, velikostí a tlakem trysky. Efektivita čištění se dosahuje pomocí vysoké kinetické energie.



Obrázek 9 Ocelové plechy před trykáním



Obrázek 10 Ocelové plechy po trykání

Jak je vidět na obrázku 8, došlo k náhodě a vzorek s číslem 13 byl mechanicky upraven pouze z jedné strany. V takovém stavu byl ponechán i nadále. Při měření bude sledován vliv trykání povrchů.

3.2 Chemická předúprava [14], [17], [18]

Chemická či elektrochemická úprava se provádí před nanášením laku. Zajišťuje se tím čistota a odmaštění, které by mohlo zhoršit kvalitu výsledného nalakovaného povrchu ve formě odlupování. Mezi chemické procesy v SW-MOTECH patří odmašťování. Pro všechny materiály, které tuto úpravu vyžadují, se používá jeden univerzální postup. Postup jednotlivých stupňů je popsán níže.

Automaticky ovládaná mycí linka ovšem stále vyžaduje lidskou pracovní sílu k navěšování a odvěšování materiálu.

Na obrázku vpravo jsou zavěšeny očíslované vzorky. Byly použity nové zavěšovací lišty, na kterých vzorky drží pomocí háčků. Jejich několikanásobným použitím dochází k elektrickému nabíjení, které potom může zhoršit přilnavost práškového laku.



Obrázek 11 Navěšené vzorky

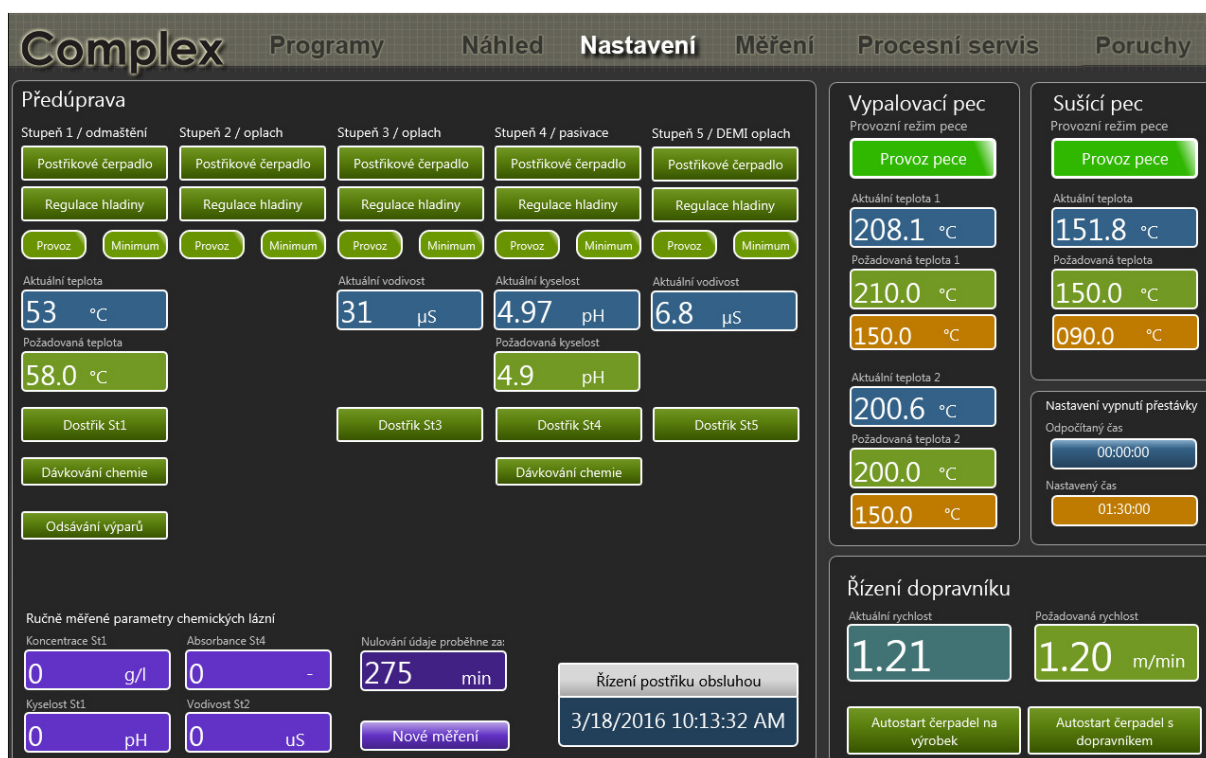
- *1. stupeň - Alkalické odmaštění.* Jako čisticí látky se používají Alfinal a Alfisid. Požadovaná koncentrace je 8-20g/l, hodnota vodíkového exponentu dosahuje 9-12pH. Proces rozpouští usazeniny ve vodě rozpustné i nerozpustné. Princip spočívá v povaze znečištění z hlediska chemického složení. K postupnému zmýdelňování dochází u rostlinných a živočišných tuků. Tuky minerálního charakteru se rozpouští do podoby malých kapek – emulze. Velkou výhodou oproti organickým odmašťovačům je nehořlavost, nižší cena, účinnost a také je postup méně zdravotně závadný. Nevýhodou je, že je omezeno na spíše jednodušší díly. V případě neforemných dílů se provádí metodou postřiku, nikoliv namáčení. Jako prevence se ve firmě SW-MOTECH používá postřík. Teplota odmašťovačla se pohybuje kolem 60°C.
- *2. stupeň - Oplach.* K oplachu dochází užitkovou vodou. Slouží k očištění od rozpouštědla a také opakovanému čištění.
- *3. stupeň - Demineralizovaný oplach.* Provádí se demineralizovanou vodou, zkráceně také DEMI voda. Používá se především ve strojním a chemickém průmyslu. Mimo čištění nachází využití jako chladicí zařízení pro jaderné reaktory. Základní surovinou pro výrobu je povrchová voda. Při její výrobě dochází k tzv. změkčování. Výraz změkčování z chemického hlediska znamená, že se přeměňují nežádoucí přírodní minerály vápenatého či hořečnatého charakteru na soli. Současně se také vylučuje křemík a uhlík v podobě oxidů. Voda je ve výsledku velmi kvalitní, a pokud je vyrobena správně, pak je i zbavena iontově rozpustných látek. Její měrná vodivost v této fázi dosahuje řádově 10^{-5} Siemens/cm.
- *4. stupeň - Pasivace povrchu.* Při pasivaci povrchu dochází k chemické reakci mezi kovem a prostředím. Proces může být řízený nebo samovolný. V obou případech vzniká na povrchu anorganická konverzní vrstva směrem dovnitř materiálu, která obsahuje složky kovu i prostředí. Nejčastěji vnikají na povrchu vrstvy oxidů či fosforečnanů. Zde má vrstva protikorozní účel. V případě tváření nebo zabíhání se využívá jako mazadlo.
- *5. stupeň - Demineralizovaný oplach.* Charakteristika DEMI vody je popsána výše. V tomto stupni výroby je ale voda nejčistější a její měrná vodivost dosahuje řádově 10^{-6} Siemens/cm.

Těchto pět stupňů je uspořádáno v řadě za sebou v jedné podélné kabině. Je tak umožněno kaskádové přečerpávání vody, jednolitost procesu a nepřetržitá ochrana povrchu před tolik

nežádoucím znečištěním. Mezi každým stupněm je tzv. oplachový věnec. Voda postupuje od nejčistější (5. stupeň) k nejvíce znečištěné (2. stupeň). Její vlastnosti se tedy využijí mnohem lépe, navíc je proces více ekologický a i finančně méně náročný. Celková délka komorového pracoviště předúpravy je přibližně 40 metrů. Poté následuje sušení navěšeného materiálu.

- 6. stupeň - Sušení. Zde se vysuší zbytky tekutin z předem upraveného materiálu. Sušení probíhá ve vysoušecích pecích. V peci je nastavená teplota na 150° C. Během sušení lze na povrchu materiálu naměřit teplotu 90-150 °C. Vzorky celou trasu projíždí bez zastavení a po vizuální kontrole směřují do další části výroby.

Snímek obrazovky ovládacího panelu je na obrázku 10. Zde dochází k ručnímu nastavení jednotlivých parametrů nebo k úplnému zastavení konkrétního stupně. Např. u některých materiálů v SW-MOTECH není požadována pasivace, a tak se zde na ovládacím panelu vypne. Legenda k snímku je následující: zelená pole značí požadované hodnoty, modrá pole vyznačují aktuální stav, oranžová pole u vypalovací a sušící pece značí teploty v případě přestávky a dobu automatického spuštění režimu přestávky po 1,5 hodině.



Obrázek 12 Ovládací panel – nastavení

V oblasti předúpravy se nastavuje teplota alkalického odmaštění. Zvýšená teplota zvyšuje efektivitu (stejný princip jako u mytí nádobí). Alkalické prostředky (zásadité) Alfinal a Alfisid zmíněné v tabulce 1 označují přípravky v tekutém skupenství vhodné pro ponorové i nástřikové nanášení v koncentraci 8-20 g/l. Doba trvání tohoto procesu je 1-3 minuty. U druhého stupně již nedochází k ohřevu a hodnota měrné vodivosti se pohybuje kolem 400 µS/cm. Nesmí přesáhnout hodnotu 600 µS/cm. Pro třetí stupeň je důležité nastavení měrné vodivosti, které je omezeno hodnotou 80 µS/cm. Na snímku 10 je vidět v modrém poli aktuální hodnotu vodivosti, tj. 31 µS/cm. Ve čtvrtém stupni se proces zaměřuje na kyselé prostředí – pH je rovno 4,97. Prostředek Envirox se používá i jako alternativní prostředek k chromátování – vytváří konverzní vrstvu bez přítomnosti chromu. V pátém stupni dochází k nejdokonalejšímu očištění vodou s měrnou vodivostí 6,8 µS/cm.

V tabulce se nachází souhrn normy aplikované ve firmě SW-MOTECH.

Tabulka 2 Chemická předúprava, sušení

Chemická předúprava					
stupeň	prostředek	specifikace	teplota [° C]	expozice [min]	objem [m ³]
Alkalické odmaštění	Alfinal 275/1 Alfisd 12	pH 9-12	50-70	1-3	3,2
Oplach	užitková voda	max 1300µS/cm	bez ohřevu	1-3	1,6
DEMI oplach	DEMI voda	max 80 µS/cm	bez ohřevu	1-3	1,6
Pasivace povrchu	Envirox SG-Alfipas 7816	pH 4,8-5,2 ansorbance 0,015-0,4	bez ohřevu	1-1,5	1,0
DEMI oplach	DEMI voda	max 50µS/cm	bez ohřevu	1-2	1,0
Sušení					
Sušení	sušící pec	teplota na povrchu dílu 90-150° C			

3.3 Práškové lakování [14], [15], [16], [18], [19], [20], [21], [22]

Povlaky mají za hlavní účel ochranu před vnějšími vlivy, jako vedlejší lze považovat barvu a výsledný vzhled lakované součásti. Práškový lak se řadí mezi organické povlaky, které obecně patří mezi nejstarší a stále velmi využívané povlaky. Jejich aplikace není příliš složitá a efektivita výborná. Velkou výhodou je, že jsou velmi šetrné k prostředí, neboť při zpracování nejsou využita žádná rozpouštědla a nevyužitá prášková směs lze přidat znovu do cyklu.

Organické nátěrové hmoty tvoří stále kolem 80-90% všech povlaků. Je tomu tak kvůli jednoduchosti a dostupnosti vyvážení takových povlaků. Není ani zapotřebí příliš náročných zařízení pro nanášení. Nedochozí k omezení tvarem. Vadné výrobky se dají snadno opravit přebroušením a znovu nalakováním. Suché práškové makromolekulární laky z nich tvoří pouze část. Skládají se ze směsi pryskyřic a pigmentů, dále se přidávají suroviny dle požadované vlastnosti – lesk, tvrdost, výsledný povrch atd. Při použití se barvy neředí, a tak jsou vždy připraveny k použití. Při správném skladování vydrží i několik let. Jejich nanášení či konečná úprava probíhá složitěji než u tekutých a gelových barev, což je jejich hlavní nevýhodou.

Princip nanášení práškových nátěrových hmot spočívá v ulpění na základní materiál. Po nanesení vrstvy se zahřátím v peci na tavicí teplotu prášek roztaví a po vychladnutí vznikne souvislá vrstva. Jejich vlastnosti závisí na použitém prášku.

Při volbě nanášení nátěrových hmot je nutno dbát na tyto faktory:

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

Práškové lakování neboli komaxit, umožňuje spoustu variant dle použití nebo odstínu. Variabilní je i vůči povrchu materiálu – základní materiál nemusí být kovový. Nutně ale musí být vodivý a vydržet vypalovací teplotu (kolem 200 °C).

Tabulka 3 Dělení práškových hmot

Typy práškových hmot podle nosičů	
Epoxidové	pouze do interiérů, odolné proti korozi a některým látkám v interiéru
Epoxipolyesterové	do interiéru, krátkodobě odolné proti povětrnostním vlivům
Polyesterové	vhodné do exteriérů, vysoce odolné proti povětrnostním vlivům a UV záření
Polyuretanové	extrémně odolné barvy proti povětrnostním vlivům
Akrylátové	automobilový průmysl
Druhy povrchu práškového laku po vypálení	
Stupeň lesku	lesklý, pololesklý, matný, hluboký mat
Vzhled povrchu	hladký, jemná struktura, hluboká struktura, speciální struktura
Barevnost	nejčastěji vzorník RAL



Obrázek 13 Vzorník barev RAL

Vpravo je fotografie etikety práškového laku, který se nanášel na testovací vzorky. Barva byla zvolena dle aktuální náplni pistolí, kterou v SW-MOTECH používají velmi často. Podle kritérií uvedených v tabulce výše se barva řadí mezi laky na bázi polyesterové pryskyřice pro vnitřní i vnější nátěry. Vyznačuje se vysokou stabilitou barevného odstínu nezávislé na vypalovací teplotě, a také vynikající odolností vůči UV záření. Barva je černá, stupeň lesku matný. Výborně pokrývá povrchy a to včetně kritických hran.



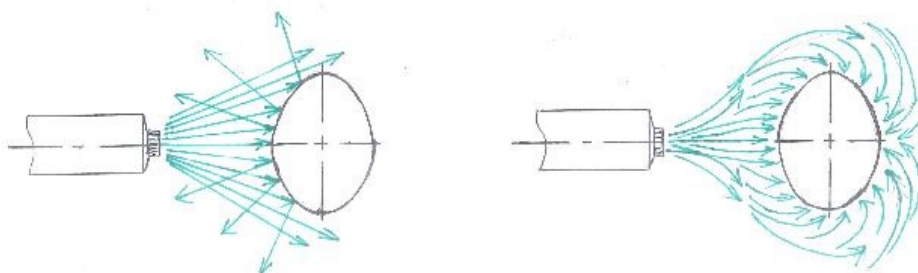
Obrázek 14 Specifikace práškového laku na vzorkách

Prášek lze nanášet několika rozdílnými technologiemi. Při nanášení ručně dochází k nedokonalé rovnoměrnosti nanesené vrstvy práškové nátěrové hmoty, a tak je vhodné tuto metodu používat jen v menším měřítku namísto sériové výroby. Níže jsou popsány technologie stříkání vhodné pro sériovou výrobu.

Nanášení laků s rozpouštědly (tekuté laky):

- *Technologie nanášení nátěrových hmot pneumatickým stříkáním.* Lak se rozprašuje pomocí vzduchu s tlakem 0,2-0,5 MPa. Nanášení probíhá pouze na jedné straně (tam, kde je stříkací pistole). Proces se využívá pro ploché a málo členěné díly. Vhodný je pro rychleschnoucí nátěrové hmoty. Nevýhodou je, že dochází k velkým ztrátám laku, tudíž je vhodné pro kusovou či malosériovou výrobu. Dále je také méně vhodná z hlediska hygieny práce.

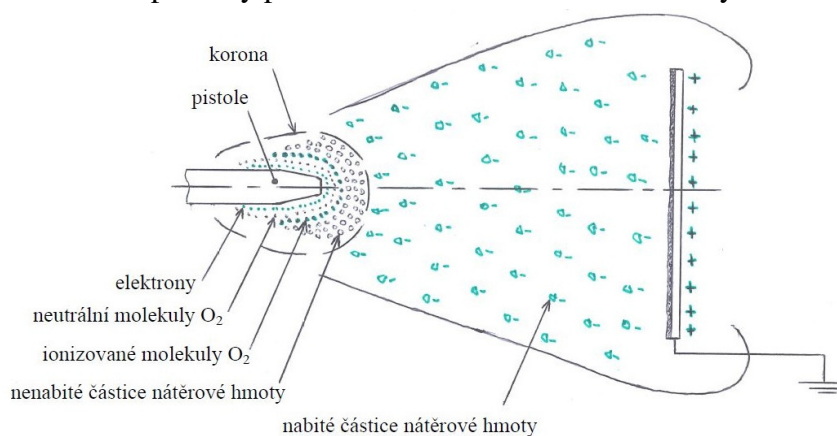
- *Technologie vysokotlakého stříkání nátěrových hmot.* Základní rozdíl mezi vysokotlakým a pneumatickým stříkáním činí způsob vytlačování lakového materiálu z pistole. V tomto procesu se lak tlačí do stříkací pistole bez přítomnosti vzduchu, tlak dosahuje hodnot 16 – 25 MPa. U výstupu z pistole se jemně rozprašuje. Množství laku se redukuje pomocí použitého tlaku a konstrukci trysky, a tak jej nelze měnit plynule. Metoda je nevhodná pro příliš členité díly. Často se používá pro velké ploché povrchy, jako jsou trupy lodí, nádrže, kryty strojů či ocelové konstrukce.
- *Technologie stříkání nátěrových hmot v ohřátém stavu.* Princip nanášení se shoduje s vysokotlakým stříkáním. Rozdíl je v předehřátí nátěrové hmoty na teplotu 70 – 80 °C. Ohřev může škodlivě působit na fyzikální a chemické vlastnosti nátěrové hmoty. Další nevýhodou je, že se nedá často měnit druh nebo barva nátěru. Mezi výhody patří nižší spotřeba ředidel, větší tloušťka nanesená v jedné vrstvě.



Obrázek 15 Stříkání konvenčním (vpravo) a elektrostatickým způsobem (vlevo)

Nanášení laků bez užití rozpouštědla (práškové laky):

- *Technologie stříkání nátěrových hmot v elektrostatickém poli vysokého napětí.* Zde dochází k plynulému nanášení práškové směsi na povrch výrobků, které postupně projíždí stříkací kabinou. Zde je elektrostatické pole, které nabijí částice nátěrové hmoty. Po nabití se začnou rovnoměrně unášet po siločárvkách elektromagnetického pole směrem k uzemněnému předmětu. Materiálu předají svůj náboj a zůstanou přilnuté až do vypalovací pece. Při nástřiku dochází u ústí stříkací pistole ke korónovému výboji, který zapříčiní ionizaci molekul kyslíku za současného vzniku záporných iontů v jeho blízkosti (obr. 14). Tímto získají částice prášku záporný náboj a jsou přitahovány k výrobkům, které jsou připojeny ke kladnému pólu vysokonapěťového generátoru. Po vyrovnání velikosti náboje vůči elektrostatickému poli dochází k vysokému snížení ztrát přestříkem (na 25-5%) oproti hodnotám konvenčního stříkání. Princip rozdílu nanášení nátěrových hmot je na obrázku 13. Aplikace technologie nanášení v elektrostatickém poli nevyžaduje žádná ředidla, neškodí životnímu prostředí a spadlý prášek je znovu použitelný. Využívá se pro ploché i členité povrchy pro malosériovou i velkosériovou výrobu.



Obrázek 16 Princip nabíjení a nanášení částic nátěrové hmoty

- *Technologie TRIBO.* Prášková hmota prochází dlouhou trubicí pistole, v níž dochází k otěru o boční strany, a tak z pistole vycházejí nabité částice. Ty se následně uchytí na povrchu uzemněného materiálu na dopravníkovém pásu. Rozptyl částic touto technologií je neefektivnější, částice snadno obklopí materiál, obdobně jako na obrázku č. 15 vlevo.

V SW-MOTECH se na lince používá technologie stříkání nátěrových hmot v elektrostatickém poli vysokého napětí. Vzorky v kabině, na které je nanášen prášek, jsou na obrázku 15. Z obou stran jsou částečně vidět stříkací pistole, které se pohybují ve svislém směru. Dochází tak k lepšímu přilnutí záporně nabitého prášku na kladně nabitý povrch. Operátoři provádí vizuální kontrolu kvality naneseného prášku z kabiny a případné nedostatky či kritická místa upravují ještě před vypálením.



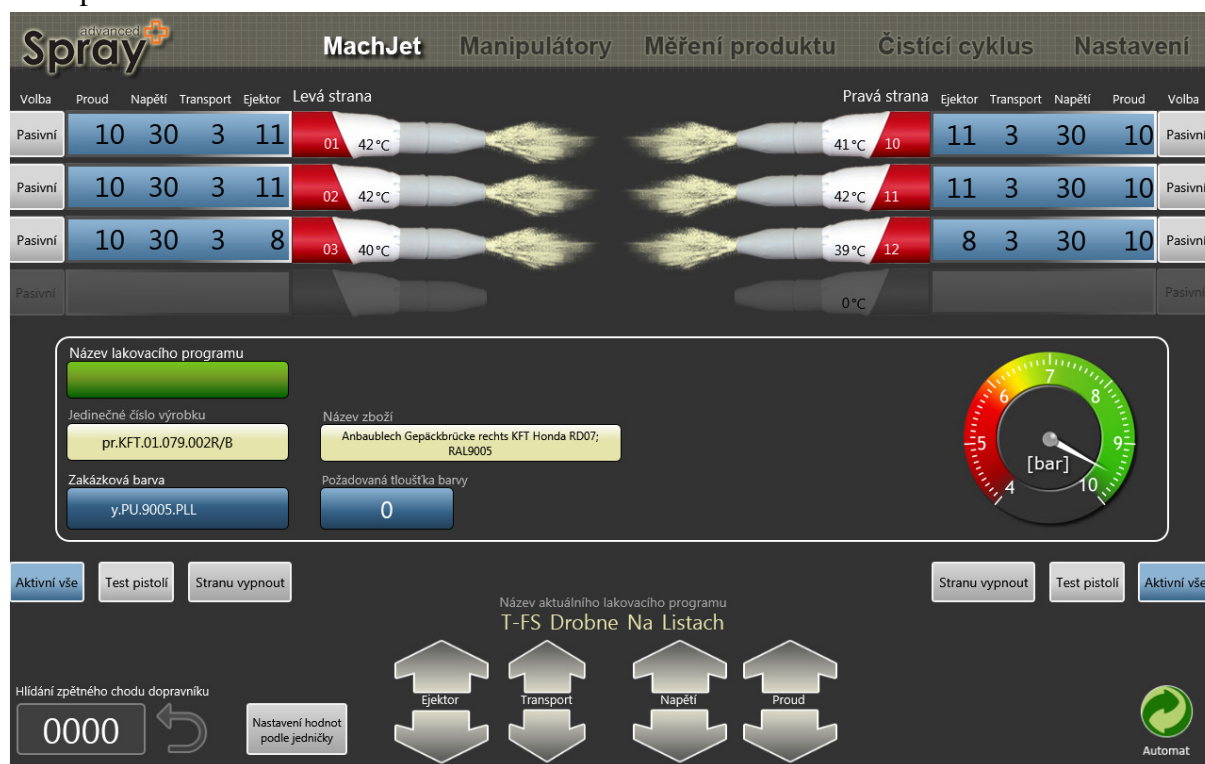
Obrázek 17 Nanášení prášku v kabině



Obrázek 18 TRIBO - stříkací pistole

Jako nástroj pro nanášení ručně používají práškovací pistole TRIBO (obrázek vlevo). Vyměnitelné nastavné hubice přináší širší spektrum využití. Dalšími výhodami jsou minimální ztráty a recyklovatelnost spadaného prášku. Nevýhodou je pomalé čištění, zařízení, které musí být provedeno dokonale kvůli změně druhu nebo odstínu prášku.

Snímek obrazovky ovládacího panelu, který je níže, slouží k nastavení parametrů pro chod pistolí.



Obrázek 19 Nastavení stříkacích pistolí

3.4 Vypalování nátěrů

Při závěrečné úpravě dochází k tavení prášku, který následně tvoří vytvrzený jednolitý povrch. Prášek se taví při teplotách 90-200° C – záleží na typu. Použitá epoxidová barva na vzorkách se vypaluje za teploty 200-220° C. Celkový proces vypalování trvá přibližně 20 minut. Výhodou plechových dílů je, že se prohřejí rovnoměrně a podstatně rychleji než složité výrobky. Nevýhodou je, že pece musí být součástí výroby, tak se tedy zvýší náklady a požadavky na větší prostor.

Jedna z moderních technologií nabízí vytvrzování práškových směsí ultrafialovým zářením pomocí rtuťových a ghaliových lamp. Proces trvá řádově sekundy.

4. ROZBOR MOŽNÝCH FYZIKÁLNÍCH A CHEMICKÝCH VLIVŮ NA KVALITU POVLAKŮ [23], [24]

Fyzikální a chemické vlastnosti rozdílných základních materiálů ovlivňují jakost povlaků. Na dalších řádcích následuje výčet vlastností včetně předpokládaného vlivu na práškový lak.

- *Elektrická vodivost.* Fyzikální vlastnost, která vyjadřuje schopnost materiálu vést elektrický odpor. Dle ní se rozdělují materiály na vodiče, polovodiče, nevodiče a izolanty. Podmínkou pro vodivost pevných materiálů jsou kovové vazby mezi atomy, v nichž se nachází volné elektrony. Základní veličinou pro vyhodnocení je měrný elektrický odpor. Nejlepšími vodiči jsou: stříbro, měď, zlato, hliník. Nejhorší vodivost vykazují slitiny obsahující nikl či chrom. Všechny kovové vzorky jsou vodivé. Nejlepší vodivost vykazuje tedy měď, dále hliník, oceli a nejhorší výsledky přinese korozivzdorná ocel.
- *Tepelná vodivost.* Fyzikální vlastnost, která charakterizuje množství tepla, jenž projde za jednotku času mezi dvěma protilehlými stranami krychle o délce hrany 1 m² a rozdíl teplot těchto stěn je 1 K. Nejlepším vodičem je stříbro, u ostatních prvků či slitin se vodivost zjišťuje porovnáním s tepelnou vodivostí stříbra, udává se v procentech. Nejlepší a nejhorší materiály jsou shodné jako u elektrické vodivosti.
- *Mechanická úprava povrchu.* K mechanickým úpravám patří tryskání, broušení, leštění či kartáčování. Požadovaný výsledek je očištění povrchu od nečistot, vytvoření podmínek pro zvýšení odolnosti proti korozi a opotřebení, v neposlední řadě také úprava vzhledu. Mechanická úprava se projeví u ocelových vzorků, které se dodávají běžně maštěné (ochrana před korozi).
- *Chemická úprava povrchu.* Pojem lze chápat jako změnu chemického složení nebo oxidačních stavů na povrchu materiálu. Jedná se o úpravy typu galvanického pokovení, žárové nebo ponorové zinkování. Tato vrstva především ochraňuje vzorek od koroze vznikající za normálních podmínek. Úprava se týká ocelového vzorku kontinuálně máčeného v zinkové lázni.
- *Délková a objemová roztažnost.* Fyzikální vlastnost, která závisí na změně teploty. Vztahuje se k počáteční délce nebo objemu. Teplotní součinitel délkové nebo objemové roztažnosti je změna délkové nebo objemové jednotky při změně teploty o 1 K.
- *Chemické složení.* Vnitřní struktura a složení materiálu velice ovlivňuje úspěšnost práškového lakování. Materiály, v nichž se nachází železo, patří mezi velmi dobré vodiče a jsou magnetické. Data o přesném složení se vypisují na tzv. materiálový list. Vystavuje se k celé tavně, ze které se daný materiál odlil. Některé jsou k nahlédnutí v přílohách.

Tabulka 4 Fyzikální vlastnosti vybraných materiálů

Fyzikální vlastnosti vybraných materiálů			
Druh kovu	hustota	tepelná vodivost	tepelná roztažnost
	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	α [10 ⁻⁶ K]
Hliník	2700	221	23,8
Ocel	7850	46	11
Měď	8900	393	17
Nerezová ocel	8000	33	16,5

5. NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍHO ŘEŠENÍ [22], [23]

Každý povlak má svou přilnavost k základnímu materiálu. Tato vlastnost se určuje jako adhezivní a mechanické síly vztažených na jednotku plochy. Záleží na způsobu oddělování povlaku od podkladu. Na vzorcích bude měřena přilnavost a odolnost proti deformaci práškového laku dvěma zkouškami – mřížkovou a odtrhovou. Jako primární měření je považováno měření tloušťky nanesené vrstvy.

5.1 Mřížková zkouška [24], [25]

Principem zkoušky je proříznout nožem na sebe kolnými tahy povrchovou úpravu až na základní materiál. Nůž má daný počet řezných zubů závisící na tvrdosti základového materiálu. Hodnoty mezer závisí na tloušťce nátěru:

0-60 μm : odstup 1mm

60-120 μm : odstup 2 mm

120-200 μm : odstup 3 mm

Počet řezných zubů:

6 – pro tvrdé a kovové materiály

11 – pro středně tvrdé materiály



Obrázek 20 Sada pro zkoušku mřížkovým řezem [26]

Po proříznutí se místo řezu očistí kartáčkem, přiloží se adhezivní páska, která se odtrhne. Kvalita nátěru se vyhodnocuje po odtržení páskou, které značně zkoušku zpřísňuje. Následuje určení stupně přilnavosti dle kategorií zavedených v normě ČSN 67 3085:

- 1: Čtverečky mřížky pevně lpí na podkladu, okraje řezu jsou ostré a hladké.
- 2: Čtverečky pevně lpí na podkladu, okraje řezu jsou neostré a roztřepené (porušení max. 5% plochy).
- 3: Čtverečky mřížky se ojediněle odlupují od podkladu (porušení 5-35% plochy).
- 4: Cca polovina čtverečků odloupená od podkladu, v čárách řezu mimo mřížku lpí pevně.
- 5: Většina čtverečků je odloupena, nátěr se zvedá a odlupuje v pruzích již při prvním rovnoběžném řezu.

Uvedené kategorie s příklady mřížek jsou k nahlédnutí v příloze.

Vyhodnocování probíhá pro přesnější výsledky pomocí mikroskopu. Fotografie jsou přiloženy v následující kapitole 6 – Vyhodnocení měření.

5.2 Měření tloušťkoměrem [24], [26]

Měření tloušťkoměrem se zjišťuje aktuální tloušťka povrchové úpravy v konkrétním místě. Zkouška patří mezi nedestruktivní.

K měření je k dispozici tloušťkoměr PosiTector 6000. Ovládání spočívá v přiložení sondy na materiál s povlakem, po sekundě se na displeji ukáže naměřená hodnota provázena zvukovou signalizací. Zařízení se kalibruje pomocí kalibračního feritického materiálu.

Měřidlo je elektronické s digitálním displejem. Jako zdroj napájení slouží vyměnitelné baterie typu AAA. Přístroj je určen pro měření tloušťek povrchů na materiálech obsahujících železo i bez něj (přístroj rozlišuje pouze tyto dvě skupiny). Rozsah měření je rozdělen na dvě stupnice: 0-1500 mikrometrů nebo 0-60 milimetrů. Přesnost měřidla je stanovena na ± 2 mikrometry.

Měření probíhalo v mikrometrech, předpokládané hodnoty tloušťky by měly dosahovat hodnoty minimálně 60 mikrometrů.



Obrázek 21 Měřidlo PosiTector 6000 [25]

5.3. Odtrhová zkouška [24], [27]

Metoda kolmým odtrhem je vhodná pro kovové a práškové laky. Slouží pro určení přilnavosti vrstev při namáhání smykovými silami. K měření je potřeba mít tzv. panenky, které se nalepí dvoufázovým lepidlem na lakovaný povrch. Lepidlo musí mít vyšší pevnost než spoj mezi materiálem a lakem. Po uschnutí lepidla se frézkou projede kolem panenky, čímž dojde k rozdělení povlaku pod panenkou a mimo ní. Následně se provádí utržení panenky pomocí stroje se stupnicí, na které se odečte hodnota vyvinutého tahu pro odtržení.

Zkouška nezahrnuje tloušťku povlaku, která má silný vliv na výsledky zkoušky. Dále zkouška neuvažuje smíšený lom (adhezní a kohezní porušení). Zkoušku hodně ovlivňuje velikost zkušebního tělesa (panenky). Pro měření jsou použity panenky o průměru 20mm.

Panenky se vyrábějí z oceli nebo hliníku. Po úspěšném odtržení na nich zůstává lepidlo a povrchová vrstva, kterou je možné mechanicky očistit, např. pomocí tryskání se tak panenky mohou využívat opakovaně. Do stroje se ustavují pomocí závitů nebo krátkého čepu.

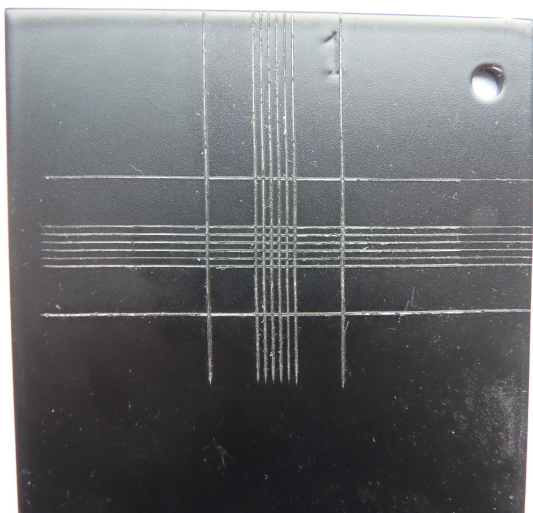


Obrázek 22 Sada pro zkoušku kolmým odtrhem [27]

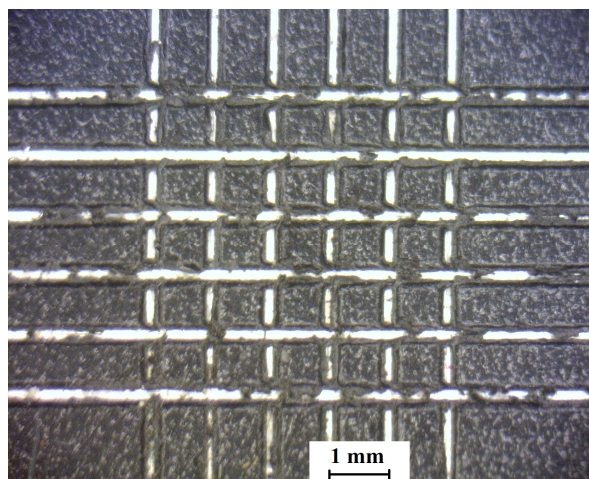
6. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Jako první měření proběhlo měření tloušťky naneseného prášku. Měření se uskutečnilo vždy v pěti místech vzorku, aby bylo dosaženo přesnějšího výsledku. Dále byla provedena na vzorcích mřížková zkouška a jako poslední byla na některých vzorcích provedena zkouška kolmého odtrhu. Výsledky byly zaznamenány v tabulkách podle materiálů na dalších stranách.

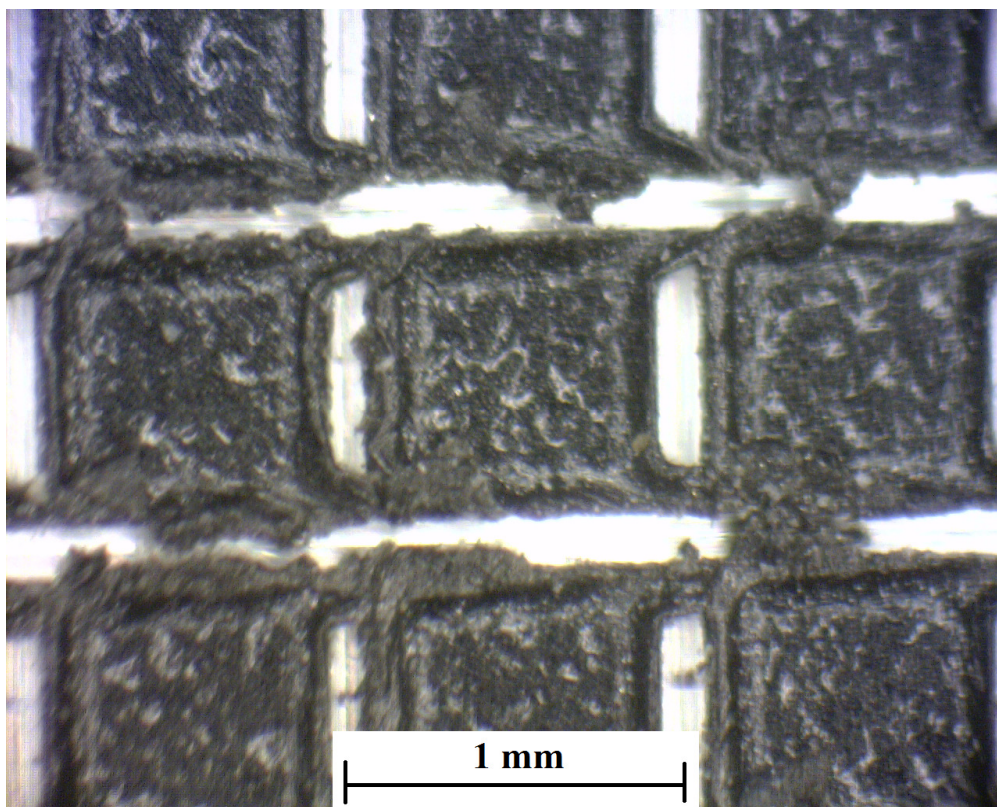
Vzorky pro měření přilnavosti mřížkovou zkouškou se pro lepší vyhodnocení pozorují pod mikroskopem. Níže jsou fotografie jednoho ze vzorků. Mřížkové zkoušky dopadly u všech vzorků velmi obdobně.



Obrázek 23 Mřížková zkouška



Obrázek 24 Mřížková zkouška: přiblížení 1



Obrázek 25 Mřížková zkouška: přiblížení 2

U odtrhových zkoušek se povrch před nalepením panenky brousí. Dochází tak ke zdrsnění struktury povrchu, ztráty lesku, čímž se zvýší přilnavost lepidla. Při odtržení zůstává povlak i s lepidlem na panence. Nemusí se však odtrhnout rovnoměrně, na obrázcích 27-29 jsou příklady lomových ploch povlaku.



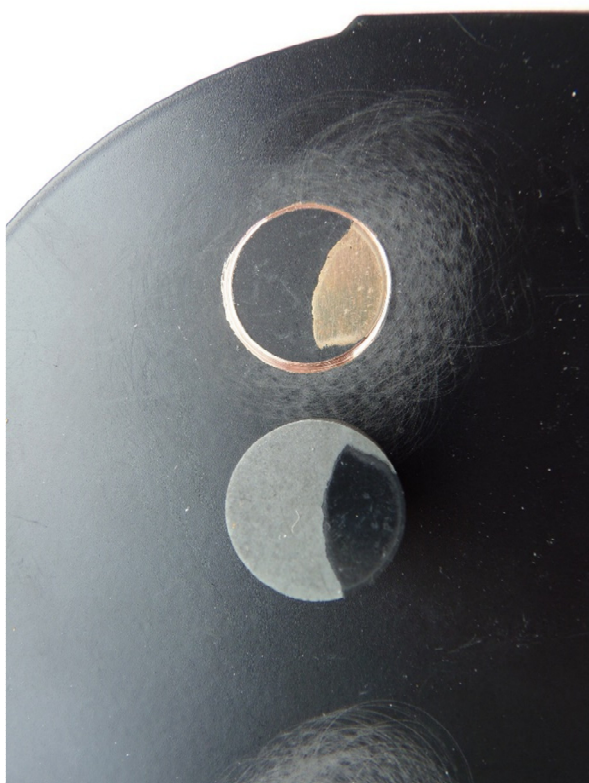
Obrázek 26 Broušený vzorek s odtrhovou panenkou



Obrázek 27 Odtrhová zkouška: vzorek 11



Obrázek 28 Odtrhová zkouška: vzorek 12



Obrázek 29 Odtrhová zkouška: vzorek 8

Tabulka 5 Výsledky měření - Al99,5

Al99,5 – Hliník				
Měření tloušťky				
vzorek	naměřené hodnoty [μm]	průměr [μm]	průměrná tloušťka za materiál [μm]	Průměrná odchylka [μm]
1 Al	82, 84, 104, 84, 90	89	86	5,6
2 Al	88, 88, 86, 78, 72	83		
Měření přilnavosti mřížkovým řezem				
1- Čtverečky mřížky pevně lpí na podkladu, okraje řezů jsou ostré a hladké.				
Měření přilnavosti kolmým odtrhem				
vzorek 1: 2,42 MPa				
vzorek 2: 2,75 MPa				

Tabulka 6 Výsledky měření - AlZn4,5Mg1

AlZn4,5Mg1 – Hliník s příměsí zinku				
Měření tloušťky				
vzorek	naměřené hodnoty [μm]	průměr [μm]	průměrná tloušťka za materiál [μm]	Průměrná odchylka [μm]
3 AlZn	92, 84, 82, 92, 82	86	84	8,6
4 AlZn	82, 72, 82, 94, 70	80		
5 AlZn	88, 70, 62, 90, 66	75		
6 Alzn	76, 92, 96, 86, 72	84		
7 Alzn	114, 84, 96, 92, 84	94		
Měření přilnavosti mřížkovým řezem				
1- Čtverečky mřížky pevně lpí na podkladu, okraje řezů jsou ostré a hladké.				
Měření přilnavosti kolmým odtrhem				
vzorek 3: 2,53 MPa				
vzorek 4: 2,74 MPa				

Tabulka 7 Výsledky měření - Cu99

Cu99 – Měď				
Měření tloušťky				
vzorek	naměřené hodnoty [μm]	průměr [μm]	průměrná tloušťka za materiál [μm]	Průměrná odchylka [μm]
8 Cu	64, 74, 86, 74, 68	73	73	5,8
Měření přilnavosti mřížkovým řezem				
1- Čtverečky mřížky pevně lpí na podkladu, okraje řezů jsou ostré a hladké.				
Měření přilnavosti kolmým odtrhem				
vzorek 8: 0,75-0,95 MPa				

Tabulka 8 Výsledky měření - X5CrNi18-10

X5CrNi 18-10 – nerezová ocel				
Měření tloušťky				
vzorek	naměřené hodnoty [μm]	průměr [μm]	průměrná tloušťka za materiál [μm]	Průměrná odchylka [μm]
9 Nerez	52, 54, 54, 52, 38	50	52	5,7
10 Nerez	52, 62, 68, 48, 44	55		
Měření přilnavosti mřížkovým řezem				
1- Čtverečky mřížky pevně lpí na podkladu, okraje řezů jsou ostré a hladké.				
Měření přilnavosti kolmým odtrhem				
vzorek 9: 2,65 MPa				

Tabulka 9 Výsledky měření - EN 10 130

EN 10 130 – ocel				
Měření tloušťky				
vzorek	naměřené hodnoty [μm]	průměr [μm]	průměrná tloušťka za materiál [μm]	Průměrná odchylka [μm]
11 Fe	88, 82, 84, 92, 82	86	75	7,4
12 Fe	70, 64, 70, 68, 58	66		
13 Fe	78, 56, 78, 78, 68	72		
14 Fe	78, 74, 82, 82, 72	78		
15 Fe	84, 70, 70, 64, 72	72		
Ocelový vzorek č. 13 – z jedné strany mechanicky neočištěn (výsledky na dalším řádku)				
13 Fe (n)	36, 48, 50, 58, 32	45	69	11,2
Měření přilnavosti mřížkovým řezem				
1- Čtverečky mřížky pevně lpí na podkladu, okraje řezů jsou ostré a hladké.				
Měření přilnavosti kolmým odtrhem				
vzorek 11: 1,95 MPa				
vzorek 12: 2,74 MPa				

Tabulka 10 Výsledky měření - DX51D+Z275MAC

DX51D+Z275MAC – pozinkovaná ocel				
Měření tloušťky				
vzorek	naměřené hodnoty [μm]	průměr [μm]	průměrná tloušťka za materiál [μm]	Průměrná odchylka [μm]
16 FeZn	68, 96, 72, 86, 56	76	71	9,8
17 FeZn	76, 56, 74, 72, 56	67		
18 FeZn	70, 80, 78, 64, 50	69		
19 FeZn	74, 64, 90, 76, 60	72		
Měření přilnavosti mřížkovým řezem				
1- Čtverečky mřížky pevně lpí na podkladu, okraje řezů jsou ostré a hladké.				

ZÁVĚRY

V rámci experimentální části byly k dispozici vzorky běžně využívaných materiálů tloušťky 1,5 a 2 mm, které mi bylo umožněno v lakovně SW-MOTECH nalakovat práškovým povlakem. Tomu předcházely úpravy povrchu. Po vytvrzení barvy v peci a vychlazení se začalo provádět měření, které přineslo výsledky dle očekávání.

Základový materiál hliník patří mezi běžně používaný pro komaxitování – naměřené hodnoty tloušťky povlaku patří mezi nejvyšší o hodnotě přibližující se 90 mikrometrům. Výsledky odtrhové a mřížkové zkoušky jsou v normě.

Obdobné naměřené hodnoty s uspokojivými výsledky byly dosaženy u vzorků hliníku se zinkem. V naměřených hodnotách tloušťky je častěji překročena hodnota 90. Způsobuje ji vyšší přilnavost k materiálu způsobená zinkem.

Porovnáním ocelového plechu s a bez pozinkování lze dojít k závěru, že tryskaná ocel je vhodný základový materiál, zatímco pozinkovaný plech již další úpravu povrchu nepotřebuje. Průměrná hodnota tloušťky je od sebe mírně odlišná (71 a 75 mikrometrů). U pozinkované oceli neproběhlo testování odtrhové zkoušky.

Zajímavostí je neopracovaná strana vzorku číslo 13, kde je vidět výrazný pokles naměřené tloušťky materiálu (pouze 45 mikrometrů). Tímto je tedy ověřeno, že odmaštění a abrazivní broušení povrchu má na výsledky komaxitu výrazný vliv.

Měď jako zástupce s největší elektrickou vodivostí nebyla příliš ovlivněna touto fyzikální vlastností. Naměřené tloušťky dosahují podobných hodnot jako oceli. Rozdíl není zaznamenán zřejmě kvůli nevyhovující předúpravě materiálu. Nejvhodnější metodou chemické předúpravy je moření. Měď se obvykle neupravuje komaxitováním z důvodu náročnějšího odmašťování a zbavování nečistot. Ze stejného důvodu i u odtrhové zkoušky byly naměřeny poměrně nízké hodnoty (0,65 - 0,95MPa), které nevyhovují standartu.

Tloušťku povlaku neovlivňují pouze zmíněné fyzikální a chemické vlivy, výrazný vliv má také nabíjecí napětí a délka expozice nanášení prášku. Pokud bude nabíjecí napětí práškových částic příliš vysoké, uchytí se silnější vrstva, ale jen na více otevřených prostorech. Je tedy vhodné pro plechy a ploché součásti. Pro tvarově složitější součásti se volí menší nabíjecí napětí, kde je sice vyšší opad práškové barvy, ale pokryje i drobná zákoutí.

Výsledky z mřížkových zkoušek u všech vzorků dopadly velice obdobně. Všechny výsledky jsou dle vyhodnocovací tabulky ČSN 67 3085 v kategorii 1 – po proříznutí materiálu drží čtverečky mřížky pevně na podkladu. Okraje řezů jsou ostré a hladké. Z hlediska přilnavosti tedy nemá druh základního materiálu příliš velký vliv.

U trhacích zkoušek byl už vliv materiálu mírně znatelný. Nejmenší hodnotu přilnavosti měl měděný vzorek. Bylo tedy ověřeno, že měď není vhodná pro tuto povrchovou úpravu. Přilnavost ostatních materiálů se pohybovala v rámci spodní hranice běžné hodnoty přilnavosti 2-5 MPa.

Nátěrový systém je vhodný pro průmyslové aplikace jak do exteriérů, tak do interiérů. Využití nachází v moderním designu jako venkovní okrasné prvky, krytiny stěn, parapety či v mobilním průmyslu jako doplňky motocyklů a automobilů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Pc tuning: Casemodding - perforované materiály. *Pc tuning: Casemodding - perforované materiály* [online]. 2009 [cit. 2015-09-20]. Dostupné z: http://pctuning.tyden.cz/navody/upravy-modding/12944-casemodding_-_perforovane_materialy?start=3
2. COLORMETAL. WEBDESIGN. *Colormetal s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-09-27]. Dostupné z: <http://www.colormetal.sk/index.php?page=plechy-protismykove>
3. ALCOM AVAL: Aluminium. *Alcom aval, s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2015-09-27]. Dostupné z: <http://www.hlinik.cz/hlinikove-plechy-embosovane>
4. ITALINOX: partner, který nerezaví. *Italinox* [online]. 2015 [cit. 2015-09-27]. Dostupné z: <http://www.italinox.cz>
5. Periodická tabulka: Hliník. STRAKA, Jan. *Periodická tabulka* [online]. 2016 [cit. 2016-01-07]. Dostupné z: <http://www.tabulka.cz/prvky/ukaz.asp?id=13>
6. *HP STEEL* [online]. 2015 [cit. 2016-01-07]. Dostupné z: <http://www.hpsteel.cz/>
7. PROAL: Hliníkové slitiny. *PROAL* [online]. 2009 [cit. 2016-01-07]. Dostupné z: <http://www.proal.cz/info/slitiny.htm>
8. *ALFUN: metal service center* [online]. 2016 [cit. 2016-01-07]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/>
9. MOTORKÁŘI: Strojáři sem - AlMg3 vlastnosti. *Motorkáři* [online]. 2009 [cit. 2016-02-27]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/tema/?t=56902>
10. FERONA, s.r.o.: *Velkoobchod hutním materiálem* [online]. 2016 [cit. 2016-01-07]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/>
11. DEKMETAL: Fasádní systémy. *DEKMETAL* [online]. 2016 [cit. 2016-01-07]. Dostupné z: <http://dekmetal.cz/fasadni-systemy/materialy/pozinkovane-plechy>
12. Měď. PROG. *Stránky o materiálech part. I: Metalurgie neželezných kovů* [online]. 2015 [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://nom.wz.cz/KOVY/Med1.htm>
13. Periodická tabulka: Měď. *Periodická tabulka: Chemické prvky* [online]. 2009, 2015 [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/29.html>
14. MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1217-7.
15. *SW-MOTECH* [online]. 2016 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.sw-motech.com/swmotech2010/index.php>
16. JEŽEK, Josef. Když se řekne práškování!. *MM spektrum*. 2011/4. 2011, (4), 50-53. ISSN 1212-2572. Kód článku 110421. Dostupné také z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/kdyz-se-rekne-praskovani.html>
17. OMEGA DESIGN. *IDEAIL Trade Service: dodavatel lakovacích linek, kompresorů a chemikálií pro povrchovou úpravu* [online]. 2012, 2016 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.itsbrno.cz/>
18. KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2668-1

19. O povrchové úpravě. *PREFA: Aluminiumprodukte GmbH* [online]. 2015 [cit. 2015-11-15]. Dostupné z: <http://cz.prefa.com/cz/stavebnik/servis/otazky-odpovedi/o-povrchove-uprave.html>
20. JEŽEK, Josef. Desatero bodů k práškovému lakování. *Jevan* [online]. 2012, (4), 3 [cit. 2016-11-15]. Dostupné z: <http://www.jevan.cz/cz/hlavni-nabidka/clanky/desatero-bodu-k-praskovemu-lakovani>. Text byl sestaven pro školení pořádané ve spolupráci s ČVUT: 4/2012.
21. *ALBIXON: Prášková lakovna* [online]. 2016 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: <http://www.praskovalakovna.cz/>
22. ROŽEK, Pavel. Nové trendy v povrchových úpravách materiálů – chromování, komaxitování. In: MŠMT. *Odborný výcvik ve 3. tisíciletí* [online]. SPŠ Uherský Brod, 2010, s. 14 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/14265394-Odborny-vycvik-ve-3-tisicileti-nove-trendy-v-povrchovych-upravach-materialu-chromovani-komaxitovani.html>
23. *TRIBOLÓGIA: Tribotechnika* [online]. Tech Park, o.z., 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/>
24. DRIML, Bohuslav. Základní vlastnosti materiálů a jejich zkoušení. *Univerzita Palackého v Olomouci* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://chemikalie.upol.cz/skripta/mvm/zkousky_mat.pdf
25. Elcometer 107: Mřížková zkouška. *Gamin s.r.o.: katalog* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.gamin.cz/katalog/merici-a-laboratorni-pristroje/prilnavost/mrizkova-zkouska/elcometer-107-mrizkova-zkouska>
26. Coating Thickness Gage: Electronic. *Drillspot: Industrial grate at work* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.drillspot.com/products/339013/Defelsko_POSITECTOR_6000_FNS1_Coating_Thickness_Gage
27. Pull off adhesion testing. *Elcometer* [online]. 2015 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.elcometer.com/en/coating-inspection/adhesion-testers/pull-off-adhesion-testing.html>

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 Perforované plechy	16
Obrázek 2 Tahokov	16
Obrázek 3 Protiskluzové plechy	16
Obrázek 4 Embosovaný plech	16
Obrázek 5 Schéma výroby kartáčovaného plechu	17
Obrázek 6 Vzorky materiálů	21
Obrázek 7 Logo firmy SW-MOTECH ve Vojkovicích	22
Obrázek 8 Náhled na smyčku v práškové lakovně	22
Obrázek 9 Ocelové plechy před tryskáním	23
Obrázek 10 Ocelové plechy po tryskání	23
Obrázek 11 Navěšené vzorky	24
Obrázek 12 Ovládací panel – nastavení	25
Obrázek 13 Vzorník barev RAL	27
Obrázek 14 Specifikace práškového laku na vzorkách	27
Obrázek 15 Stříkání konvenčním a elektrostatickým způsobem (zleva)	28
Obrázek 16 Princip nabíjení a nanášení částic nátěrové hmoty	28
Obrázek 17 Nanášení prášku v kabině	29
Obrázek 18 TRIBO - stříkací pistole	29
Obrázek 19 Nastavení stříkacích pistolí	30
Obrázek 20 Sada pro zkoušku mřížkovým řezem	32
Obrázek 21 Měřidlo PosiTector 6000	33
Obrázek 22 Sada pro zkoušku kolmým odtrhem	33
Obrázek 23 Mřížková zkouška	34
Obrázek 24 Mřížková zkouška: přiblížení 1	34
Obrázek 25 Mřížková zkouška: přiblížení 2	34
Obrázek 26 Broušený vzorek s odtrhovou panenkou	35
Obrázek 27 Odtrhová zkouška: vzorek 1135	35
Obrázek 28 Odtrhová zkouška: vzorek 12	35
Obrázek 29 Odtrhová zkouška: vzorek 8	35
Tabulka 1 Rozdělení vzorků	21
Tabulka 2 Chemická předúprava, sušení	26
Tabulka 3 Dělení práškových hmot	27
Tabulka 4 Fyzikální vlastnosti vybraných materiálů	31
Tabulka 5 Výsledky měření - Al99,5	36
Tabulka 6 Výsledky měření - AlZn4,5Mg1	36
Tabulka 7 Výsledky měření - Cu99	36
Tabulka 8 Výsledky měření - X5CrNi18-10	37
Tabulka 9 Výsledky měření - EN 10 130	37
Tabulka 10 Výsledky měření - DX51D+Z275MAC	37

SEZNAM PŘÍLOH

Materiálový list pro korozi vzornou ocel X5CrNi18-10
Materiálový list pro hliníkový plech Al 99,5 (EN AW 1050)
Materiálový list pro pozinkovaný plech DX51D+Z275MAC
Hodnocení mřížkové zkoušky
Materiálový list práškového laku