ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

STANOVENÍ PODMÍNEK PRO ŠETRNÉ SWEEPOVÁNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Kamil Hylák

Studijní obor: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Petr Drašnar, Ph.D.

Akademický rok: 2014/2015

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci „Stanovení podmínek pro šetrné sweepování“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce s použitím podkladů a informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu citované literatury na konci práce.

V Praze dne 30. června 2015

.....

Kamil HYLÁK

.

Poděkování:

Úvodem bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Petrovi Drašnarovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za výborné vedení a odbornou pomoc při vypracování bakalářské práce. Děkuji Ing. Františkovi Tatíčkovi, Ph.D. a Ing. Petrovi Rojkovi za ochotu, kterou mi poskytli při vypracování praktické části této práce. Dále bych také rád poděkoval Ing. Alexandrovi Sedláčkovi, Ph.D. ze společnosti S.A.F Praha za poskytnutí a vyhotovení vzorků pro praktickou část.

STANOVENÍ PODMÍNEK PRO ŠETRNÉ SWEEPOVÁNÍ

Anotace:

První část bakalářské práce je zaměřena na problematiku lehkého tryskání povrchu a hlavní využití této technologie. Obsahuje základní podmínky lehkého tryskání a obecné informace o abrazivních prostředcích.

Druhá část se skládá z porovnání mikrostruktury povrchu v závislosti na použitém abrazivu a tvorbě experimentu, kde všechny zkušební vzorky jsou podrobeny odtrhové zkoušce pevnosti nátěrového systému a vyhodnocení nejvhodnějšího abrazivního prostředku na předúpravu.

Annotation

First part of the thesis is focused on surface light sweeping problematic and on main usage of this technology. It contains basic conditions of light sweeping and general information about abrasive products.

Second part consists of comparison of surface microstructure depending on the used abrasive and the formation of an experiment where all the test samples are submitted to pull-off test of coating system strength and evaluate the most appropriate abrasive products for pretreatment.

Klíčová slova:

lehké tryskání, sweepování, duplexní systém

Obsah

Obsah 5
Úvod 7
Technologie žárového zinkovaní ponorem 8
Teoretická část 10
1. Rozbor problematiky lehkého tryskání 10
1.1 Mechanické úpravy povrchu tryskáním obecně 10
1.2 Účel technologie tryskání obecně 10
1.3 Využití lehkého tryskání 11
1.4 Duplexní systém 12
1.4.1 Příprava povrchu pro duplexní systém lehkým tryskáním 12
1.4.2 Příprava povrchu pro duplexní systém odmaštěním 13
1.5 Tryskací materiály obecně 13
1.5.1 Konvenční tryskací media 13
1.5.2 Nekonvenční tryskací media 14
1.6 Výběr vhodného tryskacího prostředku pro lehké tryskání 15
1.7 Rozbor použitého abraziva 16
1.7.1 Výroba hnědého korundu 16
1.7.2 Chemické a fyzikální vlastnosti 16
1.8 Optimální podmínky lehkého tryskání 17
1.8.1 Odolnosti zinkového povlaku proti abrazi 17
1.8.2 Tryskací zařízení 18
1.8.3 Tlak v trysce 18
1.8.4 Vzdálenost trysky od povrchu tryskaného povlaku 18
1.8.5 Úhel tryskání vzhledem k rovině tryskaného povlaku 18
Praktická část 19
2. Vliv lehkého tryskání na základní materiál 20
2.1 Příprava povrchu před tryskáním 20
2.2 Porovnání povrchové struktury s etalonem 20
2.2.1 Fotodokumentace a porovnání otryskaných povrchů vzorků 21
2.2.2 3D fotodokumentace povrchu 26
2.3 Stanovení drsnosti povrchu vzorků 31
2.3.1 Vyhodnocení drsnosti otryskaných vzorků 31
2.3.2 Porovnání povrchů s ohledem na zrnitost abraziva 32
3. Vliv tryskání na přilnavost nátěrových hmot 33

3.1 Nátěrové hmoty obecně pro duplexní systém 33
3.2 Obecné doporučení volby nátěrového povlaku pro duplexní systém 34
3.2.1 vysokotlaké aplikace NH....34
3.2.2 Ruční aplikace NH....34
3.2.3 Tepelně zpracovávané povlaky....35
3.3 Použité nátěrové hmoty pro experimentální měření....36
3.3.1 Atryx NorECOat FD Prime....36
3.3.2 Colorlak SYNOREX PRIMER S2000....36
3.3.3 Colorlak ZINOREX S2211....37
3.4 Nanášení nátěrového systému....38
3.5 Stanovení tloušťky nátěrového povlaku....38
3.6 Odtrhová zkouška pevnosti nátěrového systému....39
4. Technickoekonomické zhodnocení.... 45
Závěr 46
Seznam použitých zdrojů.... 47
Seznam obrázku 48
Seznam tabulek.... 49
Seznam Grafů 49
Seznam použitých zkratek 50
Přílohy.... 50

Úvod

Cílem bakalářské práce je stanovit parametry pro lehké tryskání povrchu a výběr vhodného tryskacího prostředku s ohledem na požadovanou strukturu povrchu a soudržnost s následným nátěrovým systémem.

V experimentální části práce je provedeno vyhodnocení odtrhové pevnosti nátěrového systému v závislosti na různé velikosti abrazivních částic tryskacího prostředku.

Pro experimentální měření byly zvoleny 4 typy vzorků:

- Leštěný plech z korozivzdorné oceli v rozměru 150 x 100 mm tloušťky 1,5 mm
- Plech z hliníkové slitiny v rozměru 150 x 100 mm tloušťky 4 mm
- Žárově zinkovaný plech ponorem, který byl poskytnut firmou Wiegel v rozměru 150 x 100 mm tloušťky 5 mm
- Žárově zinkovaný plech ponorem, který byl poskytnut firmou ACO v rozměru 150 x 100 mm tloušťky 5 mm

Výše uvedené vzorky mají povrchovou strukturu, která není úplně optimální pro nátěrové systémy z hlediska mechanického ukotvení nátěru, cílem praktické části je tento defekt eliminovat a zajistit vhodnou vazbu mezi povrchem a nátěrovým systémem.

Vzhledem k použitému povlaku žárového zinku na uvedených vzorcích, je v úvodu představena krátká teorie o technologii žárového zinkování ponorem.

Příprava a následné lehké tryskání s aplikací nátěrového systému výše uvedených vzorků, bylo provedeno ve zkušebně firmy SAF Praha, spol. s.r.o., pracoviště Přišimasy.

Technologie žárového zinkovaní ponorem

Žárové zinkování je jednou z nejdůležitějších technik povrchových úprav pro ochranu proti korozi materiálů na bázi železa. Nízké výrobní náklady, výborná protikorozní ochrana a dobrá přilnavost k základnímu povrchu materiálu, vedly k úspěchu povlaku na bázi zinku v mnoha oblastech použití. [12]

Před samotným procesem zinkování je velice důležitá předúprava, pokud je povrch oceli znečištěn barvou, například ve vodě nerozpustnou označovací barvou, nebo struskou po svařování a jinými povlaky, musí se tyto nečistoty nejprve mechanicky odstranit tryskáním nebo broušením. Formovací písek se z odlitků musí otryskat, protože křemičitany, které písek obsahuje, není možné odmořit v kyselině chlorovodíkové, sírové nebo chloridu železnatém. Zamaštění povrchu se nejčastěji odstraňuje alkalickým nebo kyselým odmašťováním. V současné době se používají ekologičtější lázně s tenzidy a bakteriemi, které se postarají o likvidaci tuků a olejů. Po alkalickém odmaštění následuje oplach, který u kyselého odmašťovacího přípravku je možno vynechat. [2] Podle způsobu nanášení tavidla se žárové zinkování rozděluje na suchý a mokrý způsob.

Mokrý způsob: jedna polovina lázně je pokryta tekutým tavidlem. Pokovované díly vstupují do zinkové lázně přes tuto vrstvu tavidla.

Suchý způsob: pokovované díly jsou předem namočeny do roztoku tavidla a po vyjmutí osušeny. Následně jsou ponořovány do roztavené zinkové lázně.

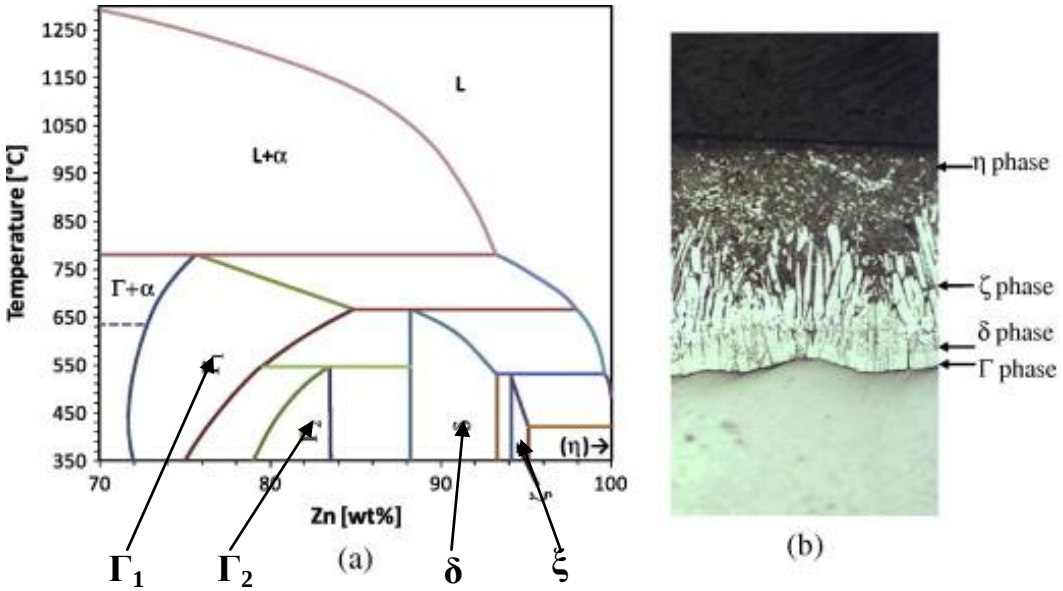
Žárové zinkování probíhá pro teplotkách 440 - 470 °C. Základní materiál reaguje se zinkovou lázní za vzniku různých intermetalických fází, které odpovídají rovnovážnému binárnímu diagramu.

Teplota lázně musí být udržována pod 470°C, aby teplota stěny vany nestoupla na 480°C, kdy dochází ke značnému rozpouštění Fe v Zn. Nedodržení uvedené teploty snižuje životnost zinkových van. Při zinkování vzniká určité množství odpadů, především tvrdý zinek, zinkový popel a salmiaková struska, který je třeba průběžně odstraňovat. [18]

Samotná tvorba povlaku je závislá na teplotě lázně, době ponoření, povrchové teplotě a chemických parametrech (chemické složení materiálu, množství legujících prvku, chemické složení lázně). [12] Růst povlaku zinku a jeho strukturu nejvíce ovlivňuje přísada hliníku do zinkové lázně. Na rozhraní mezi ocelí a zinkovou lázní

nejprve vznikne intermetalická sloučenina Al_5Fe_2, která zabraňuje reakcí mezi železem a zinkovou lázní. [13]

Vzájemné difůze atomů vytváří nestejnoměrný povlak vzhledem k jiným chemickým složením. Na vnějším pásmu je povlak bohatý na zinek, zatímco ve vnitřní zóně povlaku je více obsaženo železo. Z vnitřní zóny k vnější se vyskytují různé poměry železa a zinku, vytváření různých intermetalických fází je uvedeno ve fázovém diagramu na obr. 0-0. Z tohoto důvodu může být zinkový povlak považován za vícevrstvý systém tvořený čtyřmi fázemi, které se vyznačují rozdílnou tloušťkou a mechanickými vlastnostmi:



Obrázek 1, (a) - rovnovážný diagram Fe-Zn, vpravo (b) - metalografický výbrus vzniklých jednotlivých fázi povlaku. [12]

1- Vnější vrstva **η** fáze je tuhý roztok železa v zinku (0,008%), jedná se o tvárnou vrstvu. Při tuhnutí je možnost vyloučení krystalů fáze ξ (v tekutém stavu vyšší rozpustnost železa)

2- Následná vrstva je izomorfní fáze **ζ** , vyznačující se jednoklonnou buňkou, atomové struktury, která obsahuje atom Fe a Zn, atom Fe je obklopený dvanácti atomy Zn ve vrcholech mírně zkresleného dvacetistěnu. Hrubé sloupcové krystaly mají orientaci s předností kolmo na povrch a mohou prolínat i do vrchní vrstvy.

3- Fáze **δ** je tuhý roztok $FeZn_7$, tvoří sloupkovité krystaly kolmé na povrch, jedná se o hlavní strukturní fázi charakteristickou vysokou tvrdostí, ale i křehkostí.

4- Vnitřní fáze **Γ** je velmi tenká vrstva Fe_5Zn_{21} (do 5% tl. Povlaku), vyznačující se obsahem Fe až do 29% hmotnostní struktury. [12]

Teoretická část

1. Rozbor problematiky lehkého tryskání

1.1 Mechanické úpravy povrchu tryskáním obecně

Technologie tryskání (pískování) je v dnešní době jednou z nejrozšířenějších mechanických úprav povrchu. Pod pojmem tryskání rozumíme opracování povrchu předmětu účinkem dopadajících zrn tryskacího prostředku, které působí většinou jako brusný materiál. Dopadem abrazivních zrn na předmět se mění jejich kinetická energie na práci formou opracování povrchu. Výsledný efekt se využívá při předúpravě, kdy hlavním cílem tryskání je dokonale očistit a optimálně zdrsnit povrch pro následné aplikace povrchových úprav.

Název pískování se u nás dříve vžil v době, kdy nejpoužívanější tryskací prostředek byl písek. Tryskání pískem je však dnes z hygienických důvodů zakázáno, protože způsobuje napadení plic silikózou.[1]

1.2 Účel technologie tryskání obecně

Při opracování povrchu tryskacím abrazivním prostředkem lze zajistit odstranění korozních produktů, nežádoucích povlaků a vytvořit tak povrch o požadované čistotě, nebo drsnosti pro následné povrchové úpravy. Tento dvojí účinek se docílí nárazem jednotlivých zrn tryskacího prostředku vysokou rychlostí na povrch upravovaného dílu. Podle druhu a velikosti použitého tryskacího materiálu se docílí požadovaný charakter a drsnost povrchu pro zakotvení následně aplikovaných povlaků.

Pro většinu ochranných systému jsou dány směrnice předúpravy povrchu, které specifikují optimální materiál, tvar a velikost použitého tryskacího prostředku i požadovanou čistotu a drsnost povrchu.

Hlavním účelem technologie tryskání je tedy odstranit nečistoty jakou jsou rez, okuje, staré povlaky apod. z povrchu součásti a vytvořit vhodnou mikrogeometrii povrchu. Nedostatečné odstranění uvedených nečistot může vést ke vzniku zárodků

korozního napadení a jiného poškození povrchu. Rovněž mikrostruktura vytvořená na povrchu tryskáním hraje důležitou roli ve funkčnosti ochranného systému. Některé povlaky tvoří se základním materiálem pouze mechanickou vazbu. Při aplikaci na hladký, pouze odmaštěný povrch není zajištěná dostatečná přilnavost a dochází k místnímu odlupování, případně dokonce ke spadnutí celého povlaku. Umělým zdrsněním povrchu stoupne soudržnost ochranného systému. Drsnost povrchu musí být volena podle použitého druhu a tloušťky povlakového systému.[1]

Stlačování a deformování povrchu tryskáním je specializovaný obor, který se stal důležitý pro životnost dílů podléhající především únavě. Deformační technika tryskání se nazývá "shot peening" v překladu kuličkování, nebo brokování. Zvýšená únavová pevnost kovových povrchů je dosažena tryskáním povrchu vysokým tlakem vybraných kulatých kuliček [5], které fungují jako malá kladívka a mechanicky tuto povrchovou vrstvu zpevňují. Změny způsobené kuličkováním v povrchové vrstvě zmenšují, nebo dokonce mění nebezpečné tahové napětí, při kterém mohou vznikat trhliny, na příznivé napětí tlakové.

Kuličkování zajišťuje při minimálních nákladech podstatné zvýšení některých mechanických, ale i korozních vlastností, jako jsou vrubová houževnatost, odolnost proti únavě a opotřebení, snížení rizika korozního praskání, potlačení mezikrystalické koroze. Tyto aspekty příznivě zvyšují celkovou životnost a spolehlivost součástky. [6]

Nejčastěji se lze s technologii kuličkování setkat v leteckém a automobilovém průmyslu, kdy tento proces má využití především při odstranění otřepů, ostrých hran a zvyšování pevnosti ozubených kol. Další aplikace kuličkování lze nalézt při opracování kovových odlitků a výkovků, v těchto případech poskytuje technologie čištění dílů, odstranění pórovitosti, povrchových vad a zlepšení celkového vzhledu.[5]

1.3 Využití lehkého tryskání

Lehké tryskání, někdy označováno jako „sweepování“ je využíváno především pro nezbytnou změnu mikrogeometrie struktury a drsnosti povrchu, kde je zapotřebí nanést nátěrový systém. Pro korozivzdorné a hliníkové materiály mohou být tyto požadavky čistě estetické, nebo bezpečnostní. Pozinkovaný materiál s nátěrovým systémem tvoří kombinaci povrchových úprav označovaných jako duplexní systémy. [2] Povrch tryskaného materiálu musí pro potřebnou funkci ochrany zajistit pevné ukotvení nátěrového systému. Mechanická soudržnost mezi materiálem s drsností povrchu menší

než Ra 0,5 a následným nátěrovým systémem je velmi nízká, což negativně ovlivňuje funkci povlakového systému. Mechanickou předúpravou lehkým tryskáním lze povrchovou strukturu efektivně změnit, ale zároveň zajistit co nejmenší úbytek a znehodnocení zinkového povlaku.

1.4 Duplexní systém

Duplexní nátěrové systémy jsou systémy rozdílných chemických vlastností skládající se nejčastěji z žárově zinkovaného povlaku ponorem a povlaku nátěrových hmot. Žárové zinkování často poskytuje zcela uspokojivou protikorozní ochranu, avšak v určitých agresivních prostředích a podmínkách může být ochrana proti korozi účinnější. Duplexní systém je vhodný například pro kontinuálně žárově zinkované plechy, zinkový povlak je v tomto případě poměrně tenký a další povrchová úprava formou nátěrového systému velice prodlouží výslednou ochranu základního materiálu proti korozi. Nátěrový systém tvoří elektricky nevodivou mezivrstvu, pokud se má pozinkovaná ocel spojovat s jiným kovem, například s mědí, duplexní systém v tomto případě zajistí ochranu proti galvanické korozi. [2]

Tato kombinace povlaků poskytuje ocelovému povrchu vysokou protikorozní ochranu i v oblastech s nejvyšším stupněm korozní agresivity prostředí. Pro dosažení takto vysoké protikorozní ochrany, je nutné dodržovat správné technologické postupy, doporučení norem apod., jak v procesu zhotovení povlaku žárového zinku, tak v procesu zhotovení nátěru. [3]

1.4.1 Příprava povrchu pro duplexní systém lehkým tryskáním

Velmi důležitou operací před zahájením přípravy povrchu je posouzení, resp. kontrola povrchu, zda odpovídá všem parametrům kladených na jakost. Pokud je povrch žárového zinku v souladu s doporučením normy ČSN EN ISO 1461, popř. s doporučením technicko-kvalitativních podmínek, lze přistoupit k operaci přípravy povrchu před aplikací nátěru duplexního systému.

Pro dosažení co nejvyšší životnosti nátěrového systému se jako příprava povrchu volí lehké abrazivní tryskání (sweepování). Účelem je odstranění korozních produktů zinku, jako je bílá rez a umožnění ukotvení následujících vrstev nátěru pomocí změny profilové struktury povrchu. Aby v průběhu tryskání nedošlo k poškození zinkového povlaku, je nutné správně zvolit technologii tryskání, parametry tryskání,

použité abrazivo a v neposlední řadě zde velkou roli hraje také zkušenost pracovníka provádějícího tryskání. Povrch po lehkém abrazivním tryskání by měl vykazovat stejnoměrný matný vzhled. Drsnost povrchu by měla odpovídat požadavkům výrobce nátěrového systému. [4]

1.4.2 Příprava povrchu pro duplexní systém odmaštěním

Další možnosti přípravy povrchu je chemické čištění, resp. odmašťování povrchu. K tomuto účelu existuje mnoho přípravků a technologií. Odmašťováním docílíme odstranění z povrchu materiálu různých mastnot, prachu, oxidu apod., ale nezajistí se požadované zdrsnění povrchu (kotvící profil), což se musí zohlednit při návrhu nátěrového systému. Přesto má příprava povrchu odmašťováním ve specifické oblasti své uplatnění. [4]

1.5 Tryskací materiály obecně

1.5.1 Konvenční tryskací media

Existují tři hlavní typy kovů pro abrazivní účely, jsou to oceli, tvárné litiny a tvrzené litiny. Každý typ se vyrábí ve dvou tvarech zrna, kulaté a ostrohranné. Z těchto tří typů je ocel zdaleka nejpoužívanější abrazivní materiál, jeho opětovné použití a recyklace, která dovoluje použití 200 krát a více je velice významný faktor. Tvrzené litiny mohou být znovu použity asi 50 až 100 krát a tvárné litiny o něco déle. Úspory z recyklace jednoznačně upřednostňují abrazivní ocel, ale výběr typu materiálu abrazivního kovu je především založen na více aplikačních faktorech.

Tvrdost oceli se pohybuje v rozmezí 35 až 65 Rc, tvárné litiny 28-40 Rc, tvrzené litiny 57-68 Rc. Stejně jako u všech ostatních abraziv, struktura a drsnost povrchu je závislá od tvrdosti zrn abrazivních materiálů. Litiny jsou méně nákladné, než ocel, a jsou používány tam, kde dochází k velkým ztrátám abraziva, železo je křehčí a po interakci s povrchem dochází k lomu zrna, čímž je agresivnější než ocel. V případě ocelové drtě se částice při nárazu deformuji a otupují, zatímco železné částice jsou roztříštěny na menší kusy. Abrazivní velikost zrn je standardizována na SAE specifikace. Velikosti rozměrů zrn jsou tedy od G-10 (2,0 / 1,7 mm), do G-120 (0,125 / 0,075 mm). Kulaté kovové materiály mají široké použití pro technologii kuličkování, což je řízený proces, kdy opracovávané díly jsou vstaveny tváření a změně mechanických vlastnosti po interakci kulatých zrn s povrchem.

Karbid křemíku je nejtěžší, nejostřejší a nejdražší abrazivo na trhu. Používá se pro aplikace, kde je vyžadováno specifické povrchové struktury. Tato média jsou blízko k tvrdosti diamantu. Jedno z hlavního použití tohoto abraziva je odstranění zbytků po tepelném zpracování z tvrzených a kalených částí dílu. Existují různé speciální povrchové úpravy a aplikace, kde je nutné zajistit potřebnou řeznou hloubku abrazivních částic.

Oxid hlinitý, neboli Al_2O_3, známý také pod názvem korund, je s cenou a ostrostí hned za křemíkem karbidu. Využívá se především pro velmi náročné čištění, vzhledem k jeho ceně jsou tato média využívána v uzavřených tryskacích systémy, kde je možnost přefiltrování a obnovení abrazivního materiálu. Oxid hlinitý je velmi agresivní, vysoce výkonnostní abrazivní medium. Existuje několik stupňů čistoty, které vyžadují minimální množství kontaminace abrazivního materiálu. Přední využití oxidu hlinitého je v leteckém průmyslu, kde je významné použití pro čištění a odstraňování otřepů z titanu, hořčíku, a další ušlechtilých kovů, kdy železnatá kontaminace při čištění je nežádoucí.

Skleněné kuličky, jedinečný abrazivní materiál vyvinutý pro odstranění povrchové nečistoty bez ovlivnění rozměrové tolerance součásti. Poskytuje leštěný povrch a v některých případech i zpevnění součásti. Skleněné korálky jsou vyrobeny z bezolovnatého, sodíko-vápenatého typu skla a neobsahují žádný volný oxid křemičitý. Tvar je téměř dokonale kulatý, takže je ideální pro kuličkování . Relativní tvrdost dle Mohsovy stupnice je 6 s velkým stupněm drobivosti, nicméně použití nižších tlaků při tryskání efektivně prodlouží životnost médií. Typické nastavení tlaku vzduchu pro skleněné kuličky v tlakových systémech jsou od 70-80 psi (483 až 552 kPa), do 40 až 60 psi (276 až 414 kPa). Nadměrné tlaky skleněné kuličky roztříští předčasně a zvýšená produktivita v žádném přiměřeném rozsahu nestoupne. Skleněné korálky se vyrábí ve velikosti od 12/14 (1,68 / 1,41 mm) do 170/325 (0,088 / 0,044 mm),(US Federal specifikace MIL-G9954A: Velikost I Velikost 13).

1.5.2 Nekonvenční tryskací media

Drcený plast, pšeničný škrob a kukuřičné klasy jsou novější tryskací média na trhu. Získávají popularitu v aplikacích, kde je potřebné odstranit barvu a korozní povlaky bez narušení základního materiálu. Hranaté a pružné abrazivní částice se

ukázaly jako účinné při odstraňování nežádoucích látek z lehkých tenkostěnných kovů a pokročilých kompozitů, bez materiálového poškození.

Potenciální využití abraziva z plastu a pšeničného škrobu lze nalézt v odstraňování nátěrů z mnoha tenkostěnných kovů, skleněných vláken a různých pokročilých kompozitních materiálů nebo i dřeva. Tato média jsou široce používána v automobilovém, leteckém a lodním průmyslu. Použití najdou také v elektronickém průmyslu pro čištění citlivých obvodových částí. Vzhledem ke schopnosti odstraňovat pouze povrchové povlaky, jsou tato media ideální pro čištění forem a přesného elektronického odhrotování.[5]

Suchý led, nazývaný také jako oxid uhličitý v tuhém stavu, se v dnešní době dostává poměrně do popředí hlavně díky bezpečnostním, ekonomickým a přísným požadavkům pro ochranu životního prostředí. V atmosférickém tlaku suchý led sublimuje a volně se odpařuje do atmosféry. Výroba spočívá ve stlačení a ochlazování CO_2 do kapalného stavu, následným snížením tlaku dochází k odpaření části kapalné fáze CO_2 a prudkému extrémnímu ochlazení, což má za následek vytvoření tuhé fáze. Tryskání suchým ledem patří mezi mechanické úpravy povrchu, kde hlavním cílem je zajistit odstranění korozních povlaku, mastnost a nečistot jako u ostatních abrazivních materiálů. Efektivita předúpravy povrchu spočívá především v teplotě suchého ledu (-79°C), při kontaktu částice s odstranitelnou nečistotou, nebo povlakem dojde k rychlému ochlazení a zkřehnutí, povlak je tímto efektem daleko snadněji odstranitelný. Částice suchého ledu jsou měkké a tak nedochází k porušení povrchu materiálu, po dopadu na povrch částice sublimují a nezůstávají v podobě nutně odstranitelného odpadu. Významným faktorem je, že čistění může probíhat takřka za běhu bez nutnosti přesouvat díly do tryskací haly, nebo komory a tryskání lze provést většinou na místě. [7]

1.6 Výběr vhodného tryskacího prostředku pro lehké tryskání

Požadovaný profil a drsnost povrchu jsou velice ovlivněny tryskacím materiálem. Tryskací materiál, jehož jednotlivá zrna jsou kulatá, vytváří plastickou deformaci povrchu a zlepšuje celkové mechanické vlastnosti tryskaného materiálu. [6]

Výběr vhodného abrazivního materiálu pro šetrné tryskání ovlivňuje několik faktorů, abrazivní zrna by měla být především ostrohranná tak, aby jednotlivé interakce zrn s povrchem vytvářely ostrohrannou mikrostrukturu.

Velikost částic by měla mít rozsah 200 až 500 mikronů. Z anorganických abraziv lze používat hliníkovo-hořčíkové silikáty. Ve velké míře mohou být použita také organická media, jako jsou drcené sušené kukuřičné klasy, skořápky vlašských ořechů, koruny, vápence a minerální písky. [5]

Pro experimentální měření a porovnání účinnosti bylo vybráno abrazivo z hnědého umělého korundu.

1.7 Rozbor použitého abraziva

Umělý korund hnědý se vyznačuje vysokou tvrdostí, podle Mohsovy stupnice tvrdosti odpovídá stupni 9, někdy bývá označován jako oxid hlinitý, zrna mají kubický tvar s ostrými hrany. S tímto materiálem lze dosáhnout v krátkém čase požadovanou čistotu povrchu Sa 2,5 až 3. Korund lze mnohonásobně recyklovat a tím významně snížit náklady na tryskání. [14]

1.7.1 Výroba hnědého korundu

Výroba začíná v obloukové peci při teplotě vyšší než 1800˚C. Roztavením směsi kalcinovaných bauxitů, koksu a Fe třísek, vzniká blok hnědého korundu, který je následně pomalu ochlazován. V další fázi výroby následuje rozemletí pomocí válcových drtičů, odmagnetování a žíhá na teplotu 1050 °C. Požadované výsledné granulometrické složení je roztříděno pomocí kalibračních sít. Povrchová prašnost zrn hnědého korundu je odstraněna praním zrn ve vodě. Tím je dosaženo čistého povrchu, dobré smáčivosti a také dobrých pracovních podmínek.

1.7.2 Chemické a fyzikální vlastnosti

Chemické složení:

Al_2O_3	95,0 % min.
Fe_2O_3	0,3 % max.
TiO_2	3,0 % max.
SiO_2	1,0 % max.

Velikosti zrn jednotlivých zrnitostí v mikrometrech [μm]:

F20 (1180-850), F40 (500-355), F30 (710-500), F60 (300-212) [15]

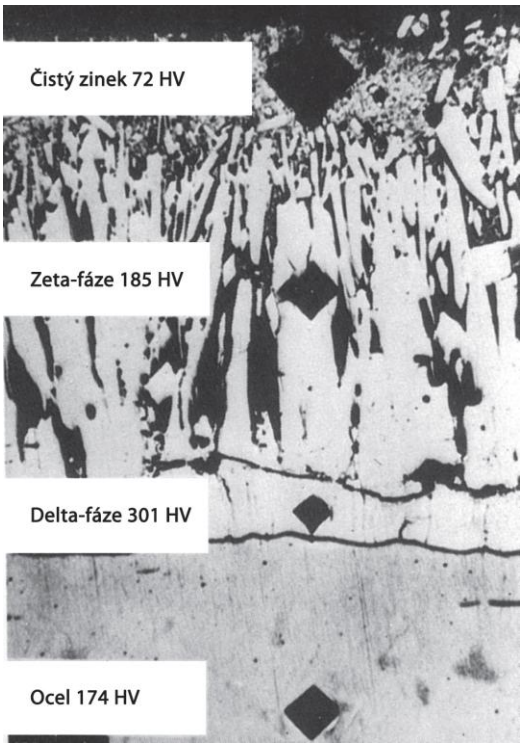
1.8 Optimální podmínky lehkého tryskání

Vrstva žárového zinku nanášeného ponorem je závislá především od tloušťky stěny a chemického složení materiálu. Lehké tryskání povrchu zinku by mělo zajistit pouze změnu povrchové struktury s ohledem na nejmenší možný úběr zinkové vrstvy.

Příliš silné mechanické opracování ničí a zmenšuje tloušťku povlaku zinkové vrstvy, nebo vytvoří vnitřní pnutí, které může později způsobit odlupování vrstvy nátěru. Při správně provedeném lehkém tryskání se odstraní cca 0-10 μm zinkového povlaku. [2]

1.8.1 Odolnosti zinkového povlaku proti abrazi

Čistý zinek je měkký kov, avšak i tak je tvrdší než většina organických povlaků. Slitinové fáze železo – zinek, které při žárovém zinkování vznikají, jsou naopak velmi tvrdé, tvrdší než běžná konstrukční ocel (obr. 2). Fáze železo – zinek proto snášejí otěr výrazně lépe než čistý zinek. Pokus ukázal, že slitinová vrstva má odolnost vůči otěru asi čtyři- až pětkrát vyšší než je tomu u vrstvy čistého zinku. [2]



Obrázek 2- Vpichy mikrotvrdoměru v oceli o několika fázích tvořících zinkovou vrstvu.[2]

1.8.2 Tryskací zařízení

Lehké tryskání vyžaduje použití tlakovzdušného přístroje s regulací tlaku vzduchu, samotný princip tryskání je založen na stlačeném vzduchu, který unáší abrazivní částice a uděluje kinetickou energii potřebnou pro interakci částic se základním povrchem. Zařízení s tímto pohonem abraziva je pro tryskaný povrch materiálu šetrnější, než zařízení s pohonem pomocí metacích kol. [5]

Všechny výše uvedené vzorky použité pro experimenty byly otryskávány na pneumatickém tryskacím zařízení PTZ 100 I od firmy S.A.F

1.8.3 Tlak v trysce

Před samotnou činností předúpravy lehkým tryskání je důležité vyzkoušet efektivitu opracování povrchu nanečisto, rozdílné tryskací materiály mají odlišnou hmotnost, čímž je ovlivněna kinetická energie částic a účinnost tryskání. Ze zkušenosti byl nastaven tlak na mezní hodnotu 0,3 MPa. [5] Vyšší hodnota tlaku by v případě experimentálního měření způsobovala nežádoucí úběr, nebo dokonce poničení zinkové vrstvy.

1.8.4 Vzdálenost trysky od povrchu tryskaného povlaku

Účinnost tryskání je velice ovlivněna vzdáleností konce trysky od základního materiálu. S rostoucí vzdáleností účinnost klesá a abrazivní částice mají větší rozptyl a menší kinetickou energii pro následné mechanické opracování. Pro lehké tryskání je optimální vzdálenost mezi tryskou a základním materiálem udržovat v rozmezí 250 až 350 mm, nižší hodnoty by znamenaly vyšší úběr zinkové vrstvy. Veliký faktor zde hraje také zkušenost pracovníka.

1.8.5 Úhel tryskání vzhledem k rovině tryskaného povlaku

Podle úhlu tryskání vzhledem k rovině tryskaného povrchu může být účinnost opracování velice ovlivněna. V případě lehkého tryskání by úhel mezi opracovávaným povrchem a tryskou měl být udržován v rozmezí 80° až 90°. Ostřejší úhel mezi trajektorii abrazivních částic a povrchem zvětšuje intenzitu a konečný úběr zinkového povlaku. [5]

Praktická část

Seznam vzorků a provedených úprav

Tabulka 1- Leštěný plech z korozivzdorné oceli

označení	Tryskací abrazivo	Nátěrový systém	vyhodnocení
0117.1	-	-	Měření povrchu - etalon
0117.2	F20	-	Měření povrchu
0117.3	F20	Atryx	Odtrhová pevnost
0117.4	F30	-	Měření povrchu
0117.5	F30	Atryx	Odtrhová pevnost
0117.6	F40	-	Měření povrchu
0117.7	F40	Atryx	Odtrhová pevnost
0117.8	F60	-	Měření povrchu
0117.9	F60	Atryx	Odtrhová pevnost
0117.9	- pouze odmaštěno	Atryx	Odtrhová pevnost

Tabulka 2 - Plech z hliníkové slitiny

označení	Tryskací abrazivo	Nátěrový systém	vyhodnocení
0122.1	-	-	Měření povrchu - etalon
0122.2	F20	-	Měření povrchu
0122.3	F20	Atryx	Odtrhová pevnost
0122.4	F30	-	Měření povrchu
0122.5	F30	Atryx	Odtrhová pevnost
0122.6	F40	-	Měření povrchu
0122.7	F40	Atryx	Odtrhová pevnost
0122.8	F60	-	Měření povrchu
0122.9	F60	Atryx	Odtrhová pevnost
0122.9	- pouze odmaštěno	Atryx	Odtrhová pevnost

Tabulka 3 - Žárově zinkovaný plech Wiegel

označení	Tryskací abrazivo	Nátěrový systém	vyhodnocení
0119.1	-	-	Měření povrchu - etalon
0119.2	F20	-	Měření povrchu
0119.3	F20	Colorlak S2211	Odtrhová pevnost
0119.4	F30	-	Měření povrchu
0119.5	F30	Colorlak S2211	Odtrhová pevnost
0119.6	F40	-	Měření povrchu
0119.7	F40	Colorlak S2211	Odtrhová pevnost
0119.8	F60	-	Měření povrchu
0119.9	F60	Colorlak S2211	Odtrhová pevnost
0119.9	- pouze odmaštěno	Colorlak S2211	Odtrhová pevnost

Tabulka 4 - Žárově zinkovaný plech ACO

označení	Tryskací abrazivo	Nátěrový systém	vyhodnocení
0120.1	-	-	Měření povrchu - etalon
0120.2	F20	-	Měření povrchu
0120.3	F20	Colorlak S2000	Odtrhová pevnost
0120.4	F30	-	Měření povrchu
0120.5	F30	Colorlak S2000	Odtrhová pevnost
0120.6	F40	-	Měření povrchu
0120.7	F40	Colorlak S2000	Odtrhová pevnost
0120.8	F60	-	Měření povrchu
0120.9	F60	Colorlak S2000	Odtrhová pevnost
0120.9	- pouze odmaštěno	Colorlak S2000	Odtrhová pevnost

2. Vliv lehkého tryskání na základní materiál

2.1 Příprava povrchu před tryskáním

Vzhledem k tomu, že lehké tryskání patří mezi mechanické předúpravy povrchu, jako přípravu před lehkým tryskáním lze zařadit proces chemické odmaštění. Tato kombinace je vhodná především pro velké díly. Místa, kde abrazivní částice nedopadnou, nebo jejich účinnost opracování povrchu je nízká, mohou vykazovat stopy po mastnotách a tím negativně ovlivnit adhezi mezi nátěrovým systémem a tryskaným povrchem.

2.2 Porovnání povrchové struktury s etalonem

Pro experimentální měření byly použity vždy dva vzorky, které byly tryskány abrazivem se stejnou zrnitostí, z nichž jeden sloužil pro měření povrchu a porovnání s netryskaným etalonem, druhý byl podroben nátěrovému povlaku a následným odtrhovým zkouškám nátěrového systému. Pro porovnání povrchové struktury lehce tryskaného základního materiálu byl vždy použit vzorek, představující etalon, na kterém lehké tryskání provedeno nebylo. Ze snímků lze usuzovat účinnost lehkého tryskání a pozorovat měnící se profil povrchu jednotlivých vzorků po interakcích abrazivních částic s povrchem.

Snímky povrchu byly pořízeny z konfokálního mikroskopu OLYMPUS LEXT OLS 3000. Pro výsledné porovnání a představu o efektivitě lehkého tryskání povrchu

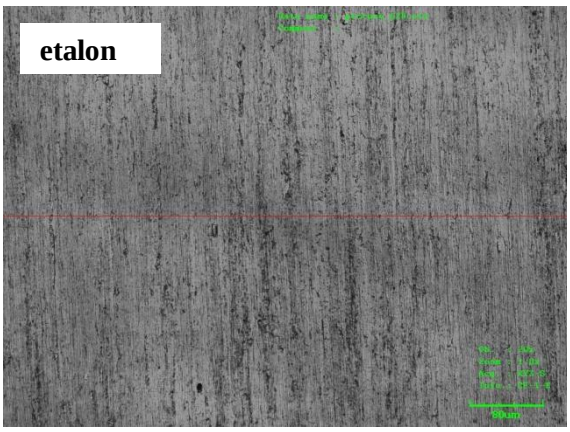
byly vygenerovány jednotlivé řezy profilem povrchu vzorku při 20 násobném zvětšení. Čára řezu je vždy vedena středem záběrového snímku.

2.2.1 Fotodokumentace a porovnání otryskaných povrchů vzorků

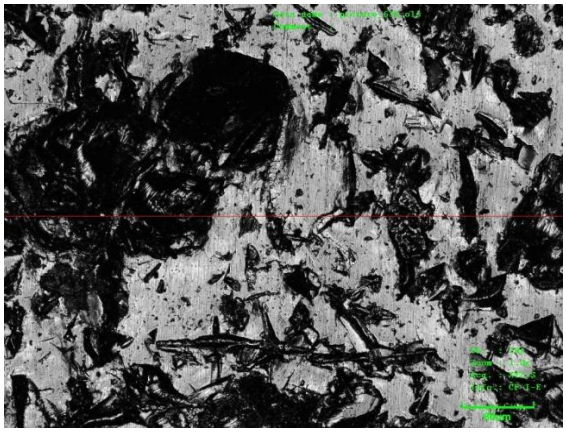
Fotografie vystihují porovnání netryskaného povrchu, s tryskaným povrchem při použití abraziva, který v závěru experimentu vykazoval nejlepší hodnoty pro adhezi a soudržnost nátěrového systému s povrchem zkušebních vzorků.

Z profilového hodnocení povrchu lze posuzovat dopad jednotlivých abrazivních částic na povrch materiálu a pozorovat změnu profilu. Částice po interakci s tryskaným materiálem vytvářejí tzv. „ prohlubně a výstupky“.

Na fotografiích lze v některých případech pozorovat sekundární interakce abrazivní částice s povrchem. Částice, které dopadají na povrch první, jsou od povrchu odraženy a při kontaktu s nově vrženou částicí z tlakové trysky vrženy zpět na povrch, ovšem s daleko menší kinetickou energii.

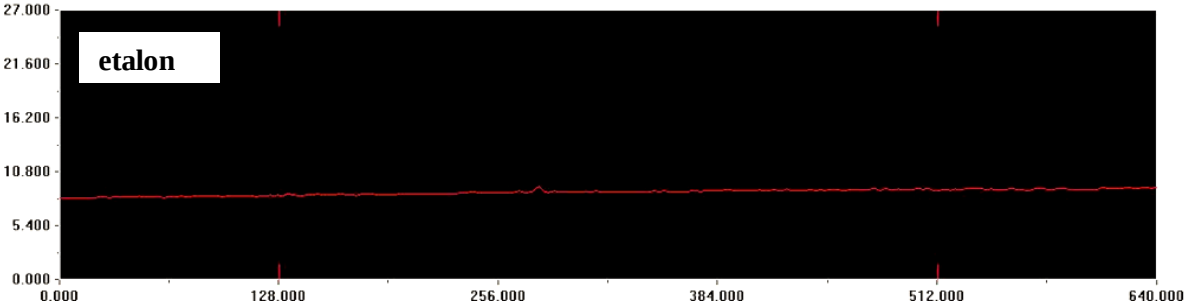


Obrázek 3 - povrch leštěného plechu z korozivzdorné oceli, etalon č. 0117.1

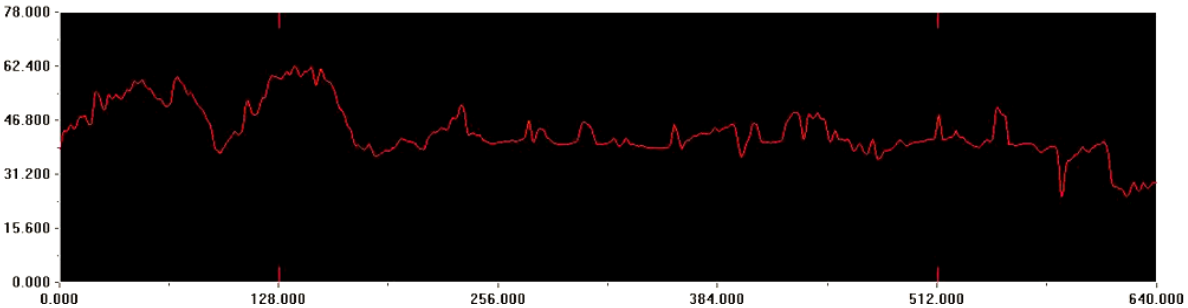


Obrázek 4 – povrch leštěného plechu z korozivzdorné oceli, tryskaný abrazivem F60, č. 0117.8

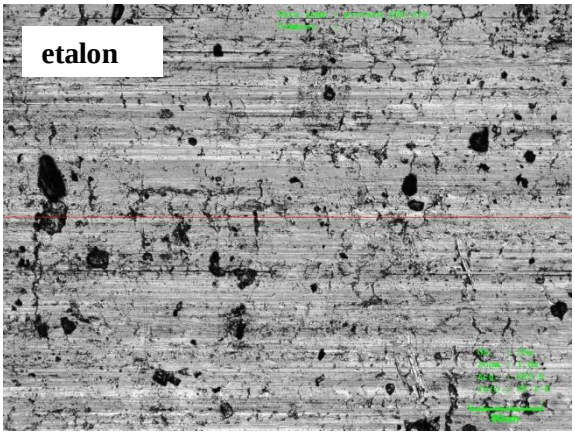
Porovnání řezu profilu č. 1, vzorek - leštěný plech z korozivzdorné oceli:



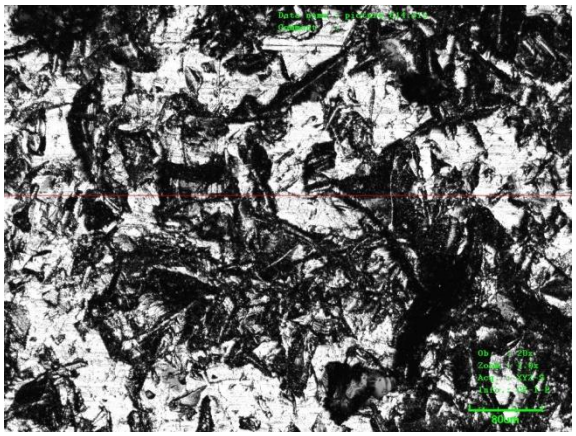
Obrázek 5 - vzorek č. 0117.1 představující etalon, s drsností povrchu Ra 0,03



Obrázek 6 - vzorek č. 0117.8 tryskaný abrazivem F60, s drsností povrchu Ra 1,35

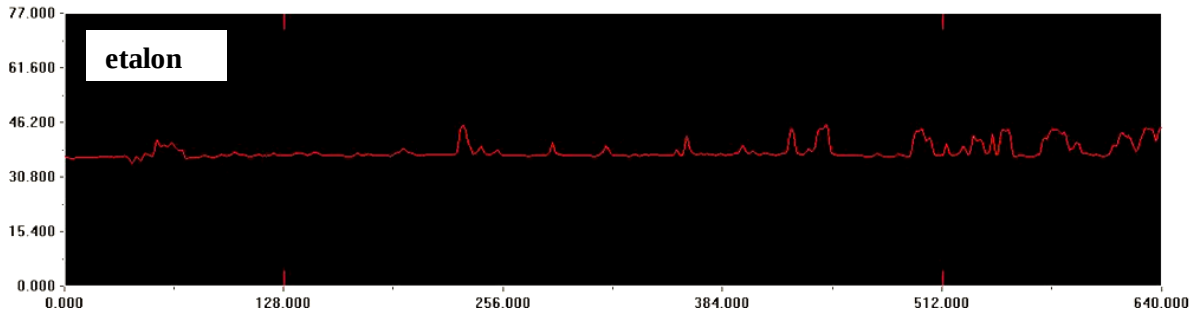


Obrázek 7- povrch plechu z hliníkové slitiny, etalon

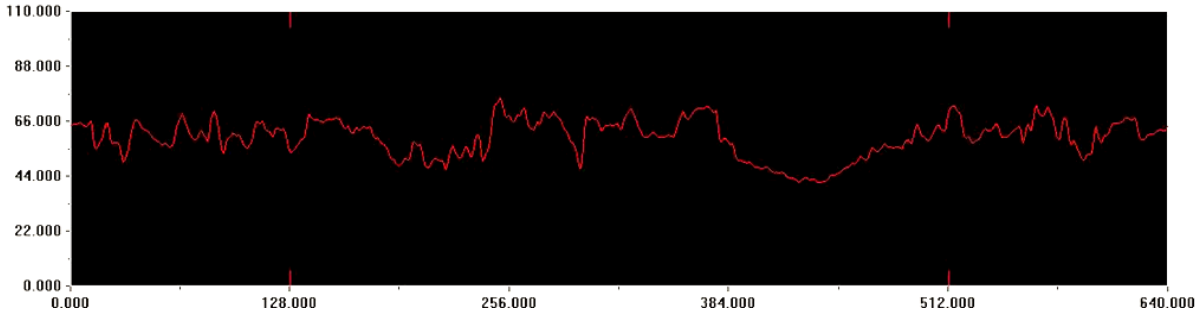


Obrázek 8 - povrch plechu z hliníkové slitiny, tryskaný abrazivem F60, č. 0122.8

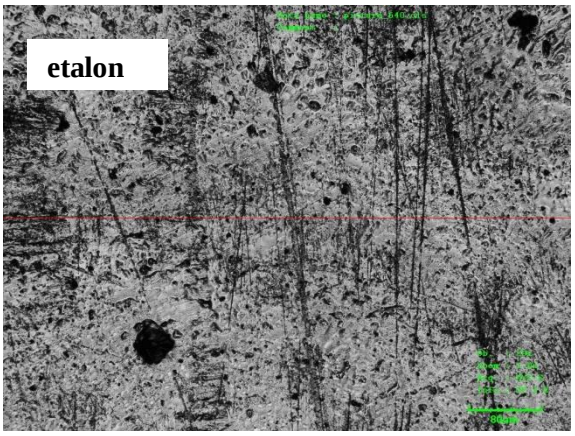
Porovnání řezu profilu č. 2, vzorek – plech z hliníkové slitiny :



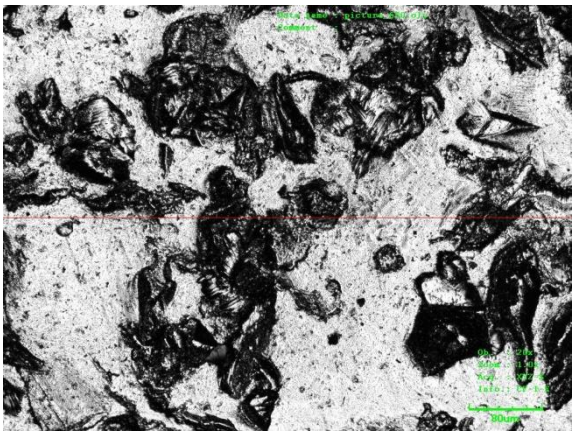
Obrázek 9- vzorek č. 0122.1 představující etalon s drsností Ra 0,13



Obrázek 10 - vzorek č. 0122.8 tryskaný abrazivem F60 s drsností povrchu Ra 2,94

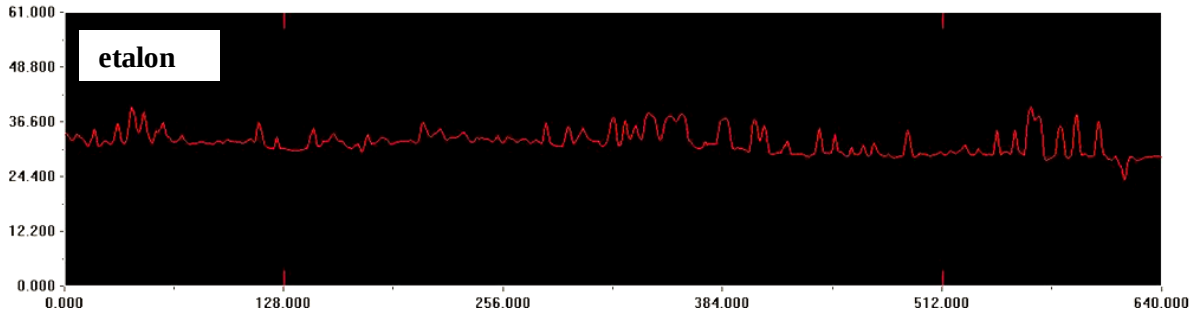


Obrázek 11 - povrch žárově zinkovaného plechu od firmy Wiegel, etalon, č. 0119.1

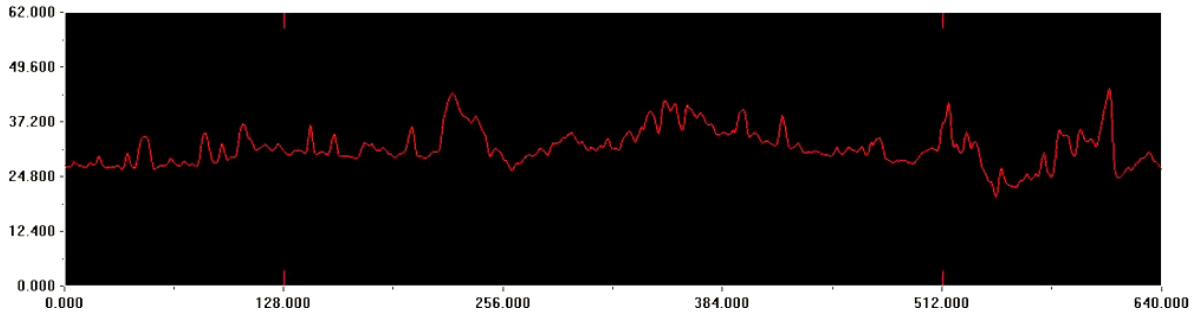


Obrázek 12 - povrch žárově zinkovaného plechu od firmy Wiegel, tryskaný abrazivem F40, č. 0119.6

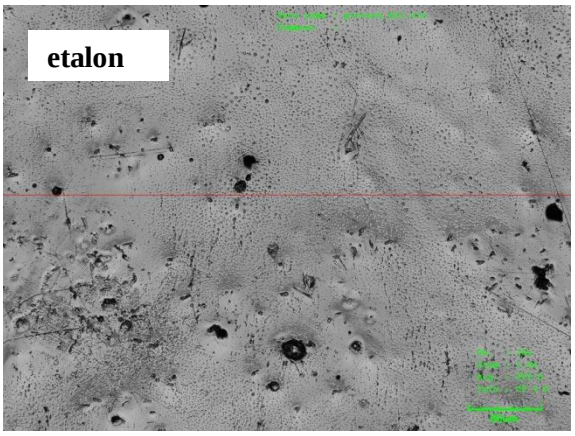
Porovnání řezu profilu č. 3, vzorek – žárově zinkovaný plech Wiegel :



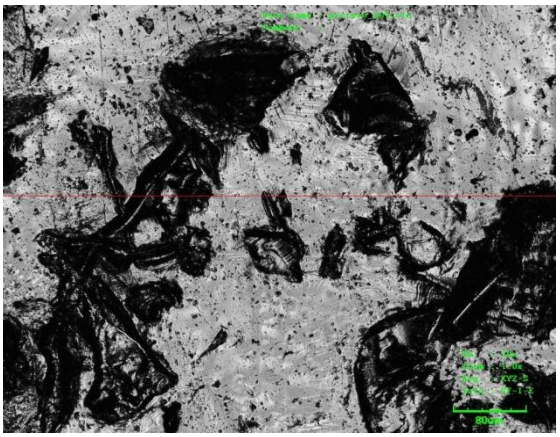
Obrázek 13 - vzorek č. 0119.1 představující etalon s drsností povrchu Ra 0,52



Obrázek 14 - vzorek č. 0119.6 tryskaný abrazivem F40 s drsností povrchu Ra 1,86

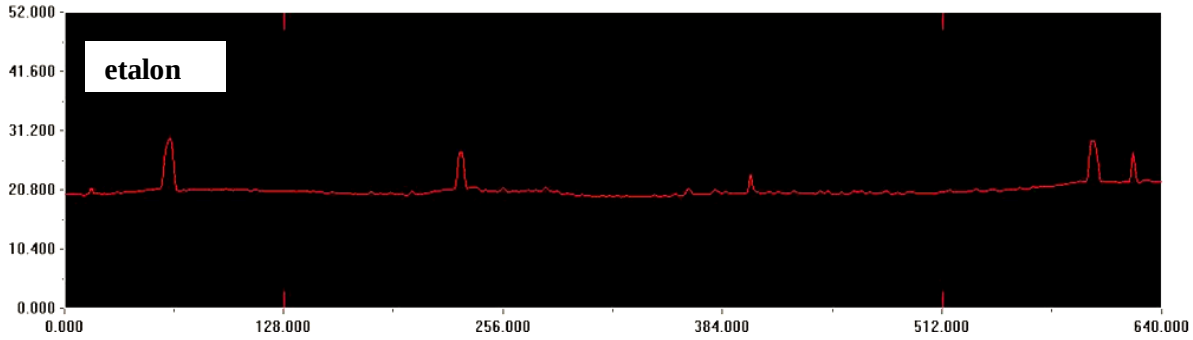


Obrázek 15 - povrch žárově zinkovaného plechu od firmy ACO, etalon, č. 0120.1

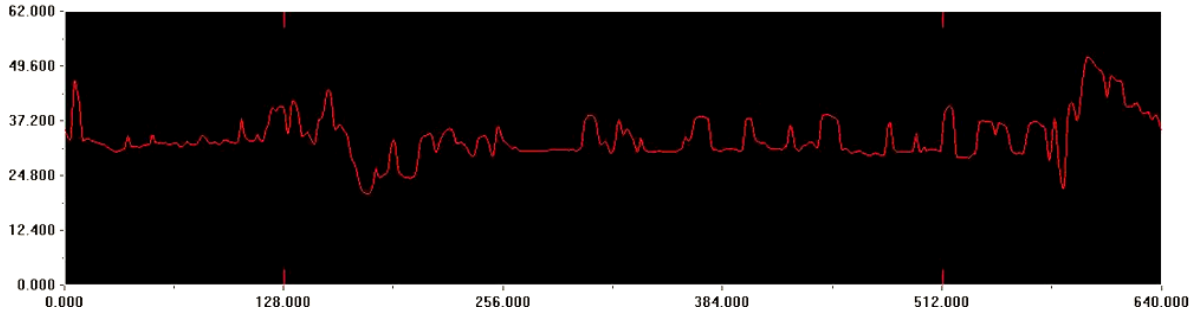


Obrázek 16 - povrch žárově zinkovaného plechu od firmy ACO, tryskaný abrazivem F30, č. 0120.4

Porovnání řezu profilu č. 3, vzorek – žárově zinkovaný plech ACO :



Obrázek 17- vzorek č. 0120.1 představující etalon s drsností povrchu Ra 0,99



Obrázek 18 - vzorek č. 0120.4 tryskaný abrazivem F30 s drsností povrchu Ra 2,41

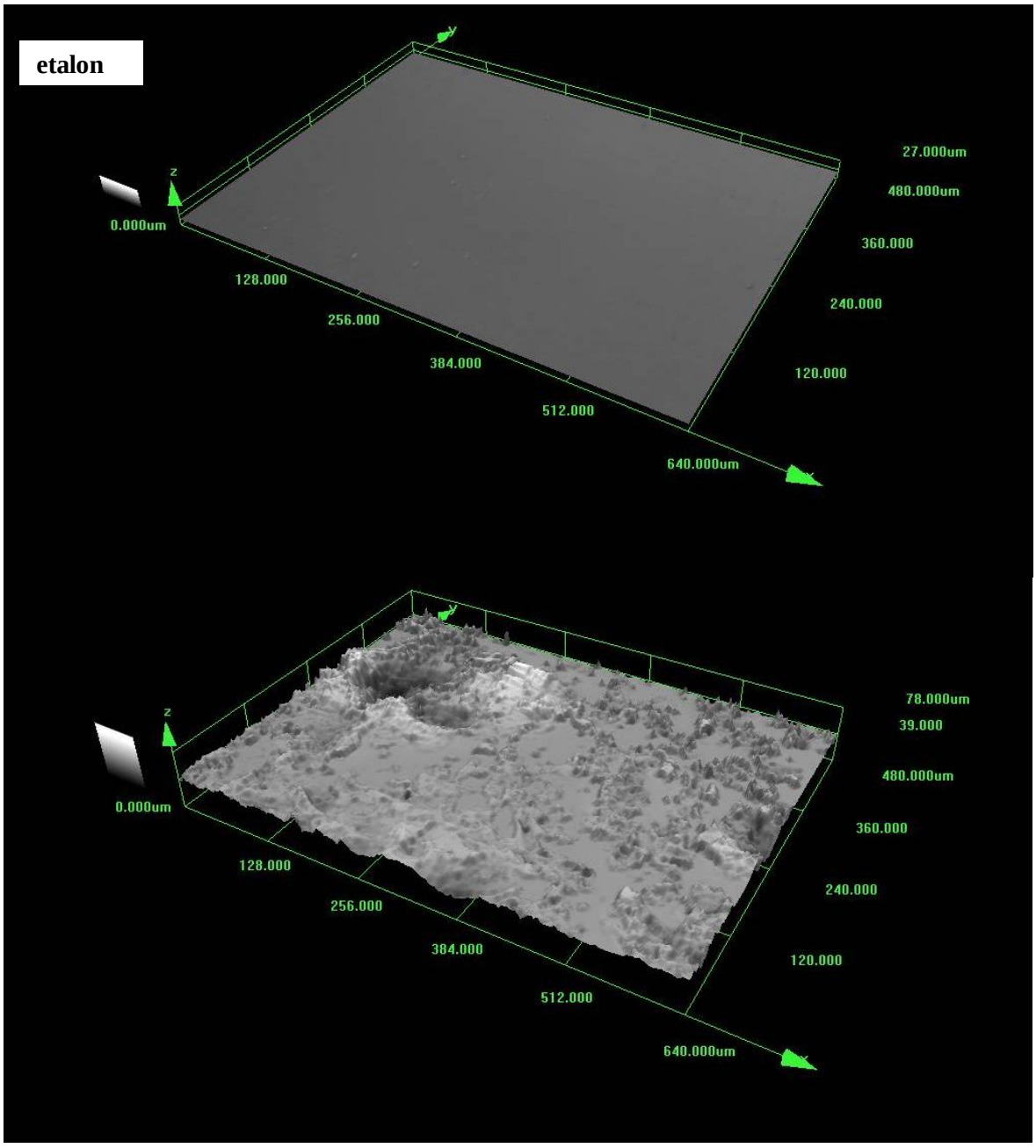
2.2.2 3D fotodokumentace povrchu

3D Fotografie vystihují porovnání netryskaného povrchu, s tryskaným povrchem při použití abraziva, který v závěru experimentu vykazoval nejlepší hodnoty pro adhezi a soudržnost nátěrového systému s povrchem zkušebních vzorků.

Z vygenerovaných snímků lze v některých případech pozorovat sekundární interakce abrazivní částice s povrchem. Místa, která jsou světlá, značí v tomto případě vrcholy.

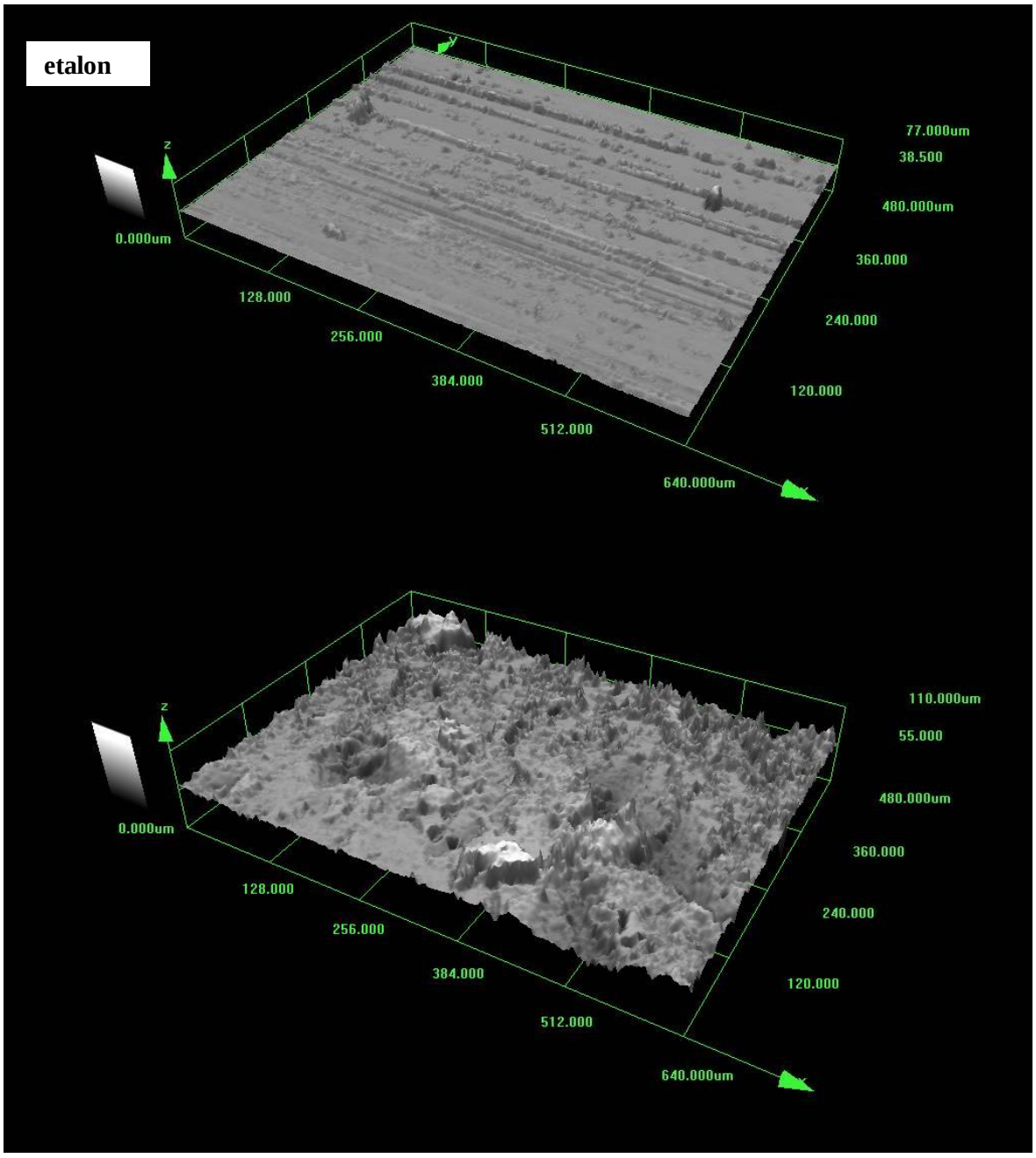
Základním principem generování 3D fotodokumentace z konfokálního mikroskopu je, že netvoří obraz vcelku, najednou, ale bod po bodu, řádkováním. Pomocí řádkování jsou tedy snímány optické řezy v rovině X-Y a díky přesnému definovanému posuvu objektivu v ose Z, i jednotlivé optické řezy. Konfokální obrazy jsou vždy zaostřené a představují jednotlivé optické řezy vzorkem. Složení 3D obrazů vychází tedy z možnosti postupného snímání desítek až stovek optických řezů v ose Z. [20]

Porovnání 3D profilu č. 1, vzorek - leštěný plech z korozivzdorné oceli



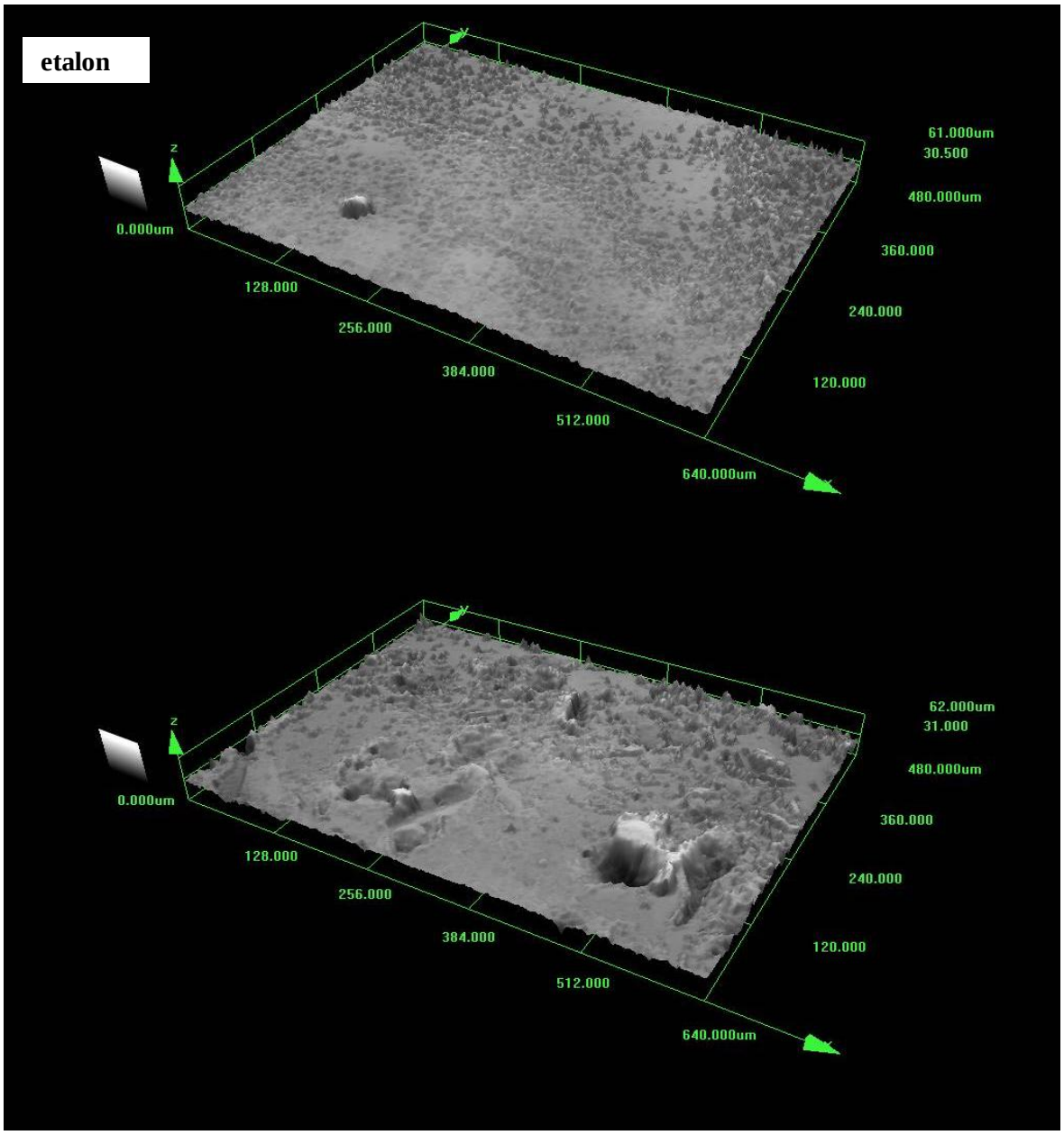
Obrázek 19 - 20, - porovnání struktury povrchu etalonu č. 0117.1 se vzorkem tryskaným abrazivem F60, č. 0117.8

Porovnání 3D profilu č. 2, vzorek – plech z hliníkové slitiny



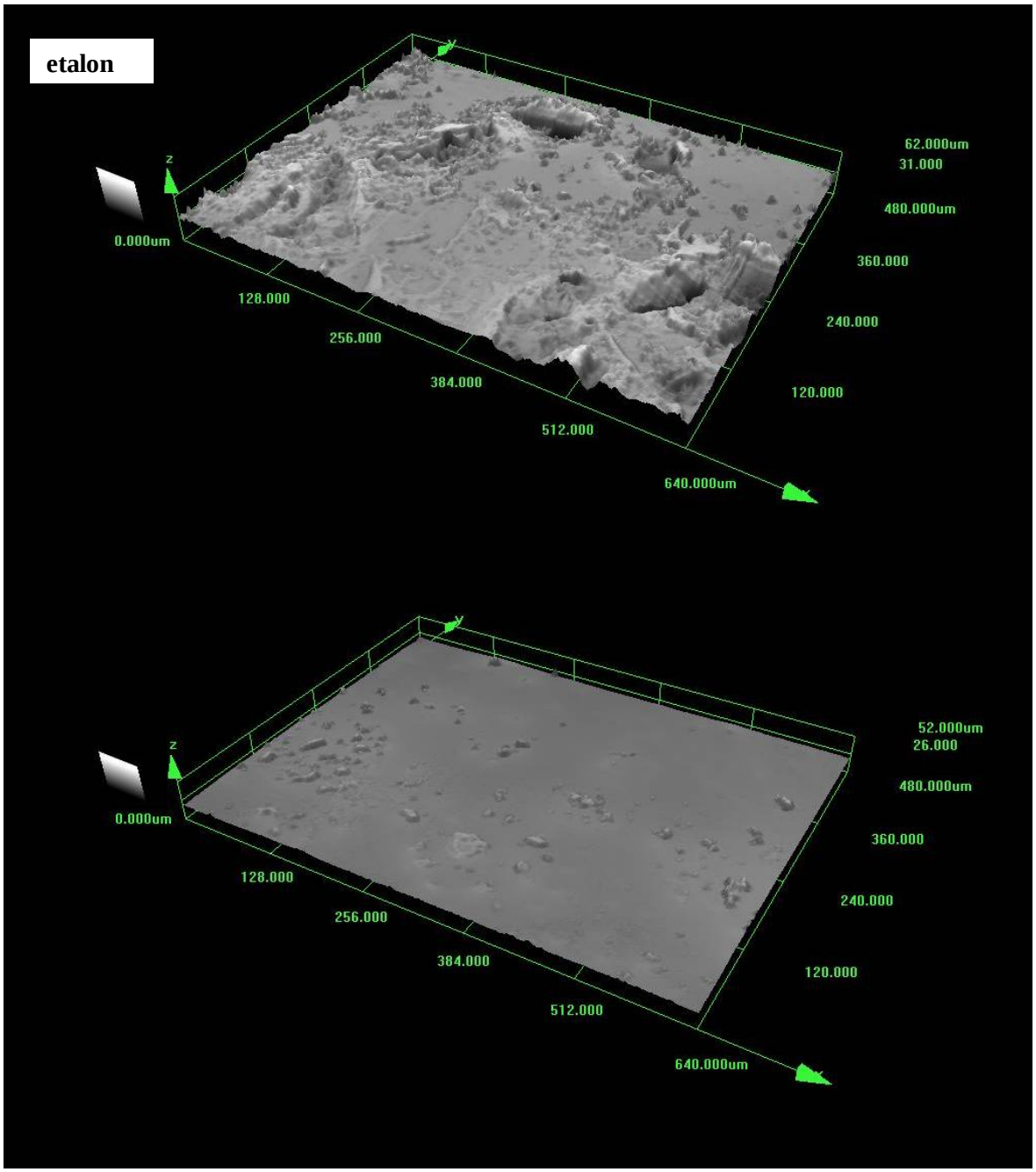
Obrázek 20 - 21, - porovnání struktury povrchu etalonu č. 0122.1 se vzorkem tryskaným abrazivem F60, č. 0122.8

Porovnání 3D profilu č. 3, vzorek – žárově zinkovaný plech Wiegel



Obrázek 21 – 22, - porovnání struktury povrchu etalonu č. 0119.1 se vzorkem tryskaným abrazivem F40, č. 0119.6

Porovnání 3D profilu č. 4, vzorek – žárově zinkovaný plech ACO



Obrázek 22 - 23, - porovnání struktury povrchu etalonu č. 0120.1 se vzorkem tryskaným abrazivem F40, č. 0120.4

2.3 Stanovení drsnosti povrchu vzorků

Drsnot povrchu byla měřena na přístroji Mitutoyo SJ-301, jako charakteristická veličina drsnosti pro vzorky byla použita „Ra“ (střední aritmetická úchylka profilu), dle normy ČSN EN ISO 468

Obrázek 23 - drsnoměr Mitutoyo SJ-301

2.3.1 Vyhodnocení drsnosti otryskaných vzorků

Tabulka 5 - drsnost plechu z antikorozní oceli

značení	Ra	abrazivo
0117.1	0,03	0
0117.2	1,51	F20
0117.4	1,73	F30
0117.6	1,41	F40
0117.8	1,35	F60

Tabulka 6 - drsnost plechu z hliníkové slitiny

značení	Ra[µm]	abrazivo
0122.1	0,13	0
0122.2	2,33	F20
0122.4	4,13	F30
0122.6	1,84	F40
0122.8	2,94	F60

Tabulka 7- drsnost žárově zinkovaného plechu Wiegel

značení	Ra	abrazivo
0119.1	0,52	0
0119.2	3,34	F20
0119.4	2,15	F30
0119.6	1,86	F40
0119.8	2,06	F60

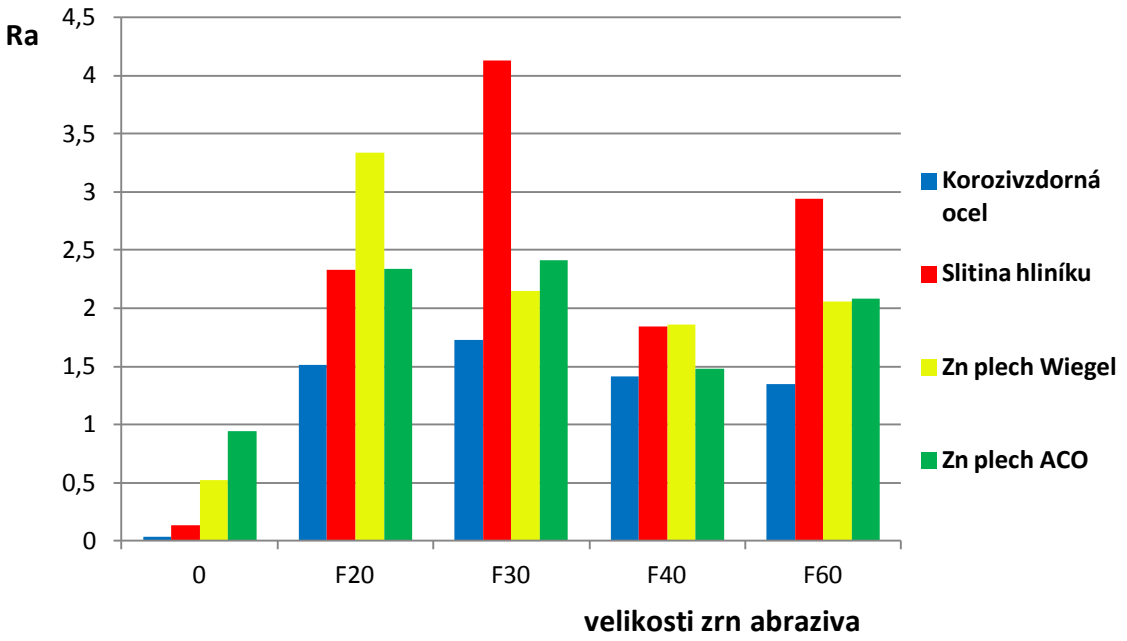
Tabulka 8 - drsnost žárově zinkovaného plechu ACO

značení	Ra[µm]	abrazivo
0120.1	0,94	0
0120.2	2,34	F20
0120.4	2,41	F30
0120.6	1,48	F40
0120.8	2,08	F60

2.3.2 Porovnání povrchů s ohledem na zrnitost abraziva

Rozdíl mezi velikostí abrazivních částic a jejich účinností opracování povrchu je graficky znázorněn níže, pro porovnání jsou uvedeny všechny vzorky použité pro experimentální měření.

Graf 1 - vliv použitého abraziva na drsnosti povrchu vzorků



Velikosti zrn jednotlivých zrnitostí v mikrometrech [μm]:
0 (netryskáno)
F20 (1180-850)
F30 (710-500)
F40 (500-355)
F60 (300-212)

Z grafu je patrné, že abrazivní částice do hliníkové slitiny pronikají hlouběji, než do ostatních materiálů a tím vytvářejí vyšší drsnost, než je tomu u plechu z korozivzdorné oceli. Důležitý aspekt také je, že drsnosti netryskaných vzorku se zinkovým povlakem jsou značně vyšší, než u hliníkového a antikorozního materiálu.

3. Vliv tryskání na přilnavost nátěrových hmot

3.1 Nátěrové hmoty obecně pro duplexní systém

Při volbě vhodného nátěru pro duplexní systém je nutné si uvědomit, že ne každá základní nátěrová hmota je vhodná pro povlak žárového zinku. Z tohoto důvodu se doporučuje konzultace s dodavatelem nátěrových hmot. Zhotovení samotného nátěru je proces, jehož základním cílem je dosažení nátěrového systému vysoké kvality, předepsaných parametrů a s dlouhou životností. Abychom toho docílili, je nutné v celém procesu dodržovat určitá základní pravidla, postupy, doporučení norem apod., mezi které např. patří:

- interval mezi lehkým tryskáním a aplikaci základního nátěru musí být co nejkratší,
- před aplikaci základního nátěru je nutné odstranit zbytky tryskacího média ofoukáním, ometením nebo jinou vhodnou metodou,
- příprava nátěrových hmot a aplikační podmínky musí v souladu s technickými údajovými listy nebo ve speciálních případech s doporučením zástupce dodavatele nátěrových hmot,
- během aplikace nátěru provádět kontrolní měření mokrého filmu hřebenovými měrkami,
- dodržování intervalů přetíratelnosti používaných nátěrových hmot,

- kontrola klimatických podmínek,
- měření suché tloušťky nátěru apod. [3]

3.2 Obecné doporučení volby nátěrového povlaku pro duplexní systém

3.2.1 vysokotlaké aplikace NH

Pro vysokotlaké aplikace povlaku se většinou doporučují epoxidové, polyuretanové nebo chlorkaučukové nátěrové hmoty. Epoxidové nátěrové hmoty, které jsou vhodné jako základní nátěr, by měly být dvousložkové a vytvrzované polyamidem. Obsah sušiny by neměl být příliš vysoký doporučovaná objemová koncentrace pigmentu je 28 až 33 %. Nejběžnější je epoxidový základ. Ostatní typy nátěrových hmot, jako jsou polyuretany nebo epoxidehtové nátěrové hmoty, mají využití jako vrchní nátěry. Obecným pravidlem je, že by se vždy mělo konzultovat s výrobcem nátěrové hmoty, zda jsou základní a vrchní nátěr kompatibilní a nikdy nepoužívat základní a vrchní nátěr od různých výrobců. [2]

Chlorkaučuk (CK) a dvousložkový polyuretan jsou z pohledu vlastního složení surovin na zinkový povlak citlivější, než epoxidové nátěrové hmoty. Pro CK by měl být obsah pigmentů v rozmezí 26 až 30 %. Jako inhibující pigment je z důvodu tvorby bariéry nejvhodnější fosforečnan zinečnatý a hliník nebo oxid železitý. Polyuretanové nátěrové hmoty mají obsah pigmentů v rozmezí 30 až 35 % a jsou pigmentovány hliníkem nebo oxidem železitým. [2]

3.2.2 Ruční aplikace NH

Pro ruční nátěry jsou vhodné dvousložkové akrylátové polyuretany nebo krylem modifikované alkydy. Mohou být vhodné i latexové nátěrové hmoty na bázi akrylátů nebo polyvinylacetátu, které ale často nesplňují požadavky na tvrdost a přilnavost dříve než za 10 až 14 dní. Slibné jsou určité typy nátěrových hmot na bázi modifikovaného kaučuku nebo asfaltem modifikovaného kaučuku, které jsou především jednoduché na zpracování. Hliníkem pigmentované roztoky asfaltu se používají pro konstrukce ve vodě, mají však malou mechanickou odolnost. Obecně se nátěry výše popsanými systémy nemají provádět při teplotách pod 8 až 10 $^{\circ}$ C. Všechny nátěry schnou na vzduchu a urychlené zasychání je třeba provádět jen s velkou opatrností. Tloušťka

vytvořeného základního povlaku by měla být cca 75 μm a neměla by klesnout pod 50 μm. [2]

3.2.3 Tepelně zpracovávané povlaky

Základní povlaky z práškových plastů, nebo obecně hmot, které podléhají procesu vypalování jsou pro tuto technologii poněkud složitější. Náročnost vyplívá z obsahu plynu, především vodíku v oceli a zinku. Při tepelném zpracování organických povlaků dochází ke vzhledovým defektům zejména při chladnutí po tepelném zpracování, při vyšších teplotách zpracování. [8]

Teploty odvodíkování oceli, které se pohybují okolo 180-200 ℃ jsou blízké, nebo se dokonce překrývají s hodnotami tepelného zpracování práškových povlaků (160 – 200 ℃). Problémy povlaků z práškových plastů jsou dány tedy především vyšší vypalovací teplotou (180 – 200 ° C), než je tomu u rozpouštědlových nátěrových hmot (90 – 110 ℃). Předúpravy zinkového povrchu před aplikací nátěrového systému mohou být tvořeny tlakovým omytím, nebo některou z dostupných konvenčních úprav, jako je lehké tryskání (někdy označovaným jako sweepování), případně i odplynění (odvodíkování) ve vhodném pořadí a potřebné kvalitě. Značnou pozornost je třeba věnovat optimální přípravě před samotným zinkováním. Zkrácením doby moření při žárových procesech či omezení katodického procesu odmašťování při galvanickém zinkování. [8] Velmi důležitá je i finální technologie v zinkovnách, každá zinkovna by měla být zákazníkem informována, že na výrobek, který se bude zinkovat, bude následně aplikovaný nátěrový systém. [3]

Volbu nátěrové hmoty na žárově zinkované díly se doporučuj provádět dle specifikace ČSN EN ISO 12944-5 [2]

3.3 Použité nátěrové hmoty pro experimentální měření

3.3.1 Atryx NorECOat FD Prime

Typ nátěru:

NORECOAT FD PRIMER je dvoukomponentní epoxidový základní nátěr se speciálním tvrdidlem. Vytvrzuje rovněž při nízkých teplotách. [11]

Typické použití:

NORECOAT FD PRIMER je vhodný jako základní nátěr v epoxidových a polyuretanových systémech pro otryskané ocelové povrchy v atmosférických podmínkách stupně korozní agresivity C2-C4 a C5-L a C5-M. Je rovněž vhodný pro hliníkové povrchy. NORECOAT FD PRIMER je vhodný zejména pro příhradové konstrukce pro průmyslovou výstavbu, potrubní mosty, apod. Systém je přetíratelný polyuretanovými nátěry. [11]

Použito pro vzorky:

- Leštěný plech z korozivzdorné oceli, č. vzorku (0117.3; 0117.5; 0117.7; 0117.9; 0117.10)
- Plech z hliníkové slitiny, č. vzorku (0122.3; 0122.5; 0122.7; 0122.9; 0122.10)

3.3.2 Colorlak SYNOREX PRIMER S2000

Typ nátěru:

SYNOREX PRIMER S2000 je syntetická antikorozní základní barva. [10]

Složení:

Disperze anorganických a antikorozních pigmentů a plnidel v roztoku modifikované alkydových pryskyřic v organických rozpouštědlech s přísadou sušidla. [10]

Typické použití:

SYNOREX PRIMER S2000 je základní barva s vysokou antikorozní ochranou na kovové předměty pro venkovní i vnitřní použití. Je vhodná pod syntetické a epoxidové nátěrové hmoty (nejméně po 24 hod) nebo nitrocelulózové nátěrové hmoty (nános po 10 dnech po vyzrání barvy), např. k povrchové úpravě odlitků, kovových konstrukcí apod. V odstínu C0100 je vhodná pro základní úpravu dřeva a lze ji brousit. S2000 vyhovuje pro nátěry výrobků a ploch, které přicházejí do nepřímého styku s poživatinami, krmivy a pitnou vodou. [10]

Použito pro vzorky:

- Žárově zinkovaný plech ACO, č. vzorku (0120.3; 0120.5; 0120.7; 0120.9; 0120.10)

3.3.3 Colorlak ZINOREX S2211

Typ nátěru:

Akrylátová polomatná jednovrstvá barva na ocel a pozinkovaný povlak. [9]

Složení:

Disperze pigmentů a plniv v roztoku syntetických pryskyřic v organických rozpouštědlech s přídavkem aditiv a antikorozní složkou (zinkfosfát a organické inhibitory koroze). Nátěrový systém S2211 neobsahuje sloučeniny těžkých kovů. [9]

Typické použití:

ZINOREX S2211 se používá k rychleschnoucím základním i vrchní nátěrům výrobků z oceli, pozinkované oceli včetně čerstvých pozinkovaných materiálů, hliníku, mědi a lehkých kovů. V 1 až 2 vrstvách plní současně funkci základní antikorozní a vrchní polomatné barvy. Speciální složení dovoluje barvě aplikaci větší vrstvy bez případného stékání na svislých plochách. Tloušťka jedné vrstvy, podle způsobu aplikace, je 50-80 μm. Barvu lze použít taky jako kvalitní antikorozní základní nátěr např. pod polyuretanové a akrylátové vrchní barvy. ZINOREX má široké použití pro průmyslové nátěry obytných a přepravních kontejnerů, palet, obložení, konstrukcí a hal, sloupů osvětlení, krytů strojů a zařízení, ale i pro nátěry střech, okapů a parapetů, venkovních kovových konstrukcí, plotů, vrat apod. ZINOREX j vhodný pro úpravu pozinkovaných střech (z nového i starého pozinku), ale je potřeba zajisti odpovídající přípravu podkladu (očištění, odmaštění apod.) S2211 vyhovuje pro nátěry výrobků a ploch, které přicházejí do nepřímého styku s poživatinami, krmivy a pitnou vodou. [9]

Použito pro vzorky:

- Žárově zinkovaný plech Wiegel, č. vzorku (0119.3; 0119.5; 0119.7; 0119.9; 0119.10)

3.4 Nanášení nátěrového systému

Aplikace nátěrového systému na povrch vzorků probíhala tlakově vzduchovou pistolí, tloušťka mokrého filmu byla stanovena a kontrolována podle ČSN EN ISO 2808, metodou hřebenové měrky na hodnotu 100 - 150µm na všech vzorcích.

3.5 Stanovení tloušťky nátěrového povlaku

Tloušťka povlaku byla měřena přístrojem POSITECTOR 6000, který pracuje na principu vířivých proudů, při měření tloušťky povlaku na žárově zinkovaném plechu byla pomocí kalibrace stanovena hodnota 0µm na zinkovém povlaku.

Na každém vzorku bylo celkově provedeno 5 měření v různých místech, hodnoty z měření jsou popsány v tabulce č. 5 až 8 níže.

Tabulka 9- Stanovení tloušťky nátěrového povlaku, leštěný plech z korozivzdorné oceli.

Stanovení tloušťky suchého filmu ČSN EN ISO 2808				
označení vzorků	Aritmetický průměr [µm]	směrodatná odchylka [%]	nejvyšší hodnota [µm]	nejnižší hodnota [µm]
0117.3	124,8	5,19	130	118
0117.5	108	5,62	117	102
0117.7	128,4	3,01	132	123
0117.9	131,6	6,77	142	121
0117.10	127,8	8,28	141	118

Tabulka 10 - Stanovení tloušťky nátěrového povlaku, plech z hliníkové slitiny.

Stanovení tloušťky suchého filmu ČSN EN ISO 2808				
označení vzorku	Aritmetický průměr [µm]	směrodatná odchylka [%]	nejvyšší hodnota [µm]	nejnižší hodnota [µm]
0122.3	125,6	6,41	137	119
0122.5	126,2	7,91	140	119
0122.7	128,2	4,45	136	123
0122.9	123,4	5,24	129	115
0122.10	141,8	11,37	154	121

Tabulka 11 - Stanovení tloušťky nátěrového povlaku, žárově zinkovaný plech Wiegel.

Stanovení tloušťky suchého filmu ČSN EN ISO 2808				
označení vzorku	Aritmetický průměr [µm]	směrodatná odchylka [%]	nejvyšší hodnota [µm]	nejnižší hodnota [µm]
0119.3	71	6,36	79	60
0119.5	65,8	3,54	69	59
0119.7	79,2	3,19	85	76
0119.9	82,2	5,74	92	76
0119.10	71,8	7,17	82	63

Tabulka 12 - Stanovení tloušťky nátěrového povlaku, žárově zinkovaný plech ACO

Stanovení tloušťky suchého filmu ČSN EN ISO 2808				
označení vzorku	Aritmetický průměr [µm]	směrodatná odchylka [%]	nejvyšší hodnota [µm]	nejnižší hodnota [µm]
0120.3	85,8	9,85	96	74
0120.5	64,4	2,73	68	61
0120.7	69,2	5,27	78	62
0120.9	72,6	8,45	82	61
0120.10	67,4	5,78	74	60

3.6 Odtrhová zkouška pevnosti nátěrového systému

Pro stanovení odtrhové pevnosti byl použit přístroj Comtest OP druhé generace. Odtrhová zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 4624. Odtrhy nátěrového systému byly prováděny na vzorcích normalizovaného rozměru 150mm x 100mm. Vzorky byly dostatečně tuhé, aby se zamezilo poškození vzorku po odtrhové zkoušce.

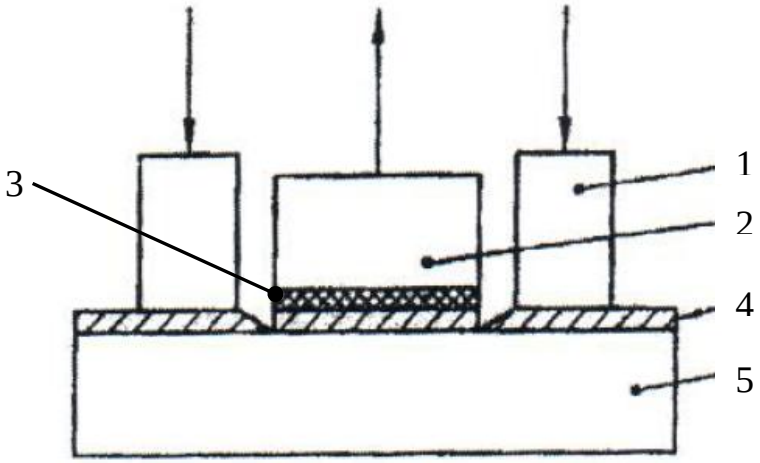
Odtrhová zkouška spočívá v nalepení zkušebního tělíska (terčíku) vhodně zvoleným lepidlem na nátěrový systém, přičemž zkušební tělíska musí být uspořádaná tak, aby se tahová síla přenášela rovnoměrně po celé zkušení ploše bez ohybového momentu. Po uplynutí doby vytvrzení lepidla následuje odtržení tělíska trhacím zařízením.

V experimentálním měření, bylo použito lepidlo Epoxy 460 mezi zkušebními tělísky a nátěrovým systémem, jedná se o lepidlo na bázi pryskyřice. Doba vytvrzení lepidla byla stanovena na 7 dní, pro každý zkušební odtrh. Během odtrhu se zaznamenává nárůst napětí, které dosáhne maximální hodnoty s odtrhem tělíska od vzorku. Hodnota tohoto maximálního napětí je následně spolu s typem lomu výsledkem zkoušky. Při odtržení dojde k adheznímu nebo koheznímu odtržení. [19]

- Adhezní lom A/B – lom mezi vrstvou podkladu a nátěru.

- Kohezní lom B – lom ve vrstvě nátěru. [16]

Nejčastěji dochází ke kombinaci těchto dvou lomů, a proto se uvádí jejich procentuální vyjádření.



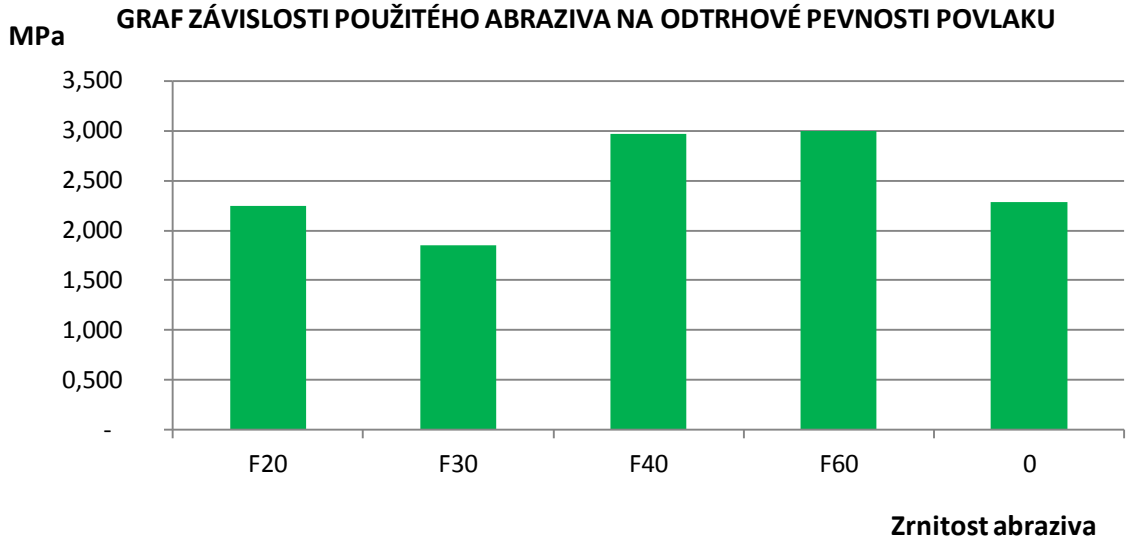
Obrázek 24 - schéma trhacího zařízení pro odtrhové zkoušky, značení vrstev pro vyhodnocení kohezního, nebo adhezního lomu [16]

1- Vnější opěrný kruh
2- Tělísko
3- „Y“ Lepidlo
4- „B“ 1. nátěrová vrstva
5- „A“ podklad

Tabulka 13 - Stanovení přilnavosti nátěru, vzorek - leštěný plech z korozivzdorné oceli, nátěrový povlak – ATRYX NoeECOat FD Prime-

Číslo vzorku	Tloušťka nátěru [µM]	Mřížková zkouška ČSN EN ISO 16276-2	Číslo měření	Odtrhová pevnost [MPa] ČSN EN ISO 4624	Průměr [MPa]
0117.3	124,8	3	1	2,395 (15%A/B,75%Y)	2,248
			2	1,225 (98%A/B, 2%Y)	
			3	3,124 (85%A/B, 15%Y)	
0117.5	108	2	1	2,101 (88%A/B, 12%Y)	1,847
			2	1,635 (87%A/B, 13%Y)	
			3	1,806 (90%A/B, 10%Y)	
0117.7	128,4	2	1	2,414 (90%A/B, 10%Y)	2,965
			2	3,107 (85%A/B, 15%Y)	
			3	3,374 (85%A/B, 15%Y)	
0117.9	131,6	2	1	3,180 (90%A/B, 10%Y)	2,996
			2	3,217 (88%A/B, 12%Y)	
			3	2,591 (87%A/B, 13%Y)	
0117.10	127,8	2	1	2,739 (90%A/B, 10%Y)	2,285
			2	1,978 (90%A/B, 10%Y)	
			3	2,137 (87%A/B, 13%Y)	

Graf 2 – Závislost použitého abraziva na průměrné odtrhové pevnosti, vzorek - leštěný plech z korozivzdorné oceli, nátěrový povlak – ATRYX NoeECOat FD Prime



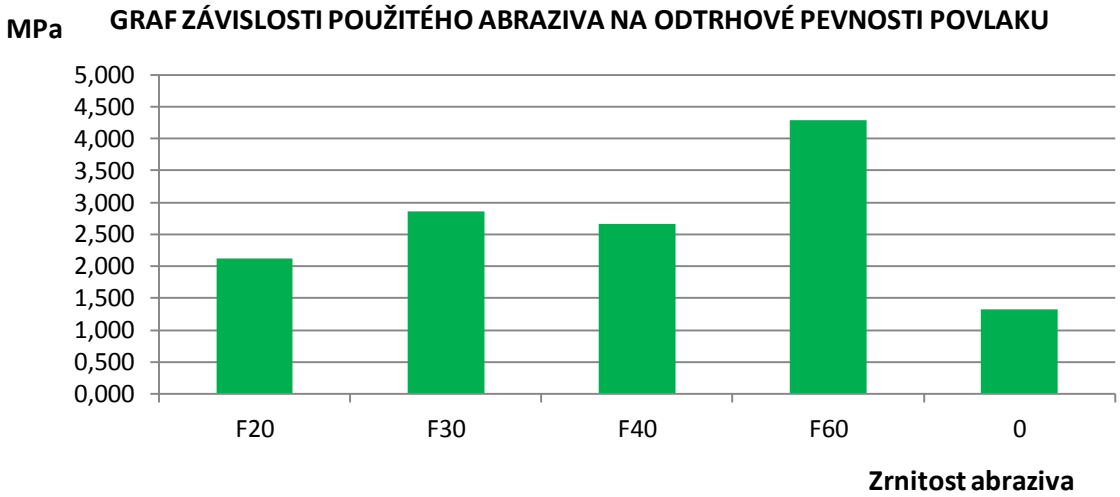
Závěr pro graf 2:

Odtrhové pevnosti vykazují ve značné míře adhezní lom mezi vrstvou podkladu a nátěru. Největší efektivitu opracování povrchu vykazují zrnitosti abraziva F40 a F60.

Tabulka 14 - Stanovení přilnavosti nátěru, vzorek – plech z hliníkové slitiny, nátěrový povlak – ATRYX NoeECOat FD Prime.

Číslo vzorku	Tloušťka nátěru [µM]	Mřížková zkouška ČSN EN ISO 16276-2	Číslo měření	Odtrhová pevnost [MPa] ČSN EN ISO 4624	Průměr [MPa]
0122.3	125,6	3	1	1,186 (96%A/B, 4%Y)	2,128
			2	1,859 (98%A/B, 2%Y)	
			3	3,339 (88%A/B, 12%Y)	
0122.5	126,2	3	1	1,951 (92%A/B, 8%Y)	2,856
			2	3,543 (87%A/B, 13%Y)	
			3	3,075 (92%A/B, 8%Y)	
0122.7	128,2	2	1	0,885 (97%A/B, 3%Y)	2,668
			2	3,785 (85%A/B, 15%Y)	
			3	3,365 (65%A/B, 35%Y)	
0122.9	123,4	1	1	2,371 (85%A/B, 15%Y)	4,291
			2	5,257 (87%A/B, 13%Y)	
			3	5,244 (60%A/B, 40%Y)	
0122.10	141,8	4	1	0 (70%A/B, 30%Y)	1,331
			2	1,350 (95%A/B, 5%Y)	
			3	1,311 (98%A/B, 2%Y)	

Graf 3 - Závislost použitého abraziva na průměrné odtrhové pevnosti, vzorek – plech z hliníkové slitiny, nátěrový povlak – ATRYX NoeECOat FD Prime.



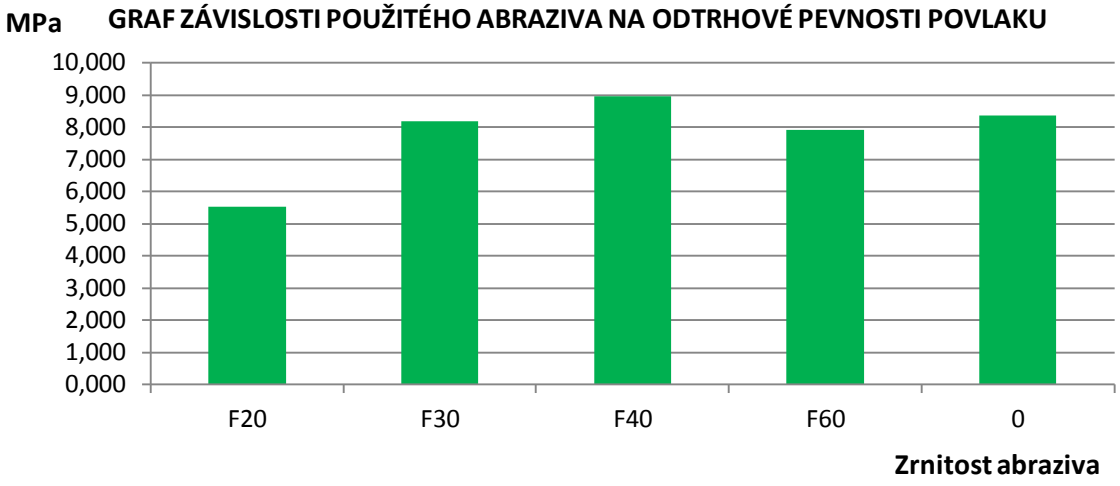
Závěr pro graf 3:

Odtrhové pevnosti vykazují také ve značné míře adhezní lom mezi vrstvou podkladu a nátěru. Nejvhodnější velikost zrnitosti abraziva pro předúpravu je jednoznačně F60.

Tabulka 15 - Stanovení přilnavosti nátěru, vzorek – žárově zinkovaný plech ponorem Wiegel, nátěrový povlak – Colorlak Zinorex S2211.

Číslo vzorku	Tloušťka nátěru [µm]	Mřížková zkouška ČSN EN ISO 16276-2	Číslo měření	Odtrhová pevnost [MPa] ČSN EN ISO 4624	Průměr [MPa]
0119.3	71	2	1	4,498 (100%B, 0%Y)	5,538
			2	6,487 (100%B, 0%Y)	
			3	5,540 (100%B, 0%Y)	
0119.5	65,8	2	1	7,399 (100%B, 0%Y)	8,203
			2	8,348 (100%B, 0%Y)	
			3	8,863 (100%B, 0%Y)	
0119.7	79,2	0	1	8,585 (100%B, 0%Y)	8,958
			2	10,267 (100%B, 0%Y)	
			3	8,021 (100%B, 0%Y)	
0119.9	82,2	1	1	6,732 (100%B, 0%Y)	7,907
			2	8,776 (100%B, 0%Y)	
			3	8,214 (100%B, 0%Y)	
0119.10	71,8	1	1	8,454 (100%B, 0%Y)	8,359
			2	7,998 (100%B, 0%Y)	
			3	8,626 (100%B, 0%Y)	

Graf 4 - Závislost použitého abraziva na průměrné odtrhové pevnosti, vzorek – žárově zinkovaný plech ponorem Wiegel, nátěrový povlak – Colorlak Zinorex S2211.



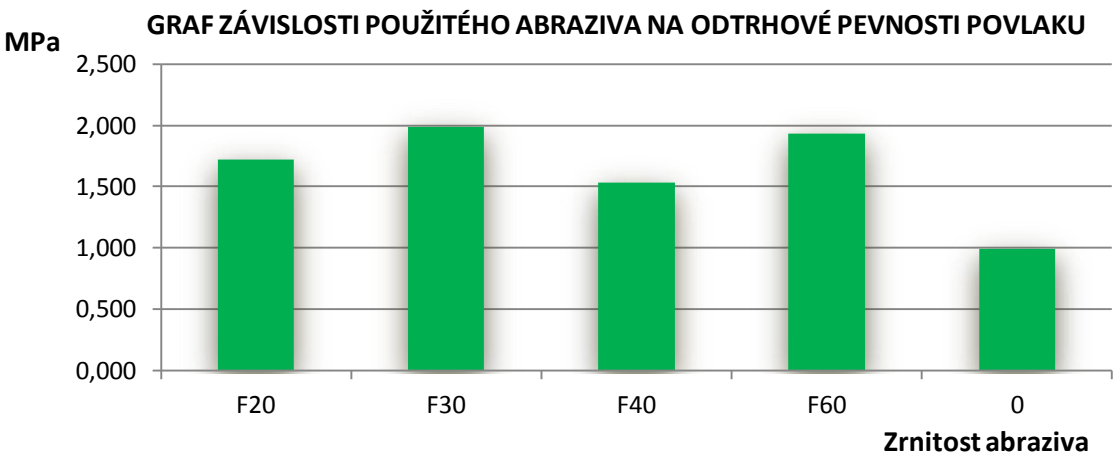
Závěr pro graf 4:

Všechny odtrhové pevnosti vykazují kohezní lom ve vrstvě nátěru. Odtrhové pevnosti jsou značně vysoké, nejvhodnější použití zrnitost abraziva vykazuje F40.

Tabulka 16 - Stanovení přilnavosti nátěru, vzorek – žárově zinkovaný plech ponorem ACO, nátěrový povlak – Colorlak Synorex S2000.

Číslo vzorku	Tloušťka nátěru [µM]	Mřížková zkouška ČSN EN ISO 16276-2	Číslo měření	Odtrhová pevnost [MPa] ČSN EN ISO 4624	Průměr [MPa]
0120.3	85,8	5	1	1,267 (100%A/B, 0%Y)	1,724
			2	2,120 (100%A/B, 0%Y)	
			3	1,785 (100%A/B, 0%Y)	
0120.5	64,4	3	1	1,506 (100%A/B, 0%Y)	1,993
			2	1,934 (100%A/B, 0%Y)	
			3	2,539 (100%A/B, 0%Y)	
0120.7	69,2	4	1	1,413 (100%A/B, 0%Y)	1,537
			2	1,794 (100%A/B, 0%Y)	
			3	1,404 (100%A/B, 0%Y)	
0120.9	72,6	4	1	1,851 (100%A/B, 0%Y)	1,935
			2	1,493 (100%A/B, 0%Y)	
			3	2,461 (100%A/B, 0%Y)	
0120.10	67,4	5	1	0,825 (100%A/B, 0%Y)	0,994
			2	0 (100%A/B, 0%Y)	
			3	1,163 (100%A/B, 0%Y)	

Graf 5 - Závislost použitého abraziva na průměrné odtrhové pevnosti, vzorek – žárově zinkovaný plech ponorem ACO, nátěrový povlak – Colorlak Synorex S2000.



Dílčí závěr pro graf 5:

Všechny odtrhové pevnosti vykazují čistý adhezní lom mezi podkladem a nátěrem. Odtrhové pevnosti jsou v tomto případě velice malé a ukazují na nevhodný výběr nátěrového systému na zinkový povrch. Největší efektivitu opracování povrchu mají zrnitosti abraziva F30 a F60.

4. Technickoekonomické zhodnocení

Zhodnocení finanční náročnosti problematiky lehkého tryskání, bude závislé především na tryskacím prostředku, který nejvíce ovlivní nákladové položky.

Lehké tryskání je využito především v duplexních systémech, jako optimální předúprava pro následný nátěrový systém. Vzhledem k faktu, že tato technologie předúpravy vyžaduje nastavení poměrně nízkých tlaků při tryskání, abrazivní zrna mohou být recyklována a využita vícekrát.

Nákladové položky lehkého tryskání pro zajištění dokonalé přilnavosti následného nátěrového systému nejsou zanedbatelné. Celková protikorozní ochrana konstrukce, kde je využit duplexní systém, je velice závislá nejen na správné technologii žárového zinkování, ale také na vhodně zvoleném nátěrovém systému a soudržnosti se zinkovým povlakem. Investice na důkladné provedení povrchové předúpravy a vhodně zvoleného nátěrového povlaku je z dlouhodobého hlediska protikorozní ochrany důležitá a její výše vzhledem k následným nákladům opravy a obnovení nátěrového systému poměrně malá. Nátěrový systém, který nemá optimální soudržnost se zinkovým povlakem, nemá ani odpovídající zajištění ochrany povlaku zinku, tím se konstrukce dostane do stavu, kdy je nutno tento systém obnovit, což je finančně značně náročnější, než investice do povrchové předúpravy lehkým tryskáním.

V experimentální části práce byl použit, jako tryskací prostředek korund hnědý, známý také jako oxid hlinitý. Korund hnědý patří mezi abrazivní prostředky s cenou pohybující se okolo 22 000 Kč za tunu, cena je závislá na odběrném množství. Možnost recyklace korundu v 5 – 10 opakujících se cyklech ekonomickou náročnost poměrně snižuje.

Závěr

Vyhodnocení experimentální části a výsledky odtrhových zkoušek pevnosti nátěrového systému ukázaly, jaké velikosti abrazivních zrn jsou nejvhodnější pro vytvoření vhodné mikrostruktury a drsnosti pro vhodnou mechanickou soudržnost nátěrového systému s povrchem vzorků.

Rozdíly opracování povrchu mezi jednotlivými frakcemi zrnitostí jsou dány především odlišnou hmotností a velikostí zrn. Větší a těžší zrna jsou při stejném tlaku nasávány a vzduchem unášeny v menším množství, než zrna o menší hmotnosti. Počet jednotlivých interakcí zrn s povrchem je tedy menší a na povrchu se mohou vyskytovat velmi malá místa bez opracování, která vykazují určitý stupeň znečistění.

V závěru práce je nutno také zohlednit povlaky, které jsou vhodné na zinkový povrch (Colorlak Zinorex S2211) a tvoří vedle mechanické soudržnosti také vazbu chemickou.

Z výsledků experimentů lze jednoznačně doporučit, pro duplexní systém, z hlediska odolnosti a životnosti nátěrovou hmotu Colorlak Zinorex S2211, která vykazovala znatelně vyšší odtrhové pevnosti na zinkovém povrchu než ostatní nátěrové hmoty. Odtrhové zkoušky povlaku vyhodnotily nejvhodnější tryskací prostředek pro využití v duplexním systému hnědý korund s frakci zrn F40.

Seznam použitých zdrojů

[1] Marek, V. *Mechanické úpravy povrchu tryskáním*

[2] Asociace českých a slovenských zinkoven. *Příručka žárového Zinkování* Ostrava: Asociace českých zinkoven, 2007.

[3] STRZYŽ, Petr a René SIOSTRZONEK. 2012. Duplexní povlaky ocelových konstrukcí. *Konstrukce* [online]. [cit. 2015-06-19]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: http://www.konstrukce.cz/clanek/duplexni-povlaky-ocelovych-konstrukci/)

[4] SIOSTRZONEK, René. Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí duplexními povlaky. *Konstrukce: povrchová úprava* [online]. 2015 [cit. 2015-06-20]. Dostupné z: http://www.konstrukce.cz/clanek/protikorozni-ochrana-ocelovych-konstrukci-duplexnimi-povlaky/

[5] HANSEL, Dave. Abrasive blasting systems. *Metal Finishing* [online]. 1999, **97**(5): 29-55 [cit. 2015-06-20]. DOI: 10.1016/S0026-0576(99)80758-2. ISSN 00260576. Dostupné z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026057699807582

[6] Marek, V. *Technologie tryskání jako konečná úprava povrchu*

[7] KUDLÁČEK, Jan a Viktor KREIBICH. Tryskání suchým ledem. *Povrcháři*. 2008, (1): 1. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/200801_povrchari.pdf

[8] KREIBICH, Viktor. Duplexní a vícevrstvé povlaky v práškové lakovně. *Povrcháři*. 2007, : 2. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/200712_povrchari.pdf

[9] COLORLAK. *S2211 ZINOREX: akrylátová polomatná jednovrstvá barva na ocel a pozink*. 2014. Staré město: COLORLAK a.s., 3 s. Dostupné z: http://www.colorlak.cz/data/kl/cz_S2211-A.pdf

[10] COLORLAK. *S2000 SYNOREX PRIMER: syntetická antikorozní základní barva*. 2014. Staré město: COLORLAK a.s., 3 s. Dostupné z: http://www.colorlak.cz/data/kl/cz_S2000.pdf

[11] ATRYX. *NorECOat FD Prime: dvoukomponentní epoxidový základní nátěr se speciálním tvrdidlem*. 2014. Horní Počernice: ATRYX s.r.o., 3 s. Dostupné z: http://atryx.cz/naterove-hmoty/technicke-listy/#2

[12] DI COCCO, V., F. IACOVIELLO a S. NATALI. Damaging micromechanisms in hot-dip galvanizing Zn based coatings. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2014, **70**(7): 91-98. DOI: 10.1016/j.tafmec.2014.05.003. ISSN 01678442. Dostupné také z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016784421400072X

[13] KRAUS, V. *Povrchy a jejich úpravy*. Dostupné také z: http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf

[14] *Spolmont: technolovie povrchových úprav* [online]. [cit. 2015-06-25]. Dostupné z: http://www.spolmont.cz/sortiment/abraziva-na-tryskani_cz.html

[15] KORUND BENÁTKY S.R.O.,. *Korund: brousící zrna hnědého umělého korundu* [online]. [cit. 2015-06-25]. Dostupné z: http://www.korund.cz/indexc.php?id=korundf

[16] *ČSN EN ISO 4624: Nátěrové hmoty - Odtrhová zkouška přilnavosti*. Nahrazuje EN 24624:1992. Český normalizační institut, 2003.

[17] *ČSN EN ISO 16276-2: Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - hodnocení a kriteria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*. Český normalizační institut, 2008.

[18] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1996, 89 s. ISBN 800101472x.

[19] SVOBODA, Jakub. *Povlaky nátěrových hmot se zvýšenou vodivostí*. 2014. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

[20] KUDLÁČEK, Jan. *Nové laserové konfokální mikroskopy pro materiálový výzkum – LEXT OLS 3100 (UV) a LEXT 3000 (IR)*. : 3. Dostupné také z: http://ctiv.fs.cvut.cz/podklady/akce/lext/LEXT_Olympus_prispevek.pdf

Seznam obrázku

Obrázek 1, (a) - rovnovážný diagram Fe-Zn, vpravo (b) - metalografický výbrus vzniklých jednotlivých fázi povlaku. [12].....9
Obrázek 2- Vpichy mikrotvrdoměru v oceli o několika fázích tvořících zinkovou vrstvu.[2]....17
Obrázek 3 - povrch leštěného plechu z korozivzdorné oceli, etalon č. 0117.1.....22
Obrázek 4 – povrch leštěného plechu z korozivzdorné oceli, tryskaný abrazivem F60, č. 0117.8 22
Obrázek 5 - vzorek č. 0117.1 představující etalon, s drsností povrchu Ra 0,03.....22
Obrázek 6 - vzorek č. 0117.8 tryskaný abrazivem F60, s drsností povrchu X Ra 1,35 22
Obrázek 7- povrch plechu z hliníkové slitiny, etalon.....23
Obrázek 8 - povrch plechu z hliníkové slitiny, tryskaný abrazivem F60, č. 0122.8.....23
Obrázek 9- vzorek č. 0122.1 představující etalon s drsností Ra 0,13 23
Obrázek 10 - vzorek č. 0122.8 tryskaný abrazivem F60 s drsností povrchu Ra 2,94.....23
Obrázek 11 - povrch žárově zinkovaného plechu od firmy Wiegel, etalon, č. 0119.1 24
Obrázek 12 - povrch žárově zinkovaného plechu od firmy Wiegel, tryskaný abrazivem F40, č. 0119.6.....24
Obrázek 13 - vzorek č. 0119.1 představující etalon s drsností povrchu Ra 0,52.....24
Obrázek 14 - vzorek č. 0119.6 tryskaný abrazivem F40 s drsností povrchu Ra 1,86.....24
Obrázek 15 - povrch žárově zinkovaného plechu od firmy ACO, etalon, č. 0120.1 25
Obrázek 16 - povrch žárově zinkovaného plechu od firmy ACO, tryskaný abrazivem F30, č. 0120.4.....25
Obrázek 17- vzorek č. 0120.1 představující etalon s drsností povrchu Ra 0,99.....25
Obrázek 18 - vzorek č. 0120.4 tryskaný abrazivem F30 s drsností povrchu Ra 2,41 25
Obrázek 19 - 20, - porovnání struktury povrchu etalonu č. 0117.1 se vzorkem tryskaným abrazivem F60, č. 0117.8 27
Obrázek 20 - 21, - porovnání struktury povrchu etalonu č. 0122.1 se vzorkem tryskaným abrazivem F60, č. 0122.8 28

Obrázek 21 – 22, - porovnání struktury povrchu etalonu č. 0119.1 se vzorkem tryskaným abrazivem F40, č. 0119.6 29
Obrázek 22 - 23, - porovnání struktury povrchu etalonu č. 0120.1 se vzorkem tryskaným abrazivem F40, č. 0120.4 30
Obrázek 23 - drsnoměr Mitutoyo SJ-301 31
Obrázek 24 - schéma trhacího zařízení pro odtrhové zkoušky, značení vrstev pro vyhodnocení kohezního, nebo adhezního lomu [16] 40

Seznam tabulek

Tabulka 1- Leštěný plech z korozivzdorné oceli 19
Tabulka 2 - Plech z hliníkové slitiny 19
Tabulka 3 - Žárově zinkovaný plech Wiegel 19
Tabulka 4 - Žárově zinkovaný plech ACO 20
Tabulka 6 - plech z hliníkové slitiny 31
Tabulka 5 - drsnost plechu z antikorozní oceli 31
Tabulka 7- drsnost žárově zinkovaného plechu Wiegel 32
Tabulka 8 - drsnost žárově zinkovaného plechu ACO 32
Tabulka 9- Stanovení tloušťky nátěrového povlaku, leštěný plech z korozivzdorné oceli. 38
Tabulka 10 - Stanovení tloušťky nátěrového povlaku, plech z hliníkové slitiny. 38
Tabulka 11 - Stanovení tloušťky nátěrového povlaku, žárově zinkovaný plech Wiegel. 39
Tabulka 12 - Stanovení tloušťky nátěrového povlaku, žárově zinkovaný plech ACO 39
Tabulka 13 - Stanovení přilnavosti nátěru, vzorek - leštěný plech z korozivzdorné oceli, nátěrový povlak – ATRYX NoeECOat FD Prime- 41
Tabulka 14 - Stanovení přilnavosti nátěru, vzorek – plech z hliníkové slitiny, nátěrový povlak – ATRYX NoeECOat FD Prime. 42
Tabulka 15 - Stanovení přilnavosti nátěru, vzorek – žárově zinkovaný plech ponorem Wiegel, nátěrový povlak – Colorlak Zinorex S2211. 43
Tabulka 16 - Stanovení přilnavosti nátěru, vzorek – žárově zinkovaný plech ponorem ACO, nátěrový povlak – Colorlak Synorex S2000. 44

Seznam Grafů

Graf 1 - vliv použitého abraziva na drsnosti povrchu vzorků 32
Graf 2 – Závislost použitého abraziva na průměrné odtrhové pevnosti, vzorek - leštěný plech z korozivzdorné oceli, nátěrový povlak – ATRYX NoeECOat FD Prime 41
Graf 3 - Závislost použitého abraziva na průměrné odtrhové pevnosti, vzorek – plech z hliníkové slitiny, nátěrový povlak – ATRYX NoeECOat FD Prime. 42
Graf 4 - Závislost použitého abraziva na průměrné odtrhové pevnosti, vzorek – žárově zinkovaný plech ponorem Wiegel, nátěrový povlak – Colorlak Zinorex S2211. 43

Graf 5 - Závislost použitého abraziva na průměrné odtrhové pevnosti, vzorek – žárově zinkovaný plech ponorem ACO, nátěrový povlak – Colorlak Synorex S2000. 44

Seznam použitých zkratek

Rc – tvrdost podle Rockwella

psi – tlaková jednotka

Pa – tlaková jednotka

Al – hliník

Fe - železo

Sn – cín

Si - křemík

Ni – nikl

Ti – titan

C – stupeň Celsia (jednotka teploty)

mm – milimetr (délková jednotka – tisícina metru)

μm – mikrometr (délková jednotka – miliontina metru)

ČSN – česká technická norma

ISO – International Organization for Standartization (mezinárodní organizace pro normalizaci)

EN – evropská norma

Přílohy

Fotodokumentace všech vzorků je na příbalovém DVD