



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

**Korozní odolnost vybraných žárové
stříkaných povlaků**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR: Dalibor Jeřábek

VEDOUcí PRÁCE: Ing. Jiří Kuchař Ph.D., IWE

STUDIJNÍ PROGRAM: B 2343 Výroba a ekonomika ve strojírenství

STUDIJNÍ OBOR: 2303R014 Technologie, materiály a ekonomika
strojírenství

Praha 6. 8. 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jeřábek** Jméno: **Dalibor** Osobní číslo: **485363**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Korozní odolnost vybraných žárově stříkaných povlaků

Název bakalářské práce anglicky:

Corrosion resistance of selected metalization coatings

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rozbor problematiky žárových nástřiků
- 2) Příprava vzorků
- 3) Hodnocení odolnosti proti korozi žárově stříkaných povlaků

Seznam doporučené literatury:

1. KREIBICH, V., Teorie a technologie povrchových úprav, Praha, ČVUT, Praha, 1999.
2. AMBROŽ, O., KAŠPAR, J., Žárové nástřiky a jejich průmyslové využití. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 318 s. ISBN 80-030-0347-4.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Ing. Sofia Kšiňanová, ústav strojírenské technologie FS

Datum zadání bakalářské práce: **15.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **06.08.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2021**

Ing. Jiří Kuchař, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kuchaře Ph.D., IWE, a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Rád bych na úvod poděkoval paní Ing. Sofii Kšiňanové a panu Ing. Jiřímu Kuchaři, Ph.D., IWE za jejich cenné rady a nekonečnou trpělivost při konzultacích mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval plzeňskému výzkumnému ústavu za zprostředkování vzorků a všech potřebných přístrojů k práci potřebným. V neposlední řadě bych rád poděkoval firmě SV Metal, konkrétně Ing. Tereze Pražanové za poskytnutí solné komory a její obrovskou ochotu.

Práce vznikla ve spolupráci se společností Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o. v rámci projektu TN1000007 Národní centrum pro energetiku, který je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Národní Centra Kompetence.



Anotace

Název diplomové práce:	Korozní odolnost vybraných žárové stříkaných povlaků
Autor práce:	Dalibor Jeřábek
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Kuchař Ph.D., IWE
Konzultant:	Ing. Sofia Kšiňanová
Akademický rok:	2020-2021
Vysoká škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	12133 – Ústav strojírenské technologie
Vedoucí ústavu:	Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Rozsah práce:	63 stránek práce + 23 stránek příloh, 9 tabulek, 49 obrázků
Klíčová slova:	Povrchové úpravy, Žárové nástřiky, Odolnost vůči korozi, Neutrální solná mlha

Annotation

Title of the final thesis:	Corrosion resistance of selected metalization coatings
Author:	Dalibor Jeřábek
Supervisor:	Ing. Jiří Kuchař Ph.D., IWE
Consultant:	Ing. Sofia Kšiňanová
Academic year:	2020-2021
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12133 – Department of Manufacturing Technology
Head of department:	Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Extent:	63 thesis pages + 23 attachment pages, 9 tables, 49 pictures
Keywords:	Surfacing, Thermal spray, Corrosion resistance, Neutral salt mist

Obsah

1	Úvod	11
2	Žárové nástřiky	12
2.1	Princip žárových nástřiků	12
2.2	Vznik povlaku	13
2.3	Rozdělení metod žárových nástřiků	15
2.3.1	Nástřik plamenem (FS).....	15
2.3.2	Detonační nástřik (D-Gun)	16
2.3.3	Vysokorychlostní nástřik (HVOF)	17
2.3.4	Žárový nástřik plazmou (APS)	18
2.3.5	Metoda tavení elektrickým obloukem (TWAS).....	19
2.3.5	Cold Spray	21
2.4	Funkce žárových nástřiků a materiály pro tyto účely vhodné	23
2.4.1	Korozivzdornost	23
2.4.2	Povlaky odolné vůči opotřebení	23
2.4.3	Tepelná izolace	23
3	Koroze.....	24
3.1	Druhy koroze	24
3.1.1	Chemická koroze	24
3.1.2	Elektrochemická koroze.....	24
3.2	Dělení koroze	26
3.2.1	Rovnoměrná.....	26
3.2.2	Nerovnoměrná.....	26
3.3	Ochrana proti korozi	28
4	Experimentální část	30
4.1	Příprava vzorků.....	30

4.1.1	Použité materiály	32
4.2	Technologický postup	35
4.2.1	Předúprava povrchu	35
4.2.2	Zařízení TWAS	35
4.2.3	Metalizace	36
4.2.4	Aplikace těsnícího prvku	37
4.3	Metodika testování	37
4.3.1	Optická mikroskopie	37
4.3.2	Vizuální hodnocení.....	41
4.3.3	Korozní zkouška	51
4.4	Vyhodnocení výsledků	53
4.4.1	Solná komora	53
4.4.2	Vyhodnocení kritérií.....	53
5	Závěr.....	56
	Bibliografie	57
	Seznam tabulek.....	59
	Seznam obrázků.....	60
	Seznam příloh:	63

Seznam zkratek a symbolů

Označení	Název
FS	nástřik plamenem
D-GUN	detonační nástřik
HVOF	vysokorychlostní nástřik
APS	atmosférický plazmový nástřik
TWAS	nástřik elektrickým obloukem
HRC	zkouška tvrdosti podle Rockwella
%	procento
°	stupeň
Ra	aritmetická odchylka od profilu
ČSN	česká soustava norem
s.r.o.	společnost s ručením omezeným
Mo	molybden
Al	hliník
Zn	zinek
W	wolfram
Fe	železo
Ni	nikl
Cu	měď
Ti	titan

Seznam použitých veličin a jednotek

Označení	Název
μm	mikrometr
mm	milimetr
m	metr
m^3	metr krychlový
s	sekunda
hod	hodina
$^{\circ}\text{C}$	stupně celsia
K	kelvin
kPa	kilopascal
MPa	megapascal
kJ	kilojoule
MJ	megajoule
Hz	hertz
dB	decibel
A	ampér
V	volt
g	gram
kg	kilogram

1 Úvod

S urbanizací světa roste poptávka po elektrické energii. Sektor energetiky je proto pod neustálým tlakem uspokojit rostoucí spotřebu elektrické energie. Paralelně se zvyšující se spotřebou roste i důraz na efektivitu a čistotu generování elektrické energie. Ve spojitosti s čistotou produkce elektrické energie se do popředí zájmů dostávají obnovitelné zdroje. Obnovitelné zdroje slibují konec generování elektrické energie spalováním omezených zdrojů fosilních paliv, výměnou za čerpání ze zdrojů obnovitelných. Mezi ně patří hlavně energie vody, větru, slunečního záření a geotermální energie.

Vodní elektrárny v současné době stále dominují v podílu produkce elektrické energie obnovitelnými zdroji. Představují tak klíčový mezikrok k přechodu na stranu uhlíkově neutrálního procesu generování elektrické energie. Vhodných míst, kde je možné vodní elektrárny stavět, bohužel ubývá. Proto je kladen důraz na údržbu a zvyšování životnosti již postavených elektráren.

Funkční životnost materiálů často ukončuje koroze. Ta meziročně vytvoří náklady v řádu několika procent celosvětového HDP, které je nutno vynaložit na náhradu degradovaných materiálů. Proto se více než vyplatí investovat čas a peníze do její prevence.

Prevence koroze je jednou z hlavních motivací proč upravovat povrch materiálu. Vhodnou povrchovou úpravou je možné oddálit, nebo úplně zastavit proces degradace koroze.

Žárové nástřiky patří k rychle se rozvíjejícímu oboru povrchových úprav. Způsob, kterým je povrchová úprava prováděna, dovoluje vytvářet specifické kombinace materiálů cílené přímo na korozní prostředí, do kterého bude součást uvedena. V energetice je proto aplikace žárových nástřiků oblíbeným způsobem ochrany vysoce namáhaných součástí, nejenom proti korozi, ale i proti mnoha dalším degradačním jevům.

V teoretické části této práce je nejdříve představena a vysvětlena technologie žárového nástřiku. Následně jsou popsány jednotlivé metody depozice nástřiku se zvláštním důrazem na metodu nanášení pomocí elektrického oblouku (TWAS). Poté jsou popsány vlastnosti vytvořených vrstev. Dále je krátce vysvětlen mechanismus koroze a jsou uvedeny její druhy a dělení.

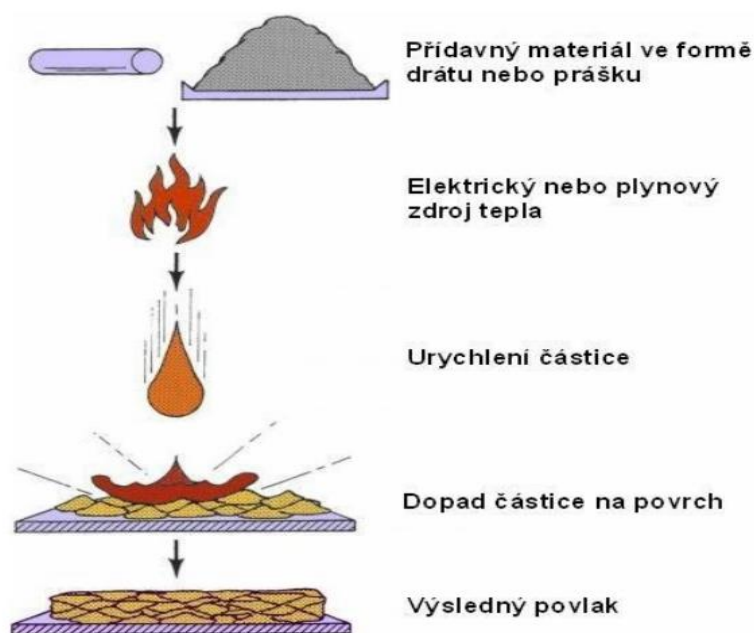
Motivací experimentální části je otestovat a zvolit kombinaci nejvhodnějších materiálů, z hlediska korozní odolnosti, které budou při metalizaci použity. Speciálně připravené vzorky budou podrobeny zkoušce korozní odolnosti neutrální solnou mlhou. Poté bude vizuálně a pomocí mikroskopu posouzen rozsah napadení a vyhodnocen nejlepší kandidát.

2 Žárové nástřiky

Procesy žárových nástřiků představují důležité a rychle se rozvíjející odvětví povrchových úprav. Materiálů, kterými je možné povlak vytvořit, je mnoho (např. kovy a jejich slitiny, tvrdokovy, keramika a polymery). Nejčastěji se používají ve formě prášků, drátů a tyčí. Tvrdokovy patří do nejdůležitější skupiny materiálů používaných pro tvorbu žárových nástřiků. Pro tvorbu samotného povlaku je důležitá plastická deformace částic stříkaného materiálu v momentu dopadu na substrát. Žádaná deformace je ve většině metod docílena natavením, nebo alespoň částečným natavením částice a jejím současným urychlením směrem ven ze speciální nástřikové pistole. Substrát zůstává v průběhu nanášení nenatavený, proto je hlavním mechanismem spojení substrátu a deformované částice mechanická vazba. Žárové nástřiky umožňují využít vlastností tvrdokovů i na površích velkých součástí, které by za normálních okolností nebylo možné z technických a ekonomických důvodů vyrobit práškovou metalurgií. [1], [2]

2.1 Princip žárových nástřiků

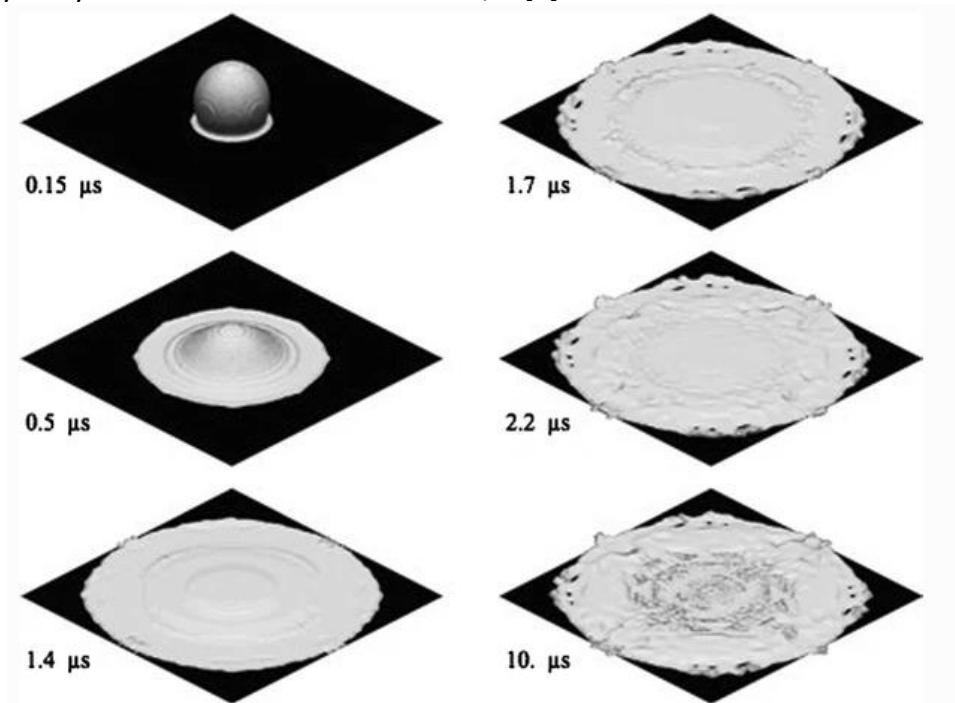
Principem všech metod žárového stříkání neboli metalizace je nanášení natavených částic kovů na povrch základního materiálu za účelem vytvoření ochranné vrstvy. Nanášení je prováděno speciálními pistolemi, které v sobě různými způsoby taví různé formy přídatného materiálu. Natavený materiál je následně pomocí stlačeného vzduchu, nebo spalin, přenesen na povrch základního materiálu. Dle způsobu, kterým tavíme přídatný materiál, lze rozdělit metalizaci na plynovou, elektrickou a plazmovou. Materiál můžeme do trysky metalizační pistole dodávat ve formě suspenze prášku, drátu či tyče. Po dopadu natavené a plynem urychlené částice přídatného materiálu na materiál základní dojde k plošnému rozprostření a rychlému tuhnutí. Správně připravený základní materiál tvoří vhodné podmínky pro mechanické ukotvení první vrstvy, na kterou se následně vážou další částice. Takto navrstvený povlak má charakteristickou lamelární strukturu se specifickými vlastnostmi. [2], [4]



Obrázek 1 Princip tvorby žárového nástřiku [9]

2.2 Vznik povlaku

Povlak na základním materiálu je tvořen kontinuálním proudem mikroskopických částicek nataveného, nebo roztaveného, přídatného materiálu. Tyto částice jsou v procesu přenosu urychleny na rychlosti v rozsahu 50 až 1825 m/s. [4]

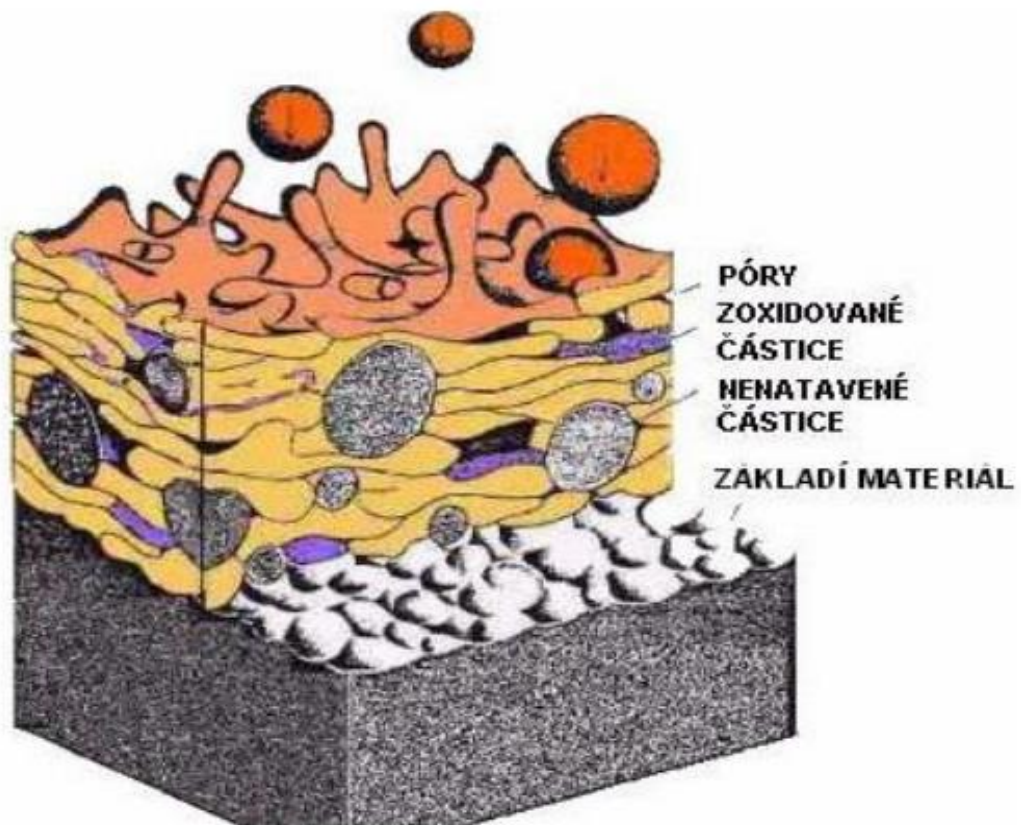


Obrázek 2 Proces deformace částice a tvorba splatu [9]

Vysoká teplota a rychlost částice dávají za vznik velké deformaci při kontaktu s povrchem materiálu při které dochází ke tvorbě tenkých lamelárních vrstviček zvané splaty. Vzniklý splat kopíruje a vyplňuje nerovnosti na předem připraveném povrchu materiálu. Takto rozprostřené a mechanicky zakotvené částice tvořící první kontaktní vrstvu se základním materiálem na kterou dopadají další částice, které společně rychle vytváří ucelenou pevnou strukturu. Jednotlivé, částicemi vytvářené, splaty jsou obecně velice tenké a jejich tloušťka se pohybuje od 1 do 20 μm . Drobná velikost částic má za příčinu rychlé tuhnutí ($>10^6$ K/s pro kovy), které společně s jejich tloušťkou vytváří jednotný, velice jemnozrný polykrystalický povlak. [3], [4]

Takto nanesené povlaky vypadají na první pohled homogenně. Po bližším prozkoumání je zřejmé, že struktura obsahuje poměrně velké množství nedokonalostí. Mezi ně patří nenatavené a částečně natavené částice, jež přispívají k porozitě povlaku, která se běžně pohybuje v rozmezí 0-10 %. Ve struktuře najdeme také metastabilní fáze, které vznikají zmíněným rychlým tuhnutím. V neposlední řadě při přenosu částic vzduchem, dochází k formování oxidických vměstků. [3]

Tyto nedokonalosti ovšem nejsou vždy vnímány jako jevy nežádoucí. Porozita vzniklá nedokonalým spojením jednotlivých částic samozřejmě zhoršuje mechanické vlastnosti povlaku. Jejich zásluhou však do sebe povlak dokáže nasát mazivo a stává se samomazným. Ve vztahu k medicíně může porozita v kombinaci s vhodně zvoleným materiálem, který nevyvolá autoimunitní reakci, zaručit prolnutí kloubní náhrady s kostí pacienta. Přítomnost oxidických vměstků navyšuje tvrdost, otěruvzdornost a do jisté míry i kluznost povlaku. Nicméně vysoké zastoupení oxidů ve struktuře může vést ke koheznímu selhání a nadměrnému otěru. [3]



Obrázek 3 Struktura povlaku vytvořeného žárovým nástřikem [8]

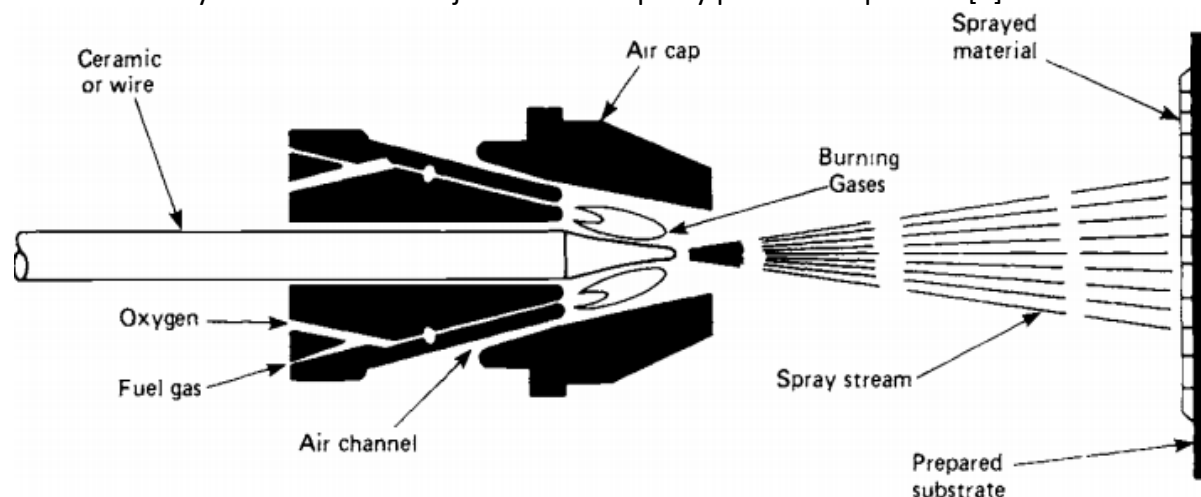
Vlastnosti povrchu a charakter vměstků je závislý na mnoha parametrech. Mezi ně patří například médium urychlující roztavené částice. Tedy zda je pro přenos použit aktivní plyn, inertní plyn, nebo je celý proces prováděn v ochranné atmosféře. Dále záleží na teplotě natavených částic od ústí tavící pistole až k povrchu základního materiálu. Ta se musí držet v předepsaném rozmezí, aby došlo k dostatečnému natavení částic a zároveň nedošlo k jejich shoření. Záleží samozřejmě i na rychlosti, kterou částice dopadají na základní materiál. Obecně řečeno, že čím rychleji částice dopadne, tím kvalitnější povlak vznikne. Veškeré zmíněné parametry jsou ovlivněny volbou metody žárového nástřiku. Jednotlivé metody budou podrobně probrané v následující kapitole. [3]

2.3 Rozdělení metod žárových nástřiků

Následující kapitola pojednává o jednotlivých druzích metod žárových nástřiků. Nejprve jsou popsány metody, které k nanášení povlaku využívají směsi hořlavých plynů. Následně jsou vysvětleny metody, využívající plazmu a elektrický oblouk. Na závěr je přiblížena speciální metoda cold spray. Nejpodrobněji je probrána metoda tavení elektrickým obloukem, která byla využita v experimentální části.

2.3.1 Nástřik plamenem (FS)

Metoda nástřiku plamenem využívá jakožto zdroj tepla a prostředek k tavení hořlavé plyny. Pistole pro žárové nanášení plamenem jsou na trhu k dostání ve variantách uzpůsobených pro tavení drátu, tyče nebo prášku. Většina pistolí pro nástřik plamenem je konstruována tak, aby byla nastavitelná pro použití různých kombinací plynů. Kombinací správných plynů je možné dle potřeby měnit kvalitu povlaku, a s kvalitou i nákladnost procesu. Nejběžněji používané hořlavé plyny pro žárové stříkání jsou acetylen, propan, metyl-acetylen-propadien (MAPP) v doprovodu s kyslíkem. Ke změně provozních parametrů pistole stačí v podstatě pouze změnit trysku, vzduchový uzávěr nebo obě komponenty naráz. Jednoduchou úpravou tedy můžeme pistoli nastavit pro tavení různých druhů slitin, průměrů drátů a také pro různé kombinace hořlavých směsí. Na obrázku č. 4 je zobrazena schéma pistole pro nástřik drátem nebo tyčí. Na obrázku č. 5 je schéma soupravy pro nástřik prášku. [5]

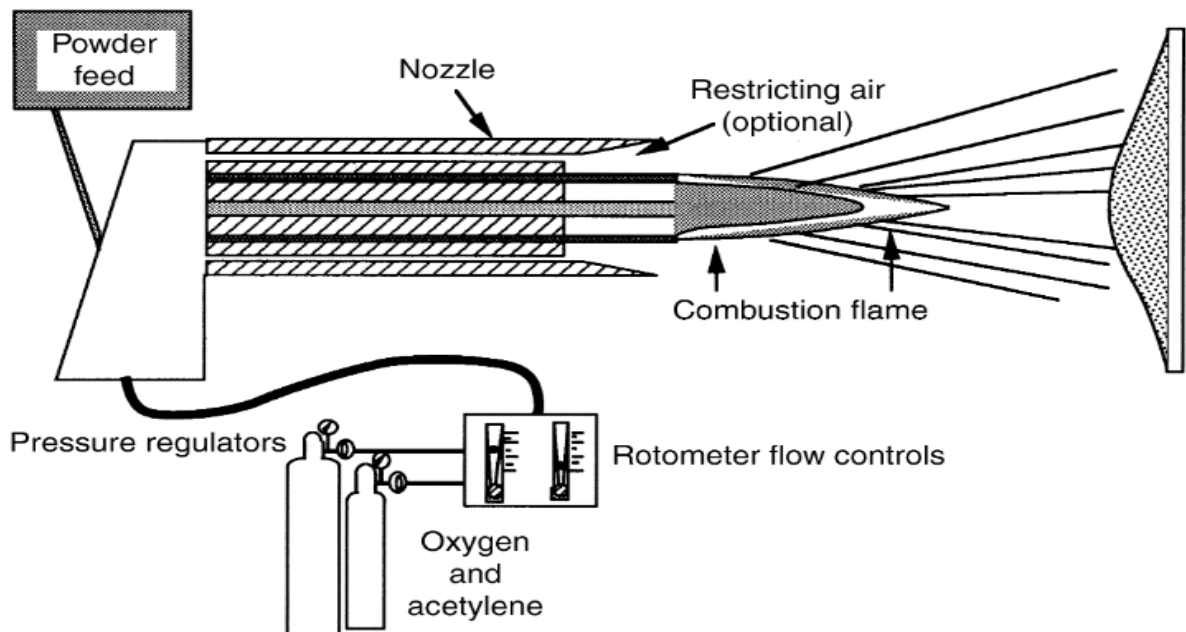


Obrázek 4 Schéma pistole pro nástřik plamenem pomocí tyče/drátu [5]

(wire = drát; oxygen = kyslík; fuel gas = hořlavý plyn; Air channel = vzduchový kanál; air cap = vzduchový uzávěr; burning gases = směs hořlavých plynů; spray stream = proud nástřiku; prepared substrate = připravený povrch; sprayed material = stříkaný materiál)

Teplota plamene a jeho charakteristika je závislá na poměru kyslíku k hořlavému plynu a tlaku směsi. [5]

Žárový nástřik plamenem je charakteristický nízkým vstupním kapitálem, vysokou rychlostí nanášení povlaku, efektivitou procesu, relativně jednoduchou manipulovatelností a nízkými náklady na údržbu. Obecně se dá říct, že povlak nanesený procesem žárového nástřiku plamenem, bez tepelného zpracování, vykazuje nižší vazebnou sílu v porovnání s ostatními procesy. Dále jsou charakteristické vysokou porozitou, úzkým rozsahem pracovních teplot, a hlavně nejmarkantnějším přenosem tepla do substrátu. [5]



Obrázek 5 Schéma soupravy pro žárové stříkání prášku [3]

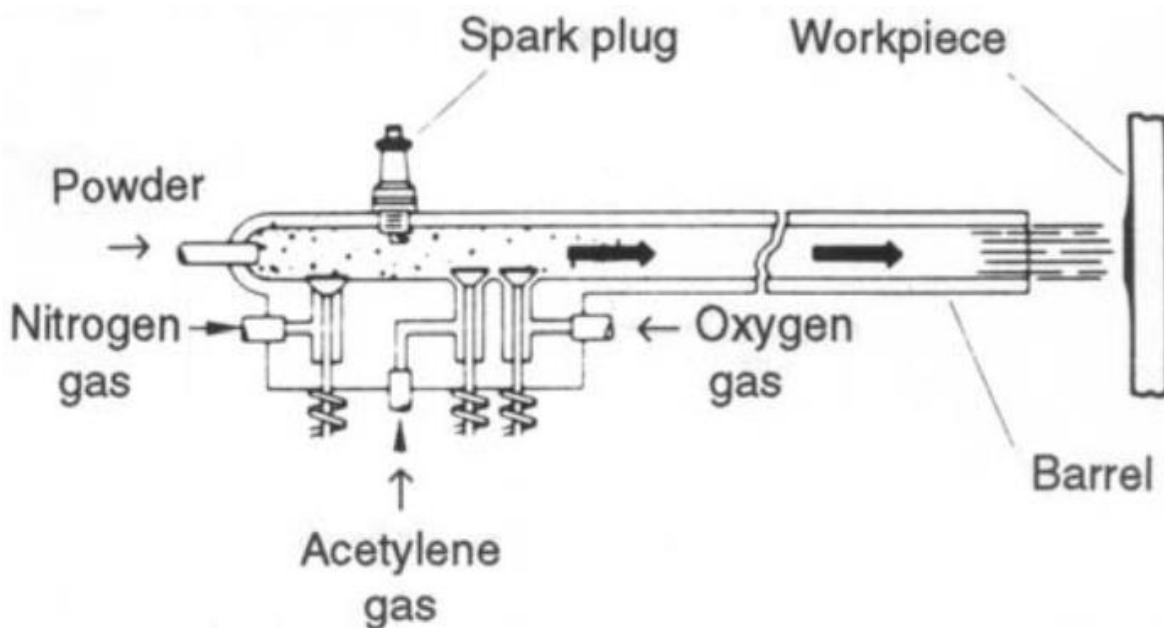
(powder feeder = dispenzor prášku; nozzle = tryska; restricting air = usměřovací proud vzduchu; combustion flame = oheň vzniklý spalováním; pressure regulators = regulátory tlaku; Rotometer flow control = průtokoměr kontrolující průtok; oxygen = kyslík; acetylene = acetylen)

Žárový nástřik plamenem je proces využívaný především pro údržbu opotřebených součástí, nebo pro dostřikání součástí, která je mimo požadovanou geometrickou toleranci. Častým materiálem pro tvorbu povlaků jsou zinkové slitiny. Čistý zinek může být použit například i jako povlak odolávající korozi na mostech, nebo jiných rozměrných konstrukcích. [5]

2.3.2 Detonační nástřik (D-Gun)

Čím vyšší je rychlost a natavení částice (do jisté míry), tím docílíme celistvějšího (bez porozity) povrchu a vyšších vazebných sil se substrátem. Pro vytvoření pevnějšího a méně porézního povlaku je proto v porovnání s nanášením plamenem vhodnější detonační nástřik. Pistole pro detonační nástřik (schematicky zobrazena na obrázku č. 7) jsou schopné vyvinout proud o vyšší tepelné a kinetické energii pomocí řízené detonace v trubici nebo hlavni do které je přiváděn prášek. Toto konstrukční řešení dokáže přenést mnohem více tepla a kinetické energie částicím než konvenční nástřik plamenem. [3]

Při nanášení detonačním způsobem je do dlouhé hlavně pistole přivedena směs paliva, kyslíku a prášku. Tato směs je následně zapálena pomocí vznětové svíčky. Výsledný výbuch předá teplo a tlakovou vlnou akceleruje částice prášku, které společně se spalinami postupují vodou chlazenou hlavní směrem k substrátu. Mezi každou detonací je hlaveň čištěna pomocí dusíku. Celý cyklus čištění, vstřiku a detonace je opakován při frekvencích od 3 do 6 Hz. Při metodách žárových nástřiků detonací docílujeme vyšších teplot a delšího styku částice s horkým plynem. Kvůli hluku vznikajícím při žárovém nástřiku detonací (145+dB) je nutné proces provádět v akustické izolaci, jinak by došlo k poškození sluchu obsluhy. Rychlosti částic jsou běžně vyšší než 800 m/s. [3]



Obrázek 6 Schéma pistole pro detonační způsob nanášení [3]

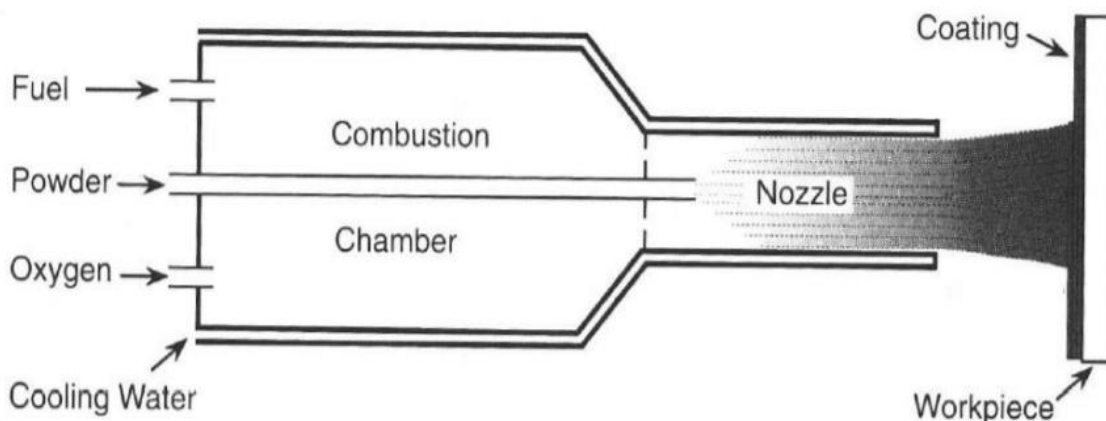
(Powder = prášek; Nitrogen gas = dusík; Acetylene gas = acetylen; Oxygen gas = kyslík; Spark plug = zapalovací svíčka; Barrel = hlaveň; work piece = součást)

V mikrostruktuře je také poměrně malý výskyt oxidických vměstků. Je tomu tak díky ochranným vlastnostem detonovaného plynu uvnitř prodloužené hlavně nanášecí pistole a velice krátkému času, za který částice dopadne na povrchu substrátu. Až s příchodem metody HVOF bylo možné docílit srovnatelně kvalitního povlaku jako nanášením plazmou. Povlaky vytvořené pomocí detonační metody tedy patří k těm nejméně porézním a nejtvrdějším povlakům tvořeným žárovými nástřiky. [3]

2.3.3 Vysokorychlostní nástřik (HVOF)

Metoda HVOF je v jistých ohledech podobná detonační metodě. K ohřevu a urychlení prášku dochází také pomocí vnitřního řízeného spalování. Na rozdíl od detonační metody při metodě HVOF dochází ke kontinuálnímu spalování plynu. Hořlavý plyn je společně se vzduchem, nebo kyslíkem, vháněn do 8-30 cm dlouhé hlavně. V hlavni je hořlavá směs mísená s práškem. Po zažehnutí dojde k rapidní expanzi směsi, která je v hlavni již tak pod tlakem. Expandující žhavé spaliny jsou společně s natavovaným práškem urychleny úzkou hlavní ven směrem k substrátu. Rychle nabytý objem plynu společně s vysokou teplotou spalování urychlí spaliny v ústí hlavně na rychlosti v rozmezí 1525 až 1825 m/s. [3]

Hořlavé plyny používané při metodě HVOF jsou vodík, propylen, propan acetylen a pro speciální případy i kerosin. Nutno zmínit, že existují 2 podkategorie metody vysokorychlostního nástřiku rozdělené podle tlaků ve spalovací komoře. První kategorie přesahuje tlak 241kPa s tepelným příkonem dosahujícím 570 MJ. Druhá podkategorie, možná trefněji pojmenovatelná jako hypersonická, operuje s tlaky od 620 do 827kPa s tepelným příkonem 1 GJ a je běžně poháněná spalováním kerosinu. [3], [5]



Obrázek 7 Schéma principu HVOF nástřiku [3]

(Fuel = palivo; Powder = prášek; Oxygen = kyslík; Cooling water = chlazení vodou; Combustion chamber = spalovací komora; Nozzle = tryska; Coating = povlak; Workpiece = součást)

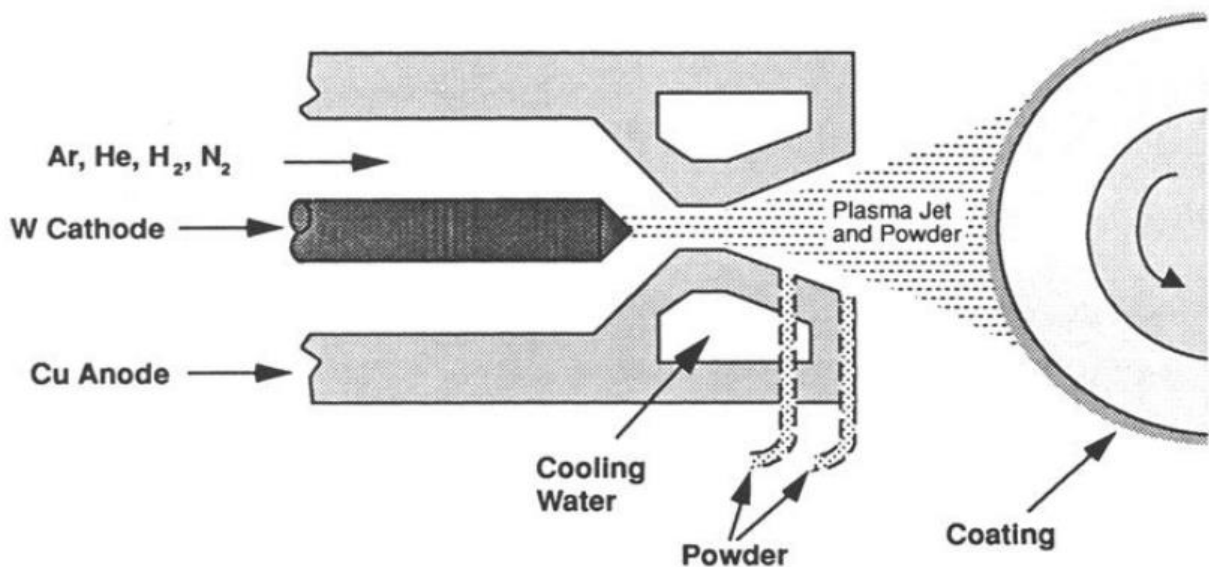
Vlastnosti povrchu naneseného metodou HVOF jsou srovnatelné s metodou detonační, především pro případy nanášení karbidických a oxidických povlaků. Porozita, adheze a oxidické vměstky mají lepší hodnoty i v porovnání s metodou nanášení plazmou. Adhezivní vazebná síla naneseného povrchu většinou přesahuje 83 MPa. Jedná se tedy o velice kvalitní povrch s porozitou nižší jak 1 %. Stejně jako u detonační metody se HVOF nejčastěji používá pro nanášení karbidických povlaků za účelem odolnosti vůči tribologickým jevům. [3]

2.3.4 Žárový nástřik plazmou (APS)

Plazmovým hořákem, zobrazeném na obrázku č.5, protéká nosný plyn. Tento nosný plyn, většinou argon, méně často dusík, vodík nebo helium je nechán volně téct mezi wolframovou katodou a vodou chlazenou měděnou anodou. [5]

Pomocí vysokofrekvenčního výboje je mezi anodou a katodou zažehnut oblouk, který je následně udržován stejnosměrným proudem. Elektrický oblouk okamžitě ionizuje procházející plyn a skokově navýšuje jeho teplotu. Výsledné navýšení teploty, které v některých případech přesahuje teplotu 30 000 °C, donutí plyn měnit se v plazma agresivně expandovat. V prostoru s jediným východem, tryskou, dojde k intenzivnímu zvýšení tlaku a rychlosti ionizovaného plynu. Rychlost unikajícího plazmatu přesahuje rychlost zvuku, částice nesené však těchto rychlostí nedosahují. Nejčastěji používaným plynem při plazmovém nástřiku je argon. Používá se pro svoje chemicky inertní a plazmotvorné vlastnosti. Entalpie ionizovaného plynu může být navýšena, pokud použijeme di-atomické plyny jako například vodík, nebo dusík. [5]

Prášek je do proudu horké plazmy přiváděn u ústí hořáku, jak je vidět na obrázku č. 5. Podtlak vznikající rychle tekoucím proudem plazmy prášek nasaje, roztaví a urychlí směrem k substrátu. [5]



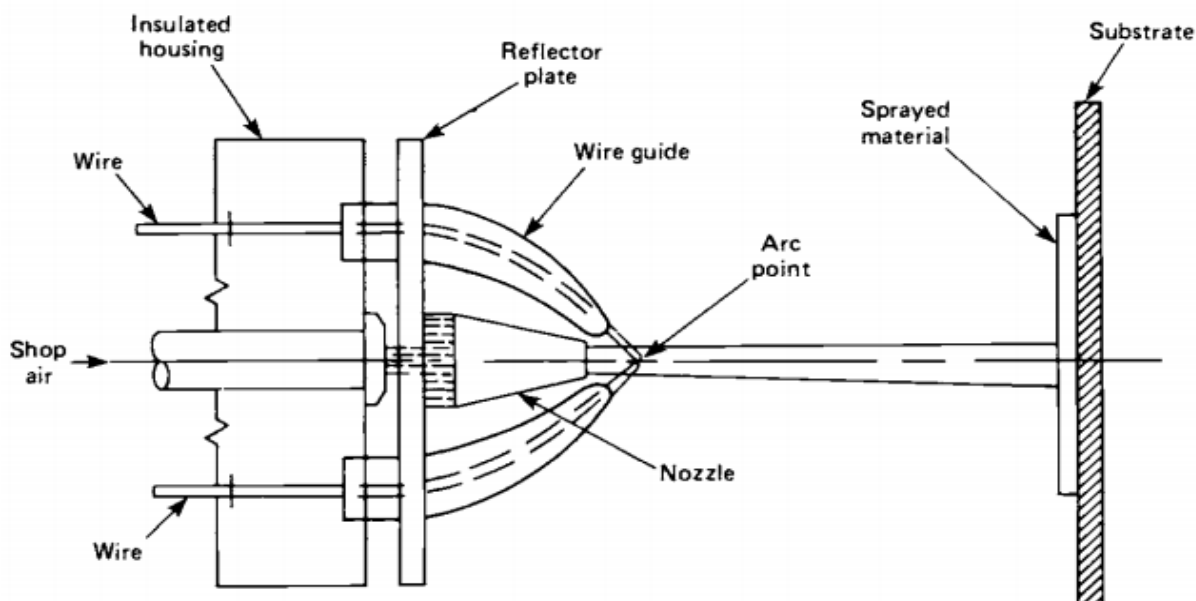
Obrázek 8 Schéma plazmového nanášení povlaku užitím wolframové katody [3]

(W Cathode = wolframová katoda; Cu Anode = měděná anoda; Cooling water = chlazení vodou; Powder = prášek; Plasma Jet and Powder = Plazmový paprsek a prášek; Coating = povlak)

Při žárovém nástřiku plazmovou metodou se rychlost částic běžně pohybuje v rozmezí 300 až 550 m/s. Teplota částic je většinou o trochu vyšší, jak teplota tání. Obecně platí, že čím vyšší je rychlost částic současně s vhodně zvolenou teplotou, která je nad teplotou tání, ale zároveň je dost nízká na to, aby se zamezilo nadměrnému přehřátí, tím celistvější a pevnější povrch vznikne. Hustota nástřiku plazmou je většinou mnohem vyšší jak u nástřiků plamenem. [5]

2.3.5 Metoda tavení elektrickým obloukem (TWAS)

Tato metoda byla poprvé použita již v roce 1910 panem M. U. Schoppem. Komerční využití této metody však nastalo až v šedesátých letech 20. století. Tato metoda využívá výhradně přídatný materiál ve formě drátu, méně často ve formě tyčí. Na rozdíl od metod nástřiku plamenem a plazmou, které přídatný materiál ohřívají nepřímo pomocí proudu plamene nebo plazmy, metoda TWAS využívá přímého ohřevu odtavujících se elektrod pomocí stejnosměrného proudu. Mezi těmito odtavujícími elektrodami opačného pólu dojde ke vzniku ustáleného elektrického oblouku. Roztavený kov vznikající na koncích drátů, které jsou podavačem kontinuálně podávány, je rozprostřen a urychlen směrem k připravenému povrchu substrátu proudem stlačeného vzduchu. Pro snížení oxidačních vměstků můžeme místo stlačeného vzduchu použít inertní plyn. Průtok stlačeného rychle tekoucího vzduchu se běžně pohybuje od 0,8 do 1,8 m^3/min . Schéma běžné nanášecí TWAS pistole je zobrazeno na obrázku č. 4. Oproti ostatním žárovým nástřikům je materiál u metody TWAS přiváděn do proudu plynu směrem k substrátu již roztavený. Chladnutí částic proto začíná ihned po urychlení z oblasti působení elektrického oblouku. [3]



Obrázek 9 Schéma běžné nástřikové pistole pro metodu TWAS [3]

(Wire = drát; Shop air = přívod vzduchu; Insulated housing = izolovaný kryt; Reflector plate = zrcadlová deska; Wire guide = vedení drátu; Nozzle = tryska; Arc point = obloukový bod; Sprayed material = stříkaný povlak; Substrate = podkladový materiál)

Z důvodu minimalizace oxidace je proto stěžejní minimalizovat dobu přenosu částice. Rychlý přenos je zajištěn v porovnání s ostatními metodami kratší vzdáleností trysky od substrátu a vysokou rychlostí stlačeného vzduchu. Proud stlačeného vzduchu slouží také jako chladicí médium konců podavačů drátů. S ohledem na nepřetržitý provoz a dlouhou životnost pistole je třeba používat čistý a suchý stlačený vzduch. Čistota vzduchu také silně ovlivňuje finální kvalitu vytvořeného povlaku. Olej a zbytková vlhkost ve vzduchu vede k oxidaci povrchu a jeho kontaminaci nežádoucími vměstkami. [3], [5]

Velikost částic a jejich rozptyl je závislý na následujících parametrech. Částice jsou větší, pokud navýšíme elektrický proud, zvětšíme průměr elektrod, snížíme tok unášecího plynu, nebo snížíme napětí. Naopak menších částic docílíme pravým opakem výše uvedených parametrů. [3]

Žárový nástřik elektrickým obloukem má mnoho výhod oproti plamenem nebo plazmou stříkaným metodám. Rychlost nanášení u některých slitin niklu dosáhla hodnot až 55 kg/hod [6]. Ohřev substrátu je podstatně nižší než u nástřiku plamenem. Substrát je totiž ohříván pouze samotným vedením tepla z dopadajících částic, nikoli ohřevem částicemi společně s dopadajícím proudem plamene, nebo plazmy. Díky tomu je metodou TWAS možné nanášet povlak i na polymery, sklolaminát, dřevo, a dokonce papírové produkty. Proces nástřiku elektrickým obloukem je ve většině případech dokonce levnější než ostatní metody. Důvodem je fakt, že jsou elektrody taveny přímo elektrickým obloukem. Energie dodaná je využita přímo pro tavení a celková efektivita procesu je proto mnohem vyšší než u metod s nepřímým tavením. Nároky na zdroj elektrického proudu jsou nízké a ve většině případech není potřeba při procesu použít žádný drahý plyn, jako například argon, nebo helium. Na trhu jsou také k dostání mobilní verze nástřikového zařízení. Díky tomu je možné metalizovat i plochy, které by kvůli svým rozměrům, nebo nemožnosti pohybu nebylo možné v běžném provozu pokovit. [3], [5]

Metoda TWAS nejběžněji využívá plné dráty, relativně tažné a elektricky vodivé o průměru kolem 1,5mm. Kvůli vlastnostem plného drátu bylo nanášení tvrdokovů, nitridů a oxidů touto metodou nepraktické. Příchodem dutých drátů s výplní bylo umožněno nanášení kompozitních povlaků obsahující karbidy, nebo oxidy. Použitím dvou různých drátů lze také docílit jisté pseudo-slitiny. Tímto způsobem můžeme také nanášet levnější varianty ochranných povrchů, kdy jeden z drátů slouží pouze jakožto levný výplňový materiál. [4], [5]

Mikrostruktura naneseného povlaku může nabývat různých podob pouhou změnou provozních parametrů. Běžný povlak vytvořený metodou TWAS je charakterizovaný splaty, které jsou tlustší a obecně větší, než splaty vznikající při nástřiku plamenem, nebo nástřiku plazmou. Povlak má také mnohem vyšší koncentraci oxidických vměstků. U metod tavící prášek se v povlaku často nacházejí neroztavené částice. Podobný jev nastává i u metody TWAS. V tomto případě se ale jedná o částice, které již nataveny byly, nicméně při přenosu částice na substrát došlo k opětovnému ztuhnutí. [2], [3]

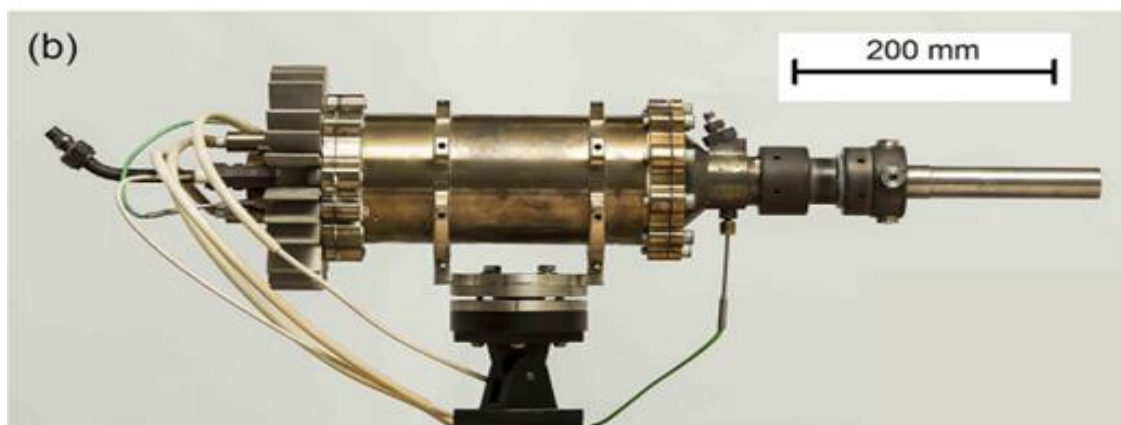
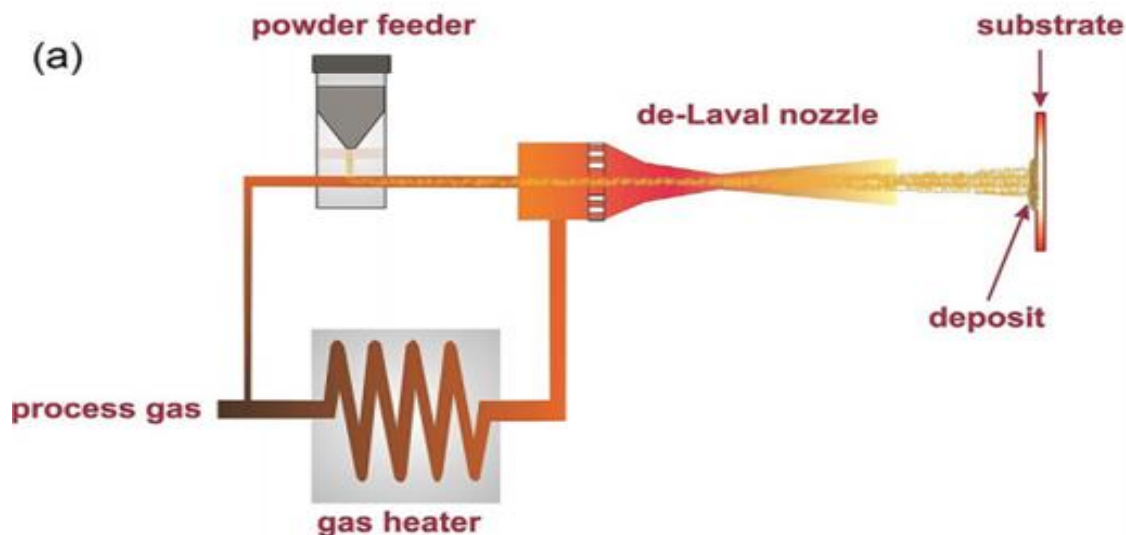
Mikrostruktura povrchu může být zlepšena následujícími způsoby:

- Použitím menších průměrů drátů podávaných menší rychlostí
- Použitím vysoké rychlosti vzduchu pro zkrácení doby přenosu roztavených částic
- Snížením napětí oblouku pro minimalizace přehřátých částic
- Zkrácením vzdálenosti trysky od substrátu pro snížení oxidických vměstků
- Použitím místo stlačeného vzduchu stlačený inertní plyn pro redukování oxidických vměstků

Žárový nástřik elektrickým obloukem své uplatnění našel především ve velkosériovém nebo velkoplošném, nízkonákladovém odvětví jako například nanášení povlaku zinku za účelem ochrany vůči korozi. Specifickými odvětvími, ve kterých TWAS našel své uplatnění, jsou městské a stavební struktury jako například ocelové konstrukce, mosty a nádrže. TWAS se využívá také v lodním průmyslu, kde se nejčastěji povlaky používají pro ochranu ocelových povrchů lodi proti korozi a adhezi. [3], [5]

2.3.5 Cold Spray

Cold spray je metoda při které dochází k nanášení částiček prášku o velikosti jednotek mikrometrů. Vazba těchto částiček se substrátem je výsledkem plastické deformace částic vzniklé důsledkem supersonických rychlostí (až 1200 m/s), na které jsou částice urychleny. Urychlení částic na nadzvukové rychlosti je docíleno expanzí horkého plynu o vysokém tlaku, který je hnán Lavalovou dýzou. Hnací plyn je při procesu zahřátý na teplotu menší než 900 °C. Částice přídatného materiálu jsou v průběhu celého procesu v pevném skupenství. Je tomu tak z důvodu velice krátké expozice částic horkému plynu. Plyn proto nestihne částici dodat dostatečné množství tepla pro tavbu. Dodáním tepla plynu dojde k expanzi a jeho rychlému úniku z Lavalovy dýzy. Vysoká rychlost částic a jejich krátký ohřev pro zkujnění vede k vysoké deformaci při kontaktu se substrátem. [7], [8]



Obrázek 10 (a) Schéma hlavních komponent nástřikové pistole pro metodu Cold Spray, (b) Komerční nástřiková pistol metody Cold Spray [6]

Powder feeder = dispenzor prášku, de-Laval nozzle = Lavalova dýza, substrate = substrát, deposit = nános, process gas = pracovní plyn, gas heater = ohříváč plynu

Nejčastěji používané přídavné materiály jsou měkké kovy a jejich slitiny jako například měď nebo hliník. Méně často se můžeme setkat s nanášením ocelí, titanu, slitin niklu nebo kobaltu. V poslední době se experimentuje i s křehkými a tvrdými materiály např. s keramikou a různými karbidy. Nejčastějším hnacím plynem je dusík, v některých případech se můžeme setkat s heliem. [7], [8]

Parametry technologie Cold Spray přirozeně zamezují vzniku oxidických vměstků ve struktuře povlaku. Další výhodou je jak minimální tepelné ovlivnění mikrostruktury nanášeného přídavného materiálu, tak i mikrostruktury substrátu. Pnutí vzniklé při chladnutí povlaku je zanedbatelné a není potřeba brát v potaz dobu chladnutí během aplikace nástřiku. Lze nanášet povlaky větší tloušťky a jsou také kladeny menší nároky na krytování stříkané součásti. Mezi nevýhody spojené s metodou Cold Spray patří vysoký průtok hnacího plynu a s tím spojené poměrně vysoké náklady. [7], [8]

2.4 Funkce žárových nástřiků a materiály pro tyto účely vhodné

Materiály vhodné pro žárové nástřiky jsou obecně ty materiály, které jsou stabilní i za vyšších teplot. Materiály, u kterých za vyšších teplot dochází k disociaci sloučenin, jejich rozkladu nebo sublimaci jsou pro žárové nástřiky přirozeně špatnými kandidáty. Proto kovy, intermetalické sloučeniny, slitiny, všechny druhy keramik (oxidy, boridy, silicidy atd.) cermety a některé polymery jsou vhodné pro tvorbu nástřiku alespoň jednou nebo více žárovými metodami. Jak již bylo zmíněno, tyto materiály jsou většinou dodávány ve formě prášku, drátu nebo tyče. [5]

Flexibilita žárových nástřiků nabízí možnosti aplikování bezmála jakéhokoli materiálu na téměř jakýkoli substrát. V následujících kapitolách bude zmíněno pár většina běžných aplikací. [5]

2.4.1 Korozivzdornost

Odolnosti vůči korozi je nejčastěji docilováno tvorbou povlaků z ušlechtilých kovů, chemicky inertních keramik nebo plastů. Tyto materiály jsou na substrát nanášeny za účelem vytvoření nepropustné bariéry, která povrch oddělí od okolního prostředí. Porozita je proto vlastnost povlaku, kterou je kriticky nutné minimalizovat, pokud chceme docílit korozní odolnosti povlaku. Vysokoenergetické žárové nástřiky, jako např. HVOF nebo nástřik plazmou, jsou proto ideální pro tvorbu korozivzdorných povlaků z důvodu velice nízké porozity, běžně pod hranicí 1 %. Nicméně v praxi se častěji pro korozivzdorné nástřiky využívají metody s vysokým materiálovým tokem, které jsou levnější a vytvoří vrstvu o podstatně větší tloušťce. Do tohoto popisu spadá například metoda TWAS, která je schopná tvořit vrstvu o tloušťce i několik milimetrů. Nejběžnějšími materiály pro tvorbu korozivzdorných povlaků jsou zinek, čistý hliník, korozivzdorná ocel, slitiny niklu a mosazi. [2], [5]

2.4.2 Povlaky odolné vůči opotřebení

Tribologie, vědecký obor studující opotřebení je velice komplexní disciplínou sám o sobě. Existuje nespočetně mnoho způsobů opotřebení. Žárové nástřiky byly zvoleny jako vhodný kandidát pro zamezení mnoha způsobům opotřebení včetně abraze, eroze, kavitace, otěru a dalšími. Protože pomocí žárových nástřiků je možné nanášet nekonvenční materiály, můžeme pokrýt vícero aspektů opotřebení, protože jeden povlak může mít více jak jednu fyzikální vlastnost. Například Cermety mohou být použity pro kombinaci odolnosti vůči opotřebení a zvýšení tepelné vodivosti. Nepřílnavý materiál s nízkým koeficientem tření může být zkombinován s tvrdým povlakem. Pro potřeby kluzných ložisek může být také nanesen samomazný povlak. V neposlední řadě můžeme kombinací vytvořit povlak odolný jak vůči opotřebení, tak proti korozi. Tvrdost povrchu může být upravena dle potřeb nejčastěji od 20 do 70+ HRC. Oxidy a karbidy jsou nejčastěji používanými materiály ze kterých jsou konkrétně běžně aplikovány oxidy chromu a karbidy wolframu nebo kobaltu. [2], [5]

2.4.3 Tepelná izolace

Povlaky vhodné pro snížení prostupu tepla do substrátu z okolí se nejčastěji vyrábí z tepelně nízko vodivých materiálu jako například oxidy zirkonu a hliníku. Tyto izolační oxidické povlaky mohou také snížit únik tepla do okolí. Zamezením vstupu tepla do substrátu docílíme také omezení vysokoteplotní oxidace. Při tvorbě žárového nástřiku cíleně vnášíme určité množství porozity a mikrotrhin, které přispívají k příznivějším izolačním schopnostem povlaku a také k lepší odolnosti vůči tepelnému šoku. [2], [5]

3 Koroze

Koroze je všudypřítomný, přirozený proces. Ačkoli je koroze nejčastěji spojována s degradací kovu, její proces není limitován pouze na kovové prvky. Jisté formě koroze podléhají téměř všechny materiály. Proces koroze je v podstatě snaha materiálu dostat se do své rovnovážné podoby. Proto mají například železo, nebo ocel přirozený sklon ke kombinaci s ostatními chemickými elementy z důvodu dosažení nejnižšího energetického stavu. Běžně se železo slučuje s kyslíkem a vodou, protože oba činitelé jsou téměř všudypřítomné v okolní atmosféře. Výsledným korozním produktem jsou nejčastěji hydratované oxidy železa (běžná rez), které jsou chemicky podobné původní železné rudě. [10]

3.1 Druhy koroze

3.1.1 Chemická koroze

Kov je narušován výhradně chemickými jevy. Koroze se děje v nevodivém prostředí a v prostředích plynných za vyšších teplot. Chemická koroze je dále dělena dle prostředí, ve kterém vzniká, a to na korozi v oxidujícím plynu a na korozi v redukujícím plynu.

Korozi v oxidujícím plynném prostředí lze charakterizovat vznikem korozních produktů na povrchu materiálu. Následující průběh koroze je závislý na vlastnostech vzniklé oxidické vrstvy a fázovým rozhraním kov-oxidická vrstva-plyn. Rychlost vzniku a budování oxidické vrstvy je závislé na parametrech jako jsou druh oxidu, jeho ochranné vlastnosti nebo okolní teplotě.

Koroze v redukujícím plynném prostředí je charakterizována rozrušováním povrchové vrstvy kovu difúzí plynu do materiálu. Na povrchu tedy nevznikají žádné korozní produkty. Nejběžnějším příkladem redukujícího plynu je vodík, který v atomární podobě difunduje do povrchu oceli. Vodík se i při poměrně krátké expozici nahromadí v dutinkách kovu a následně způsobuje vodíkovou křehkost. [11], [12]

3.1.2 Elektrochemická koroze

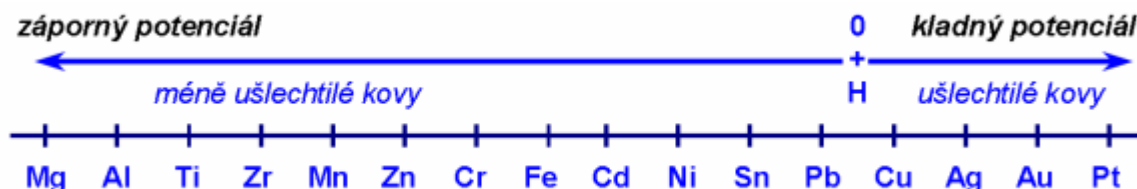
Elektrochemická koroze oproti korozi chemické probíhá v prostředí elektricky vodivém. Tímto vodivým prostředím (elektrolytem) je nejčastěji voda, a to ve formě kyselého, neutrálního nebo zásaditého roztoku. Děj elektrochemické koroze vychází ze dvou základních reakcí. Jsou jimi anodická a katodická reakce.

Anodická reakce, probíhající na anodě je jevem, při kterém dochází k její přímé oxidaci. Kationty výměnou za elektrony z anody přecházejí do elektrolytu. Anoda se tím polarizuje a získává v článku zápornější potenciál.

Katodická reakce je jevem inverzním k anodické reakci. Přebytečné elektrony na anodě přecházejí na katodu, kde redukují (depolarizují) oxidační činidlo přítomné v elektrolytu. Obě reakce probíhají paralelně. Množství elektronů emitovaných anodou je přímo úměrné množství elektronů katodou pohlcených. [11], [12]

Ušlechtilost kovů

Ušlechtilost kovů je vyjádřena standardním potenciálem. Ten nastává v okamžiku, kdy je kov v rovnováze se svými ionty a jejich koncentrace je v kovu rovna jedné. Čím je potenciál vyšší, tím je kov ušlechtilejší. Tento potenciál je v každé soustavě kov-elektrolyt odlišný. Na základě naměřených elektronových potenciálů byla pro kovy sestavena elektrochemická řada napětí, tzv. Beketova řada kovů. [12]



Obrázek 11 Stupnice ušlechtilosti inspirovaná Beketovou řadou elektrodových potenciálů [12]

Kov, který je v řadě vlevo před referenční neutrální vodíkovou elektrodou je považován za neušlechtilý. Jeho hodnota potenciálu je záporná. Kov napravo od vodíkové elektrody je považován za ušlechtilý. Jeho hodnota potenciálu je kladná. Čím nižší má kov elektrodový potenciál, tím vyšší má schopnost uvolňovat elektrony (oxidovat) a přecházet do roztoku (stává se redukčním činidlem). Kovy s kladným elektrodovým potenciálem jsou naopak schopné elektrony přijímat (kov se redukuje), a tak působit jako oxidační činidlo. [11], [12]

Korozní článěk

Korozní článěk vzniká vodivým spojením dvou různých kovů. Kov se zápornějším potenciálem se stává anodou a podléhá oxidaci (korozi). Kov s kladnějším potenciálem se stane katodou. Tímto spojením dojde k porušení termodynamické rovnováhy a postupnému přečerpávání iontů a elektronů.

Příkladem může být zinek a nízkouhlíková ocel. Pokud oba materiály ponoříme do vodného roztoku chloridu sodného, můžeme již za velice krátkou dobu pozorovat vznik korozních produktů. Pokud ovšem zinek a nízkouhlíkovou ocel ve stejném prostředí spojíme vodivým drátem, dojde k podstatné změně. Kov s nižším elektrodovým potenciálem bude podléhat korozi a kov kladnější zůstane zachován.

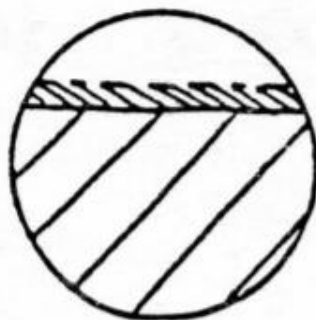
Pokud bychom tedy vodivě spojili pozinkovaný materiál a nízkouhlíkovou ocel, došlo by vzhledem k nižší ušlechtilosti zinku k jeho korozi. Zinek by tvořil anodu a ocel katodu.

Častou konstrukční chybou bývá spojení nízkouhlíkové oceli s mědí. Například při montování okapového systému. Při tomto spojení budou vznikat korozní produkty železa, protože měď je ušlechtilejší jak železo, ze kterého je ocel primárně složena. [11], [12]

3.2 Dělení koroze

3.2.1 Rovnoměrná

Jak již napovídá, korozní úbytek při rovnoměrné korozi probíhá po celém povrchu materiálu, vystavenému koroznímu prostředí, relativně stejnou rychlostí. Nejprve se koroze začne projevovat v tzv. korozních centrech. Aktivita těchto míst je určována korozními podmínkami (např. hladina pH), a jejich počet je závislý na reaktivnosti kovu v daných podmínkách. Pokud je vzájemná reaktivita kovu a korozního prostředí vysoká, je povrch materiálu za vzniku korozních zplodin odhalen a počet korozních center výrazně roste. Výsledkem tohoto procesu je pozvolné napadení celého povrchu materiálu. [13], [14]



Obrázek 12 Znárodnění rovnoměrné koroze [13]

Přestože pohledově rovnoměrná koroze vypadá jako vážný problém, jedná se ve skutečnosti o nejpříznivější formu korozního napadení. Její přítomnost je vidět holým okem a korozní úbytek lze velice přesně predikovat. Díky tomu může být dopředu naplánovaná výměna postižené součásti. [13], [14]

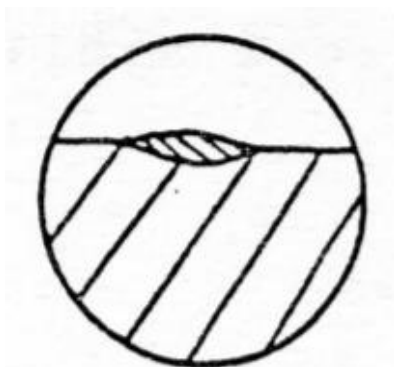
3.2.2 Nerovnoměrná

Nerovnoměrná koroze je sice s v porovnání s rovnoměrnou korozi v menším zastoupení, nicméně její existence s sebou nese citelně vyšší rizika. Riziko plyne výhradně z faktu, že nerovnoměrná koroze často vzniká pod povrchem materiálu. Holým okem tedy nejsme schopni vadu rozpoznat, a proto můžeme na korozi přijít až v okamžiku selhání materiálu. [13], [14]

Skvrnitá koroze

Skvrnitá koroze se projevuje pouze na určitých místech povrchu kovu. Proces degradace začíná opět v korozních centrech. Je jich ovšem podstatně méně než v případě běžné rovnoměrné koroze. [13], [14]

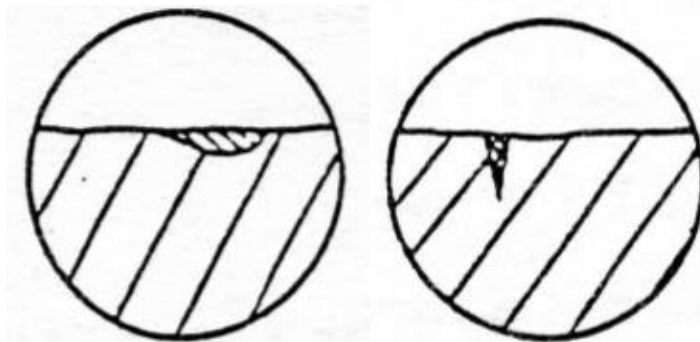
V případě odstranění těchto míst, nebo pokud dojde ke zpomalení koroze v daném místě (potlačení koroze tvořícího prostředí či snížením aktivity kovu), začne se korozní napadení rozšiřovat do stran (skvrnitá koroze). Jednotlivé skvrny se postupem času spojují a napadení přechází do rovnoměrného charakteru. [13], [14]



Obrázek 13 Znárodnění skvrnitě koroze [13]

Důlková a bodová koroze

Důlková a bodová koroze se nejčastěji vyskytuje u pasivovaných kovů. Při porušení pasivační vrstvy dojde ke vzniku aktivních korozních center. Na první pohled je korozně zasažená pouze malá plocha materiálu, nicméně degradace proniká hluboko do materiálu (pitting). Konečným výsledkem, který často končí selháním, je prokorodování materiálu. Podmínkou pro vznik těchto napadení je strukturální nehomogenitou povrchové vrstvy kovu, z důvodu vměstků, přítomností nečistot na povrchu nebo lokální porušení pasivační vrstvy. Vstupním faktorem je ovšem i korozní prostředí a vlastnosti vznikajících korozních produktů. Bodová a důlková koroze je častý jev v prostředích obsahující chlór, brom nebo jód a jejich soli. Napadány jsou všechny kovy. Nejnebezpečnější je tento druh koroze zejména pro korozivzdornou oceli a niklové či hliníkové slitiny. [13], [14]

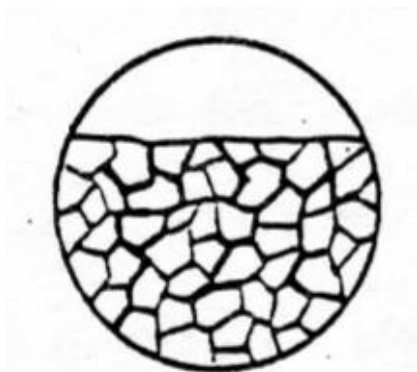


Obrázek 14 Znárodnění důlkové a bodové koroze (zleva doprava) [13]

Mezikrystalová koroze

Mezikrystalová koroze probíhá výhradně podél rozhraní zrn a proniká do značné hloubky, popřípadě i celým průřezem. Proces mezikrystalové koroze je doprovázen markantním zhoršením mechanických vlastností napadeného kovu. Narušování soudržnosti napadených zrn se projevuje ztrátou pevnosti a houževnatosti slitiny. [13], [14]

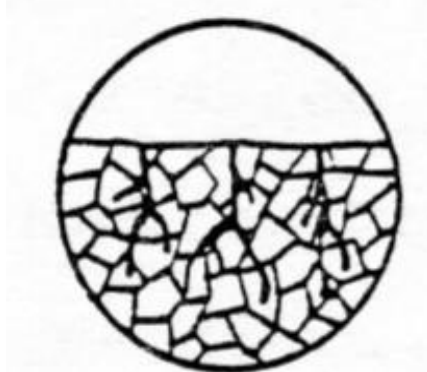
Pokud je kov silně napaden tímto typem koroze, tak ztratí specifický kovový zvuk při nárazu. V extrémním případě může dojít i k rozpadu kovu na prášek tvořený jednotlivými zrny. V ohrožení před mezikrystalovou korozí jsou především korozivzdorné oceli, niklové a hliníkové slitiny. [13], [14]



Obrázek 15 Znárodnění mezikrystalové koroze [13]

Transkrystalová koroze

Transkrystalová koroze, zvaná také stress cracking, se od mezikrystalické koroze liší tím, že tento jev probíhá skrz samotná zrna, nikoli pouze na jejich hranicích. Materiálem se tedy začne tvořit síť rozvětvených trhlinek. K rozvoji tohoto jevu ve velké míře přispívá vnitřní pnutí materiálu společně s korozním prostředím. Tomuto napadení podléhá například mosaz v prostředí amoniaku, nebo austenitické oceli vlivem chloridů. Transkrystalová koroze je velice nebezpečným typem koroze, stejně jako koroze mezikrystalová. Je tomu tak proto, protože její působení pouhému oku uniká a její výsledek se může projevit bez varování. [13], [14]



Obrázek 16 Znárodnění transkrystalické koroze [13]

3.3 Ochrana proti korozi

Snahou antikorozi ochrany je minimalizovat vliv dopadu koroze na funkci strojů a konstrukcí. Ve snaze předejít negativním vlivům koroze je v praxi užívána řada druhů antikorozi ochrany materiálu. Cílem ochrany je zabránit korozi, nebo její postup minimalizovat na přípustný roční korozní úbytek, který je v souladu s požadovanou životností chráněného objektu. Volba správného řešení musí mimo trvanlivosti myslet také na ekologii, tedy na vliv prvku na životní prostředí a jeho recyklaci nebo odstranění na konci životnosti. [15]

Metody korozní ochrany [5] :

- 1) Volba materiálu
- 2) Úprava korozního prostředí
 - a) Eliminováním korozi stimulujícího prvku korozního prostředí
 - b) Úpravou korozního prostředí přidáním vhodného inhibitoru
 - c) Změnou fyzikálních parametrů (rychlost proudění, teplota, vlhkost, tlak apod.)
- 3) Vhodná úprava konstrukce objektu
- 4) Využitím elektrochemické ochrany:
 - a) Anodická ochrana
 - b) Katodická ochrana
 - c) Elektrické drenáže
- 5) Povrchová úprava
 - a) Kovové povlaky
 - b) Nekovové anorganické povlaky
 - c) Organické povlaky

4 Experimentální část

V experimentální části této bakalářské práce je cílem určit, který z výběru více vrstevých systémů žárových nástřiků metodou TWAS odolává nejlépe korozi. Tato práce byla provedena ve spolupráci s Výzkumným zkušebním ústavem v Plzni, který zajistil přípravu žárově stříkaných vzorků a poskytl potřebné prostředky ke zhotovení výsledků. Tato práce je součástí projektu pro Národní centrum energetiky, který má za úkol popsat odolnost žárově stříkaných povlaků metodou TWAS právě na degradaci koroze, ale také erozí, kavitací či abrazí v energetice. Konkrétním předmětem tohoto zkoumání je horní díl savky vodní elektrárny Kamýk. Tento díl vodní elektrárny je konstantě vystavován silným degradačním jevům, kvůli kterým je nutné pečlivým způsobem volit správný materiál. Žárové nástřiky byly mimo jiné zvoleny také z důvodu jejich mobility. Horní díl savky je pevně zabetonovaný v rámu, nepřipadá tedy v úvahu tímto dílem nijak manipulovat.

4.1 Příprava vzorků

Celkem bylo pro potřeby zkoušky korozní odolnosti připraveno 6 různých multivrstevných povlaků. Každý typ představoval různou kombinaci materiálů. Vzorky ve tvaru destičky o rozměru 100x100x5 mm byly zhotoveny z materiálu ČSN 12 050 (C45). Více informací k materiálu v příloze č. 1. Povrch vzorku musel splňovat hodnotu Ra (average roughness) rovnající se 0,8 μm .



Obrázek 17 Vzorek zhotoveného žárového nástřiku

Finální povlak se skládá ze tří vrstev žárového nástřiku a sealeru, který utěsí póry na povrchu materiálu a tím zamezuje průniku vody. Přehled jednotlivých vrstev je vidět v tabulce č. 1. Každá jednotlivá vrstva má svou funkci.

Tabulka 1: Materiálů a tloušťek jednotlivých vrstev

	Základní vrstva (0,2 mm)	Mezivrstva (1–2 mm)	Vrchní vrstva (0,3–0,5 mm)	Těsnící prvek
A	Metco8450	85 T	BTW 58	TS Sealer-P
B	Metco8450	85 T	98 MXC	TS Sealer-P
C	Metco8450	85 T	97 MXC	TS Sealer-P
D	NiTi	85 T	BTW 58	TS Sealer-P
E	NiTi	85 T	98 MXC	TS Sealer-P
F	NiTi	85 T	97 MXC	TS Sealer-P

Základní vrstva

Základní vrstva (bond coat) zajišťuje lepší vazbu mezi substrátem s následující, podstatně silnější vrstvou. Základní vrstva musí být tvořena relativně měkkým materiálem, který vykazuje samovaznost a dobrou tepelnou roztažnost. Pokud by materiál nebyl dostatečně měkký, nedošlo by k vytvoření dostatečné mechanické vazby a multivrstva by se odlupovala. Tepelná roztažnost je důležitá kvůli vyrovnávání rychlých změn teplot, které mají za příčinu praskání povlaku. Průměrná tloušťka této vrstvy je 0,2 mm.

Mezivrstva

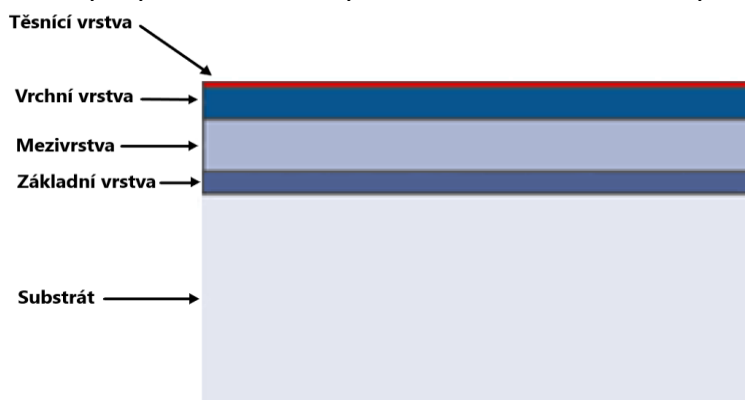
Mezivrstva (middle coat) slouží výhradně jakožto ochrana vůči korozi. Zvoleným materiálem pro tuto vrstvu je korozivzdorná ocel, která pro tyto potřeby stačí a její cena je přijatelná. Cena je v tomto případě důležitá, protože dochází k nanášení vrstvy o tloušťce 1-2 mm. Spotřeba materiálu je proto z důvodu vytvoření dostatečné bariéry podstatně vyšší než u ostatních vrstev.

Vrchní vrstva

Vrchní vrstva (top coat) je aplikována za účelem ochrany proti mechanickému opotřebení. Savka je vystavována rychle tekoucí říční vodě, ve které je unášeno velké množství drobných nečistot ze zeminy, kterou s sebou řeka konstantně odnáší. Materiál proto musí splňovat podmínku vysoké tvrdosti a odolnosti proti mechanickému opotřebení. Vrchní vrstva musí splňovat tloušťku v rozmezí 0,3-0,5 mm.

Těsnící prvek

Poslední vrstvou systému je těsnící prvek, který je nutné použít z důvodu vysoké porozity, která je pro žárový nástřik metodou TWAS příznačná. Těsnící prvek vteče do pórů a zamezí vniknutí vody, která by se mohla bez jeho aplikace dostat až na povrch samotného substrátu. Pokud by se tak stalo, došlo by k velmi rychlé korozi základního materiálu a vzniku korozních produktů, které by svým tlakem začaly odtrhávat ochranné vrstvy.



Obrázek 18 Grafické znázornění

Nejvíce pozornosti bude nadále v práci věnováno mezivrstvě a vrchní vrstvě. Je tomu tak z důvodu konceptu korozní zkoušky, konkrétně zkoušky solnou mlhou. Předpokládá se, že vliv koroze by neměl při testu postoupit hlouběji než na úroveň mezivrstvy. Základní vrstva byla vytvořena výhradně kvůli přilnavosti dalších vrstev nástřiků. Detailně proto budou rozebrány hlavně materiály BTW 58, 98 MXC, 97 MXC představující vrchní vrstvu, materiál 85 T, který zastupuje mezivrstvu a těsnící prvek, který eliminuje porozitu materiálu. Materiály Metco 8450 a NiTi jsou k dohledání v přílohách 2 a 3.

4.1.1 Použité materiály

85 T

Tento materiál je složením korozivzdorná ocel, kde nižší obsah uhlíku minimalizuje precipitaci karbidů v důsledku vstupu tepla, čímž se zvyšuje odolnost proti mezikrystalové korozi. Materiál je vhodný pro širokou škálu aplikací, které vyžadují dobrou tvařitelnost. Využívá se v chemickém, farmaceutickém, potravinářském a nápojovém průmyslu. Bližší informace jsou dostupné v příloze č. 4. [19]

Tabulka 2: Chemické složení drátu 85 T a optimalizované parametry nástřiku [19], [20]

Prvek	Chrom	Nikl	Molybden	Uhlík
Zastoupení [%]	17,5	12	2,2	<0,08
Optimalizované nástřikové parametry pro 85T				
Napětí [V]		30		
Proud [A]		200		
Tlak vzduchu [psi]	Prim.	60		
	Svěrky	28		
Depozice [mm]		125		
Offset [mm]		10		
Posuv [mm/s]		150		
Označení		21-080-1		

BTW 58

Materiál je legovaný drát na bázi železa, který má jedinečnou mikrostrukturu složenou ze supertvrdých boridů a amorfních fází. Díky těmto vlastnostem má tato slitina výjimečnou odolnost vůči extrémním erozivním prostředím spojenou s dobrou schopností odolávat mírným korozivním podmínkám. Legované žáruvzdorné kovové prvky poskytují velmi dobré vlastnosti při zvýšených teplotách. Tento materiál se používá například pro povlakování v elektrárnách, ocelovém průmyslu a v cementárnách. Bližší informace jsou dostupné v příloze č. 6. [21]

Tabulka 2 Chemické složení drátu BTW 58 a optimalizované parametry nástřiku [21], [22]

Prvek	Chrom	Molybden	Bor	Ostatní	Železo
Zastoupení [%]	< 25	< 8	< 6	< 6	Balance
Optimalizované nástřikové parametry BTW 58					
				Par. 4	
Proud [A]				220 (2)	
Napětí [V]				32 (3)	
Tlak vzduchu [bar]	Tryska			5	
	Aux			5	
Depozice [mm]				Cca 150	
Offset [mm]				10	
Posuv [mm/s]				150	
Označení				21-020-1	

98 MXC

Jedná se o dutý drát vyráběný speciálně pro žárové nástřiky. Materiál vytváří tvrdý a dobře vazný povlak, odolný proti abrazi a korozi. Výsledný povlak je dobře obrobitelný karbidovými nástroji. Po obrobení je při použití vhodných parametrů zaručený hladký povrch s nízkým koeficientem tření. Materiál je vhodný pro širokou škálu uplatnění, jako například ochrana potrubí a kotlů v energetice, lopatky nízko otáčkových turbín nebo potravinářský a papírnický průmysl. Bližší informace jsou dostupné v příloze č. 7. [22]

Tabulka 3 Chemické složení dutého drátu 98 MXC a optimalizované parametry nástřiku [22], [23]

Prvek	Chrom	Nikl	Uhlík	Mangan	Křemík	Molybden	Železo
Zastoupení [%]	< 26	< 3	< 1,7	< 1,6	< 1,6	< 0,8	Balance
Optimalizované nástřikové parametry pro 98 MXC							
						Par. 1	
Napětí [V]						30	
Proud [A]						200	
Tlak vzduchu [psi]	Prim.			60			
	Svěrky			28			
Depozice [mm]						125	
Offset [mm]						10	
Posuv [mm/s]						150	
Označení						21-168-1	

97 MXC

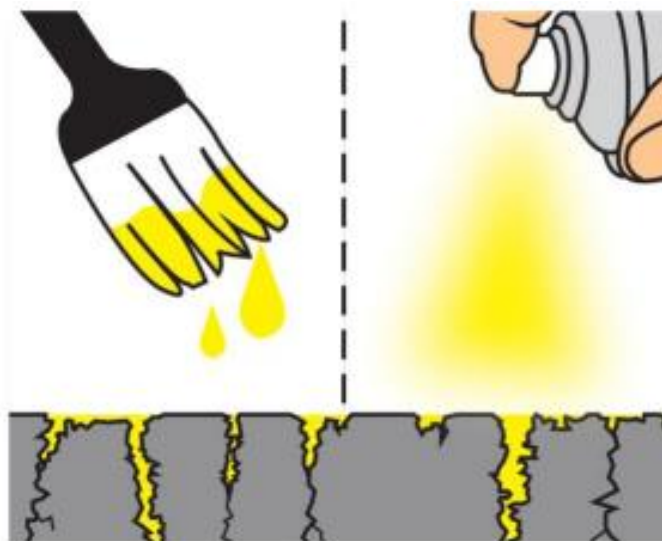
Materiál je dodáván ve formě dutého drátu speciálně designovaného pro potřeby žárových nástřiků. Materiál je speciální slitinou obsahující karbidy titanu a wolframu v amorfní matici. Materiál 97 MXC vytváří tvrdý povlak odolný proti abrazi a také vůči korozi. Materiál je možné použít až do operačních teplot 540 °C. Tento materiál je hojně používán v industriálních odvětvích trpících vysokým opotřebením jako již zmíněná energetika, či papírnický průmysl. Bližší informace jsou dostupné v příloze č. 8. [25]

Tabulka 4 Chemické složení dutého drátu 97 MXC a optimalizované parametry nástřiku [25], [26]

Prvek	Chrom	Bor	Nikl	Křemík	Karbid titanu	Karbid wolframu	Železo
Zastoupení [%]	< 13	< 2	< 6	< 1	< 6	< 26	Balance
Optimalizované nástřikové parametry pro 85 T							
Napětí [V]				30			
Proud [A]				150			
Tlak vzduchu [psi]	Prim.			50			
	Svěrky			28			
Depozice [mm]				125			
Offset [mm]				10			
Posuv [mm/s]				150			
Označení				21-165-1			

Těsnící prvek (Sealer)

Konkrétně byl použit těsnící prvek TS Sealer-P od společnosti FST. Je k dostání v tekuté formě ve spreji nebo v plechové nádobě pro aplikaci štětcem. Těsnící prvek je na polymerové bázi s obsahem rozpouštědel. Složení sealeru zaručuje vynikající kapilární zabíhavost potřebnou ke spolehlivému utěsnění [18]. Více informací ke složení jsou dostupné v produktovém listu produktu v příloze č. 5.



Obrázek 19 Aplikace těsnícího prvku na vytvořený povlak [18]

4.2 Technologický postup

Kapitola pojednává o krocích a strojích potřebných k uskutečnění technologického postupu.

4.2.1 Předúprava povrchu

Před aplikováním žárového nástřiku bylo nutné povrch vzorků připravit. Předúprava povrchu je stěžejní pro správnou vazbu základní vrstvy se substrátem.

V prvním kroku byly vzorky očištěny od hrubých nečistot a odmaštěny chemickými prostředky. Odmaštění bylo uskutečněno v průmyslové ultrazvukové vaně v 10% roztoku přípravku Star 75 PN. Proces odmaštění trval 15 minut a proběhl za teploty 50 °C. Každá sada vzorků byla odmaštěna zvlášť.

Po odmaštění bylo dalším krokem tryskání. Tryskání proběhlo ručně v tryskací komoře ATKRD pomocí hnědého korundu o zrnitosti F16. Povrch byl následně očištěn stlačeným vzduchem.

4.2.2 Zařízení TWAS

Pro provedení metalizace byla použita souprava SmartArc Oerlikon Metco od společnosti Oerlikon, která je na obrázku č. 18. Parametry použité soupravy jsou vidět v tabulce č. 5. Souprava společně s robotický systémem IRB 2600, polohovadlem a přídavným zařízením pro chlazení byla uzavřena ve speciálním boxu. Box zajišťuje vhodnou vzduchotechnikou předepsanou filtraci pevných částic ze vzduchu a stíní UV záření vzniklé hořením oblouku. Filtrace vzduchu je dána normou bezpečnosti a ochrany životního prostředí.



Obrázek 20 Konzole SmartArc PPC se zdrojem 350RU společně s nástřiková pistolí SmartArc PPG [27]

Tabulka 5 Specifikace nástřikové soupravy [27]

Výstupní proud	400 A
Nástřiková pistole	Provedení pro strojní upnutí typ PPG
Podavač drátu	Elektrický push/pull systém
Držák cívky/odvíječ	Zahrnut v sadě
Typ drátu	Všechny typy drátu pro obloukové tavení

4.2.3 Metalizace

Žárový nástřik provést dle interního postupu POS-ŽN/33/001 v následujících krocích:

- 1) Zakrytování ploch nepodléhajících nástřiku.
- 2) Manipulace a fixace vzorečků do přípravku v nástřikové kabině.
- 3) Příprava cívek drátu materiálu základní vrstvy a jejich zasazení do podávacího mechanismu technologického zařízení.
- 4) Kontrola přívodů všech médií – stlačený vzduch.
- 5) Nastavení depozičních parametrů dle optimalizovaných parametrů materiálu (viz. tabulky č. 2, 3, 4 a 5).
- 6) Nastavení programu robota tak, aby hořák pojížděl plynule konstantní rychlostí a posuvem v místě metalizované plochy.
- 7) Kontrola nastavení.
- 8) Zapálení hořáku.
- 9) Spuštění nástřikového programu.
- 10) Během nástřiku nutno kontrolovat teplotu povlakované součásti, aby nepřesáhla 150 °C. Dále provádět rozměrovou kontrolu přímo na stříkané ploše pomocí mikrometrického měřidla/tloušťkoměru.
- 11) Provádět mezioperační kontrolu dle TOS-33/02.
- 12) Ukončení nástřiku po dosažení konečného rozměru bond-coatu.
- 13) Po dosažení požadované tloušťky bond-coatu odebrat cívky z podávacího mechanismu.
- 14) Příprava cívek drátu materiálu mezivrstvy a jejich zasazení do podávacího mechanismu.
- 15) Opakovat bod č. 4) -13).
- 16) Příprava cívek drátu materiálu horní vrstvy a jejich zasazení do podávacího mechanismu.
- 17) Opakovat bod č. 4) -13).
- 18) Vychlazení součásti a konečné měření rozměrů při pokojové teplotě.
- 19) Sejmutí krytovacích přípravků.
- 20) Vyplnit protokol o nástřiku.
- 21) Výstupní kontrola povlaku, chráněných i nechráněných ploch součásti.
- 22) Manipulace, balení dílů do vhodného obalu (miralon, síťovina).

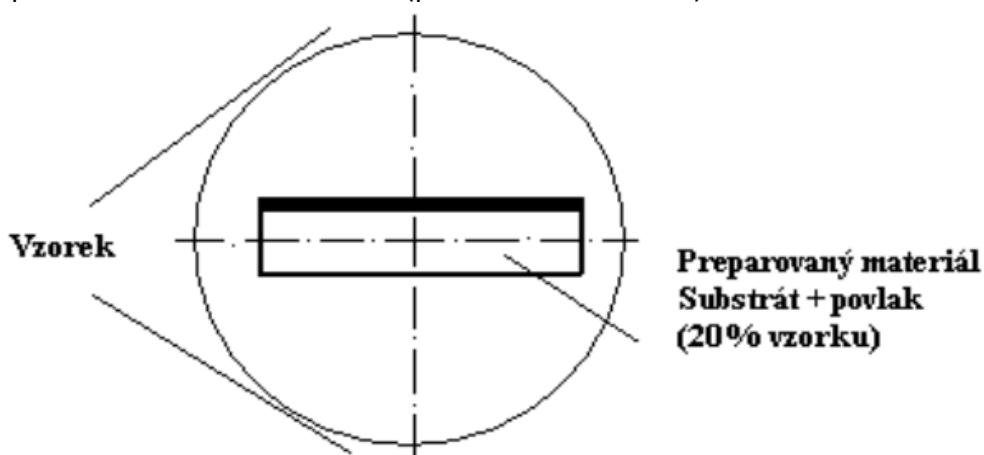
4.2.4 Aplikace těsnícího prvku

Na závěr je na metalizovaný povrch nanесena vrstva těsnícího prvku. Ta je nanесena ručně pomocí štětečku a poté je ponechána 24 hod vyschnout na vzduchu.

4.3 Metodika testování

4.3.1 Optická mikroskopie

Před zkoumáním vzorku pod mikroskopem je nutné provést vhodný metalografický výbrus. Zvolená preparační metoda je určena ke zhotovení příčných výbrusů žárově stříkaných slitinových povlaků o tvrdosti 30–50 HRD (povlak má více vrstev).



Obrázek 21 Zalitý preparovaný materiál [28]

K řezání byla použita řezačka Leco LSM 250 M2 a byl použit kotouč od firmy Streurs. Postup řezání byl proveden tak, aby kotouč vnikal od povlaku směrem k základnímu materiálu, aby nedošlo k ovlivnění struktury povlaku. Oddělené vzorky byly zabroušeny o otřepy a následně očištěny lihем a vysušeny teplým vzduchem. Takto připravené vzorky byly následně zality za studena do speciálních forem roztokem pryskyřice a tvrdidla.



Obrázek 22 Řezačka Leco LSM 250 M2

Základní postup a princip metalografické přípravy

Zalitě vzorky byly upnuty pomocí šroubů do rotačního přípravku. Přípravek byl následně zasunut do rotační hlavy brousícího a leštícího zařízení Saphir 250 A1-ECO. Při upnutí byl brán zřetel, aby dosedaly rovnoměrně celou plochou na brusnou podložku (dodržení rovinnosti a rovnoběžnosti kontaktních ploch).



Obrázek 23 Leštící zařízení Saphir 250 A1-ECO

Na leštícím zařízení byly navoleny příslušné parametry, jsou popsány v jednotlivých krocích. Při volbě parametrů je nutné dodržet požadovaný tlak na jeden vzorek. Byl nastaven na základě počtu upnutých vzorků. Výsledný tlak je tedy počet vzorků krát tlak na jeden vzorek.

Krok 1 – rovinné broušení

Rovinné broušení bylo provedeno magnetickým diskem MD Piano 220, který byl usazen na magnetický kotouč brousícího zařízení. Tento disk bylo nutno před broušením naostřit pomocí brusného kamene. Při rovinném broušení bylo prioritou obrousit veškeré stopy po řezání (popraskání, trhliny apod.). [28]

Tabulka 6 Parametry rovinného broušení [28]

Přítlačná síla na jeden vzorek	25 N
Rychlost otáčení brusného disku	300 ot/min
Rychlost otáčení hlavy	150 ot/min
Směr otáčení	CCW – nesousledné otáčky
Brusná podložka	MD piano 220
Chladicí kapalina	Voda
Doba rovinného broušení	8 min

Po skončení broušení bylo nutné provést důkladné očištění povrch vzorků i povrchu samotného přípravku proudem studené vody, lihem a následně ofouknutí stlačeným vzduchem. Důkladné čištění všech povrchů je nutné z důvodu odstranění všech produktů rovinného broušení, které by mohly ovlivnit následující jemné broušení. [28]

Krok 2 – Jemné broušení

Jemné broušení se provádí za použití magnetického disku MD Allegro a brusné diamantové suspenze DiaDuo 9 μm . Suspenze v sobě obsahuje také lubrikant, není tedy nutné přídavné chlazení. Brusná suspenze byla během broušení ručně přidávána tak, aby vznikl tenký suspenzní film. [28]

Tabulka 7 Parametry jemného broušení [28]

Přítlačná síla na jeden vzorek	25 N
Rychlost otáčení brusného disku	300 ot/min
Rychlost otáčení hlavy	150 ot/min
Směr otáčení	CW – sousledné otáčky
Brusná podložka	MD Allegro
Chladicí kapalina	DiaDuo 9 μm
Doba rovinného broušení	8 min

Stejně jako v minulém kroku bylo nutné vzorky společně s přípravky důkladně očistit. Následovala vizuální kontrola, při které byl zkoumán stav povrchu. Pokud by povrch vykazoval stopy rovinného broušení, bylo by nutné krok jemného broušení opakovat. [28]

Krok 3 – Leštění

Dalším krokem metalografického výbrusu bylo leštění. Leštěním se docílí odstranění stop po broušení a dochází k odhalení pravé struktury povlaku. Leštění bylo provedeno magnetickým diskem MD Dac. Na začátku leštění a v jeho procesu byla ručně přidávána diamantová suspenze 3 μm DiaDuo-2. Suspenze taktéž obsahovala lubrikant, další chlazení tedy nebylo nutné. [28]

Tabulka 8: Parametry leštění [28]

Přítlačná síla na jeden vzorek	25 N
Rychlost otáčení brusného disku	300 ot/min
Rychlost otáčení hlavy	150 ot/min
Směr otáčení	CW – sousledné otáčky
Brusná podložka	MD Dac
Chladicí kapalina	DiaDuo 3 μm
Doba rovinného broušení	4 min

Po dokončení leštění byly vzorky a přípravky vyčištěny stejným způsobem jako v předchozích dvou krocích. Tento krok již není možné opakovat, protože extenzivnějším leštěním dochází k zaoblení hran. Toto zaoblení by při finální světelné mikroskopii zhoršovalo ostrost obrazu. [28]

Krok 4 – Dokončovací leštění

Pro dokončovací leštění byl použit magnetický disk MD-Nap, společně s diamantovým sprejem DP Sprej M 1 μm . Ke zvlhčení disku byl také manuálně, společně s diamantovým sprejem, přidáván ethanol. [28]

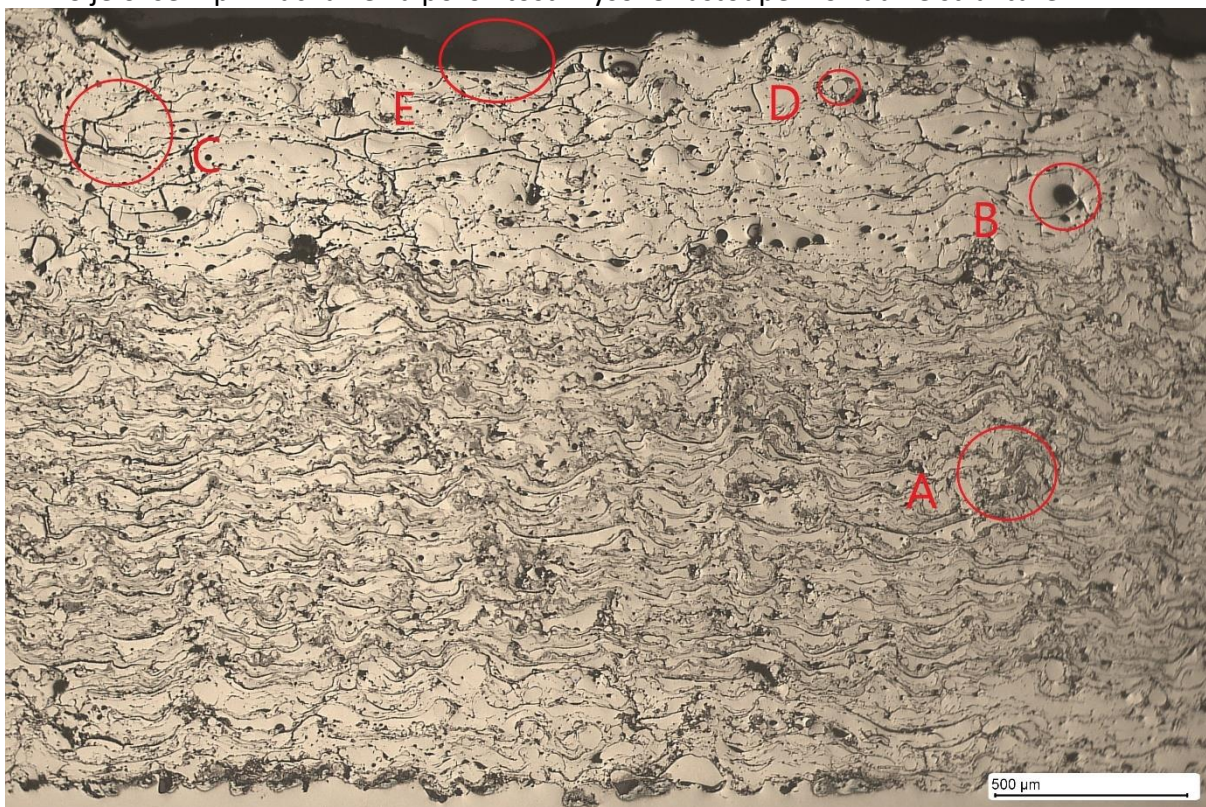
Tabulka 9: Parametry dokončovacího leštění [28]

Přítlačná síla na jeden vzorek	25 N
Rychlost otáčení brusného disku	300 ot/min
Rychlost otáčení hlavy	150 ot/min
Směr otáčení	CW – sousledné otáčky
Brusná podložka	MD Nap
Chladicí kapalina	DP Sprej M 1 μm + ethanol
Doba rovinného broušení	2 min

Po dokončovacím leštění byly vzorky opatrně očištěny ethanollem a vysušeny stlačeným vzduchem. Tento krok, stejně jako předchozí, nelze ze stejného důvodu opakovat. Některé vzorky byly manuálně doleštěny pomocí ethanolu a čistého bavlněného hadříku. [28]

4.3.2 Vizuální hodnocení

Mikrostruktura povlaků byla hodnocena na metalografickém výbrusu pod světelným mikroskopem značky Arsenal. Zkoumán byl především tvar a rozložení splatek, pórovitost, počet oxidických vměstků a výskyt defektů (trhliny) v povlaku. Před samotným hodnocením je nutné uvést, jak jednotlivé úkazy rozpoznat. Formování a rozložení splatek je ve snímcích struktury patrné na lamelární struktuře, která postupuje normálově k povrchu substrátu. V ideálním případě by, pro nejlepší vlastnosti povlaku, struktura vzorku neměla obsahovat žádné póry, trhliny a měla obsahovat pouze určité množství oxidických vměstků. Pro metodu TWAS je ovšem příznačná velká pórovitost i vysoké zastoupení oxidů ve struktuře.



Obrázek 24 Názorná ukázka nedokonalostí povlaku. A oxidické vměstky, B pórovitost, C praskliny, D resolidifikovaná tavenina, E vrstva těsnícího prvku

V následujících snímcích je možné, u každého typu vzorku, vždy vidět nejprve snímek celé struktury multivrstvy, následně stejný snímek doplněný o kóty tlouštěk jednotlivých vrstev. Pod nimi je možné vidět vedle sebe detailní snímky mezivrstvy a horní vrstvy. Snímky základní vrstvy byly z důvodu rozsahu práce přiloženy do přílohy č. 9.

Systém multivrstvy je dobře patrný na všech snímcích, nicméně nejlépe je vidět na snímku vzorků C a F (obrázek č. 28 a 35). Nejmenší kontrast je naopak vidět na snímku D a A (obrázek č. 30 a 22). Kontrast jednotlivých vrstev udávají hlavně obsahy oxidických vměstků v jednotlivých vrstvách. Jejich obsah je nejvíce patrný v mezivrstvě, která je u všech vzorků z totožného materiálu, a to z korozivzdorné oceli (označení 85T). Jejich obsah se tedy bude odvíjet výhradně od parametrů nástřiků, které byly při metalizaci na stroji nastaveny. Oxidy jsou ve struktuře zobrazeny světle šedou barvou a v největší míře jsou obsaženy na hranicích splatek. Nejmenší množství oxidických vměstků vykazují vzorky A a D. Jejich menší výskyt mohl být zapříčiněn například tlakem hnacího vzduchu (vyšší depoziční rychlost), díky kterému natavené částice strávily kratší čas v atmosféře, a tím pádem proces oxidace neproběhl v tak velké míře.

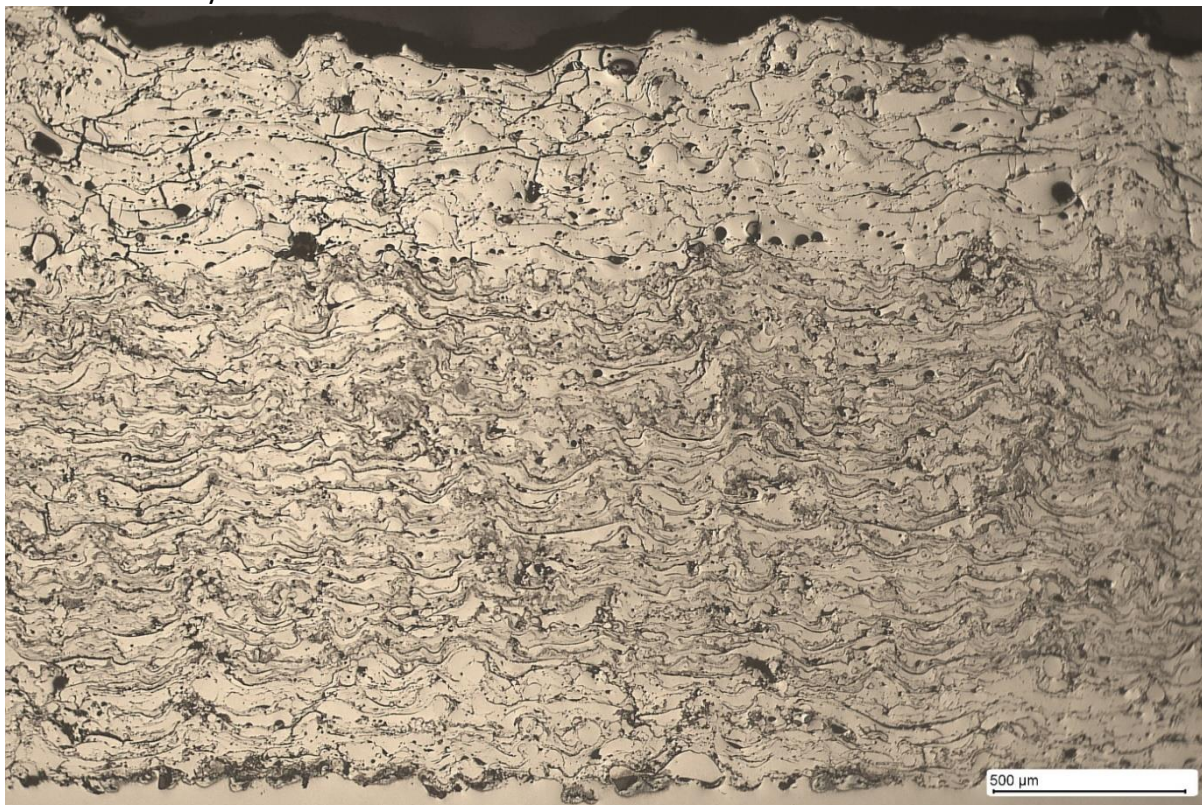
Na některých snímcích jsou také dobře patrné praskliny. Ty vznikly primárně při chladnutí multivrstvy na pokojovou teplotu. Na snímcích jsou zobrazeny černou barvou a jsou jim charakteristické ostré změny směru. Nejlépe viditelné jsou na snímku A (obrázek č. 22) v povrchové vrstvě. Povrchová vrstva je na praskliny nejnáchylnější, a to z důvodu nejvyšší tvrdosti z celé multivrstvy. Trhliny tohoto charakteru by měly ovlivnit pouze mechanické vlastnosti povrchové vrstvy. Korozní vlastnosti povrchu by díky těsnící vrstvě měly zůstat nezměněny.

Ve struktuře je patrná také resolidifikovaná tavenina (viz. obrázek 21, D). Ta vznikla pomalou depozicí části taveniny, při které materiál ztuhl zpět do pevného skupenství.

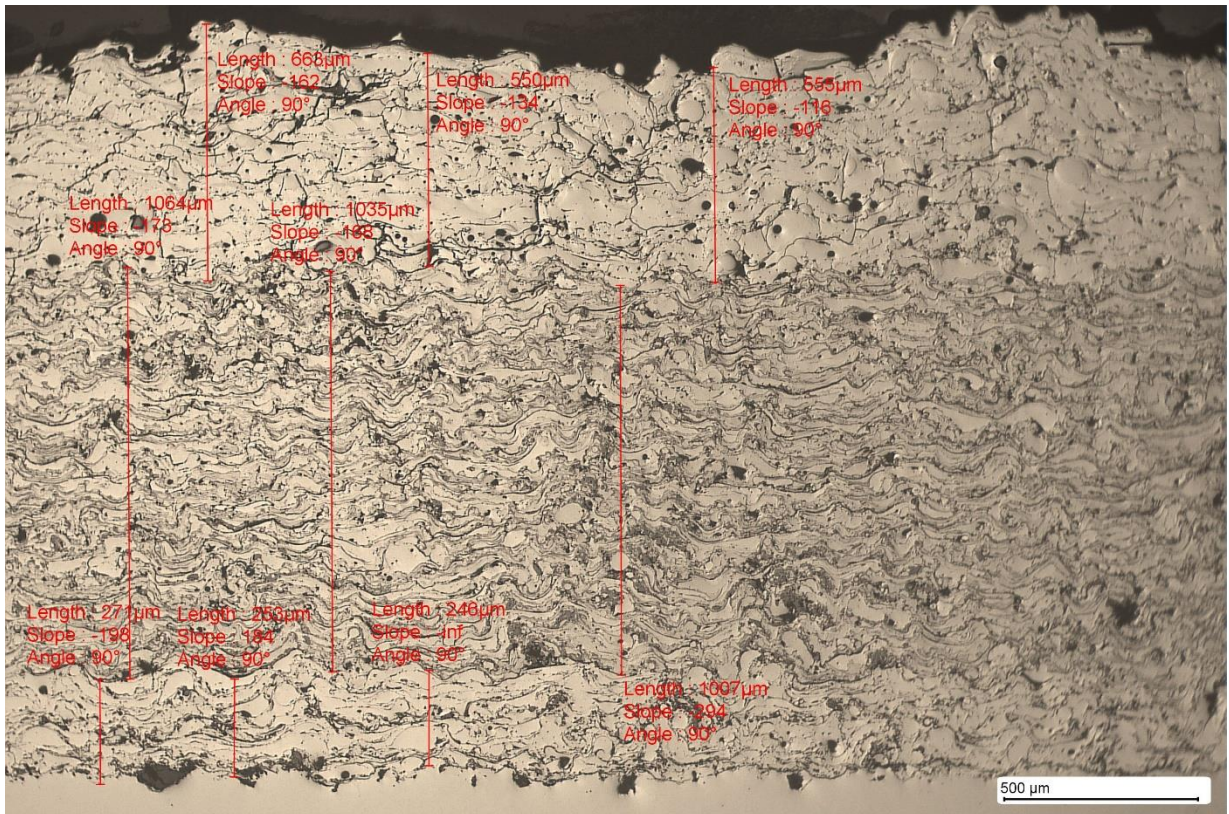
V neposlední řadě je na snímcích patrná také vrstva sealeru. Ten je na snímcích zobrazený černou barvou na rozhraní vrchní vrstvy a světle černě zobrazené metalografické pryskyřice.

Vzorek A

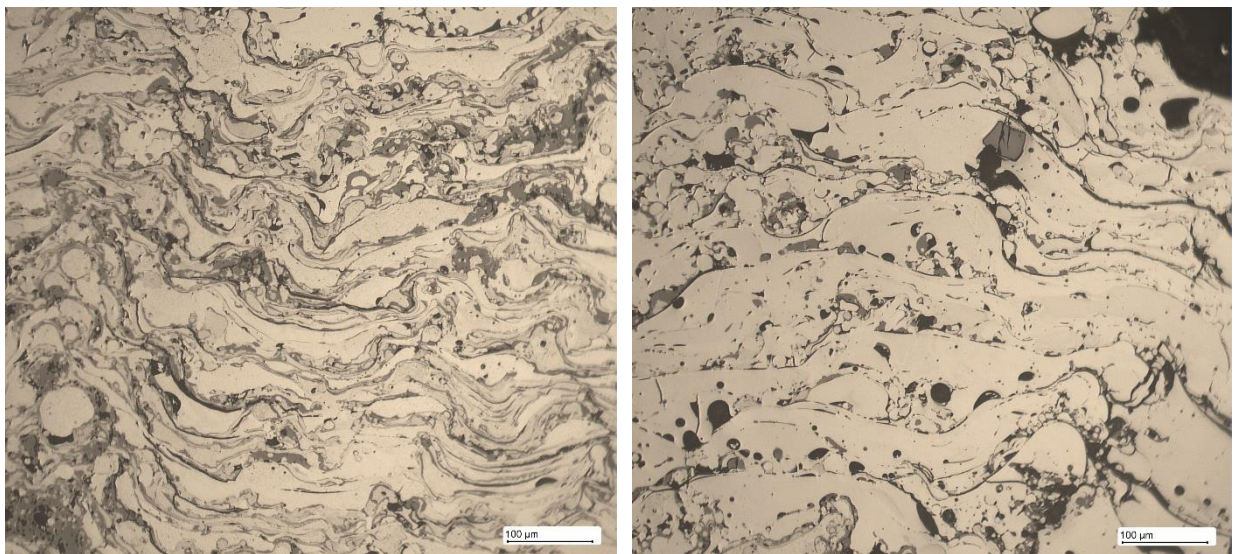
Multivrstva je složena z vrchního povlaku z materiálu BTW 58, mezivrstvy z materiálu 85T a základní vrstvy z materiálu Metco 8450.



Obrázek 25 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku A po metalografickém výbrusu



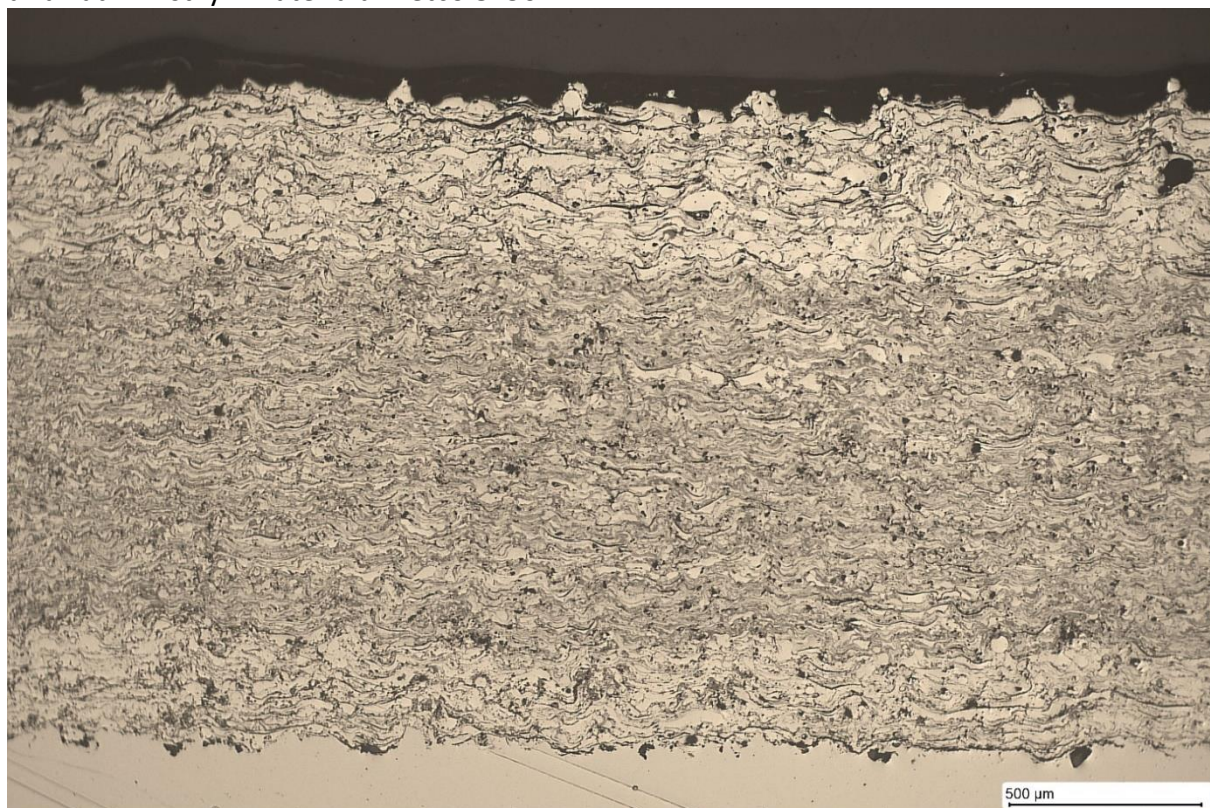
Obrázek 26 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku A po metalografickém výbrusu + kóty tlouštěk



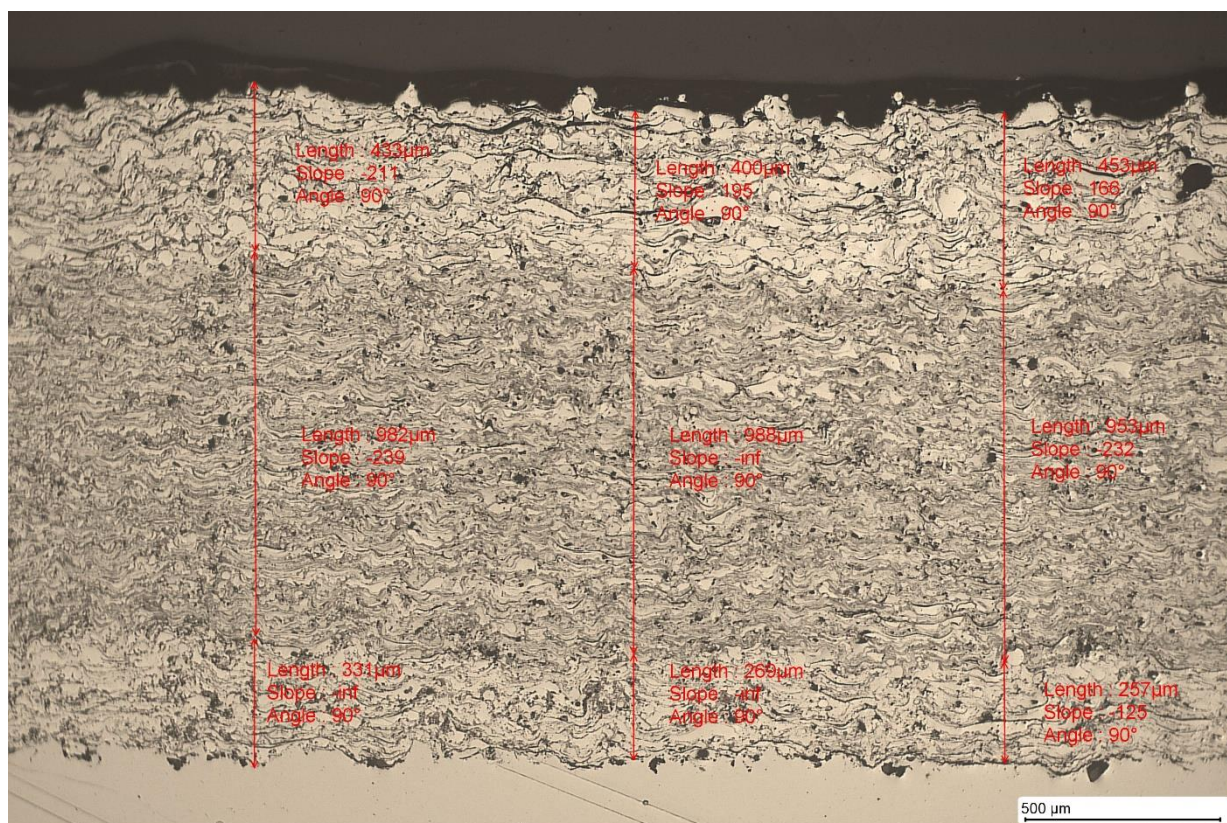
Obrázek 27 - 200x zvětšení mikrostruktury povlaku vzorku A. Vlevo mezivrstva z materiálu 85T, vpravo horní vrstva z materiálu BTW 58.

Vzorek B

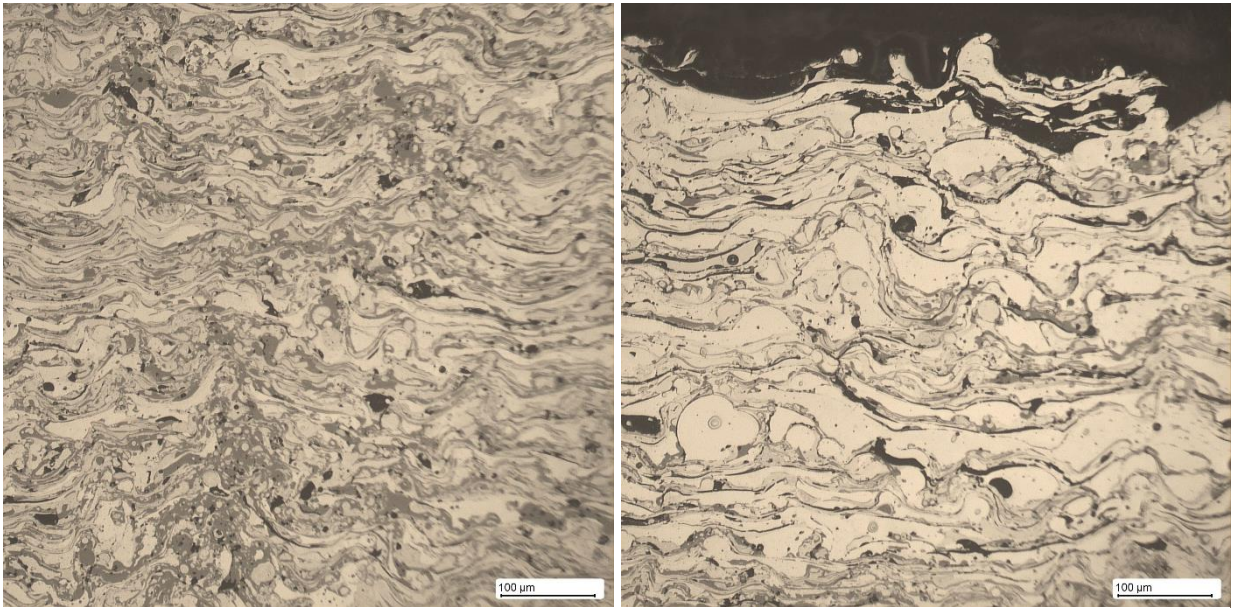
Multivrstvá je složená z vrchného povlaku z materiálu 98 MXC, mezivrstvy z materiálu 85T a základní vrstvy z materiálu Metco 8450.



Obrázek 28 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku B po metalografickém výbrusu



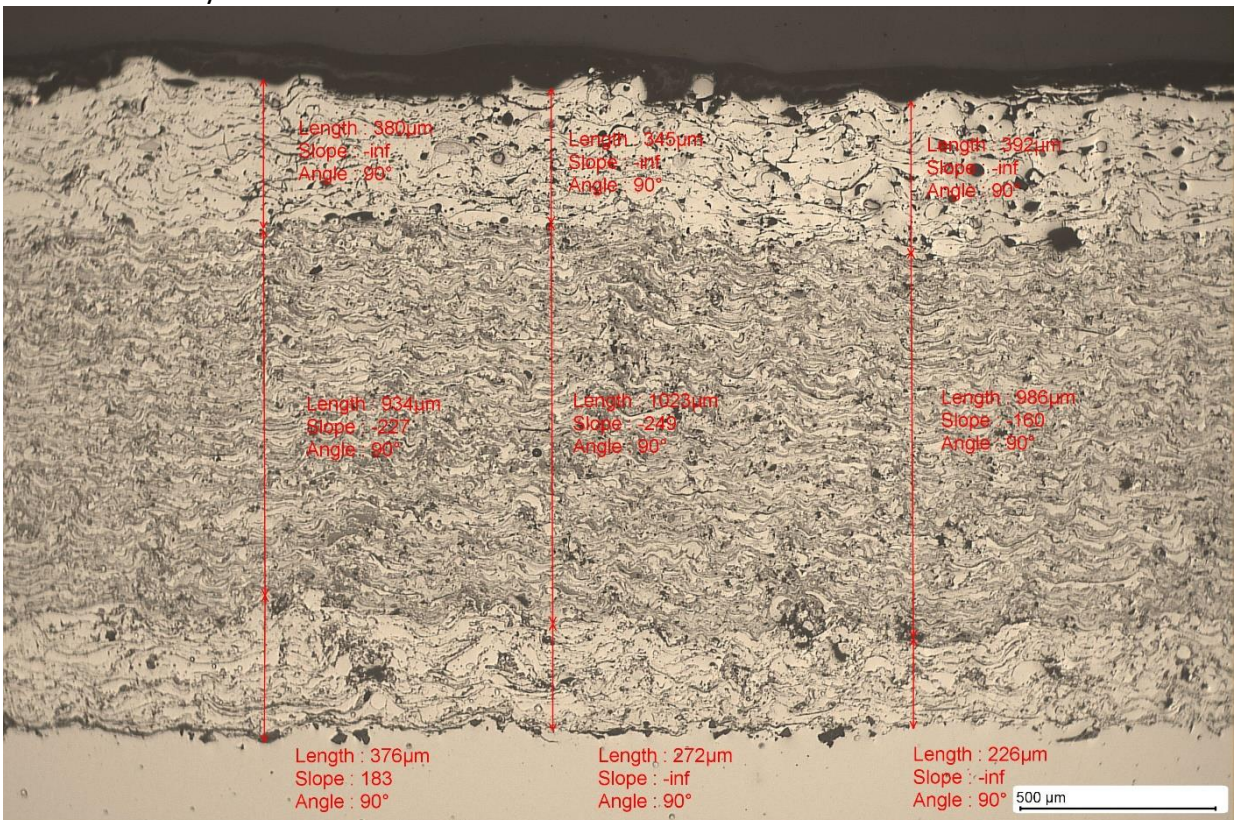
Obrázek 29 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku B po metalografickém výbrusu + kóty tloušťky



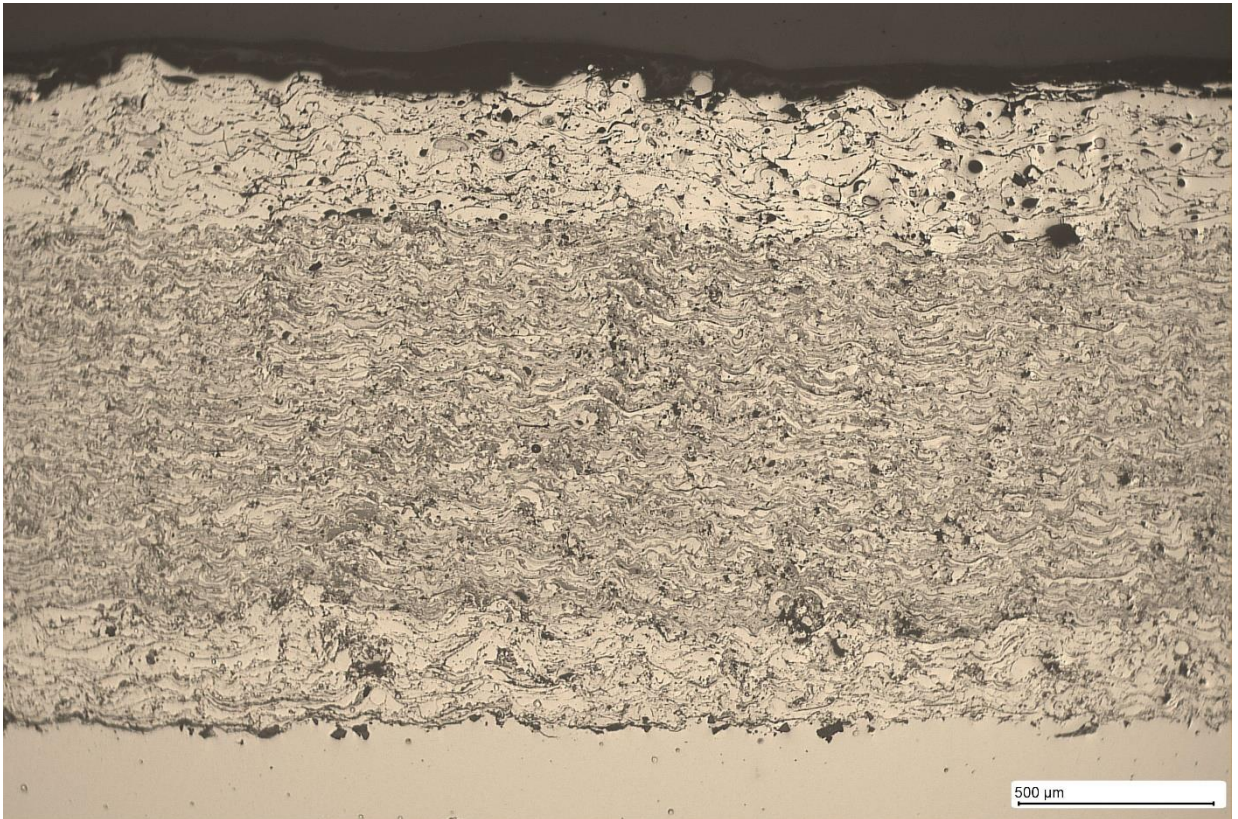
Obrázek 30 - 200x zvětšení mikrostruktury povlaku vzorku B. Vlevo mezivrstva, z materiálu 85T vpravo horní vrstva z materiálu 98 MXC.

Vzorek C

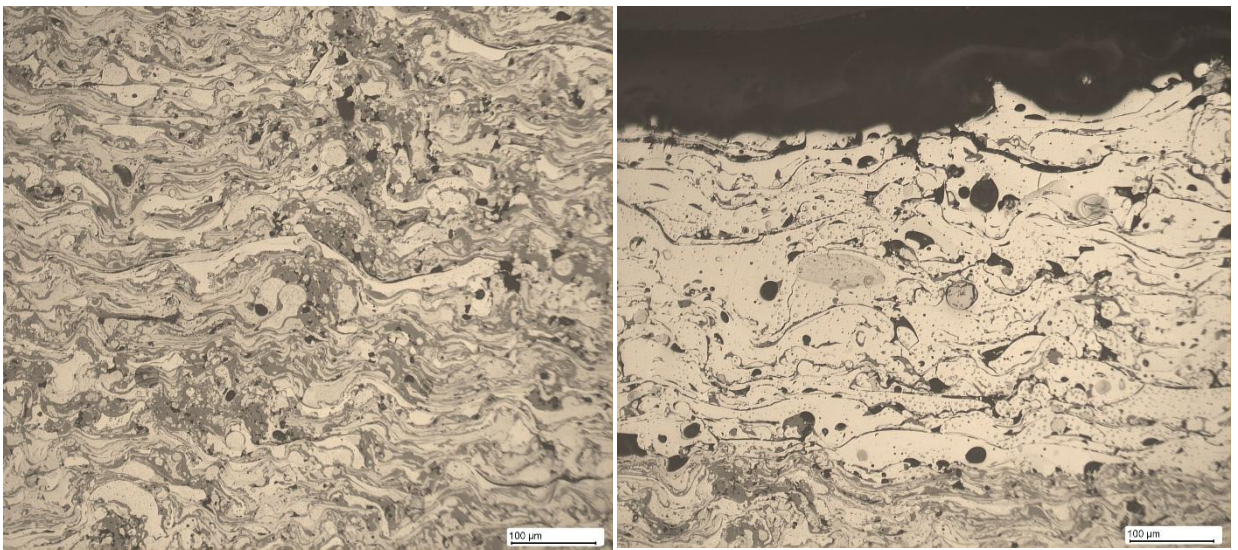
Multivrstva je složena z vrchního povlaku z materiálu 97 MXC, mezivrstvy z materiálu 85T a základní vrstvy z materiálu Metco 8450.



Obrázek 31- 50x zvětšená struktura povlaku vzorku C po metalografickém výbrusu + kóty tloušťek



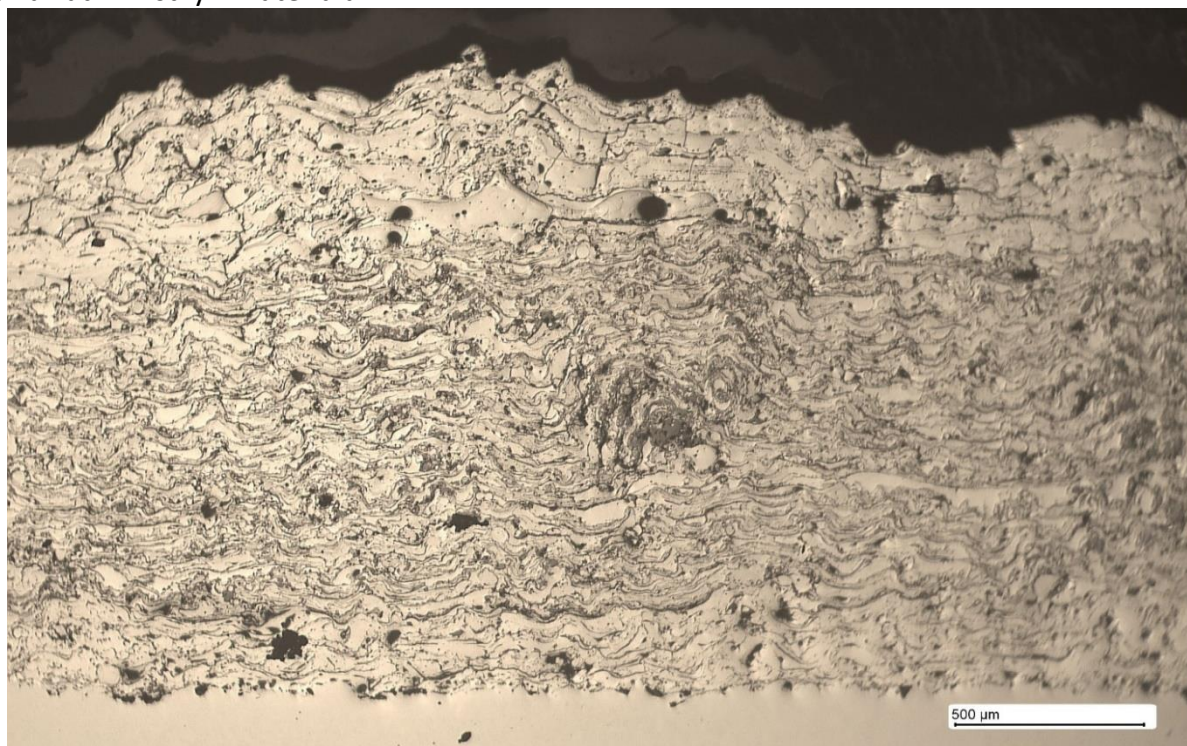
Obrázek 32 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku C po metalografickém výbrusu



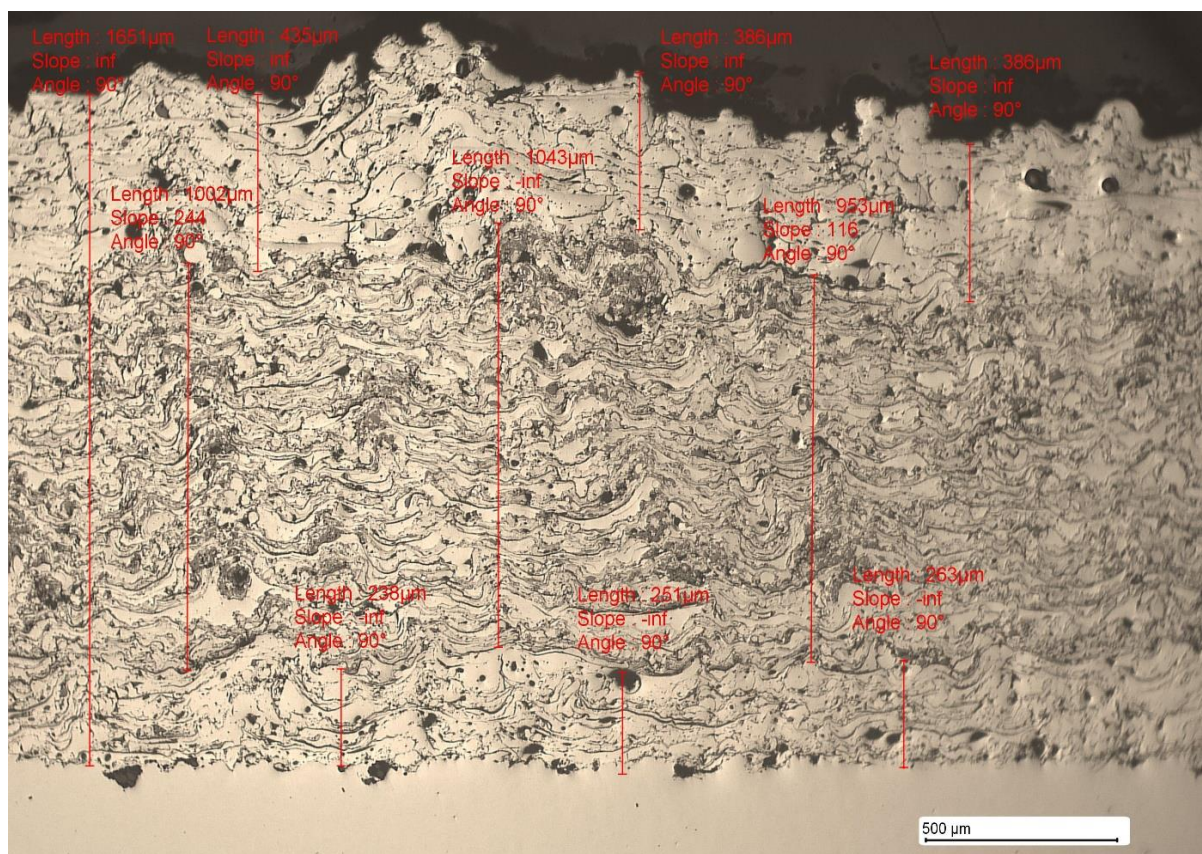
Obrázek 33 - 200x zvětšení mikrostruktury povlaku vzorku C. Vlevo mezivrstva z materiálu 85T, vpravo horní vrstva z materiálu 97 MXC.

Vzorek D

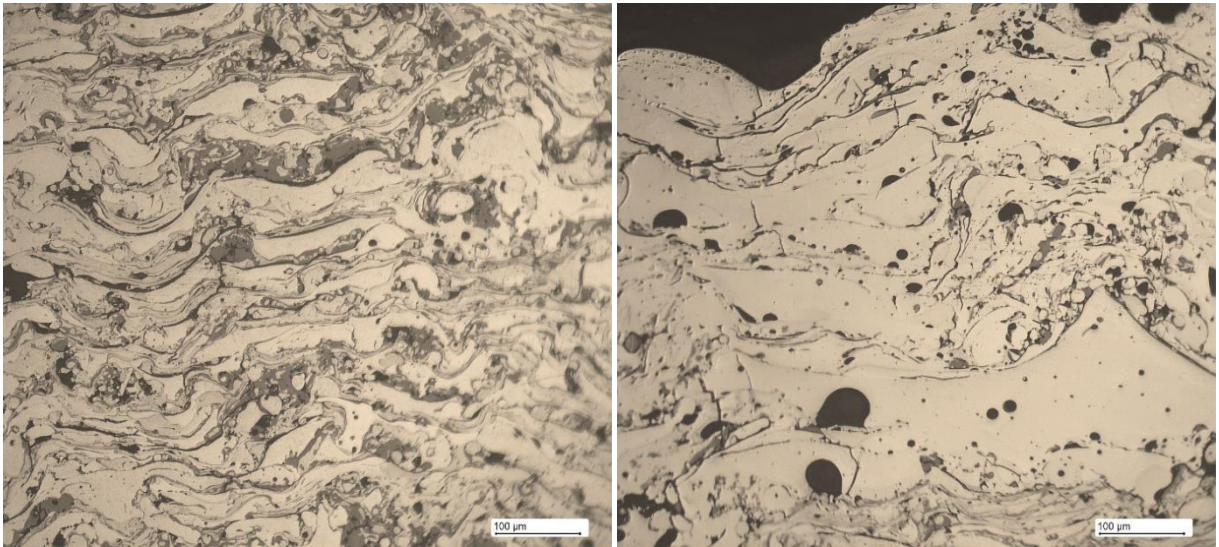
Multivrstvá je složená z vrchného povlaku z materiálu BTW 58, mezivrstvy z materiálu 85T a základní vrstvy z materiálu NiTi.



Obrázek 34 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku D po metalografickém výbrusu



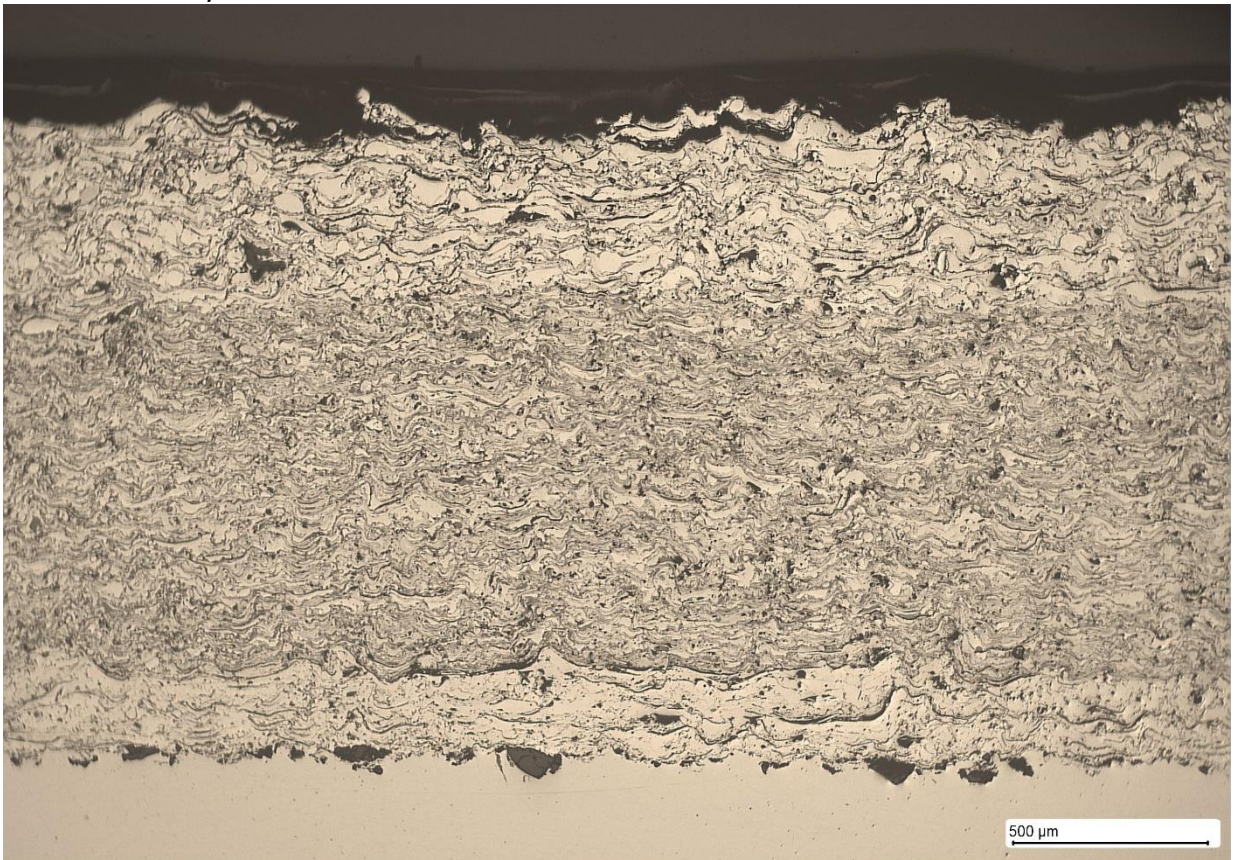
Obrázek 35 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku D po metalografickém výbrusu + kóty tloušťky



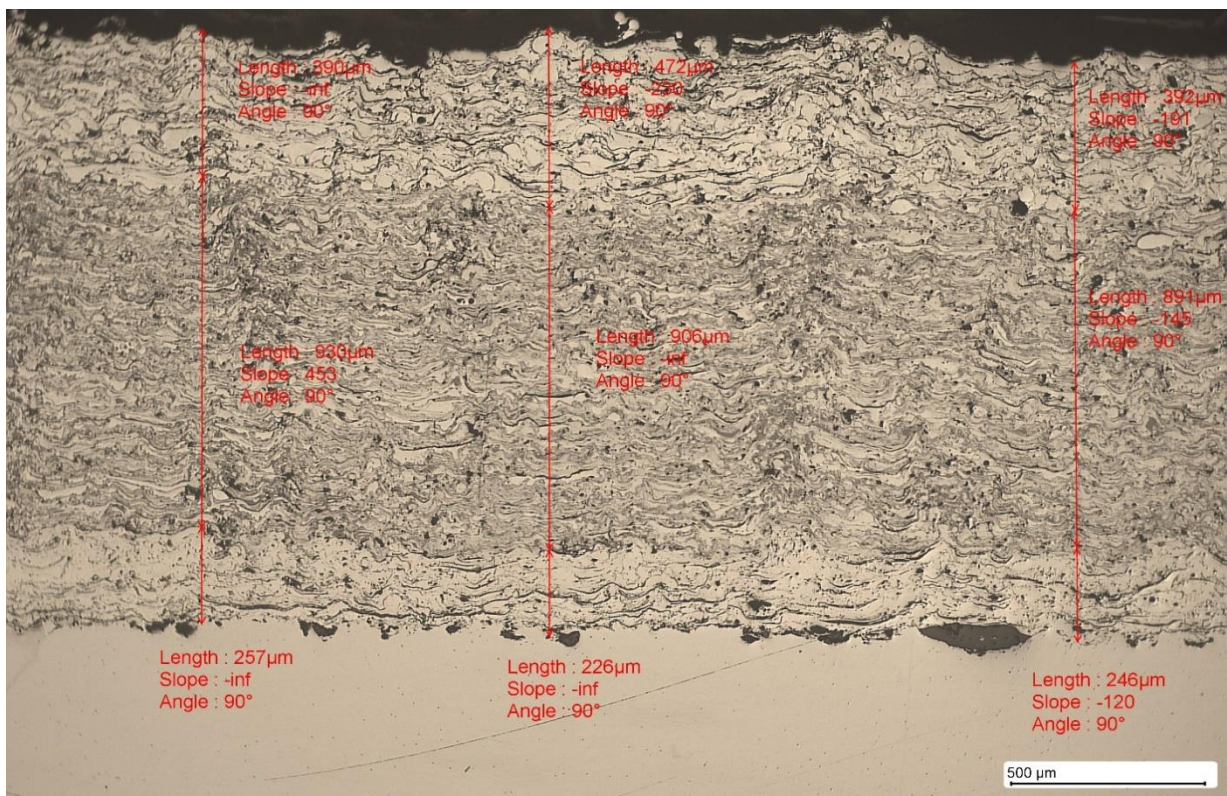
Obrázek 36 - 200x zvětšení mikrostruktury povlaku vzorku D. Vlevo mezivrstva z materiálu 85T, vpravo horní vrstva z materiálu BTW 58.

Vzorek E

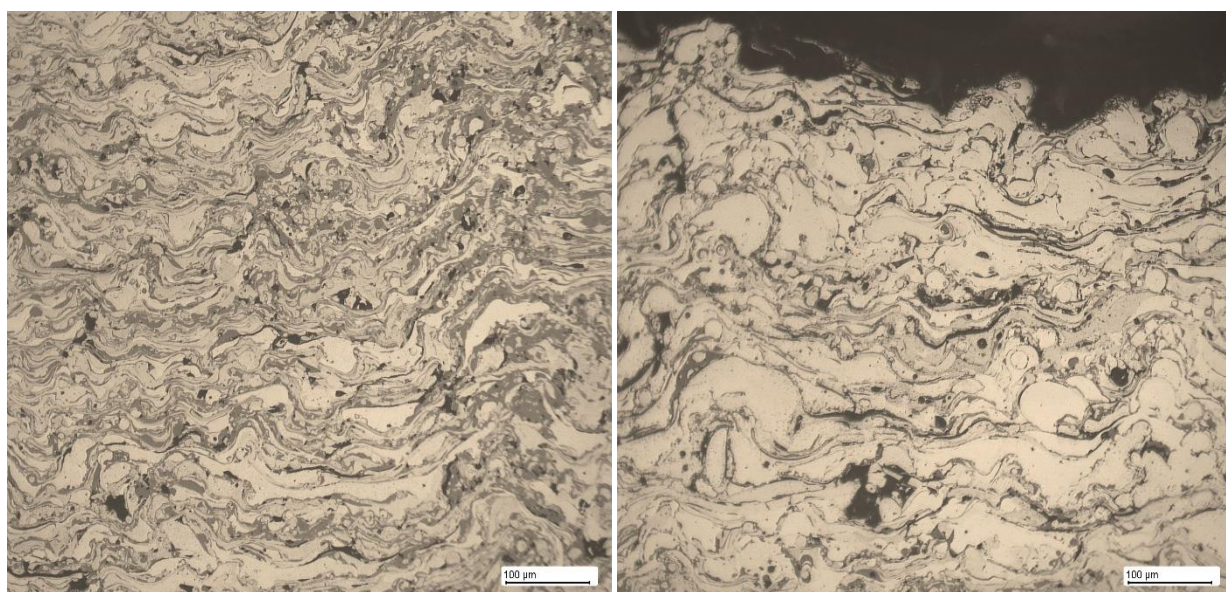
Multivrstva je složena z vrchního povlaku z materiálu 98 MXC, mezivrstvy z materiálu 85T a základní vrstvy z materiálu NiTi



Obrázek 37 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku E po metalografickém výbrusu



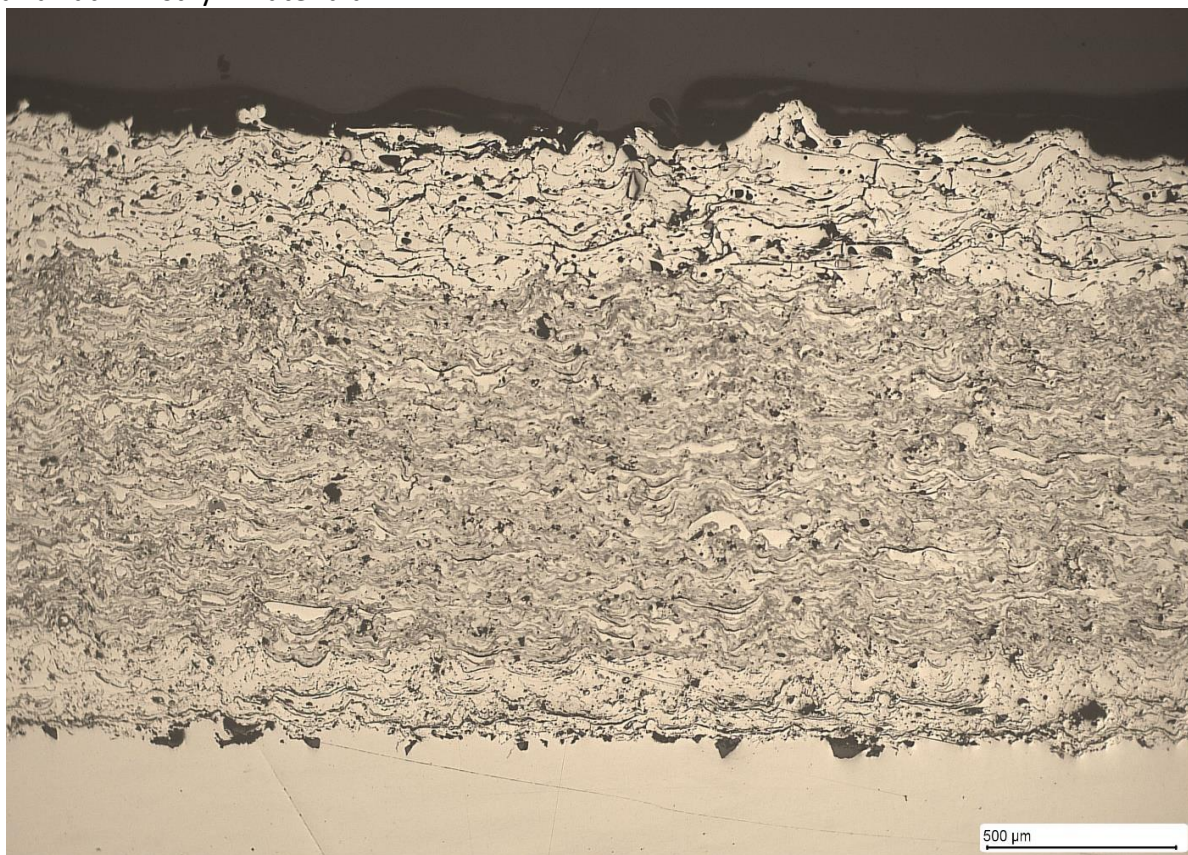
Obrázek 38 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku E po metalografickém výbrusu + kóty tloušťky



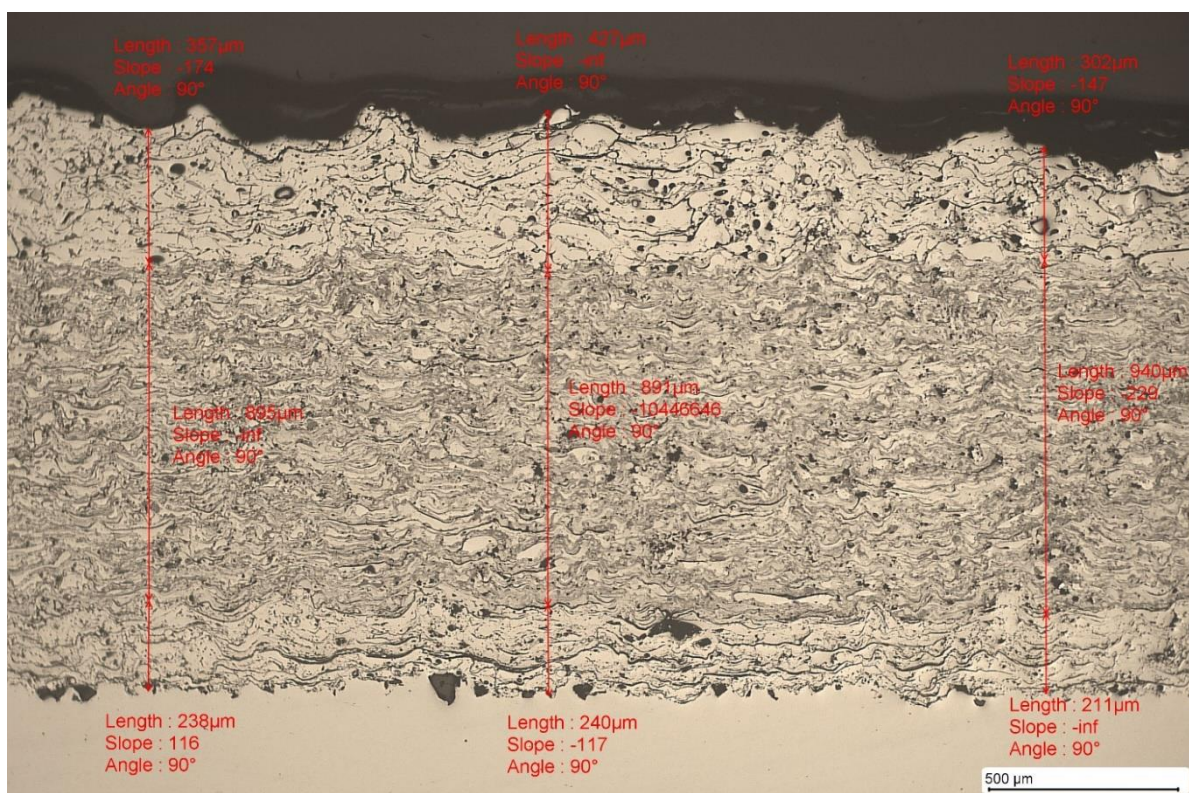
Obrázek 39 - 200x zvětšení mikrostruktury povlaku vzorku E. Vlevo mezivrstva z materiálu 85T, vpravo horní vrstva z materiálu 98 MXC.

Vzorek F

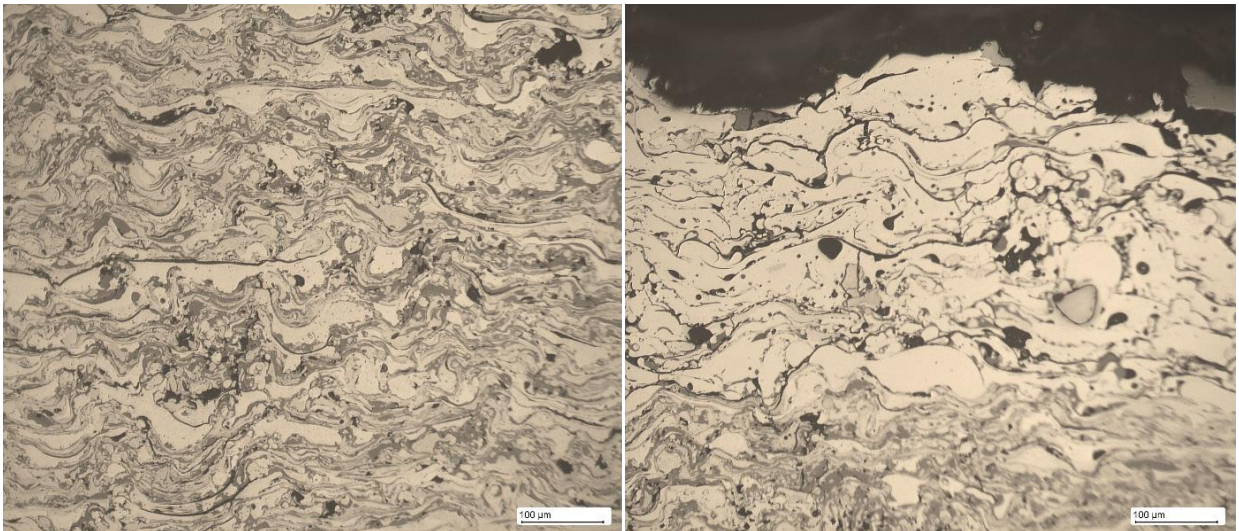
Multivrstvá je složená z vrchného povlaku z materiálu 97 MXC, mezivrstvy z materiálu 85T a základní vrstvy z materiálu NiTi.



Obrázek 40 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku F po metalografickém výbrusu



Obrázek 41 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku F po metalografickém výbrusu + kóty tloušťky



Obrázek 42 - 200x zvětšení mikrostruktury povlaku vzorku F. Vlevo mezivrstva z materiálu 85T, vpravo horní vrstva z materiálu 97 MXC.

4.3.3 Korozní zkouška

Test korozní odolnosti probíhá v solné mlze dle normy ČSN EN ISO 9227. Podstata zkoušky metodou neutrální solné mlhy (NSS), je rovnoměrné rozprašování 5% roztoku chloridu sodného. Rozprašování probíhá ve striktně kontrolovaném prostředí. Vnitřní teplota komory se dle normy musí pohybovat v rozmezí $35\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. Průměrná rychlost shromažďování mlhy z vodorovné sběrné plochy 80 cm^2 musí splňovat hodnotu $1,5\text{ ml/h} \pm 0,5\text{ ml/h}$. Koncentrace roztoku chloridu sodného je konkrétně stanovena na $50\text{ g/l} \pm 5\text{ g/l}$. Na stupnici pH je dle normy nutné roztok držet na hodnotě 6,5 až 7,2. Doba vystavení zkušebních vzorků byla po domluvě stanovena na 360 hod (15 dní). Kontrola stavu vzorků byla stanovena na alespoň jednou za 24 hod.



Obrázek 43 Solná mlha od společnosti Liebisch typ 41016101/

Před vložením vzorků do solné mlhy je nutné je správně připravit. Žárový nástřik je aplikován pouze na jednu stranu vzorku, proto je nutné druhou stranu a hrany zalepit. Pokud by vzorek nebyl řádně zalepen, mohlo by dojít k předčasné korozi na hranách vzorku. Připravené a řádně označené vzorky jsou vidět na obrázku č. 21.



Obrázek 44 - Vzorky připravené k vložení do solné komory

Vzorky byly do komory vkládány párově, kvůli zpřesnění měření. Vzorek B1 byl vložen pouze singulárně. Povlak druhého kusu se krátce po aplikaci začal samovolně odlupovat, nemělo proto smysl ho podrobovat zkoušce.

4.4 Vyhodnocení výsledků

4.4.1 Solná komora

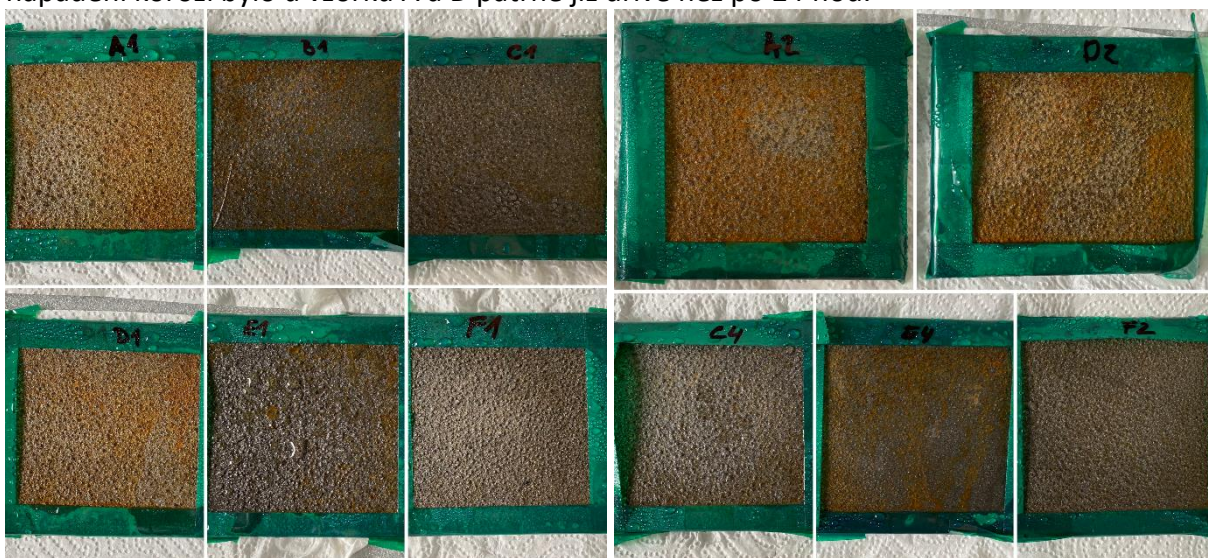
Dle normy ČSN EN ISO 9227 lze k vyhodnocení použít následující kritéria

- a) Vzhled po zkoušce
- b) Vzhled po odstranění korozních zplodin
- c) Počet rozložených korozních defektů (tj. důlků, trhlin, puchýřů, rezavění nebo podkorodování v okolí řezu v případě organických povlaků)
- d) Doba, která uplynula do objevení prvních známek koroze
- e) Změny hmotnosti
- f) Změny zjištěné mikroskopicky
- g) Změna mechanických vlastností

Pro rozsah této práce byly zvoleny kritéria a) – vzhled po zkoušce, d) doba, která uplynula do objevení prvních známek koroze a f) – změny zjištěné mikroskopicky.

4.4.2 Vyhodnocení kritérií

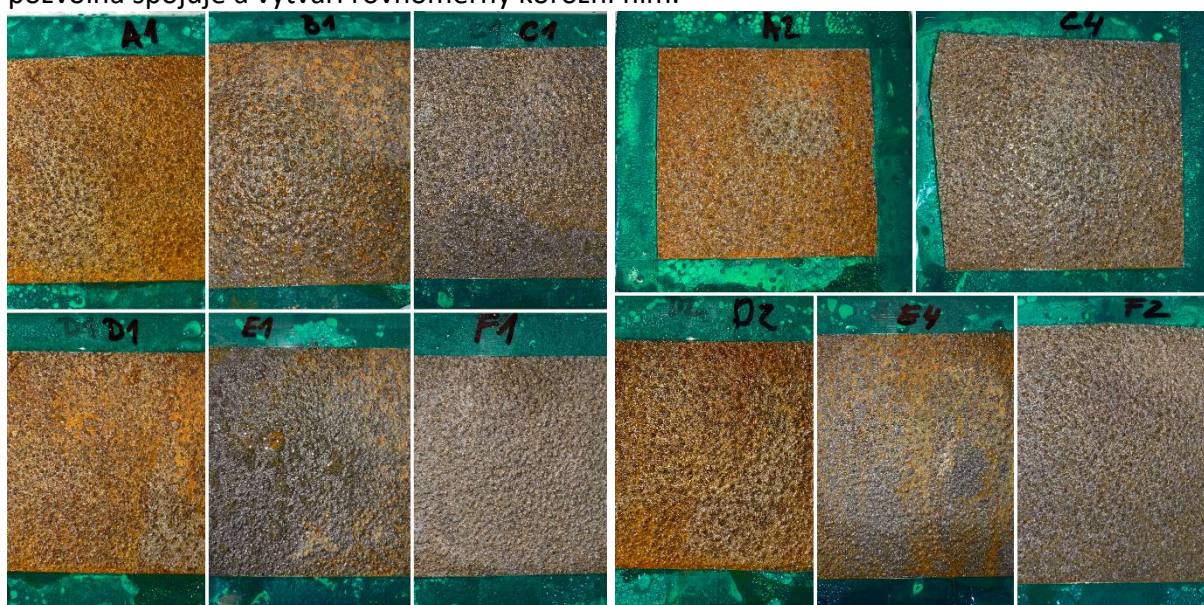
Vzorky byly exponovány v neutrální solné komoře (NSS) po dobu 360 hod. Kontrolní body byly stanoveny po 24 hodinách, tedy 24 hod, 48 hod, 72 hod, ..., 360 hod (viz. příloha č. 10.). Vzorky byly hodnoceny vizuálně po dobu zkoušky i po jejím uplynutí a metalografickými výbrusy po skončení 360 hod. Z mikroskopických výbrusů není patrné hlubší napadení, napadení bylo povrchové. Snímky metalografického výbrusu z mikroskopu po zkoušce v neutrální solné mlze jsou dostupné v příloze č. 11. Dle předpokladů a dle literatury se potvrdila špatná odolnost korozivzdorných ocelí vystavených vlivu chloridů, tzn. že vzorky A a D dopadly z hlediska korozní odolnosti nejhůře (nejvíce zkorodovaly). Výrazné plošné napadení korozí bylo u vzorků A a D patrné již dříve než po 24 hod.



Obrázek 45 Sada vzorků po 24 hod (1 den) v solné mlze.

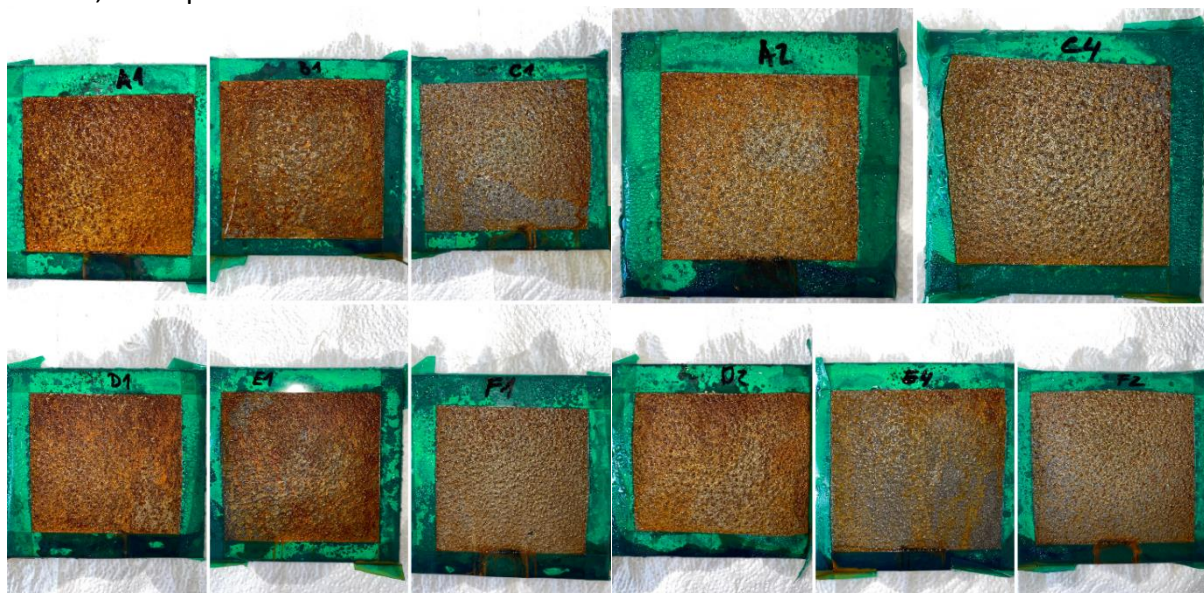
Dále vzorky B a E, které měly také vysoký podíl legujícího prvku chromu, ale navíc niklu, jenž je také odolný vůči korozi, dopadly o něco lépe. Výrazné napadení (hlavně vzorek E4)

nastalo již po 48hod. Charakter napadení je u vzorků B a E je zprvu nerovnoměrný, poté se pozvolna spojuje a vytváří rovnoměrný korozní film.

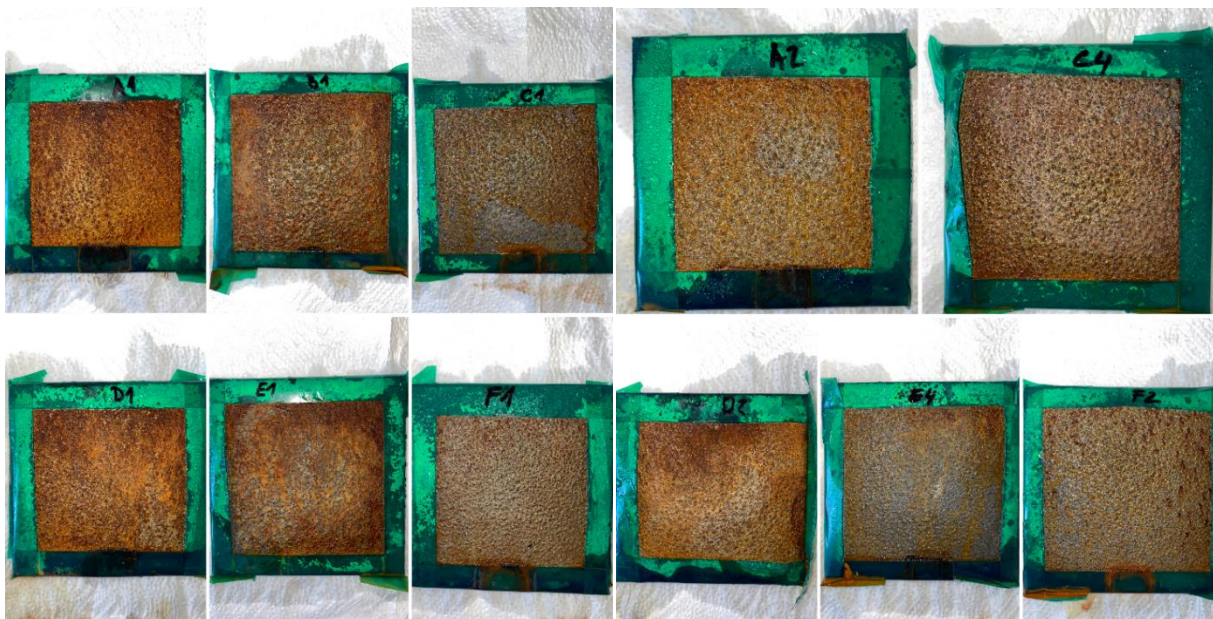


Obrázek 46 Sada vzorků po 48 hod (2 dny) v solné mlze.

Nejlépe dopadly vzorky označené C a F, které mají sice menší procento chromu, ale více legujícího prvku niklu, a navíc tyto vzorky obsahují legury karbidů (wolframu a titanu), které zlepšují vlastnosti opotřebení (lepší odolnost vůči abrazi, erozi, ...), a navíc titan vytváří jako chrom oxid, který má také pasivační schopnosti. Nepatrné známky koroze jsou u vzorků C a F pozorovatelné již po 48 hod, nicméně v porovnání s ostatními vzorky je zanedbatelné. Napadení pozvolna rovnoměrně postupuje a po 240 hod je srovnatelné s napadením vzorků A a D po 24 hod. V tomto bodě rovnoměrná koroze na vzorcích C a F až do konce testu postupovala už jen velice nepatrně. Na vzorku F2 jsou po 288 hod patrné počátky bodové koroze, která patrná na konci testu.

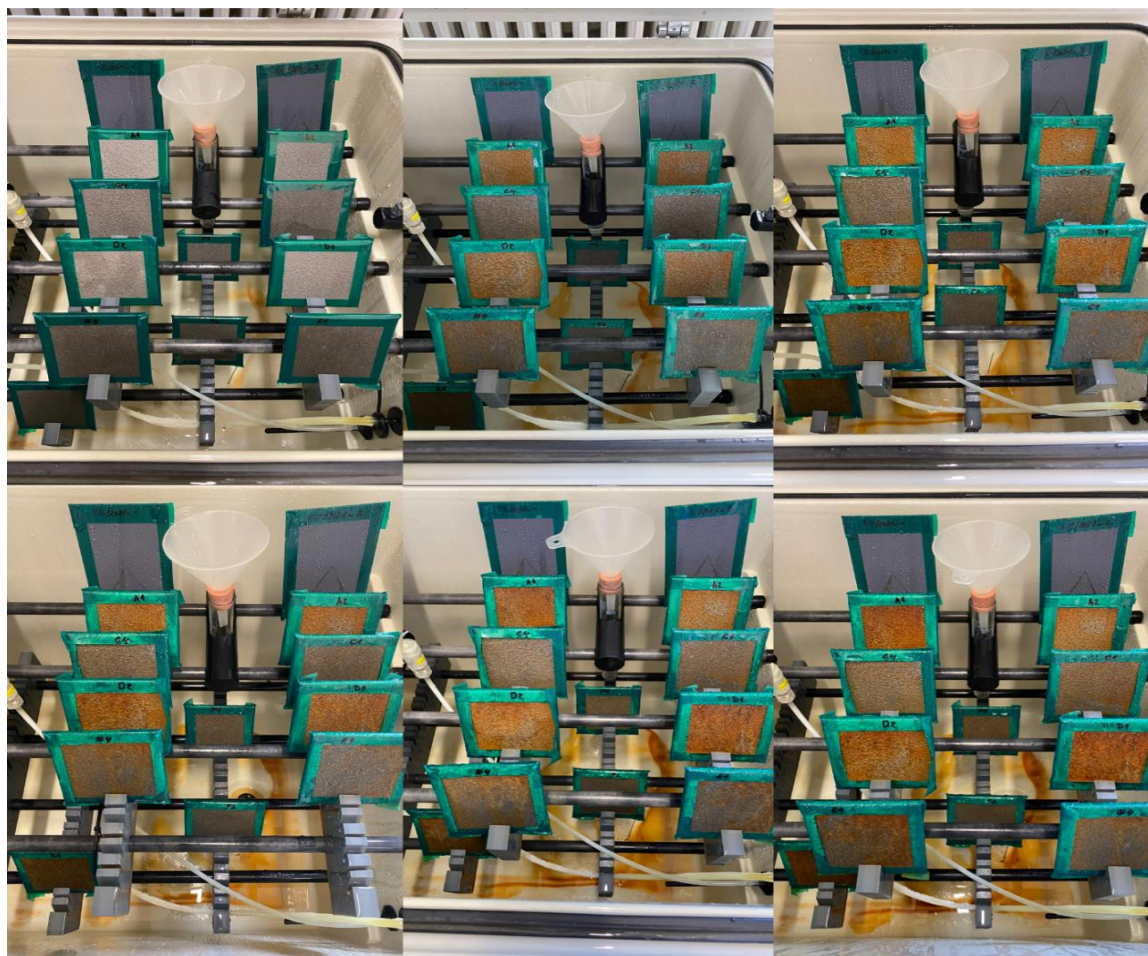


Obrázek 47 Sada vzorků po 240 hod (10 dní) v solné mlze.



Obrázek 48 Sada vzorků po 360 hod (15 dní) v solné mlze.

Na následujících snímcích je zaznamenáno rozložení vzorků v solné komoře a jejich proces degradace v intervalu 24 hod. Z důvodu rozsahu je proces zaznamenán pouze do 144 hod. Celý průběh je k nalezení v příloze č. 12.



Obrázek 49 Expozice vzorků od 24 hod až po 144 hod (zleva doprava)

5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo experimentálně vyhodnotit nejvhodnější kombinaci materiálů, která by spolehlivě odolávala koroznímu napadení říčního toku.

Pro potřeby experimentální části této práce bylo metalizováno 6 různých sad vzorků po čtyřech kusech. Každá sada představovala kombinaci materiálů tvořící unikátní multivrstvu. Vzorky byly nejprve nařezány na kotoučové dělicí pile a následně metalograficky vybroušeny. Vybroušené vzorky byly mikroskopicky zkoumány za účelem ověření kvality struktury naneseného povlaku. Strukturální nedostatky, které by potenciálně mohly vést ke snížené korozivzdornosti byly nalezeny u vzorků s vrchní vrstvou z materiálu 97 MXC, tedy vzorků C a F. Vrchní vrstva vykazovala poměrně velké množství prasklin. Tento závěr byl předpokládatelný, protože se jedná o nejtvrďší materiál (vysoký obsah karbidů wolframu a titanu) z výběru zkoumaných materiálů. Vliv prasklin na korozivzdornost by nicméně měl být negován aplikací sealeru, který do trhlin spolehlivě zatekl.

V dalším kroku byly vzorky podrobeny zkoušce neutrální solnou mlhou. Délka zkoušky byla stanovena na 360 hod. (15 dní) s intervalem kontrol 24 hod.

Jako první se známky koroze objevily na vzorcích s vrchní vrstvou z korozivzdorné oceli BTW 58, tedy na vzorcích A a D. Koroze plošného charakteru se objevila již dříve jak za 24 hod po začátku zkoušky. Tato rychlá reakce, dle předpokladů, potvrdila špatnou odolnost korozivzdorných ocelí v korozním prostředí s obsahem chloridů.

Další v pořadí byly vzorky s povrchovou vrstvou z materiálu 98 MXC, tedy vzorky B a E. Výrazné známky plošné koroze byly patrné již po 48 hod expozice. Reakce podobně rychlá, jako u vzorků A a D, byla opět přisouzena vysokému obsahu legujícího prvku chromu ve struktuře materiálu. Důvodem pomalejší korozní reakce vzorků B a E oproti vzorkům A a D byl obsah legujícího prvku niklu, který je vůči chloridům odolný.

Nejmenší korozní napadení vykazovaly vzorky s vrchní vrstvou z materiálu 97 MXC, tedy vzorky C a F. Výraznější známky plošné koroze byly patrné po 240 hod expozice. Napadení nadále až do konce korozní zkoušky postupovalo velice pomalu s výjimkou vzorku F2, který po 288 hod začal projevovat známky bodové koroze. Podstatně vyšší odolnost, v porovnání s ostatními vzorky, byla přisouzena nižšímu obsahu legujícího prvku chromu ve struktuře a zároveň vysokému obsahu legujícího prvku niklu. Vysoký obsah karbidů ve struktuře je také dobrým předpokladem k odolnosti proti opotřebení erozí působením nečistot přítomných ve vodním proudu. Obsah karbidů titanu mohl také vést ke stabilizaci struktury proti mezikrystalické korozi.

Po vizuální kontrole byly vzorky opět nařezány a podrobeny metalografickému výbrusu. Následně byla pod mikroskopem zkoumána hloubka rozsahu korozního napadení. Kupodivu nebyla u jediného vzorku nalezena jakákoliv forma hlubšího prokorodování. Dokonce ani u vzorku F2, který vykazoval na konci zkoušky výrazné bodové napadení koroze.

Po vizuální stránce vzorek F obstál srovnatelně dobře se vzorkem C, nicméně vzorek F má základní vrstvu tvořenou materiálem NiTi, který by měl odolat korozi podstatně lépe jak materiál Metco 8540, který tvoří základní vrstvu vzorku C. Je tomu tak z důvodu vysokého obsahu legujícího prvku chromu v materiálu Metco 8540, kdy naopak materiál NiTi tvoří z většiny nikl, který je vůči chloridům odolnější. Po zohlednění veškerých aspektů se proto z dlouhodobého hlediska vzorek F jeví jakožto nejlepší možná varianta pro tyto zkoumané aplikace popsané v této bakalářské práci.

Bibliografie

- [1] **BERGER, Lutz-Michael.** Application of hardmetals as thermal spray coatings. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials. 2015, vol. 49, ISSN 0263-4368.
- [2] **AMBROŽ, Oldřich a Jiří KAŠPAR.** Žárové nástřiky a jejich průmyslové využití. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990, 318 s. ISBN 80-03-00347-4.
- [3] **DAVIS, J. R., Gary Davis & Associates** a ASM International. Thermal Spray Society Training Committee. Handbook of thermal spray technology. Materials Park: ASM International, 2004. ISBN 0871707950;9780871707956;.
- [4] **KREIBICH, Viktor** a České vysoké učení technické v Praze. Strojní fakulta. Teorie a technologie povrchových úprav. Dotisk 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 800101472X;9788001014721;.
- [5] **TUCKER, Robert C a J.A. SPRAGUE, SMIDT, F.A., SMIDT a C.M. COTEL,** ed. Thermal Spray Coatings: ASM Handbook, Volume 5: Surface Engineering [PDF]. Volume 5. ASM International, 1994 [cit. 2017-03-26]. ISBN 497-509.
- [6] **ASSADI, H., H. KREYE, F. GÄRTNER a T. KLASSEN.** Acta Materialia: Cold spraying – A materials perspective [online]. 2016, (Volume 116) [cit. 2021-8-6]. ISSN ISSN 1359-6454. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359645416304530>
- [7] **ZIMMERMANN, Stefan.** Cold Gas Spraying : Technology and Materials. [s.l.] : [s.n.], 2007 tisk. 31 s
- [8] **HOUDKOVÁ ŠIMŮNKOVÁ, Šárka, ENŽL, Radek, BLÁHOVÁ, Olga.** Žárové nástřiky: Moderní technologie povrchových úprav [online]. 2003 [citováno dne 2009-04-11] . Dostupné z : .
- [9] Formování splatu PASANDIDEH-FARD, M., et al. Splat shapes in a thermal spray coating process: simulations and experiments. Journal of Thermal Spray Technology, 2002, 11.2: 206-217.
- [10] **SCHWEITZER, Philip A.,** Fundamentals of corrosion: mechanisms, causes, and preventative methods. Boca Raton, FL: CRC Press, c2010. ISBN 1420067702
- [11] **KOCICH J., TULEJA S.,** Korózia a ochrana kovov, 4. doplnené vydanie. Košice: Hutnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach, 1998. 175 s., ISBN 80-7099-393-6
- [12] **ŠULC, R.,** Koroze. [online]. [cit. 2010-4-2]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.fsid.cvut.cz/cz/u218/PEDAGOG/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/CH_predn13-Ko.pdf>.
- [14] **I. KUDLÁČEK:** Degradáční procesy I – znehodnocení korozi. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1994. ISBN 80-01-01098–8
- [15] **S. LASEK:** Základy degradačních procesů, VŠB Ostrava ISBN 978-80-248-3373-6
- [16] **BARTONÍČEK, Robert.** Koroze a protikorozi ochrana kovů. Vyd. 1. Praha: Academia, 1966.
- [17] **POLÁK, Josef a Pavel VELETA.** Rukověť katodické protikorozi ochrany. Praha: Český plynárenský svaz, 2002, 534 s. ISBN 3-527-29586-0.
- [18] **FST.** FST TS-Sealer for Thermal Sprayed Coatings [online]. In: . 2020 [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: <https://mymetco.oerlikon.com/en-us/product/metco8450>
- [19] **Praxair.** Tafa and Praxair thermal spray wires: Wire solution catalog [online]. In: . 2019 [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: <https://www.praxairsurfacetechologies.com/en/materials-and-equipment/materials/wires/metal-wires>
- [20] **NAĐOVÁ, Jana.** Optimalizace nástřikových parametrů materiálu 85T technologií nástřiku TWAS. Plzeň: VZU, Plzeň, 2021.Začátek formuláře

- [21] **Castolin**. BTW 58: Iron based alloy wire designed to combat extreme erosion [online]. In: . 2015 [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: https://www.castolin.com/products-finder?filters=field_product_type,Arc+spray+wires
- [22] **NAĎOVÁ, Jana a Petra ŠULCOVÁ**. Optimalizace nástřikových parametrů materiálu BTW 58 technologií nástřiku TWAS. Plzeň: VZU, Plzeň, 2021.
- [23] **Wisdom**. WISDOM Thermal Spray Consumables: Iron Base Alloy [online]. In: . 2015 [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: <http://www.wisdomsurface.com/lcr-carbide-p-220.html>Začátek formuláře
- [24] **NAĎOVÁ, Jana**. Optimalizace nástřikových parametrů materiálu 98MXC technologií nástřiku TWAS. Plzeň: VZU, Plzeň, 2021.
- [25] **Castolin**. BTW 58: Iron based alloy wire designed to combat extreme erosion [online]. In: . 2015 [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: <http://www.wisdomsurface.com/h-tungsten-carbide-p-218.html>
- [26] **NAĎOVÁ, Jana**. Optimalizace nástřikových parametrů materiálu 97MXC technologií nástřiku TWAS. Plzeň: VZU, Plzeň, 2021.
- [27] **Oerlico**. SmartArc™ Electric Arc Wire: Iron Base Alloy [online]. In: . 2019 [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: <https://www.oerlikon.com/metco/en/products-services/thermal-spray-equipment/system-platforms/electric-arc-wire/smartarc-electric-arc-wire-spray-system/>
- [28] **KATEŘINA, Lencová**. PRACOVNÍ POSTUP: METALOGRAFICKÁ PŘÍPRAVA ŽÁROVĚ STŘÍKANÝCH POVLAKŮ – STŘEDNĚ TVRDÉ POVLAKY. Plzeň: VZU, Plzeň, 2020.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Materiálů a tloušťek jednotlivých vrstev	31
Tabulka 2 Chemické složení drátu BTW 58 a optimalizované parametry nástřiku.....	33
Tabulka 3 Chemické složení dutého drátu 98 MXC a optimalizované parametry nástřiku	33
Tabulka 4 Chemické složení dutého drátu 97 MXC a optimalizované parametry nástřiku	34
Tabulka 5 Specifikace nástřikové soupravy	36
Tabulka 6 Parametry rovinného broušení	38
Tabulka 7 Parametry jemného broušení	39
Tabulka 8: Parametry leštění.....	39
Tabulka 9: Parametry dokončovacího leštění	40

Seznam obrázků

Obrázek 1 Princip tvorby žárového nástřiku [9]	12
Obrázek 2 Proces deformace částice a tvorba splatu [9]	13
Obrázek 3 Struktura povlaku vytvořeného žárovým nástřikem [8]	14
Obrázek 4 Schéma pistole pro nástřik plamenem pomocí tyče/drátu [5]	15
Obrázek 5 Schéma soupravy pro žárové stříkání prášku [3]	16
Obrázek 6 Schéma pistole pro detonační způsob nanášení [3]	17
Obrázek 7 Schéma principu HVOF nástřiku [3]	18
Obrázek 8 Schéma plazmového nanášení povlaku užitím wolframové katody [3]	19
Obrázek 9 Schéma běžné nástřikové pistole pro metodu TWAS [3].....	20
Obrázek 10 (a) Schéma hlavních komponent nástřikové pistole pro metodu Cold Spray, (b) Komerční nástřiková pistol metody Cold Spray [6]	22
Obrázek 11 Stupnice ušlechtilosti inspirovaná Beketovou řadou elektroodových potenciálů [12]	25
Obrázek 12 Znázornění rovnoměrné koroze [13]	26
Obrázek 13 Znázornění skvrnité koroze [13].....	27
Obrázek 14 Znázornění důlkové a bodové koroze (zleva doprava) [13]	27
Obrázek 15 Znázornění mezikrystalové koroze [13]	28
Obrázek 16 Znázornění transkrystalické koroze [13]	28
Obrázek 17 Vzorek zhotoveného žárového nástřiku	30
Obrázek 18 Grafické znázornění vrstev	32
Obrázek 19 Aplikace těsnícího prvku na vytvořený povlak [18]	34
Obrázek 20 Konzole SmartArc PPC se zdrojem 350RU společně s nástřiková pistolí SmartArc PPG [27]	35
Obrázek 21 Zalitý preparovaný materiál [28].....	37
Obrázek 22 Řezačka Leco LSM 250 M2	37
Obrázek 23 Leštící zařízení Saphir 250 A1-ECO	38
Obrázek 24 Názorná ukázka nedokonalostí povlaku. A oxidické vměstky, B pórovitost, C praskliny, D resolidifikovaná tavenina, E vrstva těsnícího prvku	41
Obrázek 25 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku A po metalografickém výbrusu	42
Obrázek 26 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku A po metalografickém výbrusu + kóty tloušťek	43

Obrázek 27 - 200x zvětšení mikrostruktury povlaku vzorku A. Vlevo mezivrstva z materiálu 85T, vpravo horní vrstva z materiálu BTW 58.	43
Obrázek 28 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku B po metalografickém výbrusu	44
Obrázek 29 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku B po metalografickém výbrusu + kóty tloušťky	44
Obrázek 30 - 200x zvětšení mikrostruktury povlaku vzorku B. Vlevo mezivrstva, z materiálu 85T vpravo horní vrstva z materiálu 98 MXC.	45
Obrázek 31- 50x zvětšená struktura povlaku vzorku C po metalografickém výbrusu + kóty tlouštěk.....	45
Obrázek 32 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku C po metalografickém výbrusu	46
Obrázek 33 - 200x zvětšení mikrostruktury povlaku vzorku C. Vlevo mezivrstva z materiálu 85T, vpravo horní vrstva z materiálu 97 MXC.	46
Obrázek 34 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku D po metalografickém výbrusu.....	47
Obrázek 35 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku D po metalografickém výbrusu + kóty tloušťky	47
Obrázek 36 - 200x zvětšení mikrostruktury povlaku vzorku D. Vlevo mezivrstva z materiálu 85T, vpravo horní vrstva z materiálu BTW 58.	48
Obrázek 37 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku E po metalografickém výbrusu	48
Obrázek 38 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku E po metalografickém výbrusu + kóty tloušťky	49
Obrázek 39 - 200x zvětšení mikrostruktury povlaku vzorku E. Vlevo mezivrstva z materiálu 85T, vpravo horní vrstva z materiálu 98 MXC.	49
Obrázek 40 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku F po metalografickém výbrusu	50
Obrázek 41 - 50x zvětšená struktura povlaku vzorku F po metalografickém výbrusu + kóty tloušťky	50
Obrázek 42 - 200x zvětšení mikrostruktury povlaku vzorku F. Vlevo mezivrstva z materiálu 85T, vpravo horní vrstva z materiálu 97 MXC.	51
Obrázek 43 Solná mlha od společnosti Liebisch typ 41016101/	51
Obrázek 44 - Vzorky připravené k vložení do solné komory	52
Obrázek 45 Sada vzorků po 24 hod (1 den) v solné mlze.....	53
Obrázek 46 Sada vzorků po 48 hod (2 dny) v solné mlze.	54
Obrázek 47 Sada vzorků po 240 hod (10 dní) v solné mlze.....	54

Obrázek 48 Sada vzorků po 360 hod (15 dní) v solné mlze.....	55
Obrázek 49 Expozice vzorků od 24 hod až po 144 hod (zleva doprava)	55

Seznam příloh:

Příloha 1 – ČSN 41 2050 (C45).....	64
Příloha 2 Metco 8450.....	66
Příloha 3 NiTi.....	70
Příloha 4 85 T.....	71
Příloha 5 TS Sealer P.....	75
Příloha 6 BTW 58.....	78
Příloha 7 98 MXC.....	80
Příloha 8 97 MXC.....	82
Příloha 9 Snímky metalografického výbrusu základní vrstvy.....	83
Příloha 10 Snímky postupu koroze.....	86
Příloha 11 Snímky metalografického výbrusu horní vrstvy po zkoušce korozní odolnosti ..	91
Příloha 12 Rozložení vzorků v solné komoře a proces korozní degradace vzorků v intervalu 24 hod.....	94

Příloha 1 – ČSN 41 2050 (C45)

ČSN 41 2050		Uhlíková ocel k zušlechťování				OCEL				
STN 41 2050		a povrchovému kalení				12 050				
Chemické složení [hm. %]										
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S			
0,42–0,50	0,50–0,80	0,17–0,37	max 0,25	max 0,30	max 0,30	max 0,040	max 0,040			
Polotovary										
[1] předvalky	[2] tyče válcované za tepla	[3] tenké plechy válcované za tepla	[4] tlusté plechy válcované za tepla	[5] výkovky	[6] bezešvé trubky tvářené za tepla	[7] přesné bezešvé trubky tvářené za studena	[8] tyče tažené za studena	[9] tyče tepelně zpracované po tažení za studena		
Mechanické vlastnosti										
Polotovary	[2]				[3]					
Rozměr t, d [mm]	14–40	40–100	>14	≤40	0,8–2,8					
Stav	.1		.3	.6	.1	.3				
Mez kluzu R_b [MPa] min	325	305	–	390	335	–				
Mez pevnosti R_m [MPa]	min 540	min 530	–	640–780	540–690	460–610				
Tažnost A_5, A_{10} [%] min	$A_5 = 17$	$A_5 = 16$	–	$A_5 = 20$	$A_{10} = 18$					
Kontrakce Z [%] min	–			50	–					
Vrubová houževnatost KCU 2 [J.cm ⁻²] min	–			49	–					
Tvrdość HB	max 225	max 225	max 188	max 253	–					
Modul pružnosti E [GPa]	221									
Modul pružnosti ve smyku G [GPa]	79									
Polotovary	[4]				[5]			[5]		
Rozměr t, d [mm]	3–60	60–80	60–80	80–100	≤40	40–100	100–300	≤40	40–100	100–300
Stav	.1	.3	.5		.1 nebo .5			.6		
Mez kluzu R_b [MPa] min	355	–	335	325	315	295	285	440	375	330
Mez pevnosti R_m [MPa] min	600	–	570		600	590	590	690–830	640–780	590–740
Tažnost A_5 [%] min	15	–	13		16	15	14	–	16	–
Kontrakce Z [%] min	–	–	–		40	35	–	40	40	35
Vrubová houževnatost KCU 2 [J.cm ⁻²] min	–	–	–		–			49	49	29
Tvrdość HB max	–	207	–		225			253	239	208
Mez kluzu $R_p 0,2$ [MPa] za zvýšených teplot	20 °C	100 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C			
	470	440	395	360	325	275	235			
	390	365	325	300	270	230	195			

Fyzikální vlastnosti									
Hustota	Měrná tepelná kapacita	Teplotní součinitel roztažnosti	Tepelná vodivost		Rezistivita				
ρ [kg . m ⁻³]	c_p [J . kg ⁻¹ .K ⁻¹]	α [K ⁻¹]	λ_t [W . m ⁻¹ . K ⁻¹]		ρ [Ω . m]				
7 870	–	11,6.10 ⁻⁶	49		120.10 ⁻⁹				
Odolnost proti degračním procesům									
ODOLNOST PROTI ÚNAVĚ									
Mez únavy σ_c [MPa] při napětí:									
R_m [MPa]	střídavém			míjivém			v ohybu za rotace (zkuš. tyč)		
	v ohybu	tah–tlak	v krutu	v ohybu	v tahu	v krutu	hladká	vруб 2 mm	vrtání 2 mm
740	345	270	200	520	450	290	350	180	210
640	305	240	170	460	390	240	315	150	170
Technologické údaje									
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ									
normalizační žhání	840–870 °C	ochlazovat na vzduchu							
žhání na měkko	680–720 °C	ochlazovat v peci							
kalení	830–860 °C	ochlazovat v oleji							
	800–830 °C	ochlazovat ve vodě							
popouštění	530–670 °C	ochlazovat na vzduchu							
teploty přeměn	$A_{c1} \sim 725$ °C	$A_{c3} \sim 785$ °C	$M_s \sim 310$ °C						
povrchová tvrdost po povrchovém kalení	$\varnothing \leq 40$ mm		58 ± 3 HRC						
	$\varnothing 41–100$ mm		55 ± 3 HRC						
optimální průměr pro zušlechťení	21 mm (voda) 10 mm (olej)								
Nejnižší doporučená teplota použití ($R_m = 830$ MPa) při namáhání:									
statickém	– 50 °C								
dynamickém	– 30 °C (pro KCU 2 min = 39 J.cm ⁻²)								
TVAŘITELNOST									
třída tvařitelnosti za tepla 1	teploty tváření 1 150–800 °C								
OBROBITELNOST soustružení, frézování, vrtání									
stav .1	HB ~ 197	13b							
stav .6	HB ≤ 214	13b							
stav .7	HB ≤ 239	12b							
stav .8	HB ≤ 269	11b							
TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY									
zkouška lámavosti podle ČSN 42 0401									
polotovary [3]	stav .1	úhel ohybu $\alpha = 180^\circ$	průměr trnu D = 3a						
	stav .3	$\alpha = 180^\circ$	D = 2a						
Použití									
Vhodná na hřídele těžních strojů, turbokompresorů, karuselů apod., na větší ozubená kola, šneky, ozubené věnce, rotory šroubových kompresorů, ojnice, pístnice, vřetena, plunžry, písty kompresorů, čepy, šrouby, dopravní válečky, lamely spojek, kladičky, lůžka, páky, zarážky, kolíky, spojovací součásti, posouvací vidlice, držáky, unašeče satelitů, vahadla, západky, kované svorníky tlakových nádob, vrtací tyče, frézovací trny.									



Material Product Data Sheet

Nickel Chromium Thermal Spray Wires

Thermal Spray Wire Products:

Solid Wires (alloyed): Metco™ 470 AW, Metco 8276, Metco 8450, Metco 8500, Metco 8622, Metco 8625, Metco 8718, Metcoloy™ 33

Cored Wires (powder-filled): Metco 8443, Metco 8452

1 Introduction

Oerlikon Metco's portfolio of nickel chromium pre-alloyed and powder-filled (cored) wires consists of products that are appropriate for general use coatings and additional products for very specific coating applications.

The nickel alloy coatings produced have a high degree of structural integrity, are dense and can tolerate elevated temperatures and oxidizing atmospheres. The addition of chromium, in some cases substantial amounts, enhances their high-temperature corrosion resistance.

In most cases, material selection is dependent on the specific coating environment; however, all of these materials can be used as bond coatings and for machine element restoration.

1.1 Typical Uses and Applications

- Bond Coatings under ceramic top coatings
- Salvage and build-up of machinable carbon steel and corrosion-resistant steels
- Particle erosion resistance at high temperatures
- Select compositions such as Metco 470AW, Metco 8276, Metco 8443, Metco 8718 and Metco 8625 are appropriate for oxidation and hot gas corrosion at elevated temperatures
- Metco 8276, Metco 8625 and Metco 8718 are superalloy compositions that can be used as salvage and restoration materials for nickel-based superalloy components
- Metco 8500 is appropriate for highly oxidation-resistant coatings for boiler applications
- Metco 8622 and Metco 8452 are appropriate for corrosion resistance in oxidizing and reducing environments, such as for use in boilers
- Metco 8622 is recommended for use on digesters

Quick Facts	
Classification	Wire, Ni-based alloy or composite
Chemical formula	NiCr (various)
Manufacture	Drawn or powder-filled wire
Purpose	Bond coat, machine element restoration, oxidation-resistance
Process	Electric Arc Wire Spray or Combustion Wire Thermospray™



2 Material Information

2.1 Chemical Composition

Product	Nominal Composition	Weight Percent (typical)											
		Ni	Al	Cr	Fe	Mn	Mo	Nb+Ta	Si	Ti	W	C	Other (max)
Metoo 470 AW	Ni 25Fe 15Cr	Bal.	---	15	25	---	---	---	---	---	---	---	NR
Metoo 8276	Ni 15Cr 16Mo 6Fe 4W 0.5Mn	Bal.	---	15	6	0.5	16	---	---	---	4	---	0.2
Metoo 8450	Ni 20Cr	Bal.	---	20	---	---	---	---	---	---	---	---	NR
Metoo 8500	Ni 43Cr 0.6Ti	Bal.	---	43	---	---	---	---	---	0.6	---	---	NR
Metoo 8622	Ni 21Cr 14Mo 3W 2.5Fe	Bal.	---	21	2.5	---	14	---	---	---	3	---	0.1
Metoo 8625	Ni 21Cr 9Mo 4(Nb+Ta)	Bal.	---	21	---	---	9	4	---	---	---	---	NR
Metoo 8718	Ni 20Fe 19Cr 3Mo 5(Nb+Ta) 1Ti	52	0.5 ^a	19	Bal	0.35 ^a	3	5	0.35 ^a	1	---	0.08 ^a	1.5
Metooloy 33	Ni 22Fe 16Cr	Bal.	---	16	22	---	---	---	1.0	---	---	---	1.0
Metoo 8443	Ni 18Cr 6Al 2Mn	Bal.	6	18	---	2.0	---	---	---	---	---	---	NR
Metoo 8452	Ni 50Cr	Bal.	---	50	---	---	---	---	---	---	---	---	NR

^a maximum value

2.2 Morphology and Available Wire Sizes

Product	Morphology	Similar To	Recommended Spray Process	Available Wire Diameters	
				1.6 mm (14 ga / 0.063 in)	3.2 mm (1/8 in)
Metoo 470 AW	●	---	⚡	✓	
Metoo 8276	●	Hastelloy C-276	⚡	✓	
Metoo 8450	●	---	⚡	✓	
Metoo 8500	●	---	⚡	✓	
Metoo 8622	●	Inconel 622	⚡	✓	
Metoo 8625	●	Inconel 625	⚡	✓	
Metoo 8718	●	Inconel 718	⚡	✓	
Metooloy 33	●	---	⚡		✓
Metoo 8443	○	---	⚡	✓	
Metoo 8452	○	---	⚡	✓	

● Solid wire ○ Cored wire ⚡ Electric Arc Wire Spray

2.3 Key Selection Criteria

- Choose the wire product that meets customer specifications, when required.
- Metco 470 AW is used as a bond coat or dimensional restoration coating on hardened steels, aluminum alloys, cast iron, nickel alloys, titanium alloys and alloys containing columbium or tantalum.
- Metco 8276, which is similar in composition to Hastelloy C-276, is very resistant to strong chemical oxidizers such as ferric and cupric chlorides, chlorine, formic acid and acetic acids. It has excellent resistance to chloride-ion attack, can be used in saline environments and is resistant to erosion at high temperatures.
- Metco 8450 is a good candidate for bond coats under ceramic coatings in high temperature or chemically aggressive environments.
- Metco 8452 is recommended for waterwalls and superheaters in boilers. It can also be used as a bond coat in alkaline conditions.
- Metco 8443 provides high temperature oxidation and hot gas corrosion resistance at temperatures up to 980 °C (1800 °F).
- Metco 8622, similar to Inconel 622, is recommended for corrosion resistance in low oxygen or high sulfur environments.
- Metco 8625 is similar in composition to Inconel 625 and can be used for dimensional restoration of Inconel 625 or other similar nickel-based superalloys. Coatings of Metco 8625 exhibit high bond strength and provide very good

erosion, oxidation and corrosion resistance at temperatures up to 870 °C (1600 °F).

- Metco 8718 is similar to and can be used for dimensional restoration of Inconel 718. It resists oxidation and corrosive attack at temperatures up to 704 °C (1300 °F).
- Metco 8500 is an excellent material to protect substrates from high-temperature corrosive and sulfidation attack up to 950 °C (1740 °F). It is recommended for boiler and chemical process applications.

2.4 Related Products

- Metco 443NS and Amdry 960 are powder materials for atmospheric plasma spray or combustion powder spray chemically similar to Metco 8443.
- Metco 4548 and Metco 43 C-NS are powder products suitable for high temperature corrosion protection.
- Metco 461NS and Metco 442 provide self bonding type coatings with good oxidation and corrosion resistance.
- Metco 8622 is also offered as a welding wire suitable for TIG or MIG processing. Please see datasheet DSMW-0016.
- Amdry 1718, Amdry 718, Amdry 718 CL.B and Diamalloy 1006 are powder materials for atmospheric plasma spray or HVOF spray that are chemically similar to Metco 8718.
- Oerlikon Metco offers super alloy composition powder products for application using atmospheric plasma spray or HVOF spray technique. Examples of these products include Amdry 713C, Amdry 718, Amdry 1718, Diamalloy 1006 and Diamalloy 4004.

2.5 Customer Specifications

Product	Customer Specification	Certification When Origin Is:	
		U.S.A.	Germany
Metco 8443	Chromalloy BZ-003 Type 31	●	
	GE B50TF119	●	●
	GE Standard Practice Task 70-49-39-340-038 C07-043	●	●
	GKN Aerospace PM 819-71	●	●
	MTU MTS 1578	●	●
	Pratt & Whitney PWA 38947		●
	Rolls Royce OMAT 3/271A		

3 Coating Information

3.1 Key Thermal Spray Coating Information

- Coating properties can vary significantly as they are dependant on the chosen equipment, gun hardware, coating parameters and coating thickness.
- Coatings have good bond strength, generally appropriate in bond coat applications.
- When particle erosion at high temperatures is required, please see Section 2.3 for appropriate candidate materials.
- These coatings are resistant to ionic corrosion. Please see Section 2.3 for additional information.
- When oxidation resistance at elevated temperatures is required, please review information in Section 2.3.
- In general, deposit efficiencies of ≥ 65 % can be achieved, when correctly sprayed.
- These coatings can be machined and/or ground when dimensional control or a smooth surface finish is required.

3.2 Coating Parameters

Coating parameters for the following spray guns are available to Oerlikon Metco customers. Please contact your local Oerlikon Metco Account Representative. Please note that parameters may not be available for all guns listed for each material. For specific application requirements, Oerlikon Metco Application Support Services are available.

When electric arc wire coatings with the lowest possible oxides are required, the SmartArc PPG gun is recommended because of its ability to use other types of atomizing gases, such as nitrogen.

Recommended Spray Guns

Electric Arc Wire	Combustion Wire
SmartArc PPG	Metco 16E series
Metco LD/Schub 5	
Metco LD/U2	
Metco LD/U3	
Tefa (Praxair) Arc Spray Guns	

4 Commercial Information

4.1 Ordering Information and Availability

Product	Order No.	Wire Diameter	Package Size	Package Type	Availability	Dist.	Origin
Metco 470 AW	1002528	1.6 mm (14 ga)	12.5 kg (27.5 lb)	Dom Spool	Special Order	Global	Germany
Metco 8276	1001584	1.6 mm (14 ga)	25 lb (11.3 kg)	Dom Spool	Stock	Global	U.S.A.
	1092444	1.6 mm (14 ga)	12.5 kg (27.5 lb)	Dom Spool	Stock	Global	Germany
Metco 8450	1057815	1.6 mm (14 ga)	15 kg (33 lb)	Dom Spool	Special Order	Global	Germany
Metco 8500	1020932	1.6 mm (14 ga)	25 lb (11.3 kg)	Dom Spool	Special Order	Global	U.S.A.
Metco 8622	1077224	1.6 mm (14 ga / 0.063 in)	60 lb (27.4 kg)	Dom Spool	Stock	Global	U.S.A.
Metco 8625	1001594	1.6 mm (14 ga / 0.063 in)	25 lb (11.3 kg)	Dom Spool	Stock	Global	U.S.A.
	1083493	1.6 mm (14 ga / 0.063 in)	60 lb (27.4 kg)	Dom Spool	Stock	Global	U.S.A.
Metco 8718	1020242	1.6 mm (14 ga)	30 lb (13.6 kg)	Dom Spool	Special Order	Global	U.S.A.
Metco 33	1002465	3.2 mm (1/8 in)	25 kg (55.1 lb)	Coil	Stock	Global	Germany
Metco 8443	1001599	1.6 mm (14 ga)	25 lb (11.3 kg)	Dom Spool	Stock	Global	U.S.A.
Metco 8452	1057887	1.6 mm (14 ga)	12.5 kg (27.5 lb)	Dom Spool	Special Order	Global	Germany

Note: Minimum order quantities may apply on special order products

4.2 Handling Recommendations

- Store in the original, closed container in a dry location.

4.3 Safety Recommendations

See the correct SDS (Safety Data Sheet) for the product of interest localized for the country where SDS are available from the Oerlikon web site at www.oerlikon.com/metco (Resources – Safety Data Sheets).

Product	SDS No.	Product	SDS No.
Metco 470 AW	50-216	Metco 8625	50-708
Metco 8276	50-577	Metco 8718	50-1850
Metco 8450	50-1146	Metco 33	50-243
Metco 8500	50-944	Metco 8443	50-571
Metco 8622	50-1553	Metco 8452	50-1145

Hastelloy is a registered trademark of Haynes Intl, Inc.; Inconel is a registered trademark of Huntington Alloys Corp.

Information is subject to change without prior notice.

DSMTS-0052.7 – Nickel Chromium Thermal Spray Wires
©2016 Oerlikon Metco

oerlikon
metco

www.oerlikon.com/metco
info.metco@oerlikon.com

Příloha 3 NiTi

Technical Datasheet

IGS-Nickel

Wire Electrode / Welding Wire / GTAW Rod



Characteristics and scope of application

- Filler metal for Ni alloys of the 200 series
- Recommended for dissimilar welds of pure Ni grades to mild steels or CuNi alloys
- Excellent corrosion resistance in alkaline media

Standard designations

DIN EN ISO 18274	AWS A5.14	DIN Mat.-No.
S Ni 2061 (NiTi3)	ERNi-1	2.4155

Typical chemical composition of filler metal

	C	Ti	Ni	Si	Mn	Al	Fe
Mass %	0.02	3.3	Bal.	0.3	0.35	0.2	0.1

All weld metal properties (min. values at rt)

Heat treatment	Yield strength	Tensile strength	Elongation	Impact toughness	
	R _{p0.2}	R _m	A ₅	ISO-V	
as welded	300 MPa	450 MPa	30%	150 J	

Welding instructions

Polarity	Shielding gas acc. to DIN EN ISO 14175
DC / +	I1, I3, Z (ArHeHC-30/2/~0.1)
DC / -	I1, I3, R1 (max. 5% H ₂)
Low heat input and interpass temperature < 120°C. Stringer bead technique recommended.	
Base materials	
2.4066 – Alloy 200 – Ni 99.2	
2.4068 – Alloy 201 – Ni 99.6	
CMn-Steels acc. to DIN EN ISO 15608 Gr. 1 - 2	

Packaging (tolerances acc. to DIN EN ISO 544)

Diameter (mm)		Kg
1.6 / 2.0 / 2.4 / 3.2	X 1000 mm	5 / 10
0.8 / 1.0 / 1.2	BS 300 spool	15
1.6 / 2.4 / 3.2	K 415 / K 435 spool	25

Approvals on request





Wire Solutions
Catalog



**Praxair and TAFE
thermal spray wires**



Praxair Surface Technologies, Inc. and TAFE Incorporated offers a complete line of arc spray wires in its portfolio of thermal spray materials. Proud of our role in the emergence and growth of the arc spray process, we continue to develop and refine thermal spray wires of all types – solid or cored, soft or hard – to help you take full advantage of the **exceptional value** arc spray provides.

Whether your application calls for a reliable bond coat, dimensional restoration or resistance to wear and corrosion, Praxair and TAFE has a wire to **meet the challenge**. Understanding that “not all wires are alike”- in part because we optimize wires for **superior arc spray** coatings – we provide materials that perform every time. And we offer the complete “system”, including six hardware options, to start you on the way to **productive solutions**.

When you search for the right thermal spray wire, remember the company that built its reputation on arc spray technology: Praxair and TAFE. Let us work with you to continue to **develop and perfect** quality arc spray wires and coatings.

Phone: 1-603-223-2100
Fax: 1-603-225-4342
E-mail: psti-info@praxair.com



Quality thermal spray wires must be made to tight compositional tolerances, have the appropriate surface finish, and be spooled properly for consistent performance.

Exceptional wires for superior coatings

We recognize that high quality spray equipment without compatible, first-rate coating materials can lead to less than desirable coatings. For arc spray, only wires designed and produced for thermal spraying ensure trouble-free application and superior, consistent coatings.

All Praxair and TAFE wires are engineered and manufactured exclusively for the specialized needs of thermal spray. Strict specifications and production controls guarantee that each wire is manufactured to a precise metallurgical composition and free from defects such as slivers or contaminants. Care is taken to ensure that our wires have the proper physical properties for thermal spraying – tensile strength, hardness, and surface finish – and that they are properly spooled for reliable performance. Post manufacturing

testing and analysis assure that the targeted characteristics are achieved.

Praxair and TAFE wires are available in a number of packaging options. We offer several sizes of level-layer wound spools and larger dispensing containers for high volume applications.

An extensive inventory of wires, available in 25 or 30 pound spools as well as bulk pay-off packs, assures prompt delivery and reinforces our commitment to the growth and development of arc spray applications.



Metal and alloy wires

wires

Wire Name	Material	Diameter	Coverage (ft ² /0.001") (m ² /100 μm)	Spray Rate (lb/100 A)	Approved Specs	Application Data
30S	Silver Copper Zinc	1/16" (1.6 mm)	1.0 oz 1.2 kg	12 lbs 5.4 kg	GE B20A4 (Chemical Composition) GE Manual # 70-49-44 FAA RDE#00-630 CFM70-48-16-340-007	<ul style="list-style-type: none"> Stationary Seals In Aircraft Engines Good Rub Wear Characteristics
30T	Low Carbon Steel	1/16" (1.6 mm)	0.9 oz 1.1 kg	10 lbs 4.5 kg		<ul style="list-style-type: none"> Dimensional Restoration of Mismachined and Worn Parts
38T	High Carbon Steel (0.80 C)	1/16" (1.6 mm)	0.9 oz 1.1 kg	10 lbs 4.5 kg	AWS C2.25/C2.25M	<ul style="list-style-type: none"> Reclamation Wear and Erosion Resistance ID Fans
39T	High Carbon Steel (1.0 C)	1/16" (1.6 mm)	0.9 oz 1.1 kg	10 lbs 4.5 kg		<ul style="list-style-type: none"> Excellent Wear Resistance Harder than 38T
45CT*	Nickel Chrome Titanium	1/16" (1.6 mm)	0.9 oz 1.1 kg	11 lbs 5.0 kg		<ul style="list-style-type: none"> Protection Against High Temperature Sulfidation
55T	18/5 Stainless 200 Series Stainless	1/16" (1.6 mm) 1/8" (3.2 mm)	0.8 oz 1.0 kg	10 lbs 4.5 kg	AWS C2.25/C2.25M FP5045 Type IV, Rev AB	<ul style="list-style-type: none"> Low Carbon Low Shrinkage Good Machinability Aircraft Approved
58T	Copper Nickel Indium	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	10 lbs 4.5 kg	GE B50TF72 CL A (Chemical Composition) GE Manual #70-49-05	<ul style="list-style-type: none"> Pretting Resistance Dense, Low Oxide Coatings Aircraft Approved
60T	420 Stainless Steel	1/16" (1.6 mm) 1/8" (3.2 mm)	0.8 oz 1.0 kg	10 lbs 4.5 kg	AWS C2.25/C2.25M OMAT#3/45D FP5045 Type V, Rev AB	<ul style="list-style-type: none"> Reclamation Low Shrinkage Allows Thick Buildups Good Wear Resistance Aircraft Approved
61T	430 Stainless Steel	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	10 lbs 4.5 kg		<ul style="list-style-type: none"> Slightly More Machinable and Better Corrosion Resistance than 60T
70T	Nickel Copper	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	10 lbs 4.5 kg	AWS C2.25/C2.25M	<ul style="list-style-type: none"> Marine Corrosion Protection Print Rolls
71T	Nickel Chrome Molybdenum	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	11 lbs 5.0 kg		<ul style="list-style-type: none"> Prohibits Caustic Corrosion Paper Mill Digesters
75B*	BondArc* Nickel 5% Aluminum	1/16" (1.6 mm)	0.9 oz 1.1 kg	10 lbs 4.5 kg	PWA 36937 (PWA 271-37 Rev F) GE Manual # 70-49-38 (Alternate to 70-49-10) OMAT#3/229 FP5045 Type XV, Rev AB BF Goodrich Ltr 1623 CFM 70-48-14-340-005 AWS C2.25/C2.25M	<ul style="list-style-type: none"> Bond Coat Aircraft Approved Oxidation /Abrasion Resistance at High Temperatures
77T	Alloy C-276 type: Nickel Chrome Molybdenum	1/16" (1.6 mm)	0.9 oz 1.1 kg	11 lbs 5.0 kg		<ul style="list-style-type: none"> Acidic and Hot Gas Corrosion Resistance
78T	Alloy 718 type: Nickel Chrome Molybdenum	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	11 lbs 5.0 kg	GE Manual # 70-49-45 CFM 70-48-17-340-008	<ul style="list-style-type: none"> Aircraft Engine Dimensional Restoration Acidic and Hot Gas Corrosion Resistance
79B	Nickel 20% Aluminum	1/16" (1.6 mm) 1/8" (3.2 mm)	0.9 oz 1.1 kg	10 lbs 4.5 kg	OMAT#3/90A FP5045 Type II, Rev AB	<ul style="list-style-type: none"> High Temperature Oxidation and Abrasion Resistance Aircraft Approved
80T	18/8 Stainless Steel 304 Series Stainless	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	10 lbs 4.5 kg	AWS C2.25/C2.25M	<ul style="list-style-type: none"> Corrosion Protection Dimensional Restoration Print Rolls
85T	316 Stainless Steel	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	10 lbs 4.5 kg		<ul style="list-style-type: none"> Corrosion Protection Dimensional Restoration
88T	300 Series Stainless	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	9.5 lbs 4.3 kg		<ul style="list-style-type: none"> Corrosion Protection Dimensional Restoration Print Rolls
204M	Kirsite type	1/16" (1.6 mm)	0.8 oz 1.0 kg	22 lbs 10 kg	Proprietary Alloy	<ul style="list-style-type: none"> Used to Create Metal Faced Tooling



Flame Spray Technologies

SPRAYTECH | FST-TS-SEALERS

FST TS-Sealer for Thermal Sprayed Coatings

Introduction

Thermal spray coatings always have process-related residual porosities. Due to the residual porosity coating might not be gas, vapour or liquid tight. The consequence can be corrosion underneath the sprayed coating and finally might result in micro-cracks in the coating or even complete delamination of the coating.

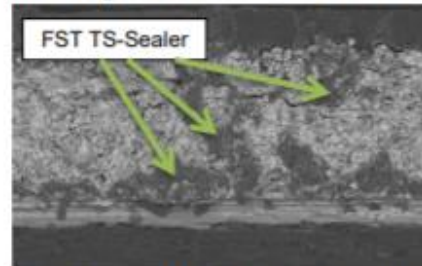
FST TS-Sealers are capillary sealers which penetrate the porous and micro-cracks of thermally sprayed coatings deeper than comparable products.

The versatile and straightforward application of FST TS-Sealer (brush or spray) makes it user-friendly – even on complex structures. Flame-, Plasma-, ARC- and even HVOF-sprayed coatings resist premature failure by sealing the porosity with FST TS-Sealer.



The FST TS-Sealer Products are materials designed to penetrate deep into the pores or cracks of thermal spray coatings. Once dried and cured, they form a protective barrier to gases and liquids that the coat is exposed to.

This barrier becomes even more critical in situations where a galvanic potential between the coating and the substrate is a concern.



Sealers are recommended for porous coating systems, such as ceramics, that are designed to be used in liquid or atmospheric chemical environments, and for metallic coatings that have higher nobility than the substrate. Coatings that are anodic with respect to the substrate may be sealed to improve coating service life.

In many applications, the porous nature of thermally sprayed coatings is an advantage, such as retaining lubricants to prevent wear. However, in some cases, it is best to seal the porosity, such for thin coatings or when a corrosive reagent or damaging environment is present, such as sea water, steam, dilute acids, corrosive gases or elevated temperatures.

General specifications

PRODUCT RANGE		TS-SEALER D	TS-SEALER P	TS-SEALER HT	TS-SEALER SR	TS-SEALER HS
Version		standard	macro (high porosities)	high temp.	Solvent resistant concentrate	high solid body content, appl. on hot surfaces
Thermal spray process		HVOF, APS, VPS, ARC, Flame	ARC, Flame	HVOF, APS, VPS, ARC, Flame	HVOF, APS, VPS, ARC, Flame	HVOF, APS, VPS, ARC, Flame
Porosity sizes [mm]		0 - 0,1	0,1 - 0,5	0 - 0,1	0 - 0,5	0 - 0,5
Shelf life [years]		5	5	5	0,5	1
Consumption per m2		~ 100 ml	~ 170 ml	~ 100 ml	~ 100 – 200 ml	75 g
CURING TIME						
Dust-dry / Touch Proof	20°C	6 min	6 min	1 hour after processing anneal at 200 °C for 1 hour	45 min	20 h
	40°C	3 min	3 min		30 min	12 h
	80°C	√	√		√	1 h
Machinable	20°C	90 min	90 min	1 hour after processing anneal at 200 °C for 1 hour	120 min	36 h
	40°C	60 min	60 min		75 min	20 h
	80°C	√	√		√	90 min
Chemically Resistant	20°C	after 36 h	after 36 h	1 hour after processing anneal at 200 °C for 1 hour	after 144 h	after 192 h
	40°C	after 24 h	after 24 h		after 96 h	after 120 h
	80°C	√	√		√	after 60 h
TECHNICAL DATA						
Permanent temp. resistance [°C]		-40 / +300	-40 / +300	-40 / +500	-40 / +200	-40 / +200
Temporary temp. resistance [°C]		-40 / +450	-40 / +450	-40 / +550	-40 / +220	-40 / +220
Remaining surface layer thickness [µm]		3	10	4	20	20
Surface temperature for application [mav]		40°C	40°C	40°C	40°C	120°C
Viscosity (DIN4 cup, +23°C) DIN 53211 (4mm nozzle) [sec.]		13	17	12	varies by mixture	22

Safety Data Sheet
 according to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)
 according to Regulation (EU) 2015/830



Article No.: P
 Print date: 30.11.2017
 Version: 6.0

TS-Sealer-P
 Revision date: 23.06.2017
 Issue date: 23.06.2017

EN
 Page 2 / 9

contains:

2-methylpropan-1-ol
 n-butyl acetate

Supplemental Hazard information (EU)

EUH066 Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.

2.3. Other hazards

SECTION 3: Composition / information on ingredients

3.2. Mixtures

Product description / chemical characterization

Description Mixed solvent + polymer mixture

Hazardous ingredients

Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 [CLP]

EC No. CAS No. INDEX No.	REACH No. Chemical name classification // Remark	Wt %
204-658-1 123-86-4 607-025-00-1	01-2119485493-29-XXXX n-butyl acetate Flam. Liq. 3 H226 / STOT SE 3 H336	50 - 100
201-148-0 78-83-1 603-108-00-1	01-2119484609-23-XXXX 2-methylpropan-1-ol Flam. Liq. 3 H226 / STOT SE 3 H335 / Skin Irrit. 2 H315 / Eye Dam. 1 H318 / STOT SE 3 H336	10 - 25
201-872-8 80-56-8	01-2119519223-49-XXXX 2,6,6-Trimethylbicyclo(3.1.1)hept-2-en Acute Tox. 4 H302 / Skin Irrit. 2 H315 / Skin Sens. 1 H317 / Asp. Tox. 1 H304 / Aquatic Chronic 1 H410 (M = 1) / Flam. Liq. 3 H226	< 0,5

Additional information

Full text of classification: see section 16

SECTION 4: First aid measures

4.1. Description of first aid measures

General information

In all cases of doubt, or when symptoms persist, seek medical advice. In case of unconsciousness give nothing by mouth, place in recovery position and seek medical advice.

In case of inhalation

Remove casualty to fresh air and keep warm and at rest. In case of irregular breathing or respiratory arrest provide artificial respiration.

Following skin contact

Take off immediately all contaminated clothing. After contact with skin, wash immediately with plenty of water and soap. Do not use solvents or thinners.

After eye contact

Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. Seek medical advice immediately.

After ingestion

If swallowed, rinse mouth with water (only if the person is conscious). Seek medical advice immediately. Keep victim calm. Do NOT induce vomiting.

4.2. Most important symptoms and effects, both acute and delayed

In all cases of doubt, or when symptoms persist, seek medical advice.

4.3. Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

SECTION 5: Firefighting measures

5.1. Extinguishing media

Suitable extinguishing media:

alcohol resistant foam, carbon dioxide, Powder, spray mist, (water)

BTW 58

Iron based alloy wire designed to combat extreme erosion

Enduring Performance...



*Stronger, with
Castolin Eutectic*



- Specially designed arc spray wire
- Extremely hard material
- Resistant to moderate corrosive environments
- Used in BTC 281, 282, 285 and 288 solutions
- Only available from our CastoLab® Services workshops



BTC SOLUTIONS

BTW 58 is an iron based alloy wire having a unique microstructure made of super hard borides and amorphous phases. These features give to this alloy an exceptional resistance to extreme erosive environments coupled to a good capacity to withstand moderate corrosive conditions. The alloyed refractory metal elements provide very good properties at elevated temperatures.

This alloy is only available from our CastoLab® Services workshops. It is offered through our BTC solutions which can include a densification process to further enhance the coating ability to resist to corrosive environments.

Material Chemistry

Chromium	< 25%
Molybdenum	< 8%
Boron	< 6%
Others	< 6%
Iron	Balance

Coating Properties *

Microhardness:	> 1100 HV0.3
Porosity content:	< 2%
Oxide content:	< 5%
Bond strength:	> 35 MPa

* Obtainable with optimised and specified Castolab equipments, procedures and parameters. Values measured before the densification process.



Power Generation



Steel Industry



Cement Industry

Your resources for protection, repair and joining solutions



www.castolin.com

www.eutectic.com

Stronger with Castolin Eutectic

www.castolin.com www.eutectic.com

WISDOM Thermal Spray Consumables

Nickel base alloy



LCr Carbide (P)

DATA

November 2015

Introduction

LCr Carbide (P) is a cored wire specifically designed for arc spray systems. It produces a hard, well bonded coating that is abrasive and corrosion resistant. LCr Carbide (P) can be easily machined with carbide tools, yielding a smooth, low coefficient of friction surface finish, suitable for a number of applications.

Equivalent to: TAFE 98 MXC, PMET 223

Surface Preparation

Surface should be clean, white metal, with no oxides (rust), dirt, grease, or oil on the surface to be coated. Note: It is best not to handle surfaces after cleaning.

Recommended method of preparation is to grit blast with 24 mesh aluminum oxide, rough grind, or rough machine in a lathe

Application

- Boiler Tubes & Tube Shields
- Fan Blades
- Food Processing
- Paper Processing

Chemical composition

Cr	Ni	C	Mn	Si	Mo	Fe
26.0	3.0	1.7	1.6	1.6	0.8	Bal

Room 1202, 1288 Zhennan Road, Shanghai, China, 200331
Tel: +86 21 61395047 / Fax: +86 21 61395049
Email: jim@wisdomsino.com / Website: wisdomsurface.com

WISDOM Thermal Spray Consumables

Nickel base alloy

Typical Deposit Characteristics

Hardness	Bond Strength	Deposit Rate	Deposit Efficiency	Wire Coverage	Surface Finish
HRC 39-42	5000 psi	8 lbs/hr/100A	70 %	1.0 oz/ft ² / mil	Grind*

* Grind using aluminum oxide

Standard Sizes & Packing

Diameter	Dimension Tolerance	Packing	Wire Weight
1/16"(1.6mm)	+0/-0.05	D 270 Spool	15kgs(33 lbs)/spool
2.0mm	+0/-0.05	D 270 Spool	15kgs(33 lbs)/spool

Other sizes (diameter and wire weight) can be produced by customers' requirement.

Room 1202, 1288 Zhennan Road, Shanghai, China, 200331
Tel: +86 21 61395047 / Fax: +86 21 61395049
Email: jim@wisdomsino.com / Website: wisdomsurface.com

WISDOM Thermal Spray Consumables

Iron Base Alloy



H Tungsten Carbide (P)

DATA SHEET

November 2015

Introduction

H Tungsten Carbide (P) is a cored wire specifically designed for arc spray systems. It is a titanium and tungsten carbide alloy in an amorphous matrix. H Tungsten Carbide (P) produces a hard, abrasive and corrosion resistant coating, with a service environment of up to 1000° F. H Tungsten Carbide (P) is used in a wide variety of industrial high wear applications.

Equivalent to: TAFE 97 MXC, Metco Duocor, PMET 297

Surface Preparation

Surface should be clean, white metal, with no oxides (rust), dirt, grease, or oil on the surface to be coated. Note: It is best not to handle surfaces after cleaning.

Recommended method of preparation is to grit blast with 24 mesh aluminum oxide, rough grind, or rough machine in a lathe

Application

- Fan Blades
- Boiler Tubes
- Other High Wear Application

Chemical composition

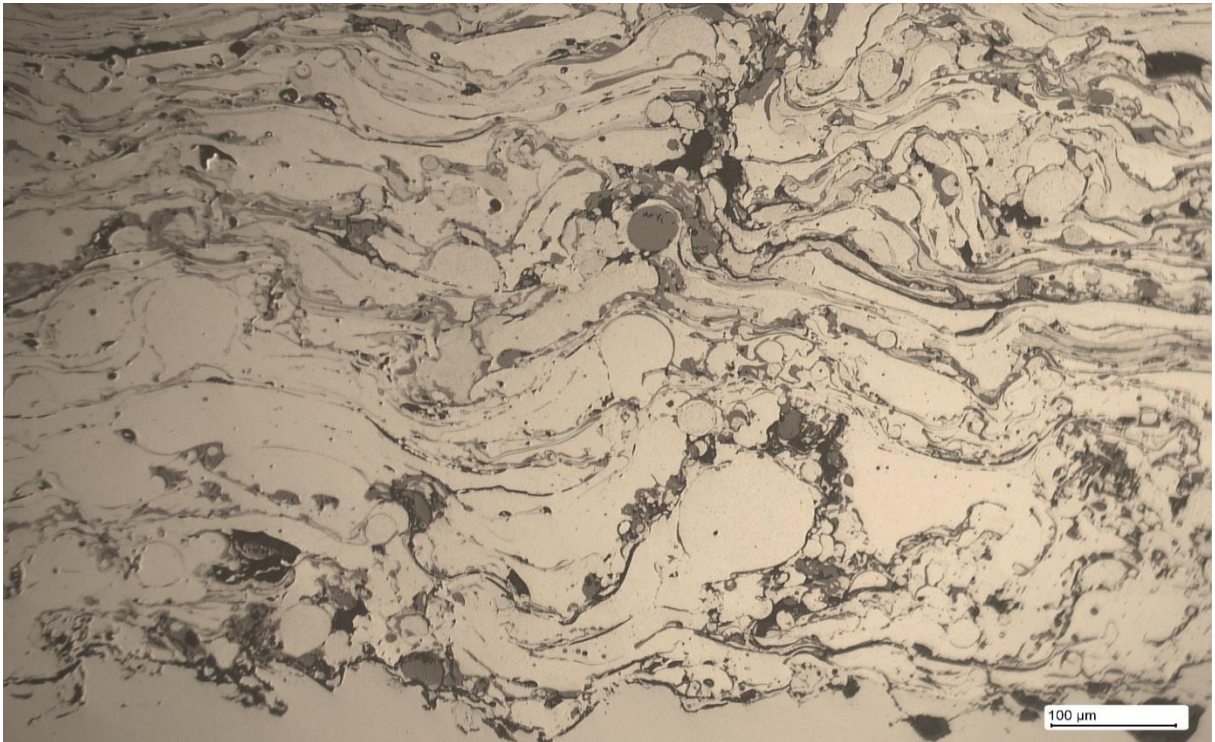
WC	Cr	TiC	Ni	B	Si	Fe
26.0	13	6.0	6.0	2.0	1.0	Bal

Typical Deposit Characteristics

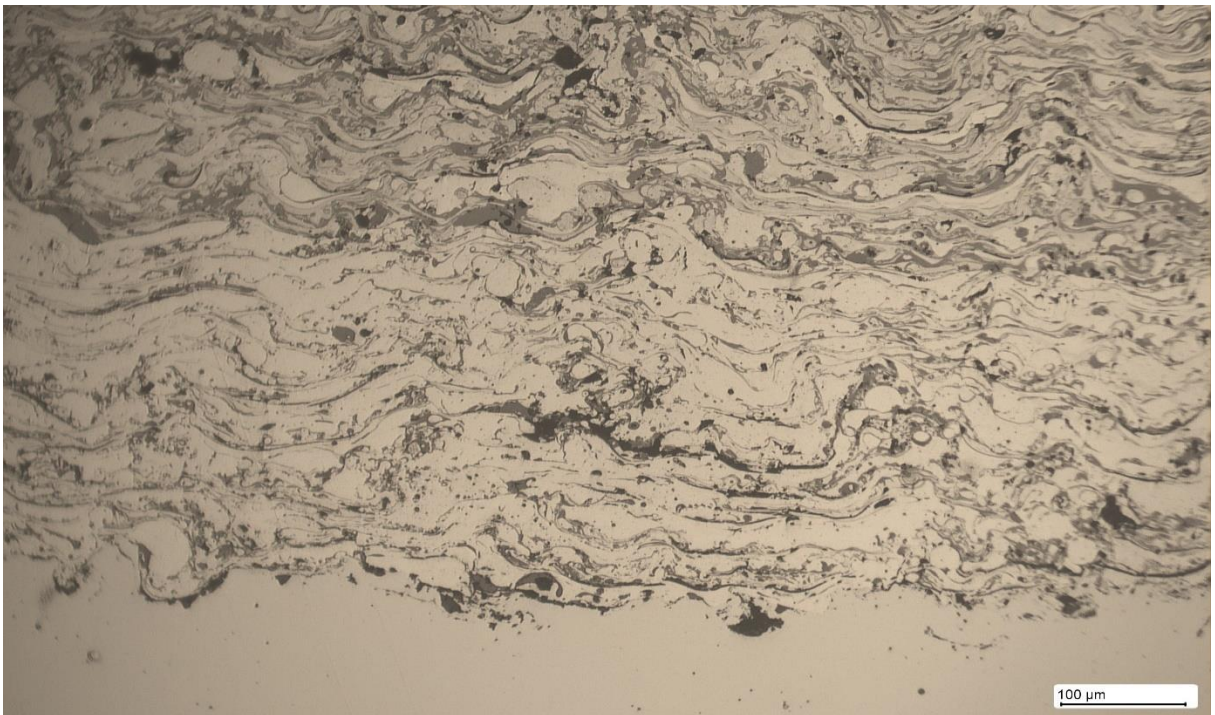
Room 1202, 1288 Zhennan Road, Shanghai, China, 200331
Tel: +86 21 61395047 / Fax: +86 21 61395049
Email: jim@wisdomsino.com / Website: wisdomsurface.com

Příloha 9 Snímky metalografického výbrusu základní vrstvy

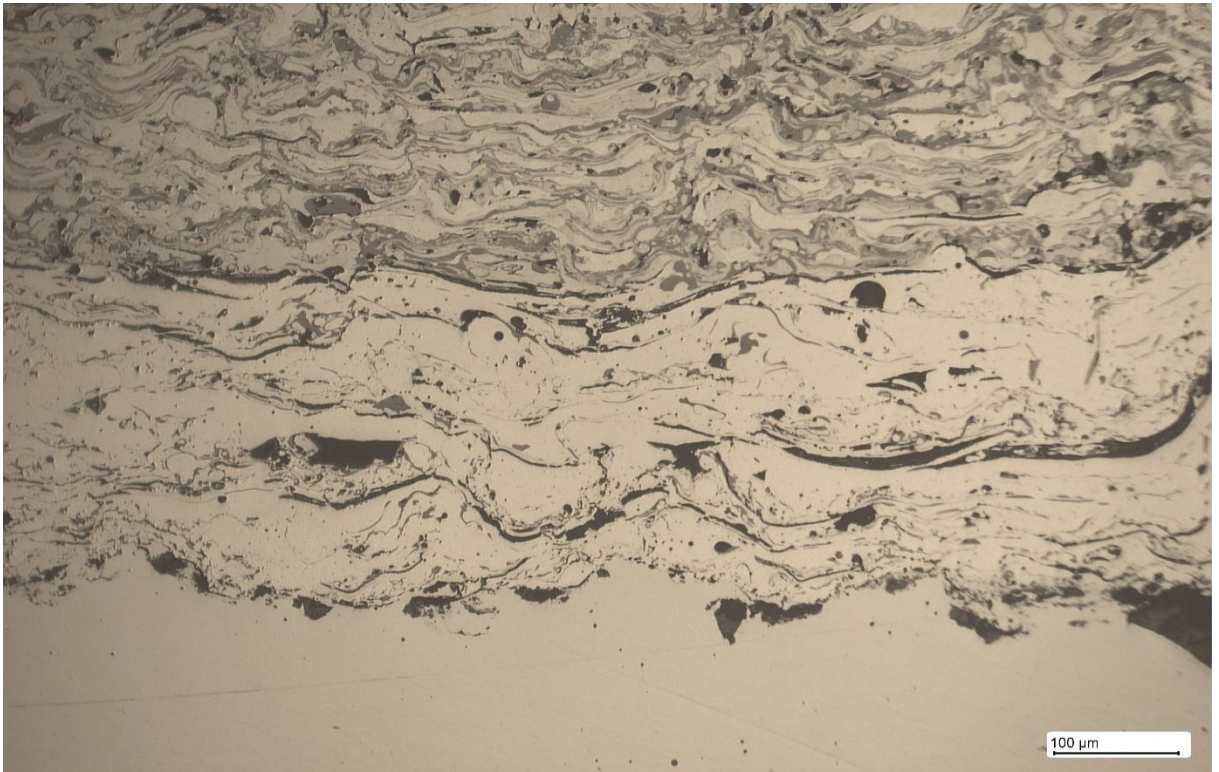
A



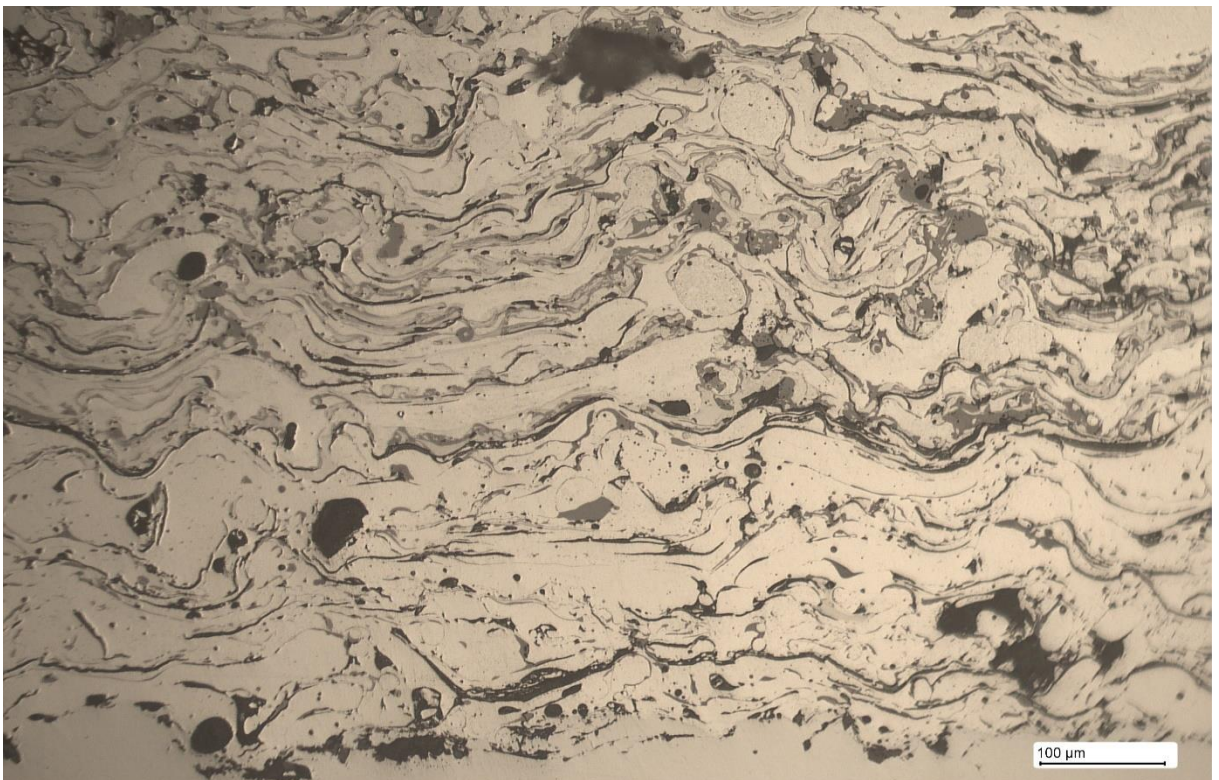
B



C



D



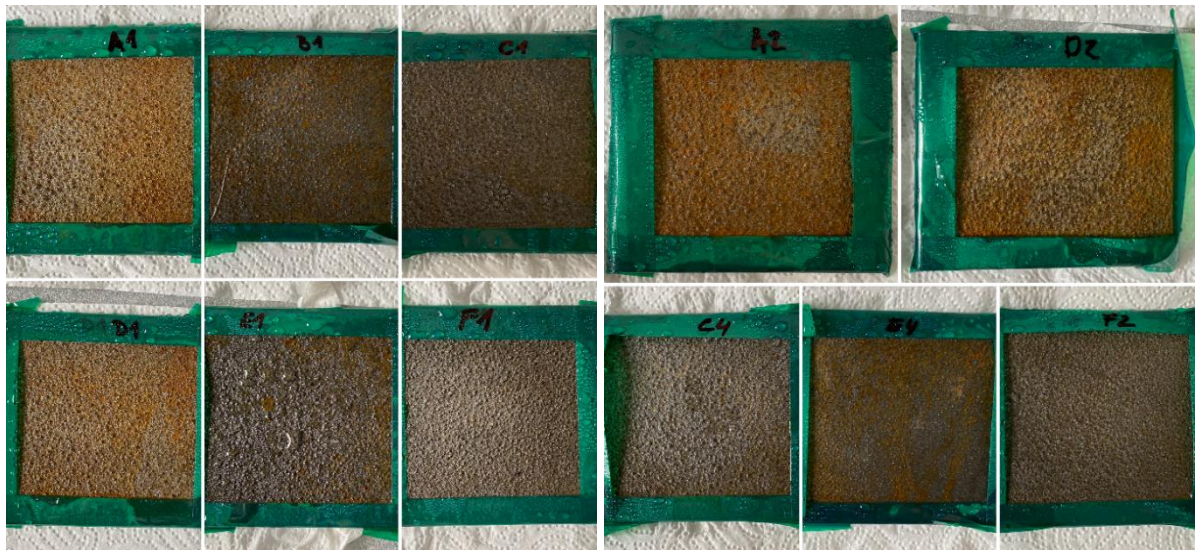
E



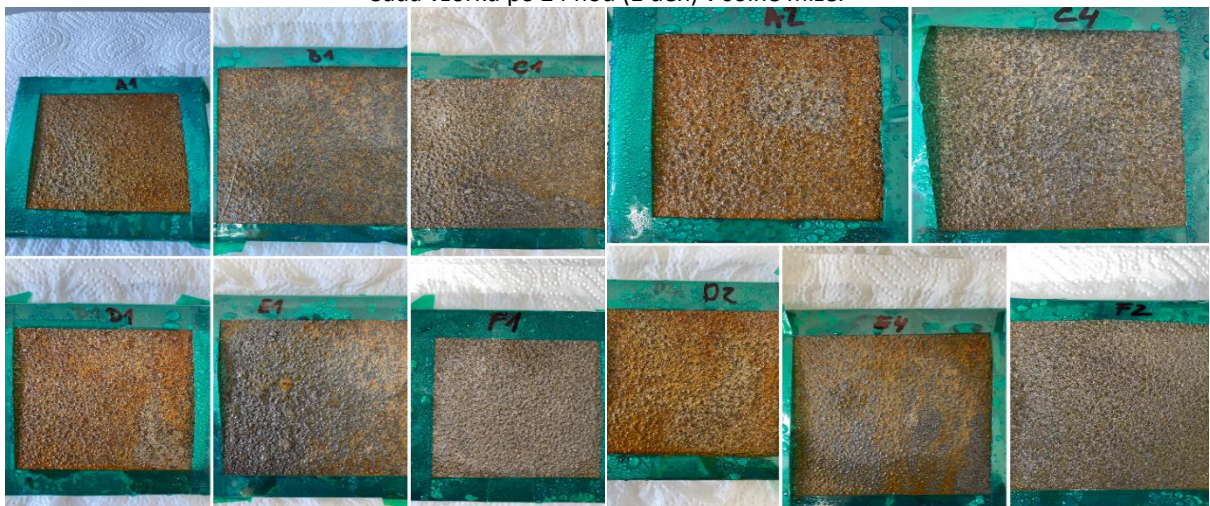
F



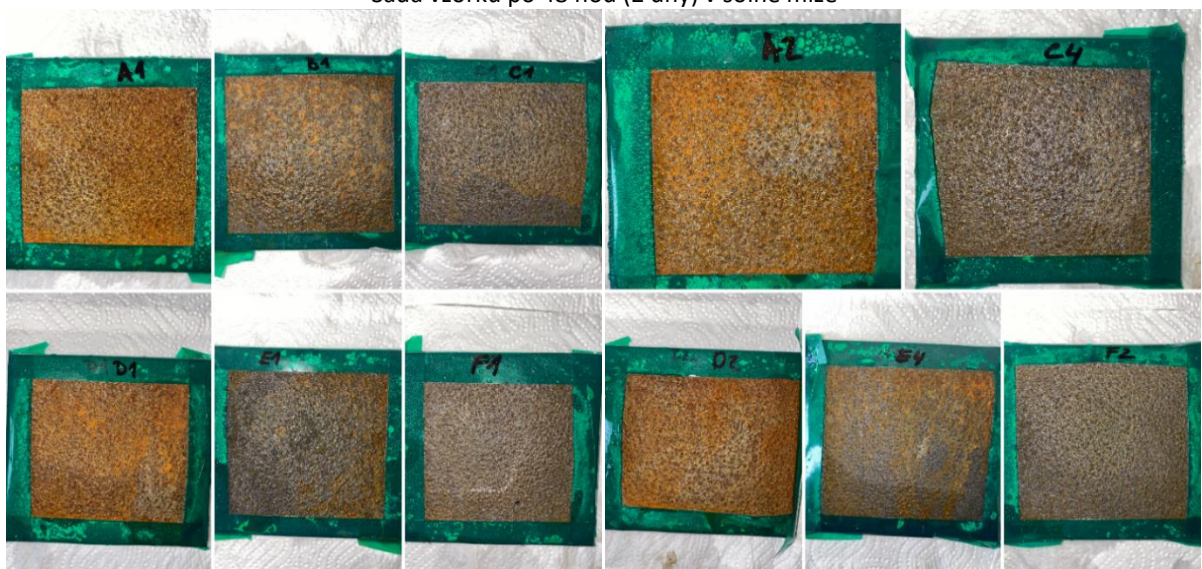
Příloha 10 Snímky postupu koroze



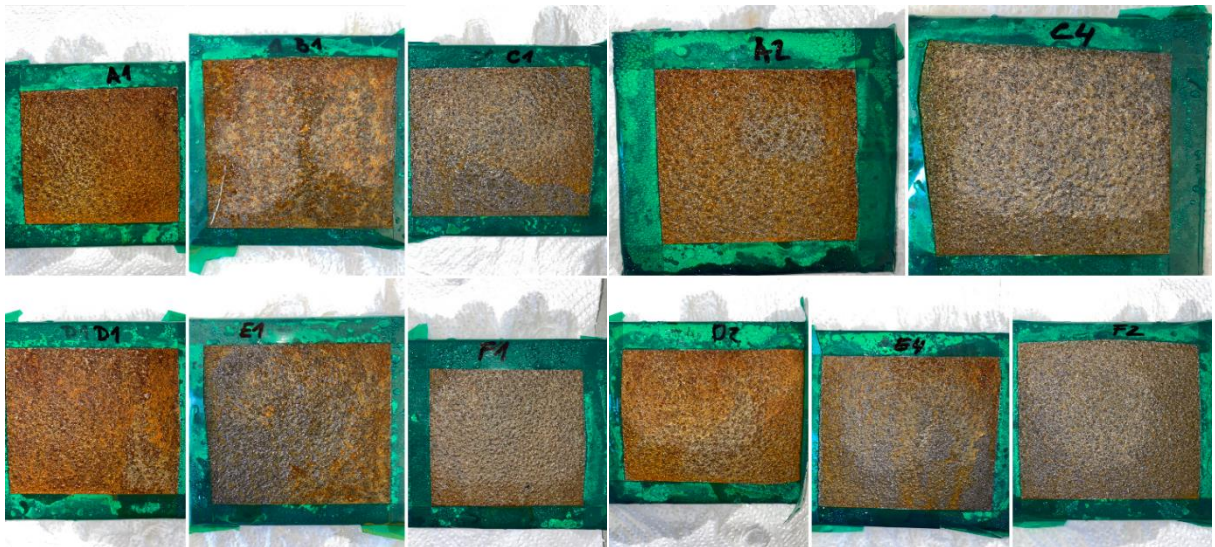
Sada vzorků po 24 hod (1 den) v solné mlze.



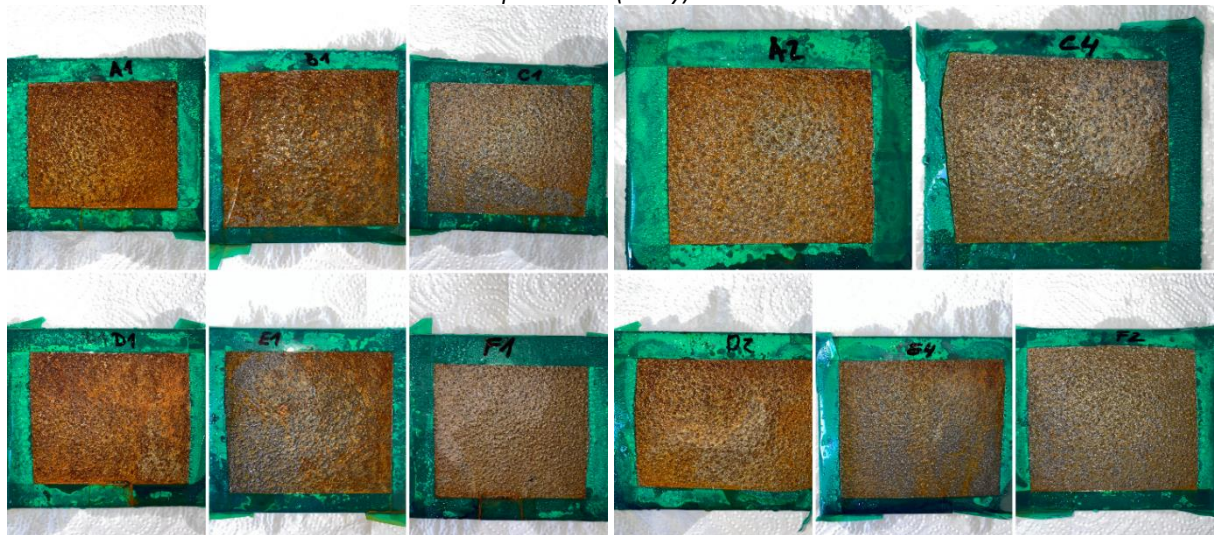
Sada vzorků po 48 hod (2 dny) v solné mlze



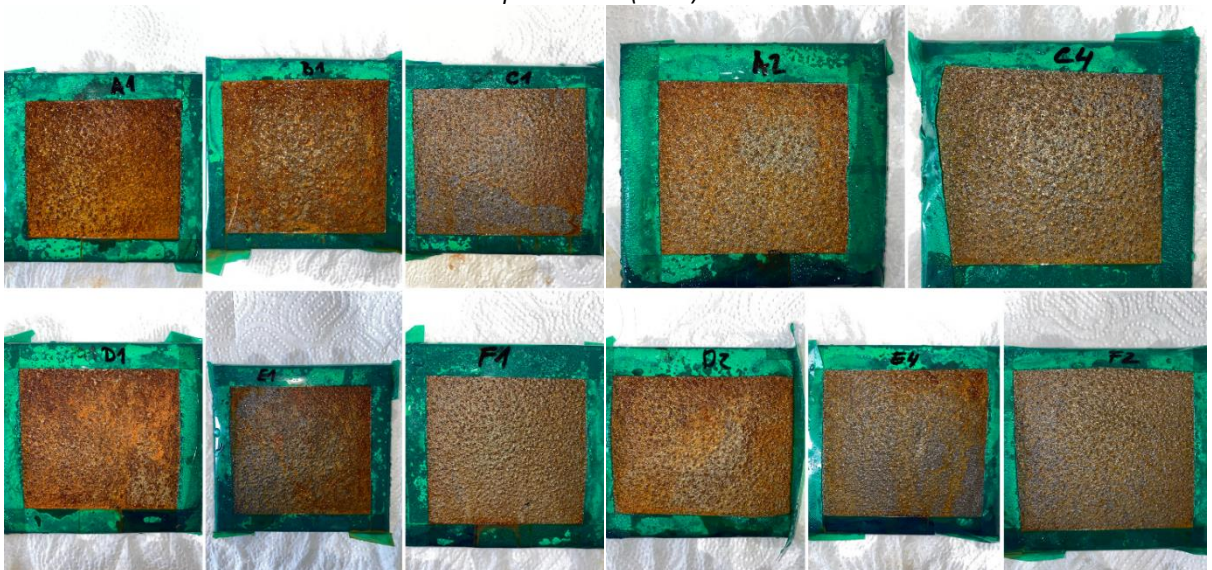
Sada vzorků po 72 hod (3 dny) v solné mlze.



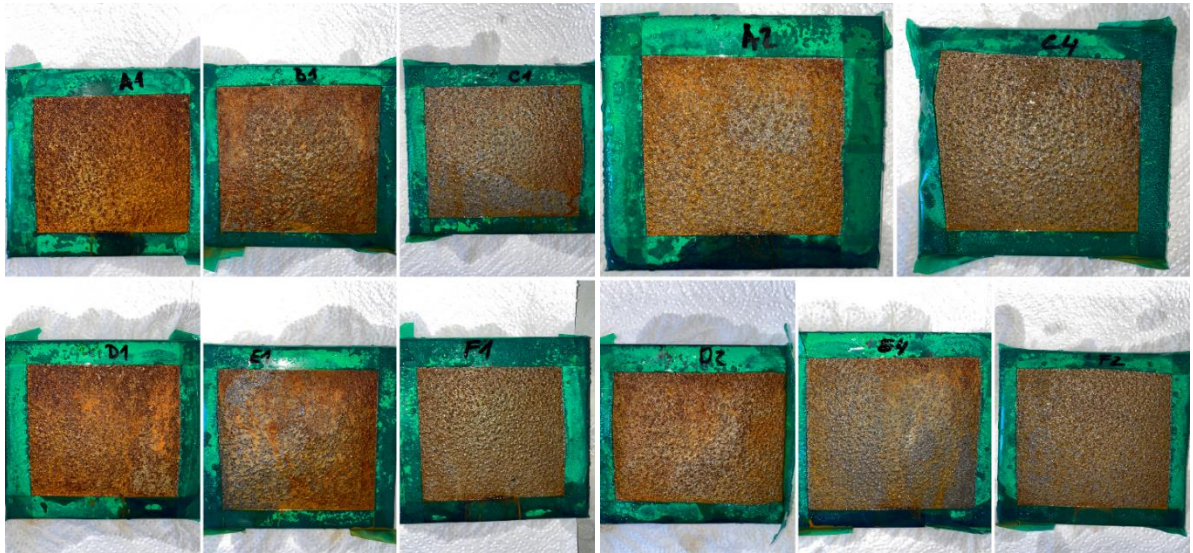
Sada vzorků po 96 hod (4 dny) v solné mlze.



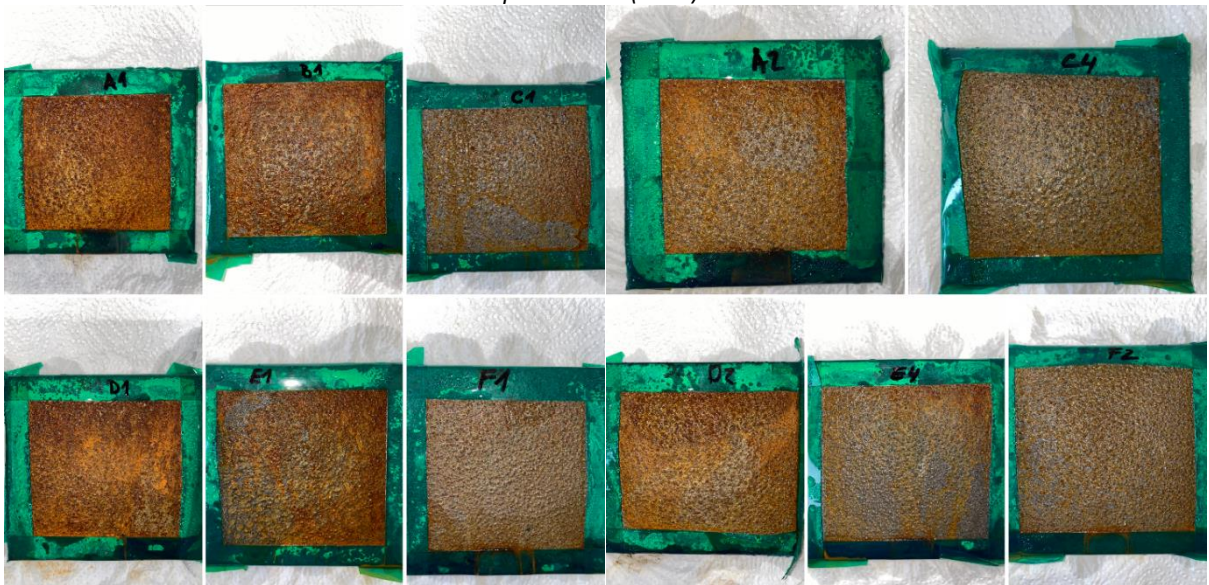
Sada vzorků po 120 hod (5 dní) v solné mlze.



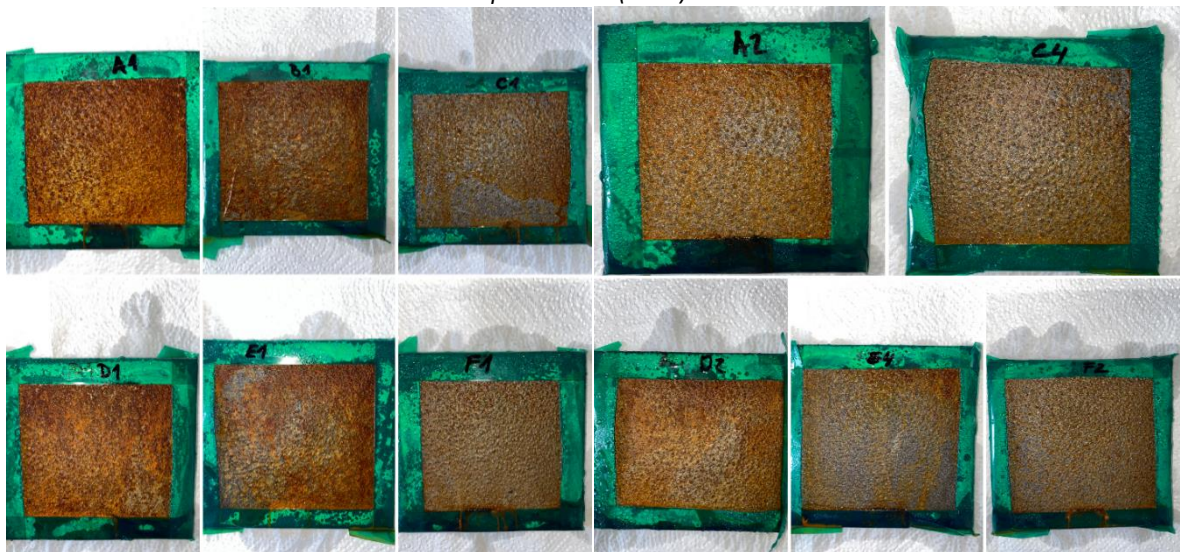
Sada vzorků po 144 hod (6 dní) v solné mlze.



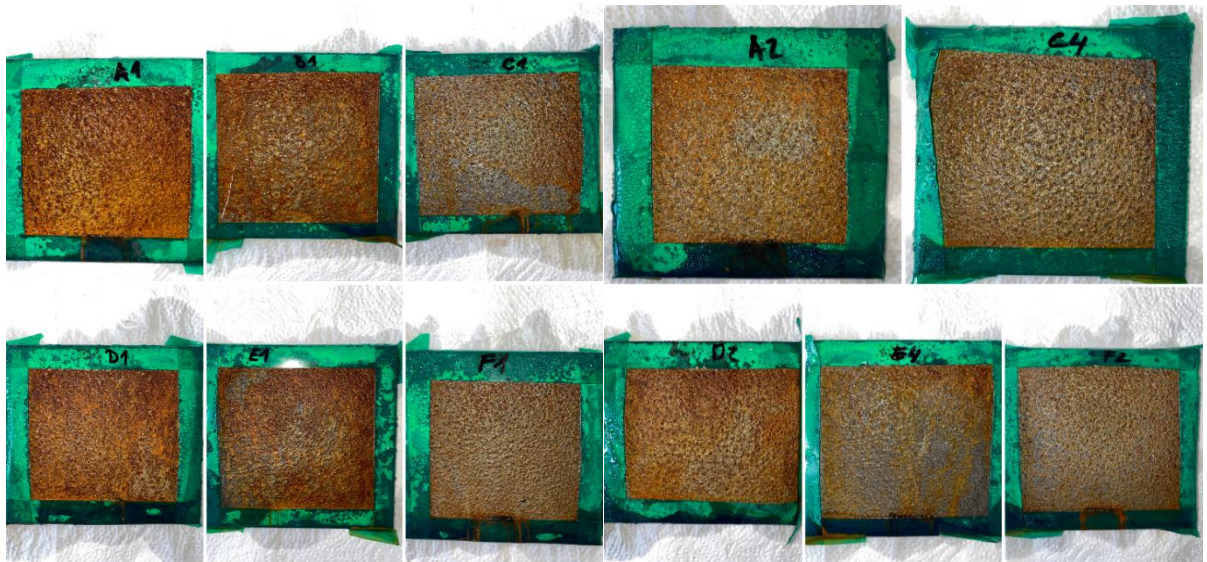
Sada vzorků po 168 hod (7 dní) v solné mlze.



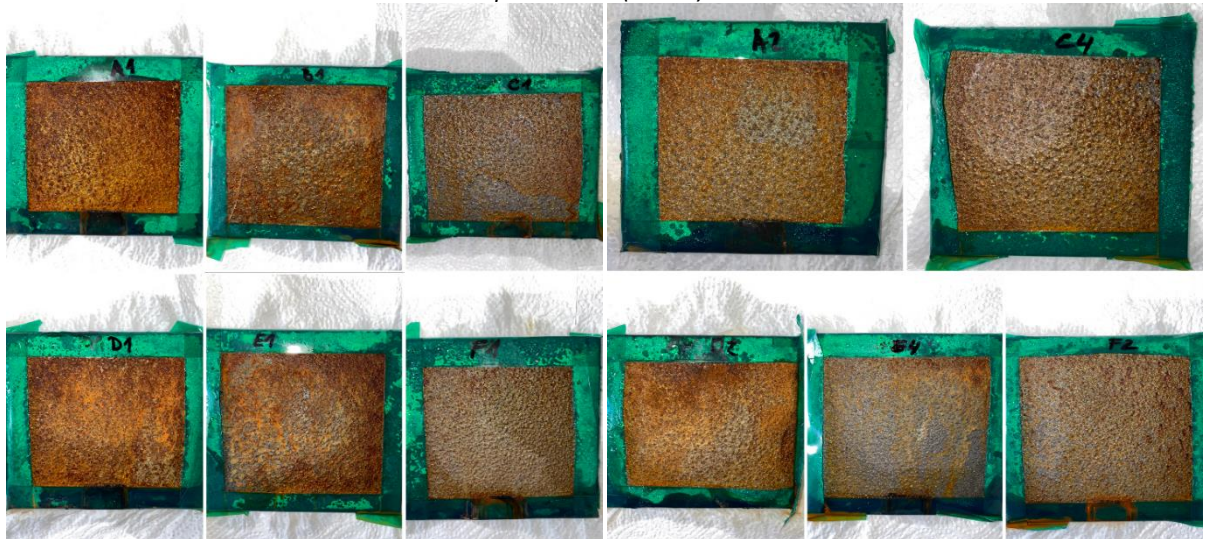
Sada vzorků po 192 hod (8 dní) v solné mlze.



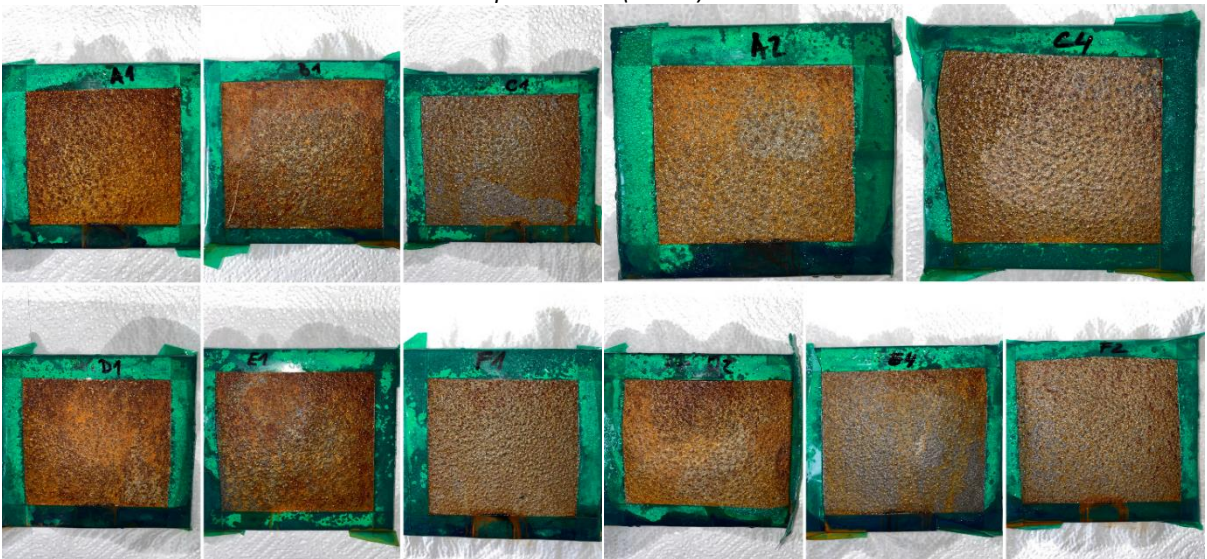
Sada vzorků po 216 hod (9 dní) v solné mlze.



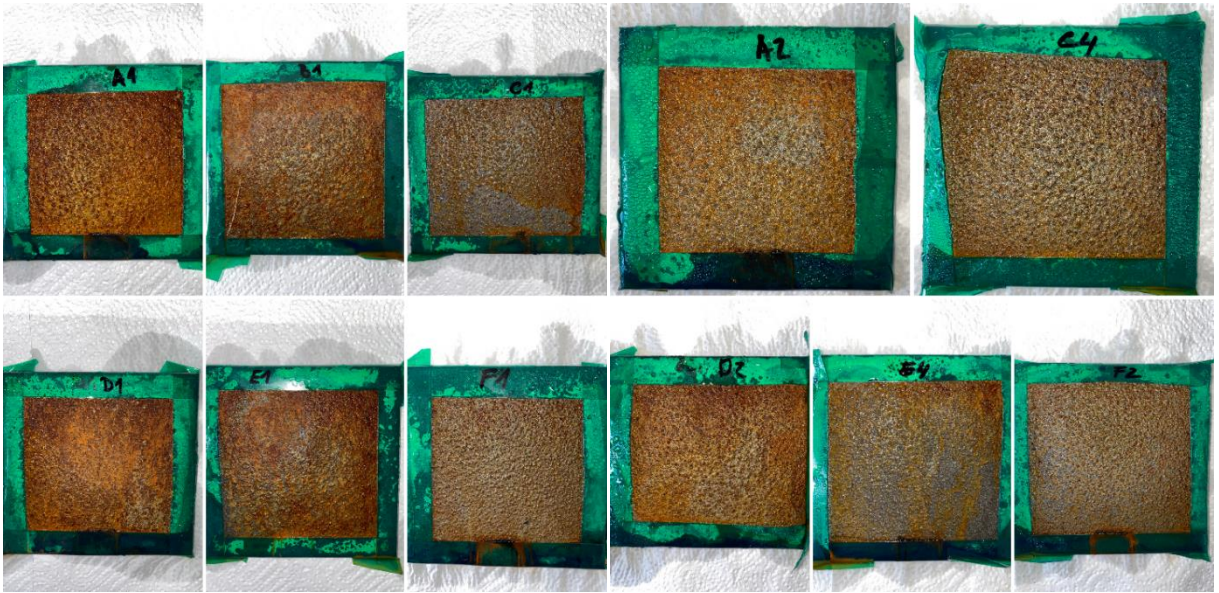
Sada vzorků po 240 hod (10 dní) v solné mlze.



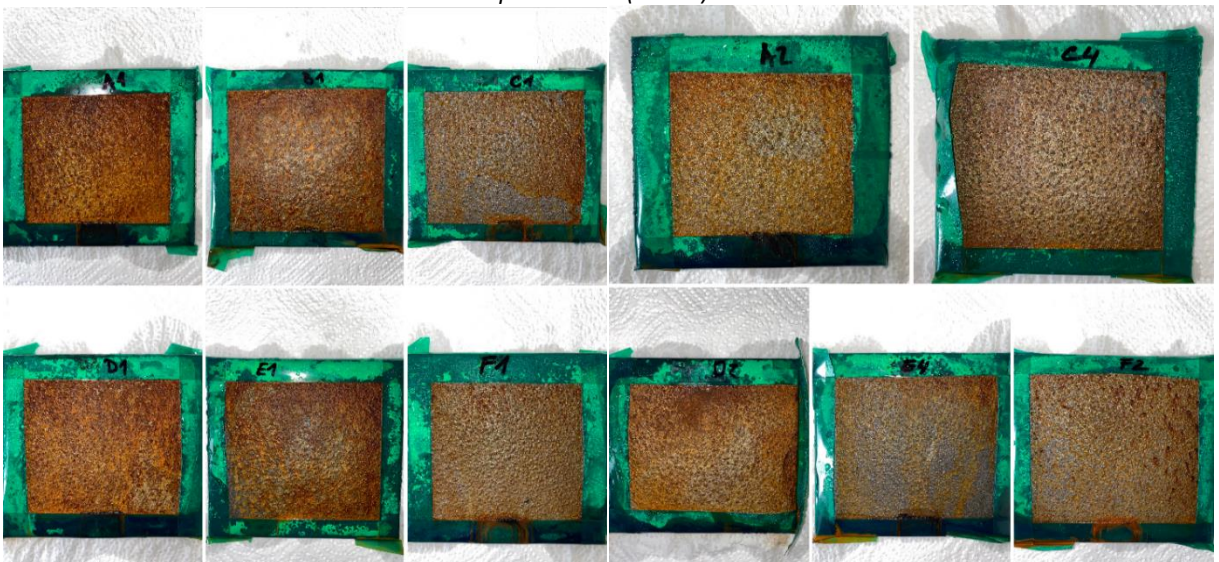
Sada vzorků po 264 hod (11 dní) v solné mlze.



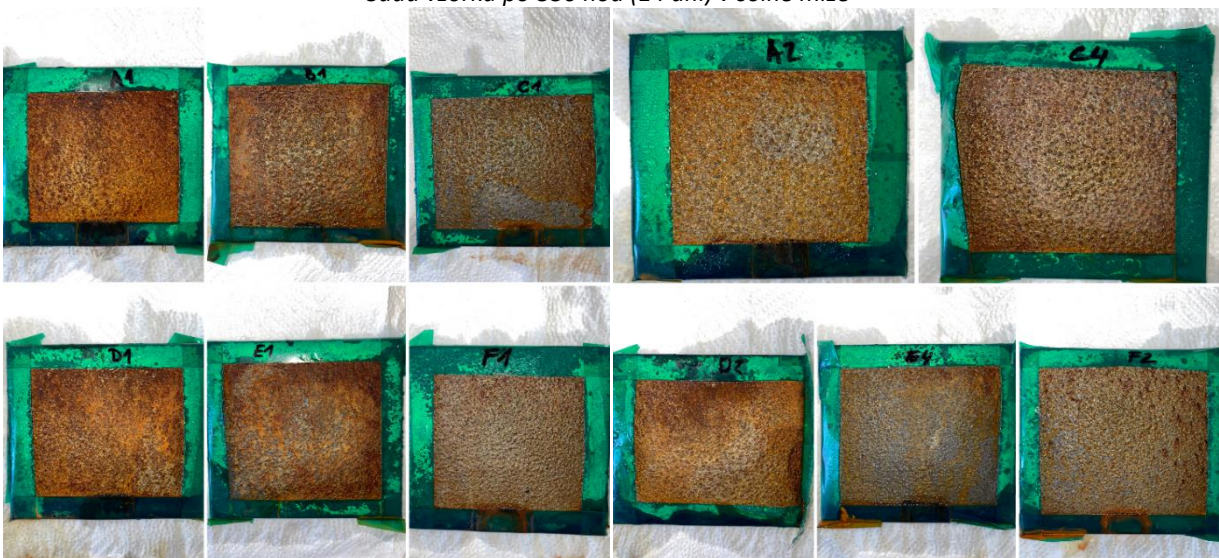
Sada vzorků po 288 hod (12 dní) v solné mlze.



Sada vzorků po 312 hod (13 dní) v solné mlze.



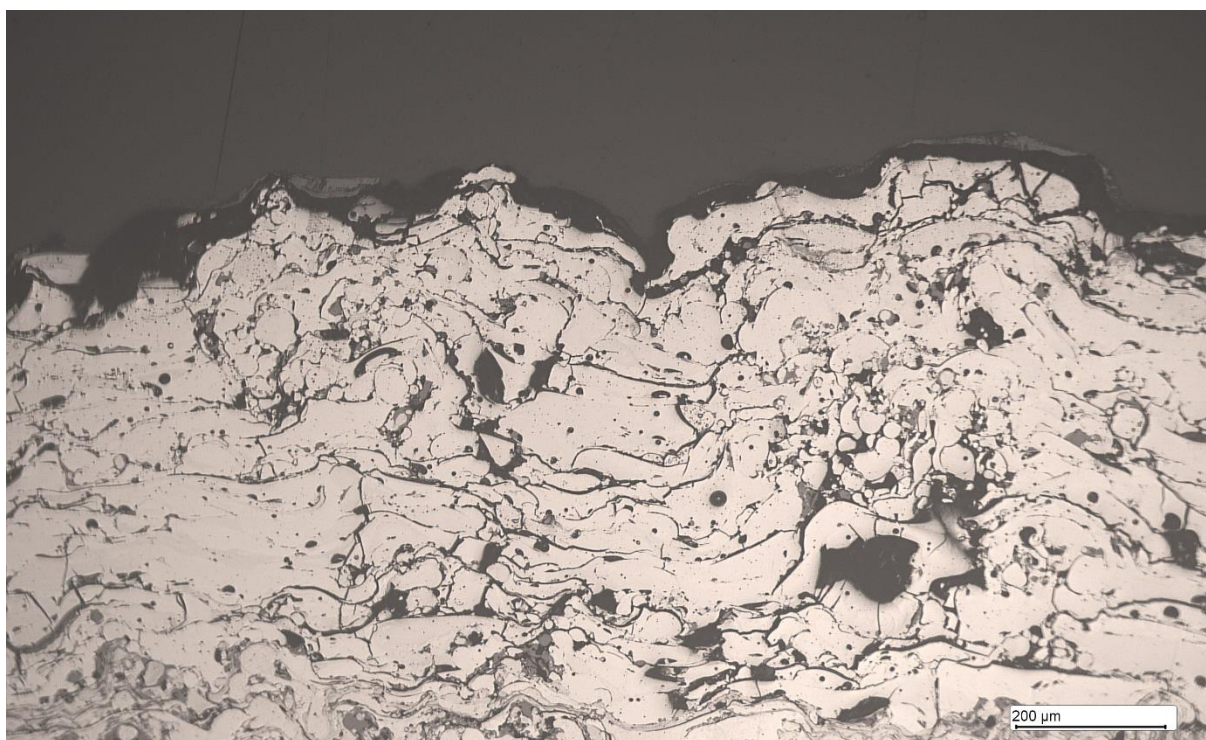
Sada vzorků po 336 hod (14 dní) v solné mlze.



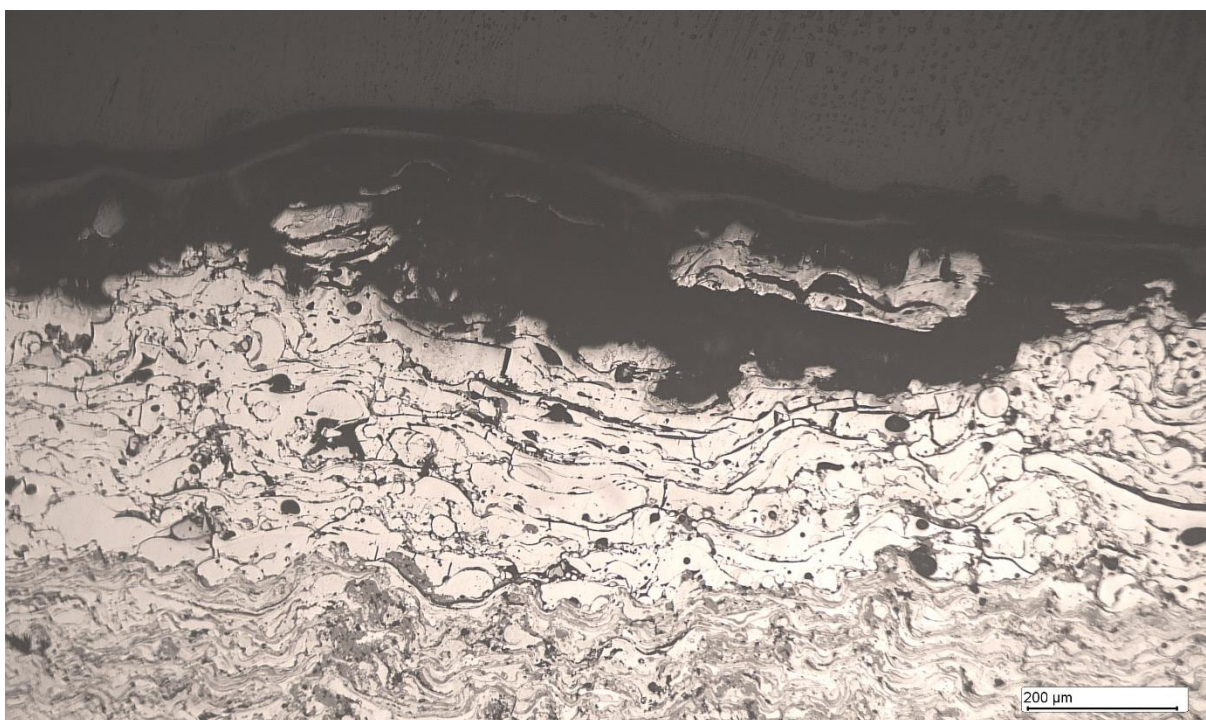
Sada vzorků po 360 hod (15 dní) v solné mlze.

Příloha 11 Snímky metalografického výbrusu horní vrstvy po zkoušce korozní odolnosti

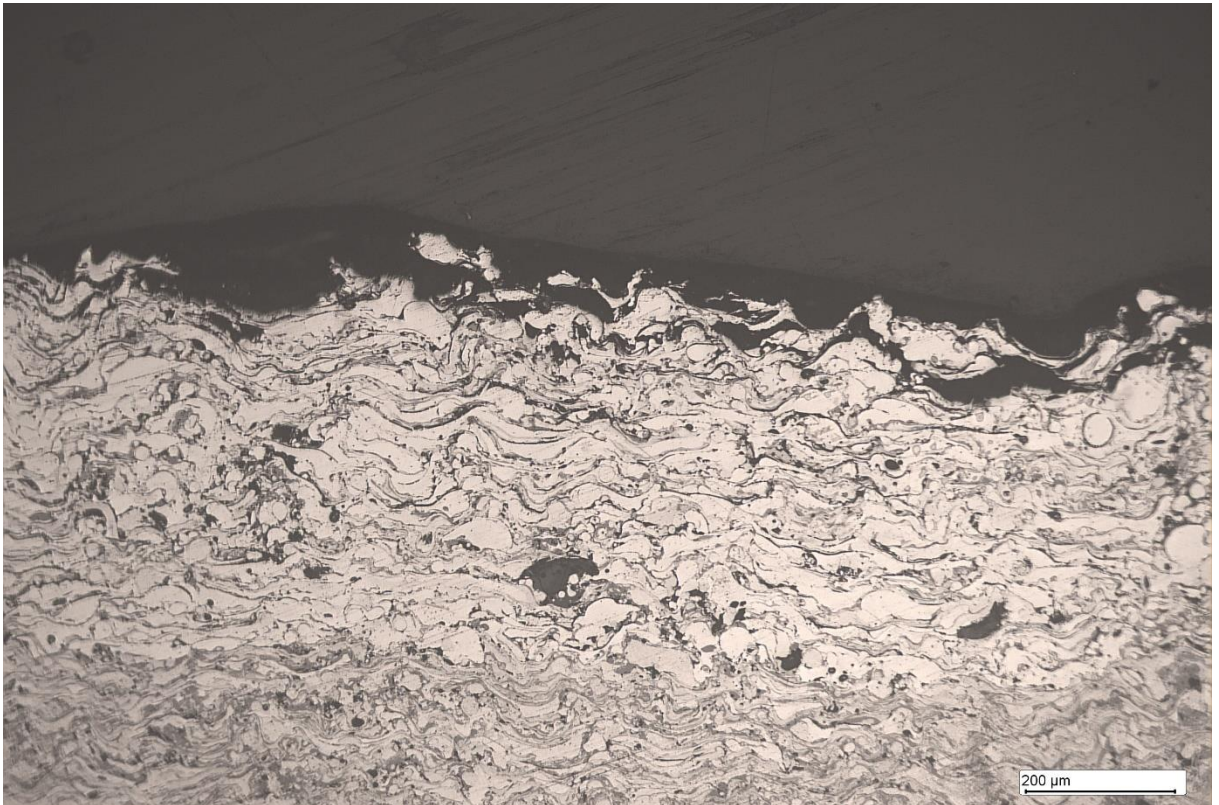
A



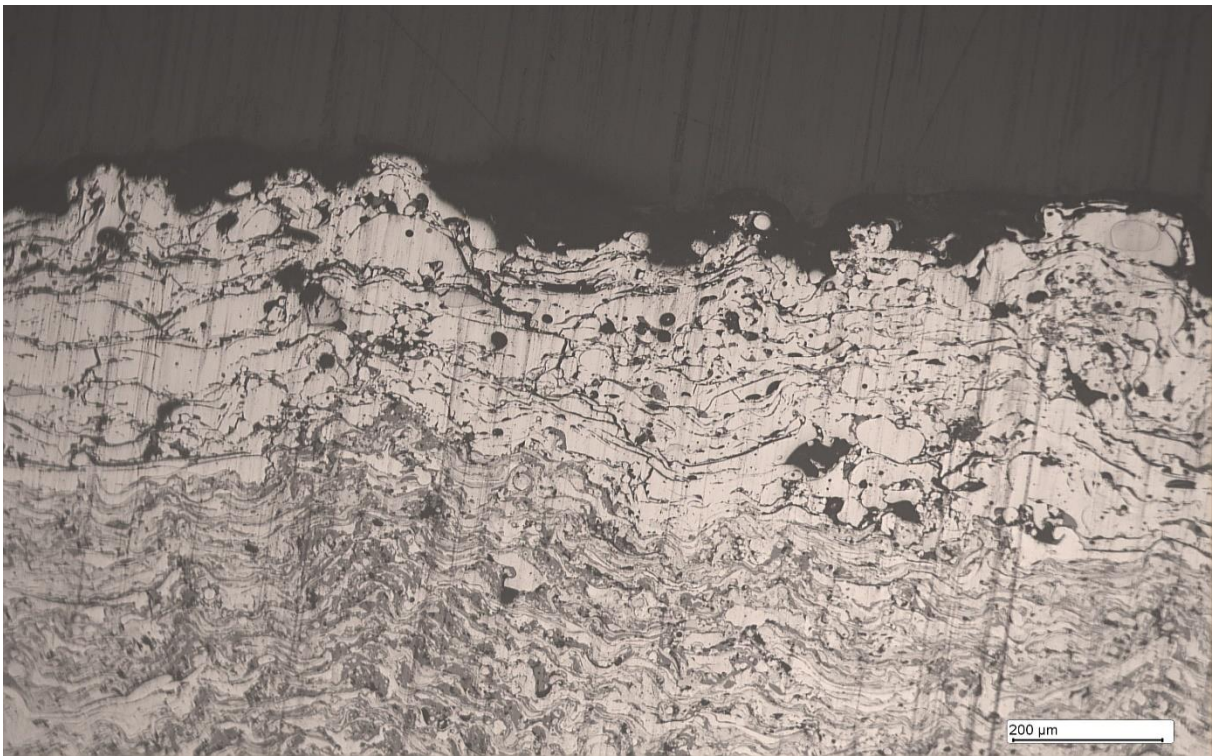
C



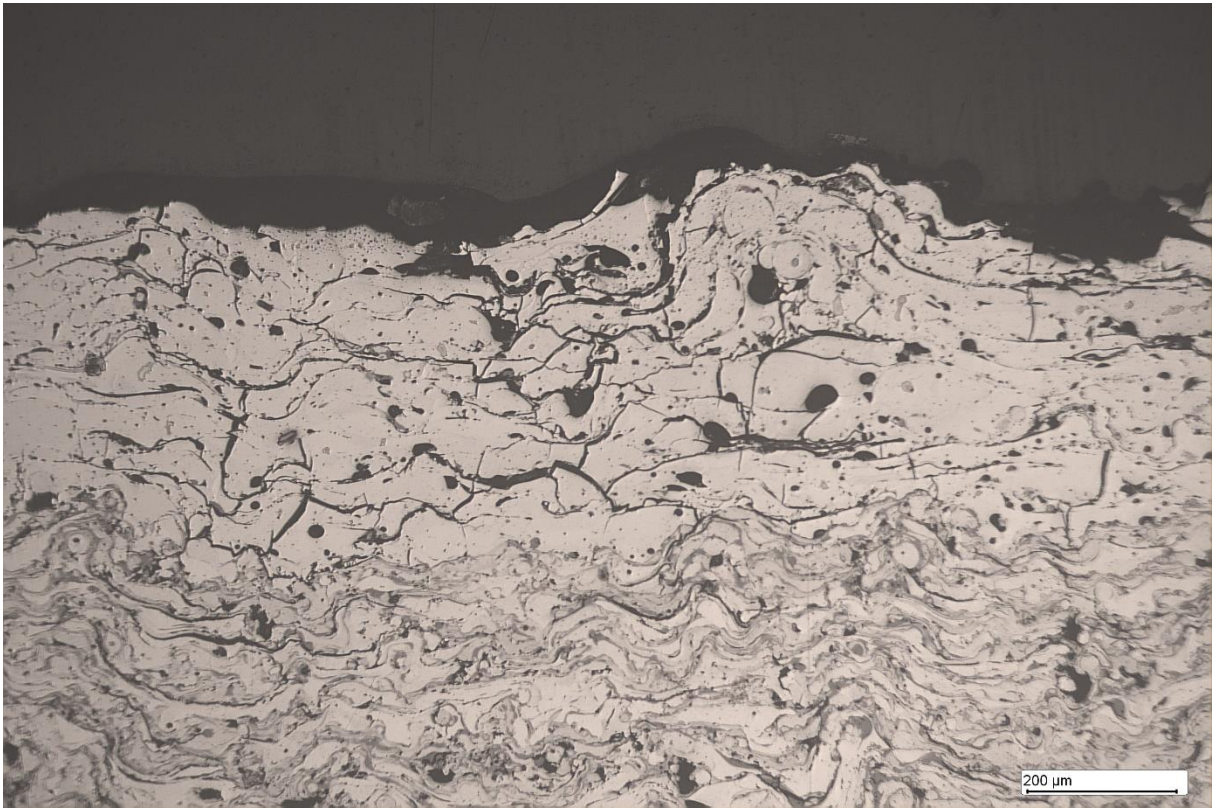
D



E

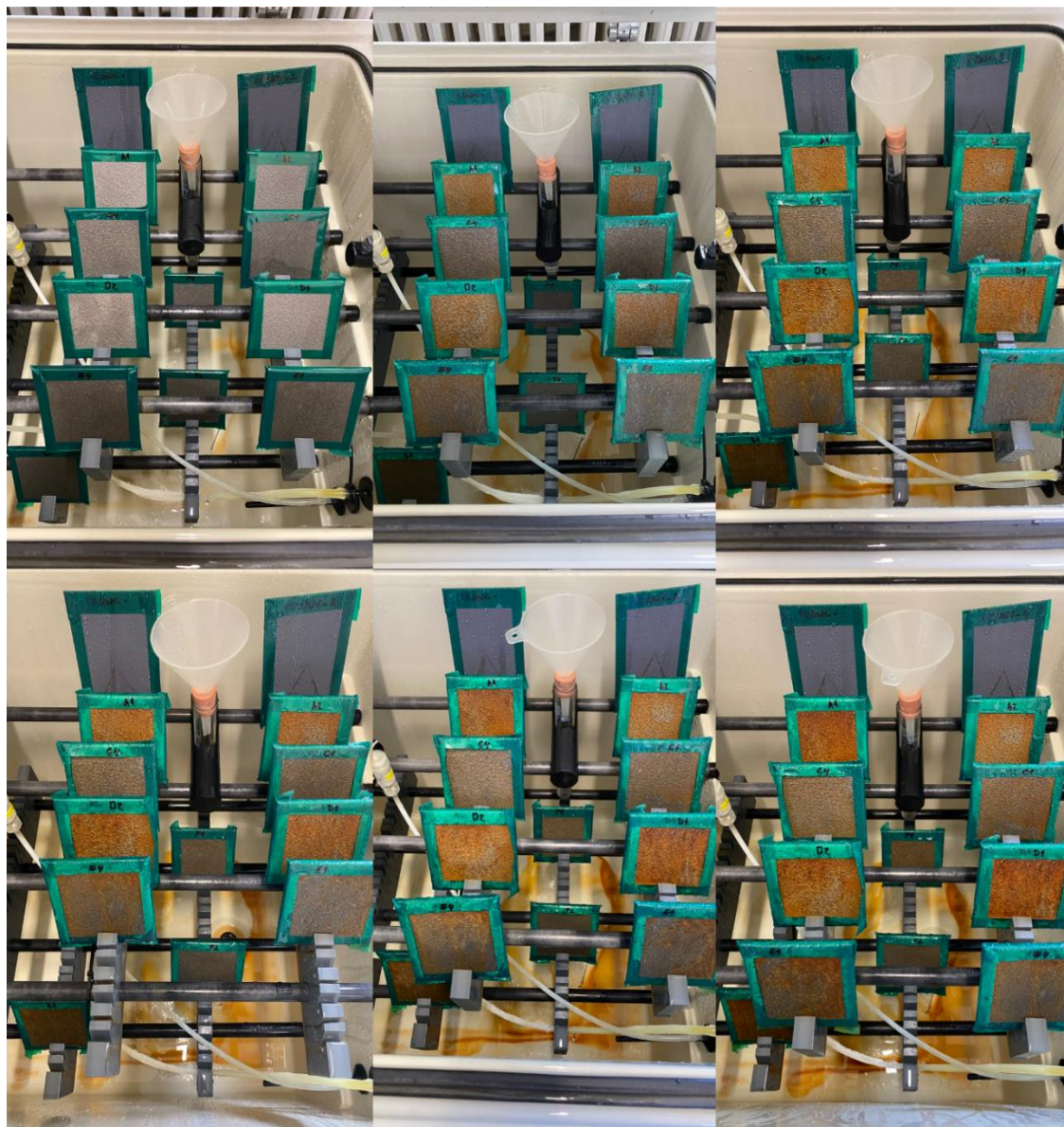


F

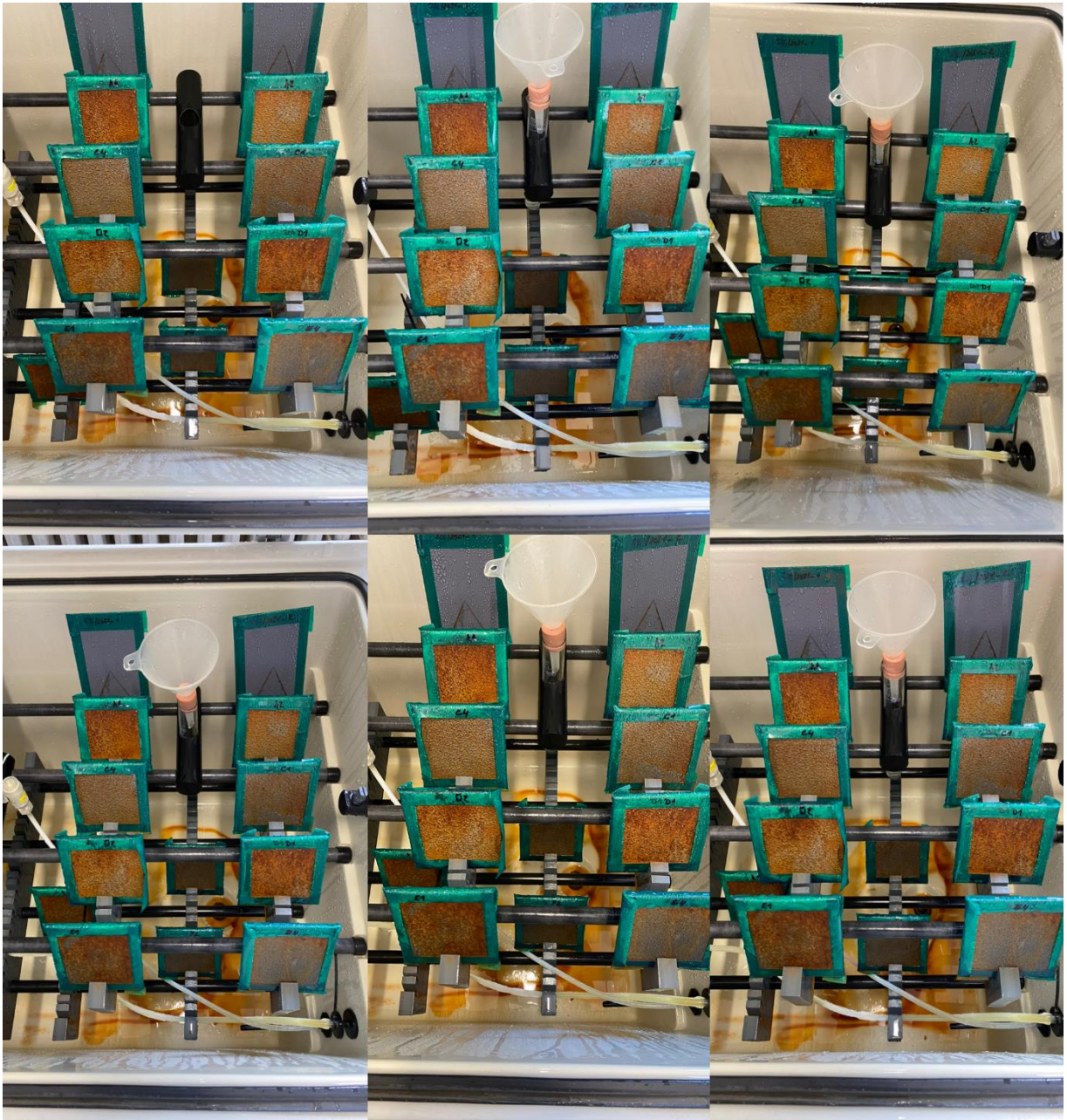


**Příloha 12 Rozložení vzorků v solné komoře a proces korozní degradace vzorků v intervalu
24 hod**

Expozice 24 hod - 144 hod zleva doprava.



Expozice 168 hod - 264 hod zleva doprava.



Expozice 288 hod - 360 hod zleva doprava

