

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**Suchánek  
Jakub**

**2020**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Suchánek** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **466643**  
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:

**Vliv předúpravy povrchu na přilnavost žárově stříkaných povlaků**

Název bakalářské práce anglicky:

**Influence of surface pretreatment on adhesion of thermally sprayed coatings**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rozbor problematiky žárového nástřiku
- 2) Vliv předúpravy na adhezi žárově stříkaných povlaků
- 3) Technicko - ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jan Kudláček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**


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

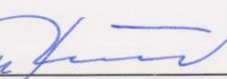
Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2020**

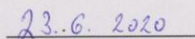
  
Ing. Jan Kudláček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

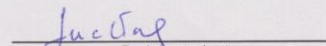
  
doc. Ing. Ladislav Kolářik, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
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.

  
23.6.2020  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu literatury a zdrojů.

Dále prohlašuji, že 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**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za vedení a odbornou pomoc s vypracováním bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval firmě S.A.F. Praha za poskytnutí prostor a zajištění hladkého průběhu experimentu.

## **Anotace**

Jméno autora: Jakub Suchánek

Název bakalářské práce: Vliv předúpravy povrchu na přílnavost žárově stříkaných povlaků

Akademický rok: 2019/2020

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Ústav: Ústav strojírenské technologie

Vedoucí BP: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

## **Abstrakt**

Teoretická část popisuje problematiku žárově stříkaných povlaků, konkrétně principy žárového stříkání, vznik vrstev, vlastnosti povlaků a materiál povlaků. Dále se teoretická část zabývá korozními ději, respektive jejich vlivy na kovové materiály, a následně předúpravou povrchu, kdy je popsán princip a účel tryskání a důležitost odmaštění povrchu. V posledním tématu teoretické části je popisováno hodnocení stavu povrchu před aplikací žárového stříkání.

Experimentální část se zabývá výsledky zkoušek vlivu předúpravy povrchu na přilnavost žárově stříkaných povlaků a následné ekonomicko-technické zhodnocení.

**Klíčová slova:** Abrazivní tryskání, odmašťování, přilnavost povrchu, Zinacor, žárový nástřík

## **Abstract**

The theoretical part describes the issue of thermal sprayed coatings, specifically the principles of thermal spraying, the formation of layers, the attributes of coatings and the material of coatings. Furthermore, the theoretical part deals with corrosion processes, or their effects on metal materials, and then surface pretreatment, which describes the principle and purpose of blasting and the importance of degreasing the surface. The last topic of the theoretical part describes the evaluation of the surface condition before the application of thermal spraying.

The experimental part deals with the results of tests of the effect of surface pretreatment on the adhesion of heat-sprayed coatings and subsequent economic and technical evaluation.

**Keywords:** Abrasive blasting, degreasing, surface adhesion, Zinacor, thermal spraying

# Obsah

1.	Úvod.....	10
2.	Koroze .....	11
2.1.	Koroze kovů .....	11
2.1.1.	Podle typu napadení .....	12
2.1.2.	Podle charakteru korozního děje .....	14
2.1.3.	Podle korozního prostředí .....	15
3.	Žárově stříkané povlaky .....	18
3.1.	Druhy metalizace .....	20
3.2.	Aplikace žárově stříkaných povlaků .....	21
3.2.1.	Pistole drátové plynové .....	21
3.2.2.	Pistole práškové plynové.....	21
3.2.3.	Pistole na roztavený kov .....	22
3.2.4.	Pistole s elektrickým tavením .....	23
3.3.	Vznik vrstvy .....	23
3.3.1.	Vznik částic .....	24
3.3.2.	Let částic .....	24
3.3.3.	Dopad částic a vznik vrstvy .....	25
3.4.	Vlastnosti.....	27
3.4.1.	Přilnavost.....	28
3.4.2.	Zbytkové napětí.....	28
3.4.3.	Tvrdost .....	29
3.4.4.	Pórovitost .....	29
3.4.5.	Odolnost proti opotřebení .....	29
3.4.6.	Odolnost proti korozi .....	30

3.5.	Materiály na žárově stříkané povlaky.....	30
3.5.1.	Zinek (Zn) .....	30
3.5.2.	Hliník (Al).....	31
3.5.3.	Zinacor .....	31
3.5.4.	Měď (Cu).....	32
3.5.5.	Mosaz .....	32
3.5.6.	Molybden (Mo) .....	32
3.6.	Hodnocení kvality žárově stříkaných povlaků .....	33
3.6.1.	Vizuální zkouška (ČSN EN 13018) .....	33
3.6.2.	Odtrhová zkouška (ČSN ISO 4624).....	33
3.6.3.	Mřížková zkouška (ČSN ISO 2409) .....	34
3.6.4.	Zkouška křížovým řezem (ČSN EN ISO 16276).....	35
3.6.5.	Měření tloušťky povlaku.....	36
4.	Předúprava žárově stříkaných povlaků .....	37
4.1.	Odmašťování .....	37
4.1.1.	Odmašťování v alkalických roztocích.....	37
4.1.2.	Odmašťování v organických rozpouštědlech.....	39
4.1.3.	Emulzní odmašťování .....	40
4.2.	Tryskání.....	40
4.2.1.	Abraziva .....	40
4.2.2.	Tryskací zařízení .....	42
4.3.	Broušení.....	45
5.	Hodnocení stavu povrchu před aplikací žárového stříkání .....	45
5.1.	Čistota povrchu.....	45
5.1.1.	Stupně zarezavění (ISO 8501-1) .....	46
5.1.2.	Stupně přípravy povrchu (ISO 8501-1).....	46
5.2.	Drsnost povrchu.....	47



6.	Experimentální část.....	48
6.1.	Příprava vzorků .....	49
6.1.1.	Předúprava povrchu .....	49
6.1.2.	Nanesení žárově stříkaného povlaku.....	52
6.2.	Zkoušky přilnavosti .....	55
6.2.1.	Odtrhová zkouška.....	55
6.2.2.	Vyhodnocení odtrhové zkoušky.....	56
6.2.3.	Mřížková zkouška .....	59
6.2.4.	Vyhodnocení mřížkové zkoušky.....	60
6.2.5.	Zkouška křížovým řezem.....	60
6.2.6.	Vyhodnocení zkoušky křížovým řezem.....	61
6.3.	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	62
7.	Závěr .....	63
	Zdroje .....	65
	Seznam obrázků .....	70
	Seznam tabulek .....	72
	Seznam grafů.....	73

# 1. Úvod

Je všeobecně známo, že nejrůznější materiály podléhají v důsledku vnějších vlivů korozi, která je ve většině považována za nežádoucí jev, proto je snahou jejímu působení co nejvíce zamezit. Existuje celá řada způsobů, jak toho dosáhnout, jednou z možností je použití žárově stříkaných povlaků.

Žárově stříkané povlaky jsou využívány k prodloužení životnosti materiálů a přispívají k lepší odolnosti proti korozi a otěru. Aby žárově stříkané povlaky správně fungovaly, je nutné, aby měly dobrou přilnavost. Přilnavost je nejvíce ovlivněna drsností povrchu. Pro docílení požadované drsnosti je nutné před nanesením žárově stříkaného povlaku základní materiál součásti podrobit předúpravě povrchu. Rozdílnou předúpravou povrchu se získají odlišné parametry povrchu. Nejpoužívanější předúprava pro metalizaci je tryskání. Různě intenzivním tryskáním lze dosáhnout rozdílných stupňů přípravy povrchu, které nejvíce ovlivňují výslednou přilnavost žárově stříkaného povlaku.

Cílem této bakalářské práce je na základě výsledků experimentu zjistit a odborně objasnit vliv předúpravy povrchu na přilnavost žárově stříkaných povlaků a popsat s tím související skutečnosti: korozní děje a jejich vliv na kovové materiály, principy žárově stříkaných povlaků, rozdělení a metody nanášení.

## 2. Koroze

Koroze jako technický pojem byla podrobněji popsána a definována až ve 30. letech 20. století. Jde o nevratný proces, který samovolně probíhá, postupného narušování a degradace materiálu chemickými a fyzikálně-chemickými vlivy. Rozrušování materiálu čistě fyzikálními vlivy se označuje jako abraze, eroze nebo opotřebení. Z definice se dá zjednodušeně vyvodit, že koroze není nic jiného než vzájemné působení materiálu s prostředím za čas, ale samozřejmě je koroze ovlivňována i dalšími vlivy. Proto se při protikorozní ochraně především dbá na tři základní faktory korozního systému: materiál, korozní prostředí a korozní rychlost. [1], [2]



Obrázek 1 - Ukázka koroze [3]

Koroze probíhá téměř na všech materiálech, jak na kovech (a slitinách kovů), tak i na nekovových materiálech (beton, guma, plasty, anorganické keramické látky, ...). Pro tuto práci je důležitá koroze na kovech a jejich slitinách, proto se budu věnovat pouze korozi kovů. [1], [2]

### 2.1. Koroze kovů

V přírodě se běžně vyskytují kovové rudy jakožto sloučeniny kovů, které jsou v rovnovážném stavu a jsou stálé. Čistě kovy v přírodě jsou pouze zlato, platina, stříbro a měď. Aby člověk získal čisté kovy z kovových rud, musí je vyrobit, přitom se spotřebuje velké množství energie. Takto vyrobené čisté kovy se nacházejí v nerovnovážném stavu a většina z těchto kovů se samovolně snaží přejít do rovnovážného stavu. Stabilní stav u většiny kovů je jejich sloučenina podobná výchozí rudě. [4]

Kovy mohou být napadeny korozivními ději, které se dají rozřadit podle:

- typu napadení – makroskopické hledisko
- charakteru korozního děje
- korozního (reakčního) prostředí. [1]

### **2.1.1. Podle typu napadení**

#### Rovnoměrná koroze

Jak už napovídá název, jedná se o rovnoměrný úbytek materiálu po celé ploše materiálu vystaveného korozi. Ojediněle se může vyskytnout lokální výraznější napadení, ale toto napadení se nebude příliš lišit od průměru celkového napadení. [1], [5]

Díky své rovnoměrnosti jde o příznivější typ napadení, protože se dá poměrně dobře stanovit rychlost úbytku materiálu. Rychlost rovnoměrné koroze se značí jako  $[g \cdot m^{-2} \cdot den]$  nebo jako  $[g \cdot m^{-2} \cdot rok]$ , přičemž se tato hodnota může časem měnit. Obecně platí, že počáteční hodnota rychlosti úbytku je mnohem větší než konečná, proto se často hodnoty úbytku za čas průměrují. Jedná se o nejrozšířenější a nejběžnější typ korozního děje. [1], [5]

#### Nerovnoměrná koroze

Korozní děje probíhají nerovnoměrně na materiálu. Obvykle se vyskytuje v případech, kdy se lokálně mění složení materiálu (například vměstky) nebo korozní prostředí (například změna fázového rozhraní). [1]

#### Důlková a bodová koroze

Bývá obvykle u pasivovaných materiálů. Vzniká v místech porušení pasivní vrstvy. V těchto místech je materiál napadán korozními ději do značné hloubky. Jediný významnější rozdíl mezi důlkovou a bodovou korozí je, že důlek má větší průměr, než je jeho hloubka. [4]

#### Mezikrystalová koroze

Vzniká tak, že korozní děje probíhají rychleji na hranách zrn materiálu než v zrnech. Když koroze z hranic krystalů přejde na krystaly samotné, vzniká transkrystalová koroze. Jedná se o velmi nebezpečné typy koroze, protože nejsou běžně vidět. Při běžných prohlídkách součást nevykazuje žádné příznaky korozního napadení, ale ve skutečnosti může být součást korozí zničena. [1]

## Podpovrchové napadení

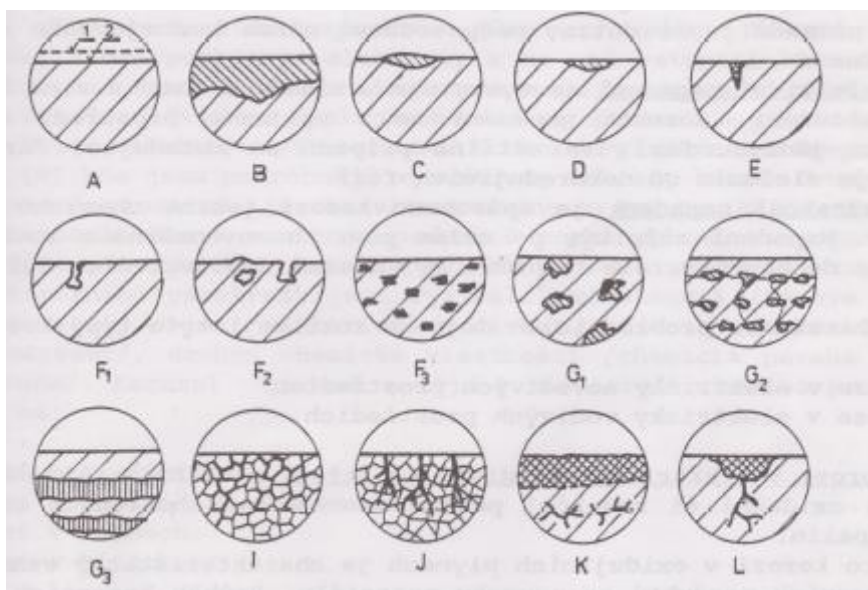
Vyznačuje se vnikem velkých korozních dutin, ale na povrchu se objevuje jen malé narušení. Mohou se dokonce tvořit tzv. podpovrchová pásma (dutin) bez zřetelného spojení s povrchem. Korozní produkty uvnitř materiálu mají přímý vliv na velikost dutin. Snadno se zjistí kolmým metalografickým výbrusem. [1]

## Selektivní napadení

Probíhá u slitin s dvou a více fázovými strukturami. Napadána korozními ději je jen jedna fáze. Ve většině případů tohoto typu koroze je důležitá chemická rozdílnost fází, kdy kvůli svému chemickému složení některá fáze koroduje. [1]

## Extrakční napadení

Koroduje jedna jediná chemická složka slitiny. Koroze může probíhat rovnoměrně po celém povrchu, ale se může také projevit vznikem důlků nebo místní (lokální) korozi. [1]



Obrázek 2 - Druhy korozního napadení: A - rovnoměrné napadení (1 původní povrch, 2 povrch po korozi); B - nerovnoměrné napadení; C - skvrnité napadení; D - důlkové napadení; E - bodové napadení; F - podpovrchové napadení; G - selektivní napadení; I - mezikrystalové napadení; J - transkrystalové napadení; K - extrakční napadení; L - korozní trhliny [1]

## 2.1.2. Podle charakteru korozního děje

Korozi lze dále dělit na:

- korozi v elektricky nevodivém prostředí
- korozi v elektricky vodivém prostředí. [1]

### Koroze v elektricky nevodivém prostředí

Nazývá se též chemická koroze. Probíhá výlučně v plynném prostředí za vyšších teplot, ale také ojediněle může probíhat v bezvodných organických kapalinách. Korozní prostředí musí mít oxidační nebo redukční vlastnosti, aby probíhala chemická koroze. Typickým příkladem mohou být parní a plynové turbíny. [1], [2], [5]

Jde o chemickou reakci mezi kovovou součástí a plynem. Reakce probíhá díky již zmíněné nestabilitě některých čistých kovů. Korozní napadení je způsobeno plyny, které vyvolávají na materiálu součásti oxidaci nebo redukci. [1]

Oxidační plynné prostředí způsobuje na povrchu součásti vznik korozních produktů (součást oxiduje). Mezi oxidační plyny patří kyslík, oxid uhličitý, oxid siřičitý atd. [1]

Redukční plyny se podílejí na korozi tak, že způsobují difuzi do kovů a reagují s nekovovými složkami v materiálu kovu. U tohoto typu koroze se na povrchu kovu netvoří korozní produkty na rozdíl od oxidačního prostředí. [1]

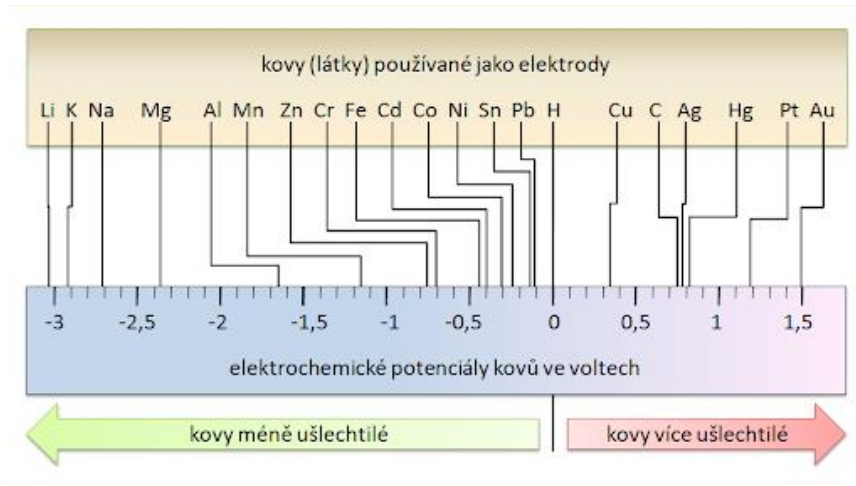
### Koroze v elektricky vodivém prostředí

Též se může tento druh koroze označovat jako fyzikálně-chemická nebo elektrochemická koroze. Tento typ koroze se probíhá jen v elektricky vodivém prostředí (elektrolytu). Jelikož elektricky vodivá prostředí jsou téměř všechna, jde o nejběžnější a nejrozšířenější typ koroze. [1], [2], [5]

Princip elektrochemické koroze spočívá v tom, že náboj (ionty a elektrony) probíhá mezi elektrolytem a elektrodou, kde je zapotřebí alespoň dvou elektrod. Přenos náboje v elektrolytu obstarávají kationty (+) a anionty (-). Aby přenos iontů probíhal, musí být v elektrolytu splněna podmínka elektroneutality. Jde o to, že počet kladných a záporných nábojů se musí rovnat. [1], [6]

Během tohoto typu korozního děje se reakce rozdělí na anodickou a na katodickou reakci. Obě reakce se uskutečňují zároveň, elektrony uvolněné anodickou reakcí jsou spotřebovány katodickou. Anodická reakce způsobuje oxidaci kovů, katodická reakce naopak redukci. Tento princip platí pro všechny kovy a jejich slitiny, pokud se nacházejí v elektricky vodivém prostředí. [1], [6]

Obecně platí, že materiál, který má nižší elektroodivný potenciál v „soustavě“ (anoda – elektrolyt – katoda), bude zastávat roli anody a naopak kov s vyšším potenciálem bude tvořit katodu. To vede k tomu, že kov s vyšším potenciálem se obvykle nerozpouští, ale kov s nižším ano. Dále platí, že kovy s kladným potenciálem se označují jako ušlechtilé kovy a kovy se záporným potenciálem jako neušlechtilé. [7]



Obrázek 3 - Beketova řada kovů (standardní rovnovážné potenciály kovů) [8]

### 2.1.3. Podle korozního prostředí

Korozní prostředí je určeno fyzikálně-chemickými vlastnostmi. Mezi fyzikální vlastnosti patří fázové složení, skupenství, objem, elektrická vodivost, hustota, viskozita a tepelná vodivost. Mezi chemické vlastnosti se řadí třeba chemická povaha látek a koncentrace. Dále je korozní prostředí děleno na:

- atmosférickou korozi,
- korozi v kapalinách,
- korozi v plynech,
- korozi v půdách. [1]

#### Atmosférická koroze

Jedná se o nejčastější formu koroze, kdy její vinou je způsobeno až 80 % ztrát (úbytek/degradace materiálu). Důvodem je, že většina plochy materiálu (kovu) nejrůznějších konstrukcí, strojů a přístrojů je vystavena atmosférické korozi. Za běžných teplot atmosférická koroze funguje stejně jako koroze kovů v elektrolytech, a to pomocí elektro-chemického mechanismu. K atmosférické korozi nedochází, když je vzduch

suchý (dochází k zanedbatelným korozním dějům), atmosférická koroze je v zásadě způsobovaná jen vlhkostí atmosféry. [1], [6]

Atmosférická koroze začne probíhat jen v případě, že se díky nadkritické vlhkosti vzduchu na povrchu materiálu součásti vytvoří dostatečně tlustý elektrolyt. To je splněno, když relativní vlhkost vzduchu dosáhne 60 – 80 % (při 20 °C). Při nižších hodnotách se korozní rychlost považuje za zanedbatelnou. Rychlost atmosférické koroze je také velmi ovlivňována přítomností plynných a rozpustných tuhých nečistot. K nejběžnějším patří SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S a mnoho dalších. [1], [6]

Agresivita atmosférické koroze se podle normy ČSN 03 8203 rozděluje do 5 stupňů:

**C1 – Velmi málo agresivní.** Jedná se o takovou atmosféru, kdy nedochází k orosení povrchu (vlhkost nedosáhne rosného bodu). Jedná se například o klimatizované vnitřní prostory.

**C2 – Málo agresivní.** Vlhkost se obvykle pohybuje pod kritickou hranicí. Jedná se nejčastěji o obývané prostory.

**C3 – Středně agresivní.** V atmosféře se nacházejí nečistoty, které ale neovlivňují závažně průběh korozního děje. Také již dochází k občasné kondenzaci. Jedná se o uzavřené, ale nevytápěné prostory.

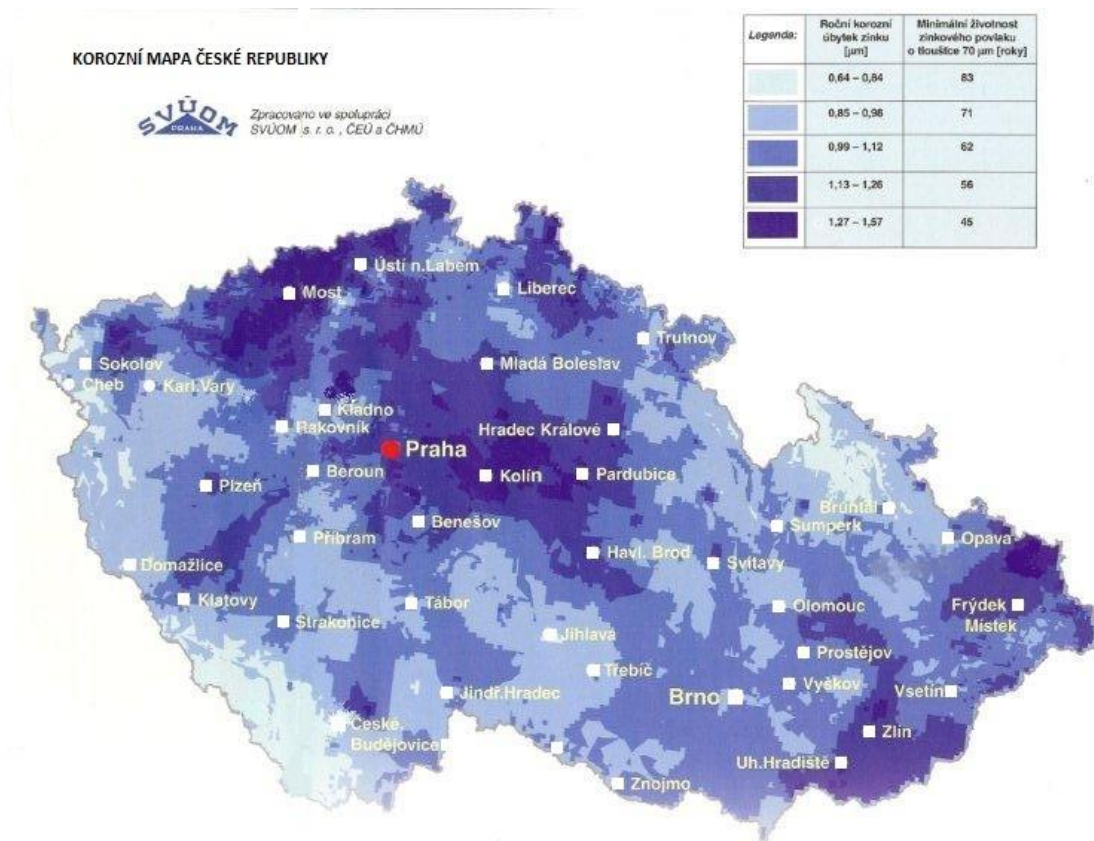
**C4 – Silně agresivní.** Jedná se o vlhkou atmosféru se srážkami, kdy mnohdy dochází ke kondenzaci. V atmosféře se vyskytují škodlivé nečistoty z průmyslových center. Jde o oblasti vnějšího subtropického pásma, lesní a vlhké horské oblasti v blízkosti průmyslových center a měst.

**C5 – Velmi silně agresivní.** Velmi vlhká atmosféra s častou kondenzací, která je navíc znečištěna látkami z průmyslových center. Vyskytuje se například v přímořských oblastech, v blízkosti průmyslových center a měst. [1]

Stupeň korozní agresivity	Rychlost koroze ( $r_{\text{corr}}$ ) kovů				
	Jednotky	Uhlíková ocel	Zinek	Měď	Hliník
C1	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ $\mu\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$	$r_{\text{corr}} \leq 10$ $r_{\text{corr}} \leq 1,3$	$r_{\text{corr}} \leq 0,7$ $r_{\text{corr}} \leq 0,1$	$r_{\text{corr}} \leq 0,9$ $r_{\text{corr}} \leq 0,1$	zanedbatelná
C2	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ $\mu\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$	$10 < r_{\text{corr}} \leq 200$ $1,3 < r_{\text{corr}} \leq 25$	$0,7 < r_{\text{corr}} \leq 5$ $0,1 < r_{\text{corr}} \leq 0,7$	$0,7 < r_{\text{corr}} \leq 5$ $0,1 < r_{\text{corr}} \leq 0,6$	$r_{\text{corr}} \leq 0,6$
C3	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ $\mu\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$	$200 < r_{\text{corr}} \leq 400$ $25 < r_{\text{corr}} \leq 50$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 15$ $0,7 < r_{\text{corr}} \leq 2,1$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 12$ $0,6 < r_{\text{corr}} \leq 1,3$	$0,6 < r_{\text{corr}} \leq 2$
C4	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ $\mu\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$	$400 < r_{\text{corr}} \leq 650$ $50 < r_{\text{corr}} \leq 80$	$15 < r_{\text{corr}} \leq 30$ $2,1 < r_{\text{corr}} \leq 4,2$	$12 < r_{\text{corr}} \leq 25$ $1,3 < r_{\text{corr}} \leq 2,8$	$2 < r_{\text{corr}} \leq 5$
C5	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ $\mu\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$	$650 < r_{\text{corr}} \leq 1500$ $80 < r_{\text{corr}} \leq 200$	$30 < r_{\text{corr}} \leq 60$ $4,2 < r_{\text{corr}} \leq 8,4$	$25 < r_{\text{corr}} \leq 50$ $2,8 < r_{\text{corr}} \leq 5,6$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 10$

Obrázek 4 - Klasifikace atmosfér podle stupně korozní agresivity ČSN EN 9223 [9]





Obrázek 5 – Korozní mapa České republiky pro zinek [10]

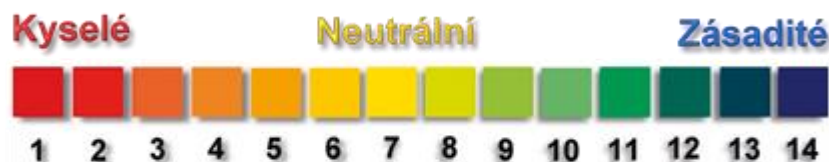
## Koroze ve vodách

Jedná se o nejběžnější korozi v kapalinách. Pokud jde o vodu jako kapalinu, která způsobuje korozi, je nutné si uvědomit, že nejde jen o chemicky čistou vodu, ale hlavně o slabě koncentrované vodné roztoky. Tyto vodné roztoky v sobě obsahují látky, které se tam dostali přírodně nebo pomocí člověka. V zásadě se dá říct, že většina látek ve vodě ovlivňuje agresivitu koroze vody. Mezi tyto látky patří kyslík ( $O_2$ ), oxid uhličitý ( $CO_2$ ) a další plyny, různé soli rozpuštěné ve vodě, organické látky a mikroorganismy, hodnota pH, teplota vody, rychlost proudění vody a obsah pevných částic ve vodě. [1], [6]

Největší vliv na korozi ve vodách má rychlost, s jakou probíhá redukce kyslíku. Proto z plynů, které se nacházejí ve vodě, je nejdůležitější kyslík. Pokud není kyslík rovnoměrně rozmístěn po povrchu součásti, vznikají lokální napadení. [6]

Dalším významným plynem, který má značný vliv na korozi ve vodě, je oxid uhličitý ( $CO_2$ ). Snižuje pH vody (neutrální pH vody je 7, nižší hodnoty – kyselost, vyšší – zásaditost). Tím se zvyšuje kyselost a díky tomu se mohou spouštět i další katodické reakce než jen redukce kyslíku. Oxid siřičitý ( $SO_2$ ) rozpuštěný ve vodě funguje podobně jako oxid uhličitý ( $CO_2$ ). [6]

Elektrickou vodivost vody nejvíce ovlivňují soli, které se v ní nacházejí. V přírodě se ve vodě soli vyskytují jen v malém množství (kromě mořské vody), proto vodivost vody je poměrně nízká. Soli (jejich množství ve vodě) také často způsobují vznik nerovnoměrné koroze. [6]



Obrázek 6 - pH hodnoty vody [11]

### Koroze v plynech

Plynné korozní prostředí reaguje s kovovým materiálem a vznikají chemické sloučeniny. Pro plynné korozní prostředí je nejdůležitějším plynem kyslík. Proces plynného korozního prostředí je dále ovlivněn teplotou a tlakem plynu. Koroze v plynech je převážně chemického charakteru, protože se jedná o elektricky nevodivé prostředí. [1]

### Koroze v půdách

V půdách je možné se setkat s tuhou fází, s plynnou fází a i s kapalnou fází. Díky tomu se koroze v půdě považuje za korozi v roztoku elektrolytu. Nejvýznamnější složkou koroze v půdě je voda, nebo spíše vlhkost v půdě. Bez ní by koroze prakticky neprobíhala. Druh půdy, činnost mikroorganismů, složení povrchových vod, teplota a atmosférické srážky jsou nejdůležitější činitelé, které ovlivňují výskyt plynů v půdním elektrolytu.

Největší problém půdní koroze je, že existuje mnoho půd s různými vlastnostmi. Aby se zabránilo dané půdní korozi, musí být provedena správná protikorozní ochrana. Tento problém se nejvíce týká dálkových rozvodů energetických medií. [1], [6]

## 3. Žárově stříkané povlaky

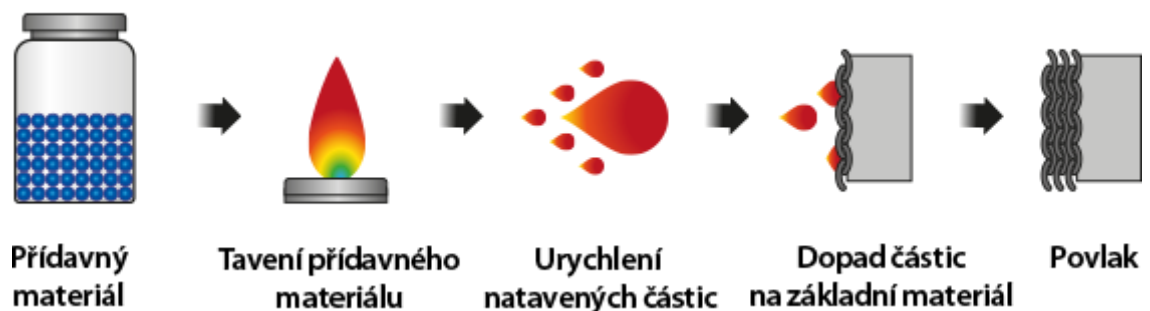
Za objevitele technologie žárového stříkání je považován švýcarský vynálezce Max Ulrich Schoop, který si jako první patentoval v Německu a ve Švýcarsku proces stříkání kovů v roce 1909. [12], [13]

Schoop si náhodou všiml, že v oblasti dopadů olovných střel byly všechny zasažené předměty pokryty vrstvou olova. Po bližším prozkoumání zjistil, že tato vrstva je tak

pevně přichycena k materiálu, že ji měl problém odtrhnout. Díky tomu se jevem začal dále zaobírat. Jeho první pokus tvořilo malé dělo naplněné kovovým prachem. I přes počáteční nezdary Schoop v experimentech pokračoval, až se nakonec dopracoval k způsobu metalizace, jak jej známe dnes. [12], [13]

V následujících letech Schoop vynalezl všechny základní typy metalizačních zařízení, mezi které patří pistole na rozstříkávání roztaveného kovu, prášková pistole nebo pistole drátové, která taví kovový drát hořením plynu nebo pomocí elektrického oblouku. [12], [13], [14]

Žárové stříkání se také nazývá metalizace nebo šopování, podle již zmíněného vynálezce Schoopa. Je to druh povrchové úpravy, kdy se nanáší jedna nebo více tenkých vrstev roztaveného nebo poloroztaveného kovu na čistý zdrsňený povrch součásti. Takto vytvořená povrchová vrstva může mít tloušťku od 0,05 mm až do několika milimetrů, záleží na použité technologii. Díky tomu součást dosáhne požadovaných vlastností, ať už třeba lepší korozní odolnosti nebo odolnosti proti oděru. Metalizace se také využívá pro renovaci součástí a při opravách vadných a poréznicích odlitků. Součást nemusí být jen z kovu, ale i z jiného nekovového materiálu jako třeba ze dřeva, skla, keramiky nebo plastu. [4], [12], [15]



Obrázek 7 – Proces žárového stříkání, dostupné z: [15]

Vazba mezi povrchovou úpravou a povrchem součásti je mechanického charakteru, protože se základový materiál a stříkaný roztavený kov mezi sebou netaví, jen se povlak ukotví na povrchu součásti. Teploty základního materiálu totiž dosahují jen teploty okolo 100° C, v ojedinělých případech až 150° C. Díky tomu nevznikají nežádoucí deformace či změny struktury materiálu. [12], [15], [51]

Materiál, na který se má nanést žárově stříkaný povlak, musí před aplikací projít čištěním a předúpravou povrchu. Přílnavost mezi žárově stříkaným povlakem a materiálem součásti je ovlivněna několika faktory:

- drsností povrchu součásti
- složením žárově stříkaného povlaku
- předúpravou povrchu součásti
- čistotou povrchu součásti
- teplotou součásti předem, během a po aplikaci žárově stříkaného povlaku
- rychlostí dopadu kapiček roztaveného povlaku na povrch součásti. [4], [12], [15], [16]

### 3.1. Druhy metalizace

Roztavený kov se nanáší na otryskanou součást pomocí speciálních pistolí, které vytvářejí dostatečné teplo, aby dodávaný materiál roztavily. Kov do pistole je dodáván ve formě drátu, prášku nebo již jako roztavený materiál. Z pistole je stříkán pomocí stlačeného vzduchu nebo plynu. Existují dva základní typy – plynová metalizace a elektrometalizace. Plynová metalizace taví kov pomocí plamene, který vzniká spalováním acetylenu či propan-butanu, a již roztavený kov je hnán ven z pistole pomocí stlačeného vzduchu. Plynová metalizace je jednodušší a má nižší pořizovací náklady, kdežto provozní náklady jsou vyšší, člověk operující s pistolí musí mít oprávnění na práci s plynovým zařízením. Elektrometalizace používá k roztavení kovu elektrický oblouk, roztavený kov je stříkán pomocí stlačeného vzduchu. Výhody elektrometalizace jsou nižší provozní náklady, snadná manipulace a není potřeba mít certifikát. Mezi elektro metalizací patří také nástřik plasmou, ale tato metoda není pro moji práci důležitá, proto ji nebudu dále rozvádět ani nebudu popisovat metalizační zařízení. [4], [12], [14], [17]

Tabulka 1 - Dosahovaná teplota zdrojů tavení, vzato z: [18]

Zdroj	Teplota [° C]
Propan, kyslík	2 640
Zemní plyn, kyslík	2 735
Vodík, kyslík	2 690
Acetylen, kyslík	3 100
Elektrický oblouk	2 200 - 8 300
Plasma	až do 20 000

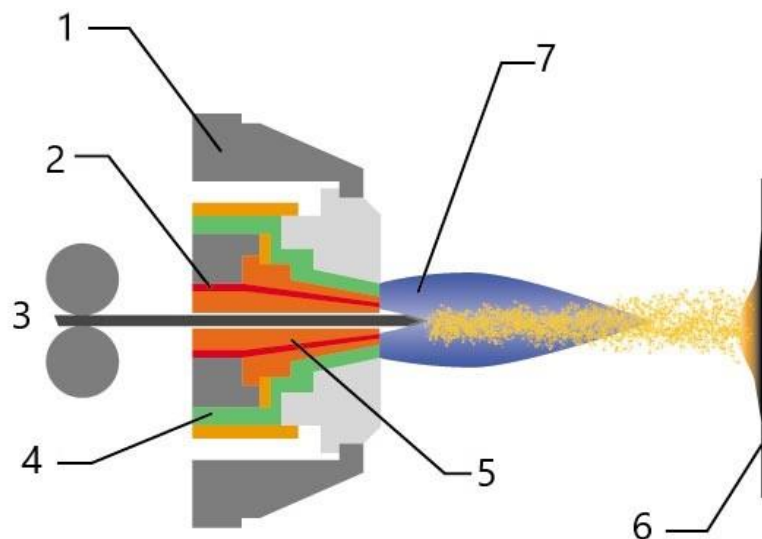
## 3.2. Aplikace žárově stříkaných povlaků

### 3.2.1. Pistole drátové plynové

Jsou převážně vyráběny pro ruční použití, ale vždy je jde upnout pomocí kloubového držáku do suportu obráběcího stroje. Pistole se skládá ze dvou částí: části hořákové a části podávací. [12]

Hořákovou část tvoří vlastní hořák a ovládacího ústrojí, do kterého vedou přívody kyslíku, stlačeného vzduchu a acetyleny (či jiného hořlavého plynu jako je propan-butan). Hořák má dvě části: směšovací komoru a rozprašovací a tavící trysky. V směšovací komoře se mísí plyny, aby se docílilo hoření, které maximalizuje efektivnost využití obou plynů (kyslíku a hořlavého plynu jako třeba acetyleny). [12], [18]

Podávací část plynule dodává drát do hořákové části. Rychlost plynulého posuvu lze měnit podle potřeby v rámci nastavení pistole. Změna rychlosti podávání drátu se nastavuje podle úměry teploty tavení kovu, protože každý materiál se taví jinak rychle. Mechanismus podávání drátu bývá složitý, a proto bývá zdrojem poruch. [12], [15], [18]



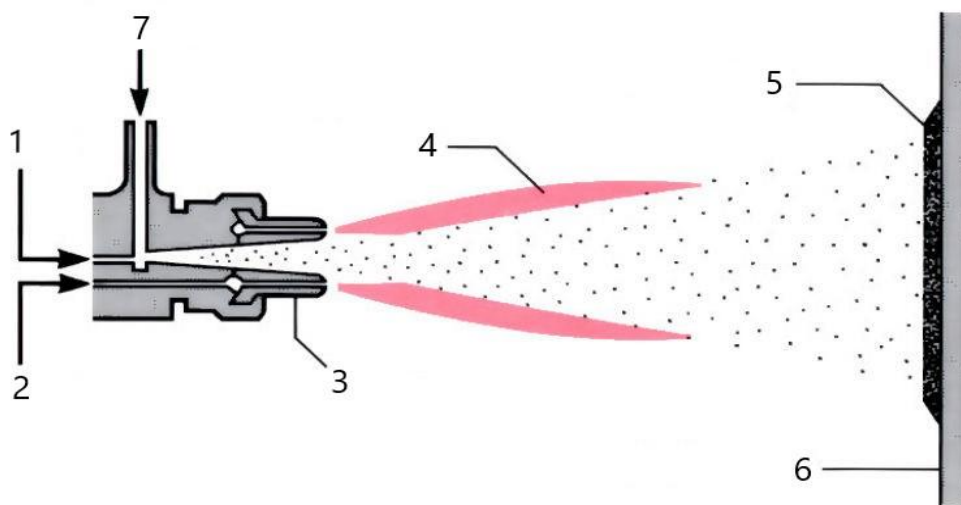
Obrázek 8 - Schéma drátové pistole: 1 - tělo pistole, 2 - plyn, 3 - drát, 4 - kyslík (stlačený vzduch), 5 - tryska, 6 - základní materiál, 7 - plamen [20]

### 3.2.2. Pistole práškové plynové

Kovový prášek je dodáván do trysky sáním injektoru. V injektoru je vytvářen podtlak, který saje kovový prášek z podavače, injektor je umístěn v ose hořáku. Podavač míchá

kovový prášek se vzduchem, poměr vzduchu a prášku je předem stanoven a celý proces probíhá neustále a plynule. [12], [15]

Pistole bývají určeny pro ruční používání. Tento typ pistole bývá obvykle jednoduchý na ovládání, při používání se minimálně opotřebovává a dosahuje vysoké bezporuchovosti. Je výkonnější než pistole drátová, ale kvůli různé velikosti kovových zrn netaví kovový prášek rovnoměrně. Může tedy docházet k přepálení kovového prášku nebo naopak se prášek nemusí dostatečně roztavit. Navíc vznikající plamen je poměrně velký a zahřívá základní materiál více než u jiných druhů pistolí. [12], [15], [18]



Obrázek 9 - Schéma práškové pistole: 1 – plyn, 2 – kyslík, 3 – tryska, 4 – plamen, 5 – nanesený povlak, 6 – základní materiál, 7 – kovový prášek [19]

### 3.2.3. Pistole na roztavený kov

Pistole se skládá ze zásobníku tekutého kovu, který zároveň zastává funkci pícky, z ohříváče vzduchu a z rozprašovací trysky. [12], [15], [18]

Do zásobníku se kov nalévá buď již v roztavené formě anebo v pevné formě jako kusy drátů a úlomků. Ke stříkání roztaveného kovu slouží proud předehřátého stlačeného vzduchu. [12], [15], [18]

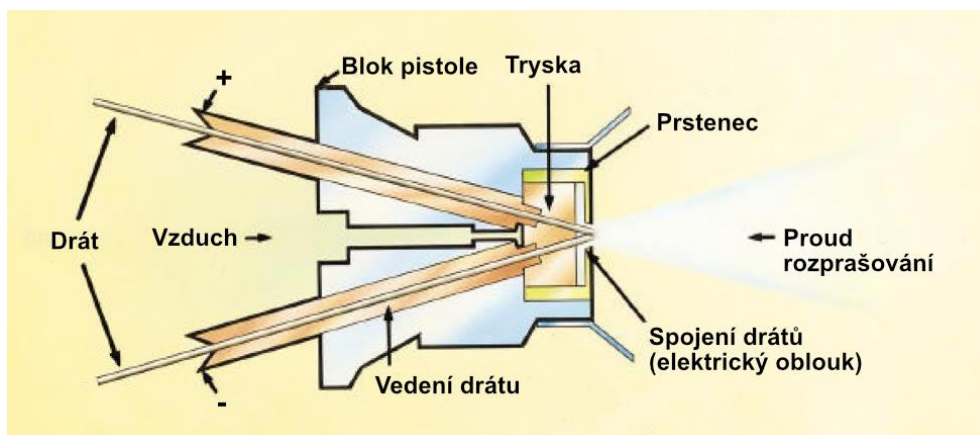
Pistole je schopna tavit jen lehkotavitelné kovy. Díky této metodě, při které nehoří žádné plyny, nedochází k tak velké oxidaci. Obvykle jsou pistole velké a těžké. [12], [15], [18], [20]

### 3.2.4. Pistole s elektrickým tavením

Elektrické tavení se v podstatě vyskytuje jen u pistole drátové. Pro tavení drátu se používá elektrický oblouk. V pistolí jsou dva od sebe izolované dráty, kdy jeden je připojen k zápornému elektrickému pólu a druhý ke kladnému. Rozdíl potenciálů, od 18 do 40 voltů, v drátech způsobuje elektrický oblouk, který taví špičky drátů. Stlačený vzduch, který působí před zónou tavení, pak rozprašuje roztavený kov. [12], [15], [18]

Pistole obsahuje baterku se stejnoměrným proudem (DC) s velikostí napětí od 18 voltů do 40. S úpravou velikosti napětí je možné regulovat vzdálenost elektrického oblouku a velikost rozprašovaných částic. Napětí by mělo být drženo na nejmenší možné hodnotě s konzistentním elektrickým obloukem, aby se docílilo hladkého a hustého povrchu. [12], [15], [18], [51]

Tato metoda žárového nástřiku má vyšší rychlost postřiku než ostatní metody. Pistole mají dlouhou životnost a hodí se pro automatizaci, protože trvale udržují předem nastavené parametry nástřiku. [12], [15], [18]



Obrázek 10 - Schéma pistole využívající elektrický oblouk [21]

### 3.3. Vznik vrstvy

Proces žárového stříkání, od roztavení materiálu pro žárově stříkaný povlak po vznik vrstvy povlaku na základním materiálu, je možné rozdělit do tří fází:

- vznik částic
- let částic (mezi pistolí a povrchem součásti)
- dopad roztavených částic, vychladnutí a vznik vrstvy povlaku na základním materiálu. [5]

### 3.3.1. Vznik částic

U každé pistole vznikají roztavené částice trochu jinak. I přesto, že vznik částic je poměrně složitý proces a má nezanedbatelný vliv na výsledný žárově stříkaný povlak a jeho vlastnosti, podrobně popisovat vznik částic u každé z metalizačních pistolí není pro tuto práci důležité a potřebné. Pro představu popíši vznik částic alespoň u drátové pistole, protože tato pistole je i v dnešní době velmi často používaná. [5], [18]

Drát je zahříván plamenem. Na utavované špičce drátu vzniká velký teplotní spád. Důležitým elementem pro rychlost tavení je kuželovitý tvar konce drátu. Čím menší je vrcholový úhel kužele na konci drátu, tím plamen musí ohřívat větší plochu a tomu je úměrná i rychlost tavení. Na špičce drátu vznikne vrstvička tekutého kovu. Tato vrstva kovu roste do doby, kdy je překonáno její povrchové napětí. Po tomto okamžiku se tekutý kov přemístí ke špičce a vytvoří „kovový pramének“. Ten se pak rozdělí na drobné částice (kapičky). Každým rozdělením vzniká až 300 částic, které dosahují velikosti od 40 po 60  $\mu\text{m}$ . Drát se neodtavuje plynule, ale v přerušovaných intervalech 1/300 až 1/3000 s. U každého kovu vzniká jiný tvar částice. [5], [18]

U kovů, které mají oxidy v tekutém stavu během rozprašování, vznikají částice kulovitěho tvaru. To je způsobeno vlivem povrchového pnutí. Kovy, pro které je charakteristická vysoká teplota tání jejich oxidů, mají tvar částice nepravidelný. Nepravidelný tvar vzniká, protože povrchové napětí částice není schopno překonat pevnost oxidového obalu. [5], [18]

Oxidy na povrchu částice ovlivňují tvorbu stříkané vrstvy na základním materiálu. Oxidace částice nejčastěji vzniká kvůli volnému v kyslíku plamenu. Dále také dochází u částic k jejich odpařování [5], [18]

Pro co nejmenší okysličení se seřizuje plamen tak, aby se v něm nenacházel přebytek kyslíku, tím se zabrání spalování tekutého kovu žárově stříkaných povlaků. Zároveň se tavení drátu musí konat na vnějším pásmu plamene, kde se nachází minimum volného kyslíku. V tomto místě plamen dosahuje největší teploty (okolo 2600° C). [5], [18]

### 3.3.2. Let částic

Při rozprašovacím procesu létají částice z metalizační pistole nepřimo úměrně ke své velikosti, menší částice se pohybují rychleji než větší. Dále platí, že rychlost proudění plynů klesá s narůstající vzdáleností a že, když se rovná rychlost částic a rychlost plynu, částice dosahují nejvyšší rychlosti. Další faktor ovlivňující rychlost částic je vzdálenost částic od osy paprsku. Částice nacházející se na okraji se pohybují pomaleji. [5], [18]



Bylo zjištěno, že plamen nejvíce ohřívá částice s malými rozměry. Pro malé částice platí, že sice letí rychleji, ale také se rychleji ochlazují a rychleji tuhnou. Proto jsou malé částice nejvíce odpařovanými částicemi. [5], [18]

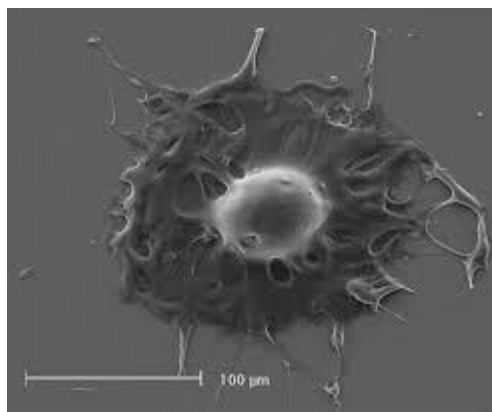
Okysličování částic se odehrává i za letu. logicky to vede k tomu, že se ztlušťuje okysličený obal s rostoucí dráhou letu. Samozřejmě, že každý kov se okysličuje jinou rychlostí. [5]

**Tabulka 2 – Let a dopad částic z různých druhů metalizačních pistolí [19]**

Typ	Rychlost částic [m/s]	Rozstřík částic [kg/h]	Forma materiálu před roztavením	Palivo
Spalování plynů	90 - 100	0,1 - 15	Kovový prach, drát	Kyslík + hořlavý plyn
Elektrický oblouk	150 - 300	1 - 50	Drát	Elektřina
Plasma	150 - 600	0,5 - 10	Kovový prach	Elektřina + inertní plyn

### 3.3.3. Dopad částic a vznik vrstvy

Na základní materiál dopadají částice roztaveného kovu. Tuhé částice v nově vzniklé vrstvě se vyskytují jen výjimečně a negativně ovlivňují vlastnosti povlaku. Roztavené částice se při dopadu deformují. Děje se tak v důsledku změny pohybové energie na teplo a přetvárnou práci. Hmotnost a velikost částic jsou hlavní dva faktory ovlivňující velikost pohybové energie. Dále každá roztavená částice má svoji deformační schopnost. Na deformační schopnost nejvíce působí tloušťka pláště oxidů, které nachází na tekuté částici. Platí, že tekutý stav pláště oxidů nijak nebrání v deformaci částice při dopadu na základní materiál. Na druhou stranu tuhý plášť má nepříznivý vliv na deformační schopnost. [5], [12], [18]



Obrázek 11 - Roztavená částice při dopadu [22]

Drsnost povrchu základního materiálu povlakované součásti je zásadní pro uchycení prvních dopadajících částic, které ovlivňují přilnavost budoucího žárového povlaku. Drsnost povrchu a jeho vliv na žárově stříkané povlaky budou více rozebrány v kapitole o předpřípravě povrchu. Částice dopadající na základní materiál vytváří tzv. šupinku (tenký lístek). V metalizované vrstvě se nachází procentuálně méně oxidů než v dopadajících částicích. To je způsobeno jejich odstříkáním při deformaci během dopadu. Deformace částic pokračuje i po dopadu na základní materiál, protože na ni působí nově dopadající částice. Celý proces deformace částice trvá přibližně jednu miliontinu sekundy. [5], [12], [18]

Částice po dopadu rychle chladnou, a tím vzniká u částice vnitřní pnutí. Tento jev může mít nepříznivý dopad na celkový výsledek jak nanesené metalizované vrstvy, tak na tvar součásti samotné. Příliš velké vnitřní pnutí u tlustší vrstvy žárově stříkaných povlaků má tendenci se odtrhávat a nadzdvíhat okraje vrstev žárově stříkaných povlaků nebo dokonce může deformovat tvar metalizované součásti (platí převážně pro součásti, které nejsou pevné). [5], [12], [18]

Tabulka 3 - Rozmezí dosahovaných hodnot u jednotlivých druhů metalizace [19]

	Materiál na povlaky	Pórovitost [%]	Úroveň oxidace	Tloušťka povlaku [mm]
Kyslík + plyn	Kovy, kompozity	5 - 15	Vysoká	0,1 - 15
El. oblouk	Kovy, kompozity	3 - 10	Střední až nízká	0,1 – 50+
Plasma	Kovy, keramika, kompozity	0,5 - 10	Střední až nízká	0,05 - 1



Obrázek 12 – Struktura povrchu: A - deformovaná částice přídavného materiálu; B - nedeformovaná částice přídavného materiálu; C - pórovitost v povlaku žárového nástřiku; D - zakotvená částice tryskacího média; E – prachová frakce materiálu povlaku; F - tvrdá fáze v povlaku žárového nástřiku; G - pórovitost na hranici mezi deformovanými částicemi; H - pórovitost na hranici povlak – podložka; I - otevřená pórovitost v povlaku; <https://www.plotybohumin.cz/povrchove-upravy-kovu/>

### 3.4. Vlastnosti

K dosažení požadovaných vlastností žárově stříkaných povlaků je nezbytné porozumět vlivům, které určují výsledek. Mezi tyto vlivy patří kinetika roztavených částic, vzdálenost stříkání od základního materiálu nebo třeba surový materiál, který bude sloužit jako povlak. To vše totiž ovlivňuje přilnavost, tvrdost, odolnost proti korozi a mnohé další vlastnosti. Tak třeba když kyslík přesáhne v roztaveném kovu 10 %, výsledné vrstvě povlaku klesá pevnost. Podrobně se této problematice budu věnovat níže v této kapitole. Další nespornou výhodou žárově stříkaných povlaků je, že jejich vlastnosti jdou velmi dobře přizpůsobit požadavkům. [5]

Vrstvy žárově stříkaných povlaků se dají rozdělit do dvou skupin:

- Tenké vrstvy, kdy hlavním účelem je vytvoření povrchové ochrany základního materiálu. Takto žárově stříkané součásti nebývají mechanicky namáhané a hlavním cílem pro žárově stříkaný povlak je vyhnouti se nadměrné pórovitosti a aby povlak měl dobrou přilnavost.
- Tlustější vrstvy bývají dodatečně opracovávány. U součástí s tlustšími vrstvami se dá předpokládat, že budou namáhány mechanicky, proto musí mít žárově stříkané povlaky větší pevnost. [5]

### 3.4.1. Přilnavost

Asi nejdůležitější vlastností žárově stříkaných povlaků je přilnavost. Docílení dobré přilnavosti je možné až už správnou předúpravou povrchu, nebo správným zdrsněním základního materiálu součásti. [5]

Největší vliv na přilnavost má zdrsnění povrchu. Roztavené částice dopadnou na „nerovný“ (zdrsněný) povrch základního materiálu, po deformaci a vychladnutí mechanicky ulpí v nerovnostech povrchu. První částice po dopadu zkopírují zdrsněný tvar základního materiálu a vytvoří tak nerovný povrch pro další vrstvy částic metalizovaného povlaku. Dále je přilnavost ovlivněna chemickými vazbami - Waalsovou vazbou a vazbami sekundárních valencí. Obecně platí, čím více vrstev v žárově stříkaném povlaku, tím horší přilnavost. [5], [18]

Pro docílení dobré přilnavosti je tedy nezbytná dostatečná čistota povrchu, správné a dostačující zdrsnění povrchu a dobře vybraný materiál povrchu vhodný na materiál součásti. [5], [18]

### 3.4.2. Zbytkové napětí

Žárově stříkané povlaky obsahují zbytkové napětí, které je výsledkem smrštění částic během chladnutí a tuhnutí. Zbytkové napětí nevzniká vnějšími silami a může způsobovat prasklinky, odlupování nebo uvolnění vrstvy povlaku. Velikost napětí záleží na koeficientu tepelné roztažnosti základového materiálu součásti. U žárově stříkaných povlaků, které mají tenkou vrstvu, obvykle nejsou problémy se zbytkovým napětím, kdežto u tlustých vrstev s velkým koeficientem teplotní roztažnosti se problém se zbytkovým napětím objevuje. Proto bylo vyvinuto několik metod, jak tomuto zabránit, nebo spíše jak zbytkové napětí v povlaku omezit. Mezi nejpoužívanější metody patří předehrtí součásti, na kterou se bude nanášet povlak, výběr takového materiálu pro povlak, který má malou smrštitost, k omezení velikosti napětí lze použít zdrsnění. [5], [18]

Tabulka 4 – Hodnoty smrštitosti u jednotlivých materiálů [5]

Materiál	Smrštivost (%)	Materiál	Smrštivost (%)
Ocel 0,1 % C	0,8	Hliník	1,2
Ocel 0,6 % C	0,6	Bronz	1,0
Ocel 0,8 % C	0,14	Zinek	0,7
Ocel 1,2 % C	0,5	Měď	0,6

### 3.4.3. Tvrdost

Tvrdost žárově stříkaných povlaků je určena makro a mikrotvrdostí. Makrotvrdost je míra odolnosti celkového povlaku k průniku a měří se buď Brinellovou nebo Rockwellovou zkouškou. Tvrdost jednotlivých částic je mikro tvrdost. Makro tvrdost není správný ukazatel tvrdosti povrchu, ale je to obecný ukazatel kvality povlaku pro daný základní materiál. Tvrdost žárově stříkaných povlaků by měla být větší než tvrdost u použitého materiálu pro povlak. Obsah uhlíku ovlivňuje tvrdost žárově stříkaných povlaků z oceli. [5], [18]

### 3.4.4. Pórovitost

Vznik pórovitosti u žárově stříkaných povlaků je důsledkem nedokonalého spojení jednotlivých částic nebo oxidů mezi sebou anebo také vlivem smrštivosti. Velikost pórů se pohybuje mezi 0,005 a 0,05 mm. U kovů, které se lehce taví, nebo u kovů, kterým se vytváří tuhé oxidové obaly, se vyskytuje větší počet drobnějších pórů, ale celkově mají menší objemovou pórovitost. Těžce tavitelné kovy (třeba ocel) to mají přesně naopak – větší objemová pórovitost, menší počet větších pórů. [5], [18]

Tabulka 5 – Pórovitost u jednotlivých materiálů [5]

Materiál	Pórovitost [%]
Cín	6
Zinek	9
Hliník	10
Měď	15
Ocel	až 20

### 3.4.5. Odolnost proti opotřebení

Jeden z hlavních důvodů pro použití žárově stříkaných povlaků na součásti je zvýšení odolnosti proti opotřebení. Součást (její povrch) se může opotřebovat během provozu několika způsoby. Mezi tyto způsoby patří eroze proudem plynu nebo nárazem pevných částic, nezamýšlené opotřebení pohybem nebo třením, opotřebení kluzem či kavitací. Žárově stříkané povlaky mají obecně lepší odolnost než původní materiál v tvářené nebo lité formě. To je připisováno výsledné struktuře povlaků, pórovitosti a obsahu oxidů. Výhodou pórovitosti je, že dokáže zachytit a zadržet zbytky, které vznikají při opotřebování. [5], [18]

### 3.4.6. Odolnost proti korozi

Dále se žárově stříkané povlaky využívají pro zajištění dobré odolnosti proti korozi. Základový materiál z oceli nebo železa značně trpí na degradaci povrchu vlivem koroze, proto u těchto základních materiálů je obzvláště důležité zajištění ochrany proti korozi. Ošetřením kovového nebo železného základního materiálu správným žárovým povlakem může prodloužit životnost základního materiálu (součásti) klidně až o 20 let. Nejčastěji se jako materiál na korozivzdorné povlaky používají austenitické nerezové oceli, slitiny na bázi zinku, hliníku, kobaltu, niklu a bronzu. Výběr konkrétního povlakového materiálu záleží zejména na dvou věcech, na vlastnostech prostředí, ve kterém se bude součást používat, a na materiálu povrchu součásti, aby nevznikaly nežádoucí chemické a elektrochemické reakce mezi povlakem a základním materiálem. Podrobněji se korozi věnuji v první kapitole této své práce. [5], [18]

## 3.5. Materiály na žárově stříkané povlaky

Abychom vybrali žárově stříkaný povlak se správnými a požadovanými vlastnostmi, musíme zohlednit především „kompatibilitu“ základního materiálu s materiálem povlaku (nesmí mezi nimi vznikat nežádoucí reakce) a také se musí zvolit takový materiál povlaku, který nejlépe splňuje požadované vlastnosti. Vlastnosti kovů pro materiál povlaků, které se nejčastěji požadují jsou:

- snadná a účinná pasivace kovu,
- stupeň chemické čistoty kovu,
- dobrá schopnost vytvářet stabilní korozní vrstvy,
- dobrá termodynamická stálost. [1]

Pro žárově stříkané povlaky se používají např. měď, molybden, mangan, mosaz, ... Nejčastěji používané jsou ale zinek (Zn), hliník (Al) a jejich slitiny (Zinacor). [1], [23]

### 3.5.1. Zinek (Zn)

Jde o středně tvrdý, křehký kov bílé barvy a namodralého lesku. Patří mezi neušlechtilé kovy. V přírodě se vyskytuje ve sloučeninách jako je sfalerit ( $ZnS$ ) nebo kalamín (uhličitan zinečnatý  $ZnCO_3$ ). V rozmezí 100 až 150° C je tvárný a při teplotě nad 200° C je křehký. Jde o dobře vodivý kov s výbornou protikorozní ochranou (elektrochemická). Skoro 50% veškeré produkce zinku je použito jako protikorozní ochrana železných kovů. Dobře odolává atmosférické korozi, protože vytváří na svém povrchu tenkou vrstvu uhličitanu zinečnatého. Jde o elektrochemicky méně ušlechtilý

kov. Zinek dokáže ocel chránit i v místech drobnějších defektů (rozsah defektů až do 2 mm). Tato vlastnost se hodí například pro stříhání tenkých plechů, protože obnažená plocha řezu díky zinku nekoroduje. Tloušťka zinkových povlaků se pohybuje od 20 do 200  $\mu\text{m}$ . Jako protikorozní ochrana se zinek se nejčastěji používá na pozinkování plechů, šroubů, drátu, klempířských výrobků, karosérií, zábradlí aj. [24], [25]

### **3.5.2. Hliník (Al)**

Lehký, pro člověka nezávadný kov stříbrošedé barvy, který velmi dobře vede teplo a elektrický proud. Je dobře tvárný za tepla i za studena a dá se svařovat skoro všemi metodami. Hliník je dodáván v tvrdé, polotvrdé a měkké formě. Je hojně využíván kvůli své nízké hmotnosti, chemické stálosti a odolnosti. V atmosféře hliník reaguje s kyslíkem a na jeho povrchu vzniká tenká vrstva oxidu hlinitého, která brání atmosférické korozi, protože tato vrstva pasivuje hliník. Vrstva oxidu hlinitého je tlustá přibližně 0,1  $\mu\text{m}$  a zhoršuje vodivost hliníku, protože jde o elektricky nevodivou sloučeninu. [25], [26]

Z veškeré produkce hliníku je více než 40 % využíváno na výrobu plechovek v potravinářském průmyslu, 24 % je spotřebováno v automobilovém průmyslu, 12 % se spotřebuje do elektrotechniky, 8 % je využíváno ve stavebnictví, po 3 % procentech se využívá v potravinářském průmyslu a v leteckém průmyslu. [25], [26]

### **3.5.3. Zinacor**

Jedná se o nejpoužívanější dvoufázovou slitinu zinku a hliníku (84 – 86 % zinku a 14 – 16 % hliníku) používanou na žárové stříkání, která má chemický vzorec  $\text{ZnAl}_{15}$ . Zinacor je slitina určená především k ochraně proti korozi, a to i ve velmi agresivním prostředí, kdy kombinuje vlastnosti zinku a hliníku. Díky zinku má povlak výtečnou elektrochemickou ochranu a hliník dodává výbornou pasivní ochranu. Navíc Zinacor dosahuje vysoké chemické a mechanické odolnosti díky hliníku. Dále bylo prokázáno, že Zinacor má více než dvojnásobnou životnost než povlak z čistého zinku. Povlak tvořený Zinacorem dosahuje tloušťky 80 – 120  $\mu\text{m}$  a dosahuje až o 40 % menší tloušťky než povlak z čistého zinku, což má vliv na spotřebu materiálu. Při aplikaci jde o tzv. studený proces. To znamená, že se základní materiál nedeformuje ani se mu nemění struktura. [27], [28], [29]

Používá se pro povlaky na ocelové konstrukce a stroje v dopravě, v zemědělství a u vodních děl. Zinacor 850 je používán při žárovém stříkání plynovou pistolí,

Zinacor 851 se využívá pro stříkání pomocí elektrického oblouku (elektrická pistole), ale vlastnosti jsou v obou případech totožné. [27], [28]

### **3.5.4. Měď (Cu)**

Měď má načervenalou až růžově hnědou barvu, má velmi dobrou tepelnou a elektrickou vodivost (druhá nejlepší z kovů hned po stříbru). Jde o měkký a tažný kov. Čistá měď v přírodě je poměrně vzácná, nejčastěji se vyskytuje ve sloučeninách, mezi které například patří sulfidy (chalkosin, chalkopyrit), kuprit, azurit nebo malachit. Další vlastnost mědi je dobrá korozní odolnost, a to i v mořské vodě a v dalších agresivních prostředích. V atmosféře reaguje se vzduchem a na povrchu vytváří vrstvu měděnky (zelený zásaditý uhličitan měďnatý), díky které dále nekoroduje (pasivace). Ale v oxidujících kyselinách se měď rozpouští. Důvodem je, že nedokáže vytěsnit kation  $H_2$ . Mechanické vlastnosti mědi klesají s rostoucí teplotou. [24], [25], [26]

Čistá měď se používá na okapy, střešní krytiny, potrubí pro rozvody technických plynů. Díky elektrické vodivosti se využívá jako vodič, díky tepelné vodivosti je využívána pro výrobu kotlů a chladičů. [24], [25], [26]

### **3.5.5. Mosaz**

Jde o slitiny mědi a zinku s dalšími kovy, v odborné literatuře se označují Ms X, kdy X znamená procentuální obsah mědi. Mosazi jsou dobře svařitelné a pájitelné, dále jsou dobře zpracovatelné tvářením a sléváním. Pevnost slitiny je dána obsahem zinku.

U mosazi dochází k tzv. odzinkování, což je typ selektivní koroze. Znamená to, že z mosazi (lokálně nebo celkově) začne mizet zinek a vede to ke vzniku houbovitě struktury mědi (stává se křehkou). Na odzinkování jsou náchylné především mosazi s obsahem zinku více než 15 %. Odzinkování vzniká v provzdušněných vodách s obsahem oxidu uhličitého, při malém nebo žádném proudění. Ochrana před tímto jevem je použití mosazi s menším procentem zinku než je 15 %, použití legované mosazi nebo zrychlení proudění vody. [25]

### **3.5.6. Molybden (Mo)**

Jde o stříbřitě bílý houževnatý kov s vysokou teplotou tavení ( $2\,625 \pm 50^\circ C$ ). Jde o teplotně stálý kov (téměř nemění objem), který je chemicky odolný v atmosféře (nepodléhá oxidaci) a ve vodě se nerozpouští. Je dobře tvárný za studena. Používá se jako legující prvek v ocelářství. [1], [25]



## 3.6. Hodnocení kvality žárově stříkaných povlaků

Cílem povrchových úprav (sem spadají i žárově stříkané povlaky) je úprava nebo změna vlastností součásti, aby součást vydržela co nejdéle v „provozu“. Aby se tak stalo, musí být povrchové úpravy aplikovány správně a kvalitně. Proto byly vyvinuty nejrůznější zkoušky, díky kterým je možné zjistit potřebné informace (zhodnotit mechanické vlastnosti). Zkoušek pro metalizované povlaky je celá řada. V této práci jsou rozebrány jen ty, které byly využity během experimentu.

### 3.6.1. Vizualní zkouška (ČSN EN 13018)

Jde o nejjednodušší a nejstarší nedestruktivní metodu. Touto metodou se zjišťují zjevně viditelné povrchové vady. Tato zkouška by se měla uskutečnit jako úplně první ze všech. Pro řádný výsledek zkoušky je nutné, aby ji vyhodnocoval pracovník se znalostmi konkrétní problematiky. Zkoušku lze dělit na kontrolu přímou a nepřímou nebo na kontrolu místní a všeobecnou. [30], [31]

- **Vizualní zkouška přímá** – jedná se o kontrolu, kterou lze vyhodnotit pouhým okem, nebo optickými přístroji (boroskop, fibroskop, ...). U těchto optických přístrojů nesmí být přerušena optická dráha, aby se jednalo o zkoušku přímou.
- **Vizualní zkouška nepřímá** – je taková, kdy se kontrolují „pro oko“ nepřístupné povrchy. Pracovník musí použít přístroje s přerušenu optickou dráhou (kamery, ohebné digitální endoskopy ...). [30], [31]
- **Vizualní kontrola místní** – kontrola probíhá na malých úsecích (např. kontrola svaru, návaru, části povrchů součástí).
- **Vizualní kontrola všeobecná** – kontrolují se celky jako třeba rotory turbín, ocelové konstrukce, potrubí apod. [31]

### 3.6.2. Odtrhová zkouška (ČSN ISO 4624)

Jedná se o metodu, pomocí které se zjistí přilnavost dvou a více vrstev, ale zároveň zkouší kvalitu podkladu (kvalitu povrchové předúpravy). Vyhodnocuje se napětí potřebné pro přetržení vazby mezi povlakem a základním materiálem. Napětí je kolmé k ploše povlaku. [32], [33]

Na povlak se nalepí lepidlem panenka (zkušební tělísko). Vhodné lepidlo (musí mít větší přilnavost, než má povlak) se nechá potřebnou dobu vytvrdit. K panence se připevní

testovací zařízení a zvyšuje se napětí, dokud nedojde k odtržení. Vzniknout může adhezní lom (odtržení mezi jednotlivými vrstvami), kohezní lom (odtržení v jediné vrstvě) nebo jejich kombinace. [32], [33]

**Tabulka 6 - Hodnotící tabulka [34]**

A	Kohezní lom v podkladu
A/B	Adhezní lom mezi podkladem a první vrstvou
B	Kohezní lom první vrstvy
B/C	Adhezní lom mezi první a druhou vrstvou
-	Kohezní lom poslední vrstvy
-/Y	Adhezní lom mezi poslední vrstvou a lepidlem
Y	Kohezní lom v lepidle
Y/Z	Adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním tělískem (panenkou)

### 3.6.3. Mřížková zkouška (ČSN ISO 2409)

Jde o další metodu hodnotící přilnavost povrchu. Mřížková zkouška je nenáročná, a proto se může provádět jak v laboratořích, tak v praxi. Výsledek zkoušky může být buď „vyhověl/nevyhověl“, nebo lze testované vzorky rozřadit do šesti skupin (obrázek 13).

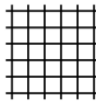
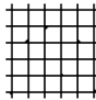
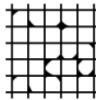
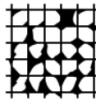
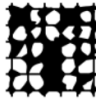
Do testovacího vzorku se vyřeže 6 horizontálních a 6 vertikálních řezů tak, aby vznikla křivka. Důležité je, aby řezy byly na sebe kolmé a aby se řezný nástroj prořezal skrz povlak až na základní materiál. Vzdálenost mezi jednotlivými řezy se vždy odvíjí od tloušťky povlaku:

- tloušťka do 60 $\mu$ m – vzdálenost řezů 1 mm pro tvrdé povlaky, 2 mm pro měkké,
- 61 – 120  $\mu$ m – vzdálenost řezů 2 mm,
- 121 – 250  $\mu$ m – vzdálenost 3 mm. [33]

Pro tlustější povlaky už není zaručeno správné proříznutí povlaku. Po vyřezání mřížky se musí odstranit uvolněné částice povlaku. Způsoby, jak odstranit uvolněné částice, jsou tři (podle normy ČSN EN ISO 2409: 2013):

- štětec – vzorek se otre měkkým štětcem (podél úhlopříček),
- stlačený vzduch nebo dusík – vzorek se ofoukne,
- lepicí páska – páska se přilepí na mřížku, uhladí se po celé ploše, po 5 minutách by se měla páska odstranit pod úhlem cca 60°.

Následuje vyhodnocení. [33]

Klasifikace	Popis	Vzhled
0	Řezy zcela hladké, žádný čtverec není poškozen	
1	Nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží. Poškozená plocha nesmí přesahovat 5%	
2	Nátěr nepatrně poškozen podél řezů a při jejich křížení. Povrch mřížky smí být poškozen z více než 5% a méně než 15% celkové plochy	
3	Nátěr je částečně poškozen v rozích řezů, podél řezných hran částečně, nebo celý, na různých místech mřížky. Poškození mřížky je větší než 15% a menší než 35%	
4	Na nátěru velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny. Plocha mřížky je poškozena z více jak 35% ale méně než 65%	
5	Změny, které jsou větší než u stupně 4	

**Obrázek 13 - Hodnotící tabulka [34]**

### 3.6.4. Zkouška křížovým řezem (ČSN EN ISO 16276)

Jedná se o další zkoušku přilnavosti povrchu, která je podobná mřížkové metodě. Provádí se tak, že se do zkušebního vzorku provede křížový řez (30 – 40°). Řez by měl být vytvořen plynulým rovnoměrným tahem řezného nástroje. Výhodou této metody je, že lze zkoušet povlaky o tloušťce přesahující 250 μm. Po provedení křížového řezu se lepící páskou nebo měkkým štětcem odstraní uvolněné částice povlaku a přejde se na hodnocení přilnavosti v okolí řezů a v jejich protnutích. [33], [35]

Klasifikace	Popis	Vzhled
5A	Žádný odlup	
4A	Nepatrný odlup podél řezů	
3A	Odlup podél řezu, v ploše max. do vzdálenosti 1,6 mm od křížení řezů	
2A	Odlup podél řezu, v ploše max. do vzdálenosti 3,2 mm od křížení řezů	
1A	Odstranění povlaku z většiny plochy mezi řezy	
0A	Odstranění povlaku i mimo plochu křížového řezu	

Obrázek 14 - Hodnotící tabulka [34]

### 3.6.5. Měření tloušťky povlaku

Tloušťka žárově stříkaného povlaku ovlivňuje jeho životnost a korozní odolnost. Výsledek měření je dán několika faktory: materiálem povlaku, typem základního materiálu a tloušťkou povlaku. Také typ materiálu je důležitý pro výběr správné metody. Pro měření tloušťky povlaku existuje celá řada destruktivních a nedestruktivních metod. Proto bude níže popsána jen metoda využitá při experimentu. [36], [37], [38]

#### Magneticko-indukční metoda (ČSN ISO 2178)

Jde o nedestruktivní metodu pro měření tloušťky vrstev z nemagnetických materiálů na magnetickém podkladu (třeba ocel). Zařízení obsahuje měřící sondu s feromagnetickým jádrem a s budícím vinutím, které je napájené střídavým elektrickým proudem. Kolem sondy vzniká nízkofrekvenční střídavé elektromagnetické pole o 60 až 400 Hz. Elektromagnetické pole se stává silnější, čím blíže je sonda magnetickému materiálu. Druhá (snímací) cívka je schopna zesílení pole naměřit. Výsledek odpovídá vzdálenosti sondy od magnetického povrchu. [36], [37], [38]

## 4. Předúprava žárově stříkaných povlaků

Předpříprava povrchu je kritický krok pro žárově stříkané povlaky. Kvalita provedení předúpravy povrchu ovlivňuje budoucí přilnavost žárového nástřiku, jeho životnost, a dokonce i čistotu. Předúprava povrchu se dělí na:

- chemické úpravy povrchu,
- mechanické úpravy povrchu.

Chemická úprava povrchu zahrnuje v sobě odstraňování nečistot z povrchů. Mezi chemické úpravy se řadí odmašťování, moření a další chemické povrchové úpravy.

Mechanická úprava povrchu zahrnuje skupinu operací, které mají očistit povrch od nečistot, zajistit podmínky pro dostatečnou přilnavost, vytvořit podmínky pro zlepšení korozní odolnosti, vytvořit povrch odpovídající vzhledovým požadavkům a zlepšit mechanické vlastnosti povrchu. Patří sem např. broušení, kartáčování, omílání, tryskání. Volba správné předpřípravy povrchu závisí na materiálu stříkaného povlaku a na materiálu součásti. [1], [39]

### 4.1. Odmašťování

Jedná se o první operaci, která se provádí. Veškeré nečistoty ulpěné na povrchu, mastnota, prach, kovové třísky a další přidružené nežádoucí látky přichycené na povrchu by se měly odstranit během odmašťování. Odmašťování se dále může dělit na:

- odmašťování v alkalických roztocích,
- odmašťování v organických rozpouštědlech,
- emulzní odmašťování. [1], [5], [39]

#### 4.1.1. Odmašťování v alkalických roztocích

Odmašťovací roztok odstraňuje z povrchu kovu nečistoty (kovový prach, zbytky brousících past, ...) a mastnoty (minerální, rostlinné a živočišné) ve dvou fázích. Za první fázi se považuje tzv. ztenčování vrstvy mastnoty na povrchu. Během této fáze se z uvolněné vrstvy mastnoty tvoří kapky, které jsou slabě vázané na povrch zbylé vrstvy. Kapky se uvolní a rozptýlí do alkalického roztoku pohybem součásti nebo pohybem roztoku samotného. Proces první fáze probíhá do okamžiku, kdy na povrchu součásti zůstane jen monomolekulární film mastnoty. [1], [39]

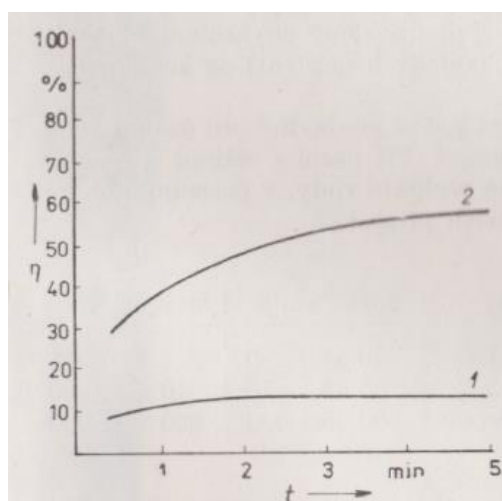
Během druhé fáze roztok rozpustí i zbývající monomolekulární film. Roztok překonává adhezní síly mastnoty tím, že proniká až na kovový povrch a postupně

vytlačuje částice mastnoty. Zároveň složení roztoku brání opětovnému uchycení mastnoty a nečistot na povrchu. Proces rozpouštění ve vodě nerozpustných látek (mastnoty a nečistoty) v roztocích je označován jako solubilizace. Po skončení odmašťování se musí součást opláchnout vodou (nejlépe teplou). [1], [39]

Obecně platí, že alkalické odmašťovací roztoky by měly mít vlastnosti jako dobrou smáčivost povrchu kovu, schopnost emulgovat mastné látky, schopnost rozptylovat anorganické nečistoty a zmýdelňovat některé druhy mastnot. Existuje několik základních způsobů odmašťování: ponor, postřik, elektrolyza, ultrazvuk. [1], [39]

### Ponorové odmašťování

Jde o poměrně málo účinný proces odmašťování, ale účinnost procesu lze zvýšit mícháním nebo zvýšením teploty lázně. Základní materiál a stupeň znečištění ovlivňuje použití druhu odmašťovacího přípravku, jeho koncentraci, pracovní podmínky, dobu čištění a teplotu. [39]



Obrázek 15 - Průběh ponorového odmašťování, 1 - bez pohybu lázně, 2 - s pohybem lázně [39]

### Odmašťování postřikem

Jde o účinnější metodu, než je odmašťování ponorem. Je to dáno tím, že mechanické působení proudu kapaliny (odmašťovadla) má vyšší účinnost než samotné chemické působení roztoku (roztok je v klidu). Na proces odmašťování postřikem má největší vliv teplota roztoku a tlak kapaliny. Platí, že čím je vyšší teplota a tlak, tím se proces zrychluje a zároveň se zvyšuje i účinnost odmaštění. Volba roztoku, nastavený tlak a teplota se nastavuje podle materiálu součástí. [1], [39]

## Odmašťování ultrazvukem

Princip této metody je, že se do lázně pouští ultrazvukové vlnění o frekvenci nad 20 kHz. Vlnění způsobuje zhuštění a zředění roztoku (podtlakové a tlakové vlny), kdy vznikají velké rozdíly tlaku, řádově  $10^8$  Pa. Během podtlaku vznikají parní bubliny, které při tlaku zanikají. Tyto procesy vedou ke vzniku kavitace. Ta se vyznačuje intenzivními údery mikroskopických částic na povrch součásti. Také díky těmto dějům se zvedá účinnost roztoku (mechanický účinek) na povrch kovu. [1], [39]

Tato metoda má velkou účinnost i v těžko přístupných místech a v otvorech s malými průměry. [1], [39]

## Elektrolytické odmašťování

Jde o formu ponorového odmašťování za pomoci elektrického proudu. V lázni vznikají bubliny kyslíku a vodíku, které zvyšují mechanický účinek na povrch čistěného kovu. Z čistících operací by měla být jako poslední. [1], [39]

### **4.1.2. Odmašťování v organických rozpouštědlech**

Organická rozpouštědla se používají hlavně pro odmašťování středně a silně znečištěných kovových povrchů. Princip odmašťování spočívá ve fyzikálním rozpouštění mastnoty v rozpouštědle. Účinnost rozpouštědla je dána jeho přístupem k povrchu kovu. Rozpustnost mastnot je nejvyšší při bodu varu, s klesající teplotou se rozpustnost snižuje. [1], [39]

Jde o velmi jednoduchý způsob odmašťování. Velkou nevýhodou organických rozpouštědel je, že jejich likvidace (po použití) je značně obtížná. Dnes je používáno jen pár organických rozpouštědel. Pro hrubé odmaštění je využíván petrolej nebo nafta. A po použití petroleje nebo nafty je potřeba dočistit povrch jinými způsoby (povrch zůstává lehce mastný). Dále je rozšířeným rozpouštědlem benzín, jehož velkou nevýhodou je hořlavost. Čištění naftou, petrolejem nebo benzínem se využívá zpravidla jen při ručním čištění. V provozu se využívají v současné době jen nehořlavá rozpouštědla (kvůli bezpečnosti). Mezi nepoužívanější patří trichlorethylen ( $\text{CHCl.CCl}_2$ ) a perchlorethylen ( $\text{CCl}_2$ ,  $\text{CCl}_2$ ) Jinak se při čištění a odmašťování v organických rozpouštědlech využívají stejné metody jako u alkalických vodných prostředků, tedy postřik, ultrazvuk, páry a ponor. [1], [5], [39]

### **4.1.3. Emulzní odmašťování**

Jde o odmašťování pomocí emulze, kdy emulze se skládá z organického rozpouštědla a z emulgátorů. Mastnota je rozpouštěna organickým rozpouštědlem, přičemž k lepšímu průběhu odmašťování se používají emulgátor.

Jde o velmi účinnou metodu, která dobře odmašťuje i za normální (pracovní) teploty. Velkou nevýhodou je toxicita některých emulzí a jejich případná likvidace. [1], [39]

## **4.2. Tryskání**

Jde o mechanickou úpravu povrchu a zároveň jde o velmi účinnou a hojně používanou metodu. Proces se používá buď k čištění povrchu nebo jako předpříprava povrchu k žárovému stříkání, k nanesení nátěrových hmot jiných povlaků. Při procesu je z povrchu odstraněna rez, okuje, staré nátěry a další nečistoty, ale taky se zlepšují mechanické vlastnosti povrchu. [1], [39]

Princip spočívá v tom, že na povrch je vrhán tryskací prostředek (abrazivum), kdy závisí na kinetické energii, tvaru, tvrdosti a materiálu abraziva. Dopadající abraziva odstraňují nežádoucí nečistoty a zároveň zpevňují povrch součásti a povrch získává určitou drsnost. [1], [39]

### **4.2.1. Abraziva**

Jde o sypký materiál různého tvaru, který může být kovového i nekovového druhu. Abraziva mají nejčastěji ostrá, nebo tupá zrna. Ostrohranná zrna (drtě) se při dopadu „zasekávají“ do povrchu, tím odstraňují rez a jiné nečistoty. Na povrchu se vytváří určitá drsnost (závisí na tvaru zrna a úhlu dopadu). Oblá zrna (granulát) neubírají materiál z povrchu a díky „otloukání“ zrn o povrch se součást očistí, dále se zpevní povrch. [1], [39], [40]

### **Druhy abraziva**

Zvolení abraziva má velký dopad na výsledné vlastnosti povrchu a taky ovlivňuje plošný výkon tryskání. Volba správného tryskacího prostředku ovlivňuje životnost tryskacího zařízení. Druhů tryskacích prostředků je mnoho, ať už kovových nebo nekovových, proto uvedu jen ty nejvýznamnější. [40]



## Ocelový granulát

Zrna jsou kulatá. Ocelový granulát se vyrábí ze zušlechtěné oceli (tvrdość 46-53 HRC). Vykazuje dobrou odrazovou pružnost a odolnost proti rázům, otěru a únavě. Vhodný pro tryskací zařízení s metacími koly. [40]

Tabulka 7 - Orientační chemické složení ocelového granulátu, všechny hodnoty v tabulce jsou v % [40]

	Uhlík (C)	Mangan (Mn)	Křemík (Si)	Fosfor (P)	Síra (S)
Ocelový granulát	0,75 - 1,20	0,60 – 1,10	0,60 – 1,10	Max 0,04	Max 0,04

## Ocelová drť

Ocelová drť je tvořena z ostrohranných zrn. Výroba probíhá tak, že se ocelový granulát rozdrtí. Tudíž ocelová drť má stejné chemické složení jako granulát. Používá se hlavně k čištění. Nejčastějším tryskacím zařízením používající ocelovou drť je pneumatický tryskač. Tryskací zařízení s metacími koly jsou nevhodná kvůli velkému abrazivnímu opotřebení metací jednotky. [40]

## Sekaný drát

Jde o kovový tryskací prostředek, který má vlastnostmi mezi ocelovým granulátem a drtí. I když se jedná o ostrohranné abrazivo, je převážně využíváno v tryskacích s metacími koly, protože po několika průchodech tryskačem se ostré hrany zaoblí. Tudíž části tryskacího zařízení nejsou tolik opotřebovávány. Dnes se sekaný drát prodává ve třech modifikacích tvaru zakulacení. Tvrdość drátu záleží na materiálu, ocelový drát (nizkouhliková ocel) má tvrdość 344 – 366 HV1, tvrdość nerezového drátu bývá průměrně označována jako 438 HV a u speciálních tvrdých drátů může tvrdość dosáhnout i rozmezí 450 – 830 HV1. [40]

Tabulka 8 – Orientační chemické složení sekaného drátu, veškeré hodnoty v tabulce jsou v % [40]

Druh drátu	Uhlík (C)	Mangan (Mn)	Křemík (Si)	Chrom (Cr)	Nikl (Ni)	Fosfor (P)	Síra (S)
Ocelový	0,07-0,09	1,40-1,55	0,80-0,95	-	-	0,02	0,02
Nerezový	0,01	1,8	0,8	20	10	0,015	0,015

## **Umělý korund**

Jedná se o nekovový tryskací prostředek. Většina kovových výrobků bývá čištěna korundem. Korund se dále používá pro odstraňování otřepů u ušlechtilých ocelí, pro předúpravu povrchu pro žárově stříkané povlaky. Využití korundu je samozřejmě mnohem širší, využívá se pro zdrsňení povrchu, strukturování, odstraňování korozních produktů atd. Vyrábí se ve dvou formách, hnědé a bílé.

Pro hnědý korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) platí, že jde o nejtvrďší používaný tryskací materiál. Hnědý korund je nejvíce rozšířen v zemích bývalého východního bloku, bílý se více používá v zemích západní Evropy. Když se oba druhy korundu porovnají, tak hnědý korund se pomaleji opotřebovává, ale bílý korund je lépe využitelný pro náročné aplikace, kde se dbá na čistotu tryskacího prostředku (letecký průmysl). U bílého korundu se totiž při znečištění změni barva (zešedne) a poté se musí tryskací prostředek vyměnit. Jinak se vlastnosti obou korundů více méně shodují. [41]

## **Křemičitý písek**

Jedná se o nejrozšířenější tryskací prostředek, a to hlavně díky možnosti pro volné tryskání na venkovních pracovištích. Jeho technologické vlastnosti nejsou nikterak úžasné (nízká životnost, střední houževnatost), ale jde o velmi levný tryskací prostředek. Dodává se v několika skupinách zrnitosti (0,1 – 0,3mm; 0,1 – 0,5 mm; 0,2 – 0,8 mm; 0,4 – 0,8 mm; 0,8 – 1,2 mm; 1,0 – 1,6 mm; 2,0 – 3,0 mm, 3,0 – 5,0 mm). Pro tryskání před žárovým stříkáním je doporučována velikost zrn 0,8 – 1,2 mm. Křemičitý písek je velmi prašný, proto se smí používat jen v otevřených a dobře ventilovaných prostorách (pracovištích). [41]

### **4.2.2. Tryskací zařízení**

Tryskací zařízení se dělí podle způsobu „dodání“ kinetické energie tryskacím prostředkům:

- tryskání vzduchem (pneumatické tryskání),
- tryskání metacími koly (mechanické tryskání). [39]

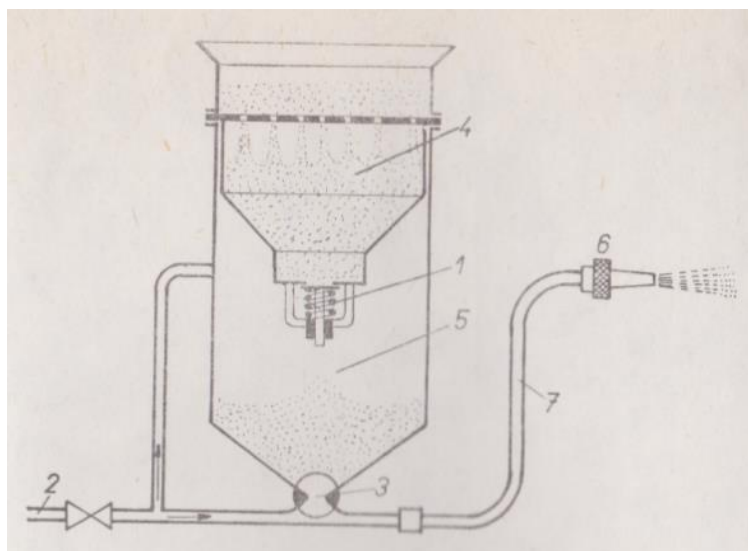
## Pneumatické tryskání

Tryskací prostředek je vrhán pomocí stlačeného vzduchu. Stlačený vzduch se smíchá s tryskacím prostředkem, směs posléze putuje do trysky, kde se její rychlost ještě více zvýší. Pneumatickými tryskacími zařízeními se dají tryskat i tvarově složité součásti nebo součásti ve venkovních prostorech. U pneumatických zařízení se používají dva způsoby:

- tlakový způsob,
- podtlakový (injektorový, sací) způsob. [39]

### **Tlakový způsob**

Princip spočívá v tlakové nádobě, kam se přivádí tlakový vzduch a která zároveň slouží jako zásobník tryskacího prostředku. Směšování tryskacího prostředku se stlačeným vzduchem probíhá ve směšovací komoře, která se nachází ve spodní části tlakové nádoby. Směs pak proudí hadicí do trysky. V trysce dochází k expanzi vzduchu, kdy ještě více vrostle rychlost směsi. Tlakové tryskání probíhá přerušovaně, znamená to, že po vyprázdnění tlakové nádoby je nezbytné uzavřít přívod stlačeného vzduchu. Tlakový způsob využívá lépe energii stlačeného vzduchu než podtlakový (injektorový) způsob. [39]

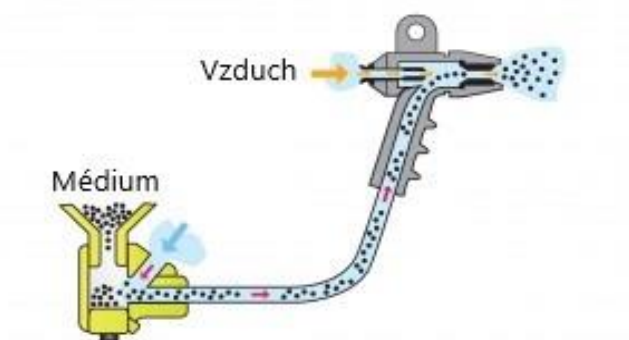


Obrázek 16 - Schéma tlakového tryskání: 1 - uzavěr, 2 - přívod stlačeného vzduchu, 3 - směšovací hlava, 4 - zásobník tryskacího prostředku, 5 - tlaková nádoba, 6 - tryska, 7 - hadice [39]

### **Podtlakový (injektorový) způsob**

Princip je na základě podtlaku. Podtlak vzniká prouděním stlačeného vzduchu v tryskací pistoli, konkrétně ve směšovací komoře. Tryskací prostředek se nachází

v zásobníku, pomocí podtlaku je hadicí dopravován do pistole, kde se ve směšovací komoře smísí se stlačeným vzduchem a tryskou opouští tryskací zařízení. Rychlost tryskacího prostředku záleží na tlaku vzduchu a pohybuje se 10 – 25 m/s. Proces je plynulý (nepřerušovaný), na rozdíl od tlakového tryskání. Ale rychlost proudění směsi stlačeného vzduchu a tryskacího prostředku je nižší než u tlakového způsobu. Největší nevýhodou je, že nelze použít těžké tryskací prostředky (ocelová a litinová drť). [39], [42]



Obrázek 17 - Schéma podtlakového tryskacího zařízení [42]

### Mechanické tryskání

Tento typ tryskání spočívá v tom, že do středu (přes osu) metacího kola je přiváděn tryskací prostředek. Metací kolo je tvořeno dvěma disky a mezi nimi jsou lopatky. Tryskací prostředek se pomocí odstředivé síly dostává ze středu na okraj a zároveň je lopatkami zrychlován. Obvodová rychlost metacích kol bývá okolo 56 m/s a výsledná rychlost (součet obvodové a odstředivé rychlosti) urychleného tryskacího prostředku může přesahovat i 80 m/s. [39]

Tryskací prostředek dopadá na tryskaný povrch v elipsovitém tvaru, tento obrazec je nazýván stopa metací jednotky. Tryskací materiál se může pohybovat v směru krátké osy „elipsy“ a tento pohyb se nazývá tryskání přes stopu metací jednotky. Pohyb tryskaného materiálu ve směru delší osy se nazývá tryskání po stopě. [39]

Jde o velmi výkonný způsob tryskání (výkonnější než tlakové nebo podtlakové tryskání), který se dá velmi dobře využít v mechanizované a automatizované výrobě.

Další nespornou výhodou oproti pneumatickému tryskání je větší energetická úspora. [39]

### **4.3. Broušení**

Jde o dokončovací operaci, kdy jsou ze základního materiálu odebírány drobné třísky. Nástroj pro broušení je mnohobřítý (brusný kotouč), který se skládá z ostrých nepravidelných zrn (brusivo). Broušení se používá pro dosažení přesných rozměrů, požadovaných tvarů (válcovitost, rovinnost) a pro dosažení drsnosti povrchu Ra 1,6 až 0,2  $\mu\text{m}$ . Pro broušení se používají brusky, které mohou být přenosné nebo pevně zabudované. [39], [43], [44]

Brusiva bývají tvrdá, houževnatá a skládají se ze spousty ostrohranných zrn. Brusiva mohou brousit jen měkčí materiály. V dnešní době bývají nejčastěji jako brusiva používány umělý korund, karbid křemíku, karbid boru a syntetický diamant. Brusiva bývají vyráběná v různé zrnitosti, je to dáno velikostí zrn. Zrna se ještě mohou dělit na hrubá a jemná. Hrubá se používají pro větší úběr materiálu nebo když je horší kvalita povrchu broušené součásti. Jemná mají menší úběr materiálu, ale také tolik nezahřívají broušenou součást. [39], [43], [44]

Brusivo (zrna) je spojeno pojivem. Pojivo zajišťuje uvolňování otupených zrn a jejich následné nahrazení novými ostrými. Pojivo také určuje celkovou tvrdost brusného kotouče (dána pevností spojení pojiva a brusiva). [39], [43], [44]

## **5. Hodnocení stavu povrchu před aplikací žárového stříkání**

### **5.1. Čistota povrchu**

Jde o důležitý parametr, který má nezanedbatelný vliv na výslednou kvalitu povlaku. Pro hodnocení čistoty povrchu se používá řada metod. Pro tuto práci bylo použito hodnocení pomocí stupňů přípravy tryskaného povrchu a stupňů zarezavění.

### 5.1.1. Stupně zarezavění (ISO 8501-1)

Rez na povrchu se hodnotí vizuálně čtyřmi stupni:

- A – Povrch ocele je téměř celý pokryt pevně ulpívající vrstvou okují, ale v podstatě bez viditelných stop rzi.
- B – Povrch oceli s počínající vrstvou rzi a odlupujícími se okujemi.
- C – Povrch oceli, ze kterého již okuje odkorodovaly nebo jsou odstranitelné kartáčováním a který vykazuje pouze ojedinělou důlkovou korozi.
- D – Povrch oceli, ze kterého okuje odkorodovaly a který vykazuje důlkovou korozi. [45]

### 5.1.2. Stupně přípravy povrchu (ISO 8501-1)

Stupně se označují Sa a vyhodnocují se vizuálně. Pro tryskaný povrch existují 4 stupně:

- **Sa 1 – lehké otryskání** – odstranění veškerých olejů, mastnot, nečistot, nepřilnavých okují, rzi, nátěrů a dalších látek z povrchu. Všechny zbytky nečistot musí být pevně přilnavé.
- **Sa 2 – důkladné otryskání** – Nelze zjistit přítomnost olejů, mastnot, nečistot a téměř žádných okují, rez, nátěrů a dalších cizích látek. Ostatní zbylé nečistoty musí být pevně přilnavé.
- **Sa 2<sup>1/2</sup> – velmi důkladné otryskání** – Není zjištěna přítomnost olejů, mastnot, nečistot, okují, rzi, zbytků barev a cizích látek. Veškeré zbylé nečistoty musí být ve formě skvrn nebo pásů.
- **Sa 3 – Vizuálně čistý povrch** – Není zjištěna přítomnost olejů, mastnot, nečistot, okují, rzi, zbytků barev a cizích látek. Povrch musí vykazovat jednotný kovový vzhled. [45]

Pro stupně přípravy ručním a mechanizovaným čištěním bylo vytvořeno dvou stupňů:

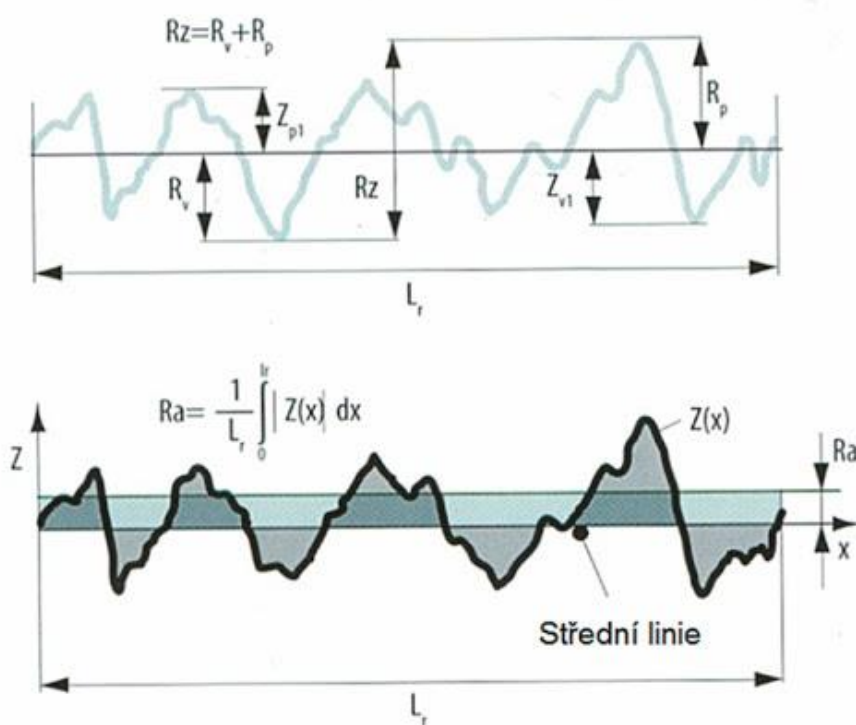
- **St 2 – důkladné ruční a mechanizované čištění** – Nelze zjistit přítomnost olejů, mastnot a nečistot, včetně nepřilnavých vrstev okují, rzi, nátěrů a cizích látek.
- **St 3 – velmi důkladné ruční a mechanizované čištění** – odpovídá stupni St 2, přičemž čištění je důkladnější a povrch vykazuje kovový odstín daný podkladem. [45]

## 5.2. Drsnost povrchu

Jako drsnost povrchu se označuje nepravidelný nerovnoměrný tvar povrchu. Díky drsnosti se veškerým povlakům zlepšuje jejich přilnavost. Je to dáno tím, že povlak se může uchytit na větší ploše. [46], [47]

Pro správné uchycení žárově stříkaného povlaku je nutné nejen povrch očistit, ale pomocí tryskání ho také zdrsňit na požadovanou drsnost. Pro žárově stříkané povlaky (před jejich nanesením) jsou nejdůležitější hodnoty profilu drsnosti  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$ . Doporučená drsnost základního materiálu před nanesením žárového povlaku se pohybuje v rozmezí  $R_a$  12 až  $R_a$  8. [5], [46], [47]

- Průměrná aritmetická úchylka profilu ( $R_a$ ) – Jde o aritmetický střed absolutních hodnot profilu drsnosti od střední čáry uvnitř základní délky. Pomocí hodnoty  $R_a$  se nedá určit „směr“ odchylek. To znamená, že nelze poznat, jestli se jedná o výstupek nebo prohlubeň.
- Největší výška profilu drsnosti ( $R_z$ ) – Jde o součet výšky největšího výstupku a hloubky nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky.
- Maximální hloubka profilu drsnosti ( $R_{zmax}/R_{max}$ ) – Hodnota na základní délce udávající největší úchylku. [46]



Obrázek 18 - Schémata profilu drsnosti [48]

Drsnost povrchu lze měřit několika způsoby, kdy se měří hodnoty  $R_a$  nebo  $R_z$ . Mezi nejčastější metody měření drsnosti patří měření dotykovými drsnoměry.

### Drsnoměry

Jedná se o zařízení s ostrým hrotem. Zařízení se přiloží k zdrsňenému povrchu a je po něm posouváno. Pomocí hrotu je zaznamenána výsledná drsnost na nastavené délce povrchu. Jedná se v současné době o nejčastěji používanou metodu, a to díky snadnému použití. Drsnoměry se ještě rozdělují na dílenské a laboratorní.

Dílenské drsnoměry dosahují obvykle malých rozměrů, aby byly snadno přenosné a dobře se s nimi manipulovalo. Měření probíhá tak, že se ručně přitlačí drsnoměr k povrchu. Snímací hrot není tak ostrý (větší vrcholový úhel než u laboratorního).

Laboratorní drsnoměry jsou určeny k přesnějšímu měření a jsou schopné měřit i v místech se špatnou přístupností. Proto obsahují citlivější snímače, měřící hrot dosahuje menšího vrcholového úhlu, k zařízení jsou dodávána různá vyměnitelná snímací raménka (aby bylo možné měřit špatně přístupná místa). Během měření je drsnoměr umístěn na stativ a je připojen k počítači. [47], [49]

### Hodnocení drsnosti pomocí vzorkových ploch

Jde o měření drsnosti, kdy se ke zkoumanému povrchu přiloží vzorkové plochy (vzorkovnice). Na vzorkovnici je několik povrchů různých drsností. Zkoumaný povrch se porovnává se vzorkovnicí pomocí hmatu a zraku pracovníka. Jde o značně nepřesné měření, ale pomocí optických přístrojů nebo pomocí mikroskopů ho lze zpřesnit. [47], [49]

## **6. Experimentální část**

Experimentální část se zabývá vlivem předúpravy povrchu na přílnavost žárově stříkaných povlaků. Kvůli dosažení rozdílného stavu povrchu vzorků bylo nejprve nutné provést na zkoumaných vzorcích různé předúpravy povrchu. Parametry, které se měřily, byly  $R_a$  a  $R_z$ . Žárově stříkaný povlak (ZnAl 85/15) se nanášel ve firmě S.A.F. Praha, kde byla provedena i odtrhová zkouška. Ostatní zkoušky probíhaly v laboratoři ČVUT v Praze. Jednalo se o mřížkovou zkoušku a o zkoušku křížovým řezemzkoušku



## 6.1. Příprava vzorků

K experimentu bylo přichystáno firmou S.A.F. Praha 6 vzorků. Ani jeden ze vzorků neměl na začátku žádnou předúpravu povrchu. Jednalo se o ocelové desky z oceli S235 a rozměrech 100x150x5 mm.



Obrázek 19 - Ilustrativní snímek, vzhled vzorku 1 před jakoukoliv úpravou

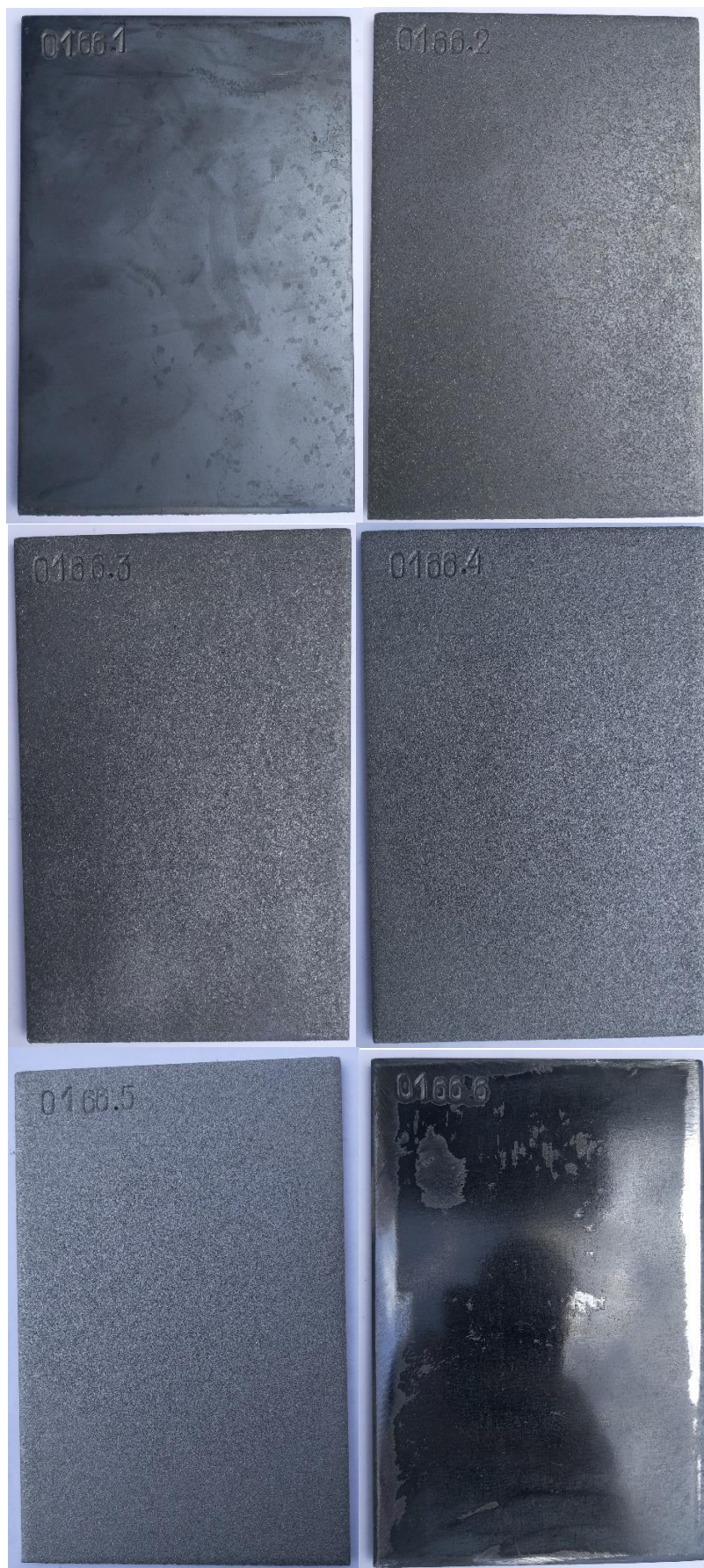
### 6.1.1. Předúprava povrchu

Každá deska byla před provedením předúpravy povrchu očíslovaná, konkrétně od 0166.1 po 0166.6. U desky 0166.1 nebyla provedena žádná předúprava povrchu, desky 0166.2 – 0166.5 byly otryskány na různý stupeň Sa (tabulka 9). K tryskání se použilo pneumatické tryskací zařízení (tlakový způsob) PTZ – 110 PD od firmy S.A.F. Praha a jako tryskací prostředek byla použita ocelová drť GL25. Poslední deska 0166.6 byla jen zbrošena úhlovou bruskou (flexou) na stupeň St 2.

Po provedení předúprav povrchu se u všech desek (kromě 0166.1) pomocí drsnoměru změřila drsnost, konkrétně hodnota Ra a Rz.

**Tabulka 9 - Stav vzorků po předúpravě povrchu**

Číslo vzorku	Stupeň	Naměřené Ra	Naměřené Rz
0166.1	Stupeň zarezavění A – bez předúpravy	0,78	4,50
0166.2	Sa 1 – lehké tryskání	5,70	34,34
0166.3	Sa 2 – důkladné tryskání	10,70	54,60
0166.4	Sa 2 <sup>1/2</sup> – velmi důkladné tryskání	10,24	57,59
0166.5	Sa 3 – vizuálně čistý povrch	10,14	64,03
0166.6	St 2 - důkladné ruční a mechanizované čištění	0,91	5,81



Obrázek 20 - Vzhled vzorků po předúpravě povrchu

### 6.1.2. Nanesení žárově stříkaného povlaku

Po zaznamenání potřebných údajů, které se naměřily po předúpravě povrchu, následoval nástřik žárově stříkaného povlaku na desky. Jako materiál pro povlak se použil drát ZnAl 85/15 o průměru 2,50 mm, čísla označují poměr zinku a hliníku v povlaku. Předem stanovená tloušťka povlaku ZnAl 85/15 byla 100  $\mu\text{m}$ . Pro nástřik se využilo metalizační zařízení MARGARIDO typ M45 od firmy S.A.F. Praha. Jde o mobilní elektrometalizační zařízení, které k tavení drátu využívá elektrický oblouk.



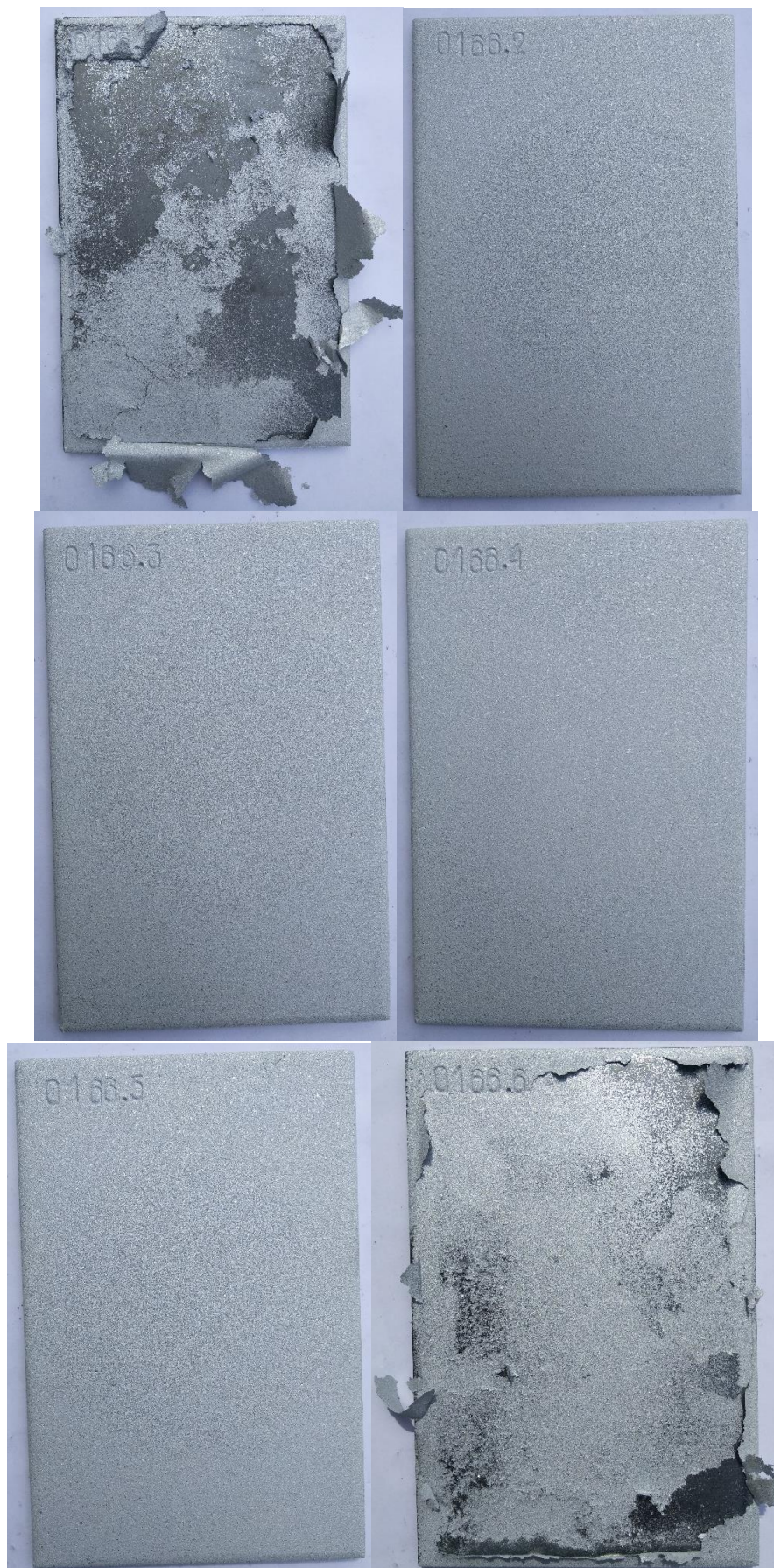
Obrázek 21 - Nástřik povlaku ZnAl 85/15 ve firmě S.A.F. Praha

Nástřik povlaku na desky proběhl křížem, to znamená, že nejprve pracovník stříkal povlak horizontálně, pak vertikálně. Tím se zajistila potřebně tlustá vrstva a dobré, rovnoměrné pokrytí povlaku na vzorcích. Po metalizaci byla všem vzorkům měřena tloušťka povlaku magneticko-indukční metodou podle normy ČSN ISO 2178, aby se případné nevyhovující části (moc tenká vrstva povlaku) dodělaly. Tabulka 10 ukazuje skutečnou (naměřenou) tloušťku povlaku ZnAl 85/15 na vzorcích. U vzorků 0166.1 a 0166.6 nešlo provést měření tloušťky, protože nanesený povlak se nepřichytil rovnoměrně a místy se nepřichytil vůbec. Je to dáno jejich nedostatečnou předúpravou povrchu (špatné zdrsnění).

**Tabulka 10 - Naměřená tloušťka povlaku ZnAl 85/15**

Číslo vzorku	Tloušťka [ $\mu\text{m}$ ]
0166.2	99,4
0166.3	90,0
0166.4	84,8
0166.5	71,2

Po naměření hodnot tloušťky povlaku na všech měřených vzorcích (0166.2 – 0166.5) bylo zjištěno, že není potřeba povlak dostříkat. Všem měřeným vzorkům byla naměřena dostatečná tloušťka povlaku pro další zkoušení.



Obrázek 22 - Výsledný povrch po metalizaci

## 6.2. Zkoušky přilnavosti

### 6.2.1. Odtrhová zkouška

Zkoušce se podrobily jen vzorky 0166.2 až 0166.5, protože u zbývajících dvou vzorků 0166.1 a 0166.6 nemělo význam provádět zkoušku odtrhem. U čtyřech měřených vzorků proběhla zkouška dle normy (ČSN ISO 4624). Zkušební tělíska (panenky) byly očištěny a odmaštěny před přilepením k povlaku ZnAl 85/15. Na celou spodní kruhovou plochu panenek se nanoslo lepidlo 3M Scotch-Weld PR100 (kyanoakrylátové lepidlo) a panenky i s lepidlem se připevnily na vzorky. Panenky byly umístěny vždy po třech na jeden vzorek a jejich rozmístění na povrchu vzorků bylo náhodné.



Obrázek 23 - Ilustrativní ukázka rozmístění panenek ke zkušebnímu vzorku

Lepidlo se nechalo 24 hodin vytvrdit. Po 24 hodinách se ruční frézou očistil kruh kolem nalepených panenek až na základní materiál. K odtrhové zkoušce se použil automatický hydraulický odtrhoměr Elcometer 510.

**Tabulka 11 – Naměřené hodnoty odtrhové zkoušky**

Číslo vzorku	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Výsledná průměrná hodnota
0166.2	1,79 MPa	3,29 MPa	2,36 MPa	2,48 MPa
0166.3	4,69 MPa	5,30 MPa	5,53 MPa	5,17 MPa
0166.4	7,80 MPa	7,92 MPa	8,54 MPa	8,09 MPa
0166.5	8,37 MPa	7,16 MPa	8,80 MPa	8,11 MPa

### 6.2.2. Vyhodnocení odtrhové zkoušky

Naměřené hodnoty vyšly podle očekávání. U vzorku 0166.2 (Sa 1) vyšla průměrná hodnota tlakového napětí potřebného k odtržení zkušebního tělíska 2,48 MPa. Z tabulky 11 ale lze vypočítat, že hodnoty pro vzorek 0166.2 byly značně rozdílné. Průměrné potřebné tlakové napětí u vzorku 0166.3 (Sa 2) bylo 5,17 MPa. Lze si všimnout nárůstu napětí potřebného k odtržení tělíska, bylo to způsobeno lepší předúpravou povrchu – Sa2. Jediný lom, který nebyl 100 % adhezní, se vyskytl u 1. měření vzorku 0166.4 (obrázek 26). Pravděpodobně to bylo způsobeno nedostatečným vytvrdnutím lepidla. Vzorky 0166.4 (Sa 2<sup>1/2</sup>) a 0166.5 (Sa 3) dosáhly podobných hodnot napětí, kdy průměrné tlakové napětí potřebné k odtržení zkušebního tělíska je u vzorku 0166.4 8,09 MPa a u vzorku 0166.5 8,11 MPa. Avšak u vzorku 0166.5 průměrnou hodnotu zkresluje 2. měření (tabulka 11), u toho měření je hodnota výrazně nižší než zbývající dvě. S velkou pravděpodobností povlak nebyl v tomto místě dobře přichycen kvůli horšímu lokálnímu otryskání povrchu.

**Tabulka 12 – Vyhodnocení odtrhové zkoušky**

Číslo vzorku	Odtrhy					
		1 [Mpa]	2 [Mpa]	3 [Mpa]		
0166.2	100% A/B	1,79	100% A/B	3,29	100% A/B	2,36
0166.3	100% A/B	4,69	100% A/B	5,30	100% A/B	5,53
0166.4	95% A/B 5% B/Y	7,80	100% A/B	7,92	100% A/B	8,54
0166.5	100% A/B	8,37	100% A/B	7,16	100% A/B	8,80

Odtrhová zkouška vyšla podle očekávání, kdy stupně přípravy povrchu ovlivňují přilnavost žárově stříkaného povlaku ZnAl 85/15. V grafu 1 je dobře vidět závislost mezi



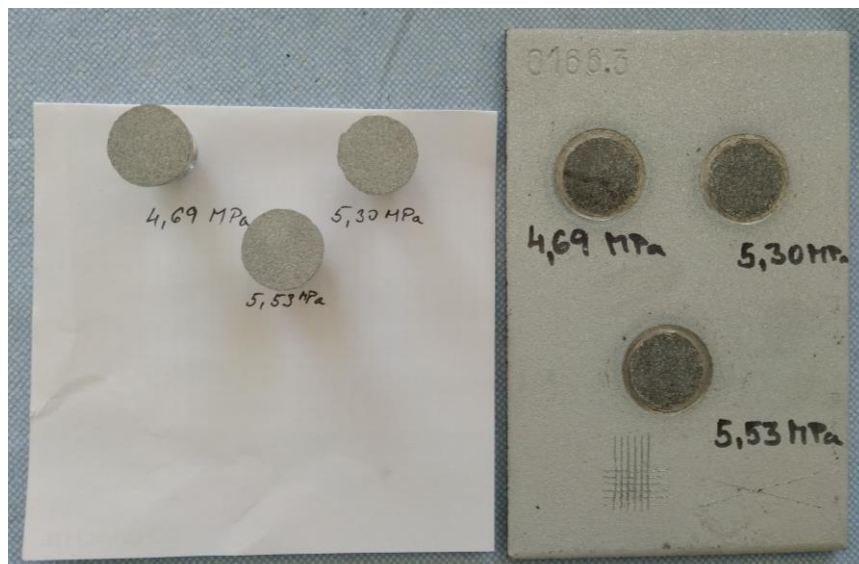
stupni přípravy povrchu (Sa) a výsledným průměrným tlakovým napětím potřebným k odtrhnutí zkušebního tělíska (přilnavost).



**Graf 1 - Závislost tlakového napětí na stupních přípravy povrchu**



**Obrázek 24 - Výsledek odtrhové zkoušky vzorek 0166.2**



Obrázek 25 - Výsledek odtrhové zkoušky vzorek 0166.3



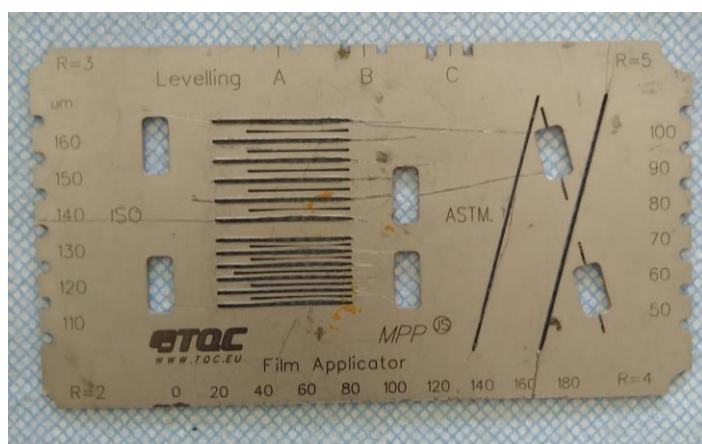
Obrázek 26 - Výsledek odtrhové zkoušky vzorek 0166.4



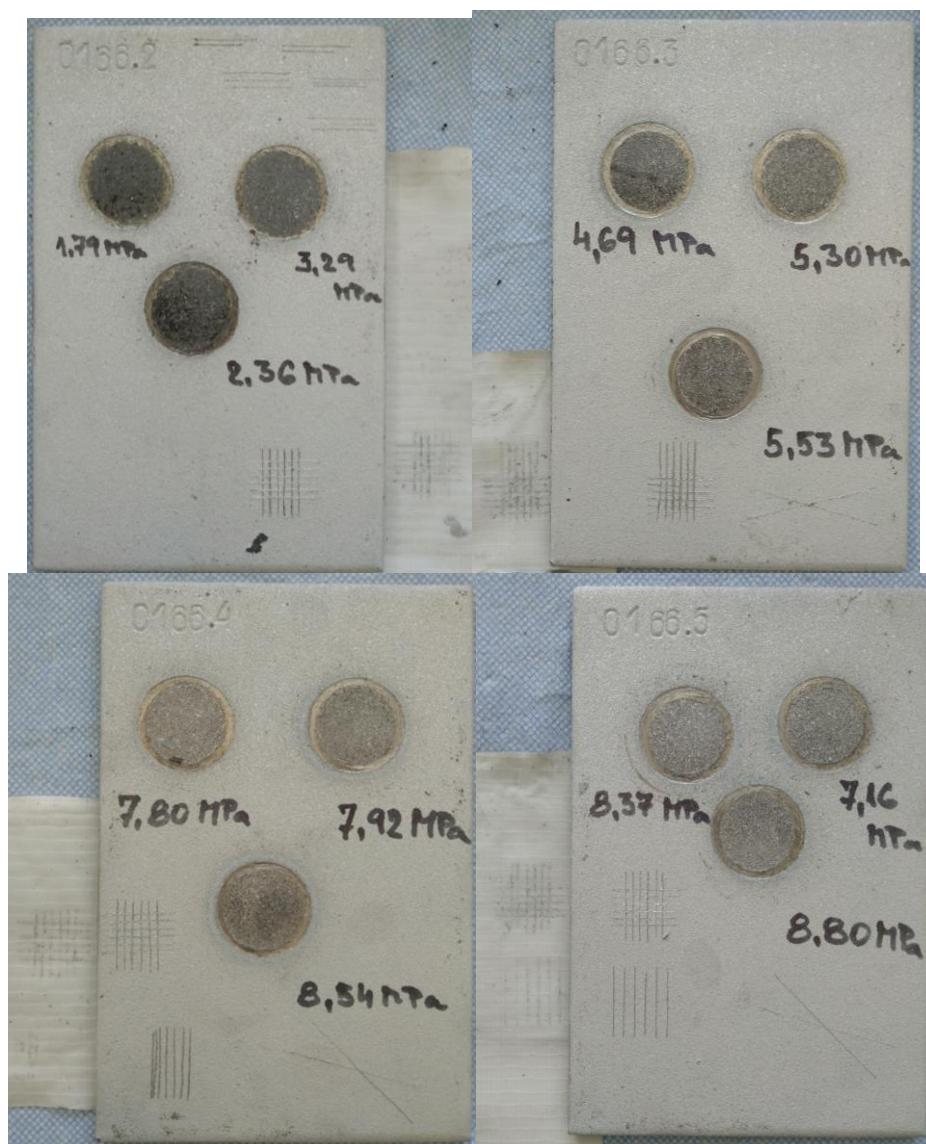
Obrázek 27 - Výsledek odtrhové zkoušky vzorek 0166.5

### 6.2.3. Mřížková zkouška

Tato zkouška (ČSN ISO 2409) byla uskutečněna jen na vzorcích 0166.2 až 0166.5, protože u zbylých dvou vzorků (0166.1 a 0166.6) povlak ZnAl 85/15 nedržel na kovovém povrchu. Nejprve se na náhodném místě do základního materiálu vyřízlo šest rýh vzdálených od sebe 2 mm. Poté se kolmo na tyto rýhy vyřezalo dalších šest rýh po 2 mm, tak aby vznikla mřížka. Ke zkoušce se použil odlamovací nůž s ostřím 18 mm a šablona pro mřížkovou metodu. Po vyřezání mřížky se na povlak nalepila lepicí páska, se poté plynulým pohybem strhla.



Obrázek 28 - Šablona pro mřížkovou zkoušku a zkoušku křížovým řezem



Obrázek 29 - Výsledek mřížkové zkoušky

#### 6.2.4. Vyhodnocení mřížkové zkoušky

Vyřezaná mřížka u vzorku 0166.2 (Sa 2) vyšla jako klasifikace 1, ale zároveň se s odlepením pásky u tohoto vzorku odtrhl kus povlaku, který zůstal na pásce (obrázek 25 vlevo nahoře). Pravděpodobně to bylo způsobeno nedostatečně otryskaným základním materiálem. Všechny zbylé vzorky 0166.3, 0166.4 a 0166.5 dosáhly klasifikace 0.

#### 6.2.5. Zkouška křížovým řezem

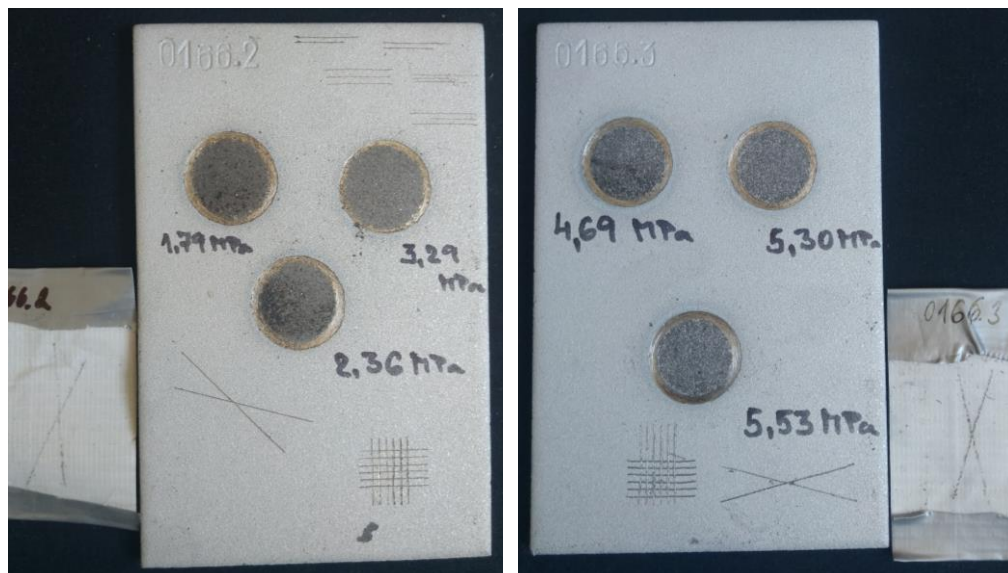
Zkoušce (ČSN ISO 16276) se podrobily vzorky 0166.2 až 0166.5. Odlamovacím nožem (18 mm ostří) se vyřízly dvě rýhy až na základní materiál. K dodržení správného úhlu mezi rýhami se použila šablona (obrázek 28). Po vytvoření kříže se na něj nalepila

lepící páska (stejná jako u mřížkové zkoušky). V poslední řadě se páska plynulým pohybem odstranila a přešlo se k hodnocení.

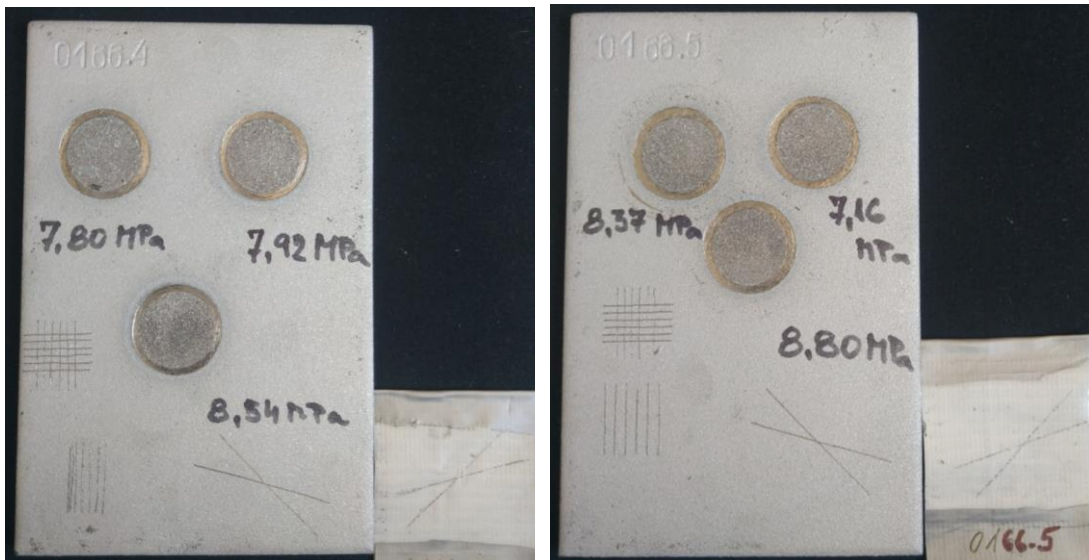
### 6.2.6. Vyhodnocení zkoušky křížovým řezem

Vzorky 0166.4 a 0166.5 dosáhly klasifikace 5A – žádný odlup. Výsledek vzorku 0166.2 odpovídal klasifikaci 4A – nepatrný odlup podél řezů, kdežto u vzorku 0166.3 došlo při odtrhávání lepící pásky k odlupu povlaku v ploše křížení se řezů (obrázek 26 vpravo). Proto výsledek vzorku 0166.3 byl klasifikován jako 3A – odlup podél řezu, v ploše max. do vzdálenosti 1,6 mm od křížení řezů.

Vzorek 0166.2 (Sa 1) ve zkoušce křížovým řezem obstál lépe než vzorek 0166.3 s lepším stupněm otryskání (Sa 2), příčinou mohlo být lokálně horší tryskaný povrch u vzorku 0166.3.



Obrázek 30 - Výsledek zkoušky křížovým řezem, vzorky 0166.2 a 0166.3



Obrázek 31 – Výsledek zkoušky křížovým řezem, vzorky 0166.4 a 0166.5

### 6.3. Technicko-ekonomické zhodnocení

Cílem žárově stříkaných povlaků je zlepšit vlastnosti základního materiálu, ať už zlepšení odolnosti proti korozi nebo proti otěru. Správnou metalizací se proto dosáhne prodloužení životnosti součásti až o několik desítek let. Na druhou stranu se v důsledku toho zvyšuje celková cena výrobku. Konečná cena se může lišit podle použitého žárově stříkaného povlaku, jeho tloušťky, typu nanášení (druh metalizační pistole) nebo podle použitého stupně otryskání.

Před samotným nástřikem žárově stříkaného povlaku se provedla předúprava povrchu. Konkrétně u vzorku 0166.1 neproběhla žádná, u vzorku 0166.2 se tryskal povrch na stupeň Sa 1, vzorek 0166.3 byl tryskán na stupeň Sa 2, vzorek 0166.4 na stupeň Sa 2<sup>1/2</sup>, vzorek 0166.5 byl otryskán na nejlepší stupeň, a to Sa 3, poslední vzorek 0166.6 byl jen ručně (flexou) zbroušen na stupeň St 2. Pro experiment se využil jen povlak Zinacor (ZnAl 85/15) nanášený pomocí pistole, která používá k tavení drátu elektrický oblouk. Povlak Zinacoru se používá především jako ochrana proti korozi a kombinuje ochranné vlastnosti zinku a hliníku.

Veškeré ceny byly poskytnuté firmou S.A.F. Praha a jsou jen orientační:

- Povrchová úprava ocelových konstrukcí větších rozměrů se pohybuje od 120 do 180 Kč/m<sup>2</sup>, cena se vztahuje jen na tryskání povrchu.
- Cena metalizace záleží na použitém povlaku a jeho tloušťce, proto cenové rozmezí je poměrně velké: 250 až 600 Kč/m<sup>2</sup>.

- Žárově stříkaný povlak lze ještě doplnit o různé nátěrové hmoty (NH), které dále zlepšují vlastnosti nebo fungují jako estetický prvek. Cena NH je asi 40 Kč/m<sup>2</sup> na vrstvu, ale tato cena se dosti odvíjí od spotřeby a vydatnosti NH.

Firma S.A.F. Praha také poskytla přibližnou cenu za vzorky pro experiment této bakalářské práce. Cena se pohybuje okolo 500 Kč/ks, ale během experimentu nebyly použity žádné NH. U větších sérií by cena přibližně klesla na 100 Kč/ks.

Z experimentu je jasně zřetelné, že nemá smysl nanášet žárově stříkaný povlak na jakýkoliv materiál, který předem nebyl otryskán. Jak bylo vidět u vzorků 0166.1 a 0166.6 povlak se neuchytí. U otryskaných vzorků se žárově stříkaný povlak uchytí.

V dnešní době často bývá nejdůležitějším parametrem při rozhodování firem cena, respektive finanční stránka projektu. U žárově stříkaných povlaků by ovšem cena neměla být jediným faktorem, na základě kterého se společnosti rozhodují. Díky poznatkům z experimentu je totiž dobře vidět, že kvalita předúpravy povrchu a kvalita stříkaného povlaku výrazně ovlivňuje životnost základního materiálu. Proto je lepší zainvestovat do kvalitní předúpravy povrchu a žárového povlaku, a tím znatelně prodloužit dobu, kdy nebude potřeba základní materiál nijak ošetřit.

## 7. Závěr

Práce se zabývala vlivem předúpravy povrchu na přilnavost žárově stříkaných povlaků. Témata, která se týkají této problematiky, byla vysvětlena v teoretické části bakalářské práce. Byla popsána koroze a rozdělení korozních dějů. Byly nastíněny žárově stříkané povlaky, jejich výhody, rozdělení, použití a jejich kontrola. Také byly uvedeny druhy předúpravy povrchu důležité pro žárové stříkání.

Cílem experimentální části bylo ukázat, jak předúprava povrchu ovlivňuje přilnavost žárově stříkaných povlaků. Pro zjištění vlivu se uskutečnil experiment se šesti vzorky, kdy každý vzorek měl dosahovat jiné kvality povrchu. První vzorek byl ponechán bez jakékoliv předúpravy, další čtyři vzorky měly různé stupně přípravy povrchu. U těchto čtyř vzorků byl povrch otryskán od nejhoršího stupně Sa 1 po nejlepší stupeň Sa 3. Poslední šestý vzorek byl jen ručně obroušen na stupeň povrchu St 2. Pro experiment se použil žárový povlak Zinacor (ZnAl 85/15), který byl nanesen na vzorky. Cílem bylo dosáhnout rovnoměrného nanesení povlaku v tloušťce 100 µm. Hned po metalizaci bylo jasné, že na vzorku bez předúpravy povrchu a na broušeném vzorku se povlak ZnAl 85/15 vůbec neuchytí, proto u nich nemělo smysl provádět další zkoušky přilnavosti ani

měření tloušťky vrstvy. U čtyř otryskaných vzorků se povlak uchytil a mohly se u nich provádět zkoušky přilnavosti

Jako první zkouška proběhlo měření tloušťky povlaku, aby se zjistilo, jestli čerstvě nanesený povlak ZnAl 85/15 vyhovuje. Poté následovala odtrhová zkouška. Ta spočívala ve vyhodnocení lomu a naměření tlakového napětí potřebného k odtržení zkušebního tělíska. Zkouška ukázala skokové rozdíly mezi stupni Sa 1, Sa 2 a Sa 2<sup>1/2</sup>, kdežto rozdíl mezi Sa 2<sup>1/2</sup> a Sa 3 byl minimální. Mřížková zkouška a zkouška křížovým řezem dopadly pro všechny zkoumané vzorky velmi podobně a nebyl mezi nimi žádný výrazný rozdíl.

Z výsledků tedy vyplývá, že pro dobrou přilnavost žárově stříkaných povlaků, a tím pádem dobrou ochranu proti korozi, je nutné základní materiál otryskat minimálně na Sa 2<sup>1/2</sup>. V nejlepším případě by bylo dobré pro co největší přilnavost žárově stříkaných povlaků dosáhnout hodnoty Sa 3.



## Zdroje

- [1] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. 1. Praha: ČVUT, 1999. ISBN 80-01-01472-X.
- [2] *Koroze a ochrana před korozí* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/Koroze.htm>
- [3] Tryskání kovu: Efektivní prevence před korozí. *24Zprávy.cz* [online]. 19.11.2016 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.24zpravy.cz/tryskani-kovu-efektivni-prevence-pred-korozí/>
- [4] KREIBICH, Viktor. *Povrchové úpravy*. 1. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1981.
- [5] PRŮŠA, František. *ZÁKLADNÍ INFORMACE O ŽÁROVÉM STRÍKÁNÍ KOVŮ*. Jihlava: DKO Jihlava, 1992.
- [6] NOVÁK, Pavel. *Koroze kovů* [online]. Praha [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Koroze%20kov%C5%AF.pdf?redirected>
- [7] *Koroze* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: [https://www.spszengrova.cz/texty/texty/ZAV/ZAV1-Povrchove\\_upravy.pdf](https://www.spszengrova.cz/texty/texty/ZAV/ZAV1-Povrchove_upravy.pdf)
- [8] *Elektrolýza a její využití* [online]. [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: <http://old.spsemoh.cz/vyuka/zae/el6.htm>
- [9] KUKLÍK, Vlastimil. Životnost a záruka povlaků žárového zinku. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012, 11.4. 2012, (4) [cit. 2020-05-11]. DOI: 120423. Dostupné z: <http://firmy.mmspektrum.com/clanek/zivotnost-a-zaruka-povlaku-zaroveho-zinku.html>
- [10] Povrchové úpravy kovu. *Ploty* [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.plotybohumin.cz/povrchove-upravy-kovu/>

- [11] Jak správně pečovat o pH metr. *Léčiva pro terčovce* [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.lecivaprotercovce.cz/jak-spravne-pecovat-o-ph-metr-a69>
- [12] PRINC, František. *Stříkání kovů: pomůcka ke školení metalizérů, souhrn základních poznatků ze všech způsobů metalizace*. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
- [13] SIEGMANN, Stephan a Christoph ABERT. 100 years of thermal spray: About the inventor Max Ulrich Schoop. *Science Direct* [online]. 15. 4. 2013, **2013**(220), 10 [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897212010043>
- [14] MATEJKA, D. a B. BENKO. *Plasma spraying of metallic and ceramic materials*. New York: Wiley, c1989. ISBN 04-719-1876-8.
- [15] *Žárové Stříkání* [online]. [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://www.plasmametal.cz/pouzite-technologie>
- [16] *Gamin: Metalizace* [online]. [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: <https://www.gamin.cz/metalizace/>
- [17] *Pískovačka.cz: Metalizace* [online]. [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: <https://www.piskovacka.cz/metalizace/>
- [18] AWS COMMITTEE ON THERMAL SPRAYING. *Thermal Spraying: Practise, Theory, and Application*. 1. Miami, USA: American Welding Society, 1985. ISBN 0-87171-246-6.
- [19] Thermal spraying (Hardfacing). *OpenLearn* [online]. 9.3.2018 [cit. 2019-12-19]. Dostupné z: <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/thermal-spraying-hardfacing>
- [20] Thermal Spray Coatings: Quality and Flexible Thermal Spray Coating Services in the United States. *Hayden Corp.: Thermal Spray Coaters* [online]. [cit. 2019-12-19]. Dostupné z: <https://www.haydencorp.com/thermal-spray-coating-services/>

- [21] Schéma pistole (elektrický oblouk). In: *Trytech* [online]. [cit. 20-12-15]. Dostupné z: <https://www.trytech.cz/elektro-metalizacni-zarizeni/elektrometalizacni-zarizeni-arcspray-340-plc/>
- [22] KUBÍČEK, Jaroslav. *Žárové nástřiky* [online]. 2018 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu\\_renovace\\_a\\_povrchove\\_u\\_pravy\\_zarove\\_nastriky\\_2018\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_u_pravy_zarove_nastriky_2018_kubicek.pdf)
- [23] Žárové stříkání: Kompletní sortiment pro žárové stříkání. *DüRR* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: [http://www.99.inshop.sk/inshop/files/metalizacia/metalizacia\\_est.pdf](http://www.99.inshop.sk/inshop/files/metalizacia/metalizacia_est.pdf)
- [24] HAVEL, Milan, Vít VEBR, Jindřich PETRLÍK a Petr VÁLEK. Zinek. *Arnika* [online]. [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: <https://arnika.org/zinek>
- [25] MACHEK, Václav. *Kovové materiály 3: speciální kovové materiály*. 1. Praha: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05685-1.
- [26] Hliník. *Periodická tabulka: Chemické prvky* [online]. [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/13.html>
- [27] Neželezné kovy. *Poltech* [online]. [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: <http://www.poltech.cz/poltech/10-Normy-CSN-DIN-ISO/16-Vlastnosti-nezelezných-kovu>
- [28] HAVRDA, Miroslav. Žárově stříkané povlaky slitinou ZnAl 15 pro zvýšení ochrany odolnosti ocelových konstrukcí. *Konstrukce* [online]. 28.7.2005 (aktualizováno 18.2.2010) [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/zarove-strikane-povlaky-slitinou-znal-15-pro-zvyseni-ochrany-odolnosti-ocelovych-konstrukci/>
- [29] *Material Data Sheet: Zinacor® Z850 / Z851 - Thermal Spray Material* [online]. 4.2015 [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://www.zinacor.com/wp/wp-content/uploads/2019/03/FT-ANG-Z850851-1.60-mm-Zinacor.pdf>
- [30] BUMBÁLEK A KOLEKTIV, Leoš. *Kontrola a měření: pro SPŠ strojní*. Praha: Informatorium, 2009. ISBN 978-80-7333-072-9.

- [31] Vizuální zkouška. *Technotest* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: [http://www.technotest.cz/zkouska\\_vizualni](http://www.technotest.cz/zkouska_vizualni)
- [32] *Technologické postupy* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: [http://www.biomechanika.cz/materials/Technologie\\_lab\\_ulohy-Prilnavost\\_a\\_Tribologicka\\_analyza.pdf](http://www.biomechanika.cz/materials/Technologie_lab_ulohy-Prilnavost_a_Tribologicka_analyza.pdf)
- [33] POSPÍŠILOVÁ, Michaela a Pavel MEDVEC. Hodnocení kvality povrchových úprav: část IV. - Testování přilnavosti. *Povrchové úpravy*. 2015, **18**(2), 4. ISSN 0551-7354.
- [34] Hodnocení přilnavosti nátěru. *Artyx* [online]. [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: <https://artyx.cz/prakticka-prirucka/16-hodnoceni-prilnavosti>
- [35] BENEŠOVÁ, Jaroslava a Markéta PARÁKOVÁ. Zkušební metody pro hodnocení přilnavosti organických povlaků. *Tribotechnika* [online]. TechPark [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-52013/zkusebni-metody-pro-hodnoceni-prilnavosti-organickych-povlaku.html>
- [36] Měření tloušťky povlaku (vrstev): Tlouškoměry. *Proinex* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: [https://www.proinex.cz/cs/blog/8\\_tloustkomery-mereni-tloustky-povlaku-vrstvy](https://www.proinex.cz/cs/blog/8_tloustkomery-mereni-tloustky-povlaku-vrstvy)
- [37] KREISLOVÁ, Kateřina a Markéta PARÁKOVÁ. Měření tloušťky povlaků. *Tribotechnika* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42014/mereni-tloustky-povlaku.html>
- [38] Měření tloušťky povlaků. *Technotest* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: [http://www.technotest.cz/mereni\\_tloustky\\_povlaku](http://www.technotest.cz/mereni_tloustky_povlaku)
- [39] KREJČÍK, Vladimír. *Povrchová úprava kovů I: pro 2. ročník středních odborných učilišť*. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [40] SEDLÁČEK, Alexander. Kovové tryskové prostředky. *Povrcháři* [online]. 2010, 10. 2010, (8), 3 [cit. 2020-07-23]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/201008\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/201008_povrchari.pdf)

- [41] SEDLÁČEK, Alexander. Nekovové tryskací prostředky. *Povrcháři* [online]. 2010, 12. 2010, (10), 3 [cit. 2020-07-23]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/201010\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/201010_povrchari.pdf)
- [42] Kabinové tryskání. *Trytech* [online]. 29.12.2017 [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <https://www.trytech.cz/o-tryskani/kabinove-tryskani/>
- [43] BARTOŇOVÁ, Renáta. *Technologie broušení: Elektronická učebnice* [online]. Kopřivnice, 2012 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: [http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U01\\_Technologie\\_brouseni.pdf](http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U01_Technologie_brouseni.pdf)
- [44] *Broušení* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: [https://www.sps-ko.cz/documents/STT\\_obeslova/Brou%C5%A1en%C3%AD.pdf](https://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslova/Brou%C5%A1en%C3%AD.pdf)
- [45] NEVĚČNÝ, Petr. *Stupně přípravy ocelového podkladu dle ČSN ISO 8501-1 a podobných norem* [online]. 2012 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: [http://www.povrchoveupravy.cz/PDF/Nevecny\\_PU2.pdf](http://www.povrchoveupravy.cz/PDF/Nevecny_PU2.pdf)
- [46] Měření jakosti povrchu obrobku. *Sandvik: Coromant* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/workpiece-surface-measurement.aspx>
- [47] Měření drsnosti povrchu: Drsnoměry Profiloměry. *Proinex* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: [https://www.proinex.cz/cs/blog/10\\_mereni-drsnosti-povrchu](https://www.proinex.cz/cs/blog/10_mereni-drsnosti-povrchu)
- [48] Zvyšování únavové životnosti svarů vysokopevnostních ocelí metodou HFMI. *Konstrukce* [online]. 23.6. 2016 [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/zvysovani-unavove-zivotnosti-svaru-vysokopevnostnich-oceli-metodou-hfmi/>
- [50] RUŽBARSKÝ, Juraj a Anton PANDA. *Plasma and Thermal Spraying* [online]. Prešov: The Springer, 2017 [cit. 2020-07-07]. ISBN 978-3-319-46273-8. Dostupné z: <https://link.springer-com.ezproxy.techlib.cz/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-46273-8.pdf>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Ukázka koroze [3].....	11
Obrázek 2 - Druhy korozního napadení: A - rovnoměrné napadení (1 původní povrch, 2 povrch po korozi); B - nerovnoměrné napadení; C - skvrnité napadení; D - důlkové napadení; E - bodové napadení; F - podpovrchové napadení; G - selektivní napadení; I – mezikrystalové napadení; J – transkrystalové napadení; K – extrakční napadení; L – korozní trhliny [1].....	13
Obrázek 3 - Beketova řada kovů (standardní rovnovážné potenciály kovů) [8] .....	15
Obrázek 4 - Klasifikace atmosfér podle stupně korozní agresivity ČSN EN 9223 [9] .....	16
Obrázek 5 – Korozní mapa České republiky pro zinek [10] .....	17
Obrázek 6 - pH hodnoty vody [11].....	18
Obrázek 7 – Proces žárového stříkání, dostupné z: [15].....	19
Obrázek 8 - Schéma drátové pistole: 1 - tělo pistole, 2 - plyn, 3 - drát, 4 - kyslík (stlačený vzduch), 5 - tryska, 6 - základní materiál, 7 – plamen [20].....	21
Obrázek 9 - Schéma práškové pistole: 1 – plyn, 2 – kyslík, 3 – tryska, 4 – plamen, 5 – nanesený povlak, 6 – základní materiál, 7 – kovový prášek [19].....	22
Obrázek 10 - Schéma pistole využívající elektrický oblouk [21].....	23
Obrázek 11 - Roztavená částice při dopadu [22].....	26
Obrázek 12 – Struktura povrchu: A - deformovaná částice přídavného materiálu; B - nedeformovaná částice přídavného materiálu; C - pórovitost v povlaku žárového nástřiku; D - zakotvená částice tryskacího média; E – prachová frakce materiálu povlaku; F - tvrdá fáze v povlaku žárového nástřiku; G - pórovitost na hranici mezi deformovanými částicemi; H - pórovitost na hranici povlak – podložka; I - otevřená pórovitost v povlaku; <a href="https://www.plotybohumin.cz/povrchove-upravy-kovu/">https://www.plotybohumin.cz/povrchove-upravy-kovu/</a> .....	27
Obrázek 13 - Hodnotící tabulka [34] .....	35
Obrázek 14 - Hodnotící tabulka [34] .....	36
Obrázek 15 - Průběh ponorového odmašťování, 1 - bez pohybu lázně, 2 - s pohybem lázně [39] .....	38
Obrázek 16 - Schéma tlakového tryskání: 1 - uzávěr, 2 - přívod stlačeného vzduchu, 3 - směšovací hlava, 4 - zásobník tryskacího prostředku, 5 - tlaková nádoba, 6 - tryska, 7 – hadice [39] .....	43
Obrázek 17 - Schéma podtlakového tryskacího zařízení [42] .....	44

Obrázek 18 - Schémata profilu drsnosti [48].....	47
Obrázek 19 - Ilustrativní snímek, vzhled vzorku 1 před jakoukoliv úpravou .....	49
Obrázek 20 - Vzhled vzorků po předúpravě povrchu.....	51
Obrázek 21 - Nástřik povlaku ZnAl 85/15 ve firmě S.A.F. Praha .....	52
Obrázek 22 - Výsledný povrch po metalizaci.....	54
Obrázek 23 - Ilustrativní ukázka rozmístění panenek ke zkušebnímu vzorku .....	55
Obrázek 24 - Výsledek odtrhové zkoušky vzorek 0166.2 .....	57
Obrázek 25 - Výsledek odtrhové zkoušky vzorek 0166.3 .....	58
Obrázek 26 - Výsledek odtrhové zkoušky vzorek 0166.4.....	58
Obrázek 27 - Výsledek odtrhové zkoušky vzorek 0166.5 .....	59
Obrázek 28 - Šablona pro mřížkovou zkoušku a zkoušku křížovým řezem .....	59
Obrázek 29 - Výsledek mřížkové zkoušky .....	60
Obrázek 30 - Výsledek zkoušky křížovým řezem, vzorky 0166.2 a 0166.3 .....	61
Obrázek 31 – Výsledek zkoušky křížovým řezem, vzorky 0166.4 a 0166.5 .....	62

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Dosahovaná teplota zdrojů tavení, vzato z: [18] .....	20
Tabulka 2 – Let a dopad částic z různých druhů metalizačních pistolí [19] .....	25
Tabulka 3 - Rozmezí dosahovaných hodnot u jednotlivých druhů metalizace [19].....	26
Tabulka 4 – Hodnoty smrštivosti u jednotlivých materiálů [5] .....	28
Tabulka 5 – Pórovitost u jednotlivých materiálů [5] .....	29
Tabulka 6 - Hodnotící tabulka [34].....	34
Tabulka 7 - Orientační chemické složení ocelového granulátu, všechny hodnoty v tabulce jsou v % [40].....	41
Tabulka 8 – Orientační chemické složení sekaného drátu, veškeré hodnoty v tabulce jsou v % [40] .....	41
Tabulka 9 - Stav vzorků po předúpravě povrchu.....	50
Tabulka 10 - Naměřená tloušťka povlaku ZnAl 85/15 .....	53
Tabulka 11 – Naměřené hodnoty odtrhové zkoušky .....	56
Tabulka 12 – Vyhodnocení odtrhové zkoušky .....	56



# Seznam grafů

Graf 1 - Závislost tlakového napětí na stupních přípravy povrchu .....	57
--	----