



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

**Odolnost proti opotřebení vybraných žárově
stříkaných povlaků**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR: Martin Kubový

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

STUDIJNÍ PROGRAM: B 2343 Výroba a ekonomika ve strojírenství

STUDIJNÍ OBOR: 2303R014 Technologie, materiály a ekonomika
strojírenství

Praha 6. 8. 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kubový** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **484123**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající 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:

Odolnost proti opotřebení vybraných žárově stříkaných povlaků

Název bakalářské práce anglicky:

Wear resistance of selected metalization spray coatings

Pokyny pro vypracování:

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

Seznam doporučené literatury:

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

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Ing. Sofia Kšiňanová, ústav strojírenské technologie FS

Datum zadání bakalářské práce: **15.04.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: **06.08.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2021**

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

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

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

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

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Chtěl bych poděkovat paní Ing. Sofii Kšiňanové a panu Ing. Jiřímu Kuchaři Ph.D., IWE za cenné konzultace, ochotnou spolupráci a odborné vedení mé bakalářské práce. Za poskytnutí prostředků, přístrojů a vzorků pro realizaci experimentální části práce vděčím firmě VZÚ v Plzni a upřímně děkuji všem jejím zaměstnancům, jež se na projektu podíleli.

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



Seznam zkratek a symbolů

Označení	Název
TWAS	Nástřik elektrickým obloukem
HVOF	Vysokorychlostní nástřik
D-GUN	Detonační nástřik
FS	Nástřik plamenem
APS	Atmosférický plazmový nástřik
VPS	Plazmový nástřik ve vakuu
%	Procento
Ra	Aritmetická odchylka od profilu
ČSN	Česká soustava norem
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
Mo	Molybden
Al	Hliník
Zn	Zinek
W	Wolfram
Ta	Tantal
Fe	Železo
Ni	Nikl
Cu	Měď
Ti	Titan
MgO	Oxid hořečnatý
CaO	Oxid vápenatý
MnO	Oxid manganatý
TiC	Karbid titanu
SiC	Karbid křemíku
AlN	Nitrid hlinitý
B ₄ C	Karbid boru
Al ₂ CO ₃	Oxid hlinitý
ZrO ₂	Oxid zirkoničitý
Cr ₂ O ₃	Oxid chromitý
ZrSiO ₄	Křemičitan zirkoničitý
MoSi ₂	Disicilid molybdenu

Seznam použitých veličin a symbolů

Označení	Název
m	Metr
mm	Milimetr
s	Sekunda
C	Celsius
°	Stupeň
f	Činitel tření
F_N	Normálová síla
F_T	Třecí síla
MPa	Megapascal
Hz	Hertz
dB	Decibel
ot/min	Otáčka za minutu
A	Ampér
V	Volt
g	Gram
μm	Mikrometr
kg	Kilogram

Anotace

Název diplomové práce:	Odolnost proti opotřebení vybraných žárově stříkaných povlaků
Autor práce:	Martin Kubový
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Kuchař Ph.D., IWE
Konzultant:	Ing. Sofia Kšiňanová
Akademický rok:	2020-2021
Vysoká škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	12133 – Ústav strojírenské technologie
Vedoucí ústavu:	Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Rozsah práce:	54 stránek, 7 tabulek, 29 obrázků
Klíčová slova:	Odolnost proti opotřebení, Opotřebení, Odolnost, Žárové nástřiky, Eroze

Annotation

Title of the final thesis:	Wear resistance of selected metalization spray coatings
Author:	Martin Kubový
Supervisor:	Ing. Jiří Kuchař Ph.D., IWE
Consultant:	Ing. Sofia Kšiňanová
Academic year:	2020-2021
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12133 – Department of Manufacturing Technology
Head of department:	Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Extent:	54 pages, 7 tables, 29 pictures
Keywords:	Wear resistance, Wear, Resistance, Thermal spraying, Erosion

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Žárové nástřiky	12
2.1	Metody žárových nástřiků.....	13
2.1.1	Nástřik plamenem (FS).....	15
2.1.2	Vysokorychlostní nástřik (HVOF)	16
2.1.3	Detonační nástřik (D-Gun)	16
2.1.4	Plazmatický nástřik (APS) / (VPS).....	17
2.1.5	Nástřik elektrickým obloukem (TWAS).....	19
2.1.6	Materiály pro žárové nástřiky	21
2.1.7	Rozdělení přídavných materiálů na základě tvaru.....	21
2.1.7.1	Přídavné materiály v podobě prášku.....	21
2.1.7.2	Přídavné materiály v podobě drátu.....	22
2.1.8	Rozdělení přídavných materiálů na základě chemického složení	22
2.1.1.1.	Kovové přídavné materiály.....	22
2.1.1.2.	Keramické přídavné materiály.....	22
2.1.1.3.	Speciální druhy přídavných materiálů.....	23
3	Tribologie.....	24
3.1	Tření	26
3.1.1	Stick-slip	26
3.2	Maziva	27
3.3	Opotřebení	27
3.3.1	Adheze	28
3.3.2	Abraze	29
3.3.3	Erozní opotřebení	29
3.3.4	Tribologické zkoušky	31

3.3.5	Zkouška erozního opotřebení	32
4	Experimentální část	34
4.1	Příprava vzorků.....	34
4.2	Technologický postup	36
4.2.1	Předúprava povrchu	36
4.2.2	Metalizace.....	36
4.2.2.1	BTW 58	37
4.2.2.2	98 MXC.....	37
4.2.2.3	97 MXC.....	38
4.2.3	Zařízení TWAS	38
4.2.4	Technologický postup metalizace.....	39
4.3	Metodika testování	40
4.4	Výsledky	41
4.4.1	Analýza pomocí optické mikroskopie (metalografie).....	41
4.4.2	Vizuální hodnocení.....	43
4.4.3	Hodnocení erozní odolnosti.....	44
4.4.3.1	Multivrstva A	44
4.4.3.2	Multivrstva B.....	45
4.4.3.3	Multivrstva C.....	45
4.5	Vyhodnocení výsledků	46
5	Závěr	47
	Bibliografie	48
	Seznam tabulek.....	52
	Seznam obrázků.....	53
	Seznam příloh:	55

1 Úvod

Současný nepřetržitý technologický vývoj lidstva je charakteristický vysokými nároky na spotřebu energie. Se zvyšující se populací a rychle se rozvíjející ekonomikou na všech světadílech dochází k postupnému vyčerpávání energetických zdrojů jako je ropa, zemní plyn či uhlí. Zásoby těchto fosilních paliv se podle předpokladů vyčerpají v následujících dvou stoletích. Proto je aktuálním celosvětovým trendem hledání řešení v obnovitelných zdrojích. Aktuálním celosvětovým trendem je hledání šetrnějších řešení k životnímu prostředí, což by mohl částečně splnit přechod k obnovitelným zdrojům.

Alternativa se nachází ve slunečných, větrných a vodních elektrárnách. Tento uhlíkově neutrální proces výroby je ekologický, avšak nedokáže konkurovat elektrárnám tepelným či jaderným. Přestože vodní elektrárny v současnosti celosvětově zastávají primární podíl výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, vygenerují zhruba zatím necelých 15% z celkové poptávané energie. Řešením by bylo zvýšení účinnosti a efektivity tohoto procesu. Jednotlivé komponenty vodní elektrárny podléhají náročným podmínkám a jsou vystavovány nejrozličnějším druhům opotřebení. Právě to má za následek poruchovost, snížení účinnosti či dočasné odstavení výroby. [1]

Úkolem technologa je pak redukovat opotřebení na minimum. Toho lze docílit vhodnou volbou materiálu dílu či jeho povrchovou ochranou. Každý prvek s ohledem na aplikaci podléhá ve výrobním procesu různým vlivům. Primárním cílem je definovat, jakým způsobem opotřebení komponent nejvíce podléhá. Druhotným se pak stává zvolení optimálního materiálu, který by vykazoval dostatečnou odolnost. Avšak nejideálnější materiál nelze vždy využít z důvodu konstrukční aplikovatelnosti, výrobní realizace prvku či nadměrné ceny. Proto se široce využívají povrchové úpravy, mezi něž patří například žárové nástřiky. Tento způsob úpravy vykazuje vynikající vlastnost odolnosti proti opotřebení, a proto se hojně využívají pro ochranu komponent v elektrárnách.

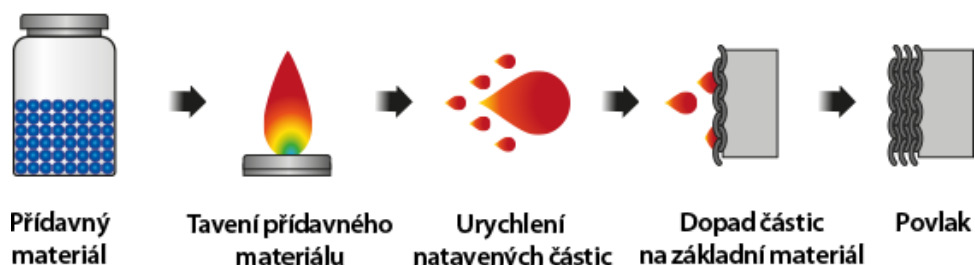
V teoretické části práce jsou shrnuty základní poznatky o žárových nástřicích a technologiích využívaných k jejich aplikaci. Zvláštní pozornost je věnována technologii TWAS, která se běžně aplikuje na součásti vodních elektráren podléhající nejrozličnějším vlivům vodního proudu. Pojednává se zde následně o vědě zvané tribologie, jež definuje tření a s ním spojené opotřebení. Úkolem experimentální části je různé žárově stříkané vzorky technologií TWAS metalograficky zkoumat, podrobit erozní zkoušce a následně vyhodnotit optimální materiál metalizace pro snížení odolnosti proti opotřebení.

2 Žárové nástřiky

Za objevitele žárových nástřiků lze považovat švýcarského vynálezce Maxe Ulricha Schoopa, jenž si jako první v roce 1909 nechal tuto metodu povrchové úpravy patentovat v Německu a Švýcarsku. Náhodou si při pozorování všiml, že po vystřelení olověného náboje na zasažených předmětech zůstává vrstva olova, která mnohdy přilnula natolik, že se s obtížemi dala odstranit. To ho přimělo k domněnce a po rocích postupných experimentů, v nichž začínal s dělem naplněným kovovým prachem, vykrytalizoval v postup, kterým byl za nepřetržitého stříkání schopen vytvořit celistvý obal ochranného materiálu pro daný předmět. Žárové stříkání neboli metalizace je proto často označována také termínem šopování, jenž vznikl na základě jména vynálezce. [2]

Žárovými nástřiky označujeme proces, při němž nanášíme kovové či nekovové povlaky na požadovanou součást za účelem získání požadovaných povrchových vlastností pro optimální a dlouhodobou funkci. Princip nanášení spočívá v ohřátí přídavného materiálu, přiváděného ve formě prášku, drátu či tyče, do roztaveného či nataveného stavu. Následně jsou zahřáté částice urychleny v pohybu požadovaným směrem na vybraný objekt pomocí proudu stlačeného vzduchu. Po dopadu se na povrchu tvoří vazba dopadajících částic a vytváří tuhnoucí lamelární struktury, které na sebe vrství a vytváří požadovanou tloušťku. [3] [4] [5]

Proces žárového stříkání



Obrázek 1 - Proces žárového stříkání [6]

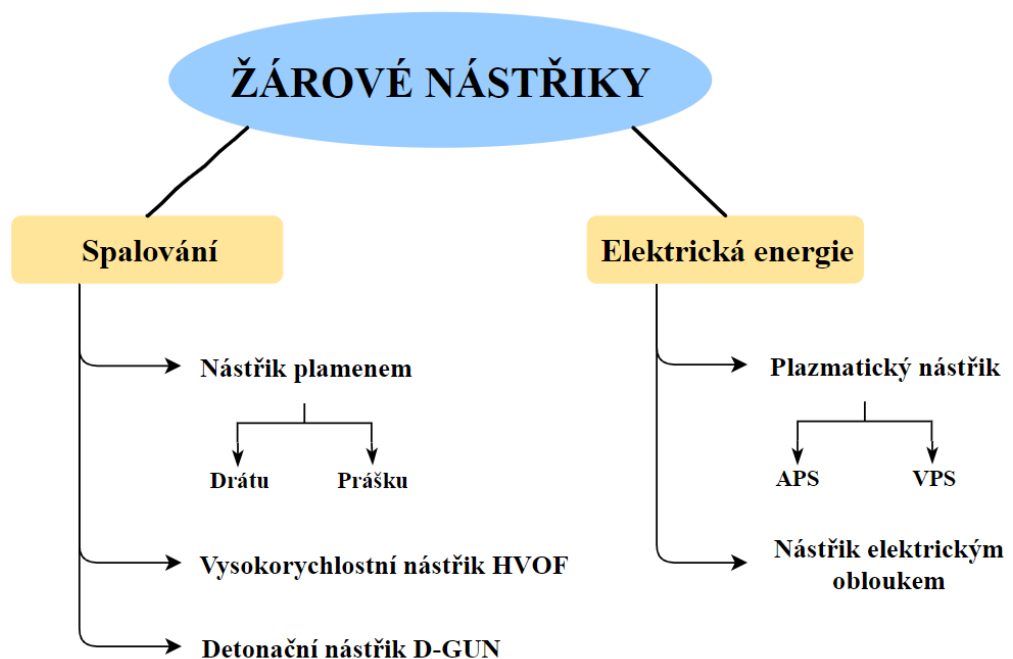
Využitím tepelné energie generované spalováním či elektrickými metodami dochází k natavení. Kinetická energie vyvozená většinou stlačeným plynem následně usměrní částice na šopovaný substrát. Tloušťka vzniklého povlaku se odvíjí od používané metody a pohybuje se kolem 0,1-10 mm. Nejmarkantnější výhodou metalizace je široká škála materiálů využitelných pro zhotovení povlaku. Dalším nesporným přínosem je fakt, že je možné nanášet jednotlivé nátěry bez výrazného tepelného ovlivnění upravovaného předmětu. Tepelným ovlivněním by mohlo dojít k mírné deformaci či poklesu požadovaných mechanických vlastností. Ohřátí základního materiálu se pohybuje kolem 100-150 °C, tedy pod teplotou fázově-strukturních přeměn. Nanášení proto může být prováděno na konci celého procesu různých teplených zpracování. Poslední výraznou výhodou je možnost odstranění nebo přelakování opotřeбенého či poškozeného nátěru beze změny vlastnosti či rozměrů. [3] [4] [6]

Vazba mezi nátěrem a povrchem je mechanického charakteru, protože se prostředí mezi sebou netaví. To, co však zůstává stěžejní, je přilnavost. Tu značně ovlivňuje drsnost povrchu a samotná čistota. Žádoucí je tedy provést předúpravu povrchu před samotným šopováním jako například otryskání či obrobení plochy. [5]

2.1 Metody žárových nástřiků

Široká variace výrobků vyžadujících povrchovou úpravu nás nutí používat vícero metod nástřiků. U každé metody záleží na několika určujících faktorech a v určitých případech jsou některé technologie nanášení vhodnější než jiné. Mezi tyto faktory patří materiál s potřebnými vlastnostmi, tloušťka a účel povlaku, velikost a přístupnost dílu a finanční náklady.

Jednotlivé metody metalizace dělíme na dvě skupiny na základě zdrojů, jimiž tavíme přídatný materiál. energii pro tavení získáme buď hořením směsi paliva a kyslíku (spalováním) nebo z elektrického zdroje. Na základě zdrojů dále členíme na následující konkrétní technologie, viz obrázek 2. Výjimkou zůstává cold spray, který neřadíme ani do jedné z kategorií, jelikož materiál je pouze přehříván a hlavní roli zde hraje kinetická energie. [3]

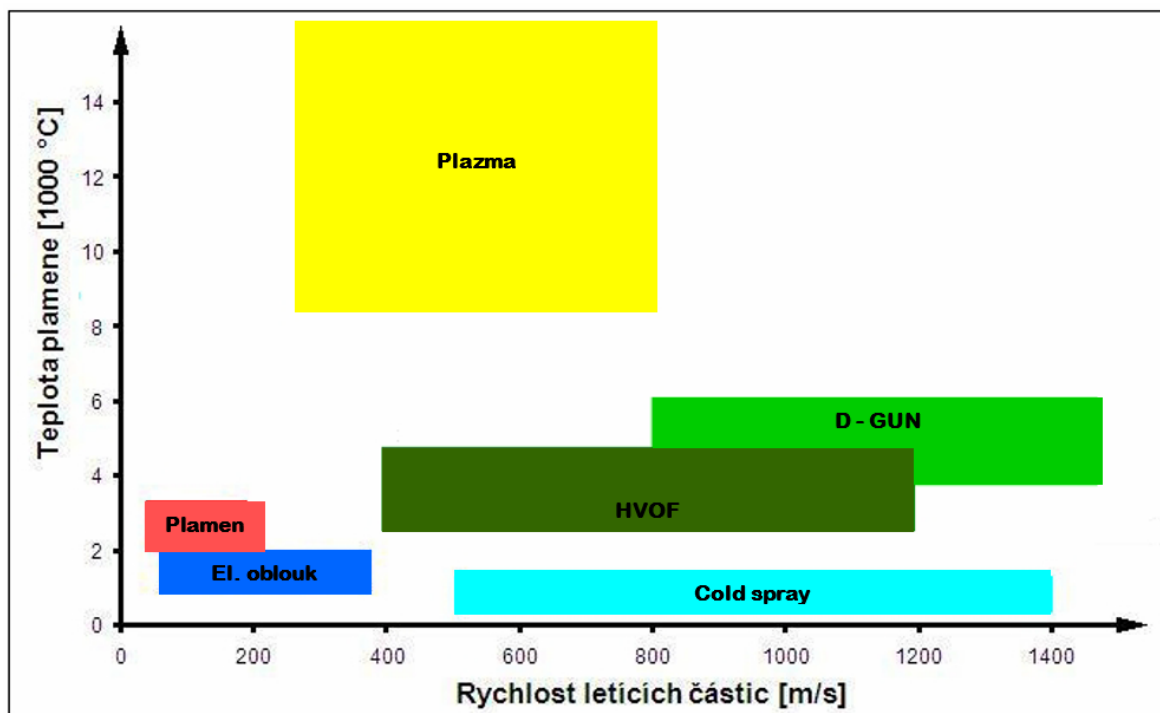


Obrázek 2 - Rozdělení žárových nástřiků [7]

Každá technologie skýtá jednotlivé výhody i nevýhody. Na pověřené osobě je zvolení nejvhodnějšího procesu metalizace. Různé metody vyžadují rozdílné teplotní rozsahy, specifickou formu přídatného materiálu a zaručují tak rozdílné hodnoty adheze. Všechny tyto faktory a vhodné aplikace jsou uvedeny v následující tabulce 1 či obrázku 3, který zobrazuje závislost rychlosti nástřiku a teploty.

Tabulka 1: Srovnání jednotlivých technologií žárových nástřiků [7]

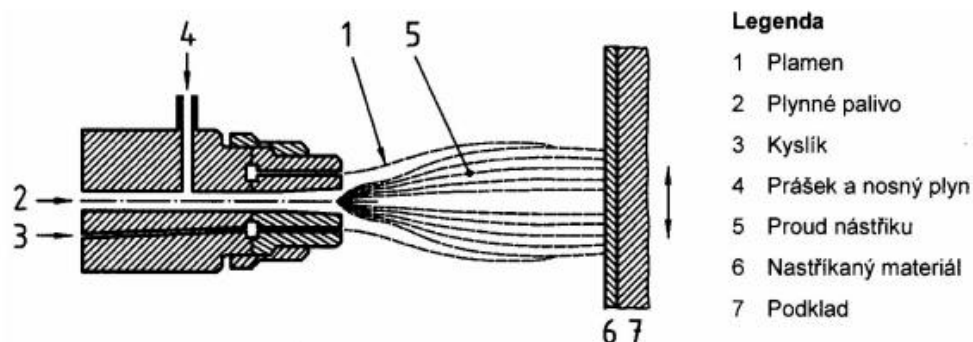
Technologie nástřiku	Forma přídavného materiálu	Teplota zdroje [°C]	Rychlost částic [m/s]	Přilnavost (adheze) [MPa]	Typické stříkané materiály	Vlastnosti povlaku	Vhodné aplikace
Nástřik plamenem	prášek/drát	2700 - 3200	50-100	7-18	kovy, slitiny, plasty	vyšší porezita a obsah oxidů	klasická metalizace, méně náročná aplikace
Detonační nástřik	prášek	4000 - 6000	1000<	82	kovy, slitiny, cermety	vysoká tvrdost, nízká porezita a obsah oxidů	ochrana proti opotřebení
Vysokorychlostní nástřik	prášek	2800 - 5200	200- 1200	60-90	kovy, slitiny, cermety	velká hustota, výborná adheze, tlakové pnutí	ochrana proti opotřebení, korozi
Plazmatický nástřik	prášek	8000 - 15000	100-800	±68	keramika	porézní v případě keramik	tepelné bariéry, izolátory
Nástřik studeným plynem	prášek	<900	500- 1500	-	měkké kovy a jejich slitiny	větší tloušťka, vysoká hustota	otěruvzdorné povlaky, renovace
Nástřik elektrickým obloukem	drát	4000 - 8000	50-300	10-40	kovy, slitiny, cermety (trub. dráty)	větší tloušťka, nízký obsah oxidů	ochrana proti korozi, vodivé povlaky



Obrázek 3 - Srovnání technologií v závislosti teploty plamene na rychlosti částic [7]

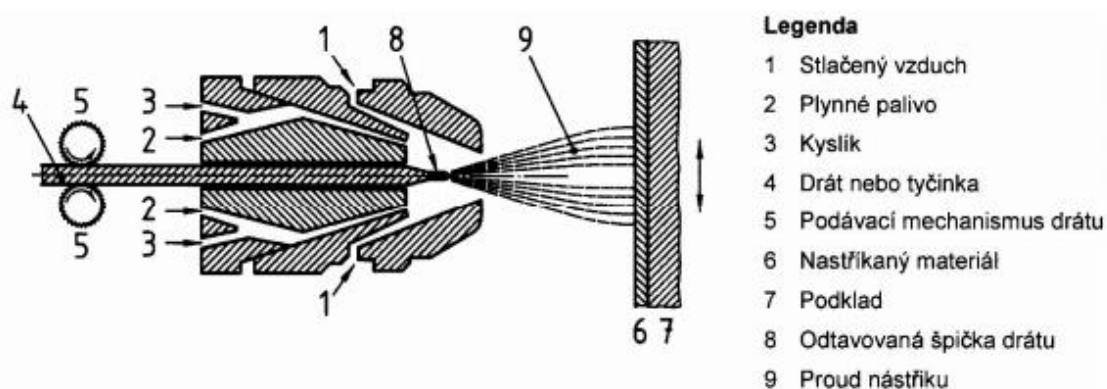
2.1.1 Nástřik plamenem (FS)

Nástřik plamenem (Flame spray) patří mezi první proces žárového nástřiku využívaný již kolem roku 1910 a stále patří mezi běžně používané. Plamenné hořáky ke generaci tepla využívají chemické energie spalováním plynů. Hlavním palivem je kombinace stlačeného vzduchu či kyslíku společně s palivem, nejčastěji acetylenem. Přídavný materiál je podáván ve formě prášku či drátu axiálně ze zadní části hořáku do plamene přes otvor pistole. Tam se taví a zároveň urychluje čistým stlačeným vzduchem směrem k substrátu. Prášek se taví buď již v trysce pistole či těsně před ní, záleží na typu a technickém řešení stříkací pistole. Metoda nástřiku plamenem se nepoužívá na součásti, kde klademe důraz na vysokou hustotu a přilnavost. [3] [4]



Obrázek 4 - Nástřik plamenem z prášku [8]

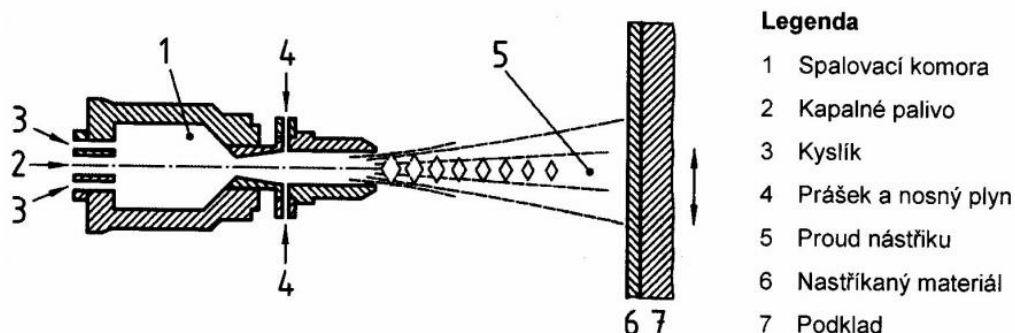
Výhodnější variantou je používání drátů, kde k tavení dochází při vyšších teplotách, což vytváří hustší povlaky. Metodu charakterizují relativně nízké teploty pohybující se v rozmezí 2 700-3 200 °C a rychlost částic v rozmezí 50-100 m/s. Co se týče přilnavosti, tak v porovnání s jinými metodami však dosahuje nejnižších hodnot. Nástřik plamenem se proto využívá pro aplikace nepříliš náročné na kvalitu nástřiku. [3]



Obrázek 5 - Nástřik plamenem z drátu [8]

2.1.2 Vysokorychlostní nástřik (HVOF)

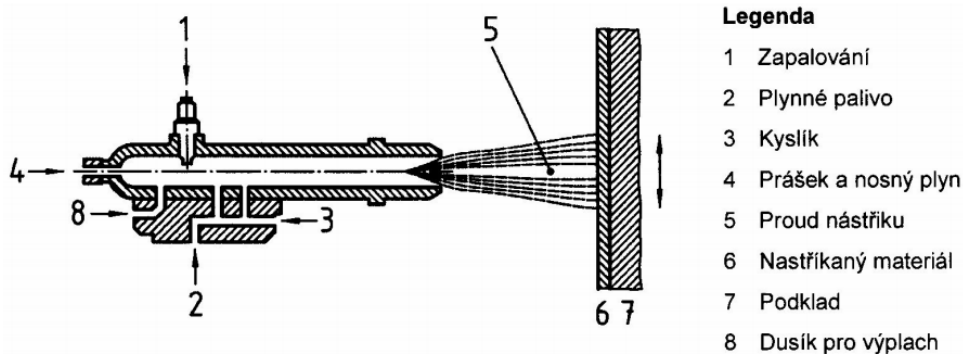
Při metodě zvané HVOF (High-velocity oxyfuel) dochází k internímu kontinuálnímu spalování ve spalovací komoře. To probíhá při velmi vysokých tlacích, jichž je docíleno velmi malým průměrem výstupního otvoru. Tím dochází k urychlení proudu do nadzvukové rychlosti pohybující se mezi 200 až 1200 m/s. Přídavný materiál může být dodáván ve dvou formách, jako plynné palivo či kapalné. V plynné formě se využívají plyny jako acetylén, propan, propylen či vodík. V kapalných skupenstvích, kde vzniká větší tlak, se pracuje nejčastěji s kerosinem a kyslíkem. Teplota se pohybuje okolo 2800-5200 °C. Forma dodávaného materiálu nejmarkantněji ovlivňuje rychlost. [4]



Obrázek 6: Nástřik vysokorychlostním plamenem s kapalným plynem [8]

2.1.3 Detonační nástřik (D-Gun)

V následujícím procesu přivádíme materiál v podobě prášku do zhruba 1 metr dlouhé hlavně spolu se směsí výbušných plynů. V pravidelných intervalech se za pomoci elektrické jiskry vzněcuje směs a dochází k řízené explozi o frekvenci 3 až 6 Hz. Mezi jednotlivými detonacemi se provádí výplach komory stlačeným dusíkem. Prášek dosahuje teplot okolo 4000-6000 °C a vyvíjí rychlost větší než 1000 m/s. Velkou nevýhodou se ukazuje všudypřítomný zvuk vyvolaný neustálými výbuchy dosahující až 145 dB, jenž je zpravidla tlumen akustickými kryty. Tímto způsobem lze dosáhnout vysokých hustot s nízkým obsahem oxidů a vynikajících hodnot adheze. Metodou se vytváří nejhustší a nejtvrďší povlaky ze všech tepelně stříkaných povlaků. Z těchto důvodů je hojně využívána v oblasti povlakování komerčních leteckých motorů. [3]

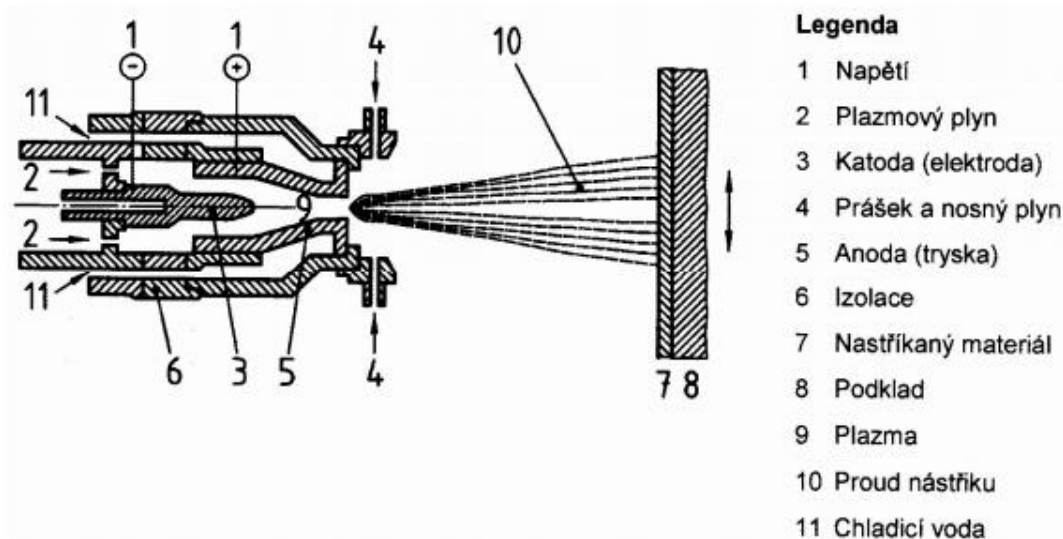


Obrázek 7: Detonační nástřik [8]

2.1.4 Plazmatický nástřik (APS) / (VPS)

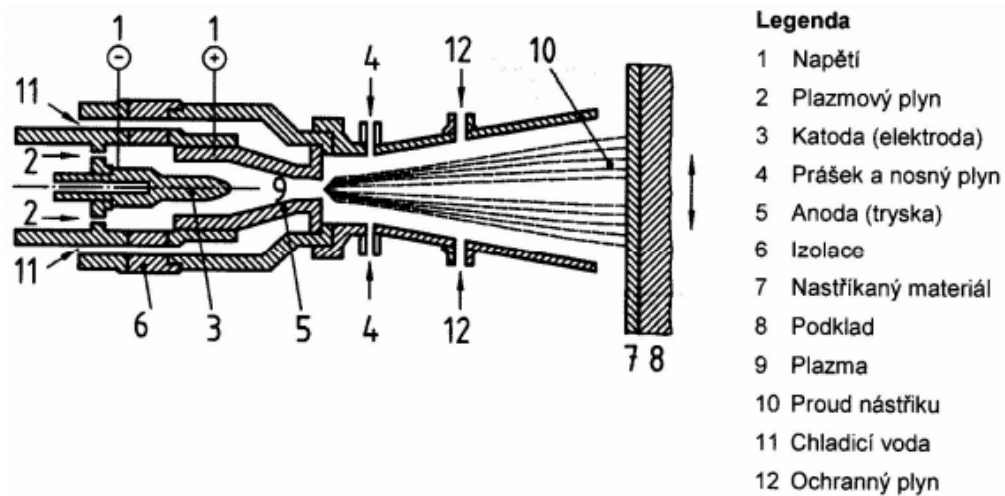
Plazma je jedním ze čtyř základních skupenství, ve kterém se hmota může vyskytovat. Jedná se o ionizovaný plyn tvořený převážně z iontů a elektronů. Nejdůležitějším parametrem plazmy je stupeň ionizace, jenž udává poměr ionizovaných částic vůči celkovému počtu. Na základě stupně ionizace rozlišujeme plazmu na slabě ionizovanou a silně ionizovanou. Metoda plazmatického nástřiku využívá vysokoteplotní silně ionizovanou plazmu. Ionizovaný plyn se generuje uvnitř pistole elektrickým obloukem vznikajícím mezi wolframovou katodou a měděnou anodou. Vpouštěný inertní plyn (argon, argon-vodík, argon-helium) je přehříván a ionizován stejnosměrným proudem, čímž vzniká plazma. Prášek je pomocí nosného plynu přiváděn do proudu plazmy a zrychlován směrem k substrátu. Většina plazmových pistolí generuje teplotu od 8 000 °C až po 15 000 °C, tedy výrazně vyšší v porovnání s bodem tání jakéhokoliv známého materiálu, což patří mezi největší výhody technologie. Při dosahování takto vysokých teplot se musí pistole intenzivně chladit vodou, aby se zabránilo roztavení a minimalizovala se eroze katody a trysky. [4]

Konvenční způsob nástřiku zvaný APS (Atmospheric plasma spraying) se aplikuje ve volné atmosféře. Pro získání ideálního splatu je nutno udržovat teplotu substrátu v rozmezí 95-205 °C, čehož se dosahuje regulací rychlosti postřiku a chlazením vodou. Rychlosti nanášení se odvíjejí od konstrukce pistole, plazmatického plynu, způsobu vstřikování prášku a vlastnostech materiálu. Provozní parametry nezahrnují pouze rychlost plynu, rychlost nástřiku prášku či úroveň výkonu, ale i vzdálenost substrátu od hořáku a úhel, pod kterým částice dopadají. [3] [4]



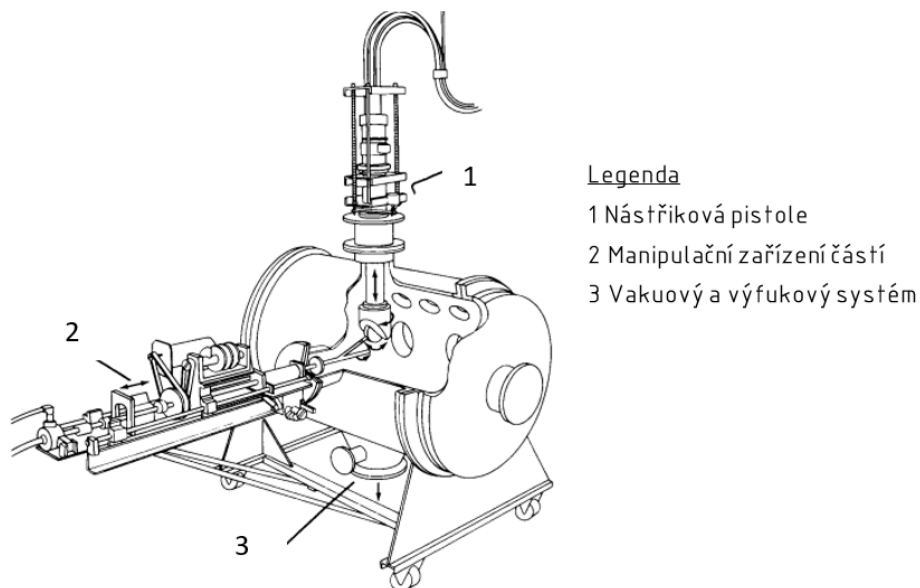
Obrázek 8 - Nástřik plazmatem v běžné atmosféře [8]

Na kvalitu povrchu má ovšem vliv i reakce roztaveného prášku s okolním prostředím po opuštění trysky. Tomu se dá zamezit použitím účinného ochranného plynu přímo za pistolí či snížením tlaku okolního prostředí. [3]



Obrázek 9 - Nástřik plazmatem s ochranným plynem [8]

Stříkání za sníženého tlaku zvané VPS (Vacuum plasma spraying) používá modifikované stříkací hořáky v komoře o tlaku 0,001-0,05 MPa. Za nízkých tlaků se plazma stává větší v průměru a délce. Využitím Lavalovy trysky se dosahuje nadzvukových rychlostí. Schopnost operovat s většími teplotami substrátu produkuje hustší a přilnavější povrchy. Absence kyslíku má za následek nižší obsah nežádoucích oxidů ve smlatu v porovnání s metodou APS. Velkou výhodou vakuového stříkání je skutečnost, že se mohou používat jako přídavné materiály i nebezpečné látky. Mezi ně se řadí toxické beryllium a pyroforický hořčík, titan či zirkon. [3]

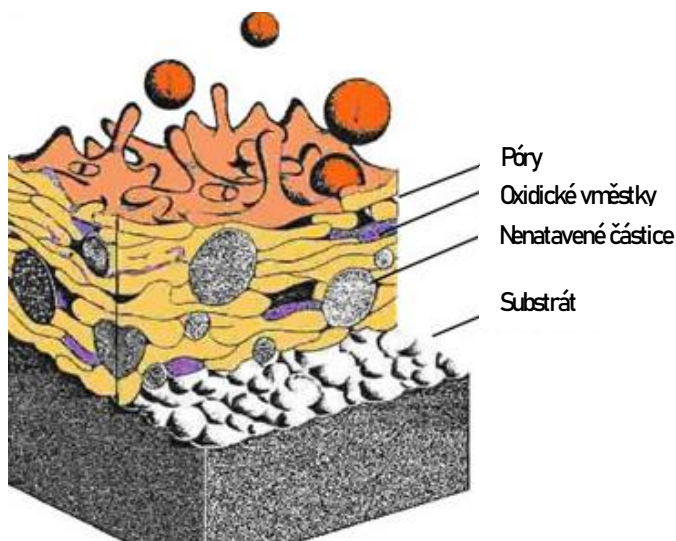


Obrázek 10 - Plazmatická vakuová komora [9]

2.1.5 Nástřik elektrickým obloukem (TWAS)

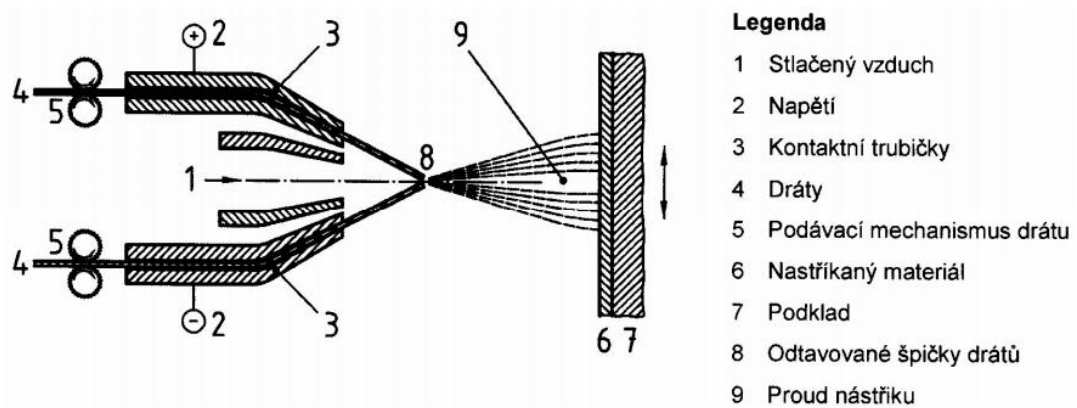
V technologii nástřiku elektrickým obloukem hojně používané od roku 1960 je charakteristická stavba pistole. Principem pistole se stávají dva vodivé dráty z přídavného materiálu, které spojením uzavírají elektrický obvod. Dráty poháněné automatickým posuvem jsou pod vysokým napětím stejnosměrného proudu natavovány v místě dotyku. Roztavený kov se atomizuje a poháněn proudem stlačeného vzduchu se nanáší na substrát. Tento proces je energeticky velmi efektivní, jelikož veškerá vstupní energie se využívá k roztavení kovu. Rychlost nástřiku se primárně řídí hodnotami proudu a liší se bodem tání natavovaných materiálů společně s jejich vodivostí. Metoda TWAS (Twin wire arc spray) nabízí různé výhody v porovnání s metodou nástřiku plamenem. Obecně vykazuje vyšší hodnoty pevnosti spojení či vyšší míru nanášení měřenou obvykle v kilogramech za hodinu. Z ekonomického hlediska je finančně relativně levné udržovat elektrický oblouk. Navíc není zapotřebí žádný drahý speciální plyn k urychlení částic. Povlaky zhotovené elektrickým obloukem se široce využívají u objemných nízkonákladových aplikací zinkových korozivzdorných povlaků, čímž konkurují žárovému zinkování. [4] [9]

Teplota elektrického oblouku dosahuje od 4 000 do 8 000 °C a stlačený vzduch částice ochlazuje zhruba na 3 800 °C. Rychlost dopadu částic se pohybuje okolo 125 m/s. Na rozdíl od jiných procesů se částice po opuštění obloukové zóny začnou okamžitě ochlazovat. Vytvořené nástřiky proto obsahují vysoké množství oxidů pohybující se okolo 10-20 %. Oxidace povrchu se dá minimalizovat redukcí vzdálenosti hlavně od substrátu či zvýšením rychlosti unášecího proudu. Nadměrné množství oxidických vměstků, které znázorňuje obrázek 11, způsobuje křehkost a celkové snížení soudržnosti povlaku. Přílnavost povlaku se pohybuje v rozmezí 10-40 MPa. Vzhledem k principu metody není možné využívat přídavného materiálu ve formě prášku. Typickými stříkanými materiály jsou kovy, slitiny a cermety. Povlaky zhotovené tímto způsobem mají obecně větší tloušťku a vysokou hustotu, proto jsou vhodné pro ořezavzdorné účely. [3] [11]



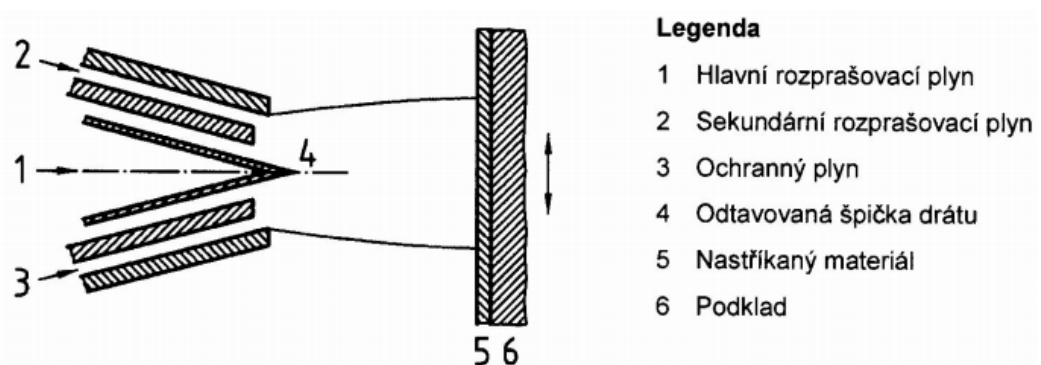
Obrázek 11: Schéma struktury žárového povlaku [10]

Vlastnosti nanášených vrstev lze ovlivňovat technickými parametry jako jsou velikost stříkacího proudu, velikosti napětí, tlakem stlačeného vzduchu, vzdáleností pistole od substrátu a rychlostí podávacího mechanismu. Omezujícím faktorem metody se jeví skutečnost, že materiál musí být vodivý a plastický pro snadnou výrobu drátů. Nejčastěji se používá tvárný, elektricky vodivý drát o průměru 1,5 mm. Použitím odlišných drátů metoda dovoluje vytvářet pseudoslitiny, takže jeden z vodičů může v matrici plnit funkci levného plniva, čímž se sníží celkové náklady. [9] Požadovaná vodivost drátů omezovala škálu přídavných materiálů. Avšak vyvinutím trubičkových drátů se mohla rozšířit o cermety a amorfni materiály. Plněné dráty se skládají z trubkového kovového pláště s práškem v jádru. Před samotnou aplikací se klade zřetel na uvolnění drátů od jakýchkoliv napětí přirozeným otevřením pár metrů volně na podlahu. Napětí přetrvávající například z předchozího namotání na cívice totiž může způsobit kroucení drátů. Zkroucení vychýlí konce drátů mimo kýžený směr, čímž dojde k přerušení elektrického oblouku, někdy nazývanému „plivání“ (spitting). [3]



Obrázek 12: Nástřik elektrickým obloukem [8]

Nežádoucí vysoké oxidaci lze zamezit metalizací v inertní atmosféře, nahrazením hlavního stlačeného vzduchu inertním plynem či přidáním sekundárního plynu. Sekundární plyn slouží jako ochranný plášť kolem nanášeného proudu a zamezuje pronikání vzduchu k nástřiku. Okolní vzduch téměř není schopen oxidace nánosu. Princip takové pistole vyobrazuje schéma na obrázku 13. [12]



Obrázek 13: Nástřik elektrickým obloukem s ochranným plynem [8]

Charakteristickým znakem šopování technologií TWAS je minimální zahřívání povrchu substrátu. Ten se pohybuje na velmi nízkých teplotách především proto, že na něj není směřován žádný zdroj tepla jako například u plazmového nanášení. Pro aplikace, kde se vyžaduje udržení substrátu na nízké teplotě, se tento proces ukazuje jako nejideálnější. Tímto umožňuje nanášet povlaky na polymery, skleněná vlákna, dřevo a papírové produkty, jakož i na kovové či skleněné povrchy. Specifickými oblastmi zájmu tohoto jedinečného atributu jsou ocelové konstrukce, mosty, vodní a skladovací nádrže, lodě a jejich paluby. Povlaky mohou být zhotoveny s mnohem větší drsností povrchu v porovnání s ostatními druhy nástřiků, takže jsou vhodné jako protiskluzové povrchové úpravy. [3]

2.1.6 Materiály pro žárové nástřiky

Přídavný materiál hraje jednu z klíčových rolí při vytváření povlaků s pomocí žárových nástřiků. Existuje široká škála materiálů, které se využívají při šopování a každý má unikátní rozdílné vlastnosti. Na základě požadavku zákazníka se vybere materiál splňující daná kritéria. Při výběru se nehledí pouze na vlastnosti nanášeného materiálu, ale musí se zohlednit celková kompatibilita substrátu s nánosem. Základní rozdělení přídavných materiálů je podle jejich tvaru, v podobě prášku nebo tvaru. [3]

2.1.7 Rozdělení přídavných materiálů na základě tvaru

- Přídavné materiály v podobě prášku
- Přídavné materiály v podobě drátu

2.1.7.1 Přídavné materiály v podobě prášku

Přídavné materiály jsou nejčastěji používány ve formě prášků. Důvodem je, že téměř všechny druhy přídavných materiálů lze vyrábět v práškové podobě. V této formě se posuzuje prášek na základě velikosti, tvaru částic a velikosti zrn. Jemnější zrnitost má za následek těsnější rozmezí a s tím spojené kvalitnější vlastnosti společně s vyšší cenou. Rozmezí a velikosti zrn se běžně udávají v μm . [13]

Prášky se vyrábí třemi způsoby. Jedním z nich je atomizace, kdy se tavenina rozprašuje do kapalného nebo plynného prostředí. Atomizované prášky mívají dobrou tekutost a nízkou pórovitost. Jako další se využívá sintrování, při kterém se vyrábějí karbidy, oxidy a cermety. Způsob spočívá v rozdrčení určitého bloku materiálu na požadovanou zrnitost prášku. Takto vyrobený prášek však nemá vzhledem k nepravidelným tvarům částic dobrou tekutost. Nejvíce rozšířeným způsobem výroby se postupem času stala tzv. aglomerizace. Aglomerizace neboli sušení rozstříkem spočívá ve vytvoření kašovitě hmoty z materiálu, organického pojiva a vody. Hmota se následně nanáší na rotující disk, na němž se rozpadá na jednotlivé částice. [13]

Navzdory tomu, že většinu materiálů lze vyrábět v práškové podobě, vznikly metody žárových nástřiků, při jejichž principu nelze použít prášek a požaduje se materiál přivádět ve formě drátu. [13]

2.1.7.2 Přídavné materiály v podobě drátu

V technologiích metalizace plamenem či elektrickým obloukem není možné použít přídavných materiálů ve formě prášku, a proto se vyrábí v podobě drátů. Dráty však skýtají jednu zásadní nevýhodu, a to že drát se nemůže vyrábět z jakéhokoliv materiálu. Materiály pro výrobu drátů musí být plastické, aby si udržely svůj tvar. Náhražkou se staly trubičkové dráty, které se hojně využívají při nástřiku elektrickým obloukem. Jsou kombinací přídavného materiálu ve formě dutého drátu a práškovou výplní prostoru. [13]

2.1.8 Rozdělení přídavných materiálů na základě chemického složení

- kovové přídavné materiály
- keramické přídavné materiály
- speciální druhy přídavných materiálů

2.1.1.1. Kovové přídavné materiály

Materiály na kovové bázi patří mezi ty nejstarší používané. Na začátcích byly využívány výhradně ve formách drátů, ale v současnosti i v práškové podobě. V rozumném množství se používají přídavné materiály čistých kovů (Mo, Al, Zn, W, Ta, Fe, Ni a Cu). Jednotlivé kovy dodávají různé vlastnosti. Nástřiky ze zinku a hliníku zvyšují korozní odolnost, zatímco třeba molybden zaručuje kluzké vlastnosti povrchu. V případě renovování starých strojních částí se praktikují materiály na bázi oceli se zvýšeným obsahem uhlíku a chromu. Slitiny niklu zvyšují tvrdost a zároveň odolnost proti otěru. [13]

2.1.1.2. Keramické přídavné materiály

Vzhledem ke skvělé odolnosti proti opotřebení, tvrdosti a izolačním vlastnostem se časem ve velké míře rozmohlo používání keramických přídavných materiálů. Ty byly nejrozšířenější v práškové podobě, avšak v současnosti už vyplňují i trubičkové dráty. Jako přídavný materiál lze využít jak keramiku neoxidickou, tak i oxidickou. V této kategorii se nachází sloučeniny jako např. nitridy, karbidy, boridy a další. [13]

Z oxidické keramiky se nejvíce používá sloučenin Al_2O_3 , ZrO_2 , Cr_2O_3 a ZrSiO_4 . Oxidu hlinitého a oxidu chromitého se využívá pro skvělou odolnost proti opotřebení a otěru. Oxid zirkoničitý a křemičitan zirkoničitý zase zaručuje dobré tepelné izolační vlastnosti. Oxidickou keramiku je nutno v určité fázi stabilizovat, což mají za úkol tzv. stabilizátory (MgO , CaO , MnO). [13]

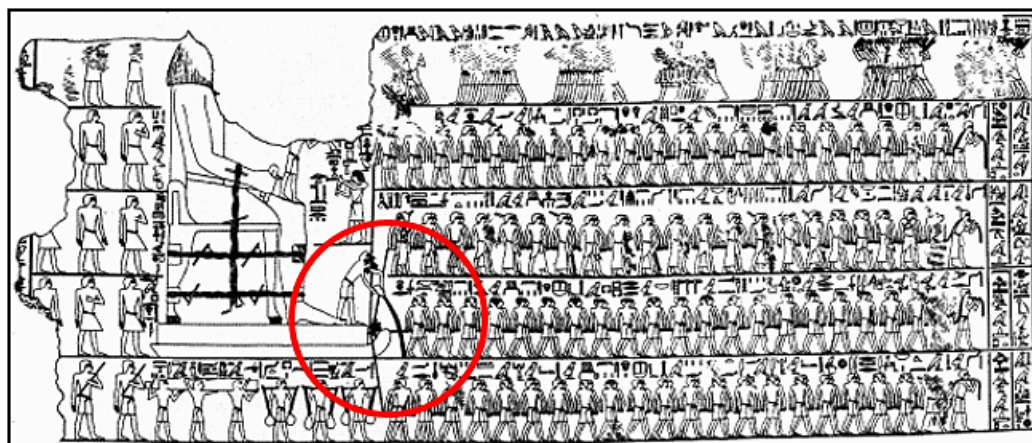
Z neoxidické keramiky se v přídavných materiálech používají karbidy (TiC , SiC , B_4C), nitridy (AlN) a silicidy (MoSi_2). Všechny tyto materiály disponují vysokou tvrdostí. [13]

2.1.1.3. *Speciální druhy přídavných materiálů*

Do speciální skupiny se řadí cermety, které vznikají kombinací keramiky a kovu. Díky této kombinaci materiálů se stávají kompromisem a kombinací vlastností. Kov zaručuje vlastnosti jako houževnatost a tažnost, zatímco keramika přináší odolnost proti vysokým teplotám, tvrdost a odolnost proti opotřebení. Do skupiny spadají materiály jako Ni-grafit, Ni-Al nebo Ni-Ti. Ni-grafit patří mezi cermety a obsahuje tedy kovovou i nekovovou složku. Nikl tvoří ochrannou obálku grafitu a zabraňuje tak oxidaci nástřiku či rozkladu ve vysokých teplotách. Ni-Al nebo Ni-Ti disponují exotermickým účinkem, který zvyšuje přilnavost splatu k substrátu. [13]

3 Tribologie

Slovo tribologie je odvozeno od řeckého „tribos“, což v doslovném překladu znamená „věda o tření“. Odvětví, jímž se zabývá, známe už tisíce let, avšak slovo tribologie je použito poprvé v roce 1966. Tření využívá lidstvo od nepaměti, kdy lidé neustálým třením vyvrtávali otvory či rozdělávali oheň. Mezi prvními zaznamenanými lidmi, kteří se tření naopak snažili snížit, byli samotní egyptané již v 2. tisíciletí před naším letopočtem. Dochované staroegyptské malby vyobrazují egyptany táhnoucí těžký objekt, pod který jeden z nich nalévá pravděpodobně vodu, jež dokládá malba na obrázku 14. Použitím vody snižovali činitel tření, čímž si usnadnili práci a využili nedílnou část tribologie – mazání. V 15. století našeho letopočtu to byl Da Vinci, kdo představil koncept tření jako poměr třecí síly k normálovému zatížení. S postupným vývojem technologií se kladl mnohem větší důraz na snížení tření za účelem snížení požadované síly k rozpočívání součástí. S tím ovšem úzce souvisí opotřebením. Opotřebením je mnohem dříve zkoumaný subjekt než tření nebo například vývoj ložisek a do značné míry se určovalo donedávna pouze empiricky. Tímto odvětvím tribologie se začal více zabývat až v polovině 20. století Ragnar Holm. Postupný vývoj železnic, automobilů a následně letadel vedl k potřebě spolehlivých strojních součástí, což kladlo důraz na rozmach v oblasti tribologie. [14]

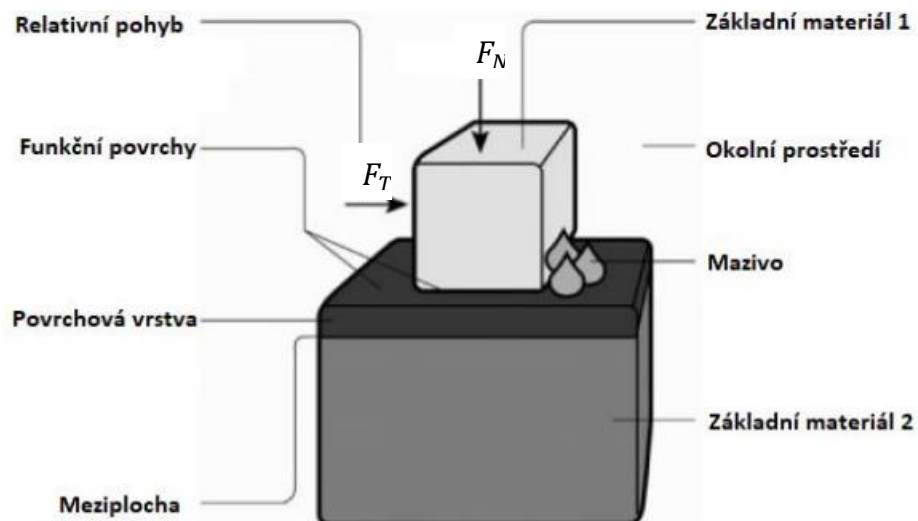


Obrázek 14: Egyptané používající maziva při přesunu sochy [15]

Tribologie je věda zabývající se interakcí a chováním dvou povrchů při relativním pohybu či pokusu o pohyb. Vzájemným pohybem se uvažuje pohyb kluzný, kmitavý, valivý nebo nárazový. Oblast zkoumání se rozděluje na tři odvětví – tření, opotřebením a maziva. Zkoumání těchto oborů vyžaduje znalost různých disciplín jako jsou fyzika povrchů a chemie, mechanika tekutin, materiálů nebo mazacích systémů. Věda zasahuje do všech technologických aplikací a stává se zásadní pro moderní strojní zařízení, které využívají kluzké a valivé plochy. [14] [16]

Ukázkovým žádoucím příkladem, kdy se tření maximalizuje, jsou brzdy, spojky, hnací kola ve vlacích a automobilech, šrouby či matice. Naopak příklady, kdy se tření snižuje na minimum jsou spalovací motory, ozubená kola, vačky, těsnění a ložiska. [14] [16]

Při styku dvou relativně plochých povrchů způsobuje drsnost jednotlivých ploch kontakt na určitých místech. Součtem těchto kontaktních míst se získá skutečná plocha dotyku a s aplikovaným zatížením to bude pouze malý zlomek údajné plochy. Skutečná kontaktní plocha je závislá na povrchové textuře, vlastnostech materiálu a podmínkách mezifázového zatížení. Problém spojování tření a opotřebení s povrchovou strukturou a vlastnostmi materiálu obecně zahrnuje stanovení skutečné kontaktní oblasti. Proto pochopení tření a opotřebení vyžaduje pochopení mechaniky kontaktu pevných těles. Během kontaktu dvou povrchů dojde k dotyku pouze v několika bodech, aby se vyrovnal nápor prvotního normálového zatížení (síly). Za zvyšování normálového zatížení se k sobě povrchy přibližují a do kontaktu přichází větší počet vyšších nerovností. Na základě drsnosti a reliéfu povrchu se určuje činitel tření, který bývá při výpočtech sil klíčový a rovná se normálové síle dělené třecí silou. Ten je možno snížit přidáním maziv, čímž se sníží nároky na vyvíjenou sílu, která těleso uvádí do pohybu. Tento jev ilustračně popisuje schéma v obrázku 15 a na obrázku 16 je tento princip vyjádřen rovnicí. [14]



Obrázek 15: Schéma tribologické soustavy [17]

$$f = \frac{F_N}{F_T}$$

f – činitel tření, F_N – normálová síla, F_T – třecí síla

Obrázek 16: Vztah pro činitel tření [14]

3.1 Tření

Tření je odpor proti pohybu během klouzání nebo odvalování, který se projeví při pohybu jednoho pevného tělesa po druhém, se kterým je v kontaktu. Odporová síla, která působí ve směru přímo opačném ke směru pohybu, se nazývá třecí síla. Tření lze rozdělit na základě několika kritérií.

Podle působení kontaktních ploch:

- vnější tření (kontakt povrchů dvou těles)
- vnitřní tření (kontakt vrstev materiálu uvnitř tělesa)

Podle stavu kontaktních ploch:

- tření tuhých těles
- kapalinové
- plynové
- plazmatické

Podle druhu pohybu:

- smykové tření (kontakt po sobě klouzajících ploch, charakterizované činitelem tření)
- valivé tření (vzniklé rotačním pohybem)

Podle přítomnosti maziv:

- suché tření (dochází k vysokému tření a nabývání teplot)
- smíšené tření (minimální opotřebení, mazivo vyplňuje prostor mezi plochami)
- kapalinové tření (mazivo odděluje oba povrchy, tření téměř nepůsobí) [14]

Při tření nejrůznějších ploch dochází k řadě mechanických principů, na jejichž základě se materiály různými způsoby chovají. Jednotlivých principů, ke kterým běžně dochází a určují hybnost či nehybnost těles, je celá řada. Za zmínku stojí alespoň pro nastínění jev známý jako Stick-slip. [18]

3.1.1 Stick-slip

Jedním z důsledků vyššího statického tření ku kinetickému tření a zároveň poklesu kinetického tření se zvyšující se rychlostí je skutečnost zvaná stick-slip. Úkaz lze popsat jako střídání vzájemného ulpění a následném sklouznutí na sebe dosedajících povrchů. Vnější síla působí na těleso a pomalu narůstá až do situace, kdy překoná statické tření a posune těleso právě o tolik, kolik potenciální energie nakupila. Poté zůstane těleso v klidu a znovu se opakuje hromadění energie až do vyrovnání sil vnějších a statických. Výsledkem těchto opakování je trhavý pohyb, jenž lze v praxi demonstrovat například skřípáním dveřních nenamazaných pantů, psaní křídou či jeho využitím při hraní na smyčcové nástroje. Tento efekt při rezonujícím a neustálém pohybu způsobuje vibrace, které mohou mít nepříznivý vliv například při obrábění. Jev závisí na činiteli tření daných materiálů a vzájemné rychlosti pohybu, avšak za použití maziv mu lze částečně zabránit nebo se mu úplně vyvarovat. [19]

3.2 Maziva

Když suchý povrch kovů, keramiky a většiny polymerů klouže proti sobě, jsou činitelé tření obvykle 0,5 jednotek nebo vyšší. V mnoha praktických situacích však takové vysoké hodnoty mohou znamenat nesnesitelně vysoké třecí síly, energetické ztráty a opotřebení. Proto jsou záměrně aplikována maziva, která zaručují nízké tření a opotřebení. Termín „mazání“ se používá pro dvě různé situace: tuhé mazání a tekuté. Tuhým mazivem je jakýkoli materiál používaný jako prášek nebo tenký pevný film na povrchu, který poskytuje ochranu před poškozením během relativního pohybu. Tuhá maziva se používají pro aplikace, ve kterých dochází k jakémukoli kluznému kontaktu, například ložisko pracující při vysokých zatíženích a nízkých rychlostech. Tekuté mazivo může být kapalina či plyn. Maziva nám snižují činitel tření, jež byl nastíněn výše v úvodu do tribologie a udává nám podíl normálové síly působící na podložku ku třecí síle, jenž brání pohybu. Používáním maziv lze dosáhnout hodnoty činitele tření až 0,001. [14]

Tabulka 2: Činitelé tření pro různé typy maziv [18]

Druh tření	Režim mazání	Činitel tření (f)
Smykové tření	Suché mazání	0,1 - 1
	Mezné mazání	0,1 – 0,2
	Smíšené mazání	0,01 – 0,1
	Kapalinové mazání	0,001 – 0,01
	Plynné mazání	0,0001
Valivé tření	(Mazání tukem)	0,001 – 0,0005

3.3 Opotřebení

Opotřebení je povrchové poškození nebo ubírání materiálu z jednoho nebo obou plných povrchů při vzájemném klouzavém, valivém nebo nárazovém pohybu. Ve většině případů dochází k opotřebení prostřednictvím povrchových interakcí u nerovností. U opotřebení materiálu se nemusí zpravidla jednat o ztrátu materiálu, hmotnosti. Při vzájemném pohybu se opotřebuje těleso i pouhým přemístěním materiálu a porušením povrchových vlastností. Při této skutečnosti se ztratí minimální hmotnost materiálu nebo naprosto žádná. Opotřebení je reakcí systému na probíhající tření. Tření a opotřebení spolu souvisejí a jsou navzájem provázány vztahem, kdy opotřebení je následkem tření. [18]

Chybně se někdy předpokládá, že rozhraní s vysokým třením vykazují vysokou míru opotřebení. To nemusí být nutně pravda. Například rozhraní s pevnými mazivy a polymery mají relativně nízké tření a relativně vysoké opotřebení, zatímco keramika vykazuje mírné tření, ale extrémně nízké opotřebení. [18]

Příkladem produktivního opotřebení je psaní tužkou, obrábění, leštění a holení, které vyžadují kontrolované opotřebení. Opotřebení je nežádoucí téměř ve všech strojních aplikacích, jako

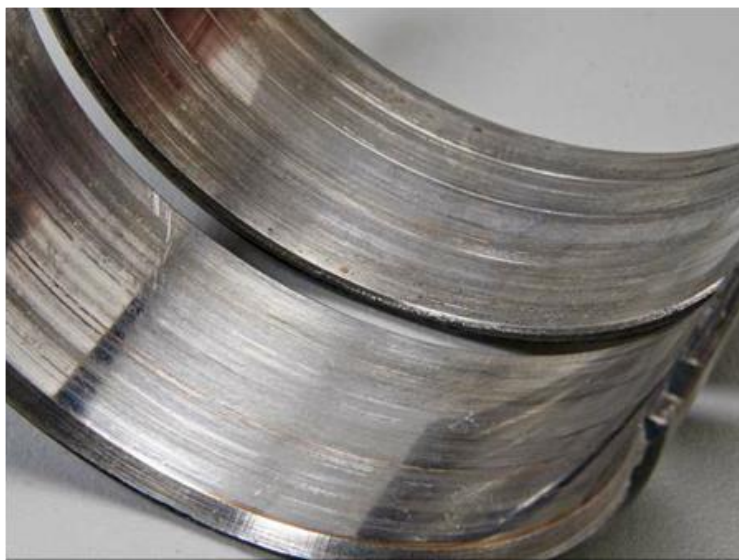
jsou ložiska, těsnění, ozubená kola a vačky. Po odstranění relativně malého množství materiálu nebo při nesprávném zdrsnění povrchu může být nutné komponenty vyměnit. [14]

K opotřebení dochází mechanickými a chemickými způsoby a obecně je urychlováno teplotou vznikající třením. Otěr zahrnuje šest následujících hlavních, zcela odlišných jevů, které mají společnou pouze jednu věc – odstranění pevného materiálu z třecích povrchů:

- adhezivní opotřebení
- abrazivní opotřebení
- erozní opotřebení
- únavové opotřebení
- korozivní opotřebení
- opotřebení elektrickým obloukem
- vibrační opotřebení [14]

3.3.1 Adheze

Při kontaktu dvou pevných ploch dochází zcela běžně k adhezivnímu opotřebení. Dva po sobě klouzající povrchy nikdy nebudou ideálně hladké a budou mít určitou drsnost, což představuje výčnělky a nerovnost povrchu. Při vzájemném pohybu přichází právě tyto výčnělky mezi sebou do kontaktu. Určitým zatížením dochází k postupné elastické deformaci, která s narůstajícím tlakem přechází na deformaci plastickou. Měkčí materiál vytvoří mikro spojení, avšak následným pohybem se vzápětí poruší a tím vytrhne částice materiálu. Proces doprovází zvyšující se teplota podporující tento adhezivní otěr. Společným rysem adhezivního opotřebení bývá sedřený materiál v podobě škrábanců podélně ve směru smýkání, viz obrázek 17. Adhezivnímu opotřebení lze předejít dostatečným mazáním a vhodným výběrem vzájemně se dotýkajících materiálů. [14]



Obrázek 17: Adhezivní opotřebení ložiska [21]

3.3.2 Abraze

Abrazivní opotřebení nastává v situaci, kdy nerovnost tvrdšího materiálu smýkaného po měkčím odděluje částice měkčího materiálu. Proces je způsoben výstupky, vypuklinami a tvrdými částicemi, které při nárazu odlamují výčnělky měkčího povrchu a unášejí pryč. S klesající drsností povrchů zároveň klesá i míra abrazivního opotřebení. Abrazivní opotřebení je nejběžnější formou opotřebení. Podle statistik je asi polovina celkové ztráty poškození opotřebením ve výrobě způsobena abrazivním opotřebením. Na základě tohoto faktu se klade velký důraz na vyhovující drsnosti součástí. Jako vzorový příklad abraze se dá uvést používání pilníků. Tvrdší materiál, jímž je v tomto případě pilník, se zařezává díky své velké drsnosti do materiálu a unášejí částice například dřeva. Zvětšením velikosti abrazivních částic se zvyšuje míra poškození. Mezi nejdůležitější faktory patří relativní tvrdost materiálu vůči abrazivním částicím, zatížení a rychlost smýkání. [22]



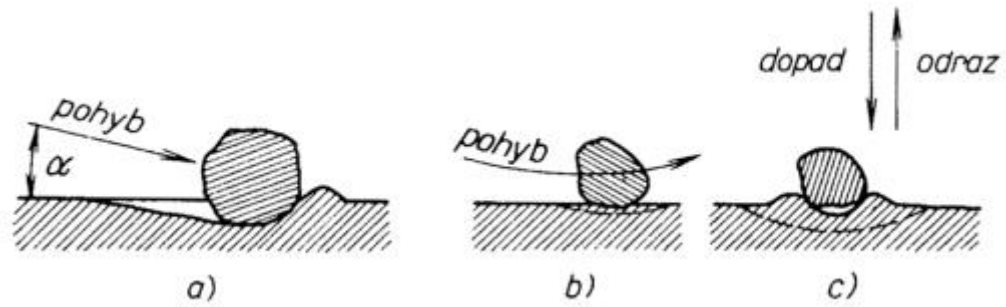
Obrázek 18: Abrazivní opotřebení pístu [23]

3.3.3 Erozní opotřebení

U erozního opotřebení dochází k oddělování částic a znehodnocování povrchu částicemi nesenými kapalinou či plynem. Způsobuje ji tryskání a proudění kapaliny obsahující pevné částice, samotné kapičky kapaliny či imploze bublin v kapalině. Erozi dělíme na tři podkategorie na základě typu poškození:

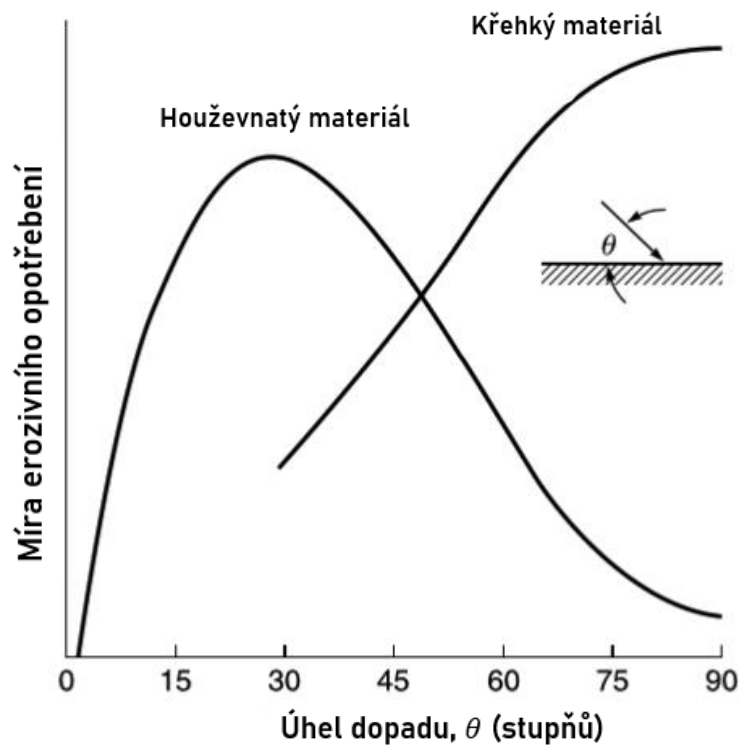
- částicemi nesenými proudem kapaliny
- částicemi nesenými proudem plynu
- proudem kapaliny, kapek, páry nebo plynu

Významným faktorem eroze je úhel, pod jakým dopadají částice na sledovaný povrch. To názorně ilustruje obrázek 19. [14]



Obrázek 19: Schéma opotřebení v závislosti na úhlu dopadu částic: a - při šikmém dopadu, b - při téměř rovnoběžném dopadu, c - při dopadu kolmo [24]

Obecně se jedná o formu oděru, která se v porovnání s jiným opotřebením vyhodnocuje poněkud odlišně. Kontaktní napětí vzniká z kinetické energie částic prouděním proudu vzduchu nebo kapaliny, když narazí na povrch. Rychlost částic a úhel nárazu v kombinaci s velikostí brusiva udávají měřítko kinetické energie dopadajících částic. K opotřebení vznikajícímu při erozi dochází v důsledku opakovaných nárazů. Stejně jako v případě abrazivního opotřebení dochází k eroznímu opotřebení plastickou deformací a nebo křehkým lomem, v závislosti na erodovaném materiálu a provozních parametrech. Závislost opotřebení na úhlu nárazu u tvárných a křehkých materiálů je odlišná, jak ukazuje obrázek 20. Tvárné materiály podléhají opotřebení procesem plastické deformace, při kterém je materiál odstraněn posouváním nebo řezáním erodované částice. Na druhé straně v křehkém materiálu bude materiál odstraněn tvorbou prasklin, ze kterých se šíří materiál ven z místa dopadu erodované částice. [14] [18] [28]



Obrázek 20: Míra erozivního opotřebení v závislosti na úhlu dopadu částic [14]

V případě křehkých materiálů bude stupeň a závažnost praskání ovlivněn tvarem abrazivních částic. Ostřejší částice by vedly k více lokalizované deformaci a následnému opotřebení ve srovnání s více zaoblenými částicemi. Pro erozi tvárných materiálů byly pozorovány dva základní erozní mechanismy: eroze řezáním a eroze deformací (orbou). Při erozi řezáním dochází k oddělení okrajů jedním nebo několika nárazy přirovnatelnými k mikroobrábění. Eroze řezáním je v mnoha ohledech podobná abrazivnímu opotřebení. Při deformační erozi dochází k oddělení materiálu rozkouskovaním povrchu v důsledku několika dopadů a vytvoření kráteru (vtlačku). Sekvence po sobě jdoucích nárazů má za následek rovnání a další vytváření okrajů, čímž se vytvoří tenké destičky z vysoce namáhaného kovu, které jsou nakonec sraženy z povrchu. Tvrdost povrchu a tažnost jsou nejdůležitějšími vlastnostmi pro odolnost proti oběma typům eroze. [14] [18] [28]

S erozivním typem opotřebení se běžně setkáváme v praxi například u poškození lopatek vodních turbín, čerpadel, hydraulických turbín či vodního potrubí. Mechanismus eroze se však uplatňuje a využívá při záměrných úpravách povrchu tryskáním, kuličkováním či řezáním vodním paprskem. Pro erozivní opotřebení je typický nerovnoměrný úbytek materiálu. [14]



Obrázek 21: Erozi poškozená koule uzávěru [24]

3.3.4 Tribologické zkoušky

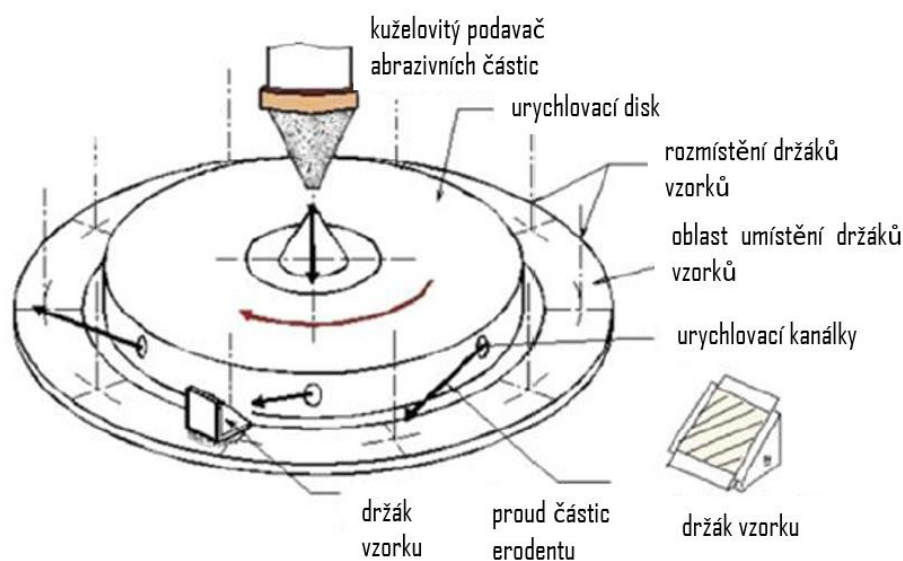
Experimenty tření a opotřebení jsou navrženy tak, aby zkoumaly tribologické vlastnosti systému a jejich variace za pracovních podmínek. Účelem je odhalit všechny faktory mající vliv na vlastnosti tření a opotřebení a na základě toho určovat konstrukční parametry jednotlivých mechanických součástí. Protože jevy tření a opotřebení jsou komplikované, experimentální metody a zařízení jsou různé, získané experimentální údaje jsou podmíněné a často je jejich srovnávání obtížné. V posledních letech byla standardizaci experimentálních metod věnována stále větší pozornost, aby byly zkušební metody jednotné. Pro zvolení vhodné zkušební technologie pro konkrétní oblast se vyhodnocuje složitost daného tribosystému, aby se vybrala nejideálnější zkušební metoda. Tření a opotřebení jsou syntetickým účinkem různých vzájemně ovlivňujících se faktorů. Spolehlivý závěr tedy můžeme získat pouze přísnou kontrolou experimentálních

podmínek. Zkušebními metodami se simuluje reálný provoz dané součásti v praxi, na jejichž výsledcích se dělají konečná rozhodnutí o způsobilosti. [14] [18]

Současné experimentální metody lze rozdělit do následujících tří kategorií: laboratorní zkouška, simulační test a skutečný test prováděný v praxi. V bakalářské práci bude postačující využít laboratorní zkoušky, při níž se u vzorku využívá univerzální zkušební stroj k provedení experimentu podle daných pracovních podmínek. Výhodou testu laboratorních vzorků je snadné řízení parametrů, prostředí, pracovních podmínek, vysoká reprodukovatelnost experimentálních dat a relativně krátká experimentální doba. Lze proto v krátké době získat mnoho systematických dat a simulovat prostředí na základě potřeb. Protože však experimentální podmínky nejsou plně kompatibilní se skutečnými pracovními podmínkami, jsou výsledky často zavádějící, avšak dostačující. Tribologických zkoušek existuje celá řada s nejrůznějšími požadavky zaměření, avšak pro díle část této práce je vyhovující zkouška erozního opotřebení. [18]

3.3.5 Zkouška erozního opotřebení

Erozní zkouškou opotřebení se zjišťuje hmotnostní úbytek či objemový úbytek materiálu. Princip zkoušky spočívá ve vystavení povrchu materiálu simulovaným podmínkám eroze skrze vhodně zvolený druh erodentu. Erodent se volí podle požadovaného prostředí, jemuž bude vystaven povrch nástřiku v praxi. Nejčastěji se aplikují různé zrnitosti a typy korundu, jenž na Mohsově stupnici tvrdosti vykazuje tvrdost 9. Po vykonání erozivní zkoušky se vzorky vyjmají a váží na příslušné váze s odpovídající přesností vzhledem k povaze vzorku. Pro získání materiálové charakteristiky je nutné vzorky zvážit vždy před cyklem zkoušky a následně po něm. Na základě dvou rozdílných hmotností se zjišťuje právě hmotnostní úbytek povlaku či objemový úbytek, za předpokladu známé hustoty substrátu. [27] [28]



Obrázek 22: Schéma zkoušky erozní odolnosti [27]

Obrázek 22 názorně ilustruje princip a průběh zkoušky. Při samotném testu se vystavují vzorky kinetické energii dopadajících částic erodentu uloženého v zásobníku. Erodent se nastavenou rychlostí odsypá do urychlovací části zařízení. Zde rotující disk poháněný elektromotorem pomocí odstředivé síly předává erodentu kinetickou energii. Z rotujícího disku je dopad urychlovacími kanálky usměrněn na aretované vzorky v držácích. [27] [28]

Odolnost povlaků velmi závisí na úhlu dopadu. Proto se jednotlivé vzorky aretují po dvojicích v rozdílných úhlech, čímž je umožněno definovat kritický úhel pro odolnost proti opotřebení. Při dopadu částic pod ostrým úhlem je opotřebení povlaku z větší části způsobeno odřezáváním a plastickou deformací. Naopak při kolmém dopadu se veškerá energie dopadajících částic přenáší do povlaku, což vede ke vzniku trhlin. Právě díky této skutečnosti mají tvrdé křehké materiály nižší odolnost proti kolmému dopadu erozivního média, zatímco u houževnatých tvárných materiálů klesá odolnost proti erozi s klesajícím úhlem dopadu. Neméně důležitým faktorem definujícím odolnost povlaku je kohezní pevnost povlaku. Jakmile povlak nevykazuje dostatečnou kohezitu, tak dochází k delaminaci a vytrhávání celých splatek. [27] [28]

4 Experimentální část

Cílem experimentální části této bakalářské práce je vyhodnotit odolnost proti erozi vybraných multivrstev žárově stříkaných elektrickým obloukem. Vyhodnocení odolnosti proti erozi je jednou z dílčích částí projektu Národního centra pro energetiku. Projekt má obecně za cíl stanovit odolnost proti opotřebení ať korozního typu, abrazivního, kavitačního či právě erozního. Konkrétně se projekt zaměřuje na vývoj optimálních multivrstev metalizace metodou TWAS pro horní díl savky vodní elektrárny Kamýk. Tato součást za neustálého provozu podléhá náročným podmínkám z hlediska opotřebení, agresivního prostředí či vysokých teplot, a proto vyžaduje výborné vlastnosti pro dosažení optimální životnosti. Jedním z účastníků projektu je i Výzkumný a zkušební ústav v Plzni s.r.o., se kterým byla ve vzájemné spolupráci praktikována experimentální část a měření v této bakalářské práci.

4.1 Příprava vzorků

Zkouška spočívala v metalizaci vzorků různými typy nástřiků a kombinacemi multivrstev, jež byly následně podrobeny simulaci eroze, po které následovalo vyhodnocení nejvhodnější varianty. Pro aplikaci bylo navrženo 6 různých kombinací, jež by mohly disponovat požadovanými vlastnostmi, a to nejen pouze po erozní stránce. Vrstvy se nanášely na vzorky z materiálu ČSN 41 2050 (C45) o rozměrech 5x15x25 mm. Detailnější informace jsou v příloze č. 1.

Vytvořený žárově nastříkaný povlak se skládal ze tří jednotlivých vrstev a vrchního utěšňovacího nátěru. Každá vrstva měla rozdílné vlastnosti a jiný primární účel. Pro práci bylo navrženo 6 různých multivrstev složených ze 4 vrstev popsanych v následující tabulce 3. Pro každou kombinaci označenou od A až F bylo postupně metalizováno 10 vzorků. Připravit právě 10 vzorků každé multivrstvě bylo nutné z toho důvodu, že byly vystaveny erozi v pěti rozdílných úhlech, a to po dvojicích za účelem zajištění přesnějších výsledků a zamezení náhodných chyb a odchylek. Více informací k materiálům Metco8450, NiTi, 85T a TS Sealer-P je na jednotlivých produktových listech dohledatelných v přílohách číslo 2 až 5. [29] [30] [31] [32]

Tabulka 3: Varianty multivrstev A-F

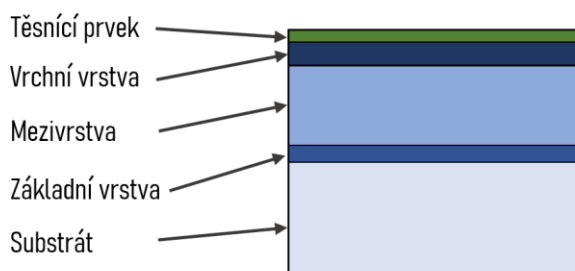
	Základní vrstva (0,2 mm)	Mezivrstva (1 - 2 mm)	Vrchní vrstva (0,3 - 0,5 mm)	Těsnící prvek
A	Metco8450	85 T	BTW 58	TS Sealer-P
B	NiTi	85 T	98 MXC	TS Sealer-P
C	Metco8450	85 T	97 MXC	TS Sealer-P
D	NiTi	85 T	BTW 58	TS Sealer-P
E	Metco8450	85 T	98 MXC	TS Sealer-P
F	NiTi	85 T	97 MXC	TS Sealer-P

Základní vrstva (bond coat) zajišťuje ideální přilnutí dalších vrstev k základnímu materiálu. Proto se využívají materiály zejména samovazné, poměrně měkké a schopné vyrovnávat rozdílnou teplotní roztažnost substrátu a povlaku. Průměrná tloušťka vrstvy je kolem 0,2 mm.

Mezivrstva (middle coat) především doplňuje chybějící materiál a chrání proti korozi. Pro tento účel byla navržena korozivzdorná ocel s přijatelnou cenou. Průměrná tloušťka kvůli funkci doplnění materiálu nabývá 1 až 2 mm.

Účelem horní vrstvy (top coatu) je chránit zbylé vrstvy povlaku před mechanickým opotřebením, především tak před erozí, v tomto případě způsobenou nečistotami ve vodě. Materiál této vrstvy tedy musí splňovat vysokou tvrdost a velmi dobrou odolnost proti mechanickému opotřebením. Průměrná tloušťka se pohybuje kolem 0,4 mm.

Poslední vrstva je tvořena těsnícím prvkem. Povlaky tvořené technologií TWAS totiž mají zpravidla otevřenou pórovitost. Těsnící prvek TS-Sealer-P v prostředí s vysokou vlhkostí zamezuje průniku vnějšího média do povlaku, případně k základnímu materiálu.



Obrázek 23: Struktura multivrstvy

Vzhledem ke konceptu experimentální části, jejímž úkolem je stanovit odolnost vůči erozi, je v práci pojednáváno především o vrchních vrstvách nástřiku. Erozní zkouška totiž neopotřebuje povrch do hloubky větší 0,3 mm, který vykazuje top coat, a proto není nutné se příliš zabývat zbylými vrstvami. Zkoušeny a vyhodnocovány budou konkrétně 3 materiály vrchní vrstvy BTW 58 (A), 98 MXC (B) a 97 MXC (C). Jedná se o vzorky stříkané multivrstvami označené (pro zjednodušení) ve zkratce ve stejném pořadí jako A, B a C. Na obrázku 24 je ukázka deseti zhotovených vzorků.



Obrázek 24: Metalizované vzorky před zkouškou

4.2 Technologický postup

Pro získání ideálních vlastností je nutností přesně dodržet technologický postup. Procesu samotné metalizace s již předurčenými parametry předchází předúprava povrchu. Předúprava musí proběhnout za předem stanovených podmínek a je nedílnou, neméně důležitou částí procesu.

4.2.1 Předúprava povrchu

Před samotným žárovým nástřikem musí být povrch substrátu podroben náležité povrchové předúpravě, jež zajistí ideální přilnutí bond coatu k základnímu materiálu. Vzorky byly obrobena na požadovanou velikost 5x15x25 mm a hodnotu drsnosti Ra (average roughness) rovnající se 0,8 μm , což udává aritmetickou odchylku od profilu. Viz příloha č. 1.

Takto připravené dílky bylo nutné nejdříve odmastit vhodnými chemickými prostředky. Tím se zamezilo případnému narušení ulpění splatů všudypřítomnými oleji, jejich vzlínání a následnému vytváření pórovitosti mezi povrchy. Odmašťování proběhlo v průmyslové ultrazvukové vaně, ve které byl namíchan 10% roztok přípravku Star 75 PN. Proces odmaštění trval 15 minut při teplotě 50°C pro každou sadu vzorků.

Konečným procesem předúpravy nastalo ruční otryskání hnědým korundem o zrnitosti F16 v tryskací komoře ATKRD pro vytvoření ideálního profilu drsnosti pro optimální přilnutí. Po ukončení otryskání byly vzorky vyjmuty z tryskacího boxu a očištěny stlačeným vzduchem od přilnutých a zakotvených zbytků abrazivního média. Takto předupraveným vzorkům byla zkontrolována rovnoměrnost otryskané plochy a ověřena povrchová drsnost. Kontrole vyhovující vzorky byly poté připraveny na proces metalizace.

4.2.2 Metalizace

Samotný žárový nástřik byl aplikován technologií elektrického oblouku pomocí zařízení robotického systému IRB 2600 a technologického zařízení pro TWAS - SmartArc Oerlikon Metco. Tato zařízení byla umístěna v boxu, společně s polohovadlem pro vertikální upnutí stříkaných dílů a zařízením pro chlazení dílů, pro zajištění maximální bezpečnosti. Metalizace proběhla dle interního postupu POS-ŽN/33/001 ve Výzkumném a zkušebním ústavu v Plzni.

Jednotlivé vrstvy byly na základě své charakteristiky nanášeny s rozdílnými nástřikovými parametry. V následujících odstavcích je uvedeno, jaké složení a technické parametry nástřiku měla každá jedna vrchní vrstva z multivrstev A, B a C.

Během experimentu byly variovány hodnoty proudu, napětí a tlak vzduchu. Nástřikové parametry použité pro nástřik jednotlivých vzorků byly během procesu postupně optimalizovány a hledána nejvhodnější nastavení. Ideální optimalizované technické parametry jsou uvedeny v následujících kapitolách materiálů s jejich chemickým složením.

4.2.2.1 BTW 58

Přídavný materiál BTW 58 od firmy Castolin, viz tabulka č. 4, je legovaný drát na bázi železa, který má jedinečnou mikrostrukturu složenou ze supertvrdých boridů a amorfních fází. Díky těmto vlastnostem má slitina výjimečnou odolnost vůči extrémním erozivním prostředím spojenou s dobrou schopností odolávat mírným korozivním podmínkám. Legované žáruvzdorné kovové prvky poskytují velmi dobré vlastnosti při zvýšených teplotách. Uvedený materiál se používá například pro povlakování v elektrárnách, ocelovém průmyslu a v cementárnách. Detailnější informace jsou dohledatelné na produktovém listu v příloze č. 6. [33]

Tabulka 4: Chemické složení a optimalizované parametry nástřiku BTW 58 [33], [34]

Prvek	Zastoupení [%]	Optimalizované nástřikové parametry	
Chrom	< 25	Proud [A]	220
Molybden	< 8	Napětí [V]	32
Bor	< 6	Tlak vzduchu [bar]	Prim. Svěrky 5 5
Ostatní	< 6	Depozice [mm]	150
Železo	Zbytek	Offset [mm]	Ruční nástřik
		Posuv [mm/s]	

4.2.2.2 98 MXC

Přídavný materiál 98MXC od firmy Flame Spray Technologies, viz tabulka č. 5, je složením korozivzdorná ocel, kde nižší obsah uhlíku minimalizuje precipitaci karbidů v důsledku vstupu tepla, čímž se zvyšuje odolnost proti mezikrystalové korozi. Materiál je vhodný pro širokou škálu aplikací, které vyžadují dobrou tvarovatelnost. Využívá se v chemickém, farmaceutickém, potravinářském a nápojovém průmyslu. Detailnější informace jsou na produktovém listu v příloze č. 7. [35]

Tabulka 5: Chemické složení a optimalizované parametry nástřiku 98 MXC [35], [36]

Prvek	Zastoupení [%]	Optimalizované nástřikové parametry	
Chrom	< 26,3	Proud [A]	200
Nikl	< 2,8	Napětí [V]	30
Molybden	< 0,9	Tlak vzduchu [bar]	Prim. Svěrky 4,1 1,9
Ostatní	< 3	Depozice [mm]	125
Železo	Balance	Offset [mm]	10
		Posuv [mm/s]	150

4.2.2.3 97 MXC

Přídavný materiál 97 MXC od firmy Flame Spray Technologies, viz tabulka č. 6, je velmi podobný materiálu 98 MXC. Jedná se také složením o korozivzdornou ocel, kde nižší obsah uhlíku minimalizuje precipitaci karbidů v důsledku vstupu tepla, čímž se zvyšuje odolnost proti mezikrystalové korozi. Materiál je vhodný pro širokou škálu aplikací, které vyžadují dobrou tvarovatelnost. Využívá se v chemickém, farmaceutickém, potravinářském a nápojovém průmyslu. Detailnější informace jsou dohledatelné na produktovém listu v příloze č. 8. [37]

Tabulka 6: Chemické složení a optimalizované parametry nástřiku 97 MXC [36], [37]

Prvek	Zastoupení [%]	Optimalizované nástřikové parametry	
Vanad a Titan	< 24,2	Proud [A]	150
Chrom	< 12,9	Napětí [V]	30
Nikl	< 4,1	Tlak vzduchu [bar]	Prim. 3,4
Ostatní	< 2		Svérky 1,9
Železo	Balance	Depozice [mm]	125
		Offset [mm]	10
		Posuv [mm/s]	150

4.2.3 Zařízení TWAS

Pro provedení metalizace byla použita souprava SmartArc Oerlikon Metco od společnosti Oerlikon, viz obrázek č. 25. Parametry použité soupravy jsou vidět v tabulce 7. Souprava společně s robotickým systémem IRB 2600, polohovadlem a přídavným zařízením pro chlazení byla uzavřena ve speciálním boxu. Box zajišťuje vhodnou vzduchotechnikou předepsanou filtraci pevných částic ze vzduchu a stíní UV záření vzniklé hořením oblouku. Filtrace vzduchu je dána normou bezpečnosti a ochrany životního prostředí. Detailnější informace jsou dohledatelné na produktovém listu v příloze č. 9. [38]



Obrázek 25: Konzole SmartArc PPC společně s nástřikovou pistolí SmartArc PPG [38]

Tabulka 7: Specifikace nástřikové soustavy [36]

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

4.2.4 Technologický postup metalizace

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

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

4.3 Metodika testování

Při testu odolnosti proti erozivnímu opotřebení byl povlak vzorku zatěžován kinetickou energií dopadajících částic. Erozivní médium bylo urychlováno odstředivou silou rotujícího disku a dopadalo na vzorky, které byly upnuty pod různými úhly vůči dopadajícímu erodentu. Od všech vzorků A, B a C byly testovány dva vzorky pro každý zadaný úhel.

Erozivní zkouška probíhala podle normy ČSN 01 5088 (015088) v přístroji ZHE 1 vyobrazeném na obrázku 26 ve Výzkumném a zkušebním ústavu v Plzni.



Obrázek 26: Erozivní zařízení ZHE 1

Parametry zkoušky:

- Úhly dopadu erodentu: 90, 60, 45, 30, 15 [°]
- Erodent: Korund bílý F70
- Trvání cyklu: 2 [min]
- Počet cyklů: 3
- Rychlost rotujícího disku: 4500 [ot/min]
- Hodnotící faktor: Průměrný hmotnostní úbytek povlaku za jeden cyklus [g]

Před samotnou zkouškou bylo provedeno zvážení vzorků pomocí laboratorní váhy Sartorius TE2145-0CE, viz obrázek 27, vážící s přesností na 0,0001 [g] a to alespoň třikrát pro každý vzorek. Vážení vzorků bylo provedeno před a po každém cyklu testu. Hodnoty byly zaznamenány do protokolu ZAZ – 3302, ze kterých byly následně vytvořeny grafy průměrného hmotnostního úbytku v jednotlivých úhlech dopadu. Zprůměrování výsledků třech vážení pro přesnější hmotnost a následné zprůměrování hmotnostních úbytků mezi jednotlivými cykly definuje průměrný hmotnostní úbytek pro každý úhel dopadu.



Obrázek 27: Váha Satorius při vážení vzorku

4.4 Výsledky

Vyhodnocení nástřiku vrstvy bylo provedeno na jednom ze vzorků pomocí naříznutí po celé délce kolmo na povrch. Pod optickým mikroskopem byly ověřeny správné tloušťky vrstev a jejich splatová struktura. Po zkouškách proběhlo následné vizuální vyhodnocení vzorků a hodnocení erozivní odolnosti skrze softwarový program, jenž ilustroval v grafech hmotnostní úbytky multivrstev pod všemi úhly.

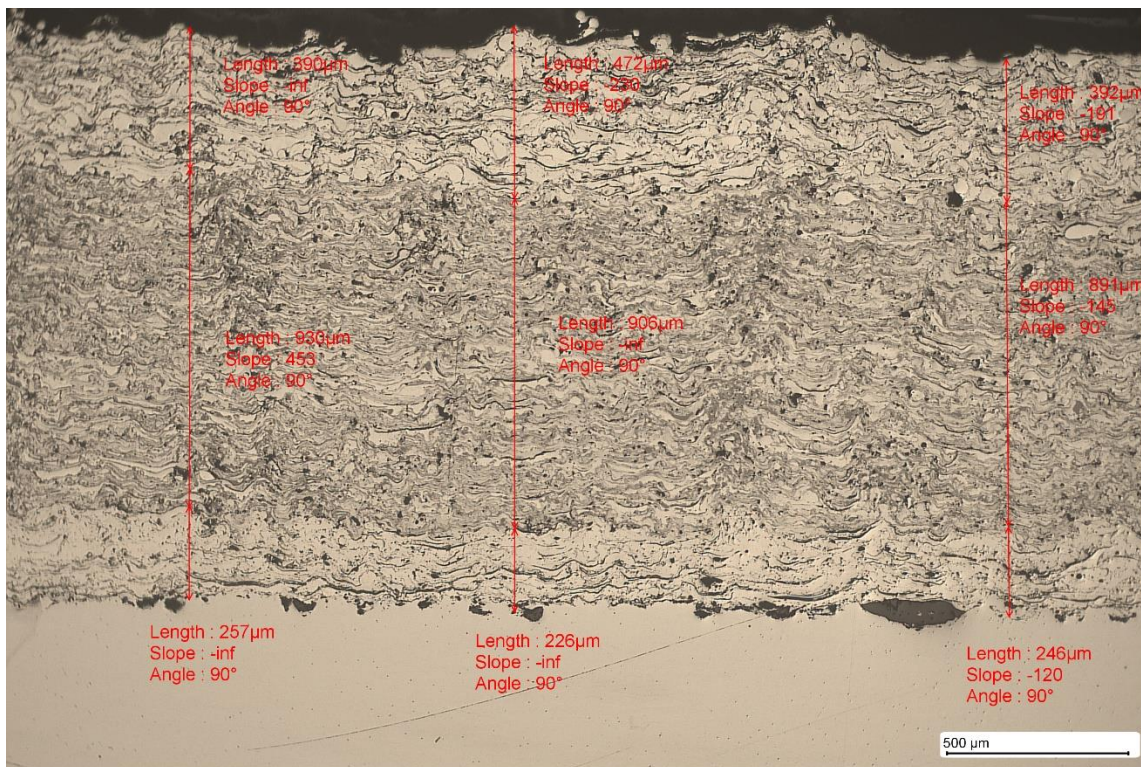
4.4.1 Analýza pomocí optické mikroskopie (metalografie)

Pro názornou ukázkou mikrostruktury multivrstvy byl nahodile vybrán jeden reprezentativní vzorek. Preparační metodou určenou ke zhotovení příčných výbrusů žárově stříkaných slitinových povlaků byl dostatečně malý vzorek odříznut na řezačce Leco LSM 250 M2. Při dělení byl využit speciální kotouč pro tvrdé materiály určený k metalografickým výbrusům. Odříznutý vzorek byl očištěn lihem a sušil teplým vzduchem. Následovalo zalití vzorku za studena do formy napuštěné epoxidem, což je roztok pryskyřice a tvrdidla.

Po několika hodinách byly již zatvrdlé vzorky upnuty pomocí šroubů do rotačního přípravku, jenž byl zasunut do rotační hlavice brousícího zařízení Saphir 250 A1-ECO.

Na leštičce byl nastaven automatický program s postupně se měnícími parametry, rozdílným tlakem či zrnitostí brusného papíru. Vyvozený tlak byl nastaven na základě počtu preparovaných vzorků.

Po dokončení všech čtyř leštících programů byly vzorky očištěny ethanolem, vysušeny stlačeným vzduchem či případně doleštěny čistým bavlněným hadříkem. Následně bylo možné preparované vzorky vložit pod oko mikroskopu a ověřit mikrostrukturu metalizovaných vrstev.



Obrázek 28: Metalografický snímek multivrstvy B

Pod mikroskopem byl pozorován vzorek B, viz obrázek 28, na němž lze bez větších problémů rozlišit jednotlivé vrstvy nástřiku. Spodní vrstva bílou barvou značí substrát, pod černou barvou na v horní části snímku je epoxid a těsnící tmel.

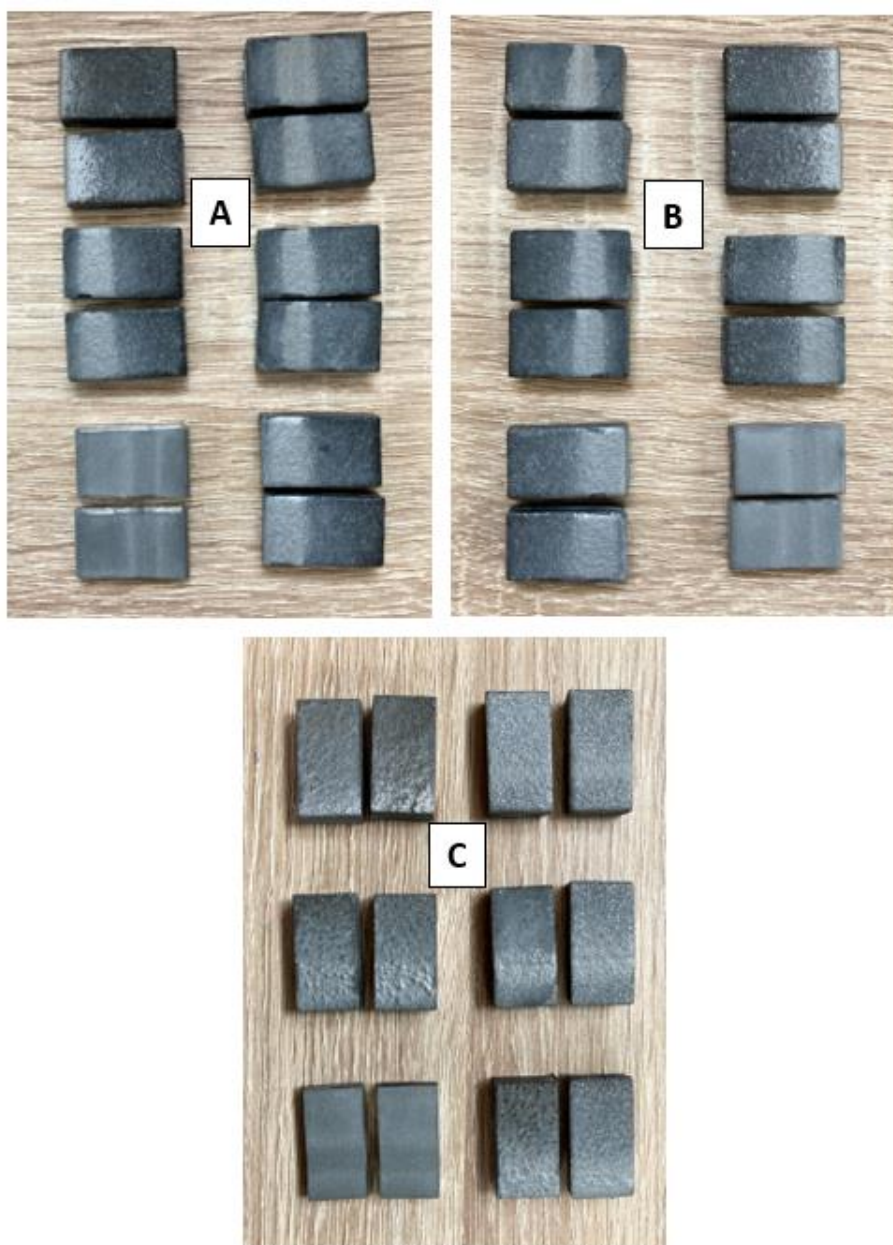
Pomocí mikroskopu značky Arsenal a programu Capture 2.1, byly značeny skutečné tloušťky vrstev, které odpovídají předurčeným údajům. Na snímku lze názorně vidět základní vrstvu o tloušťce přibližně 0,25 mm, střední vrstvu tlustou 1 mm, a nakonec vrchní vrstvu s tloušťkou 0,4 mm.

Při bližším zkoumání jsou viditelné jednotlivé splaty společně s černými póry a šedými oxidickými vměškami. Pro metodu TWAS je obvyklé větší množství oxidických vměšků i relativně vysoká pórovitost, jež je na snímku patrná. Názorně lze ze snímku vypořadovat ukázkovou lamelární strukturu formování jednotlivých splatů a jejich postupné vrstvení. Lze snadno rozeznat jednotlivé multivrstvy, jež byly normálově vrstveny až k povrchu substrátu.

4.4.2 Vizuální hodnocení

Pravidelně se po každém cyklu vizuálně kontrolováno, zda se neobjevují trhliny či jiné faktory, jež by mohly ovlivnit zkoušku. Žádné problémy se během všech 3 cyklů neobjevily ani u jednoho vzorku a konečný stav vzorků demonstrují snímky všech tří multivrstev na obrázku č. 29.

Na vzorcích je velmi patrná rozdílnost úhlů, pod nimiž erodent dopadal na povrch. Zprvu byly zkoušené dílce matné a šedé. Na místech dopadu následně působily lesklejším dojmem a světlejší barvou. Pod určitými úhly je zerodovaná šířka prokazatelně větší, avšak u malých šířek byl u vzorků odebrán materiál do hloubky, nikoliv po povrchu. Ke každé sadě byly navíc přiřazeny holé vzorky bez žárového nástřiku pro kontrolu správnosti měření a případnému včasnému odhalení chyb.



Obrázek 29: Snímky jednotlivých multivrstev po 3 cyklech erozní zkoušky

4.4.3 Hodnocení erozní odolnosti

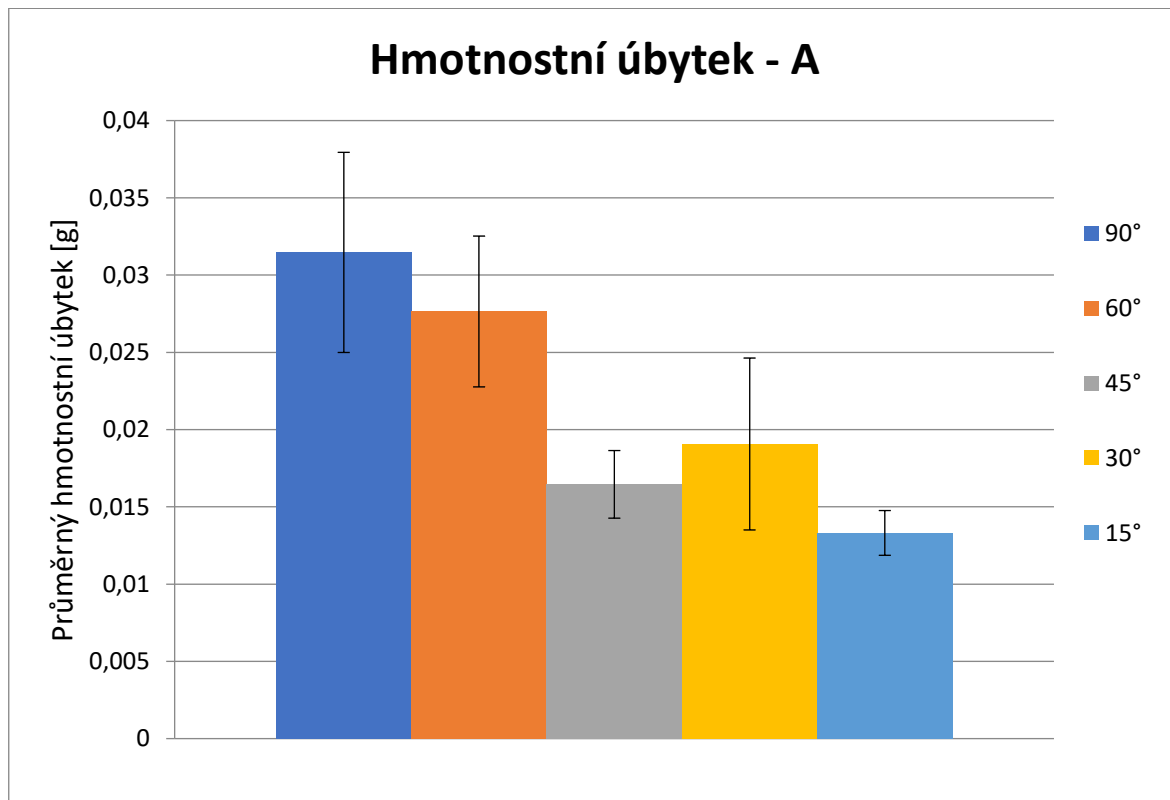
Po provedených zkouškách všech tří vzorků A, B, C byla získána data, na jejichž základě je možno vyhodnotit průměrný hmotnostní úbytek multivrstvy. Na základě průměrného hmotnostního úbytku je snadno identifikovatelná multivrstva, jež vykazuje nejlepší výsledky pro erozivní odolnost.

Pro každou multivrstvu bylo vytvořeno 10 vzorků, které ve dvojicích podléhaly uměle vykonstruované erozi pod pěti různými úhly. Erozní zkouška proběhla ve třech cyklech a po každém z nich bylo provedeno trojitě vážení pro zaručení co nejpřesnějších výsledků a eliminaci chyb. Trojice vážení byla zprůměrována a jednotlivé průměry mezi váženími se od sebe následně odečetly. Rozdíly mezi jednotlivými váženími, jichž bylo celkem šest, bylo opět zprůměrováno a tím byl získán finální hmotnostní úbytek konkrétní multivrstvy pod daným úhlem.

V následujících grafech jednotlivých metalizovaných materiálů jsou proto vyneseny průměrné hmotnostní úbytky v daných úhlech. Na vršcích sloupků je vynesena chybová úsečka představující směrodatnou odchylku měření, která vykazuje přesnost a relevantnost testování.

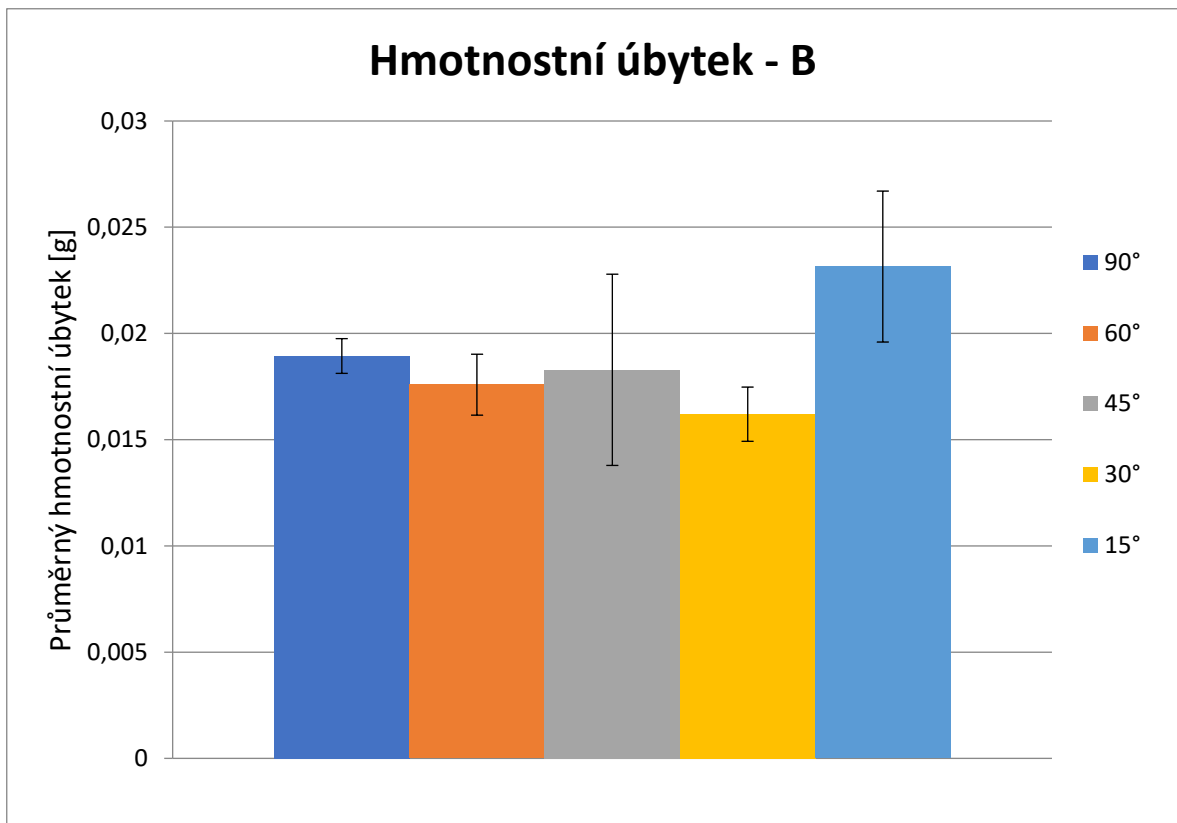
Na svislé ose grafy demonstrují průměrný hmotnostní úbytek v gramech, na vodorovné ose jsou postupně vyneseny úhly 90°, 60°, 45°, 30° a 15°, které jsou barevně odlišeny a na pravé straně grafu vysvětleny v legendě.

4.4.3.1 Multivrstva A



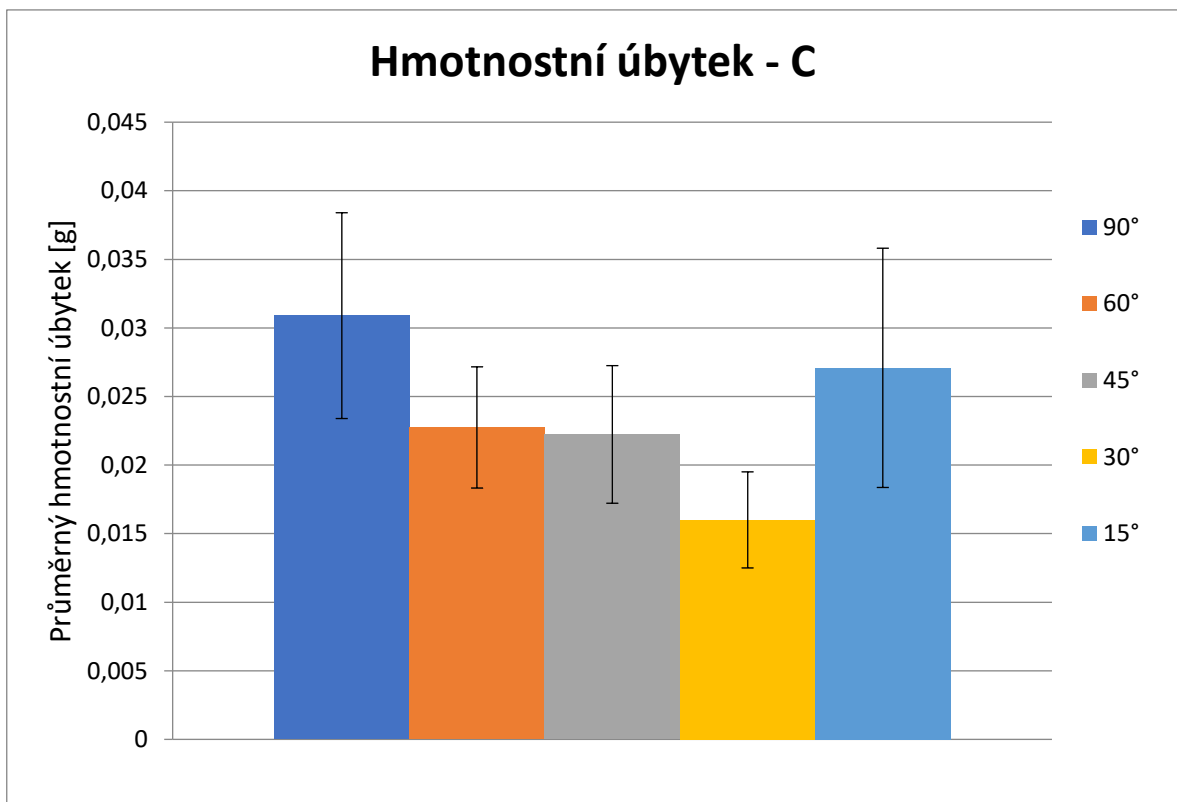
Obrázek 30: Graf hmotnostního úbytku multivrstvy A

4.4.3.2 Multivrstva B



Obrázek 31: Graf hmotnostního úbytku multivrstvy B

4.4.3.3 Multivrstva C



Obrázek 32: Graf hmotnostního úbytku multivrstvy C

4.5 Vyhodnocení výsledků

Na základě analýzy pomocí optické mikroskopie bylo nejprve ověřeno, zda jsou připravené preparáty způsobilé k samotné zkoušce erozní odolnosti. Preparáty byly po odříznutí zality do epoxidu a po vyleštění byly uloženy pod čočku mikroskopu pro získání metalografického snímku. Metalografický snímek demonstroval úspěšně provedenou metalizaci s požadovanými tloušťkami vrstev. Vzorky byly způsobilé k provedení zkoušky erozní odolnosti.

V průběhu erozního testování byl vizuálně kontrolován stav zkoušených dílů. Opticky bylo patrné, že zkouška probíhá bez problémů a vizuální výsledek úbytku materiálu na předpokládaných místech značil bezchybný průběh zkoušky.

Pro vyhodnocení erozní odolnosti se v grafech vykreslily výsledné průměrné hmotnostní úbytky. Směrodatné odchylky odkazovaly na celkovou správnost měření, mimo dva případy. Konkrétně se jednalo u dvou vzorků multivrstvy C o nepatrné odloupení malé vrstvičky žárového nástřiku na straně při vážení. To ovlivnilo hmotnost a zvýšilo úbytek o odloupenou část mezi měřeními. Jednalo se o jeden vzorek při úhlu 60° a 15° . Právě z těchto důvodů je měřeno opotřebení pod úhly ve dvojicích a nebylo nutné opakovat měření. Proto nebyly hmotnostní úbytky těchto vzorků zahrnuty do výsledků.

Jak preparát A, tak i preparát C, měly prokazatelně největší hmotnostní úbytek pod úhlem dopadu 90° a se snižujícím se úhlem se evidentně snižoval. Tato závislost je typická pro tvrdší, křehké materiály, které při kolmém dopadu erozivního média mají jediný možný způsob uvolnění dopadající energie. Materiál se nepřechuje a vznikají trhliny, které se následně v malých vrstvách odlupují. Naopak houževnatější materiály odolávají vzniku prasklin snáze, protože se materiál částečně přechuje. U nich se však projeví mnohem větší postupná plastická deformace na povrchu. U preparátu A se navíc kritickým úhlem jeví úhel 30° , při němž pravděpodobně dochází k podebírání a odlupování jednotlivých splatek z povrchu substrátu.

Všechny vrchní vrstvy nástřiků vykazaly velmi dobrou odolnost proti opotřebení. Po zprůměrování všech hmotnostních úbytků k daným úhlům dopadu vychází s nejhodnějšími vlastnostmi proti opotřebení multivrstva B. Multivrstva B se skládá z materiálů základní vrstvy NiTi, mezivrstvy 85T, těsnícího prvku TS Sealer-P a vrchní vrstvy 98 MXC. Takto vrstvené žárově stříkané povlaky se ukázaly jako nejspolehlivější a optimální pro využití k odolnosti proti erozivnímu opotřebení.

5 Závěr

Cílem této práce bylo zkoumání odolnosti proti eroznímu opotřebení vybraných žárově stříkaných materiálů metodou TWAS, jenž by spolehlivě a dlouhodobě chránily horní díl savky vodní elektrárny proti rozličným vlivům opotřebení říčním vodním proudem.

V experimentální části práce bylo po důkladné předúpravě povrchu technologií elektrického oblouku metalizováno šest sad vzorků z uhlíkové oceli po deseti kusech, kdy každá z nich obsahovala různou kombinaci multivrstvy. Pro účely erozního výzkumu byly vybrány pouze tři sady, u nichž se lišila vrchní vrstva nástřiku materiálovým složením. Pro ni byly zvoleny materiály BTW 58, MXC 98 a MXC 97. Jednotlivé série vzorků se podrobily erozní zkoušce ve třech cyklech pod odlišnými úhly pro bližší simulaci prostředí a zaznamenáváním postupného hmotnostního úbytku bylo vyhodnoceno, který materiál nejlépe odolává erozi.

Získaná data hmotnostních úbytků materiálu byla zprůměrována a z nich následně vytvořené grafy demonstrovaly odolnost nástřiku pod jednotlivými úhly. Z analýzy dat se ukázalo, že tvrdé křehké materiály evidentně hůře odolávají kolmému nárazu erodentu a mají tendenci vytvářet trhliny, které vedou k odlupování splatů. Naopak houževnatější materiály dopadající energii snáze pohlcují a splaty se pěchují. To má za následek plastickou deformaci, která změnou povrchu zvyšuje potenciální průnik eroze hlouběji k substrátu.

Po zohlednění erozního opotřebení pod všemi zkoušenými úhly vychází pro vrchní vrstvu jako ideální kompromis materiál MXC 98. Tento materiál vykazuje největší odolnost proti opotřebení. Z tohoto důvodu se jeví multivrstva složená z vrstev NiTi, 85T, MXC 98 a TS Sealer-P pro aplikaci metalizace na horní savku vodní elektrárny jako optimální.

Bibliografie

- [1] **SEO, S. B., KIM, H. W., KANG S. Y., GO S. E.** *Techno-economic comparison between air-fired and oxy-fuel circulating fluidized bed power plants with ultra-supercritical cycle* [online]. 2021 [cit. 2021-8-5]. Dostupné z: doi:10.1016/j.energy.2021.121217
- [2] **SIEGMANN, S., ABERT, Ch.** *100 years of thermal spray: About the inventor Max Ulrich Schoop: Surface and Coatings Technology*. 2013. ISBN 0257-8972.
Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897212010043>
- [3] **DAVIS, J. R., Gary Davis & Associates, ASM International. Thermal Spray Society Training Committee.** *Handbook of thermal spray technology*. Materials Park: ASM International, 2004. ISBN 0871707950;9780871707956
- [4] **TUCKER JR., ROBERT C.** *Thermal Spray Technology: ASM Handbook, Volume 05A* [online]. ASM International, 2013 [cit. 2020-11-30]. ISBN 978-1-61503-996-8. Dostupné z: <https://app.knovel.com/web/index.v>
- [5] **KREIBICH, V., České vysoké učení technické v Praze. Strojní fakulta.** *Teorie a technologie povrchových úprav*. Dotisk 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 800101472X;9788001014721
- [6] **PLASMAMETAL , SPOL. S R. O.** *Žárové stříkání: Povrchové úpravy současnosti i budoucnosti* [online]. [cit. 2021-7-31]. Dostupné z: <https://www.plasmametal.cz/pouzite-technologie>
- [7] **LÍBAL, M.** Stanovení hlavních parametrů ovlivňujících přilnavost a odolnost povlaků žárových nástříků vytvořených elektrickým obloukem, [Diplomová práce], Plzeň ZČU, FST, KMM, 2013
- [8] **KOČNAR, J.** Renovace součástí žárovým nástříkem. Brno, 2009. Diplomová práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Vlastimil Chrást, CSc.
- [9] **TUCKER, Robert C., J.A. SPRAGUE, SMIDT, F.A., SMIDT, C.M. COTEL, ed.** *Thermal Spray Coatings: ASM Handbook, Volume 5: Surface Engineering* [PDF]. Volume 5. ASM International, 1994 [cit. 2017-03-26]. ISBN 497-509.
- [10] **ADVANCED COATINGS.** *Thermal spraying: Principle of thermal spraying* [online]. [cit. 2021-7-31]. Dostupné z: <http://www.advanced-coating.com/english/spraying.htm>

- [11] **TAPPI.** (2015, 2016, 2017, 2018 and 2019). *Pulping, Engineering, Environmental, Recycling and Sustainability (PEERS) Conference Proceedings 2015, 2016, 2017, 2018 and 2019.* TAPPI. Dostupné z:
<https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPP000054/pulping-engineering-environmental/pulping-engineering-environmental>
- [12] **WINNIK, S.** (2016). *Corrosion-under-Insulation (CUI) Guidelines (2nd Edition) - E.1.2 Twin Wire Electric Arc.* Elsevier. Dostupné z:
<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011NUO56/corrosion-under-insulation/twin-wire-electric-arc>
- [13] **AMBROŽ, O., KAŠPAR, J.** *Žárové nástřiky a jejich průmyslové využití.* 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00347-4
- [14] **BHUSHAN, B.** *Introduction to Tribology,* John Wiley & Sons, Incorporated, 2013. *ProQuest Ebook Central,* Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib-ebooks/detail.action?docID=1120903>.
- [15] **ALMURAMADY, N.** *Transporting an Egyptian statue from the tomb of Tehuti-Hetep, El-Bersheh (1880 BC) (Popov, 2010 and Dowson, 1979)* [online]. In: . [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/3-Transporting-an-Egyptian-statue-from-the-tomb-of-Tehuti-Hetep-El-Bersheh-1880-BC_fig3_321977309
- [16] **DAVIM, J. P.** *Tribology in Manufacturing Technology: Materials Forming, Machining and Tribology Ser.* [online]. 1. Berlin: Springer Berlin / Heidelberg, 2012 [cit. 2021-7-31]. ISBN 9783642316838. Dostupné z:
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib-ebooks/detail.action?docID=1030540#>
- [17] **RENDL, M.** *Tribologie pro letecké aplikace* [online]. Praha, 5. 8. 2019. 1. [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/84726/F2-DP-2019-Rendl-Mikolas-DP.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [18] **WEN, SHIZHU, PING HUANG.** *Principles of Tribology,* John Wiley & Sons, Incorporated, 2012. *ProQuest Ebook Central,* Dostupné z:

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib/books/detail.action?docID=822394>.

[19] **MATE, C., MATHEW C., ROBERT W.** Tribology on the Small Scale - A Modern Textbook on Friction, Lubrication, and Wear (2nd Edition) - 4.3.1.1 Velocity-Controlled Stick-Slip. Oxford University Press. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012FKLL4/tribology-small-scale/velocity-controlled-stick>

[20] **DETERS, L.** *Springer Handbook of Mechanical Engineering, Part B, Tribology*. 1. vyd. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2009, str. 295 - 326, ISBN 978-3-540-49131-6

[21] **SLINGER, G.** Main Bearing Failure Modes. *Pioneer engineering* [online]. 26. 6. 2016 [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.pioneer-engineering.com/resources/main-bearing-failure-modes>

[22] **AF MENDELU.** *Údržba a opravy stájkové techniky: Abrazivní opotřebení* [online]. 31. 07. 2021 [cit. 2021-7-31]. Dostupné z:

https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3596&typ=html

[23] **VOCEL, M., DUFEK, V.** Tření a opotřebení strojních součástí. 1. vyd. Praha: SNTL, 1976. 378 s.

[24] **POŠTA, J.** Kulový uzávěr: Degradace strojních součástí: Opotřebení erozivní [online]. 2003 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <http://degradace.tf.czu.cz/AE/AE003c1.jpg>

[25] **PENG, B., NIE, X., CHEN, Y.** Effects of Surface Coating Preparations and Sliding Modes on Titanium OXIDE Coated Titanium Alloy for Aerospace Applications. [online]. International Journal of Aerospace Engineering - vol. 2014, Article ID 640364. [cit. 09.03.2021]. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/ijae/2014/640364/>

[26] **KŘÍŽ, A.** Tribologická analýza Pin-on-Disc. Metal 2004. [online]. ZČU v Plzni. [cit. 09.03.2021]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/TRIBOLOGICKA_ANALYZA_PIN-ON-DISC.pdf

[27] **DENG, T., BINGLEY, M., BRADLEY, M., SILVA, S.** *A comparison of the gas-blast and centrifugal-accelerator erosion testers: The influence of particle dynamics*, *Wear*, 265, 2008.

[28] **HAYASHI, N., KAGIMOTO, Y., NOTOMI, A., TAKEDA, N. Y., KATO, K.** Development of new testing method by centrifugal erosion tester at elevated temperature, *Wear*, 258, 2005.

- [29] **OERLIKON METCO**. *Material product data sheet: Nickel chromium thermal spray wires* [online]. In: . 2016 [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://www.oerlikon.com/metco/en/products-services/thermal-spray-equipment/system-platforms/electric-arc-wire/smartarc-electric-arc-wire-spray-system/>
- [30] **DEUTSCHE NICKEL**. *Wire Electrode: GTAW Rod* [online]. In: . 2018 [cit. 2021-8-4]. Dostupné z: <https://www.deutsche-nickel.shop/en/Welding-consumables/schweisdraht-igs-nickel-2-4155-1-2mm.html>
- [31] **PRAXAIR**. *Tafa and Praxair thermal spray wires: Wire solution catalog* [online]. In: . 2019 [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: <https://www.praxairsurfacetechologies.com/en/materials-and-equipment/materials/wires/metal-wires>
- [32] **FST**. *FST TS-Sealer for Thermal Sprayed Coatings* [online]. In: . 2020 [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: <https://mymetco.oerlikon.com/en-us/product/metco8450>
- [33] **CASTOLIN**. *BTW 58: Iron based alloy wire designed to combat extreme erosion* [online]. In: . 2015 [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: <http://www.wisdomsurface.com/h-tungsten-carbide-p-218.html>
- [34] **NAĎOVÁ, J.** Jana a Petra ŠULCOVÁ. *Optimalizace nástřikových parametrů materiálu BTW 58 technologií nástřiku TWAS*. Plzeň: VZU, Plzeň, 2021.
- [35] **NAĎOVÁ, J.** *Optimalizace nástřikových parametrů materiálu 98MXC technologií nástřiku TWAS*. Plzeň: VZU, Plzeň, 2021.
- [36] **WISDOM**. *WISDOM Thermal Spray Consumables: Iron Base Alloy* [online]. In: . 2015 [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: <http://www.wisdomsurface.com/lcr-carbide-p-220.html>
- [37] **NAĎOVÁ, J.** *Optimalizace nástřikových parametrů materiálu 97MXC technologií nástřiku TWAS*. Plzeň: VZU, Plzeň, 2021.
- [38] **OERLIKON METCO**. *SmartArc™ Electric Arc Wire: Iron Base Alloy* [online]. In: . 2019 [cit. 2021-8-2]. Dostupné z: <https://www.oerlikon.com/metco/en/products-services/thermal-spray-equipment/system-platforms/electric-arc-wire/smartarc-electric-arc-wire-spray-system/>

Seznam tabulek

Tabulka 1: Srovnání jednotlivých technologií žárových nástřiků [6]	14
Tabulka 2: Činitelé tření pro různé typy maziv [17].....	27
Tabulka 3: Varianty multivrstev A-F.....	34
Tabulka 4: Chemické složení a optimalizované parametry nástřiku BTW 58 [32], [33].....	37
Tabulka 5: Chemické složení a optimalizované parametry nástřiku 98 MXC [34], [35].....	37
Tabulka 6: Chemické složení a optimalizované parametry nástřiku 97 MXC [35], [36].....	38
Tabulka 7: Specifikace nástřikové soustavy [35]	39

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Proces žárového stříkání [5]	12
Obrázek 2 - Rozdělení žárových nástřiků [6]	13
Obrázek 3 - Srovnání technologií v závislosti teploty plamene na rychlosti částic [6]	14
Obrázek 4 - Nástřik plamenem z prášku [7]	15
Obrázek 5 - Nástřik plamenem z drátu [7].....	15
Obrázek 6: Nástřik vysokorychlostním plamenem s kapalným plynem [7]	16
Obrázek 7: Detonační nástřik [7]	16
Obrázek 8 - Nástřik plazmatem v běžné atmosféře [7]	17
Obrázek 9 - Nástřik plazmatem s ochranným plynem [7]	18
Obrázek 10 - Plazmatická vakuová komora [8].....	18
Obrázek 11: Schéma struktury žárového povlaku [9].....	19
Obrázek 12: Nástřik elektrickým obloukem [7]	20
Obrázek 13: Nástřik elektrickým obloukem s ochranným plynem [7]	20
Obrázek 14: Egypťané používající maziva při přesunu sochy [14].....	24
Obrázek 15: Schéma tribologické soustavy [16].....	25
Obrázek 16: Vztah pro činitel tření [13].....	25
Obrázek 17: Adhezní opotřebení ložiska [20].....	28
Obrázek 18: Abrazivní opotřebení pístu [22].....	29
Obrázek 19: Schéma opotřebení v závislosti na úhlu dopadu částic: a - při šikmém dopadu, b - při téměř rovnoběžném dopadu, c - při dopadu kolmo [23]	30
Obrázek 20: Míra erozního opotřebení v závislosti na úhlu dopadu částic [13]	30
Obrázek 21: Erozí poškozená koule uzávěru [23].....	31
Obrázek 22: Schéma zkoušky erozní odolnosti [26]	32
Obrázek 23: Struktura multivrstvy.....	35
Obrázek 24: Metalizované vzorky před zkouškou	35
Obrázek 25: Konzole SmartArc PPC společně s nástřikovou pistolí SmartArc PPG.....	38
Obrázek 26: Erozivní zařízení ZHE 1.....	40
Obrázek 27: Váha Satorius při vážení vzorku.....	41
Obrázek 28: Metalografický snímek multivrstvy B	42
Obrázek 29: Snímky jednotlivých multivrstev po 3 cyklech erozní zkoušky.....	43
Obrázek 30: Graf hmotnostního úbytku multivrstvy A	44

Obrázek 31: Graf hmotnostního úbytku multivrstvy B.....	45
Obrázek 32: Graf hmotnostního úbytku multivrstvy C.....	45

Seznam příloh:

Příloha 1: Chemické složení a technické parametry oceli ČSN 41 2050 (C45)

Příloha 2: Produktový list drátu z materiálu Metco 8450

Příloha 3: Produktový list drátu z materiálu NiTi

Příloha 4: Produktový list drátu z materiálu 85T

Příloha 5: Produktový list těsnícího prvku TS Sealer-P

Příloha 6: Produktový list drátu z materiálu BTW 58

Příloha 7: Produktový list drátu z materiálu 98 MXC

Příloha 8: Produktový list drátu z materiálu 97 MXC

Příloha 9: Produktový list konzole SmartArc PPC a nástřikové pistole SmartArc PPG

Příloha 1: Chemické složení a technické parametry oceli ČSN 41 2050 (C45)

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

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



Material Product Data Sheet

Nickel Chromium Thermal Spray Wires

Thermal Spray Wire Products:

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

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

1 Introduction

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

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

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

1.1 Typical Uses and Applications

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

Quick Facts

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



2 Material Information

2.1 Chemical Composition

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

^a maximum value

2.2 Morphology and Available Wire Sizes

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

● Solid wire ○ Cored wire ⚡ Electric Arc Wire Spray 🔥

2.3 Key Selection Criteria

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

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

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

2.4 Related Products

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

2.5 Customer Specifications

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

3 Coating Information

3.1 Key Thermal Spray Coating Information

- Coating properties can vary significantly as they are dependant on the chosen equipment, gun hardware, coating parameters and coating thickness.
- Coatings have good bond strength, generally appropriate in bond coat applications.
- When particle erosion at high temperatures is required, please see Section 2.3 for appropriate candidate materials.

- These coatings are resistant to ionic corrosion. Please see Section 2.3 for additional information.
- When oxidation resistance at elevated temperatures is required, please review information in Section 2.3.
- In general, deposit efficiencies of ≥ 65 % can be achieved, when correctly sprayed.
- These coatings can be machined and/or ground when dimensional control or a smooth surface finish is required.

3.2 Coating Parameters

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

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

Recommended Spray Guns

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

4 Commercial Information

4.1 Ordering Information and Availability

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

Note: Minimum order quantities may apply on special order products

4.2 Handling Recommendations

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

4.3 Safety Recommendations

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

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

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

Information is subject to change without prior notice.

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

oerlikon
metco

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

Technical Datasheet

IGS-Nickel

Wire Electrode / Welding Wire / GTAW Rod



Characteristics and scope of application

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

Standard designations

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

Typical chemical composition of filler metal

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

All weld metal properties (min. values at rt)

Heat treatment	Yield strength	Tensile strength	Elongation	Impact toughness	
	$R_{p0.2}$	R_m	A_5	ISO-V	
as welded	300 MPa	450 MPa	30%	150 J	

Welding instructions

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

Packaging (tolerances acc. to DIN EN ISO 544)

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

Approvals on request



Příloha 4: Produktový list drátu z materiálu 85T



Praxair and TAFE thermal spray wires



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

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

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

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



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

Exceptional wires for superior coatings

superior

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

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

testing and analysis assure that the targeted characteristics are achieved.

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

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



Metal and alloy wires

wires

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

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



Article No.:	P	TS-Sealer-P	EN
Print date:	30.11.2017	Revision date: 23.08.2017	Page 1 / 9
Version:	6.0	Issue date: 23.08.2017	

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1. product identifiers

Article No. (manufacturer/supplier)	P
Identification of the substance or mixture	TS-Sealer-P

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Relevant identified uses:
Metalimpregnation / capillary-active sealing

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

supplier (manufacturer/importer/downstream user/distributor)
Flame Spray Technologies bv
Dijkgraaf 40 Telephone: +31-26-319-0140
8921RL Duiven, The Netherlands Telefax: +31-26-319-0141

Dept. responsible for information:
Lab
E-mail (competent person) info@diamant-polymer.de

1.4. Emergency telephone number

Emergency telephone number +31-26-319-0140
Only available during office hours.

SECTION 2: Hazards identification

2.1. Classification of the substance or mixture

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

The mixture is classified as hazardous according to regulation (EC) No 1272/2008 [CLP].

Flam. Liq. 3 / H228	Flammable liquids	Flammable liquid and vapour.
Skin Irrit. 2 / H315	skin corrosion/irritation	Causes skin irritation.
Eye Dam. 1 / H318	Serious eye damage/eye irritation	Causes serious eye damage.
STOT SE 3 / H338	Specific target organ toxicity (single exposure)	May cause drowsiness or dizziness.

2.2. Label elements_

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

Hazard pictograms



Danger

Hazard statements

H228	Flammable liquid and vapour.
H315	Causes skin irritation.
H318	Causes serious eye damage.
H338	May cause drowsiness or dizziness.

Precautionary statements

P102	Keep out of the reach of children.
P103	Read label before use.
P210	Keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames and other ignition sources. No smoking.
P233	Keep container tightly closed.
P261	Avoid breathing dust/fume/gas/mist/vapours/spray.
P271	Use only outdoors or in a well-ventilated area.
P280	Wear protective gloves/protective clothing/eye protection/face protection.
P302 + P352	IF ON SKIN: Wash with plenty of soap and water.
P304 + P340	IF INHALED: Remove person to fresh air and keep comfortable for breathing.
P305 + P351 + P338	IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.
P308 + P313	IF exposed or concerned: Get medical advice/attention.
P314	Get medical advice/attention if you feel unwell.
P333 + P313	If skin irritation or rash occurs: Get medical advice/attention.
P501	Dispose of contents/container to industrial incineration plant.

Article No.:	P	TS-Sealer-P	EN
Print date:	30.11.2017	Revision date: 23.06.2017	Page 3 / 9
Version:	6.0	Issue date: 23.06.2017	

Extinguishing media which must not be used for safety reasons:

strong water jet

5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

Dense black smoke occurs during fire. Inhaling hazardous decomposing products can cause serious health damage.

5.3. Advice for firefighters

Provide a conveniently located respiratory protective device. Cool closed containers that are near the source of the fire. Do not allow water used to extinguish fire to enter drains, ground or waterways.

SECTION 6: Accidental release measures

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

Keep away from sources of ignition. Ventilate affected area. Do not breathe vapours.

6.2. Environmental precautions

Do not allow to enter into surface water or drains. If the product contaminates lakes, rivers or sewages, inform competent authorities in accordance with local regulations.

6.3. Methods and material for containment and cleaning up

Isolate leaked material using non-flammable absorption agent (e.g. sand, earth, vermiculit, diatomaceous earth) and collect it for disposal in appropriate containers in accordance with the local regulations (see section 13). Clean using cleansing agents. Do not use solvents.

6.4. Reference to other sections

Observe protective provisions (see chapter 7 and 8).

SECTION 7: Handling and storage

7.1. Precautions for safe handling

Advices on safe handling

Avoid formation of flammable and explosive vapour concentrations in the air and exceeding the exposure limit values. Only use the material in places where open light, fire and other flammable sources can be kept away. Electrical equipment must be protected meeting the accepted standard. Product may become electrostatically charged. Provide earthing of containers, equipment, pumps and ventilation facilities. Anti-static clothing including shoes are recommended. Floors must be electrically conductive. Keep away from heat sources, sparks and open flames. Use only spark proof tools. Avoid contact with skin, eyes and clothes. Do not inhale dusts, particulates and spray mist when using this preparation. Avoid respiration of swarf. When using do not eat, drink or smoke. Personal protection equipment: refer to section 8. Do not empty containers with pressure - no pressure vessel! Always keep in containers that correspond to the material of the original container. Follow the legal protection and safety regulations.

Precautions against fire and explosion:

Vapours are heavier than air. Vapours form explosive mixtures with air.

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Requirements for storage rooms and vessels

Storage in accordance with the Ordinance on Industrial Safety and Health (BetRSIVO). Keep container tightly closed. Do not empty containers with pressure - no pressure vessel! Smoking is forbidden. Access only for authorised persons. Store carefully closed containers upright to prevent any leaks. Soils have to conform to the "Guidelines for avoidance of ignition hazards due to electrostatic charges (TRBS 2153)".

Hints on joint storage

Keep away from strongly acidic and alkaline materials as well as oxidizers.

Further information on storage conditions

Take care of instructions on label. Store in a well-ventilated and dry room at temperatures between 15 °C and 20 °C. Protect from heat and direct sunlight. Keep container tightly closed. Remove all sources of ignition. Smoking is forbidden. Access only for authorised persons. Store carefully closed containers upright to prevent any leaks.

7.3. Specific end use(s)

Observe technical data sheet. Observe instructions for use.

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1. Control parameters

Occupational exposure limit values:

not applicable

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



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

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

EN
Page 4 / 9

DNEL:

n-butyl acetate
INDEX No. 607-025-00-1 / EC No. 204-858-1 / CAS No. 123-86-4
DNEL acute inhalative (local), Workers: 900 mg/m³
DNEL acute inhalative (systemic), Workers: 900 mg/m³
DNEL long-term inhalative (local), Workers: 480 mg/m³
DNEL long-term inhalative (systemic), Workers: 480 mg/m³
DNEL acute inhalative (local), Consumer: 859,7 mg/m³
DNEL acute inhalative (systemic), Consumer: 859,7 mg/m³
DNEL long-term inhalative (local), Consumer: 102,34 mg/m³
DNEL long-term inhalative (systemic), Consumer: 102,34 mg/m³

2-methylpropan-1-ol
INDEX No. 603-108-00-1 / EC No. 201-148-0 / CAS No. 78-83-1
DNEL long-term inhalative (local), Workers: 310 mg/m³
DNEL long-term oral (repeated), Consumer: 25 mg/kg
DNEL long-term inhalative (local), Consumer: 55 mg/m³

2,6,6-Trimethylbicyclo(3.1.1)hept-2-en
EC No. 201-872-8 / CAS No. 80-56-8
DNEL long-term inhalative (systemic), Workers: 5,98 mg/m³

PNEC:

n-butyl acetate
INDEX No. 607-025-00-1 / EC No. 204-858-1 / CAS No. 123-86-4
PNEC aquatic, freshwater: 0,18 mg/l
PNEC aquatic, marine water: 0,018 mg/l
PNEC aquatic, intermittent release: 0,36 mg/l
PNEC sediment, freshwater: 0,981 mg/kg
PNEC sediment, marine water: 0,0981 mg/kg
PNEC, Soil: 0,0903 mg/kg
PNEC sewage treatment plant (STP): 35,6 mg/l

2-methylpropan-1-ol
INDEX No. 603-108-00-1 / EC No. 201-148-0 / CAS No. 78-83-1
PNEC aquatic, freshwater: 0,4 mg/l
PNEC aquatic, marine water: 0,04 mg/l
PNEC aquatic, intermittent release: 11 mg/l
PNEC sediment, freshwater: 1,52 mg/kg
PNEC sediment, marine water: 0,152 mg/kg
PNEC, Soil: 0,0699 mg/kg
PNEC sewage treatment plant (STP): 10 mg/l

2,6,6-Trimethylbicyclo(3.1.1)hept-2-en
EC No. 201-872-8 / CAS No. 80-56-8
PNEC aquatic, freshwater: 4 mg/l
PNEC aquatic, marine water: 0,4 mg/l
PNEC sediment, freshwater: 1,033 mg/kg
PNEC sediment, marine water: 0,103 mg/kg
PNEC, Soil: 0,539 mg/kg
PNEC sewage treatment plant (STP): 3,26 mg/l

8.2. Exposure controls

Provide good ventilation. This can be achieved with local or room suction. If this should not be sufficient to keep aerosol and solvent vapour concentration below the exposure limit values, a suitable respiratory protection must be used.

Occupational exposure controls

Respiratory protection

If concentration of solvents is beyond the occupational exposure limit values, approved and suitable respiratory protection must be used. Observe the wear time limits according GefStoffV in combination with the rules for using respiratory protection apparatus (BGR 190). Use only respiratory protection equipment with CE-symbol including four digit test number.

Hand protection

For prolonged or repeated handling the following glove material must be used: Nitrile rubber or butyl rubber
Thickness of the glove material > 0,4 mm ; Breakthrough time (maximum wearing time) > 480 min.
Observe the instructions and details for use, storage, maintenance and replacement provided by the protective glove

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



Article No.: P TS-Sealer-P EN
 Print date: 30.11.2017 Revision date: 23.06.2017
 Version: 6.0 Issue date: 23.06.2017 Page 5 / 9

manufacturer. Penetration time of glove material depending on intensity and duration of exposure to skin. Recommended glove articles DIN EN 374
 Barrier creams can help protecting exposed skin areas. In no case should they be used after contact.

Eye protection

Wear closely fitting protective glasses in case of splashes.

Protective clothing

Wear antistatic clothing of natural fibers (cotton) or heat resistant synthetic fibers.

Protective measures

After contact clean skin thoroughly with water and soap or use appropriate cleanser.

Environmental exposure controls

Do not allow to enter into surface water or drains. See chapter 7. No additional measures necessary.

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1. Information on basic physical and chemical properties

Appearance:

Physical state: liquid
 Colour: refer to label
 Odour: characteristic
 Odour threshold: not applicable
 pH at 20 °C: not applicable
 Melting point/freezing point: not applicable
 Initial boiling point and boiling range: not applicable
 Flash point: 24 °C
 Method: DIN 53213-1 (08/2002: replaced by EN ISO 1523)

Evaporation rate:

not applicable

Flammability (solid, gas):

burning time (s): not applicable

Upper/lower flammability or explosive limits:

Lower explosion limit: 1,7 Vol-%
 Upper explosion limit: 11 Vol-%
 Source: 2-methylpropan-1-ol

Vapour pressure at 20 °C:

1,77 mbar

Vapour density:

not applicable

Relative density:

Density at 20 °C: 0,90 g/cm³

Solubility(ies):

Water solubility (g/L) at 20 °C: insoluble

Partition coefficient: n-octanol/water:

see section 12

Auto-ignition temperature:

370 °C
 Source: n-butyl acetate

Decomposition temperature:

not applicable

Viscosity at 20 °C:

20 s 4 mm
 Method: DIN 53211

Explosive properties:

not applicable

Oxidising properties:

not applicable

9.2. Other information

Solid content (%): 24,80 Wt %

solvent content:

Organic solvents: 75 Wt %
 Water: 0 Wt %

SECTION 10: Stability and reactivity

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

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

EN
Page 6 / 9

10.1. Reactivity

10.2. Chemical stability

Stable when applying the recommended regulations for storage and handling. Further information on correct storage: refer to chapter 7.

10.3. Possibility of hazardous reactions

Keep away from strong acids, strong bases and strong oxidizing agents to avoid exothermic reactions.

10.4. Conditions to avoid

Hazardous decomposition byproducts may form with exposure to high temperatures.

10.5. Incompatible materials

10.6. Hazardous decomposition products

Hazardous decomposition byproducts may form with exposure to high temperatures, e.g.: carbon dioxide, carbon monoxide, smoke, nitrogen oxides.

SECTION 11: Toxicological information

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

No data on preparation itself available.

11.1. Information on toxicological effects

Acute toxicity

n-butyl acetate

oral, LD50, Rat: 10760 mg/kg
dermal, LD50, Rabbit: > 14112 mg/kg
inhalative (vapours), LC50, Rat: 23,4 mg/l (4 h)

2-methylpropan-1-ol

oral, LD50, Rat: > 2830 mg/kg
dermal, LD50, Rabbit: > 2000 mg/kg
inhalative (vapours), LC50, Rat: 24,8 mg/l (4 h)

2,6,6-Trimethylbicyclo(3.1.1)hept-2-en

oral, LD50, Rat: 500 mg/kg
Method: OECD 423

skin corrosion/irritation; Serious eye damage/eye irritation

n-butyl acetate

Skin, OECD 404, Rabbit (4 h): evaluation Not an irritant.
eyes, OECD 405, Rabbit (4 h): evaluation Not an irritant.

2-methylpropan-1-ol

Skin, OECD 404, Rabbit (4 h)
skin corrosion/irritation
eyes, OECD 405, Rabbit (4 h)

Respiratory or skin sensitisation

n-butyl acetate

Skin, OECD 406, Guinea pig: ; evaluation not sensitising.

CMR effects (carcinogenicity, mutagenicity and toxicity for reproduction)

n-butyl acetate

Germ cell mutagenicity; evaluation Ames test negative.
Method: Ames test

Specific target organ toxicity

Toxicological data are not available.

Aspiration hazard

Toxicological data are not available.

Practical experience/human evidence

Other observations:

Inhaling of solvent components above the MWC-value can lead to health damage, e.g. irritation of the mucous membrane and respiratory organs, as well as damage to the liver, kidneys and the central nerve system. Indications for this are: headache, dizziness, fatigue, amyosthenia, drowsiness, in serious cases: unconsciousness. Solvents may cause some of the

Article No.: P TS-Sealer-P
Print date: 30.11.2017 Revision date: 23.06.2017
Version: 6.0 Issue date: 23.06.2017

EN
Page 7 / 9

aforementioned effects through skin resorption. Repeated or prolonged contact with the preparation may cause removal of natural fat from the skin resulting in non-allergic contact dermatitis and/or absorption through skin. Splashing may cause eye irritation and reversible damage.

Overall Assessment on CMR properties

The ingredients in this mixture do not meet the criteria for classification as CMR category 1A or 1B according to CLP.

SECTION 12: Ecological information

overall evaluation

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

There is no information available on the preparation itself .

Do not allow to enter into surface water or drains.

12.1. Toxicity

n-butyl acetate

Fish toxicity, LC50, Pimephales promelas (fathead minnow): 18 mg/l (96 h)

Daphnia toxicity, EC50, Daphnia magna: 44 mg/l (48 h)

Algae toxicity, ErC50, Scenedesmus subspicatus: 647,7 mg/l (72 h)

2-methylpropan-1-ol

Fish toxicity, LC50, Pimephales promelas (fathead minnow): 1430 mg/l (96 h)

Daphnia toxicity, EC50, Daphnia magna (Big water flea): 1100 mg/l (48 h)

Algae toxicity, ErC50, Pseudokirchneriella subcapitata: 1799 mg/l (72 h)

2,6,6-Trimethylbicyclo(3.1.1)hept-2-en

Daphnia toxicity, EC50, Daphnia magna (Big water flea): 0,475 mg/l (48 h)

Algae toxicity, ErC50, Pseudokirchneriella subcapitata: 0,247 mg/l (72 h)

Long-term Ecotoxicity

2,6,6-Trimethylbicyclo(3.1.1)hept-2-en

Fish toxicity, LC50, Pimephales promelas (fathead minnow): 0,28 mg/l (96 h)

Daphnia toxicity, EC50, Daphnia magna (Big water flea): 41 mg/l (48 h)

12.2. Persistence and degradability

Toxicological data are not available.

12.3. Bioaccumulative potential

2,6,6-Trimethylbicyclo(3.1.1)hept-2-en

Partition coefficient: n-octanol/water: 4,1

12.4. Mobility in soil

Toxicological data are not available.

12.5. Results of PBT and vPvB assessment

The substances in the mixture do not meet the PBT/vPvB criteria according to REACH, annex XIII.

12.6. Other adverse effects

SECTION 13: Disposal considerations

13.1. Waste treatment methods

Appropriate disposal / Product

Recommendation

Do not allow to enter into surface water or drains. This material and its container must be disposed of in a safe way. Waste disposal according to directive 2008/98/EC, covering waste and dangerous waste.

List of proposed waste codes/waste designations in accordance with EWC

080111 waste paint and varnish containing organic solvents or other dangerous substances

packaging

Recommendation

Non-contaminated packages may be recycled. Vessels not properly emptied are special waste.

SECTION 14: Transport information

14.1. UN number

UN 1263

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



Article No.: P TS-Sealer-P
 Print date: 30.11.2017 Revision date: 23.06.2017
 Version: 6.0 Issue date: 23.06.2017

EN
 Page 8 / 9

- 14.2. UN proper shipping name**
 Land transport (ADR/RID): Paint
 Sea transport (IMDG): PAINT
 Air transport (ICAO-TI / IATA-DGR): Paint
- 14.3. Transport hazard class(es)**
 3
- 14.4. Packing group**
 III
- 14.5. Environmental hazards**
 Land transport (ADR/RID) not applicable
 Marine pollutant not applicable
- 14.6. Special precautions for user**
 Transport always in closed, upright and safe containers. Make sure that persons transporting the product know what to do in case of an accident or leakage.
 Advices on safe handling: see parts 6 - 8
- Further information**
- Land transport (ADR/RID)**
 tunnel restriction code D/E
- Sea transport (IMDG)**
 EmS-No. F-E, S-E
- Air transport (ICAO-TI / IATA-DGR)**
- 14.7. Transport in bulk according to Annex II of Marpol and the IBC Code**
 not applicable

SECTION 15: Regulatory information

- 15.1. Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture**
- EU legislation**
Directive 2010/75/EU on industrial emissions
 VOC-value (in g/L): 672
- National regulations**
Restrictions of occupation
 Observe employment restrictions under the Maternity Protection Directive (92/85/EEC) for expectant or nursing mothers.
 Observe restrictions to employment for juvenils according to the 'juvenile work protection guideline' (94/33/EC).

- 15.2. Chemical Safety Assessment**
 For the following substances of this preparation a chemical safety assessment has been carried out:

EC No. CAS No.	Chemical name	REACH No.
204-658-1 123-88-4	n-butyl acetate	01-2119485493-29-XXXX
201-148-0 78-83-1	2-methylpropan-1-ol	01-2119484609-23-XXXX
201-872-8 80-56-8	2,6,6-Trimethylbicyclo(3.1.1)hept-2-en	01-2119519223-49-XXXX

SECTION 16: Other information

Full text of classification in section 3:		
Flam. Liq. 3 / H226	Flammable liquids	Flammable liquid and vapour.
STOT SE 3 / H336	Specific target organ toxicity (single exposure)	May cause drowsiness or dizziness.
STOT SE 3 / H335	Specific target organ toxicity (single exposure)	May cause respiratory irritation.
Skin Irrit. 2 / H315	skin corrosion/irritation	Causes skin irritation.
Eye Dam. 1 / H318	Serious eye damage/eye irritation	Causes serious eye damage.

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



Article No.:	P	TS-Sealer-P	EN
Print date:	30.11.2017	Revision date: 23.06.2017	Page 9 / 9
Version:	6.0	Issue date: 23.06.2017	

Acute Tox. 4 / H302	Acute toxicity (oral)	Harmful if swallowed.
Skin Sens. 1 / H317	Respiratory or skin sensitisation	May cause an allergic skin reaction.
Asp. Tox. 1 / H304	Aspiration hazard	May be fatal if swallowed and enters airways.
Aquatic Chronic 1 / H410	Hazardous to the aquatic environment	Very toxic to aquatic life with long lasting effects.

Abbreviations and acronyms

For abbreviations and acronyms, see: ECHA Guidance on information requirements and chemical safety assessment, chapter R.20 (Table of terms and abbreviations).

Further information

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

The information supplied on this safety data sheet complies with our current level of knowledge as well as with national and EU regulations. Without written approval, the product must not be used for purposes different from those mentioned in chapter 1. It is always the user's duty to take any necessary measures for meeting the requirements laid down by local rules and regulations. The details in this safety data sheet describe the safety requirements of our product and are not to be regarded as guaranteed attributes of the product.

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



Article No.: P TS-Sealer-P
 Print date: 30.11.2017 Revision date: 23.06.2017
 Version: 6.0 Issue date: 23.06.2017

EN
 Page 2 / 9

contains:

2-methylpropan-1-ol
 n-butyl acetate

Supplemental Hazard information (EU)

EUH068 Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.

2.3. Other hazards

SECTION 3: Composition / information on ingredients

3.2. Mixtures

Product description / chemical characterization

Description Mixed solvent + polymer mixture

Hazardous ingredients

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

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

Additional information

Full text of classification: see section 16

SECTION 4: First aid measures

4.1. Description of first aid measures

General information

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

In case of inhalation

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

Following skin contact

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

After eye contact

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

After ingestion

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

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

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

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

SECTION 5: Firefighting measures

5.1. Extinguishing media

Suitable extinguishing media:

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

BTW 58

Iron based alloy wire designed to combat extreme erosion

Enduring Performance...



*Stronger, with
Castolin Eutectic*



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

**Castolin Eutectic®
Eutectic Castolin**

BTC SOLUTIONS

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

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

Material Chemistry

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

Coating Properties *

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

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



Power Generation



Steel Industry



Cement Industry

Your resources for protection, repair and joining solutions



www.castolin.com

www.eutectic.com

CEP 13 4100

Stronger with Castolin Eutectic

www.castolin.com www.eutectic.com

WISDOM Thermal Spray Consumables

Nickel base alloy



LCr Carbide (P)

DATA

November 2015

Introduction

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

Equivalent to: TAFE 98 MXC, PMET 223

Surface Preparation

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

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

Application

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

Chemical composition

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

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

WISDOM Thermal Spray Consumables

Nickel base alloy

Typical Deposit Characteristics

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

* Grind using aluminum oxide

Standard Sizes & Packing

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

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

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

WISDOM Thermal Spray Consumables

Iron Base Alloy



H Tungsten Carbide (P)

DATA SHEET

November 2015

Introduction

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

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

Surface Preparation

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

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

Application

- Fan Blades
- Boiler Tubes
- Other High Wear Application

Chemical composition

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

Typical Deposit Characteristics

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

WISDOM Thermal Spray Consumables

Iron Base Alloy

Abrasion Resistance	Hardness	Bond Strength	Deposit Rate	Deposit Efficiency	Wire Coverage	Surface Texture	Machinability
Good	HRC 65	5000 psi	10 lbs/hr /100A	70 %	1.0 oz/ft ² / mil	Variable*	No

* Depends on air pressure used

Standard Sizes & Packing

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

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

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



Product Data Sheet

SmartArc Advanced Electric Wire Arc Thermal Spray System

The SmartArc™ is a state-of-the-art, advanced electric wire arc spray system for high productivity that produces repeatable coatings of unsurpassed quality.

A premium system, SmartArc has innovative engineering that ensures it will produce highly reliable electric wire arc spray coatings, while being cost-effective and having outstanding ease-of-use and serviceability.

With applications in a wide variety of industries, SmartArc is the answer for swift, cost-effective thermal spray coatings for wear protection, restoration of component dimension and corrosion protection. Some examples of applications where SmartArc produces excellent value are:

- Industrial rollers used in printing and textiles, paper and pulp production, embossing and steel manufacturing,
- Automotive mufflers and exhaust pipe seam welds,
- Aviation and aerospace components requiring bond coatings and machinable restoration coatings,
- Hydroelectric turbine parts for power generation,
- Aluminum extrusion mills,
- Tube mill weld seams.



SmartArc PPC Console and 350RU Power Supply (shown with optional Power Supply Truck)

When used with Oerlikon Metco's extensive portfolio of high quality wire arc materials, SmartArc delivers superior coatings, at high deposition rate, and with ease.

1 General Description

The high power capacity (400 A) allows SmartArc to deposit coatings from both hard and soft wires very quickly and economically. Hard wire coatings produced using the SmartArc system have excellent bond strength, high hardness, low porosity and are easily machined. When soft wires are used, exceptionally high coatings rates of up to 32 kg/h (70 lb/h) are possible.

SmartArc incorporates a leading-edge gun head design that delivers low-turbulence, nearly laminar air flow. This results in high deposition rates, very dense, low oxide coatings and a reduction in consumables and maintenance. Voltage measurement is at the gun for reliable coating results.

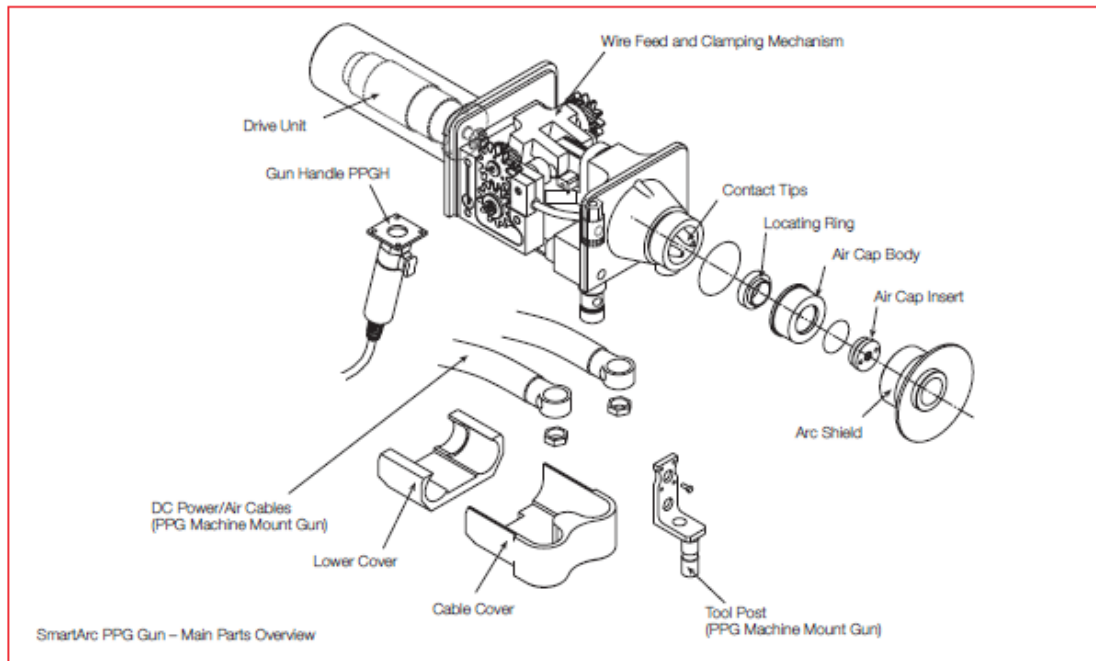
A unique feature of SmartArc is load-sharing; a patented motor control method that provides "push-pull" coordination of the wire feed stock. As a result, wire feed is very smooth, allowing wire conduit cables of up to 15 m (50 ft). This allows the SmartArc PPG gun to be mounted on a robot or other gun manipulation equipment for added precision and automation. When the gun "pull" motor, that acts as the master feed motor, needs assistance, SmartArc senses the load and has the console motor "push" harder to ensure highly consistent wire feed.

Truly automated, SmartArc incorporates rugged and reliable PLC (programmable logic control) computer technology for its advanced feature capability and provides diagnostics tests that are easily interpreted by the operator.



SmartArc PPG Wire Arc Spray Gun

Two gun models are available for the SmartArc system. The PPG gun (CE-conformant) is a machine-mount push-pull design. The PPGH hand-held model offers an optional gun handle that incorporates an integrated, system-wide E-stop and wire speed control, on the handle. (Not for sale in CE-conforming countries)



2 Features and Benefits

- Modular design allows for superior flexibility in work configurations.
- Advanced controls deliver outstanding spray process reliability.
- Unique load-sharing control method produces "pushpull" action for smooth and consistent wire feed and allows long distances between the controller and the gun.
- PLC (programmable logic control) automation ensures coating reliability and simple operation.
- Diagnostic system provides ease of use and reliable results.
- Spray hard, soft or cored wires with equal ease (with optional hardware for soft wires).
- High power allows spraying of even the hardest wires quickly.
- Adjustable, air-actuated clamp makes feeding of hard, soft or cored wires far more reliable.
- Voltage measurement at the gun ensures repeatable coating results.
- Low turbulence, near laminar air flow for fast spray rates of very dense, low oxide coatings.
- Fixed position gun contact tips assure consistent, repeatable coatings.
- Quick release wire connector and pull action at the gun allows fast and simple changeover of wire feedstock.
- Machine-mount and hand-held gun options are available for production flexibility.
- Machine-mount guns can easily be mounted on a robot or other gun manipulators for precision and production automation.
- Relocation of the coaxial power cables improves gun balance on hand-held guns.
- Controller, power supply and gun conform to CE standards.

3 Accessories and Options

Oerlikon Metco offers a selection of options and accessories for the SmartArc system and gun for complete operating flexibility. For a complete list of optional parts and spare parts, please refer to the parts lists section of the reference manual.

Power cables, control cable packages, interconnecting extension cables, air supply cables and wire feed cables are available in various lengths to suit specific application needs.

Hardware Kits:

SmartArc systems and guns are factory equipped to spray 1.6 mm (14 gauge) hard wires. Oerlikon Metco has gun hardware options to accommodate different wire materials including:

- 1.6 mm (14 gauge) soft wires
- 1.6 mm (14 gauge) aluminum wires
- 2 mm hard wires
- 2 mm soft wires
- 2 mm aluminum wires
- 2.3 mm (11 gauge) soft wires

Customers may need to change console or gun drive rollers for softer wires. Proper configurations are listed in the SmartArc instruction manual.

PPG51845 Handle:

Optional handle for PPG or PPGH guns with wire speed control, spray on/off and E-stop. Not CE-conformant.

Air Caps:

- Fine Spray Air Cap: for smooth coating surfaces (standard-factory equipped)
- Fan Air Cap: for large and wide surface areas
- High Velocity Air Cap: for narrow spray patterns
- High Profile Air Cap: for rough surface finishes
- Focused Air Cap: for narrow spray patterns at higher deposit efficiencies

Extension Modules:

Extension modules in several lengths are available:

- PPGT-190: 305 mm (1 ft), 90° spray angle
- PPGT-290: 610 mm (2 ft), 90° spray angle

For more information on these extension modules, please refer to the SmartArc PPGT datasheet DSE-0054.

Spool Holders:

The SmartArc comes factory equipped with standard, dorn-style plastic spools holders.

- Wire Baskets: an optional conversion kit is available for use with wire basket spools

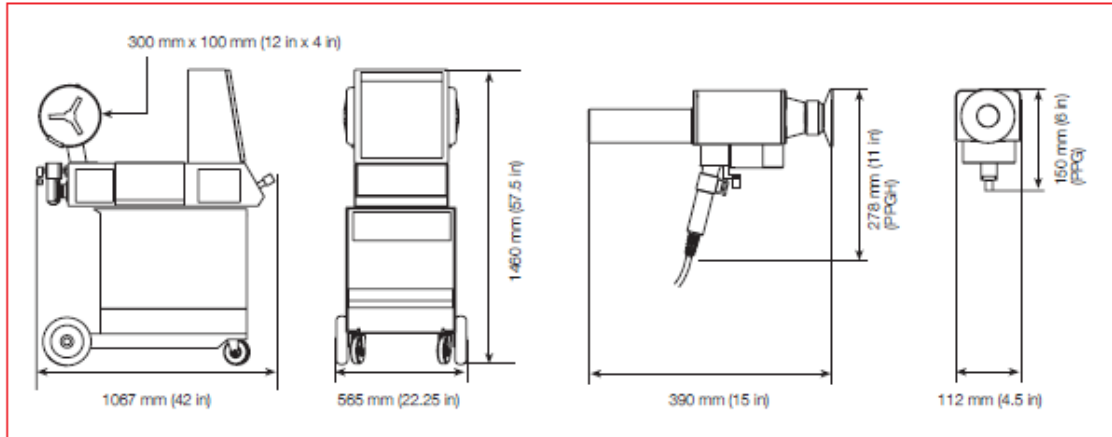
Please note that adapters for hasp-style spools are not available for the SmartArc.

Power Supply Truck:

Using this optional hand truck, the entire SmartArc system (power supply and console) becomes portable. It is an ideal accessory for on-site use and in shops where the system is used in several locations.

4 Technical Data

4.1 Dimensions



4.2 Specifications

350RU Power Supply

Input Amperage	82 / 72 / 41 / 36 A	
Input Voltage	208 / 230 / 400 / 460 VAC	
Input Frequency	50 / 60 Hz	
Output Voltage	10 to 46 VDC (100 % duty cycle)	
Output Amperage	80 to 400 A (100 % duty cycle)	
Weight	174 kg	383 lb
Maximum Ambient Temperature	40 °C	104 °F

PPC Console

Air Pressure	2.4 to 4.2 bar	35 to 60 psi
Air Flow	58 to 105 m ³ /h	2200 to 4000 ft ³ /h
Weight	130 kg	290 lb

Gun

Wire Size (hard wires) *	1.6 mm	14 gauge
Models (specify when ordering)	PPG machine-mount, with tool post PPGH hand-held	
Weight PPG	6.3 kg	14 lb
Weight PPGH	5.4 kg	12 lb

* as equipped at factory; options are available in different configurations

Information is subject to change without prior notice.

DSE-0055.6 – SmartArc
©2015 Oerlikon Metco

oerlikon
metco

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