



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

**STANOVENÍ OPTIMÁLNÍCH PROCESNÍCH PARAMETRŮ
BĚŽNĚ POUŽÍVANÝCH MATERIÁLŮ V TECHNOLOGII
STUDENÉHO NAPRAŠOVÁNÍ**

DETERMINATION OF OPTIMAL PROCESSING PARAMETERS OF COMMON DEPOSIT MATERIALS IN
COLD SPRAY TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zdeněk Antoš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Čížek, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav materiálových věd a inženýrství
Student: **Zdeněk Antoš**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jan Čížek, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Stanovení optimálních procesních parametrů běžně používaných materiálů v technologii studeného naprašování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Inovativní technologie kinetického nanášení za studena je novinkou ve sféře povrchového zpracování pokročilých materiálů.

Jednou z výhod této technologie jsou nízké procesní teploty ve srovnání s generačně staršími technologiemi (plazmové nanášení, HVOF, nanášení plamenem). Díky tomu není nanášený materiál ovlivněn a chemické a fázové složení výsledného nástřiku je shodné s vlastnostmi výchozího práškového materiálu.

Specifičnost této technologie s sebou nese i požadavky na přesné určení optimálních nanášecích parametrů pro depozici (nejen) obtížně nanositelných materiálů. Tyto parametry se pro různé materiály liší a jejich katalogizace je primárním cílem této práce.

Cíle bakalářské práce:

- seznámit studenta s technologií kinetického nanášení (cold spray), jejími přednostmi a nevýhodami
- seznámit se s problematikou depozičních parametrů, konceptem kritické rychlosti a depozičního okna
- vypracovat literární rešerši shrnující poznatky z literatury shrnující data o procesních parametrech jednotlivých materiálů

Seznam literatury:

Papyrin, A., Kosarev, V., Klinkov, S., Alkhimov, A., Fomin, V. (2006): Cold Spray Technology. Elsevier Science, San Francisco.

Schmidt, T., Assadi, H., Gärtner, F., Richter, H., Stoltenhoff, T., Kreye, H., Klassen, T. (2009): From Particle Acceleration to Impact and Bonding in Cold Spraying. Journal of Thermal Spray Technology, vol. 18, no. 5-6, pp.794-808, DOI: 10.1007/s11666-009-9399-x.

Schmidt T., Gärtner, F., Assadi, H., Kreye, H. (2006): Development of a generalized parameter window for cold spray deposition. Acta Materialia, vol. 54, no. 3, pp.729-742, DOI: 10.1016/j.actamat.2005.10.005.

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

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.
ředitel ústavu

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

Abstrakt

Technologie kinetického naprašování za studena je metoda nanášení vrstev materiálu za nízkých teplot. Na rozdíl od vysokoteplotních metod žárového nanášení nedochází k tepelnému ovlivnění výchozího nanášeného práškového materiálu a tím je zachováno původní chemické a fázové složení. Hlavní náplní této práce je bližší seznámení se s danou technologií, výrobou práškových materiálů a katalogizace optimálních parametrů nanášení.

Summary

Cold spray is a coating method at low temperatures. In contrast to precedent methods, there is no heat influence on the initial feedstock powder material and the original chemical and phase composition is therefore retained. Main aim of this work is to understand the technology of cold spray and the production of the respective coatings, and classification of the optimal parameters of deposition, e.g. temperature and pressure of the working gas.

Klíčová slova

Kinetické naprašování za studena, technologie žárového nanášení, parametry depozice

Keywords

Cold Spray, Thermal spray technology, parameters of deposition

ANTOŠ, Z. *Stanovení optimálních procesních parametrů běžně používaných materiálů v technologii studeného naprašování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 84 s. Vedoucí Ing. Jan Čížek, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na zadané téma vypracoval samostatně s použitím literatury uvedené v seznamu.

Zdeněk Antoš

Rád bych poděkoval Ing. Janu Čížkovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

Zdeněk Antoš

Obsah

1	Úvod	12
2	Rešerše literatury	13
2.1	Technologie žárového nanášení	13
2.1.1	Vysokoteplotní technologie	14
2.1.2	Metoda kinetického naprašování za studena	16
2.2	Výchozí práškové materiály	17
2.2.1	Způsoby výroby	17
2.3	Optimální parametry depozice	25
2.3.1	Čisté kovy	26
2.3.2	Kovové slitiny	48
2.3.3	Směsi kov-nekov	62
3	Závěr	68
	Literatura	69
	Seznam použitých zkratk a symbolů	79
	Seznam laboratoří	80
	Seznam tabulek	84

1 Úvod

Metoda kinetického naprašování za studena je relativně novou metodou nanášení povlaků různých materiálů na povrch substrátu. Vznikla v 80. letech v Sovětském svazu při pokusech v aerodynamickém tunelu. První patent byl registrován v USA v roce 1994. [1]

Předešlé žárové technologie depozice jsou založeny na využití vysoké teploty, při které dojde k roztavení materiálu, a následnému tuhnutí na povrchu substrátu. Díky vysokým teplotám dochází u těchto technologií k fázovým přeměnám a oxidaci nánosů. Nová metoda kinetického naprašování za studena namísto toho využívá pro depozici vysokou rychlost proudění prášku a jeho plasticitu, takže nedochází k tavení ani k tepelnému ovlivnění výchozího materiálu. [2, 3]

Tato práce se zabývá nejprve krátkým obecným seznámením s technologiemi žárového nanášení a dále jednoduchým popisem výroby výchozích práškových materiálů. Hlavní část práce je věnována katalogizaci parametrů depozice zadaných materiálů. Katalog je vytvořen z informací uvedených v publikovaných člancích laboratoří celého světa a jsou v něm uvedeny parametry jako např. použitá teplota a tlak pracovního plynu, tvar a rozměry pistole, vzdálenost pistole od substrátu, rychlost posuvu pistole, způsob výroby prášku a jeho rychlost dávkování.

2 Rešerše literatury

2.1 Technologie žárového nanášení

Žárové nanášení je prováděno několika metodami, které pomocí tepelné a kinetické energie vytváří na povrchu substrátu vrstvu nanášeného materiálu. Pouze u nízkoteplotního kinetického naprašování za studena, které je předmětem této práce a o kterém bude podrobněji zmíněno v kapitole 2.1.2, je materiál nanášen při teplotách nižších, než je jeho teplota tavení. Tyto metody jsou zobrazeny na obr. 2.1.



Obrázek 2.1: Rozdělení metod žárového nanášení

Výhody technologií žárového nanášení jsou zřejmé při srovnání s ostatními povrchovými úpravami (viz tabulka 2.1). Takto lze nanášet velmi široký výběr materiálů – kovy (čisté nebo ve slitinách), keramiku (čistou pro vysokoteplotní a s kovovou maticí pro nízkoteplotní, protože nemá vhodné plastické vlastnosti), intermetalické sloučeniny, polymery a kompozity – omezením při výběru materiálu je dostatečná plastická deformovatelnost. Další výhodou je možnost nanášení relativně silných tlouštěk od 50 do 500 μm . Naopak velkou nevýhodou vysokoteplotních metod je tepelné ovlivnění struktury nanášeného materiálu. [2, 4]

2.1. TECHNOLOGIE ŽÁROVÉHO NANÁŠENÍ

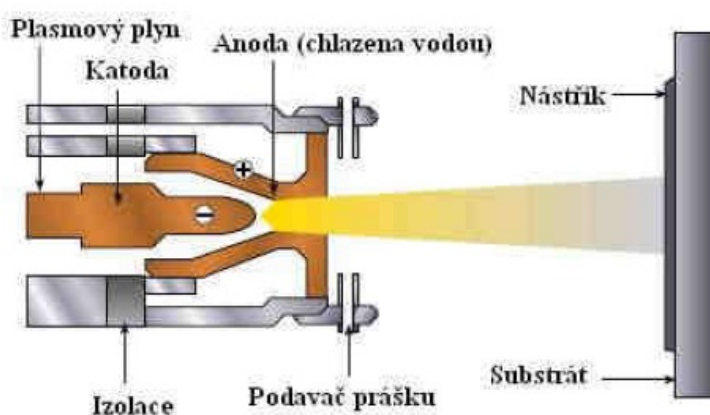
Tabulka 2.1: Hlavní charakteristiky základních povrchových metod [2]

Charakteristika	Elektrolytické pokovování	Žárové nanášení	CVD	PVD
Cena vybavení	nízká	nízká-střední	střední	střední-vysoká
procesní atmosféra	vodný roztok	atmosferická až mírné vakuum	atmosferická-střední vakuum	vakuum
Tloušťka vrstvy	střední-silná	silná	slabá-silná	slabá-střední
Teplota povrchu	nízká	nízká-střední	střední-vysoká	nízká
Přilnavost	střední mech. vazba, dobrá chem. vazba	dobrá mechanická vazba	dobrá chem. vazba, výborná difusní vazba	střední mech. vazba, dobrá chem. vazba
Výsledný povrch	středně hrubý až lesklý	hrubý až hladký	hladký až lesklý	hladký až lesklý
Materiály	kovy	prášek/drát, polymery, kovy, kovy/keramika	kovy, keramika, polymery	kovy, keramika, polymery

2.1.1 Vysokoteplotní technologie

Plasmový nástřik

Pomocí elektrického oblouku je plyn (např. argon-vodík, argon-helium) ionizován, tj. valenční elektrony jsou odtrženy z atomového obalu. Při jejich rekombinaci dochází k uvolnění velkého množství tepla, a dosahuje teplot okolo 20 000 °C. Při zahřívání dochází k expanzi a tím ke zrychlení plynu. Do proudu plasmatu je přidáván prášek, který je roztaven a vyslán proti povrchu substrátu. Díky vysoké teplotě je možné nanášet i vysokotavitelné materiály, ale dochází k velkému tepelnému ovlivnění a oxidaci částic. Kvůli složitosti technologie se zvyšuje i její cena. Obr. 2.2 [5, 6]



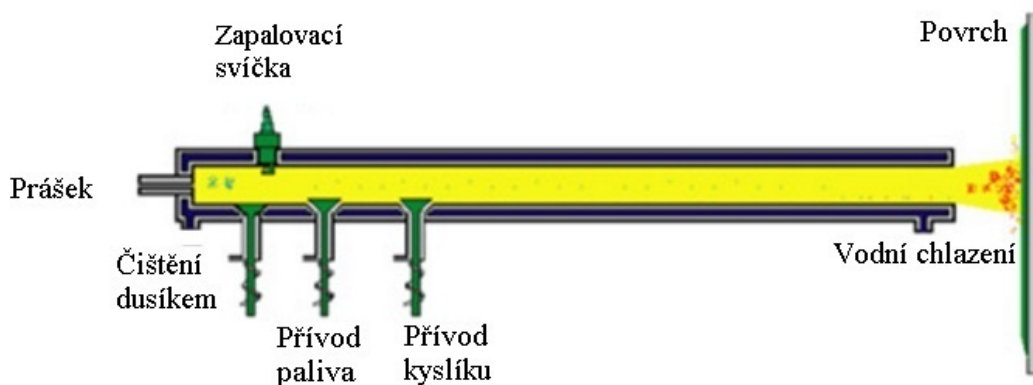
Obrázek 2.2: Plasmové nanášení [6]

Nástřik elektrickým obloukem

Podobně jako při svařování obloukem dochází k odtavování elektrody vyrobené z materiálu, který chceme nanést. Proudem vzduchu nebo inertního plynu je roztavený materiál nanášen na povrch. Inertní plyny se využívají pro snížení oxidace nanášeného materiálu. Povrch není zahříván, protože nosný plyn nemá tak vysokou teplotu jako u ostatních metod. Nízké náklady a značný výkon jsou velkou výhodou, ale metoda je omezená na vodivé materiály a také dochází k oxidaci částic. [2, 5]

D-gun – výbušné nanášení

Hlavním rozdílem od ostatních postupů je, že nedochází k nepřetržitému nanášení. Zapalováním směsi paliva a kyslíku v pistoli vychází práškový materiál z trysky přerušovaně. Výbuch v komoře hlavně pistole roztaví materiál a urychlí ho na potřebnou rychlost. Zážeh způsobuje jiskra ze zapalovací svíčky. Po každé detonaci musí být hlaveň pročištěna dusíkem. Tato metoda dosahuje dobrých výsledků v přilnavosti a hustotě naneseného materiálu. Obr. 2.3 [6, 7]



Obrázek 2.3: Výbušné nanášení [7]

HVOF (High velocity oxy-fuel)

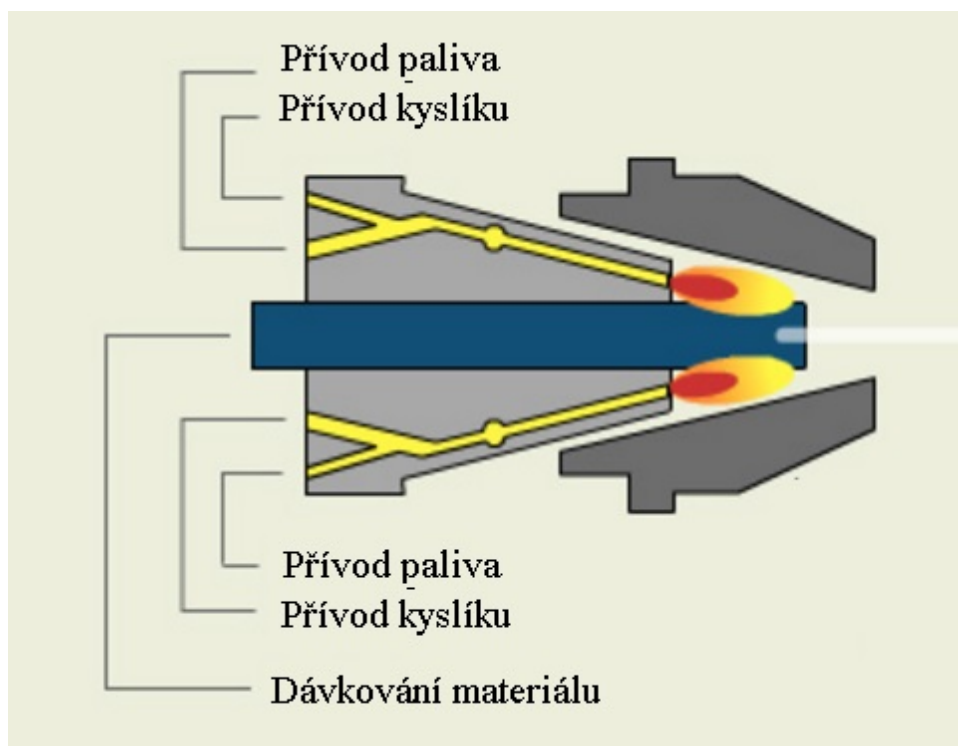
Důvod vzniku této metody je podobný jako u kinetického naprašování za studena – snížení teploty, a s tím spojené tepelné ovlivnění materiálu. Rychlost pracovního plynu dosahuje více než $Ma = 5$. Těchto rychlostí se docílí pomocí vysokého tlaku a vhodné geometrie trysky. Takto nanesený materiál má vysokou přilnavost k povrchu a nízkou porozitu. [2, 5]

Nástřik plamenem

Jedná se o nejstarší technologii žárového nanášení. Do trysky, kde se taví materiál v podobě prášku nebo drátu, je přiváděno palivo a stlačený kyslík. Nízká teplota a rychlost

2.1. TECHNOLOGIE ŽÁROVÉHO NANÁŠENÍ

částic mají za následek vysoký obsah oxidů, malou přilnavost k povrchu a vysokou porozitu nástřiku. Pořizovací cena i cena procesu jsou poměrně nízké. Obr. 2.4 [2, 5]

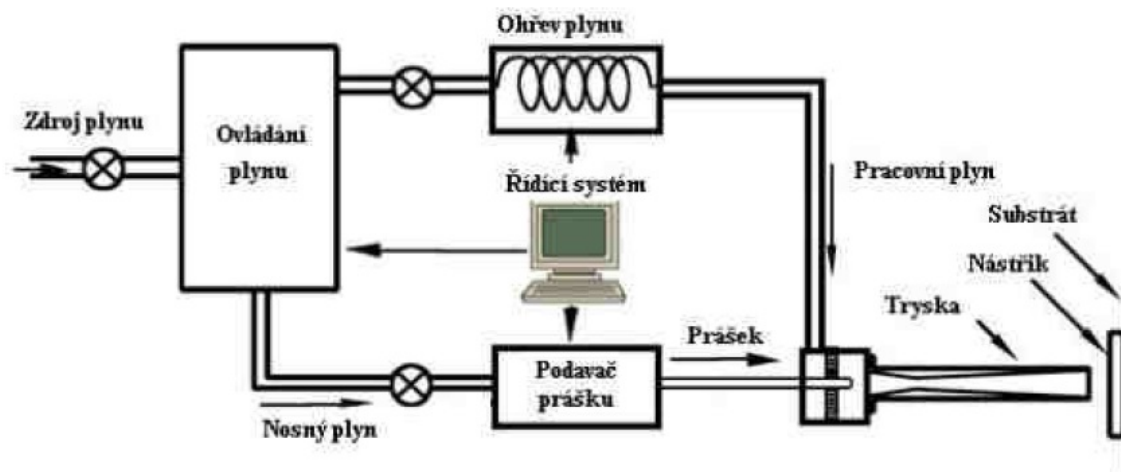


Obrázek 2.4: Pistole pro nástřik plamenem [5]

2.1.2 Metoda kinetického naprašování za studena

Tato metoda je nejmladší z technologií žárového nanášení. Vznikla v 80. letech v Sovětském svazu při pokusech v nadzvukovém aerodynamickém tunelu. V těchto experimentech byl objeven koncept tzv. kritické rychlosti, tj. minimální rychlost proudění prášku, při které dojde k uchycení na překážku proudem částic za pomoci plastické deformace materiálu. První patent této technologie vznikl v roce 1994 v USA.

Výrazným rozdílem od starších metod je, že teplota prášku se drží při nanášení na nízké hranici, takže výchozí materiál se nenatavuje. Depozice částic je způsobena plastickou deformací, které musí být dosaženo vysokou rychlostí. Prášek je urychlován pomocí vhodné zvolené dýzy a pracovního plynu (obvykle N_2 , He nebo stlačený vzduch), který je zahříván až na teploty okolo 1000 °C a je stlačený až na 4 MPa. Pokud dojde k překročení tzv. depozičního okna, tj. maximální rychlosti nanášeného materiálu, začne se prášek již od substrátu odrážet a může dojít k abrazivnímu poškození v materiálu podkladu. [1, 3, 6] Nízká teplota je nejvýraznější předností, ale zároveň i největší nevýhodou tohoto způsobu depozice. Schopnost nanášení materiálu je omezena jeho potřebnou tvárností. Výchozí materiál se teplotně neovlivňuje, čímž si zachovává své původní fázové složení a nedochází k oxidaci. Na druhou stranu musí být schopen se plasticky deformovat, což neumožňuje takto nanášet křehké materiály, jako jsou např. keramiky. Dnes se tento problém řeší přimícháváním částic podobných materiálů do kompozitů s deformovatelnou maticí. [1]



Obrázek 2.5: Schéma kinetického naprašování za studena [3]

Na obr. 2.5 jsou schematicky zobrazeny části technologie. Pracovní plyn je natlakován a ohříván na optimální tlak a teplotu, a následně přiveden do trysky. Nosný plyn prochází podavačem prášku, který zajišťuje správné dávkování nanášeného materiálu do trysky. Tryska musí být navržena tak, aby se v ní prášek urychlil a dosáhl nutné rychlosti. [3]

2.2 Výchozí práškové materiály

Mnoho faktorů spojených s nanášeným materiálem ovlivňuje schopnost jeho depozice pomocí technologie kinetického naprašování za studena, mimo jiné jde o velikost, tvar a čistotu práškového materiálu, a také o jeho dávkování do nanášecí pistole. Prášek pro kinetické naprašování za studena musí být jemnější, protože nedochází ke spojení tavením. Drobnější částice při depozici zanechávají mezi sebou menší prostor, a tím se snižuje porozita nástríku. Určení velikosti částic se provádí několika metodami, mezi které patří např. měření laserem, přesívání pomocí mikrosíta, usazování ve viskózním médiu nebo odstředování. Tvar částic může být od nepravidelného až po kulovitý a ovlivňuje hlavně schopnost transportu částic z podavače do trysky. Morfologie je nejčastěji zkoumána pomocí elektronového mikroskopu. Jako v každém strojírenském procesu i zde je důležitá čistota materiálu a nepřítomnost nežádoucích prvků jako např. kyslíku. Všechny tyto vlastnosti lze přizpůsobit vhodně zvolenou metodou výroby prášku.[8, 9]

2.2.1 Způsoby výroby

Technologie výroby práškových materiálů použitelných pro metody žárového nanášení mají velký vliv na jejich strukturu a vlastnosti. Některé jsou staré až 1000 let, další pocházejí z nedávného vývoje. Tyto nové techniky jsou důsledkem využívání jiných než kovových materiálů, jako jsou keramiky nebo polymery.

2.2. VÝCHOZÍ PRÁŠKOVÉ MATERIÁLY

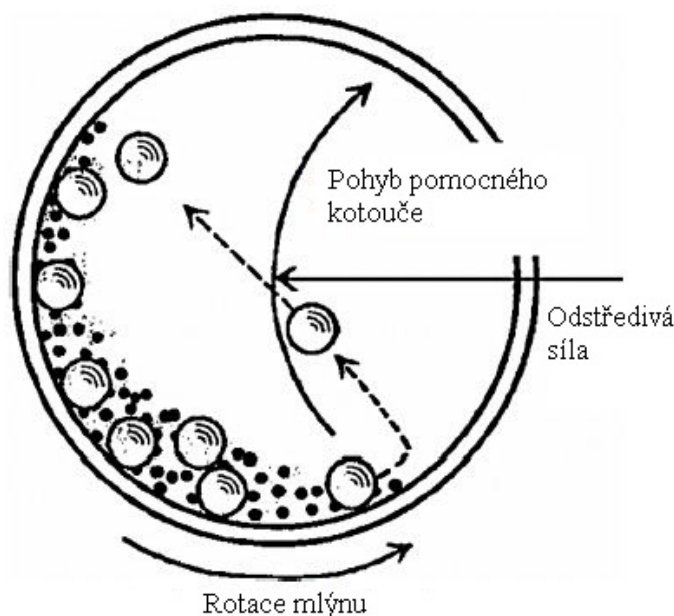
Mechanické metody výroby

Drcení

Jedná se o metodu zmenšování velikosti částic pomocí mechanické energie. Tímto způsobem lze zpracovat materiály, které nejsou schopny výrazné plastické deformace, protože by došlo např. k deformaci velké částice, nikoliv k jejímu rozmělnění. Z tohoto důvodu jsou takto zpracovány převážně keramiky. Drcení je prováděno pomocí několika přístrojů jako např. různé deskové a rotační mlýny. Touto metodou jsou vyráběny kupříkladu prášky titanu až do velikostí 40 μm . [8]

Mletí

Tímto způsobem je možné vyrábět prášky o velikostech menších, než je 5 μm . Dále se musí přesívat, aby se mohla rozdělit zrna do různých rozsahů velikostí. Mletím lze zpracovat křehké a drobné materiály, ale je možné rozmělnovat i kujné materiály. Tato metoda je realizována pomocí různých druhů mlýnů (obr. 2.6) s použitím brusného média. Médium musí být zvoleno takové, aby docházelo k co nejmenšímu znečištění produktu. Obvykle je využíván oxid hlinitý, ocel, zirkon a pro nejmenší znečištění slinuté karbidy. Pro zvýšení brusného efektu je používáno médium s vyšší hustotou, což zvyšuje jeho energii při pádu. Obložení uvnitř mlýnu je převážně z vulkanizované gumy, polyuretanu, porcelánu a pro laboratorní podmínky z karbidů wolframu nebo nerezové oceli.



Obrázek 2.6: Kuličkový mlýn [10]

Kuličkový mlýn je plněn zhruba z 50 % brusným médiem a asi 25 % objemu zabírá daný materiál u suchého mletí, 30 %- 40 % u mokrého mletí. Jako pomocná látka při suchém mletí se přidává malé množství kyseliny stearové nebo kyseliny listové, aby se předešlo

vytváření hrudek z prášku. U mokrého mletí se používá nereagující kapalina, jako je alkohol, aceton nebo voda. Asi nejdůležitějším parametrem při tomto procesu je rychlost otáčení bubnu. Pokud bude rychlost otáčení malá, všechnen materiál se bude držet na dně bubnu. Když dosáhne příliš velké rychlosti, bude materiál v každém okamžiku obepínat stěny bubnu v důsledku odstředivých sil. V obou případech dochází k opotřebování obložení a ke snížení efektivity mletí. Jestliže je dosaženo kaskádového efektu (částice se vlivem odstředivých sil dostanou do vrcholu bubnu a padají), je rychlost rotace optimální. Rychlost je ovlivněna velikostí bubnu a hustotou materiálu. Nově vzniklé povrchy jsou vysoce aktivní a dochází k reakci s okolním prostředím nebo k iniciaci dalších procesů, jako je slinování. Aby se tomuto zabránilo, přidává se minimální množství organického aditiva na bázi alkoholu. Tato metoda má mnoho využití, jako je např. redukce velikosti zrn prášku, sjednocení velikosti částic u směsí atd. [8, 10]

Attriting

Attritor je suchý brusný mlýn, který se skládá z nehybné nádoby a rotujícího ramene. Rameno se otáčí rychlostí 600 až 1000 ot·min⁻¹. Brusné médium a částice materiálu se volně pohybují a narážejí do sebe, což vyvolává nárazové a třecí síly, které mají za následek broušení a rozptýl částic. Velikost kuliček se volí podle požadovaných rozměrů prášku, menší koule znamenají jemnější prášek. Médium bývají ocelové nebo keramické kuličky o průměru 3 až 12 mm. Při výrobě prášků pro metody žárového nanášení jsou obvykle používány kuličky 6 až 7 mm v průměru. Efektivitu broušení lze zvýšit, pokud je použito hustější a tvrdší médium. Materiál může být dodáván plynule nebo po dávkách. Dávkování se volí, jestliže je požadován velice jemný produkt nebo je nutné kontrolovat prostředí. Plynulé dodávání materiálu je vhodné, pokud je nutné obrousit velké množství v malém čase a materiál je lehce obrobitelný. Při plynulém průchodu je materiál rychle zpracován a vypuštěn z nádoby, není tepelně ovlivněn, a tím není pozměněna ani mikrostruktura. Touto metodou lze zpracovat téměř jakýkoliv materiál rychle a spolehlivě. Přístroje jsou bezúdržbové, ale maximální velikost polotovaru pro výrobu prášku je méně než 13 mm. Obr. 2.7 [8, 11]



Obrázek 2.7: Attritor [11]

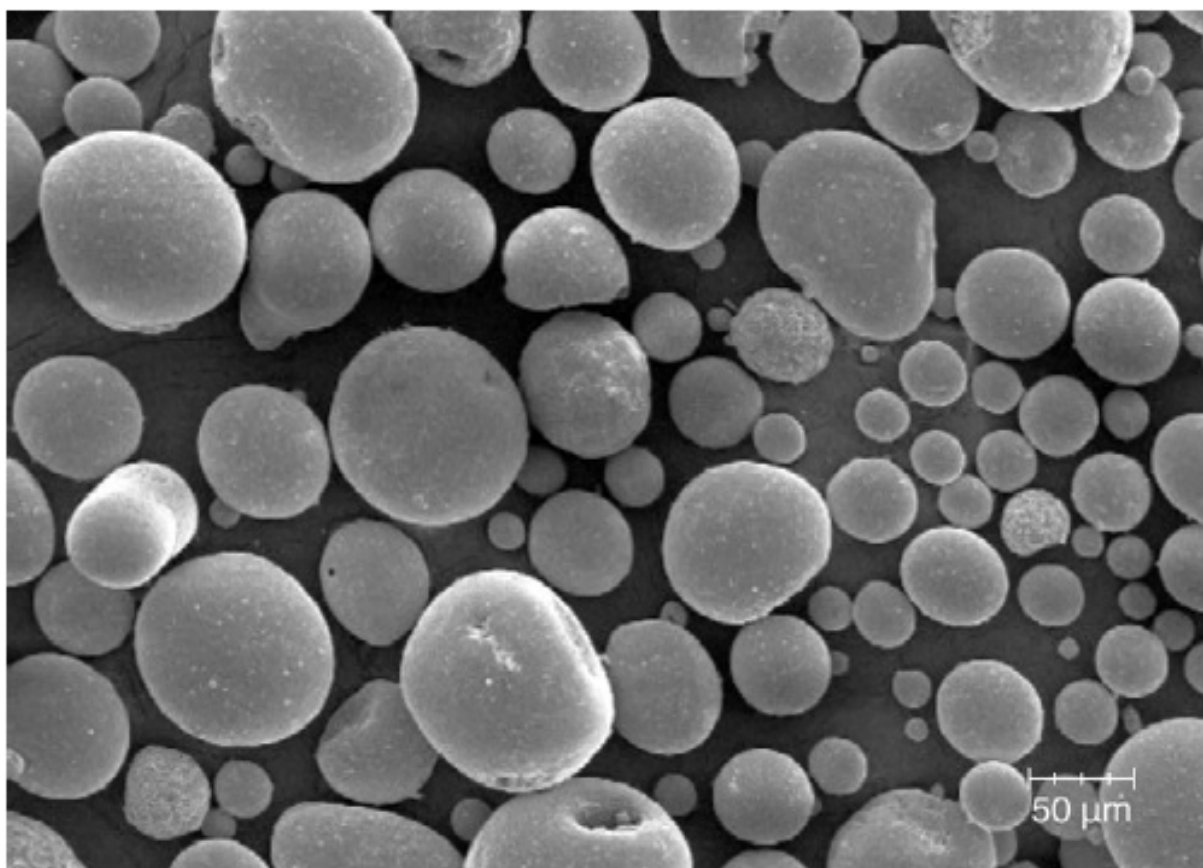
2.2. VÝCHOZÍ PRÁŠKOVÉ MATERIÁLY

Aglutinace

Aglutinace spočívá ve spojování nanočástic pro vytvoření částic mikrometrických rozměrů využívaných technologiemi žárového nanášení. Při aglutinaci se používá pojidlo, které slepí částice dohromady při teplotách 50 °C- 85 °C. Často slouží k vytváření kompozitů kov-keramika. Keramická jádra jsou nejprve rovnoměrně pokryta pojidlem, obvykle polyethylenglykolem. Dále je směs ochlazená a zpracována konvenčním mletím. Nakonec jsou keramická jádra pokryta kovovými částicemi. Výhodou tohoto procesu je energetická nenáročnost, technická jednoduchost a prakticky neomezená možnost kombinace materiálů. Také lze recyklovat jemné částice, které jsou vedlejším produktem jiných metod.[8]

Plasmové tavení

Tato metoda se v technické praxi využívá pro výrobu dutého oxidového sférického prášku neboli HOSP (hollow-oxide spherical powder) viz obr. 2.8. K tomuto procesu se používá přirozeně pórovitý sušený materiál. Částice takového materiálu jsou při tavení přetvářeny na duté, protože mezčásticové mezery se přesouvají do středu tuhnoucí masy. Tyto částice jsou dále shromážděny a tříděny obvyklými procesy. Technika je využívána pro keramiku na bázi oxidů yttria, hliníku, zirkonu a chromu. Tyto prášky mají dobré dávkovací vlastnosti a dosahují lepších vlastností při nanášení na povrch. [8, 12]



Obrázek 2.8: Částice $8Y_2O_3 - ZrO_2$ vyrobené plasmovým tavením [12]

Elektrolytické výrobní techniky

Elektrolytické metody jsou různorodé a je jimi možné vyrábět zhruba 60 druhů kovových prášků. Většina kovů je získávána z tekuté elektrolytické soli, ostatní z vodného roztoku. Přesto se vyrábí větší množství pomocí vodného roztoku, protože kovy jako měď, železo nebo nikl se získávají právě tímto způsobem. Kov se usazuje jako dendritický nános, který samovolně odpadává nebo je odstraněn z katody poklepem. Prášek má tendence tvořit vločky, jehlice nebo vlákna - záleží na stavu elektrolytické lázně, parametrech nanášení a podstatě kovu. Okolnosti, které podporují difuzní proces, zlepšují vytváření kovového prášku, např. snížení koncentrace kovu v elektrolytu, zvýšení proudové hustoty, snížení teploty nebo zvýšení viskozity roztoku. Tato metoda je především používána pro výrobu produktů vysoké čistoty. [8]

Sol-gel

Sol-gel je chemická technika pro výrobu keramických prášků. Sol označuje prvotní koloidní roztok komponent a gel poukazuje na produkt. Metoda je založena na směšování roztoků, což umožňuje reakci pro tvorbu částic. Nejčastěji užívaná syntézní technika pro výrobu částic oxidů kovů je keramická metoda, která je založena na přímé reakci směsí. Tyto procesy v tuhém stavu vyžadují vysokou teplotu a malé částice, aby byla zaručena jejich vysoká pohyblivost a reagující dvojice se mohly dostatečně přiblížit. Jelikož výroba pomocí sol-gel byla úspěšná, začala se využívat pro výrobu nanočástic. Nejlepší kontrolu nad velikostí a tvarem nanočástic umožňuje syntéza z tekuté fáze. [8]

Vodný Sol-gel

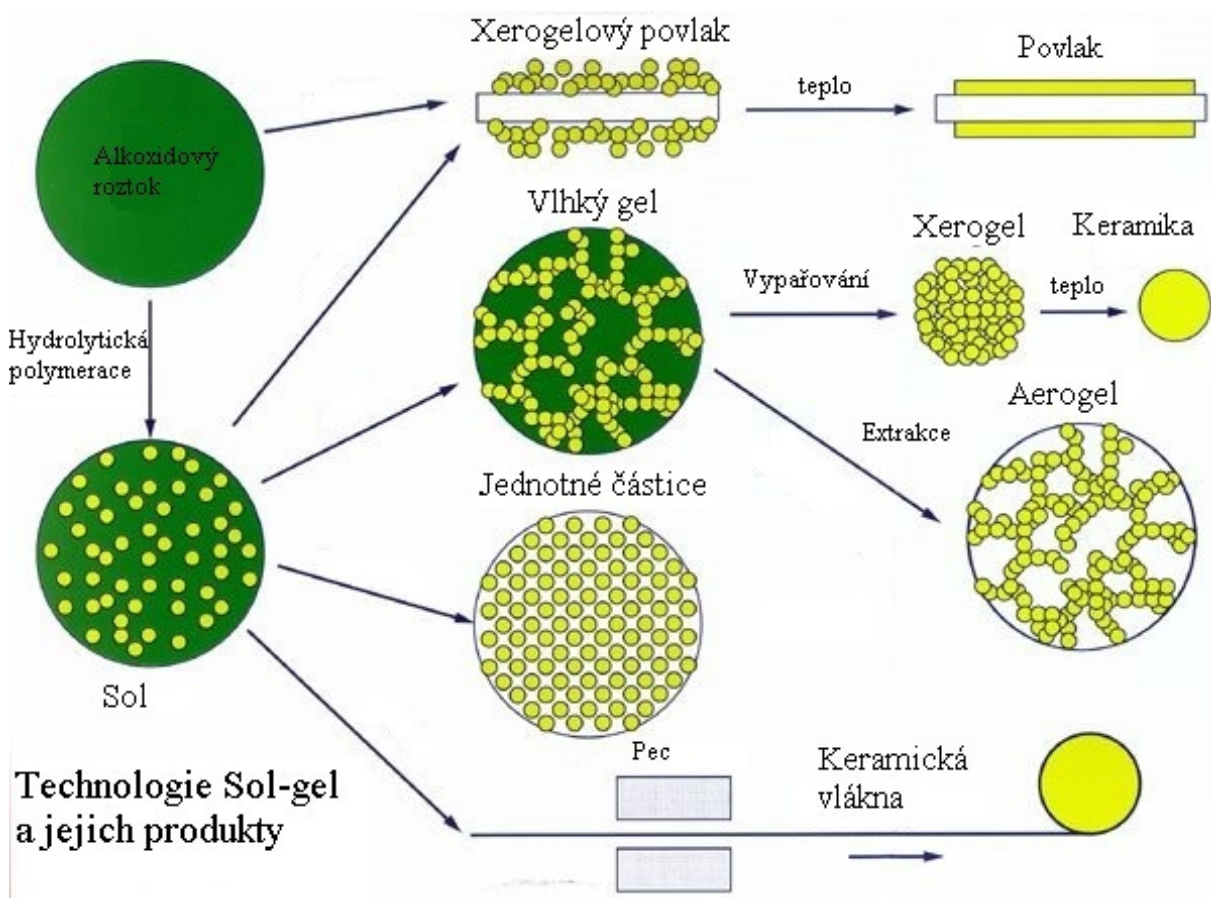
Hlavní reakce probíhá za účasti vody, kdy dochází k přeměně roztoku prekursoru na anorganickou tuhou fázi. Prekurzorem mohou být anorganické kovové soli (chloridové, nitridové, sulfidové), nebo organická kovová sloučenina jako je alkoxid. Kovové alkoxidy jsou nejčastěji používané prekurzory, protože snadno reagují s vodou. V počáteční fázi se prekurzor v podobě koloidního roztoku transformuje na síťovanou pevnou fázi pomocí hydrolýzy a kondenzace. Během hydrolýzy dochází k rozpuštění koloidních částic. Při kondenzaci vzniká propojená pórovitá síť okolo kapaliny. Této reakci se říká přeměna sol-gel. Dalším krokem je sušení gelu. To může být provedeno dvěma způsoby. Za nadkritických podmínek pevná síť vydrží a vzniká aerogel, za normálních podmínek dochází ke zmenšení a vzniká xerogel. Tyto gely mohou být různě tvarovány do fólií, vláken, ale hlavně na prášek. Pomocí tepelného zpracování je gel přeměněn na keramický materiál. [8]

Nevodný Sol-gel

Funkci vody přebírají organická rozpouštědla, proto lze použít jako prekurzor - kromě kovových solí a alkoxidů - také kovové acetáty a acetylaceton. Pomocí nevodných procesů je možné vytvořit i komplexnější nanočástice. Ve vodném sol-gelu je zásobníkem kyslíku pro tvorbu oxidů voda. Podobně je pak v nevodných metodách využíván kyslík obsažený

2.2. VÝCHOZÍ PRÁŠKOVÉ MATERIÁLY

v rozpouštědlu (ethery, alkoholy, ketony a aldehydy), anebo je odebírán organickému prekursoru (alkoxidy nebo acetylacetonu).



Obrázek 2.9: Průběh metody Sol-gel a možnosti zpracování [13]

Průběh Sol-gel

Průběh metody se dá popsat 5 fázemi. Obr. 2.9 [8]

1. Vytvoří se roztok komponent. Roztok se skládá nejčastěji z vodného nebo alkoholového rozpouštědla a rozpouštěné látky organické nebo anorganické na bázi požadovaného kovu. Roztok se obvykle označuje jako prekursor.
2. Prekursor je přeměněn na sol, což je koloidní disperze obsahující mikročástice.
3. Dalším krokem je odstranění většiny rozpouštědla, čímž vzniká gel. Gel je už tuhý, ale stále je docela plastický. Jeho vlastnosti závisí na pH, teplotě a čase.
4. Gel je vytvarován do požadovaného stavu. Pro metody žárového nanášení je žádáný kulovitý tvar prášku.
5. Zbývajícím rozpouštědlo je odstraněno a gel je vyžihán.

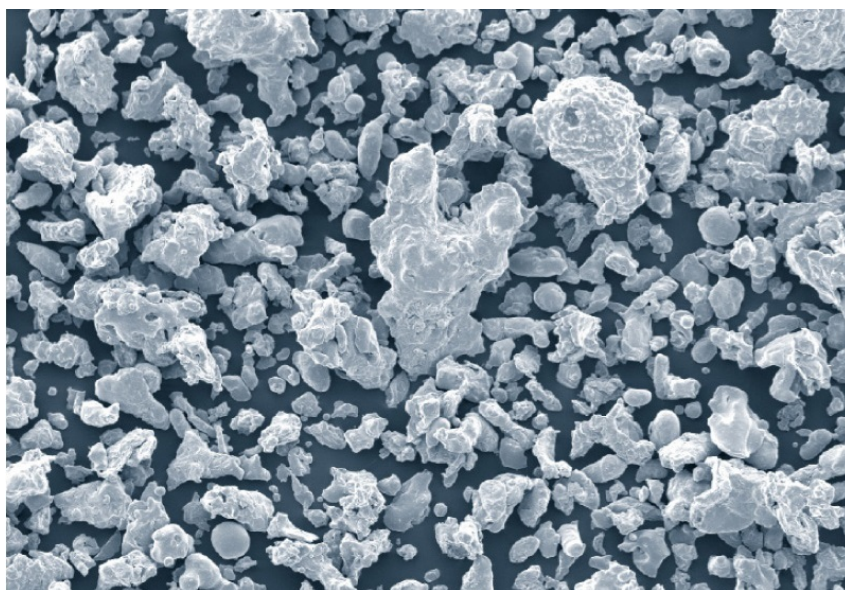
Je možné vyrábět prášky s určenou velikostí částic a morfologií. Proces probíhá v roztoku, takže jsou minimalizována rizika samovznícení a toxicity.

Atomizace

Existují 4 druhy atomizace: plynová, vodní, odstředivá, mechanická. Pro výrobu prášku pro metody žárového nanášení jsou využívány pouze plynová a vodní. Tyto metody jsou velice podobné samotnému procesu žárového nanášení. Tavenina materiálu je přiváděna do proudu atomizačního média, kde kapky média unášejí materiál, ochlazují ho a vytváří prášek. Atomizace je využívána zejména díky vysokým výrobním rychlostem ($20 - 60 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$). Hlavními vlastnostmi ovlivňujícími kvalitu vyrobeného prášku jsou vzdálenost, geometrie a tlak trysky přivádějící vodu/vzduch, rychlost atomizačního média a kovu, přehřátí taveniny a čistota média. Důležitým parametrem je také poměr medium:kov, protože medium musí zajistit dostatečné chlazení. Pro vodní atomizaci je to obvykle $4 - 10 \text{ l} \cdot \text{kg}^{-1}$, u plynové atomizace je používán poměr $0,5 - 2 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. [8]

Vodní atomizace

Vodní atomizace tvoří velkou část produkce prášků. Tato metoda vytváří částice nepravidelného tvaru, ale více kulovitěho tvaru lze dosáhnout pomocí většího přehřátí taveniny. Velikost částic se pohybuje v rozmezí od 75 do $100 \text{ } \mu\text{m}$. Takto vytvořené prášky obvykle vyžadují sušení a mletí. Pokud je i obsah kyslíku příliš vysoký, je nutné provést redukci. Obr. 2.10 [8, 14]



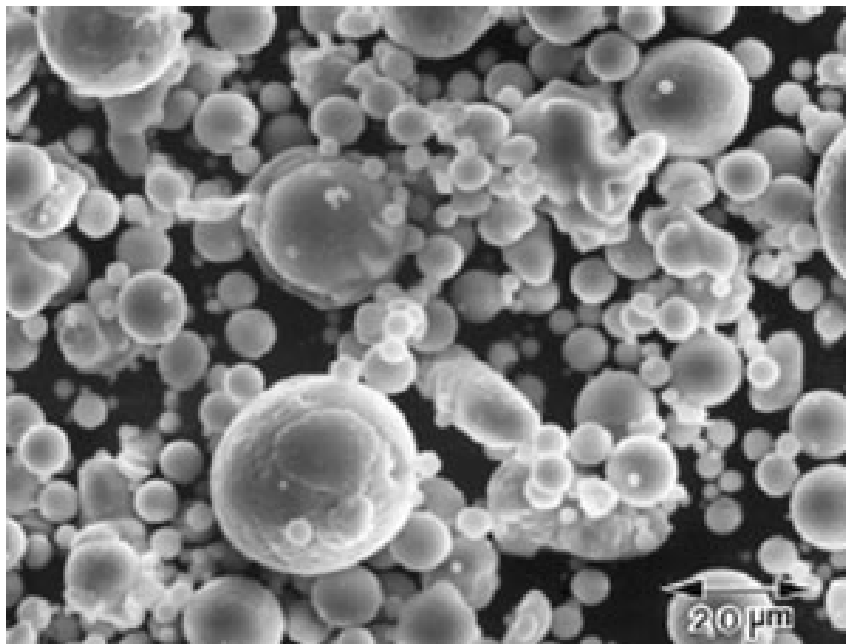
Obrázek 2.10: Částice Cu po vodní atomizaci [14]

Plynová atomizace

Tato metoda využívá plyny, jako jsou vzduch, dusík, argon nebo helium. Lze připravovat velice čisté prášky, hlavně ty, které jsou vyráběny pomocí inertních plynů. Pro vysoce aktivní látky (titan nebo jeho slitiny) je tento postup jediný využitelný. Velikost částic se pohybuje mezi 25 až $100 \text{ } \mu\text{m}$. Jejich tvar bývá sférický. Tato technika se používá pro výrobu prášků slitin se základem např. CoCr, NiCr, Ni, Cu, také pro zinek, hliník, korozivzdorné

2.2. VÝCHOZÍ PRÁŠKOVÉ MATERIÁLY

oceli nebo pro niklové superslitiny. Hlavními výhodami oproti vodní atomizaci je schopnost vytvářet čisté struktury, vylepšení sférické morfologie a menší velikost částic, což zajišťuje lepší průchod částic při dávkování prášku. Obr. 2.11 [8, 15]



Obrázek 2.11: Částice FeAl po plynové atomizaci [15]

2.3 Optimální parametry depozice

Tato kapitola se zabývá parametry depozice a jejich optimálními hodnotami pro daný materiál. Hodnoty byly získávány z publikovaných článků laboratoří zkoumajících metodu kinetického naprašování za studena.

Katalog je sestaven přehledně tak, aby každý materiál zaujímal jednu dvojstranu. Na první stránce se nachází krátké představení materiálu. U čistých kovů následuje tabulka jejich základních vlastností. Druhá strana se věnuje samotným parametrům nanášení. Vše je doplněno ukázkami výchozích práškových materiálů a hotových nástřiků.

Každý sloupec tabulky představuje vždy jednu možnost nástřiku provedenou laboratoří zmíněnou v přílohách. Tabulka je citována stejným počtem citací, jako je počet sloupců, které si vzájemně v pořadí odpovídají. Pokud má materiál více možných kombinací (MCrAlY, WC-M), potom M nahrazujeme značkou dané skupiny (Ni-, CoNi-, NiCo-, -Ni, -Co, -Co-Cr). Jestliže v daném článku nebyly uvedeny všechny parametry, pak jsou tyto buňky proškrtnuty (-). Pro jednotnost celého katalogu jsou všechny řádky zachovány, i když parametr nebyl uveden opakovaně. Rozdílné zápisy parametrů dýzy u materiálů Al-Al₂O₃ a AlSiC vyjadřují obdélníkový průřez dýzy a jeho rozměry. Tučně zaznamenané parametry představují podle daného zdroje nejlépe zvolenou variantu.

Následující seznam materiálů je rozdělen do tří oddílů: čisté kovy, slitiny kovů a sloučeniny kov-nekov. Materiály v daném oddílu jsou seřazeny abecedně.

2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

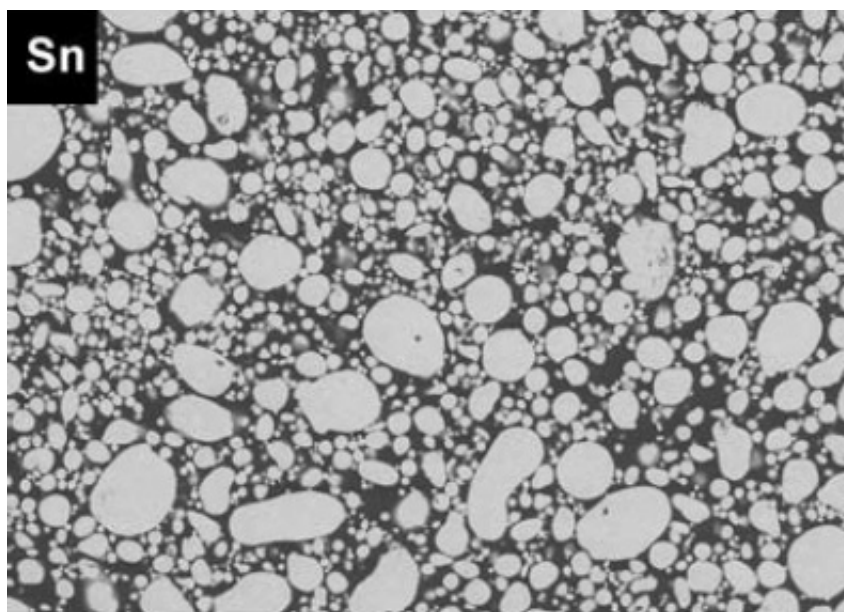
2.3.1 Čisté kovy

Cín

Pocínovaný povrch má využitelné vlastnosti v elektrotechnice či potravinářství. Cínový povlak je dobře pájitelný a má poměrně dobrou elektrickou vodivost. Pro použití v potravinářství je nejdůležitější jeho hygienická nezávadnost a odolnost vůči mírným kyselinám a zásadám. Obvykle je nanášen galvanicky. [17]

Tabulka 2.2: Vlastnosti materiálu [16]

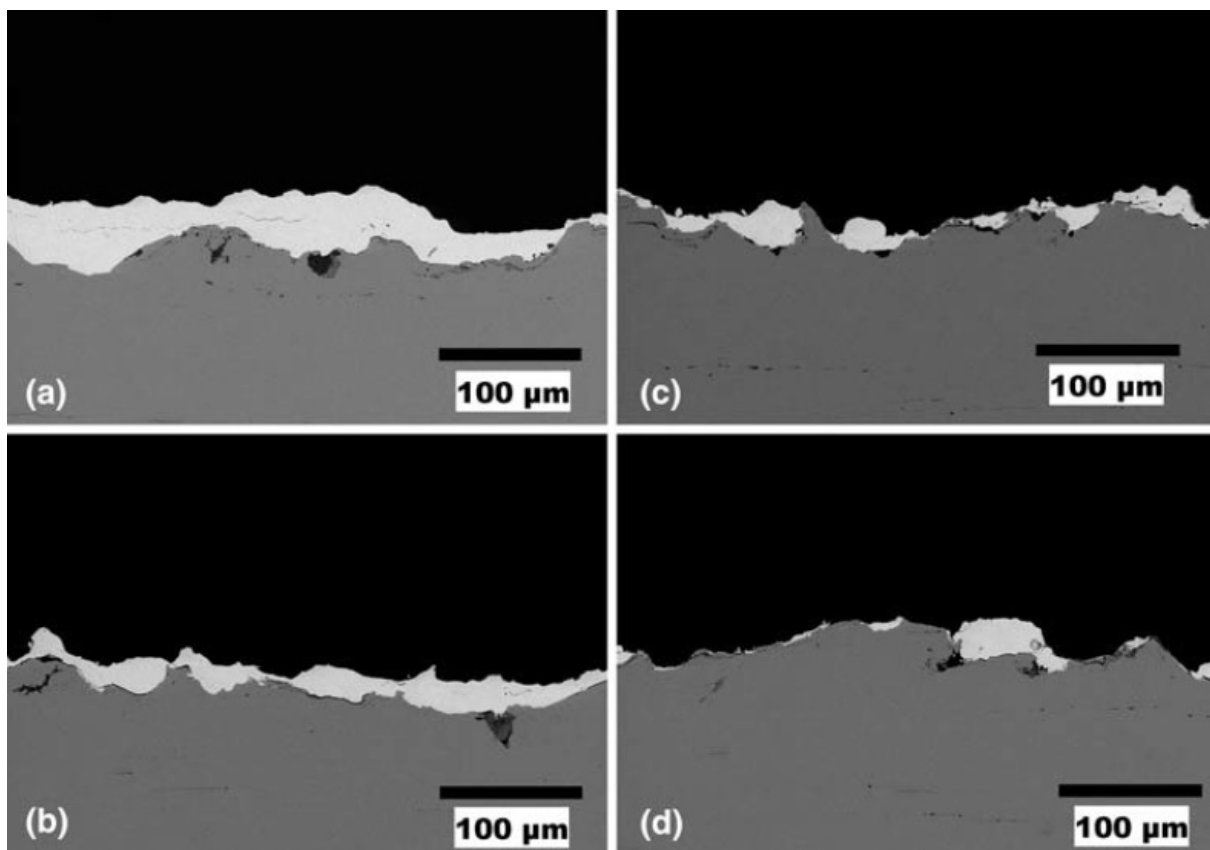
Atom. číslo	50
Hustota	$7365 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
T_m	$232 \text{ }^\circ\text{C}$
T_b	$2602 \text{ }^\circ\text{C}$
Mřížka	tetragonální, FCC
Atom. poloměr	140 pm
Koeficient tep. roztažnosti	$22,0 \times 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
Tep. vodivost	$66,8 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$
El. vodivost	$8,7 \times 10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Mez kluzu	9 MPa
Mez pevnosti	19 MPa
Youngův modul	50 GPa
Poissonova konstanta	0,36
Mohsova tvrdost	1,7



Obrázek 2.12: Cín: prášek [17]

Tabulka 2.3: Nanášecí parametry Sn [17]

Laboratoř		4
Dýza	druh	-
	hrdlo [mm]	-
	poměr	-
	délka [mm]	-
Systém		SST Centarline
Prášek	velikost [μm]	13,6
	zpracování	-
Plyn	značka	N ₂
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	33
	tlak [MPa]	0,62
Vzdálenost [mm]		10
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		2 10 100 200
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		80



Obrázek 2.13: Cín: nástřík [17]

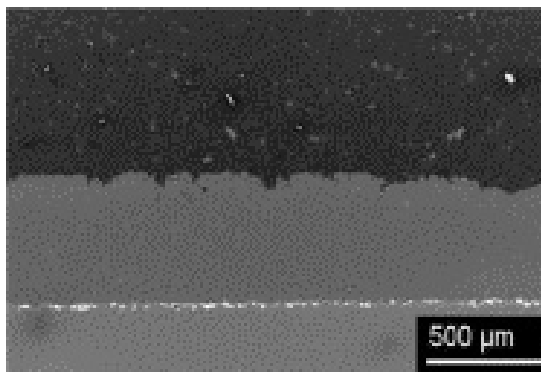
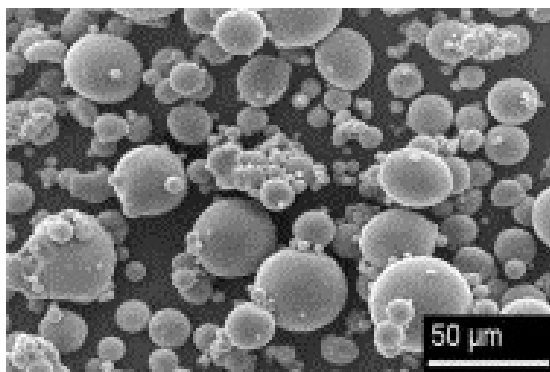
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

Hliník

Hliník na svém povrchu tvoří rovnoměrnou vrstvu oxidu hlinitého, který je vysoce odolný vůči korozi, proto se často využívá k ochraně povrchů korodujících materiálů. Jeho vysoká afinita k molekulám kyslíku způsobuje při roztavení tvorbu nežádoucích struktur. Ty zhoršují vlastnosti nástřiku. Tuhnutí na povrchu substrátu má za následek velkou hodnotu zbytkového napětí. Tudíž je vhodné použití metody kinetického naprašování za studena. [20]

Tabulka 2.4: Vlastnosti materiálu [16]

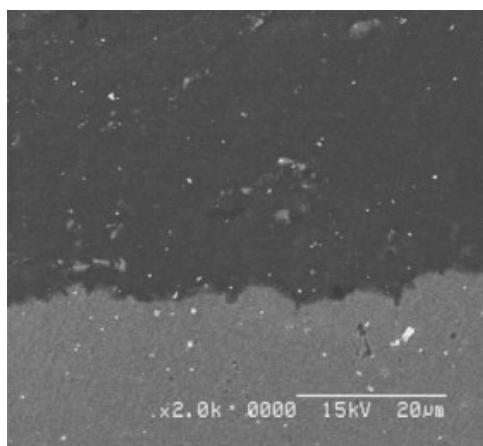
Atom. číslo	13
Hustota	$2700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
T_m	$660 \text{ }^\circ\text{C}$
T_b	$2470 \text{ }^\circ\text{C}$
Mřížka	FCC
Atom. poloměr	143 pm
Koeficient tep. roztažnosti	$23,1 \times 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
Tep. vodivost	$237 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$
El. vodivost	$3,5 \times 10^7 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Mez kluzu	95 MPa
Mez pevnosti	110 MPa
Youngův modul	70 GPa
Poissonova konstanta	0,35
Mohsova tvrdost	2,75



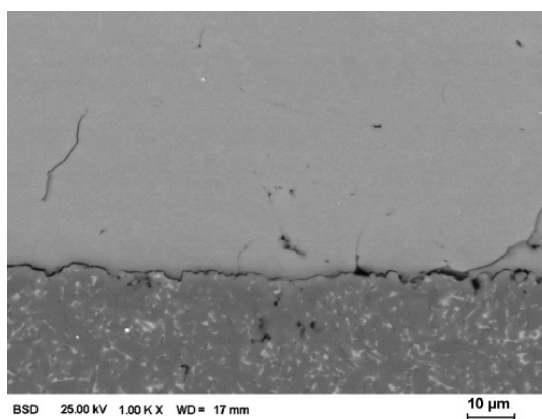
Obrázek 2.14: Hliník: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [18]

Tabulka 2.5: Nanášecí parametry Al [18, 19, 20, 17, 21]

Laboratoř		12; 13	5	14; 15; 16	4	54; 55
Dýza	druh	Tryska	Laval	Laval	-	Laval
	hrdlo [mm]	22	1	2,7	-	-
	poměr	-	7	8,8	-	-
	délka [mm]	-	100	130	-	-
Systém		K 4000	-	-	SST Centerline	K 3000
Prášek	velikost [μm]	32	12-83	52	36,2	25-45
	zpracování	GS	GS	-	-	GS
Plyn	značka	N ₂	SV	Ar	N ₂	N ₂
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	350	550	500	33; 200; 400	300
	tlak [MPa]	2,5	2	3,1	0,62	2,8
Vzdálenost [mm]		40	-	30	10	30
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		500	-	-	2	3,33
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-	-	-	-	-



Obrázek 2.15: Hliník: nástrík [19]



Obrázek 2.16: Hliník: nástrík [21]

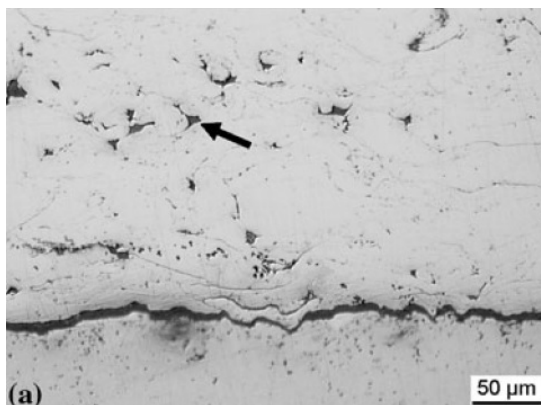
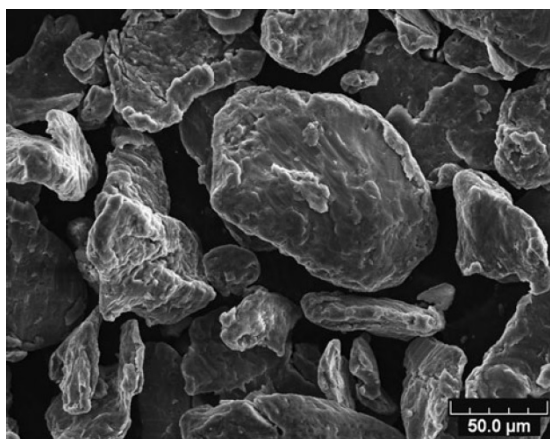
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

Hořčík

Hořčík má velmi dobré vlastnosti, ať už jde o poměr pevnost/váha, tepelnou vodivost nebo neměnnost rozměrů. Kvůli tomu je hořčík široce využíván v mnoha odvětvích strojírenství např. v letectví, v automobilovém, počítačovém a mobilním průmyslu nebo ve výrobě sportovního vybavení. Omezení v jeho využití je vysoká reaktivita při tepelném zpracování. Tradiční metody žárového nanášení u něj nejsou využitelné, protože dochází k vysoké oxidaci. Na druhou stranu, postupy používané ve vakuu jsou příliš složité a drahé. Kinetické naprašování za studena přináší vhodnou alternativu těchto procesů. [22, 23]

Tabulka 2.6: Vlastnosti materiálu [16]

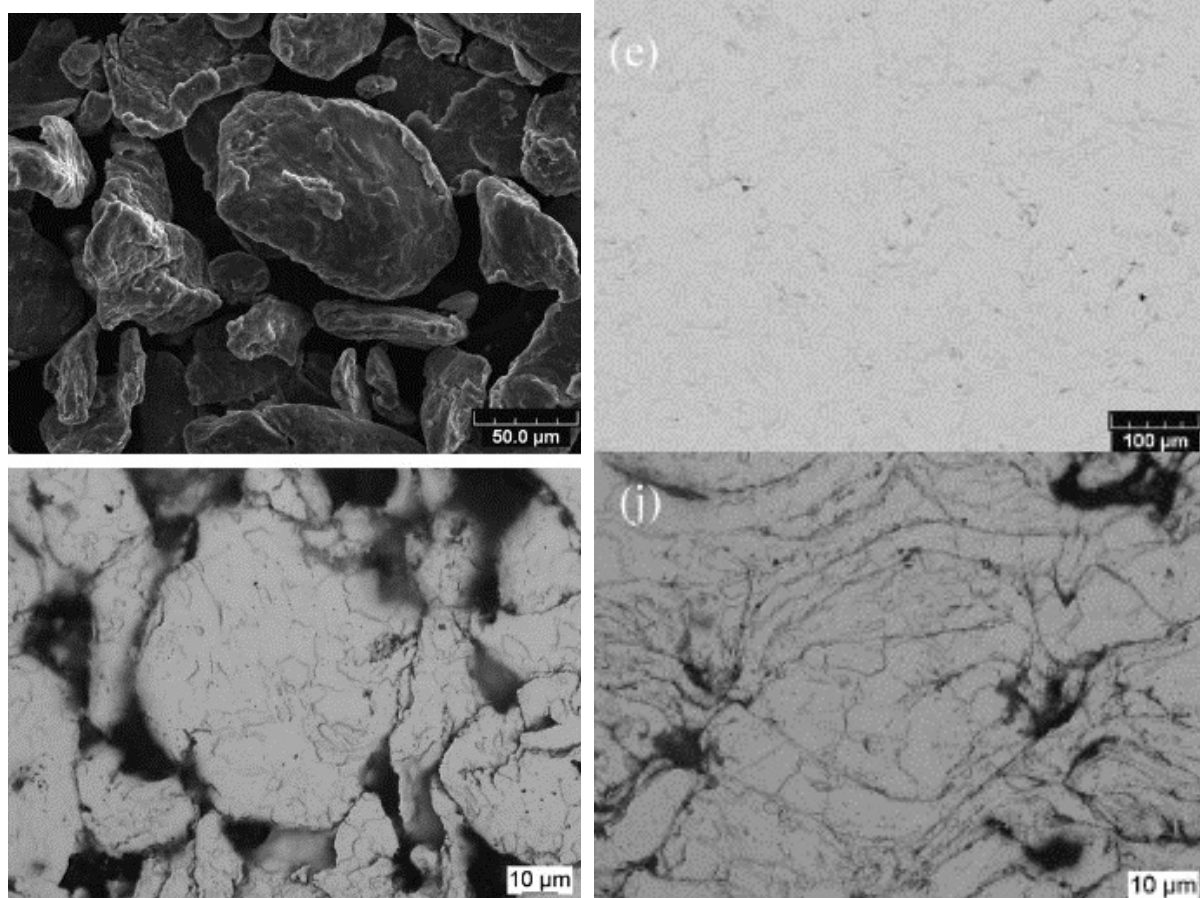
Atom. číslo	12
Hustota	$1738 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
T_m	$650 \text{ }^\circ\text{C}$
T_b	$1091 \text{ }^\circ\text{C}$
Mřížka	HCP
Atom. poloměr	160 pm
Koeficient tep. roztažnosti	$24,8 \times 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
tep. vodivost	$156 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$
el. vodivost	$2,3 \times 10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Mez kluzu	160 MPa
Mez pevnosti	230 MPa
Youngův modul	45 GPa
Poissonova konstanta	0,29
Mohsova tvrdost	1,75



Obrázek 2.17: Hořčík: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [22]

Tabulka 2.7: Nanášecí parametry Mg [22, 23, 24]

Laboratoř		2; 51	2; 16; 51		2; 51
Dýza	druh	-	-		-
	hrdlo [mm]	-	-		-
	poměr	-	-		-
	délka [mm]	-	-		-
Systém		CGT GmbH	CGT GmbH		CGT GmbH
Prášek	velikost [μm]	30-120	22-64	40-109	63,2
	zpracování	-	-		-
Plyn	značka	SV	Ar		SV
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	500	630		630
	tlak [MPa]	2,5	2,5		2,5
Vzdálenost [mm]		30	30		30
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		100	100		100
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		70	70		70



Obrázek 2.18: Hořík: prášek (vlevo), nástřík (vpravo) [24]

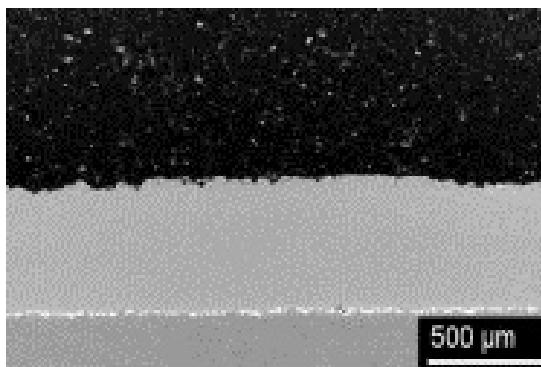
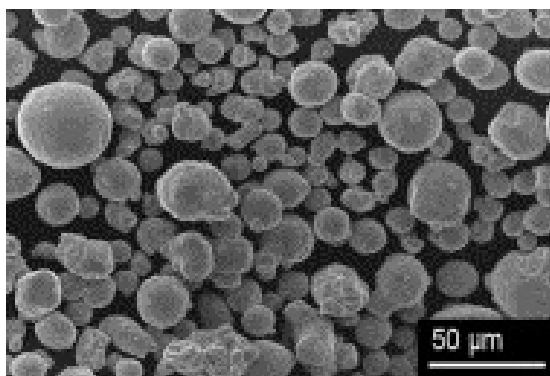
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

Měď

Samotná měď má velice dobré vlastnosti, ať už jde o korozivzdornost nebo elektrickou vodivost. Díky tomu je jako materiál pro povrchovou úpravu často využívána. Při depozici pomocí metod žárového nanášení (plasmy, elektrického oblouku, plamenu), tisku nebo PVD/CVD dochází k úplnému tavení prášku. Roztavením dojde ke změně původních vlastností, které jsou požadovány po depozici a oxidaci výchozího materiálu. Tyto problémy řeší metoda kinetického naprašování za studena a optimální nastavení všech parametrů při nanášení. [25, 26]

Tabulka 2.8: Vlastnosti materiálu [16]

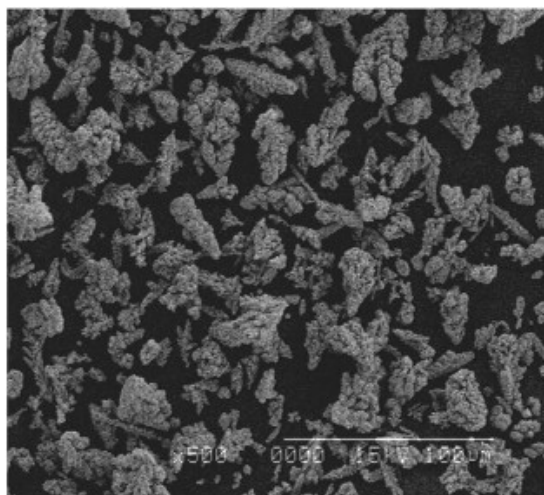
Atom. číslo	29
Hustota	$8960 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
T_m	$1084 \text{ }^\circ\text{C}$
T_b	$2835 \text{ }^\circ\text{C}$
Mřížka	FCC
Atom. poloměr	128 pm
Koeficient tep. roztažnosti	$16,5 \times 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
Tep. vodivost	$400,1 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$
El. vodivost	$5,9 \times 10^7 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Mez kluzu	70 MPa
Mez pevnosti	220 MPa
Youngův modul	120 GPa
Poissonova konstanta	0,34
Mohsova tvrdost	3



Obrázek 2.19: Měď: prášek (vlevo), nástriek (vpravo) [18]

Tabulka 2.9: Nanášecí parametry Cu [18, 25, 26, 27, 28]

Laboratoř		12; 13	5	5	27; 28; 29		31; 32; 33	
Dýza	druh	tryska	Laval	Laval	-		-	
	hrdlo [mm]	17,5	1	1	-		-	
	poměr	-	7	7	-		-	
	délka [mm]	-	100	100	-		-	
Systém		K 4000	-	-	K 4000	PCS-1000	PCS-1000	
Prášek	velikost [μm]	22	44	50	5-20		53	25-53
	zpracování	GS	TZ	TZ	-		-	
Plyn	značka	N ₂	SV	SV	He	N ₂	N ₂	He
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	400	650	480	300	800; 600	400	600
	tlak [MPa]	3	2	2,4	4	5; 5	3	4
Vzdálenost [mm]		40	-	20	-		20	100
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		500	-	-	-		-	
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-	-	-	-		50	



Obrázek 2.20: Měď: prášek (vlevo), nástriek (vpravo) [26]

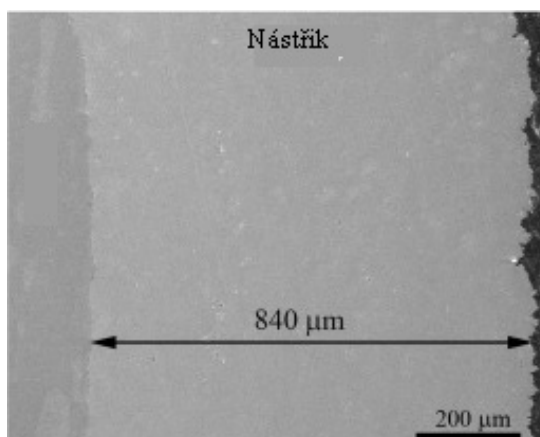
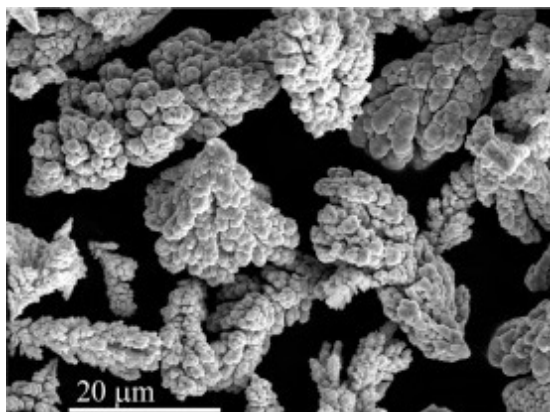
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

Nikl

Nanášení niklových povrchů pomocí kinetického naprašování za studena představuje alternativu k elektrolytické depozici. Na rozdíl od ní nemá negativní vliv na životní prostředí. Povrchová vrstva niklu dodává materiálu vysokou odolnost vůči korozi. Korozivzdornost nástřiku je ovlivněna porozitou vrstvy, která je při správných podmínkách kinetického naprašování za studena lepší než u starších způsobů. [4]

Tabulka 2.10: Vlastnosti materiálu [16]

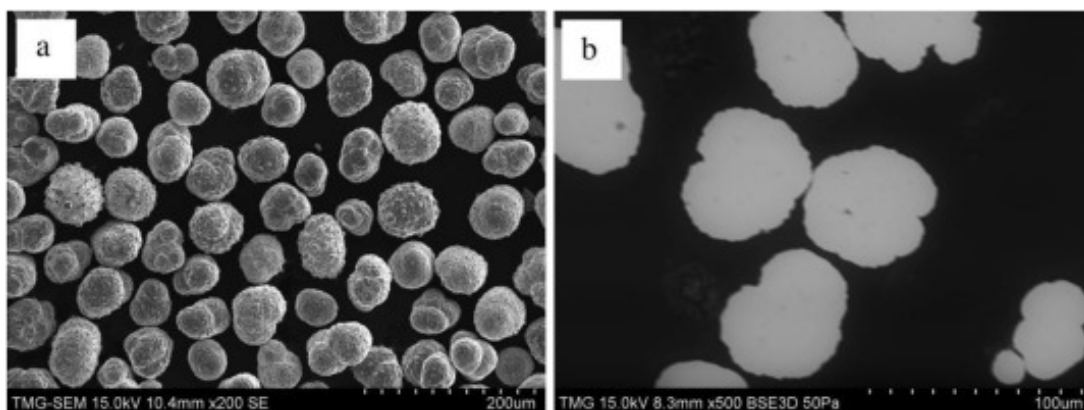
Atom. číslo	28
Hustota	$8908 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
T_m	$1455 \text{ }^\circ\text{C}$
T_b	$2913 \text{ }^\circ\text{C}$
Mřížka	FCC
Atom. poloměr	124 pm
Koeficient tep. roztažnosti	$13,4 \times 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
Tep. vodivost	$90,9 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$
El. vodivost	$1,4 \times 10^7 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Mez kluzu	315 MPa
Mez pevnosti	530 MPa
Youngův modul	200 GPa
Poissonova konstanta	0,31
Mohsova tvrdost	4



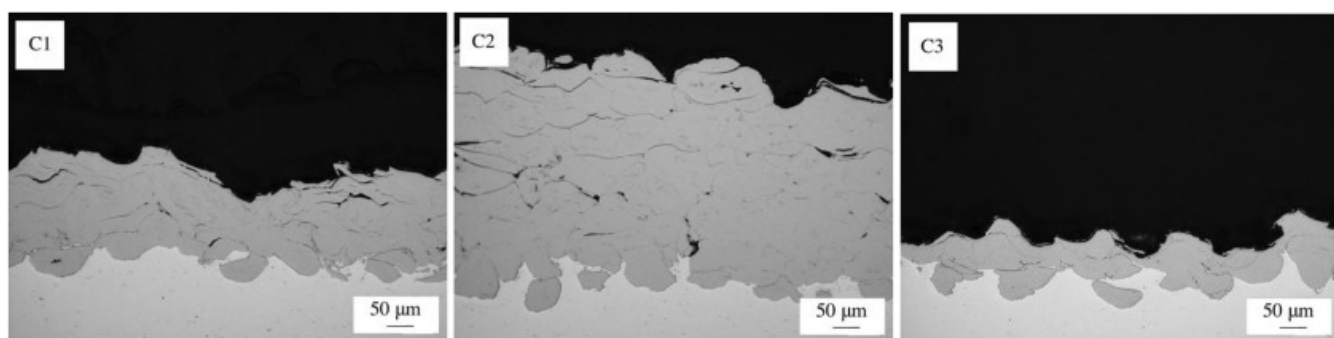
Obrázek 2.21: Nikl: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [4]

Tabulka 2.11: Nanášecí parametry Ni [4, 29, 30, 31, 32, 33, 34]

Laboratoř		3	8; 9	10; 11		3		50; 51; 52	8; 9	46; 53
Dýza	druh	Laval	MOC	Laval		Laval		MOC	MOC	Laval
	hrdlo [mm]	2	-	-		2		2,7	-	2,7
	poměr	3	-	-		3		2,37	-	2,37
	délka [mm]	100	-	-		100		120	-	-
Systém		CS2000	K4000	PCS1000		-		-	K4000	Praxair
Prášek	velikost [μm]	34	35	45-95		34	31	10-45	35	21
	zpracování	EL	GS	GS		GS	EL	-	GS	BM
Plyn	značka	N ₂	N ₂	N ₂		N ₂		SV	N ₂	He
	teplota [°C]	450	700	800	1000	400		500	700	5
	tlak [MPa]	2,8	3,8-4,0	5	5	3	2,8		2,8	4
Vzdálenost [mm]		20	50	25		20		30	50	12
Posuv [mm·s ⁻¹]		100	333	300		100		100	333	-
Dávkování [g·min ⁻¹]		20	-	50		20		-	-	-



Obrázek 2.22: Nikl: prášek [30]



Obrázek 2.23: Nikl: nástřik [30]

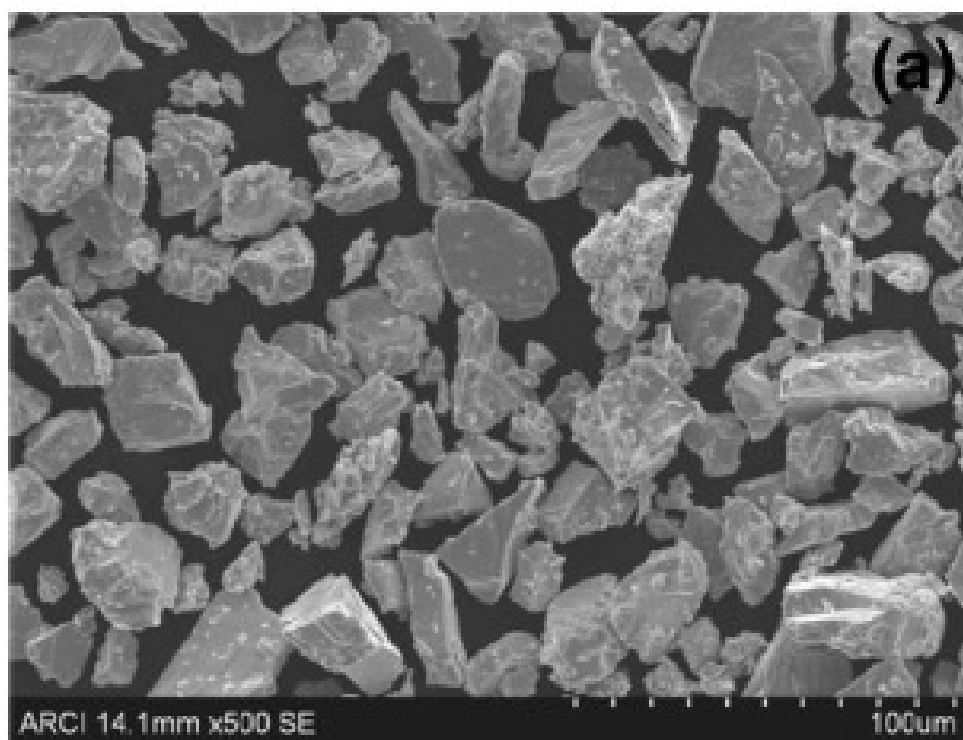
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

Niob

Díky BCC mřížce je niob pevný a má vysokou teplotu tavení. Jeho žáruvzdornost je hlavním důvodem k využití povlaků tohoto kovu. Niob má střední hustotu a je velice tvárný, proto je využití metody kinetického naprašování za studena vhodnou volbou. [35]

Tabulka 2.12: Vlastnosti materiálu [16]

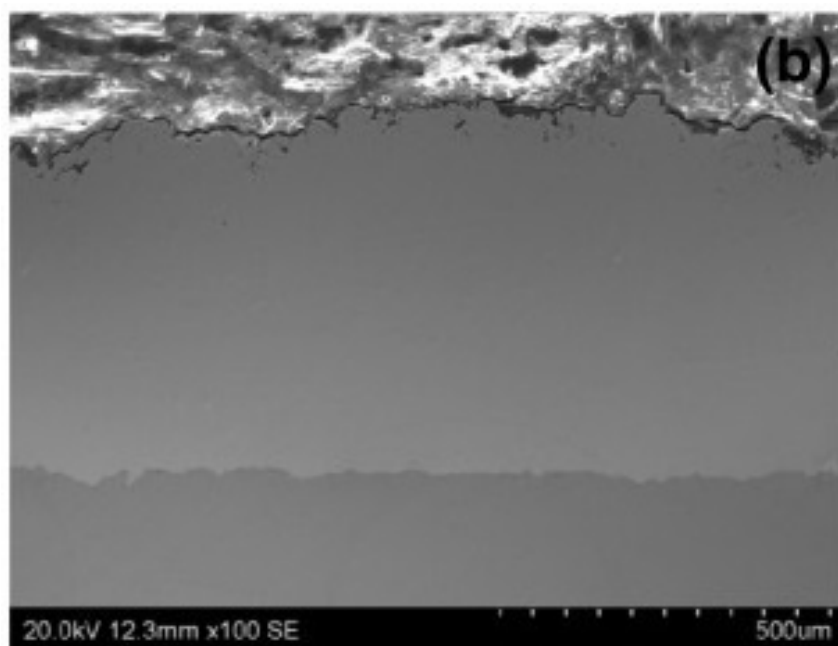
Atom. číslo	41
Hustota	$8570 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
T_m	$2468 \text{ }^\circ\text{C}$
T_b	$4742 \text{ }^\circ\text{C}$
Mřížka	BCC
Atom. poloměr	198 pm
Koeficient tep. roztažnosti	$7,3 \times 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
Tep. vodivost	$54 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$
El. vodivost	$6,7 \times 10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Mez kluzu	240 MPa
Mez pevnosti	330 MPa
Youngův modul	105 GPa
Poissonova konstanta	0,40
Mohsova tvrdost	6,0



Obrázek 2.24: Niob: prášek [35]

Tabulka 2.13: Nanášecí parametry Nb [35]

Laboratoř		1; 91
Dýza	druh	Laval
	hrdlo [mm]	obdélníkový průřez
	poměr	
	délka [mm]	
Systém		-
Prášek	velikost [μm]	30
	zpracování	CR
Plyn	značka	SV
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	450
	tlak [MPa]	2
Vzdálenost [mm]		-
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		-
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-



Obrázek 2.25: Niob: nástřik [35]

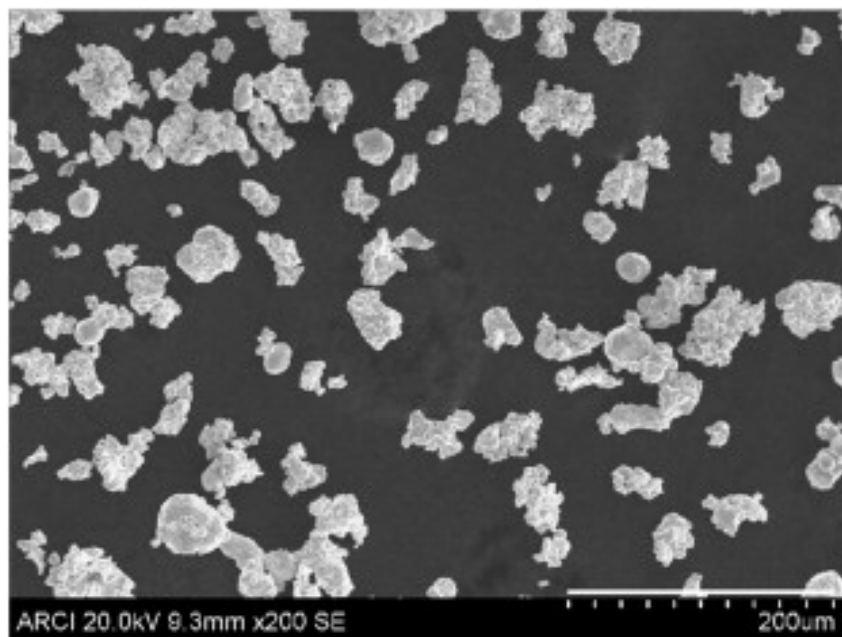
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

Stříbro

Stříbro vykazuje ještě lepší elektrickou vodivost a odolnost vůči oxidaci než měď. Navíc si svoji vodivost udržuje i při vyšších teplotách, zejména u kontaktů krytých keramikou. Z těchto důvodů se využívá v elektrotechnickém průmyslu. Při tavení stříbra dochází k oxidaci částic. Materiál následně ztrácí svoje výhodné vlastnosti, proto je vhodné jej nanášet za nízkých teplot. [36]

Tabulka 2.14: Vlastnosti materiálu [16]

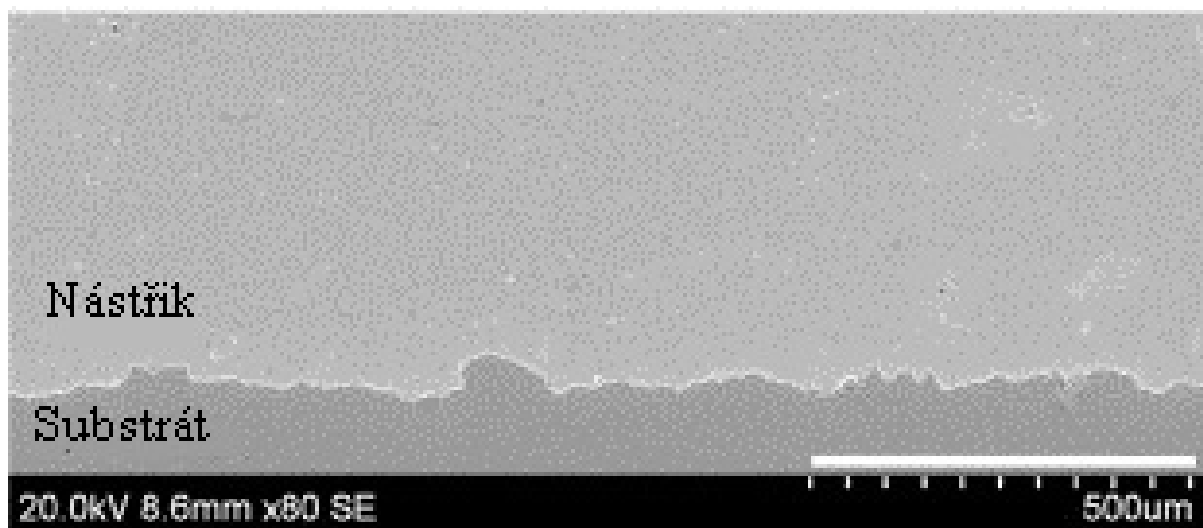
Atom. číslo	47
Hustota	$10490 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
T_m	$962 \text{ }^\circ\text{C}$
T_b	$2162 \text{ }^\circ\text{C}$
Mřížka	FCC
Atom. poloměr	144 pm
Koeficient tep. roztažnosti	$18,9 \times 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
Tep. vodivost	$429 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$
El. vodivost	$6,3 \times 10^7 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Mez kluzu	55 MPa
Mez pevnosti	360 MPa
Youngův modul	83 GPa
Poissonova konstanta	0,37
Mohsova tvrdost	2,5



Obrázek 2.26: Stříbro: prášek [36]

Tabulka 2.15: Nanášecí parametry Ag [36]

Laboratoř		1
Dýza	druh	Laval
	hrdlo [mm]	-
	poměr	-
	délka [mm]	-
Systém		-
Prášek	velikost [μm]	15-50
	zpracování	WA
Plyn	značka	SV
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	450
	tlak [MPa]	2
Vzdálenost [mm]		15
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		-
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-



Obrázek 2.27: Stříbro: nástřík [36]

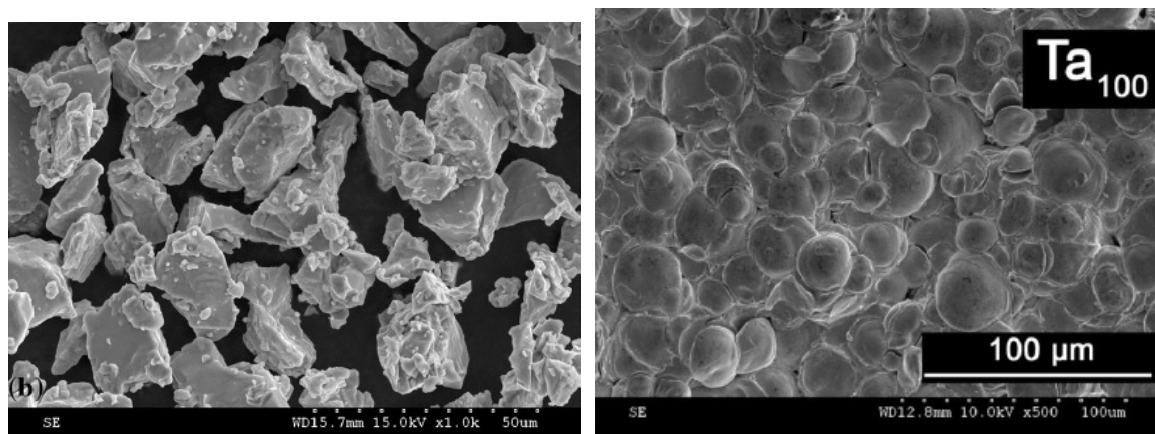
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

Tantal

Využití tantalového povlaku je široké především díky jeho odolnosti vůči teplotě, agresivním prostředím, jakými jsou kyseliny, soli nebo organické roztoky, a korozi. Tantal lze nanášet v úzkých hustých a hladkých vrstvách. Jeho nástřiky je možné využít například v lékařství na biokompatibilní náhrady. [37]

Tabulka 2.16: Vlastnosti materiálu [16]

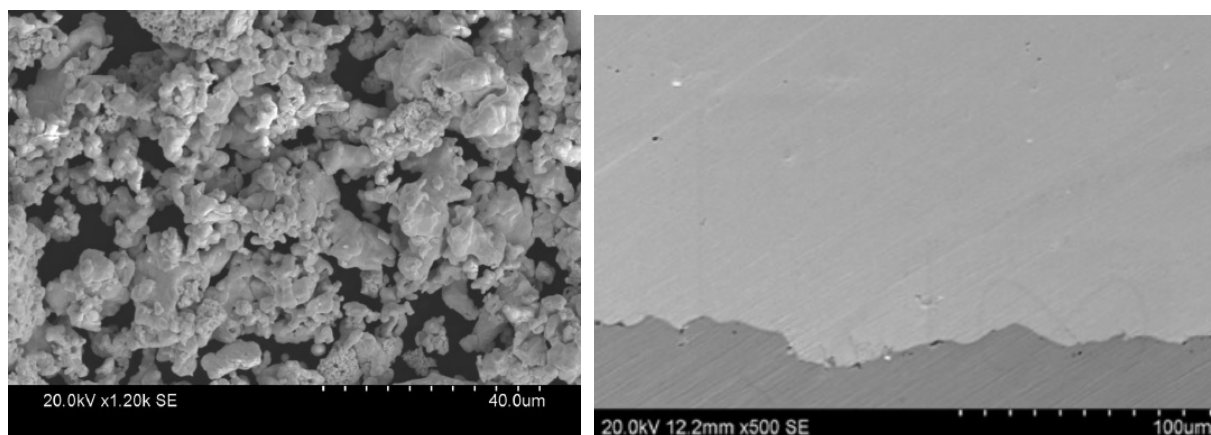
Atom. číslo	73
Hustota	$16690 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
T_m	$3017 \text{ }^\circ\text{C}$
T_b	$5458 \text{ }^\circ\text{C}$
Mřížka	BCC, tetragonální
Atom. poloměr	146 pm
Koeficient tep. roztažnosti	$6,3 \times 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
Tep. vodivost	$57,5 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$
El. vodivost	$7,6 \times 10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Mez kluzu	170 MPa
Mez pevnosti	285 MPa
Youngův modul	186 GPa
Poissonova konstanta	0,34
Mohsova tvrdost	6,5



Obrázek 2.28: Tantal: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [38]

Tabulka 2.17: Nanášecí parametry Ta [38, 37]

Laboratoř		57	1
Dýza	druh	-	Laval
	hrdlo [mm]	-	-
	poměr	-	-
	délka [mm]	-	-
Systém		K 4000	-
Prášek	velikost [μm]	40	15-55
	zpracování	-	-
Plyn	značka	N ₂	SV
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	800	450
	tlak [MPa]	4	2
Vzdálenost [mm]		40	15
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		500	10
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-	43



Obrázek 2.29: Tantal: prášek (vlevo), nástriek (vpravo) [37]

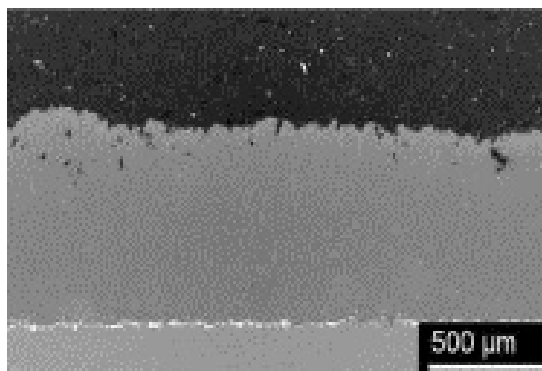
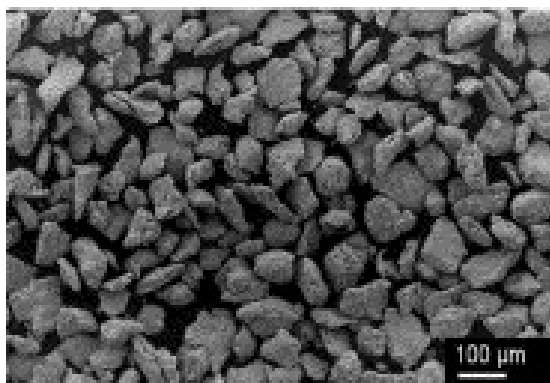
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

Titan

Titan a jeho slitiny se používají velmi často v letectví a kosmonautice, ve sportu nebo v lékařství. Povrchovou vrstvu titanu lze nanést elektrolyticky, CVD nebo plasmovým nástřikem ve vakuu. Při elektrolytickém pokovování a CVD dochází k oxidaci materiálu, povlak bývá porézní. Jenom plasmovým nástřikem ve vakuu je možné nanášet povrchy použitelné v lékařství pro biokompatibilní implantáty. Jejich provedení je pomalé a drahé. Kinetické naprašování za studena je vhodná alternativa většiny využití tohoto materiálu. [39]

Tabulka 2.18: Vlastnosti materiálu [16]

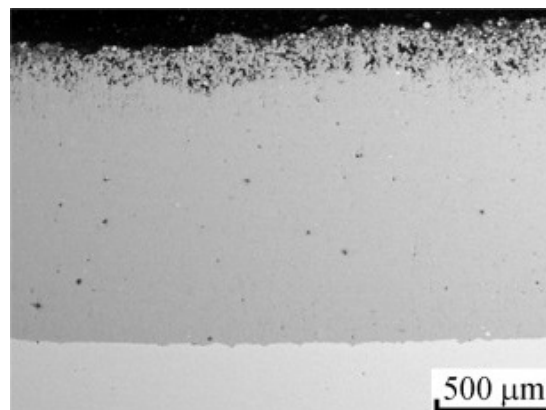
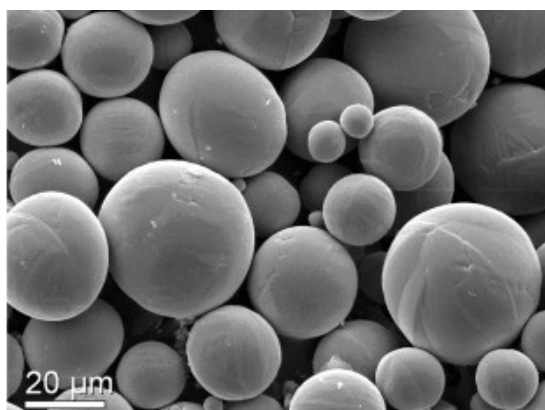
Atom. číslo	2
Hustota	$4506 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
T_m	$1668 \text{ }^\circ\text{C}$
T_b	$3287 \text{ }^\circ\text{C}$
Mřížka	HCP, FCC
Atom. poloměr	147 pm
Koeficient tep. roztažnosti	$8,6 \times 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
Tep. vodivost	$21,9 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$
El. vodivost	$2,4 \times 10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Mez kluzu	280 MPa
Mez pevnosti	434 MPa
Youngův modul	116 GPa
Poissonova konstanta	0,32
Mohsova tvrdost	6,0



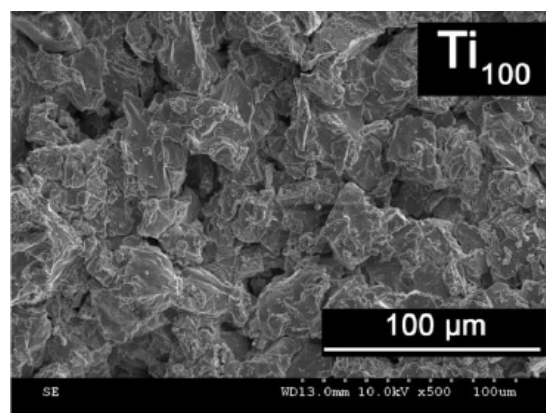
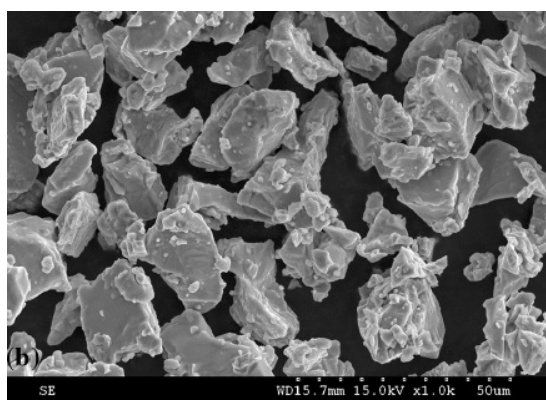
Obrázek 2.30: Titan: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [18]

Tabulka 2.19: Nanášecí parametry Ti [40, 41, 39, 18, 42, 38]

Laboratoř		35; 36; 37	38	39; 40	12; 13	3; 56	57
Dýza	druh	Laval	Laval	Laval	Tryska	Laval	-
	hrdlo [mm]	3,8	-	-	17,5	2,7	-
	poměr	1,6	-	-	-	2,22	-
	délka [mm]	90	-	-	-	150	-
Systém		Praxair 4600	K 4000	K 4000	K 4000	-	K 4000
Prášek	velikost [μm]	5-29	6	22-90	38	29,3	25-50
	zpracování	CR	-	BM	CR	-	-
Plyn	značka	He	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	806	300	500	800	700	550
	tlak [MPa]	1,67	3	3	4	3,5	2,8
Vzdálenost [mm]		120	-	40	40	20	40
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		40	-	500	500	40	500
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-	-	-	-	23	-



Obrázek 2.31: Titan: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [42]



Obrázek 2.32: Titan: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [38]

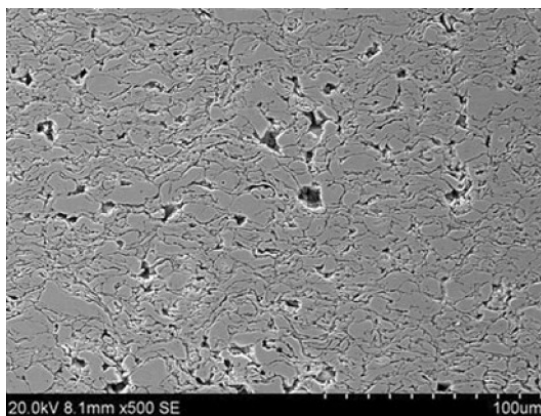
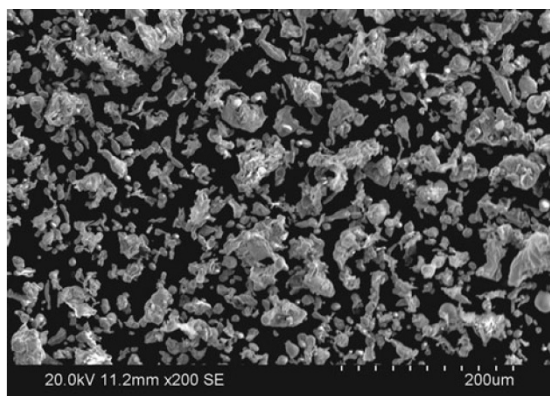
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

Zinek

Kinetické naprašování za studena je cenově výhodným nahrazením starších galvanických technologií použitelných pro nanášení zinkových povlaků. Zinek se obvykle nanáší na povrch ocelových konstrukcí. Má velmi dobré protikorozní vlastnosti i v agresivních slaných prostředích. Z tohoto důvodu se často používá v námořním průmyslu. [43]

Tabulka 2.20: Vlastnosti materiálu [16]

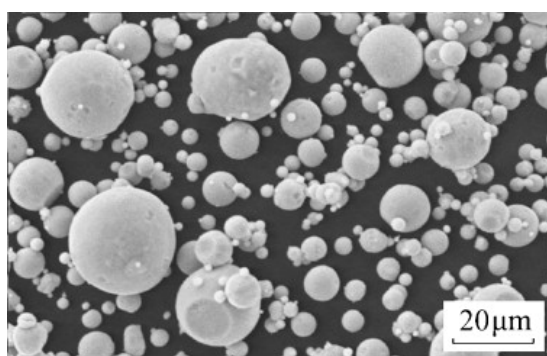
Atom. číslo	30
Hustota	$7140 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
T_m	$420 \text{ }^\circ\text{C}$
T_b	$907 \text{ }^\circ\text{C}$
Mřížka	HCP
Atom. poloměr	134 pm
Koeficient tep. roztažnosti	$30,2 \times 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
Tep. vodivost	$116 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$
El. vodivost	$1,7 \times 10^7 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Mez kluzu	283 MPa
Mez pevnosti	360 MPa
Youngův modul	108 GPa
Poissonova konstanta	0,25
Mohsova tvrdost	2,5



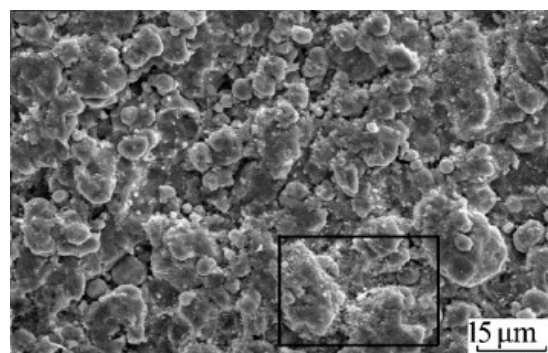
Obrázek 2.33: Zinek: prášek (vlevo), nástriek (vpravo) [44]

Tabulka 2.21: Nanášecí parametry Zn [44, 43, 17]

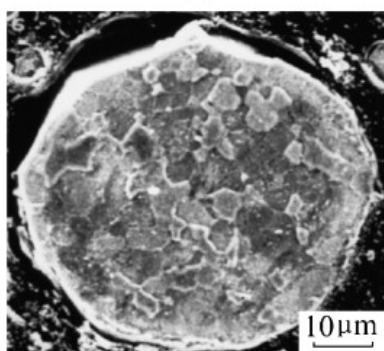
Laboratoř		1	2; 3		4
Dýza	druh	Laval	Laval		-
	hrdlo [mm]	obdélníkový	2		-
	poměr		3		-
	délka [mm]		100		-
Systém		-	-		SST Canterline
Prášek	velikost [μm]	25	48		10,6
	zpracování	WA	-		-
Plyn	značka	SV	N ₂	He	N ₂
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	350	165; 250; 320; 410	140	33; 200; 400; 500
	tlak [MPa]	2	2	0,5	0,62
Vzdálenost [mm]		15	20		10
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		-	80		2
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		23,19	-		-



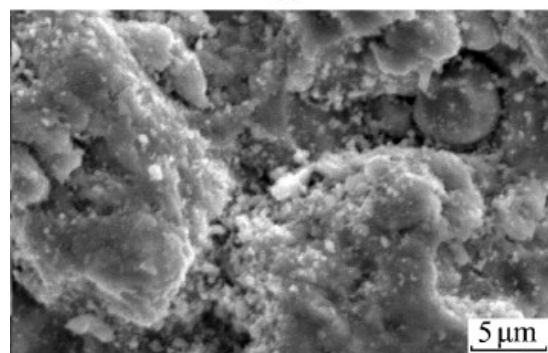
(a)



(a)



(b)



(b)

Obrázek 2.34: Zinek: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [43]

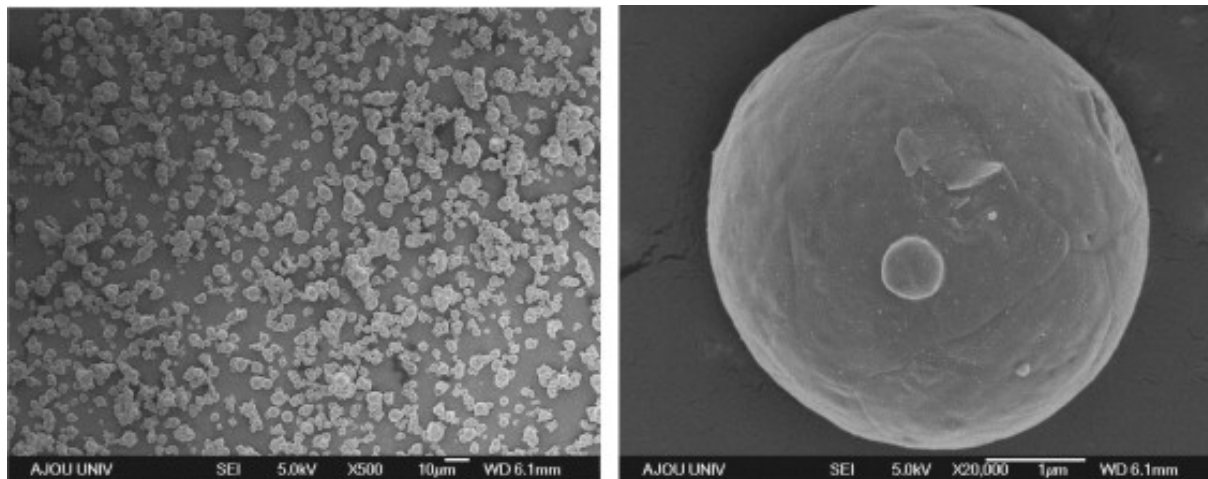
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

Železo

Částice železa jsou poměrně těžké, z toho důvodu je třeba pro kinetické naprašování za studena použití velice drobného práškového materiálu o velikostech obvykle pod 30 μm . [45]

Tabulka 2.22: Vlastnosti materiálu [16]

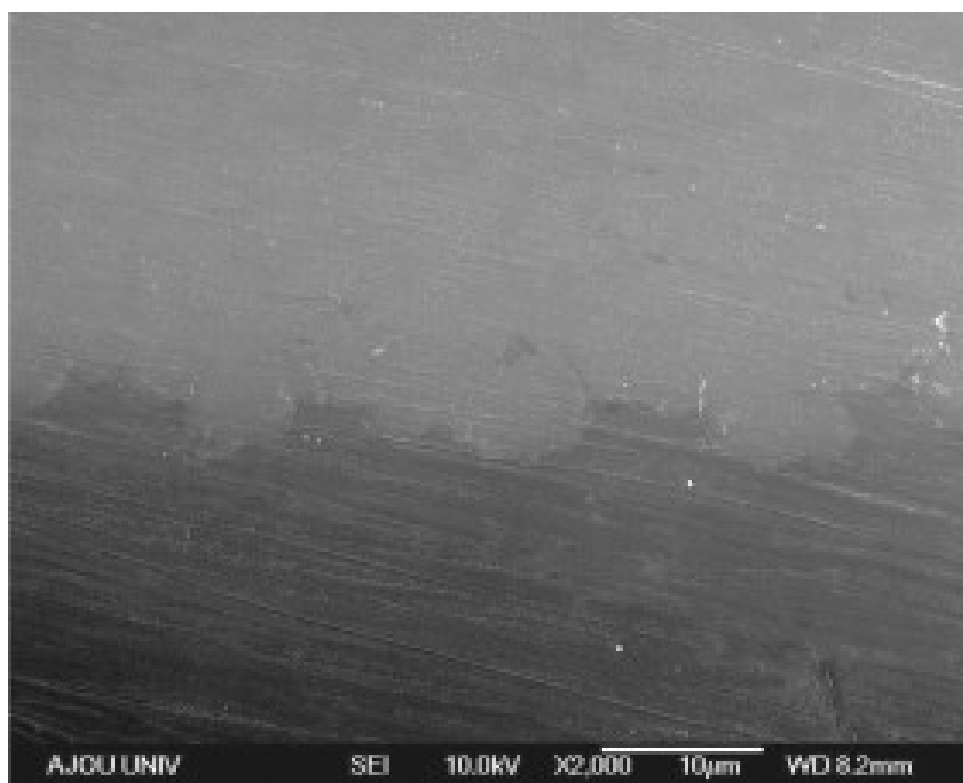
Atom. číslo	26
Hustota	$7874 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
T_m	$1538 \text{ }^\circ\text{C}$
T_b	$2862 \text{ }^\circ\text{C}$
Mřížka	BCC, FCC
Atom. poloměr	126 pm
Koeficient tep. roztažnosti	$11,8 \times 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
Tep. vodivost	$80,4 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$
El. vodivost	$1,0 \times 10^7 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Mez kluzu	135 MPa
Mez pevnosti	200 MPa
Youngův modul	211 GPa
Poissonova konstanta	0,29
Mohsova tvrdost	4,0



Obrázek 2.35: Železo: prášek [45]

Tabulka 2.23: Nanášecí parametry Fe [45]

Laboratoř		5; 6; 7
Dýza	druh	Laval
	hrdlo [mm]	-
	poměr	-
	délka [mm]	-
Systém		-
Prášek	velikost [μm]	1-10
	zpracování	-
Plyn	značka	SV
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	650
	tlak [MPa]	3
Vzdálenost [mm]		-
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		-
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-



Obrázek 2.36: Železo: nástřík [45]

2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

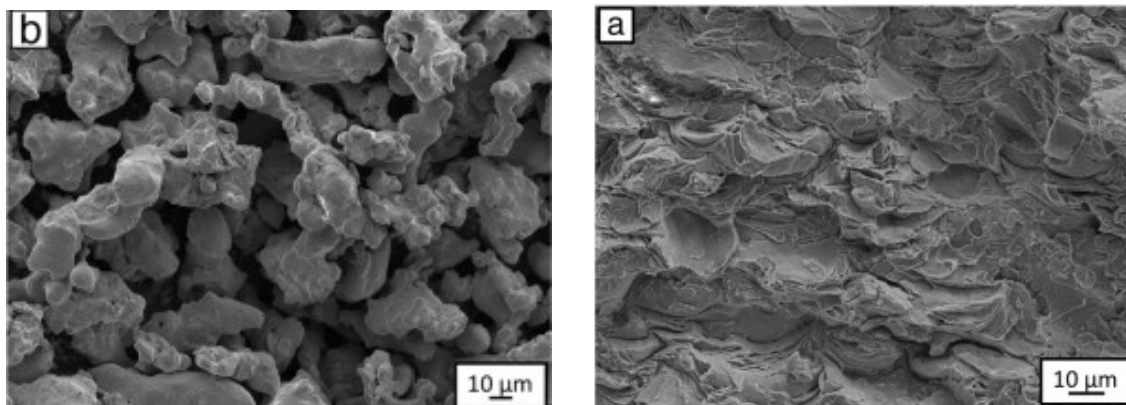
2.3.2 Kovové slitiny

304L

Nízkouhlíková austenitická nerezová ocel 304L se využívá jako relativně levná a účinná ochrana proti opotřebení a korozi. Používá se v mnoha odvětvích průmyslu např. v automobilovém, v elektrotechnickém či v chemickém. [46]

Tabulka 2.24: Vlastnosti materiálu [47]

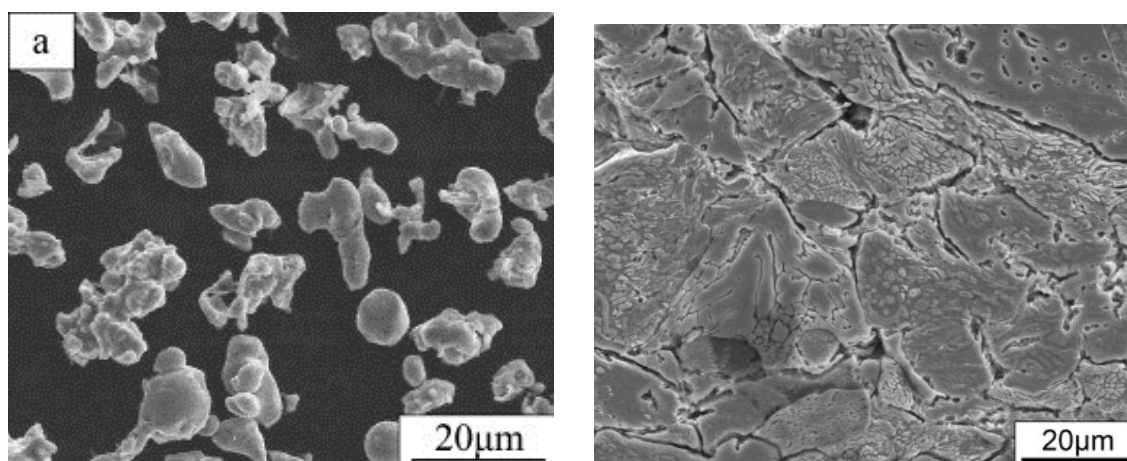
Hustota	$8030 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
T_m	$1420 \text{ }^\circ\text{C}$
Koeficient tep. roztažnosti	$16,9 \times 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
Tep. vodivost	$16,2 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$
El. vodivost	$1,4 \times 10^7 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Mez kluzu	241 MPa
Mez pevnosti	586 MPa
Youngův modul	193 GPa



Obrázek 2.37: 304L: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [46]

Tabulka 2.25: Nanášecí parametry 304L [46, 48, 49]

Laboratoř		66; 67; 68	69; 70	69; 70
Dýza	druh	Laval	-	Laval
	hrdlo [mm]	2,7	-	-
	poměr	2,22	-	-
	délka [mm]	100	-	-
Systém		CGT K 2000	CGT K 3000	CGT K 3000
Prášek	velikost [μm]	30	25	-
	zpracování	-	-	-
Plyn	značka	He	-	N ₂
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	545; 550	550	550
	tlak [MPa]	2,79; 2,31	3	3
Vzdálenost [mm]		22	25	30
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		5	-	-
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		15; 18	-	-



Obrázek 2.38: 304L: prášek (vlevo), nástrík (vpravo) [49]

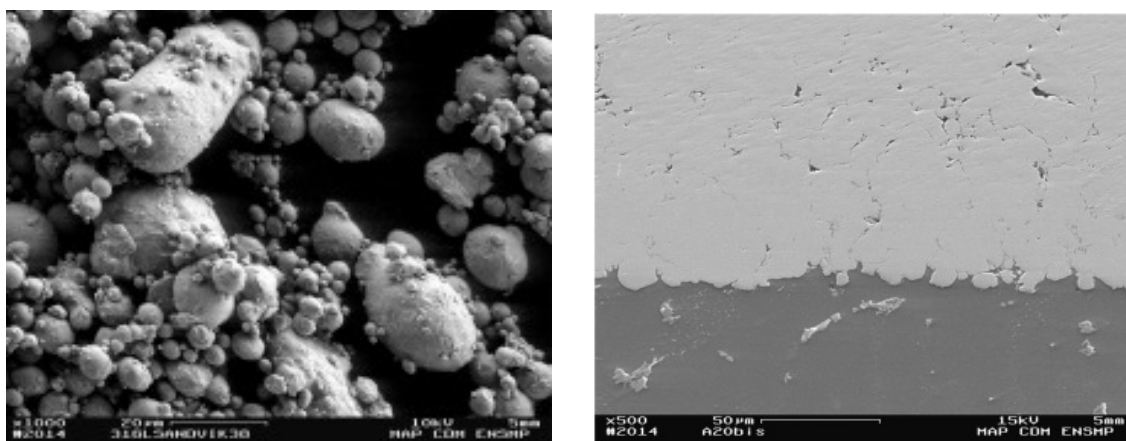
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

316L

Ochranná vrstva nerezové oceli 316L je využívána pro ochranu povrchů proti korozi, opotřebení a prodloužení únavového života daného materiálu. Korozivzdorné oceli jsou biokompatibilní. Tato vlastnost je uplatnitelná kupříkladu v biologickém inženýrství, kde únavové porušení kloubových implantátů bývá nejčastějším problémem. [50]

Tabulka 2.26: Vlastnosti materiálu [47]

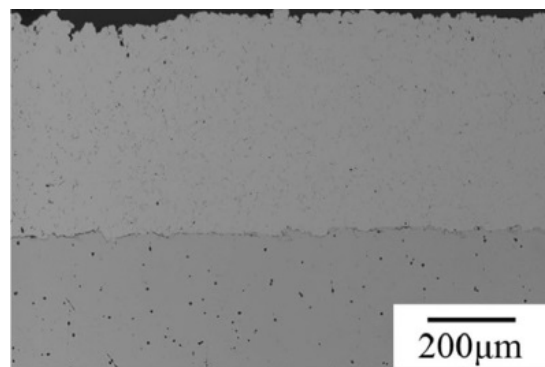
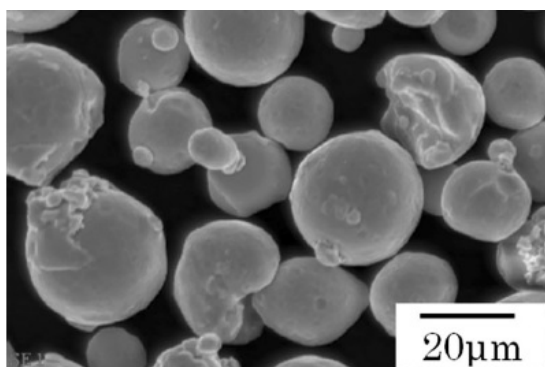
Hustota	$7990 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
T_m	$1385 \text{ }^\circ\text{C}$
Koeficient tep. roztažnosti	$16,0 \times 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
Tep. vodivost	$16,2 \text{ W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$
El. vodivost	$1,4 \times 10^7 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Mez kluzu	290 MPa
Mez pevnosti	558 MPa
Youngův modul	193 GPa



Obrázek 2.39: 316L: prášek (vlevo), nástřík (vpravo) [51]

Tabulka 2.27: Nanášecí parametry 316L [51, 52, 53, 50, 54]

Laboratoř		71; 72; 73	74		38; 75; 76		77; 78	38; 76; 79
Dýza	druh	-	-		MOC2	VH70	Type 4	-
	hrdlo [mm]	-	-		-		-	-
	poměr	-	-		-		-	-
	délka [mm]	-	-		-		-	-
Systém		K 4000	K 4000		K 4000		K 4000	K 4000
Prášek	velikost [μm]	25	10-45	5-20	45		25 45 53	45
	zpracování	-	-		-		GS	GS
Plyn	značka	N ₂	N ₂		N ₂	He	N ₂	N ₂
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	600	700		700	350	500 600 720	700
	tlak [MPa]	3,5	3		4		4	4
Vzdálenost [mm]		50	15	40	80		50	80
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		100	150	250	300		120 30	300
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-	-		20		-	-

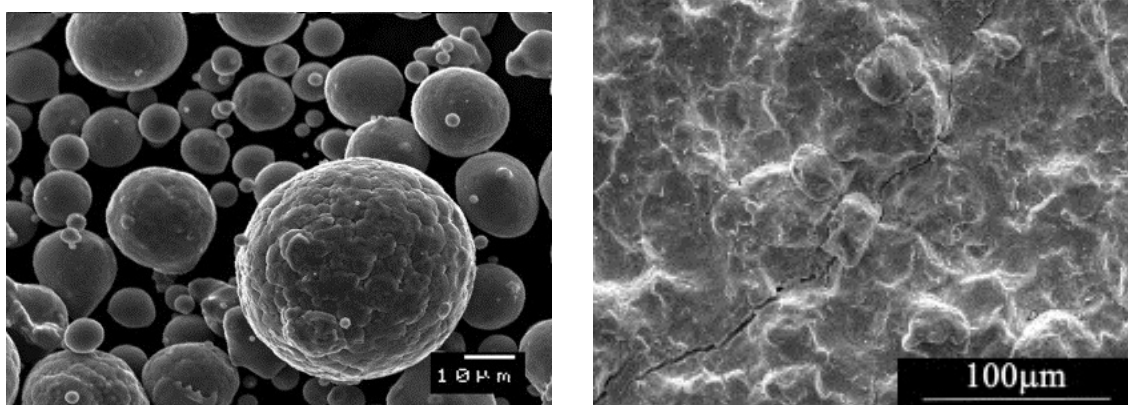


Obrázek 2.40: 316L: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [52]

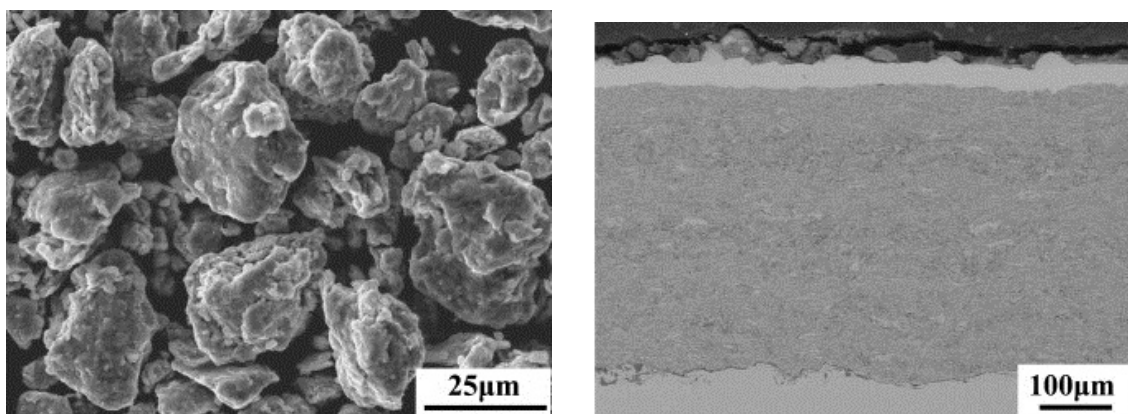
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

FeAl

Intermetalikum FeAl je slibný materiál díky své vysoké pevnosti, výborné korozní odolnosti i v oxidačních a sulfidačních prostředích a dobré odolnosti vůči opotřebení. Na druhou stranu má špatnou odolnost vůči tečení. Přesto může konkurovat jiným materiálům kvůli nízké ceně jednotlivých komponent. [55]



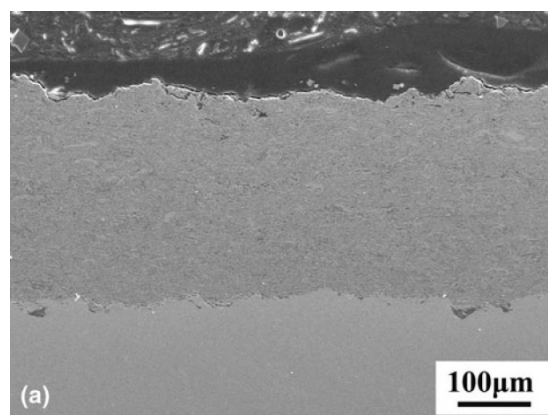
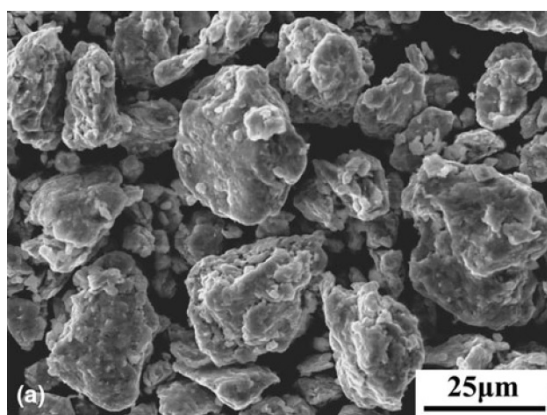
Obrázek 2.41: FeAl: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [56]



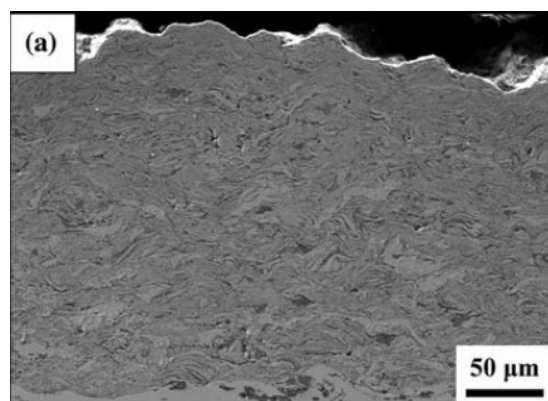
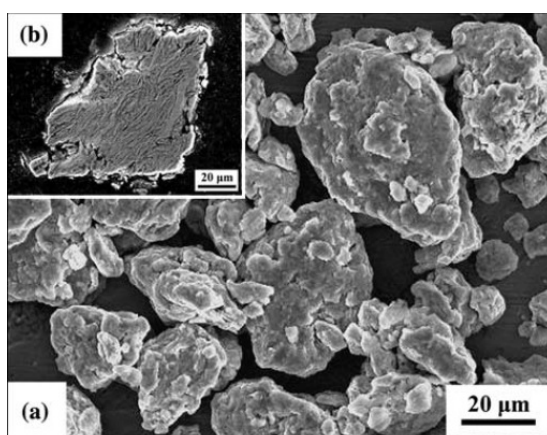
Obrázek 2.42: FeAl: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [55]

Tabulka 2.28: Nanášecí parametry FeAl [56, 55, 57, 58]

Laboratoř		58; 59	3	3,60	3
Dýza	druh	-	Laval	Laval	Laval
	hrdlo [mm]	-	2	2	2
	poměr	-	-	3	-
	délka [mm]	-	-	100	-
Systém		K 8000-X	CS-2000	CS-2000	-
Prášek	velikost [μm]	31,5 49	45	-	45
	zpracování	GS	BM	BM	BM
Plyn	značka	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	800-1000	510	500	510
	tlak [MPa]	3-4	2	2	2
Vzdálenost [mm]		-	15	20	15
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		39-235	40	40	40
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-	-	-	-



Obrázek 2.43: FeAl: prášek (vlevo), nástriek (vpravo) [57]



Obrázek 2.44: FeAl: prášek (vlevo), nástriek (vpravo) [58]

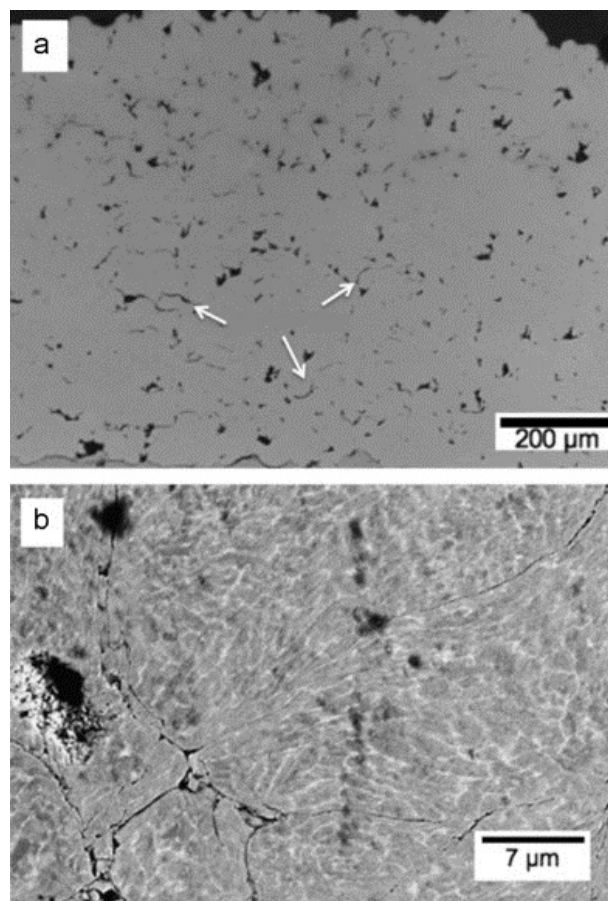
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

Inconel 718

Inconel 718 je niklová superslitina tvrzená hliníkem a titanem. Je vysoce pevná a udržuje si své rozměry a pevnost i při teplotách nad 700 °C. Tyto vlastnosti ji předurčují pro využití v tryskových motorech. [59]

Tabulka 2.29: Vlastnosti materiálu [59]

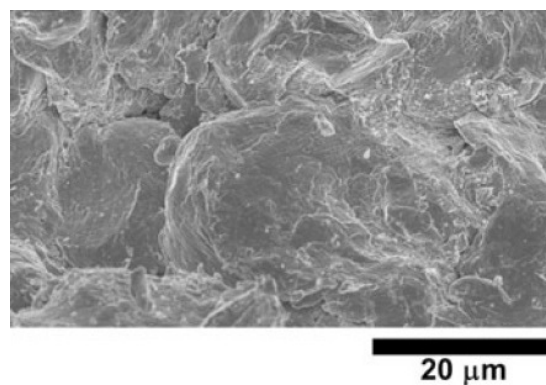
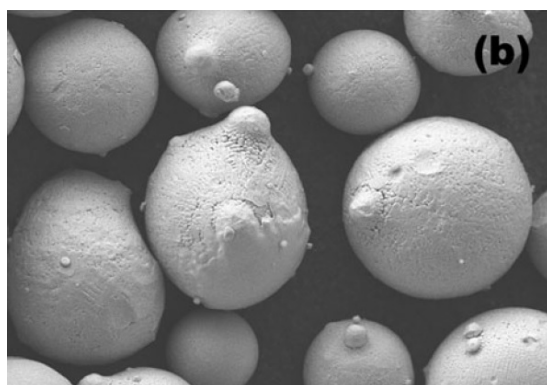
Hustota	$8220 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
T_m	1227 °C
Koeficient tep. roztažnosti	$12,8 \times 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
El. vodivost	$8,3 \times 10^7 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Mez kluzu	1172 MPa
Mez pevnosti	1407 MPa
Youngův modul	208 GPa



Obrázek 2.45: Inconel 718: nástřík [60]

Tabulka 2.30: Nanášecí parametry Inconel 718 [60, 61]

Laboratoř		38	32, 38, 75	
Dýza	druh	-	-	
	hrdlo [mm]	-	-	
	poměr	-	-	
	délka [mm]	-	-	
Systém		K 4000	PCS-1000	
Prášek	velikost [μm]	33	37	
	zpracování	GS	-	
Plyn	značka	N ₂	N ₂	He
	teplota [°C]	800	1000	
	tlak [MPa]	3,5	5	2
Vzdálenost [mm]		60	25	
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		100	10	
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		23,7	-	

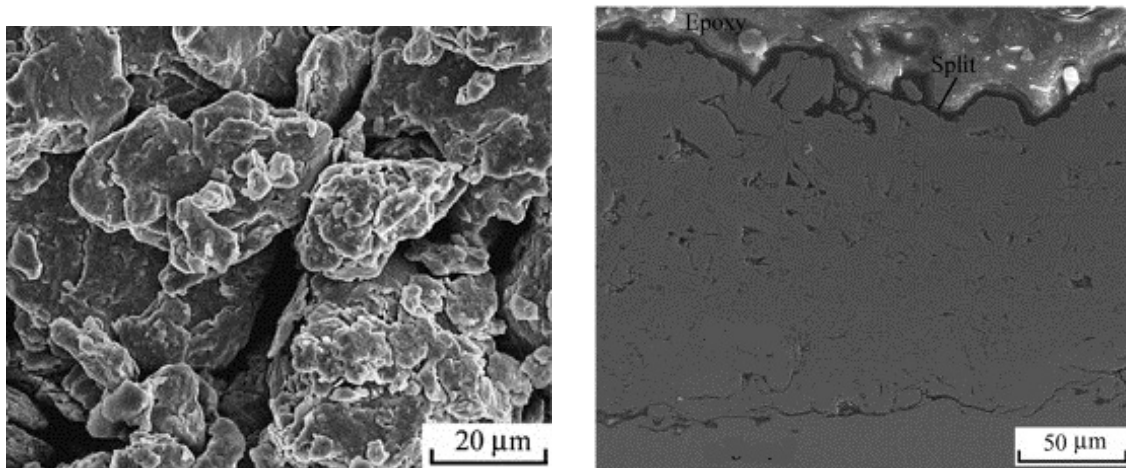


Obrázek 2.46: Inconel 718: prášek (vlevo), nástřík (vpravo) [61]

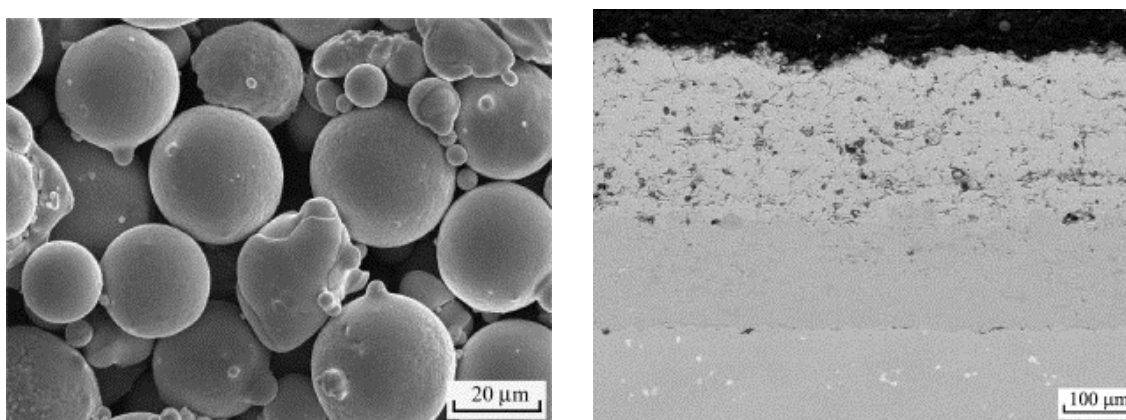
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

MCrAlY

Slitiny MCrAlY se používají jako ochrana a izolace komponent vystavených teple. Tento materiál se používá pro nanesení tzv. vazebné vrstvy pod vrstvy tepelných bariér hlavně v turbínách letadel, v elektrárnách nebo v diesellových motorech. Nanášet tento materiál bylo efektivní pouze drahou metodou vakuového plasmového nástřiku. Při jiných postupech depozice docházelo k vysoké oxidaci a degradaci ochranných vlastností. Metoda kinetického naprašování za studena je levnou alternativou. [62, 63]



Obrázek 2.47: NiCrAlY: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [62]

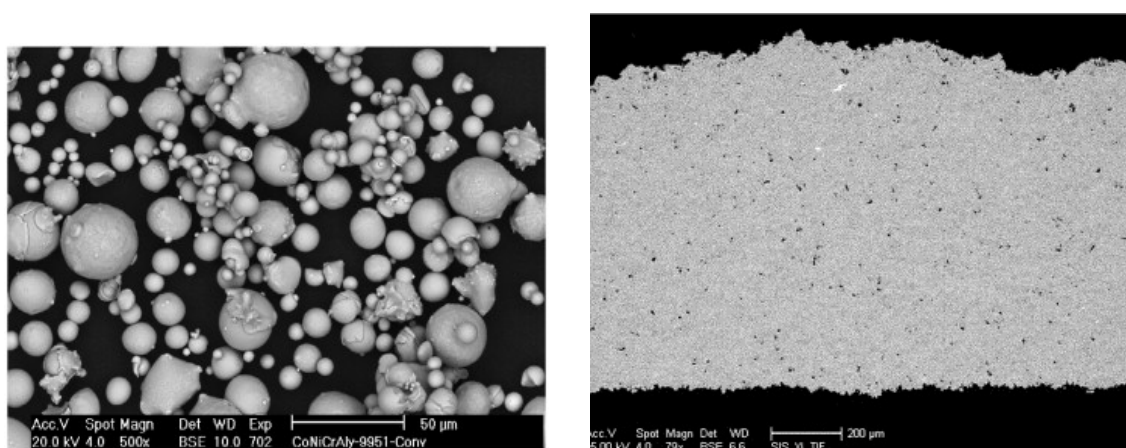


Obrázek 2.48: NiCoCrAlY: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [63]

2. REŠERŠE LITERATURY

Tabulka 2.31: Nanášecí parametry NiCrAlY [62]; NiCoCrAlY [63, 64, 65]; CoNiCrAlY [66, 67]

Laboratoř		3;26	17;18	19; 20; 21; 22	3	23; 24	25	25
Dýza	druh	-	-	-	-	Laval	Laval	Laval
	hrdlo [mm]	-	-	-	-	-	-	-
	poměr	-	-	-	-	-	-	-
	délka [mm]	-	-	-	-	-	-	-
Systém		-	K 4000/47	K 4000	-	-	-	-
Prášek	velikost [μm]	37	28 44	-	5-37	5-37	5-42	5-42
	zpracování	BM	TZ	-	-	GS	GS	GS
Plyn	značka	He	N ₂	N ₂	He	He	He	N ₂
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	500	800	400	580	550	400	450
	tlak [MPa]	2,5	4	3,8	2	1	2	3,8
Vzdálenost [mm]		-	30	-	20	-	-	-
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		-	900	-	150	-	-	-
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-	34,13 31,76	40	27,4	-	18	15

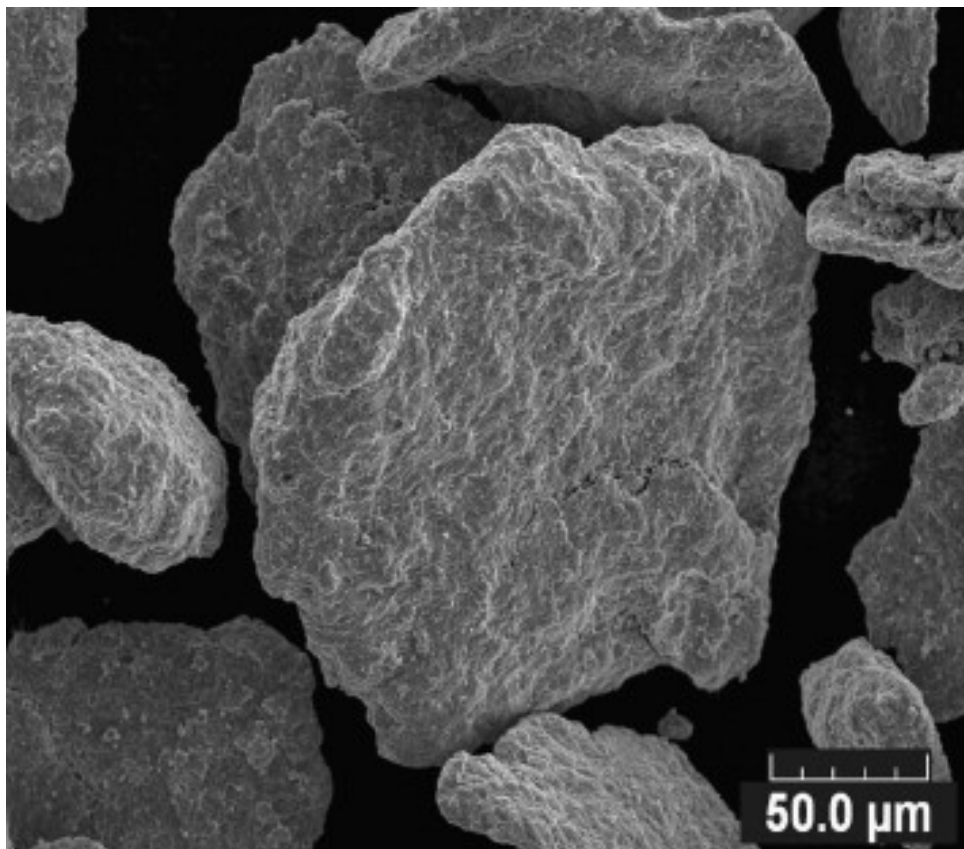


Obrázek 2.49: CoNiCrAlY: prášek (vlevo), nástrih (vpravo) [66]

2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

NiTi

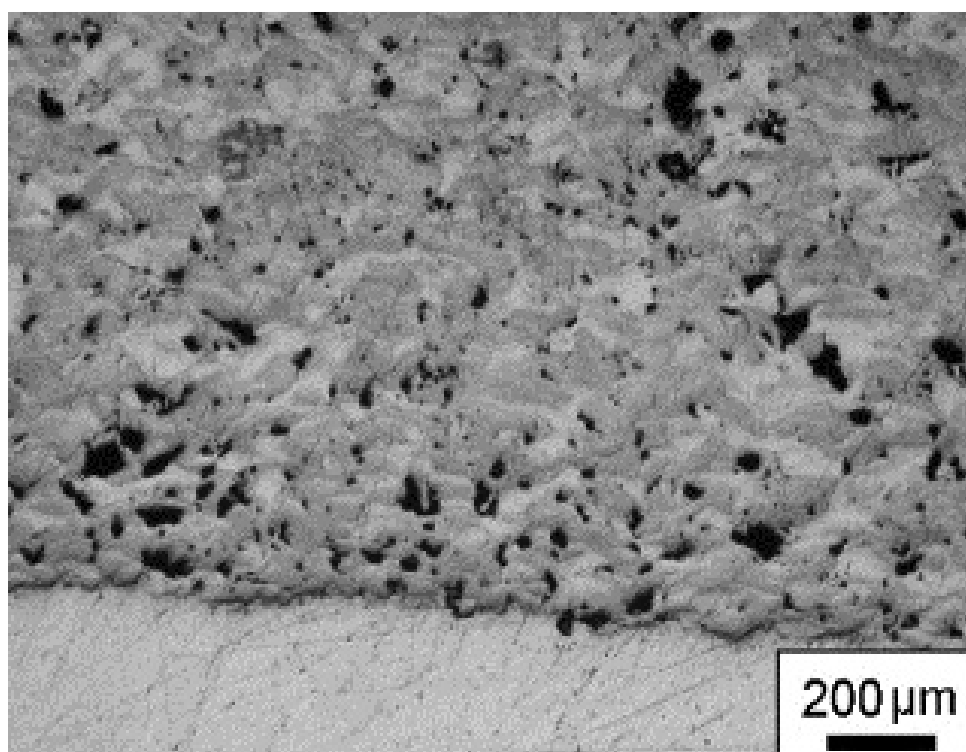
Sloučenina niklu a titanu má zajímavé a výhodné vlastnosti. Především se jedná o tvarovou paměť a superelasticitu, ale také má velkou odolnost vůči korozi a opotřebení. Tyto přednosti se využívají v mnoha odvětvích průmyslu jako např. v letectví a kosmonautice, ale i v lékařství nebo elektrotechnice. [68, 69]



Obrázek 2.50: NiTi: prášek [68]

Tabulka 2.32: Nanášecí parametry NiTi [68, 69]

Laboratoř		56; 61	3; 15
Dýza	druh	Laval	Laval
	hrdlo [mm]	-	2
	poměr	4,9	-
	délka [mm]	170	-
Systém		CGT GmbH	CS-2000
Prášek	velikost [μm]	-	-
	zpracování	BM	BM
Plyn	značka	SV	He
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	510	580
	tlak [MPa]	2,7	2
Vzdálenost [mm]		30	20
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		200	40
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-	-

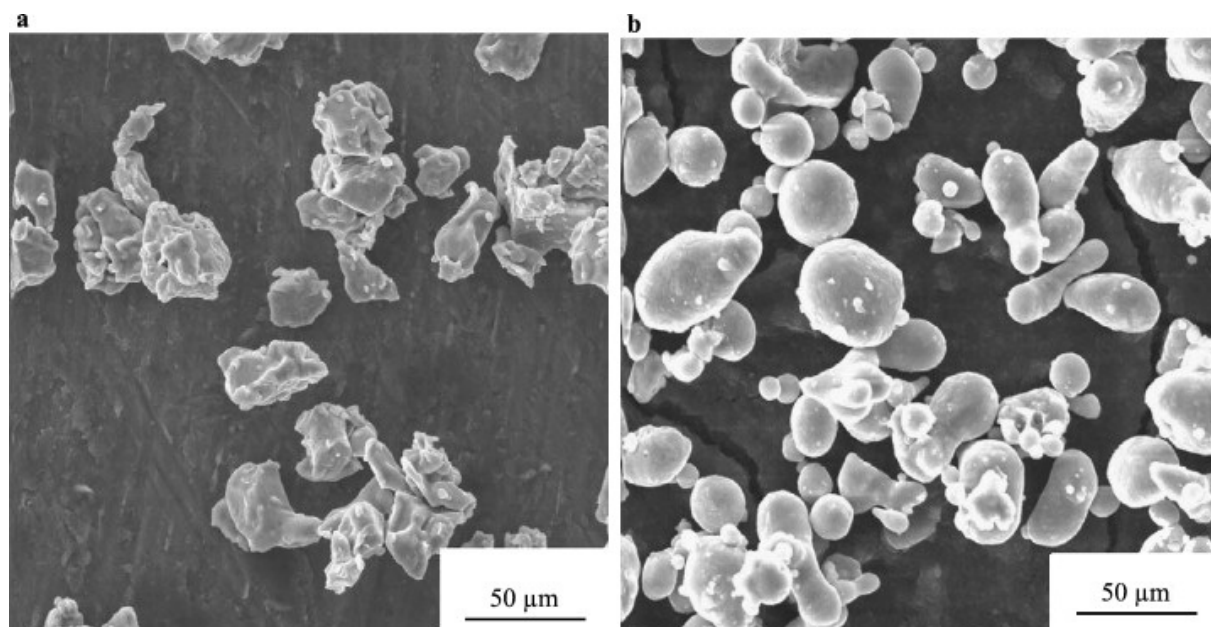


Obrázek 2.51: NiTi: nástřik [68]

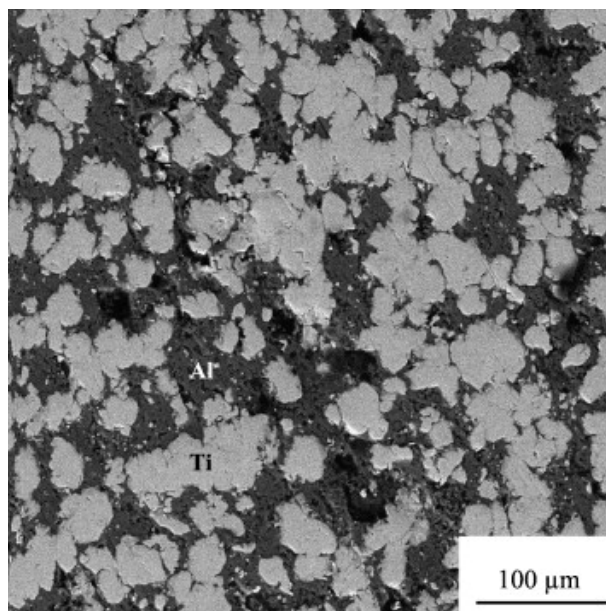
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

TiAl

TiAl je relativně lehký pevný materiál s vysokou teplotou tavení a s dobrými pevnostními charakteristikami i za vyšších teplot. Nevýhodou je těžká obrobitelnost a práce s materiálem. Nanášení povlaku tímto intermetalikem dává substrátu pevnost a odolnost proti vysokým teplotám. Proto se často využívá v letectví a automobilovém průmyslu. [70]



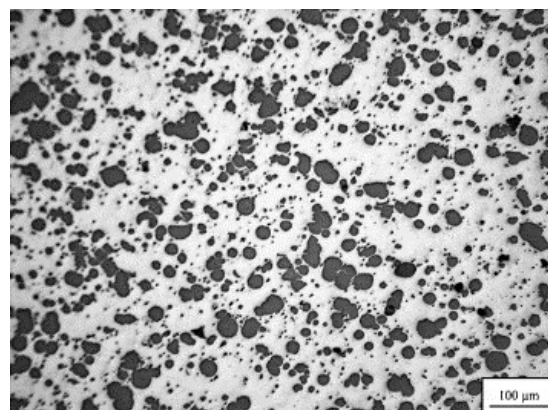
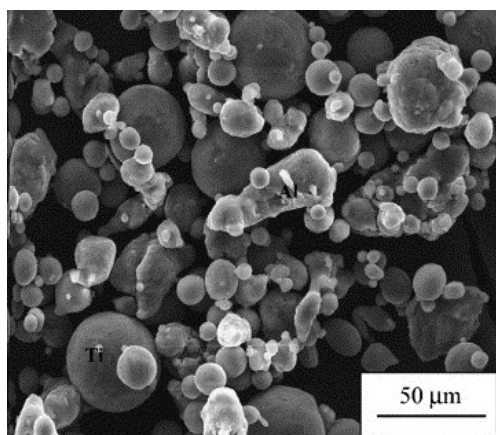
Obrázek 2.52: TiAl: a) Al prášek, b) Ti prášek [70]



Obrázek 2.53: TiAl: nástriek [70]

Tabulka 2.33: Nanášecí parametry TiAl [71, 72, 70]

Laboratoř		62; 63	64; 65	64; 83
Dýza	druh	Laval	Laval	Laval
	hrdlo [mm]	-	2	-
	poměr	-	-	-
	délka [mm]	-	200	80
Systém		ITAM RAS	-	-
Prášek	velikost [μm]	-	50	45
	zpracování	-	-	GS
Plyn	značka	SV	He	He
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	300	20	200
	tlak [MPa]	1,52	2	1,6
Vzdálenost [mm]		12	50	10
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		66	50	33,3
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-	30	20



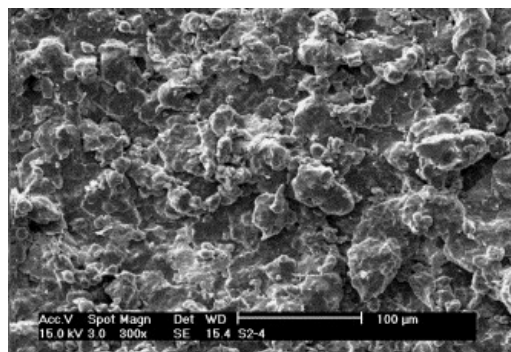
Obrázek 2.54: TiAl: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [72]

2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

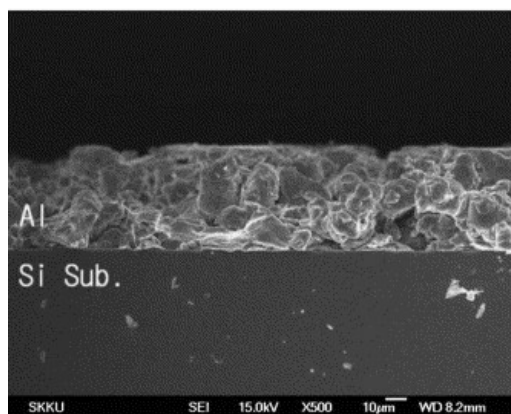
2.3.3 Směsi kov-nekov

Al-Al₂O₃

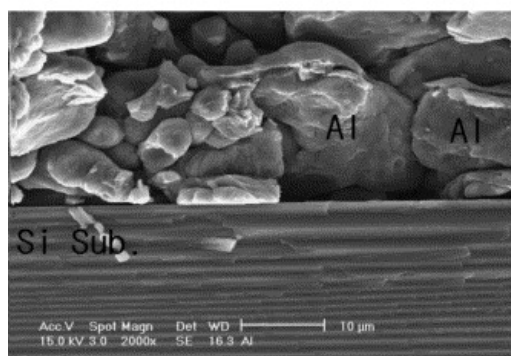
Směs se tvoří smícháváním prášků čistého Al s práškem Al₂O₃. Díky plastickému hliníku lze nanést metodou kinetického naprašování za studena pevné částice korundu. Navíc tyto částice snižují porozitu nástřiku v důsledku tzv. přechování, kdy větší částice oxidu narážejí a kompaktují předešlé vrstvy. Oproti ochraně čistým hliníkem, vykazuje směs vyšší pevnost, menší opotřebení a nižší koeficient tření. Povlaky této směsi se používají např. v letectví na ochranu hořčíkových komponent. [73, 74]



(a)



(b)

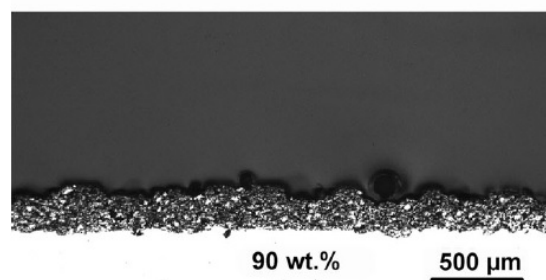
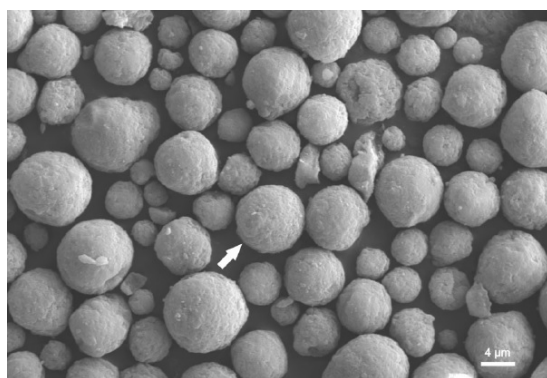
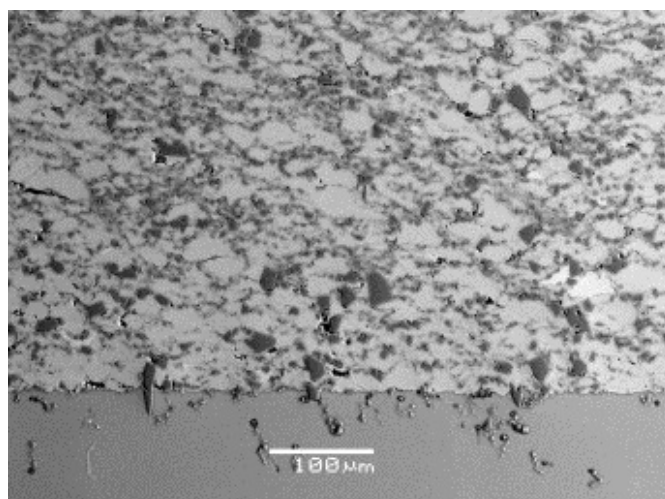


(c)

Obrázek 2.55: Al-Al₂O₃: nástřik [75]

Tabulka 2.34: Nanášecí parametry Al-Al₂O₃ [76, 77, 78, 73, 74, 75]

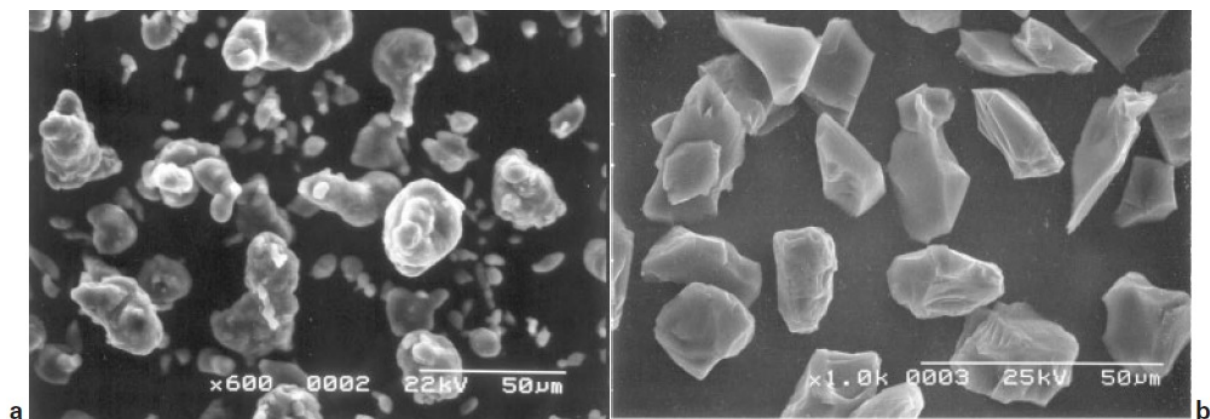
Laboratoř		38; 75; 84	41; 85	38; 75; 84	86; 87; 88	86; 88; 90	80
Dýza	druh	Laval	-	-	Laval	Laval	Laval
	hrdlo [mm]	-	-	-	-	-	1
	poměr	-	-	-	-	-	4×6mm
	délka [mm]	-	-	-	-	-	-
Systém		PCS-800	-	SSTCenter	KM	KM	-
Prášek	velikost [μm]	25	2-10	36,2	10-20	15-22	44
	zpracování	-	-	-	-	-	-
Plyn	značka	N ₂	SV	N ₂	He	He	SV
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	400	375	500	200	125	330
	tlak [MPa]	3	0,634	0,62	0,62	0,62	0,7
Vzdálenost [mm]		-	5	10	12	12	5
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		200	5	2	100	0,83	-
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-	-	8-12	10	15	-

Obrázek 2.56: Al-Al₂O₃: prášek (vlevo), nástřik (vpravo) [77]Obrázek 2.57: Al-Al₂O₃: nástřik [74]

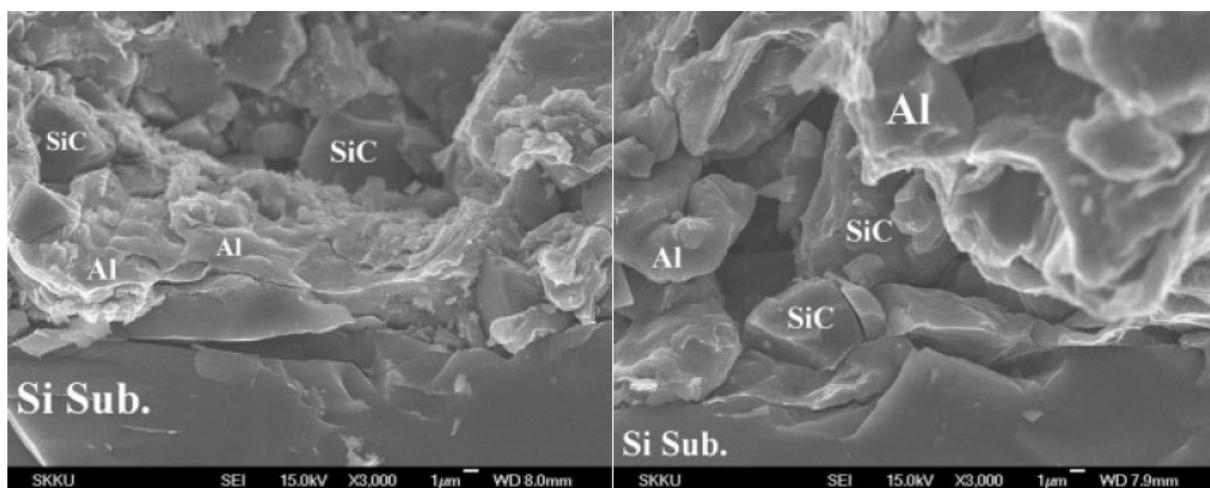
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

AlSiC

Povlak vytvořený tímto kompozitem vykazuje velice dobré vlastnosti. Díky hliníku má malou hustotu a odolnost vůči korozi, zatímco částice keramiky dodávají vysokou mez kluzu, tvrdost, odolnost vůči opotřebení a tepelnou stabilitu. Tyto vlastnosti jsou využívány v letectví, automobilovém průmyslu nebo elektronice. [79]



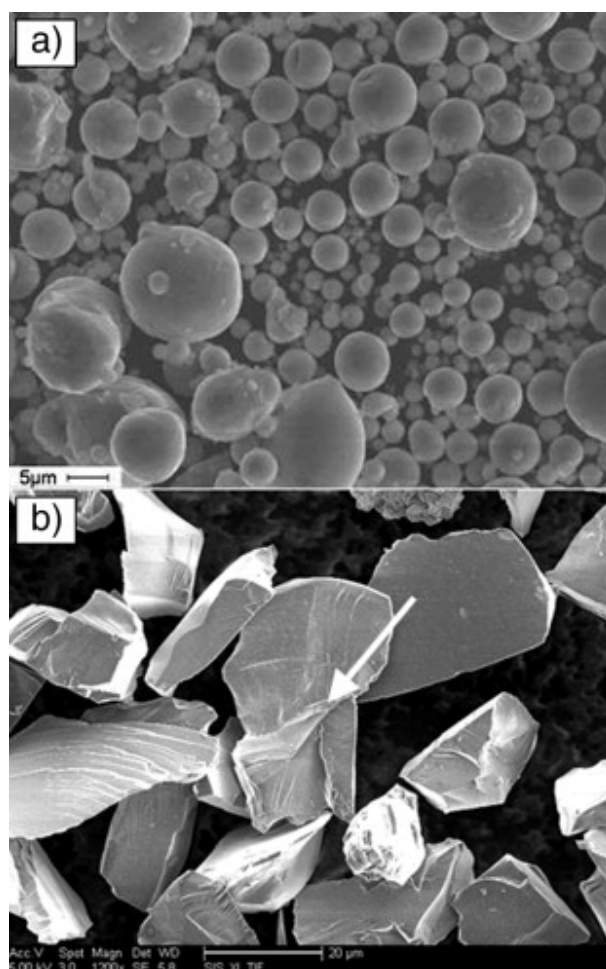
Obrázek 2.58: AlSiC: a) Al prášek, b) SiC prášek [80]



Obrázek 2.59: AlSiC: nástřík [80]

Tabulka 2.35: Nanášecí parametry AlSiC [80, 79]

Laboratoř		80	81; 82
Dýza	druh	Laval	Laval
	hrdlo [mm]	1	-
	poměr	4×6mm	7×3mm
	délka [mm]	-	-
Systém		-	-
Prášek	velikost [μm]	3-45	5-45
	zpracování	BM	GS
Plyn	značka	He	He
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	330	360
	tlak [MPa]	0,7	1,7
Vzdálenost [mm]		10	10
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		-	-
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-	2

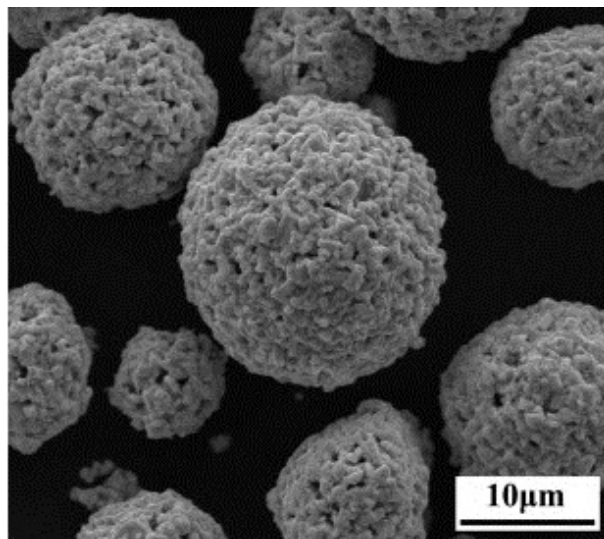


Obrázek 2.60: AlSiC: a) Al prášek, b) SiC prášek [79]

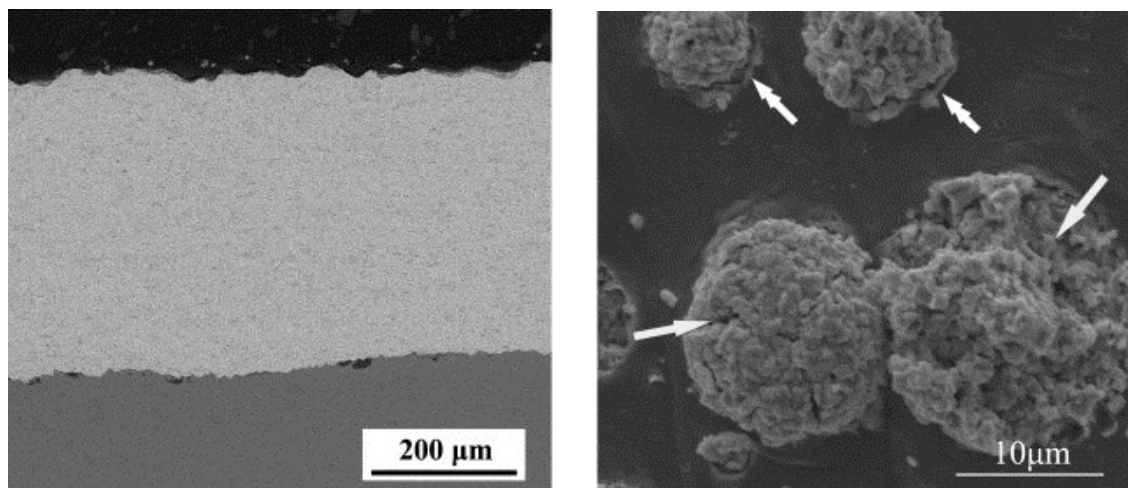
2.3. OPTIMÁLNÍ PARAMETRY DEPOZICE

WC-M

Pro nanášení povlaků sloučenin se základem WC bylo využíváno vysokoteplotních metod žárového nanášení jakými jsou HVOF nebo plasmový nástřik. Při tavení materiálu docházelo k růstu zrna a ke změně karbidové fáze, a tím ke zhoršení mechanických vlastností a ochraně proti opotřebení. Vhodnou alternativou těchto postupů se stalo kinetické nanášení za studena. [81]



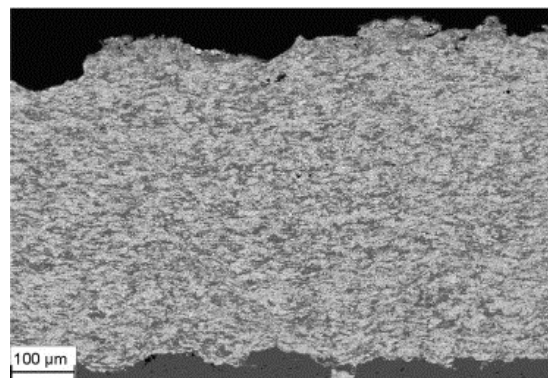
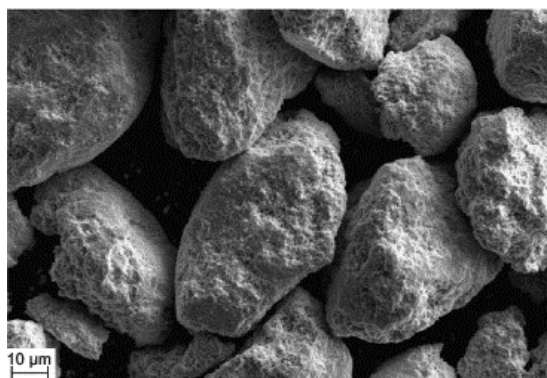
Obrázek 2.61: WC-Co: prášek [82]



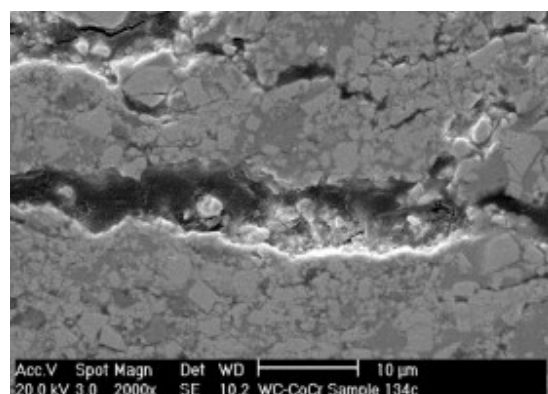
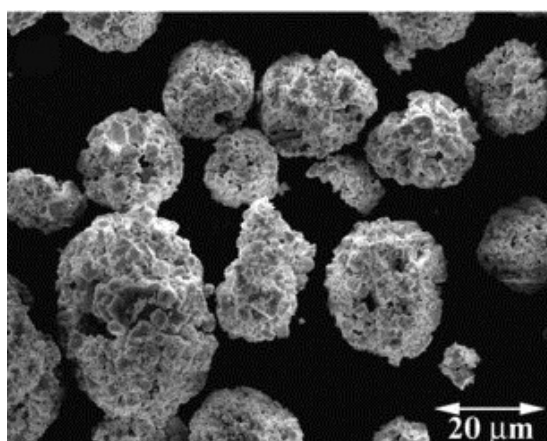
Obrázek 2.62: WC-Co: nástřik [82]

Tabulka 2.36: Nanášecí parametry WC-Ni [81], WC-Co [83, 82, 84], WC-Co-Cr [85]

Laboratoř		47; 48; 49	41; 42	43; 44; 45	43; 44	23; 46
Dýza	druh	Laval	Laval	Laval	Laval	Laval
	hrdlo [mm]	2,5	4,46	2	2	1
	poměr	2,4	1,4	3	3	7,3
	délka [mm]	120	120	100	100	-
Systém		-	HP-20	CS-2000	CS-2000	Praxair 1264
Prášek	velikost [μm]	45	45	9-18	4-25	15-50
	zpracování	A	-	CR	A	A
Plyn	značka	SV	SV	N ₂	N ₂	He
	teplota [$^{\circ}\text{C}$]	550	550	750	750	600
	tlak [MPa]	0,79	0,634	2,4	2,4	1,7
Vzdálenost [mm]		15	5	20	20	-
Posuv [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]		3000	5	20	-	-
Dávkování [$\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$]		-	-	-	-	-



Obrázek 2.63: WC-Co: prášek (vlevo), nástriek (vpravo) [83]



Obrázek 2.64: WC-Co-Cr: prášek (vlevo), nástriek (vpravo) [85]

3 Závěr

Cílem této práce bylo seznámení s technologií kinetického naprašování za studena, srovnání výhod a nevýhod tohoto procesu a následná katalogizace parametrů nanášení běžně využívaných materiálů.

Mezi zkoumané parametry depozice byly zařazeny základní rozměry použité dýzy, systém využití technologie, velikost a zpracování výchozího práškového materiálu, použitý pracovní plyn, jeho teplota a tlak, vzdálenost pistole od substrátu, posuv ramene a dávkování prášku do pistole.

Nanášecí parametry byly zjištěny pro:

- Čisté kovy - Sn, Al, Mg, Cu, Ni, Nb, Ag, Ta, Ti, Zn a Fe
- Kovové slitiny - 304L, 3016L FeAl, Inconel 718, MCrAlY, TiAl, TiNi
- Sloučeniny kov-nekov - Al-Al₂O₃, AlSiC a WC-M

Zjištěné informace byly uspořádány do přehledného katalogu, obsahujícího tabulky vlastností a ukázky použitého prášku a hotového nástřiku. Katalog může být použit pro prvotní nastavení stroje provádějícího nástřik daného materiálu. Údaje byly získávány z publikovaných článků světových laboratoří. Díky četnému množství zdrojů je možné pozorovat rozdíly mezi různými kombinacemi parametrů. Všechny citované laboratoře byly uvedeny v tabulce společně s jejich parametry nanášení.

V dnešní době je možná depozice téměř jakéhokoliv materiálu. Díky kombinacím kov-nekov lze nanášet i materiály neschopné plastické deformace, jako jsou keramiky. Metoda kinetického naprašování za studena je stále se rozvíjející technologie, která má do budoucna potenciál převzít funkci starších technologií.

Literatura

- [1] PAPYRIN, A. N. *Cold spray technology*. London: Elsevier, 2007. ISBN 00-804-5155-1.
- [2] Thermal Spray Processes. In: *ASM handbook*. Materials Park: ASM International, c2013, s. 31-53. ISBN 978-1-61503-996-8.
- [3] Cold Spray Process. In: *ASM handbook*. Materials Park: ASM International, c2013, s. 54-59. ISBN 978-1-61503-996-8.
- [4] LUO, X. T., LI, Y. J., LI, C. X., YANG, G. J., LI, C. J. Effect of spray conditions on deposition behavior and microstructure of cold sprayed Ni coatings sprayed with a porous electrolytic Ni powder. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2016, **289**, 85-93 [cit. 2016-04-15]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2016.01.058. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897216300585>
- [5] *TST Engineered Coating Solution* [online]. Wisconsin, USA: Thermal Spray Technologies (TST), 2016 [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: <http://www.tstcoatings.com/index.html>
- [6] PIÑOS, J. *Studium vlastností kovových materiálů připravených technologií nízko-teplotního kinetického naprašování* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 92 s. Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Čížek, Ph.D.
- [7] *Advanced Coating* [online]. Liège, France: Advanced Coating, 2005 [cit. 2016-01-24]. Dostupné z: <http://www.advanced-coating.com/>
- [8] Feedstock Material Considerations for Thermal Spray. In: *ASM handbook*. Materials Park: ASM International, c2013, s. 91-120. ISBN 978-1-61503-996-8.
- [9] *SANDVIK MATERIALS TECHNOLOGY* [online]. Sandviken, Sweden: Sandvik AB, 2016 [cit. 2016-01-24]. Dostupné z: <http://smt.sandvik.com/en/products/metal-powder/cold-spray/>
- [10] *Understandingnano* [online]. LLC: Hawk's Perch Technical Writing, 2007 [cit. 2016-01-25]. Dostupné z: <http://www.understandingnano.com/nanomaterial-synthesis-ball-milling.html>
- [11] *Phoenix Equipment Corporation* [online]. NJ, USA: Phoenix Equipment Corporation, 2016 [cit. 2016-01-25]. Dostupné z: <http://www.phxequip.com/equipment.6722/3-hp-union-process-1s-attritor.aspx>
- [12] *Oerlicon Metco* [online]. Oerlicon Metco, 2014 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: <http://www.oerlikon.com/ecomaXL/files/metco/oerlikonDSMTS-0035.320YOZrO.pdfdownload=1>.
- [13] *SHARE THE WORLD* [online]. SHARE THE WORLD, 2008 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <https://sariyusriati.wordpress.com/2008/10/21/sol-gel-technology/>
- [14] *GGP Metalpowder AG* [online]. Fürth, Germany: GGP Metalpowder AG, 2013 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.ggp-metal.com/en/products-water-atomized-copper-powders.php>

LITERATURA

- [15] *Chemical Engineering & Materials Science* [online]. Michigan, USA: DECS, 2008 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.chems.msu.edu/research/facilities/electron-xray/S2500>
- [16] *Periodická tabulka* [online]. Periodická tabulka, 2009 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/>
- [17] LEGOUX, J. G., IRISSOU, E., MOREAU, C. Effect of Substrate Temperature on the Formation Mechanism of Cold-Sprayed Aluminum, Zinc and Tin Coatings. *Journal of Thermal Spray Technology* [online]. 2007, **16**(5-6), 619-626 [cit. 2016-02-15]. DOI: 10.1007/s11666-007-9091-y. ISSN 1059-9630. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11666-007-9091-y>
- [18] SUHONEN, T., VARIS T., DOSTA, S., TORRELL, M., GUILMANY, J.M. Residual stress development in cold sprayed Al, Cu and Ti coatings. *Acta Materialia* [online]. 2013, **61**(17), 6329-6337 [cit. 2016-02-13]. DOI: 10.1016/j.actamat.2013.06.033. ISSN 13596454. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359645413004655>
- [19] KO, K. H., CHOI, J.O., LEE, H. Intermixing and interfacial morphology of cold-sprayed Al coatings on steel. *Materials Letters* [online]. 2014, **136**, 45-47 [cit. 2016-02-15]. DOI: 10.1016/j.matlet.2014.07.142. ISSN 0167577x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167577X14014013>
- [20] KIM, K. H., LI, W., GUO, X. Detection of oxygen at the interface and its effect on strain, stress, and temperature at the interface between cold sprayed aluminum and steel substrate. *Applied Surface Science* [online]. 2015, **357**, 1720-1726 [cit. 2016-02-15]. DOI: 10.1016/j.apsusc.2015.10.022. ISSN 01694332. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169433215024198>
- [21] DREHMANN, R., GRUND, T., LAMPKE, T., WIELAGE, B., MANYGOATS, K., SCHUCKNECHT, T., RAFAJA, D. Interface Characterization and Bonding Mechanisms of Cold Gas-Sprayed Al Coatings on Ceramic Substrates. *Journal of Thermal Spray Technology* [online]. , - [cit. 2016-02-15]. DOI: 10.1007/s11666-014-0189-8. ISSN 1059-9630. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11666-014-0189-8>
- [22] SUO, X. K., YU, M., LI, W. Y., PLANCHE M. P., LIAO, H. L. Effect of Substrate Preheating on Bonding Strength of Cold-Sprayed Mg Coatings. *Journal of Thermal Spray Technology* [online]. 2012, **21**(5), 1091-1098 [cit. 2016-02-19]. DOI: 10.1007/s11666-012-9803-9. ISSN 1059-9630. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11666-012-9803-9>
- [23] SUO, X. K., GUO, X. P., LI, W. Y., PLANCHE M. P., LIAO H. L. Investigation of Deposition Behavior of Cold-Sprayed Magnesium Coating. *Journal of Thermal Spray Technology* [online]. 2012, **21**(5), 831-837 [cit. 2016-02-19]. DOI: 10.1007/s11666-012-9777-7. ISSN 1059-9630. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11666-012-9777-7>
- [24] SUO, X. K., GUO, X., LI, W., PLANCHE M. P., BOLOT, R., LIAO, H., CODDET, C. Preparation and characterization of magnesium coating deposited by cold spraying. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2012, **212**(1), 100-105

- [cit. 2016-02-19]. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2011.08.010. ISSN 09240136. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924013611002366>
- [25] KO, K. H., CHOI, J. O., LEE, H. Pretreatment effect of Cu feedstock on cold-sprayed coatings. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2014, **214**(8), 1530-1535 [cit. 2016-02-13]. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2014.02.020. ISSN 09240136. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924013614000624>
- [26] KO, K. H., CHOI, J. O., LEE, H., LEE, B. J. Influence of oxide chemistry of feedstock on cold sprayed Cu coatings. *Powder Technology* [online]. 2012, **218**, 119-123 [cit. 2016-02-13]. DOI: 10.1016/j.powtec.2011.11.046. ISSN 00325910. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S003259101100667X>
- [27] JAKUPI, P., KEECH, P. G., BARKER, I., RAMAMURTHY, S., JACKLIN, R. L., SHOESMITH D. W., MOSER, D. E. Characterization of commercially cold sprayed copper coatings and determination of the effects of impacting copper powder velocities. *Journal of Nuclear Materials* [online]. 2015, **466**, 1-11 [cit. 2016-02-13]. DOI: 10.1016/j.jnucmat.2015.07.001. ISSN 00223115. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022311515300878>
- [28] KIM, G. H., PARK, C. K., AHN, H. J., et al. Fabrication feasibility study on copper cold spray in tokamak system. *Fusion Engineering and Design* [online]. 2015, **98-99**, 1576-1579 [cit. 2016-02-13]. DOI: 10.1016/j.fusengdes.2015.06.134. ISSN 09203796. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0920379615301812>
- [29] KOIVULUOTO, H., BOLELLI, G., MILANTI, A., LUSVARGHI, L., VUORISTO, P. Microstructural analysis of high-pressure cold-sprayed Ni, NiCu and NiCu Al₂O₃ coatings. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2015, **268**, 224-229 [cit. 2016-02-13]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2014.09.007. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897214008044>
- [30] AGHASIBEIG, M., MONAJATIZADEH, H., BOCHER, P., DOLATABADI, A., WUTHRICH, R., MOREAU, C. Cold spray as a novel method for development of nickel electrode coatings for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. 2016, **41**(1), 227-238 [cit. 2016-02-13]. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.09.123. ISSN 03603199. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360319915300379>
- [31] LUO, X. T., LI, Y. J., LI, C. J. A comparison of cold spray deposition behavior between gas atomized and dendritic porous electrolytic Ni powders under the same spray conditions. *Materials Letters* [online]. 2016, **163**, 58-60 [cit. 2016-02-13]. DOI: 10.1016/j.matlet.2015.10.048. ISSN 0167577x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167577X15306972>
- [32] YIN, S., SUO, X., XIE, Y., LI, W., LUPOI, R., LIAO, H. Effect of substrate temperature on interfacial bonding for cold spray of Ni onto Cu. *Journal of Materials Science* [online]. 2015, **50**(22), 7448-7457 [cit. 2016-02-13]. DOI: 10.1007/s10853-015-9304-6. ISSN 0022-2461. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10853-015-9304-6>
- [33] KOIVULUOTO, H., MILANTI, A., BOLELLI, G., LUSVARGHI, L., VUORISTO, P. High-Pressure Cold-Sprayed Ni and Ni-Cu Coatings: Improved Structures and

- Corrosion Properties. *Journal of Thermal Spray Technology* [online]. 2014, **23**(1-2), 98-103 [cit. 2016-02-13]. DOI: 10.1007/s11666-013-0016-7. ISSN 1059-9630. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11666-013-0016-7>
- [34] AJDELSZTAJN, L., JODOIN, B., SCHOENUNG, J. M. Synthesis and mechanical properties of nanocrystalline Ni coatings produced by cold gas dynamic spraying. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2006, **201**(3-4), 1166-1172 [cit. 2016-02-13]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2006.01.037. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897206000910>
- [35] KUMAR, S., JYOTHIRMAYI, A., WASEKAR, N., JOSHI, S. V. Influence of annealing on mechanical and electrochemical properties of cold sprayed niobium coatings. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2016, **296**, 124-135 [cit. 2016-05-15]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2016.04.027. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897216302766>
- [36] CHAVAN, N. M., RAMAKRISHNA, M., PHANI, P. S., RAO, D. S., SUNDARARAJAN, G. The influence of process parameters and heat treatment on the properties of cold sprayed silver coatings. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2011, **205**(20), 4798-4807 [cit. 2016-02-26]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2011.04.063. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897211004191>
- [37] KUMAR, S., VIDYASAGAR, V., JYOTHIRMAYI A., JOSHI, S. V. Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties and Corrosion Performance of Cold-Sprayed Tantalum Coatings. *Journal of Thermal Spray Technology* [online]. 2016, **25**(4), 745-756 [cit. 2016-02-26]. DOI: 10.1007/s11666-016-0388-6. ISSN 1059-9630. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11666-016-0388-6>
- [38] PIERCY, B., ALLEN, C., GULLA, A. F. Ta and Ti Anti-passivation Interlayers for Oxygen-Evolving Anodes Produced by Cold Gas Spray. *Journal of Thermal Spray Technology* [online]. 2015, **24**(4), 702-710 [cit. 2016-02-26]. DOI: 10.1007/s11666-015-0219-1. ISSN 1059-9630. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11666-015-0219-1>
- [39] CINCA, N., BARBOSA, M., DOSTA, S., GULEMANY, J. M. Study of Ti deposition onto Al alloy by cold gas spraying. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2010, **205**(4), 1096-1102 [cit. 2016-02-26]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2010.03.061. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897210002641>
- [40] CIZEK, J., KOVARIK, O., SIEGL, J., KHOR, K. A., DLOUHY, I. Influence of plasma and cold spray deposited Ti Layers on high-cycle fatigue properties of Ti6Al4V substrates. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2013, **217**, 23-33 [cit. 2016-02-26]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2012.11.067. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897212012200>
- [41] AJAJA, J., GOLDBAUM, D., CHROMIK, R. R. Characterization of Ti cold spray coatings by indentation methods. *Acta Astronautica* [online]. 2011, **69**(11-12), 923-928 [cit. 2016-02-26]. DOI: 10.1016/j.actaastro.2011.06.012. ISSN 00945765. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0094576511002049>

- [42] LUO, X. T., WEI, Y. K., WANG, Y., LI, C. J. Microstructure and mechanical property of Ti and Ti6Al4V prepared by an in-situ shot peening assisted cold spraying. *Materials* [online]. 2015, **85**, 527-533 [cit. 2016-02-26]. DOI: 10.1016/j.matdes.2015.07.015. ISSN 02641275. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264127515300885>
- [43] LI, W. Y., LI, C. J., YANG, G. J. Effect of impact-induced melting on interface microstructure and bonding of cold-sprayed zinc coating. *Applied Surface Science* [online]. 2010, **257**(5), 1516-1523 [cit. 2016-02-15]. DOI: 10.1016/j.apsusc.2010.08.089. ISSN 01694332. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169433210011670>
- [44] CHAVAN, N. M., KIRAN, B., JYOTHIRMAYI, A., PHANI, P. S., SUNDARARAJAN, G. The Corrosion Behavior of Cold Sprayed Zinc Coatings on Mild Steel Substrate. *Journal of Thermal Spray Technology* [online]. 2013, **22**(4), 463-470 [cit. 2016-02-15]. DOI: 10.1007/s11666-013-9893-z. ISSN 1059-9630. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11666-013-9893-z>
- [45] KO, K. H., CHOI, J. O., LEE, H., SEO, Y. K., JUNG, S. P., YU, S. S. Cold spray induced amorphization at the interface between Fe coatings and Al substrate. *Materials Letters* [online]. 2015, **149**, 40-42 [cit. 2016-03-02]. DOI: 10.1016/j.matlet.2015.02.118. ISSN 0167577x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167577X15003262>
- [46] CODDET, P., VERDY, C., CODDET, C., DEBRAY, F., LECOUTURIER, F. Mechanical properties of thick 304L stainless steel deposits processed by He cold spray. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2015, **277**, 74-80 [cit. 2016-03-02]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2015.07.001. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897215301146>
- [47] *AK Steel* [online]. Ohio,USA: AK Steel Corporation, 2016 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.aksteel.com/>
- [48] Elastic Modulus of 304 Stainless Steel Coating by Cold Gas Dynamic Spraying. *JOURNAL OF IRON AND STEEL RESEARCH INTERNATIONAL* [online]. 2012, **19**(3), 73-78 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S1006706X12600776>
- [49] MENG, X. M., ZHANG, J. B., HAN, W., ZHAO, J., LIANG, Y. L. Influence of annealing treatment on the microstructure and mechanical performance of cold sprayed 304 stainless steel coating. *Applied Surface Science* [online]. 2011, **258**(2), 700-704 [cit. 2016-05-18]. DOI: 10.1016/j.apsusc.2011.07.107. ISSN 01694332. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169433211011743>
- [50] SOVA, A., GRIGORIEV, S., OKUNKOVA, A., SMUROV, I. Cold spray deposition of 316L stainless steel coatings on aluminium surface with following laser post-treatment. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2013, **235**, 283-289 [cit. 2016-05-18]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2013.07.052. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897213007342>

- [51] MAESTRACCI, R., SOVA, A., JEANDIN, M., MALHAIRE, J. M., MOVCHAN, I., BERTRAND, Ph., SMUROV, I. Deposition of composite coatings by cold spray using stainless steel 316L, copper and Tribaloy T-700 powder mixtures. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2016, **287**, 1-8 [cit. 2016-05-18]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2015.12.065. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897215304953>
- [52] ADACHI, S., UEDA, N. Formation of Expanded Austenite on a Cold-Sprayed AISI 316L Coating by Low-Temperature Plasma Nitriding. *Journal of Thermal Spray Technology* [online]. 2015, **24**(8), 1399-1407 [cit. 2016-05-18]. DOI: 10.1007/s11666-015-0278-3. ISSN 1059-9630. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11666-015-0278-3>
- [53] AL-MANGOUR, B, VO, P., MONGRAIN, R., IRISSOU, E., YUE, S. Effect of Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Stainless Steel 316L Coatings Produced by Cold Spray for Biomedical Applications. *Journal of Thermal Spray Technology* [online]. 2014, **23**(4), 641-652 [cit. 2016-05-18]. DOI: 10.1007/s11666-013-0053-2. ISSN 1059-9630. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11666-013-0053-2>
- [54] AL-MANGOUR, B., DALLALA, R., ZHIM, F., MONGRAIN, R., YUE S. Fatigue behavior of annealed cold-sprayed 316L stainless steel coating for biomedical applications. *Materials Letters* [online]. 2013, **91**, 352-355 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.matlet.2012.10.030. ISSN 0167577x. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167577X12014620>
- [55] YANG, G. J., WANG, H. T., LI, C. J., LI, H. X. Effect of annealing on the microstructure and erosion performance of cold-sprayed FeAl intermetallic coatings. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2011, **205**(23-24), 5502-5509 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2011.06.033. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897211006542>
- [56] CINCA, N., LIST, A., GARTNER, F., GUILMANY, J. M., KLASSEN, T. Influence of spraying parameters on cold gas spraying of iron aluminide intermetallics. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2015, **268**, 99-107 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2014.07.070. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897214006811>
- [57] LI, C. J., WANG, H. T., YANG, G. J., BAO, C. G. Characterization of High-Temperature Abrasive Wear of Cold-Sprayed FeAl Intermetallic Compound Coating. *Journal of Thermal Spray Technology* [online]. 2011, **20**(1-2), 227-233 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1007/s11666-010-9545-5. ISSN 1059-9630. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11666-010-9545-5>
- [58] WANG, H. T., LI, C. J., YANG, G. J., LI, C. X., ZHANG, Q., LI, W. Y. Microstructural Characterization of Cold-Sprayed Nanostructured FeAl Intermetallic Compound Coating and its Ball-Milled Feedstock Powders. *Journal of Thermal Spray Technology* [online]. 2007, **16**(5-6), 669-676 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1007/s11666-007-9089-5. ISSN 1059-9630. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11666-007-9089-5>

- [59] *High temp metals* [online]. California, USA: High temp metals, 2015 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.hightempmetals.com/techdata/hitempInconel718data.php>
- [60] LEVASSEUR, D., S. YUE a M. BROCHU. Pressureless sintering of cold sprayed Inconel 718 deposit. *Materials Science and Engineering: A* [online]. 2012, **556**, 343-350 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.msea.2012.06.097. ISSN 09215093. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921509312009562>
- [61] WONG, W., IRISSOU, E., VO, P., SONE, M., BERNIER, F., LEGOUX, J. G., FUKANUMA, H., YUE, S. Cold Spray Forming of Inconel 718. *Journal of Thermal Spray Technology* [online]. 2013, **22**(2-3), 413-421 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1007/s11666-012-9827-1. ISSN 1059-9630. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11666-012-9827-1>
- [62] ZHANG, Q., LI, C. J., LI, C. X., YANG, G. J., LUI, S. C. Study of oxidation behavior of nanostructured NiCrAlY bond coatings deposited by cold spraying. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2008, **202**(14), 3378-3384 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2007.12.028. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897207012625>
- [63] BONADEI, A., MARROCCO, T. Cold sprayed MCrAlY X coating for gas turbine blades and vanes. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2014, **242**, 200-206 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2013.08.019. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897213007834>
- [64] KALSI, S. S., SIDHU, T. S., SINGH, H., KARTHIKEYAN, J. Analysis of material degradation for uncoated and NiCoCrAlY cold spray coated Superfer 800H in the secondary chamber of medical waste incinerator. *Engineering Failure Analysis* [online]. 2014, **46**, 238-246 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2014.09.001. ISSN 13506307. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350630714002763>
- [65] LI, Y., LI, C. J., YANG, G. J., XING, L. K. Thermal fatigue behavior of thermal barrier coatings with the MCrAlY bond coats by cold spraying and low-pressure plasma spraying. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2010, **205**(7), 2225-2233 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2010.08.144. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897210008017>
- [66] RICHER, P., ZUNIGA A., YANDOUZI, M., JODOIN, B. CoNiCrAlY microstructural changes induced during Cold Gas Dynamic Spraying. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2008, **203**(3-4), 364-371 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2008.09.014. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897208008505>
- [67] KHANNA, A. S., RATHOD, W. S. Development of CoNiCrAlY oxidation resistant hard coatings using high velocity oxy fuel and cold spray techniques. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* [online]. 2015, **49**, 374-382 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2014.08.010. ISSN 02634368. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263436814002091>

- [68] TRIA, S., ELKEDIM, O., LI, W. Y., LIAO, H. Ball milled Ni–Ti powder deposited by cold spraying. *Journal of Alloys and Compounds* [online]. 2009, **483**(1-2), 334-336 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.jallcom.2008.08.092. ISSN 09258388. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092583880801846X>
- [69] ZHOU, Y., LI, C. J., YANG, G. J., WANG H. D., LI, G. Effect of self-propagating high-temperature combustion synthesis on the deposition of NiTi coating by cold spraying using mechanical alloying Ni/Ti powder. *Intermetallics* [online]. 2010, **18**(11), 2154-2158 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.intermet.2010.07.006. ISSN 09669795. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966979510002980>
- [70] NOVOSELOVA, T., FOX, P., MORGAN, R., O'NEILL, W. Experimental study of titanium/aluminium deposits produced by cold gas dynamic spray. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2006, 200(8), 2775-2783 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2004.10.133. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S025789720401151X>
- [71] CIZEK, J., MAN, O., ROUPCOVA, P., LOKE, K., DLOUHY, I. Oxidation performance of cold spray Ti–Al barrier coated γ -TiAl intermetallic substrates. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2015, **268**, 85-89 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2014.12.004. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897214011360>
- [72] NOVOSELOVA, T., CELOTTO, S., MORGAN, R., FOX, P., O'NEILL, W. Formation of TiAl intermetallics by heat treatment of cold-sprayed precursor deposits. *Journal of Alloys and Compounds* [online]. 2007, **436**(1-2), 69-77 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.jallcom.2006.06.101. ISSN 09258388. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925838806008486>
- [73] WANG, Q., BIRBILIS, W., HUANG, H., ZHANG, M. X. Microstructure characterization and nanomechanics of cold-sprayed pure Al and Al–Al₂O₃ composite coatings. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2013, **232**, 216-223 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2013.05.009. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897213004374>
- [74] SPENCER, K., FABIJANIC, D. M., ZHANG, M. X. The use of Al–Al₂O₃ cold spray coatings to improve the surface properties of magnesium alloys. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2009, **204**(3), 336-344 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2009.07.032. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S025789720900601X>
- [75] LEE, H. Y., JUNG, S. H., LEE, S. Y., YOU, Y. H., KO, K. H. Correlation between Al₂O₃ particles and interface of Al–Al₂O₃ coatings by cold spray. *Applied Surface Science* [online]. 2005, **252**(5), 1891-1898 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.apsusc.2005.03.148. ISSN 01694332. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169433205006161>
- [76] SHOCKLEY, J. M., DESCARTES, S., VO, P., IRISSOU, E., CHROMIK R. R. The influence of Al₂O₃ particle morphology on the coating formation and dry sliding wear behavior of cold sprayed Al–Al₂O₃ com-

- posites. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2015, **270**, 324-333 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2015.01.057. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897215000912>
- [77] HODDER, K. J., NYCHKA, J. A., MCDONALD, A. G. Comparison of 10 μm and 20 nm Al-Al₂O₃ Metal Matrix Composite Coatings Fabricated by Low-Pressure Cold Gas Dynamic Spraying. *Journal of Thermal Spray Technology* [online]. 2014, **23**(5), 839-848 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1007/s11666-014-0094-1. ISSN 1059-9630. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11666-014-0094-1>
- [78] SHOCKLEY, J. M., DESCARTES, S., IRISSOU, E., LEGOUX, J. G., CHROMIK, R. R. Third Body Behavior During Dry Sliding of Cold-Sprayed Al-Al₂O₃ Composites: In Situ Tribometry and Microanalysis. *Tribology Letters* [online]. 2014, **54**(2), 191-206 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1007/s11249-014-0326-z. ISSN 1023-8883. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11249-014-0326-z>
- [79] SANSOUCY, E., MARCOUX, P., AJDELSZTAJN, L., JODOIN, B. Properties of SiC-reinforced aluminum alloy coatings produced by the cold gas dynamic spraying process. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2008, **202**(16), 3988-3996 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2008.02.017. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897208001321>
- [80] LEE, H., KO K. Effect of SiC particle size on cold sprayed Al-SiC composite coatings. *Surface Engineering* [online]. 2013, **25**(8), 606-611 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1179/174329408X271516. ISSN 0267-0844. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/174329408X271516>
- [81] LIOMA, D., SACKS, N., BOTEF, I. Cold gas dynamic spraying of WC-Ni cemented carbide coatings. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* [online]. 2015, **49**, 365-373 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2014.08.017. ISSN 02634368. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263436814002236>
- [82] JI, G. C., WANG, H. T., CHEN, X., BAI, X. B., DONG, Z. X., YANG, F. G. Characterization of cold-sprayed multimodal WC-12Co coating. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2013, **235**, 536-543 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2013.08.021. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S025789721300786X>
- [83] MELENDEZ, N. M., NARULKAR, V. V., FISHER, G. A., MCDONALD, A. G. Effect of reinforcing particles on the wear rate of low-pressure cold-sprayed WC-based MMC coatings. *Wear* [online]. 2013, **306**(1-2), 185-195 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.wear.2013.08.006. ISSN 00431648. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043164813004596>
- [84] WANG, H. T., CHEN, X., BAI, X. B., JI, G. C., DONG, Z. X., YI, D. L. Microstructure and properties of cold sprayed multimodal WC-17Co deposits. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* [online]. 2014, **45**, 196-203 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2014.04.018. ISSN 02634368. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263436814000754>

LITERATURA

- [85] YANDOUZI, M., SANSOUCY, E., AJDELSZTAJN, L., JODOIN, B. WC-based cermet coatings produced by cold gas dynamic and pulsed gas dynamic spraying processes. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2007, **202**(2), 382-390 [cit. 2016-05-19]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2007.05.095. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897207006159>

Seznam použitých zkratek a symbolů

A	zpracován aglomerací
BM	zpracován v kuličkovém mlýnu
CR	zpracován drcením
EL	zpracován elektrolytickou metodou
GS	zpracován plynovou atomizací
Ma	Machovo číslo
SV	stlačený vzduch
TZ	tepelně zpracován
WA	zpracován vodní atomizací
BCC	krychlová prostorově středěná mřížka
CVD	Chemická depozice z plynné fáze (Chemical Vapor Deposition)
FCC	krychlová plošně středěná mřížka
HCP	šesterečná těsně uspořádaná mřížka
PVD	Fyzikální depozice z plynné fáze (Physical Vapour Deposition)
D-gun	Výbušné nanášení (Detonation gun)
HVOF	High velocity oxy fuel
K XXXX	Kinetiks XXXX

Seznam laboratoří

1. International Advanced Research Centre for Powder Metallurgy & New Materials (ARCI), Hyderabad, India.
2. Shaanxi Key Laboratory of Friction Welding Technologies (SKL), Northwestern Polytechnical University, Xi'an, China
3. State Key Laboratory for Mechanical Behavior of Materials(SKL), Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China
4. Industrial Materials Institute (NRC-IMI), National Research Council Canada, Montreal, Canada
5. Department of Energy Systems Research, Ajou University, Korea
6. Korea Automotive Technology Institute, Cheonan, Korea
7. Department of Mechanical Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea
8. Department of Materials Science, Tampere University of Technology, Tampere, Finland
9. Department of Engineering "Enzo Ferrari", University of Modena and Reggio Emilia, Modena, Italy
10. Department of Mechanical and Industrial Engineering, Concordia University, Montreal, Canada
11. Mechanical Engineering Department, Ecole de Technologie Supérieure, Montreal, Canada
12. Technical Research Centre of Finland (VTT), Advanced Materials, Espoo, Finland
13. Centre de Projecció Tèrmica (CPT), Barcelona University, Martí I Franqués, Barcelona, Spain
14. School of Metallurgy and Materials, University of Birmingham, Birmingham, United Kingdom
15. School of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, China
16. Marine Engineering College, Jimei University, Xiamen, China
17. Ansaldo Energia (S.p.A), Genoa, Italy
18. TWI Ltd, Cambridge, UK
19. Punjab Technical University, Punjab, India
20. Shaheed Bhagat Singh College of Engineering & Technology, Punjab, India
21. Guru Nanak Dev University, Regional Campus, Punjab, India
22. ASB Industries Inc., Barberton, USA

23. University of Ottawa, Ottawa, Canada
24. Department of Mechanical Engineering, University of Chile, Santiago, Chile
25. Department of Metallurgical Engineering , Indian institute of technology (IIT), Bombay, India
26. Advanced Materials and Processes, Honeywell Aerospace, Morristown, USA
27. Dept. of Chemistry, Western University, London, Canada
28. Nuclear Waste Management Organization, Toronto, Canada
29. Dept. of Earth Sciences, Western University, London, Canada
30. Surface Science Western, Western University, London, Canada
31. ITER Korea, National Fusion Research Institute (NFRI), Daejeon, Korea
32. Plasma Giken Co. Ltd., Saitama, Japan
33. Hyundai Heavy Industries Co. Ltd., Ulsan, Korea
34. ITER Organization, St. Paul Lez Durance, France
35. Institute of Materials Science and Engineering, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic
36. Department of Materials, Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, Czech Technical University in Prague, Czech Republic
37. School of Mechanical and Aerospace Engineering, Nanyang Technological University, Singapore
38. Department of Mining and Materials Engineering, McGill University, Montreal, Canada
39. Thermal Spray Centre (CPT), Dpt. Ciència dels Materials i Enginyeria Metallúrgica, Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain
40. Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Faculty of Engineering, University of Porto, Porto, Portugal
41. Department of Mechanical Engineering, University of Alberta, Edmonton, Canada
42. Alberta Innovates—Technology Futures, Edmonton, Canada
43. Jiujiang Key Laboratory of Green Remanufacturing, JiujiangUniversity, Jiujiang, China
44. School of Mechanical & Materials Engineering, Jiujiang University, Jiujiang, China
45. Ganzhou Zhangyuan Tungsten New Material Co., LTD, Ganzhou, China
46. University of California, Davis, USA
47. School of Chemical and Metallurgical Engineering, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa

LITERATURA

48. DST–NRF Centre of Excellence in Strong Materials, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa
49. School of Mechanical Industrial and Aeronautical Engineering, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa
50. Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Trinity College, The University of Dublin, Dublin, Ireland
51. Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur les Matériaux, les Procédés et les Surfaces, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Belfort, France
52. State Key Laboratory of Solidification Processing, Shaanxi Key Laboratory of Friction Welding Technologies, School of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, China
53. Department of Chemical Engineering and Materials Science, University of California, Davis, USA
54. Institute of Materials Science and Engineering (IWW), TU Chemnitz, Chemnitz, Germany
55. Institute of Materials Science (IWW), TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany
56. LERMPS, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Belfort, France
57. Basic Scanning and Research Division, De Nora Tech, Concord, USA
58. Helmut Schmidt University, University of the Federal Armed Forces Hamburg, Germany
59. Centre de Projecció Tèrmica, Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain
60. School of Mechanical and Materials Engineering, Jiujiang College, Jiujiang, China
61. Institut FEMTO ST, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Belfort, France
62. Netme Centre, Institute of Materials Science and Engineering, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic
63. Singapore Technologies — Kinetics, Ltd., Singapore
64. Department of Engineering, University of Liverpool, Liverpool, UK
65. Institute for Manufacturing, Department of Engineering, University of Cambridge, Cambridge, UK
66. Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses (LNCMI), Grenoble, France
67. Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses (LNCMI), Toulouse, France
68. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Belfort, Belfort, France
69. School of Material Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, China

70. Baoshan Iron and Steel Company Limited, Baosteel Research Institute, Shanghai, China
71. MINES ParisTech-C2P (Competence Center for Spray Processing), Evry, France
72. LTDS Laboratory, National Engineering School of Saint-Etienne (ENISE), Saint-Etienne, France
73. ECAM RENNES — Louis de Broglie, Campus de Ker Lann, Bruz, France
74. Technology Research Institute of Osaka Prefecture, Izumi, Japan
75. National Research Council Canada, Boucherville, Canada
76. Department of Mechanical Engineering, McGill University, Montreal, Canada
77. National Engineering School of Saint-Etienne, DIPI Laboratory, University of Lyon, Saint-Etienne, France
78. Moscow State Technological University Stankin, Moscow, Russia
79. École Polytechnique de Montréal, Department of Mechanical Engineering, Institute of Biomedical Engineering, Montreal, Canada
80. Department of Materials Science and Engineering, Ajou University, Suwon, Korea
81. Vac Aero International Inc., Boucherville, Canada
82. Department of Mechanical Engineering, University of Ottawa, Ottawa, Canada
83. Institute of Engineering, Department of Engineering, University of Cambridge, Cambridge, UK
84. Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures (LaMCoS), Université de Lyon, Villeurbanne, France
85. Department of Chemical and Materials Engineering, University of Alberta, Electrical & Computer Engineering Research Facility, Edmonton, Canada
86. School of Mechanical and Mining Engineering, University of Queensland, St. Lucia, Australia
87. CRC Alloy & Solidification Technology (CAST CRC), University of Queensland, St. Lucia, Australia
88. ARC Centre of Excellence for Design in Light Metals, Monash University, Clayton, Australia
89. Department of Materials Engineering, Monash University, Clayton, Australia
90. Centre for Material and Fibre Innovation, Deakin University, Victoria, Australia
91. University West, Trollhattan, Sweden

Seznam tabulek

2.1	Hlavní charakteristiky základních povrchových metod	14
2.2	Obecné vlastnosti Sn	26
2.3	Nanášecí parametry Sn	27
2.4	Obecné vlastnosti Al	28
2.5	Nanášecí parametry Al	29
2.6	Obecné vlastnosti Mg	30
2.7	Nanášecí parametry Mg	31
2.8	Obecné vlastnosti Cu	32
2.9	Nanášecí parametry Cu	33
2.10	Obecné vlastnosti Ni	34
2.11	Nanášecí parametry Ni	35
2.12	Obecné vlastnosti Nb	36
2.13	Nanášecí parametry Nb	37
2.14	Obecné vlastnosti Ag	38
2.15	Nanášecí parametry Ag	39
2.16	Obecné vlastnosti Ta	40
2.17	Nanášecí parametry Ta	41
2.18	Obecné vlastnosti Ti	42
2.19	Nanášecí parametry Ti	43
2.20	Obecné vlastnosti Zn	44
2.21	Nanášecí parametry Zn	45
2.22	Obecné vlastnosti Fe	46
2.23	Nanášecí parametry Fe	47
2.24	Obecné vlastnosti 304L	48
2.25	Nanášecí parametry 304L	49
2.26	Obecné vlastnosti 316L	50
2.27	Nanášecí parametry 316L	51
2.28	Nanášecí parametry FeAl	53
2.29	Obecné vlastnosti Inconel 718	54
2.30	Nanášecí parametry Inconel 718	55
2.31	Nanášecí parametry MCrAlY	57
2.32	Nanášecí parametry NiTi	59
2.33	Nanášecí parametry TiAl	61
2.34	Nanášecí parametry Al-Al ₂ O ₃	63
2.35	Nanášecí parametry AlSiC	65
2.36	Nanášecí parametry WC-M	67