

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

Strojírenská technologie

zaměření

tváření kovů a plastických hmot

Katedra tváření a plastů

NANÁŠENÍ POVLAKŮ NA STROJNÍ SOUČÁSTI PLAMENEM

KTP - 117

Jiří Sochovský

Vedoucí diplomové práce : Stanislav Jenší, VŠST Liberec

Konzultant : Ing. František Beran, VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh:

Počet stran : 55

Počet tabulek : 11

Počet obrázků : 26

Počet příloh : 2

Počet výkresů : -

25.května 1984

Vysoká škola: strojí a textilní Fakulta: strojí
Katedra: tváření a plasty Školní rok: 1987/88

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DILA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro obor strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Nanášení povlaků na strojí součásti
plazmou

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s technologií stříkání prášků se vzduchem ROTOLAY a CACTO DYN.
2. Prostudujte teoretické podklady - exotermické reakce - exotermické prášky.

Seznamte se s keramickými povlaky, přílnavost nástřiků technologicky vyhodnoťte.

Navrhněte vhodné strojí součásti k aplikaci uvedených prášků.

Autorské právo zajištěno
VŠT pro státní zkoušky č.j. 31
727/87 ze dne 3. srpna 1987
1962 Václavské náměstí, Praha 2
4-6214 422 612 4-6214 422 612

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Jablonec nad Jizerou
LIDSKÉHO 1, 500 01 OKA 3
PSČ 461 17

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 30 - 40 stran

Seznam odborné literatury:

1. Zprávia, časopisy, VÚT Bratislava, ročník 1960.
2. Kurz navrhování planerem, Javro Nitro 1960
3. Katalog : fy Castella - Česko-Slo, KOTLICK, 1960.

Vedoucí diplomové práce:

Stanislav Jerší

Datum zadání diplomové práce:

3. 10. 1963

Termín odevzdání diplomové práce:

23. 5. 1964



L.S.

Doc. Ing. Jaroslav Jerší, CSc.

Vedoucí katedry

Doc. Ing. Bohuslav Jerší, CSc.

Děkan

V ...

dne

11. 5.

1964

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci 25.5.1984

Jiří Sochor
.....

Děkuji za odborné vedení a pomoc v praktické části
Jenšimu a s. Ing. Beranovi.

Děkuji také všem, kteří mi v průběhu řešení diplo-
mátového zadání přispěli radou a pomocí.

O B S A H

	strana
1. ÚVOD	8
2. TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1. Rozdělení způsobů nanášení ochranných povlaků	10
2.2. Návary	11
2.3. Nástřiky	12
2.4. Navařování plamenem tyčinkou	13
2.5. Nanášení práškových přídavných materiálů	13
2.5.1. Nanášení práškových přídavných materiálů plamenem	14
2.5.2. Nanášení práškových přídavných materiálů plazmou	15
2.5.2.1. Pojem plazma	15
2.5.2.2. Plazmové oblouky	17
2.6. Exotermický účinek práškových slitin	19
2.6.1. Vznik a průběh exotermické reakce	19
2.6.2. Použití prášků s exotermickou reakcí	23
3. PRAKTICKÁ ČÁST	25
3.1. Zařízení pro stříkání práškových slitin plamenem	25
3.1.1. Systém RotoLoy	25
3.1.2. Systém CastoDyn 2000	26
3.2. Zařízení pro stříkání práškových slitin plazmou	28
3.3. Příprava základního materiálu	30
3.4. Příprava povrchu tryskáním	30
3.5. Příprava povrchu mechanickým způsobem	31
3.6. Příprava povrchu chemickým způsobem	31
3.7. Práškové přídavné materiály	32
3.8. Příprava vzorků nastříkaných materiálů	34
3.5.1. Vzorek s keramickým povlakem 28 020 stříkaný plamenem	36
3.5.2. Vzorek s keramickým povlakem 28 030	39

	strana
3.5.3. Vzorek s keramickým povlakem 28 060 . . .	42
3.5.4. Vzorek s keramickým povlakem 28 085 . . .	43
3.5.5. Vzorek s keramickým povlakem 28 095 . . .	45
3.5.6. Vzorek s keramickým povlakem 28 020 stří- kaný plazmou	46
3.5.7. Dílčí závěr	48
3.6. Měření drsnosti povrchu	49
3.7. Měření přilnavosti povlaků	50
3.8. Návrh součástí pro nástřik keramickými povlaky	51
4. ZÁVĚR	53
5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55

Seznam použitých zkratk a symbolů

- HV - tvrdost podle Vickerse
- HM - mikrotvrdost podle Vickerse
- HB - tvrdost podle Brinella
- HRC - tvrdost podle Rockwella při použití jako vnikací-
ho tělesa diamantového kužele s vrcholovým úhlem
120°
- HRB - tvrdost podle Rockwella při použití jako vnikací-
ho tělesa ocelové kuličky o průměru 1/16"

1. Ú v o d

Jedním z hlavních faktorů rozvoje našeho národního hospodářství je rozvoj vědy a techniky. XVI. sjezd KSČ položil důraz na využití soudobých vymožeností vědeckotechnické revoluce ve prospěch socialistické výstavby. Hlavně ve strojírenství je zvyšování technické úrovně závislé na rychlém zavádění vědeckotechnických poznatků do praxe, jak bylo řečeno na 8. plněnu ÚV KSČ v červnu loňského roku.

Chceme-li stále zdokonalovat stroje, musíme klást důraz na jejich funkční spolehlivost, delší životnost a pod. Abychom dosáhli žádané spolehlivosti a životnosti jsme nuceni používat stále kvalitnější materiály, které nejsou snadno dostupné jak cenou, tak množstvím. Východiskem z této situace je použití technologie práškového navařování.

Moderní průmysl využívá ve zvýšeném množství ušlechtilých materiálů v zařízeních vystavěných účinkům agresivních prostředí, zvýšených teplot, vysokých tlaků, intenzivního opotřebení a pod. Dnešní technologie navařování umožňuje nalézt vhodný ušlechtilý materiál odolávající pracovnímu prostředí.

Navařování těchto součástí a opotřebovaných součástí běžných ocelí může značně snížit spotřebu materiálu a současně zmenšit potřebu náhradních dílů a snížit tak vlastní náklady na výrobu. Navařování lze tedy využít jak v opravárenství, tak údržbě, i při výrobě nových zařízení.

Mnohé nové strojní součásti se vyrábějí již s navařem tak, že odolný návarový materiál se použije jen tam,

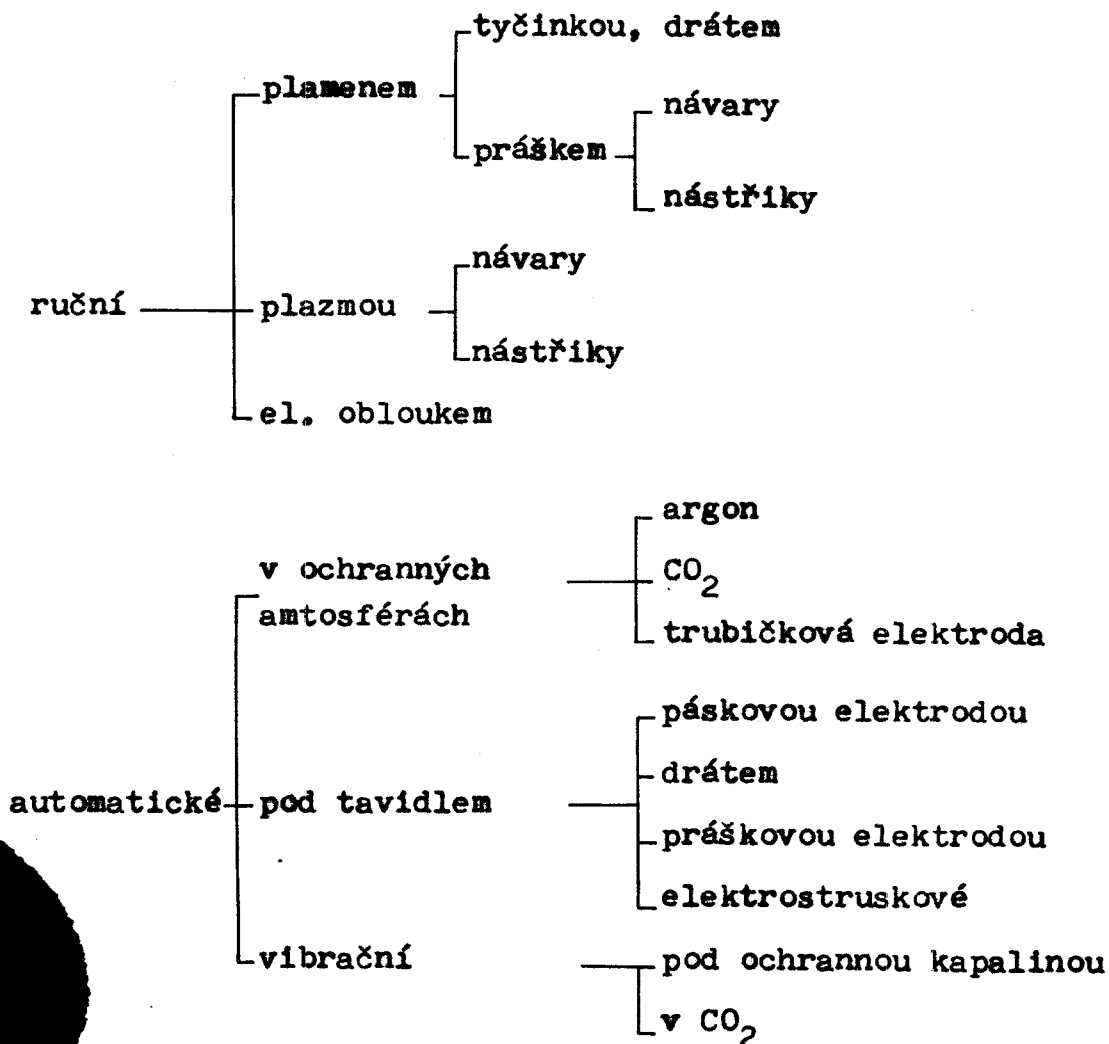
kde je opotřebení největší, kdežto hlavní část dílu je z levnější nejčastěji uhlíkové oceli. Tím navařování umožňuje dosáhnout velkých úspor legovaného materiálu, snížení ceny a zvýšení životnosti součástí.

Navařováním můžeme získat vrstvy s vynikající odolností proti korozi, erozi, zadírání, s odolností proti opalu, vrstvy tepelně i elekticky izolující a tak pod.

Tato diplomová práce se zabývá nanášením keramických prášků, které jsou velmi odolné vysokým teplotám a intenzivním opotřebením a měla by být příspěvkem k poznání vlastností povrchů z těchto materiálů. Dále by měla upozornit na technologie práškového nanášení plamenem a plazmaticky, vyzvednout jejich výhody a přispět tím k jejich rychlejšímu zavedení do praxe.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Rozdělení způsobů nanášení ochranných povlaků



další způsoby navařování patří navařování aluminoter-
mické, detonační vlnou, třením a pod.

2.2. NÁVARY

Navařováním rozumíme technologii vytváření ochranných vrstev, které jsou se základním materiálem spojeny difuzně nebo metalurgicky. Nutnou podmínkou pro vznik tohoto spoje je, aby základní materiál byl v místě návaru zahřát minimálně na teplotu tavení přídavného materiálu. Množství tepla vneseného do základního materiálu je důležitým parametrem, na kterém závisí řada vlastností návaru jako jsou např. stupeň promíchání návaru se základním materiálem, hloubka závaru, hloubka teplem ovlivněného pásma a pod.

Optimálním postupem při navařování bychom měli zajistit minimální promíchání návarového a základního materiálu.

Na kvalitu spoje má z hlediska základního materiálu vliv zejména:

- chemické složení a s tím spojené fyzikální vlastnosti, jako jsou teplota tavení, tepelná vodivost atd.
- homogenita materiálu, zejména u litých materiálů; nepříznivý vliv na kvalitu návaru má porezita a naplyněnost základního materiálu
- čistota povrchu před navařováním

Čistotě povrchu je třeba u navařování věnovat větší pozornost než u svařování. Je to proto, že u navařování je klíčová otázka smáčivosti, spojená s problematikou povrchových pnutí. Smáčivost materiálu ovlivňuje také celá řada faktorů, z nichž jsou pro navařování nejdůležitější:

- schopnost základního materiálu s návarem tvořit slitiny
- hodnota povrchového pnutí u tekuté fáze
- čistota povrchu základního materiálu - oxidy, mastnoty a pod.

2.3. NÁSTŘIKY

Technologie nanášení přídavného materiálu pomocí nástřiků jsou si společné tím, že teplota základního materiálu během nástřiku by neměla přesáhnout 150°C a dále jsou jim společné síly zajišťující přilnavost. Jsou to:

- adheze
- van der Waalsovy síly
- difuzní spojení

Vytváření vrstev stříkáním má oproti dalším metodám nanášení vrstev svá specifika. Mezi výhody patří:

- při vytváření vrstev stříkáním je možno použít libovolný základní materiál
- lze nástříkat malou plochu na rozměrném výrobku
- lze nanášet vrstvy velmi tenké ($50\mu\text{m}$) i vrstvy silné (několik mm)
- lze nanášet kovové a keramické materiály, jejich směsi nebo i plastické hmoty
- při nástřiku dochází u povrstveného výrobku k malé deformaci vlivem nízké teploty, na kterou je během stříkání ohřát

Proces nanášení vrstev stříkáním má však i své nedostateky, mezi které patří:

- při nanášení vrstev stříkáním na malé součásti jeví se tento proces neekonomickým s ohledem na malé využití prášku
- pro nástřik součásti je nutno tuto předem zdrsnit, což v některých případech znečišťuje nebo poškozují ostatní plochy součásti
- okolní prostředí při stříkání obsahuje rozptýlené částice prášku, což je nebezpečné pro lidské zdraví

2.4. NAVAŘOVÁNÍ PLAMENEM TYČINKOU

Tento způsob navařování je rozšířen jak ve výrobě nových součástí, tak i při renovaci opotřebovaných součástí. Navařování plamenem je rozšířeno pro svoji jednoduchost, operativnost a spolehlivost.

Kvalita spoje závisí do značné míry na způsobu přípravy povrchu základního materiálu a na celém postupu navařování. Teplo, které je nutné k roztavení přídavného materiálu získáváme z plamene, nejčastěji z kyslíka-acetylenového. Aby se snáze natavila povrchová vrstva základního materiálu používáme plamen s přebytkem acetylénu. Tím dojde k nauhličení povrchu základního materiálu a k jeho snažšímu natavení. Na takto připravený povrch nanášíme navařovaný materiál. Tavná lázeň i roztavený konec přídavného materiálu jsou při navařování chráněny před nežádoucími účinky atmosféry redukční částí plamene.

Tyčinkou můžeme provádět i několikavrstevné návary. Mezi jednotlivými návary však necháváme materiál schladnout, čímž zamezíme vzniku nežádoucích vnitřních pnutí v návary.

Takto nanesenou vrstvu po navařování lze v případě potřeby obrábět nebo brousit.

NANÁŠENÍ PRÁŠKOVÝCH PŘÍDAVNÝCH MATERIÁLŮ

Nanášení práškových přídavných materiálů je moderní technologie, která nalézá stále širší uplatnění. Nanášení práškových přídavných materiálů můžeme rozdělit na navařování a stříkání. Rozdíl mezi těmito vrstvami byl vysvětlen v kapitole 2.2. a 2.3.

2.5.1. Nanášení práškových přídavných materiálů plamenem

Teplo k roztavení práškového přídavného materiálu získáváme z kyslíko-acetylenového plamene. Pomocí speciálně upravených hořáků je přídavný materiál přiváděn buď do proudu plynu - tento způsob nazýváme injektorový, nebo se sype do plamene. V obou případech je množství přiváděného prášku regulovatelné.

Spojení základního materiálu a prášku je difuzní. Metoda nanášení práškových přídavných materiálů plamenem je velmi ekonomická, hlavně z toho důvodu, že lze nanášet tenké vrstvy, které se dále nemusí třískově opracovávat. Pro získání optimálních vlastností návaru nutno dodržet takovýto postup:

- příprava základního materiálu
Tato fáze zahrnuje důkladné očištění, odmaštění, odstranění vrstev oxidů a zdrsnění povrchu.
- předehřev základního materiálu
Základní materiál předehříváme na teplotu 150 až 500°C podle jeho chemického složení. Při předehřevu nutno dbát na to, aby nevznikaly okuje.
- protioxidační nástřik
Na celou předehřátou plochu nanese tenkou (0,05 - 0,10 mm) vrstvu nataveného prášku. Smyslem této vrstvičky je ochrana základního materiálu před atmosferickým kyslíkem.
- přetavení protioxidační vrstvy
Přetavením protioxidační vrstvy dojde k jejímu dokonalému spojení se základním materiálem a vzniká kompaktní vrstva.

Vzhledem ke tvaru, velikosti, složitosti a funkci součástí je někdy nezbytné snížit po navaření vnitřní pnutí. Vnitřní pnutí snížíme dodatečným tepelným zpracováním.

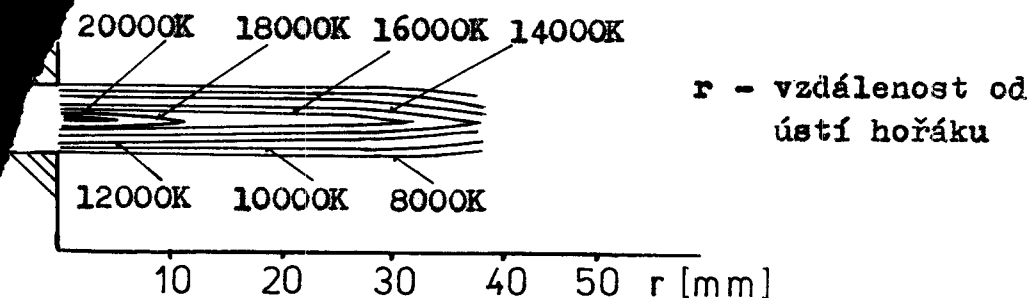
2.5.2. Nanášení práškových přídatných materiálů plazmou

V poslední době se dostává do popředí technologie práškového nanášení plazmou. Při použití této technologie se využívá výhod plazmy jako jsou např. vysoké teploty a vysoké dopadové rychlosti částic.

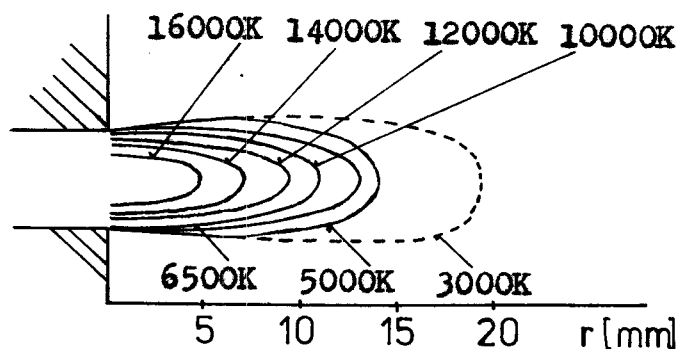
2.5.2.1. Pojem plazma

Přivádíme-li tuhé látce teplo zvyšujeme tím její teplotu. Po dosažení teploty tavení dojde ke změně skupenství - skupenství tuhé se mění v kapalné. Při dalším zvyšování teploty nastává opět změna skupenství - z kapalného na plynné. Přivádíme-li dále teplo, nastává u dvouatomových plynů disociace a u jednoatomových plynů ionizace. Vzniká tedy plyn částečně nebo zcela ionizován, čili plazma. Po proběhlé disociaci a ionizaci tedy dostáváme plyn, který obsahuje ionty, elektrony a neutrální částice. Navenek je plazma quasineutrální - t.j. počet kladných iontů a elektronů je stejný.

Pro výrobu plazmy mohou být prakticky použity všechny plyny nebo jejich směsi. Pro svařování a navařování plazmou je však důležité, aby plyn nepůsobil škodlivě na základní materiál. Nejčastěji používaným plazmoplynem je argon, vodík a dusík.



Obr. 1 Rozložení teplot v plazmovém paprsku s použitím plazmového plynu směsí Ar+N₂ /1/



r - vzdálenost od
ústí hořáku

Obr. 2 Rozložení teplot v plazmovém paprsku s použitím plazmového plynu N_2 . /1/

Teploty plazmatu se liší podle používaného plynu jak je patrné z obrázku 1 a 2.

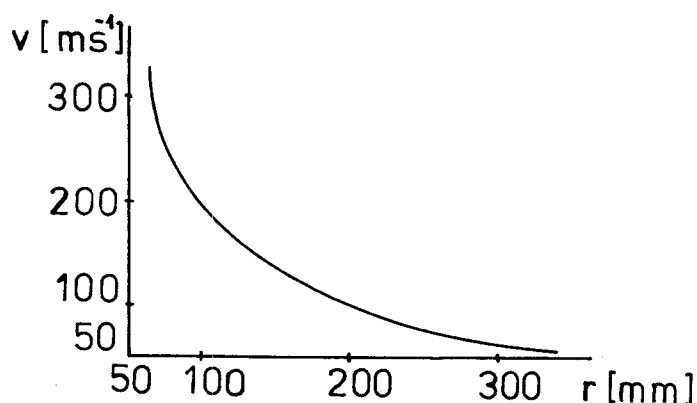
Tabulka 1 uvádí čistoty plynů používaných v Československu a jejich přibližné hodinové spotřeby.

Tab. 1

plyn	minimální čistota /%/	nečistoty /%/	provozní množství /m ³ h ⁻¹ /
argon	99,98	O ₂ -max.10ppm N ₂ -max.150ppm Cr ₄ -max.15ppm	2,40
vodík	99,50	O ₂ -max.0,5 celk. obsahu ost.plynů - max.0,5	0,72
dusík	99,99	neuvádí se	2,16

V tabulce není uvedeno helium, protože se u nás pro vysokou cenu a spotřebu nepoužívá.

Hlavní vliv na kvalitu nastříkané vrstvy mají parametry plazmy a zařízení. Hlavními parametry, které charakterizují plasmu jsou její teplota a rychlost. Parametrem zařízení je rychlost prášku. Rychlost plazmy se pohybuje kolem $2000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Průběh rychlosti částic v závislosti na vzdálenosti od ústí hořáku pro materiál 280 30 ukazuje graf na obr. 3.

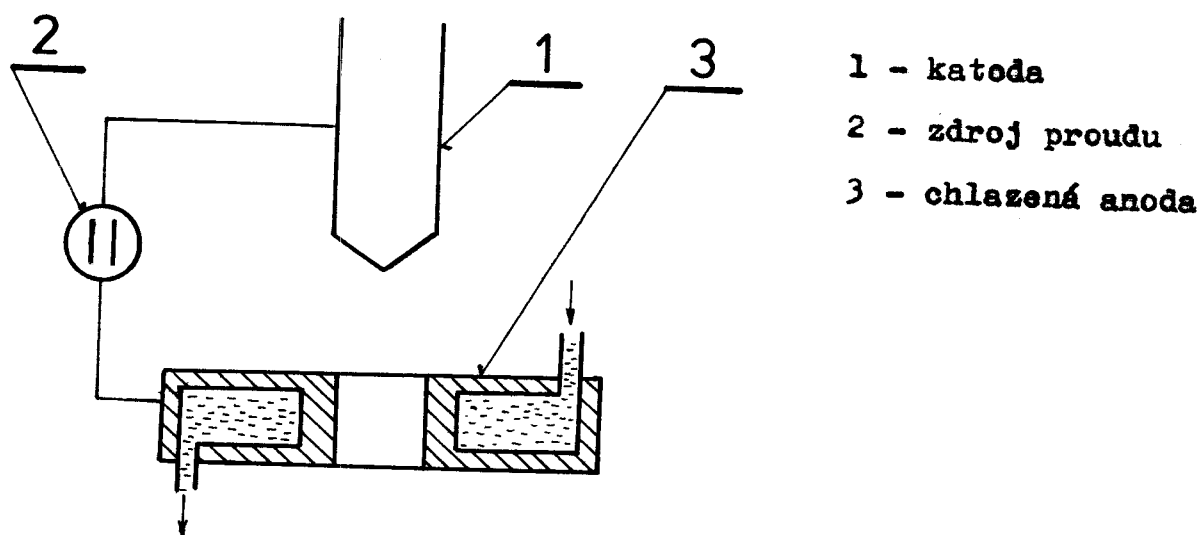


Obr. 3 Průběh rychlosti nanášeného materiálu plazmou /2/

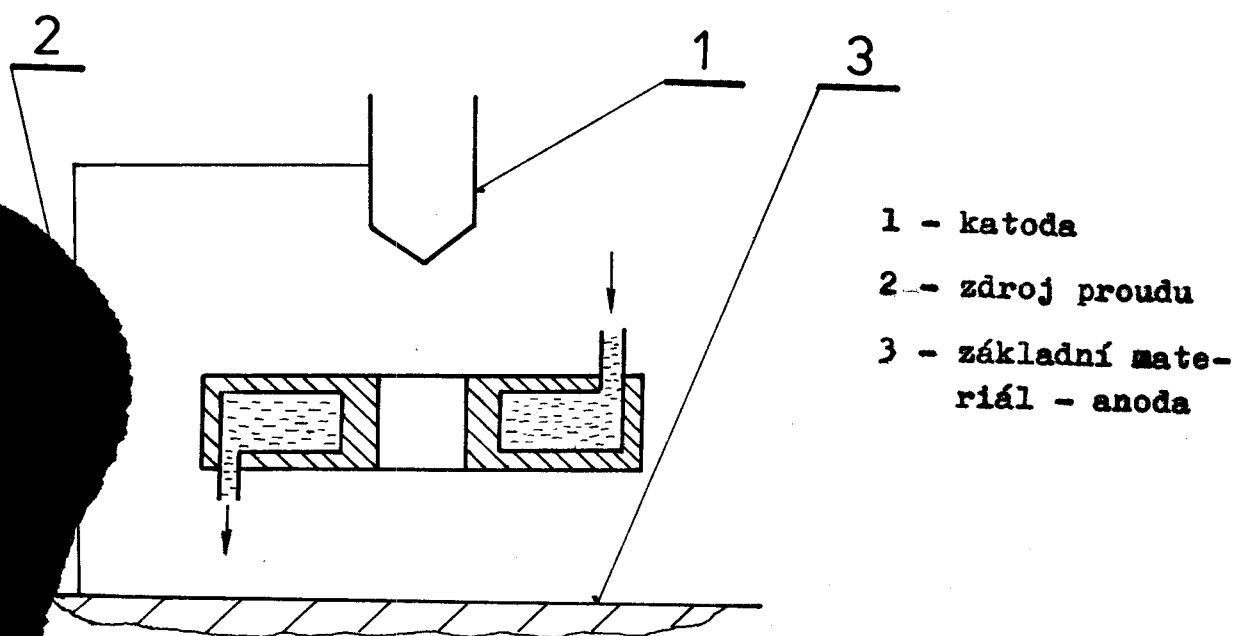
2.5.2.2. Plazmové oblouky

Při hoření plazmového oblouku rozeznáváme jeho dva typy - oblouk závislý a nezávislý. Nezávislý oblouk hoří mezi anodou a katodou nezávisle na základním materiálu. Tento systém používáme pro svařování, navařování a řezání nevodivých materiálů.

Závislý plazmový oblouk hoří mezi katodou a anodou, která je tvořena základním materiálem. Tohoto zapojení užíváme pro navařování, svařování a řezání materiálů, které vedou elektrický proud. Schéma zapojení obou uvedených oblouků ukazují obrázky 4 a 5.



Obr. 4 Schema nezávislého plazmového oblouku



Obr. 5 Schema závislého plazmového oblouku

2.6. EXOTERMICKÝ ÚČINEK PRÁŠKOVÝCH SLITIN

2.6.1. Vznik a průběh exotermické reakce

Podmínky vzniku a vřstní průběh exotermické reakce v podmínkách plazmatického nástřiku /3/.

Existence exotermické reakce byla po prvé pozorována v roce 1963 v systému Ni - Al. Reakce probíhá při letu částecek a pokračuje i několik mikrosekund po dopadu na základní materiál. Během reakce se uvolňuje teplo, které je tak velké, že umožňuje dosáhnout spojení částic přídavného materiálu se základním materiálem. V současné době se na exotermické reakce využívá dvou binárních systémů: Ni-Al a Ni-Ti. Exotermické přídavné materiály na bázi Ni-Al se používají častěji.

Systém Ni - Al

Při určování fází, které vznikají jako produkty exotermické reakce musíme vycházet z rovnovážných diagramů, ovšem pouze orientačně, neboť vlivem vysoké dynamiky probíhajících jevů při nástřiku jde o stavy nerovnovážné.

Z obecného pohledu můžeme teplo vznikající u přídavného materiálu Ni-Al rozdělit na dvě části:

- reakční teplo vznikající z aluminidových reakcí
- reakční teplo vznikající z aluminiových doplňujících reakcí

Díl jednotlivých částí je různý a je předmětem zkoumání. Molekulové množství tepla vzniklého při úplné reakci hliníku můžeme vyjádřit vztahem:

$$Q = \frac{m_{Al} \cdot H_R \cdot 10^3}{M_{G_{Al}} \cdot n}$$

kde Q je množství tepla /J/

m_{Al} je hmota Al /kg/

H_R je reakční entalpie
/kJ mol⁻¹/

$M_{G_{Al}}$ je molekulová hmotnost
hliníku

n je počet Al atomů vznikající kombinace

Z tohoto teoretického množství tepla se při nástřiku využije pouze jeho část. Velikost využitého tepla závisí zejména na velikosti částic, době jejich letu a na jejich rychlosti.

Ideální model průběhu exotermické reakce materiálu na bázi AlNi 80

Při teplotě nižší než 660°C lze u AlNi 80 předpokládat, že k difuzi dochází pouze v tuhém stavu, že Al se rozpouští v Ni za předpokladu velké difuzní rychlosti. Při pokračující difuzi Al do Ni se může vytvářet při dostatečné reakční rychlosti mezifáze typu α' , β' , γ a β .

Při teplotě vyšší než 660°C se hliníkové jádro roztavuje a smáčí niklový obal, který se v hliníku rozpouští. Při překročení rozpustnosti jsou vytvořeny exotermickou reakcí tuhé fáze typu Al_xNi_y . Vytvořením této fáze klesne obsah niklu v hliníkové tavenině. Tato ztráta je postupně kompenzována dalším rozpouštěním niklu v hliníku. Při vysoké koncentraci Ni a nízké aktivační energii probíhá tato reakce rychle. Výsledkem je uvolnění reakčního tepla a tím urychlení všech procesů - rozpouštění Ni v Al, difuze a reakce. Lze tedy říci:

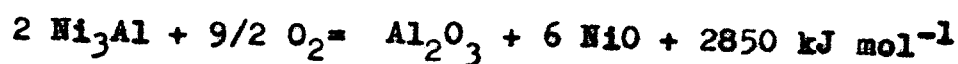
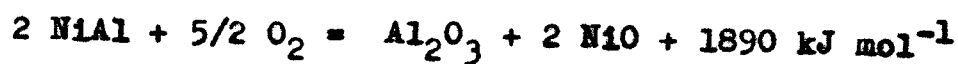
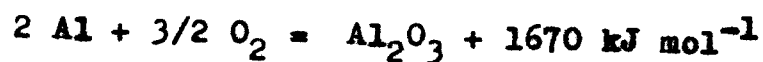
- při 660°C se tvoří β - NiAl_3 fáze, roste teplota soustavy, což vede k dalšímu rozpouštění Ni v tavenině Al
- při teplotě asi 854°C se β - NiAl_3 fáze rozloží na γ - Ni_2Al_3 + taveninu za dalšího rozpouštění Ni v tavenině a vyvíjení dalšího tepla; γ - fáze se tvoří velmi rychle, což vede rovněž k rychlému zvýšení teploty soustavy
- při teplotě nad 1133°C nastává rozpad γ - Ni_2Al_3 fáze na NiAl fázi a taveninu; jestliže je teplota soustavy dostatečně vysoká a vydrží potřebnou dobu, tavenina je složena z většího podílu β - Ni Al a fáze α' - Ni_3Al

V tabulce 2 jsou uvedeny exotermické aluminidové reakce AlNi 80 /3/.

Tab. 2

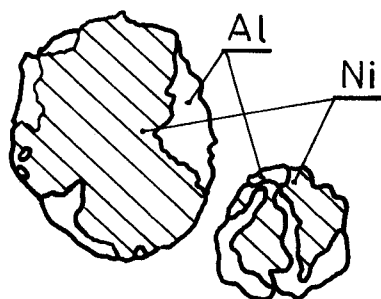
fáze	rychlost	tepelný zisk H	
		J mol^{-1}	J kg^{-1}
NiAl_3	velmi pomalá	$153 \cdot 10^3$	$1096 \cdot 10^3$
Ni_2Al_3	velmi rychlá	$384 \cdot 10^3$	$1967 \cdot 10^3$
NiAl	velmi pomalá	$119 \cdot 10^3$	$1389 \cdot 10^3$
Ni_3Al		$157 \cdot 10^3$	$733 \cdot 10^3$

Kromě uvedených aluminidových reakcí mohou proběhnout ještě doplňující aluminiové oxidační reakce, při kterých vznikají oxidy hliníku. Jsou to tyto reakce:

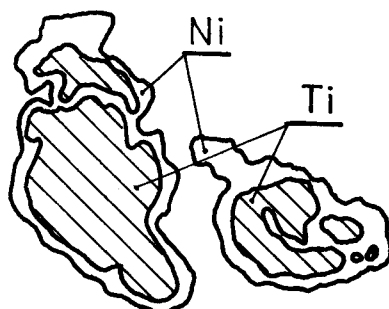


Rentgenová spektrální mikroanalýza

Rentgenová spektrální mikroanalýza je metoda pro zjištění chemického složení v našem případě prášků vykazujících exotermickou reakci. Citovaný autor došel k závěrům, které graficky zobrazeny na obr. 6 a 7.



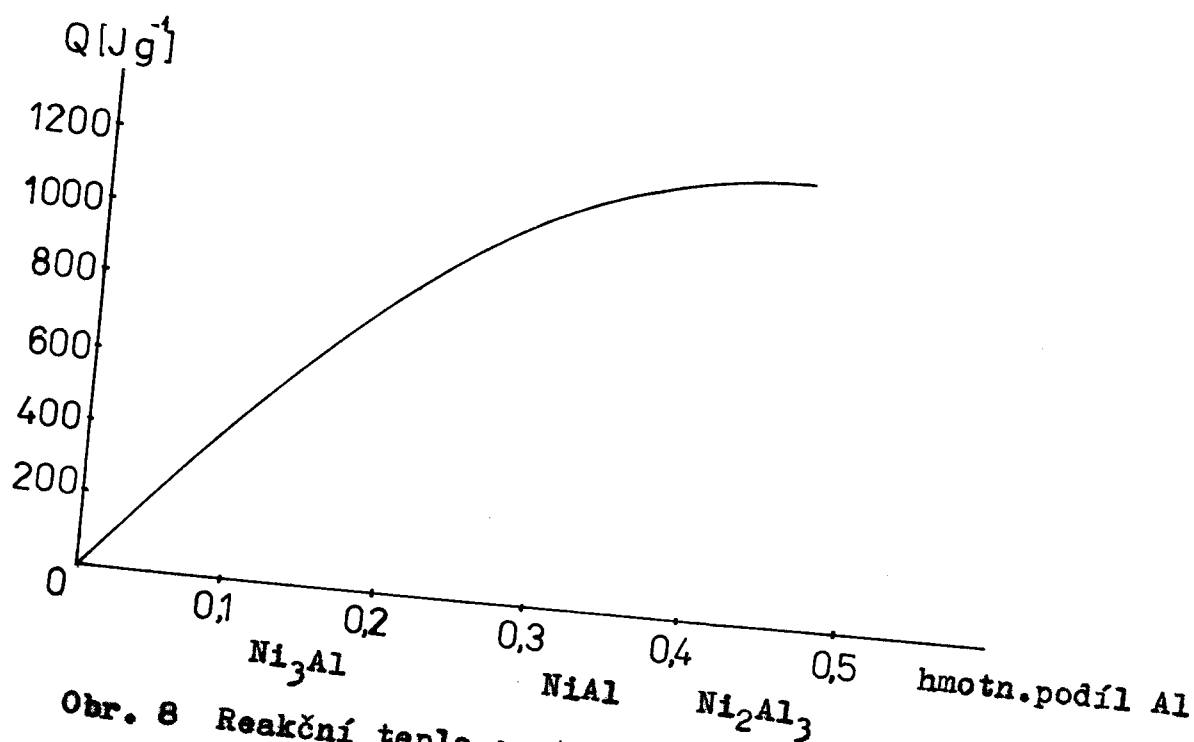
Obr. 6 Zrno přídavného materiálu METCO 450; výsledek rentgenové spektrální mikroanalýzy zrna METCO 450 /3/.



Obr. 7 Zrno přídavného materiálu TiN 46; výsledek rentgenové spektrální mikroanalýzy zrna TiN 46 /3/.

Na základě provedených měření byly učiněny citovaným autorem tyto závěry:

- směs Al - Ni prášku vykazuje velmi silnou exotermickou reakci, začínající při teplotě kolem 640°C , u které reakční teplo závisí na hmotnostním podílu hliníku ve směsi (obr. 8)
- maximální výtěžnost směsi se pohybuje okolo 50 % hmotnostního podílu hliníku, což odpovídá složení mezi intermetalickými sloučeninami Ni_2Al_3 a NiAl_3
- doba dosažení maximální reakční rychlosti nezávisí na hmotnostním podílu hliníku a pohybuje se v rozmezí 10 až 15 sekund
- celková výtěžnost prášku METCO 450 je asi $165 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$



Obr. 8 Reakční teplo exotermické reakce směsi Al-Ni /3/

2.6.2. Použití prášků s exotermickou reakcí

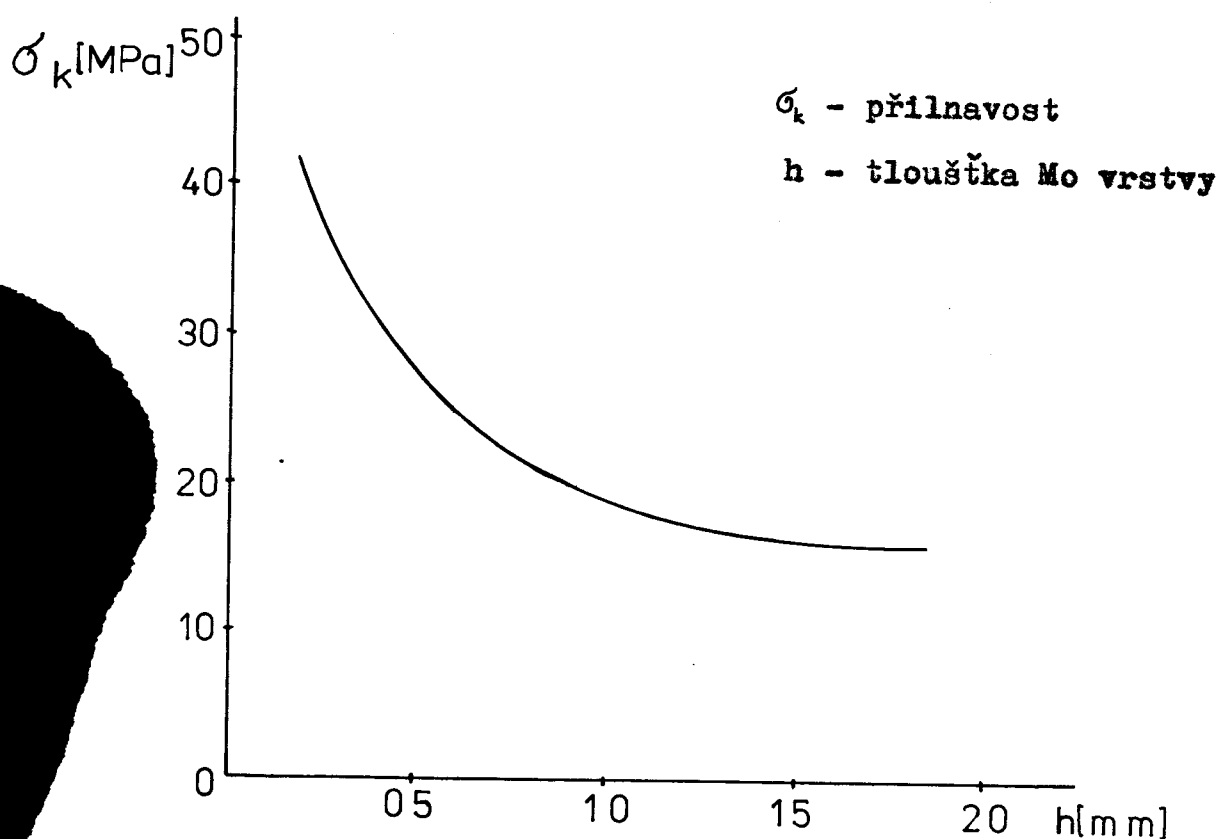
Použitie Ni-Al kompozitných práškov pri žiarovom striekaní práškov v renovácii /4/.

Hlavním problémem při stříkání prášků plamenem případně plazmou je zabezpečení dostatečné přilnavosti povlaku základnímu materiálu. Vznik pevných vazeb bude záviset na aktivaci atomů povrchu základního materiálu. Tohoto dosáhne pomocí tepelných a chemických metod. Z tepelných metod je zejména předehřev základního materiálu. Z chemických metod je to hlavně předběžná abrazivní úprava povrchu. Jestliže při stříku použijeme termoreagujících prášků s vyšší entalpií, stanou nám zachovány všechny výhody žárového stříkání. To znamená, že při stříkání kovových a keramických exotermických prášků by nenastalo tepelné ovlivnění základního materiálu a povlak by kopíroval povrch součástí jako při práškovém navařování plamenem.

Zkoušky přilnavosti provedené ing. Michalem Čomajem ukázaly, že nejvhodnější metodou předběžné úpravy povrchu před stříkáním je jeho otryskání drtí TP D₂ = 1,12 mm.

Tyto zkoušky dokazují, že při optimálně upraveném povrchu a s mezivrstvou Ni - Al dosáhneme až pětinasobně vyšší přilnavost oproti povlakům bez mezivrstvy. Nástřík však musí být proveden co nejdříve po úpravě povrchu základního materiálu, neboť s časem klesá jeho aktivita. Po šesti hodinách po úpravě povrchu byly zjištěny hodnoty přilnavosti o 22 - 36 % nižší.

Soudržnost nástříku a základního materiálu velmi úzce souvisí také s tloušťkou nástříkané vrstvy /5/. Autoři ing. Emil Ragan CSc a ing. František Jaš CSc vycházeli z toho, že jednotlivé vrstvy jsou namáhány střídavě na tah a tlak. Při zvyšování tloušťky stříkané vrstvy dochází jednak k růstu trhlin mezi stříkanými vrstvami a jednak ke vzniku dalších trhlin. Závislost přilnavosti na tloušťce stříkané vrstvy molybdenu ukazuje obrázek 9.



Obr. 9 Grafický průběh naměřených hodnot přilnavosti molybdenových nástříků na ocelovém základním materiálu v tepelně nezpracovaném stavu v závislosti na tloušťce nástříku /5/.

3. PRAKTICKÁ ČÁST

3.1. ZAŘÍZENÍ PRO STŘÍKÁNÍ PRÁŠKŮ PLAMENEM

Pro nanášení práškových přídavných materiálů plamenem byly vyvinuty různé typy speciálních hořáků. U nás jsou to hořáky typu NPK 1, NPK 2, NPK 3, které se od sebe liší výkonem. S těmito hořáky je možno pracovat ve všech polohách. Hořáky pracují na principu dvoustupňového směšovacího ústrojí. V prvním dochází k nasávání prášku ze zásobníku do dopravního systému kyslíkem, ve druhém dochází ke smíšení prášku a kyslíku s acetylénem.

Ze zahraničních výrobků jsou nejznámější přístroje švýcarské firmy Castolin Eutectic. Pro navařování rotačních součástí je to model RW, pro vysoké výkony je vhodný model C. Pro stříkání prášků s exotermickou reakcí firma Castolin Eutectic vyvinula několik systémů. Jednolivé přístroje se od sebe liší svými technickými parametry, svým určením a použitím externího zdroje nosného tlakového plynu. Jsou to přístroje RotoTec, RotoLoy a CastoDyn. Všechny tyto hořáky jsou použitelné i pro žárové stříkání.

1.1. Systém RotoLoy

Základní princip systému RotoLoy je injektorový, což znamená, že prášek je přiváděn do proudu plynu. Oddělený systém umožňuje nasávat prášek pomocí zvláštního transportního plynu a přivádět ho do plamene. Tento systém se však nemusí používat.

V závislosti na hustotě a struktuře částic práškových slitin je možno dosáhnout výkonu až $8 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1}$ při dosažení vyhovujícího stupně hospodárnosti a účinnosti. Systém RotoLoy je možno použít pro nástřiky na rotační i rovinné součásti. Firma Castolin Eutectic dodává řadu speciálních

nástavců, pomocí kterých lze provádět nástřik i v dutinách a na těžko přístupných místech.

RotoLoy je přístroj, pomocí kterého lze stříkat všechny práškové slitiny serie RW, slitiny RotoTec serie 19 000 a 29 000 a slitiny serie 12 000. Při použití prášků typu RW se slitina nejdříve nastříká na povrch součásti a potom se přetaví. Při zpracování slitin typu RotoTec se vždy nastříká spojovací vrstva tloušťky 0,15 - 0,20 mm slitinou Ultra Bond 25 000, nebo Xuper Bond 29 905. Na ní se nastříká libovolná slitina RotoTec. Přehled práškových materiálů je uveden v příloze. Výhodou tohoto postupu je, že základní materiál se ohřívá pouze na asi 200°C a proto téměř nevznikají deformace součástí.

Technické údaje systému RotoLoy

Topný plyn: acetylén, spotřeba 950 litrů za hodinu
Oxidační plyn: kyslík, spotřeba 950 litrů za hodinu
Způsob přípravy směsi: injektorový
Výkon: tryska RL - 100 6 - 8 kg za hodinu
 tryska RL - 110 3,5 - 6,5 kg za hodinu
Provozní tlaky: kyslík 0,4 MPa
 acetylén 0,07 MPa
Stříkací vzdálenost: 200 mm
Vodová rychlost rotačně
 stříkaných součástí : 20 - 25 m min⁻¹
 na otáčku: 3 - 6 mm

1.2. Systém CastoDym 2000

Systém CastoDym 2000 je přístrojový systém pracující na stejném principu jako systém RotoLoy. Skládá se z těchto částí:

- stříkací pistole Castolin typ CDS 2000
- armaturové příslušenství Castolin typ CDS 2000

- příslušenství průtokoměru typ CDS 2000
- příslušenství omezovače tlaku stlačeného vzduchu Castolin typ CDS 2000

Základní konstrukce stříkací pistole spočívá na injektorovém principu pro prášky i plyny. Dopravu prášků zajišťuje nosný proud plynu, který prášek injektorovým způsobem nasává a nese jej ke stříkací trysce.

Za normálních okolností pracuje přístroj s acetylénem a kyslíkem, přičemž se uvnitř odděluje část kyslíku od hlavního proudu a slouží jako nosný plyn. K docílení speciálních stříkaných vrstev např. vrstev chudých na oxidy je možné připojení externě přiváděných nosných plynů. Přitom se používá argon, helium, dusík, oxid uhličitý nebo vzduch.

Reprodukovatelnost nástřiků je mimo jiné závislá na dodržení parametrů stříkání. Aby bylo možné při provozu stříkací pistole definovat a udržovat konstantní průtok acetylénu a kyslíku, je systém vybaven průtokoměrem s příslušenstvím. Tyto přístroje ukazují poruchy stoupáním nebo klesáním vznasejících se tělísek.

U systému CastoDyn 2000 je možno pro nástřik obrobků tenkými stěnami, u kterých je nebezpečí přehřátí, použít hlavního chladičího zařízení CastoJet. Zvláště účinný chladičí plyn je oxid uhličitý.

Technické údaje systému CastoDyn 2000

Popný plyn : acetylén, spotřeba 930 ± 30 l hod⁻¹
 Oxidační plyn: kyslík, spotřeba 990 ± 30 l hod⁻¹
 Způsob přípravy směsi: injektorový
 Chladičí plyny: stlačený vzduch, inertní nebo aktivní plyny
 Stříkací vzdálenost: 50 - 200 mm podle stříkaného materiálu

Tlak vzduchu pro přídavné chlazení CastoJet :	0,1 - 0,6 MPa
Provozní tlaky : acetylén	0,07 MPa
kyslík	0,40 MPa
Obvodová rychlost rotačně symetrických součástí :	15 - 60 m.min ⁻¹
Posuv na otáčku :	3 - 6 mm

Pro systém CastoDyn 2000 jsou používány tyto stříkací trysky:

- RL - 100 převážně pro prášky Meta Ceram serie 29 000
- RL - 110 převážně pro prášky Meta Ceram serie 23 000
- RL -1012 převážně pro prášky Meta Ceram serie 28 000

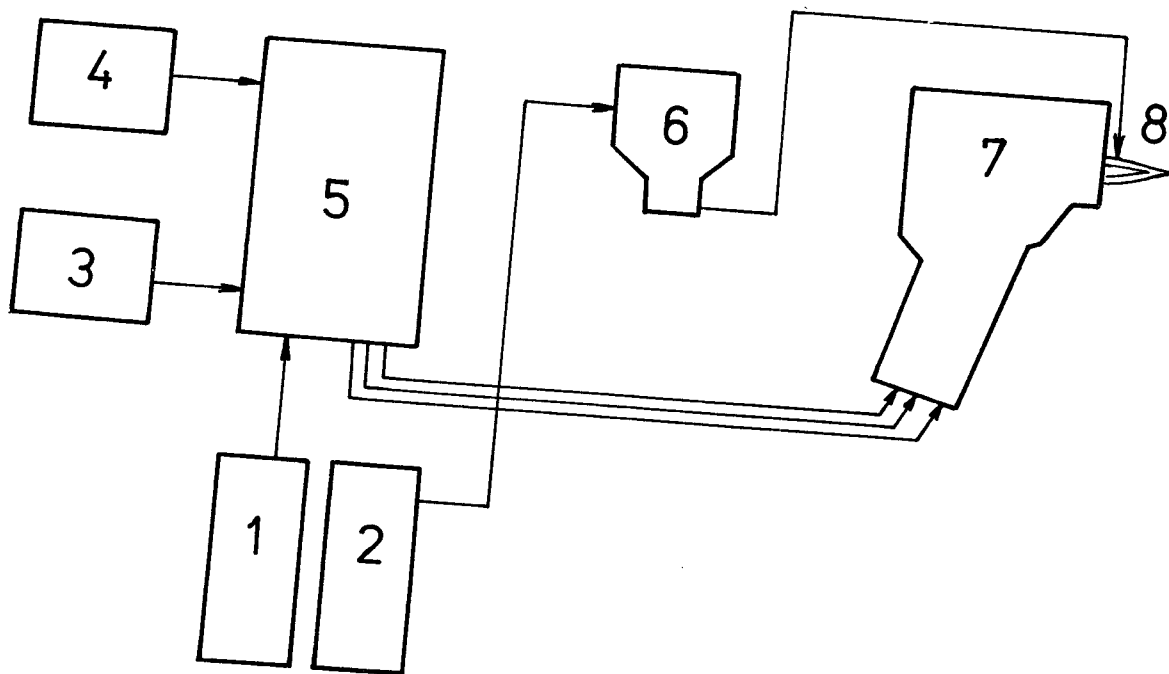
Z uvedeného je patrné, že systémy RotoLoy a CastoDyn 2000 se od sebe mnoho neliší, pouze pomocí systému CastoDyn můžeme stříkat i keramické materiály.

3.2. ZARÍZENÍ PRO STŘÍKÁNÍ PRÁŠKOVÝCH SLITIN PLAZMOU

V současné době se používají zařízení s plynovou i vodní stabilizací plazmy. V drtivé většině se však užívá zařízení s plynovou stabilizací.

Nyní se začala používat zařízení pro plazmová stří-
třetí generace. Jsou to výkonná zařízení bezpečná v pro-
umožňující průmyslové nasazení a vybavená automati-
Mezi takováto zařízení patří i zařízení firmy Plazma
unic - Švýcarsko, pracující podle systému SNECMA.
to zařízení sestává ze:

- 2 křemíkových usměrňovačů
- 1 řídicí a kontrolní skříň
- 1 plazmového hořáku
- 1 chladiče
- 1 podávací jednotky
- 1 plazmového hospodářství



Obr. 10 Schéma zařízení pro stříkání pomocí plazmy;
 1 - dopravní plyn, 2 - plazmový plyn, 3 - chlazení,
 4 - zdroj el.energie, 5 - řídicí skříň, 6 - podavač
 7 - hořák, 8 - plazmový paprsek

Plazmový paprsek získaný systémem SNECMA dává hustotu energie 10^5 - 10^6 W.cm⁻². Výstupní rychlost paprsku je vyšší než 1000 m . sec⁻¹, teplota ve vzdálenosti asi 100 mm je kolem 1000°C. Největší výhodou tohoto zařízení je automatizace a možnost předvolby parametrů stříkání. Přesnost nastavení parametrů při opakovaném nástřiku je $\pm 1,5$ %.

3.3. PŘÍPRAVA ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU

U nástřiků má rozhodující podíl na přilnavost povlaku příprava základního materiálu. Protože dopadající částice při nárazu na povrch součástí se na základě jeho nerovností deformují a spojují se s nimi, musí být tento náležitě upraven.

V první řadě je nutné povrch odmastit. Jako odmašťovací prostředek se dobře osvědčuje trichloretylén. Při přípravě povrchů součástí ze šedé litiny nebo porézních materiálů se doporučuje tyto vyhřát na teploty 260 - 530°C, kdy nastává vyhoření mastnoty. V případě, že je na povrchu součástí vytvořena vrstva oxidů, doporučuje se použít pro jejich odstranění kyseliny solné.

Vlastní zdrsňení povrchu, které po odmaštění následuje lze provést několika způsoby:

- tryskáním povrchu
- mechanicky
- chemicky
- ostatními netradičními způsoby

3.1. Tryskání povrchu

Tryskání povrchu před prováděním vlastního nástřiku patří mezi nejpoužívanější úpravy povrchu. Jako tryskacího média lze použít kovové i nekovové částice. Mezi kovové částice patří litinové broky, případně ostrohranná litinová drť a ocelový sekany drát. Nevýhodou těchto kovových částic je jejich velká kinetická energie, která způsobuje zejména u měkkého základního materiálu značnou deformaci povrchu, která není vždy žádoucí.

Z nekovových tryskacích médií se v praxi nejlépe osvědčil umělý korund hnědý. Umělý korund má však tu nevýhodu, že při opakovaném použití dochází k rozbití jeho zrn na jemnou frakci. Proto je nutno vybavit tryskací zařízení separátorem, který by tuto jemnou frakci odděloval. Optimální tlak vzduchu při tryskání se pohybuje 0,4 - 0,5 MPa /6/.

Otryskáním dochází k deformaci a tím i ke zpevnění povrchové vrstvy tryskaného kovu. Deformací mřížky v této oblasti dochází k nahromadění čarových a bodových poruch. Značná aktivita povrchu v době stříkání zlepšuje podmínky pro spojení nástřiku a základního materiálu.

3.3.2. Příprava povrchu mechanickým způsobem

Mechanický způsob přípravy povrchu používáme v případě, že nanášíme silnou vrstvu a dále v případě, že nástřik bude vystaven vysokým tlakům.

Princip mechanické přípravy povrchu spočívá ve výrobě drážek, závitů, rybinových drážek a pod. na povrchu součástí. Tyto drážky pak slouží k lepšímu „zakotvení“ nástřiku. Je zřejmé, že takto lze připravovat pouze povrchy materiálů dobře obrobitelných, nelze užít pro rozměrné součásti a pro případy, že budeme nanášet pouze tenkou vrstvu. Tuto metodu lze užít i tehdy potřebujeme-li opravit defekty na dříve již nástříkané vrstvě.

Před nástřikem na mechanickým způsobem připravený povrch se provádí ještě otryskání tohoto povrchu.

3.3.3. Příprava povrchu chemickým způsobem

Chemická příprava povrchu před nástřikem je založena na leptání. Leptání probíhá různou rychlostí u krystalů

a mezikrystalických povrchů, což způsobuje zdrsňení povrchu.

Aby leptání probíhalo intenzivně, doporučuje se provést předem tepelné zpracování základního materiálu, které by zajistilo velké zrno a tím i lepší leptatelnost povrchu. Nevýhodou přípravy povrchu touto metodou je, že po naleptání zůstanou v povrchu zbytky leptadla, které mohou způsobit rozrušení nástřiku.

3.4. PRÁŠKOVÉ PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY

Ve VÚZ Bratislava byly vyvinuty práškové přídatné materiály na bázi niklu. Jsou legovány B, Si, Cr, Mo, Cu. Výrobce těchto prášků je ZVL n.p. Dolný Kubín.

Seznam práškových slitin vyráběných v ZVL Dolný Kubín:

- K 20 : Práškový materiál na bázi Ni, B, Si, tvrdost návaru asi 17-25 HRC, teplota tavení 1070°C, výborná odolnost proti abrazivnímu opotřebení a korozi.
- K 30 : Práškový přídatný materiál na bázi Ni, B, Cr, Si, tvrdost návaru asi 30-40 HRC, teplota tavení 1070°C, odolnost proti rázovému namáhání, abrazi a korozi, nízký koeficient tření.
- K 40 : Práškový materiál na bázi Ni, B, Cr, Si, tvrdost návaru 40-50 HRC, teplota tavení 1070°C, odolnost proti rázovému namáhání, abrazi a korozi velmi dobrá, nízký koeficient tření.
- K 50 : Práškový materiál na bázi Ni, B, Cr, Si, tvrdost návaru 50-55 HRC, teplota tavení 1010°C, odolný proti rázovému namáhání, abrazi a korozi, nízký koeficient tření.
- K 55 : Práškový materiál na bázi Ni, B, Cr, Si, W, Mo, tvrdost návaru 55-60 HRC, teplota tavení 1030°C, prášek má navíc při roztavení vyšší viskozitu a je vhodný pro malé průměry rotačních ploch.

K 60 : Práškový materiál na bázi Ni, B, Cr, Si, W, tvrdost návaru 60-65 HRC, teplota tavení 1100°C, velmi vysoká odolnost vůči abrazi.

Přehled zahraničních prášků:

Prášky serie 28 000 jsou keramické přídavné materiály tvořené směsí oxidů. Patří sem :

- 28 020 : Prášek tvořený směsí Al_2O_3 - 97 % a TiO_2 - 3 %, možno použít do teploty 1000°C, tvrdost 1900 HV.
- 28 030 : Prášek se skládá z 87 % Al_2O_3 a 13 % TiO_2 , možno použít do teploty 1000°C, tvrdost 1600 HV.
- 28 060 : Prášek se skládá ze 60 % Al_2O_3 a 40 % TiO_2 , možno použít do teploty 700°C, tvrdost 1200 HV.
- 28 085 : Prášek se skládá ze 70 % ZrO_2 a 30 % CaO, tvrdost návaru 700 HV, vysoce odolný zvýšeným teplotám - - použitelný do 1200°C.
- 28 095 : Molybdenový nástřík užitečný do 400°C, tvrdost 900 HV, užívá se jako podkladový nástřík, který zlepšuje přilnavost krycích vrstev.

Prášky vykazující exotermickou reakci:

UltraBond 25 000 : Heterogenní směs NiAl + Ni_3Al , zrna mají kulovitý tvar, jejich jádro tvoří Ni, okraj Al. Používá se jako podkladová vrstva.

SuperBond 29 905 : Heterogenní směs NiAl + NiAl_3 + oxidy. Kulovitá zrna, měrná hmotnost 6850 kg.m^{-3} . Používá se jako podkladová vrstva.

SuperUltraBond 50 000 : Heterogenní směs Ni + Al + Ti. Oproti XuperBondu má zlepšené mechanické vlastnosti - vyšší tvrdost. Používá se jako podkladová vrstva.

Diamax 19 112 : Základ tvoří Ni, Cr, Al a karbidy wolframu. Tvrdost HB_{10/5/10} = 175, měrná hmotnost 7720 kg m⁻³. Nástřík má velmi jemnou strukturu, je odolný proti opotřebení, korozi a zvýšeným teplotám. Používá se jako krycí, je obrobiteľný - výrobce doporučuje broušení SiC.

ChromTec 19 222 : Základ tvoří Ni a Cr. Tvrdost návaru HB_{10/5/10} = 150, měrná hmotnost 8110 kg m⁻³. Nástřík má velmi hutnou strukturu, je dobře obrobiteľný. Používá se jako krycí.

FrixTec 19 850 : Základ tvoří Cu a Al. Tvrdost HB_{10/5/10} = 110-120, měrná hmotnost 7520 kg m⁻³. Zde se jedná o bronzový prášek s dobrými kluznými vlastnostmi. Tloušťka nanášené vrstvy může být větší než 3 mm, aniž by docházelo ke zmenšení přilnavosti. Používá se jako krycí.

DuroTec 19 910 : Heterogenní směs Ni + Cr + Si. Tvrdost návaru 310-380 HV, měrná hmotnost 8110 kg m⁻³. Po nastříkání se tento materiál vyznačuje jemnou strukturou. Je odolný zvýšeným teplotám a korozi. Nanáší se ve vrstvě max. 3 mm. Vhodný k obrábění broušením kotoučem SiC nebo korundem.

Sáhlejší přehled prášků pro stříkání plamenem i plazmou uveden v příloze.

3.5. PŘÍPRAVA VZORKŮ NASTŘÍKANÝCH MATERIÁLŮ

Jako vzorku pro nastříkání plamenem bylo použito trubky o vnějším ϕ 48 mm a vnitřním ϕ 42 mm z oceli 11 368. Plochy určené k navaření byly otryskány korundem při tlaku tryskacího média 0,4 MPa. Potom byla trubka upnuta do svěráku

a byly provedeny nástřiky. Nástřik byl proveden ve vzdálenosti 120 mm.

Pro nástřik bylo použito stříkací pistole CastoDyn v seřízení: tlak kyslíku 0,4 MPa, tlak acetylénu 0,07 MPa. Použitou tryskou byla tryska RL 1012. Stříkací pistole byla během nástřiku upnuta. Obvodová rychlost odpovídající otáčkám 3 s^{-1} a průměru 48 mm byla $27,14 \text{ m min}^{-1}$, posuv 3 mm ot^{-1} . Nejdříve byl povrch nástříkán práškem 28 095, který se užívá jako podkladový. Na tento nástřik byly potom nástříkány postupně prášky 28 020, 28 030 a 28 060.

Potom byla zvýšena posuvová rychlost na 8 mm ot^{-1} . Tímto budou dále zjištěny vlivy stříkacích parametrů na přilnavost a tloušťku vrstvy. Při této rychlosti posuvu byl vzorek nástříkán podkladovou Mo vrstvou, na kterou byla nanesena krycí vrstva 28 085.

Konec trubky byl nástříkán samotnou Mo vrstvou při dodržení parametrů předepsaných výrobcem.

Nástřik byl proveden v Praze v servisu firmy Castolin.

Z této trubky byly odebrány vzorky a vyhotoveny metalografické výbrusy. Trubka byla podélně rozříznuta ruční pilou. Z jedné poloviny byly odebrány opět ruční pilou vzorky na výbrusy, na druhé polovině byly prováděny měření tvrdosti povrchu a zkoušky přilnavosti. Při rozřezávání nedošlo u povrchového nástřiku 28 085 k jeho odlupování. U ostatních vrstev k odlupování nedocházelo.

Plazmatický nástřik byl proveden na plazmovém stříkacím zařízení SNECMA, které vyrábí firma Plazma Technic ve Švýcarsku. Keramický prášek 28 020 byl nástříkán na plech tloušťky 2 mm z oceli 11 373, jehož povrch byl abrazivně upraven. Parametry nástřiku:

průtočný tlak H_2 :	0,15 MPa
průtočný tlak Ar :	0,15 MPa

napětí : 70 V
proud : 490 A
stříkací vzdálenost : 135 mm
podélný pohyb hořáku : 10 m min⁻¹
příčný pohyb hořáku : 200 m min⁻¹

Nástřík byl proveden v kp. Elitex, závod Jablonec n.N.
Z tohoto vzorku byl opět ruční pilou odebrán vzorek.
Při oddělování nedocházelo k odlupování nástříku.

Potom byly všechny vzorky jednotlivě zality do denta-
krylu a zhotoveny metalografické výbrusy. Protože však do-
cházel k prolešťování vzorků, byly vylomeny a zality vždy
po dvou nástříkem k sobě. Tím bylo zamezeno prolešťování.

3.5.1. Vzorek s keramickým povlakem 28 020 stříkaný plamenem

Prášek 28 020 je směsí oxidů Al_2O_3 a TiO_2 . Al_2O_3 má
teplotu tavení 2030°C, TiO_2 1950°C. Tato směs obsahuje
97 % Al_2O_3 a 3 % TiO_2 .

Fotografie metalografického výbrusu byla zhotovena
na mikroskopu Neophot 2. Musela být kopírována nejdříve
z kratším čase, čímž je zviditelněna vrstva 28 020, ale ne-
zřejmá podkladová vrstva Mo. Při kopírování delším časem
zviditelněna pouze Mo vrstva (obrázek 11 a 12).

Tloušťka vrstev byla proměřována na mikroskopu NU - 2
50 místech. Tloušťka krycí vrstvy se pohybuje od 0,034 mm
do 0,181 mm, průměrná tloušťka je 0,131 mm.

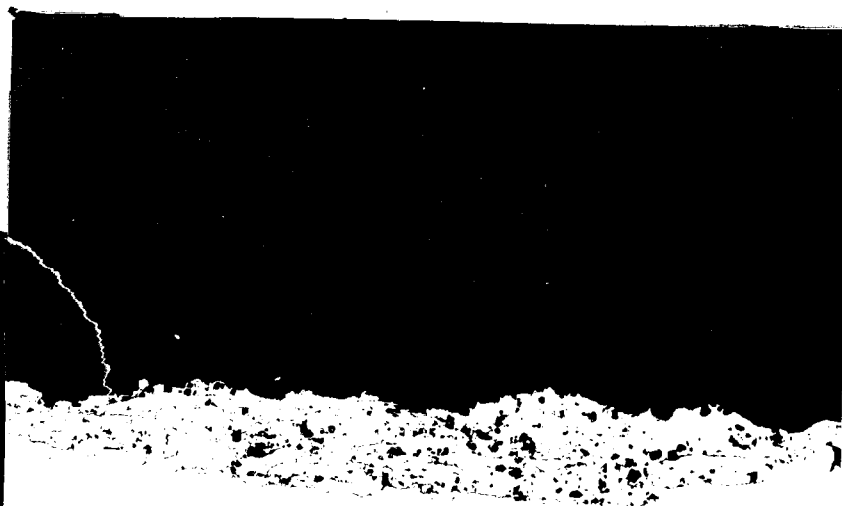
Tloušťka podkladové Mo vrstvy se pohybuje od 0,025 mm
do 0,112 mm, průměrná tloušťka je 0,082 mm. Dále byla proměřo-
vána celková tloušťka obou nástříků. Nejmenší naměřená tloušť-
ka je 0,140 mm, největší 0,209 mm. Průměrná hodnota je 0,173
mm.



150x

neleptáno

Obr.11 Nástřík 28 020 na podkladové vrstvě Mo; krycí vrstva 28 020



150x

neleptáno

Obr.12 Nástřík 28 020 na podkladové vrstvě Mo; podkladová vrstva Mo

Z fotografie na obr.11 je zřejmé, že nástřík je pórovitý - tmavé skvrny a dále je vidět jeho značně proměnlivá tloušťka. Na fotografii Mo nástříku (obr.12) jsou opět vidět tmavé póry a dále rozvrstvení Mo do tenkých vrstviček, které vznikaly postupně při nástříku.

Na metalografickém výbrusu byla též měřena mikrotvrdost jednotlivých vrstviček. Bylo použito mikrotvrdoměru PMT - 3, jehož výrobcem je Kalibr Moskva, s objektivem zvětšujícím 32x a okulárem Zeiss zvětšujícím 15x. Při měření bylo použito zatěžovacích sil 1,962 N a 0,981 N. Při zatížení 0,4905 N nebylo možné mikrotvrdost měřit, neboť vtisky nebyly zřetelné. Při zatížení 1,962 N docházelo v některých místech k drcení povlaků a vtisky byly nepravidelné. Z toho je zřejmé, že vlastnosti nástříku nejsou ve všech místech stejné. Mikrotvrdost byla počítána podle vztahu

$$HM = \frac{2 \cdot 10^6 F \sin 68^\circ}{d^2} \quad /1/$$

kde F je zatěžovací síla /N/

d^2 je plocha vtisku /mm²/

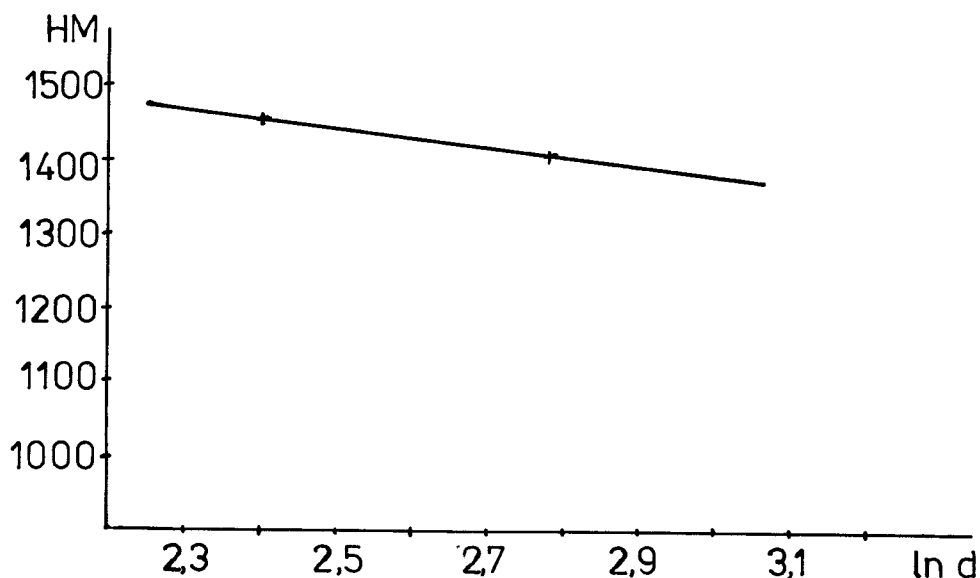
HM je mikrotvrdost /N.mm⁻²/

Měřené a vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.

3

Zatížení /N/	0,981		1,962	
	d /μm/	HM	d /μm/	HM
měření				
1	11,162	1460	16,120	1400
2	11,094	1478	15,979	1425
3	11,178	1456	16,138	1397
4	11,147	1464	15,950	1430
5	11,170	1458	16,035	1415
prům. hodnota	11,150	1463,2	16,044	1413,4

Pro jednotlivá zatížení byly vypočteny průměrné hodnoty HM a d. Z těchto hodnot byl sestrojen graf (obr.13), ze kterého byla odečtena mikrotvrdost podle Vickerse při jednotné úhlopříčce vtisku $10\mu m$. Tato hodnota pro prášek 28 020 je $HM_{10\mu m} = 1470$.



Obr. 13 Závislost hodnoty HM na přirozeném logaritmu d pro prášek 28 020 nanášený plamenem

3.5.2. Vzorek s keramickým povlakem 28 030

Prášek 28 030 je opět směsí oxidů Al_2O_3 a TiO_2 . Obsahuje 87 % Al_2O_3 a 13 % TiO_2 . Větší podíl TiO_2 oproti 28 020 způsobuje jeho tmavší barvu.

Fotografie metalografického výbrusu musela být stejně jako u 28 020 kopírována na dvakrát (obr. 14 a 15).

Tloušťka vrstev byla měřena na stejném přístroji jako v předchozím případě, na 50 místech výbrusu. Tloušťka krycí vrstvy se pohybuje od 0,067 mm do 0,184 mm. Průměrná hodnota je 0,153 mm. Podkladová vrstva Mo má minimální tloušťku 0,006 mm, maximální 0,110 mm. Průměrná hodnota je 0,079 mm. Tloušťka celého nástřiku se pohybuje od 0,133 mm do 0,211 mm. Průměrná tloušťka je 0,169 mm.



150x

neleptáno

Obr.14 Nástřík 28 030 na podkladové vrstvě Mo; krycí
vrstva 28 030



150x

neleptáno

Obr.15 Nástřík 28 030 na podkladové vrstvě Mo; podkla-
dová vrstva Mo

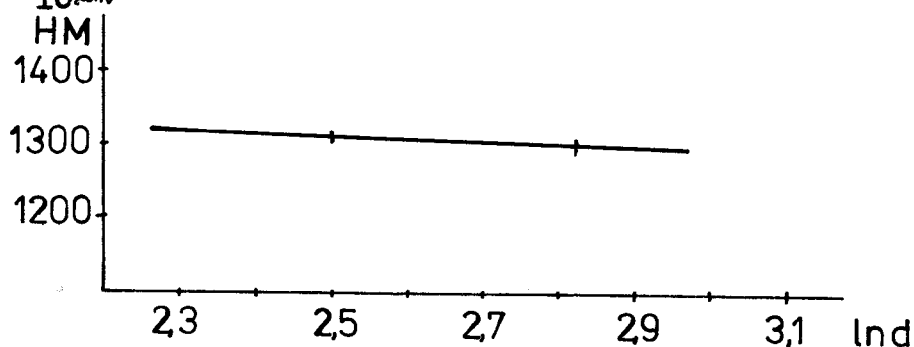
Z fotografie na obr.14 je zřejmé, že nástřík je pórovitý více než nástřík 28 020. Nástřík Mo (obr.15) je opět rozvrstven. Na fotografii tohoto nástříku jsou vidět četné rýhy na základním materiálu. Ty vznikly při leštění, kdy se z tvrdého keramického nástříku uvolňují drobné částičky, které tyto rýhy způsobují. Zhotovit metalografický výbrus keramických nástříků je složitější než u běžných materiálů a vyžaduje to více času a trpělivosti.

Mikrotvrдость byla opět měřena na mikrotvrdoměru PMT - 3 se stejným okulárem i objektivem jako v předchozím případě. Zatěžovací síly byly voleny též stejně. Pro výpočet HM byl užit vztah /1/. Naměřené a vypočítané hodnoty jsou pro povlak 28 030 uvedeny v tab. 4.

Tab. 4

zatížení /N/	0,981		1,962	
č.měření	d / μ m /	HM	d / μ m /	HM
1	11,704	1328	17,040	1253
2	11,968	1270	16,755	1296
3	11,861	1293	16,697	1305
4	11,762	1315	16,787	1291
5	11,784	1310	16,814	1287
prům. hodnota	11,816	1303,2	16,819	1286,4

Pro průměrné hodnoty HM a d byl sestrojen graf (obr.16), ze kterého byla odečtena hodnota pro prášek 28 030 $HM_{10\mu m} = 1310$.

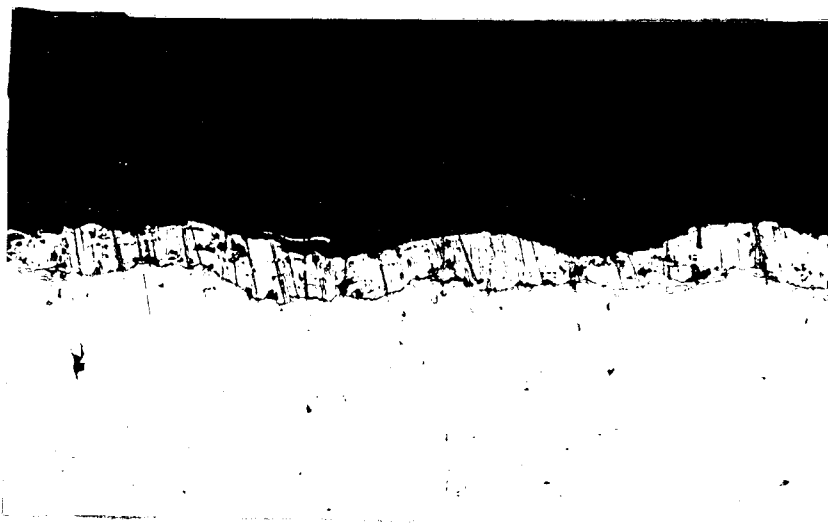


Obr.16 Závislost hodnoty HM na $\ln d$ pro prášek 28 030

3.5.3. Vzorek s keramickým povlakem 28 060

Tento keramický prášek je směsí 60 % Al_2O_3 a 40 % TiO_2 . Poměrně vysoký obsah TiO_2 oproti 28 020 a 28 030 způsobuje jeho tmavou barvu.

Fotografie metalografického výbrusu tohoto vzorku byla kopírována najednou (obr.17).



150x

neleptáno

Obr.17 Nástřík 28 060 na podkladové vrstvě Mo

Tloušťka vrstev byla měřena na mikroskopu NU-2. Tloušťka krycí vrstvy 28 060 se pohybuje od 0,030 mm do 0,096 mm. Průměrná hodnota je 0,052 mm. Nejmenší tloušťka Mo vrstvy je 0,016 mm, největší 0,103 mm. Průměrná hodnota z 50 měření je 0,075 mm. Tloušťka celého nástříku se pohybuje od 0,050 mm do 0,148 mm, přičemž její průměrná hodnota je 0,133 mm.

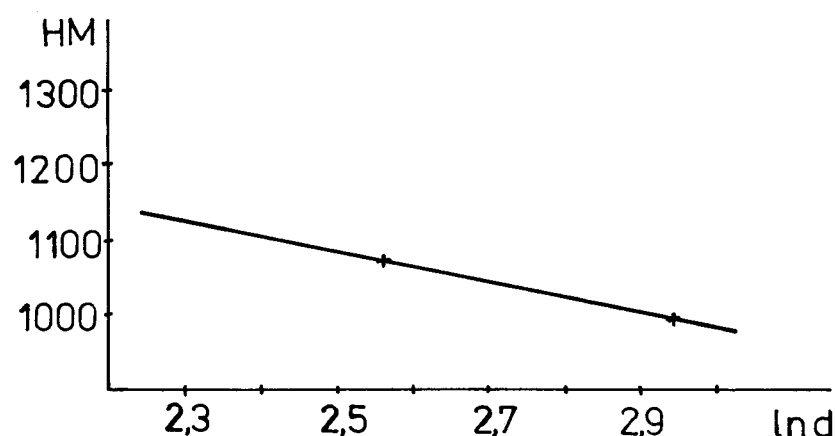
Pro měření mikrotvrlosti byl použit stejný přístroj jako v předchozích případech. Bylo užito i stejné zatížení - 1,962 N a 0,981 N. Při zatížení 0,4905 N nebyly již vtisky zřetelné. Při zatížení 2,943 N docházelo k dráčení povlaku. Pro výpočet HM byl použit vztah /1/. Naměřené a vypočtené hodnoty pro materiál 28 060 jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5

zatížení /N/	0,981		1,962	
č.měření	d / μm /	HM	d/ μm /	HM
1	13,590	985	19,268	980
2	12,044	1254	19,113	996
3	12,883	1096	19,348	972
4	13,730	965	19,219	985
5	13,137	1054	18,739	1036
prům. hodnota	13,077	1070,8	19,137	993,8

Pro průměrné hodnoty HM a d byl sestrojen graf (obr. 18), ze kterého byla odečtena hodnota pro prášek 28 060

$$HM_{10\mu\text{m}} = 1120.$$



obr. 18 Závislost hodnoty HM na $\ln d$ pro prášek 28 060

5.4. Vzorek s keramickým povlakem 28 085

Tento prášek je tvořen směsí oxidů ZrO_2 a CaO . Teplota tavení ZrO_2 je 2677°C . Tento prášek je užíván pro povlaky s velmi dobrou odolností proti vysokým teplotám. Skládá se ze 70 % ZrO_2 a 30 % CaO . Nástrík je bílý.

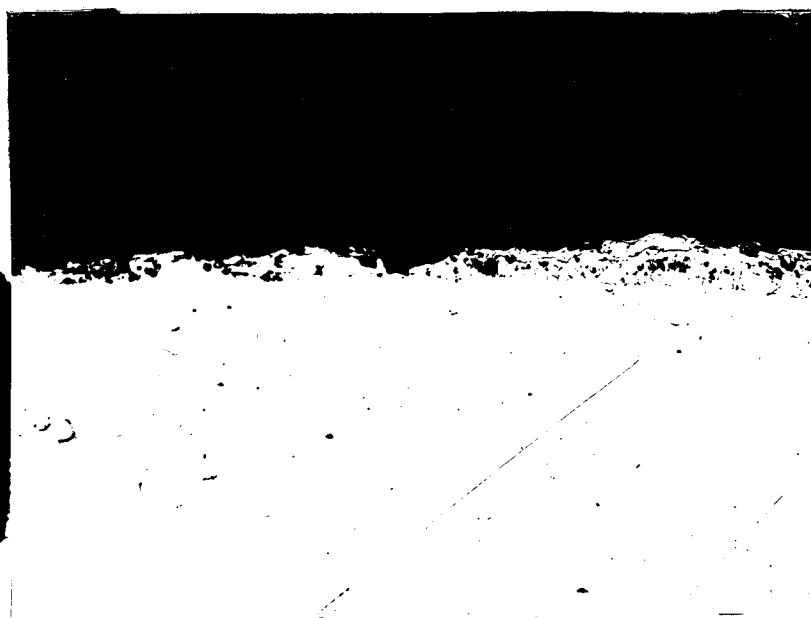
Při nástríku tohoto prášku nebyla dodržena posuvová rychlost hořáku - byla zvýšena na $8\text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$. Při odřezávání vzorku docházelo k odlupování krycí vrstvy.



150 x

neleptáno

Obr. 19 Nástržik 28 085 na podkladové vrstvě Mo;
zbytek krycí vrstvy 28 085



150 x

neleptáno

Obr. 20 Nástržik 28 085 na podkladové vrstvě Mo;
podkladová vrstva Mo

Na zhotoveném metalografickém výbrusu (obr.19) jsou vidět pouze zbytky krycí vrstvy. Na obr. 20 je vidět podkladová vrstva Mo. Její tloušťka se velmi mění - prakticky od nuly do 0,063 mm. Průměrná hodnota její tloušťky je 0,032 mm. Je nižší než v předchozích případech, což je dáno vyšší posuvovou rychlostí hořáku. U tohoto vzorku nemohla být proměřena mikrotvrdost.

3.5.5. Vzorek s keramickým nástřikem 28 095

Tento materiál je molybdenový. Používá se jako podkladový, ale lze ho také použít jako krycí s dobrou odolností proti otěru. Nástřik je kovově lesklý. Teplota tavení Mo je 2620°C.



150 x

neleptáno

Obr. 21 Nástřik vrstvy 28 095

Na fotografii Mo vrstvy (obr. 21) jsou vidět vpichy po měření mikrotvrdosti. Úhlopříčky, které jsou kolmo k povrchu základního materiálu jsou v některých případech delší než ty, které jsou s ním rovnoběžné. To je dáno tím, že vpich je v místě spoje dvou vrstviček a způsobil jejich oddálení. Jsou vidět různé velikosti vpichů - bylo užito zatížení 0,4905 N, 0,9810 N a 1,9620 N. Při měření byl opět použit mikrotvrdoměr PMT - 3. Pro výpočet HM byl použit vztah/1/.

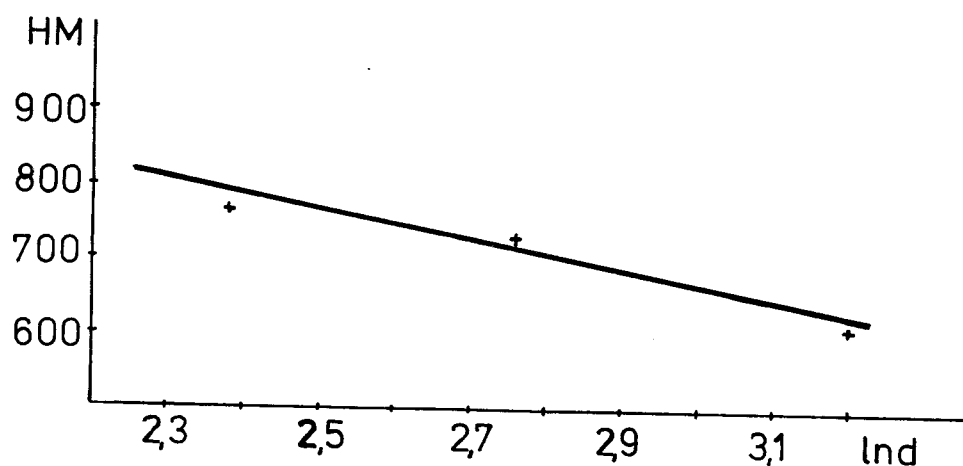
Naměřené a vypočtené hodnoty pro prášek 28 095 jsou uvedeny v tab. 6.

Tab. 6

zatížení /N/	0,4905		0,9810		1,9620	
č.měření	d / μ m/	HM	d / μ m/	HM	d / μ m/	HM
1	10,764	785	15,679	740	23,713	647
2	10,896	766	15,272	780	27,531	480
3	10,947	759	16,653	656	24,938	585
4	10,717	792	15,818	727	23,131	680
5	10,526	741	15,574	750	23,861	639
průměrná hodnota	10,770	768,6	15,799	730,6	24,635	606,2

Pro průměrné hodnoty HM a d byl sestrojen graf (obr. 22), ze kterého byla odečtena hodnota pro prášek 28 095

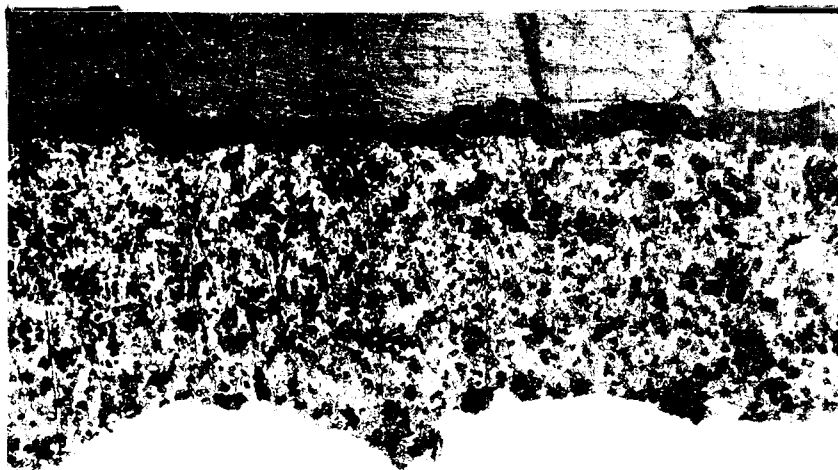
$$HM_{10\mu m} = 810.$$



Obr. 22 Závislost hodnoty HM na $\ln d$ pro prášek 28 095

3.5.6. Vzorek s keramickým nástřikem 28 020 stříkaný plazmou

Prášek byl již popsán v kapitole 3.5.1. Plazmatickým nástřikem byl získán povlak tloušťky 0,255 - 0,322 mm. Průměrná hodnota tloušťky z 50 měření je 0,287 mm. Nebyla použita podkladová vrstva Mo.



150 x

neleptáno

Obr. 23 Nástriek 28 020 plazmou

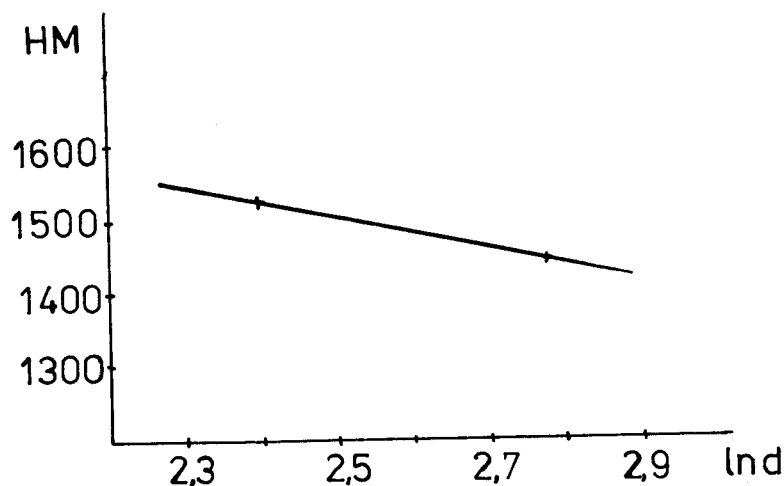
Srovnáním fotografií na obr. 23 a obr. 11 je vidět, že plazmatickým nástrikem získáme kvalitnější povrch.

Mikrotvrdost byla měřena stejným přístrojem jako v předchozích případech. Bylo užito zatížení 0,981 N a 1,962 N. Pro výpočet byl použit vztah /1/. Naměřené a vyčíslené hodnoty jsou uvedeny v tab. 7.

Tab. 7

zatížení /N/	0,981		1,962	
č. měření	d / μ m/	HM	d / μ m/	HM
1	10,375	1690	15,962	1428
2	10,994	1505	15,840	1450
3	11,060	1487	15,700	1476
4	11,419	1395	15,951	1430
5	10,918	1526	16,143	1396
prům.hodnota	10,953	1520	15,119	1436

Z průměrných hodnot HM a d byl sestrojen graf (obr.24), ze kterého byla odečtena pro plazmatický nástřik 28 020 hodnota $HM_{10\mu m} = 1550$.



Obr. 24 Závislost HM na $\ln d$ pro prášek 28 020 nanášený plazmou.

3.5.7. Dílčí závěr

Po provedených měřeních mikrotvrdosti povlaků, lze říci, že jejich mikrotvrdost je velká v porovnání s běžnými návarovými materiály. Tyto získané hodnoty HM nelze obecně převést na jiné tvrdosti, nejsou tedy srovnatelné hodnotami, které uvádí výrobce. Lze však říci, že v sou-
 řadí s hodnotami, které výrobce udává je tvrdost povlaku 28 020 nejvyšší a se zvětšujícím se obsahem TiO_2 tato klesá. Pro Mo nástřik 28 095 výrobce udává hodnotu, která je nejnižší ze všech keramických povlaků. Nami zjištěná hodnota HM tedy též odpovídá. Dále můžeme říci, že plazmatickým nástřikem získáme vrstvu, která vykazuje větší tvrdost, než vrstva ze stejného materiálu nanesená plamenem. Pro přehlednost jsou hodnoty $HM_{10\mu m}$ jednotlivých nástřiků uvedeny v tab. 8.

Tab. 8

vzorek	HM ₁₀
28 020 A	1550
28 020 B	1470
28 030	1310
28 060	1120
28 095	810

A - stříkáno plazmou

B - stříkáno plamenem

3.6. MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU

Drsnost povrchu byla měřena u povlaků nastříkaných jako vzorky na trubku a dále na součástech určených pro textilní stroje. V tab. 9 jsou uvedeny hodnoty střední aritmetické úchylky profilu R_a pro vzorky, v tab. 10 pro součástky. Drsnost povrchu u součástek byla měřena po nástřiku a po obroušení. Obroušení bylo provedeno brusným papírem drsnosti 280. Měření bylo provedeno na přístroji HOMMEL TESTER typ T 3, dráha snímače byla 6,3 mm. Drsnost byla proměřována v 5 různých místech.

Tab. 9

vzorek	28 020	28 020	28 030	28 060	28 085	28 095
číslo měření	A	B				
1	6,8	13,7	13,2	10,8	11,5	17,0
2	7,2	15,2	14,5	8,2	9,0	16,8
3	7,8	10,5	13,4	8,2	9,8	12,8
4	7,5	15,0	11,5	7,8	11,2	13,5
5	6,8	16,7	14,8	8,2	9,8	12,6
průměrná hodnota	7,2	14,2	13,5	8,6	10,3	14,5

Tab. 10

nástřík	28 020 A		28 020 B		28 095	
č.měření	1	2	1	2	1	2
1	5,7	4,8	13,8	9,5	10,2	8,6
2	5,9	5,8	15,2	10,5	10,5	8,1
3	5,3	5,7	13,5	9,5	11,3	8,5
4	4,6	4,7	14,8	10,0	10,8	7,0
5	5,6	4,6	15,8	11,0	11,5	7,5
průměrná hodnota	5,4	5,1	14,6	10,1	10,9	7,9

A - stříkáno plazmou

B - stříkáno plamenem

1 - měřeno po nástřiku

2 - měřeno po obroušení

R_a uvedeno v *μm*

Můžeme tedy říci, že plazmatickým nástřikem získáme vrstvu, kterou již není nutno dále opracovávat a plně odpovídá požadavkům provozu. Součástí nástříkané plamenem je nutno po nástřiku obrousit, aby mohly v provozu plnit svou funkci. Dále můžeme říci (tab. 9), že hodnoty drsnosti ke-
rnických povlaků nanášených plamenem se příliš neliší.
Můžeme také říci, že drsnost klesá s rostoucím obsahem TiO₂.
Nejlepší drsnost vykazoval nástřík 28 060, nejdrsnější
povrch má nástřík 28 095.

3.7. MĚŘENÍ PŘILNAVOSTI POVLAKŮ

Na měření přilnavosti povlaků byla zvolena dílenská destrukční zkouška sekáčem. Po dohodě s vedoucím diplomového úkolu byly stanoveny 3 stupně přilnavosti - špatná, kdy se povlak odlupoval již při malých rázech, dobrá, kdy se

povlak při větších rázech rozrušil a vznikaly lupou viditelné trhliny a velmi dobrá, kdy při těchto rázech nedocházelo k rozrušování povlaků. Výsledky jsou uvedeny v tab. 11.

Tab. 11

vzorek	přilnavost
28 020 A	velmi dobrá
28 020 B	dobrá
28 030	dobrá
28 060	dobrá
28 085	špatná
28 095	velmi dobrá

A - stříkáno plazmou

B - stříkáno plamenem

Můžeme tedy říci, že při dodržení všech parametrů stříkání je přilnavost keramických povlaků dobrá. Srovnáním technologie nanášení plazmou a plamenem můžeme říci, že povlaky nanášené plazmaticky vykazují vyšší přilnavost.

3.8. NÁVRH SOUČÁSTÍ PRO NÁSTŘIK KERAMICKÝMI POVLAKY

Keramické povlaky jsou vhodné pro použití v textilním a papírenském průmyslu, zvláště proto, že jimi získáme povrch charakteru pomerančové kůry. Tento povrch zamezuje odplívání nebo nalepování vláken a fólií a umožňuje příznivé napínání vlákna. Tyto vrstvy jsou dobře odolné proti otěru.

Po dohodě s vedoucím diplomové práce byly zvoleny vodiče a napínače vláken. Tyto byly nastříkány plamenem prášky 28 020 a 28 095 a plazmou práškem 28 020. Tyto součásti jsou na obrázcích 25 a 26.



Obr. 25 Součást pro vedení a napínání vláken s povlakem
28 095



Obr. 26 Součást pro vedení a napínání vláken s povlakem
28 020 nastříkaným plamenem

4.-----ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo určit některé vlastnosti keramických povlaků. Celkem bylo hodnoceno 5 práškových materiálů, materiál 28 020 byl také sledován z hlediska technologie nanášení plamenem a plazmou.

Plazmatický nástřik 28 020 vykazuje lepší vlastnosti mechanické - tvrdost i technologie - přilnavost. Plazmatický nástřik má lepší kvalitu povrchu oproti nástřiku tímtéž materiálem nanášeným plamenem. To znamená, že v případě použití plazmy odpadá další opracování povrchu a tato technologie by tím našla uplatnění v seriové výrobě. Pro výrobu menšího počtu součástí je možno předpokládat, že nanášení plamenem a následné opracování bude oproti plazmovému nástřiku ekonomičtější. Keramické materiály vykazují dobré vlastnosti za předpokladu dodržení předepsaných parametrů během nástřiku.

K nejdůležitějším vlastnostem keramických povlaků patří jejich odolnost proti otěru. Po provedení nástřiků na vodiče nití (kapitola 3.8.) byly tyto dány do provozu dne 27.4.1984. V době psaní této diplomové práce 14.5.1984 žádná z nich nejevila známky opotřebení. Svou funkci plní dobře, nedochází k ulpívání vláken na povrchu ani k jejich odírání nástřikem. V době obhajob diplomových prací bude snad možno vyslovit závěry, která ze součástí odolává otěru nejlépe.

Aplikováním technologie žárového stříkání funkčních vrstev dosahujeme finančních i materiálových úspor. To je v současném trendu intenzifikace vývoje našeho průmyslu důležité. Stříkání povlaků z keramických materiálů přispívá ke zvyšování životnosti součástí a tím i k úsporám výrobních kapacit a energie. Jednou z omezujících podmínek rozšíření keramických povlaků v široké praxi je nutnost jejich

dovozu z kapitalistických zemí. Tento problém by mohl vyřešit náš výzkum vývojem tuzemských keramických materiálů. Tím by bylo dosaženo ještě větších úspor, jednak nižší cenou prášků a dále jejich rozšířením do běžné praxe.

Tato diplomová práce měla přispět k řešení problémů spojených se zvyšováním životnosti součástí. Ukazuje dvě technologie, pomocí kterých lze provádět nástřiky vrstev se zvýšenou odolností proti otěru.

5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Ambrož - Kašpar - Kopeček: Zváranie roč.29, 1980 č.10, str.298
2. Ambrož - Kašpar: Strojírenská výroba roč.29, 1981 č.7, str.538
3. Ambrož - Kašpar: Zváranie roč.27, 1978 č.7, str.207
4. Čomaj: Zváranie roč.26, 1977 č.9, str.266
5. Ragan - Jaš: Zváranie roč.29, 1980č.12, str.362
6. Ambrož - Kašpar: Výzkum nekonvenčních způsobů výroby, ochrany a oprav extrémně namáhaných součástí speciální techniky pomocí termických nástřiků, /Výzkumná zpráva/, Brno, Vojenská akademie A. Zápotockého, 1975
7. Kolínský: Renovace strojních součástí - plamen, prášky, DP 1983, VŠST Liberec
8. Horna: Studium jakosti plazmatem nanášených vrstev u vybraných součástí pro textilní průmysl, DP 1980, VŠST Liberec
9. Katalog: fy Castolin, CastoDyn, RotoLoy, 1982
10. Kurz navařování plamenem, ČSVTS Nitra 1980

Prášky serie 16 000

označení	složení	tvrdost
16 001	Cr, Co, W	51 - 57 HRC
16 006	Cr, Co, W	39 - 45 HRC
16 008	C, Co, Cr, Mo, Ni	330 - 400 HV
16 012	C, Co, Cr, W	44 - 50 HRC
16 019	C, Co, Cr, W, B	60 HRC
16 025	C, Co, Cr, W, Ni	250 HV
16 262	C, Ni, Cr, Mo	35 - 41 HRC

Prášky serie 18 000 - plazma

18 601	Al ₂ O ₃ (99,5 %)	91,2 HRC
18 610	karbidy W (88%), Co (12%)	88 HRC
18 613	Ni (70%), Al (30%)	93,2 HRB
18 625	Al ₂ O ₃	89,6 HRC
18 627	Cr ₂ O ₃	95 HRC
18 629	ZrO ₂ (95%), CaO (5%)	86,3 HRC
18 631	Mo	86 HRC
18 650	Cr ₂ O ₃ , Ni, Cr	82 HRC
18 657	W	68,4 HRC
18 675	Ni (95%), Al (5%)	91 HRB
18 683	Mo	84,6 HRC
18 691	Ni (80%), Cr (20%)	92,9 HRB

E U T A L L O Y - prášky serie 10 000

označení	složení	tvrdost
10 009	Ni, Cr, B, Si	54 - 60 HRC
10 092	Co, Ni, Cr, W, B, Si	47 - 53 HRC
10 146	Cu, Sn, B, Si	115 - 145 HV
10 185	Ni, B, Si	350 - 420 HB
10 186	Ni, Cu, Cr	240 - 290 HB
10 491	Ni, Cr, B, Si	295 - 355 HB
10 494	Ni, Cr, B, Si	34 - 40 HRC
10 670	Ni, B, Si	190 - 220 HB
10 675	Ni, Cr, B, Si	45 - 51 HRC
10 680	Ni, B, Si	230 - 270 HB

R W - prášky serie 12 000

12 093	Co, Ni, Cr, Mo, B, Si	595 - 735 HV
12 494	Ni, Cr, B, Si	285 - 345 HV
12 495	Ni, Cr, B, Si	370 - 450 HV
12 496	Ni, Cr, B, Si	635 - 795 HV
12 497	Ni, Cr, Mo, B, Si	735 - 895 HV
12 909	Ni, Cr, Si, karbidy W	61 - 67 HRC

R O T O T E C - prášky serie 19 000

19 200	Ni, Cr, Al, Si	175 - 205 HV
19 310	Fe, Cr, Ni	270 - 330 HV
19 400	Fe, Cr, 13 % Ni	390 - 470 HV
19 850	Cu, Al	115 - 145 HV
19 868	Cu, Al, Ni	135 - 165 HV
19 910	Ni, Cr, Si	310 - 380 HV
19 940	Ni, Fe, Cr, Mo, Si	340 - 410 HV
19 985	Ni, Cr, Si, Fe	180 - 210 HV