

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálů

Studijní program 2341B – strojírenství

Obor: Materiály a technologie

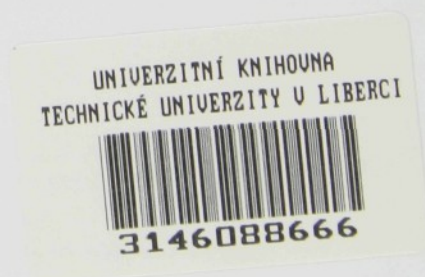
Zaměření : materiálové inženýrství

APLIKACE PLAZMOVÝCH NÁSTŘIKŮ ZA ÚČELEM SNÍŽENÍ
KOEFICIENTU TŘENÍ A SNÍŽENÍ LEPIVOSTI LEPIDLA NA
DOPRAVNÍCH VÁLCÍCH

APPLICATION OF PLASMA COATINGS SERVING TO
REDUCE THE CO-EFFICIENT OF FRICTION AND TO REDUCE
THE ADHESIVE CAPACITY OF THE GLUE ON THE TRANSPORT
ROLLERS

KMT – B - 87

Václav Havel



Vedoucí práce: Doc.ing.Petr Louda Csc.

Datum odevzdání : leden 2004

Konzultant : Ing.Rastislav Mršík

Rozsah práce a příloh:

Počet stran 36

Počet příloh4

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní
Katedra materiálu

Studijní program 2341B – strojírenství

Obor: Materiály a technologie

Zaměření: materiálové inženýrství

Studijní program : 2341 B – Strojírenství

Diplomant : Václav Havel

Číslo BP : KMT – B – 87

Vedoucí práce : Doc.ing.Petr Louda Csc.

Konzultant : Ing.Rastislav Mršík

**TÉMA : APLIKACE PLAZMOVÝCH NÁSTRÍKŮ ZA ÚČELEM SNÍŽENÍ
KOEFIGIENTU TŘENÍ A SNÍŽENÍ LEPIVOSTI LEPIDLA NA
DOPRAVNÍCH VÁLCÍCH**

**TOPIC : APPLICATION OF PLASMA COATINGS SERVING TO
REDUCE THE CO-EFFICIENT OF FRICTION AND TO
REDUCE THE ADHESIVE CAPACITY OF THE GLUE
ON THE TRANSPORT ROLLERS**

ANOTACE:

Práce se zabývá požadavkem fa.ONTEX s.r.o. na návrh nového povlaku kompresního válce jehož vlastnosti mají stejné hodnoty jako hodnoty povlaku používaného.Tento povlak má být vytvořen pomocí plazmového stříkání.Konkrétně byl používaný povlak analyzován a za pomoci spec.výrobce byl vytvořen povlak podobný. Dalším úkolem práce je porovnání popř.návrh plazmově stříkaných povlaků ,které jsou určeny ke snížení koeficientu tření a jsou používány ve zminěné firmě.

ABSTRACT:

The present study is concerned with the requirement of the firm ONTEX s.r.o. (Ltd.) to devise a new lining of the compression rollers the characteristics of which should be equal to the lining employed now. The new lining ought to be fabricated by means of plasma coating. The lining used at present has been analysed in detail, and a similar lining has been created with the assistance of a special manufacturer.

A further objective of the study is the comparison, and eventually, a proposal of sprayed plasma coatings serving to devise the co-efficient of friction, to be employed in the firm indicated above.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Václav H A V E L**

studijní program **2341 B Strojírenství**

obor **Materiály a technologie**

zaměření **Materiálové inženýrství**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Aplikace plazmových nástřiků za účelem snížení koeficientu tření a snížení lepivosti lepidla na dopravních válcích

Zásady pro vypracování:

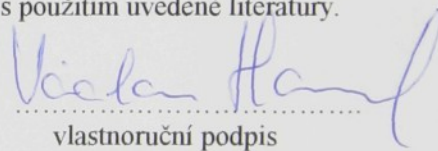
(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Proveďte rozbor povrchů nosných válečků a kompresních desek používaných na výrobních linkách firmy ONTEX s.r.o. Turnov.
2. Porovnejte jednotlivé vzorky v závislosti na koeficientu tření dotykových ploch.
3. Navrhněte vhodné alternativy nástřiků dopravních systémů pro výrobní linku na výrobu dětských plen, aplikaci realizujte a vyzkoušejte v provozu.
4. Získané poznatky zpracujte a pokuste se vyvodit příslušné závěry.

KMT

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

V Liberci dne : 6.1.2004


vlastnoruční podpis

Obsah :

Úvod	3
1 Teoretická část	4
1.1 Teorie plazmy	4
1.1.1 Dielektrika a ionizační proces	4
1.1.2 Plazmové plyny	5
1.1.3 Technická využití	5
1.1.4 Teorie a výkon plazmových pláze	6
1.1.5 Vlastnosti plazmy	6
1.2 Teorie plazmové ařby a plazmy	10
1.2.1 Plazmové ařby	10
1.2.2 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.3 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.4 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.5 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.6 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.7 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.8 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.9 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.10 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.11 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.12 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.13 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.14 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.15 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.16 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.17 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.18 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.19 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.20 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.21 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.22 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.23 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.24 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.25 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.26 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.27 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.28 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.29 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.30 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.31 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.32 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.33 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.34 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.35 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.36 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.37 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.38 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.39 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.40 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.41 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.42 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.43 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.44 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.45 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.46 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.47 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.48 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.49 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.50 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.51 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.52 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.53 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.54 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.55 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.56 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.57 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.58 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.59 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.60 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.61 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.62 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.63 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.64 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.65 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.66 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.67 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.68 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.69 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.70 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.71 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.72 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.73 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.74 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.75 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.76 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.77 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.78 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.79 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.80 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.81 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.82 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.83 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.84 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.85 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.86 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.87 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.88 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.89 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.90 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.91 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.92 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.93 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.94 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.95 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.96 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.97 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.98 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.99 Plazmové ařby a plazmy	10
1.2.100 Plazmové ařby a plazmy	10

Rád bych na začátek této práce poděkoval Doc.ing.Petru Loudovi CSc., ing.Rastislavu Mršíkovi , ing. Janu Filipenskému - Plasmametal s.r.o. , ing. Petru Mavlu – PlastMetal engineering s.r.o., ing.Marii Šolcové – Strojírenský zkušební ústav s.p. , ing.Uršule Drobníkové a zvláště pak p. Jiřímu Bělíkovi za odborné vedení při vypracování této bakalářské práce a také za jejich pomoc a rady ,bez kterých bych se neobešel.Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům katedry materiálového inženýrství a katedry fyziky za možnost a pomoc při prováděných měření.

Obsah :

1. Úvod	2
2. Teoretická část	4
2.1 Teorie plazmy	4
2.1.1 Disociační a ionizační proces	
2.1.2 Plazmové plyny	
2.1.3 Technické vytvoření	
2.1.4 Teplota a výkon plazmového plamene	
2.1.5 Výtoková rychlost	
2.2 Tvorba plazmově stříkané vrstvy	10
2.2.1 Transport prášku	
2.2.2 Rychlost stříkaných částic	
2.2.3 Náraz letících částic	
2.2.4 Termické ovlivnění podložky	
2.2.5 Fyzikálně- chemické přeměny materiálu	
2.3 Základní vlastnosti plazmově stříkaných vrstev	16
2.3.1 Struktura	
2.3.2 Hustota	
2.3.3 Vnitřní napětí, přilnavost	
2.3.4 Tvrdost	
2.4 Technologický proces plazmového stříkání	19
2.5.1 Úprava povrchu před stříkáním	
2.5.2 Plazmové stříkání	
2.5.3 Dokončovací operace	
2.5. Teorie lepení	21
3. Experimentální část	23
3.1 Přilnavost lepidla na povrch kompresních válečků	23
3.1.1 Chemické rozbor povlaku , lepidla	
3.1.2 Chemický rozbor zk.materiálu	
3.1.3 Předúprava povrchu zk.materiálu	
3.1.4 Drsnost povlaku	
3.1.5 Mikrotvrdost povlaku	
3.1.6 Tloušťka povlaku	
3.1.7 Zkouška přilnavosti lepidla	
3.1.8 Návrh alternativního povlaku	
3.1.9 Vyhodnocení	
3.2 Problematika snížení tření v kompresní jednotce	31
3.2.1 Chemické složení povlaku	
3.2.2 Drsnost povlaku	
3.2.3 Tloušťka povlaku	
3.2.4 Mikrotvrdost povlaků	
3.2.5 Koeficient tření	
3.2.6 Návrh alternativního povlaku.	
3.2.7 Vyhodnocení	
4. Závěr	34
5. Seznam použité literatury	36
6. Přílohy	37

1. Úvod :

Bakalářská práce byla zadána fa. ONTEX CZ s.r.o. Turnov k vyřešení problému :

- 1) s přilnavostí používaného lepidla na povrch kompresních válečků.
- 2) s problematikou snížení tření v kompresní jednotce balicího zařízení.

1. - s přilnavostí používaného lepidla na povrch kompresních válečků :

V průběhu komprese vrstev gáz s lepidlem občas dochází k průsaku či vytlačení lepidla mimo gázu a nalepení na povrch kompresních válců. – viz schéma 1. Takto nalepené lepidlo zde tuhne a je nutné jej obsluhou stroje mechanicky odstranit. Požadavek od fa. ONTEX CZ s.r.o. je ,aby lepidlo nalepené na povrchu kompresních válečků šlo lehce odstranit.

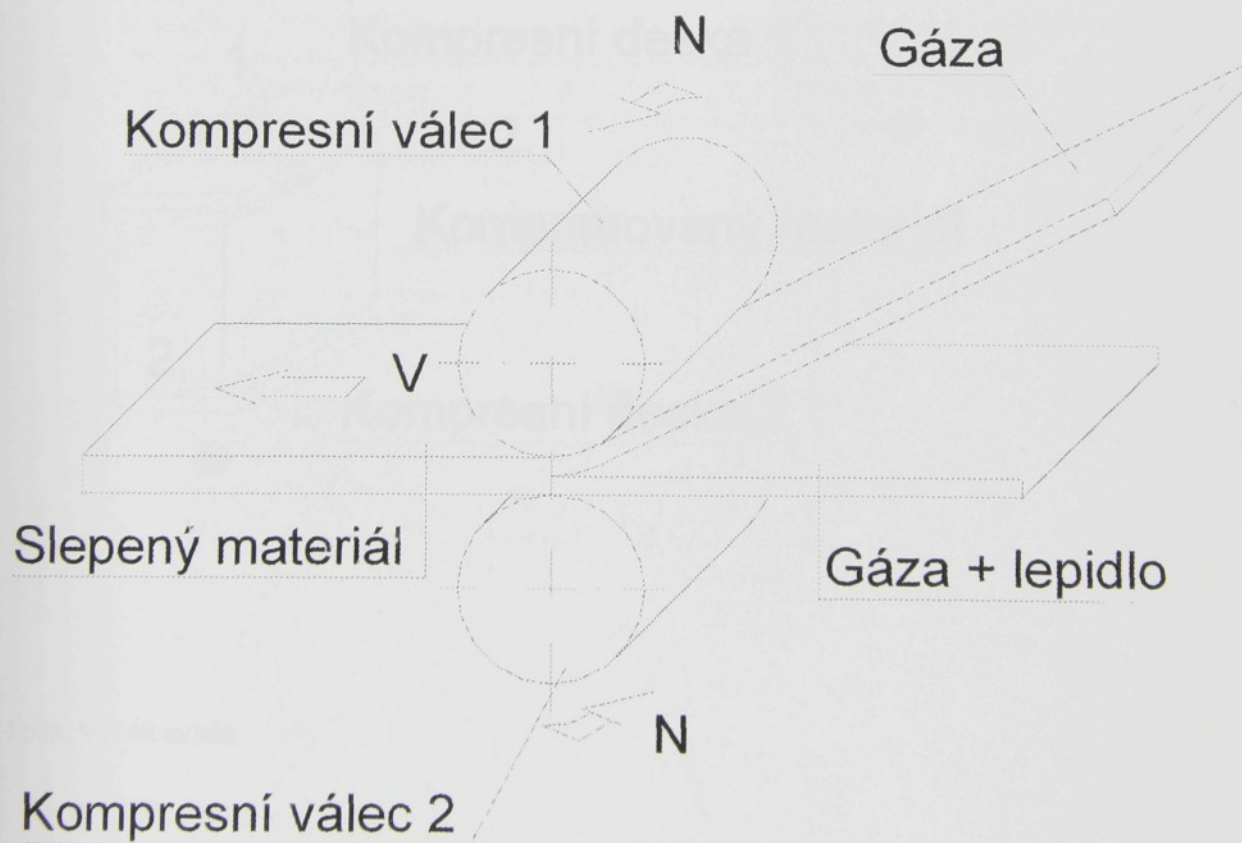
Fa. ONTEX CZ s.r.o. používá kompresní válečky s originálním povlakem od francouzské fa. IMPREGLON a jejím záměrem je vyrobit podobný povlak na tuzemském trhu z důvodu úspor časových i finančních.

Použité lepidlo je od fa. BOSTIK FINDLEY Nederland B.V. typ : H246503 UN – viz příloha 1.

Povrchová povlak :IMP plasma coat 40601/4001F IMPREGLON NETHERLAND.

Typ výrobní linky: Tekma serie:IP.BA výr.č.116SX r.výr. 1999.

Schéma 1:



Pozn. V = 150 m/min

2. - problematika snížení tření v kompresní jednotce balicího zařízení :

Při kompresi dochází ke stlačování výrobků kompresními deskami – je vytlačován vzduch , tím dochází ke zmenšení objemu výrobku. Takto stlačený výrobek je mechanickým ramenem odtlačován skrze vodící žlab do obalu. - viz schéma 2.

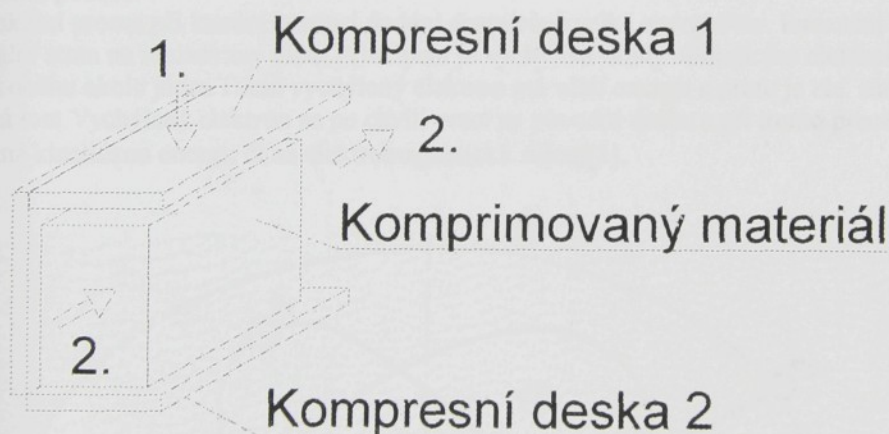
Při „transportu“ dochází ke značnému tření mezi výrobkem a kompresními deskami (vodícím žlabem) , které je hlavně zapříčiněno nepříznivým materiálem povrchu výrobku/ PE / a poměrně vysokým tlakem mezi výrobkem a kompresními deskami.

Fa. ONTEX CZ s.r.o. požaduje toto tření co nejvíce snížit za použití plazmově nanášeném povlaku , jenž by měl mít příznivý koeficient tření a zároveň vyšší tvrdost kvůli odolnosti proti mechanickému poškození.

Fa. ONTEX CZ s.r.o. používá kompresní desky (žlabu) s „ originálním „ povrchem od německé fa. OPTIMA a tuzemské výrobky od fa. PLASTMETAL ENGINEERING s.r.o. Chrást u Plzně- povrchová úprava disperze PTFE (XYLAN).

Typ balicího stroje: Optima O výr.:25048 r.výr.: 2001.

Schéma 2:



Pozn. V = 49 m/min

2. Teoretická část :

Metoda plazmového stříkání kovových a keramických prášků je metodou vytváření vrstvy kovu /keramiky/ tzv. povlaku na základním materiálu tzv. podkladu. Při této metodě se používá nanášený materiál ve formě :prášku ,ohřev a transport prášku je zajištěn pomocí plazmového plamene. Celou operaci můžeme rozdělit na fyzikálně-chemickou teorii a technologickou část dělí se na 3 základní skupiny[3]:

- I. úprava povrchu před stříkáním -viz.kap. 2.4.1.
- II. plazmové stříkání -viz.kap. 2.4.2.
- III. dokončovací operace -viz.kap. 2.4.3.

a samotnou fázi II – plazmové stříkání dělíme na 3 skupiny:

- A – Ohřev prášku -viz.kap. 2.1.5.
- B – Transport prášku -viz.kap. 2.2.1.
- C – Interakce prášku s podložkou -viz.kap. 2.2.3,4,5.

2.1 Teorie Plazma:

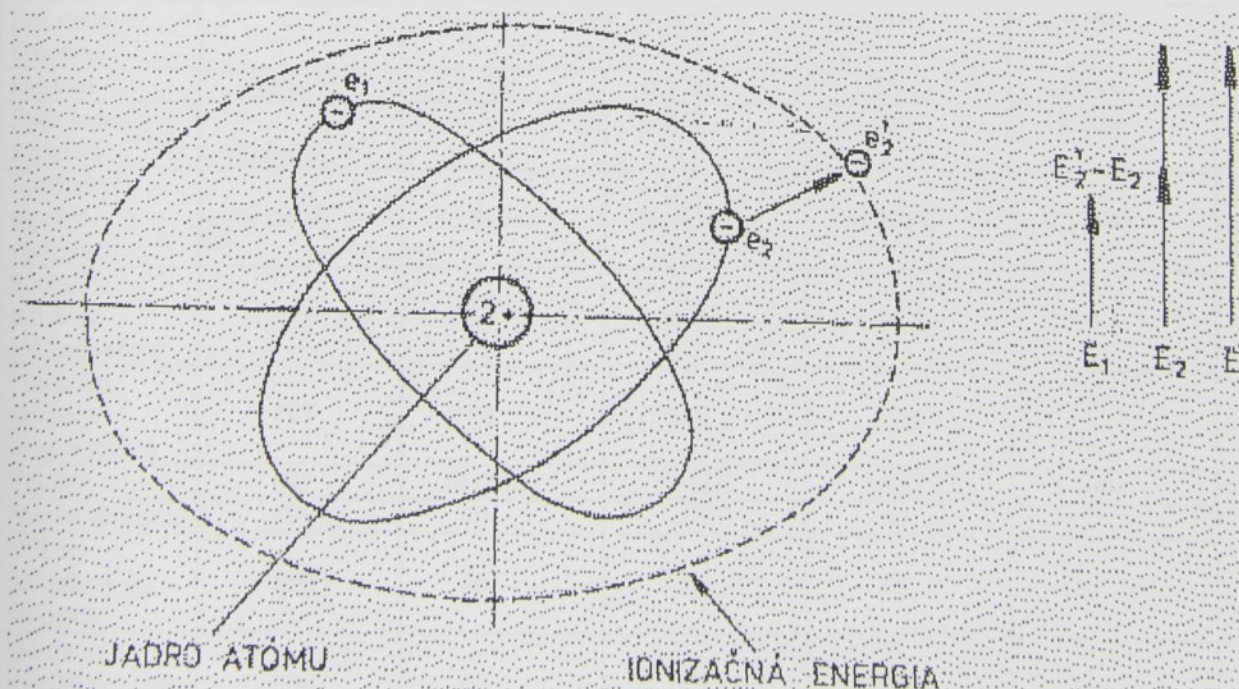
Plazmou se nazývá vysokoionizovaný stav hmoty, složený z molekul, atomů, elektronů a fotonů.

V 1 cm^3 je 10^9 až 10^{10} nabitých částic a vzniká pomocí disociace a ionizace plazmotvorných plynů[2].

2.1.1 Disociace a ionizace plazmotvorných plynů :

Ionizační proces:

je fyzikální proces při kterém pomocí dodání dostatečně velké energie/ tzv. ionizační energie/ přeměníme neutrální atom na ionizovaný atom. Principem je vychýlení dráhy obíhajícího elektronu atomu na vzdálenější dráhu oběhu okolo jádra. Takto vychýlený elektron má větší energii a proto je ele. stabilita atomu porušena – vzniká iont. Vychýlený elektron se po chvíli vrací na původní dráhu a při tomto procesu uvolněná energie se mění na kinetickou energii či na elektromagnetické záření[2].



Obr. 1: zjednodušený princip ionizačního procesu [2].

uvolněná energie: $E = E_2' - E_1$

Pozn: E_1, e_2 – elektrony obíhající neutrální orbitu.
 E_2' – elektron vychýlený pomocí ionizační energie.

Disociační proces :

- tento proces nastává jako první a rozkládá molekuly plynu na jednotlivé atomy.
- z teorie mechaniky plynů předpokládáme že vlastnosti plynů prvotně závisejí na pohybu jejich jednotlivých molekul.Při pohybu se srážkami jejich elementární částice vyměňují energie a hybnost /pomocí srážek/. Jestliže se do plynu přivede určité množství energie zvýší se tím i rychlost molekul a atomů.Čím je rychlost vyšší tím se častěji částice srazí.Přirozeným důsledkem tohoto energetického pochodu je zvyšování se teploty plynu.Rychlost molekul může být i tak vysoká že při srážce rozpadají na atomy/např.dvojjatomové plyny/[2].
- energie potřebná k procesu disociace je menší než energie ionizační.

Rekombinační proces :

- tento proces nastává současně s procesem ionizace.
- dvě částice ,mající opačný náboj,rekombinují do jedné částice,čímž se snižuje počet elektronů a iontů v plazmě[2].

2.1.2 Plazmové plyny :

V současné době dělíme plazmotvorné plyny na 2 základní skupiny
Plazmové plyny mají za úlohu vytvářet plazmu/pomocí ionizace a disociace plynu/,chránit elektrody před oxidací a ochlazovat je. V současné době dělíme plazmotvorné plyny na 2 základní skupiny[2]:

- 1.Jednoatomové - např. argon,hélium
- 2.Dvojjatomové -např. dusík,vodík

Plazmotvorné plyny volíme dle požadavku teploty a rychlosti plazmového plamene,stupně inertnosti k stříkanému a základnímu materiálu. –viz.tab. 1.

Tab. 1: Fyzikálně – chemické vlastnosti plazmových plynů [2]:

Charakteristika	Jednotka	Argón	Hélium	Dusík	Vodík
Rel.molová hmotnost		39,944	4,002	28,016	2,0156
Hustota ^{*1}	(kg.m ⁻³)	1,783	0,1785	1,2505	0,0898
Spec tepelná kapacita c _p ^{*2}	(kJ.kg ⁻¹ K ⁻¹)	0,511	5,233	1,046	14,268
Součinitel tepelné vodivosti	(W.m ⁻¹ K ⁻¹)	0,01633	0,14363	0,02386	0,17543
Potenciál ionizace – jednostupňové	(V)	15,7	24,05	14,5	13,5
Potenciál ionizace – dvojjstupňové	(V)	27,5	54,1	29,4	-
Teplota	(K)	14 000	20 000	7 300	5 100
Napětí oblouku	(V)	40	47	60	62
Výkon přivedený do oblouku	(kW)	48	50	65	120
Účinnost využití energie na ohřev plynu	(%)	40	48	60	80

Pozn.: *1 – měreno při 0 °C a 101,32 Pa.
*2- měreno při 20 °C.

2.1.3 Technické vytvoření :

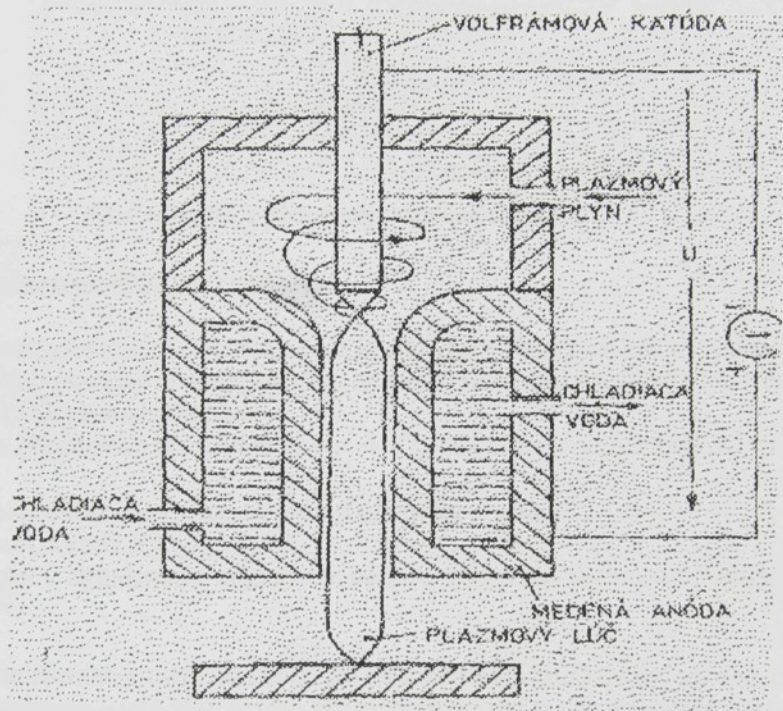
Technické vytvoření plazmy vzniká v plazmovém hořáku-nazývaném plazmová pistol či plazmotron. Technické provedení se charakterizuje podle způsobu uspořádání elektrod na dva základní způsoby[2]:

1- tzv. hořák s nepřeneseným obloukem :

Elektrický oblouk hoří mezi zápornou katodou a kladnou anodou ve tvaru dýzy ve vnitřku hořáku

—viz obrázek 2.

- tento způsob zapojení elektrod se používá pro technologie plazmového stříkání , natavování a v plazmových pecích .



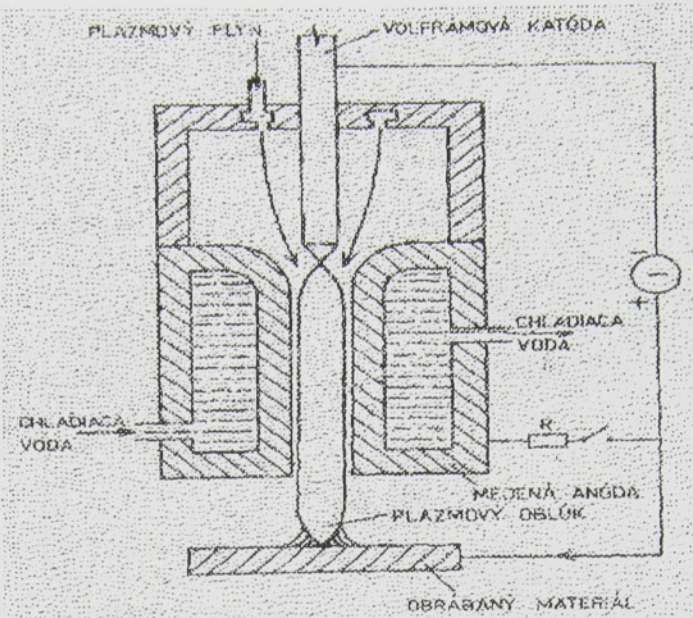
Obr.2: Hořák s nepřeneseným obloukem [2].

V hořáku hoří ele.oblouk mezi pothoriovanou wolframovou katodou a měděnou anodou ve tvaru dýzy. Plazmový plyn vstupující do dýzy ohřívá energie ele.oblouku na vysokou teplotu při které plyn disociuje a ionizuje – vzniká plazma. Plazmový plyn vytéká z hořáku dýzou .Přídavný materiál přiváděný do plazmového plamene ve formě prášku /pomocí injektoru/ se vysokou teplotou roztavuje,unášející plazma prášek vysokou rychlostí vrhá na základní podložku /materiál/[2].

2- tzv. hořák s přeneseným obloukem :

oblouk hoří mezi katodou ve vnitřku hořáku a venkovním vodičem /materiálem/ –viz. obr 3.

-tento způsob se používá při technologiích plazmového řezání, svařování či navařování[2].



Obr.3: Hořák s přeneseným obloukem [2].

2.1.4 Teplota a výkon plazmového plamene :

Výkon plazmového plamene,jeho teplota a rychlost patří k základním charakteristikám plazmového plamene.Teplota plazmového plamene závisí především na stupni ionizace, kterou ovlivňuje druh plazmového plynu a pracovní parametry plazmového hořáku.

Typické rozdělení teplot v plazmovém plameni je na obr 4. Teplota plazmy je 5 000 až 30 000K a je možno ji měřit spektroskopicky[2].

Na obr 4a je rozdělení teplot v laminárním argonovém plazmovém plameni (množství plynu 20 NI /min,průměr dýzy je 6 mm) .

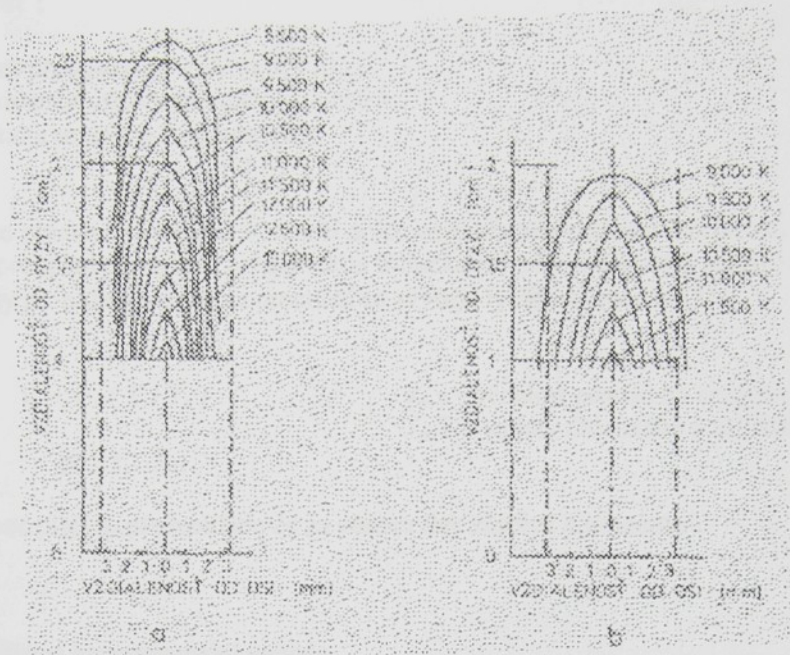
Na obr 4b je rozdělení teplot v turbulentním argonovém plameni (množství plynu 20 NI /min,průměr dýzy je 4 mm) [2].

Velmi dlouhé izotermy laminárního proudu naznačují ,že nevzniká žádné turbulentní smíchávání okolního vzduchu s plazmovým plamenem – toto však neplatí pro turbulentní proud , protože jeho izotermy jsou velmi krátké.

Teploty plazmového plamene závisejí na rozdílných vlastnostech použitých plynů –viz tab.2. -použit stejný tvar a průměr dýzy (6mm) a množství plynu.

Tab.2 :Střední a maximální teploty argonové a dusíkové plazmy[2].

		Průtok plynu					
		15 Nl.min ⁻¹		30 Nl.min ⁻¹		60 Nl.min ⁻¹	
Výkon (kW)	Teplota (K)	Argon	Dusík	Argon	Dusík	Argon	Dusík
5	T _{max.}	11 400	---	11 750	---	12 000	---
	T _{str.}	8 850	---	5 600	---	3 000	---
10	T _{max.}	---	10 990	12 700	11 040	13 000	10 540
	T _{str.}	10 750	7 100	9 600	6 250	6 600	5 550
15	T _{max.}	---	12 370	14 500	11 990	14 400	12 180
	T _{str.}	12 000	7 550	11 000	6 700	8 750	5 950
20	T _{max.}	---	13 830	---	14 790	---	13 100
	T _{str.}	---	8 250	---	7 100	---	6 200



Obr.4: Rozdělení teplot v argonové a dusíkové plazmě [2].

Střední hodnoty výstupní teploty plazmy jako i výkonu plazmového plamene je možno vyjádřit pracovními parametry plazmového hořáku následujícími vzorci [2]:

$$T_q = \frac{\overline{E} I}{\pi D a_k} \left[(1 - \exp) - \frac{\pi d a_k L}{C_p \overline{Q}} \right]$$

(vz.2.1.4a)

$$T_q = \frac{\overline{E} I}{\pi d a_k} K$$

(vz.2.1.4b)

$$N_q = \frac{\overline{E} I}{\pi D a_k} C_p \overline{Q} K$$

(vz.2.1.4c)

- Kde:
- I .. proud oblouku

L .. délka oblouku

Cp .. skupenské teplo plynu

Q .. průtok plynu

d .. průměr dýzy

a_k .. koeficient tepelné vodivosti od plazmy k dýze

E .. gradient ve středu oblouku

Efektivní výkon plazmového plamene se určuje z elektrických hodnot oblouku vztahem:

$$N_{ef}=0,24 U I \eta$$

(vz.2.1.4d)

Kde: U-napětí oblouku,I-proud oblouku,η-účinnost využití ele.energie na ohřev plynu.

2.1.5 Výtoková rychlost :

- je rychlost kterou proudí plyn/plazma/ z výtokové dýzy.
- je důležitá veličina na určení dalších výrobních parametrů.
- její experimentální hodnota se počítá 3 způsoby[2]:

1.způsob:

Rychlost plazmového plamene se vypočítá pomocí aplikace základních zákonů mechaniky plynů na podmínky proudění plynu skrz cylindrickou trubičku při jeho současném zahřívání. Se zmenšováním hustoty při ohřevu ve směru proudění se zvyšuje rychlost proudění[2].

$$V = v_o (T / T_o)$$

(vz.2.1.5a)

v_o, v – rychlost proudu na vstupu, výstupu
 T_o, T - teploty chladného a zahřátého plynu

Tento vzorec platí za předpokladu že za ohřevu tlak zůstává konstantní.

2.způsob:

- nejčastěji používaná experimentální metoda .
- zakládá se na měření hybnosti proudu a z něj určované rychlosti dle vzorce[2] :

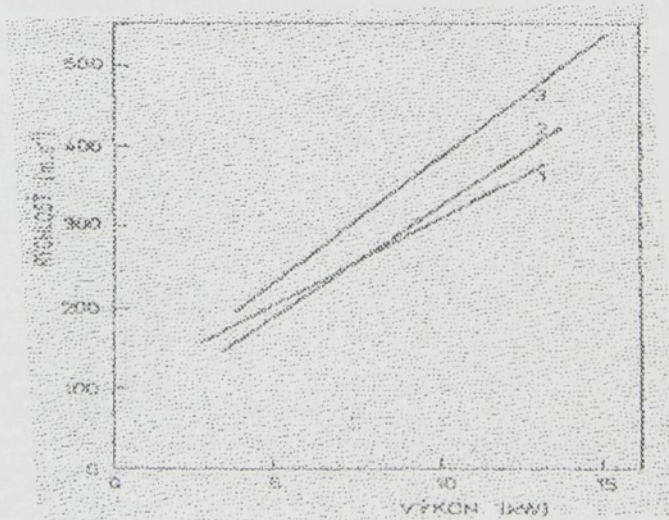
$$F = m \cdot v$$

F – hybnost proudu

m - průtočná hmotnost proudu

(vz.2.1.5b)

- touto metodou byla vypočítána závislost rychlosti plazmového plamene od přivedeného příkonu do hořáku při různých hodnotách průtoku plynu.-viz graf 1.



Graf 1: Závislost rychlosti plazmového plamene na přivedeném příkonu a průtoku plynu [2].

Pozn: 1 - 20 l.min⁻¹ , 2 - 30 l.min⁻¹ , 3 - 40 l.min⁻¹

3. způsob:

rychlost plazmového plamene je možno vypočítat v závislosti na výkonu, množství plynu a průměru dýzy dle vzorce[2]:

$$V = A (Q_o \cdot T / d^2 \cdot M)$$

(vz. 2.1.5c)

kde : Q_o ..objemový průtok plynu

T ..teplota plynu

d ..průměr dýzy

M ..molekulová hmotnost plynu

2.2 Tvorba plazmově stříkané vrstvy :

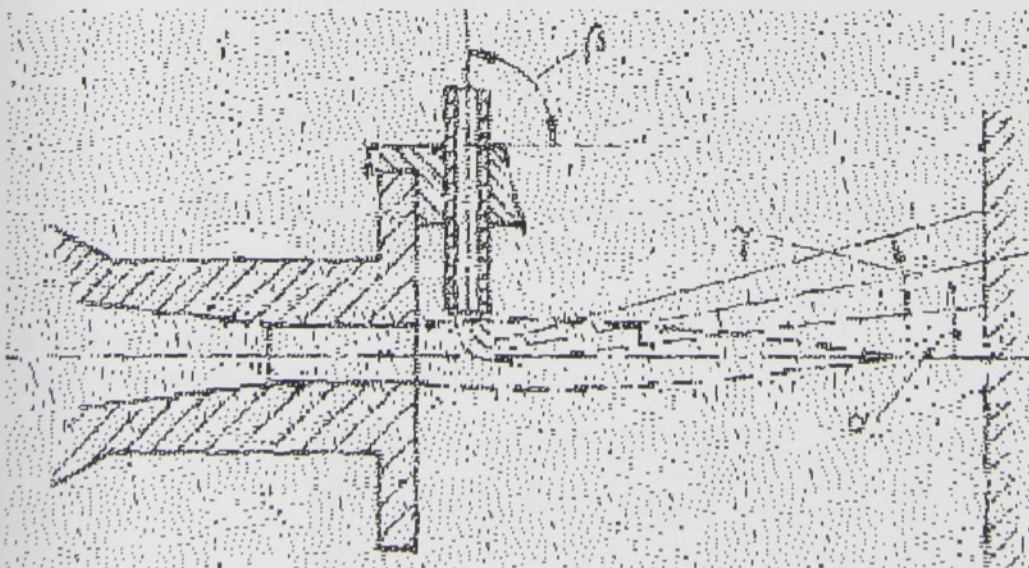
Tento proces má několik stádií :

- 1 - Transport prášku
- 2 - Dráha letu
- 3 - Rychlost stříkaných částic

2.2.1 Transport prášku :

- Transportní vlastnosti prášku určuje jejich tvar a rozměry.
- plazmotvorné plyny nemají rovnoměrné schopnosti odevzdat tepelný výkon nahřávanému prášku a vzhledem na krátký čas setrvání prášku v plazmě $/10^{-4} - 10^{-2}$ s/má důležitou úlohu poloha ústění přívodu prášku do plazmového plamene [2].
- nejvyšší účinnost ohřevu prášku se získává při jeho podávání do středu oblouku – toto je však složité a proto se prášek přivádí do plazmového plamene radiálně zvenčí pomocí nosného plynu – obr. 5.

-minimální hodnota úhlu α zabezpečuje příznivé podmínky stříkání,protože při tomto úhlu klesá počet zrn ,jenž se pohybují po venkovních (studenějších) drahách plazmového plamene.



Obr 5: Hodnota úhlu α při plazmovém stříkání [2].

2.2.2 Rychlost natavených částic prášku :

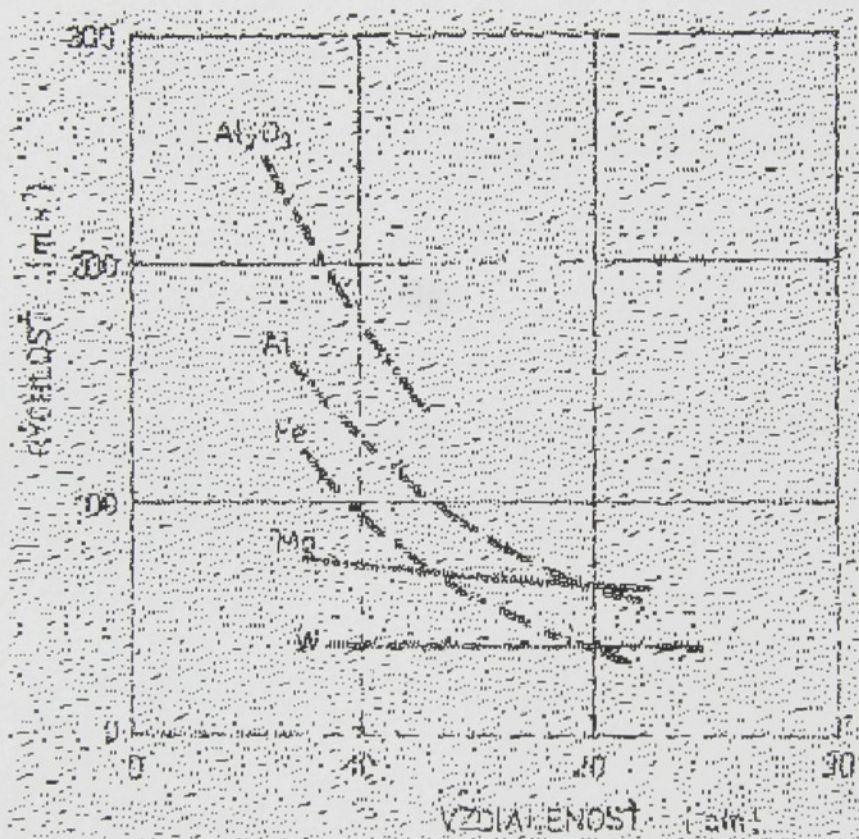
- rychlost prášku pohybujícím se v plazmovém plameni je přímo úměrná rychlosti plazmového plamene .
- rozptyl rychlostí částic je veliký,což zapříčiňuje radiální rozložení rychlostí v plazmovém plameni a kvůli nerovnoměrnosti jednotlivých zrn –proto určené rychlosti jsou přibližné.

-tuto rychlost můžeme ovlivnit pomocí výkonu hořáku, geometrií dýzy , průtokovém množství plynu atd. [2].

-určujeme 2. způsoby:

a) Způsob grafický:

- z experimentálních měření (optické a kinematografické metody) vyplývá že větší částice mají při vycházení z plazmového plamene menší rychlost než částice menší a mají menší úbytek rychlosti při průchodu atmosférou.
- vztah mezi rychlostí částic a hustotou materiálu - viz graf 2[2].



Graf 2 : Sřední rychlost částic různých mat. v závislosti vzdálenosti od dýzy, při příkonu 16kW[2].

b) Způsob výpočtový:

-výpočtová metoda vychází ze vztahu [2]:

$$v = v_{pl} \left[1 - \exp \left(- \frac{2A l}{v_{pl}} \right) \right]$$

(vz. 2.2.2a)

Kde :

v .. rychlost částic

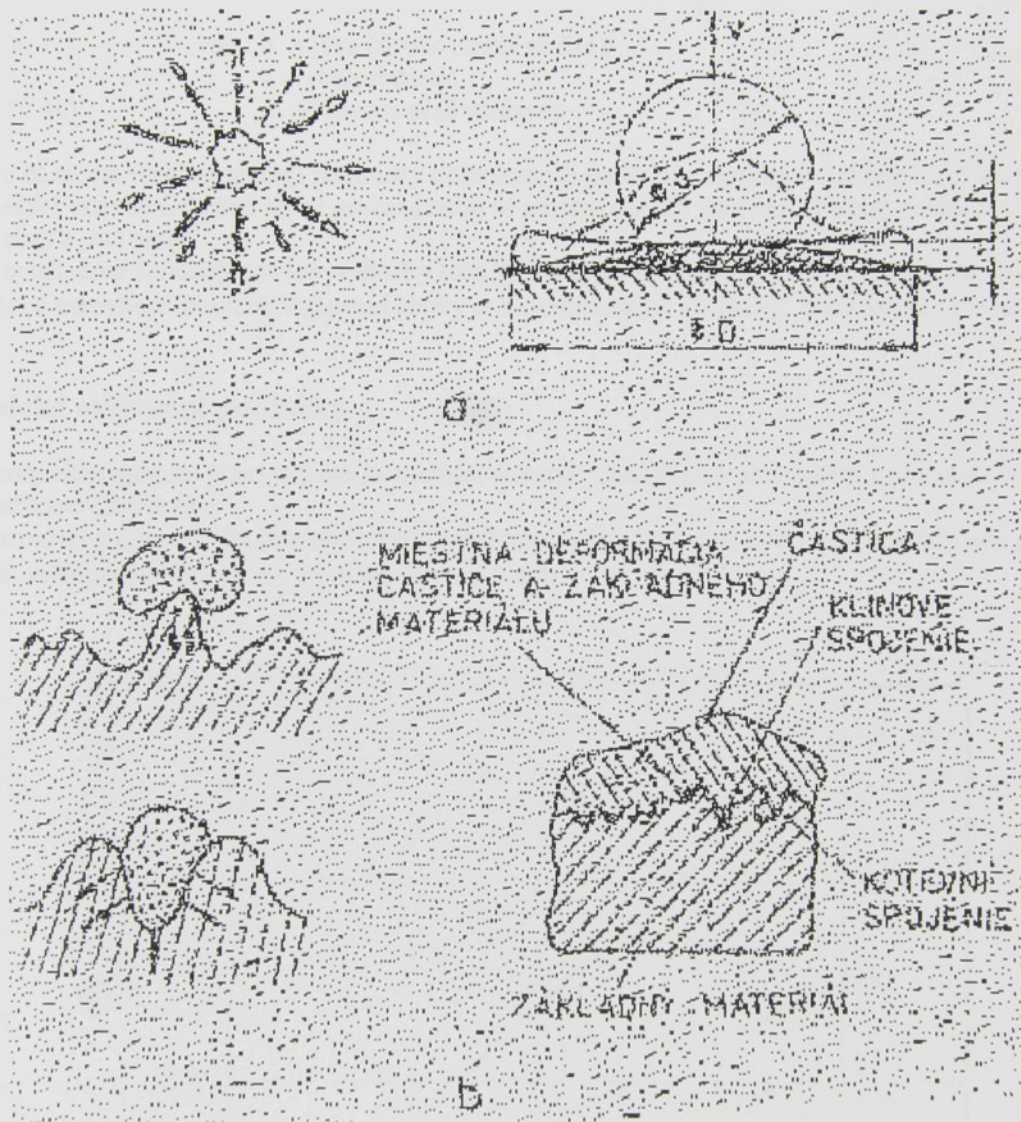
v_{pl} .. rychlost plazmového plamene l .. dráha částic

A .. $4.5 \eta r^2 \zeta$ (konstanta), η .. viskozita prostředí

ζ .. hustota materiálu částic, r .. průměr částic

2.2.3 Náraz letících částic na podložku :

V plazmovém plameni natavené částice dostávají vlivem povrchového napětí kulovitý tvar[2]. Při nárazu letících částic na podložku se mění jejich kinetická energie na energii tepelnou a deformační. Při nárazu částice na podložku se přenáší jejich tepelná energie na lokální část podložky, částice se rychle ochlazuje a tuhne. Kinetická energie při nárazu způsobuje deformaci částic a vznik vysokých tlaků – dynamického a impulsního (dle teorie hydrodynamického úderu kapalných částic o tvrdou podložku) [2] -viz obr.6.



Obr 6 : Schéma deformací částic na podložce [2].

-V prvním okamžiku v místě kontaktu se roztavená částice deformuje. Za časový okamžik 10^{-10} až 10^{-6} s. se vytvoří tenká vrstva průměru D_1 . Vzniklá plochá vrstva se spojuje s impulsním tlakem p_1 -výsledek pohybu tlakových vln, rozprostírajících se v částici od okamžiku její srážky s podložkou.

impulsní tlak očistí uje povrch podložky v místě nárazu.

Maximální impulsní tlak :

$$p_i = \frac{1}{2} \mu \cdot c_{kv} \cdot c_{zv} \cdot v \quad (\text{vz. 2.2.4a})$$

Kde:

c_{kv} - hustota kapaliny v - rychlost částic
 μ - součinitel tuhosti částic c_{zv} - rychlost zvuku v kapalině

Dynamický tlak je směrodatný tlak potřebný pro optimální spojení.

Dynamický tlak rovnoměrně se pohybujícího proudu se vypočítá z Bernuliho rovnic. Jestliže předpokládáme že tlak p_d působí na část povrchu podložky rozměrově blízké průměru částice, podložku považujeme za nestlačitelnou a částice za ideální kapalinu poté je možné vyjádřit tlak vzorcem. Dynamický tlak při reálných podmínkách (rychlost částic 100 až 300 ms^{-1}) dosahuje hodnot 49 až 98 MPa při době trvání 10^{-5} až 10^{-7} s [2]. Výpočet dynamického tlaku:

$$p_d = \rho_{kv} \cdot v^2 \quad \text{kde : } p_d \text{ ..dynamický tlak}$$

$$(vz. 2.2.4b) \quad \rho_{kv} \text{ ..hustota kapaliny}$$

$$v \text{ ..rychlost částic}$$

$$t = (d - h) / v \quad \text{kde : } h \text{ ..výška částice ztuhlé za čas } t$$

$$(vz. 2.2.4c) \quad v \text{ ..rychlost částic}$$

$$d \text{ ..}\varnothing \text{ částice před nárazem}$$

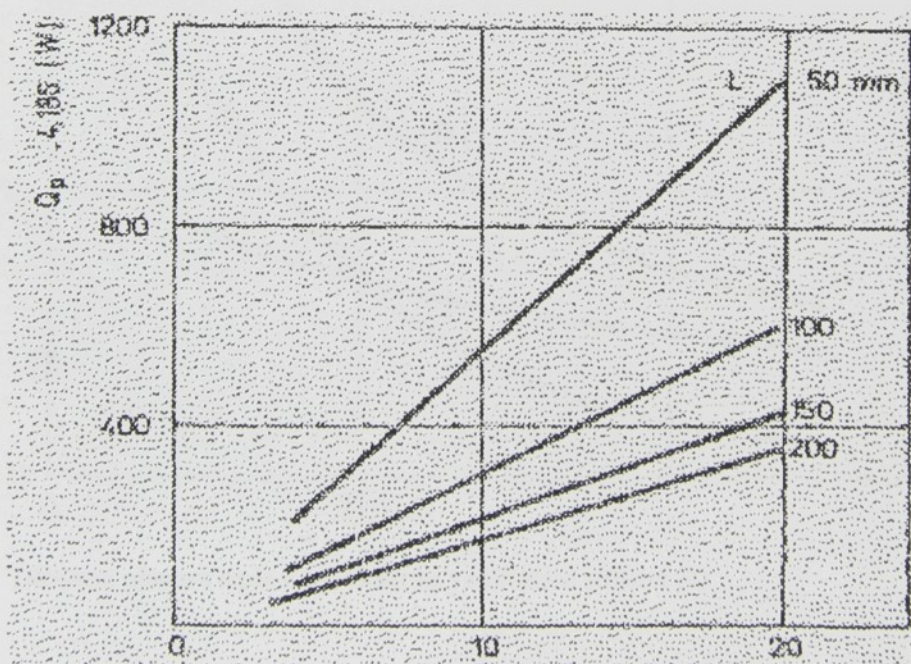
-při nárazu částic ne všechny splňují podmínky deformace či podmínky spojení se základním materiálem nebo s předcházející vrstvou. Odrážejí se od povrchu nebo se na něm usazují jako neroztavený prášek, tím vznikají defekty a póry a jiné vady.

- V praxi používáme zdrsňený povrch podložky (obr 8), který zabraňuje rozstříkávání kapek díky rychlejšímu ochlazení a nerovnosti povrchu. Tuhnoucí kapky se v nerovnostech zachycují čímž zvyšují pevnost vrstvy [2].

2.2.4 Termické ovlivnění podložky :

Po dobu provádění operace plz.m. stříkání je základní materiál tepelně ovlivněn teplem z plazmového plamene Q_p a teplem stříkané částice Q_m .

Teplo plazmového plamene Q_p lineárně stoupá a příkonem přivedeném do hořáku a lineárně klesá při zvětšování vzdálenosti hořáku od zk.materiálu – viz. graf 3 [2].



Graf 3 : Změna množství tepla přeneseného na podložku v závislosti na příkonu hořáku a stříkací vzdálenosti L [2].

Kde : Q_p ..teplo přenesené plazmovým plamenem

Poměr celkového množství tepla Q k přivedenému příkonu P_e nazýváme účinnost η .

Platí :

$$\eta = \frac{Q}{P_e}, \quad \eta_m = \frac{Q_m}{P_e}, \quad \eta = \eta_p + \eta_m$$

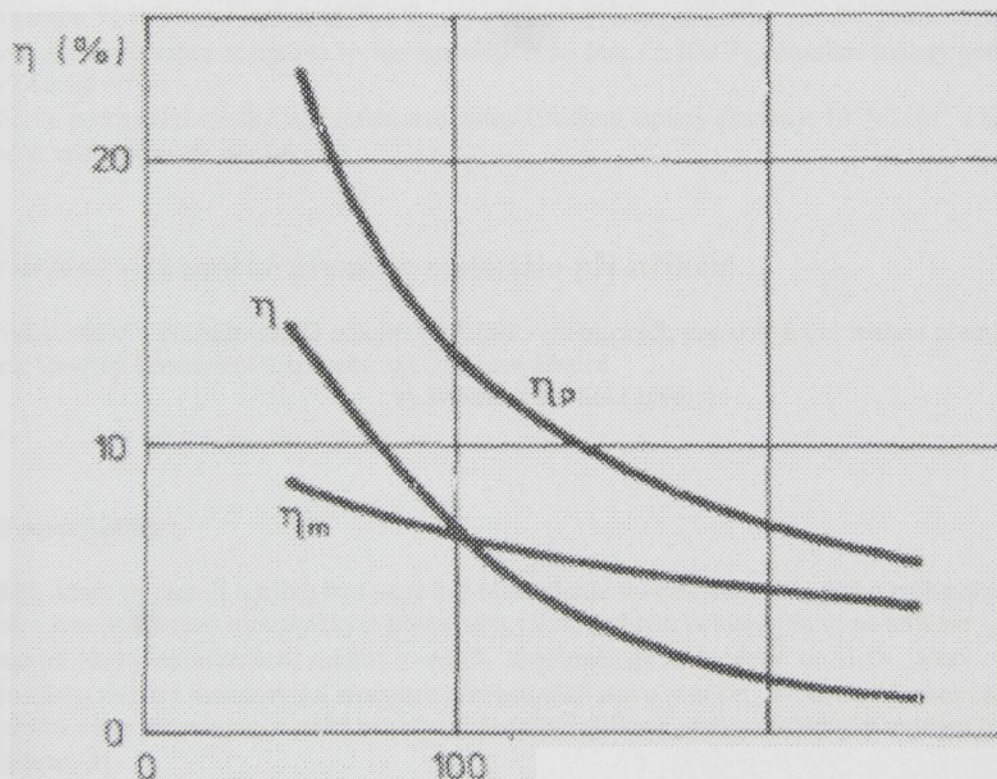
(vz 2.2.5a)

(vz 2.2.5b)

(vz 2.2.5c)

Kde Q ..množství tepla přivedené na podložku za jednotku času
 Q_m ..množství tepla přenesené částicí
 P_e ..přivedený příkon na hořák

Z průběhu křivek v grafu 4 vyplývá ,že teplo přenesené plazmovým plamenem podstatně rychleji klesá v závislosti na zvětšování vzdálenosti než teplo přenesené částicí. Aby se na povrchu nevytvořila tavná lázeň je třeba zvolit dostatečně velkou vzdálenost hořáku od zk.materiálu.Z grafu 4 vyplývá že vhodná stříkací vzdálenost je mezi 100 až 150 mm.



Graf 4 : Účinnost přenosu tepla v závislosti na vzdálenosti stříkání [2].

Teplota styku částice s podložkou T_k .

Teplota styku je důležitá teplota mezi natavenou, deformující se částicí a chladnou podložkou. Je jednou z hlavních veličin mající vliv na vytvoření pevného spojení vrstvy s podložkou.

Vypočítáme ji ze vztahu[2]:

$$T_K = T_m \cdot K_E / K_L + \varnothing(d) \quad (\text{vz } 2.2.5d)$$

$$K_E = (\lambda_p / \lambda_n) \cdot \sqrt{(\alpha_n / \alpha_p)} \quad (\text{vz } 2.2.5e)$$

$$K_L = (c_p \cdot T_m) / 1.77 L \quad (\text{vz } 2.2.5f)$$

kde:

K_E – koeficient charak.tepelnou aktivitu částice vzhledem na podložku

K_L – kritérium na vyhodnocení latentního tepla L materiálu částice

λ_p – koeficient tepelné vodivosti částice

λ_n – koeficient tepelné vodivosti podložky

α_p, α_n – koeficienty tepelné vodivosti částice a podložky

c_p – specifické teplo částice

T_m – teplota tavení částice

$\varnothing(d)$ – funkce integrálu pravděpodobnosti

Teplota styku T_K leží mezi teplotami T_p a T_n a po dobu krystalizace částice zůstává přibližně konstantní.

Po ukončení krystalizace se teplota rychle zmenšuje a po čase $\pm 100 T_K$ / dosáhne teploty podložky. Celý tento cyklus trvá asi 10^{-4} s.

V podložce pod částicí vzniká také intenzivní ohřev. Gradient teploty dosahuje $10^5 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{cm}^{-1}$ a hloubka tepelně ovlivněné vrstvy několik desítek μm .

2.2.5 Fyzikálně – chemické přeměny materiálu při stříkání :

Při stříkání částic v plazmě vzniká mnoho fyzikálně –chemických procesů ,které mohou přeměnit stříkaný materiál. Vznikají především 2 způsoby: a) Ohřevem částice

b) Stykem s okolím (plyny)

a) Ohřevem částice :

Materiály ,které sublimují a jejich bod varu leží blízko bodu tavení, jsou velmi těžko stříkatelné. Polymorfni materiály jsou vystaveny alotropickým přeměnám, velmi rychlým ochlazováním po stříkání se mohou stát metastabilní. Na vysokou teplotu zahřátý γ - Al_2O_3 se přeměňuje na kubický α - Al_2O_3 ,který rychlým ochlazováním získává metastabilní strukturu přechodného stavu zvanou δ - Al_2O_3 . V materiálech ,jejíž vlastnosti se mění fázovými přeměnami, vzniká nebezpečí porušení stříkané vrstvy následným nutným tepelným zpracováním[2].

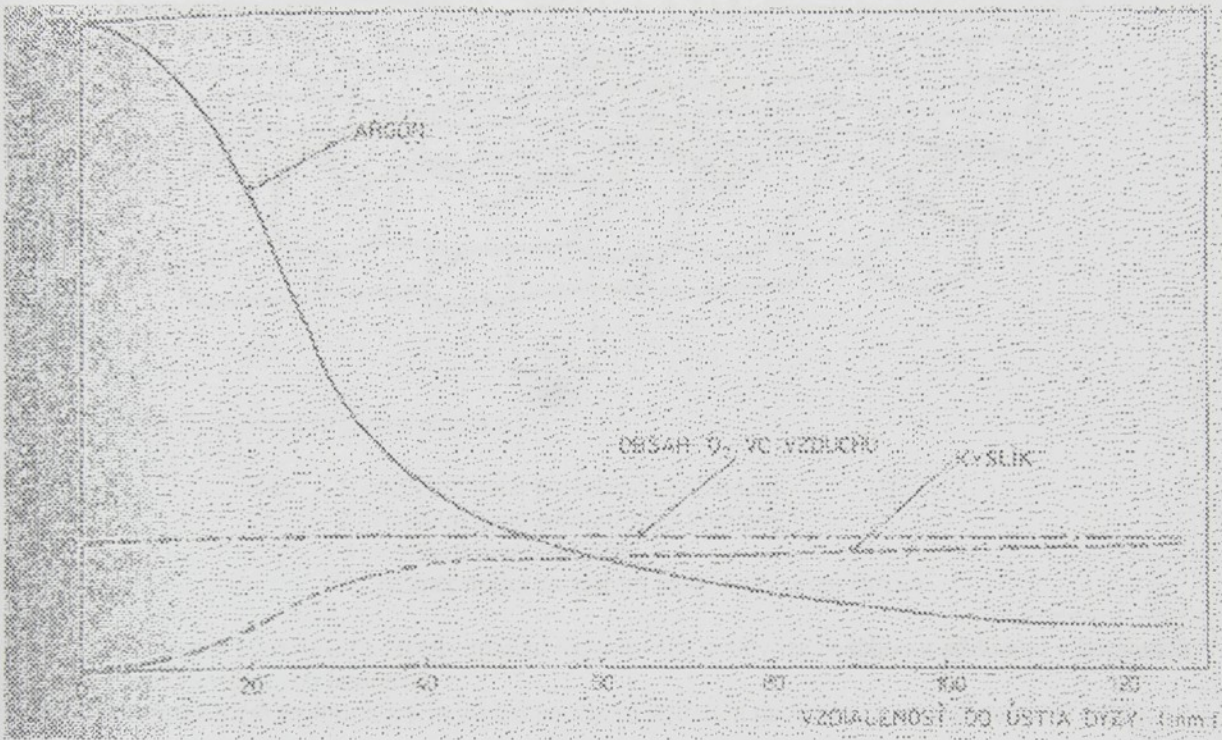
Materiály se proto stříkají se stabilizačním přídavkem např. pro ZrO_2 -5% CaO ./ošetřeno normou ČSN/.

b) Stykem s okolím (plyny) :

Stříkané materiály reagují po dobu transportu s plyny okolního prostředí a s plazmovými plyny. Při stříkání se zvyšuje obsah kyslíku v nastříkané vrstvě oproti výchozímu stavu (např. nízkouhlíková ocel 0,21 –0,87%). Při stříkání hliníku a wolframu v argonové plazmě se obsahy kyslíku a dusíku jednou až dvakrát zvětšili –viz tab 3 pro Al. Jevy oxidace a nitrodacie není možné úplně zamezit použitím inertních plynů v plazmovém plameni – zvláště při stříkání ve vzdušné atmosféře. Plazmový plamen nasává okolní vzduch a rychle se s ním mísí. Z měření těchto jevů byl zjištěn graf závislosti míšení okolního vzduchu s plazmovým plamenem v závislosti na vzdálenosti od ústí dýzy –viz. graf 5[2].

Tab.3 : Obsah O₂ a N₂ v stříkaných vrstvách Al.

	Obsah O ₂ %	Obsah N ₂ %
Původní stav	0,5	-
Al 18 136	Max 9,8	0,33 až 1,57
Al 18 133	Max 15,0	-



Graf 5 : Míšení okolního vzduchu s plazmovým plamenem [2].

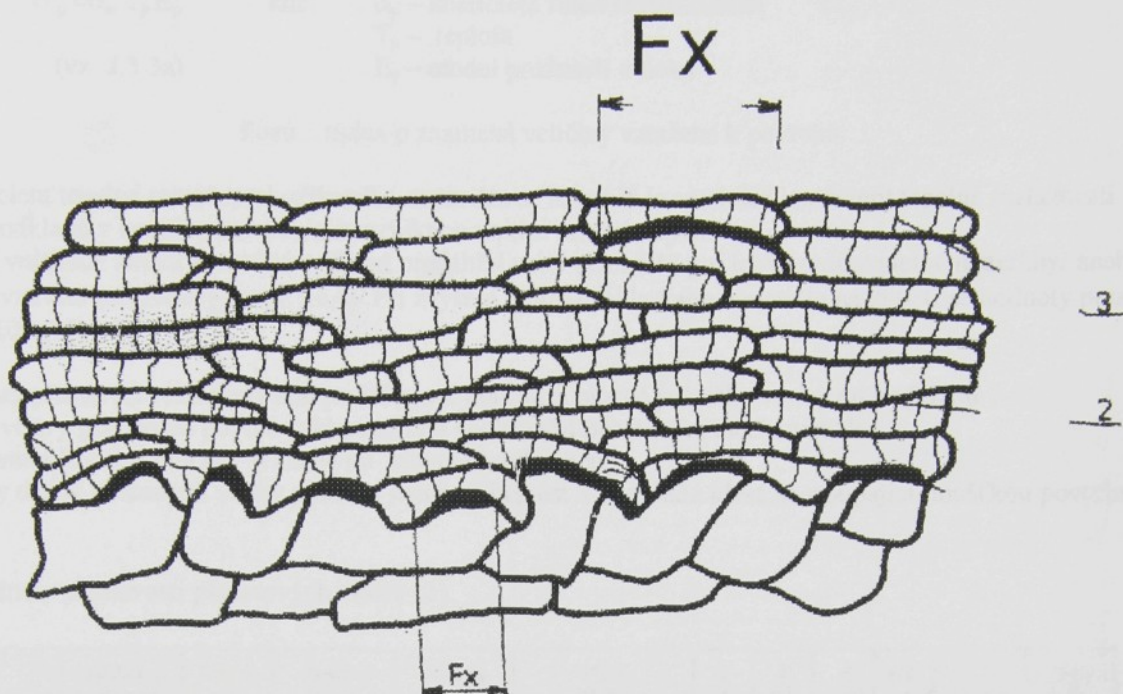
Z grafu vyplívá že při vzdálenosti 80 až 100 mm obsah kyslíku v plazmovém plameni se vyrovná s obsahem kyslíku v okolní atmosféře.Dále je možno snížit nasycenost vrstev plyny pomocí použití materiálů s malým obsahem rozpuštěných plynů ,parciálními tlaky aktivních plynů,stříkání v komorách s inertní atmosférou či tepelným zpracováním[2].

3 Základní vlastnosti plazmových vrstev :

Plazmově stříkané povlaky mají jiné vlastnosti než vlastnosti použitých materiálů:zvysuje se obsah kyslíku a dusíku ,zmenšuje se hustota a plasticita. Tyto vlastnosti se mění vlivem mnoha technologickými parametry,z kterých jsou nejdůležitější vel.proudu plazmového oblouku,druh a průtok plazmotvorných plynů,stříkací vzdálenost a prostředí.

2.3.1 Struktura :

Plazmově stříkané vrstvy mají odlišnou strukturu než jejich výchozí kompaktní materiály.Vnitřní struktura povlaku není homogenní ,skládá se z mnohočetných zrn.Povlaky ,které vznikly z roztavených částic,charakterizuje lamelární struktura vrstev.Tato struktura je metastabilní a při ohřevu se snaží získat rovnovážný stav – viz obr.7.



Obr. 7: Schéma struktury povlaku [2].

- Kde
- 1 ..rozhraní mezi povlakem a základem
 - 2 ..rozhraní mezi jednotlivými vrstvami
 - 3 ..rozhraní mezi částicemi
- F_x ..průměr úseku na kterém nastalo přivaření částice

-lepší strukturu s menší pórovitostí a lepším spojení jednotlivých vrstev lze dosáhnout stříkáním v komorách s inertními plyny či s vakuovou komorou.

-žiháním na rekrytalizační teplotu kovu se změní lamelární struktura na zrnitou a zmenší se počet oxidů.

2.3.2 Hustota a pórovitost :

-hustota stříkaných plazmových povlaků je menší než teoretická hustota stejného kompaktního materiálu a kolísá od 85 do 93 % její hodnoty.

Čím jsou kapičky stříkaného kovu tekutější a čím vyšší je jejich rychlost letu, tím hustější je struktura podkladu. Póry se vyskytují na hranicích zrn, rozpětí jejich velikosti je od 20 do 100 μm . Velmi pórovité materiály/např. filtrační mat./se zhotovují přidáváním prášku do plazmového plamene daleko od ústí hořáku či použitím hrubých zrn[2].

-mikropórovitost povlaků je spojena s vylučováním kyslíku, dusíku a vodíku zmenšením rozpustnosti při snižování teploty. Není důležité množství rozpuštěných plynů ale stupeň přesycenosti roztoku. Rozpuštěné plyny mohou uniknout do atmosféry /otevřená pórovitost/ ,či do mikrodutin /uzavřená pórovitost/. Vznik mikrodutin způsobuje rozptýlenou pórovitost povlaku, rozloženou na hranicích částic či v částicích samotných. Tato pórovitost určuje nejvyšší hustotu povlaku a v řadě případů není možné ji odstranit.

2.3.3. Vnitřní napětí, přilnavost :

Všeobecně platí ,že nástřikové povlaky jsou křehčí než jejich kompaktní protějšky.

-Při tvorbě povlaku vzniká vnitřní tahové či tlakové napětí. Způsobuje popraskání či odloupení povlaku od podkladu a při nanesení povlaku na tenký podklad jeho deformaci. Vznik vnitřních napětí závisí na nerovnoměrném rozdělení nanášeného materiálu a nerovnoměrnému ohřevu součástky. Je ovlivněno i tvarem a rozměry stříkané součástky. Vnitřní napětí se vypočítává podle rozdělení teplotních polí v součástce v čase, který odpovídá nulovým napětím. Vnitřní napětí na povrchu povlaku vznikají ochlazováním na teplotu okolí. Při tuhém upnutí součástky je možno použít zjednodušeného vzorce pro výpočet vnitřního napětí[2]:

$$\sigma_p = \alpha_p T_p E_p$$

(vz. 2.3.3a)

kde:

α_p – koeficient lineární roztlačnosti

T_p – teplota

E_p – modul pružnosti v tlaku

Pozn.: index p znamená veličiny vztažené k povrchu.

Když koeficient tepelné roztlačnosti stříkaného materiálu se rovná či je větší než koeficient tepelné roztlačnosti materiálu podkladu, v nastříkaném povlaku vzniknou vnitřní tahové napětí.
Pro snížení vnitřních napětí je možné podklad předežhřát nebo ochladit / pro lehko oxidovatelné materiály/ anebo použít vyrovnávací mezivrstvy /např. NiAl/. Při zvýšení teploty základního materiálu na 200°C se hodnoty pnutí sníží asi o 10%[2].

-Pod pojmem přilnavost rozumíme sílu potřebnou k odtrhnutí plošné jednotky vrstvy od podkladu. Nastříkané vrstvy přilnou na povrch zákl. materiálu společným působením mechanického zakotvení, valenčními a Van der Walsovými silami či mikrosvary.
Pro všechny druhy stříkaných vrstev platí, že jejich přilnavost k podkladu klesá se stoupající tloušťkou povrchu – viz tab.4.

Tab. 4 :Hodnoty přilnavosti plazmových vrstev [2].

Vrstva	Základný materiál	Medzi- vrst- va	Zrnitost (μm)	Hrúbka vrstvy (mm)	Plyn N_2 : H_2 (l.min ⁻¹)	I (A)	E (V)	d (cm)	Přil- navost (MPa)	Autor	Po- znám- ka
ZrSiO ₄	35NiCr18	NiCr	40 až 100	0,25 až 0,45	N_2 : H_2 85 : 15	400	72	10	28,4	[108]	1,3
ZrSiO ₄	oceľ 17 346	NiAl	40	1,0	4,8 35,0	538	52	13	0,61	[115]	2
Al ₂ O ₃ + 3 % TiO ₂	oceľ 11 373	—	35	0,33 až 0,45	10,5 37,5	500	70	12	6,27	[116]	3
Al ₂ O ₃ + 3 % TiO ₂	oceľ 11 373	NiCr	35	0,23 až 0,29	10,5 37,5	500	70	12	10,63	[116]	3
Al ₂ O ₃ + 2,5 % TiO ₂	35NiCr18	NiCr	28 až 40	0,3	11 20	320	52	12	9,02	[108]	3
Al ₂ O ₃ + 2,5 % TiO ₂	35NiCr18	NiAl	28 až 40	0,45	N_2 : H_2 100 : 15	450	75	12	18,6	[108]	1,3
Al ₂ O ₃ + 13 % TiO ₂	oceľ 11 373	—	37	0,3	10,5 37,5	500	70	12	10,7	[116]	3
Al ₂ O ₃ + 13 % TiO ₂	oceľ 11 373	NiCr	37	0,3	10,5 37,5	500	70	12	11,3	[116]	3
Al ₂ O ₃	oceľ 11 373	—	30 až 110	0,28 až 0,37	10,5 37,5	500	70	12	7,2	[116]	3
Al ₂ O ₃	oceľ 11 373	NiCr	30 až 110	0,15 až 0,24	10,5 37,5	500	70	12	11,77	[116]	3
ZrO ₂ + CaO	35NiCr18	NiCr	20 až 60	0,25	N_2 : H_2 85 : 15	500	82	10	24,5	[108]	1,3
ZrO ₂ + CaO	35NiCr18	NiAl	20 až 60	0,55	N_2 : H_2 100 : 15	450	75	12	65,7	[108]	1,3
Al ₂ O ₃ + 2 % Cr ₂ O ₃	oceľ 11 373	—	36	0,30	10,5 37,5	500	70	12	8,37	[116]	3
Al ₂ O ₃ + 2 % Cr ₂ O ₃	oceľ 11 373	NiCr	36	0,30	10,5 37,5	500	70	12	8,97	[116]	3
Al ₂ O ₃ + 20 % Al	35NiCr18	Al	50 až 80	0,7	70 —	410	74	9	15,7	[108]	3,4
ZrO ₂ + 20 % Al	35NiCr18	Al	20 až 60	0,55	70 —	440	75	9	17,6	[108]	3,5
ZrO ₂ + 20 % NiAl	35NiCr18	NiAl	20 až 60	0,25	N_2 : H_2 100 : 15	450	85	12	71,1	[108]	6
			45 až 80								7

Poznámky: 1 — zrnitost a hrúbka platí pre funkčnú vrstvu, 2 — přilnavost měřaná metodou svorníka, 3 — daný je pomer objemov plynov, 4 — zrnitost platí pre Al, 5 — zrnitost platí pre ZrO₂, 6 — zrnitost platí pre ZrO₂, 7 — zrnitost platí pre NiAl

2.3.4 Tvrdost :

Tvrdost je důležitá hodnota nastříkaných povlaků a závisí hlavně na použitém materiálu. Hodnoty tvrdosti WC povlaků se pohybují v rozsahu 700 – 1350 HRV. Husté Al₂O₃ vrstvy dosahují tvrdost kolem 1000 HRV, méně husté asi 700 HRV–viz.tab.5.Tvrdost Ti vrstvy nastříkané ve vzduchu dusíkatou plazmou je 700 HRV[2].
-Výrazný rozdíl tvrdostí reaktivních kovů může vzniknout při stříkání plazmovým plamenem vytvořeným z různých plynů.

Tab.5 : Základní fyzikální vlastnosti a aplikační možnosti vybraných prášků pro plazmové stříkání [2].

6. pokračovanie tabuľky 15

Skupina materiálu	Por. č.	Materiál, chemický vzorec	Hustota (g . cm ⁻³)	Teplota tavenia (°C)	Tvrdost vrstvy HRV, HRB, HRA	Označenie skupiny	Oblasť použitia	Firemné označenie ekvivalentných práškov
							Vlastnosti vrstvy — použitie	
Oxidy a ich zmesi	38 a	Al ₂ O ₃ + TiO ₂ Al ₂ O ₃ + 2,5 % TiO ₂ Al ₂ O ₃ + 3 % TiO ₂ Al ₂ O ₃ + 13 % TiO ₂ Al ₂ O ₃ + 40 % TiO ₂	4,05	2 030	HRV 2 400 až 2 800	A 1.2 A 3.1 A 2.1 A 3.4 A 2.3 A 4.1 A 2.3.1	Veľmi husté a tvrdé vrstvy sú odolné proti abrazívnym, koróznym, kavitáčným, oxidačným a erozívnym účinkom, majú vysokú elektrickú pevnosť. Zmesi chudobné na TiO ₂ majú vysoký špecifický odpor a uplatňujú sa pri požiadavkách dobrých izolačných vlastností a vysokej elektrickej pevnosti. Zmesi sa používajú tiež v textilnom priemysle pri súčiastkach vystavených opotrebeniu trením. Zmesi s vyšším obsahom TiO ₂ poskytujú veľmi hladký a tvrdý povrch, sú vhodné na súčiastky kde sa vyžaduje minimálna nerovnosť povrchu (textilný priemysel, vodiace kladky jemných vlákien). Ďalšie použitie: vodiace kladky v slaných a alkalických médiách, proti kavitáčným účinkom na lodných skrutkách, pri korózii za súčasného oteru (čerpadlá) ochrana povrchu častí prichádzajúcich do styku s roztaveným kovom (metalurgia, sklársky priemysel).	Plasmatec OT 3 (KM 20) 38 b Plasmatec OT 13 (KM 20, 40) 38 c Plasmatec OT 40 (KM 20) 38 d Metco 101 38 a Metco 130 38 c Amperit Al ₂ O ₃ + TiO ₂ 97-3 38 b Amperit Al ₂ O ₃ + TiO ₂ 87-13 38 c Amperit Al ₂ O ₃ + TiO ₂ 60-40 38 d AMDRY 182 38 b AMDRY 183 38 c AMDRY 184 38 d
	39	Cr ₂ O ₃ — oxid chrómu	5,41	2 343	HRV 2 600	A 2.1 C 1.1 A 2.3 C 2.5 A 3.4 A 4.1 B 1.1	Veľmi hladké a tvrdé vrstvy, odolné proti korózii a oxidácii pri súčasnom namáhaní oterom a sklzom, odolné proti kavitácii. Výhodné použitie v textilnom priemysle, na vodiace kladky pri ťahaní drôtov, na čerpadlá a ventily v chemickom priemysle	Amperit Cr ₂ O ₃ , Amperit Cr ₂ O ₃ S Metco 106 NS Plasmatechnik OCR/OM AMDRY 125

4 Technologický proces plazmového stříkání :

Při procesu výroby plazmově nanášených povlaků je možno rozdělit technologický proces na 3 základní fáze:

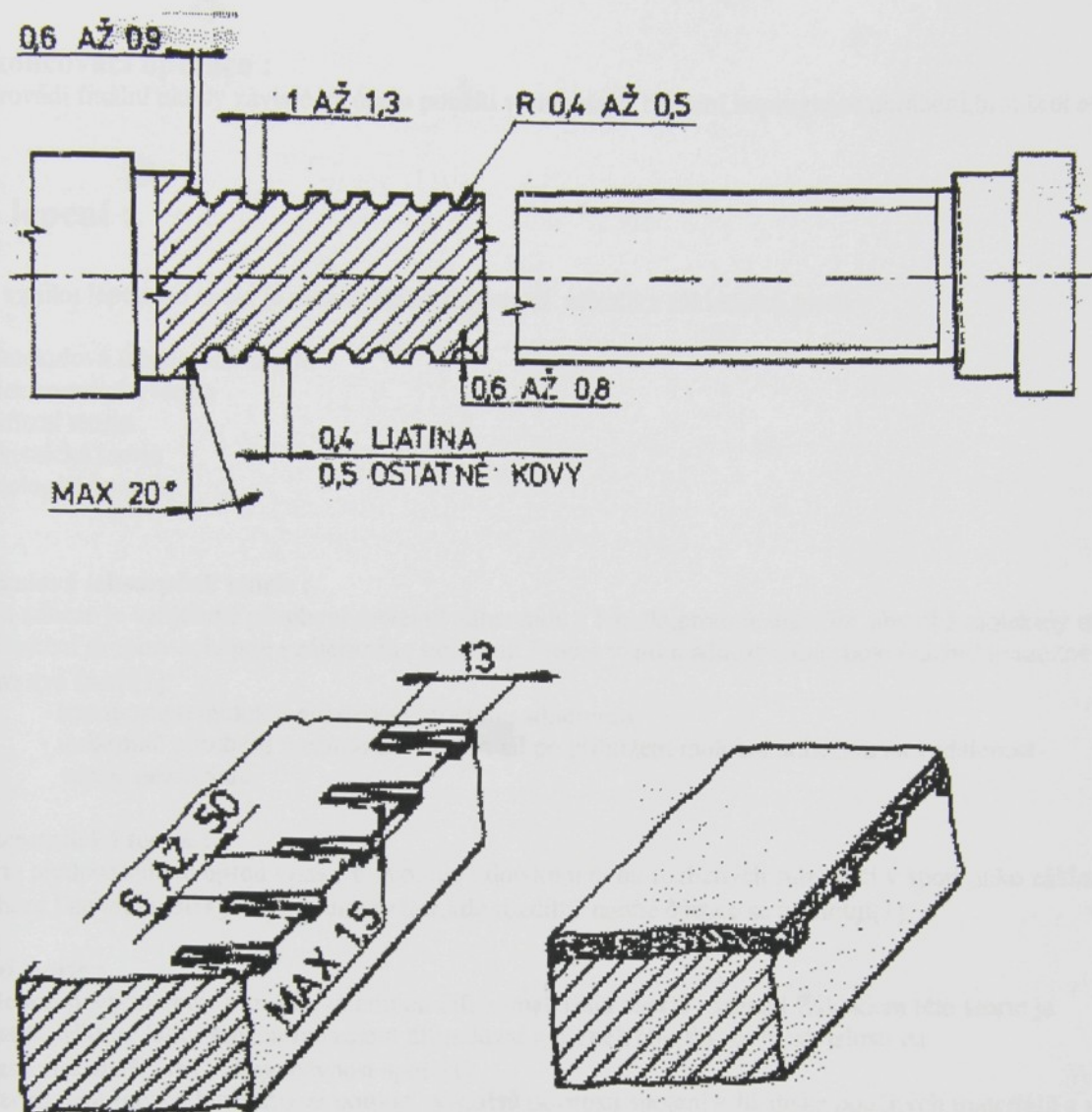
- I. 2.4.1 Úprava povrchu před stříkáním
- II. 2.4.2 Plazmové stříkání
- III. 2.4.3 Dokončovací operace

2.4.1 Úprava povrchu před stříkáním :

Úprava povrchu před plazmovým stříkáním je důležitým faktorem na zabezpečení pevného spojení stříkané vrstvy s podkladem. Na zachycení stříkaných částic musí mít povrch dostatečně drsnou plochu, dále je nutno zabezpečit odstranění vlhkosti, mastnoty a oxidační vrstvy.

-mechanické opracování:

účelem je dostatečně zdrsnit plochu podkladu pomocí řezání drážek-vytvoření makrodrsnosti-viz. obr.8. Metoda řezání drážek se používá pro tlusté vrstvy nebo pro povlaky určené na vysoké zatížení,nepoužívá se na tvrdé a křehké povrchy,velkoplošné povrchy a povrchy s složitou geometrií.Zde se používá metody elektrojiskrového obrábění[2].



Obr 8 : Mechanické opracování povrchu hřídele před stříkáním[2].

-chemické odmaštění:

používá se pro odstranění zbytků oleje na podkladě, protože olej se při ohřevu odpařuje, což ve značné míře zeslabuje pevnost spojení vrstvy s podkladem.

používají se např. trichlóretylén, aceton.

-abrazivní čištění:

využívá kinetickou energii pod tlakem vrhaného brusiva na očištění povrchu od nečistot a oxidační vrstvy a vytvoření vhodné drsnosti podkladu.

4.2 Plazmové stříkání :

Zde rozhodujeme o použití tzv. mezivrstvy či přímém plazmovém stříkání.

Mezivrstva je vytvořena stříkáním speciálních materiálů na upravený povrch. Mezivrstva má dobrou přilnavost k podkladu a její povrch vytváří dobré podmínky pro přilnutí následné stříkané vrstvy. Mezivrstvy vyrovnávají rozdílné koeficienty tepelné roztažnosti podkladového kovu a stříkaného materiálu tím že snižují hladinu smykových napětí vznikajících na rozhraní základního materiálu a vrstvy. Mezivrstvy také mohou vykonávat speciální úkoly např. ochranu před vnikem plynu do podkladu, před účinkem vysoké teploty, atd. Používají se tzv. samovazbové materiály-Mo, Ni či cermety.

2.4.3 Dokončovací operace :

Zde se provádí finální úkony závislé na účelu použití vrstvy např. barvení, impregnace, obrábění, broušení atd.

5. Teorie lepení :

Principy vzniku lepeného spoje je možno objasnit pomocí několika základních teorií:

- a: Molekulová /absorpční/ teorie
- b: Elektrostatická teorie
- c: Difúzní teorie
- d: Chemická teorie
- e: Reologická teorie

a. Molekulová /absorpční/ teorie :

Základem adheze je vzájemné působení molekul adherendu a lepidla, proto je důležité, aby obě molekuly měly polárně funkční skupiny schopné vzájemného působení. Proces vzniku adhezivního spoje /vazby/ je možné rozdělit na dvě části [1]:

- transportem molekul adheziva k povrchu adherentu
- vzájemné působení mezimolekulových sil po přiblížení molekul adheziva na vzdálenost menší než 0.5nm.

b. Elektrostatická teorie :

Tato teorie předpokládá dvojitou vrstvu vytvořenou dotykem dvou rozličných substancí v spoji, jako základ pro vznik adheze. Dle této teorie je spoj kondenzátor, kde rozdílně nabitě částice se přitahují [1].

c. Difúzní teorie :

Dle této teorie pevnost spoje vzniká vzájemnou difúzí materiálů napříč rozhraní. Základem této teorie je skutečnost, že některé látky mohou navzájem difundovat a průběh této difuze /v závislosti na teplotě, času, viskozitě, .../ ovlivňuje pevnost spoje [1].

-na tuto teorii není možné klasifikovat pomocí výpočtů pevnosti spojení z hlediska použitých materiálů a vůbec nevysvětluje spojení materiálů, které spolu nedifundují /např. sklo – kov/.

d. Chemická teorie :

Dle této teorie je pro získání pevného spoje, aby materiály, které se mají spojit, navzájem reagovali vytvářením primárních chemických vazeb napříč rozhraním [1].

e. Reologická teorie :

Teorie dle které cokoliv způsobuje adhezi na rozhraní dvou materiálů. Pevnost spoje je daná fyzikálně-mechanickými a reologickými vlastnostmi materiálů, které vytvářejí lepený spoj [1].

Základní pojmy v teorii lepení:

Adheze:

Adheze je obecně definována jako vzájemné přitahování dvou povrchů adhezními silami.

Termín adheze se odlišně používá v různých oblastech s jinou definicí.

- a) Ve fyzikální chemii znamená přitažlivost mezi tuhým povrchem a druhou fází (např. různé částice, molekuly, prášky, filmy, ...). Adheze vede k sorpci, která může být absorpcí na povrchu tuhé fáze či do vnitřku povrchové vrstvy.
- b) V technologii lepení znamená adheze jen přitažlivost mezi tuhým povrchem a druhou kapalnou či plynnou fází. Tento technologický proces se nazývá lepení.

Sorpce :

Sorpce je obecně definována jako pohltivost.

Není dokázána žádná teoreticky podložená souvislost mezi množstvím sorbované látky a velikostí adheze. Malá množství sorbované látky mohou být k adherendu vázána pevněji než množství velká – závisí na velikosti energie vazby mezi adherendem a lepidlem.

Při porovnání pevnosti chemických vazeb s ostatními typy mezimolekulárních interakcí je zřejmé, že chemické vazby budou mít rozhodující vliv na celkovou hodnotu adhezivní síly, z čehož vyplývá, že ze sorpčních jevů je z hlediska adheze nejzajímavější chemisorpce.

Sorpce lepidla na adherent probíhá převážně před začátkem vzniku trojrozměrné sítě vytvrzováním, nebo během vytvrzovacího procesu. V této době jsou leště k dispozici vysoce reaktivní skupiny, které zprostředkují vytvrzování a mohou zároveň reagovat s adherentem. S postupujícím stupněm vytvrzení klesá počet využitelných reaktivních skupin a tím i pravděpodobnost chemisorpce lepidlo – adherend. Bylo zjištěno, že lepidla jsou chemisorbována ve více než monomolekulární vrstvě.

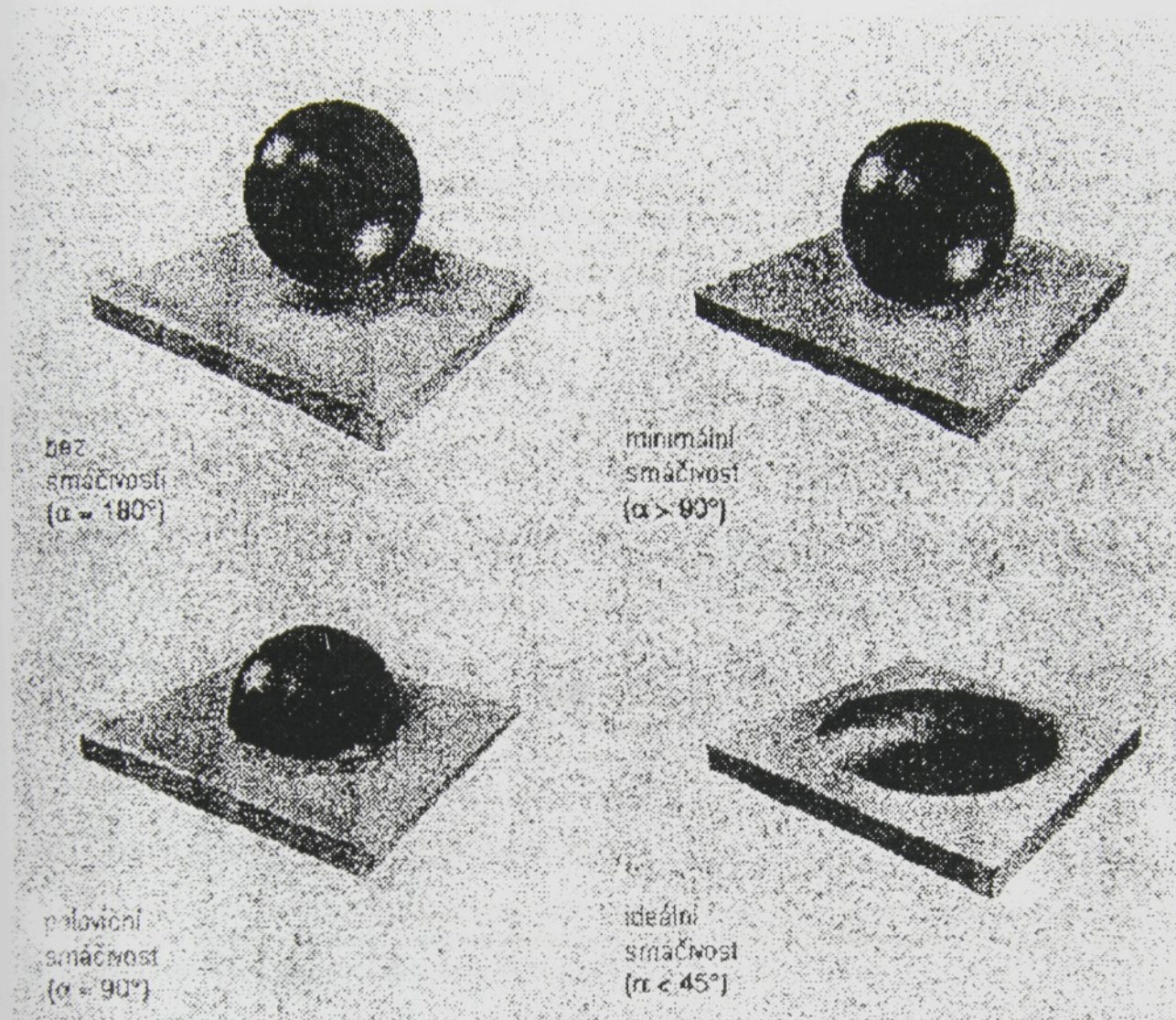
Vliv teploty na sorpci lepidla na adherentu je dle různých autorů různý. Jsou známy teorie, vytvářející exotermický sorpční model, podle kterého by mělo množství sorbované látky klesat se stoupající teplotou. U lepidel vytvrzovaných za horka by pak měla být menší pevnost spojů než u spojů vytvrzovaných při laboratorní teplotě v důsledku posunu sorpční rovnováhy ve směru nepříznivém pro sorpci – což odporuje zkušenostem.

Smáčivost povrchu a krajní úhel :

Předpokladem pro dobrou adhezi je dokonalé vyplnění všech spár adhezivem, to je vytvoření souvislé vrstvy. Tento požadavek může být splněn jen tehdy, když vzájemná přitažlivost molekul adheziva bude menší než přitažlivost adheziva k povrchu materiálu. Plocha se smáčí tehdy, když rozdíl povrchového napětí lepidla proti vzduchu a kapalině je kladný. Čím menší je krajní úhel, tím lépe smáčí lepidlo povrch materiálu a adheze je lepší. Hodnota krajních úhlů je závislá na vlivu nejrůznějších okolních podmínek např.

teplota, vlhkost, nečistoty. Při sledování velikosti krajního úhlu, lze zjistit, že jeho velikost se mění dle toho, zda se smáčená plocha zvětšuje či zmenšuje. Při zmenšování smáčené plochy je krajní úhel menší a pro adhezi příznivější a naopak. V praxi se používá toto pravidlo: adhezivum lze použít k lepení zvoleného materiálu tehdy, když jiná volená látka má na obou látkách podobné krajní úhly. Velikost krajního úhlu adheziva na povrchu lepeného materiálu je velmi důležitá i pro vnikání adheziva do pórů a nerovností na lepené ploše. Čím je krajní úhel menší, tím snáze vniká adhezivum do pórů, je ovšem možné, že v pórech zůstane vzduch, který adhezivum vytlačí, pokud je pór tvarově nepříznivý. A proto má na velikost krajního úhlu značný vliv drsnost povrchu – viz. obr. 9.

Použijeme-li k lepení tlak, zmenšuje se vliv povrchových nerovností a více se uplatňují rheologické vlastnosti adheziva.



Obr. 9 : Smáčivost povrchu [4].

Experimentální část :

Přilnavost lepidla k povrchu kompresních válečků :

- .1.1 Chemický rozbor povlaku , lepidla
- .1.2 Chemický rozbor základního materiálu
- .1.3 Předúprava povrchu základního materiálu
- .1.4 Drsnost povlaku , podkladu
- .1.5 Mikrotvrdost povlaku
- .1.6 Tloušťka povlaku
- .1.7 Zkouška přilnavosti lepidla
- .1.8 Návrh alternativního povlaku
- .1.9 Vyhodnocení

3.1.1 Chemický rozbor povlaku , lepidla :

a) povlaku :

Chemický rozbor byl proveden za účelem získání přesného chemického složení materiálu povlaku Optima. Rozbor byl proveden metodou rentgenfluoresenční spektrometrické analýzy firmou PCS s.r.o – analytické služby / Žďár nad Sázavou / pomocí spektrometru X – met 2000 MetalMaster.
Povrchová úprava :IMP plasma coat 40601/4001F IMPREGLON NETHERLAND.
Z analýzy bylo zjištěno chemické složení povlaku – viz.tab.3.1.1.

Tab.3.1.1: Chemické složení povlaku IMPREGLON.

Chemický prvek	Cr	Fe	Ni	W
Obsah v %	11	3	64	12

-zbývající % hodnoty jsou pravděpodobně Al jenž je použit jako základní materiál.
-zpráva od fa.PCS s.r.o. o výsledku měření přiložena jako příloha č.3.
-prospekt od fa.PCS s.r.o. o použitém měřicím přístroji přiložena jako příloha č.4.

b) lepidla :

Chemický rozbor byl proveden za účelem získání přesného chemického složení použitého lepidla BOSTIK FINDLEY. Z provedené spektrometrické analýzy se bohužel nepodařilo získat přesné chem.složení lepidla. Po oslovení výrobce lepidla byl získán informační list o produktu .
Informační list přiložen jako příloha č.1.

3.1.2 Chemický rozbor základního materiálu :

Chemický rozbor byl proveden za účelem získání přesného chemického složení zk.materiálu válečku OPTIMA. Rozbor byl proveden pomocí spektrometrické analýzy v SZÚ Jablonec n.N. Z analýzy bylo zjištěno chemické složení zk.materiálu.-viz .tab. 3.1.2.

Tab.3.1.2: Chemický rozbor zk.materiálu.

Vzorek	Al [%]	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]	Zn [%]	Cr [%]	Pb [%]	Sn [%]
Orig.povlak IMPREGLON	98,5	0,64	0,24	0,00	0,04	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00
Plasmametal.	89,2	0,89	0,52	4,04	0,75	0,82	0,5	0,07	3,06	0,01

Zhodnocení :

Použitý zk.materiál se u fa.Plasmametal výrazně liší od materiálu originálu. Zejména se liší v hodnotách obsahu hliníku – o 9 % ,mědi – o 4 % a olova - o 3%. Použitý materiál u originálu také neobsahuje měď, která zapříčiňuje zvýšenou elektrochemickou korozi.

3.1.3 Předúprava povrchu základního materiálu :

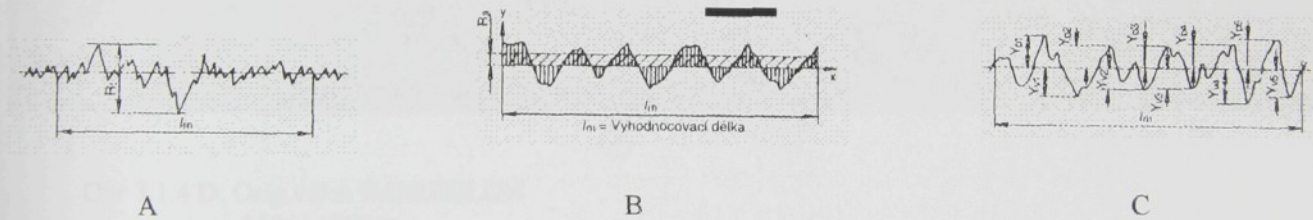
Z provedených metalografických výbrusů nebylo zjištěno žádné spec.mechanické opracování povrchu zk.materiálu. –viz obr.3.1.4 D,E.

3.1.4 Drsnost povlaku , podkladu :

a) drsnost povlaku

Drsnost povrch povlaku byla měřena pomocí drsnoměru HOMMEL Tester T – 2000 .
Měření bylo provedeno ve Strojírenském zkušebním ústavu s.p. Jablonec n.N.
Byly měřeny tyto drsnosti:

- Rt – Největší hloubka drsnosti
- DIN 4762 (od roku 1978 nahrazena R_{max})
 - Svislý odstup mezi největším a nejhlubším bodem filtrovaného profilu drsnosti uvnitř vyhod.délky.
 - viz obr.3.1.4 A
- R_{max} – maximální jednotlivá hloubka drsnosti
- DIN 4768
 - Největší z největších výšek nerovností profilu Zi stanovených na pěti stejně velkých zk.délkách.
- Ra – střední aritmetická úchylka profilu
- DIN 4768, DIN 4762, ISO 4287/1
 - střední aritmetická hodnota absolutních hodnot úchylek profilu v rozsahu vyhodnocované délky l_m .
 - viz obr.3.1.4 B
- R_{z-ISO} - výška nerovnosti profilu z deseti bodů
- DIN 4762,ISO 4287/1
 - střední hodnota z absolut.hodnot výšek pěti nejvyšších výstupků profilu a hloubek pěti největších prohlubních profilu v rozsahu vyhodnocované délky l_m .
 - viz obr.3.1.4 C



Obr.3.1.4A-C: Měřené typy drsností.

Měřené vzorky byly: originální povlak OPTIMA, opotřeбенý orig.povlak IMPREGLON- měřen na obou koncích válce a povlak od fa Plasmametal . Naměřené hodnoty viz.tab.3.1.4 a.

Tab.3.1.4 a:Hodnoty drsnosti povlaků.

Vzorek:	Rt [μm]	Rmax [μm]	Ra [μm]	Rz-ISO [μm]
originální válec IMPREGLON	77.9	75.9	12.1	60.3
Použ.orig.válec str. A	72.7	61.1	10.4	59.6
Použ.orig.válec str. B	46.7	46.7	7.4	43.0
Válec od fa.Plasmametal	-	63	15.5	-

-měřeno za běžných lab.podmínek.

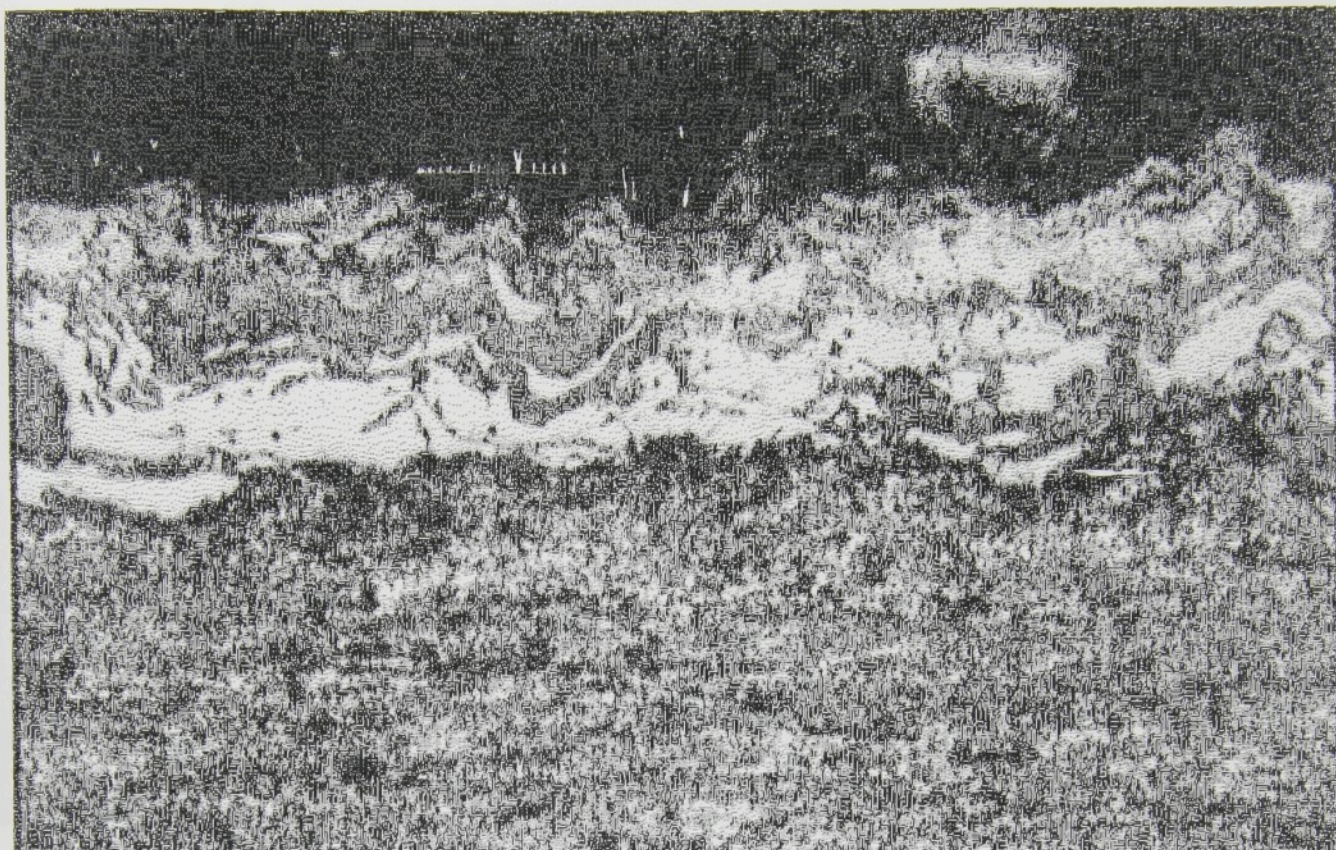
Zhodnocení:
Bylo zjištěno ,že povlak od fa.Plasmametal má výrazně horší hodnoty drsnosti než originální povlak IMPREGLON!
Při měření drsnosti povrchu na vzorku použitého válce byla také zjištěna rozdílná hodnota opotřeбенí povlaku, které bylo zapříčiněно zřejmě nesouosostí součástky – fa ONTEX byla upozorněна.

b) drsnost podkladu

Byla měřena hodnota R_z , R_t a $R_{\max}$ měřením z fotek metalografických výbrusů – viz obr.3.1.4 D,3.1.4 E. Výsledky zaznamenány do tabulky 3.1.4 b.



Obr 3.1.4 D: Orig.válec IMPREGLON
- 150x zvětšeno



Obr 3.1.4 E: Plasmametal válec
- 150x zvětšeno

Tab.3.1.4 b: Hodnoty drsnosti podkladů.

Válec	Rz [μm]	Rt [μm]	Rmax [μm]
Orig. podklad IMPREGLON	41	86	80
Plasmametal	28	35	35

Zhodnocení:

Vzorek podkladu fa. Plastmametal má zhruba $\frac{1}{2}$ hodnotu drsnosti než podklad IMPREGLON což je vadná hodnota! U vzorku válce od fa. Plastmametal byla zjištěna velmi malá hodnota Rz, což vedlo k nedostatečnému přilnutí povlaku k zk. materiálu a došlo k odtržení povlaku. –viz obr .3.1.4 F.

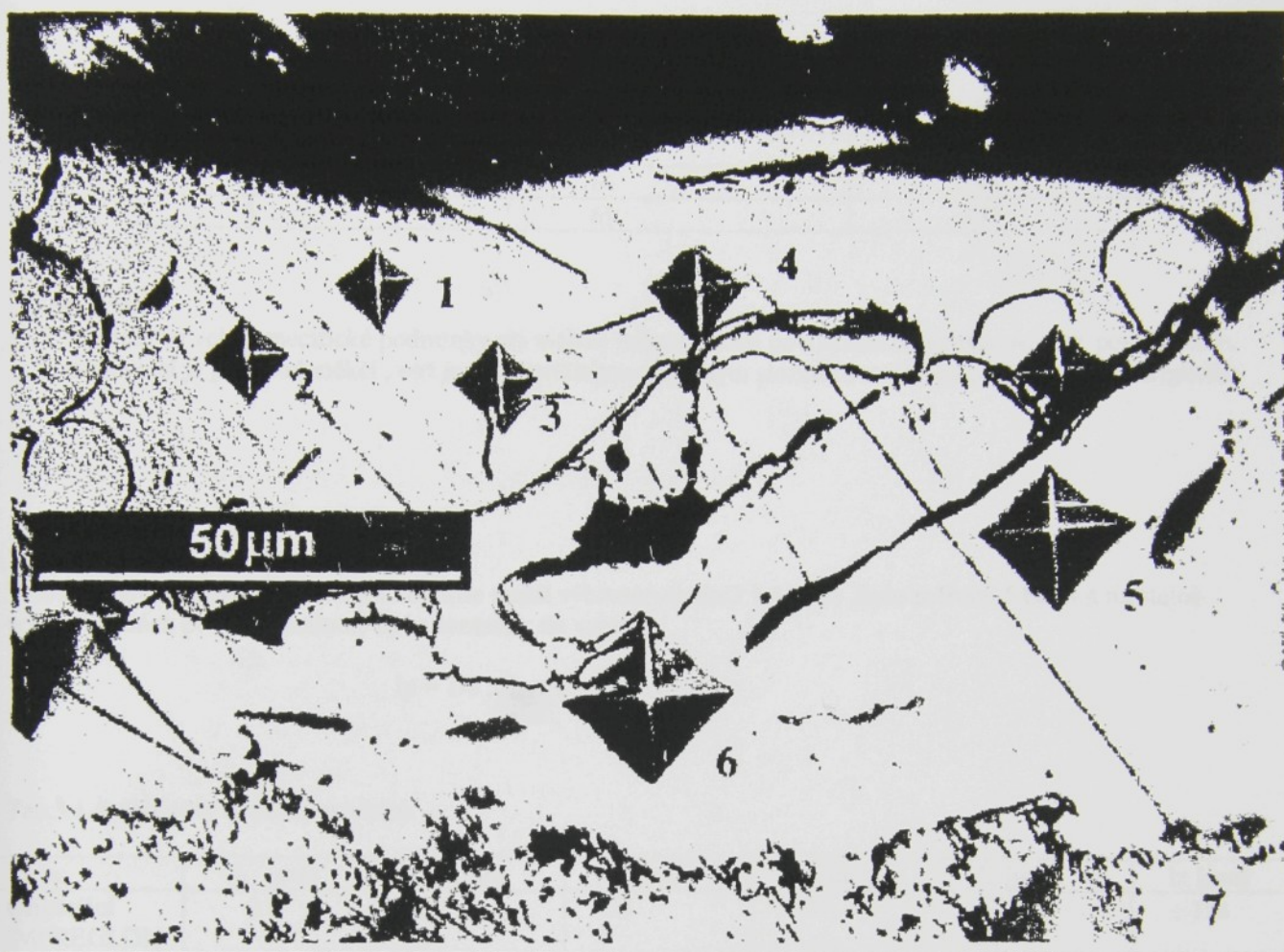


Obr 3.1.4 F : Održení povlaku u fa Plastmametal
- 150x zvětšeno

3.1.5 Mikrotvrdost povlaku :

a) originální povlak

Měření mikrotvrdosti bylo provedeno ve fakultní laboratoři metodou Vickers se zatěžující silou 0.5 N .
Měření bylo provedeno dle ČSN EN ISO 4516 .
Hodnoty měření –viz obr.3.1.5. & tab. 3.1.5 a.



Obr.3.1.5: Hodnoty vtisků při měření mikrotvrlosti originálního povlaku IMPREGLON.

Tab.3.1.5 a : Naměřené hodnoty mikrotvrlosti originálního povlaku.

Číslo vtisku	Tvrlost [Hv]
1	858
2	808
3	766
4	651
5	258
6	194
7	49.9 *

* ...zde naměřená hodnota odpovídá tvrdosti hliníku.

b) povlak od fa Plasmametal

Měření mikrotvrlosti bylo provedeno v laboratoři SZU Jablonec n.N metodou Vickers se zatěžující silou 0.4903 N.

Měření bylo provedeno dle ČSN EN ISO 4516 .

Výsledky měření – viz tab.3.1.5 b

Tab.3.1.5 b:Naměřené hodnoty mikrotvrdosti povlaku fa.Plasmametal.

Číslo měření	Délka úhlopříčky vtisku ($\varnothing$)	HV
1	59	677
2	66	541
3	69	495

Zhodnocení :

S ohledem na velmi specifické podmínky při měření mikrotvrdostí povlaků se dá konstatovat ,že povlak od fa. Plasmametal je poněkud měkčí , což je asi zapříčiněno nestejným složením materiálu povlaku oproti originálu.

3.1.6 Tloušťka povlaku :

Tloušťka povlaku byla změřena z fotografie metal.výbrusu(viz obr3.1.4.D,E) .Bylo měřeno 5 hodnot na stejné velkých šířkách profile a hodnoty byly dosazeny do vzorce:

$$l_p = 1/5 \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5)$$

Tab.3.1.6: Hodnoty tloušťky povlaků.

Válec	l_1 [μm]	l_2 [μm]	l_3 [μm]	l_4 [μm]	l_5 [μm]	l_z [μm]
Originální IMPREGLO	21	20	26	24	25	± 154
Plasmametal	18	14	14	11	18	± 176

Zhodnocení:

Povlak od fa.Plasmametal je v průměru o trochu tlusší (+ 22 μm) ,ale tato skutečnost není chybná.

3.1.7 Zkouška přilnavosti lepidla :

Tato zkouška byla provedena potřením povlaku válečku roztaveným lepidlem za účelem zjištění přilnavosti lepidla k povrchu.

U originálního povlaku lze lepidlo jednoduše oddělit od povlaku jak při rozehrátém lepidle tak i po vychladnutí lepidla – lepidlo vůbec nepřilne.

U povlaku od fa.Plasmametal bylo zjištěno ,že lepidlo lze snadno oddělit od povlaku ,když je lepidlo rozehráté,ale po vychladnutí lepidla došlo ke přilnutí s povlakem - povlak nevyhověl.

3.1.8 Návrh alternativního povlaku :

Vzhledem k velmi specifickému problému se speciálními požadavky na funkci povlaku je velmi obtížné volit určitý druh povlaku ,který by vyhovoval. V literatuře je doporučován oxidový povlak Al_2O_3 s přídavkem 3 – 13 % TiO_2 , Cr_2O_3 nebo MnO_2 s tzv. "povrchem tvaru pomerančové kůry"/což je úplně jiné chem.složení nežli v povlaku použitém!/[2]. V literatuře jsem bohužel našel jenom 1 větu týkající se řešení daného typu problému [2],s ohledem na tuto skutečnost bych v tomto případě tudíž doporučoval použít povlaky a informace od specializovaných firem.

3.1.9 Vyhodnocení :

Kompresní váleček byl podroben různými druhy zkoušek, kde byly zjištěny základní vlastnosti povlaku zk. materiálu. Tyto zjištěné informace byly použity k výrobě podobného typu povlaku u tuzemského výrobce. Oba povlaky jsou poměrně shodné co do chem. složení a mikrotvrdosti. Rozdíly jsou zapříčiněny specifickým složením originálního materiálu povlaku, což zapříčinilo nemožnost 100% určení složení povlaku a tím i rozdílnou mikrotvrdost druhého povlaku. Velmi specifické složení materiálu orig. IMPREGLON je možno vysvětlit i snahou zabránit vzniku difusní bariéry při výrobě povlaku. Výraznější rozdíly jsou u tloušťky povlaků což však není chyba.

Nejzákladnější rozdíl je u schopnosti zabránit přilnavosti lepidla, kde povlak od fa. Plasmametal nevyhověl – chyba je v drsnosti povlaku, která je výrazně horší než u originálního povlaku!

3.2 Problematika snížení tření v kompresní jednotce :

3.2.1 Chemický rozbor povlaku

3.2.2 Drsnost povlaku

3.2.3 Tloušťka povlaku

3.2.4 Mikrotvrdost povlaků

3.2.5 Koefficient tření

3.2.6 Návrh alternativního povlaku

3.2.7 Vyhodnocení

3.2.1 Chemický rozbor povlaku :

Chemický rozbor byl proveden za účelem získání přesného chemického složení materiálu povlaku. Byly testovány dva povlaky – 1. Od fa. OPTIMA, 2 od fa. Plast Metal Engeniring s.r.o. Z provedené spektrometrické analýzy se bohužel nepodařilo získat přesné chem. složení povlaku. Pro bližší vyhodnocení chem. složení bylo doporučeno odeslat vzorky do zahraničí /Německo/, kde by byla provedena přesnější analýzy – z tohoto řešení bohužel sešlo z důvodů finančních.

informace o povlaku č. 1 OPTIMA se bohužel nepodařilo získat ani po oslovení výrobce zřejmě z důvodu výrobního tajemství.

Od fa. Plast Metal Engeniring s.r.o se podařilo získat informace o materiálu povlaku.

Použitý materiál : PTFE (XYLAN) –polytetrafluorethylen čili teflon. Tento plast je méně pevný, velmi houževnatý, odolný proti chemikáliím má vysokou kluznost, atd..

3.2.2 Drsnost povlaku :

Drsnost povrch povlaku byla měřena pomocí drsnoměru HOMMEL Tester T – 2000 .

Měření bylo provedeno ve Strojírenském zkušebním ústavu s.p. Jablonec n.N.

Byly měřeny tyto drsnosti:

R_t – Největší hloubka drsnosti

R_{max} – maximální jednotlivá hloubka drsnosti

R_a – střední aritmetická úchylka profilu

R_{z-ISO} - výška nerovností profilu z deseti bodů

-výsledky měření zaznamenány v tab.3.2.2.

Tab.3.2.2:Hodnoty drsnosti povlaků

Vzorek:	R_t [μm]	R_{max} [μm]	R_a [μm]	R_{z-ISO} [μm]
Povlak č.1	6.44	6.44	0.72	4.13
Povlak č.2	16.34	16.34	2.47	14.67

-povlak č.1 výrobce OPTIMA

-povlak č.2 výrobce fa.PlastMetal Engeniring s.r.o.

- definice drsností viz.3.1.4
- měřeno za běžných lab.podmínek

Zhodnocení:

Z měření vyplívá ,že povlak č.1 OPTIMA má menší drsnost než povlak č.2 a to zhruba trojnásobnou.

3.2.3 Tloušťka povlaku :

Tloušťku povlaků bohužel nebylo možné změřit z důvodu nemožnosti vytvoření metalografických vzorků – fa ONTEX vzhledem k cenám žlabů nesouhlasila s odebráním vzorků. Z optických pozorování bylo zjištěno , že povlaky jsou velmi tenké.

3.2.4 Mikrotvrdost povlaků :

Mikrotvrdost povlaků bohužel nebylo možné změřit z důvodu nemožnosti vytvoření metalografických vzorků.

3.2.5 Koeficient tření :

- Měření bylo provedeno k porovnání koeficientu tření obou povlaků.
- postup měření : zatížený vzorek dětské plíny je rovnoměrně posouván po testovaném povrchu pomocí siloměru.Hodnota třecí síly T je odečítána ze siloměru.Normálová síla N je změřena z hmotnosti vzorku pomocí siloměru .

Výsledky dosazeny do vzorce :

$$T = f \cdot N \quad \text{kde } T \text{ ..třecí síla naměřená .}$$

$$N \text{.. síla normálová / zatížení/}$$

$$f \text{ .. koeficient tření.}$$

- výsledky zaznamenány do tab.3.2.5a,b.
- měření bylo provedeno v laboratoři TU Liberec za normálních měř.podmínek.
- měřeno pomocí siloměrů zn.PIERRON s max. hodnotami 2 , 10 N .

Tab.3.2.5a:Hodnoty měření drsnosti povlaku od výrobce Plast Metal Engeniring s.r.o.

Číslo měření :	Zatížení 2.8 N	Zatížení 2.8 N + 5 N	Zatížení 2.8 N + 10 N
1.	0.70	1.80	2.5
2.	0.74	1.89	2.3
3.	0.68	1.82	2.4
4.	0.72	1.78	2.3
5.	0.66	1.80	2.6
6.	0.68	1.74	2.3
7.	0.64	1.76	2.4
8.	0.70	1.78	2.5
9.	0.66	1.80	2.5
10.	0.72	1.80	2.5
11.	0.72	1.82	2.3
12.	0.70	1.80	2.4
13.	0.70	1.74	2.4
14.	0.68	1.78	2.5
15.	0.68	1.74	2.4
Σ	10.38	26.85	36.3
Ø	0.692	1.79	2.42
f	0.25	0.23	0.19
f _c	0.223		

Tab.3.2.5b: Hodnoty měření drsnosti povlaku od fa. OPTIMA.

Číslo měření :	Zatížení 0.28 N	Zatížení 0.28 N + 5 N	Zatížení 0.28 N + 10 N
1.	0.68	1.88	2.5
2.	0.72	1.82	2.4
3.	0.68	1.84	2.4
4.	0.70	1.82	2.5
5.	0.74	1.86	2.4
6.	0.70	1.84	2.5
7.	0.66	1.84	2.4
8.	0.66	1.86	2.4
9.	0.70	1.82	2.5
10.	0.68	1.86	2.5
11.	0.70	1.80	2.3
12.	0.72	1.88	2.4
13.	0.70	1.86	2.4
14.	0.70	1.84	2.5
15.	0.72	1.84	2.5
Σ	10.46	27.66	36.6
$\varnothing$	0.697	1.844	2.44
f	0.25	0.24	0.19
f_c	0.226		

Zhodnocení :

Měření prokázala že povlaky mají velmi podobný součinitel tření i přes výrazné rozdíly v drsnosti povrchů povlaků .

3.2.6 Návrh alternativního povlaku :

Vzhledem k velmi specifickému problému se speciálními požadavky na funkci povlaku je velmi obtížné volit určitý druh povlaku ,který by vyhovoval.V literatuře je doporučován oxidový povlak Al_2O_3 s přidavkem 3 – 13 % TiO_3 [2].V literatuře jsem bohužel nenašel řešení daného typu problému ,vzhledem k velmi malému množství zjištěných informací o povlácích bych v tomto případě tudíž doporučoval použít povlaky na bázi PTFE.

3.2.7 Vyhodnocení :

V tomto tématu bohužel pouze porovnáváme koeficient tření mezi obou povlaků.Další parametry nebylo možné zkoumat z různých důvodů.

Při porovnávání koeficientů tření povlaků byla zjištěna velmi zajímavá skutečnost – povlak od fa.Plast Metal má koeficient tření stejný jako povlak od fa.OPTIMA i přes zhruba trojnásobně větší drsnost.Bohužel se nepodařilo zjistit chem.složení obou materiálů povlaků což zabraňuje dalším konkrétním výsledkům srovnání, obdobná situace nastala kvůli nemožnosti odebrání vzorků na metalografický výbrus neumožňuje konkrétní výsledky.

Z výsledků vyplývá ,že používané povlaky mají podobné třecí vlastnosti a proto zřejmě bude určovací hodnota použití povlaku především ekonomická.

4. Závěr:

Tato bakalářská práce se zabývá konkrétním problémem použití plazmově stříkaných povlaků pro různé, konkrétně zadané aplikace zadané fa. ONTEX s.r.o.

Konkrétně zadané problémy:

- a) s přilnavostí používaného lepidla na povrch kompresních válečků.
- b) s problematikou snížení tření v kompresní jednotce balicího zařízení.

a) Problematika s přilnavostí lepidla :

Při zpracování tohoto úkolu byly zpracované následující body zadané tématem bakalářské práce.

1. Rozbor povrchu kompresního válečku:

Chemický rozbor byl proveden pomocí spektrometrického metody. Bylo zjištěno velice zvláštní složení materiálu povlaku (IMPREGLON) - 64% Ni, 12% W, 11% Cr. Toto složení bylo zasláno tuzemskému výrobcí k výrobě podobného povlaku (Plasmametal).

Technologický rozbor byl proveden ze metalografických vzorků obou povlaků.

Tvrdost povlaků (měřena mikrotvrdost HV) : povlak IMPREGLON je poněkud tvrdší než povlak Plasmametal.

Tloušťka povlaků (měřena z fotografie metal.výbrusů) : Povlak Plasmametal je tlustší o +22μm než povlak IMPREGLON.

Drsnost podkladů (měřena z fotografie metal.výbrusů) : IMPREGLON -Rz = 41 μm, Plasmametal = 28μm – tato nízká hodnota způsobila nedostatečné přilnutí povlaku k podkladu !

Drsnost povlaků (měřena drsnoměrem) : IMPREGLON Ra = 12.1 μm, Plasmametal Ra = 15.5 μm.

Zkouška přilnavosti lepidla (provedeno experimentálně) : IMPREGLON – povlak vyhověl, Plasmametal – povlak nevyhověl, lepidlo po vychladnutí přilne.

2. Porovnání vzorků v závislosti na koeficientu tření dotykových ploch :

Tento bod nebyl měřen – nesouvisí s řešenou úlohou.

3. Návrh vhodné alternativy povlaků :

Zde bylo konstatováno oslovení specializovaných firem z důvodu specifickým složením materiálu a nedostatkem v vhodné literatury.

b) s problematikou snížení tření v kompresní jednotce balicího zařízení:

Byly porovnávány dva povlaky : 1. OPTIMA, 2. Plast Metal Engeniring.

1. Rozbor povrchu kompresních desek :

Chemický rozbor : OPTIMA – chemické složení nebylo určeno.

Plast Metal Engeniring. – PTFE.

Tvrdost povlaků : hodnoty nebyly zjištěny.

Tloušťka povlaků : hodnoty nebyly zjištěny.

Drsnost podkladů : hodnoty nebyly zjištěny.

Drsnost povlaků (měřena drsnoměrem) : OPTIMA – Ra = 0.72 μm.

Plast Metal Engeniring = 2.47 μm.

2. Porovnání vzorků v závislosti na koeficientu tření dotykových ploch :

Měřeno experimentálně : OPTIMA – $f_c = 0.23$.

Plast Metal Engeniring - $f_c = 0.22$.

3. Návrh vhodné alternativy povlaků :

V literatuře je doporučován oxidový povlak Al_2O_3 s přídavkem 3 – 13 % TiO_3 [2], ale spíše bych doporučil povlak na bázi PTFE.

Obecné zhodnocení :

a) s přilnavostí používaného lepidla na povrch kompresních válečků.

Kompresní váleček byl podroben různými druhy zkoušek, kde byly zjištěny základní vlastnosti povlaku i zk. materiálu. Tyto zjištěné informace byly použity k výrobě podobného typu povlaku u tuzemského výrobce. Z výsledků bylo zjištěno, že velmi výrazným faktorem funkčnosti povlaku je jeho drsnost. Tato drsnost musela být v nejvyšší možné míře zachována stejná jako u povlaku originálního, jelikož jinak povlak požadovanou schopnost snížení lepivosti neplnil.

Další velkou zvláštností bylo chemické složení povlaku 64% Ni, 12% W, 11% Cr. O takto složeném materiálu jsem nenašel žádné informace v technických knihách a proto jsem se řídil především hlavním určujícím prvkem. Pro zajímavost by jistě bylo zajímavé podrobit výše zmíněný materiál důkladnějším testům, jenž by jistě výrazně objasnili úlohu jednotlivých prvků v daném problému.

b) s problematikou snížení tření v kompresní jednotce balicího zařízení.

V druhém tématu bohužel pouze porovnává koeficient tření mezi dvou různých povlaků. Další parametry nebylo možné zkoumat z různých důvodů. Z výsledků vyplívá, že používané povlaky mají podobné třecí vlastnosti a proto zřejmě bude určovací hodnota použití povlaku především ekonomická.

Velkým problémem v psaní této bakalářské práce byl výrazný nedostatek odborné literatury. Použitá (a hojně citovaná) kniha Plazmové striekanie kovových a keramických práškov od autora ing. Matejka D Csc. byla vydána v roce 1988 – což u dynamicky se rozvíjejícího oboru je doba dávna, bohužel jsem neobjevil žádnou novější knihu zabývající se touto problematikou.

Další problém představuje neochota firem uveřejnit výrobní parametry produktů z důvodu ochrany výrobního tajemství a ochrany před konkurencí. Z tohoto důvodu jsem bohužel nemohl dostatečně porovnat parametry povlaků zvláště pak u druhého tématu.

5. Seznam použité literatury :

- | | | |
|--------------------------|--|-----------------------|
| [1] Kovačič L. | Lepení kovů a plastů | |
| [2] Matejka D. ing. Csc. | Plazmové striekanie kovových a keramických práškov | /Alfa 1988/ |
| [3] Sedláček V. | Povrchy a povlaky kovů , skriptu ČVUT Praha | /1992/ |
| [4] Badinka F. | Adheze mezi silikonovými kaučuky a sklem | DP V 9/01S TU Liberec |
| [5] Firemní podklady | | |
| [6] Normy ČSN | | |

přílohy :

(A) BOSTIK FINDLEY

Technical Data Sheet

PRODUCT # H246503UN

EXPERIMENTAL

DESCRIPTION: Hot Melt Adhesive

SUGGESTED USES: Elastic attachment for disposable soft goods

CHARACTERISTICS: Light color, no odor, good creep resistance and specific adhesion to polyethylene and nonwoven substrates

The values in this document are preliminary. They may be changed during development work based on further data.

TECHNICAL PROPERTIES:

Thermoset Viscosity
(Brookfield - ASTM D3236)

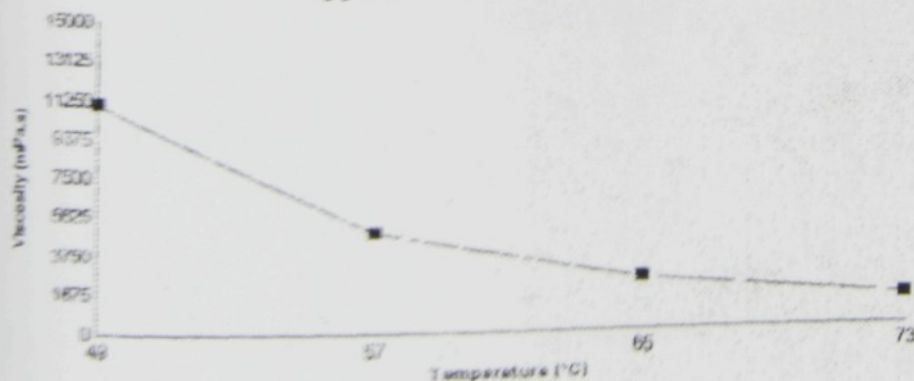
Softening Point - 85 C (185 F)
Ring and Ball (Herzog - ASTM E28)

Approximately
11000 cPs @ 121 C (250 F)
4800 cPs @ 135 C (275 F)
2450 cPs @ 149 C (300 F)
1425 cPs @ 163 C (325 F)

Suggested Running
Temperature: 121 - 149 C (250 - 300 F)

Density
0.98 g/cc @ 25

Typical Viscosity Curve



APPLICATION CHARACTERISTICS:

H246503UN

For performance test characteristics please contact your Bostik Findley sales or technical representative.

STORAGE:

Can be stored 365 days in a clean dry place, in its original package at an average temperature of 25°C or below. Storage temperature should not exceed 40°C.

PACKAGING:

For packaging options please call your Bostik Findley sales or technical representative.

SAFETY AND HANDLING:

Clean-up Procedure: Mineral oil or paraffin wax, not to exceed flash point as stated on the MSDS, followed by a thorough purge with the adhesive itself.

Material Safety Data Sheet should be consulted for proper handling before use.

Wear safety gloves and goggles when handling molten adhesive to minimize the risk of burns.

Keep containers covered to minimize contamination.

H246503UN compositionally complies with the FDA regulations of 21CFR§175.105 subject to all other provisions of the regulations. For additional clearances please contact the Regulatory Affairs Department at (414)774-2250.

Issued 04-Sep-2001

Modified 27-Jan-2003

This information given and recommendations made herein are based on our research and are believed to be accurate, but no guarantee of their accuracy is made. We accept no responsibility for results obtained by the application of this information or the safety and suitability of our products, either alone or in combination with other products. Purchasers are advised to make their own tests to determine whether the product is suitable for their purposes under their own operating conditions. Unless otherwise agreed to in writing, we sell the products without warranty as to merchantability and fitness for a particular purpose or any other warranty, expressed or implied, AND buyers and users assume all responsibility and liability for loss or damage arising from the handling and use of our products. Nothing contained herein shall be construed to imply the knowledge of any relevant patents or to constitute permission, inducement or recommendation to practice any invention covered by any patent, without authority from the owner of the patent.

Bostik Findley, Inc. 11320 Watertown Plank Road
Telephone: 414-774-2250

Wauwatosa, WI 53226-3434
Fax: 414-774-8075



S.R.O.

Doc.Ing.Petr Louda CSc. TU fakulta strojní
Málkova 6 Liberec 461 17

Věc: Zpráva o chemickém rozboru dodaného vzorku

Dne 8.11.2002 byl podroben dodaný vzorek chemickému rozboru na RTG spektrometru X-met 2000 MetalMaster od firmy Metorex.

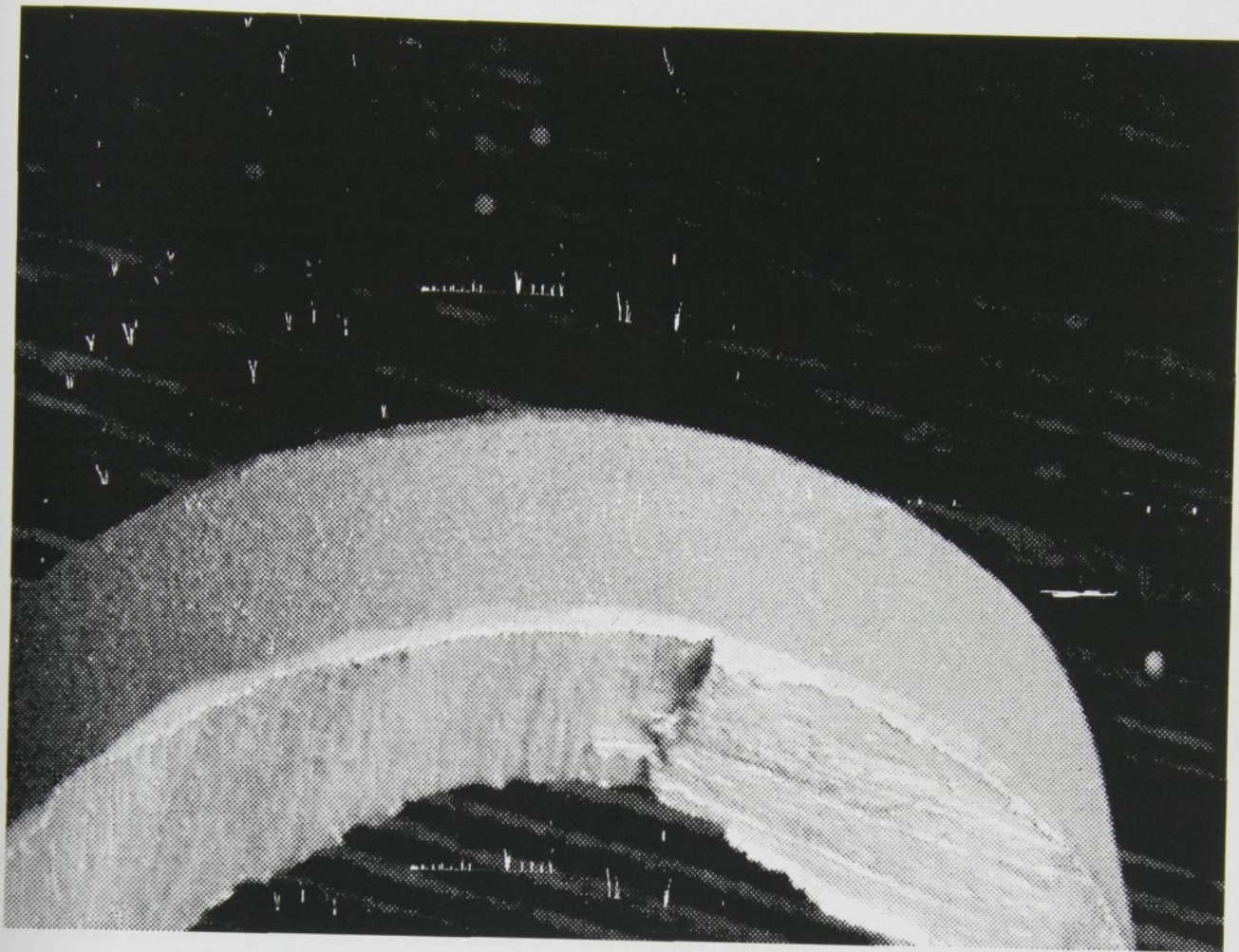
Na povrchu byly naměřeny následující hodnoty:

Cr 11%	Fe 3%	Ni 64%	W
			12%

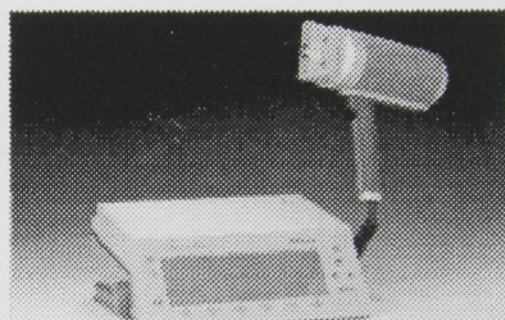
Zbytek je pravděpodobně Al, ale ten ne lze touto metodou stanovit. Základní materiál je pravděpodobně ocel. Vzhledem k velmi specifickému složení nemáme na daný typ slitiny kalibraci, proto jsou naměřené hodnoty pouze informativní.

Za firmu PCS s.r.o. analytické služby Jan Jírek

Příloha č.3 :Zpráva o provedené analýze povlaku kompresního válečku.



Příloha č.2 : Detail povlaku kompresního válce.



T 2000 Metal Master

kou v řadě přenosných rentgenfluorescenčních spektrometrů firmy t. Ve skutečně příručím provedení zvládne analýzu i identifikaci řady slitin. dioizotopovým budicím zdrojům nízkých aktivit obsáhne širokou škálu d hliníku po uran. Může pracovat s řadou sond od tradičních robustních roporcionálními čítači, až po ruční sondu laboratorní kvality se Si(Li) em s vysokým rozlišením. Nová sonda s polovodičovým detektorem (SiPIN) posouvá možnosti přenosných XRF spektrometrů pro práci v terénu.

Typické výsledky získané na CrNi oceli a nelegované oceli při době měření 30 s:

	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	Ti		Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	
měřeno	1.18	16.68	12.59	0.11	2.22	0.41	Neleg.	Naměřeno	1.38	0.04	0.08	0.06	0.01
minál	1.17	17.08	12.58	0.09	2.17	0.42	ocel	Nominál	1.30	0.05	0.03	0.03	0.01

poskytuje velmi dobré výsledky nejen pro identifikační účely u legovaných ocelí, ale dovolí i třídít např. vstupní šrot z zbytkového chromu v litině. Výsledky pro identifikaci lze získat při době měření do 5 sec. Pochopitelně lze analyzovat i é kovy, feroslitiny, pomocí speciálních sond i kapalné či sypké vzorky.

Všechny typy rtg. analyzátorů jsou schváleny SÚJB pro prodej a používání v ČR.

Příloha č.4 : Prospekt o použitém spektroskopickém přístroji .

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, **že souhlasím** s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užití své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do její skutečné výše).

Jméno a příjmení : Václav Havel

Datum : 11. prosince 2003

Podpis :

