

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA  
KATEDRA DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ

**APLIKACE ŽÁROVÉHO NÁSTŘIKU NA  
SPALOVACÍ MOTOR AUTOMOBILU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: Bc. Tomáš Koudelka

VEDOUCÍ PRÁCE: doc. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.

2009

UNIVERSITY OF PARDUBICE  
JAN PERNER TRANSPORT FACULTY  
DEPARTMENT OF TRANSPORT MEANS

**FLARE SPRAYING APPLICATION ON THE CAR  
ENGINE**

GRADUATION THESES

AUTHOR: Bc. Tomáš Koudelka

SUPERVISOR: doc. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.

2009

*Prohlašuji:*

*Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.*

*Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.*

*Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.*

*V Pardubicích dne 25. 5. 2009*

*Bc. Tomáš Koudelka*

## Poděkování

Touto cestou bych chtěl vyjádřit poděkování všem lidem, kteří mi pomohli s tvorbou diplomové práce. Především pak paní doc. Ing. Evě Schmidtové, Ph.D. cenné rady při tvorbě práce, společnosti DTD Future s.r.o. za poskytnutí finančních prostředků a celé technologie a v neposlední řadě také panu Michalu Horálkovi za mechanické práce a zkušenosti s provozem automobilů.

## **Abstrakt**

Tato práce pojednává o možné aplikaci žárového nástřiku na spalovací motor automobilu. Celá práce je míněna jako ukázka možné renovace vybraných částí motoru. První kapitola pojednává o typech žárových nástřiků, oblastech jejich použití a příkladech konkrétních aplikací. Ve druhé jsou navržena vhodná místa k aplikaci v motoru automobilu a technologií nanesení. Ve třetí je popis provozních podmínek automobilu. Čtvrtá kapitola popisuje průběh destruktivní zkoušky automobilu. V páté kapitole se zabýváme porovnáním povrchů nerenovovaných a renovovaných částí motoru. V šesté kapitole je formulován závěr a zhodnoceny výsledky experimentu.

## **Klíčová slova**

Renovace, žárové nástřiky, technologie PVD, destruktivní zkouška, porovnání povrchů

## **Abstract**

This work treat about aplication flare spraying on the car engine. All work is meant like demonstration possible renewal choice part motor. First chapter treat of types refractory brick spraiies, regions their using and instances concrete application. In second are designed fit seats to application in car engine and technology dab. In third is description service conditions car. Fourth chapter describes course destructive automobile test. In fifth chapter deal with collation surfaces no refurbished and refurbished part motor. In sixth chapter is formalized close and reviewed record experiment.

## **Keywords**

Renovation, flare spraying, PVD technology, destructive test, comparison surfaces

# Obsah

<b>Cíle práce</b> .....	9
<b>1 Žárové nástřiky</b> .....	10
1.1 Historie .....	11
1.2 Princip vytváření žárového nástřiku .....	11
1.3 Hlavní parametry procesu.....	13
1.4 Rozdělení žárových nástřiků .....	16
1.4.1 Nástřik plamenem.....	18
1.4.2 Detonační nástřik.....	18
1.4.3 Vysokorychlostní nástřik plamenem (HVOF).....	19
1.4.4 Plasmatický nástřik.....	20
1.4.5 Nástřik elektrickým obloukem .....	22
1.5 Typy žárových nástřiků a oblasti jejich využití.....	23
1.5.1 Povlaky odolné proti opotřebení .....	23
1.5.2 Tepelné izolátory .....	24
1.5.3 Povlaky odolné proti korozi .....	24
1.5.4 Obrusitelné povlaky.....	24
1.5.5 Elektricky vodivé povlaky.....	24
1.5.6 Elektricky nevodivé povlaky .....	25
1.5.7 Nástřiky určené pro doplnění materiálu .....	25
1.5.8 Biokompaktibilní povlaky .....	25
1.5.9 Polymerní povlaky.....	25
1.6 Postup vytváření povlaku .....	25
1.7 Aplikační možnosti.....	29
<b>2 Aplikace žárového nástřiku ve spalovacím motoru</b> .....	31
2.1 Volba míst k nanesení .....	31
2.2 Postup činností.....	31
2.3 Technologie nanesení .....	32
2.3.1 Vložky válců.....	32
2.3.2 Pístní kroužky .....	32
2.3.3 PVD- obloukové odpařování .....	33
2.3.4 PVD- magnetronové naprašování.....	34
<b>3 Rozbor provozních podmínek automobilu</b> .....	35
<b>4 Experimentální ověření vlivu povlaku v podmínkách zadření motoru</b> .....	38
4.1 Způsob zabránění mazání motoru.....	38
4.2 Realizace zadření motoru .....	39
4.3 Výsledky z rozebrání motoru .....	39
<b>5 Rozbor experimentu a hodnocení</b> .....	40
5.1 Příprava vzorků pro analýzy a metodika hodnocení .....	40
5.2 Způsob odběru vzorků .....	41
<b>6 Rozbor výsledků a formulace závěrů</b> .....	44
6.1 Metodika hodnocení .....	44
6.2 Určení základních materiálů vložky a pístních kroužků .....	44
6.3 Rozbor vrstvy žárového nástřiku.....	45
6.4 Porovnání povrchů vložek válců .....	46
6.4.1 Horní hrana vložky válce.....	46
6.4.2 Oblast vložek mimo kontakt s pístními kroužky .....	47
6.4.3 Reálný renovovaný povrch.....	48

6.4.4	Oblast s kontaktem s jedním písním kroužkem.....	49
6.4.5	Oblast kontaktu se dvěma a třemi písními kroužky bez nástřiku.....	50
6.4.6	Rozdílnost povrchu vložky válce při různém počtu dotýkajících se písních kroužků	51
6.5	Porovnání v řezech .....	51
6.5.1	Oblast bez styku s písními kroužky.....	52
6.5.2	Oblast s kontaktem s jedním písním kroužkem.....	52
6.5.3	Oblast s kontaktem se dvěma písními kroužky .....	53
6.5.4	Pokrytí vady povrchu .....	54
6.5.5	Vada povrchu.....	55
<b>6.6</b>	<b>Závěrečné hodnocení.....</b>	<b>56</b>
	Použitá literatura.....	58



## **Cíle práce**

Renovační technologie v současné době zažívají poměrně velký rozmach. Dávno jsou již doby, kdy se měnily jakkoliv poškozené části zařízení za nové. Prioritou číslo jedna dnešních firem jsou ušetřené náklady. Popisované renovační technologie v této diplomové práci splňují tento předpoklad. Tedy v porovnání s nákupem nového dílu se jeho renovací ušetří určité finance.

Touto diplomovou prací jsem chtěl navázat na svoji práci bakalářkou, ve které jsem se zabýval vzorovou aplikací žárového nástřiku technologií HVOF na hřídeli. Byly zde popsány čtyři stavy v procesu renovace. Jednalo se o původní stav, stav po nanesení nástřiku, obroušený nástřik a vyleštěný nástřik. Tato práce měla pouze demonstrativní účinky. Díky své praxi ve firmě, která se touto technologií zabývá ve velké míře jsem získával zkušenosti ze skutečného provozu. Chtěl jsem ověřit experimentem vlastnosti těchto technologií. Jelikož studuji obor silniční prostředky, zaměřil jsem svoji pozornost právě na ně a rozhodl se aplikovat technologii do spalovacího motoru testovacího automobilu. Tedy na vložky válců a pístní kroužky. Jako nejvíce vhodná se ukázala technologie plasmatického žárového nástřiku a povlakování technologií PVD. Po ujetí určitého počtu kilometrů by měla následovat destruktivní zkouška, spočívající v zadření motoru.

Vzhledem k zadanému rozsahu diplomové práce, jejímu časovému horizontu a v neposlední řadě také finančnímu hledisku byla zvolena metodika testování pouze kvalitativním srovnávacím hlediskem, které spočívá na porovnání povrchů vložky válce bez nástřiku a s nástřikem.

Tato metodika hodnocení by měla být dostatečným ukazatelem kvality technologií žárového nástřiku. Předpokládáme, že díky vysoké jakosti materiálů určených k nástřiku se činnost motoru na povlaku nějak neprojeví. Naprosto přesných výsledků bychom mohli dosáhnout normovanými metodami testování, například měřením váhových úbytků. Toto měření by mohlo být předmětem další práce, jakožto i jiné, zde neuvažované, problematiky oblasti žárových nástřiků.

# 1 Žárové nástřiky

V praxi se každodenně setkáváme s požadavky na zvýšení životnosti a spolehlivosti exponovaných součástí strojních zařízení, jejichž povrch nebo část povrchu je namáhána a degradována různými mechanizmy opotřebení vycházejícími z daných pracovních podmínek zařízení.

Ve většině případů již dnes nedostačují dosavadní klasické technologie a technologické postupy a proto se sahá k jiným technologiím. Jednou z vhodných možností řešení je využití progresivní technologie žárového nástřiku.

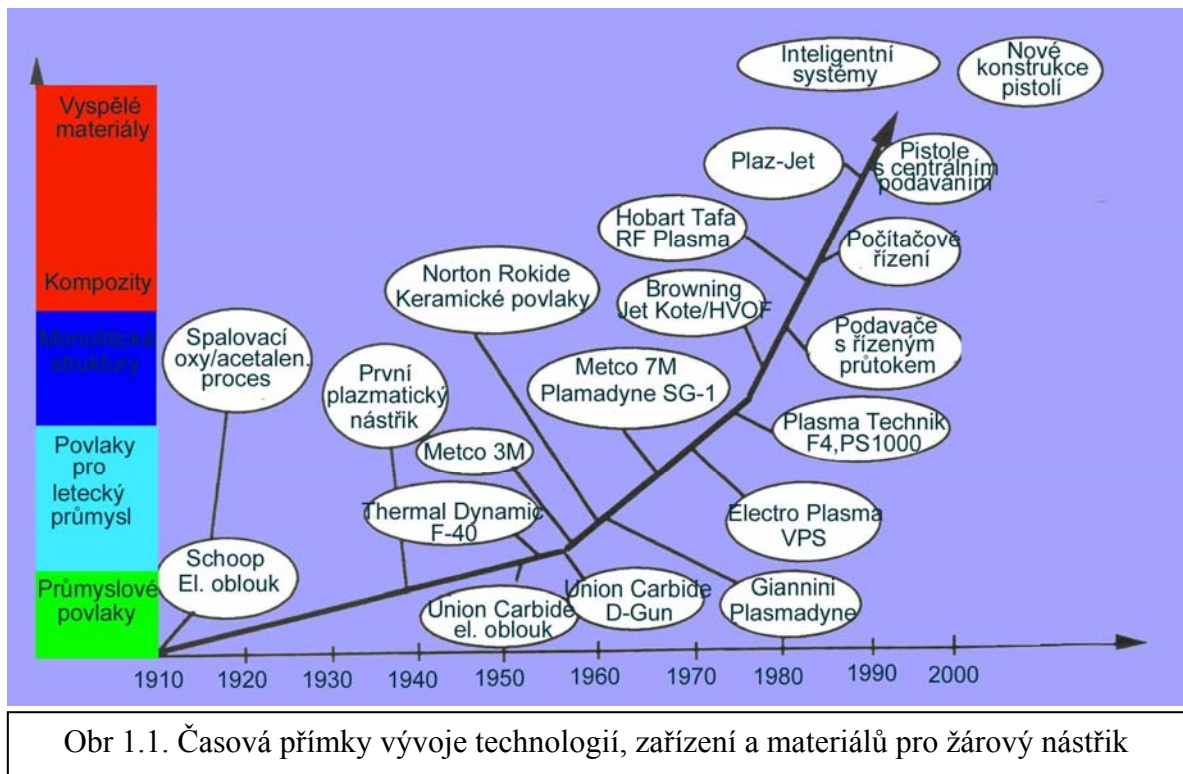
Žárové nástřiky představují perspektivní technologii poskytující funkčně efektivní povlaky o tloušťce větší než 50 mikrometrů, používané v mnoha odvětvích průmyslu. Tyto flexibilních, vysoce kvalitní a ekonomické technologie umožňují optimálně přizpůsobit povrchové vlastnosti součásti provozním podmínkám. To vede k prodloužení životnosti, zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti součásti i k lepší ekonomice daného procesu.

- odolnost proti mechanickému opotřebení (abraze, eroze, kavitace)
- vynikající tribologické vlastnosti (samomazné, kluzné, těsnící povlaky)
- odolnost proti oxidaci, korozi a proti působení agresivního chemického prostředí
- odolnost proti extrémně vysokým teplotám
- doplnění rozměrů, doplnění chybějícího materiálu
- elektroizolační a elektrovedivé povlaky
- biokompatibilní, zdravotně nezávadné povlaky
- povlaky se speciálními fyzikálními vlastnostmi (supravodivost, optika, odolnost proti záření, iontově reagující povlaky)
- dekorativní povlaky

Povlaky vytvořené technologií žárového nástřiku lze nanášet na všechny běžné konstrukční materiály (železné i neželezné kovy). Při nanášení materiálů technologií žárového nástřiku není tedy podstatné chemické složení základního materiálu opravovaného dílce nebo dílce, jehož ochranu sledujeme a ani jeho stav. Povlaky nelze nanášet pouze na nitrídané vrstvy a na již provedené povrchové úpravy chromováním.

## 1.1 Historie

Původ žárových nástřiků se datuje na počátek 20. století. Ve 40. letech došlo k rozvoji plazmatického nástřiku, v 50. letech k objevu detonačního nástřiku. Během 70. let se objevuje též vakuový plazmatický nástřik. V 80. letech byl vynalezen HVOF nástřik.

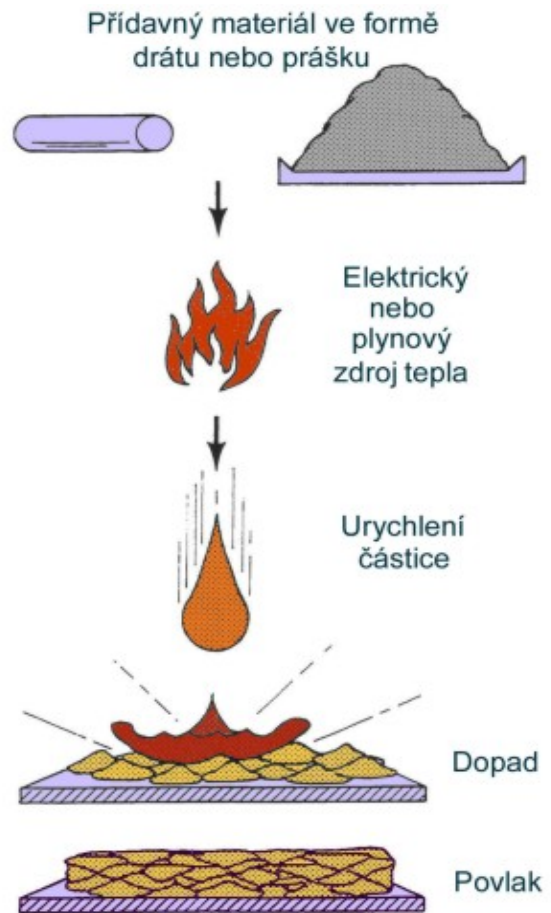


## 1.2 Princip vytváření žárového nástřiku

Žárový nástřik je částicový proces vytváření povlaků o tloušťce obvykle větší než 50  $\mu\text{m}$ , kdy je nanášený materiál ve formě prášku (případně drátu) přiváděn do zařízení, kde dojde k jeho natavení a urychlení směrem k povlakované součásti. Po dopadu na substrát dojde k výraznému plošnému rozptýlení částice a k jejímu rychlému utužení. Tím se vytváří povlak s charakteristickou lamelární strukturou a specifickými vlastnostmi.

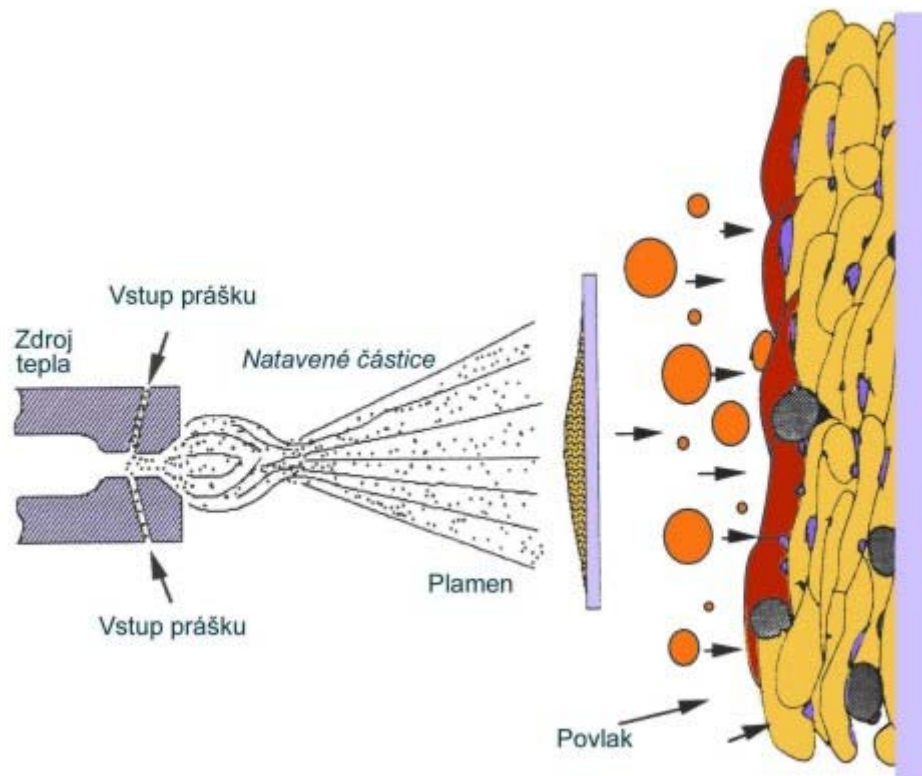
Zdrojem tepelné energie, nutné k nastavení přídavného materiálu, může být buď spalovací proces nebo elektrická energie. Podle konstrukce zařízení a použitého zdroje energie lze rozlišit základní druhy žárového nástřiku: Nástřik plamenem, plazmatický nástřik a nástřik elektrickým obloukem.

Na rozdíl od ostatních technologií vytváření povlaků, není žárový nástřik založen na depozici jednotlivých atomů či iontů. Na povrch dopadají celé natavené (nebo částečně natavené) kapky materiálu, které ulpívají pouze na površích ležících v dráze letících kapek. Ve srovnání s PVD či CVD metodami depozice má žárový nástřik vysokou depoziční rychlost a široký rozsah přídavných materiálů.



Obr. 1.2a Princip vytváření nástřiku

Technologie žárových nástřiků umožňuje vytvářet povlaky z těch druhů keramik, kovů a jejich slitin, u kterých nedochází k rozpadu pod bodem tání, na prakticky všechny typy materiálů substrátu. To je umožněno převážně mechanickým zakotvením povlaku na zdrsňeném povrchu substrátu. Technologický proces zaručuje teploty povlakované součásti hluboko pod teplotou fázově-strukturálních přeměn (cca 80-120 °C), což také brání nežádoucím deformacím součásti.

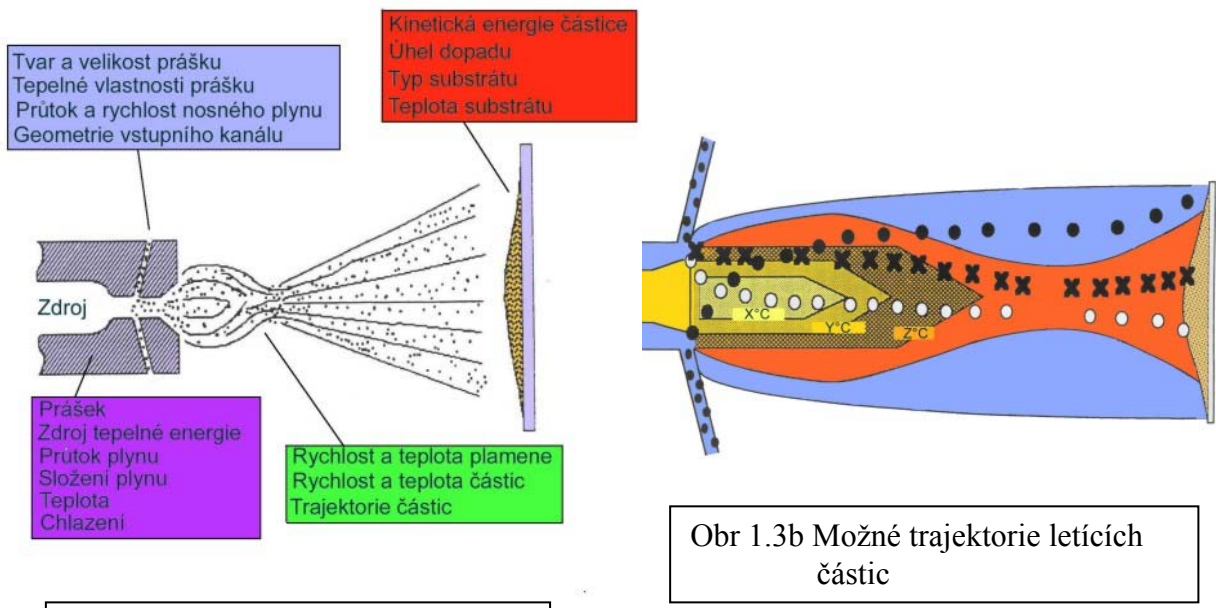


Obr. 1.2b Schéma procesu vytváření žárových nástřiků

### 1.3 Hlavní parametry procesu

V případě spalovacích a plazmatických systémů nástřiku je dalším rozhodujícím parametrem doba, po kterou setrvává letící částice přídavného materiálu v plameni o teplotě vyšší než je jeho teplota tavení. Tato doba se liší jak u jednotlivých procesů, tak i u jednoho procesu v závislosti na trajektorii konkrétní částice.

Procesní parametry, které mají na kvalitu povlaku největší vliv, jsou znázorněny na obrázku 1.3a. Kritickými faktory, které určují zda je k dispozici dostatek energie a času k natavení přídavného materiálu, jsou teplota a rychlost plamene.



Obr 1.3a Hlavní parametry procesu



Obr 1.3c Tepelná historie částice  
 I v plameni - natavení  
 II po dopadu na substrát – deformace a utuhnutí  
 III součást povlaku - ochlazování

Rychlost letících částic, a tím i doba setrvání v plameni, jsou výsledkem působení rychlosti plamene. Vyšší rychlost plamene má za následek vyšší rychlost letící částice a její vyšší kinetickou energii při dopadu na substrát, což vede k větší plastické deformaci částice, jejímu lepšímu zakotvení a vyšší hustotě povlaku. Na druhou stranu, kratší doba strávená v plameni může vést k nižšímu protavení částice, způsobujícímu nižší hustotu povlaku a vyšší výskyt nenatavených nebo jen částečně natavených částic ve struktuře povlaku. Pozitivním aspektem nižší teploty částice je nižší míra její oxidace a dekarbonizace.

Teplota a rychlost částic tedy jsou parametry procesu žárového nástřiku, přímo ovlivňujícími kvalitu výsledného povlaku. Určují míru pórovitosti povlaku, kvalitu zakotvení povlaku k povrchu substrátu i výskyt nenatavených či zoxidovaných částic ve struktuře.

V případě nástřiku elektrickým obloukem je materiál ve formě drátu přiváděn do zařízení, kde je elektrickým obloukem nataven a proudem nosného plynu rozprášen a unášen směrem k povlakované součásti. Teplota letící částice začne klesat okamžitě po jejím natavení a oddělení z původního drátu. Rychlost částice je dána rychlostí nosného plynu. Horká částice reaguje během letu s okolním plynem, což způsobuje přítomnost oxidů ve výsledné struktuře povlaků.

Nehledě na rozdílný způsob produkce tepelné energie vedou všechny zmiňované procesy (spalovací, plazmatický i nástřik elektrickým obloukem) ke vzniku horké letící částice, která se po dopadu na substrát deformuje obdobným způsobem.

Teplota a rychlost částic jsou parametry procesu žárového nástřiku, přímo ovlivňujícími kvalitu výsledného povlaku. Určují míru pórovitosti povlaku, kvalitu zakotvení povlaku k povrchu substrátu i výskyt nenatavených či zoxidovaných částic ve struktuře.

## 1.4 Rozdělení žárových nástřiků



Obr 1.4a Rozdělení žárových nástřiků

V případě nástřiku elektrickým obloukem je materiál ve formě drátu přiváděn do zařízení, kde je elektrickým obloukem nataven a proudem nosného plynu rozprášen a unášen směrem k povlakované součásti.



Technologie	Forma materiálu	Teplota plamene [°C]	Rychlost částic [m/s]	Typické materiály	Vlastnosti povlaku	Vhodné aplikace
HVOF	prášek	~ 3000	~ 400-1000	kovy, slitiny, cermety	velká hustota, výborná adheze, tlakové pnutí	ochrana proti opotřebení, korozi
Plasma	prášek	~ 5000 - 25 000	~ 80-300	keramika	porézní v případě keramik	tepelné bariéry, izolátory
El. oblouk	drát	~ 3000 - 6000	~50-150	kovy, slitiny, cermety (trub. dráty)	větší tloušťka, vysoká hustota	otěruvzdorné povlaky, renovace
Plamen	prášek/drát	~2700 - 3000	~80-100	kovy, slitiny, plasty	vyšší porezita a obsah oxidů	klasická metalizace, méně náročné aplikace

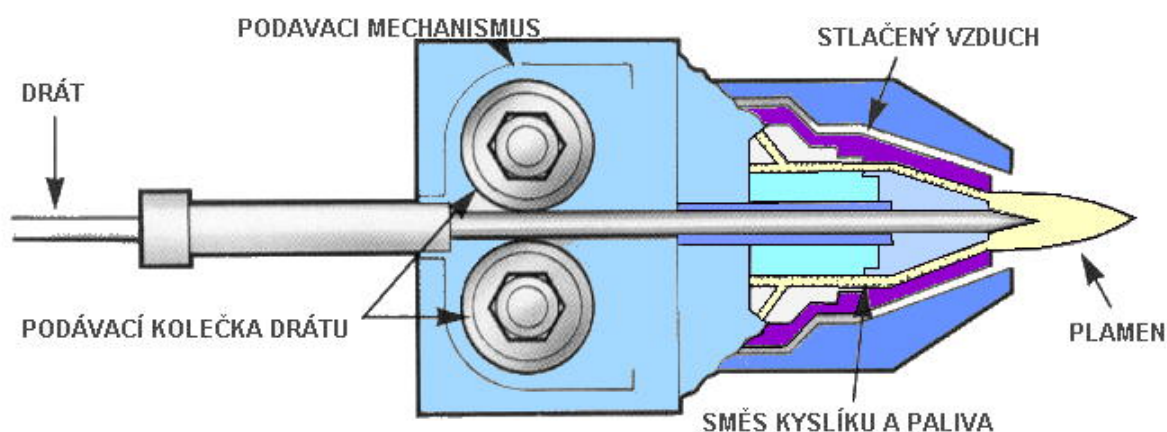
Obr 1.4b Parametry žárových nástřiků

**Mezi vlastnosti, které se u žárových nástřiků sledují, patří:**

- Adheze povlaku k substrátu
- Pevnost povlaku
- Tvrdost
- Odolnost proti korozi/oxidaci
- Tepelné vlastnosti
- Elektrické vlastnosti
- Magneto-optické vlastnosti
- Obrobitelnost

Jedním z faktorů nejvíce ovlivňujících spolehlivost povlaku při provozním zatěžování je kvalita spojení povlaku se substrátem. (Před nástřikem je povrch substrátu zdrsňen např. tryskáním a zbaven případných nečistot či oxidů.)

### 1.4.1 Nástřik plamenem



Obr 1.4.1 Schéma trysky plamenového hořáku

Nástřik plamenem je nejstarším způsobem žárového nástřiku. Tato metoda používá stlačený vzduch nebo kyslík společně s palivem (acetylen, propylen, propan, vodík). Nanášený materiál ve formě prášku nebo drátu je přiváděn do plamene, vzniklého hořením této směsi, kde dojde k jeho natavení a urychlení směrem k povlakované součásti. Obecně tento proces vytváří povlaky o nižší kvalitě, které nejsou využívány pro aplikace, u kterých je potřeba povlak s vysokou hustotou a přilnavostí. Hlavním důvodem těchto nedostatků je nízká dopadová rychlost částic a nízká teplota plamene. Na druhou stranu nízké pořizovací i provozní náklady favorizují tuto metodu pro méně náročné aplikace.

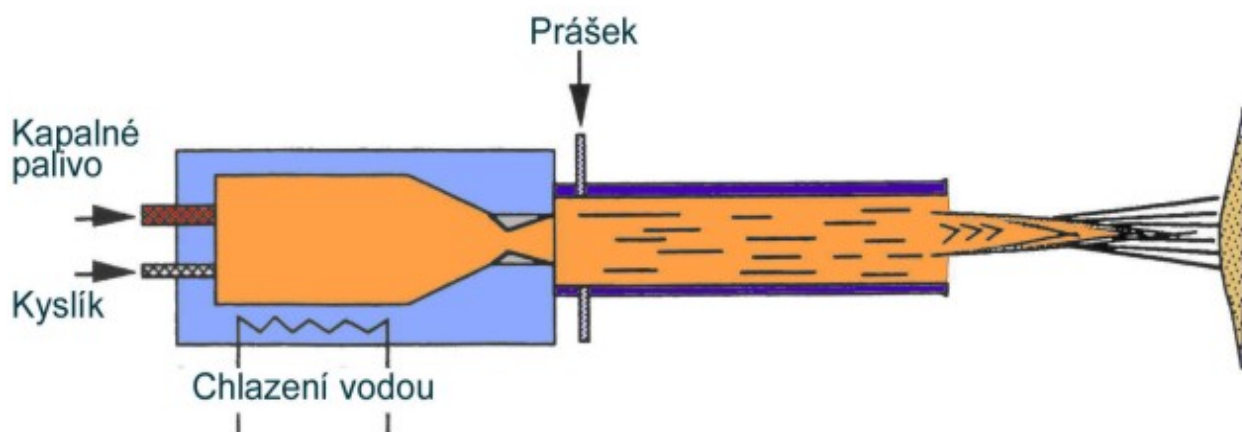
### 1.4.2 Detonační nástřik

Detonační nástřik využívá tepelné a kinetické energie spalovacího procesu plynů, uzavřených ve spalovací komoře, do které je přiváděn materiál ve formě prášku. Ve srovnání s nástřikem plamenem dosahuje vyšších teplot i rychlostí dopadu.

Při nástřiku jsou palivové plyny stlačovány ve spalovací komoře, do které je přiváděn materiál ve formě prášku. Vzniklá směs plynů a prášku je diskontinuálně zapalována zapalovací svíčkou. Vzniklá exploze plynů ohřívá a současně urychluje částice prášku hrdlem hořáku směrem k povlakované součásti. Poté je spalovací komora vypláchnuta proudem dusíku. Tento proces je cyklicky opakován s frekvencí více jak 100 cyklů za minutu.

Vyšší dosažená teplota a rychlost částic, spolu s redukcí oxidační atmosféry v uzavřené spalovací komoře, vede ve srovnání s nástřikem plamenem k lepší adhezi povlaku, k výraznějšímu rozprostření částic, snížení porezity a obsahu oxidických částic ve struktuře. Během nástřiku dochází též k menší míře dekarbonizace materiálu povlaku, což má za následek jeho vysokou tvrdost.

### 1.4.3 Vysokorychlostní nástřik plamenem (HVOF)



Obr 1.4.3 Schéma trysky HVOF

Tato metoda je ve svém principu podobná metodě D-Gun (detonačnímu nástřiku) s tím rozdílem, že plnění spalovací komory a hoření plynů probíhá kontinuálně. Je založena na speciálním designu hořáku, kde dochází k hoření směsi kyslík - palivo (kerosin, propylen, propan, acetylen, vodík atd.). Produkty hoření jsou urychlovány v konvergentně-divergentní trysce až na supersonické hodnoty. Materiál ve formě prášku je za pomoci nosného plynu přiváděn do supersonického plamene, kde dojde k jeho natavení a výraznému urychlení směrem k povlakované součásti. Vysoká rychlost částic prášku při dopadu způsobí dokonalé

rozprostření a zakotvení částic k substrátu, z čehož se odvíjí vysoká hustota a přilnavost HVOF stříkaných povlaků. Relativně nízká teplota plamene (ve srovnání s plazmatickým nástřikem) omezuje tuto technologii pro nástřik keramických povlaků, kdy nedojde k dostatečnému natavení prášku během letu, a tím pádem ani k rozprostření po dopadu na substrát. Nízká teplota na druhou stranu zabraňuje oxidaci, fázovým přeměnám a vyhořívání některých prvků nanášeného materiálu v průběhu nástřiku. Unikátní vlastností této technologie je, že při vhodné volbě depozičních parametrů poskytuje povlaky v tlakovém pnutí, což umožňuje vytvářet povlaky velkých tloušťek. Tlakové pnutí v povlaku je rovněž příznivé z hlediska únavových vlastností povlakovaných součástí.

Teplota plamene předurčuje tuto technologii k nástřiku kovů a jejich slitin s nízkou a střední teplotou tavení. Typickými materiály pro HVOF nástřik jsou cermety, nejčastěji na bázi karbidů wolframu, chromu a titanu. Typickými aplikacemi jsou povlaky odolné proti opotřebení a korozi v různých prostředích.

HVOF povlaky jsou svojí strukturou a vlastnostmi porovnatelné s povlaky vytvořenými pomocí technologie D-Gun a v mnoha případech převyšují kvalitou povlaků vytvořených pomocí plazmatického nástřiku.

Ve srovnání s plazmatickým nástřikem nedochází k rozpadu WC fází a tím zůstávají zachovány původní vlastnosti materiálu (zejména tvrdost).

V automobilovém průmyslu je v současné době referováno o různých oblastech použití, např. při výrobě brzdových destiček. Existují určité zkušenosti z dlouhodobých zkoušek životnosti některých součástí v testovacích vozidlech, konkrétní údaje o sériovém použití však dosud nebyly publikovány.

Pomocí HVOF vrstvy byly úspěšně opraveny různé hydraulické válce ovládání kormidel lodí. Totéž platí ve stejné míře pro povrchové plochy válců, písty a pístní kroužky dieselových motorů lodí a pro různá ložisková usazení hnacích hřídelí.

#### **1.4.4 Plazmatický nástřik**

Při plazmatickém nástřiku hoří elektrický oblouk mezi vodou chlazenou wolframovou katodou a válcovou měděnou anodou, tvořící zároveň trysku plazmového hořáku. Elektrický oblouk hoří v plazmovém plynu (obvykle argon nebo jiný inertní plyn s několika procenty plynu zvyšujícího entalpii plazmatu, např. H<sub>2</sub>, He, N<sub>2</sub>). Plazmový plyn je napouštěn axiálně

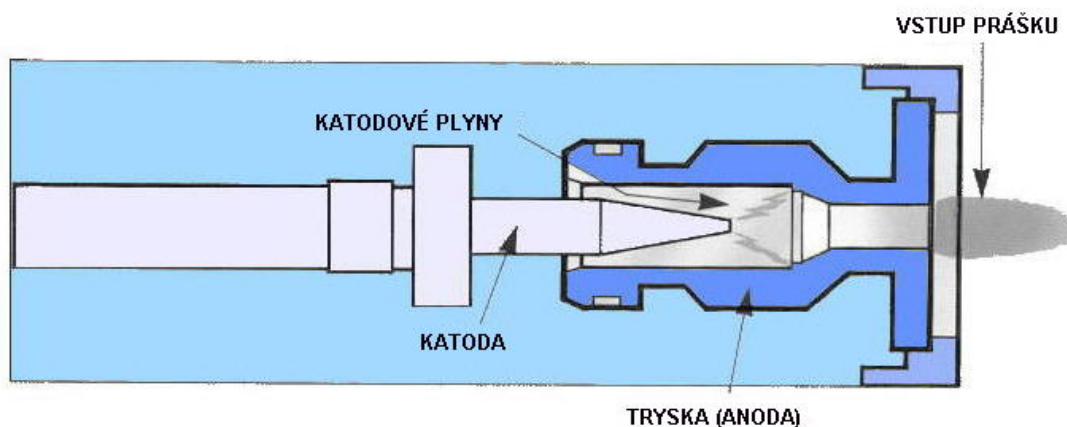
do hořáku, na jehož druhém konci vystupuje plazma s vysokou teplotou (až 20 000 K) a entalpií. Do něj se pomocí nosného plynu přivádí nanášený materiál ve formě prášku. Touto metodou je možné díky vysoké teplotě plazmatu nanášet všechny druhy materiálů od čistých kovů až po těžce tavitelné materiály (např. keramiky). Vysoká teplota plazmatu je v některých případech nevýhodou, protože může způsobit oxidaci, změnu fázového složení nebo vyhořívání některých prvků nanášeného materiálu v průběhu nástřiku. Vlastnosti takto vytvořeného povlaku se poté mohou výrazně lišit od předpokládaných. Pro dosažení extrémně vysoké hustoty, přilnavosti a čistoty povlaků je možné provádět plazmatický nástřik v uzavřené komoře za sníženého tlaku (obvykle 0,005-0,02 MPa), tzv. VPS (vacuum plasma spraying) nebo LPPS (low pressure plasma spraying).

Plazmatický nástřik je vhodný pro nástřik kovů, většiny keramik a cermetů. Vysoká teplota však může být v některých případech (např. u cermetů) nevýhodou, protože může způsobit oxidaci, změnu fázového složení nebo vyhořívání některých prvků nanášeného materiálu v průběhu nástřiku.

Vysoká teplota a rychlost dopadajících částic vedou ke vzniku povlaku s velmi jemnou a hustou strukturou a s vysokou adhezí k základnímu materiálu.

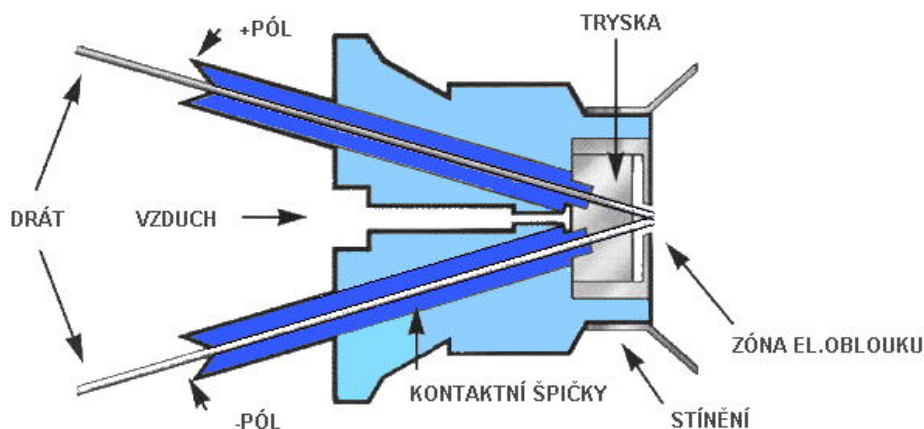
#### Druhy plazmatického nástřiku:

- APS – plazmatický nástřik v řízené atmosféře
- VPS – nástřik ve vakuu
- Plazmatický nástřik se stíněním (shrouded)
- UPS – podvodní plazmatický nástřik



Obr 1.4.4 Schéma trysky plazmatického nástřiku

## 1.4.5 Nástřik elektrickým obloukem



Obr 1.4.5 Schéma trysky žárového nástřiku el. obloukem

Tato metoda používá přídavný materiál ve formě dvou drátů, mezi jejichž konci hoří elektrický oblouk. Vzniklá tavenina je rozprašována stlačeným plynem, obvykle vzduchem. Tím se vytvoří proud roztavených kapiček nanášeného materiálu dopadajících na povrch povlakované součásti. Jednoduchost, nízké provozní náklady, mobilita (pro provoz je potřeba pouze stlačený vzduch a elektrická energie), vysoký výkon (až 80 kg materiálu za hodinu) a široké spektrum materiálů dostupných ve formě drátu jsou hlavní přednosti tohoto druhu žárového nástřiku. Narozdíl od ostatních druhů žárových nástřiků je teplotní ovlivnění povlakované součásti způsobené pouze teplem přineseným na povrch roztavenými kapičkami kovu.

Pro nástřik elektrickým obloukem je nutné, aby materiál určený pro nástřik byl elektricky vodivý a zároveň tvárný natolik, aby jej bylo možno vyrábět ve formě drátu. Tyto požadavky omezují rozsah materiálů hlavně na kovy, ačkoli v současnosti vyvíjené tzv. trubičkové dráty umožňují i nástřik cermetů.

Typickou aplikací nástřiků elektrickým obloukem jsou povlaky odolné proti korozi - na bázi hliníku, zinku, mědi či nerezové oceli- na mostní konstrukce, nádoby pro uchovávání kapalin či komponent námořních lodí. Pro další zvýšení korozivzdornosti je možné zatěsnit otevřené povrchové póry impregnačním nátěrem na bázi epoxidových pryskyřic.

Vzhledem k tomu, že při nástřiku elektrickým obloukem je materiál rozprašován studeným proudem plynu, je možné nanášet povlak i na takové typy substrátu, u kterých nesmí dojít k tepelnému ovlivnění, tzn. např. na polymery, dřevo, sklo i kovy s nízkou teplotou tání. Ve srovnání s procesy používajícími materiál ve formě prášku jsou splaty tvořící strukturu elektrickým obloukem nastříkaného povlaku silnější a jejich velikost je nepravidelná. Nepravidelná velikost částic vede také k vysoké míře porézity i k vyšší drsnosti povrchu povlaku.

## **1.5 Typy žárových nástřiků a oblasti jejich využití**

Technologie žárových nástřiků nalézá díky své schopnosti nanášet široký rozsah materiálů na různé druhy substrátů celou řadu aplikací téměř ve všech oblastech průmyslu. Žárové nástřiky zahrnují hliníkové a zinkové povlaky nasříkané elektrickým obloukem, keramické povlaky připravené pomocí plazmatického nástřiku, intermetalické povlaky jako je  $\text{Ni}_3\text{Al}$  nebo  $\text{TiAl}$  vhodné pro letecký průmysl nebo cermetové povlaky s vysokou odolností proti opotřebení. Následující přehled zahrnuje pouze základní možnosti použití této flexibilní technologie.

### **1.5.1 Povlaky odolné proti opotřebení**

Používají se proti abrazivnímu, erozivnímu a kavitačnímu opotřebení, frettingu a pro snížení koeficientu tření. Patří mezi ně celá řada kovů a jejich slitin, keramické povlaky, cermety a dokonce i plasty s nízkým koeficientem tření. Typické kovové nebo cermetové povlaky dosahují tvrdosti od 20 do 70 HRC. Kovové povlaky jsou vytvrzovány rychlím ochlazením, přidáním jemných částic tvrdých fází (např. karbidy chromu, wolframu, titanu), nebo přítomností oxidických částic.

## **1.5.2 Tepelné izolátory**

Povlaky s nízkou tepelnou vodivostí na bázi zirkoniových nebo hliníkových oxidů jsou používány pro snížení přestupu tepla do základního materiálu, ke snížení teplotních ztrát nebo efektů spojených s gradientem teploty a k omezení oxidačně-korozních jevů. V případě těchto typů povlaků je do struktury volbou parametrů záměrně vnášena vysoká míra porézity, která přispívá k jejich termoizolačním vlastnostem a zvyšuje jejich odolnost proti tepelným šokům.

## **1.5.3 Povlaky odolné proti korozi**

Povlaky na bázi ušlechtilých kovů, inertních keramik nebo plastů mohou být použity jako ochrana základního materiálu proti korozi v různých prostředích. Pokud povlaky obsahují vzájemně propojenou síť pórů, jsou jako protikorozní ochrana nevhodné.

## **1.5.4 Obrusitelné povlaky**

K přesnému vymezení vůlí mezi rotačními a stacionárními částmi konstrukcí lze použít povlaky, které se snadno obrušují. Rotační součást během záběhu přizpůsobí tvar protikusů s povlakem dráze svého pohybu. Pro tyto účely se používají povlaky z hliníku, zirkonia, polyesteru či grafitu.

## **1.5.5 Elektricky vodivé povlaky**

Stříbrné, měděné, hliníkové, zinkové a bronzové žárově stříkané povlaky dosahují 40-90 % vodivosti objemových materiálů. Existují i nástřiky, např. plasmatický nástřik Y-Ba-Cu-O, Cu/Nb<sub>3</sub>Sn nebo Nb<sub>3</sub>Sn, které jsou za nízkých teplot (pod 82°K) supravodivé. Elektricky vodivé povlaky se používají např. pro stínění elektronických komponent proti radiofrekvenčnímu vlnění nebo elektromagnetické interferenci.



### **1.5.6 Elektricky nevodivé povlaky**

Nástřík oxidů hliníku, titanu a dalších kovů se používá jako dielektrická izolační vrstva.

### **1.5.7 Nástříky určené pro doplnění materiálu**

Technologie žárového nástříku povlaků s tloušťkou až 3 mm se s úspěchem používá pro opravy opotřebovaných nebo zkorodovaných povrchů, stejně jako pro doplnění materiálu u nových, chybně obrobených součástí.

### **1.5.8 Biokompatibilní povlaky**

Pro medicínské účely, zejména zubní a ortopedické implantáty, byly vyvinuty biokompatibilní povlaky na bázi titanu a/nebo hydroxylapatitu. Tyto interaktivní povlaky mají za úkol snížit opotřebení implantátu a/nebo zlepšit jeho přilnavost k okolní tkáni. K tomuto účelu jsou zvláště vhodné povlaky s vysokou mírou porezity a povrchovou drsností.

### **1.5.9 Polymerní povlaky**

Žárově stříkané polymerní povlaky se používají jako povrchová ochrana proti chemickému napadení, korozi a abrazivnímu opotřebení.

## **1.6 Postup vytváření povlaku**

Dále je uveden typický postup při vytváření žárově stříkaného povlaku na strojních součástech.

## Vstupní kontrola

- ***kontrola povrchu před nástřikem***
  - zjištění možného výskytu trhlin, prasklin, drážek a jiných defektů povrchu součásti
  - zjištění zbytků stříkaných povlaků, nitridace, tvrdého chromování a jiných povrchových úprav
  
- ***kontrola rozměrů součástí***
  - porovnání skutečných rozměrů s rozměry výkresovými
  - minimální rozměr pod nástřik musí být minimálně 0,1 mm na plochu pod konečnou čistou míru uvedenou na výkrese
  - kontrola kuželovitosti, ovality a jiných odchylek od požadovaných rozměrů
  - kontrola výběhu stříkaných ploch do sousedících ploch - stříkaná plocha musí být ukončena výběhy pod úhlem min 30° od kolmice ke stříkanému povrchu

## Čištění

- odmaštění stříkaného povrchu vhodnými prostředky
- zvláštní důraz klást na odstranění všech nečistot z mazacích otvorů, drážek, apod.
- závěrečná inspekce před nástřikem

## Krytování

- zakrytování ploch přímo sousedících se stříkanou plochou vhodnými prostředky, které vydrží přímé vystavení nástřiku (plechy, speciální pasty, silikonová guma, apod.). Krytování nesmí zasahovat do stříkané plochy ani stínit nástřik stříkané plochy

- ostatní plochy stříkané součásti zakrytovat vhodnými prostředky (lepenky, pásy, nátěry, apod.)
- v případě výskytu otvorů a drážek ve stříkané ploše – tyto krytovat vhodným dostatečně tepelně odolným krytovacím materiálem. Kolíky musí být zaříznuty v úrovni stříkané plochy.

## **Tryskání**

- stříkané plochy otryskat vhodným tryskacím zařízením
- použít tryskací médium (korund, litinová drť, SiC, SiO<sub>2</sub>, atd.) a parametry tryskání vhodné pro daný základní materiál
- ofouknutí tryskané plochy stlačeným vzduchem
- kontrola tryskaného povrchu na souvislost otryskání
- kontrola tryskaného povrchu na přítomnost zbytků tryskacího média - v případě výskytu zbytků tryskacího média je odstranit vhodnými prostředky
- kontrola krytování, zda nebylo poškozeno tryskáním
- otryskaná plocha nesmí být při další manipulaci před samotným nástřikem znečištěna - vyhýbat se dotyku holou rukou i styku s dalšími předměty např. vázacími prostředky
- samotný nástřik musí být zahájen v co nejkratší době po otryskání

## **Upnutí stříkané součásti**

- součást musí být upnuta do manipulátoru takovým způsobem, aby nedošlo v průběhu nástřiku k jejímu uvolnění. K upnutí použít vhodné přípravky.
- součást musí být upnuta takovým způsobem, aby nedošlo k poškození stříkané součásti (otlaky na plochách, za které je součást upnuta, apod.)

## **Nástřik**

- nastavení manipulátoru hořáku a stříkané součásti s ohledem na vytvoření celistvého a rovnoměrného povlaku

- příprava přídavného materiálu – nasypání prášku do podavačů prášku případně instalace drátů do hořáku
- kontrola stavu stříkacího zařízení – kontrola trysek, injektorů prášku, spalovací komory, atd.
- kontrola přívodů všech médií nutných pro danou metodu nástřiku
- předehřev součásti - pokud požadováno
- samotný nástřik povlaku
- v průběhu nástřiku sledovat teplotu povlakované součásti, aby nepřesáhla 150°C, pokud není stanoveno jinak
- průběžná rozměrová kontrola - přímo na stříkané ploše. Pokud není možné určovat rozměry přímo na stříkané ploše, použít svědečný vzorek.
- ukončení nástřiku po dosažení konečného rozměru předepsaného v technologickém postupu – pokud bude následovat soustružení nebo broušení povlaku je nutné zvolit vhodný přídavek pro tyto operace
- konečné měření provádět při pokojové teplotě součásti

### **Odstranění krytování a očištění**

- odstranit veškeré krytování ze součásti
- odstranit všechny nežádoucí přestříky
- zajistit průchodnost všech zakrytovaných mazacích otvorů a drážek

### **Závěrečná inspekce a odeslání**

- vizuální kontrola povrchu povlaku - celistvost, praskliny, deadheze, apod.
- závěrečná kontrola rozměrů
- zabalení součásti vhodnými prostředky - zabezpečení proti možnému poškození povlaku v průběhu převozu

## 1.7 Aplikační možnosti

Úspěšná aplikace žárově a plazmaticky stříkaných povlaků na bázi plastů, kovů, slitin, oxidických a neoxidických keramik a cermetů obecně zvyšuje provozní spolehlivost povlakovaných dílců a komponent, umožňuje jejich funkci ve zcela specifických podmínkách provozu, přináší velké finanční úspory a je základem pro nová nekonvenční technická řešení a široké aplikační využití ve sféře průmyslové praxe. Pro základní orientaci je možné uvést některé z možných aplikací v různých odvětvích.

### a) Energetika

- povlaky odolné proti korozi, erozi, abrazi a kavitaci (renovace povrchu rozváděčích a oběžných lopatek, částí tělesa turbíny, rošty fluidních kotlů, výměníky tepla, čerpadla, ventilátory apod.)
- povlaky odolné proti mechanickému opotřebení s vynikajícími kluznými vlastnostmi (renovace opotřebovaných unikátních a finančně náročných dílců)
- renovace generátorů a elektromotorů
- povlaky tepelných bariér a bariér proti horké korozi
- povlaky samotěsnící a samoobrušující se (těsnění, ucpávky)

### b) Všeobecné strojírenství

- čerpací a hydraulická technika (povlaky odolné proti opotřebení, korozi a působení agresivních médií)
- papírenský a tiskařský průmysl (povlaky odolné proti mechanickému opotřebení a korozi)
- textilní průmysl (povlaky odolné proti opotřebení)
- elektrotechnický průmysl (elektroizolační, elektrovedivé povlaky)
- chemický průmysl - povlaky odolné proti působení různých druhů chemických látek
- tabákový průmysl
- náhrada tvrdého chromování

### **c) Automobilový průmysl**

- povlaky tepelných bariér (díly spalovacího motoru - píst, hlava válce, vložka, ventily)
- povlaky odolné proti opotřebení (synchronní kroužky, čepy klikových hřídelí, vačky, čepy)
- samomazné a kluzné povlaky

### **d) Letecký průmysl**

- tepelné bariéry (horké díly leteckých motorů - spalovací komory, lopatky)
- povlaky těsnění a ucpávek
- náhrada tvrdého chromování

### **e) Těžké strojírenství**

- otěruvzdorné tvrdé povlaky na rovinné a rotační plochy stacionárních a pohybových součástí a komponent, odolnost proti otěru, fretting únavě
- náhrada tvrdého chromování

### **f) Sklářský průmysl**

- nástřiky pracovních ploch sklářských forem a trnů namáhaných abrazivním a tepelným účinkem skloviny (několikanásobné prodloužení životnosti)

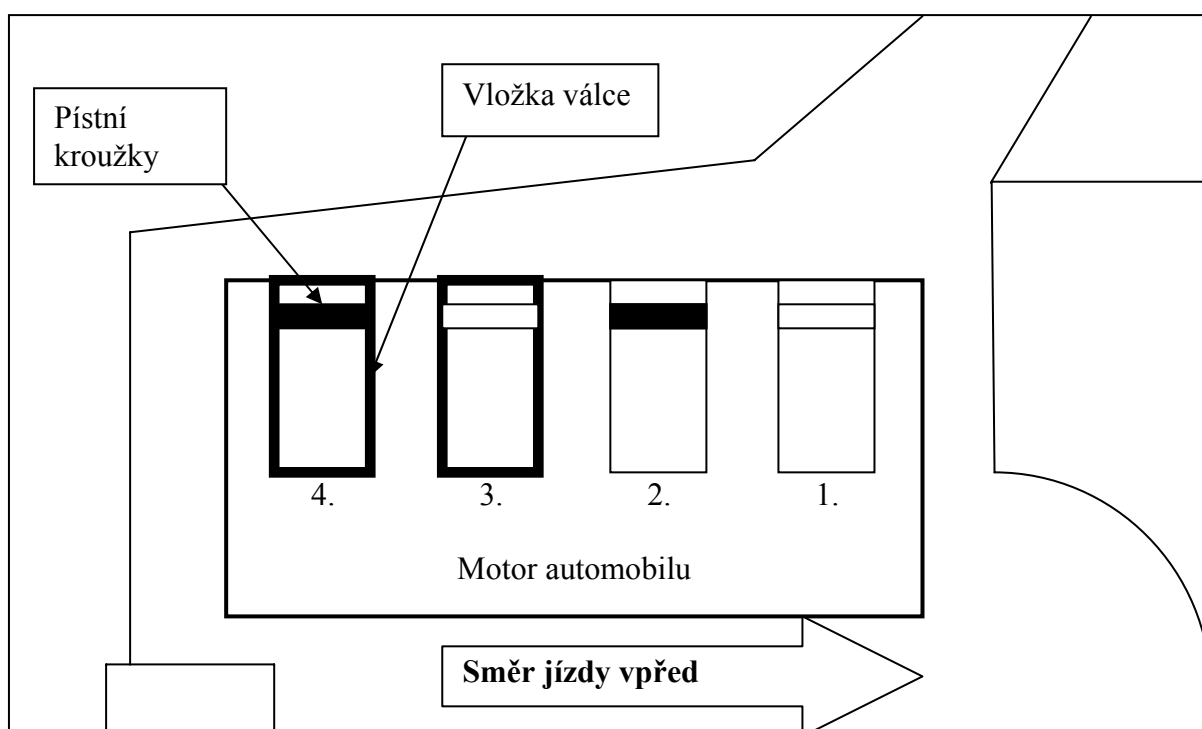
### **g) Renovace**

- renovace opotřebovaných součástí (kluzná ložiska, čepy válců, trakčních motorů, pístnice, plunžry apod.)
- renovace špatného obrobení

## 2 Aplikace žárového nástřiku ve spalovacím motoru

### 2.1 Volba míst k nanesení

Za testovací objekt byl zvolen osobní automobil Škoda 120 L s najetými 77 000 km. Dle rozsahu diplomové práce, finančního rozpočtu a dosavadních zkušeností byly zvoleny následující aplikační místa. První válec byl ponechán sériový bez aplikace žárového nástřiku, na druhém byla aplikována technologie pouze na pístní kroužky, na třetí jen na vložku válce a čtvrtý válec byl zrenovován kompletně (pístní kroužky i vložka).



Obr 2.1. Zobrazení aplikace žárového nástřiku na spalovacím motoru- zvýrazněné části zobrazují aplikaci

### 2.2 Postup činností

Nejprve byl motor rozebrán a dané části vyfotografovány. Bylo vidět zjevné opotřebení vlivem běžného používání automobilu. V této fázi byli z automobilu vymontovány pístní kroužky a vložky určené k nástřiku. Po ujetí dostatečného množství kilometrů bude motor opět rozebrán a podroben vizuální kontrole daných částí. Následovat bude jeho zadření.

## 2.3 Technologie nanesení

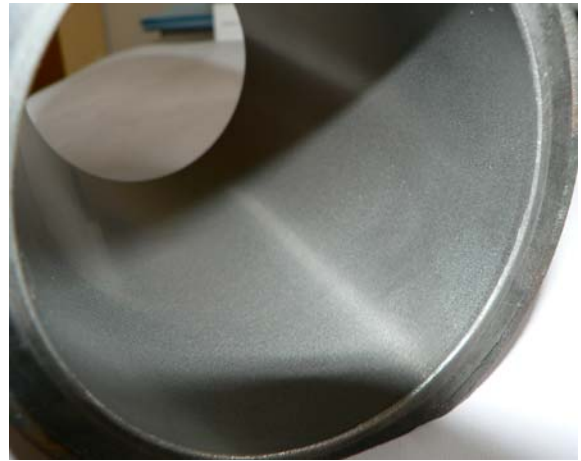
### 2.3.1 Vložky válců

Na vložky byla použita technologie plasmového nástřiku- o této technologii se více zmiňují výše. Měřicí protokol je součástí přílohy.

Parametry vložky válce před a po nástřiku jsou uvedeny v tabulce. K nástřiku byla použita mezivrstva NiAl a na ní byl aplikován funkční povlak  $\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{NiCr}$  v poměru 75/25 %. Tedy nitrid chromu v niklchromové matici. O zrnitosti 5-45  $\mu\text{m}$ . Průměr zůstal zachován. Na obrázcích je jasně patrný rozdíl před a po aplikaci technologie žárového nástřiku, zde demonstrováné na vložce prvního válce ( obr 2.3.1a a 2.3.1b).



Obr. 2.3.1a Původní povrch vložky



Obr. 2.3.1b Renovovaný povrch vložky

### 2.3.2 Pístní kroužky

Technologie PVD( Physical Vapour Deposition) je založena na poznatcích z plasmové fyziky. PVD proces je velmi šetrný k životnímu prostředí a umožňuje nanášet ve vakuu různé vrstvy za různých teplot. Tato flexibilita dovoluje nanášení povlaků na širokou škálu subjektů( plast, ocel). PVD technologie zabezpečuje vznik chemicky stabilního povlaku s výbornou přilnavostí a zabezpečenou mikrostrukturou. Tyto povlaky jsou vhodné pro různé aplikace

v automobilovém průmyslu (např. ventily, vstřikovací čerpadla, části karoserie, vačkové hřídele, pístní kroužky), ve strojírenské výrobě ( obráběcí stroje, lisovací formy aj.), v medicíně (



chirurgické nástroje, implantáty), v textilním průmyslu, kde se několikrát zvyšuje životnost dílů vystavených extrémním mechanické zátěži, otěru a koroznímu prostředí, eventuelně mohou zabránit i ukládání těžkých kovů do lidského těla v případě implantátů. Příkladem použití technologie PVD v jiné oblasti jsou dekorativní povlaky, které jsou barevně stálé a teplovzdorné. Takovéto díly nacházejí své uplatnění ve stavebnictví, šperkařství, ale také v automobilovém průmyslu.

V tabulce 2.3.2 jsou uvedeny druhy konstrukčních zařízení a možná aplikace napařovaných materiálů.

Zařízení jsou na principu obloukového odpařování se silným zdrojem elektronů. Tyto povlaky vynikají vysokou adhezí vůči nástrojům a vysokou tvrdostí. Výhody PVD metody povlakování jsou především v nižší teplotě povlakovaných předmětů než odpovídá potřebě rovnovážné chemické reakce (metoda CVD - chemical vapour deposition). Nejrozšířenějšími způsoby je obloukové odpařování a magnetronové napařování.

V našem případě byla tato technologie zvolena z aplikačních možností. Použit žárový nástřík na pístní kroužky by sice bylo možné, ovšem při jejich montáži by mohlo dojít vlivem jejich deformace k popraskání žárového nástříku. Naproti tomu technologie PVD umožňuje určité deformace povlakované součásti.

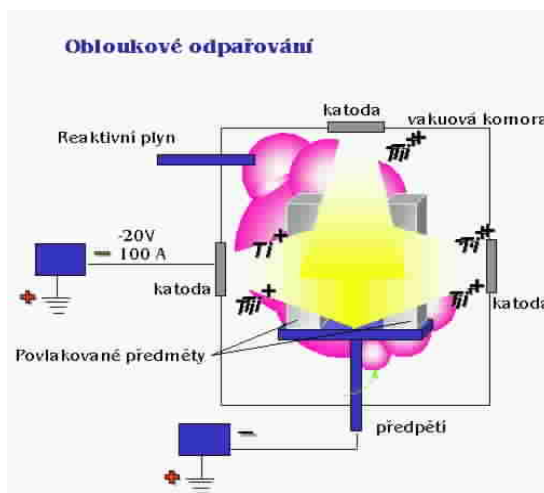
V našem případě se jedná o nitrid chromu (CrN).

Tab. 2.3.2. Možné aplikace technologie PVD

### 2.3.3 PVD- obloukové odpařování

	TiN	TiCN	TiAlN	ZrN	CrN	WC-C:H	DLC
<b>Řezné nástroje</b>	ano	ano	ano	dle podmínek	dle podmínek	dle podmínek	dle podmínek
<b>Lisovací nástroje</b>	ano	ano	ano	dle podmínek	ano	dle podmínek	dle podmínek
<b>Strojní součásti</b>	dle podmínek	ano	ne	ne	ano	ano	dle podmínek
<b>Dekoratивní povlaky</b>	ano	ano	ano	ano	ano	ano	dle podmínek
<b>Medicína</b>	ano	ne	ne	ano	dle podmínek	dle podmínek	dle podmínek
<b>Formy</b>	ano	ano	ano	ne	dle podmínek	ne	ne

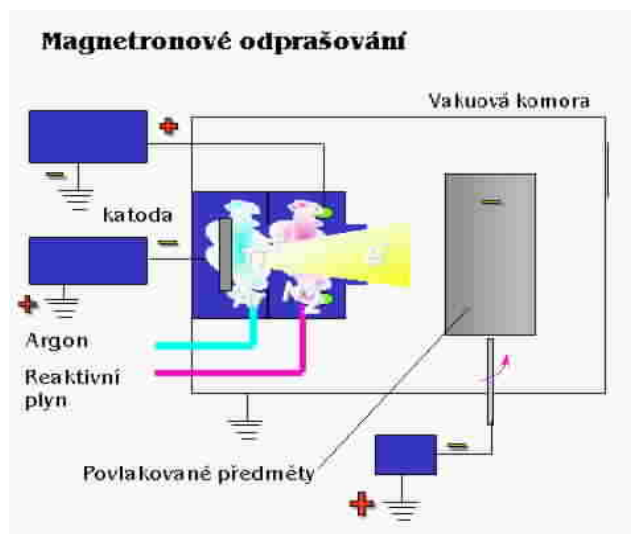
Vysokou energii v katodové skvrně obloukového výboje dojde k odpaření titanových iontů. V řízené dusíkové atmosféře za nízkého tlaku (0,01 - 10 Pa) dochází ke vzniku TiN při teplotě 450°C. Předpětím je plasma přitahována k planetovému stolku s povlakovanými předměty.



Obr. 2.3.3 Princip obloukového napařování

### 2.3.4 PVD- magnetronové napařování

Titanové částice jsou vyráženy el. polem urychlenými argonovými ionty. Magnetickým polem v dusíkové atmosféře dochází k rozšíření plazmy k povlakovaným předmětům.



Obr. 2.3.4 Princip magnetronového napařování

### 3 Rozbor provozních podmínek automobilu

Při provozu automobilu bylo vzhledem ke krátké době provozu automobilu voleno převážně mnoho kratších jízd. Při krátkých jízdách se nejvíce projeví opotřebení motoru- nedostatečné zahřátí, mazání, ovšem negativně se projevilo na nedobíjení baterie, což vedlo k častému startování přes kabely. Ovšem byly provedeny i delší jízdy, kdy se motor plně prohrál. V tomto režimu motor nevykazoval žádné problémy při své činnosti.

Většina jízd byla prováděna v chladném období s průměrnými teplotami pod deset stupňů celsia. Vzhledem k tomu, že na autě byly obuty letní pneumatiky, nebylo možno s testovacím automobilem jezdit v době, kdy byl na silnicích sníh a nebo teploty byly v okolí nula stupňů celsia. Tato pomlka byla zvolena také hlavně kvůli bezpečnosti silničního provozu. V následující tabulce je cenové zhodnocení celého experimentu, které v neposlední řadě bylo pomyslným stropem celé diplomové práce. Převážně v oblasti aplikace na části motoru, jelikož tato částka tvoří největší cenovou položku v rozpočtu. Náklady na rozbor vložek válců a pístních kroužků zde neuvádím, jelikož byly nulové. Veškeré úkony spojené s odebráním vzorků, jejich přípravou a zkoumáním byly prováděny v laboratořích Univerzity Pardubice svépomocí.

Tab. 3a Náklady na projekt

<b>Předmět</b>	<b>Cena</b>
Automobil	500 Kč
Aplikace technologie	20 000 Kč
Palivo	800 Kč
Servisní úkony	2 500 Kč
<b>Celkem</b>	<b>23 800 Kč</b>

Všechny tyto prostředky byly hrazeny společností DTD Future s.r.o., která byla také zadavatelem tohoto experimentu.

V následující tabulce 3b je vypracována kniha jízd automobilu. Jak již bylo dříve řečeno, podíl krátkých jízd do deseti kilometrů je značný.

Tab. 3b Tabulka jízd testovacího automobilu

Jízda	Datum	Jízdní režim	Počet km	Tankování	Tankováno l.
1.	9.10.2008	město	6		
2.	10.10.2008	město	7		
3.	18.10.2008	město	6		
4.	23.10.2008	město	2		
5.	27.10.2008	město	6		
6.	27.10.2008	město	3		
7.	5.11.2008	město	4	300 Kč	11,2
8.	6.11.2008	mimo město	48		
9.	8.11.2008	město	6		
10.	8.11.2008	město	2		
11.	8.11.2008	město	6		
12.	10.11.2008	město	6		
13.	13.11.2008	město	4		
14.	14.11.2008	město	3		
15.	16.11.2008	město	15		
16.	20.11.2008	město	8		
17.	26.11.2008	město	5		
18.	29.11.2008	mimo město	22		
19.	24.1.2009	mimo město	33	300 Kč	12,93
20.	27.1.2009	mimo město	45		
21.	4.3.2009	mimo město	56		
22.	10.3.2009	mimo město	40		
23.	16.3.2009	mimo město	45	200 Kč	8,13
24.	21.3.2009	mimo město	24		
<b>průměr 12,4 l</b>					
celkem			402	800 Kč	32,26

Jak je patrné, průměrná spotřeba byla poněkud vyšší, než je udáváno v technickém průkazu( 7l/100km). To lze připisovat právě krátkým jízdám a také zimnímu období, které si vyžádalo časté použití sytiče, topení a vyhřívání zadního skla. Všechny tyto zařízení zatěžují alternátor a tím pádem i motor.

Kontrolní rozebrání motoru bylo provedeno kvůli vizuálnímu zjištění opotřebení renovovaných vložek motoru. Již na první pohled je patrný rozdíl mezi povrchy původního válce a válce s žárovým nástřikem. Po setření stěn vložky válců byl rozdíl ještě více patrný.



Obr. 3c Stav po kontrolním rozebrání

## 4 Experimentální ověření vlivu povlaku v podmínkách zadření motoru

### 4.1 Způsob zabránění mazání motoru

Díky konzultaci s odborníky na katedře silničních vozidel Univerzity Pardubice, mechanikem a technologem firmy, která nástřík aplikovala bylo zvoleno následující schéma zadření.

Rozhodli jsme se z motoru nevypustit všechn olej, ale pouze jeho část. Ovšem, kvůli dosažení nejhoršího možného stavu pro činnost nástříku ve spalovacím prostoru bylo zamezeno možnosti mazání pístu a vložky válce. Dosaženo tohoto stavu bylo pomocí odříznutí ozubeného kolečka z hřídele olejového čerpadla. Toto ozubené kolečko žene olej do trysek, které jsou umístěny ve spodní části bloku motoru a mají za úkol nastříkávat mazací médium na spodek pístu. Díky vlastnostem plasmatického nástříku- jeho pórovitosti- zbylo malé množství oleje ve makroskopických štěrbinách na povrchu vložky válce. K jejich odstranění by bylo potřeba obě vložky vymontovat z motoru a odmastit. Takovéto množství sice samo o sobě přimazává píst, ale na samotné zadření nemá vliv. Vzhledem k časovému úseku určeného k odřezání ozubeného kolečka a vypuštění oleje navíc bylo neuskutečnitelné obě vložky vymontovat a odmastit, proto byly ponechány v původním stavu.



Obr. 4.1 Odřezané ozubené kolečko olej. čerpadla

Množství ponechaného oleje byly určeny k samomazní klikové hřídele. Při běhu motoru se tedy měla hřídel sama mazat olejem, díky svému rotačnímu pohybu.

## **4.2 Realizace zadření motoru**

Samotné zadření probíhalo 8.4.2009 v prostorách u dílen Dopravní fakulty Jana Pernera. Bylo realizováno nejdříve stáním nastartovaného vozidla na místě a vytáčením motoru do vysokých otáček a dále jízdou v kruhu po dvoře s zařazeným prvním stupněm.

Doba trvání tohoto experimentu byla měřena stopkami. Po uplynutí 4 minuty a 41 vteřin byla teplota nad hranicí 110 stupňů celsia byl zapnut sytič, který by měl motor více zatížit. Ovšem již při této teplotě byl jasně rozpoznatelný měnící se zvuk nastartovaného motoru. Bohužel při jeho zapnutí motor přestal pracovat. Další nastartování nebylo možné ani po úplném vychladnutí motoru. Bylo zkoušení i nastartování motoru pomocí startovacích kabelů a s jiným akumulátorem, ale i zde bezúspěšně. Vozidlo tedy bylo odtáhnuto do servisu.

## **4.3 Výsledky z rozebrání motoru**

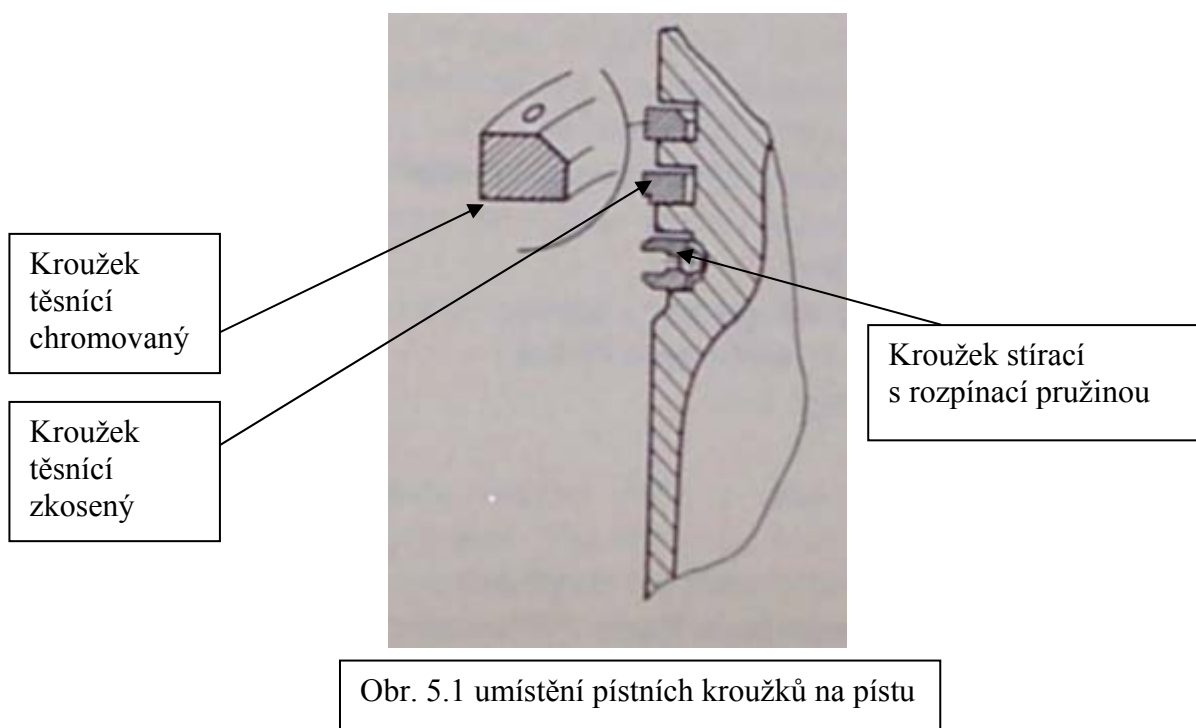
Zde se při rozebírání motoru ukázalo, že se motor nezadřel v oblasti styku pístů a vložek válců. Ovšem kompletně se zadřela kliková hřídel, u které tento proces očekáván nebyl. I díky ponechanému oleji, kterým měla být mazána a i chlazena.

Dále bylo při demontáži zjištěno prasknutí dvou pístních kroužků. Jednoho na prvním a druhého na čtvrtém válci. Toto lze dle mechanika přisuzovat i smontování motoru po aplikaci žárového nástřiku. Bohužel nejsme schopni určit v našich podmínkách kdy k prasknutí kroužků došlo.

## 5 Rozbor experimentu a hodnocení

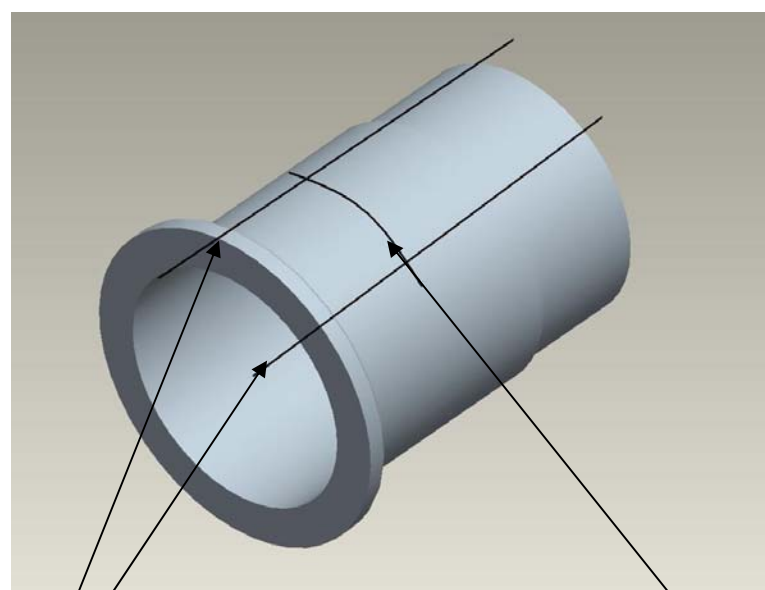
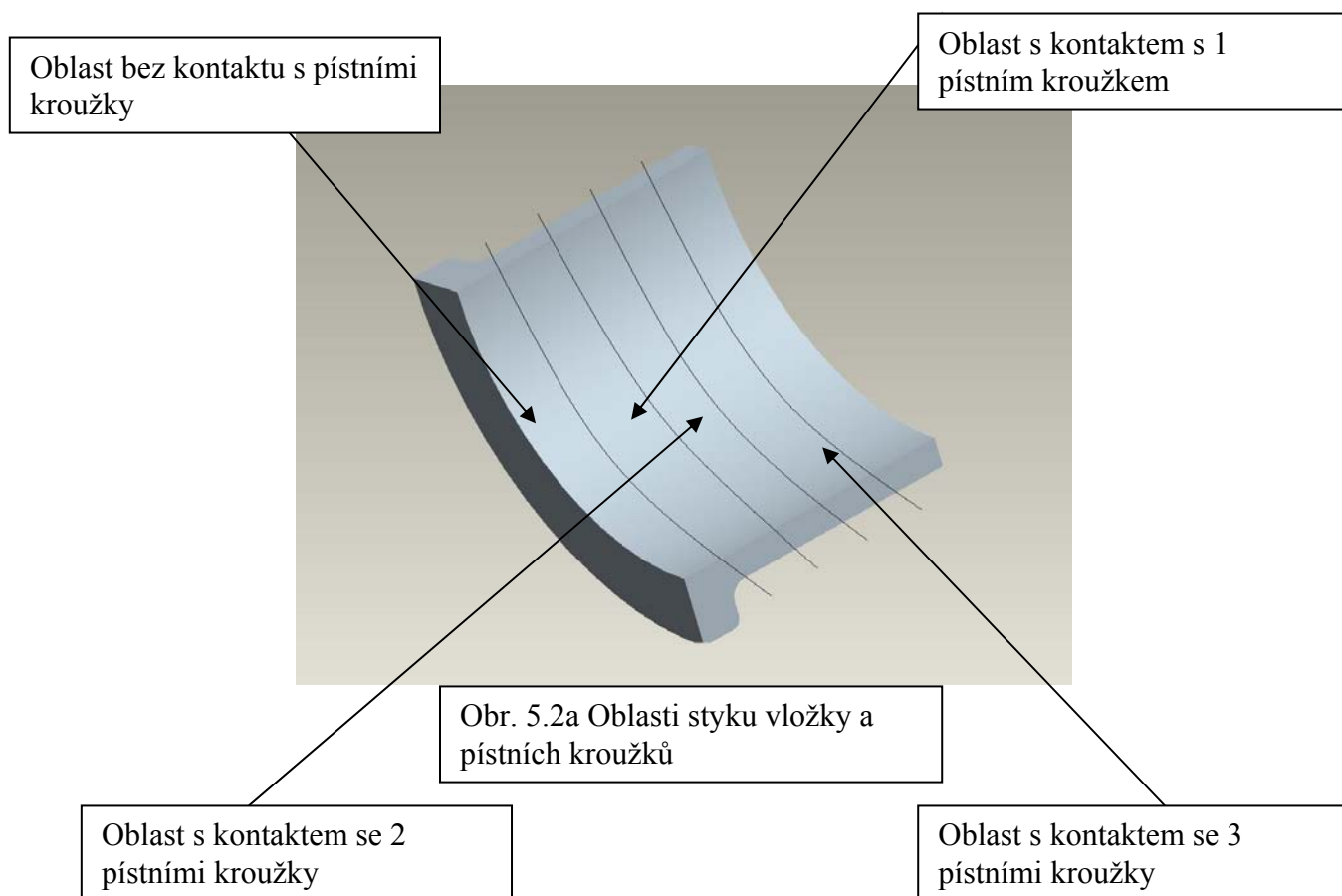
### 5.1 Příprava vzorků pro analýzy a metodika hodnocení

Z konstrukce vozidlových motorů a použité příručky o motoru Škody 120 byly zjištěny jednotlivé oblasti styků pístních kroužků s vložkou válce. Konstrukce pístních kroužků a jejich umístění na pístu je znázorněno na obrázku. Pístní kroužky jsou od sebe vzdáleny v řádu několika milimetrů. Při porovnávání jsme se soustředili pístní kroužek chromovaný a zkosený, jelikož PVD technologie byla provedena pouze na nich.





## 5.2 Způsob odběru vzorků





Obr. 5.2c Ukázka tvorby vzorků

Odběr vzorku z vložky válce byl zvolen tak, aby na něm byli patrné všechny oblasti styku s pístními kroužky ( viz obr. 5.2a). Počínaje oblastí bez styku s Pístními kroužky až po oblast kontaktu stěny vložky válce a všech tří pístních kroužků. Jak bude patrné z mikroskopických fotek povrchu vložky válce, odběr vzorku byl zvolen zcela správně.

Roviny řezů jsou patrné z obrázku 5.2b. Výsledný vzorek měl velikost cca 4x4 centimetry, což stačilo na poskytnutí potřebných informací o daných oblastech styku.

Vzorky byly dále zality do epoxidové pryskyřice a zpracovány dle obvyklých postupů ( broušení a leštění). Vzorky byly uspořádány tak, aby byli naproti sobě prvky s největšími rozdíly. Tedy první válec s nástřikem a povlakovanými pístními kroužky a čtvrtý válec, který byl ponechán v původním stavu. V druhé ampuli byl umístěn druhý válec pouze s nastříkanou vložkou a třetí s povlakovanými pístními kroužky. Nejpatrnější rozdíly povrchů byli očekávány od rozdílu prvního a čtvrtého válce, což byly naproti sobě úplné extrémy.

Dále byli vzorky umístěny na metalografický přístroj Neophot 32, kde byly zkoumány v řezu. Na porovnání povrchů bylo potřeba stejné vzorky nezalévat do pryskyřice, ale pouze důkladně odmastit. Tyto vzorky byly odebrány stejně jako výše zmíněné. Na pozorování povrchů byl použit elektronový mikroskop TESCAN VEGA 5130SB.



Obr. 5.2d Tableta se vzorky

## **6 Rozbor výsledků a formulace závěrů**

### **6.1 Metodika hodnocení**

Hodnocení se provedlo pouze dle vizuální kontroly povrchů a řezů vložky válce. Pomocí metalografického přístroje Neophot 32 a TESCAN VEGA 5130SB zjistíme stav povrchu vložek válců bez technologie žárového nástřiku a s touto technologií. Předpokládáme, že vložky válce, na nichž byl aplikován žárový nástřik zůstanou nedotčeny. Tedy nebude na nich patrný žádný ukazatel styku s pístitními kroužky. Naproti tomu vložky bez nástřiku byli již při demontáži značně opotřebované od činnosti motoru a proto budou jasně patrné stopy od dotyku s pístitními kroužky.

Námi vybraná metodika zhodnocení nástřiku je založena pouze na porovnání různých stavů válce. Tedy od nastříkané vložky a napařených pístitních kroužků, až po části v původním stavu.

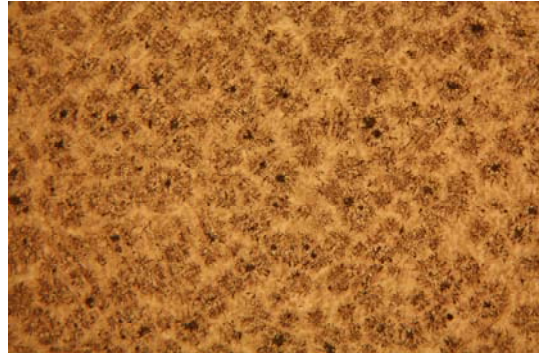
Použito tedy bylo pouze kvalitativní hodnocení povrchů s a bez nástřiku. V rámci obsahu diplomové práce je plně dostačující, avšak k jeho zpřesnění by bylo potřeba provést přesnější normalizované metody.

### **6.2 Určení základních materiálů vložky a pístitních kroužků**

Vložka válce i pístitní kroužek je tvořen šedou litinou. Jak je z obrázků 6.2a – 6.2d patrné, u každé se vyskytuje rozdílné rozložení grafitu. U vložky válce je tento grafit eutektický, který zde tvoří klasické podlouhlé lupínky, zatímco u pístitního kroužku je jasně patrný růžicovitý grafit. U vložky válce se vypadaný grafit může podílet na vzniku pórovitosti původního povrchu a tedy i na samomazací funkci vložky. Naproti tomu u pístitních kroužků je patrný velký podíl sekundární fáze- tzv. fosfidického eutektika. Důsledky jeho působení na vlastnosti pístitního kroužku nebyly zkoumány, z hlediska rozsahu práce to nebylo proveditelné.



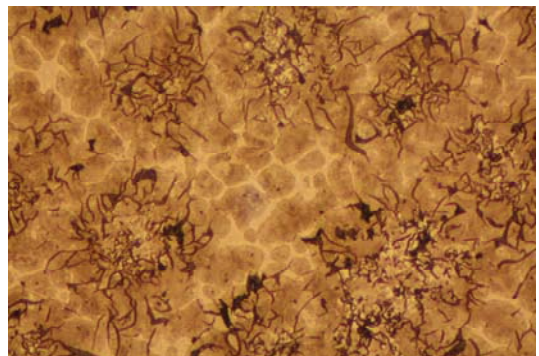
Obr. 6.2a ZM vložka válce 100x  
zvětšeno



Obr. 6.2b ZM pístní kroužek 100x  
zvětšeno

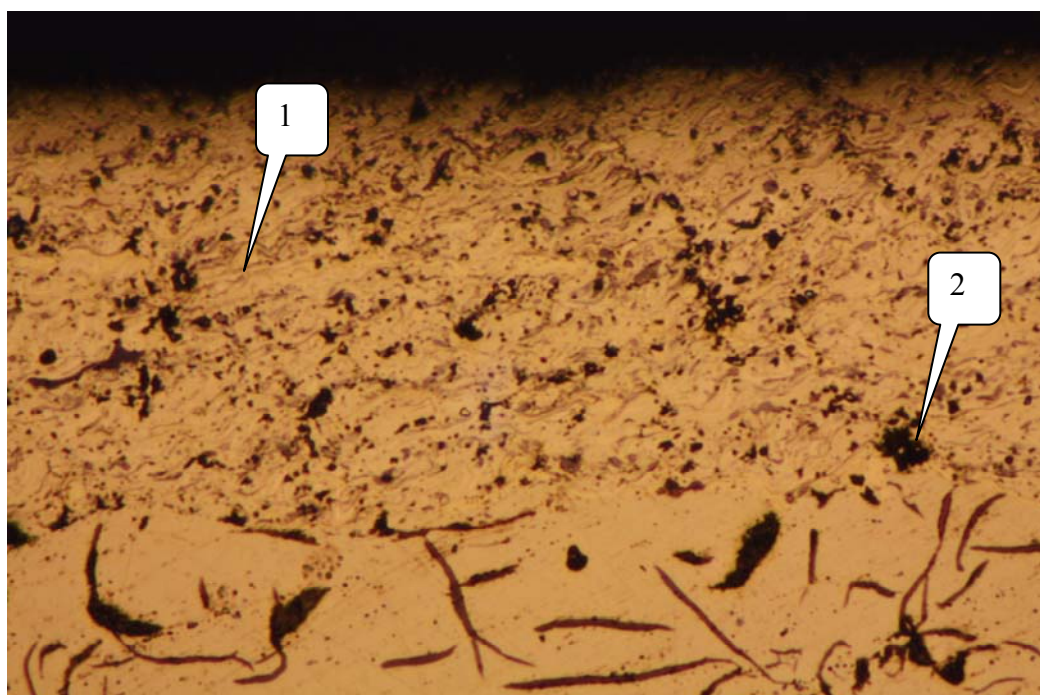


Obr. 6.2c ZM vložka válce 250x  
zvětšeno



Obr. 6.2d ZM pístní kroužek 250x  
zvětšeno

### 6.3 Rozbor vrstvy žárového nástřiku



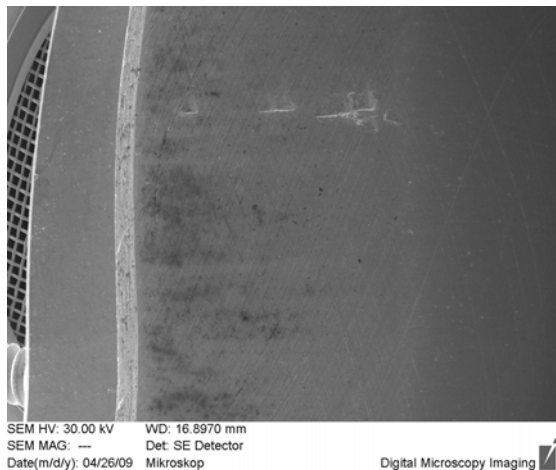
Obr. 6.3 Vrstva žárového nástřiku na vložce válce 250x



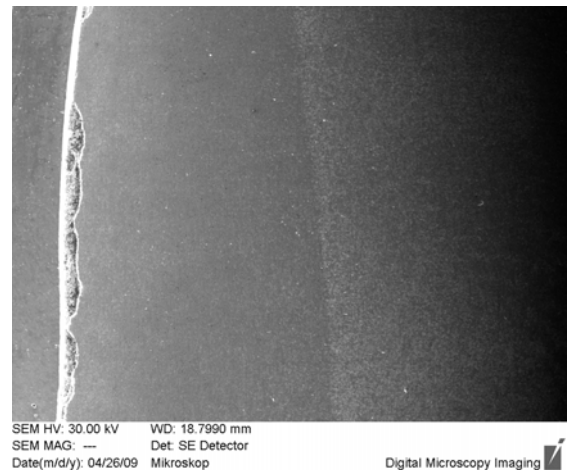
Na obrázku je detail povlaku nanesené vrstvy. Je jasně patrná hranice původního materiálu, jehož povrch byl zbrúšen, aby na ní povlak lépe přilnul. Jedná se o perlitickou litinu s lupínkovým grafitem. Ve vrstvě nástřiku jsou patrné jednotlivé hranice roztavených kapek nanášeného materiálu ( pod číslem 1). Ty se díky kombinaci kinetické energie a své velké teplotě rozprostřou na povrchu. Černé oblasti ( pod číslem 2) jsou oblasti pórovitosti povlaku. U žárového nástřiku naneseného plasmatickou technologií se tato pórovitost pohybuje v rozmezí 4,5-17,4%.

## 6.4 Porovnání povrchů vložek válců

### 6.4.1 Horní hrana vložky válce



Obr. 6.4.1a Vložka bez nástřiku

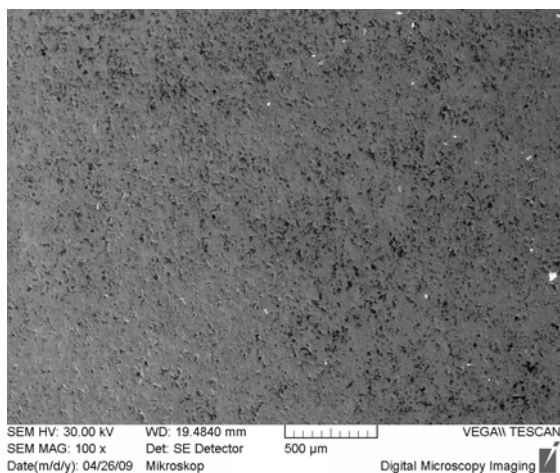


Obr. 6.4.1b Vložka s nástřikem

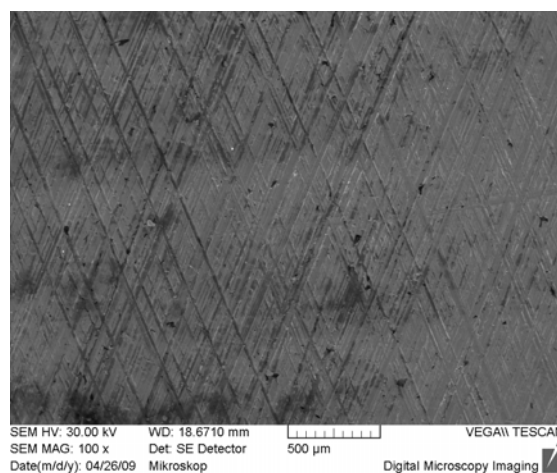
Na obrázcích 6.4.1a a 6.4.1b je srovnání hran vložek válců bez nástřiku a s nástřikem odebraných vzorků. Na vložce válce bez nástřiku je jasně patrná oblast dotyku pístních kroužků a oblast bez dotyku, kde je povrch namáhán pouze od detonačního spalování směsi paliva a vzduchu. Z obrázku 6.4.1a jsou v této horní oblasti patrné diagonální vrypy do povrchu vložky. Tyto vrypy jsem přisoudil technologii montáže pístu a pístních kroužků do motoru. V dalších oblastech se již takto orientované vrypy neukazují. Na obrázku 6.4.1b je hran vložky válce zrenovována technologií plasmatického žárového nástřiku. I zde jsou z tohoto úhlu pohledu vidět jasně ohraničené oblasti styku pístních kroužků s vložkou. Ovšem, jak bude později uvedeno, mikroskopické pozorování povrchu nezaznamenalo žádný

rozdíl v těchto oblastech. Objevila se nám zde také vada, která je reprezentována odlupující se vrstvou nástřiku na hraně vložky. Tato vada je ale pouhým okem nezaznamatelná a jednalo se o lokální vadu, která se již jinde neopakovala. Může být způsobena jednak špatným odmaštěním před nástřikem a nebo nepozorností práce při jeho provádění, a nebo silnějším dotykem vzorku a hranu nějakého tvrdého materiálu při jeho manipulaci. Tato vada je ale pouze lokální a malá a vlastnosti nastříkané vrstvy neovlivní.

#### 6.4.2 Oblast vložek mimo kontakt s pístními kroužky



Obr. 6.4.2a Vložka bez nástřiku

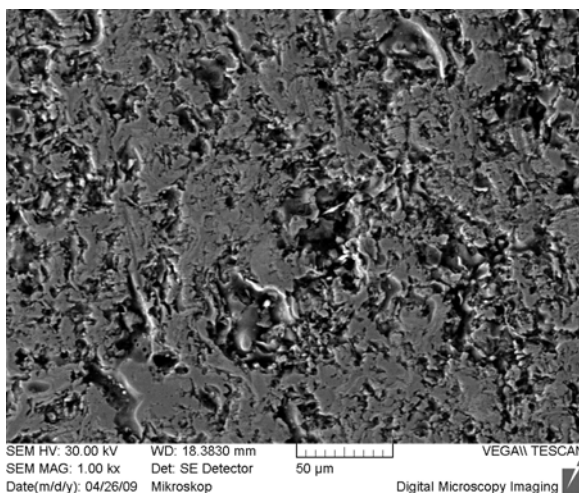


Obr. 6.4.2b Vložka bez nástřiku

Na obrázku 6.4.2a je uveden mikroskopický snímek vložky válce bez nástřiku v oblasti, které se nedotýká žádný pístní kroužek. Je pouze namáhána expanzí plynů. Jsou zde jasně patrné diagonální drážky od montáže pístů s pístními kroužky do motoru. Na této fotografii je také patrný vypadaný grafit, reprezentovaný černými skvrnkami. Tento vypadaný grafit nám může vytvářet pórovitost na stěně vložky a vytvářet samomazný efekt.

Naproti tomu na fotografii 6.4.2b je oblast vložky válce s nástřikem. I na ní je jasně patrná pórovitost, která je určena technologií nástřiku. Pokud se do těchto pórů dostane olej nebo jiné mazací médium, ulpí v nich a plní samomaznou funkci. Veliký rozdíl je ovšem v nepřítomnosti drážek po montáži a demontáži pístů a pístních kroužků z a do motoru. Jelikož je nastříkaný povlak na bázi keramiky a chromu, je předpoklad, že montážní přípravek nemá větší tvrdost než povlak vložky. Proto se zde neprojevila žádná stopa po montáži.

### 6.4.3 Reálný renovovaný povrch

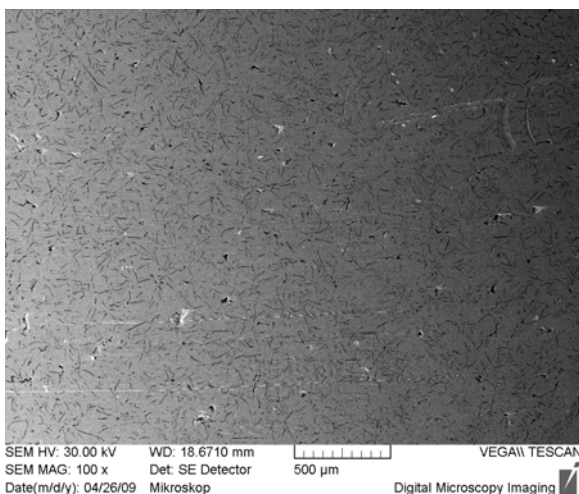


Obr. 6.4.3 Povrch s nástřikem 1000x

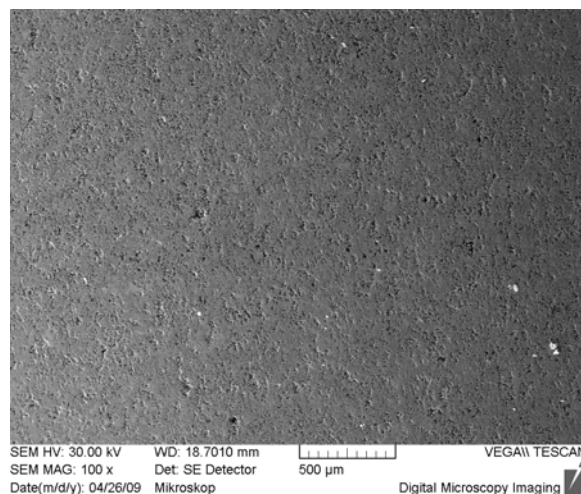
Na uvedené mikroskopické fotografii povrchu je jasně patrná pórovitost povrchu nastříkaného povlaku. Tato pórovitost se dosahuje technologií nanášení povlaku a ověřuje se dle normy 26 ČSN 03 8616-76. Měření pórovitosti je založeno na barevné indikaci zkušebního činidla se základním materiálem v místě průchozího póru. Mimo měření stanovené normou ČSN je možné vyhodnocování pórovitosti provádět pomocí přístroje pro kvantitativní metalografickou analýzu- kvantimet. Při ověřování měření těmito dvěma způsoby byl zjištěn maximální rozdíl 5%. Pórovitost povlaků provedených technologií plasmatického nanášení se pohybuje v rozmezí 4,5 – 17,4%.



## 6.4.4 Oblast s kontaktem s jedním pístním kroužkem



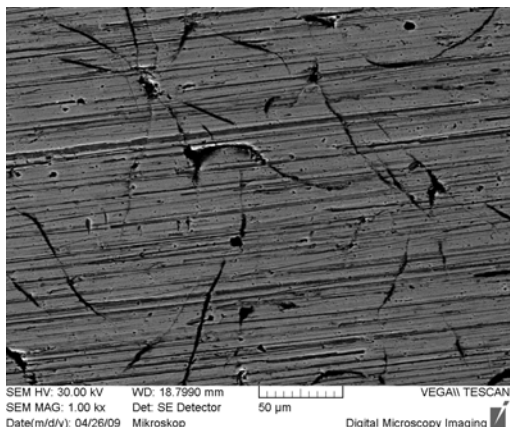
Obr. 6.4.4a Bez nástřiku-  
s kontaktem 1 PK



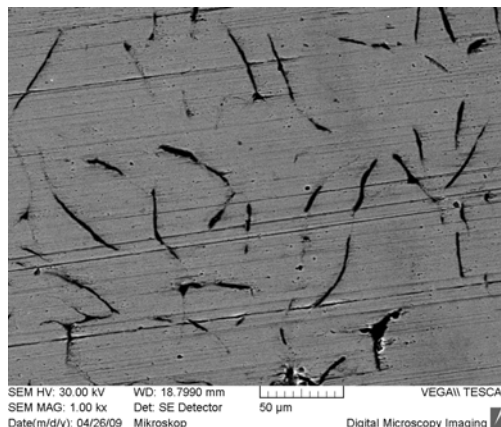
Obr. 6.4.4b S nástřikem-  
s kontaktem 1 PK

Na fotografiích 6.4.4a a 6.4.4b je nejvíce patrný rozdíl povrchů vložek válců bez a s nástřikem. Zatímco u povrchu bez nástřiku jsou černé oblasti vypadaný grafit, na povrchu s nástřikem je to daná pórovitost. I při bližším pohledu na fotografie jsou patrné rýhy od dotyku těsnícího pístního kroužku s vložkou na povrchu bez nástřiku, zatímco u povrchu z nástřikem po tomto kontaktu není žádná stopa. Také se zde ukázala rozdílná drsnost povrchu. Zatímco povrch bez nástřiku je opracován pístním kroužkem, povrch s nástřikem dotyk s pístním kroužkem vůbec nepoznamenal a je v nedotčeném stavu, v jakém byl do motoru namontován.

#### 6.4.5 Oblast kontaktu se dvěma a třemi pístními kroužky bez nástřiku



Obr 6.4.5a Oblast kontaktu se dvěma PK

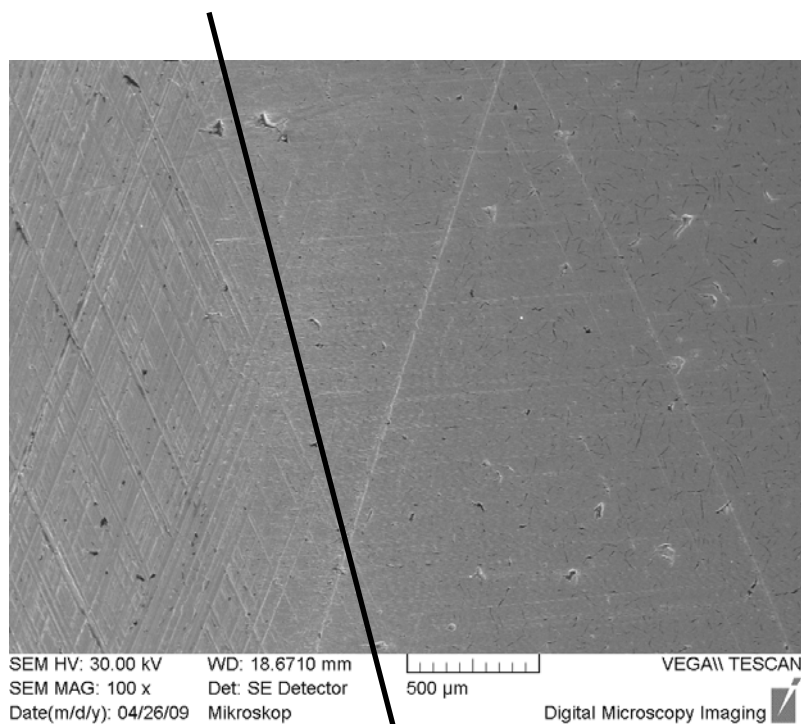


Obr 6.4.5b Oblast kontaktu se třemi PK

Na fotografiích 6.4.5a a 6.4.5b jsou patrné rozdíly v povrchu vložky válce v závislosti na počtu dotýkajících se pístních kroužků. Obrázek ukazuje koncentraci drážek po styku se dvěma těsnícími pístními kroužky. Jak je patrné, drážky na povrchu jsou poměrně hluboké, mají ostré hrany a podporují odlupování grafitu z vložky. Naproti tomu povrch, kterého se dotýkají všechny tři kroužky, tedy i kroužek stírací, je poměrně vyhlazen, alespoň v porovnání s předchozí fotografií. Drážky po činnosti pístních kroužků již nejsou tak ostré ani hluboké a grafit již tolik nevypadává.

Povrch s aplikovanou technologií plasmového žárového nástřiku po podrobném prozkoumání pod elektronovým mikroskopem nevykazoval žádné rozdíly. Byl stejný jak v oblasti namáhané pouze detonačním spalováním a montáží, tak i v oblastech dotyku s různým počtem pístních kroužků. Tento výsledek jsem předpokládali a je tedy potvrzen praktickou zkouškou. Platí ovšem pro námi zvolenou metodiku provozu automobilu a testování povlaku. Musíme připustit, že výsledky by se mohli v jiném režimu lišit.

#### 6.4.6 Rozdílnost povrchu vložky válce při různém počtu dotýkajících se pístních kroužků



Obr. 6.4.6 Rozdílnost povrchů v závislosti na počtu dotýkajících se PK

Fotografie 6.4.6 ukazuje již několikrát zmiňovaný přechod mezi stykem pístních kroužků s vložkou válce a s oblastí bez dotyku. Je jasný rozdíl v orientaci drážek na vložce v těchto oblastech. Tedy od montáže a od činnost 1 pístního kroužku.

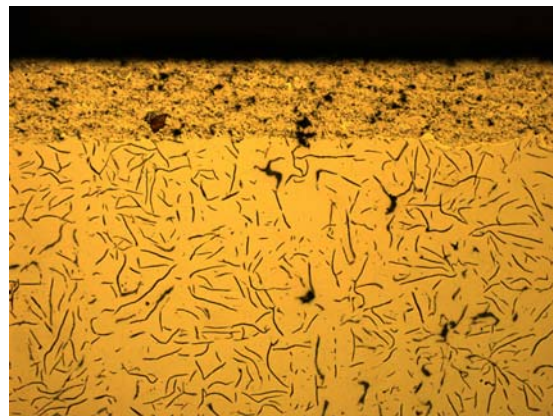
#### 6.5 Porovnání v řezech

Následující fotografie z metalografického přístroje Neophot 32, které byly zhotoveny v podélném řezu vložkou válce nám zachycují opět různé oblasti styku s pístními kroužky.

### 6.5.1 Oblast bez styku s pístními kroužky



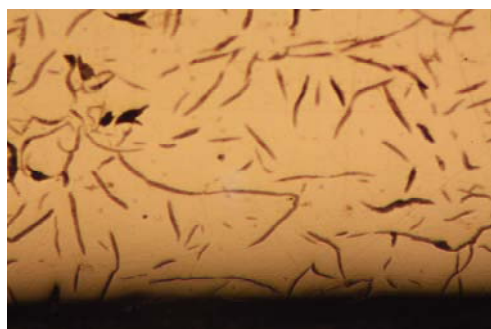
Obr. 6.5.1a Vložka bez nástřiku a kontaktu



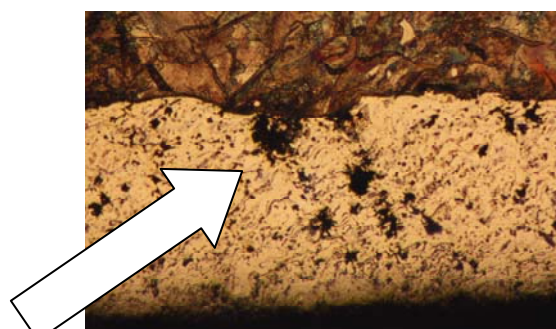
Obr. 6.5.1b Vložka s nástřikem a bez kontaktu

Na obrázcích 6.5.1a a 6.5.1b je zachycena oblast bez kontaktu s pístními kroužky, tedy namáhána jen detonačním spalováním. Na povrchu bez nástřiku z tohoto pohledu nejsou patrné žádné drážky po montáži, které jsme pozorovali na fotografiích povrchu vložky. Na obrázku 6.5.1b je zobrazení nanesené vrstvy na základní materiál vložky válce. Z tohoto snímku je patrná uváděná pórovitost, která není situována na povrchu, ale vyskytuje se v celém povlaku. Dále je zde vidět kopírování povlakované vrstvy původního povrchu vložky válce. Tento povrch byl před aplikací zbrúšen, aby na něj povlak lépe přilnul.

### 6.5.2 Oblast s kontaktem s jedním pístním kroužkem



Obr. 6.5.2a Bez nástřiku a s kontaktem s 1 PK



Obr. 6.5.2b S nástřikem a s kontaktem s 1 PK

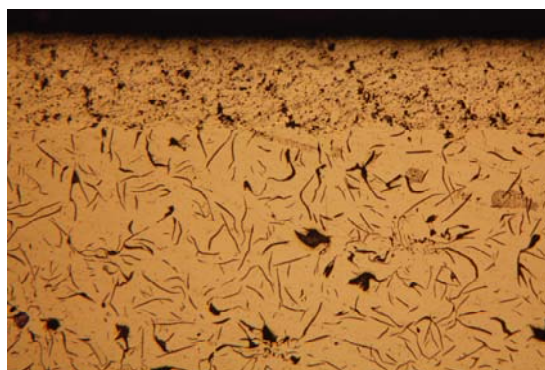
Obrázek 6.5.2a ukazuje původní nerenovovaný povrch v řezu vložky válce. Jedná se o oblast s kontaktem s jedním těsnícím kroužkem. Z výše uvedeného obrázku nejsou patrné žádné vrypy po činnosti pístitního kroužku, jak tomu bylo u snímků povrchu elektronovým mikroskopem. Pouze jsou patrné vypadané oblasti grafitu, které se v řezu vyskytovaly. Na fotografii 6.5.2b je zachycena stejná oblast jako v na fotografii bez nástřiku. Tedy s kontaktem s jedním pístitním kroužkem. Povrch nástřiku se nejeví tak hladký jako povrch bez nástřiku. To je dáno vlastností nástřiku- pórovitostí. Povrchová pórovitost tedy vytvořila v tomto řezu zdánlivou nerovnost povrchu. Černá oblast při kontaktu povlakované vrstvy a základního materiálu vložky je právě pórovitost a nikoliv vada. Pouze se vytvořila v místě styku těchto dvou materiálů.

Bílá šipka ukazuje směr nanášení povlaku. Pokud se v tomto směru nahromadí zrna nástřiku nevhodně, může za nimi vzniknout stín, kam další zrna nedopadnou. Toto se stalo i v našem případě. Je to v podstatě pórovitost, ovšem ve větším měřítku. Na kvalitu a přilnavost vrstvy může mít vliv pouze tehdy, není-li povrch pod vrstvou řádně odmaštěn. To by se ale projeвило na této fotografii puklinkami směřujícími k povrchu, či probíhajícími po jednotlivých hranách roztavených a nanesených kapek.

### 6.5.3 Oblast s kontaktem se dvěma pístitními kroužky



Obr. 6.5.3a Oblast bez nástřiku a s kontaktem se 2 PK



Obr. 6.5.3b Oblast s nástřikem a s kontaktem se 2 PK

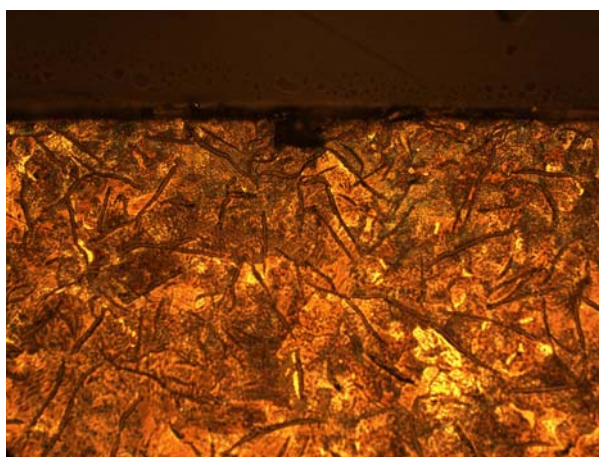
Obrázek 6.5.3a zobrazuje povrch bez nástřiku a s kontaktem se dvěma pístitními kroužky. Je podobný jako předchozí příklad bez nástřiku. Na obrázku 6.5.3b je zobrazen povrch



s nástřikem. Ani zde není patrné jakékoliv ovlivnění vrstvy činností písních kroužků. Je ale patrná technologie nanášení jednotlivých vrstev nástřiku, zde zleva doprava.

Lze tedy říci, že počet písních kroužků, které jsou ve styku s vložkou válce bez nástřiku a s nástřikem se nějak neprojevilo na kvalitě samotného povrchu. Tedy v odebraných vzorcích nebyly patrné žádné zářezy či celé odloupenuté oblasti vrstvy.

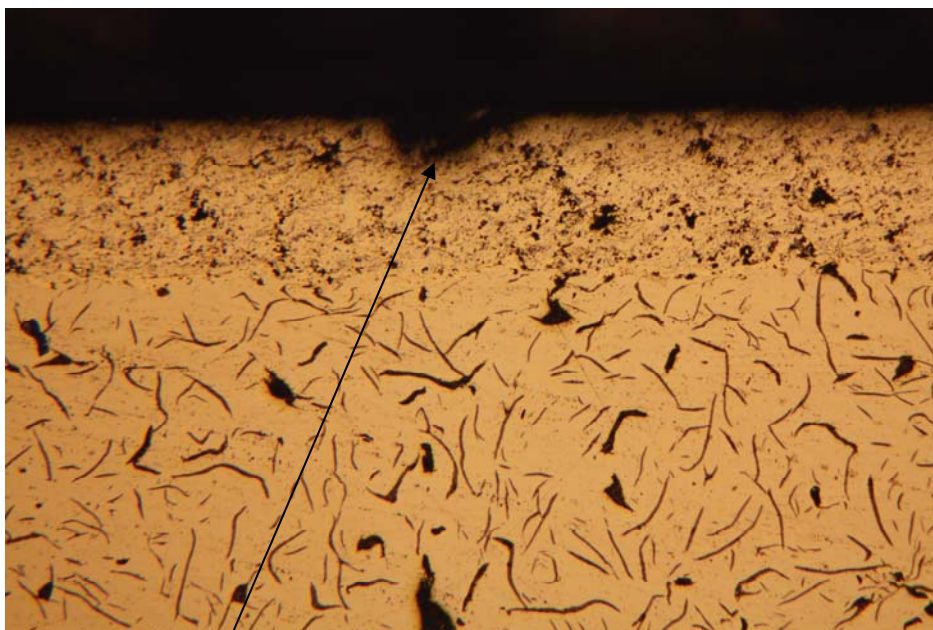
#### 6.5.4 Pokrytí vady povrchu



Obr. 6.5.4 Pokrytí vady povrchu žárovým nástřikem

Na obrázku 6.5.4 se nám podařilo zachytit jednu z vlastností použití žárových nástřiků- tedy renovaci. Je vidět, že žárový nástřik pokryl povrchovou trhlinu a nebýt řezu právě v tomto místě, nebyla by objevena. Ovšem nebylo zkoumáno, do jaké míry je toto zakrytí možné. Tedy jak velkou trhlinu dokáže nástřik zakrýt. Její ovlivnění povlaku nebylo patrné a neprojevilo se ani odlupováním vrstvy v jejím okolí. Můžeme tedy konstatovat, v našich hodnotících podmínkách, že tato trhlina nikterak nanesený povlak neovlivňuje a nezhoršuje jeho kvalitu.

### 6.5.5 Vada povrchu



Obr. 6.5.5 Vada povrchu mimo kontakt s nástřikem, 100x

Obrázek ukazuje jedinou vadu, která byla zaznamenána. Jedná se o oblast bez kontaktu s pístními kroužky. Nelze z určitostí říci, čím byla způsobena. Jednalo se buď o odchlípnutí vrstvy při neopatrné manipulaci se vzorkem, a nebo se může také jednat o kombinaci většího póru na povrchu vložky a montáže kroužků a pístu do motoru. Mohlo se tak stát i při konečné demontáži z motoru po zadření. Ovšem jedná se o ojedinělý případ degradace vrstvy a v tak malém rozsahu, že na činnost motoru či vlastnosti vrstvy nemá vliv. Opět nejsou vidět žádné známky rozvoje trhliny.

## 6.6 Závěrečné hodnocení

Metoda renovací strojních, lékařských ale i jiných součástí dnes zažívá veliký rozmach. V dnešní době je již ekonomicky velmi zatěžující pro firmu vyrábět si stále nové a nové součásti. Pokud je to jen trochu možné, spoléhají se právě na metody renovací, kterých je v dnešní době dostatek a tedy lze přesně zvolit vhodnou metodu na danou součást zařízení. Jedná se jednak o metody navařování, Broušení, ale v dnešní době právě zažívají veliký rozmach technologie žárového nástřiku. U nich jde v podstatě o nanášení nataveného materiálu na základní povrch, na který difuzně přilne. V závislosti na technologii je toho dosaženo například rychlostí částice nebo její teplotou. Nanášený povlak má pak zpravidla několikrát lepší parametry než původní materiál. Každá z těchto technologií má své klady a zápory a je pouze na zákazníkově, jakou z možných technologií si vybere. V současnosti je nejnovější technologie vysokorychlostního kontinuálního nanášení tzv. HVOF, která se vyvinula z technologie D-GUN. Princip této technologie spočívá v řízeném výbuchu a rozprostření natavených částiček přídavného materiálu na základní v daných intervalech.

Z důvodu studia na Dopravní fakultě Jana Pernera a oboru silničních vozidel jsem se snažil tuto technologii použít na silniční vozidlo. Po analýze činnosti automobilu jsme se rozhodli aplikovat žárový nástřik na vložky válců. Abychom zachytily všechny 4 možnosti aplikace, byla využita technologie PVD na pístní kroužky. Technologie žárových nástřiků bohužel aplikovat na tyto části nešla, jelikož kroužky jsou při své montáži značně rozměrově namáhány a nanesená vrstva by mohla popraskat. Aplikována byla tedy technologie žárového nástřiku na první a druhý válec, třetí a čtvrtý byly ponechány původní. Na prvním a na třetím jsme navíc nanесли povlak na pístní kroužky. Takto jsme tedy postihly všechny čtyři možné stavy renovace. Volba aplikovat nástřik na první a druhý válec byla z důvodu jejich dostupnosti při mechanických úkonech.

Automobil byl uveden do provozu a běžně používán. Po najetí uvedeného počtu kilometrů byl motor rozebrán a zdokumentován. Již na první pohled byly patrné rozdíly mezi vložkou válce bez nástřiku a s nástřikem. Nebyly patrné žádné známky od činnosti motoru u renovované vložky válce.

Laboratorní experimenty naše předpoklady potvrdily. Rozdíl povrchů vložek válců s a bez nástřiku byl patrný na první pohled. Zatímco povrch bez nástřiku je plný drážek od montážního přípravku a také od styku s pístními kroužky, povrch s nástřikem není činností motoru a montáží vůbec poznamenán. V naší zvolené metodice testování, která spočívala



v kvalitativním porovnávání povrchů vložek válců tedy povrch povlaku odhalil jasné klady této technologie.

Při zkoumání vzorků v příčném řezu tak jasně patrný rozdíl nebyl. Ukázala se větší drsnost povrchu s aplikovanou technologií žárového nástřiku, která ale byla způsobena jeho pórovitostí. Také se nám zde ukázala renovační vlastnost této technologie, a to zakrytí prasklin na povrchu. Pouze v jediném vzorku byla objevena chyba na povrchu povlaku. Objevila se v části, které se pístní kroužky nedotýkají a tedy mohla být způsobena například neopatrnou manipulací.

V rámci této diplomové práce bylo zvoleno jako měřítko hodnocení pouze kvalitativní posouzení povrchů bez technologie žárového nástřiku a s touto technologií. Pro přesnější výsledky by byly třeba podrobit vzorky normovaným zkouškám, například měřením váhových úbytků.

V praxi byla tedy ověřena použitelnost žárového nástřiku na spalovacím motoru osobního automobilu s kladným výsledkem. Rozsah této diplomové práce byl omezen jak použitím této technologie na části, tak i časem jejího trvání a konečného hodnocení výsledků.

## **Použitá literatura**

- [1] Kniha: Ptáček Luděk a kolektiv: Nauka o materiálu I.. 1. vydání, Brno, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001, 505 stran, ISBN 80 - 7204 - 193 - 2.
- [2] Kniha: Ptáček Luděk a kolektiv: Nauka o materiálu II.. 1. vydání, Brno, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 1999, 350 stran, ISBN 80 - 7204 - 130 - 4.
- [3] Kniha: Macek K., Zuna P.: Nauka o materiálu. 2. vydání, Praha, vydavatelství ČVUT, 2002, 209 stran, ISBN 80 - 01 - 02543 - 8.
- [4] Kniha: Ambrož O., Kašpar J.: Žárové nástřiky a jejich průmyslové využití. 1. vydání, vydalo SNTL Praha, 1990, 320 stran, ISBN 80-03-00347-4.
- [5] Kniha: Andrt J.: Údržba a opravy automobilů Škoda 105, 120, 130, Garde a Rapid. 5. vyd. Praha : SNTL, 1986. 480 stran. ISBN 04-233-86.
- [6] Firemní materiály společnosti DTD Future s.r.o.