

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
**Fakulta strojní**  
*Katedra mechanické technologie*

**Možnosti využití sklo-keramických povlaků na  
tepelně namáhané části výfukového potrubí.**

(V rámci projektu StudentCar)

Student :

Bc. Jan Hrouza

OSTRAVA 2007

## ABSTRAKT

Hrouza Jan. *Možnosti využití sklo-keramických povlaků na tepelně namáhané části výfukového potrubí. V rámci projektu StudentCar.* Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojů VŠB-Technická universita Ostrava, 2006, 16 s. Soutěžní práce STOČ, vedoucí Podjuklová, J.

Výfukové potrubí automobilů je vždy vystaveno agresivním prostředím, a to zejména mechanickému a chemickému. K mechanickému poškození dochází zejména pohybem karoserie, vibracemi motoru a v neposlední řadě také nárazy kamínků během jízdy. Chemické poškození vnějších částí celého zařízení vzniká především v důsledku působení povětrnostních podmínek a posypových materiálů. Naproti tomu ve vnitřní části výfukového zařízení dochází ke korozi, zvláště v jeho zadní, chladnější části, a to převážně kondenzací vody a kyselin s obsahem síry. Mým úkolem v této práci je prostudovat možnosti použití moderních sklo-keramických povlaků na jednotlivé části výfukového potrubí, ty poté aplikovat a otestovat. Následně vyhodnotit a posoudit jejich vhodnost, jak v rámci projektu student car tak i k běžnému použití. Dále se tato práce zabývá novými trendy v nanášení sklo-keramických povlaků na jednotlivé díly.

Obsah:

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Přehled dosavadních poznatků o problematice odvodu výfukových plynů pomocí výfukového potrubí</b> .....	<b>5</b>
2.1	Teplotní zatížení pístového spalovacího motoru (PSM).....	5
2.2	Části výfukového systému .....	6
2.2.1	Výfukové svody .....	6
2.2.2	Katalyzátor .....	7
2.2.3	Lambdasonda .....	7
2.2.4	Tlumiče výfuku .....	8
2.2.5	Koncová trubka .....	8
<b>3</b>	<b>Tepelné bariéry</b> .....	<b>8</b>
3.1	Problematika TBC .....	9
3.2	Funkce a struktura .....	9
3.3	Keramická vrstva.....	11
<b>4</b>	<b>Žárový nástřík plazmou</b> .....	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Současný stav výfukového potrubí automobilu Kaipan</b> .....	<b>13</b>
5.1	Konstrukce výfukového potrubí automobilu Kaipan (StudentCar)..	13
5.2	Protikorozní úpravy výfukového systému automobilu Kaipan .....	15
<b>6</b>	<b>Návrh experimentu</b> .....	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Provedení experimentu</b> .....	<b>15</b>
<b>8</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>Seznam použitých pramenů</b> .....	<b>16</b>

# 1 ÚVOD

Někdy v průběhu druhé světové války bylo v leteckém průmyslu zapotřebí dosáhnout delších vzdáleností a vyšších výkonů. Tyto požadavky vedly mimo jiné k výzkumu v metalurgickém odvětví průmyslu. Byly objeveny nové exotické materiály. Bohužel s novými materiály přišly i nové problémy. Jak ochránit tyto materiály před korozí, izolovat od hluku, redukovat tření, tepelně izolovat? To byly jen některé otázky expertů tehdejší doby.

Tepelné ochranné vrstvy otevřely možnost zvýšení tepelné účinnosti zařízení a snížení tepelné únavy a koroze základních materiálů všech tepelných zařízení a snížení tepelné únavy a koroze základních materiálů u všech tepelných zařízení na přeměnu energie. Nové produkty začaly být používány v automobilismu, převážně v závodních vozech v průběhu let sedmdesátých minulého století. Naneštěstí se přišlo na to, že výrobky, které byly ideální pro letecký průmysl, se již tolik nehodily pro průmysl automobilový. Například zirkonium, které se používalo hojně v leteckém průmyslu, bylo nevhodné pro automobilový průmysl, už jen kvůli značné tepelné roztažnosti oproti hliníku. Postupem času našli tepelné ochranné vrstvy uplatnění i v automobilovém průmyslu

V této práci se budu zabývat možnostmi použití sklo-keramických povlaků na tepelně namáhané části výfukového potrubí, a to přímo na výfukovém systému automobilu Kaipan v rámci projektu StudentCar. Jelikož se jedná o netypický výfukový systém (výfukové potrubí provedeno z nerezového materiálu), použijeme netypickou metodu řešení, která je v dnešní době používána spíše v sportovním automobilismu. Budeme se snažit vytvořit termální bariéru na povrchu výfukového systému, abychom zabránily ztrátě tepla výfukových plynů. V teoretické části se proto budu věnovat hlavně materiálům vhodných pro povlakové tepelné bariéry (TBC) a technologiím vhodných k nanášení na materiál výfuk. systémů. V praktické části je hlavním úkolem vyzkoušet a vyhodnotit přilnavost k základnímu materiálu a odolnost TBC proti mechanickému zatížení.

Použití TBC na výfukový systém je pouze jedním z možných řešení, které se samo o sobě v praxi moc nepoužívá. A to i přesto že lze dosáhnou zvýšení výkonu u přeplňovaných motorů až o 3%, snížit spotřebu o 2% (jestliže je i turbodmychadlo opatřeno TBC) zároveň zlepšit činnost katalyzátoru (rychlejší zahřáním na pracovní teplotu) a zvýšit životnost tlumičů výfuků. Ale i přes tyto výhody se TBC nejčastěji používají komplexně na celý motor,

od přívodu vzduchu přes povlakované dna pístů a stěny válců, turbodmychadlo a již zmiňovaný výfuk systém. Při takto upraveném dieselovém motoru TBC zlepšuje podmínky při zážehu čímž zvyšuje výhřevnost paliva a snižuje emise  $\text{NO}_x$ , CO, prachových částic a o 15-20% snižuje specifickou spotřebu.

## ***2 PŘEHLED DOSAVADNÍCH POZNATKŮ O PROBLEMATICE ODVODU VÝFUKOVÝCH PLYNŮ POMOCÍ VÝFUKOVÉHO POTRUBÍ***

### **2.1 Teplotní zatížení pístového spalovacího motoru (PSM)**

Z celkového tepla, které se při plném zatížení přivádí do pracovního oběhu pístového spalovacího motoru palivem, se přemění na užitečnou práci asi 20-40 (50)%. Výfukovými plyny a sáláním vnějšího povrchu motoru se odvádí 28-40 %, chlazením motoru asi 25-40 %, 4-10 % činí ztráty mechanické (ty se ale mění rovněž na teplo). Uvedené hodnoty jsou průměrné a jsou závislé především na typu motoru, rychloběžnosti, zatížení, způsobu chlazení a dalších okolnostech. Při menším zatížení obvykle klesá podíl tepla efektivně využitého a stoupá podíl tepla odváděný výfukem, chlazením a rovněž ztrátami mechanickými. Teplo, které se odvádí z náplně válce, se předává chlazeným stěnám především přestupem a následně vedením, účinek sálání není podstatný (sálání se uplatňuje především na součástech výfukového systému motoru). [1.]

Teplo, které se odvádí chlazením, přestupuje nejprve z pracovní náplně válce do stěn hlavy válce, vložky válce a pístu, odkud je převáděno (vedením tepla v materiálu a dále přestupem tepla) do dalších dílů a chladicího media motoru. Největší podíl tepla je z pracovní náplně odváděn do stěn ve válcové jednotce (teplosměnná plocha stěn se přitom v průběhu pracovního oběhu mění v závislosti na poloze pístu - natočení klikového hřídele), v době výfuku se potom teplosměnná plocha zvětšuje o stěny výfukového systému motoru (výfukové kanály v hlavě válce, připojené výfukové potrubí). Podstatný vliv na teplotní zatížení všech dílů pístového spalovacího motoru má přestup tepla do stěn hlavy válců (vč. ventilů), vložky válce a pístu. [1.]

Výfukový systém odvádí od motoru plyny vznikající při spalování směsi paliva. Hladkým odvodem výfukových plynů je dosahováno vyššího výkonu vozu. Kromě toho má

výfuk přímý vliv na hlučnost a redukci emisí a navíc chrání zdraví pasažérů tím, že odvádí nebezpečné emisní plyny až za vozidlo.[1.]

Jedna věc, která je obvykle přehlížena je otázka zadržování tepla ve výfukovém potrubí. Měli bychom si uvědomit, že jakmile začnou výfukové plyny opouštět spalovací prostor, začínají chladnout. Jak plyny chladnou, ztrácejí rychlost a průběh výplachu válce se zpomaluje a účinek zhoršuje.

Jestliže bude teplota plynů uvnitř výfukového potrubí udržena na maximální možné hranici, výsledkem bude větší rychlost plynů, tím pádem větší úbytek tlaku v systému a celkově tedy vyšší účinnost. Úkolem tepelně izolační vrstvy je izolovat výfukové potrubí a udržovat teplotu výfukových plynů.

Další nepřehlédnutelnou výhodou je fakt, že teplo, které se udrží uvnitř potrubí, se neuvolní do okolní prostředí, tedy pod kapotu. Snížením teploty pod kapotou dojde k menšímu ohřívání nasávané směsi. Čím nižší teplota nasávaného vzduchu, tím vyšší volumetrická účinnost motoru a nakonec tedy, možná, vyšší výkon.

Už jste někdy zažili parný letní den a po něm chladný, vlahý večer? Nepřišlo Vám někdy na mysl, že přes den se automobil sotva hýbe a večer jede jako utržené ze řetězu? Tak přesně takový může být rozdíl mezi teplým a studeným nasátým vzduchem.

## **2.2 Části výfukového systému**

Výfuk obecně slouží k odvodu spálených plynů z motoru a také k podstatnému snížení hluku motoru. Při hoření paliva vznikají ve spalovacím prostoru plyny o vysoké teplotě a tlaku, které je nutné rychle odvést. Běžný výfuk se skládá ze systému trubek a v závislosti na celkové funkci systému jsou spálené plyny vedeny například nejdříve přes turbodmychadlo za účelem zvýšení výkonu motoru, dále katalyzátor, který slouží ke snížení emisí škodlivin, nebo rezonátor a tlumič pro snížení úrovně hluku výfuku. [2]

### **2.2.1 Výfukové svody**

V běžné produkci jsou vyrobeny z litiny a tvarovány většinou se zaměřením na malou spotřebu materiálu, na ekonomiku výroby. Proto je právě u svodů velký prostor pro možné efektivní ladění. Jednotlivé válce zapalují v různých časech a proudy plynů se v obyčejných svodech mohou ovlivňovat i negativně. Může docházet ke zpětným tlakům do spalovacího prostoru a tím ke snížení výkonu v tomto momentu. Proto se svody staví jiné, delší, leštěné zevnitř pro snížení turbulencí plynů při průchodu a tak dále. Většinou jsou použity trubky

různě ohýbané s ohledem na stejnou délku a odpor před místem spojení. Tvar je spočítán pro vyžadovaný rozsah otáček motoru. [2]

Odvádějí výfukové plyny přímo od hlav válců motoru. Teplota odváděných plynů je vyšší než 1 300°C, proto jsou vyrobeny z litiny, jsou namontovány a pevně uchyceny přesně na hlavy válců. Přední část tvoří několik úzkých trubek svedených do jedné, která směřuje k přednímu výfukovému potrubí. [3] Přední potrubí

Vede plyny ke katalyzátoru. Novinkou pro novější modely vozů jsou dvojitě přední trubky se vzduchovou izolační komorou. Ta chrání plášť trubky a podvozek a navíc zlepšuje funkci katalyzátoru jeho rychlejším zahřáním. [3]

### 2.2.2 Katalyzátor

Slouží ke zmírnění toxicity výfukových plynů. Vytváří sice další zpětný tlak na motor ( kolem jedné desetiny atmosféry), ale je dnes vyžadován pro splnění emisních norem. Běžný katalyzátor se nazývá trojcestný a znamená to, že způsobuje tři procesy: [2]

1. redukce oxidu dusného na kyslík a dusík:  $2\text{NO}_x \rightarrow x\text{O}_2 + \text{N}_2$
2. oxidace oxidu uhelnatého na oxid uhličitý:  $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$
3. oxidace nespálených uhlovodíků (HC) na oxid uhličitý a vodu:  $\text{C}_x\text{H}_y + n\text{O}_2 \rightarrow x\text{CO}_2 + m\text{H}_2\text{O}$

Efektivně redukuje škodlivé motorové plyny a chrání životní prostředí. Pracovat začíná při teplotě 300 – 350°C. Je zásadní částí moderního systému kontroly emisí. Všechny novější typy vozů jsou katalyzátorem vybaveny. Kromě toho jsou moderní dieselové vozy vybaveny filtrem pevných částic, který je umístěn u katalyzátoru a významně redukuje 'kouření' dieselových vozů. [3]

### 2.2.3 Lambdasonda

Je umístěna před katalyzátorem a signalizuje kontrolní jednotce v motoru poměr vzduchu v palivové směsi. To přispívá k optimalizaci směsi a prodloužení životnosti katalyzátoru. Novější vozy jsou navíc vybaveny ještě kontrolní lambdasondou umístěnou za katalyzátorem. [3]

## 2.2.4 Tlumiče výfuku

Jsou soustavou ohebných perforovaných či plných trubek a komor s přepážkami. Vedou plyny, redukuje hlukové impulsy vzniklé jejich pohybem a hluk z hoření paliva. Většina výfukových systémů se skládá ze dvou až tří tlumičů. Jejich dutiny jsou vyplněny absorpčními materiály, které účinně redukuje hluky. [3]

**Přední tlumič** odolává teplotám až 1 000°C. Nejčastějším důvodem jeho poškození jsou vibrace.

**Střední tlumič** je vzhledem i funkcí podobný přednímu tlumiči, teplota zde je nižší, přibližně 800°C.

**Zadní tlumič** je vzhledem podobný, ale jeho konstrukce je zcela odlišná. Nejvíce ze všech tlumičů redukuje hluk. Teplota zde dosahuje už jen zhruba 350°C, což zejména při krátkém popojíždění vede k nedostatečnému odpařování par a může být příčinou předčasné koroze. [3]

## 2.2.5 Koncová trubka

Zajišťuje odvod výfukových plynů mimo karoserii vozu, zamezuje jejich vniknutí do vozu, chrání cestující a zavazadlový prostor, je velmi důležitou součástí výfukového systému. [3]

# 3 *TEPELNÉ BARIÉRY*

Tepelné bariéry představují zdánlivě úzkou technickou záležitost omezující se na ochranu materiálu před extrémními teplotami. Ve skutečnosti však jde o oblast dotýkající se celé přírody, tedy i člověka a s ním spojeného technického pokroku. Příroda vybavila v celém svém dlouhém historickém vývoji nejen živočichy, ale i rostliny systémem jejich termoregulace, v němž významnou roli hrají tepelné bariéry. [4]

Já se budu zabývat povlakovanými tepelnými bariérami (TBC), sloužícími zejména k tepelné ochraně materiálu před vysokými teplotami.

Pod pojmem tepelná bariéra se rozumí technický či jiný prostředek, umožňující tepelnou ochranu určitého systému před působením nadměrného tepla nebo chladu. [4]

Současný stav řešení problematiky tepelných bariér ve světě se zaměřuje především na povlakované tepelné bariéry, jenž mají mimořádný význam při ochraně materiálů před



vysokými teplotami tepelnými rázy. Souvisí to především s požadavkem vyšší účinnosti energetických, technologických či jiných zařízení pracujících s vysokými teplotami, ale i s nástupem nových technologií využívajících intenzivní zdroje tepla. TBC snižuje tepelné zatížení povrchu vysoko tepelně namáhaného materiálu a utlumuje účinek tepelného rázu. Toho se využívá zejména ve špičkových oborech jako je letecký či kosmický průmysl, ale i v energetice a dalších oblastech. [4]

### **3.1 Problematika TBC**

Zvýšení účinnosti tepelných strojů a zařízení je do velké míry závislé na zvýšení provozní teploty a zároveň použití speciálních materiálů, které jsou schopny si v těchto podmínkách zachovat požadovanou životnost a spolehlivost. Významnou cestou ke zvyšování provozní teploty, a tedy i tepelného zatížení povrchu materiálů, je ochrana vysokotepelně namáhaných částí pomocí ochranné povlakové tepelné bariéry (TBC). [4]

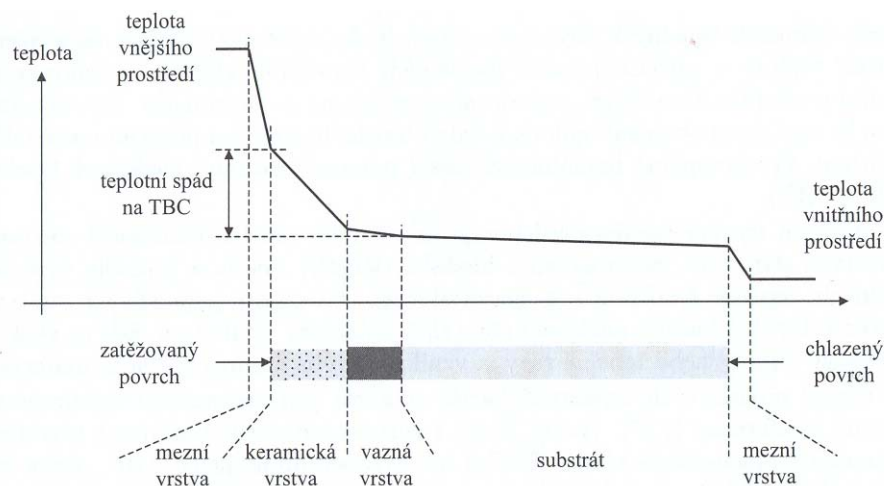
Povlaková tepelná bariéra představuje na povrchu tepelně namáhané součásti vícevrstvou strukturu, heterogenní z hlediska tloušťky vrstev a zejména výrazně rozdílných tepelně fyzikálních a materiálových vlastností jednotlivých vrstev. Povlakové tepelné bariéry nacházejí stále širší uplatnění všude tam, kde se vyskytují vysoké teploty nebo tepelné rázy, a vzniká potřeba chránit základní materiál. [4]

### **3.2 Funkce a struktura**

Povlaková tepelná bariéra se nanáší přímo na povrch tepelně namáhané součásti. Jejím hlavním úkolem je snížit teplotu základního materiálu (substrátu), a tím jej chránit proti účinkům vysoké teploty a tepelných rázů. Snížení teploty základního materiálu může být využito dvěma způsoby: [4]

- Při zachování povrchové teploty základního materiálu součásti lze použitím TBC zvýšit provozní teplotu chráněné součásti, a tím zvýšit účinnost energetického či jiného zařízení.
- Při zachování provozní teploty zařízení, a tedy zachování jeho účinnosti, lze použitím TBC snížit povrchovou teplotu základního materiálu součásti, a tím prodloužit její životnost.

Povlakové tepelné bariéry jsou používány v tepelných zařízeních jako ochrana základního materiálu proti vysokým teplotám, tepelným rázům, a oxidaci vysokoteplotní korozi působením solí. Typické rozložení teploty systému TBC - substrát při tepelném zatížení je na obr. 1.1. [4]



Obr. 1.1 Rozložení teploty v systému TBC - substrát, vnějším a vnitřním prostředí při provozním tepelném zatížení.

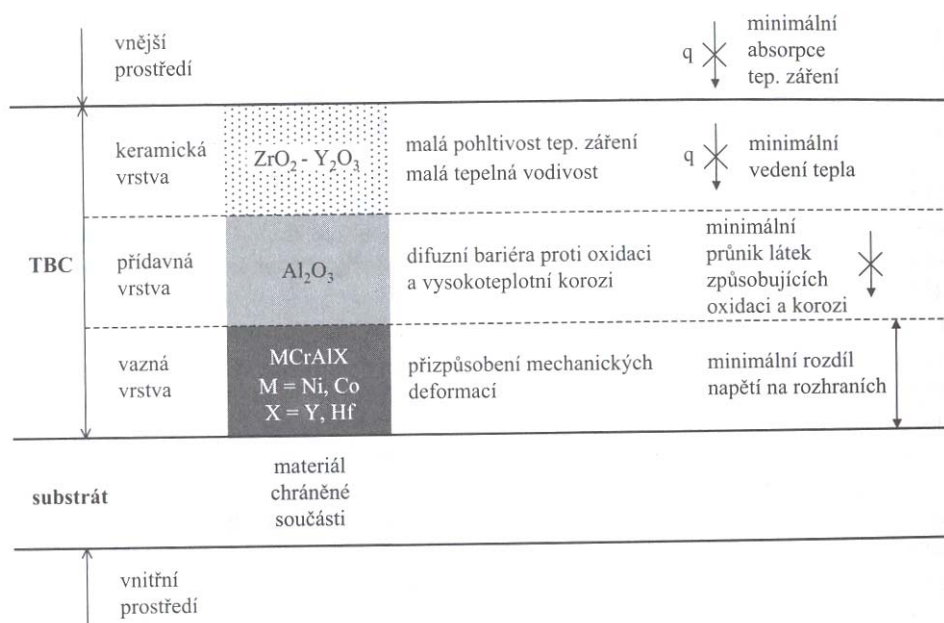
Tepelná bariéra má obvykle vícevrstvou heterogenní strukturu. Nejčastěji používané jsou struktury dvouvrstvé (keramická a vazná vrstva), třívrstvé (keramická, přídavná a vazná vrstva) a gradované (keramická, gradovaná a vazná vrstva). Díky svým vlastnostem má každá vrstva ve struktuře TBC nezastupitelnou úlohu. Typická struktura třívrstvé TBC je na obr. 1.2. [4]

Vrchní **keramická vrstva** tvoří základ TBC, jejím úkolem je snížit tepelný tok do základního materiálu součásti. Keramická vrstva musí mít nízkou tepelnou vodivost a být dostatečně odrazivá pro infračervené záření, chemicky inertní vůči provoznímu prostředí, odolná proti tepelně a chemicky indukovaným napětím a deformacím. [4]

**Přídavná vrstva** bývá nanesena na povrch vazné vrstvy. Má funkci difusní bariéry, která snižuje oxidaci a vysokoteplotní korozi vazné vrstvy a základního materiálu součásti. [4]

**Vazná vrstva** je nanesena na povrch základního materiálu součásti. Jejím úkolem je zajistit dobrou vazbu keramické vrstvy na základní materiál. Vazná vrstva musí být odolná proti oxidaci a vysokoteplotní korozi, přizpůsobovat mechanické deformace vznikající rozdílnými součiniteli tepelné roztažnosti a modulu pružnosti mezi keramickou vrstvou a

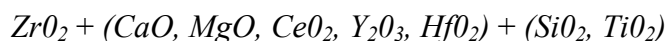
základním materiálem. [4]



Obr. 1.2 Struktura třívrstvé TBC a funkce vrstev.

**Gradovaná vrstva** tvoří přechod mezi keramickou a vaznou vrstvou. Na horním povrchu gradované vrstvy je 100 % materiálu keramické vrstvy, dolním povrchu 100 % materiálu vazné vrstvy a mezi tím je postupný, příp. plynulý, přechod podílu keramické a vazné vrstvy. Výhodou gradovaných TBC je zmenšení, příp. odstranění, skokového rozdílu mechanických vlastností na rozhraních vrstev, a tím lepší odolnost proti trhlinám při tepelném rázu, větší adheze k substrátu a větší lomová houževnatost. Nevýhodou je menší odolnost gradované vrstvy proti oxidaci a vysokoteplotní korozi. [4]

### 3.3 Keramická vrstva



Nejčastěji používaným základem pro materiál vrchní keramické vrstvy je  $ZrO_2$ . Čisté  $ZrO_2$  je polymorfní a prochází dvěma fázovými přeměnami, (c)  $\rightarrow$  (t) při teplotě 2623 K a (t)  $\rightarrow$  (m) při teplotě 1443 K. Transformace (t)  $\rightarrow$  (m) je spojena s 5 % nárůstem objemu. Proto je nutné  $ZrO_2$  stabilizovat na jedné z vysokoteplotních fází. Dříve se pro stabilizaci používalo CaO (5 hm. %), MgO (15-24 hm. %) apod., ukázalo se však, že jsou to

metastabilní systémy. V současné době se ke stabilizaci používá  $Y_2O_3$ , nejlepší výsledky dává stabilizace 8-10 hm. %  $Y_2O_3$ . Tetragonální fáze  $ZrO_2$  je stabilní do teploty 1673 K a má dobrou odolnost proti tepelným rázům. Princip stabilizace popisuje. [4]

Ke stabilizaci  $ZrO_2$  bylo též testováno  $CeO_2$ .  $CeO_2$  částečně stabilizuje  $ZrO_2$  ve velkém rozsahu složení 5-85 hm. %  $CeO_2$ , má nižší tepelnou vodivost, větší houževnatost a odolnost proti tepelným rázům než  $ZrO_2 - Y_2O_3$ . Nevýhodou je však oxidace na  $Ce_2O_3$  a v přítomnosti příměsi  $SiO_2$  dochází při teplotách nad 1473 K k natavení a degradaci. [4]

Testovány jsou i vícenásobné stabilizátory  $ZrO_2$ , např. kombinace  $CaO$ ,  $CeO_2$  a  $MgO$ . Tyto vrstvy vykazují dobrou odolnost proti tepelným rázům i fázovou stabilitu za vyšších teplot při složení  $ZrO_2 - 3,4$  hm. %  $CaO - 3,2$  hm. %  $CeO_2 - 1,0$  hm. %  $SiO_2 - 0,2$  hm. %  $MgO$ , přičemž  $SiO_2$  se vyskytuje v nástřikovém prášku  $ZrO_2$  jako nečistota. [4]

Vliv příměsi  $SiO_2$  na chování  $ZrO_2 - Y_2O_3$  vrstvy je sledován a výsledky ukazují, že malé množství  $SiO_2$  způsobí uvolňování tepelných napětí a samo zacelování pórů a trhlin v  $ZrO_2 - Y_2O_3$ . Vrstva 3 hm. %  $SiO_2 - (ZrO_2 - Y_2O_3)$  má vysokou adhezní sílu, výbornou odolnost proti tepelným rázům a oxidaci. [4]

Vlastnosti  $ZrO_2 - Y_2O_3$  lze ovlivňovat také malým množstvím  $TiO_2$ . Obsah 0-1 hm. %  $TiO_2$  sníží schopnost sintrování při nižších teplotách, snižuje obsah kubické fáze, a tím zvyšuje obsah tetragonální fáze  $ZrO_2$ . Se zvýšením obsahu tetragonální fáze je pak spojeno mírné zvýšení lomové houževnatosti. Přidáním malých množství  $CuO$  do 0,2 hm. % zvyšuje lomovou houževnatost, zmenšuje fázovou přeměnu (t)  $\rightarrow$  (m)  $ZrO_2$  za vyšších teplot.

Objevují se též snahy o vyvinutí nového systému keramické vrstvy, který bude mít stejnou mikrostrukturu jako  $ZrO_2 - Y_2O_3$ , ale bude se transformovat při vyšších teplotách. Vrstvy ( $ZrO_2 - x$  hm. %  $HfO_2$ ) -  $Y_2O_3$  vykazují tetragonální strukturu, která nepřechází v monoklinickou ani při působení mechanické energie. S rostoucím podílem  $HfO_2$  se zvyšuje modul pružnosti, ale životnost TBC do úplného roztržení keramické vrstvy se zmenšuje. [4]

#### **4 ŽÁROVÝ NÁSTRÍK PLAZMOU**

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.  $H_2$ ,  $He$ ,  $N_2$ ). 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). [5]

#### **Charakteristiky procesu:**

Rozdíly v konstrukci zařízení vedou k širokému rozsahu charakteristik procesu. V přehledu hlavních procesních parametrů jsou proto uvedeny údaje vztahující se ke třem základním typům plazmatického nástřiku: atmosférickému plazmatickému nástřiku (APS), vakuovému plazmatickému nástřiku (VPS) a nástřiku pomocí radiofrekvenčního plazmatu (RF plazma). [5]

Teplota a rychlost proudu plazmatu závisí zejména na konstrukci hořáku, energetickém příkonu a použitém plynu. Obvykle se při plazmatickém nástřiku používá argon s příměsí dalšího entalpii zvyšujícího plynu. Argon sám tvoří pouze nízko energetické plazma. Proto se používá ve směsi s heliem (20-50 objemových % He) nebo s vodíkem (5-15 objemových % H<sub>2</sub>). Jedním z nejteplejších plazmových plynů je dusík, avšak jeho použití je omezeno jeho vysokou reaktivností s většinou přídavných materiálů. [5]

## ***5 SOUČASNÝ STAV VÝFUKOVÉHO POTRUBÍ AUTOMOBILU KAIPAN***

### **5.1 Konstrukce výfukového potrubí automobilu Kaipan (StudentCar)**

Výfukové potrubí automobilu Kaipan je tvořeno litinovým odlitkem pro odvod spalin z motorového prostoru, na jehož konci turbodmychadlo. K přírubě turbodmychadla je přišroubovaná příruba s pružným členem. Za pružným členem je přivařená trubka o průměru 54 mm s kolínkem a následně se závitem pro Lambda sondu.



*Obr. 5.1 Část výfuk. potrubí vedoucího od turbodmychadla po katalyzátor.*

Poté následuje další příruba na kterou je přivařen katalyzátor, v jehož zadní části je místo pro druhou Lambda sondu. Za katalyzátorem je přivařen přední tlumič z něhož vede trubka o průměru 54 mm. Délka středního dílu s katalyzátorem je 920 mm.



*Obr. 5.2 Katalyzátor a přední tlumič výfuk. potrubí.*

Zadní část výfuku začíná opět přírubou a pokračuje dvěma kolínky, které navazují na trubku o průměru 54 mm. K této trubce je přivařen zadní tlumič a k němu opět trubka , tak aby vycházela z pod vozu v jeho levé zadní části (pod světlem do mlhy)



*Obr. 5.3 Zadní tlumič výfuk. potrubí*

## 5.2 Protikoroziční úpravy výfukového systému automobilu Kaipan

Výfukové potrubí automobilu Kaipan je vyrobeno z nerezové žárupevné oceli, jejíž přesné označení je DIN 17457 (X6CrNiTi18-10). Jedná se o žárupevné austenitické oceli, s tepelnou odolností od 400°C a výše.

Tlumiče výfuků a katalyzátor jsou vyrobeny z pohliníkové konstrukční oceli.

## 6 NÁVRH EXPERIMENTU

Pro vyřešení zadaného úkolu navrhuji použít TBC povlak  $ZrO_2-Y_2O_3$  s přídatnou vrstvou  $Al_2O_3$  a vaznou vrstvou MCrAlX –bude popřípadě ještě upravena podle aktuálních možností.

Technologii nanášení jsem zvolil plazmový nástřik, který bude proveden v stříkací kabině. Kabina, parametry a zařízení nástřiku bude taky upřesněno v závislosti na podmínkách v podniku Vítkovice a.s..

V základní verzi se počítá s povlakováním TBC třech dílů, a to litinového dílu výfuku potrubí, spojovací části s pružným členem vedoucím od turbodmychadla a část s katalyzátorem a předním tlumičem.

## 7 PROVEDENÍ EXPERIMENTU

Experiment je v současné době řešen ve spolupráci s firmou Vítkovice a.s..

## 8 ZÁVĚR

Zatím nemám k dispozici žádné praktické výstupy, protože na projektu se v současné době intenzivně pracuje, nemohu tento hodnotit. Teoreticky se očekává zlepšení výkonových ukazatelů motoru a prodloužení životnosti katalyzátoru a tlumičů výfuku. Jelikož toto nebudu moci prokázat z hlediska časových nároků, doporučuji aplikovat výše zmíněný experiment na stavbu druhého vozu Kaipan a porovnávat toto dlouhodobě s původní stavebnicí. Tento návrh experimentu platí pouze pro přeplňované motory, ne pro atmosférické.

*Práce byla realizována za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím projektu 2E06013 MŠMT národní program výzkumu II, „Popularizace výzkumu mezi studenty prostřednictvím stavby prototypu sportovního automobilu-StudentCar.“*

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ

- [ 1 ] <http://www.ksd.vslib.cz/studenti/texty/PZP-tep-zatiz-PSM.pdf>
- [ 2 ] <http://www.mjauto.cz/exhaust.htm>
- [ 3 ] <http://www.spei.cz/cs/produkty/dily/vyfuky-a-katalyzatory.ep/>
- [ 4 ] **KUNEŠ, Josef. VESELÝ, Zdeněk. HONNER Milan. *Tepelné bariéry*. Academica: nakladatelství Akademie věd České Republiky. Praha 2003. s 24-41. ISBN 80 – 200 – 1218 – 4.**
- [ 5 ] [http://www.kmm.zcu.cz/CD/content/8\\_4.html](http://www.kmm.zcu.cz/CD/content/8_4.html)