



INOVATÍVNE MOŽNOSTI VÝUŽITIA PLAZMY V AUTOMOBILOVOM PRIEMYSLE

INNOVATIVE OPTIONS USAGE OF PLASMA IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Peter RUMAN – Tomáš JEZNÝ – Marián HURAJT

Abstract

The article describes the fourth state of the physical state of the substance called plasma. The mechanism of plasma. Its breakdown by temperature and other criteria as well as speeches and options of energy recovery and utilization in the automotive industry.

Keywords

Plasma ionization, candle, ignition, automotive.

Úvod

Plazma je vysoko ionizovaný plyn, zložený z iónov, elektrónov (a prípadne neutrálnych atómov a molekúl), ktorá vzniká odtrhnutím elektrónov z elektrónového obalu atómov plynu, alebo roztrhnutím molekúl (ionizáciou). Plazma sa zvyčajne považuje za ďalšie skupenstvo hmoty (štvrtý stav skupenstva). Pretože obsahuje veľké množstvo ionizovaných častíc, je elektricky vodivá. Prvýkrát ju popísal anglický chemik a fyzik William Crookes v roku 1879, ktorý ju volal "radiant matter" – žiarivá hmota. Pomenovanie plazma zaviedol americký fyzik Irving Langmuir v roku 1928.

Plazma existuje vo vesmíre často v odlišných formách. V prírode sa s ňou môžeme stretnúť v podobe blesku, polárnej žiary, alebo hviezd. S plazmatickým pôsobením sa je možné stretnúť aj v oblastiach realizácie vedení vysokých napätí spojených so stratami na vedeniach (korónovými výbojmi). V skutočnosti plazma tvorí až 99% pozorovanej hmoty vesmíru.



Obr. 1 Možnosti vzniku plazmy v životnom prostredí



1. Charakteristika skupenstiev plazmy

Bežná plazma: elektrónové obaly atómov sú čiastočne poškodené (vysokou teplotou alebo tlakom). Voľné elektróny sú zodpovedné za plazmatické vlastnosti látky.

Termonukleárna plazma: atomárne obaly neexistujú, látka je zmesou holých jadier a voľných elektrónov. V tomto stave je plazma v jadrách hviezd, kde prebieha syntéza.

Nukleónová plazma: vysokou teplotou alebo tlakom sú rozrušené sama jadrá atómov. Látka je zmesou elektrónov, protónov a neutrónov. Nukleónová plazma sa vo vesmíre objavila v časoch 10-5s po vzniku, kedy sa z kvarkov tvorili prvé protóny a neutróny. Nájdeme ju tiež vo vonkajších obaloch explodujúcich supernov, kde ich vznik vyvolá stlačenie plynov rázovou vlnou. V obale supernov krátkodobo prebiehajú prevratné termonukleárne reakcie vedúce k vzniku ťažkých prvkov.

Kvark-gluonová plazma: pri vysokých energiách sú roztavené samotné nukleóny na svojej konstituenty - kvarky a gluóny. V tomto stave bola látka asi do desiatich mikrosekúnd po vzniku vesmíru a umelo sa podarilo tento stav látky vytvoriť v CERNe v roku 2000.

1.1 Hľadiska priestorovej štruktúry plazmy

Plazma má tendenciu vytvárať lineárne a plošné útvary - plazmový vlákna čiže pinča a prúdové vrstvy čiže pinče steny. V plazme dochádza k takzvaným driftom - pohybom častíc kolmo na magnetické i ďalšie silové pole. Plazmou sa môže šíriť ohromné množstvo najrôznejších vln - od magnetoakustických vln, ku ktorým patria napríklad známe Alfvénové vlny, ktoré sú analógiou zvukových vln v plynach až po elektromagnetické vlny mnohých rôznych módoch. Tieto vlny sú v plazme taktiež ľahko generované. V plazme dochádza k celej rade nestabilit, ktoré majú za následok napríklad krátkodobé vyžiarení značného množstva energie sprevádzané vznikom niektorých charakteristických štruktúr.

K plazme neodmysliteľne patrí vyžarovanie (rekombinačné, brzdné a synchrotronné), vytváranie elektrických dvojvrstiev, urýchľovanie nabitých častíc na značné energie.

1.2 Tvorba plazmy v podmienkach laboratórií

Človek dnes ľahko dokáže vytvoriť plazmu aj v laboratóriu.

Najtypickejšie príklady sú:

laserová plazma - doba života: $10^{-12} \div 10^{-9}$ s

pulzná plazma - doba života: $10^{-9} \div 10^{-6}$ s

tokamak - doba života: 1 s

studená plazma - doba života: hodiny, dni, roky

1.3 Základné spôsoby fyzikálneho delenia plazmatického skupenstva

Plazmu možno deliť dvoma spôsobmi a to podľa:

ionizácie,

teploty.

Plazmu podľa ionizácie delíme na:

a) **Slabo ionizovaná plazma** je plazma, v ktorej je koncentrácia nabitých častíc zanedbateľne malá v porovnaní s koncentráciou neutrálnych molekúl. Nabité častice sa teda prevažne zrážajú s molekulami plynu.

b) **Silno ionizovaná plazma** je plazma, v ktorej koncentrácia nabitých častíc prevláda.

Dominujú vzájomne zrážky nabitých častíc [2].

Teploty, delenie je uvedené v tabuľke 1, v ktorej je T_e teplota elektrónov, T_i teplota ionizovaných častíc, T_n teplota neutrálnych častíc.



Tab. 1 Rozdelenie plazmy podľa teploty

Nízko-teplotná plazma		Vysoko-teplotná plazma
Horúca	Studená	$T_i \approx T_e \geq 10^7 \text{ K}$
$T_e \approx T_i \approx T_n \leq 2 \cdot 10^4 \text{ K}$	$T \approx T \approx 300 \text{ K}$	
	$T \ll T < 10^5 \text{ K}$	
Oblúk pri atmosférickom tlaku	Nízkotlaký tlejúci výboj	Fúzna plazma

1.4 Stupeň ionizácie plazmy

Stupeň ionizácie plazmy (pomer počtu ionizovaných častíc voči celkovému počtu častíc) je jedným z najdôležitejších parametrov, ktorý určuje správanie plazmy. Závisí predovšetkým od teploty a možno ho v prvom priblížení odhadnúť zo áhovi rovnice pre jedenkrát ionizovanú plazmu v termodynamickovej rovnováhe

$$n_i^2/n_n = C T^{3/2} \exp[-U_i/kT]; C \sim 2,4 \times 10^{21} \text{ m}^{-3} \quad (1)$$

kde:

n_i je koncentrácia jednonásobných iónov,

n_n je koncentrácia neutrálnych častíc,

U_i je ionizačná potenciál

T je teplota plazmy.

Sáhova rovnica je použiteľná pre plyny. Niekedy sa za istý druh plazmy považujú i pevné látky (napríklad kovy), ktoré majú voľné nosiče nábojov a vykazujú kolektívne správanie. Tu však počet voľných nosičov náboja nie je určený sáhovou rovnicou.

2. Zrážky v oblastiach plazmy

V plazme dochádza taktiež ku zrážkam nabitých častíc. Charakter zrážok a ich mechanizmus je odlišný od zrážok neutrálnych častíc. Pri zrážke neutrálnych častíc dochádza k prudkým zmenám smeru pohybu, v plazme sú zmeny smeru, spôsobené väčšinou elektrickým poľom ($\sim 1/r^2$), menej náhle.

Zrážky v neutrálnom plyne a v plazme.

Stredná voľná dráha môžeme definovať napríklad ako priemernú vzdialenosť, pri ktorej dôjde k odklonu od pôvodného smeru o 90° . S rastúcou teplotou účinný prierez zrážok klesá - nabité častice sa pri vysokých teplotách mihajú veľkou rýchlosťou, tým vzájomne na seba pôsobia krátku dobu a odchýlky od pôvodných dráh sú malé.

Elektrická vodivosť plazmy je daná charakterom zrážok. Vodivosť závisí predovšetkým na teplote ($\sigma \sim T^{3/2}$) a minimálne na koncentráciu plazmy. Prechodu prúdu bráni pri nízkych koncentráciách malý počet nosičov náboja, pri vysokých koncentráciách veľký počet zrážok. S rastúcou teplotou vodivosť plazmy rastie (u kovov je tomu naopak), pretože účinný prierez zrážok klesá.

Optická hrúbka (hustota) plazmy súvisí so strednou voľnou dráhou fotónov v plazme. Za opticky riedke sa označuje plazma takých rozmerov, ktoré sú porovnateľné so strednou voľnou dráhou elektromagnetického žiarenia, ktoré plazmou prechádza. Opticky husté je také plazma, ktorého rozmery sú oveľa väčšie, než je stredná voľná dráha fotónov, žiarenie intenzívne reaguje s plazmou.



3. Využitie plazmy ako inovatívnej technológie pre spaľovací motor

Zapaľovacia sviečka je nevyhnutná súčiastka zážihového motora, je to elektrické zariadenie, ktoré je v hlave každého valca spaľovacích motorov a zapaľuje stlačené palivá ako aerosól, benzín, etanol a skvapalnený ropný plyn pomocou elektrickej iskry.

Zapaľuje stlačenú zmes paliva so vzduchom vo valci a tým inicializuje reťazovú reakciu spaľovania zmesi po ktorej nastáva expanzia plynov čo uvádza piest do pohybu. Zapaľovaciu sviečku tvorí stredná a vonkajšia elektróda upravená tak, aby mohla byť vložená do pracovného priestoru zážihového motora. Strednú elektródu obklopuje izolátor, ktorého spodná časť je zalisovaná do oceleového plášťa sviečky, ktorý je opatrený závitom na zaskrutkovanie sviečky do hlavy valca a vo svojej spodnej časti je vytvarovaný do vonkajšej elektródy.

Výskum v oblasti fyziky plazmy otvára väčšie možnosti využitia a praktického používania plazmy v spaľovacích motoroch automobilov. Tento vynález otvára možnosti znižovania spotreby paliva už pri prvotnom kroku zapálenia palivovej zmesi vo valcoch. Prvotné výskumy nahrádzania klasickej zapaľovacej sviečky za plazmové druhy poukazujú na úsporu paliva až o desať percent, vďaka radikálne efektívnejšiemu spôsobu spaľovania zmesi než ponúkajú štandardné sviečky. Výskum v oblasti využívania plazmy v automobilovom priemysle dáva konštruktérom potenciál voľnosti akým konštruovať motory v budúcnosti.

Konvenčná zapaľovacia sviečka funguje na princípe zapálenia palivovej zmesi (stlačeného vzduchu s palivom vo valcoch motora. Stlačená palivová zmes sa zapáli iskrou sviečky pričom dochádza k premene chemickej energie na kinematickú energiu pohybu piestu.

Plazmová sviečka nahrádza konvenčné zapaľovanie pričom vytvára väčší zdroj zapálenia vo forme koróny.



Obr.2 Činnosť plazmovej sviečky

Vznikajúca koróna ionizuje a rozruší palivovú zmes v celom objeme spaľovacej komore a dochádza k rýchlejšej iniciácii horenia paliva. Súčasne spaľovanie palivovej zmesi prebieha efektívnejšie a rovnomernejšie v celom stlačenom objeme. Plazmatickej zapaľovanie palivových zmesí prebieha v oblastiach veľmi horúcej plazmy, čo znamená, že takýmto spôsobom je možné zapáliť menej horľavé a kvalitné palivové zmesi.

Klasické zapaľovanie trvá dva alebo tri milisekundy, pričom v oblastiach využívania plazmatického zapaľovania doba zapálenia sa počíta na 100-200 mikrosekúnd.



Obr. 3 Porovnanie klasickej sviečky s plazmovou sviečkou

Súhrn

Plazma je jednou zo základných progresívnych technológií, ktorá dosahuje čoraz väčšie uplatnenie ako v strojárkej výrobe tak aj v elektrotechnickej praxi a v ďalších odvetviach priemyslu. Prvé pokusy a charakterizovanie plazmy sa datujú do obdobia pred rokom 1952, kedy dochádzalo k vývoju plazmových technológií slúžiacich najmä na delenie materiálu plazmovým oblúkom. Pričom v dnešnom období plazma je využívaná najmä na zváranie ťažko zveriteľných materiálov, ďalšie možnosti uplatnenia nachádza v oblastiach veľmi presného rezania materiálov. Čoskoro sa ale zrejme očakávať nové technológie zamerané na plazmatického zapáľovanie benzínových zmesí v automobiloch, ktoré by mala posunúť sviečky na sofistikovanejšiu úroveň. Zároveň sa otvárajú možnosti návrhu nových koncepcií spaľovacích motorov.

Vývojárske strediská veria, že dokážu znížiť emisie vypúšťaných spalín zo spaľovacích motorov, zlepšiť spotrebu a zvýšiť výkon motora plazmatickým spaľovaním.

Kľúčové slová

Plazma, ionizácia, sviečka, zapáľovanie, automobilový priemysel.

Príspevok bol pripravený v rámci riešenia grantového projektu OP VaV ITMS 26220220028 Implementácia a modifikácia technológie na znižovanie výskytu síníc v stojatých vodách.

Použitá literatúra

- [1] BURROVS - John, LYKOWSKI – Jim, MIXELL- Kristopher, Corona Ignition System for Highly Efficient Gasoline Engines MTZ worldwide Edition: 2013-06 P.E.,
- [2] STACH - Vojtěch, Plazma - čtvrté skupenství hmoty, Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 96 s.,
- [3] BARNETT - C. F, Příkladná fyzika atomných stolkoovenij, Moskva: Energoatomizdat, 1987. 430 s.,
- [4] DAVID - Pavel, Plazma, České Budějovice : Pedagogická fakulta, 1977. 61 s.
- [5] Luk'janov, Stepan Jur'jevič, Gorjačaja plazma i upravljajemyj jadernyj sintez, Moskva : Nauka, 1975. 406 s.,
- [6] FERENC - Bohumil. Spaľovací motory, Brno : Computer Press, 2006. 388 s.

Kontaktná adresa



Ing. Peter RUMAN, Ing. Tomáš JEZNÝ, Ing. Marián HURAJT
TU, Strojnícka fakulta, Katedra environmentalistiky,
Park Komenského 8, 042 00 Košice,
peter.ruman@tuke.sk, tomas.jezny@tuke.sk, marian.hurajt@tuke.sk.