

PLAZMOVÝ REAKTOR NA SPRACOVANIE ODPADOV

Imriš I.

Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra energetickej techniky,
Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, Slovenská republika

E-mail: Ivan.Imris@tuke.sk,

PLASMA REACTOR FOR WASTE TREATMENT

Imriš I.

Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice, Slovak republic

E-mail: Ivan.Imris@tuke.sk

Abstract

A millions tons of solid waste are generated annually in the world. The most common method for thermal treatment of solid waste is the incineration process, generated heat energy, drastically reducing the volume of solid waste for deposition, but producing very toxic residues - the ash and the flue dust. The plasma gasification and smelting process provides complete gasification of all organic and plastic materials to produce the hydrogen and carbon monoxide rich synthesis gas, which can be used after purification for electricity and heat generation. Any non-combustible inert materials and metals are melted and transformed into inert slag and metal alloys, which can be used for metals production or in civil engineering. On the bases of construction of laboratory plasma reactor and gasification tests of different type of materials the lager plasma reactors for industrial waste treatment was constructed.

Key words: plasma, reactor, waste, gasification, pollution

Abstrakt

Na svete sa ročne produkuje milióny ton odpadov, z ktorých sa časť spaľuje, pričom sa okrem získania tepla zníži aj objem odpadu za vzniku toxického popolčeka a škvary, ktoré sa musia skládkovať na skládkach s riadeným režimom. Novým spôsobom likvidácie odpadov je ich tavenie a splynovanie v plazmovom reaktore, pri ktorom dochádza k plynofikácii všetkých organických a plastických zložiek odpadu za vzniku syntézneho plynu s vysokým obsahom vodíka a oxidu uhoľnatého, ktorý je vhodný na energetické využitie, zatiaľ čo kovové a nekovové zložky odpadu vytvoria dve tekuté fázy – kovovú zliatinu a trosku, ktoré sa dajú ďalej využiť. Na základe konštrukcie laboratórneho plazmového reaktora a splynovacích testov rôznych druhov odpadov boli na likvidáciu rôznych druhov odpadov pre priemyselné využitie navrhnuté a skonštruované väčšie plazmové reaktory.

Kľúčové slová: plazma, reaktor, odpady, splynovanie, životné prostredie

1. Úvod

Na svete sa ročne vyprodukuje milióny ton odpadu, ktorý obsahuje rôzne druhy spáliteľných a nespáliteľných materiálov ako napr. papier, plasty, organické zložky sklo, kovy a pod.

Jeden zo spôsobov termického zneškodňovania odpadov je spaľovanie, ktoré sa rozšírilo na konci minulého storočia [1,2]. Pri spaľovaní sa využije energetický obsah odpadov a drasticky sa zníži objem odpadov. Po spálení komunálneho odpadu zostane tuhý toxický zbytok - škvara a popolček, ktorý tvorí 25 až 30 % hmotnosti, ale len 10 až 15 % pôvodného objemu odpadu, v ktorých sa koncentrujú nie len ťažké kovy, ale aj dioxíny a furány [3,4], ktoré spôsobujú kontamináciu pôdy, povrchových a podzemných vôd, a tak sa musia uskladňovať na skládkach s riadeným režimom. S cieľom odstrániť tieto environmentálne problémy sa na likvidáciu odpadov začali používať plazmové technológie, ktoré sa používajú v hutníctve na výrobu a rafináciu kovov [5].

Na obr. 1 je uvedená technologická schéma, podľa ktorej je možné plazmovým tavením a splynovaním likvidovať tuhý odpad, ktorý obsahuje:

- organické a plastické materiály (textil, drevo, plasty a pod.)
- nespáliteľné inertné materiály (sklo, keramika a pod.)
- neprchavé kovy (Fe, Cu, Al a pod.)
- prchavé kovy (Hg, Cd, Zn, Pb a pod.)

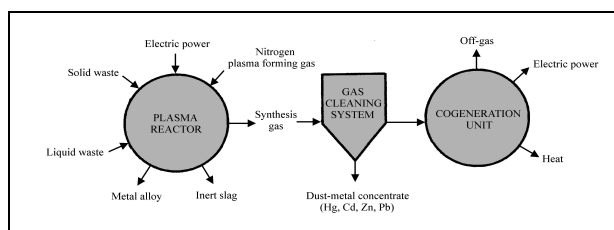
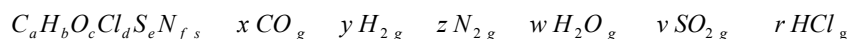


Fig. 1. Flow sheet for processing of solid waste by plasma gasification and smelting process

Základom plazmového tavenia a splynovania odpadu je plazmový oblúk, v ktorom sa plazmový plyn (argón, dusík, vzduch a pod.) prechádzajúci horákom v elektrickom poli vysokej intenzity transformuje na plazmu s teplotou niekoľko tisíc stupňov Celzia. Pri takýchto teplotách nezávisle na parciálnom tlaku kyslíka dochádza k rozkladu organického a časti anorganického odpadu na jednoduché plynné a kvapalné zlúčeniny podľa všeobecnej chemickej reakcie [6]:



Plynným produktom je syntézny plyn obsahujúci hlavne vodík a oxid uhoľnatý s malým obsahom oxidu siričitého, chlorovodíka a vodnej pary. Vysokohorľavý plyn, bez dioxínov, furánov a NO_x-ov [3], ktorý sa svojím zložením podobá reformovanému plynu, v minulosti vyrábaného v plynárňach je možné využiť ako palivo v kogeneračných jednotkách na výrobu elektrickej energie a tepla. V relatívne malom objeme syntézneho plynu sa môžu nachádzať pary kovov s nízkym bodom varu ako napr. Hg, Cd, Zn a Pb, ktoré sa dajú efektívne zachytiť spolu s oxidom siričitým a chlorovodíkom s vysokou účinnosťou v neutralizačnom a filtračnom zariadení. Nesplynené inertné zložky odpadu sa roztavia a vytvoria na dne plazmového reaktora dve nemiešateľné kvapalné fázy – kovovú zliatinu a trosku, ktoré sa dajú využiť v metalurgickom priemysle alebo stavebníctve.

2. Nízkoteplotná plazma

Plazma, štvrté skupenstvo hmoty, je súbor veľkého počtu elektricky nabitých a neutrálnych častíc s určitým počtom voľných elektrónov. Základom nízkoteplotnej plazmovej technológie je plazmový oblúk, v ktorom sa plyn (argón, dusík, vzduch a pod.) prechádzajúci horákom v

elektrickom poli vysokej intenzity transformuje na plazmu s teplotou niekoľko tisíc stupňov Celzia [7,8]. Vysoká teplota plazmy, ktorá môže byť vygenerovaná v plazmovom horáku alebo v plazmovom oblúku je výsledkom elektrického odporu stĺpca plazmového oblúku elektricky vodivého plynu meniaceho elektrickú energiu na teplo. V prípade, že nie je možné vytvoriť elektrický oblúk medzi ohrievaným materiálom a elektródou plazmového horáka, používajú sa plazmové horáky s nezávislým elektrickým oblúkom (obr.2a). Tieto plazmové horáky pracujú s vnútorným elektrickým oblúkom vznikajúcim medzi studenými oceľovými alebo medenými elektródami chladenými vodou v ktorých sa ako ionizujúci plyn používa argón alebo dusík. Nevýhodou plazmových horákov s nezávislým oblúkom je nízky koeficient účinnosti.

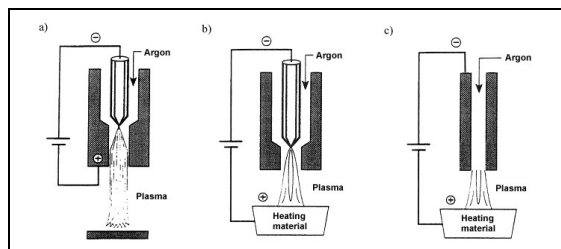


Fig.2. Schematic of plasma arc systems

- a) non-transferred arc system
- b) transferred arc system with cold electrode
- c) transferred arc system with hot hollow graphite electrode

Vyššie výkony plazmových horákov je možné dosiahnuť pri závislých elektrických oblúkoch medzi studenou elektródou a ohrievaným alebo taveným materiálom (obr.2b). Pri správne navrhnutom priemere dýzy a prúde plazmového plynu v priestore medzi katódou a anódou vzniká symetricky vyplnený stĺpec plazmy, v ktorom sa koncentruje tepelná energia. Do tejto skupiny môžeme zaradiť aj plazmový oblúk, ktorý pracuje s horúcou dutou grafitovou elektródou (obr.2c) cez ktorú sa do elektrického oblúku medzi dutou grafitovou elektródou (katódou) a ohrievaným materiálom (anódou) vytvoreným s jednosmerným prúdom privádza ionizujúci plyn. Z takto vygenerovanej tepelnej energie sa približne 75% tepla odovzdá ohrievanému alebo tavenému materiálu z elektrického oblúku a 25% tepla z prúdiacej plazmy. Tento typ plazmového horáka bol použitý aj pri návrhu našich plazmových reaktorov. Ideový návrh takéhoto reaktora je na obr. 3.

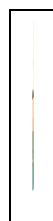


Fig. 3. 3D-CAD modelling of the laboratory scale DC transferred plasma arc reactor

- 1- graphite hollow electrode – cathode
- 2- refractory lined cylindrical shell
- 3- graphite crucible – anode

3. 3kVA Laboratórny plazmový reaktor

Na Katedre energetickej techniky bol navrhnutý a zostrojený 3 kVA laboratórny plazmový reaktor so závislým elektrickým oblúkom s dutou grafitovou elektródou, cez ktorú sa do elektrického oblúka privádza plazmotvorný plyn dusík, ktorého schéma a 3D-CAD model sú uvedené na obr. 4. Pohľad na laboratórny 3kVA plazmový reaktor je na obr. 5.

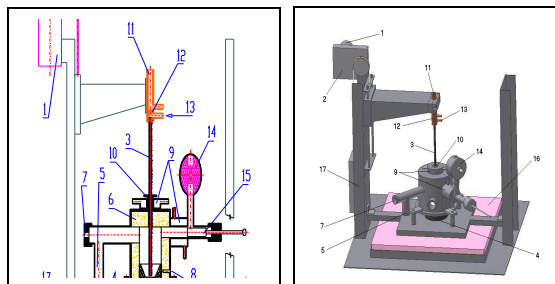


Fig. 4.The diagram of the laboratory scale DC transferred plasma arc reactor and 3D-CAD model

1-electromotor, 2-cathode motion mechanism, 3-hollow graphite electrode –cathode, 4- graphite crucible-anode 5- off-gas port, 6- alumina lining, 7- gas sampling hole, 8-thermocouples, 9-water-coolers, 10-cathode sealing, 11- water- cooler of cathode clamp, 12- cathode clamp, 13-plasma forming gas, 14- batch feeding system, 15- feeding system, 16-isolation plate, 17-rack

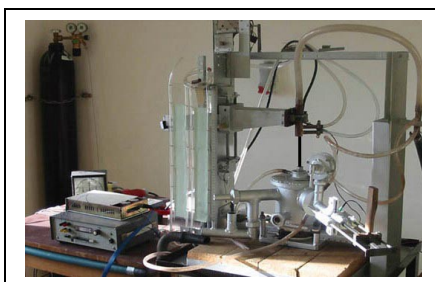


Fig. 4. The 3 kW laboratory scale DC transferred plasma arc reactor

Plazmový oblúk sa v laboratórnom plazmovom reaktore tvorí medzi horúcou dutou grafitovou elektródou (katódou), cez ktorú sa do elektrického oblúka privádza dusík o prietoku $5.5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, a grafitovým dnom reaktora (anódou) pomocou jednosmerného prúdu 120 A pri napätí 25 V, ktoré sa počas laboratórnych testov udržiava na konštantnej hodnote pomocou elektronicko-mechanického kontrolného a regulačného systému. Pohľad na plazmový oblúk spolu s časovým záznamom elektrického prúdu medzi elektródami je na obr.5.

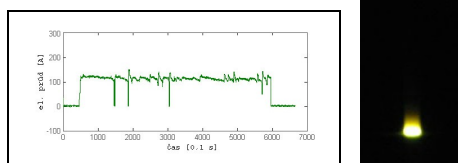


Fig. 5. The time fluctuation of electric current in plasma reactor and plasma arc

4. Plazmové reaktory s vyšším výkonom

Na základe skúseností získaných pri konštrukcii, stavbe a prevádzkovaní 3 kVA laboratórneho plazmového reaktora bol navrhnuté plazmové reaktory so závislým elektrickým oblúkom s dutou grafitovou elektródou cez ktorú sa do elektrického oblúka bude privádzať plazmotvorný plyn dusík s vyšším výkonom. Ako príklad si opíšeme plazmový reaktor s výkonom 80 kVA. Schéma a pohľad na plazmový reaktor o výkone 80 kVA je na obr.6.

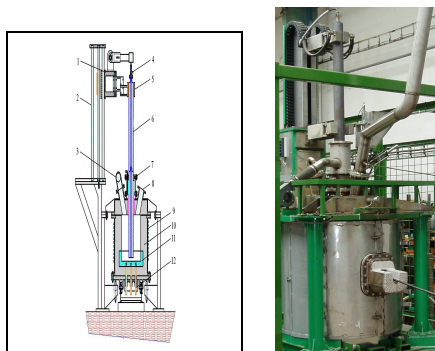


Fig.6. The diagram and view of the 80 kVA DC transferred plasma arc reactor
1-cathode motion mechanism, 2-rack, 3-off-gas port, 4-plasma forming gas-nitrogen, 5-cathode clamp, 6-hollow graphite electrode-cathode, 7- water- cooled cathode sealing, 8- materials feeding port, 9-steel shell, 10- alumina lining, 11-graphite crucible-anode, 12-anode connection.

Plazmový reaktor tvorí oceľový plášť o priemere 920 mm, ktorý je vydusán žiaruvzdornou hlinitanovou výmurovkou, ktorý je ukončený grafitovým téglikom, ktorý tvorí anódu a dno reaktora (obr.7). Prívod prúdu k anóde zaisťujú tri grafitové a oceľové tyče, ktoré sú na konci chladené vzduchovým chladičom. Odpichový otvor je umiestnený v grafitovom tégliku blízko dna. Katódu tvorí dutá grafitová elektróda s priemerom 100 mm s vnútorným otvorom o priemere 10 mm. Dutá grafitová katóda je uchytená v držiaku, s prívodom elektrickej energie a plazmotvorným plynom - dusíkom, na ramene napojenom na posuvný mechanizmus dovoľujúci programovo riadený vertikálny posuv anódy pomocou servopohonu. Katóda do plazmového reaktora prechádza cez veko reaktora v ktorom sú štyri technologické otvory (obr.7).

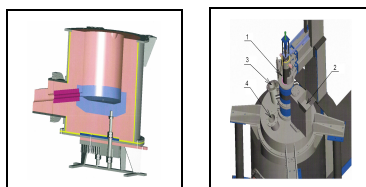


Fig.7 3D-CAD model of hearth and roof of 80 kVA plasma reactor
1- hollow graphite electrode-cathode, 2-feed port, 3-off gas,
4-sight-hole

Zo simulácie teplotných polí [9] v plazmovom reaktore (obr.8) vyplynulo, že celé zariadenie stačí chladiť vzduchom, ale časť veka v ktorej je otvor, ktorým prechádza dutá grafitová elektróda do vnútra plazmového reaktora cez elektrické izolačné tesnenie musí byť chladená vodou rovnako ako časť veka s dávkovacím otvorom na ktorom je namontované

dávkovacie zariadenie pomocou ktorého sa do reaktora kontinuálne vsádza vsádzka požadovanou rýchlosťou o zrnitosti od 0.1 do 5.0 mm.

Pohľad na plazmový oblúk spolu s časovým záznamom elektrického napätia a prúdu medzi elektródami je na obr.8.

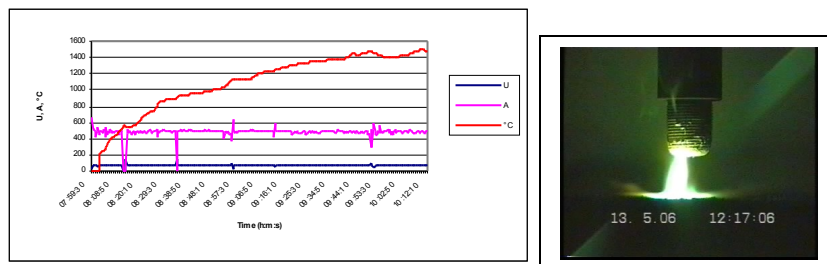


Fig. 8. The time fluctuation of electric current, voltage and temperature in 30 kVA plasma reactor and plasma arc in 80 kVA plasma reactor

5. Záver

Tavenie a splynovanie odpadov v plazmových reaktoroch bude nachádzať čoraz širšie praktické uplatnenie ako jedna z alternatív termickej bezodpadovej likvidácie odpadov, pri ktorej sa využijú nielen všetky zložky odpadu, ale sa využije aj jeho energetický potenciál bez zaťaženia životného prostredia plynými emisiami alebo tuhými odpadmi.

Na základe poznatkov zo stavby a prevádzky 3 kVA laboratórneho plazmového reaktora boli v rámci spolupráce Katedry energetickej techniky, Strojnickej fakulty, Technickej univerzity v Košiciach so spoločnosťami QEL Bardejov, s.r.o. a GAZOTECH s.r.o. Bardejov navrhnuté a skonštruované plazmové reaktory s vyšším výkonom, ktoré našli praktické priemyselné využitie.

Literatúra

1. Imriš I., Klenovčanová A.: Možnosti energetického využívania odpadov. Strojné inžinierstvo 2001, I.časť zborníka, sekcia č.1 Tepelná energetika a technika prostredia, 22. November 2001, p.68-74.
2. Horbaj P., Imriš I., Klenovčanová A.: Zneškodňovanie odpadov na Slovensku, Energia, 4, 2000, p.56-59.
3. Menad N., Björkman Bo.: Thermodynamic Conditions for the Reduction of Dioxins During Combustion of the Organic Parts Contained in Electronic Wastes, In: Rewas 99, Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology, Publication of TSM, INASMET, San Sebastian, Spain, 5-9, September, 1999, p. 937-949.
4. Mačáková S., Šiška F., Pliešovská N.: Overenie ekotoxicity solidifikovaného odpadu (popolčeka zo zariadenia na tepelné zneškodňovanie komunálneho odpadu Košice) a možnosti jeho využitia pre účely pozemného staviteľstva, In: Odpady-konferencia a výstava, Praha, ČR, 23-25 November 1989.
5. Imriš I., Klenovčanová A., Imriš M., Molčan P.: Prehľad plazmových technológií používaných na likvidáciu odpadov. Acta Mechanica Slovaca, č.3, 2003, p.301-318.
6. Imriš I., Klenovčanová A. and Molčan P.: Energy recovery from waste by the plasma gasification process, Archives of thermodynamics, Vol.26, No.2, 2005, p.3-16.
7. Chen F. F.: Úvod do fyziky plazmatu, Academia, Praha 1984.
8. Frank-Kamenickij D.A.: Plazma - štvrté skupenstvo hmoty. Slovenské vydavateľstvo Technickej literatúry Bratislava, 1966.

9. Holubecký P.: Konštrukcia plazmovej pece pre splynovanie odpadov. Acta Mechanica Slovaca č.3-A, 2004, p.505-512.