

Zbigniew KOŁACIŃSKI  
Łukasz SZYMAŃSKI  
Grzegorz RANISZEWSKI

## PLAZMA TERMICZNA DLA INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ

**STRESZCZENIE** *Plazma termiczna w stanie LTE (Lokalna Równowaga Termodynamiczna) lub w stanie bliskim LTE (pod zmniejszonym ciśnieniem) jest niezwykle skutecznym medium zdolnym do łamania wiązań niepożądanych łańcuchów molekularnych. Może być ona stosowana do niszczenia odpadów gazowych i płynnych oraz do przetwarzania odpadów stałych w cenne materiały lub produkty.*

*W artykule przedstawiono kilka procesowych reaktorów plazmowych z cylindrycznymi i rozbieżnymi kanałami wyładowczymi, które zostały zaprojektowane do testów laboratoryjnych. Łuk elektryczny jest w nich wprowadzany magnetycznie w wirowanie pomiędzy elektrodami, co skutkuje wytwarzaniem strumienia plazmy w stanie LTE. Te reaktory plazmowe zostały z powodzeniem zastosowane do termicznej destrukcji odpadów zawierających chlor. Piec, w którym plazma łukowa została wytworzona we wnętrzu tygla zasypanego odpadami w stanie skupienia stałym został opracowany do przetwarzania tych odpadów. Teoria termicznej utylizacji i przetwarzania materiałów w łuku elektrycznym została zweryfikowana eksperymentalnie poprzez zaprezentowanie kilku cennych produktów końcowych, takich jak płytki ceramiczne i porowate elementy izolacyjne. Ten sposób utylizacji odpadów ukierunkowany jest na zapewnienie zerowej emisji jakichkolwiek szkodliwych pozostałości w procesie przetwarzania. Końcowy materiał uzyskany po plazmowej utylizacji jest całkowicie bezpieczny w użytkowaniu i może powrócić do środowiska jako użyteczny produkt. Takie podejście zostało szeroko zaprezentowane w ramach projektu unijnego o akronimie WASTILE.*

---

**prof. dr hab. inż. Zbigniew KOŁACIŃSKI**  
e-mail: zbigniew.kolacinski@p.lodz.pl

**dr inż. Łukasz SZYMAŃSKI**  
e-mail: lukasz.szymanski@p.lodz.pl

**dr inż. Grzegorz RANISZEWSKI**  
e-mail: grzegorz.raniszewski@p.lodz.pl

Instytut Mechatroniki i Systemów Informatycznych, Politechnika Łódzka

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 259, 2012

Celem projektu było zademonstrowanie technologii utylizacji mieszaniny składającej się z odpadów niebezpiecznych – azbestu lub skażonych popiołów oraz toksycznych środków chemicznych, aby wytworzyć materiały budowlane określonego kształtu. Zostały wykonane udane testy laboratoryjne. Urządzenie demonstrujące proces technologiczny zostało zaprojektowane i zbudowane. Produkty końcowe, takie jak płytki ceramiczne lub porowate materiały izolacyjne o różnych kształtach przekazano do Dyrektoriatu Komisji Europejskiej ds. Badań Naukowych.

Drugim, prezentowanym tutaj, zastosowaniem plazmy w stanie bliskim LTE jest synteza nanorurek węglowych (CNTs). CNTs wytworzone na różnych podłożach są pilnie potrzebne dla wielu zastosowań technologicznych, takich jak emiterzy elektronów, superkondensatory, akumulatory, ogniwa fotowoltaiczne, itp. Jednym z głównych wyzwań technicznych w celu uzyskania optymalnych właściwości produktu jest ciągłe i równomierne ułożenie CNTs na ruchomym podłożu. Zaprezentowany w niniejszym artykule układ badawczy składał się z pieca rurowego w hybrydowym układzie z generatorem plazmy wyposażonym w systemy zasilania prekursora katalitycznego oraz gazu węglonośnego. Rodniki węgla tworzące z katalizatorem mieszaninę nagrzewano do temperatury około 1000°C. Uzyskano zadawalające wyniki wstępnej segregacji węgla amorficznego przy użyciu pułapki magnetycznej w kolektorze suchym a kolejny mokry kolektor zastosowano do oczyszczenia gazów wylotowych z cząstek węgla. Wzrost CNTs jest wrażliwy na rozkład temperatury w linii CVD. Piec rurowy o długości 1 m i 50 mm średnicy wewnętrznej został podzielony na trzy części o oddzielnie kontrolowanej temperaturze. Umożliwiło to utrzymywanie w rurze kwarcowej optymalnej temperatury z zakresu od 800°C do 1200°C minimalizując efekt chłodzenia występujący na obu końcach pieca.

W artykule przedstawiono również plazmową metodę syntezy CNTs przy użyciu wyłącznie generatora mikrofal bez hybrydyzacji z piecem CVD. Umożliwia ona wytwarzanie CNTs w postaci proszku lub nanoszenie warstw CNTs na podłożach takich jak kwarc, metale i izolacyjne materiały ogniotrwałe. Warstwy CNTs mogą stanowić elektrody superkondensatorów, baterii lub mieć zastosowanie jako skuteczne radiatory dla chłodzenia elementów elektronicznych. Przedstawiono uzyskane parametry procesu, w tym pomiary temperatury strumienia plazmy. Charakteryzację produktu przeprowadzono przy użyciu mikroskopu elektronowego (STM i SEM) i spektroskopii Ramana.

**Słowa kluczowe:** plazma termiczna, utylizacja odpadów, nanomateriały

## THERMAL PLASMA FOR MATERIAL ENGINEERING

Zbigniew KOLACIŃSKI,  
Łukasz SZYMAŃSKI, Grzegorz RANISZEWSKI

**ABSTRACT** *Thermal plasma in the state of LTE (Local Thermodynamic Equilibrium) or near LTE (in a reduced pressure) can be an efficient medium for breaking bonds of unwanted molecular chains. It can be used for gas and fluid waste destruction and solid waste conversion into valuable materials or products. In this paper there are presented some plasma reactors with cylindrical and divergent channels that have been designed for the laboratory processing. The arc was magnetically driven between electrodes, which resulted in fast LTE plasma expansion and a thermal tail formation being in the near LTE state. These plasma reactors have been successfully used for thermal destruction of chlorinated wastes. A furnace with the arc-plasma immersed in the feed charge has been elaborated for solid waste treatment purposes. The theory of utilization of materials by electric arc has been verified in experimental tests presenting some valuable end-products such as ceramic and insulation tails. Proposed solutions are directed towards zero emission of any hazardous residuals. The final material obtained after the plasma treatment is environmentally safe. It can return to the environment as a useful product. This approach has been widely studied in the EU Project with the acronym WASTILE. The aim of the project was to treat with plasma a composite waste consisting of hazardous waste ash and of toxic chemicals, to produce near-to-net shape building materials. Successful laboratory tests were done; technology demonstrating system has been designed and built. Final products such as ceramic tiles or industrial porous refractory shaped materials were demonstrated to the European Commission Research DG.*

*Another application of near LTE plasma is presented for carbon nanotubes (CNTs) synthesis. CNTs deposited on various substrates are urgently required for many technological applications such as electron emitters, supercapacitors, rechargeable batteries, photovoltaic cells, etc. One of the main challenges to obtain the optimal product properties is a continuous and uniform dispersion of product on a moving substrate.*

*In this paper the experimental set-up consisted of CVD furnace hybridized with plasma generator equipped with catalyst precursor and carbon containing gas feed systems is presented. Carbon radicals and metal catalyst uniform mixture were treated in the temperature around 1000°C. It have been found good results of segregation amorphous carbon as permanent magnet were used in the CNTs dry collector which followed by wet collector for zero contamination of the exhaust gas with carbon particles. The growth of CNTs is sensitive*

to the temperature distribution in the CVD line. Our furnace of the length of 1 meter and 50 mm of internal diameter was divided into three sections of separately controlled temperature. This allowed to keep the quartz tube in the bests temperature ranged from 800°C to 1200°C minimizing the cooling effect of both ends of the furnace.

The paper also describes a CNT's synthesis microwave plasma method that is not being hybridized with a CVD furnace. It allows producing CNT's in the powder form or making deposits on substrates such as silica, metals and on refractory insulators. This can be applied to energy storage supercapacitors or electronic devices as heat sinks. Conditions required for CNT's synthesis in microwave plasma are specified. Also the process parameters and plasma jet temperature measurements are presented.

To determine the operation parameters effective for the synthesis of CNTs a characterization of the product by means of electron microscopy (STM and SEM) and Raman spectroscopy has been performed.

**Keywords:** *Thermal plasma, Waste treatment, Nanomaterials*