

Marian NIESLER

Instytut Metalurgii Żelaza

## DOPALANIE SPALIN Z PROCESU SPIEKANIA Z ZASTOSOWANIEM TECHNIKI MIKROFALOWEJ

W artykule przedstawiono możliwości dopalania spalin z procesu spiekania rud żelaza i odpadów przy zastosowaniu promieniowania mikrofalowego w warunkach IMŻ w Gliwicach. Opisano zasadę działania nowatorskiego urządzenia firmy ATON, zainstalowanego w układzie spiekania, które za pomocą mikrofal neutralizuje szkodliwe związki zawarte w gazach odlotowych. Badania wykazały, że mikrofalowy układ dopalania gazów działał z bardzo wysoką efektywnością, czego dowodem była śladowa zawartość WWA oraz CO w oczyszczanych spalinach.

**Słowa kluczowe:** technika mikrofalowa, spiekanie, spaliny, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne WWA

## AFTERBURNING OF WASTE GAS FROM SINTERING PROCESS USING MICROWAVE TECHNIQUE

This article presents the possibilities of afterburning of waste gas from iron ore and waste sintering process using microwave radiation under the conditions of the Institute for Ferrous Metallurgy in Gliwice. The operating principle of innovative ATON equipment, installed in the sintering system to neutralise harmful compounds in waste gases, was described. The examinations revealed that the microwave system for afterburning of gases operated with very high efficiency proven by trace contents of PAHs and CO in treated waste gas.

**Keywords:** microwave technique, sintering, waste gas, polycyclic aromatic hydrocarbons PAHs

### 1. WSTĘP

Mikrofałe stanowią część widma elektromagnetycznego o długości fali od 1 mm do 1 m, co odpowiada częstotliwości od 0,3 GHz do 300 GHz. Mikrofałe obejmują około 95% wykorzystywanego zakresu fal elektromagnetycznych.

Najważniejsze zastosowania techniki mikrofalowej to m.in:

- radiolokacja (w tym wszelkie detektory ruchu), radionawigacja (GPS, kontrola ruchu powietrznego), radiokomunikacja (satelitarna, naziemna i satelitarna),
- grzejnictwo (suszenie, termiczne procesy fizyczne i chemiczne, przemysł spożywczy, konserwacja żywności, kuchnie mikrofalowe),
- transport,
- medycyna,
- fizyka (badania materiałowe),
- przemysł (spożywczy, mikroelektroniczny, tworzywa sztucznych, techniki plazmowe),
- radioastronomia,
- miernictwo,

W tabl. 1 przedstawiono przykładowe źródła promieniowania elektromagnetycznego w zakresie mikrofal i radiofal [1–4].

Podstawowa częstotliwość do zastosowań w gospodarstwach domowych, w placówkach medycznych i naukowych oraz zakładach przemysłowych wynosi 2,45 GHz. W tabl. 2 przedstawiono częstotliwości dozwolone w zastosowaniach przemysłowych i badaniach naukowych w różnych krajach [1–4].

**Tablica 1. Źródła promieniowania elektromagnetycznego w zakresie mikrofal i radiofal**

**Table 1. Sources of radio and microwave electromagnetic radiation**

Dziedzina zastosowań	Zakres częstotliwości	Typowe moce generatorów
Nadajniki radiowe i telewizyjne	180 kHz ÷ 860 MHz	5 W ÷ 2 MW
Stacje bazowe telefonii komórkowej	450(900) ÷ 2100 MHz	2 ÷ 50 W/kanal
Linie radiowe naziemne i satelitarne	1 ÷ 40 GHz	10 mW ÷ 20 W
Radiotelefony i terminale przenośne	27 MHz ÷ 2,1 GHz	0,1 ÷ 15 W
Radiolokacja (radary)	1 ÷ 10 GHz	1 W ÷ 3 MW w impulsie
Punkty dostępowe Wi-Fi	2,4; 5,1 ÷ 5,8 GHz	0,1 ÷ 1 W
Karty Wi-Fi	2,4; 5,1 ÷ 5,8 GHz	10 ÷ 100 mW
Nagrzewnice, suszarki i zgrzewarki dielektryczne	27,12 MHz	100 W ÷ 10 kW
Mineralizatory, suszarki mikrofalowe	2,45 GHz	300 W ÷ 10 kW
Aparaty do elektrochirurgii (lancetrony)	300 ÷ 440 kHz, 1 ÷ 3 MHz	30 ÷ 200 W
Diatermie krótko- i mikrofalowe	27,12 MHz – 2,45 GHz	50 ÷ 1000 W (w impulsie)
Kuchenki mikrofalowe	2,45 GHz	600 ÷ 1000 W
Czujniki ruchu	2,45 GHz	< 20 mW

**Tablica 2. Przykłady częstotliwości dozwolonych w zastosowaniach przemysłowych i badaniach naukowych****Table 2. Examples of frequencies permitted in industrial applications and scientific research**

Częstotliwość GHz	Tolerancja	Obowiązujący obszar
0,434	0,2 %	Austria, Holandia, Portugalia, Niemcy, Szwajcaria
0,896	10 MHz	Zjednoczone Królestwo
0,915	13 MHz	Ameryka Północna i Południowa
2,375	50 MHz	Albania, Bułgaria, Węgry, Rumunia, Czechy, Słowacja, WNP
2,450	50 MHz	Wszystkie kraje (w tym Polska), za wyjątkiem Albanii, Bułgarii, Węgier, Rumunii, Czech, Słowacji, WNP

Energia promieniowania mikrofalowego jest rozpraszana w materiałach według trzech mechanizmów jako:

- straty magnetyczne w materiałach ferromagnetycznych,
- straty omowe w materiałach przewodzących,
- straty elektryczne spowodowane niejednorodnością elektromagnetyczną jonów lub cząsteczek z momentem dipolowym.

Pozwala to na wyróżnienie trzech typów materiałów różnie zachowujących się w polu mikrofalowym, tabl. 3.

**Tablica 3. Oddziaływanie mikrofal z materia****Table 3. Interaction between microwaves and matter**

Typ materiału	Oddziaływanie z mikrofalami	Zastosowanie
Izotator np. teflon	Całkowicie przepuszczalny; <b>nie ogrzewa się</b>	Naczynia na naświetlane próbki
Przewodnik np. metale	Odbija mikrofałe od powierzchni; <b>nie ogrzewa się</b>	Materiał przewodzący, falowody
Absorbent np. woda	Częściowo lub całkowicie absorbujący; <b>ogrzewa się</b>	

Z praktycznego punktu widzenia szczególne znaczenie mają materiały całkowicie lub częściowo pochłaniające promieniowanie mikrofalowe, dzięki czemu możliwe jest ogrzanie ciała stałego lub cieczy. Ogrzewanie mikrofalowe wykazuje wiele zalet w porównaniu z ogrzewaniem konwencjonalnym. Jest ono bezkontaktowe, szybkie, selektywne i zachodzące w całej objętości. Energia mikrofalowa indukuje ruch cząsteczkowy przez rotację dipoli i migrację jonów. W przypadku ogrzewania mikrofalowego następuje zamiana energii elektromagnetycznej w energię cieplną, a nie przeniesienie ciepła według klasycznych mechanizmów konwekcji, przewodzenia i promieniowania. Ta zasadnicza różnica od dawna jest wykorzystywana w obróbce żywności i pozwala na skrócenie czasu procesu oraz oszczędności energii. Równocześnie otwiera ona pole do poszukiwań nowych możliwości wykorzystania promieniowania mikrofalowego. Jak już podano we wstępie artykułu, mikrofałe stosuje się już w wielu dziedzinach gospodarki [1-4]. Kolejnym polem do wykorzystania tej techniki jest ochrona środowiska, w tym wykorzystanie

promieniowania mikrofalowego do oczyszczania gazów spalinowych i odpadów z różnych procesów technologicznych. Przykładem takiego działania jest wdrażanie w Polsce układów mikrofalowych do m.in. usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych, odpadów biologicznych, azbestu, czy też uciążliwych odorów z przemysłu spożywczego i chemicznego [5-10].

Również w procesach metalurgicznych ta technika coraz częściej zaczyna być wykorzystywana. Przykładem tego mogą być prace prowadzone, m.in., w VSB TU w Ostrawie, gdzie technikę mikrofalową wykorzystuje się do redukcji tlenków żelaza i nagrzewania wsadu czy też obróbki mułków walcowniczych [11-13]. Stosowane są również mikrofalowe piece przelotowe lub obrotowe do obróbki cieplnej. Przykładowe urządzenia pokazano na rys. 1 i 2 [14].

**Rys. 1. Przelotowy piec mikrofalowy****Fig. 1. Band microwave oven****Rys. 2. Mikrofalowy piec obrotowy do obróbki cieplnej****Fig. 2. Rotary microwave oven for heat treatment**

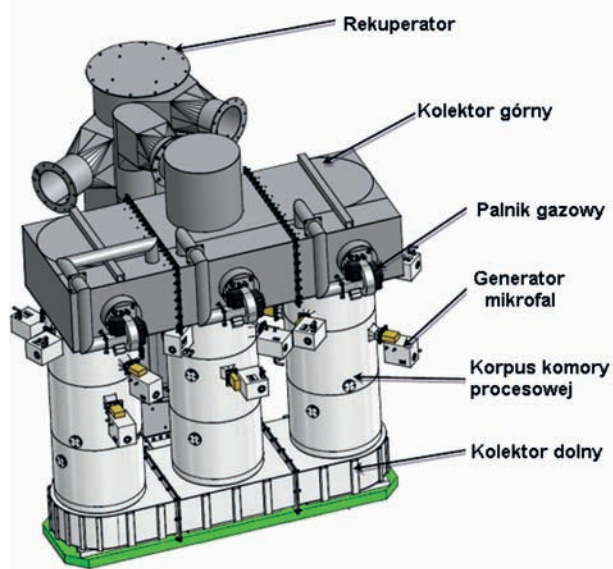
Celem artykułu jest przedstawienie możliwości dopalania spalin z procesu spiekania rud żelaza i odpadów przy zastosowaniu promieniowania mikrofalowego w warunkach IMŻ w Gliwicach.

## 2. WYKORZYSTANIE MIKROFAL DO DOPALANIA SPALIN Z PROCESU SPIEKANIA

Zespół Procesów Surowcowych IMŻ w Gliwicach prowadzi od kilku lat modernizację układu spiekania rud żelaza. Jednym z głównych celów tej modernizacji było, m.in., opracowanie nowoczesnego systemu neutralizującego spaliny z tego procesu. Stworzyło to możliwość

spiekania materiałów do tej pory wykluczonych ze stosowania w tym procesie (m.in. zaolejone zgorzeliny), ze względu na silne emisje niespalonych węglowodorów do środowiska. Aby można było to osiągnąć należało opracować system dopalania tych substancji. Postanowiono wykorzystać do tego nowoczesną technikę mikrofalową.

W miejsce istniejącego układu odpylającego zastosowano nowatorskie urządzenie firmy ATON MOS 20/9/3, które za pomocą mikrofal neutralizuje szkodliwe związki zawarte w gazach odlotowych, (rys. 3 i 4). Urządzenie to jest aktualnie testowane i prowadzone są pierwsze próby badań jego skuteczności.



Rys. 3. Główne podzespoły ATON-MOS 20/9/3

Fig. 3. Major subassemblies of ATON-MOS 20/9/3



Rys. 4. Widok układu MOS zamontowanego w IMŻ

Fig. 4. View of MOS system installed at the Instytut Metalurgii Żelaza (Institute for Ferrous Metallurgy)

ATON MOS to blok do utleniania zanieczyszczeń w gazach poprocesowych. W segmencie tym następuje oczyszczanie gazów ze szkodliwych związków w procesie utleniania w zakresie temperatury 1000÷1200°C, przy udziale dozowanego powietrza. Urządzenia ATON MOS skutecznie oczyszczają gazy poprocesowe z zanieczyszczeń organicznych. Technologia bazuje na chronionej zgłoszeniem patentowym metodzie MOS (Microwave Oxidation System). Urządzenie składa się z wypełnionej złożem ceramicznym komory procesowej, przez które transmitowane są gazy poddawane oczyszczaniu. Komora jest wyposażona w zespół generatorów mikrofalowych, których rozmieszczenie gwarantuje jednorodność pola mikrofalowego w przestrzeni roboczej układu. Generatory pracują przy częstotliwości 2,45 GHz. Kształtki ceramiczne, stanowiące wypełnienie reaktorów, są wykonane ze specjalnego materiału, wykazującego dużą zdolność do pochłaniania mikrofal i transmitowania energii w formie ciepła do gazów. Dodatkowo ceramika posiada właściwości katalityczne: wpływa na szybkość zachodzących reakcji utleniania oraz powoduje redukcję niektórych jonów. Temperatura, w której następuje proces oksydacji, utrzymywana jest na poziomie zapewniającym wysoką sprawność (1000÷1200°C), nie doprowadzając do utleniania azotu z powietrza. Transport gazów przez złożę odbywa się w sposób turbulentny, zapewniając ich dłuższy czas przebywania w przestrzeni oddziaływania pola mikrofalowego.

W celu sprawdzenia skuteczności działania układu dopalania spalin przeprowadzono próby spiekania tzw. łupków powęglowych. Do prób oceny skuteczności układu neutralizacji spalin celowo wybrano łupki powęglowe ze względu na fakt, że podczas ich spiekania powstaje i wydziela się szereg niebezpiecznych związków z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). W trakcie prób spiekania pobierano próbki gazu w celu oznaczania w nim stężenia WWA i CO, przy wykorzystaniu zestawu do izokinetycznego pobierania próbek gazów, (rys. 5).

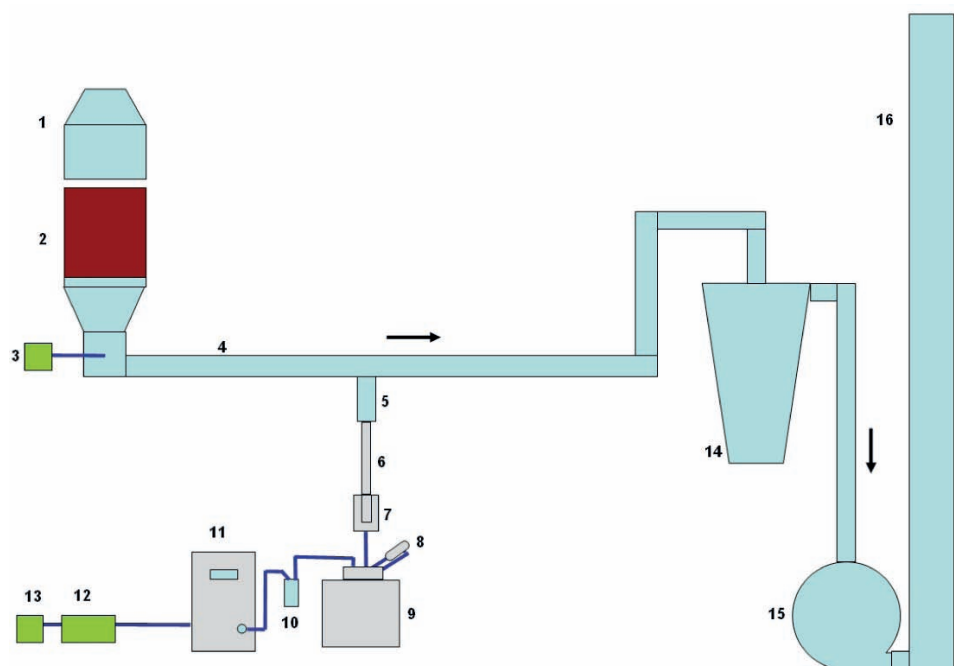
W tabl. 4 przedstawiono pierwsze wyniki uzyskane przy spiekaniu łupków powęglowych.

Tablica 4. Analiza spalin podczas spiekania łupków powęglowych

Table 4. Waste gas analysis during coal shale sintering

Składniki gazu	Przed układem dopalania spalin	Po układzie dopalania spalin
WWA	33 mg/Nm <sup>3</sup>	0,0003 mg/Nm <sup>3</sup>
CO	5,03%	0,08%

Z analizy gazów wykonanych podczas spiekania łupków powęglowych wynika, że układ dopalania gazów działa z bardzo wysoką efektywnością, o czym świadczy prawie całkowite wyeliminowanie WWA z oczyszczanych spalin. O ile w spalinach przed układem dopalania było bardzo duże stężenie tych zanieczyszczeń wynoszące około 33 mg/Nm<sup>3</sup>, to po ich dopaleniu w układzie MOS ich zawartość była śladowa i wynosiła 0,0003 mg/Nm<sup>3</sup>. Również śladowa zawartość tlenu węgla w dopalonych gazach świadczy o skuteczności działania układu.



Rys. 5. Schemat laboratoryjnego układu spiekania wraz z zaznaczeniem punktu poboru spalin

- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| 1. Palnik   | 9. Chłodnica z butelką na kondensat  |
| 2. Misa spiekalnica                               | 10. Pochłaniacz wilgoci              |
| 3. Pomiar temperatury                             | 11. Pompa ssąca z układem sterowania |
| 4. Rurociąg spalin                                | 12. Analizator spalin GA40Tplus      |
| 5. Punkt poboru (króciec)                         | 13. Analizator spalin GA20,          |
| 6. Sonda z płaszczem termostatycznym              | 14. Układ neutralizacji spalin       |
| 7. Filtr celulozowy                               | 15. Wentylator                       |
| 8. Absorber związków organicznych z fazy gazowej, | 16. Komin                            |

Fig. 5. Diagram of laboratory sintering system with indicated waste gas offtake point

- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| 1. Burner   | 9. Cooler with condensate bottle     |
| 2. Sinter pan                                       | 10. Dehydrator                       |
| 3. Temperature measurement,                         | 11. Suction pump with control system |
| 4. Waste gas pipeline,                              | 12. GA40Tplus waste gas analyser     |
| 5. Offtake point (end pipe)                         | 13. GA20 waste gas analyser          |
| 6. Probe with thermostatic jacket                   | 14. Waste gas neutralisation system  |
| 7. Cellulose filter                                 | 15. Fan                              |
| 8. Absorber of organic compounds from gaseous phase | 16. Flue                             |

### 3. PODSUMOWANIE

Mikrofale stanowią część widma elektromagnetycznego o częstotliwości od 0,3 GHz do 300 GHz. Energia mikrofalowa od dawna jest wykorzystywana w obróbce żywności i pozwala na skrócenie czasu tych procesów oraz oszczędność energii. Równocześnie otwiera pole do poszukiwań nowych możliwości wykorzystania promieniowania mikrofalowego. Bardzo obiecującym polem do wykorzystania tej techniki jest ochrona środowiska, w tym wykorzystanie promieniowania mikrofalowego do oczyszczania gazów spalinowych i odpadów tworzących się podczas różnych procesów technologicznych. Przykładem takiego działania jest wdrażanie w Polsce układów mikrofalowych do usuwania m.in. zanieczyszczeń ropopochodnych, odpadów biologicznych, azbestu czy też uciążliwych odorów z przemysłu spożywczego i chemicznego.

W niniejszej publikacji przedstawiono wykorzystanie nowoczesnego systemu mikrofalowego do neutralizacji szkodliwych składników spalin w laboratoryjnym układzie spiekania rud żelaza w Instytucie Metalurgii Żelaza. Stworzyło to możliwość spiekania materiałów do tej pory wykluczonych ze stosowania w tym procesie (m.in. zaolejonych zgorzelin), ze względu na silne emisje niespalonych węglowodorów do środowiska. Efekt ten osiągnięto za pomocą systemu dopalania tych substancji, opartego na nowatorskim urządzeniu firmy ATON, które za pomocą mikrofal neutralizuje szkodliwe związki zawarte w gazach odlotowych. Przeprowadzona ocena skuteczności działania instalacji wykazała, że układ dopalania gazów działa z bardzo wysoką efektywnością, czego dowodem są śladowe zawartości WWA oraz CO w oczyszczanych spalinach.

## LITERATURA

1. Rumian M., Czepirski L.: Zastosowanie promieniowania mikrofalowego w technologii adsorpcyjnej, [home.agh.edu.pl/~czepir/open/pdf/2005\\_PrzChem.pdf](http://home.agh.edu.pl/~czepir/open/pdf/2005_PrzChem.pdf), (26.11.2012 r.),
2. Czarczyński W.: Fala płaska, linie długie, [www-old.wemif.pwr.wroc.pl/dydaktyka/etd7021/1.ppt](http://www-old.wemif.pwr.wroc.pl/dydaktyka/etd7021/1.ppt), (26.11.2012 r.)
3. Zastosowania mikrofal w przemyśle, medycynie, rolnictwie i budownictwie, [www-old.wemif.pwr.wroc.pl/dydaktyka/etd7021/11.ppt](http://www-old.wemif.pwr.wroc.pl/dydaktyka/etd7021/11.ppt), (26.11.2012 r.)
4. Mikrofałe w syntezie organicznej, [www.chem.uw.edu.pl/people/AMyslinski/.../chem.../Manaj\\_1.doc](http://www.chem.uw.edu.pl/people/AMyslinski/.../chem.../Manaj_1.doc), (26.11.2012 r.),
5. Mikrofałe pomagają dopalać zanieczyszczenia w gazach – ATON-HT Wrocław, <http://gartija.pl/art.php?art=566&pg=1>, (26.11.2012 r.)
6. Microwave Oxidation System, dopalanie frakcji organicznych w gazach, <http://energo.go-2.pl/mos.php>, (26.11.2012 r.),
7. Mikrofałe w procesie karbonizacji odpadów. [http://docs6.cho-mikuj.pl/29993\\_8805\\_PL.pdf](http://docs6.cho-mikuj.pl/29993_8805_PL.pdf), (26.11.2012 r.), (26.11.2012 r.),
8. Technologia MTT - Innowacyjna termiczna metoda przekształcania odpadów [http://www.portfel.pl/pl/ekologia/ite/19/Technologia\\_MTT\\_Innowacyjna\\_termiczna\\_metoda\\_przekształcania\\_odpadow](http://www.portfel.pl/pl/ekologia/ite/19/Technologia_MTT_Innowacyjna_termiczna_metoda_przekształcania_odpadow), (26.11.2012 r.)
9. Usuwanie zanieczyszczeń ropopochodnych z materiałów mineralnych i ceramiki, prażenie materiałów w wysokiej temperaturze, [www.aton.net.pl/ropopochodne.htm](http://www.aton.net.pl/ropopochodne.htm), (26.11.2012 r.),
10. Mikrofałe w technologii unieszkodliwiania azbestu, <http://www.aton.net.pl/>, (26.11.2012 r.)
11. Kret J., Faruzel P., Jursova S.: Microwave heating in iron metallurgy. *Hutnik – Wiadomości Hutnicze*, 9/2010, s. 779-780,
12. Kret J., Faruzel P., Jursova S.: Behavior of iron oxides in microwave field. *Hutnik – Wiadomości Hutnicze*, 9/2011, s. 479-481
13. Goodwill J., Schmitt R.: New development in microwave treatment of steel mill sludges, *Iron and Steel Engineer*, luty 1996, s. 34-38
14. Piece mikrofalowe, <http://wichary.eu/przemysl/piece/piece-mikrofalowe/>, (26.11.2012 r.),
15. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa. Urządzenie do neutralizacji gazów odlotowych z linii spiekania. Typ/model ATON MOS 20/9.3. ATON – HT S.A. Wrocław, 23.05.2012 r.