

Ireneusz SZYPUŁA, Bogdan ZDONEK

Instytut Metalurgii Żelaza

## RECYKLING ZŁOMU KORDU DRUTU Z ZUŻYTYCH OPON SAMOCHODOWYCH W PRODUKCJI STALI

*Przedstawiono wyniki badań których celem było opracowanie charakterystyki złomu drutu stalowego pochodzącego z recyklingu zużytych opon samochodowych i przystosowanie go do wytapiania stali. Wykonano analizy chemiczne złomu drutu kordu opon; opracowano sposób oznaczania ilości pozostałości gumy na drucie; określono maksymalną dopuszczalną ilość gumy na drucie; przeprowadzono badania laboratoryjne z zagęszczania i topienia drutu z opon; opracowano podstawowe charakterystyki materiału spełniającego wymagania stosowania go w postaci złomu w procesach wytapiania stali oraz zaleceń technologicznych jego optymalnego wykorzystania. Zaproponowano wprowadzenie złomu drutu z kordów opon jako nowego gatunku w klasyfikacji złomu.*

*Słowa kluczowe:* recykling, opona, drut, złom, wsad, stal

## RECYCLING OF WIRE CORD SCRAP FROM USED CAR TYRES IN STEEL PRODUCTION

*Results of the research aimed at development of characteristics of steel wire scrap from the recycling of used car tyres and its adaptation to the steel making process are presented. Chemical analyses of the tyre cord wire scrap were made; the method for determination of the amount of rubber residues on wire was developed; the maximum allowable amount of rubber on wire was determined; laboratory tests with regard to tyre wire compaction and melting were carried out; basic characteristics of the material meeting the requirements for use as a scrap in steel making processes as well as technological recommendations for its optimum utilisation were developed. The introduction of wire scrap from tyre cords as a new grade for scrap classification was proposed.*

*Key words:* recycling, tyre, wire, scrap, charge, steel

### 1. WPROWADZENIE

Zużyte opony stanowią uciążliwy odpad ponieważ nie ulegają degradacji w środowisku naturalnym, a ich gromadzenie na składowiskach wywołuje wzrost zagrożenia pożarowego. Wysokie ceny paliw kopalnych i bardzo duża kaloryczność opon (31,4 MJ/kg) spowodowały wzrost popytu na zużyte opony, szczególnie ze strony cementowni. W Polsce aż 70% zużytych opon spalanych jest w obrotowych piecach cementowni. Zużyte opony to również źródło surowca do produkcji nowych wyrobów (np. granulatu z opon wykorzystywany jest do wytwarzania nawierzchni obiektów sportowych, elementów bezpieczeństwa drogowego, elementów izolacji akustycznej i tłumieniu drgań itp.).

Według Instytutu Badań Rynku Motoryzacyjnego SAMAR monitorującego bazę CEPiK (Centralna Ewidencja Pojazdów i Kierowców) w Polsce na koniec 2013 roku było zarejestrowanych 25 mln 167 tysięcy aut [1], a masa opon podlegających wymianie co roku wynosi około 58 tysięcy ton; z czego około 20% przypada na złom kordów w postaci drutu stalowego, czyli około 11,5 tysiąca ton rocznie.

Recykling opon można podzielić na trzy grupy:

– proces regeneracji opon (tj. bieżnikowanie czyli wymiana bieżnika metodami na zimno lub na gorąco);

- recykling materiałowy (tj. rozdrabnianie opon mechanicznie, także z wykorzystaniem ciekłego azotu – technologia kriogeniczna);
- recykling energetyczny (tj. spalanie głównie w piecach cementowni, ale też w ciepłowniach, elektrociepłowniach).

Temperatura w piecach cementowych dochodzi do 2000°C co powoduje iż spalanie opon jest bezpieczne pod względem ekologicznym, ponieważ w tej temperaturze następuje całkowity rozkład większości związków chemicznych (dioksyn, furanów). W tym procesie nie powstaje popiół, ani żużel ponieważ kord stalowy opon jest trwale wiązany z wytwarzanym klinkierem i korzystnie wpływa na jego właściwości wytrzymałościowe.

Jedną z nowatorskich metod recyklingu opon jest „piroliza opon”. Polega na ogrzewaniu całych lub pościętych opon w temperaturze 450÷750°C bez dostępu tlenu. Proces jest prowadzony w podgrzewanych bezpośrednio lub pośrednio (przeponowo), różnej wielkości i konstrukcji piecach pirolitycznych, np. z reaktorem pionowym lub poziomym, z ruchomym lub nieruchomym złożem. Najbardziej powszechne piece do pirolizy charakteryzują się wydajnością 2÷6 t/h co odpowiada 15000÷50000 t/r [2, 3]. Produktami procesu są: olej i gaz o wysokiej wartości opałowej; karbonizat – ma-

teriał wysokouwęglony o właściwościach fizycznych zbliżonych do sadzy oraz kord stalowy stanowiący wartościowy materiał wsadowy dla hutniczych pieców stalowniczych.

Złom drutu stalowego pochodzący z recyklingu opon samochodowych, pojawia się na krajowym rynku – składowiskach złomu w postaci luźnej, w coraz większej ilości. Jednakże ze względu na obecność na jego powierzchni pozostałości gumy i rozwiniętą powierzchnię stwarza, przy wprowadzaniu do stalowniczego pieca, niebezpieczeństwo występowania silnych płomieni w momencie załadunku do pieca oraz wysokiej temperatury spalin podczas topienia wsadu. Zjawiska te wywołują zagrożenie pożarowe dla otoczenia pieca hutniczego oraz ryzyko zniszczenia filtrów w układzie odpylania spalin.

## 2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem pracy było opracowanie charakterystyki złomu drutu stalowego występującego w drobnej postaci, pochodzącego z recyklingu zużytych opon samochodowych (kruszenie, mielenie itp.) i przystosowanie go do potrzeb bezpiecznego i ekonomicznego zastosowania w procesie wytapiania stali z zamiarem utworzenia nowego gatunku złomu. Zakres pracy obejmował:

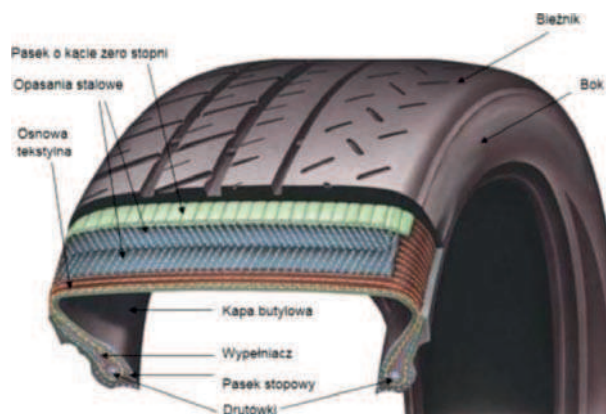
- wykonanie analiz chemicznych złomu drutu kordu opon,
- opracowanie sposobu oznaczania ilości pozostałości gumy na drucie,
- określenie maksymalnej dopuszczalnej ilości gumy na drucie z zużytych opon,
- opracowanie sposobu przygotowania drutu z opon do jego zagęszczenia przez prasowanie,
- przeprowadzenie badań laboratoryjnych z zagęszczania i topienia drutu z opon,
- opracowanie podstawowej charakterystyki materiału spełniającego wymagania stosowania go w postaci złomu w procesach wytapiania stali oraz zaleceń technologicznych do jego optymalnego wykorzystania,
- opracowanie założeń do wprowadzenia tego materiału do normy dotyczącej złomu do pieców hutniczych.

## 3. MATERIAŁ DO BADAŃ

Przy produkcji opon wykorzystuje się wiele komponentów w skład których wchodzi około 30 związków chemicznych, różne rodzaje kauczuków, tkaniny kordowe, sadze, druty stalowe, substancje olejowe. Udział drutu stalowego – kordu w oponie uzależniony jest od zastosowanej technologii wytwarzania – przeznaczenia opony (samochody osobowe, ciężarowe).

Na rysunkach 1 i 2 pokazano schemat budowy opon samochodów osobowych i ciężarowych w których stosuje się kord stalowy (opasanie stalowe, pasek wzmacniający, osłona, drutówka) [5, 6].

Urządzenia wchodzące w skład linii do recyklingu opon dobierane są w zależności od typów przerabianych opon, ich gabarytów, oczekiwanych frakcji wyjściowych, wydajności linii. Pierwszą maszyną linii która przygotowuje opony do procesu recyklingu są hydrauliczne nożyce do opon. Następne urządzenie to obwodowa rozcinararka opon, a wspomagane są one wy-



Rys. 1. Budowa zewnętrzna opony do samochodów osobowych [6]

Fig. 1. External structure of a tyre for passenger cars [6]



Rys. 2. Przekrój przez oponę całostalową do samochodów ciężarowych [5]

Fig. 2. Cross-section through an all-steel tyre for trucks [5]

skubywarkami (usuwa obwodowe stopki z opon samochodów ciężarowych). Tak przygotowane kawałki opon na końcu trafiają do kruszarek, przechodzą przez sита, a następnie do młynów domielających.

Materiał do badań stanowił kord metalowy pochodzący z przedostatniego etapu w procesie recyklingu zużytych opon samochodowych (Rys. 3). Na rysunku 4 przedstawiono złom druciasty pochodzący z ostatniego etapu procesu recyklingu zużytych opon samochodowych [4] – po zabiegu doczyszczania drutów z opon. Linia doczyszczania drutów opon z pozostałości gumy, której głównym elementem jest młyn (GB 500/900 90 kW), pozbawia drut stalowy zanieczyszczeń gumowych i tym samym umożliwia sprzedaż tego cennego produktu recyklingu opon do punktu skupu złomu. W młynie następuje proces mielenia i oddzielenia gumy od stali w bębnowym separatorze. W celu lepszego przygotowania rozdrobnionego kordu stalowego do transportu na składowiska złomu w hucie można wzbogacić linię do doczyszczania drutów o brykietarkę (BP AYMAS) do metali (kordu stalowego). Brykietarka wykonuje brykiety o wymiarach  $\varnothing 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ , co dla kordu daje wagę paczki  $12 \div 15 \text{ kg}$  (zagęszczenie  $1,6 \text{ t/m}^3$ ).

Pozostałość gumy na stalowym kordzie opony nie pozwala na wykorzystanie tego materiału we wsadzie do pieca łukowego głównie z uwagi na powstawanie



Rys. 3. Zanieczyszczony kord metalowy przed etapem końcowym jego recyklingu – „doczyszczanie” drutów

Fig. 3. Contaminated metal cord before the final stage of its recycling – thoroughly cleaning of wires



Rys. 4. Widok drutu po procesie doczyszczania [4]

Fig. 4. View of wire after thoroughly cleaning [4]

dużych i intensywnych płomieni w czasie ładowania wsadu oraz ryzyko uszkodzenia tkaniny filtrów workowych przez żarzące się cząsteczki drutu w strumieniu spalin odciąganych z pieca. Stąd też zachodzi potrzeba określenia dopuszczalnej zawartości gumy w drutach pochodzących z recyklingu zużytych opon.

Tabela 1. Materiały do badań

Table 1. Materials for testing

Lp.	Dostawca	Rodzaj materiału	Postać
1	Celsa HO *	Kord po młynach	Luźna
2	Cronimet PL Sp. z o.o.	Drut drobnocięty HAK	Luźna
3	Firma GRAN-TECH Sp. z o.o.	Drut zanieczyszczony	Luźna
4	Gumitex Sp. z o.o. Toszek	Drut po strzępieniu opon	Luźna
5	Firma SILINGEN Polska Łaziska Górne	Drut w postaci zbrzykietowanej	Brykiet**

\* materiał pochodził z f-my Drapol Poznań

\*\* brykiet o masie 12÷15 kg

**Materiał do badań** pozyskano zarówno bezpośrednio ze stalowni, bądź od dostawców złomu. W tabeli 1 zestawiono rodzaj materiału oraz jego postać.

## 4. METODYKA BADAŃ

### 4.1. OKREŚLENIE ILOŚCI FRAKCJI NIEMETALICZNEJ POZOSTAJĄCEJ NA DRUCIE

Określenie ilości frakcji niemetalicznej pozostającej na drucie stalowym jest warunkiem koniecznym przed jego recyklingiem w piecach łukowych lub konwertorach.

Frakcję niemetaliczną pozostającą na drucie stanowi głównie guma, a niekiedy materiał włókienniczy (kord tekstylny może być wiskozowy, poliamidowy – nylon, poliestrowy – poliester, a nawet z włókna szklanego – fiberglass) i składa się z około 80% węgla [7] oraz reszty w postaci pierwiastków siarki, tlenu, wodoru i cynku.

Do określenia ilości tej frakcji na drucie stosuje się wiele sposobów: czyszczenie ręczne, rozpuszczanie stali w kwasie i odfiltrowanie zawartości frakcji niemetalicznej, obróbka cieplna (spalanie), piknometrię (wyznaczanie gęstości rzeczywistej) i pirolizę [7].

W pracy zastosowano metodę wyznaczania ciężaru właściwego drutu zawierającego pozostałości gumy z zastosowaniem cylindra wypełnionego wodą oraz metodę pirolizy.

#### 4.1.1. Określenie pozostałości niemetalicznej na drucie w oparciu o pomiar gęstości drutu z gumą

Sposób oznaczenia: Cylinder wypełniony wodą do pojemności 1 l ważono. Następnie wkładano do wody ważoną próbkę badanego materiału – drutu o masie 80 g, 120 g, 160 g. Z układu odprowadzono wodę do pojemności 1 l. Cylinder z wodą i zatopioną w nim próbką ponownie ważono. Gęstość drutu z pozostałością niemetaliczną wyliczono z wzoru:

$$d_p = M_w d_w / (M_{cw} + M_p - M_{cwp}) \quad (1)$$

gdzie:

$d_p$  – gęstość drutu z pozostałością niemetaliczną, [g/cm<sup>3</sup>]

$d_w$  – gęstość wody, [g/cm<sup>3</sup>]

$M_p$  – masa próbki drutu z pozostałością niemetaliczną, [g]

$M_{cw}$  – masa cylindra z wodą przed pomiarem gęstości, [g]

$M_{cwp}$  – masa cylindra z wodą do pojemności 1 l i próbką drutu z pozostałością niemetaliczną

$M_w$  – masa wody, [g]

Tabela 2. Wyniki pomiarów gęstości drutu z pozostałością gumy

Table 2. Results of density measurements for wire with rubber residues

Nr drutu	Gęstość drutu z pozostałością gumy, g/cm <sup>3</sup>				Średnia	Zawartość pozostałości niemetalicznej, U <sub>G</sub> , %
	Masa próbki, g					
	80	100	120			
1	5,19	5,22	5,23	5,21	4,3	
2	2,88	3,57	3,72	3,39	7,1	
3	1,79	2,29	2,59	2,22	9,0	

Badania gęstości pozornej przeprowadzono dla trzech rodzajów drutu odznaczającego się luźną postacią: drut nr 1-3 wg tabeli 1. W tabeli 2 zestawiono wyniki pomiarów.

Zawartość pozostałości niemetalicznej na drucie liczono z wzoru:

$$d_p = d_{Fe} U_{Fe} + d_G U_G \quad (2)$$

$$U_G = 1 - U_{Fe} \quad (3)$$

$$\text{stąd: } d_p = d_{Fe} U_{Fe} + d_G (1 - U_{Fe}) \quad (4)$$

gdzie:

$d_p$  – gęstość pomiarowa próbki, g/cm<sup>3</sup>

$d_{Fe}$  – gęstość żelaza = 7,86 g/cm<sup>3</sup>

$d_G$  – gęstość gumy = 1,6 g/cm<sup>3</sup>

$U_{Fe}$  – udział żelaza w drucie

$U_G$  – udział pozostałości niemetalicznej w drucie

Z wzoru (4) otrzymuje się po przekształceniu udział pozostałości niemetalicznej w drucie  $U_G$  w %:

$$U_G [\%] = [1 - (d_p - d_G) / (d_{Fe} - d_G)] \cdot 100 \quad (5)$$

Biorąc pod uwagę, że gęstość nasypowa złomu (drobnego w luźnej postaci) jest około 10-krotnie mniejsza od gęstości żelaza, zawartość pozostałości niemetalicznej na drucie będzie proporcjonalnie mniejsza, czyli:  $U_G$  w % / 10.

$$U_{Grz} = 0,1 U_{G\%} \quad (6)$$

gdzie:

$U_{Grz}$  – rzeczywista zawartość pozostałości niemetalicznej na drucie, [%]

$U_{G\%}$  – udział pozostałości niemetalicznej na drucie, [%]

#### 4.1.2. Określenie ilości frakcji niemetalicznej pozostającej na drucie w oparciu o pirolizę

Badanie polegało na umieszczeniu kilku 20 gramowych próbek drutu w piecu oporowym z atmosferą gazu obojętnego – argonu i wytrzymanie w temperaturze 500÷550°C przez około 30 minut, schładzanie próbek z piecem do poniżej 300°C i dalsze ochłodzenie do temperatury otoczenia oraz zważeniu próbek. Ubytek masy próbki stanowił ilość frakcji niemetalicznej na drucie.

W tabeli 3 zestawiono wyniki badań próbek drutów za pomocą pirolizy.

Z danych przedstawionych w tabeli wynika, że najmniejszą pozostałością niemetaliczną odznacza się

drut nr 1, pozostałe druty są mocno zanieczyszczone, o zbliżonej pozostałości niemetalicznej.

Wyniki te świadczą o dużej skuteczności ostatniego etapu recyklingu doczyszczania drutu w młynach (materiał nr 1).

#### 4.2. OKREŚLENIE SKŁADU CHEMICZNEGO DRUTÓW ZE STRZĘPIENIA OPON SAMOCHODOWYCH ORAZ BADANIA ZACHOWANIA SIĘ DRUTÓW W CZASIE TOPIENIA

Najpewniejszą jak dotąd metodą badania składu chemicznego drutów stalowych pochodzących z recyklingu zużytych opon jest przetapianie ich w piecu elektrycznym, najczęściej indukcyjnym. Metoda polega na zastosowaniu wsadu podstawowego – żelaza armco o znanym składzie chemicznym i przetopieniu go wraz z badanym drutem.

Obliczenia składu chemicznego badanego drutu w oparciu o skład chemiczny metalu oraz wsadu podstawowego i udziale wsadu podstawowego oraz materiału badanego (drutu).

Badania topienia przeprowadzono w piecu indukcyjnym otwartym o pojemności tygla 5 kg (materiały nr 1, 3, 4); w piecu indukcyjnym próżniowym, ale w układzie otwartym, o pojemności tygla 25 kg (materiał nr 5 – brykiety) oraz w piecu indukcyjnym o pojemności tygla 200 g (materiał nr 2).

W tabeli 4 zestawiono analizy chemiczne wsadu i wytopów przeprowadzonych w piecu indukcyjnym o pojemności 5 kg dla materiałów 1, 3, 4.

Z obliczonej analizy chemicznej materiału nr 3 wynika jego duże zanieczyszczenie pozostałościami gumy (duży przyrost zawartości węgla i siarki we wlewk).

W tabeli 5 przedstawiono skład chemiczny metalu po stopieniu w piecu indukcyjnym wysokiej częstotliwości oraz obliczeniowy skład chemiczny materiału nr 2 CRO-NIMET PL. Masa rozdrobnionego żelaza armco do wytopu wynosiła 180 g, masa badanego materiału – 20 g.

Ostatnią próbę topienia przeprowadzono w piecu indukcyjnym próżniowym; wyłożenie tygla spinelowe (MgO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) i pojemność tygla 25 kg. Wsad – brykiety z drutów z recyklingu zużytych opon samochodowych (SILINGEN) – 8,92 kg.

Otrzymano do prób brykiety o wymiarach: średnica – 200 mm, wysokość 180 mm i masie 14,5 kg, rozsz-

Tabela 3. Wyniki badań pozostałości niemetalicznej na drucie za pomocą pirolizy

Table 3. Results of pyrolysis investigations of non-metallic residues on wire

Lp.	Masa próbki po pirolizie, g									Pozostałość niemetaliczna, %	
	1	2	3	4	5	6	7	8	Średnia		
1	19,81	19,74	19,81	19,56	19,88	19,56				19,73	1,37
3	16,57	15,73	18,24	13,61	17,39	16,85				16,43	17,84
4	16,87	15,65	16,41	17,05	17,04	16,71	18,36	17,24	16,92		15,42

Tabela 4. Analizy chemiczne wsadu i wytopowe dla materiałów 1, 3, 4

Table 4. Charge and ladle chemical analyses for materials no. 1, 3, 4

Materiał	Skład chemiczny, %											Uzysk metalu
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Sn	Zn	As	
Fe armco	0,007	0,055	0,018	0,007	0,003	0,028	0,03	0,008	-	-	-	
Wlewek	0,30	0,08	0,033	0,007	0,021	0,055	0,095	0,085	<0,005	0,002	<0,010	76,0 %
Materiał-1	0,64	0,05	0,03	0	0,04	0,06	0,14	0,17	<0,005	0,004	<0,010	
Fe armco	0,03	0,22	0,007	0,009	0,004	0,03	0,02	0,01	-	-	-	
Wlewek	3,12	0,33	0,21	0,012	0,13	0,03	0,14	0,075	<0,005	0,016	<0,010	86,4 %
Materiał-3	3,1*	0,23	0,03	0,006	0,27**	0	0,25	0,12	<0,005	0,03	<0,010	
Fe armco	0,03	0,22	0,007	0,009	0,004	0,03	0,02	0,01	-	-	-	
Wlewek	3,26	0,33	0,18	0,013	0,14	0,03	0,02	0,053	<0,005	0,012	<0,010	84,0 %
Materiał-4	3,23*	0,26	0,41	0,01	0,32**	0	0	0,10	<0,005	0,03	<0,010	

\* zawartość węgla obejmuje węgiel zawarty w drucie i w pozostałości gumy

\*\* zawartość siarki obejmuje siarkę zawartą w drucie i w pozostałości gumy

Tabela 5. Analizy chemiczne wsadu – materiał nr 2 – i wytopu

Table 5. Charge and ladle chemical analyses for material no. 2

Materiał	Skład chemiczny, %											Uzysk metalu
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	W	Zr	
Materiał-2	2,18*	0,34	1,08	0,03	0,108**	0,03	0	0,09	0	0,03	0,01	
Stopiony metal	1,68	0,26	0,83	0,02	0,083	0,02	0	0,07	0	0,02	0,01	77,2 %

\* zawartość węgla obejmuje węgiel zawarty w drucie i w pozostałości gumy

\*\* zawartość siarki obejmuje siarkę zawartą w drucie i w pozostałości gumy

Tabela 6. Skład chemiczny metalu po przetopieniu brykietu SILINGEN (materiał nr 5) i skład chemiczny zbrzykietowanego drutu

Table 6. Chemical composition of metal after remelting of SILINGEN briquette (material no. 5) and chemical composition of briquetted wire

Materiał	Skład chemiczny, %										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	W	Sn
Brykiety SILINGEN	0,84	0,52	0,23	0,01	0,005	0,02	0,03	0,31	<0,01	<0,002	0,002
Metal po przetopieniu	2,26	0,40	0,17	0,015	0,12	0,045	0,02	0,13	-	-	<0,005

czepiono za pomocą piły elektrycznej (cięcie wstępne), a następnie przy użyciu ręcznych narzędzi, uzyskując bryłę o wymiarach nadających się do wprowadzenia go do tygla pieca indukcyjnego.

Topienie rozszczepionego brykietu przebiegało z intensywnym dymieniem, a pod koniec topienia – z udziałem płomienia. Przed odlaniem metalu pobrano próbkę do analizy chemicznej. Z powodu obecności skrzepłego żużla w tyglu nie udało się spuścić ciekłego metalu i został on usunięty z tygla po skrzepnięciu.

Skład chemiczny ciekłego metalu po stopieniu brykiety i skład chemiczny drutu podawany przez producenta brykietów przedstawiono w tabeli 6.

Podobnie jak w wszystkich poprzednich materiałach 2÷4 zanieczyszczonych dużą pozostałością gumy, tak i w tym, występują znaczne ilości węgla, siarki w metalu pochodzące z zanieczyszczeń na drucie, gdyż skład chemiczny gumy opony samochodowej przedstawia się następująco [6]:

C	68,0÷70,0%
Fe	11,0÷12,0%
H	6,0÷6,3%
O	3,3÷3,8%
Si	1,5÷1,9%
Zn	1,3÷1,5%
S	1,0÷1,5%

## 5. Dyskusja wyników badań

Najlepszym ze sposobów mierzenia pozostałości materiału niemetalicznego na drucie jest piroliza przy temperaturze 500°C, w atmosferze argonu. Można za jej pomocą mierzyć w grzewczych piecach laboratoryjnych ogólnie dostępnych w laboratoriach w pobranych próbkach drutów, ilość pozostałości, w celu kontroli zanieczyszczeń niemetalicznych w drutach i jeśli trzeba nie dopuścić do procesu topienia drutów zawierających więcej niż 5% tych zanieczyszczeń (materiał nr 1).

Druty z większą zawartością pozostałości należy odrzucić, albo dopuścić do procesu topienia z zastosowaniem procedury topienia wsadu z udziałem strzępionych zużytych opon samochodowych stosowanych do procesu nawęglania kąpieli stalowniczej [8].

W takich przypadkach materiał ten można zastosować jedynie do wsadu przy zastosowaniu odpowiednich procedur z zachowaniem szczególnych środków ostrożności.

Zbrzykietowane druty z recyklingu zużytych opon samochodowych z pewną ilością pozostałości, o czym świadczy zawartość węgla w metalu po przetopieniu, nadają się również do bezpośredniego stosowania do procesu topienia przy zalecanym ich załadunku do pierwszego kosza wsadowego, ze względu na wykorzystanie ciepła ze spalania pozostałości do nagrzewania wsadu (energia chemiczna).

Zbadane materiały można scharakteryzować pod kątem ich przydatności jako złom do procesu stalowniczego w sposób następujący:

- Materiał nr 1 – złom drucziany czysty w luźnej postaci, nadający się do wsadu, określając go w dodatkowej klasie złomu wsadowego. Może on być stosowany w postaci luźnej, w big – bagach oraz w postaci sprasowanych paczek;
- Materiał nr 2–4 – złom drucziany, w luźnej postaci, z dużą ilością pozostałości gumy, jako złom niewsadowy, z możliwością stosowania go jedynie jako środka nawęglającego z wszelkimi procedurami – rygorami ostrożności;
- Materiał nr 5 – złom drucziany w formie silnie sprasowanych brykietów (średnica 200 mm, wysokość 200 mm, masa około 12÷15 kg), jako złom wsadowy brykiet, z procedurą ostrożności w pierwszym koszku wsadowym do pieca łukowego.

## 6. ZALECENIA PRODUKCYJNE

W związku z pojawieniem się nowych materiałów na rynku złomu zaleca się je uwzględnić w klasyfikacji złomu. W tabelach 7 i 8 przedstawiono charakterystykę złomu zwykłego wg stosowanej w polskich elektrostalowniach klasyfikacji złomu z proponowanym uwzględnieniem nowych materiałów (wytluszczony druk) pochodzących z recyklingu zużytych opon samochodowych a dotyczących złomu druczianego wraz z ich właściwościami fizycznymi i chemicznymi.

Zaleca się również opracowanie normy na złom drucziany pochodzący z recyklingu zużytych opon samochodowych z uwzględnieniem sposobów pomiaru pozostałości gumy na drucie i dopuszczalnej bezpiecznej ilości gumy na złomie drutu z recyklingu opon samochodowych.

Tabela 7. Charakterystyka złomu zwykłego, postać fizyczna  
Table 7. Characteristics of normal scrap, physical form

Nazwa	Rodzaj i postać złomu	Uzysk Fe	Ciężar Nasypowy	Dopuszczalny stopień zanieczyszczeń	Wymiary Max
			t/m <sup>3</sup>	%	mm
HSF-1	Złom niestopowy, wsadowy, kawałkowy, o grubości od 1 mm	0,81	0,5	1	1000×500×500
HSF-2	Złom niestopowy, wsadowy, kawałkowy, o grubości od 4 mm	0,89	0,8	1	1200×500×500
HSF-3G	Złom niestopowy, wsadowy, poamortyzacyjny, kawałkowy, o grubości powyżej 18 mm	0,92	1,0	0,8	1200×500×500
HSF-3K	Złom niestopowy, wsadowy, niebieski, kolejowy, o grubości od 3 mm	0,93	1,0		dł. 1200 □ 1200
HSF-5	Złom strzępiony	0,90	1,0	1	dł. max 200
HSF-6	Wióry stalowe i złom drobny nadający się do ładowania łopatą	0,80	0,4		50÷150
<b>HSF-6RO</b>	Drobny złom drucziany z recyklingu zużytych opon samochodowych	<b>0,80</b>	<b>0,4</b>	<b>do 5% pozostałości gumy</b>	<b>30÷150</b>
HSF-SL	Złom – blachy głębokotłoczne – luzem	0,85	0,7		1200×500×500
HSF-SP	Złom – blachy głębokotłoczne – paczki	0,89	0,8		1000×500×500
HSF-P2	Złom z prasożycy, paczkowany	0,88	0,8	1	1000×500×500
<b>HSF-P2RO</b>	Paczkowany drut z recyklingu zużytych opon samochodowych	<b>0,85</b>	<b>0,7</b>	<b>do 5% pozostałości gumy</b>	<b>1000×500×500</b>
HSF-7	Złom – odpady odlewnicze z hali odlewniczej i COS	0,93	1,5	odejmowany od masy złomu szacunkowo	1000×500×500
HSF-8	Skrzepy stalowe	0,92	1,0	odejmowany od masy złomu szacunkowo	
HSF-N2	Złom niewsadowy, o grubości do 8 mm	0,89	0,7		
HSF-N2RO	Złom niewsadowy drutu z recyklingu zużytych opon samochodowych	<b>0,80</b>	<b>0,4</b>	<b>pozostałość gumy większa niż 5%</b>	<b>30÷150</b>
HSF-N5	Złom niewsadowy, o grubości od 8 mm	0,92	0,8		
HSF-N6	Złom niewsadowy, specjalny, jednorodny (kolejowy, długie szyny itp.)	0,93	0,8		
Surówka	Surówka gąski	0,94	2,0		
SK SUR	Skrzepy surówkowe	0,94	1,5	odejmowany od masy złomu szacunkowo	
Języki Surówkowe	Zachlapy	0,90	1,0	do 10% żużła w postaci związanej	
ZWL	Złom żeliwny	0,95	1,5		1000×500×500
Brykiet Stalowo Żeliwny	Brykiety z wiórów i opiłek stalowych i żeliwnych	0,80	0,8		
<b>Brykiet Stalowo Żeliwny</b>	Brykiety z drutów pochodzących z recyklingu zużytych opon samochodowych	0,90	0,8	do 5% pozostałości gumy	Ø 200 × 200 (14÷16 kg)

Tabela 8. Charakterystyka złomu, średni orientacyjny skład chemiczny

Table 8. Characteristics of scrap, average approximate chemical composition

Nazwa	Rodzaj i postać złomu	Uzysk Fe	Ciężar nasypowy t / m <sup>3</sup>	Średni skład chemiczny, %									
				C	Mn	Si	P	S	Cu	Sn	Mo	Ni	Cr
HSF-1	Złom niestopowy, wsadowy, kawałkowy, o grubości od 1 mm	0,81	0,5	0,20	0,60	0,25	0,025	0,025	0,30	0,020	0,04	0,10	0,10
HSF-2	Złom niestopowy, wsadowy, kawałkowy, o grubości od 4 mm	0,89	0,8	0,20	0,60	0,25	0,025	0,025	0,30	0,020	0,04	0,10	0,10
HSF-3G	Złom niestopowy, wsadowy, poamortyzacyjny, kawałkowy, o grubości powyżej 18 mm	0,92	1,0	0,30	0,60	0,25	0,025	0,025	0,25	0,015	0,05	0,10	0,15
HSF-3K	Złom niestopowy, wsadowy, niebieski, kolejowy, o grubości od 3 mm	0,93	1,0	0,30	0,60	0,25	0,025	0,025	0,30	0,015	0,05	0,10	0,15
HSF-5	Złom strzępiony	0,90	1,0	0,10	0,35	0,10	0,020	0,020	0,20	0,020	0,04	0,10	0,15
HSF-6	Wióry stalowe i złom drobny nadający się do ładowania łopatą	0,80	0,4	0,20	0,50	0,25	0,030	0,020	0,35	0,03	0,10	0,30	0,20
<b>HSF-6RO</b>	<b>Drobny złom druciany z recyklingu zużytych opon samochodowych</b>	<b>0,80</b>	<b>0,4</b>	<b>0,64</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>0,005</b>	<b>0,04</b>	<b>0,17</b>	<b>0,005</b>	<b>0,01</b>	<b>0,14</b>	<b>0,06</b>
HSF-SL	Złom – blachy głębokotłoczne - luzem	0,85	0,7	0,08	0,45	0,10	0,025	0,020	0,12	0,010	0,04	0,10	0,10
HSF-SP	Złom – blachy głębokotłoczne – paczki	0,89	0,8	0,08	0,45	0,10	0,025	0,020	0,12	0,010	0,04	0,10	0,10
HSF-P2	Złom z prasożycy, paczkowany	0,88	0,8	0,20	0,50	0,25	0,030	0,030	0,35	0,03	0,06	0,15	0,15
HSF-P2RO	Paczkowany drut z recyklingu zużytych opon samochodowych			<b>0,62</b>	<b>0,30</b>	<b>0,15</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,3</b>	<b>0,005</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>
HSF-7	Złom – odpady odlewnicze z hali odlewniczej i COS	0,93	1,5	0,20	0,60	0,25	0,025	0,020	0,25	0,02	0,08	0,15	0,15
HSF-8	Skrzepy stalowe	0,92	1,0	0,20	0,25	0,20	0,020	0,040	0,25	0,02	0,10	0,15	0,20
HSF-N2	Złom newsadowy, o grubości do 8 mm	0,89	0,7	0,20	0,60	0,25	0,030	0,025	0,30	0,025	0,06	0,15	0,15
<b>HSF-N2RO</b>	<b>Złom newsadowy drutu z recyklingu zużytych opon samochodowych</b>	<b>0,80</b>	<b>0,4</b>	<b>2,0</b>	<b>0,3</b>	<b>0,8</b>	<b>0,03</b>	<b>0,12</b>	<b>0,09</b>	<b>0,005</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>
HSF-N5	Złom newsadowy, o grubości od 8 mm	0,92	0,8	0,20	0,60	0,25	0,025	0,025	0,30	0,025	0,04	0,10	0,10
HSF-N6	Złom newsadowy, specjalny, jednorodny (kolejowy, długie szyny itp)	0,93	0,8	0,30	0,60	0,25	0,025	0,025	0,30	0,015	0,05	0,10	0,15
Surówka	Surówka gąski	0,94	2,0	4,10	0,50	0,60	0,040	0,020	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
SK SUR	Skrzepy surówkowe	0,94	1,5	4,10	0,80	0,60	0,050	0,030	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Języki Surówkowe	Zachlapy	0,90	1,0	4,10	0,50	0,80	0,040	0,030	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
ZWL	Złom żeliwny	0,95	1,5	2,20	0,50	2,00	0,030	0,030	0,15	0,015	0,04	0,10	0,15
Brykiet Stalowo Żeliwny	Brykiety z wiórów i opiłek stalowych i żeliwnych	0,80	0,8	0,50	0,50	0,50	0,050	0,050	0,35	0,030	0,10	0,15	0,30
Brykiet Stalowo Żeliwny	<b>Brykiety druciane z recyklingu zużytych opon samochodowych</b>	<b>0,90</b>	<b>0,8</b>	<b>0,84</b>	<b>0,52</b>	<b>0,23</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,31</b>	<b>0,005</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>

## 7. WNIOSKI

Bazując na materiałach pochodzących z recyklingu i przeróbki zużytych opon samochodowych oraz wynikach badań ich przydatności jako złomu do procesu wytapiania stali w piecach łukowych i konwertorach, wysnuć można następujące wnioski:

1. Druty dokładnie czyszczone w procesie recyklingu i obróbki zużytych opon samochodowych, z pozostałością frakcji niemetalicznej (gumy) mniejszą niż 5%, można bez problemów stosować we wsadzie do pieców łukowych i konwertorów.
2. Druty z pozostałością niemetaliczną większą niż 5% masy drutów, można stosować jako złom newsado-

wy w ściśle określonych warunkach ładowania go do wsadu i topienia (Patent nr 211387). W celach rozjemczych zaleca się sprawdzać pozostałość niemetaliczną na drutach metodą pirolizy w temperaturze 500°C.

3. W związku z rosnącym udziałem drutu z recyklingu opon na rynku złomu zaleca się wprowadzić badanie postaci drutu do klasyfikacji złomu, w celu zarówno poprawy gospodarki złomem drutu z przeróbki zużytych opon samochodowych w produkcji stali jak i bezpiecznych warunków stosowania drutu w procesie metalurgicznym topienia w piecu łukowym.

## LITERATURA

1. <http://tvn24bis.pl>
2. Pyskło L., Parasiewicz W.: Recykling zużytych opon, Studia i Materiały Monograficzne, IPG Piastów 2007, zeszyt nr 7
3. Kijewski J., Błędzki A. K., Jeziorska R.: Odzysk i recykling materiałów polimerowych, PWN, Warszawa, 2011
4. <http://www.pewni.com>
5. <http://warsztaty.samochodowka.internetdsl.pl>
6. <http://www.oponeo.pl>
7. Husson Tissier B., Russo P., Gros B., Clauzade C.: A new scrap grade for steel industry steel wire recycling from the treatment of end – of – life tires; Revue de Metallurgie 107, 2010, 10, s. 345–351
8. Patent. Polska, nr 211387. Sposób nawęglania kąpielii metalowej