

Przerób i recykling złomu na potrzeby hutnictwa stali

Throughput and recycling of scrap metal for steel industry

mgr Marcin PIETRASIK

Autor jest specjalistą w dziedzinie metod przerobu i recyklingu złomu e-mail: marcinpiet1@wp.pl



W KILKU SŁOWACH

W artykule przedstawiono krótki rys historii metalurgii w Polsce, klasyfikację oraz metody przerobu i recyklingu złomu stalowego na potrzeby hutnictwa stali oraz kryteria jego identyfikacji i oceny.



SUMMARY

The article presents outline of metallurgy history in Poland, classification and methods of steel scrap processing and recycling for steel industry as well as steel scrap identification and evaluation.

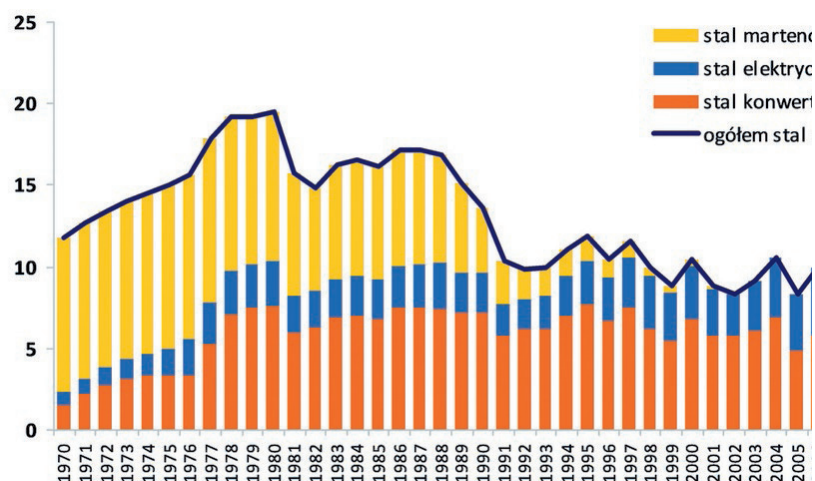
Metalurgia złomu wczoraj i dziś

Metalurgia w Polsce ma długą tradycję. Jej zasadniczy rozwój można podzielić na trzy okresy. Pierwszy przypada na gwałtowny rozwój przemysłu na terenie naszego kraju, którego początek datuje się na XX wiek. Koniec tego etapu związany jest z datą wybuchu II wojny światowej. W okresie 30 lat od 1920 roku średnia roczna produkcja stali surowej w Polsce kształtowała się na poziomie 1,2 mln ton.¹

Kolejny okres rozwoju polskiego przemysłu hutniczego przypada na lata powojenne, kiedy to nastąpił znaczący przyrost produkcji stali. Przełomowe były wielkie inwestycje sektora państwowego. Pierwsza w Krakowie (Nowa Huta 1950 – 1954), która w roku 1978 osiągnęła produkcję 6,5 mln ton stali surowej na rok. Druga to kombinat metalurgiczny w Dąbrowie Górniczej (Huta Katowice 1972 – 1976). Maksymalny poziom produkcji stali 19,5 mln ton osiągnięto w 1980 roku. W okresie tym produkcja stali w Polsce oparta była w ok. 80 % na przestarzałym i mało efektywnym procesie martenowskim. Pozostałe 20 % przypadało na stal wytwa-

rzaną w konwertorach i elektrycznych piecach łukowych. W latach 80-tych XX wieku stopniowo wygaszano piece martenowskie, czego wynikiem był procentowy spadek do poziomu 29 % (w roku 1990) w ogólnej produkcji stali w kraju. Proces ten dokładnie odzwierciedla rys. nr 1. Następnym okresem w polskim hutnictwie związany jest ze zmianami ustrojowymi i zapoczątkowaną wkrótce restrukturyzacją polskiego przemysłu, w tym metalurgii. Hutnictwo polskie na początku transformacji stanęło przed koniecznością reform. Działające dwadzieścia sześć zakładów hutniczych z mocą produkcyjną ok. 20 mln. ton stali rocznie znacznie przekraczało zapotrzebowanie rynku krajowego. Bardzo istotnymi problemami były również: przestarzała technologia, wysokie zużycie energii, niska produktywność, przerost zatrudnienia, a także szkodliwe oddziaływanie na środowisko.

Mimo wysokich kosztów inwestycyjnych, które w znacznej części poniosły same przedsiębiorstwa, przebudowa - w opinii większości ekonomistów - zakończyła się sukcesem. Polskie



Rys.1 Struktura produkcji stali surowej w Polsce wg procesów w latach 1970-2013 [mln ton]¹

hutnictwo stało się nowoczesną gałęzią zdolną konkurować na rynkach międzynarodowych. Obecnie sektor w stu procentach jest własnością kapitału prywatnego. Zdolność produkcyjna polskiego przemysłu hutniczego wynosi ponad 12 mln ton stali rocznie przy produkcji rocznej powyżej 10 mln/rok. Zmiany technologiczne w hutach spowodowały wzrost efektywności energetycznej i produktywności, a także obniżyły szkodliwe emisje dla środowiska. Wszystko to związane jest ze zmianą struktury produkcji stali. Wzrósł udział wtórnego procesu, w piecu elektrycznym - w pierwszej dekadzie XXI w. z 15 %, do około 50 % całkowitej produkcji krajowej stali.² Obecnie w Polsce i na świecie dominują dwa sposoby wytwarzania stali.

Pierwszy jest stosowany w hutach zintegrowanych (o pełnym cyklu produkcyjnym).

Surówka żelaza w takich hutach jest wytwarzana w wielkich piecach i przerabiana na stal w konwertorach tlenowych z dodatkiem złomu stalowego. Według drugiej metody stal jest wytwarzana ze złomu stalowego w procesie elektrycznym w stalowniach wyposażonych w piece łukowe, jak i indukcyjne. Piece łukowe stosuje się również w dużych odlewniach staliwa, ogólnie jednak odlewnictwo staliwa korzysta w coraz większym stopniu z pieców indukcyjnych. Piece łukowe nadają się do stosowania we wsadzie taniego złomu, można w nich bowiem prowadzić procesy rafinacji. Z uwagi na możliwość nawęglania kąpeli węglem z elektrod nie można w nich wytapiać stali niskowęglowych (poniżej 0,03% C). W piecach

indukcyjnych nie można prowadzić procesów rafinujących, w związku z czym należy poświęcić szczególną uwagę starannemu doborowi wsadu. Można w nich jednak wytapiać dowolny rodzaj stali. Do krótkotrwałego przetrzymywania, transportu i obróbki metalu w stanie ciekłym służą kadzie.

Metoda oparta na produkcji ze złomu wykazuje tendencje wzrostowe. W 2013 roku w Unii Europejskiej wyprodukowano 165,8 mln ton stali, zużywając do tego 89,9 mln ton złomu, co stanowiło 54 %. W Polsce odsetek ten był jeszcze większy - przy produkcji stali na poziomie 7,9 mln ton zużyto 5 mln ton złomu, co stanowi 63,3 %.³

Większość zakładów metalurgicznych zlokalizowana jest na Górnym Śląsku oraz w jego sąsiedztwie. Ośrodkami hutnictwa są: Dąbrowa Górnicza, Sosnowiec, Świętochłowice, Chorzów, Gliwice, Siemianowice Śląskie, Łaziska Górne, Ruda Śląska, Zabrze, Kraków, Bochnia, Częstochowa, Zawiercie oraz Ozimek i Zawadzkie nad Małą Panwią. Ponadto ważnymi ośrodkami przemysłu metalurgicznego są Warszawa i Stalowa Wola.

Dla części z nich określenie huta ma znaczenie wyłącznie historyczne, gdyż współcześnie są to przedsiębiorstwa przetwórstwa hutniczego specjalizujące się w produkcji rur stalowych (Huta Batory – Chorzów, WRJ Serwis-d. Huta Jedność – Siemianowice Śląskie, Walcownia Rur Andrzej-d. Huta Andrzej – Zawadzkie), blach transformatorowych i ochronnych barier drogowych (Stalprodukt – d. wydziały produkcyjne huty w Krakowie – Bochnia), akcesoriów kolejowych i górniczych (Huta Królewska – Cho-

rzów), obręczy kolejowych i tramwajowych do zestawów kołowych (Huta Bankowa – Dąbrowa Górnicza) oraz obudów chodników i akcesoriów górniczych (Huta Łabędy – Gliwice).⁴

Z hutnictwem nierozdzielnie łączy się przemysł odzysku i recyklingu złomu. Oba sektory są obecnie silnie powiązane i w wielu przypadkach zespolone w jeden organizm technologiczno-finansowy. Przykładem ciekawego zespolecia jest koncern metalurgiczny CMCP, który przejął zakłady skupu i przerobu złomu tworząc własną sieć zaopatrzeniową (np. CMCP – Scrapena i Centrozłom Katowice z oddziałami). Ponadto koncern wybudował na terenie byłej Huty Zawiercie nowoczesną i jedną z największych na świecie instalację do przerobu złomu – strzępiarzę. Jest to przykład coraz silniejszego wzajemnego oddziaływania branży metalurgicznej i recyklingu stali.

Polskie hutnictwo mimo ogromnego postępu wciąż czeka wiele wyzwań jakimi są m. in. redukcja emisji CO₂, koszty energii, czy nieuczciwa konkurencja w handlu wyrobami. Niewątpliwie

dużą szansą dla rozwoju branży jest bum inwestycji budowlanych, który za sprawą ogromnych funduszy europejskich i zwiększonych zamówień pozwolił hutom w Polsce na wzrost finansowy. Potwierdzają to wskaźniki, w 2014 zużycie stali w Polsce sięgnęło 12,2 mln ton, co oznacza wzrost o 17 % rok do roku. Do lipca br. (2015) produkcja osiągnęła 5,8 mln ton co jest wzrostem o 16,9 %.⁵

Definicja, obowiązujące normy i przepisy prawne.

Definiując zapis „złom”, należy odnieść się do opisu klasyfikacji statystycznej i celowości oraz wykładni historycznej, zgodnie z którymi przez „złom” należy rozumieć złom metali, w tym złom stalowy (wsadowy i newsadowy), żeliwny i metali nieżelaznych (aluminium, cynk, miedź, ołów, płyty offsetowe, puszka aluminiowa), stopów metali nieżelaznych (brąz, mosiądz, żal, nikiel). Jednocześnie zgodnie

BUDOWA I REMONTY PIECÓW PRZEMYSŁOWYCH

Serdecznie zapraszamy do współpracy!



*Mamy ogień
pod kontrolą, ...*

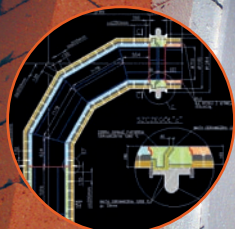
www.refraserwis.com.pl

Refraserwis Sp. z o.o. w Dąbrowie Górniczej jest firmą ze 100% kapitałem polskim oferującą szeroki zakres usług z branży ogniowtrwałego budownictwa przemysłowego.

Oferta firmy obejmuje:

- Budowę i remonty ogniowtrwałe instalacji przemysłowych
- Projektowanie wyłożeń ogniowtrwałych
- Wyrzewanie obiektów przemysłowych
- Dobór oraz sprzedaż materiałów ogniowtrwałych
- Produkcję ogniowtrwałych prefabrykatów betonowych
- Projektowanie i wytwarzanie konstrukcji stalowych pieców

Jesteśmy obecni niemalże w każdej branży przemysłu, a w oparciu o nasze doświadczenie oraz Know-how oferujemy różne rozwiązania od projektu aż po serwis...



REFRASERWIS Sp. z o.o., ul. Kostury 1, 42 – 520 Dąbrowa Górnicza, tel.: +48 32 639 06 62, fax: +48 32 639 06 65, e-mail: biuro@refraserwis.com.pl

z definicją zawartą w Słowniku języka polskiego PWN złom stanowią niepotrzebne, zużyte przedmioty metalowe, pojazdy, maszyny lub odpady poprodukcyjne zbierane jako surowiec wtórny.⁶

W metalurgii pod pojęciem złomu rozumie się przedmioty metalowe przeznaczone do wykorzystania w procesie recyklingu poprzez ich ponowne przetopienie. Do złomu należą m.in. metalowe odpady produkcyjne, wyroby metalowe nie nadające się do naprawy, elementy konstrukcji pochodzące z rozbiórki, odpady komunalne z metalu, wyeksploatowane samochody (pozbawione elementów niemetalicznych, tzn. tapicerki, uszczelki, płynów, itd.), maszyny, urządzenia i ich części, konstrukcje stalowe uszkodzone mechanicznie, skorodowane, bądź nienadające się do dalszej, bezpiecznej eksploatacji, wycofany z użytku tabor kolejowy oraz wyeksploatowana trakcja (szyny), sprzęt wojskowy, statki i okręty itp. Wymienione grupy złomowe nie wyczerpują jednak listy materiałów - zgodnie z definicją zawartą w „Słowniku języka polskiego złom stanowią [...] także odpady produkcyjne w hutach, przeznaczone do przetopienia jako surowiec wtórny”. W takim znaczeniu w złomie mieszczą się skrzepy itp. odpady z procesu metalurgicznego, a także zendra (zgorzelina), tj. warstwa tlenków metali powstająca na powierzchni nagranych, odpadających podczas kucia i walcowania łusek - jest traktowana jako odpad zawierający metal, nadający się do przetopienia jako surowiec wtórny. Brak prawnego uściślenia zapisów jest największą bolączką w kwestiach podatkowych, co komplikuje i jednocześnie pozwala na swobodną interpretację.

Złom podlega prawnym wymogom i regulacjom w ramach Unii Europejskiej. Rozporządzenie Rady Europy nr 333/2011 z dnia 31 marca 2011 r. ustanawia kryteria określające, kiedy dany rodzaj złomu przestaje być odpadem, dyrektywa 2008/98/WE Parlamentu Europejskiego i Rady definiuje to następująco:

Złom jako odpad jest objęty obowiązkiem ewidencjonowania, gdzie jest odpowiednio opisany i skatalogowany - Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów. Katalog odpadów dzieli odpady w zależności od źródła ich powstawania na 20 grup.

Podstawowa grupa odpadów, która odnosi się do złomu stalowego to 17 04 05 (kod odpadu)

oraz grupa 12 01 tj. odpady z kształtowania oraz fizycznej i mechanicznej obróbki powierzchni metali i tworzyw sztucznych.

Oczywiście podane wyżej kody nie wyczerpują całego zakresu odpadów zawierających złom stalowy w miarę rozwoju recyklingu i możliwości technologicznych zakłady przerobu złomu przetwarzają coraz bardziej złożone materiały, gdzie złom metali jest tylko jedną z wielu pozytywnych grup odpadów (grupa 16 01 - zużyte lub nie nadające się do użytkowania pojazdy i maszyny pozadrogowe, odpady z demontażu, przeglądu i konserwacji pojazdów; grupa 16 02 - odpady urządzeń elektrycznych i elektronicznych; grupa 15 01 - opakowania z metali włącznie z selektywnie gromadzonymi komunalnymi odpadami opakowaniowymi).

Na potrzeby metalurgii złomu branża przerobu i recyklingu stosuje własne definicje określające wymogi w doborze materiału na surowiec. Muszą one spełniać techniczne wymogi ostatecznego odbiorcy - zakładu hutniczego. Podstawowym wyznacznikiem jest tu norma PN-85/H-15000 dla złomu stalowego lub PN-62/H-15100 dla złomu żeliwnego. Definicje dotyczące złomu stalowego obejmują:

- Złom stalowy - odpady stalowe własne, poprodukcyjne, poamortyzacyjne poddane procesowi przerobu technicznego polegającego na wydzieleniu z całości odpadów tylko tej części, która spełnia wymagania określone przez specyfikacje techniczne odpowiednich klas złomu w odniesieniu do pożądanej zawartości pierwiastków towarzyszących.
- Złom stalowy niestopowy - jest to złom stali nie zawierającej dodatków stopowych lub zawierające je w ilościach mniejszych od podanych wartości: V - 0,10%, Si - 0,60%, Mn - 1,65%, Cr - 0,30%, W - 0,30%, Mo - 0,10%, Co - 0,30%, Ni - 0,30%, Cu - 0,40%.
- Złom poamortyzacyjny - stanowią zużyte i zniszczone lub zużyte wszystkiego rodzaju wyroby, które utraciły wartość użytkową i nadają się jedynie do przerobu metalurgicznego. Zaliczane są tu wszelkiego rodzaju maszyny i urządzenia oraz ich części pochodzące ze wszystkich działów i branż gospodarczych.
- Odpady produkcyjne - stanowią wszelkiego rodzaju odpady powstające w procesie wytwarzania stali oraz jej przeróbki plastycznej

Rodzaj i klasa wg. PN-85/H-15000	Postać	Wymiary maks. [mm]	Zanieczyszczenia [proc.]	Nazwa potoczna
W1	Złom kawałkowy z przeróbki plastycznej, grubość ścianki > 6 mm	1000x500x500	niemetal. < 2	średni
W2	Złom kawałkowy poamortyz. (taśmy, druty, pręty) grubość ścianki > 4 mm	1000x500x500	niemetal. < 2	lekki
W3	Złom kawałkowy bez wiórów i innych odcinków grubość ścianki > 8 mm	300x300x200	niemetal. < 1,5	ciężki
W4	Złom kawałkowy jednolity grubość ścianki > 10 mm	300x300x200	niemetal. < 1	niebieski gruby
W5	Złom kawałkowy jednolity grubość ścianki > 10 mm	1000x500x500	brak	niebieski gruby
W6	Złom kawałkowy bez wiórów i innych odcinków grubość ścianki > 6 mm	500x300x200	niemetal. < 1,5	średni
W7	Złom kawałkowy bez drutów grubość ścianki > 7 mm	1000x500x500	niemetal. < 1,5	średni
W8	Złom kawałkowy krótko cięty z odcinkami rur	1000x500x500	niemetal. < 1,5	prasonożyca, prasa
W9	Paczki mechanicznie prasowane z blach, taśm itp.	2000x1000x800	niemetal. < 3	paczki
W10	Paczki mechanicznie prasowane z blach, taśm itp.	600x500x300	niemetal. < 2	paczki
W11	Paczki mechanicznie prasowane z blach, taśm itp.	1500x800x800	niemetal. < 3	paczki
W12	Brykiety z wiórów	-	niemetal. < 3	brykiety
W13	Wióry luzem i złom drobny	dł. < 150	niemetal. < 3	wióry
W14	Odpady powstające z hali odlewniczej nie wymagające przerobu	1200x250x250	niemetal. < 5	skrzepy
W15	Skrzepy stalowe przerobione mechanicznie	< 800	żużel < 10	skrzepy
W16	Złom wielkopieczowy obejmujący kawałki i wióry	150x150x150	niemetal. < 1,5	wielkopieczowy
W17	Liny stalowe	różne	niemetal < 3	liny
Złom strzępiony	Złom postrzępiony	< 200	brak	strzępy

Tabela nr 1. Złom wsadowy niestopowy

i obróbki mechanicznej, nadające się do powtórnego przerobu metalurgicznego.

- Złom niebieski – stanowią nieskorodowane wsadowe odpady produkcyjne z przeróbki plastycznej.
- Złom wsadowy – jest to złom przygotowany tak, aby jego postać, wymiary, masa (waga), skład chemiczny oraz dopuszczalne zanieczyszczenia umożliwiały ekonomiczne i bezpieczne wykorzystanie go jako wsadu w piecach służących do wytapiania stali (niektóre normy określają maksymalną masę jednego kawałka złomu na 300 kg).
- Złom obiegowy (złom własny) – to odpady i wybraki powstające w różnych fazach produkcji hutniczej i odlewniczej.
- Złom newsadowy – jest to złom, który przed wykorzystaniem użytkownika wymaga przerobu mechanicznego lub ręcznego dla uzyskania potrzebnych wymiarów i masy (wagi) oraz usunięcia zanieczyszczeń metalicznych i niemetalicznych do granic dopuszczalnych normą, a w przypadku złomu stalowego wymaga również przesortowania na grupy złomowe lub gatunki stali.⁷

Po sprywatyzowaniu przemysłu metalurgicznego w Polsce stosowane są, zakładowe normy branżowe, które są modyfikacjami normy polskiej i europejskiej przedstawione w tabeli nr 1. Normy stosowane w dużych zakładach metalurgicznych mimo pewnych różnic w oznaczeniach na poziomie wymogów nie odbiegają od siebie znacząco. Pewne zmiany są odzwierciedleniem przemian, jakie zaszły na rynku złomu w ciągu ostatnich 30 lat. Globalizacja przemysłu metalurgicznego i pozyskiwania złomu, oraz skupienie go w międzynarodowych korporacjach skutkowało tym, że normy branżowe w dużo większym stopniu odwołują się do kategorii europejskiej – obowiązującej w UE.

Metody przerobu złomu stalowego

Zastosowanie metody przerobu uzależnione jest od wielu czynników i uwarunkowań. Można wśród nich wymienić: dostęp i możliwości technologiczne, uwarunkowania środowiskowe, opłacalność (stosunek nakładu sił, środków i energii do rezultatu końcowego), zapotrzebowanie rynku, możliwości odzysku i recyklingu,

eliminacja zanieczyszczeń, wymogi i normy techniczne, możliwości logistyczne itp. Najbardziej ogólnie metody przerobu złomu można podzielić na:

- metody rozdrabniające, jak cięcie gazowe, mechaniczne, hydrauliczne, kruszenie, płatkowanie, proszkowanie, przerób kafarowy i strzałowy, strzępienie, łamanie,
- metody scalające, jak paczkowanie, brykietowanie, ubijanie, prasowanie itp.⁸
- Inny ogólny podział rozróżnia metody:
 - niemechaniczne
 - mechaniczne
 - specjalne⁹

1 Metody niemechaniczne.

Pod pojęciem „niemechaniczne” kryje się wysort ręczny – najstarsza i najpopularniejsza metoda wstępnej segregacji w skupach złomu i mniejszych zakładach przerobu i recyklingu. Jej podstawową zaletą jest prostota i duża skuteczność. Polega ona na usuwaniu zanieczyszczeń metalicznych, niemetalicznych, materiałów niebezpiecznych i wybuchowych, ponadto na metodzie tej opiera się wstępna segregacja asortymentowa, tj. wymiarowa i wagowa. Usuwanie zanieczyszczeń dokonywane jest ręcznie np. gruz czy beton, bądź przy pomocy młota pneumatycznego. Podczas wstępnej segregacji wybierane są przedmioty użyteczne mogące znaleźć zastosowanie (odsprzedane zainteresowanym nabywcom) oraz dokonywany jest podział na grupy jakościowo-gatunkowe (stal stopowa, metale kolorowe, żeliwo, elementy zespolone).

Do metod niemechanicznych zalicza się cięcie termiczne (tzw. palenie). Metoda ta jest jedną z podstawowych stosowanych do przerobu złomu ciężkiego i wielkogabarytowego. W zależności od przerabianego materiału rozróżniamy:

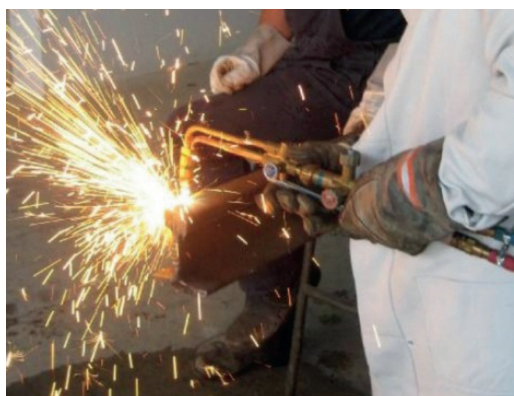
- cięcie tlenowe (stosowane do cięcia stali stopowych i niestopowych do grubości 600 mm),- cięcie tlenowo-proszkowe (stal wysokostopowa o grubości do 300 mm),
- cięcie lancą tlenową (dowolne metale i stopy do grubości 1000 mm) - cięcie lancą tlenowo-proszkową (stosowane j.w.),- cięcie plazmowe (dowolne metale i stopy do grubości 200 mm),

Rodzaj i klasa wg. PN-85/H-15000	Postać	Wymiary maks. [mm]	Zanieczyszczenia [proc.]	Nazwa potoczna
N1	Blachy, rury, taśmy i inne	2000x1200x1000	niemetal. I inne < 2	lekki
N2	Blachy, rury, taśmy i inne	2000x1200x100	niemetal. I inne < 2	średni
N4	Wióry długie i skłębione	-	< 2	wióry
N5	Konstrukcje, profile, rury do cięcia	5000x700x700	< 1,5	ciężki
N6	Szyny	-	< 1	szyny
N7	Złom wielkogabarytowy	-	< 2	ciężki
N10	Niesort.		do oceny	lekki

Tabela nr 2 Złom stalowy newsadowy

- cięcie elektro-powietrzne ((dowolne metale i stopy do grubości 80 mm).⁹

Metoda cięcia termicznego jest szeroko stosowana w przypadku materiałów wielkogabarytowych i wielkoprzekrojowych (elementy konstrukcji, wlewki itp.), które nie mogą być przerobione w inny, bardziej ekonomiczny sposób. Niewątpliwą wadą przerobu gazowego są ubytki w przepalonym materiale oraz zagrożenie pożarowe.



Rys. nr 1 . cięcie termiczne złomu (szyny kolejowe i konstrukcje)



- INDUSTRIAL GAS FURNACES AND BURNERS,
- POURING AND BOTTOM POURING LADLE PREHEATING UNITS
- INCINERATORS AND THERMAL OXIDIZERS.

APGAZ Co. Ltd.,
INDUSTRIAL GAS TECHNOLOGIES
62-002 Suchy Las, ul. Sprzeczna 27 Poland
apgaz@apgaz.pl, +48 61 8720056

www.apgaz.pl

PIECOBUD



Przedsiębiorstwo PIECOBUD z siedzibą w Płocku od 25 lat świadczy szeroki wachlarz usług zarówno w zakresie inwestycji jak i remontów branży budownictwa ogniotrwałego oraz izolacji termicznych pieców i kotłów przemysłowych w każdej gałęzi przemysłu na terenie całego kraju oraz poza jego granicami.

PIECOBUD oferuje:

- ✦ Projektowanie,
- ✦ Dobór oraz dostawę niezbędnych materiałów
- ✦ Wykonawstwo,
- ✦ Nadzór nad realizacją projektu,
- ✦ Wygrzewanie,
- ✦ Prace serwisowe.

PIECOBUD to:

- ✦ Solidne partnerstwo,
- ✦ Dyspozycyjność,
- ✦ Dbalność o bezpieczeństwo,
- ✦ Jakość,
- ✦ Najwyższej klasy specjaliści.

Zapraszamy do współpracy!



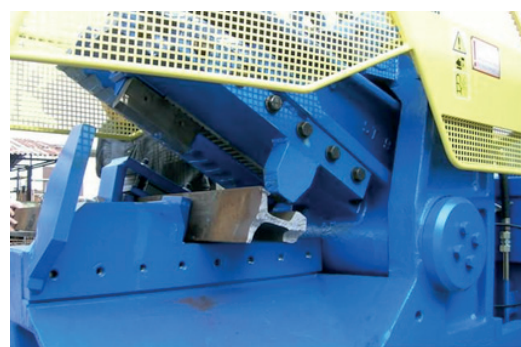
PIECOBUD
09-411 Płock, ul. Zglenickiego 52 c

www.piecobud.com
e-mail: info@piecobud.com
tel. 24 366 04 40

Szybki postęp technologiczny sprawił, że przepalanie gazowe złomu zostało mocno ograniczone ze względu na niską wydajność oraz nakład ekonomiczny tego procesu w stosunku do możliwości metod zmechanizowanych.

2 Metody mechaniczne.

Najstarszą metodą przerobu mechanicznego są nożyce mechaniczne szeroko stosowane w zakładach przemysłowych produkujących wyroby metalowe, w warsztatach ślusarskich oraz złomowiskach. Ich podstawową zaletą jest prosta budowa i obsługa. Charakteryzuje je długość noża oraz moc (kW), podawanie złomu odbywa się zazwyczaj ręcznie. Ze względu na budowę rozróżniamy nożyce gilotynowe i aligatorowe.

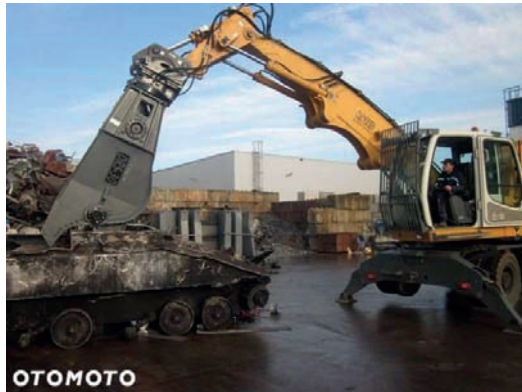


Rys. nr 2 i 3. nożyce gilotynowe mechaniczne typu Zręb stosowane do cięcia prętów, płaskowników i drutu / . nożyce hydrauliczne aligatorowe typu Kajman do cięcia metalu (po zamontowaniu dodatkowego osprzętu możliwość łamania szyn kolejowych)

Obecnie metoda mechaniczna została prawie całkowicie zastąpiona przez rozwiązania hydrauliczne. Podstawową przewagą metody przerobu hydraulicznego jest znacznie większa wydajność i możliwość przerobu (w porównaniu do nożyc mechanicznych mają one znacznie większe siły cięcia). Nożyce hydrauliczne służą do cięcia złomu ciężkiego (dźwigary, rury, profile) i złomu



przestrzennego. Zastosowanie mobilnych dźwignów z zamontowanymi nożami spowodowało, że mogą one pociąć nawet złom wybitnie przestrzenny, którego gabaryty ograniczały dotąd możliwość przerobu do przepalenia gazowego.



Rys. nr 4 i 5. Nożyce do cięcia złomu oraz prac wyburzeniowych firmy Kinshofer i Genesis (oprzyrządowanie doczepiane do dźwign

Dodatkową zaletą przerobu mechanicznego nożycami mechanicznymi i hydraulicznymi, oprócz rozdrabniania złomu do wymaganych rozmiarów / masy nasypowej, jest oddzielanie zanieczyszczeń, które kruszone siłą cięcia i zgniatania odpadają od złomu (beton, gruz, powłoki lakiernicze, drewno, ceramika itp.)

Oprócz urządzeń stacjonarnych na rynku dostępne są nożyce półmobilne i mobilne-kontenerowe. Wykonane jako kontener umożliwiają łatwe przemieszczanie, dzięki niezależność od energii elektrycznej (silnik wysokoprężny), mogą one pracować zarówno w punktach skupu jak i bezpośrednio w miejscach występowania złomu. Ulepszeniem nożycy z ukierunkowaniem na zagęszczenie masy złomu jest prasonożyca. Cykl pracy tego urządzenia składa się z dwóch faz. W pierwszej złom przestrzenny (do grubości 150 mm) załadowany jest do skrzyni zasypowej, gdzie jest zgniatany i odpowiednio formowany i następnie przemieszczony do skrzyni prasowniczej i dalej za pomocą tłoka przesuwany pod noże, które (faza druga) przecinają pakiety złomu na odpowiednie wymiary.



Rys. nr 6 i 7. Półmobilne nożyce kontenerowe CNS 400 firmy Żdas (przystosowane do transportu samochodowego na ciągniku wyposażonym w urządzenie samowyladowawcze) / Mobilne prasonożyce do złomu Lefort 800 T

Obecnie na rynku krajowym dostępne są różne typy i modele prasonożyc o różnych wydajnościach (ok. 50 t/h), w tym wersje mobilne. Mimo to wciąż dużą popularnością cieszą się urządzenia używane często z początku lat 80-tych XX wieku, najczęściej sprowadzane z zagranicy. Do najpopularniejszych należą prasonożyce firmy Lindemann KG, M. Becker, Żdas, Lefort, Taurus, Colmar, Henschel.

Wraz z rozwojem technologii przerobu złomu i świadomością potrzeby zwiększenia recyklingu metali powiększyła się oferta urządzeń do przerobu i recyklingu. Niektóre z nich, jak nowoczesne strzępiarki złomu, obejmują bardziej kompleksowy odzysk, gdzie z wielomateriałowego strumienia wydzielane są poszczególne frakcje metali. W sytuacji gdy mamy do czynienia ze złomem po głębokim demontażu na stacji, karoseria może być przerobiona w specjalnej rozdrabniarce. Stosunkowa prosta konstrukcja i obsługa pozwala przerobić m.in.: karoserie samochodów, lodówki, pralki, sprzęt gospodarstwa domowego, bębny, kotły, blachy itp. Rozdrabnianie odbywa się na zasadzie dwóch wałów, które napędzane są przez osobne silniki (czasami dwa na jeden wał), uzbrojonych w





Rys. nr 8 i 9. Prasonożycza stacjonarna firmy Becker (rok produkcji 1980) / firmy Henschel (nacisk na nóż tnący 1000 ton).

wymienne zęby. Wydajność zawiera się w przedziale od 15 do 40 t/h.¹⁰ Rozdrabniarki dzielimy ze względu na parametry robocze lub rodzaj materiału do obróbki. Dokonuje się również podziału ze względu na obroty wirnika roboczego na szybkoobrotowe i wolnoobrotowe. Do tych pierwszych zalicza się kruszarki udarowe, kruszarko-szarparki, młyny młotkowe, młyny łańcuchowe, oraz złomokruszarki – shreddery. Do wolnoobrotowych należą: młyny krajarki, krajarki wirnikowe, młyny wirnikowe i kulowe, młyny kaskadowe, młyny walcowe, rozdrabniarki ślimakowe oraz pulweryzatory.¹¹

Część z wymienionych urządzeń służy do rozdrobnienia różnych materiałów. Nie wszystkie z nich służą do przerobu złomu, ale mogą być instalowane jako uzupełnienie procesu recyklingu w przypadku frakcji wielomateriałowej. Na rynku dostępne są również urządzenia dedykowane do wstępnego przerobu masy zagęszczonej np. zaprasowanego złomu lekkiego, samochodowego, AGD itp., które mogą spowodować problemy w docelowym procesie przerobu na strzępiarce (silnie zaprasowane paczki, materiały wybuchowe, zbiorniki LPG). Urządzenie takie może być stosowane np. do kontroli jakości złomu w przypadku podejrzenia, że jest zaniżona.¹²



Rys. nr 10 i 11. Rozdrabniacz stacjonarny do metalu TF500 firmy Francoi/r Strzępiarka do puszek stalowych



Rys. nr 12 i 13. Rozdrabniacz dwuwalcowy do metalu FX firmy Forrec srl / Widok komory zasypowej pre- rozdrabniacz (pre-shredder) do rozdrabniania złomu metali firmy Morita

Do przerobu i zagęszczenia złomu lekkiego i średniego stosuje się paczkarki.

W nowoczesnych paczkarkach stopień kompresji (zgniotu) jest regulowany (np. trójstopniowy – 1 kompresja = 100 t, 2 kompresja = 150 t, 3 kompresja = 190 t).

Obecnie tak jak w przypadku innych urządzeń do przerobu złomu na rynku dostępna jest szeroka gama paczkarek o różnych parametrach i siłach zgniotu w tym urządzenia mobilne. W zakładach przerobu wciąż jednak spotyka się urząd-



Rys. nr 14 i 15. Paczkarka do złomu Imabe Iberica / urządzenie do zgniotu karoserii samochodowych (po procesie karoseria jest spłaszczona co ułatwia transport i zagęszcza masę nasypową).

dzenia z końca XX wieku, są to paczkarki firmy Lindemann (duże agregaty do złomu ciężkiego typu SAD i do złomu z blach cienkich typu SAS), Żdas (CPA) oraz Bronnberg (MBH i MBM). Najcięższe i największe paczkarki, które funkcjonowały w zakładach przerobu złomu w Polsce to agregaty produkcji radzieckiej B-101 wyprodukowane w Nowosybirsku. Była ona przeznaczona do paczkowania złomu o grubości przekraczającej 10 mm w wielkowymiarowe paczki (0,7x1,0x2,0 m) o ciężarze 3,0 ÷ 3,5 Mg i dedykowana do procesu martenowskiego.¹³ Do paczkowania nadają się cienkościenne i średniościenne odpady stalowe o własnościach plastycznych. Wymiary złomu przeznaczonego do paczkowania nie powinny być większe od komory prasowania paczkarki. Złom o własnościach sprężystych np. wióry stalowe, blachy sprężynowe, druty, liny itp. mogą być, również poddane paczkowaniu po warunkiem zmieszania ze złodem o właściwościach plastycznych (stanowiącym przynajmniej 30% masy złomu).¹⁴ Kolejną coraz bardziej rozpowszechnioną i zaawansowaną metodą przerobu złomu jest strzępienie. Zadaniem strzępiarki jest ostateczne rozdzielanie wszyst-

kich frakcji tworzących dane urządzenie np. pojazd, pralkę czy maszyny rolnicze itp. Złom z procesu strzępienia dzięki oczyszczeniu i dużemu zagęszczeniu jest pożądanym surowcem w procesie metalurgii stali. Postęp technologiczny i świadomość ogromnej ilości surowców, które są przetwarzane, a nie odzyskiwane spowodował, że strzępiarka z prostego urządzenia rozdrabniającego stała się zaawansowaną i zintegrowaną linią do rozdrabniania i separacji poszczególnych frakcji materiałowych związanych ze złodem. Dzięki nowoczesnym technologiom separacji i wydzielania poszczególnych frakcji, odzysk metali stał się bardzo wydajny.¹³

Dodatkowym czynnikiem, który sprzyja rozwojowi tej technologii – zwłaszcza w warunkach krajowych – jest specyfika struktury parku samochodowego. Obecnie pojazdy starsze niż 10-letnie stanowią ponad 70 % ogółu samochodów na polskich drogach. Przeciętny wiek samochodu w Polsce to 15,5 roku, podczas gdy w innych krajach UE jest to 8 lat.¹⁵ Duża ilość pojazdów z tendencją do szybkiego starzenia się to gwarancja, że strzępiarkom nie zabraknie pracy w najbliższych latach. Pierwsze strzępiarki zwane też młynami młotkowymi powstały w USA. Technologia amerykańska znalazła zastosowanie m.in. w byłej Hucie Zawiercie, której obecnie właścicielem jest amerykański koncern metalurgiczny CMC. Oprócz Zawiercia urządzenia takie są zlokalizowane m.in. w Swarzędzu i Oławie. W urządzeniach Shreddera (w Polsce określanych mianem strzępiarek) przerób odbywa się na zasadzie młyna młotkowego, który rozdrabnia złom w postaci wraków samochodowych, sprzętu gospodarstwa domowego, złomu ogólnego (średni złom do przerobu). Rozdrobnienie następuje wskutek działania wahadłowego zawieszonoego na obracającym się wirniku organu udarowego (młot lub pierścień udarowy). Po rozdrobnieniu następuje separacja i oddzielanie poszczególnych frakcji.¹⁶ Do urządzenia rozdrabniającego nie wolno wprowadzić: materiałów niebezpiecznych oraz wybuchowych; materiałów samozapalnych i zapalnych; materiałów toksycznych i żrących; akumulatorów, chłodziw; olei transformatorowych; azbestu; amunicji; zamkniętych butli gazowych, zbiorników z cieczą lub innymi, zamkniętych wyrobów, pustych zbiorników dużych kserokopiarek prze-

mysłowych (tonery); pirotechnicznych poduszek powietrznych.

Na szczególną uwagę zasługuje tutaj największe tego typu urządzenie w Polsce i jedno z największych na świecie tj. Strzępiarka w Zawierciu (CMCP). Oprócz głównego produktu Strzępiarki tj. złomu strzępionego, który charakteryzuje się wysoką masą nasypową oraz dużą czystością, efektem ubocznym procesu strzępienia są odpady, z których na linii niezależnej odzyskuje się metale kolorowe takie jak : miedź, aluminium, mosiądz czy stal nierdzewną. Strzępiarka jest w stanie wyprodukować 2000 ton złomu strzępionego dziennie podczas 10 godzin pracy. W urządzeniu rozdrabniającym mogą być rozdrabniane, zgniatane oraz separowane następujące materiały: całe karoserie samochodowe oraz karoserie wstępnie przecięte (slabs), karoserie pakietowane o gęstości 1,1 kg/m³, sprzęt AGD itp., części samochodów starych z silnikiem, przekładnią, osiami, resorami, kołami i oponami, żeliwo stopowe, jak np. piekarniki, piece, pralki, oraz drobny złom zbierany itp¹⁷.

Mniejsze zakłady przerobu mogą skorzystać z instalacji do strzępienia, które są dostosowane do ich potrzeb (np. w Pruszkowie i Tarnowskich Górach) lub skorzystać z dostępnej oferty nowoczesnych urządzeń mobilnych. Do złomu opakowaniowego w postaci puszek dedykowane są mniejsze urządzenia, które oczyszczają i zagęszczają ten materiał.



Rys. nr 16 i 17. Strzępiarki mobilna ZB złomu THOR 1915 K (moc silnika 755 KM, waga całkowita 84 tony, napęd spalinowy lub elektryczny)/strzępiarka Bonfiglioli (moc silnika 600-960 KM)

Mechaniczne metody przerobu stosowane są także w odniesieniu do wiórów stalowych, które przerabiane są poprzez kruszenie i brykietowanie¹⁸. Kruszeniu poddaje się wióry długie, skłębione, wstęgowe, spiralne, które po przerobie uzyskują postać wiórów krótkich i sypkich. Metoda ta ma na celu ułatwienie magazynowania (redukcja objętości jest ok. 10 –krotna). Kruszenie odbywa się przy pomocy kruszarek frezowych, młotkowych lub walcowych.



Rys. nr 18 i 19. Brykietarka do wiórów stalowych firmy Bison IV Steel / nr 12 Wirówka SFH 150 do wiórów stalowych SFH.

Czasami uzdatnianie wiórów łączone jest z odwirowaniem zaolejonych wiórów – takie metody (tzw. gniazda uzdatniania wiórów) spotykane były i są w dużych zakładach produkcyjnych.¹⁹ Wióry sypkie (igiełkowe, odpryskowe, odcinkowe) uzdatniane są na brykiety za pomocą maszyn zwanych brykietarkami. Metoda ta polega na scalaniu i ma na celu zmniejszanie powierzchni składowania i magazynowania wiórów. Nowoczesne metody prasowania umożliwiają bezpieczne otrzymanie brykietów bez środków wiążących. Brykietowanie wiórów ma zastosowanie tylko w dużych zakładach produkcyjnych przemysłu metalowego i maszynowego. Brykiety cechują się dużym ciężarem objętościowym, dochodzącym do 4,5 – 5,0 do Mg/m³. Czasami stosuje się brykietowanie wió-



rów nagranych do temp. $600 \div 900 \text{ }^\circ\text{C}$. Nagrzanie niszczy domieszki organiczne tj. oleje oraz zmienia właściwości mechaniczne stali, zmniejszając jej sprężystość (ułatwia to ich zagęszczenie).²⁰ Stosowane jest też brykietowanie kordów z opon samochodowcy. Do rozdrabiania wielkowymiarowych elementów żeliwnych, stalowych, skrzepów, wlewnic i uzbrojenia np. czołgów itp. stosowane jest kafarowanie złomu, które polega na rozbijaniu bijakiem spadającym ze znacznej wysokości. Rozróżnia się kafary stacjonarne i przejezdne. Kafar składa się z bijaka kafarowego, szaboty z warstwą amortyzującą, fundamentem szaboty, grodzi szaboty i osłony.



Rys. 20 i 21. Przedstawiają kafar i bijak (baba) do rozbijania złomu (druzgu) w dzielnicy Piekło Dąbrowy Górniczej Piekelski Zakład Przerobu Złomu / obecnie CUTIRON Shared Service (urządzenie kafarowe zdemontowano).

Podstawowymi parametrami określającymi kafar są: ciężar bijaka i wysokość spadku. Bijaki w zależności od kształtu podnoszone są elek-

tromagnesem (kuliste) bądź specjalnym uchwytem kleszczowym (gruszkowe). Masa bijaków dochodzi do 10 ton.²⁰ Szabota kafarowa jest to płyta stalowa na której ustawiany jest złom do rozbijania. Oparta jest na specjalnym fundamencie.²⁰ Kolejną metodą przerobu złomu jest łamanie przeprowadzane na tzw. łamaczach. Metoda ta jest przeznaczona głównie do kruszenia złomu żeliwnego. Jej działanie polega na zasadzie nacisku klina na łamany materiał.



Rys. nr 22. Łamacz szyn kolejowych - firmy Kajman BREAKER

Obecnie nowoczesne łamacze mają automatyczny system podajnikowy i stosunkowo niewielkie wymiary oraz prostą konstrukcję. Ukierunkowane są na przerób szyn kolejowych i tramwajowych. Szczególnym sposobem ze względu na wymogi i zabezpieczenie jest metoda strzałowa. Stosuje się ją do rozbicia dużych elementów o masie 25-50 ton. Kruszenie złomu tą metodą odbywa się w przeznaczonych do tego celu specjalnych dołach lub bunkrach strzałowych. Doły strzałowe wykonane są z żelbetonu (ok. 100 cm) oraz płyt pancernych (ok. 100 – 150 cm) co daje im odporność na ciśnienie i odłamki. Materiał wybuchowy (amonit, dynamit) zakładany na elementy złomu po nawierceniu i następnie odpalane metodą iskrową bądź poprzez lont.²⁰ Obecnie takie metody przerobu są bardzo rzadko spotykane. Przedsiębiorstwem, które przerabiało złom metodą strzałową był Zakład Przerobu Złomu w Dąbrowie Górniczej



w dzielnicy Piekło obecnie CUTIRON Shared Service. Jak czytamy na stronie internetowej firmy dokonała ona utylizacji znacznej ilości ciężkiego uzbrojenia: „ Duże zapasy złomu wielkogabarytowego spowodowały potrzebę opracowania metod rozdrabniania złomu ciężkiego metodą wybuchową. Budowa w 1962 roku obiektu strzałowego, który zaspokoił potrzeby przerobowe złomu ciężkiego (monolity do 50 Mg), była pracą całkowicie pionierską na skalę europejską.

Opracowaliśmy również własną metodę niszczenia ciężkiego sprzętu wojskowego nazwaną „metodą polską”. Zgodnie z postanowieniami traktatu o Konwencjonalnych Siłach Zbrojnych w Europie, który wszedł w życie w 1992 r., Polska została zobowiązana do zredukowania części swojego uzbrojenia w tym 1 120 czołgów.”²¹

Do pomocniczych metod przerobu można zaliczyć, także odzysk stali w postaci spalania i magnetycznej separacji. Taki złom jest również materiałem wsadowym. Obie metody dotyczą odpadów niesegregowanych. W przypadku spalarni frakcja magnetyczna separowana jest z popiołów. Sprawdza się zwłaszcza przy wtrąceniach w postaci tworzyw szt., gumy, skóry, drewna. Metoda ta pozwala odzyskać stal, ale uniemożliwia ponowne przetworzenie cyny i aluminium. Druga metoda to separacja złomu stalowego z frakcji odpadów komunalnych. Stopień odzysku przy użyciu separatorów metali żelaznych jest wysoki, lecz problem stanowią zanieczyszczenia (na poziomie ok. 17 %), które utrudniają wykorzystanie tej frakcji.²² W obu przypadkach stosowane są metody uzupełniające (doczyszczające). W przypadku frakcji, która zawiera znaczny stopień zanieczyszczeń mineralnych, tworzyw szt., drewna itp., które są wstępnie oddzielane przy zastosowaniu różnego typu przesiewaczy (mobilne, stacjonarne, wibracyjne, bębnowe, sitowe) Do metod pomocniczych zaliczyć należy także odwirowanie wiórow z płynów i olejów.¹⁸

Warto odnotować, że stosowano również usuwanie powłok zabezpieczających (lakiery, emalie) poprzez wypalanie. Obecnie nie ma potrzeby stosowania takiej metody ponieważ usuwanie powłok odbywa się w trakcie procesów cięcia, kruszenia, strzępienia oraz (w mniejszym stopniu) paczkowania złomu.²³ Bardzo innowacyjną metodą odzysku metali żelaznych i



Rys. nr 23 i 24. przesiewacz wibracyjny stacjonarny / przesiewacz mobilny bębnowy

nieżelaznych z żużlu ze spalania odpadów opracowała firma Selfrag. Polega ona na oddzieleniu metalu za pomocą silnych fal uderzeniowych (wytwarzanych przez generator wysokiego napięcia). Pierwsze zastosowanie tej metody w 2016 roku będzie można sprawdzić w spalarni odpadów w miejscowości Posieux w Szwajcarii. Szacuje się, że odzysk metali za pomocą tej metody zwiększy się o ponad 100%.²⁴

Kryteria oceny i identyfikacji złomu stalowego

Podstawową metodą oceny i klasyfikacji złomu stalowego jest metoda wzrokowa. Metoda ta wymaga dużej praktyki i doświadczenia. Podczas oceny należy zwrócić uwagę na:

- postać złomu np. czy mamy do czynienia z odlewem, stopem, elementem spawanym, odkuwką; czy i jak został przerobiony
- kształt danego przedmiotu, czy urządzenia, tj. wyciągnąć wniosek jaką pierwotnie spełniał funkcję (np. przemysł chemiczny, energetyka, części silników lotniczych, elementy pochodzenia wojskowego itp.)
- barwę stali, kolor nalotu, stopień utlenienia lub jego brak, znamiona przepalania i deformacje elementu (np. stale kwasoodporne, za-



- roodporne, oporowe, krzemowe)
- odczyt oznaczeń (znakowane narzędzia, oznaczenia pojemników zamkniętych, materiałów promieniotwórczych i wybuchowych) oraz wysegregowanie analogicznych urządzeń lub elementów do już uprzednio zidentyfikowanych
 - skład chemiczny – znajomość wpływu pierwiastków stopowych na własności stali

Metoda pomocnicza to próba magnesem trwałym poprzez przyłożenie (stwierdzenie, że mamy do czynienia ze stalą ferromagnetyczną, bądź wykluczenie tego przypuszczenia)¹

1. Skład chemiczny

Osiągnięcie pożądanego rezultatu, tj. wytopu stali o zamierzonych właściwościach fizyko-chemicznych uzależnione jest od odpowiedniego przygotowania wsadu, a więc znajomości jego składu chemicznego. Aby spełnić ten warunek złom stalowy nie powinien zawierać metali nieżelaznych oraz ich stopów. Występujące w stalach pierwiastki stopowe metaliczne w zależności od większego lub mniejszego powinowactwa z tlenem w stosunku do żelaza, podzielić można na 3 grupy:

- pierwiastki stopowe, których usunięcie z kąpieli poprzez świeżenie jest łatwe (aluminium, magnez, tytan, krzem, wanad, mangan)
- pierwiastki stopowe, których usunięcie z kąpieli jest trudne i usunąć się dają w praktyce tylko częściowo (chrom i wolfram)
- pierwiastki stopowe, których usunięcie z kąpieli jest praktycznie niemożliwe (molibden, kobalt, cynę, nikiel, ołów i miedź)

Metale nieżelazne w złomie stalowym występują najczęściej w postaci powłok. Powłoki stosuje się do zabezpieczeń antykorozyjnych metalu. Jako powłoki ochronne z metali nieżelaznych stosuje się m.in.: fosforowanie, aluminowanie, kadmowanie, krzemowanie, miedziowanie, mosiądzowanie, niklowanie, ołowiowanie, chromowanie, cynkowanie, cynowanie, chromokrzemowanie, chromianowanie.

Skład chemiczny w złomie jest warunkowany normą zakładową, która określa procentową zawartość pierwiastków towarzyszących dla każdej klasy złomu.

Przykładowo dla złomu poprodukcyjnego tzw. czystego (niebieski luźny i zagęszczony

w paczkach) suma $Cu+Sn+Cr+Ni+Mo \leq 0,30$. Dla złomu poamortyzacyjnego wartości graniczne już w przypadku Cu wynoszą odpowiednio $\leq 0,40$ w klasie złomu kawałkowego lekkiego, wiórów i strzępionego.

Dobór złomu i jego składu chemicznego ma podstawowe znaczenie w odniesieniu do stosowanych metod wytapiania i rafinowania stali np. przy kwaśnej wykładzinie pieca jego możliwości rafinacyjne ograniczają się do odwęglania kąpeli. Konsekwencją tego jest konieczność starannego doboru wsadu metalowego pod względem zawartości fosforu i siarki, pierwiastki te bowiem nie mogą zostać usunięte z kąpeli w takim piecu. Przykładem złomu, który bez informacji od dostawcy jest ciężko zidentyfikować i może łatwo dostać się na stalownię są wióry ze stali automatowej. W skład chemiczny tego typu surowca wchodzi ściśle określona ilość siarki – przeważnie do 0,35% oraz fosforu – maksymalnie do 0,15%. Siarka może również występować w złomie w postaci osadów w rurach, zbiornikach oraz elektrofiltrach (związki siarki). Innym pierwiastkiem, który występuje dość często w złomie (np. stal transformatorowa i sprężynowa) jest krzem, którego zbyt duża zawartość jako składnika stopowego powoduje utrudnioną obróbkę plastyczną.

Kontrolowanie składu chemicznego dostaw złomowych opiera się w zasadzie na dwóch podstawach; pierwszą jest kryterium źródła i dostawcy. W przypadku źródła powstania odpadu istotne są: technologia i rodzaj produkcji, ciągłość produkcji oraz udokumentowane parametry chemiczne w postaci załączonej do listu przewozowego / kwitu wagowego analizy chemicznej z uwzględnieniem podstawowych wymogów dotyczących normy złomowej. W przypadku dostawcy głównym kryterium jest zaufanie. Drugim etapem jest kontrola (ograniczone zaufanie) wewnętrzna przy pomocy wszelkich dostępnych metod – poczynając na wizualnym porównaniu dostaw i składu chemicznego w załączonych analizach, a kończąc na sprawdzeniu w zakładowym laboratorium spektrometrycznym (analiza spektrometryczna).

2. Stopień i rodzaje zanieczyszczeń

Zanieczyszczenia w złomie mają wielowy-



miarowy wpływ na proces wytopu – ekonomiczny, tj. im bardziej złom zanieczyszczony, tym bardziej koszty wytwarzania stali są większe; technologiczny – zanieczyszczenia we wsadzie negatywnie wpływają na proces metalurgiczny; ekologiczny – powodują większe zanieczyszczenie powietrza oraz większą ilość odpadów hutniczych.

Podstawową metodą szacowania ilości zanieczyszczeń w złomie stalowym jest metoda wzrokowa, która podobnie jak przy ocenie i klasyfikacji złomu wymaga dużej praktyki i doświadczenia. Ponadto ocena jest przeprowadzana na zasadzie odważenia zanieczyszczeń pozostałych po rozładunku, poprzez próbę strzępienia, gdzie oblicza się uzysk czystego złomu i porównując wagi oblicza zanieczyszczenia. Inną metodą jest przesianie zanieczyszczeń na kracie przesiewacza i oddzielenie drobnej frakcji (wstępna metoda skuteczna przy zanieczyszczeniach mineralnych, tj. piasku, ziemi). Dopuszczalna zawartość zanieczyszczeń w złomie jest warunkowana normą złomową, która określa dopuszczalne procentowe ilości i rodzaje dla każdej klasy złomu. Norma określa też jakich zanieczyszczeń się nie dopuszcza. Przykładowo najbardziej restrykcyjne ograniczenia dotyczą klas złomu poprodukcyjnego, dopuszczalne ilości to $\leq 0,3\%$, co daje w przypadku ładunku na załadowanym wagonie 50,00 Mg – 150 kg.

W przypadku wiór stalowych i żeliwnych dopuszczalna ilość zanieczyszczeń to $\leq 0,5\%$. W klasach złomu wsadowego poamortyzacyjnego (kawałkowego) zanieczyszczenia stanowią od $0,5\%$ (złom ciężki palony, łamany - kolejowy, konstrukcyjny itp.), $1,5\%$ (złom lekki, i zaprasowany w paczkach), $3,0\%$ (złom nie ujęty w innych klasach). W przypadku złomu strzępionego dopuszczalna ilość zanieczyszczeń to $\leq 0,4\%$. Osobną kategorią jest złom klas newsadowych – przeznaczony do przerobu mechanicznego/ręcznego – tolerancja zanieczyszczeń jest tu znacznie większa (za wyjątkiem złomu do przerobu ręcznego, tj. przepalania gazowego). Dopuszczalne zanieczyszczenia w klasach newsadowych wynoszą do $3,0\%$ dla złomu stalowego (zagęszczonego i luzem) w postaci blach emaliowanych, ażurów, profili, rur, sprzęt elektryczny (bez CFC, HCFC, PCB substancji chłodzących, kondensatorów, transformatorów) elementy

karoserii samochodowych (bez opon i tapicerki) AGD. W przypadku całych karoserii samochodowych (w tym zagniecionych) stopień tolerancji zanieczyszczeń bez potrąceń określa się na wyższym poziomie np. na 15% (w takim wypadku dopuszcza się koła z oponami i tapicerkę).



Rys. nr 25 i 26. Przykład typowych zanieczyszczeń w złomie newsadowym do strzępienia: szkło, plastik, tapicerka, tkaniny, guma, beton / złom poamortyzacyjny w postaci prętów i drutów zbrojeniowych z rozbiórki zanieczyszczony betonem.

Wobec częstych przypadków przekraczania dopuszczalnej w normie ilości zanieczyszczeń odbiorca może umówić się z dostawcą (stosowne zapisy, aneksy do umowy) na potrącenia zanieczyszczeń w pewnych granicach bez reklamowania przesyłki. Ma to charakter dobrowolny i wiąże się m.in. z zaufaniem do procesu odbioru i klasyfikacji złomu przez odbiorcę. Pułap dodatkowych zanieczyszczeń dla złomu newsadowego określany jest procentowo w zależności od postaci złomu (w takim wypadku dużym ułatwieniem dla oceny stopnia zanieczyszczenia jest jego jednorodna postać np. karoserie samochodowe czy sprzęt AGD o podobnym stopniu demontażu).

W klasach wsadowych górna granica zanieczyszczeń do potrącenia bez zatrzymywania wagonu może być na niższym poziomie np. $0,4$ lub

0,8 Mg dla złomu poamortyzacyjnego, dla klas poprodukcyjnych może w ogóle nie dopuszczać możliwości dodatkowych potrąceń lub może to być mniejsza ilość.



Rys. nr 27 i 28. Przedstawia złom puszek, nakrętek, pojemników, kapsli itp. (frakcja metalowa ze sortowni śmieci) częściowo zagęszczony na paczkarce celem uzyskania większej masy nasypowej. Zanieczyszczenia towarzyszące to tworzywa szt. (folie, elementy plastikowe), papier, materiał organiczny (resztki pokarmów), powłoki (zanieczyszczenia trwale związane ze złomem) lakiernicze i ocynowane.

Jednostkowe sytuacje dostaw np. złomu nie-wsadowego składającego się w 100% z obudów lodówek mogą zakładać minimalny stopień zanieczyszczeń na poziomie np. 45 %. W przypadku złomu niewsadowego stopień zanieczyszczeń jest często kwestią ceny oraz możliwości technologicznych przedsiębiorstwa/odbiorcy.

Wraz z postępem technicznym i możliwościami przerobu i recyklingu wzrasta tolerancja na zawartość materiałów towarzyszących, które w nowoczesnym systemie gospodarki odpadami mogą stanowić dodatkowe źródło dochodów. Przykładem może być materiał, w którym złom stanowi od ok. 30 do 70 % (np. frakcja spod przesiewacza, złom zmieszany z różnymi tworzywami, czy grupami materiałów wymagający w procesie odzysku pewnego nakładu energii i środków finansowych). Dostawy takiego materiału niemieszczącego się w ramach norm złomowych poszczególnych zakładów są realizowane w porozumieniu z obsługą strzępiarki i specjalnie awizowane.

Zanieczyszczenia w złomie można podzielić na dwa rodzaje. Pierwszy rodzaj to substancje trwale związane ze złomem: tlenki żelaza, lakiery, farby, plastik, guma, smary, smoły, materiały izolacyjne, których średnia zawartość w złomie poamortyzacyjnym to ok. od 5 do 15 %.

Drugi rodzaj to zanieczyszczenia, które wynikają z procesu magazynowania i przetwarzania



Rys. nr 29 przedstawia złom zmieszany z dużą ilością zanieczyszczeń - frakcje mineralne (ziemia, piasek) od ok. 20 do 30 %, organiczne (drewno i celuloza) ok. 5 %, tlenki żelaza ok. 5 % tworzywa szt. (plastik, guma) ok. 5 %, materiały budowlane (kawałki betonu, cegły, kruszywa, kamienie) ok. 5 % i inne (szkło, tkaniny, materiały izolacyjne) ok. 5 %. Pozostały ładunek to złom metali żelaznych i metali kolorowych (średnia proporcja to ok. 90/10), które stanowią od ok. 60 do 30 %.



Rys. nr 30. Rozdrobnione drewno tzw. zrębki (palety euro), gdzie frakcja metalowa stanowi niewielki procent masy całości ok 2 % (waga palety to ok. 25 kg, masa gwoździ stolarskich zużytych do produkcji palety to maks. 0,5 kg - przy założeniu, że rozdrabniarka nie posiadała separatora magnetycznego. Jeżeli materiał był poddany separacji magnetycznej to zawartość stali jest śladowa).



Rys. nr 31. Przedstawia frakcję po przesianiu na przesiewaczu - wstępnie oczyszczoną z większych elementów, jak kawałki drewna, betonu, kamieni, gruzu, tworzyw szt. itp. tj. ok 40 - 50 %. Pozostały materiał, to zanieczyszczenia w postaci drobnej frakcji mineralnej (ziemia, piasek, drobne kamienie), oraz tlenki, które przesypały się przez sita z drobnym złomem. Proporcje zanieczyszczeń i drobnego złomu (gwoździe, śrubki, nakrętki, podkładki, druty itp. drobne elementy metalowe) wg. przeprowadzonych prób strzępienia określa się na ok. 40/60 %. Dalsze oddzielenie zanieczyszczeń od złomu odbywa się na separatorach magnetycznych.

złomu, czyli piasek, ziemia oraz błoto. Osobną kwestią jest zawartość metali nieżelaznych w złomie np. cyny (powłoki puszek, blach) cynku, miedzi i jej stopów (kable, uzwojenia, armatura), ołowiu (akumulatory), aluminium (przewody, felgi, puszki), które ze względu na nieprzydatność w procesie wytopu stali są, również traktowane jako zanieczyszczenia.



Rys. nr 32. Przedstawia złom pochodzenia elektrycznego (siniki, stojany, przełączniki, uzwojenia, kable itp.) ze względu na dużą zawartość Cu złom ten powinien być poddany dalszemu procesowi separacji.

Podane wyżej przykłady zanieczyszczeń w złomie nie wyczerpują wszystkich możliwości. Oddzielnym problemem jest zaniżenie wartości złomu poprzez ukryte wtrącenia niemetaliczne dodane przez nieuczciwego dostawcę. W tym wypadku katalog zanieczyszczeń się rozszerza i jest uzależniony od inwencji twórczej dostawcy. Nie trzeba też dodawać, że są to zanieczyszczenia najtrudniejsze do identyfikacji i sprawiają najwięcej kłopotu z oddzieleniem ich od złomu.

Najtrudniejsze do oddzielenia zanieczyszczenia to te o właściwościach magnetycznych (tlenki, opiłki, pyły, żużel, silenie skorodowane wióry stalowe itp.) lub te których charakter lub postać złomu uniemożliwia ich wydzielenie np. zaolejone wióry stalowe lub sprasowane z tlen-



Rys. nr 33 i 34. Przykłady wykorzystania wolnej przestrzeni karoserii samochodu osobowego – utylizacja opon samochodowych, ziemi i tworzyw szt.

kami w brykietach.⁷

Skorodowane wióry i otoczka (duża powierzchnia utleniania) powodują nadmierne zaszczepienie kąpiel metalowej, wywołując tym samym duże straty bezpowrotne Fe w postaci zgarów.

Czasami do złomu celem obniżenia jego wartości dodawany jest tańszy materiał – mniej żelazonośny, który normalnie w oddzielnych klasach złomu jest wykorzystywany w procesie wytopu np. zendra (zgorzelina walcownicza) lub skrzepy. W przypadku złomu niewysadowego właściciele placów złomowych czasami próbują „utylizować” niektóre rodzaje odpadów, które normalnie powinny zostać skierowane do sortowni odpadów, spalarni, składowiska odpadów niebezpiecznych (np. baterie elektryczne, żarówki energooszczędne, wyłączniki ręczne, kondensatory itp.), bądź wyspecjalizowanych zakładów recyklingu (ZSEE) ze względu na możliwość odzysku cennych surowców²⁵. Najczęstszym rodzajem zanieczyszczeń niezwiązanym ze złodem dla klas niewysadowych są: tworzywa szt. (plastik, pianki, styropian, folie, guma), beton, gruz, kamienie, ziemia, piasek, glina, lakiery i farby zbrylone, drewno i pochodne, szkło, materiały porcelano-pochodne (np. izolatory), tkaniny, tapicerka samochodowa, itp.

Ostatni rodzaj to zanieczyszczenia związane z warunkami atmosferycznymi, należą do nich woda, lód i śnieg. Ich występowanie wiąże się ze składowaniem i transportem podczas zmieniających warunków atmosferycznych, tj. opadami deszczu i śniegu oraz z obniżeniem temperatury. Najbardziej absorbującymi wilgoć klasami złomu są wióry stalowe i złom strzępiony.



Rys. nr 35 i 36. Przedstawia ciężki złom konstrukcyjny zanieczyszczony betonem i smarem / drobne wióry stalowe przesypane zmieloną zendrą.

W przypadku opadów śniegu zanieczyszczenia rozkładają się bardziej równomiernie. Sprawdzonej i przyjętą metodą określenia zanieczyszczeń w postaci wody, lodu czy śniegu jest różnica wag nadawcy i odbiorcy, nadwyżka na „+” stanowi zanieczyszczenie.²⁶

3. Wymiary i gęstość nasypowa

Złom wsadowy wymaga odpowiedniego wymiaru i masy nasypowej w celu przygotowania go do procesu metalurgicznego. Stopień zagęszczenia złomu zależy od jego postaci i metody przerobu. Przez odpowiednią kawałkowość złomu należy rozumieć, że nie może on zawierać nadmiernej ilości kawałków dużych (o ciężarze do 1/50 ciężaru wsadu), ani też złomu drobnego (wiórów i obcinków blach) ponad wymaganą ilość.²⁷ Przykładowo wióry stalowe krótkie luzem (stopień zagęszczenia 0,2 – 0,4 t/m³) mają mniejszą masę nasypową od wiórów poddanych procesowi kruszenia lub zagęszczonych w brykietach (po zbrykietowaniu osiągają masę do 5 t/m³).

Przy ciężkim słabo przerobionym złomie gęstość nasypowa wynosi ok. 0,2 – 0,3 t/m³, przy



Rys. nr 37 i 38 przedstawiają wagony kolejowe załadowane złomem zagęszczonym i ciężkim (żeliwo) o wysokiej masie nasypowej (przy wypełnieniu procentowym ok. 40 i 60 osiągają masę ok 50 Mg).



Rys. nr 39 i 40. Złom średni poamortyzacyjny / przestrzeny złom poamortyzacyjny (z poszycia towarowych wagonów kolejowych)

1. Stefan Dzienniak, Sytuacja sektora stalowego w Polsce Biuletyn AGH maj 2014 nr 77 <http://www.biuletyn.agh.edu.pl>
2. <http://www.biuletyn.agh.edu.pl/index.php>
3. http://hutnictwo.wnp.pl/cena-rzadzi-zlomem,244938_1_0_0.html
4. https://www.google.pl/?gws_rd=ssl#q=renesans+polskiego+hutnictwa
5. Andrzej Michalski-Stępkowski, Hutnictwo wciąż niestabilne, Rzeczpospolita, 14.09.2015.
6. słownik on-line www.sjp.pwn.p
7. Antonii Nawara, Jerzy Orłoś, Katalog wstępnej segregacji złomu stalowego stopowego, ZPPZM „Centrozłom”, Katowice 1983 r. s. 7
8. Zbigniew Pruziński Technologia Przerobu Złomu Stalowego i Żeliwnego, Katowice 1973, s. 12
9. Antoni Nawara, Jerzy Orłoś Katalog wstępnej segregacji złomu stalowego stopowego, Katowice 1983, s. 14. Tzw. metody specjalne zaliczają się do metod metalurgicznych tj. przetwarzanie uśredniające i ponowny przerób złomu na przedmiot użyteczny, s. 17
10. <http://www.forrec.pl/dwuwalowe-rozdrabniacze-fx>
11. Andrzej J. Wandrasz „Rozdrabniarki w gospodarce odpadami”, Recykling nr 6/2014 s. 32
12. <http://www.morita119.com/en/products/recycling/shredder/001.html>
13. Zbigniew Pruziński Technologia..., s. 89
14. Stanisław Stępnik Uzdatnianie złomu poprodukcyjnego, Warszawa 1978, s. 70
15. Ryszard Gola-Sienkiewicz, Uwarunkowania rynkowe recyklingu samochodów, Recykling 4/2015, s.31.
16. Wojciech Hryb, Strzępienie samochodów, Recykling 2/2015
17. CMCP w Zawierciu
18. Antonii Nawara, Jerzy Orłoś, Katalog wstępnej segregacji złomu stalowego stopowego, Katowice 1983, s. 16
19. Stanisław Stępnik Uzdatnianie... s. 18-19
20. Zbigniew Pruziński, Technologia..., s.139
21. <http://cutiron.com.pl/o-firmie/historiafirmy/historia.html>
22. Wojciech Hryb, „Separatory metali żelaznych i nieżelaznych”, Recykling 7-8/2013,
23. Jerzy Osiński, Piotr Zach, Wybrane zagadnienia recyklingu samochodów, Warszawa 2006, s. 91-95
24. Porażająca technologia, Recykling 2/2015
25. P. Jarosz, S. Małecki, Tworzywa sztuczne w złomach ZSEE spojrzenie metalurgia, AGH Kraków 2013
26. www.rzeczoznastwobudowlane.
27. F. Olszak, T. Mazanek, K. Mamro, Metalurgia stali-Elektrometalurgia t.2, Katowice 1962, s. 81-82

tym samym złomie odpowiednio przerobionym (cięty, palony lub łamany) osiąga się 1,0 -1,5 t/m³. W przypadku złomu lekkiego gęstość nasypowa wynosi ok 0,1 – 0,2 t/m³, po zagęszczeniu na paczkarce ten sam złom waży od 1,6 do 2,1 t/m³ (w zależności od siły prasowania).

Normy zakładowe określają wymaganą masę nasypową, bądź minimalny ciężar netto złomu na wagonie/samochodzie. Przykładowo dla wagonów kolejowych jest to od 18 Mg netto (złom newsadowy niezagęszczony), 30 Mg netto (złom newsadowy zagęszczony, wióry stalowe luzem), 45 Mg (złom wsadowy w postaci paczek, strzępiony, złom żeliwny, złom ciężki). Maksymalna masa pojedynczego kawałka złomu wsadowego wynosi od 200 do 300 kg. W odniesieniu do złomu newsadowego do przerobu ręcznego ograniczenia dotyczą gabarytów z uwagi na trudności transportowo-przeładunkowe - maks. 8 m dł. Waga elementu określana jest najczęściej do 1000 kg. Czasami stosowane są też wymogi do rodzajów asortymentu np. rury średnica do 200mm, dla prętów średnica minimum 6mm, a dla lin średnica min 20mm.



Rys. nr 41 i 42 Przedstawiają wióry stalowe sypkie (wysoka masa nasypowa od 400 do 500 kg/m³) i skłębione (niska masa nasypowa od 100 do 150 kg/m³) oraz trudności z ich rozładunkiem.

Podsumowanie i wnioski

Przerób i recykling złomu stał się jednym z kluczowych elementów gospodarki kraju. W Polsce 70% produkcji stali pochodzi z recyklingu metali, na świecie wielkość ta utrzymuje się na poziomie 40%.¹ Recykling już obecnie zaspokaja w znacznym stopniu zapotrzebowanie na surowiec do produkcji żelaza i stali. Wraz z rozwojem technologii maszyn i urządzeń – jednych z głównych źródeł surowca do procesu metalurgii stali – rozwinęła się cała gałąź przemysłu odzysku i przerobu złomu. Coraz nowocześniejsze metody przerobu i recyklingu wpływają na wyższy poziom odzysku, który z kolei przekłada się na mniejszą ilość odpadów. Przy okazji nowoczesnego procesu przerobu złożonych urządzeń i materiałów pozyskiwane są cenne surowce w postaci rzadkich metali. Technologia przerobu złomu, dzięki złożonym procesom rozdrabniania i segregacji odzyskuje złom z każdego materiału – poza materiałem radioaktywnym – jeśli tylko jest to uzasadnione ekonomicznie. Jednocześnie wykorzystując nowoczesną technologię eksploatuje się nowe źródła złomu – wysypiska odpadów, hałdy przemysłowe, żelbeton z rozbiórek. Wg. Raportu Europejskiej Agencji Środowiska (EEA) rola recyklingu polega nie tylko na zmniejszaniu ilości odpadów na składowiskach, ale w znacznym stopniu pomaga zaspokoić popyt na materiały i surowce, tworzy nowe miejsca pracy i stanowi ważny, wciąż powiększający się wkład w gospodarkę europejską.² Wzrastająca świadomość i polityka zrównoważonego rozwoju podpowiada, by odpowiedzialnością za produkt i surowce obarczyć producenta, który na etapie projektowania powinien uwzględniać łatwość demontażu i możliwość ponownego wykorzystania materiałów przy minimalnym wykorzystaniu energii i nakładu pracy.³

Zmiany nie ominęły też metalurgii – bardziej wydajna technologia wytopu stali, nowoczesne wsparcie logistyczne, czy rozwiązania organizacyjne zmieniły energochłonne, niskowydajne i trujące kombinaty w nowoczesne przedsiębiorstwa dostosowujące się do sytuacji i potrzeb rynku. Nastąpiła znacząca konsolidacja przenikających się branż hutnictwa i recyklingu stali. W ostatnich latach zmienił się przekrój gatunkowy złomu, wyraźnie widać, że tradycyjne źródła złomu, tj. ciężkie elementy i konstrukcje, dobrze

POREXTHERM

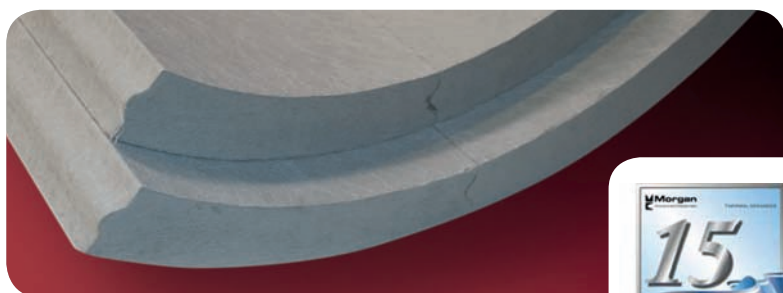
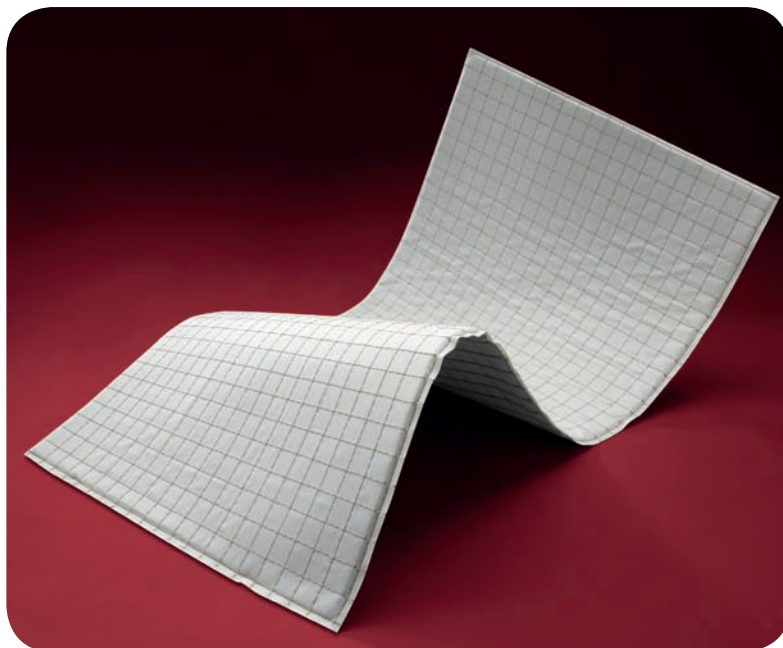
wiodący producent wysokowydajnych izolacji, dołączył do grona firm Morgan Advanced Materials w grupie Thermal Ceramics.

<http://www.porextherm.com/en/products.html>
<http://www.morganthermalceramics.com/products/microporous-insulation/porextherm>

Już od dziś materiały mikroporowate są dostępne w ofercie!

Thermal Ceramics Polska Sp. z o. o.
ul. Towarowa 9, 44-100 Gliwice

T: +48323053113
T: +48323053114
F: +48323053115
E : polska.tc@morganplc.com
W: www.morganthermalceramics.com



wysortowany i przerobiony złom ciężki ustępują miejsca postaci lekkiej pochodzenia samochodowego i urządzeń AGD/RTV (ZSEE). Takie materiały zgodnie z ustawą o recyklingu powinny zostać poddane głębokiemu demontażowi, tym bardziej, że niektóre z urządzeń zawierają substancje szkodliwe np. gazy, metale ciężkie, płyny. Realia rynku recyklingu, tj. ogromny w niej udział „szarej strefy” powoduje, że duża ilość niebezpiecznych i szkodliwych dla środowiska substancji znajduje się w strumieniu odpadów, a w konsekwencji w złomie do przerobu. Taka sytuacja będzie mieć miejsce dopóki zwykle skupy złomu i nielegalny odzysk bez odpowiedniego zaplecza i technologii będzie złomował wszystko i przy okazji utylizował niebezpieczne substancje i materiały w zakładach przerobu i wydziałach metalurgicznych. Dlatego tak ważnym jest by na każdym z etapów wysortu złomu pracowali ludzie przeszkoleni i świadomi zagrożeń. Szczególne znaczenie ma tu, również doświadczenie, które jest m.in. niezbędne w eliminacji występowania materiałów wybuchowych i niebezpiecznych w złomie. Należy jednak stwierdzić, że nie ma stuprocentowej metody, która eliminuje to zagrożenie – można je tylko

minimalizować. Odbiorca końcowy (np. zakład metalurgiczny, zakład przerobu) powinien mieć możliwość weryfikacji np. audyty, stosowane procedury i stopień przeszkolenia pracowników u samych dostawców. W przypadku wątpliwości taki dostawca powinien zostać czasowo wykluczony. Dlatego należy zwrócić uwagę na współpracę wydziałów i zakładów złomowych z wydziałami metalurgicznymi. Bardzo często kontrolerzy i klasyfikatorzy złomu (zwłaszcza z niskim stażem i doświadczeniem) mają luki w wiedzy nt. procesu wytopu, jakie procentowo zanieczyszczenia (w tym chemiczne) i w jakiej postaci mogą jednostkowo spowodować np. nietrafiony wytop, wybuch, uszkodzenie wymurówki, złamanie elektrody itd. Zbyt restrykcyjne podejście nie uzasadnione merytorycznie – spowodowane niewiedzą – może być również przyczyną dużych kosztów dodatkowych dla obsługi logistycznej (przetaczanie wagonów, postojowe, przeładunki, energia itd.). Z pewnością pomogły by tu szkolenie np. zorganizowane we współpracy z pracownikami ośrodka naukowego, czy wydziału metalurgii poprzez doprecyzowanie informacji i poszerzenie zakresu wiedzy.