

# The process of dynamic selection of metallic materials and their consolidation

## Proces dynamicznej selekcji materiałów metalicznych wraz z ich konsolidacją

PAWEŁ BAŁON  
EDWARD REJMAN  
BARTŁOMIEJ KIEŁBASA  
ROBERT SMUSZ  
ANDRZEJ SZĘSZOŁ  
MIROSŁAW KLOC\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2024.4.7>

In the process of machining, e.g. machining, chips are created and recycled. In many cases, chip briquetting is a solution with many advantages: it reduces their volume by up to 50%, is more efficient in terms of their management and transport, enables the recovery of oils and coolants, and also generates low energy and volume losses during melting in the steelworks. Higher waste density, lower transport costs and reduced humidity levels increase the sales prices of metal briquettes. Moreover, the briquetted material is less susceptible to the influence of weather conditions – its oxidation is reduced. This results in an increase in the quality of the material in the molten phase. An additional advantage is the ability to easily load and place the briquettes directly in the melting furnace, which eliminates the need to remove residual machining coolants. In the article, the authors undertook research related to the consolidation of chips in order to obtain their moisture content below 3%.

**KEYWORDS:** pressing steel chips, pressing aluminum chips, briquetting, consolidation

W procesie obróbki ubytkowej, np. skrawaniem, powstają wióry, które poddaje się recyklingowi. W wielu przypadkach brykietowanie wiórów jest rozwiązaniem o wielu zaletach: redukuje ich objętość do 50%, jest bardziej wydajne pod względem ich zagospodarowania i transportu, umożliwia odzyskiwanie olejów płynów chłodzących, a także generuje niskie straty energetyczne i objętościowe podczas topienia w hucie. Większa gęstość odpadu, niższe koszty transportu oraz zmniejszenie poziomu wilgotności wpływają na wzrost cen sprzedażowych brykieta metalowego. Ponadto zbrykietowany materiał mniej poddaje się wpływowi warunków atmosferycznych – zmniejsza się jego utlenianie. Skutkuje to wzrostem jakości materiału w fazie stopionej. Dodatkową zaletą jest możliwość łatwego załadowania i umieszczenia brykieta bezpośrednio w piecu topliwnym, co eliminuje konieczność przeprowadzania procesów usuwania pozostałości chłodziw obrób-

kowych. W artykule autorzy podjęli tematykę badawczą związaną z konsolidacją wiórów i uzyskali ich zawilgozcenie poniżej 3%.

**SŁOWA KLUCZOWE:** prasowanie wiórów stalowych, prasowanie wiórów aluminiowych, brykietowanie, konsolidacja

### Wprowadzenie

Przeprowadzono badania weryfikacyjne procesu prasowania wiórów stalowych i aluminiowych do postaci brykietów kwalifikujących się do sprzedaży hurtowej, o właściwościach zgodnych z obowiązującymi normami: PN-85/H-15000: Żłom stalowy oraz PN-91/M-15715/04: Żłom aluminium i jego stopy. Są różne metody konsolidacji wiórów powstających podczas obróbki ubytkowej. Wióry stalowe i aluminiowe można poddać recyklingowi i wykorzystać jako surowiec wtórny do produkcji nowej stali lub stopów aluminium. Jednak przedtem należy je odpowiednio przygotować, np. przez oczyszczenie z zanieczyszczeń emulsyjami i olejami.

Aby zmniejszyć objętość wiórów stalowych, można stosować kruszenie i brykietowanie. Kruszenie polega na rozdrabnianiu wiórów za pomocą specjalnych urządzeń, a brykietowanie – na ich zagęszczaniu i formowaniu w zwarte bloki lub bale. Takie rozwiązanie ułatwia transport i magazynowanie wiórów oraz poprawia ich wykorzystanie.

Zmniejszenie objętości wiórów stalowych można osiągnąć poprzez brykietowanie, czyli ciśnieniowe zagęszczanie luźnego surowca w specjalnych urządzeniach (rys. 1). Brykietowanie pozwala na uzyskanie aglomeratów o większej gęstości i wytrzymałości mechanicznej, co ułatwia ich transport i magazynowanie.

Zmniejszenie wilgotności wiórów stalowych lub aluminiowych można osiągnąć również poprzez suszenie, czyli proces usuwania wody z surowca przez

\* Dr inż. Paweł Bałon – balonpawel@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3136-7908> – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków, Polska

Dr inż. Edward Rejman – erejman@prz.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0003-4716-7613> – Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska

Mgr inż. Bartłomiej Kielbasa – bartek.kielbasa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3116> – Mielec, Polska

Dr hab. inż. Robert Smusz – robsmusz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7369-1162> – Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Poland

Andrzej Szęszoł – a.szeszol@sdsmielec.pl – PHUP „SDS” Sp. z o.o., Mielec, Polska

Mirosław Kloc – m.kloc@sdsmielec.pl – PHUP „SDS” Sp. z o.o., Mielec, Polska

podgrzewanie, odparowywanie lub adsorpcję. Nieestety jest to metoda wysoko energetyczna i na chwilę obecną mało opłacalna.

Wilgotność surowca ma wpływ na parametry brykietowania i jakość aglomeratów. Zwiększenie wilgotności powoduje zmniejszenie gęstości aglomeratu i pracy zagęszczania, zwiększenie rozprężenia aglomeratu, polepszenie podatności surowca na zagęszczanie oraz pogorszenie jakości aglomeratów pod względem ich wytrzymałości. Poziom zawilgocenia dla wiórów stalowych po zastosowaniu brykietarki lub wirówki zależy od rodzaju i stanu surowca, parametrów procesu i wydajności urządzenia.

Materiały przeznaczone do recyklingu i odzysku mogą występować w różnej postaci i wymiarach, co zostało uregulowane przez stosowne normy i rozporządzenia [1–3]. Wióry stanowią szczególną postać złomu i w stosunku do nich stawiane są specyficzne wymagania. Maksymalne zanieczyszczenie dla wiórów stalowych nie powinno przekraczać 5%, mierząc wagowo, a dla aluminium i jego stopów powinno być mniejsze od 2%.

Zarówno złom stalowy, jak i aluminiowy w fazie przerobu nie powinny zawierać oleju ani cieczy olejowych. W strukturze wiórów bardzo istotną rolę odgrywa woda lub emulsja chłodząco-smarująca wykonywana na bazie wody. Emulsje te są powszechnie stosowane w obróbce wiórowej, w przypadku przemysłu lotniczego muszą spełniać wymagania narzucone przez przepisy lotnicze i poszczególnych producentów. Zawartość wilgoci w wiórach stanowi jeden z istotnych wskaźników decydujących o możliwości

ich przeróbki i wykorzystania do wytworzenia materiałów wsadowych.

Aby wykorzystać wióry jako materiał wsadowy, należy je odpowiednio spreparować i przeprowadzić ich wstępny recykling. Ważnym wskaźnikiem używalności wiórów jest gęstość i czystość recyklatu. W celu uzyskania odpowiedniej gęstości należy – w przypadku wiórów stalowych – zastosować ich kruszenie lub brykietowanie. Polega to na ich rozdrabnianiu za pomocą specjalnych urządzeń, a następnie zagęszczaniu poprzez prasowanie, przy czym gęstość jednego brykietu nie może być mniejsza niż  $4 \text{ kg/dm}^3$ . Struktura brykietu musi być na tyle zwarta, aby w czasie transportu wykruszenia nie przekraczały 5% masy. Ułatwia to również magazynowanie. Maksymalna zawartość wilgoci w brykiecie (w tym zanieczyszczeń) nie może przekraczać 5% [9, 11].

Złom aluminium i jego stopów dostarczany w postaci wiórów może zawierać zanieczyszczenie żelazem lub innymi metalami do 1%, a niemetalami (w tym wilgocią) do 2% w klasie 4.04.5 lub metalami do 2% i zanieczyszczeniami niemetalicznymi (w tym wilgocią) od 0 do 5% w klasie 4.04.6.

Z tego wynika, jak istotnym czynnikiem decydującym o klasie kwalifikacji wiórów jest zawartość wilgoci. Określenie stopnia wilgotności wiórów jest zadaniem bardzo złożonym. W ofertach firm zajmujących się pomiarami wilgotności różnych materiałów nie znaleziono wilgotnościomierzy przeznaczonych do pomiaru zawartości wilgoci w wiórach. W związku z tym zaproponowano metodę określenia wilgotności poprzez suszenie wiórów, odparowywanie wilgoci i określanie stopnia wilgotności poprzez pomiar masy wiórów w poszczególnych stadiach. Metoda ta jest dokładna, ale energochłonna, jednak na poziomie badawczym i laboratoryjnym bardzo skuteczna [6–8].

## Metodologia badawcza

Metoda termogravimetryczna suszenia w piecu służy do oznaczania zawartości wilgoci w próbce. Polega na suszeniu próbki w stałej temperaturze przez określony czas i obliczaniu różnicy masy przed suszeniem i po nim. Jest to jedna z najczęściej stosowanych metod analizy wilgotności w laboratoriach. Aby uzyskać dokładne wyniki, należy wyznaczyć cechy próbki i wybrać odpowiednie parametry metody, takie jak program i temperatura suszenia, kryteria wyłączenia suszenia oraz sposób przygotowania próbki.

Poziom wysuszenia próbki jest definiowany przez określony spadek masy ( $\Delta g$ ) w określonej jednostce czasu (kryteria wyłączenia).

Badania wilgotności wiórów stalowych można wykonać metodą karbidową, która polega na pomiarze ciśnienia acetyleny powstającego w wyniku reakcji wody z karbidem wapnia. Jest to jednak metoda dość złożona, wymagająca specjalnej aparatury.

Metoda określania wilgotności za pomocą analizatora Halogen Moisture obejmuje metodę suszenia (ogrzewanie próbki wykorzystującej promieniowanie cieplne) oraz zasadę kryterium wyłączenia. Suma ubytku masy jest interpretowana jako zawartość



Fig. 1. Technical tests of chip consolidation  
Rys. 1. Próby techniczne konsolidacji wiórów





Fig. 2. Station for laboratory tests of pressed samples  
Rys. 2. Stanowisko do prowadzenia badań laboratoryjnych próbek prasowanych

wilgoci. W przeprowadzonych badaniach wilgotności wiórów zastosowano metodę termogravimetryczną poprzez suszenie zarówno wiórów stalowych, jak i aluminiowych (rys. 2). Według literatury [10] metoda ta jest szczególnie zalecana w przypadku, kiedy nie można zapewnić bardzo wysokiego stopnia jednorodności próbek.

Wióry do badań zostały przygotowane poprzez zachowanie odpowiedniej ich struktury (rys. 3). Zawartość suchej masy stanowi stałą część mieszaniny składającej się z substancji stałej i cieczy w stosunku do całkowitej masy mieszaniny. Procesy termogravimetryczne to metody ważenia i suszenia, w których próbki suszy się do osiągnięcia stałej masy (lub określonego czasu). Zmiana masy jest interpretowana jako uwolniona wilgoć. Ponieważ substancje zawierają inne składniki lotne oprócz wody, wynik pomiaru nie uwzględnia tego efektu. Jednak ich wpływ na wynik pomiaru jest minimalny ze względu na bardzo mały udział innych składników lotnych w pobieranych próbkach [4, 5].

### Badania laboratoryjne

Procedura referencyjna: Proces pomiarowy prowadzący do oznaczenia zawartości wilgoci w wiórach pozwala na ich porównanie z obowiązującymi normami (ustawowymi). Różne komponenty (woda, emulsja, chłodziwo i inne substancje lotne) mogą być mierzone w zależności od ich przewidywanego występowania.

Warunki prowadzenia badań:

- waga nie była umieszczona w pobliżu grzejników lub okien (wykluczone promieniowanie ciepłe);
- temperatura w laboratorium wynosiła  $22^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ;
- wilgotność powietrza wynosiła  $55\% \text{ RH} \pm 1\%$ ;
- próbki były równomiernie uformowane w celu dystrybucji ciepła w całej mierzonej próbce, aby wilgoć mogła się równomiernie rozchodzić (mieszanie);
- próbki były stosunkowo niewielkie (większa masa próbki oznacza odparowanie większej ilości wody oraz wilgoci i determinacja trwa dłużej).



Fig. 3. Chips preparation for mechanical consolidation  
Rys. 3. Wióry przygotowanie do konsolidacji mechanicznej

W rozważanych badaniach rozpatrywano wióry ze stopu aluminium 7050 oraz wióry stalowe ze stali S355JRG2, jako gatunki bardzo popularne, występujące w przemyśle i w skupie złomu. Wióry do badań ze stopu aluminium pochodziły z obróbki mechanicznej (obróbki skrawaniem – frezowania) w masie całkowitej: 358 kg.

Użyto zespołu prasująco-wirującego z matrycą zamkniętą wymienną o średnicy komory  $d_k = 80 \text{ mm}$ . Maksymalna siła zagęszczania wynosiła  $F_{\text{max}} = 245,3 \text{ kN}$  (jednostkowy nacisk  $p_{\text{max}} = 85,6 \text{ MPa}$ ), a prędkość przemieszczania tłoka  $V = 10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . Zagęszczanie prowadzono każdorazowo w trzech powtórzeniach.

Celem badań było określenie ilościowej frakcji ciekłej zawartej w luźnych wiórach oraz w brykietach zarówno dla wiórów stalowych, jak i wiórów ze stopów aluminium. Zawartość wilgoci w brykietach jest podstawą oceny i kwalifikacji złomu.

Badania były prowadzone w sposób eksperymentalny i polegały na pobieraniu próbek z różnych partii brykietów i wiórów oraz ich suszeniu w stałej temperaturze do uzyskania stałej masy. Każda próbka składała się z około 1800 g wiórów wilgotnych stalowych i około 1450 g wiórów wilgotnych stopu aluminium. Próbki umieszczano w suszarce laboratoryjnej o temperaturze  $262^{\circ}\text{C}$  i suszono przez około 3 godziny lub do momentu osiągnięcia stałej masy. Przed suszeniem i po nim próbki ważono za pomocą elektronicznej wagi technicznej o dokładności 0,01 g. Udział frakcji ciekłej wyznaczano jako procentową różnicę mas przed suszeniem i po nim w tolerancji do 0,01 g. Do badań wykorzystano wagę laboratoryjną WTC2000 oraz suszarkę laboratoryjną SUP.

### Wyznaczenie parametrów zawilgocenia próbek

Procedura oceny ilości frakcji ciekłej w wiórach mokrych luźnych była następująca:

1. Z dokładnie wymieszanej masy wiórów mokrych pobrano próbkę o objętości około  $0,8 \text{ dm}^3$ .
2. Próbkę zważono, wyznaczając jej ciężar  $G_w$ .
3. Próbkę umieszczono w suszarce laboratoryjnej i ogrzewano ją w temperaturze  $262^{\circ}\text{C}$  przez czas odpowiadający osiągnięciu stałego ciężaru  $G_s$ . Odpowiada to stanowi, kiedy z próbki została odseparowana wilgoć.

Zawartość frakcji ciekłej w wiórach wyrażoną w procentach wyznaczono z zależności:

$$w_w = \frac{G_w - G_s}{G_w} 100 \% \quad (1)$$

Badania wykonano dla trzech losowo pobranych próbek, a wilgotność końcową określono jako średnią arytmetyczną z uzyskanych wyników ze względu na liczbę przeprowadzonych prób. Według zaleceń [10] dla liczby badanych próbek w danym pomiarze do 10 do oceny jakości pomiarów celowe jest stosowanie średniej arytmetycznej uzyskanych wyników.

Do badań przyjęto wióry stalowe pochodzące z firmy specjalizującej się w obróbce skrawaniem (z branży motoryzacyjnej). Średni wymiar długościowy cząstek wsadowych (określony zgodnie z PN-89/R-64798) wynosił dla wiórów stalowych 18 mm. Gęstość w stanie zsypanym (oznaczona zgodnie z PN-ISO 7971-2:1998 dla surowców o wilgotności do 8%) wynosiła  $4,5 \text{ g/cm}^3$ . Zawartość frakcji ciekłej wyniosła 7,62% [7].

Do badań wiórów aluminiowych przyjęto wióry stopów aluminium pochodzące z firmy specjalizującej się w obróbce skrawaniem (z branży lotniczej). Średni wymiar cząstek (określony zgodnie z PN-89/R-64798) wynosił 15 mm. Gęstość w stanie zsypanym (oznaczona zgodnie z PN-ISO 7971-2:1998) wynosiła:  $2,2 \text{ g/cm}^3$ . Zawartość frakcji ciekłej wyniosła 6,26% [8].

Procedura oceny ilości frakcji ciekłej oraz wilgoci w sprasowanych brykietach obejmowała następujący tok postępowania:

1. Ocenie zawartości frakcji ciekłej i wilgoci poddano próbki wykonane w postaci walcowych brykietów o średnicy  $d = 80 \text{ mm}$  oraz wysokości  $h = 100 \text{ mm}$ . Z wykonanych brykietów wybrano losowo 3 sztuki wykazujące pełne ukształtowanie.
2. Każdą z próbek zważono, aby wyznaczyć ich ciężar  $G_{wb}$ .
3. Próbkę umieszczono w suszarce laboratoryjnej i ogrzano je w temperaturze  $262^\circ\text{C}$ , dokonując równocześnie pomiaru ich masy. Proces ogrzewania przerwano, gdy ciężar próbek ustabilizował się, co świadczyło o braku wilgoci.
4. Wyznaczono ciężar wysuszonych próbek  $G_{ws}$ .

Zawartość wilgoci wyrażonej w procentach wyznaczono z zależności:

$$w_{wb} = \frac{G_{wb} - G_{ws}}{G_{wb}} 100\% \quad (2)$$

Do badań wykorzystano urządzenie do prasowania i odwirowania wiórów o średnicy tłoka  $d = 160 \text{ mm}$ , ciśnieniu oleju  $p = 122 \text{ bary}$  oraz sile nacisku  $Ft = 245,3 \text{ kN}$ . Nominalne naciski jednostkowe panujące w ściskanych próbkach wyniosły  $pn = 85,6 \text{ MPa}$ . Zagęszczanie prowadzono każdorazowo w trzech powtórzeniach. Podczas badań rejestrowano krzywą zagęszczania (rys. 4).

Proces identyfikacji frakcji ciekłej przeprowadzono dla sprasowanych wiórów w formie brykietów oraz w formie luźnej przed fazą prasowania (rys. 2, 3). Po umieszczeniu próbek w suszarce (rys. 5) w temperaturze  $262^\circ\text{C}$ , wygrzewano je w stałej temperaturze do uzyskania stałej masy, a udział frakcji ciekłej wyznaczano wagowo za pomocą elektronicznej wagi technicznej.

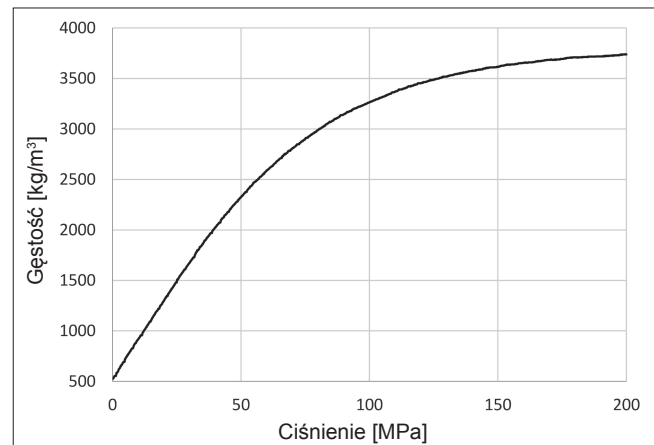


Fig. 4. The compaction curve of samples during pressing  
Rys. 4. Krzywa zagęszczania próbek podczas prasowania



Fig. 5. Samples tested in laboratory dryers  
Rys. 5. Badane próbki w suszarkach laboratoryjnych

### Analiza błędu pomiarów

Niepewność pomiarowa była obliczana na podstawie niepewności wzorcowania wagi oraz niepewności typu A wynikającej z powtarzalności pomiarów. To oznacza, że próbki były ważone przed suszeniem i po nim, a różnica mas była używana do obliczenia udziału frakcji ciekłej. Frakcja ciekła to część emulsji lub olejów, która jest w stanie ciekłym lub może przejść w stan ciekły pod wpływem temperatury lub ciśnienia. Suszenie próbek powoduje odparowanie frakcji ciekłej i zmniejszenie masy próbek. Niepewność typu A wynikająca z powtarzalności pomiarów jest obliczana na podstawie analizy statystycznej wyników serii pomiarów wykonanych w tych samych warunkach. Niepewność typu A jest równa niepewności standardowej średniej arytmetycznej wyników pomiarów, która jest obliczana ze wzoru:

$$u_A(x) = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

gdzie:  $u(x)$  – niepewność standardowa typu A;  $s$  – odchylenie standardowe wyników pomiarów;  $n$  – liczba pomiarów.



Dla próbek stalowych:  $u_{Gw} = 0,07$  g.

Dla próbek stopu aluminium:  $u_{Gw} = 0,75$  g.

Odchylenie standardowe wyników pomiarów można obliczyć ze wzoru:

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

gdzie:  $x_i$  –  $i$ -ty wynik pomiaru;  $\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$  średnia arytmetyczna wyników pomiarów.

Dla próbek stalowych:  $S_{Gw} = 0,12$  g.

Dla próbek ze stopu aluminium:  $S_{Gw} = 1,36$  g.

## Wnioski

Proces technologiczny przygotowania wiórów do prasowania wymaga zastosowania u dostawcy wiórów odstożników w celu uzyskania mniejszej wilgotności wiórów wsadowych do prasowania. Wióry należy segregować według rodzajów materiałów oraz gatunków wykorzystywanego materiału wsadowego w celu zwiększenia ceny sprzedawanego surowca. Wióry przed prasowaniem należy przygotować, zachowując ich odpowiedni granulację, zgodnie z wymaganiami norm oraz szczegółowymi wymaganiami odbiorców wyprasek. W przypadku nadmiernych rozmiarów należy wióry kruszyć w specjalnych urządzeniach.

W badaniach wykazano, że zawartość wilgoci w wiórach odbieranych od producentów wynosi: dla wiórów stalowych 7–8% (średnio 7,62%), dla wiórów aluminiowych 6–7% (średnio 6,28%). Zmierzona wilgotność wiórów (wartość średnia) po procesie prasowania wyniosła odpowiednio:

- dla wiórów stalowych 4,78%,
- dla wiórów aluminiowych 1,86%.

Są to wartości dopuszczalne określone w normach [2, 3]. W przypadku nieosiągnięcia tych wartości wskazane jest wstępne odwirowanie wiórów przed procesem prasowania, zwłaszcza w przypadku wiórów o dużej wilgotności wstępnej (powyżej 12%). Gęstość stali wynosi około 7850 kg/m<sup>3</sup>, po zbrykietowaniu wiórów stalowych na brykietarce gęstość wynosi do 5300 kg/m<sup>3</sup>. Brykiety mają jednakową gęstość w całej objętości produktu, nie występuje efekt plasterkowania, a wytrzymałość na rozkruszanie na powierzchni bocznej zapewnia ich bezpieczny transport (efekt wykuszania jest minimalny).

## Podziękowania

Proces powstał w ramach projektu POIR.03.02.01-18-0007/20 „Wdrożenie wyników prac B+R poprzez wprowadzenie innowacyjnego procesu dynamicznej selekcji materiałów metalicznych”, współfinansowanego z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014–2020 z Działania 3.2: „Wsparcie wdrożeń wyników prac B+R”, Poddziałania 3.2.1.: „Badania na rynek” w ramach III Osi priorytetowej: „Wsparcie innowacji w przedsiębiorstwach”.

## LITERATURA

- [1] Bałon P., Rejman E., Smusz R., Szostak J., Kiełbasa B. “Implementation of high speed machining in thin-walled aircraft integral elements”. *Open Engineering*. 8, 1 (2018): 162–169, <https://doi.org/10.1515/eng-2018-0021>.
- [2] Bałon P., Rejman E., Smusz R., Szostak J., Kiełbasa B. “High speed milling in thin-walled aircraft structures”. *Applied Computer Science*. 14, 2 (2018): 82–95, <https://doi.org/10.23743/acs-2018-15>.
- [3] Bałon P., Rejman E., Kiełbasa B., Smusz R. “Using HSM technology in machining of thin-walled aircraft structures”. *Acta Mechanica et Automatica*. 16, 1 (2022): 27–33, <https://doi.org/10.2478/ama-2022-0004>.
- [4] Korbel A., Bochniak W., Śliwa R., Ostachowski P., Łagoda M., Kusion Z., Trzebuniak B. „Niskotemperaturowa konsolidacja wiórów z trudno odkształcalnych stopów aluminium”. *Obróbka Plastyczna Metali*. XXVII, 2 (2016): 133–151.
- [5] Demianiuk L., Hejft R. „Nowe rozwiązania konstrukcyjne brykietarek do trocin”. *Przegląd Mechaniczny*. 30–33, 1 (2002).
- [6] Rozporządzenie Rady Unii Europejskiej Nr 333/2011 ustanawiające kryteria, kiedy pewne rodzaje złomu przestają być odpadami na mocy dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE.
- [7] PN-85/H-15000: Złom stalowy.
- [8] PN-91/M-15715/04: Złom aluminium i jego stopów.
- [9] Norma Zakładowa ZM-CMCP-Z – 1/2021 – Złom stalowy wsadowy. CMC Poland Sp. z o.o.
- [10] „Moisture Analysis, Fundamentals and Applications Mettler”. Toledo (2023).
- [11] „Warunki odbioru złomu wsadowego w Arcelor Mittal Poland S.A.”. Warunki WT/03.3/Z.002, 30.03.2022 ■