

Odporność łupka miedzionośnego na szok termiczny

Paweł Muszyński, Jan Drzymała

Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, jan.drzymała@pwr.edu.pl

Streszczenie

W pracy przeanalizowano wpływ szoku termicznego na właściwości łupka miedzionośnego. W badaniach wykorzystano płytki skały łupkowej pochodzące z Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedzianego. Każdą próbkę umieszczono w piecu i poddano działaniu temperatury w zakresie 800 °C do 1100 °C. Rozgrzane próbki następnie gwałtownie schładzano w wodzie o temperaturze pokojowej 20 °C. Badania ukazały wpływ szoku termicznego na właściwości wytrzymałościowe i strukturę skały. We wszystkich próbach zaobserwowano postępujący proces rozwarstwiania się oraz osłabienie zwięzłości łupka. Efektem tych zmian było kruszenie się łupka pod wpływem niewielkiego nacisku. Próbki łupka po szoku termicznym poddano badaniu wytrzymałości na upadek z wysokości 1 metra na twarde podłoże. Efektem tego testu był częściowy rozpad łupka, który był tym większy im wyższa była temperatura szoku termicznego. Określono także składy ziarnowe rozkruszonych próbek.

Wprowadzenie

Monoklina przedsudecka zlokalizowana jest w zachodnio-południowej części Polski Jej powstanie datuje się na okres permsko – mezozoiczny (Kondracki, 2002). Do utworów permskich zaliczamy, między innymi, zlepieńce, piaskowce oraz łupki z wtrąceniami melafirów i porfirów (Stupnicka, 1989). Powyżej znajdują się jasnoszare piaskowce oraz cechsztyńskie osady. Do najważniejszych, ze względu na aspekty gospodarcze, należą łupki miedzionośne oraz współwystępujące wapienie i dolomity (Kucha i Mayer, 2007). Dodatkowo rzadziej występują anhydryty, gips, łupki ilaste i sól kamienna (Krawczykowska, 2007).

Ruda miedzi pochodząca z monokliny przedsudeckiej po szeregu operacjach jest źródłem flotacyjnego koncentratu miedzianego, a ten miedzi metalicznej i innych metali o dużej wartości handlowej. Optymalizacja procesów urabiania, transportu, rozdrabniania, wzbogacania i wytopu stanowią istotne aspekty ekonomiczne procesu produkcji miedzi. Konieczność unowocześniania procesów przerobu rudy zmusza do poszukiwania lepszych rozwiązań technologicznych, w tym dotyczących rozdrabniania. Dlatego celem tej pracy stało się sprawdzenie jak skała łupkowa reaguje na szok termiczny czyli proces, w którym materiał poddawany jest działaniu wysokiej temperatury, a następnie gwałtownie chłodzony w wodzie o temperaturze otoczenia (Jasiński i inni, 1976).

Metodyka badań

Badania laboratoryjne łupka miedzionośnego pod kątem wpływu szoku termicznego na jego strukturę wykonano na pięciu próbkach pochodzących z rejonu Legnicko – Głogowskiego Okręgu Miedzianego (LGOM). Do badań użyto płytek o wymiarach 40x40x8 mm (rys. 1), które wycięto ze skały łupkowej.



Rys.1. Próbkki łupka o wymiarach 40x40x8 mm przed badaniem odporności na szok termiczny

Przed przystąpieniem do ogrzewania próbek w piecu komorowym, płytki łupka zostały zważone. Tabela 1. przedstawia masy poszczególnych próbek przed badaniem, ich numery oraz temperaturę do jakiej zostały ogrzane, a następnie gwałtownie schłodzone.

Tabela 1. Waga poszczególnych próbek łupka miedzionośnego przed ogrzaniem w piecu oraz temperatura do której były podgrzane w piecu, a następnie gwałtownie schłodzone

Nr próbki	Masa, g	Temperatura ogrzewania, °C
1	48,916	800
2	47,416	900
3	42,634	1000
4	40,502	1100
5*	42,402	1000

* - bez szoku termicznego, powolne oziębianie

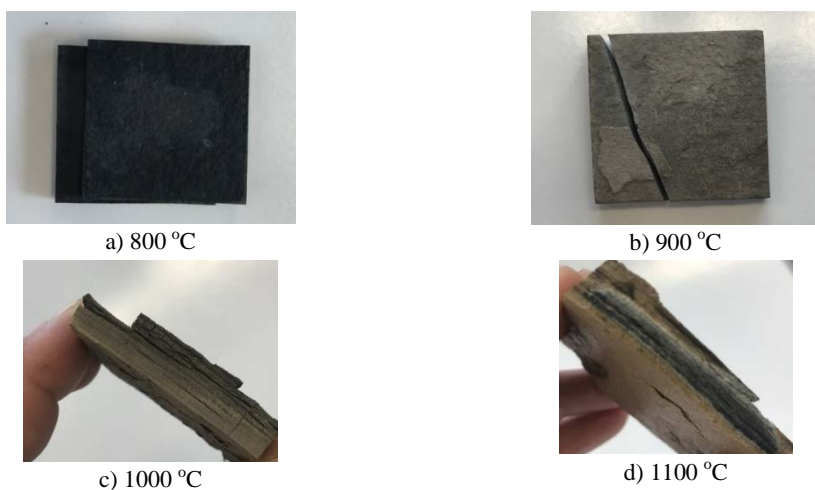
Próbki 1-4 włożono do chłodnego laboratoryjnego pieca komorowego (model MLW) o możliwości wytworzenia maksymalnej temperatury 1200 °C. Temperaturę w piecu podnoszono z prędkością około 50 stopni na minutę. Gdy temperatura osiągnęła 800 stopni Celsjusza wyciągnięto próbkę nr 1 i poddano ją szokowi termicznemu. Próbkę nr 2 wyciągnięto przy temperaturze 900 stopni, próbkę 3. przy 1000 °C, a próbkę 4. gdy piec miał 1100 °C. Płytkę nr 5 służyła jako ślepa próba. Poddano ją działaniu temperatury wynoszącej 1000 °C, lecz nie chłodzono jej próbki gwałtownie, gdyż traciła ona ciepło w temperaturze pokojowej. Ślepą próbkę stanowił wzorzec do późniejszego wglądu i porównaniu różnic między rezultatami badań. Szoku termicznego dokonywano w wodzie destylowanej o temperaturze pokojowej 20 °C. Po szoku wszystkie próbki poddane były próbie wytrzymałości na zrzucanie z wysokości 1 m na płytkę ceramiczną. Metoda ta znana jest jako zrzut grawitacyjny (Borowski i inni, 2016; Fiszer i Dworecki, 2012). W taki sam sposób postąpiono z próbą ślepą. Po wykonaniu zrzutu materiał został poddany klasyfikacji ziarnowej w przesiewaczu wyposażonym w sita o wielkości oczek od 64 mm do 0 mm. Otrzymane frakcje ziarnowe zważono.

Wyniki i dyskusja badań

a) Szok termiczny

Podczas nagrzewania próbek, przy temperaturze około 300 °C, zaobserwowano wydostający się z pieca dym. Doszło wtedy do spalania się związków organicznych zawartych w łupku. Przy temperaturze około 500 °C dymu było znacznie więcej i przybierał on barwę żółtą, co wskazuje, że spalały się siarczki. W temperaturze około 680 °C dym przestawał się wydostawać z pieca. Po 15 minutach piec nagrzał się do temperatury 800 °C. Po osiągnięciu w piecu temperatury 800 °C próbka nr 1 została z niego wyciągnięta oraz niezwłocznie włożona do pojemnika z wodą w temperaturze pokojowej. Podczas zanurzania badanego materiału, dochodziło do intensywnego parowania wody z jednoczesną emisją dźwięku (syczenie), który towarzyszył procesowi chłodzenia. W czasie zanurzenia można było zaobserwować odpadające cząstki próbki o wielkościach około 1 mm. Na skutek szoku termicznego w każdej próbce dochodziło do rozwarstwiania się badanego materiału na dwie części oraz zmiany zabarwienia na jaśniejszy odcień. Odcień próbki nr 2 (ogrzewanej do 900 °C) po szoku termicznym był jaśniejszy niż próbki nr 1. Próbka wyciągnięta z pieca nagrzanego do temperatury 1000 °C świeciła się intensywnie na czerwono. Podczas schładzania dźwięk nie był już tak głośny, jak w przypadku dwóch poprzednich materiałów. Od próbki odpadły większe kawałki, a niektóre przekraczały wielkość 1 cm. Materiał zaczął się intensywnie rozwarstwiać, pękać i kruszyć. Podczas trzymania próbki w dłoni, można było odczuć, że stała się ona krucha, a jej struktura uległa osłabieniu. Barwa próbki zmieniła kolor na jasno-brązowy. Materiał badany po wyciągnięciu z pieca nagrzanego do 1100 °C był rozżarzony i posiadał barwę intensywnie jasnożółtą i czerwoną. Skała uległa mięknięciu oraz przyległa do tygla laboratoryjnego. Podczas schładzania odpadły duże kawałki próbki, a materiał uległ rozwarstwieniu na 3 części i popękał. Próbka rozkruszyła się w dłoniach. Po schłodzeniu w wodzie uzyskała kolor jasno brązowy.

Na rys. 2. pokazano próbki 1-4 łupka po szoku termicznym w różnych temperaturach. Widoczne są zmiany barwy oraz częściowy rozpad.



Rys. 2. Próbki łupka 1-4 po szoku termicznym po ogrzaniu do różnych temperatur

Po przeprowadzonym eksperymencie każdą z próbek suszono i ważono, a wyniki przedstawia tabela 2.

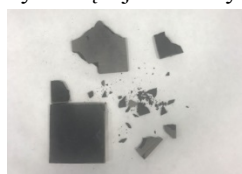
Tabela 2. Waga próbek 1-4 łupka miedzionośnego przed i po szoku termicznym

Nr próbki	Temperatura ogrzewania	Masa próbek przed ogrzewaniem	Masa próbek po szoku termicznym	Procentowy ubytek masy
	[°C]	[g]	[g]	[%]
1	800	48,916	46,474	4,9922
2	900	47,416	42,192	11,0174
3	1000	42,634	34,71	18,5861
4	1100	40,502	34,78	14,1277

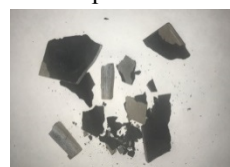
Dla porównania, przebadano również próbkę nr 5. Ogrzano ją do temperatury 1000 °C, po czym wyciągnięto z pieca i pozostawiono do schłodzenia w temperaturze pokojowej. Nie zauważono, aby próbka zmieniła swoją strukturę, jak było w przypadku próbek 1 – 4. Nie stała się krucha i nie rozwarstwiała się. Jediną zmianą była zmiana koloru na jasno-brązowy z ciemno-szarego. Próbkę zważono i okazało się, że podczas wygrzewania straciła około 7% wagi.

b) Testy wytrzymałościowe

Badana wytrzymałościowo wykonano w celu sprawdzenia, czy gwałtowne schłodzenie, powodujące szok termiczny badanego materiału, wpłynie na jego wytrzymałość. Próbki 1-5 pojedynczo były zrzucane z wysokości 1 m w osłoniętej rurze na twardą podstawę z płytek ceramicznych. Każda kolejna z próbek rozpadała się na coraz mniejsze kawałki (rys. 3) i było ich tym więcej im do wyższej temperatury nagrzana została próbka.



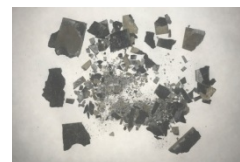
a) 800 °C



b) 900 °C



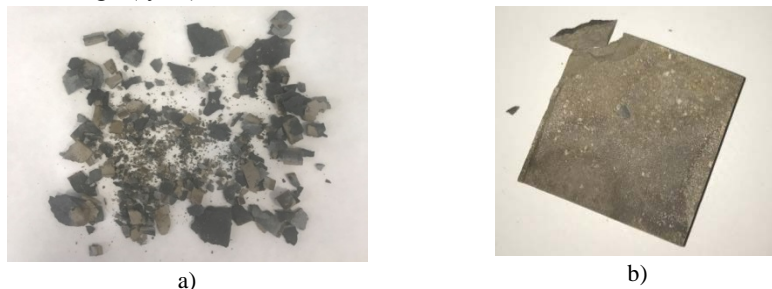
c) 1000 °C



d) 1100 °C

Rys. 3. Próbki 1-4 po szoku termicznym i teście wytrzymałościowym

Dla porównania próbka 5., która była schładzana wolno, nie rozpadła w wyniku testu wytrzymałościowego (rys.4).



Rys. 4. Porównanie wpływu szoku termicznego na wytrzymałość próbek łupka wygrzewanych do temperatury 1000 °C: a) z szokiem termicznym, b) bez szoku termicznego

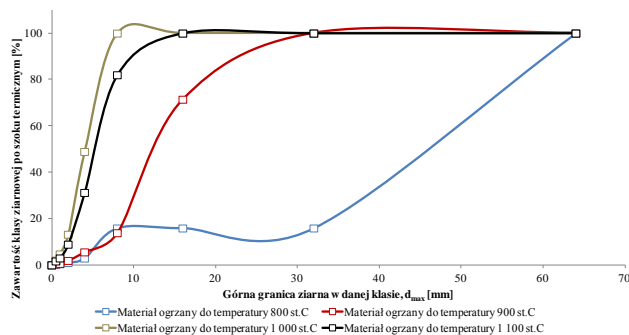
Rysunek 4. wskazuje, że szok termiczny jest skuteczny dla jego rozpadu w teście wytrzymałościowym.

c) Skład ziarnowy po szoku termicznym i teście wytrzymałościowym

Skład ziarnowy próbek 1-4 łupka po szoku termicznym i po teście wytrzymałościowym przedstawiono w tabeli 3, a w formie graficznej na rys. 5.

Tabela 3. Skład ziarnowy próbek 1-4 łupka po szoku termicznym i po teście wytrzymałościowym

Klasa ziarnowa mm	Udział procentowy poszczególnych klas ziarnowych uzyskanych po szoku termicznym i teście wytrzymałościowym							
	próbka 1., 800°C		próbka 2., 900°C		próbka 3., 1000°C		próbka 4., 1100°C	
	g	γ, %	g	γ, %	g	γ, %	g	γ, %
64	39,084	84,0986	0	0	0	0	0	0
32	0	0	12,042	28,5410	0	0	0	0
16	0	0	24,302	57,5986	0	0	6,178	17,9802
8	6,032	12,9793	3,49	8,2717	17,73	51,0804	17,448	50,7800
4	0,894	1,9237	1,556	3,6879	12,396	35,7131	7,674	22,3341
2	0,257	0,5530	0,54	1,2799	2,952	8,5048	2,042	5,9430
1	0,088	0,1894	0,096	0,2275	0,93	2,6793	0,444	1,2922
0	0,119	0,2561	0,166	0,3934	0,702	2,0225	0,574	1,6705
Σ	46,474	[-]	42,192	[-]	34,71	[-]	34,36	[-]



Rys. 5. Krzywe składu ziarnowego dla próbek 1-4 otrzymanych po szok termicznym i teście wytrzymałościowym

Powyższy wykres obrazuje jak zmienia się zawartość poszczególnych frakcji w zależności od wielkości temperatury, do której próbki ogrzewano w celu wywołania szoku termicznego. Z rys. 5. wynika, że wraz ze wzrostem temperatury charakterystyka składu ziarnowego przesuwa się w lewą stronę, co świadczy o otrzymywaniu drobniejszych frakcji.

Wnioski

Shok termiczny łupka miedzionośnego ma duży wpływ na zmiany jego właściwości. Największe efekty otrzymuje się między 1000 a 1100 °C, kiedy próbka jest rozżarzona. Wraz z temperaturą szoku termicznego łupek zmienia barwę oraz zmniejsza wytrzymałość na rozdrabnianie.

Podziękowania

Niniejszy artykuł oparty jest na pracy inżynierskiej Pawła Muszyńskiego *Zmiana składu ziarnowego łupka miedzionośnego pod wpływem szoku termicznego* (opiekun Jan Drzymała) wykonanej w roku 2017 na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej. Przygotowanie tego artykułu sfinansowane zostało z grantu statutowego 0401/0129/17.

Literatura

- BOROWSKI, G., HYCNAR J., JÓZEFIK T., 2016. *Przemysłowe próby brykietowania dla zagospodarowania łazyskowych odpadów poszlifierskich*, Rocznik Ochrona Środowiska, 18, 205-217.
- FISZER, A., DWORECKI Z., 2012. *Wpływ rodzaju surowca roślinnego na odporność brykietów na zrzut grawitacyjny*, Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 5, 1-4.
- JASIŃSKI, A. WITEK, B. WIŚNIEWSKI, M. KUBAN, M. SZCZYTOWSKI, A. TOMYS, B., 1976. *Uszlachetnianie surowca kwarcowego z Olesznej Podgórskiej dla celów hutnictwa szkła kwarcowego*, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 69-79.
- KONDRACKI J., 2002, *Geografia regionalna Polski*, Warszawa, PWN.
- KRAWCZYKOWSKA A., 2007, *Rozpoznawanie obrazów w identyfikacji typów rud i ich właściwości w produktach przeróbki rud miedzi*, Kraków.
- KUCHA H., GLUSZEK A., 1983, *Zmienność okruszczenia Cu, Zn, Pb i Ag w zo u kopalni Lubin*, Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, 53: 1 – 4, 143 – 168.
- KUCHA H., MAYER W., 2007, *Geochemia w: Monografia KGHM Polska Miedź S.A., Piestrzyński A. i in. (red.)*, Lubin, 237- 251.
- STUPNICKA E., 1989, *Geologia regionalna Polski*, Wydawnictwo Geologiczne.