

MIKROSTRUKTURY WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW STOSOWANYCH W MASZYNACH I URZĄDZENIACH GÓRNICTWA SKALNEGO

MICROSTRUCTURES AND SELECTED PROPERTIES OF MATERIALS APPLIED IN MACHINES AND EQUIPMENT FOR ROCK MINING

Andrzej Figiel – Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska
Mirosław Mróz – Kopalnia Melafiru w Czarnym Borze
Magdalena Petecka, Grzegorz Pękalski – Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska

W artykule przedstawiono wyniki badań metalograficznych materiałów wykorzystywanych na elementy urządzeń linii technologicznej służącej do uzyskiwania kruszywa melafirowego o różnych frakcjach. Na podstawie badań metodami mikroskopii świetlnej i skaningowej, analiz chemicznych oraz pomiarów twardości stwierdzono, że szczęki kruszarki oraz płyty wykładzinowe młyna kulowego wykonano ze staliw austenitycznych w stanie po odlaniu i o prawidłowych składach chemicznych. Natomiast blachy wykładzinowe przesyków są wykonane ze stali Hardox 450, która wykazuje zbyt niską zawartość węgla, a co za tym idzie, także zbyt niską twardość. Wskazano na możliwość zastąpienia materiału płyt wykładzinowych młyna kulowego ze staliwa gatunku L120G13 staliwem GX120MnCr17-2 oraz na potrzebę kontroli twardości stali Hardox 450 przed wykonaniem z tego materiału blach wykładzinowych przesyków.

The paper presents results of metallographic tests of materials applied for parts of the equipment used in a process line for winning melaphyre aggregate of different fractions. Based at the tests using methods of light and scanning microscopy, chemical analyses and hardness measurements it has been found that the crusher jaws and lining plates of the ball mill have been made of austenitic cast steels in the as cast state with correct chemical compositions. The lining sheets of chutes, instead, are made of Hardox 450 steel, which shows too low content of carbon resulting in its too low hardness. A possibility of replacing the material of the ball mill lining plates made of the L120G13 grade cast steel with the GX120MnCr17-2 cast steel, as well as the need for Hardox 450 steel hardness control before applying it to lining plates of chutes were indicated.

Wprowadzenie

W pracach Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej zagadnienia doboru materiałów na elementy i zespoły maszyn narażone na zużywanie ściernie w warunkach obciążeń dynamicznych były dotychczas rozważane w odniesieniu do maszyn górnictwa węgla brunatnego. [1,2]

Urządzenia i maszyny górnictwa skalnego cechują się podobieństwem oddziaływających na nie widm obciążeń oraz wymagają zbliżonego podejścia w rozwiązywaniu problemów materiałowych. Odmienność polega na rodzaju urabianego i przetwarzanego gruntu. Kopalnia w Czarnym Borze zajmuje się eksploatacją złóż melafiru. Jest to skała magmowa powstała w okresie paleozoiku. Pod względem jakościowym odpowiada trzeciorzędowym bazaltom i jest surowcem do produkcji różnego rodzaju kruszyw. Są one wytwarzane we frakcjach od 2 do 63 mm. Ich zastosowania są bardzo szerokie i dotyczą warstw ściernalnych, wiążących i podbudów w budowie dróg (PN-EN 13043), kruszyw do betonów (PN-EN 12620), a także kruszyw na podsypkę kolejową (PN-EN 13450). Na Dolnym Śląsku materiały te były ostatnio wykorzystywane np. w budowie linii kolejowej Wrocław – Wałbrzych [3].

Rozległe obszary wykorzystania melafiru wymagają zwiększenia jego wydobywania i, wiążącego się z tym, wzrostu trwałości „krytycznych” elementów maszyn i urządzeń. Dla porównania, jeśli w roku 1952 wydobywano roczne 14491 ton urobku, to w roku 1972 wydobywanie osiągnęło poziom 621 915 ton [4].

W roku 2010 produkcja osiągnęła poziom 1 825 000 ton. Po wydobywaniu melafiru jest kruszony za pomocą kruszarek, w których elementami „szybko zużywalnymi” są ich szczęki, następnie jest mielony na różne frakcje w młynach kulowych (elementy krytyczne to płyty wykładzinowe). W dalszej kolejności urobek jest lokowany na składowiskach poprzez system taśmociągów i przesyków (elementy krytyczne przesyków to blachy wykładzinowe). Materiały, które są obecnie wykorzystywane do wykonania elementów określonych powyżej jako „szybko zużywalne” lub „krytyczne”, były przedmiotem badań relacjonowanych w przedkładanym artykule. Według danych uzyskanych w Kopalni w Czarnym Borze są to wysokomanganowe staliwa bazujące na staliwie Hadfielda oraz niskostopowe stale martenzytyczne (Hardox 450). W zależności od miejsca wykorzystania oraz od frakcji melafiru wykazują one trwałość od 350 godzin (szczęki kruszarki, co odpowiada przerobowi 80 000 ton materiału) do 1400 godzin (blacha wykładzinowa przesywu drobnego kruszcu o uziarnieniu 4-35 mm, ilość materiału ściernego około 70 000 ton). Sygnalizowany powyżej znaczący rozrzut trwałości „elementów krytycznych” wskazuje na potrzebę indywidualnego podejścia do propozycji materiałowych. Powinno ono także bazować na wynikach badań obecnie stosowanych materiałów. To właśnie zagadnienie stanowi istotę przedstawianej publikacji, skutkując analizą nie tylko struktur i wybranych właściwości tych materiałów, ale także propozycjami nowych rozwiązań. Wydaje się, że propozycje nowych rozwiązań materiałowych

mogą wynikać z porównania rezultatów badań odporności na zużycie ściernie obecnie wykorzystywanych materiałów i bardzo już szerokiego spektrum innych stali, staliw i żeliw, które były i są przedmiotem prac badawczych [1,5,6].

W pracach tych zawarto wyniki badań odporności na ścieranie kilkudziesięciu już materiałów (w różnych stanach obróbki cieplnej) z grupy stali martenzytycznych, stali niskostopowych, staliw i żeliw wysokochromowych wykorzystywanych w warunkach ścierania udarowego. Wyniki tych badań będą uzupełnione i skonfrontowane (w drugiej połowie roku 2011) z rezultatami uzyskanymi dla obecnie analizowanych tworzyw. Stworzy to podstawy do, umotywowanych racjonalnie wynikami badań, wyborów i decyzji dotyczących przeprowadzenia prób w warunkach eksploatacyjnych.

Materiały do badań – wyniki obserwacji makroskopowych

Wyboru materiałów do badań dokonano na podstawie rozpoznania przeprowadzonego w czasie pobytu w Kopalni w Czarnym Borze oraz opinii Ekspertów – Eksploatatorów. Wyselekcjonowano następujące elementy zespołów konstrukcji maszyn i urządzeń kopalnianych:

- materiał zamka szczęki kruszarki typu R120 (Próbka 1)
- materiał płyty wykładzinowej młyna kulowego (Próbka 2)
- materiał blachy wykładzinowej przesypu o początkowej grubości 30 mm (Próbka 3)
- materiał blachy wykładzinowej, osłaniającej konstrukcję przesypu o początkowej grubości 15 mm (Próbka 4)
- materiał blachy wykładzinowej o początkowej grubości 30 mm (Próbka 5)

Na rysunku 1 – 5 pokazano makroskopowe zdjęcia poddanych badaniom elementów w stanie poeksploatacyjnym.

Jak wynika z dokumentacji przedstawionej na rysunkach 1 i 2 zużycie powierzchni roboczych w próbkach 1 i 2 polega na ścieraniu ich powierzchni i na zmia-



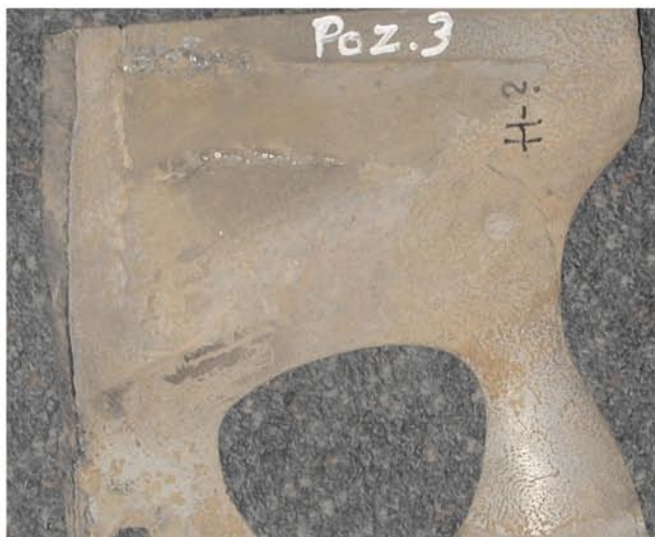
Rys.1. Próbka 1. Makroskopowy obraz stanu powierzchni roboczej szczęki kruszarki do kruszenia skały o kubaturze 10-1000 mm.

Czas pracy około 350 godzin, przerób około 80 000 ton
 Fig. 1. Sample 1. Macroscopic image of surface state of crusher jaw applied for crushing rocks size of 10-1000 mm. Operation time ca. 350 hours, production ca. 80 000 tons



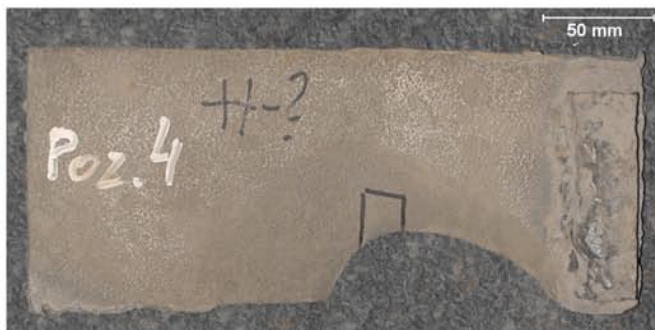
Rys.2. Próbka 2. Makroskopowy obraz stanu powierzchni płyty wykładzinowej młyna kulowego osłaniającej część konstrukcji zsyphu.

Kubatura materiału 100 – 1200 mmm, przerób około 200 000 ton
 Fig. 2. Sample 2 Macroscopic image of surface state of lining plates of the ball mill protecting chute construction elements. Materials size of 100-1200 mm. Production ca. 200 000 tons zsyphu. Kubatura materiału 100 – 1200 mmm, przerób około 200 000 ton



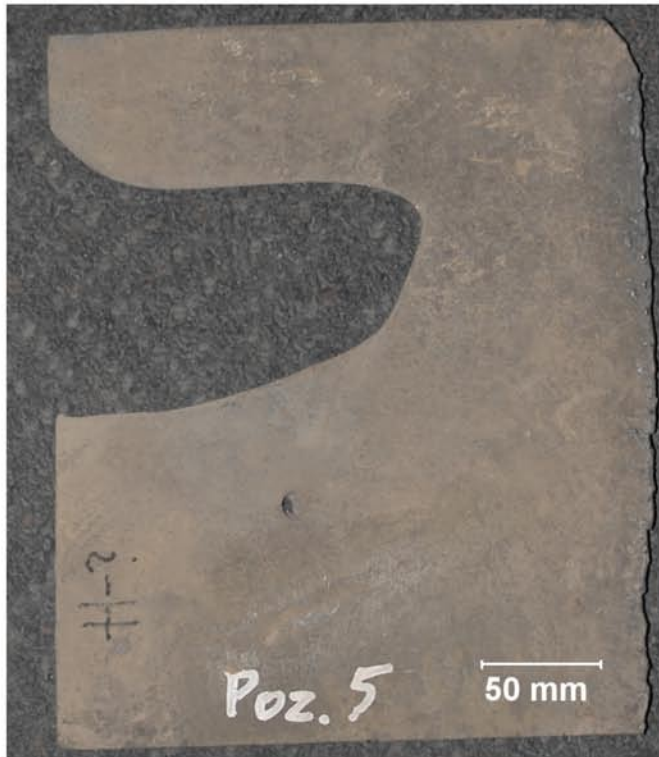
Rys.3. Próbka 3. Makroskopowy obraz stanu powierzchni blachy wykładzinowej przesypu. Grubość początkowa 30 mm, uziarnienie materiału 35 – 60 mm, szybkość spadku melafiru 2 m/s, czas pracy około 450 godzin, przerób około 200 000 ton

Fig. 3. Sample 3. Macroscopic image of surface state of lining sheets of chute. Initial thickness- 30 mm, granulation 35-60 mm, melaphyre drop speed- 2 m/s. Operation time- ca. 450 hours, production ca. 200 000 tons



Rys.4. Próbka 4. Makroskopowy obraz blachy wykładzinowej osłaniającej konstrukcję przesypu. Grubość początkowa 15 mm, uziarnienie materiału melafirowego 16 – 22 mm, czas pracy około 1350 godzin, przerób około 35 000 ton

Fig. 4. Sample 4. Macroscopic image of surface state of lining sheets protecting chute construction. Initial thickness- 15 mm, melaphyre granulation 16-22 mm, operation time- ca. 1350 hours, production ca. 35 000 tons



Rys.5. Próbką 5. Makroskopowy obraz blachy wykładzinowej przesypanego drobnego kruszcu melafirowego (uziarnienie 4 – 35 mm, ostrokrawędziowy, czas pracy około 1400 godzin, przerób około 70 000 ton)

Fig. 5 Sample 5. Macroscopic image of lining sheets of chute of fine-grained melaphyre (graining- 4-35 mm; operation time- ca 1400 hours, processing- ca. 70 000 tons)

nie geometrii - w przypadku szczęki kruszarki zmniejszeniu wysokości występów na powierzchni roboczej, a w przypadku płyty wykładzinowej młyna kulowego na dość równomiernym bruzdowaniu i nieznacznej zmianie jej grubości. W obu przypadkach na powierzchniach tych próbek nie stwierdzono występowania pęknięć o charakterze makroskopowym. O ile zmiany stanu powierzchni roboczej szczęki

kruszarki wskazują na utratę zakładanych własności, to stan powierzchni próbki 2 sugeruje możliwość dalszej eksploatacji płyty wykładzinowej. W świetle rysunków 3 – 5 przebieg zużycia płyt (próbki 3 – 5) jest odmienny od próbek 1 i 2. Bez względu na grubość blach, w obszarach najintensywniejszego oddziaływania ścierniwa następuje w funkcji czasu zmniejszenie grubości blachy, aż do jej perforacji. Na nierównomierne rozłożenie narażeń powierzchni próbek 3 – 5 wskazuje także praktycznie nienaruszony stan powierzchni w pobliżu połączeń spawanych. Gdyby wystąpiły one w obszarach stref wpływu ciepła nawet przy niewielkich narażeniach ściernych uległyby one (jak to wykazano w pracy [7]) intensywnemu zużyciu. Obserwacja ta ma istotne znaczenie, gdyż w rozpatrywanych przypadkach spawanie płyt nie wywołuje obniżenia ich trwałości, jak to ma miejsce w przypadku płyt wykładzinowych, montowanych technologiami spawalniczymi na zsuwni stałej koła czerpakowego kołowych koparek węgla brunatnego.

Wyniki analiz chemicznych i pomiarów twardości

Według danych zaczerpniętych z dokumentacji udostępnionej przez Kopalnię w Czarnym Borze próbki 1 i 2 zostały wykonane ze stali. Nie dysponowano informacjami dotyczącymi gatunku materiału, z którego wykonano szczęki kruszarki (próbka 1), natomiast płytę młyna kulowego (próbka 2) wykonano ze staliwa Hadfielda. Próbkę 3 – 5 według dokumentacji wykonano z niskostopowej stali martenzytycznej o podwyższonej odporności na ścieranie (Hardox 450).

Identyfikację składu chemicznego badanych materiałów przeprowadzono metodą grawimetryczną oraz weryfikowano uzyskane wyniki za pomocą mikroanaliz chemicznych stosowanych w metodach elektronicznej mikroskopii skaningowej. Wynik tych analiz wraz z wynikami średnimi pomiarów twardości przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Wyniki analiz chemicznych próbek 1 i 2 dowodzą, że są to staliwa wysokomanganowe. Skład chemiczny próbki 2 odpowiada wymaganiom normy PN-88/H-83160 wykazując

Tab. 1. Wyniki analiz chemicznych
Tab. 1. Results of chemical analysis

Lp.	Oznaczenie próbki	Skład chemiczny								
		%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%B**
1	Próbka 1 [GX120MnCr 17-2]	1,230	18,000	0,350	0,015	0,009	1,800	0,350	-	-
2	Skład chemiczny ISO 13521:1999	1,2	17,5	0,6			2,0			
3	Próbka 2 [L120G13]	1,10	12,50	0,50	0,009	0,008	1,30	0,50	-	-
4	Skład chemiczny według normy PN-88/H-83160 staliwa L120G13T	1,00-1,40	12,00-14,00	0,30-1,00	<0,100	<0,030	<1,00	<1,00	-	-
5	Próbka 3 [Hardox 450]	0,15	1,30	0,50	0,009	0,005	0,60	0,30	-	-
6	Próbka 4 [Hardox 450]	0,15	1,30	0,50	0,010	0,005	0,10	0,10	-	-
7	Próbka 5 [Hardox 450]	0,15	1,35	0,47	0,009	0,006	0,60	0,30	-	-
8	Skład chemiczny według SSAB Oxelosund AB dla stali Hardox 450	0,21-0,26	1,60*	0,70*	0,025*	0,010*	0,25-1,40	0,25-1,00	0,25-0,60	0,004*

* wartości maksymalnej zawartości pierwiastka stopowego, / *maximal content of alloying addition

** nie określono metodą grawimetryczną / **not defined with gravimetric method

Tab. 2. Wyniki pomiarów twardości
Tab. 2. Results of hardness tests

Lp.	Oznaczenie próbki	Twardość [HB]
1	Próbka 1 [GX120MnCr 17-2]	299
2	Twardość ISO 13521:1999	270-310
3	Próbka 2 [L120G13]	256
4	Twardość według normy PN-88/H-83160 staliwa L120G13T	170-217
5	Próbka 3 [Hardox 450]	316
6	Próbka 4 [Hardox 450]	262
7	Próbka 5 [Hardox 450]	355
8	Twardość według SSAB Oxelosund AB dla stali Hardox 450	425-475

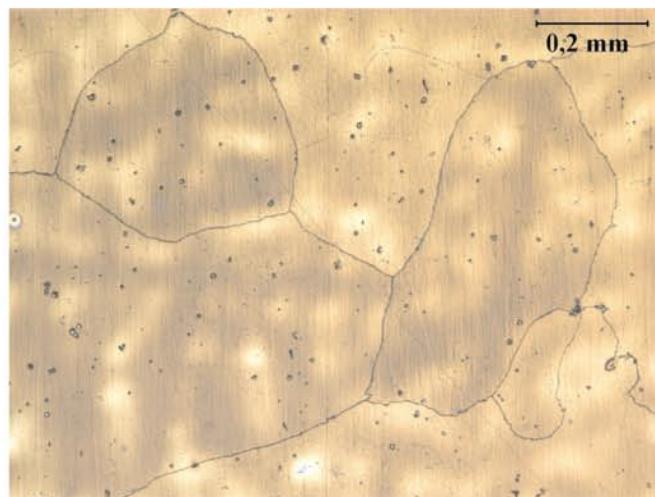
zawyżoną (od 0,3 do 0,6%) zawartość chromu w zależności od metody jego określenia. To odchylenie od wymagań normy nie powoduje w żadnym razie niekorzystnej zmiany jego własności. W stanie przesyconym twardość staliwa Hadfielda powinna wynosić około 210 HB. W próbce 1 zawartość manganu jest istotnie wyższa niż w próbce 2, a ilość chromu (liczona jako średnia z wyników obu metod analizy) nieznacznie przekracza 2%. Ustalony skład chemiczny tego materiału pozwala go sklasyfikować jako staliwo gatunku GX120MnCr 17-2 ujmowane w normie ISO 13521:1999. Wysoka zawartość manganu powoduje, że muszą to być staliwa o osnowie stopowego austenitu, charakteryzujące się wysoką odpornością na ścieranie. Różnice w składach chemicznych próbek 1 i 2 skutkują także innymi ich twardościami (próbka 1 – 299 HB, próbka 2 – 256 HB). Stale Hardox należą do nielicznej grupy materiałów o zmiennym składzie chemicznym w funkcji grubości blachy. Podstawowym parametrem ich klasyfikacji jest twardość, która w rozpatrywanym przypadku powinna wynosić od 425 do 475 HB. Założeniem zmienności składu chemicznego tych materiałów jest minimalna, określana przez normę, zawartość węgla w blachach o małej grubości, podobnie jak innych dodatków stopowych. W próbkach nr 1,2,3 stwierdzono powtarzalnie zaniżoną aż o 0,06% zawartość węgla w stosunku do minimalnych wymagań producenta. Pomiar twardości dowodzą, że żadna z tych próbek nie osiąga najniższej przewidywanej dla stali Hardox 450 twardości wynoszącej 425 HB. Wyniki badań płyt wykładzinowych przesypów wskazują, że stosowany na nie materiał nie spełnia wymagań składu chemicznego i twardości przewidywanych dla stali Hardox 450.

Wyniki badań mikroskopowych

Na rysunkach 6 i 7 pokazano mikrostruktury próbek 1 i 2. Z obrazów tych wynika, że mają one strukturę austenityczną, z wydzieleniami cementytu manganowego na granicach i u zbiegu granic ziaren. W stopie zawierającym podwyższoną ilość manganu i chromu (próbka 1) węgliki ϵ występują liczniej w obrębie wnętrza ziaren.

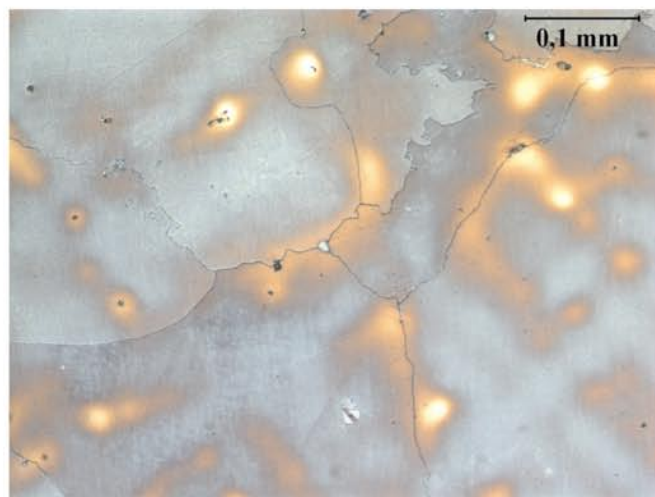
Widma energetyczne promieniowania rentgenowskiego

pokazane na rysunkach 9 i 12 potwierdzają wyniki analiz chemicznych przeprowadzonych metodą grawimetryczną. Obrazy mikrostruktur uzyskane za pomocą metody elektronicznej mikroskopii skaningowej dowodzą, że badane staliwa zostały zastosowane na elementy konstrukcji w stanie „po odlaniu”, a nie w stanie przesyconym. W toku badań makroskopowych w przypadku próbek 1 i 2 nie stwierdzono występowania na nich pęknięć. Prowadzi to do przekonania, że w materiale szczęki kruszarki oraz w materiale płyty wykładzinowej młyna kulowego dominującą cechą powinna być bardzo wysoka odporność na zużywanie ściernie. Teza ta jest uzasadniona między innymi rezultatami pracy [8]. Wykazano w niej, że obecność wydzieleni węglkowych na granicach ziaren austenitu (niekoniczne ciągłych) jest jedną z głównych przyczyn awaryjnych pęknięć ogni w gąsienicowych koparek węgla brunatnego wykonywanych ze staliwa L120G13.



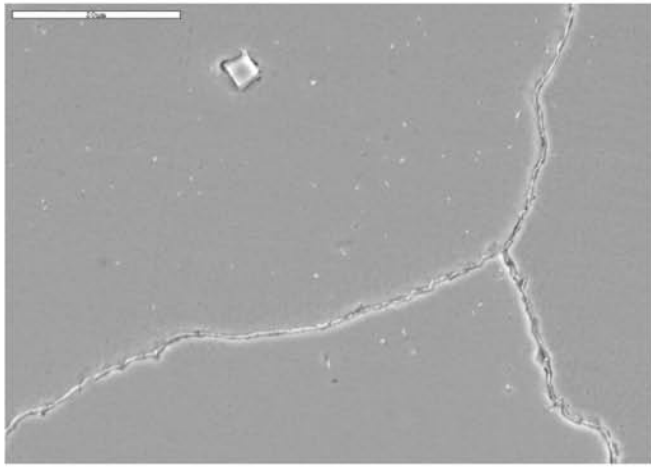
Rys.6. Próbka 1. Mikrostruktura austenitu stopowego z wydzieleniami węglków na granicach i u zbiegu granic ziaren. Widoczne liczne (o zróżnicowanej wielkości) węgliki w obrębie ziaren. Pow.100x, trawiono Mi1Fe, mikroskopia świetlna

Fig. 6. Sample 1. Alloying austenite microtexture with carbide precipitations at boundaries and at junction of grain boundaries. Numerous carbides (with diversified size) visible in grain range. Magnification of 1x 100, etched with Mi1Fe, light microscopy (LM)

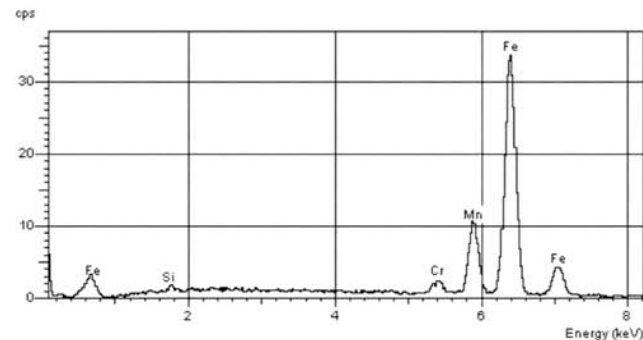


Rys.7. Próbka 2. Mikrostruktura austenitu stopowego z wydzieleniami cementytu manganowego głównie na granicach i u zbiegu ziaren. Pow.200x, trawiono Mi1Fe, mikroskopia świetlna

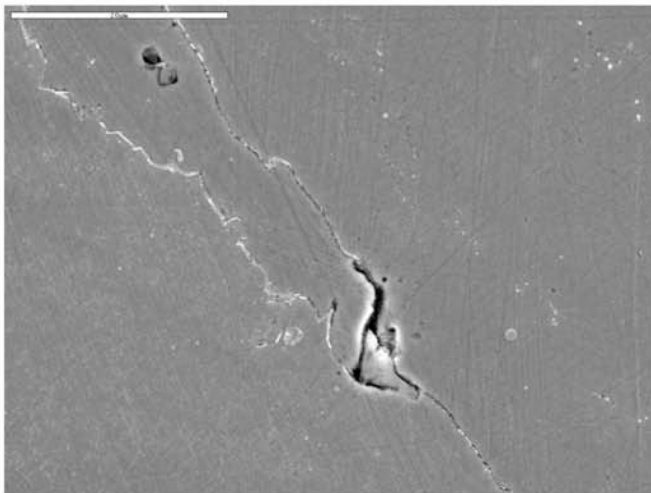
Fig. 7. Sample 2. Alloying austenite microtexture with manganese cementite precipitations mainly at grains boundaries and junctions. Magnification of 1x 200, etched with Mi1Fe, light microscopy (LM)



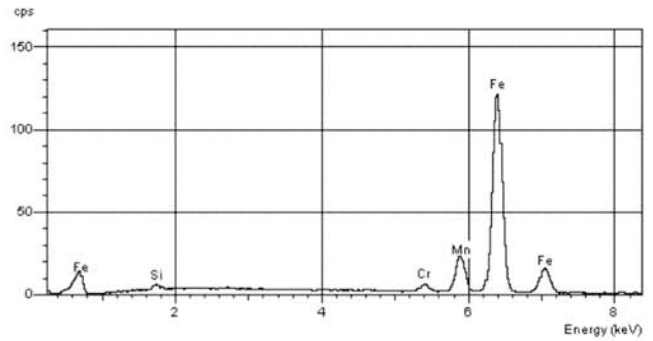
Rys.8. Próbką 1. Zbieg granic ziaren austenitu udekorowany ciągłą otoczką wydzielen węglkowych. Widoczny także duży, pojedynczy węglk w obszarze ziarna. Pow.1000x, trawiono Mi1Fe, SEM
 Fig. 8. Junction of austenite grains boundaries decorated with continuous envelope of carbide precipitations. Large, singular carbide visible also in grain range. Magnification of 1x 1000, etched with MilFe, SEM



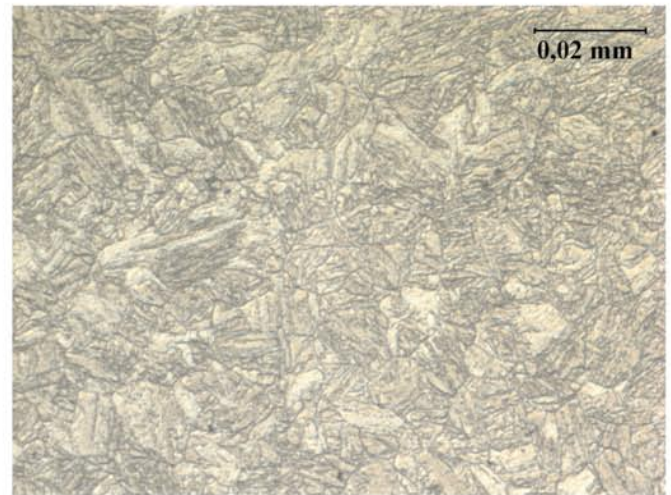
Rys.9. Próbką 1. Widmo energetyczne promieniowania rentgenowskiego z obszaru próbki pokazanej na rys.8
 Fig. 9. Sample 1. Energy spectrum of X-radiation from sample presented in Fig. 8



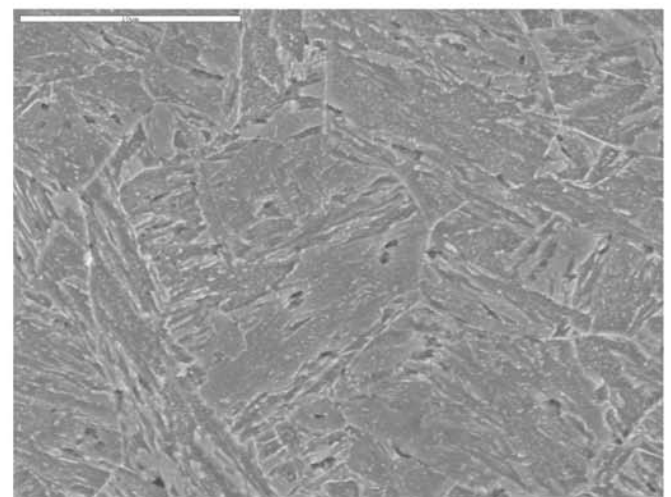
Rys.10. Próbką 2. Granice ziaren austenitu z ciągłą otoczką węglkową. U zbiegu granic widoczna mikronieciągłość struktury na granicy międzyfazowej węglk (Fe,Mn)3C – austenit. Pow.2200x, trawiono Mi1Fe, SEM
 Fig. 10. Sample 2. Austenite grains boundaries with continuous carbide envelope. Micro discontinuity of structure visible at boundaries junction, carbide (Fe,Mn)3C-austenite. Magnification of 1x 2200, etched with MilFe, SEM



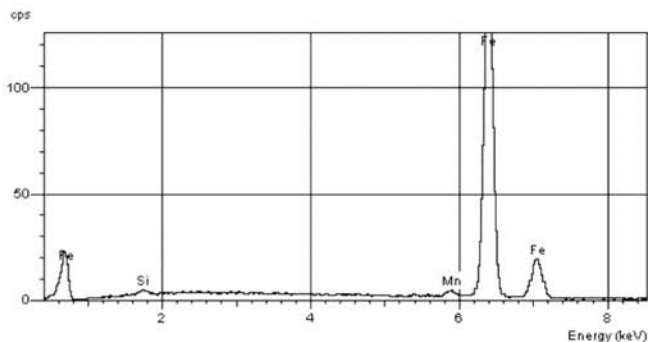
Rys.11. Próbką 2. Widmo energetyczne promieniowania rentgenowskiego z obszaru próbki pokazanej na rys.10
 Fig. 11. Sample 2. Energy spectrum of X-radiation from sample presented in Fig. 10



Rys.12. Próbką 4. Iglasta mikrostruktura odpuszczania o orientacji pomartenztycznej. Pow.1000x, trawiono Mi1Fe, mikroskopia świetlna
 Fig. 12. Needle-shaped tempered microstructure with postmartensite of tempered martensite with singular, fine, partly coagulated carbide. Magnification of 1x 4500, etched with MilFe, SEM



Rys.13. Próbką 4. Struktura odpuszczonego martenzytu z pojedynczymi, drobnymi, częściowo skoagulowanymi wydzieleniami węglkowymi. Pow.4500x, trawiono Mi1Fe, SEM
 Fig. 13. Sample 4. Structure of tempered martensite with singular, fine, partly coagulated carbide. Magnification of 1x 4500, etched with MilFe, SEM



Rys.14. Widmo energetyczne promieniowania rentgenowskiego z obszaru próbki pokazanej na rys.13

Fig. 14. Energy spectrum of X-radiation from sample presented in Fig. 13

Struktury próbek 1 i 2 precyzyjnie dokumentują mikrograficznie pokazane na rysunkach od 8 do 11.

Mikrostruktury próbek wykonanych ze stali Hardox 450 są do siebie bardzo zbliżone. zilustrowano je na przykładzie próbki 4, która wykazywała najniższą twardość. (rys.12 - 14).

Badania mikroskopowe stali Hardox 450 wykazały typową dla nich strukturę odpuszczonego martenzytu. Stosowanymi metodami (mikroskopia świetlna i skaningowa) nie udało się wyodrębnić różnic strukturalnych pomiędzy próbkami 3, 4 i 5 uzasadniających wyraźne (patrz tab. 1) zróżnicowanie ich twardości. Zagadnienia wpływu parametrów odpuszczania na mikrostruktury i właściwości stali Hardox 400 i Hardox 500 (na podstawie wyników badań metodami transmisyjnej mikroskopii elektronowej) szeroko przedstawiono w pracy [9]. Badań takich w stosunku do stali Hardox 450 jeszcze nie prowadzono.

Literatura

- [1] Cegiel L., Kozerska A., Pękalski G., *Struktury i odporność na zużywanie ściernie materiałów stosowanych na płyty wykładzinowe zsuwni i przesyków koparek węgla brunatnego*, *Górnictwo Odkrywkowe*, nr 4-5, 2006, s. 56-62
- [2] Dudziński W., Konat Ł., Pękalski G., *Structural and strength characteristics of wear – resistant martensitic steels*, *Archives of Foundry Engineering*, 2008, vol.8,s.21-26
- [3] Lafarge, [on-line], [dostępny: 20.06.2011r.], Dostępny w internecie: <http://www.lafarge.pl>
- [4] Czarnoborskie Kamieniołomy Drogowe, *Kronika 1945-197r.*
- [5] Mendel S., Pawlus J., Pękalski G., Sysak Z., Szymkowski J., *Materiały na elementy konstrukcyjne podlegające intensywnemu zużyciu udarowo - ściernemu*, *Systems*, 2006, vol.11, s.456-463
- [6] Łętkowska B., *Wpływ struktury i obróbki cieplnej na wybrane własności stali Ruukki, Zeneri, Ovako oraz ich możliwości aplikacyjne w narażonych na zużywanie ściernie elementach konstrukcyjnych maszyn górnictwa odkrywkowego*, *Rozprawa doktorska*, 2011, (w trakcie realizacji)
- [7] Frydman S., Konat Ł., Pękalski G., *Structure and hardness changes in welded joints of Hardox steels*, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2008, vol.8, s.89-94
- [8] Dudek D., Frydman S., Huss W., Pękalski G., *The L35GSM cast steel – possibilities of structure and properties shaping at the example of crawler links*, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2011, vol.11, s.19-32

Artykuł recenzowali dr hab. inż. Jerzy Kaleta, prof. PWr
dr inż. Jerzy Alenowicz

Rękopis otrzymano 26.07.2011 r. *2219

Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków i kierunków działań dotyczących podwyższenia trwałości badanych elementów:

- dobór materiałów na wszystkie rozpatrywane elementy został przeprowadzony poprawnie wśród materiałów, które teoretycznie wykazują wysoką odporność na zużywanie ściernie. W przypadku stali austenicznych ich odporność na ścieranie została wielokrotnie potwierdzona w toku prób eksploatacyjnych. W rozpatrywanych przypadkach wydaje się racjonalne wykorzystanie staliwa gatunku GX120MnCr17-2 nie tylko na szczęki kruszarki ale także na płyty wykładzinowe młyna kulowego. Wobec braku pęknięć makro- i mikroskopowych w obu tych materiałach wyższa twardość staliwa GX120MnCr17-2 powinna zapewnić większą trwałość płyt wykładzinowych młyna kulowego.

- stal Hardox 450 stosowana na blachy wykładzinowe wykazała niższe od podawanych przez wytwórcę twardości (nawet o 163 jednostki od wymagań minimalnych) oraz zaniżone zawartości węgla (o 0,06% od wartości minimalnej). Są to czynniki obniżające ich trwałość. Rozwiązaniem doraźnym może być przeprowadzenie po otrzymaniu dostawy blach pomiarów twardości. Ze względu na możliwość występowania na ich powierzchni warstw częściowego odwęglenia pomiary te należy przeprowadzić po zeszlifowaniu warstwy powierzchniowej o grubości około 0,3 mm. Blachy o twardości niższej niż 425 HB nie powinny być stosowane.

Artykuł powstał w związku z realizacją projektu rozwojowego NR R03 0039 06.