

PROBLEMY MATERIAŁOWE I REMONTOWE CZERPAKÓW KOPAREK WĘGLA BRUNATNEGO

MATERIAL AND REPAIR PROBLEMS IN BROWN COAL EXCAVATOR BUCKETS

Grzegorz Pękalski – Instytut Materialoznawstwa i Mechaniki Technicznej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska

Tomasz Mucha – PGE GiEK S.A. Oddział Kopalnia Węgla Brunatnego Turów

Aleksandra Lipińska – Studentka Indywidualnego Programu Studiów, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska

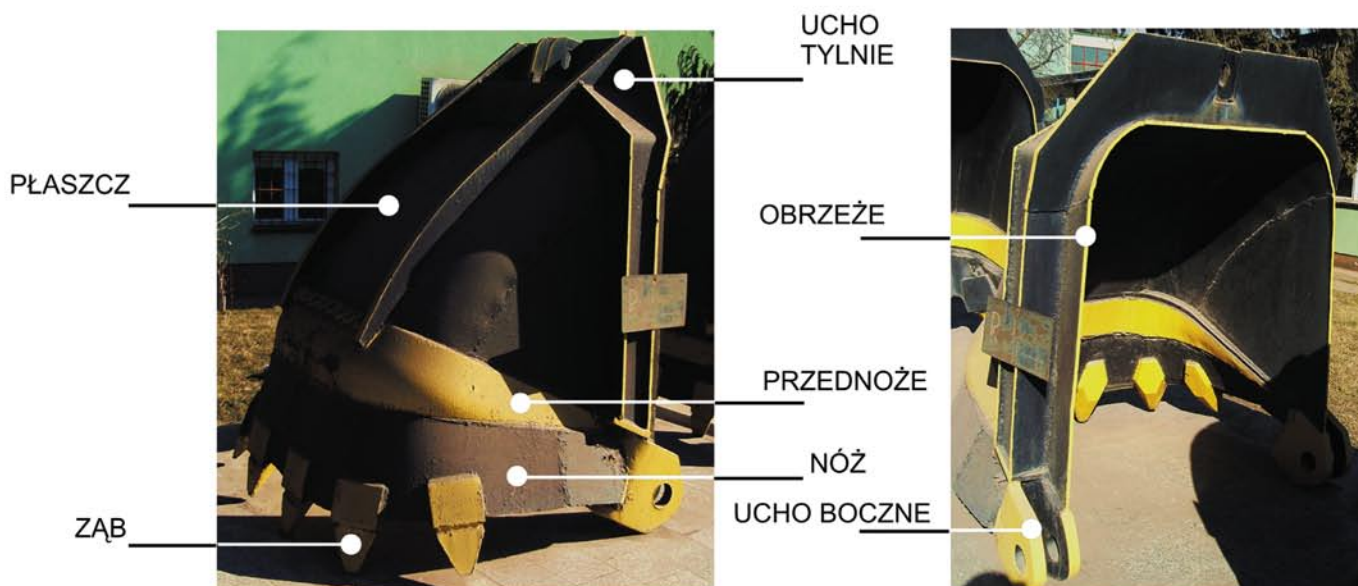
Dobór materiałów na czerpaki koparek węgla brunatnego jest od początku konstrukcji tych maszyn jednym z podstawowych czynników limitujących ich możliwości wydobywcze. Trwałość poszczególnych elementów w zróżnicowanych warunkach wydobycia wykazuje duże rozrzuty i zależy nie tylko od rozwiązań konstrukcyjnych ale także od rodzajów zastosowanych materiałów, ich obróbki cieplnej, podwyższania własności warstw powierzchniowych i technologii łączenia. W pracy przedstawiono dane dotyczące trwałości poszczególnych części czerpaka, zakresy, częstotliwość i czasochłonność prac remontowych w powiązaniu ze stosowanymi rozwiązaniami materiałowymi. Na podstawie wyników prac badawczych wykonywanych głównie na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wroclawskiej wskazano i uzasadniono przyczyny zużywania i uszkodzeń. Rezultaty tych prac umożliwiły także przedstawienie własnych propozycji dotyczących modyfikacji rozwiązań materiałowych mogących podwyższyć własności eksploatacyjne tego zespołu konstrukcyjnego koparek. Sugestią autorów jest przeprowadzenie prób w warunkach eksploatacyjnych czerpaków wykonanych z zaproponowanych materiałów.

Since the very beginnings of the brown coal excavator building the selection of materials for their buckets has been one of the main factors limiting their mining capacities. Lives of particular parts in the variable mining conditions show high scatter and depend not only on the design solutions but also the types of materials applied, their heat treatments, improvement of their superficial layers and joining technology. In the work the data concerning durability of particular bucket parts, scopes, frequencies and time consumption of the repair works, in connection with the applied material solutions, have been presented. Based at the results of research performed mainly at the Mechanical Engineering Faculty of the Wroclaw University of Technology the reasons for their wear and failure have been shown and justified. Results of the works enabled also presentation of our own proposals concerning modification of material solutions aimed at improving the operational properties of that excavator assembly. The Authors suggest trial runs of the buckets made of the proposed materials in the normal operating conditions.

Wprowadzenie

W rozważaniach zagadnień materiałowych dotyczących zespołu czerpaka, jego uszkodzeń (a w konsekwencji napraw i remontów) dominują tworzywa stosowane na zęby czerpaków oraz zsuwnie i przesypy [1-6]. Takie podejście jest uzasadnione faktem, że zęby czerpaków oraz płyty wykładzinowe zsuwni można zaliczyć do „elementów szybko zużywalnych” z przyczyn materiałowych. Muszą zatem być one wymieniane lub naprawiane (regenerowane) po krótkich okresach eksploatacji. Naturalnie średni czas pracy tych elementów zależy od warunków eksploatacyjnych. Orientacyjnie można przyjąć, że czas pracy zębów czerpaków w gruntach o I-II stopniu urabialności, (dla zębów kutech i hartowanych) wynosi od 90 do 150 godzin. W przypadku zębów wymiennych WKL-3 mieści się w przedziale od 70 do 110 godzin. W trudnych warunkach (IV i V stopień urabialności) osiąga on średnio około 10 godzin [dla zębów ze stali 35SG (37MnSi5 - nowe oznaczenia dla wszystkich stali podano w nawiasach) od 12 do 26 godzin a dla zębów WKL od 0,5 do 2 godzin] [7]. Często zagadnienie zużywania zębów dotyczy równocześnie noży czerpaków. Średni czas pracy czerpaka określa się na 40 godzin [8] a nawet, jak wynika z danych zamieszczonych w pracy [7] przekracza 50 godzin. Autor pracy [7] wskazuje także na efektywny czas pracy płyt napawanych

(zsuwnia stała koła czerpakowego), który przy pracy na nadkładzie jest równy około 650 godzin. Zaś Autor pracy [8] różnicuje trwałość napawanych płyt wykładzinowych, w zależności od stopnia intensywności oddziaływania urobku, która waha się w przedziale od ok. 640 do ponad 3060 h. Przy czym górna granica dotyczy wyłącznie płyt, które znajdują się poza strefą oddziaływania urobku i może być 2-3 krotnie wyższa. W przypadku zaś skrajnie intensywnych warunków średni czas pracy płyt to około 300 godzin [9]. Po upływie tego okresu następuje odsłonięcie ponad 50% powierzchni napawanej płyt wykładzinowych zsuwni stałej koła czerpakowego w obszarze wyznaczonym w pracy [9] na podstawie przeprowadzonego eksperymentu eksploatacyjnego. Wyniki wielu prac badawczych realizowanych przez Instytut Materialoznawstwa i Mechaniki Technicznej, a dotyczących doboru materiałów na różne zespoły koparek węgla brunatnego pozwalają na kompleksową wypowiedź dotyczącą materiałów stosowanych na czerpak, rodzajów i przyczyn jego uszkodzeń. Można się także podjąć sformułowania koncepcji takiego doboru materiałów na jego elementy, by w sposób istotny podwyższyć średni czas jego eksploatacji. Należy jednak zaznaczyć, że koncepcja taka zapewne będzie kosztowniejsza i trudniejsza technologicznie od rozwiązań stosowanych obecnie. Nie oznacza to jednak, że nie będzie ona opłacalna w sensie trwałości czerpaków i ograniczenia kosztów remontowych.

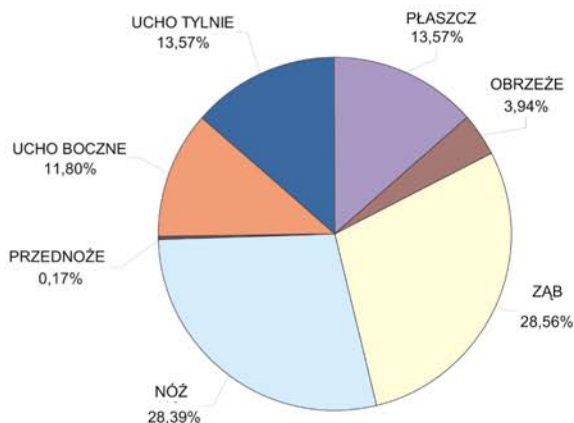


Rys. 1. Czerpak R.12.0m z zębami spawanymi
Fig. 1. Bucket R.12.0 with welded teeth

Na rysunku 1 pokazano czerpak R.12.0m. Zagadnienia doboru materiałów i uszkodzeń odniesiono do poszczególnych elementów jego konstrukcji zaznaczonych na tym rysunku.

Materiały stosowane i możliwe do zastosowania na zespół czerpaka

Jako punkt wyjścia do analizy doboru materiałów na czerpak przyjęto udziały poszczególnych jego elementów w ogólnej liczbie uszkodzeń na przykładzie czerpaka R12.0m. (rys. 2). Dane dotyczą analizy zużycia przeprowadzonej w roku 2008 dla 1000 czerpaków tego typu.



Rys. 2. Udział różnych elementów konstrukcji czerpaka R12.0m w ogólnej liczbie uszkodzeń
Fig. 2. Contribution of different construction elements of R12.0 m bucket in total amount of failures

Jak wynika z danych zamieszczonych na rysunku 2 około 57% uszkodzeń czerpaka dotyczy jego zębów i noży. Kolejne 25% to uszkodzenia uszu i w dalszej kolejności płaszcz (około 14%). W kopalni „Turów” stosowanych jest pięć typów czerpaków (R.12.0m, R.12.0, Rs560, CK910-N4 i R.12.0A). W roku 2008 wyremontowano 4098, a złomowano 34. W roku 2009 remontom poddano 4038 a złomowaniu 159. Te dane liczbowe uzasadniają (wskazaną we wstępie) hierarchizację badań dotyczących materiałów stosowanych na czerpaki oraz

podjęcie prób zwiększania ich trwałości różnymi technologiami. Wśród nich występują i takie, które w odniesieniu do ilości remontowanych czerpaków nie wydają się uzasadnione ani technologicznie ani ekonomicznie. Dotyczy to przykładowo przetapiania warstw powierzchniowych wiązką elektronów, wiązką laserową, montowania w końcówkach zębów wkładek węglkowych lub stelitowych, natryskiwania lub „stopowania”. Te dwie ostatnie metody pozwalają na uzyskiwanie struktur o budowie zbliżonej do warstw napawanych. W przypadku natryskiwania uzyskanie odpowiedniej grubości warstwy jest trudne i wymagałoby kilkakrotnego powtarzania zabiegu. Oprócz tego związanie takiej powłoki z podłożem (z powodu braku przetopu) jest gorsze niż w przypadku napawania. Wad tych nie wykazują warstwy „stopowane” (wykonywane metodą odlewania). Niestety, procesowi takiemu trudno nadać charakter „masowy” wobec dużego zapotrzebowania na zęby ze strony kopalń węgla brunatnego. Wydaje się jednak możliwe zastosowanie tego sposobu umacniania w przypadku naroży czerpaków. Rozważania dotyczące materiałów i przyczyn uszkodzeń czerpaków zmierzają w kierunku podwyższenia ich trwałości. Trzeba jednak mieć na uwadze ograniczenie wynikające z pełnienia przez ten zespół konstrukcyjny koparki także funkcji zabezpieczających wobec innych elementów zespołu koła czerpakowego. Zarówno tych kosztowniejszych i tych których zniszczenie wywołuje przestój maszyny (np. wał koła czerpakowego). Zatem dobór materiałów na zespół czerpaka musi być kompromisem pomiędzy jego trwałością i funkcjami pełnionymi w obrębie całej maszyny podstawowej.

Zęby czerpaków

Zęby czerpaków są wykonywane z materiału litego, który wykazuje oczekiwane właściwości wynikające ze składu chemicznego i obróbki cieplnej. Drugim szeroko stosowanym rozwiązaniem są zęby wykonywane z materiałów o niskiej odporności na zużywanie ściernie pokrywane warstwami o wysokiej odporności. Eksploatacja zarówno czerpaków jak i zębów (naroży) czerpaków przebiega w warunkach zużywania ściernego w obecności obciążeń dynamicznych. Z punktu widzenia makro- i mikrostruktur stosowanych materiałów wymagania te są w stosunku do siebie przeciwstawne. Ponadto

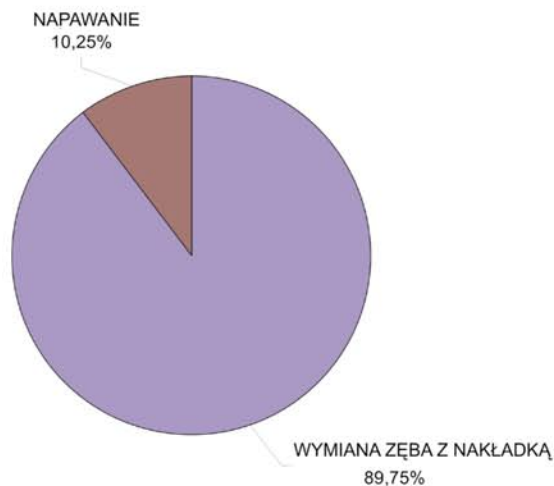
intensywność określonych cech struktury (zarówno na długości zęba jak i na poszczególnych jego przekrojach) powinna być także zróżnicowana oraz uzależniona od stopnia urabialności gruntu. Przykładowo, gdyby zęby służyły do urabiania nadkładu złożonego z ilów zapiaszczonych (klasa 1- łatwo urabialne), to abstrahując od rodzaju materiału powinien on wykazywać mikrostrukturę martenzytu odpuszczania (ewentualnie wzmocnianego drobnodispersyjnymi wydzieleniami węglowymi). Gdyby natomiast praca odbywała się w syderytach i mikstytach syderytowych (klasa 4- bardzo trudno urabialne) trzeba by uznać dominację obciążeń dynamicznych i zapewnić przewagę mikrostruktury sorbitycznej. Taki stan struktury eliminuje wyłamywanie uzbrojenia czerpaka, nie zapewniając jednocześnie wystarczającej żywotności jego części ostrzowej. Generalnie, na zęby czerpaków koparek stosowane są dwie grupy materiałowe: staliwa i stale. Wśród staliw szersze i sprawdzone eksploatacyjnie zastosowanie znajdują: austeniczne staliwo L120G13 (staliwo Hadfielda), średniowęglowe staliwo niskostopowe gatunku L35GSM oraz staliwo gatunku L20H2N2 na naroża czerpaków maszyny KWK910. Na naroża tej maszyny wcześniej stosowano także L35GSM. W toku prób eksploatacyjnych wykazywały one trwałość w warunkach trudno urabialnych w granicach 64-101 godzin [7]. Incydentalnie w przeszłości stosowano inne gatunki staliw – zazwyczaj niskowęglowych, niestopowych, często napawanych. Wykorzystywanie staliwa Hadfielda (w różnych modyfikacjach składu chemicznego np. z dodatkami Cr, Ni i Ti) wynika z kilkudziesięcioletniej tradycji stosowania tego materiału w budowie maszyn (w tym koparek węgla brunatnego). Zastosowanie zaś staliw L35GSM oraz L20H2N2 było inicjatywą Inżynierów z Famago – Zgorzelec, a później pracowników SKW- Zgorzelec. Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej wsparł i uzasadnił tę inicjatywę przeprowadzeniem prac badawczych dotyczących technologii obróbki cieplnej tych materiałów [3,10,11]. Szczególnie wartościowe wydają się być rezultaty badań staliwa L35GSM, które wykazały (wbrew zapisom norm PN 88/H – 83160 i opisu patentowego nr 50346 z 1965 roku), jego przydatność do wykorzystywania w warunkach obciążeń dynamicznych. Oprócz tego prace te udowodniły, że stosując różnorodne procesy obróbki cieplnej może być ono stosowane także na inne niż zęby elementy koparek (koła zabierakowe, zabieraki, ogniwa gaśnicowe). Proponowane technologie obróbkowe tego materiału przedstawiono w pracach [1,2,11,12].

Spektrum gatunków stali stosowanych na zęby czerpaków jest wielokrotnie szersze niż staliw. Często pojawiającym się gatunkiem materiału (szczególnie w latach 60 – 80 XX wieku) była stal gatunku 35SG (37MnSi5) (zwykle hartowana powierzchniowo lub napawana). Kolejnym dość powszechnym rozwiązaniem było i jest wykonywanie zębów ze stali niskostopowej o podwyższonej wytrzymałości gatunku 18G2A (P355N) „wzmocnianej” warstwami napawanymi na bazie stopów Fe-Cr-C. Stosowane także były stale gatunków: 30HM (34CrMo4), 35G2, 34HNM (34CrNiMo6), 40H (41Cr4), 40GS, 50HF (51CrV4), a także stale niestopowe (węglowe) gatunków: St3S (S235JR), MSt7 (E360), 45 (C45) [13].

Powszechnym sposobem podwyższania trwałości zębów czerpaków jest napawanie wraz z pokrewnymi technologiami (natryskiwanie, „stopowanie”, przetapianie warstw powierzchniowych wiązką elektronów lub światła). Zarówno sama technologia napawania jak i dobór składów chemicznych elektrod

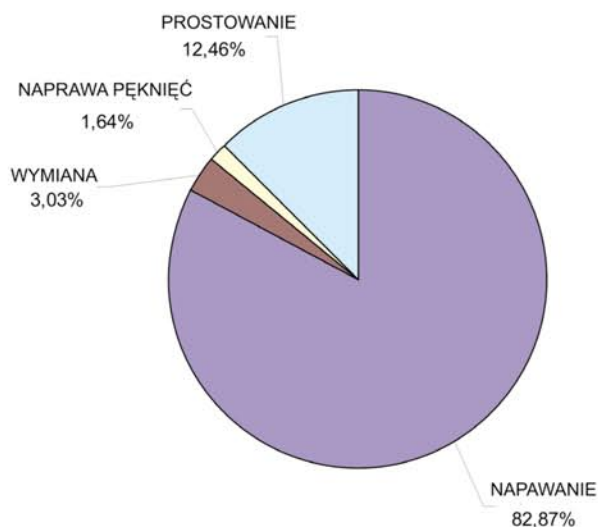
do napawania uległy na przestrzeni ostatnich 20 lat ogromnym i pozytywnym przekształceniom. W publikacji z 1989 roku [14] wskazano na liczne występowanie w warstwach napawanych i strefach wtopienia niezgodności spawalniczych o charakterze makro- i mikroskopowym. Obserwowano niejednorodną strukturę napoin na ich grubości, a nawet będącą skutkiem napawania zmianę geometrii powierzchni napawanych. Wywoływało to wtedy bardzo wyraźne i trudne do przewidywania zróżnicowanie trwałości eksploatacyjnej zębów (od 0 do kilku godzin). Oprócz tego segregacja mikrostrukturalnej budowy warstw (wzrost udziału w strukturze ferrytu stopowego w miarę oddalania się od powierzchni zewnętrznej napoiny oraz malejący udział węglików) powodowały, że po pewnym (krótkim) początkowym okresie szybkość ich zużywania ulegała skokowemu wzrostowi. Często w wyniku obecności w powierzchniowej warstwie napoiny dużej ilości pierwotnych węglików (pęknięcia na granicach międzyfazowych), także w początkowym okresie pracy zębów następowało wykruszanie warstw napawanych. Prace [15,16,17] powstałe już na początku XXI wieku dokumentują znaczący postęp w tej technologii podwyższania odporności na ścieranie nie tylko zębów czerpaków koparek. Stało się tak w wyniku wielu eksperymentów i prac badawczych czego dowodem jest między innymi obszerna i zapewne niekompletna (37 pozycji) lista materiałów do napawania wykorzystywanych w górnictwie węgla brunatnego zamieszczona w pracy [18]. Między innymi w tej pracy stwierdzano, że nie ma możliwości opracowania uniwersalnego składu chemicznego warstwy napawanej. Poniżej zdecydowano się na przedstawienie pewnej propozycji ram składu chemicznego napoiny integrującej poprzez swoją budowę strukturalną wymagania formułowane dla warstw napawanych na zębach czerpaków [19]. Pomysł ten nie został do tej pory zweryfikowany ani w sensie wytworzenia elektrod do napawania, ani nie był przedmiotem badań laboratoryjnych czy tym bardziej eksploatacyjnych. Stop bazuje na układzie równowagi Fe-Cr-C, a jego przybliżony skład chemiczny jest następujący: 2,5%C, 10-13%Cr, 5%W, 3%V. Łączna ilość dodatków stopowych nie powinna przekraczać 15%, a relacje ilości W i V powinny zapewnić jej skład eutektyczny. Po zastosowaniu odpowiedniego sposobu chłodzenia napoiny wraz z uprzednio podgrzaną „podkładką” (materiał zęba) mikrostruktura warstwy napawanej powinna składać się z martenzytu odpuszczania (samoodpuszczonego), około 10% austenitu oraz 25% węglików. Jej twardość określono na poziomie 550 HV. Nie przewiduje się obecności w elektrodzie do napawania takich pierwiastków, jak Ti, B czy Nb. Napoina taka może być nakładana na zęby wymienne (nie spawane do konstrukcji czerpaka) w postaci odkuwek ze stali konstrukcyjnej niestopowej poddanej ulepszeniu cieplnemu. Zabieg taki gwarantuje uzyskanie w nieskrąwiającej części zęba struktury sorbitu odpuszczania o wysokiej odporności na działanie obciążeń dynamicznych.

Wydaje się, że w najbliższych latach dominować będzie w dalszym ciągu stosowanie w czerpakach koparek zębów (naroży) wykonanych z materiałów litych o zmiennej mikrostrukturze oraz zębów napawanych. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono na przykładzie czerpaka R.12.0m rodzaje działań naprawczych w odniesieniu do zębów i noży czerpaków. Z zamieszczonych tam danych wynika, że zęby ulegają wymianie prawie w 90% przypadków, natomiast noże tylko w 3%. Noże czerpaków są z reguły regenerowane poprzez napawanie, natomiast zęby tylko w 10% przypadków.



Rys. 3. Naprawy stosowane w stosunku do uszkodzonych zębów czerpaka R.12.0 m

Fig. 3. Repairs of damaged bucket R.12.0 m teeth



Rys. 4. Naprawy stosowane w stosunku do uszkodzonego noża czerpaka R.12.0 m

Fig. 4. Repairs of damaged bucket R.12.0 m cutters

Noże czerpaków

Ilość gatunków materiałów wykorzystywanych na noże czerpaków jest znacznie mniejsza niż stosowanych na zęby. Według informacji zebranych w raporcie [13] w tym celu z grupy staliw jest stosowane tylko staliwo Hadfielda. Drugą grupę materiałową stanowią średniowęglowe stale niskostopowe gatunków: 30G2 (28Mn6), 35SG (37MnSi5), 35HGS, 40H (41Cr4), 40GS, 40HG, 45G (C45E), stal niestopowa gatunku 45 (C45), a także stal sprężynowa 60S2 (60Si7). Trzecia, najliczniejsza grupa materiałów na noże, to stale niestopowe i niskostopowe, niskowęglowe z napoinami o składach chemicznych podobnych jak są stosowane na zęby czerpaków: St4S (S275JR), St5 (E295), St6 (E335), 15HM (13CrMo4-5), 18G2A (P355N). Podobnie jak w przypadku zębów napawanych także w przypadku noży budzi pewne zdziwienie wykorzystywanie stali 18G2A (P355N). Stal tego gatunku zastąpiła obecnie z powodzeniem stale węglowe (często nieuspokojone – czyli podatne na strukturalne procesy degradacyjne) do budowy konstrukcji koparek i ładowarek. Jeśli niskowęglowy mate-

riał noża ma być napawany, to może to być z powodzeniem stal niestopowa. Autorzy artykułu nie widzą także głębszego uzasadnienia wykorzystania na noże czerpaków popularnej w zastosowaniach np. na rury ekranowe kotłów energetycznych, stali gatunku 15HM (13CrMo4-5). Można jednak usprawiedliwić tendencję do stosowania na noże czerpaków stali o wyraźnie wyższej wytrzymałości niż stale niestopowe funkcją noża czerpaka w przypadku wyłamania zęba. Wtedy bowiem nóż przejmuje funkcję odspajania w warunkach znacznego wzrostu oporów skrawania. Przed 9-ciu laty w KWB Konin na noże czerpaka zastosowano po raz pierwszy niskostopową stal martenzytyczną gatunku Hardox 400. Eksperyment ten skończył się niepowodzeniem mimo tego, że w materiałach informacyjnych producenta tej grupy stali wyeksponowano dane o ich bardzo wysokiej odporności na zużywanie ściernie. Podobnie negatywne oceny (trwałość około 3 miesiące) zyskała stal Hardox 450 wykorzystywana na przesypy w kopalni kruszyw „Grzędy” koło Wałbrzycha [20]. Przyczyny gorszego od oczekiwań zachowania eksploatacyjnego stali Hardox w tych zastosowaniach wyjaśniono w pracach [21,22]. Sprowadzają się one do niekorzystnych zmian struktury tych stali w strefach wpływu ciepła (licznych w przypadku noża czerpaka) oraz do zaniżonych twardości tego materiału, w przypadku Hardoxu 450 wynikających ze złego składu chemicznego stali. Jak wykazano w pracy [22] istnieje możliwość (poprzez obróbkę cieplną) wyeliminowania niekorzystnych zjawisk wynikających z niszczenia struktur stali Hardox podczas spawania. Dlatego też (pomimo trudności technologicznych i związanego z tym wzrostu kosztów) materiały te powinny być uważane za perspektywiczne w co najmniej kilku zespołach konstrukcyjnych maszyn wydobywczych węgla brunatnego. Dotyczy to także materiałów wykorzystywanych na konstrukcje czerpaków (np. poszycie czerpaka). Zdaniem autorów niniejszej pracy nie może być rozważana koncepcja (sugerowana w materiałach informacyjnych producenta stali Hardox [23]) „umacniania” stref wpływu ciepła poprzez napawanie. Efekty takiego zabiegu nie będą się różnić od skutków zastosowania na noże napawanej stali niskostopowej, której koszt zakupu jest co najmniej dwukrotnie niższy niż stali Hardox. Jak wynika z rysunku 4 ponad 95% napraw noży czerpaków polega na ich napawaniu. Można założyć, że jest to metoda efektywna, dopracowana technologicznie i należy podejmować jedynie dalsze działania ją doskonalące. Istnieje jednak także pokusa jej wyeliminowania przez zastosowanie na noże czerpaków materiałów nienapawanych o wysokiej odporności na ścieranie i obciążenia dynamiczne. Nie muszą być to koniecznie stale Hardox, gdyż zbliżone cechy wykazują również stale z grupy HTK, które są produkowane w Polsce. Jest rzeczą dziwną i zapewne nie mającą uzasadnienia ekonomicznego, że w świadomości polskich użytkowników niskostopowych stali martenzytycznych o wysokiej wytrzymałości i odporności na zużywanie ściernie częściej są obecne szwedzkie stale Hardox niż stale HTK. Wydaje się również, że opracowania uzasadnionych technicznie i ekonomicznie technologii wykonywania połączeń spawanych tych materiałów eliminujących niekorzystne zjawiska w strefach wpływu ciepła byłoby w kooperacji Kopalnia– Konstruktorzy– Hut–Trans Katowice łatwiejsze niż w obecnej sytuacji.

Poszycie (płaszcz) czerpaka, uszy czerpaka

Podjęmując całościowo zagadnienia doboru materiałów na zespół czerpaka nie sposób pominąć wymienionych w pod-

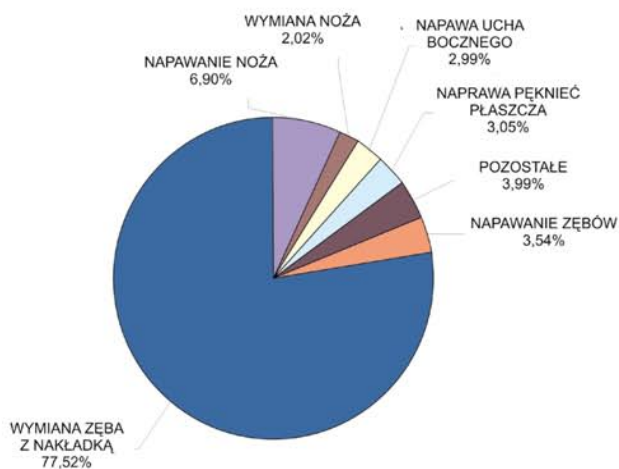
tytule tego rozdziału jego elementów konstrukcji. Jak wynika z danych zamieszczonych na rysunku 2 sumaryczny udział uszkodzeń płaszczka i ich w ogólnej liczbie uszkodzeń czerpaka R12.0m wynosi około 39%. Jak wynika z danych uzyskanych z kopalni Turów wśród uszkodzeń płaszczka dominują dwa rodzaje pęknięć. Pierwsze z nich to pęknięcia naprawialne poprzez spawanie, drugie to pęknięcia z rozerwaniem płaszczka wymagające spawalniczego wstawienia „łaty”. Niekiedy uszkodzenie płaszczka wywołane jest zastosowaniem w czerpaku maty łańcuchowej, w której występują przypadki zrywania łańcuchów i ich mocowań.

Na poszycia czerpaków wykorzystywane są zazwyczaj stale węglowe [gatunków St3S (S235JR), St3SX, St4 (E275)] oraz niskostopowe [18G2 (E355) i 18G2A (P355N)]. Doświadczenia eksploatacyjne wskazują, że zastosowanie stali niskostopowych jest z punktu widzenia trwałości poszycia uzasadnione. Z teoretycznego punktu widzenia dobrym rozwiązaniem byłoby wykorzystanie na poszycia Hardoxu Hi-Tuf (Hardoxu 350). Jego wysokie własności wytrzymałościowe i odporność na zużywanie ściernie, przy dobrej spawalności, mogą istotnie zwiększyć trwałość poszycia. W przypadku płaszczka (duża powierzchnia spawana na obrzeżach) kwestia zmian struktury tego materiału w strefach wpływu ciepła ma znaczenie podrzędne.

Jak wynika z danych zamieszczonych powyżej, problemem w przypadku uch czerpaka nie jest rodzaj zastosowanego materiału (są one wykonywane ze stali gatunku 18G2A (P355N)) lecz wytrzymałość połączeń spawanych. Wnioski z publikacji [24] dowodzą, że korzystnym zabiegiem w stosunku do tych połączeń (także do całej konstrukcji czerpaka po jej połączeniu metodami spawalniczymi) byłoby zastosowanie wyżarzania odprężającego.

Dyskusja i podsumowanie

Tłem do zwięzłego podsumowania zagadnień materiałowych w konstrukcji czerpaka mogą być dane zamieszczone na rysunku 5 dotyczące czasów remontów poszczególnych elementów konstrukcji czerpaka. Pomocą w dyskusji o materiałach na zespół czerpaka oraz w podejmowaniu przyszłościowych decyzji może być także materiał zawarty w tabelach 1 oraz 2.



Rys. 5. Nakłady czasu poświęcone na remonty poszczególnych elementów czerpaka R.12.0 m

Fig. 5. Time consumed for repairs of particular elements of R.12.0 m bucket

Tab. 1. Ceny blach grubości 10 mm ze stali niskostopowych martenzytycznych

Tab. 1. Prices of metal plates low-alloyed, martensitic, 10 mm thick

Nazwa stali	Orientacyjna cena [zł/kg]
HTK 900H	5,80
Hardox 400	7,57
Hardox 450	7,93
Hardox 500	8,24
Hardox 550	*
Hardox 600	*
Hardox Hi-Tuf	*

Tab. 2. Porównawcze zestawienie oznaczeń materiałów wymienianych w artykule wraz z jednostkowymi cenami

Tab. 2. List of designations of materials specified in the paper along with unit prices

PN	PN-EN	DIN	Numer materiału	Ceny [zł/kg]
L120G13	*	*	*	*
L35GSM	*	*	*	*
L20H2N2	*	*	*	*
35SG	z37MnSi5	37MnSi5	1.5122	*
18G2A	P355N	St355	1.0562	4,00
30HM	34CrMo4	34CrMo4	*	*
35G2	*	*	*	*
34HNM	34CrNiMo6	34CrNiMo6	1.6582	6,00 + VAT
40H	41Cr4	41Cr4	1.7035	6,00
40GS	*	*	*	*
50HF	51CrV4	50CrV4	1.8159	5,80
St7	E360	St70-2	1.0070	*
45	C45	C45	1.0503	4,50
30G2	28Mn6	28Mn6	1.1170	*
35HGS	*	*	*	*

Z treści artykułu oraz danych zamieszczonych powyżej wynika, że podstawowym zagadnieniem limitującym trwałość czerpaków są ich zęby (naroża). Z powodu opisywanych wcześniej warunków ich pracy nie należy spodziewać się takiego rozwiązania materiałowego (wraz z obróbką cieplną), by w sposób radykalny podwyższyć ich trwałość. Propozycje doskonalenia doboru materiałów na zęby (jednocześnie zmniejszenia czasów przeznaczanych na remonty) zaproponowane przez autorów pracy są następujące:

- zachowanie konstrukcji zębów kutyh, ale wykonywanie ich ze stali niestopowej (węglowej) zawierającej taką ilość węgla, by mogła podczas hartowania i wysokiego odpuszczania uzyskać strukturę sorbitu odpuszczania (zawartość węgla około 0,30%). Napawanie tych zębów elektrodą zapewniającą uzyskanie warstwy o składzie chemicznym i budowie sugerowanej w pracy [19],
- opracowanie udoskonalonej konstrukcji zębów WKL-3 i konsekwentne stosowanie wobec staliwa L35GSM technologii obróbki cieplnej zaproponowanej w pracy [2],
- możliwe jest przeprowadzenie prób zębów wykonanych ze staliwa o składzie chemicznym podobnym do stali Hardox 600 i obrabianych cieplnie według schematu zbliżonego do podawanego w pracy [2] dla staliwa L35GSM.

W stosunku do noży czerpaków można zaproponować następujące rozwiązania:

- stal niestopowa (węglowa) o zawartości węgla podobnej

jak w przypadku napawanych zębów kutych z napoiną według wskazówek zamieszczonych w pracy [19]. W tym przypadku napawana stal może być w stanie normalizowanym a nie ulepszonym cieplnie,

- b) zastosowanie na noże czerpaków stali Hardox 500 (lub podobnej HTK) przy jednoczesnym rozwiązaniu problemów spawalniczych opisywanych w publikacji [22].

Na poszycia czerpaków można zaproponować:

- a) stosowanie stali gatunku 18G2 (E355), tak jak w rozwiązaniach dotychczasowych po dopracowaniu technologii wykonywania połączeń spawanych (w szczególności uszu do konstrukcji czerpaka),
- b) wykonanie poszycia ze stali Hardox Hi-Tuf (Hardox 350). W tym przypadku problemy zmian twardości tego materiału w strefach wpływu ciepła powinny mieć znaczenie wyraźnie mniejsze niż w przypadku noża czerpaka (stal Hardox 500).

Przedkładane powyżej propozycje rozwiązań materia-

łowych mogą budzić kontrowersje, niewątpliwie wymagają przeprowadzenia w sposób kompleksowy prób eksploatacyjnych. Atutem ich jest jednak brak potrzeby (wobec wyników badań zawartych w licznych już publikacjach i raportach) rozbudowanych badań laboratoryjnych. Czy warto w przyszłości pokusić się na ich realizację? Zanim sformułujemy stanowczą odpowiedź „nie” przypomnieć należy sobie odpowiedzi na pytania (najlepiej na tle koparki KWK 910 i najstarszej obecnie eksploatowanej maszyny):

- dlaczego zaprzestano stosować w ich konstrukcji stali węglowych nieuspokojonych,
- dlaczego przestrzenną konstrukcję nitowaną nadwozia zastąpiono płaskownikami spawanymi,
- co spowodowało znaczącą „karierę” staliwa L35GSM w różnych wariantach obróbki cieplnej.

Artykuł powstał w ramach realizacji projektu rozwojowego NR 03 0039 06.

Literatura

- [1] Krajczyk A., Pękalski G., Stram T., *Struktury staliwa L35GSM a odporność na zużycie ścierne*, Górnictwo Odkrywkowe, nr 3, 1994, s.61-68
- [2] Krajczyk A., Pękalska L., Pękalski G., *Optymalizacja mikrostruktur materiałów stosowanych na zęby czerpaków koparek*, Konferencja naukowa, Metody doświadczalne w budowie i eksploatacji maszyn roboczych, technologicznych oraz środków transportu, Wrocław-Szklarska Poręba, 1993
Cz. 2, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1993, s.135-140
- [3] Krajczyk A., Pękalska L., Pękalski G., *Problemy doboru materiałów o dużej odporności na ścieranie na przykładzie zębów czerpaków koparek*, Górnictwo Odkrywkowe, nr 1, 1991, s.30-39
- [4] Krugła M., Szymczak T., Pawłowski T., Pękalski G. *Ewolucja makro- i mikrostruktur materiałów odpornych na zużywanie ścierne w maszynach górnictwa węgla brunatnego*, Górnictwo Odkrywkowe, nr 4-5, 2008, s.173-179
- [5] Cegiel L., Kozerska A., Pękalski G., *Struktury i odporność na zużywanie ścierne materiałów stosowanych na płyty wykładzinowe zsuwni i przesypów koparek węgla brunatnego*, Górnictwo Odkrywkowe, nr 5-6, 2006, s.56-62
- [6] Pękalski G., *Wybrane zagadnienia materiałowe elementów maszyn górnictwa odkrywkowego narażonych na zużywanie ścierne a możliwości zastosowania stali Hardox*, Górnictwo Odkrywkowe, nr 4-5, 2005, s.47-53
- [7] Gajek K., *Analiza przebiegu zużywania czerpaków, zębów czerpaków, zsuwni i przesypów maszyn górnictwa odkrywkowego*, Praca dyplomowa inżynierska (opiekun pracy dr inż. Pękalski G.), Wrocław, 2005
- [8] Materiały informacyjne KWB Turów – 2010/2011, praca nie publ.
- [9] Pawłowski T., *Badania odporności na zużywanie ścierne wybranych zespołów konstrukcyjnych maszyn górniczych w BOT KWB Turów S.A.*, Praca dyplomowa inżynierska (opiekun pracy dr inż. Pękalski G.), Wrocław, 2006
- [10] Krajczyk A., Pękalska L., Pękalski G., *Hartowanie powierzchniowe staliwa L35GSM*, Konferencja Ogólnopolska, Obróbka powierzchniowa, Poznań, 1990, s.281-287
- [11] Pękalski G., Wocka N., Milian W., Pękalska L., Krajczyk A., *Zastosowanie objętościowej i powierzchniowej obróbki cieplnej elementów maszyn wydobywczych*, Konferencja naukowo-techniczna, Nowe materiały - nowe technologie materiałowe w przemyśle okrętowym i maszynowym, Szczecin-Świnoujście, 1998, s.201-206
- [12] Dudziński W., Krajczyk A., Pękalska L., Pękalski G., Stram T., *Opracowanie technologii obróbki cieplnej i warunków odbioru zębów czerpaków - WKL Etap I i Etap II*, Raporty IMiMT PWr, SPR 8/94 i SPR 13/94
- [13] Pękalski G., *Propozycje zasad doboru materiałów na wybrane elementy koparek węgla brunatnego*, Raport IMiMT PWr, SPR 5/95
- [14] Łoś J., Haimann R., Orzechowski J., Pękalski G., *Odporność na ścieranie napoin ze stali St3S*, Przegląd Spawalnictwa, 1989, nr 5, s.9-13
- [15] Alenowicz J., Dudziński W., Pękalski G., Sachadel U., *Laboratoryjna i eksploatacyjna charakterystyka napoin wykonywanych samoosłonowymi drutami proskowymi typu DPT-6 i CS-400 na ogniach łańcuchów urabiających i nożach czerpaków koparek wielonaczyniowych*, Górnictwo Odkrywkowe, nr 4, 2002, s.59-65
- [16] Napiórkowski J., Pękalski G., *Multilayer padding weld selection principles for utilitarian elements working in soil*. [w:] *Progressivnye technologii, masiny i mechanizmy v masinostroenii*. BALTTECHMAS - 2002. Mezdunarodnaja naucno-techniceskaja konferencija. Sbornik naucnych statej. Administracija Kaliningradskoj Oblasti, Kaliningrad, 2002, s.519-524
- [17] Napiórkowski J., Pękalski G., Sachadel U., *Optymalizacja doboru napoin w ujęciu materiałoznawczym*, Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna, GRE [Gospodarka remontowa energetyki], Szczyrk, 2002, s.135-137

- [18] Pękalska L., Pękalski G., *Budowa fazowa i struktury napoin stosowanych w górnictwie węgla brunatnego*, Węgiel Brunatny, wyd. spec., 2000, s.86-91
- [19] Sachadel U., Pękalski G., *Propozycja uniwersalnej napoiny dla zastosowań w górnictwie węgla brunatnego* – praca nie publ., 2000
- [20] Figiel A., Petecka M., Pękalski G., *Przebieg i przyczyny zużywania wykładzin trudnościeralnych z niskostopowych stali martenzytycznych*. Górnictwo Odkrywkowe, 2011 (artykuł złożony do druku)
- [21] Dudziński W., Konat Ł., Pękalski G., *Structural and strength characteristics of wear-resistant martensitic steels*, Archives of Foundry Engineering, 2008, vol.8, iss.2, s.21-26
- [22] Frydman S., Konat Ł., Pękalski G., *Structure and hardness changes in welded joints of Hardox steels*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2008, vol.13, nr 4, s.15-27
- [23] Hardox – Das Verschleissblech der vielen Moglichkeiten, Wyd.SSAB Oxelosund, 2002
- [24] Haimann R., Krajczyk A., Pękalska L., Pękalski G., *Wpływ wyżarzania odpężającego na strukturę i własności złączy staliwa ze stalami 18G2A i 12G2ANb*, Przegląd Spawalnictwa, 1990, nr 8, s.7-8

Artykuł recenzowali prof. dr hab. inż. Dionizy Dudek
dr inż. Jerzy Alenowicz

Rękopis otrzymano 26.07.2011 r. *2217



Cykl: prolog do konstrukcji...