

Andrzej KLIMPEL
Krzysztof LUKSA
Jan SMAJDA

REGENERACJA WALCÓW ZE STALIWA GRAFITYZOWANEGO

Streszczenie. Przeprowadzono analizę warunków pracy walców hutniczych i doboru materiału warstwy regeneracyjnej. Opracowano technologię napawania czopów ze staliwa grafityzowanego stosowanych w Hucie Żabędy. Badania metalograficzne, mechaniczne, mikroanaliza składu chemicznego napoiwy oraz badania eksploatacyjne potwierdziły poprawność opracowanej technologii.

1. Wstęp

Własności eksploatacyjne walców hutniczych mają istotny wpływ na pracę nowoczesnych walcowni, a ich trwałość, wyrażona w kosztach walców na tonę wyprodukowanych na nich wyrobów, decyduje o ekonomiczności procesu wytwarzania.

W Polsce, zgodnie z tendencjami rozwojowymi przemysłu światowego, wprowadzono w ostatnich latach jako materiał na walce hutnicze staliwo grafityzowane, które zapewnia wyraźnie wyższe własności eksploatacyjne w porównaniu do stosowanych dotychczas walców żeliwnych czy staliwanych. Uzyskuje się również poprawę jakości wyrobów wytwarzanych za ich pomocą jak i przedłużenie przebiegów międzyremontowych walców.

Wysoki koszt walców hutniczych nakazuje przywracanie im wymaganych własności eksploatacyjnych i żywotności nie niższej niż walców w stanie pierwotnym a proces regeneracji powinien odbywać się wielokrotnie. W pewnych przypadkach, już przy wytwarzaniu walców hutniczych, stosuje się nakładanie na powierzchnie robocze warstw metalowych o szczególnie wysokich własnościach mechanicznych, zapewniających doskonałą trwałość i własności eksploatacyjne walców. Proces regeneracji takich walców jest ułatwiony, gdyż uprzednia warstwa napoiwy stanowi przegrodę metalurgiczną pozwalającą na uproszczenie zabiegów technologicznych.

Ekonomika procesu regeneracji nakazuje zastosowanie metod napawania zapewniających jak najwyższą wydajność stopiania. Warunek ten spełnia metoda napawania elektrożużłowego (150 kg stopiwa/godz) i metoda napawania łukiem krytym (20-50 kg stopiwa/godz). Grubość warstwy napawanej na regenerowany walec, ustalona na podstawie wielkości strat materiału zużytego i

wymaganej obróbki wiórowej po napawaniu, eliminuje całkowicie możliwość napawania elektrożuźlowego, a ogranicza napawanie łukiem krytym do napawania elektrodą wahliwą. W tym przypadku konkurencyjną staje się metoda napawania łukowego elektrodą topliwą wahliwą w osłonie gazowej MIG, MAG. Metoda ta cechuje się najwyższą wydajnością stapiania spośród wszystkich metod napawania w osłonach gazowych i równocześnie zapewnia możliwości otrzymania gładkiej warstwy napawanej o minimalnej łatwo regulowanej głębokości wtopienia [1]. Wyeliminowany jest również kłopotliwy topnik, wymagający przy napawaniu powierzchni cylindrycznych specjalnych przyrządów podtrzymujących. Niekorzystna ze spawalniczego punktu widzenia struktura metalu powoduje, że walców ze staliwa grafityzowanego nie można napawać metodami stosowanymi dotychczas w hutnictwie bez podgrzewania wstępnego.

Staliwo grafityzowane jest staliwem nadeutektoidalnym, w którym węgiel drugorzędowy występuje w postaci grafitu kulkowego, a nie cementytu nadeutektoidalnego, jak w produkowanych dotychczas staliwach. Dzięki temu uzyskuje się lepsze własności mechaniczne, obrabialność i zdolność tłumienia drgań w porównaniu ze zwykłymi staliwami nadeutektoidalnymi. Odporność na ścieranie staliwa grafityzowanego w warunkach tarcia potoczystego z poślizgiem przewyższa znacznie odporność żeliwa szarego [2]. Badania spawalności staliwa grafityzowanego wykazały, że w SWC napoiły, dzięki obecności grafitu kulkowego nie tworzy się krucha struktura ledeburytyczna, lecz znacznie plastyczniejszy, choć twardy bainit, w wyniku czego staliwo to jest łatwiej spawalne niż żeliwo [3-6].

2. Analiza warunków pracy walców i warunki doboru warstwy regeneracyjnej

Badane walce są walcami profilowymi przeznaczonymi do walcowania kształtowników. W czasie walcowania powierzchnia robocza walca (beczka) i jego czopy pracują w wyraźnie różnych warunkach. Czopy walców współpracują z panwiami łożysk z tworzywa sztucznego, stąd wymagana jest wysoka klasa gładkości ślizgowej powierzchni roboczej. Poważną wadą staliwa grafityzowanego, decydującą o trwałości czopów jest wykruszenie się skupisk grafitu, wychodzących z osnowy na powierzchnię roboczą czopa, co znacznie obniża jej gładkość i powoduje skrawanie powierzchni ślizgowych panwi, a przez to przyspieszone ich zużycie. To samo zjawisko zachodzące na powierzchni roboczej beczki walca nie zmienia własności walcowniczych. W procesie ścierania, wtrącenia grafitowe wychodzą na powierzchnię tarcia, rozdzielają się wzdłuż płaszczyzn łupliwości i tworzą bardzo cienkie płytki, wypełniając nierówności na trących powierzchniach, co zapobiega suchemu tarcu.

Własności staliwa grafityzowanego zwiększają wyraźnie trwałość beczki, jednak znacznie szybsze zużycie czopów narzuca konieczność wymiany walców przed ich nominalnym zużyciem.

Odmienne warunki pracy czopów i beczki walca wskazują na konieczność doboru warstw regeneracyjnych według różnych kryteriów. W przypadku czopów wystarczy jeśli warstwa zapewni wysoką gładkość powierzchni ślizgowej bez żadnych szczególnych wymagań dotyczących własności mechanicznych z uwagi na współpracę tej warstwy ze sztucznym tworzywem panwi łożysk. Warstwa regeneracyjna nałożona na powierzchnię roboczą beczki musi zapewnić nie niższe własności eksploatacyjne od materiału rodzimego a więc twardość rzędu 200-300 HB, odporność na ścieranie i obciążenia dynamiczne. Nałożone warstwy regeneracyjne muszą spełniać wymienione kryteria jakości, a równocześnie zapewnić właściwą spójność warstwy z materiałem podłoża i odpowiednie własności mechaniczne SWC spełniające warunki obciążenia.

3. Przebieg badań

Spodziewając się dużych trudności związanych z uniknięciem pęknięć, zwłaszcza w obszarze SWC napoiny układanej bez podgrzewania wstępnego, jako spoiwo dobrano druty ze stali niskowęglowej i ze stali austenitycznej, z których otrzymane stopiwo powinno zapobiegać rozwijaniu się pęknięć i wyjściu ich na powierzchnię. Równocześnie, w celu wykorzystania możliwości amortyzacji twardej i kruchej SWC plastycznym stopiwem i materiałem rodzimym, zdecydowano się prowadzić dobór parametrów napawania w taki sposób, aby stopień wymieszania stopiwa z materiałem podłoża był minimalny, a w obszarze SWC wystąpiła struktura o najmniejszej skłonności do pęknięć. Próby ustalenia parametrów napawania czopów walców hutniczych ze staliwa grafityzowanego prowadzono w dwóch etapach na stanowisku zbudowanym w Zakładzie Spawalnictwa IMiS.

Wstępny dobór parametrów napawania, zapewniających utrzymanie warstwy o wysokości około 5 mm, twardość na powierzchni 250-350 HV, wolnej od pęknięć wychodzących na zewnątrz i pęknięć w SWC, przeprowadzono na płytach próbnych o wymiarach 240x80x20 mm pobranych ze zużytego czopa walca. Płyt próbnych nie podgrzewano wstępnie przed napawaniem. Jako materiały dodatkowe do napawania zastosowano druty elektrodowe o średnicy 1,6 mm: niskowęglowe - SP1A, SP1GS i austenityczne - Sp13, Sp15, Inconel, a jako gaz ochronny Ar lub CO₂.

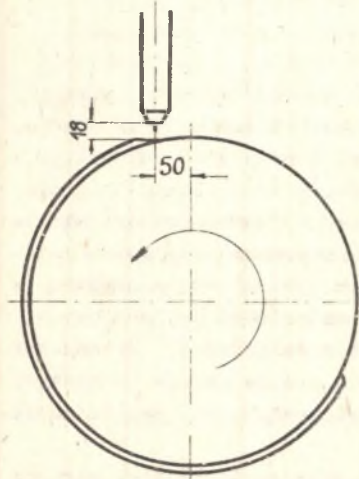
Badania wykazały, że z dalszych prób należy wyeliminować druty niskowęglowe. Napoiny wykonane tymi drutami bez podgrzewania wstępnego nie były wolne od pęknięć wychodzących na powierzchnię. Pęknięcia zidentyfikowano za pomocą badań penetracyjnych. Spełnienie założonych wymagań uzyskano jedynie przy napawaniu drutami austenitycznymi Sp13, Sp15 i Inconel.

W następnym etapie badań napawania prowadzono na zużytym czopie odciętym od walca, również nie podgrzewanym wstępnie, stosując wyłącznie druty austenityczne i gaz ochronny CO₂. Parametry wstępne traktowano jako wyjściowe, z uwagi na odmienne warunki geometryczne napawania oraz znaczną różnicę w pojemności cieplnej płyty próbnej i czopa.

Tablica 1

Optymalne parametry napawania czopa ze staliwa grafityzowanego drutem Sp15

Sred. elektr. (mm)	Napięcie łuku U(V)	Prąd napaw. I(A)	Szybkość napaw. V(Cm/s)	Ampl. wah. A(mm)	Częstot. wahań F(1/s)	Gaz ochr.	Nat. przep. gazu Q(l/s)	Energia liniowa E(kJ/cm)
1,6	29-31	290-310	5,5-6,9 $\times 10^{-2}$	35	0,76	CO ₂	0,25- -0,33	1,68



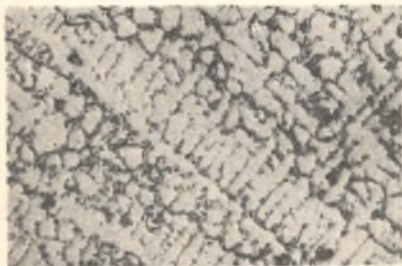
Rys. 1. Układ geometryczny głowica spawalnicza-czop, zapewniający prawidłowy przebieg procesu napawania



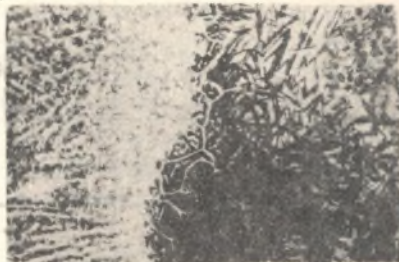
Rys. 2. Makrostruktura czopa walca napawanego stopiwem Sp15. Trawienie odczynnikami Adlera. Powiększenie 2x

Każdy ściąg napawany układano jeden obok drugiego na całej długości czopa w ten sposób, aby otrzymać ciągłą warstwę o równej grubości. Optymalne parametry napawania podano w tablicy 1. Wymiary napoin były następujące: szerokość - 38 mm, wysokość 5-6 mm, głębokość wtopienia - 2,0-2,5 mm. Układ geometryczny głowica spawalnicza - czop przedstawiono na rys. 1.

Badania penetracyjne warstwy ułożonej na czopie przy parametrach optymalnych nie wykazały obecności pęknięć wychodzących na powierzchnię. Podobnie obserwacje makro i mikroskopowe zglądu pobranego z napawanego czopa nie ujawniły pęknięć wewnątrz napoiny i w SWC (rys. 2-4). Wyniki pomiarów twardości na powierzchni napawanego czopa po obróbce przedstawiono na rys. 5. Wyniki powyższych badań pozwoliły do przystąpienia do badań eks-



Rys. 3. Mikrostruktura napoiny. Austenit w układzie dendrytycznym i węgliki wydzielone na granicach dendrytów. Trawienie FeCl_3 . Powiększenie 250x



Rys. 4. Mikrostruktura strefy przejściowej napoiny. Z lewej strony napoina. Od strony napoiny austenit + węgliki. Od strony materiału rodzimego martenzyt + austenit. Trawienie FeCl_3 . Powiększenie 500x

	372	330	368	376	358
Napoina	350 385	358 484	289 375	324 372	338 457
SWC	616	289	554	291	586
Materiał rodzimy	362 310 305	325 289 310	338 300 286	309 292 310	376 315 300

Rys. 5. Wyniki pomiarów twardości HV 30 SWC i napoiny czopa wykonanej drutem Sp15 w osłonie CO_2

ploatacyjnych, które przeprowadzone zostały na stanowisku zbudowanym w Hucie "Łabędy" w Gliwicach. Poddano regeneracji przez napawanie czopów komplet walców ze staliwa grafityzowanego wchodzących w skład jednej klatki walcowniczej.

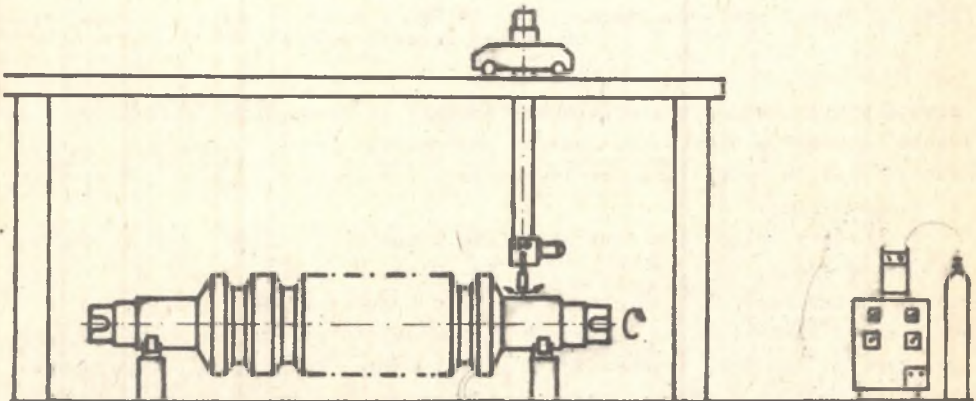
Procentowy skład chemiczny materiału napawanych walców według atestu był następujący: C- 1,52, Si- 1,35, Mn- 0,24, P- 0,001, S- 0,014 a własności mechaniczne staliwa grafityzowanego przedstawiono w tabelicy 2.

W skład stanowiska do napawania czopów walców ze staliwa grafityzowanego (rys. 6) wchodził automat AS-14 przystosowany do napawania łukowego elektrodą topliwą w osłonie gazowej, wyposażony dodatkowo w przyrząd do wymuszania wahliwego ruchu elektrody, oraz manipulator spawalniczy zaprojektowany i zbudowany specjalnie do regeneracji walców hutniczych.

Tablica 2

Własności mechaniczne staliwa grafityzowanego w zależności od struktury osnowy

Własności	Struktura osnowy staliwa			
	perlityczna	perlityczno-ferrytyczna	sferoidyt	ferrytyczna
Wytrzymałość na rozciąganie R_m (MPa)	600-700	550-650	580-650	450-580
Granica plastyczności R_e (MPa)	500-600	400-470	400-450	380-440
Wydłużenie (%)	1-3	3,7	7-13	13-20
Wytrzymałość na ściskanie (MPa)	1600-2100	1400-1800	-	-
Udarność (kJ/m^2) na próbkach: bez karbu z karbem	4-9 0,6-1,0	5-10 0,6-1,2	8-15 1,5-2,2	14-20 2-3
Twardość Brinella (MPa)	2600-2800	2100-2200	2200-2400	1300-1400
Wytrzymałość na zmęczenie (MPa)	-	-	-	220-230



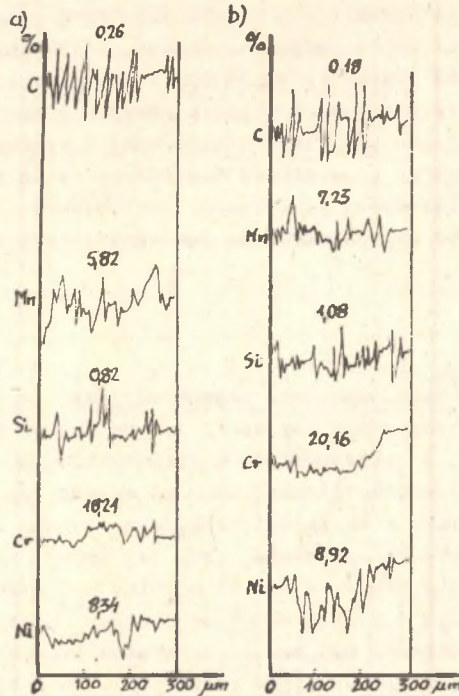
Rys. 6. Stanowisko do napawania czopów metodą MIG z poprzecznym wahlwym ruchem elektrody

Napawano czopy ośmiu walców ze staliwa grafityzowanego bez podgrzewania wstępnego, stosując parametry i sposób układania poszczególnych ściągów jak przy napawaniu czopów próbnych. Napawanie prowadzono bez żadnych przerw między ułożeniem ścięgu poprzedniego i następnego poza czasem wymaganym na przesunięcie głowicy. Następnie czopy poddane zostały obróbce wiórowej w celu wyrównania powierzchni napawanej i uzyskania odpowiedniego wymiaru, potrzebnego do prawidłowej współpracy czopa z panwią łożyska. Oględziny zewnętrzne uzyskanej powierzchni oraz badania penetracyjne potwierdziły brak pęknięć wychodzących na powierzchnię warstwy napawanej.

Wnioski

Badania wstępne procesu napawania regeneracyjnego czopów walców ze staliwa grafityzowanego oraz próby napawania czopów walców przeznaczonych do eksploatacji wykazały, że skłonność do pęknięcia układanych ściągów zależy głównie od amplitudy i częstotliwości wahnięć elektrody, a następnie od wielkości natężenia prądu i szybkości napawania. Zmiana amplitudy, częstotliwość wahnięć i szybkości napawania, przy tej samej energii liniowej łuku, decydują o kształcie jeziora metalu napoiny i rozkładzie naprężeń skurczowych, a tym samym o wymiarach geometrycznych uzyskanych napoin - szerokości ścięgu, wysokości nadlewu i głębokości wtopienia. Na podstawie mikroanaliz podstawowych pierwiastków stopowych wykonanych na zglądach napoin można stwierdzić, że przy napawaniu w osłonie CO_2 zachodzi wyraźne nawęglanie stopiwa (0,26% C) i wypalanie Cr (18,21%), Mn (5,82%), Ni (8,34%), Si (0,62%) jednakże w stopniu nie przekraczającym granic ustalonych w normach (rys. 7). Ponieważ warstwa napawana nie musi spełniać warunku odporności na korozję, zastosowanie napawania w osłonie CO_2 jest ekonomicznie uzasadnione, szczególnie gdy nawęglenie nie obniża własności eksploatacyjnych. Jednakże zmiana osłony łuku z CO_2 na $\text{Ar}+2\%\text{O}_2$ wywołuje zmniejszenie głębokości wtopienia napoiny, a więc stopnia wymieszania stopiwa z materiałem podłoża a przez to znaczne zmniejszenie skłonności do pęknięć.

Jako materiał dodatkowy zaleca się zastosowanie drutu Sp13 o odpowiednio dobranej zawartości ferrytu σ i o zawartości węgla poniżej 0,03%. Zwiększy to odporność układanych ściągów na gorące pęknięcia. Zakres parametrów, przy których uzyskuje się napoiny bez pęknięć, jest wąski i przy układaniu napoin należy go ściśle przestrzegać. Powierzchnie przed napawaniem powinny być dokładnie oczyszczone i odtłuszczone. Zachowując powyższe warunki, zregenerowana powierzchnia czopa jest wolna od pęknięć i w czasie eksploatacji żywotność panwi łożyska powinna znacznie wzrosnąć. Parametry technologiczne napawania zamieszczono w tablicy 1.



Rys. 7. Wyniki mikroanalizy C, Mn, Si Cr i Ni złądów napoin ułożonych na czopie drutem Sp15

a) osłona CO₂, b) osłona Ar

LITERATURA

- [1] Hardfacing-AWRA Technical note 4. Weld.Res.Aboard, 1975, t. 21, nr 2, s. 19-36.
- [2] Homma H., Wada T., Yanaye K.: Welding of cast iron, and nodular graphite cast steel. The Science Reportes of the Research Institute Tohoku University nr 1, 1969.
- [3] Vinckier A.G., Pense A.W.: A. Review of underclad cracking in pressure-vessel components. W.R.C. Bulletin, 1974, nr 197.
- [4] Prasannakumar S., Ramachandram E.G., Ruge J.: Notch tip plastic zones in weld composite specimens. Weld. Res. Inter., 1975, t. 3, nr 2, s. 67-77.
- [5] Kume R., Okabayashi H., Naiki T.: Internal stresses in thick plates weld-overlaid with austenitic stainless steel (Report 1 i 2). Trans. of. J.W.S., 1974, t. 5, nr 1, s. 2-17.
- [6] Honeycombe J., Gooch T.G.: Microcracking in fully austenitic stainless steel weld metal. Weld. Res. Abroad., 1975, t. 21, nr 6, s. 18-20.

РЕГЕНЕРАЦИЯ ВАЛКОВ НА ГРАФИТИЗИРОВАННОГО СТАЛЬНОГО ЛИТЬЯ

Р е з ю м е

Проведен анализ работы металлургических валков и подбора материала для наплавленного слоя. Разработана технология наплавки цапф валков из графитизированного стального литья, применяемых на металлургическом заводе "Лабеды". Проведенные металлографические и механические исследования, а также микроанализ химсостава наплавленного слоя и эксплуатационные испытания подтвердили правильность разработанной технологии.

RECLAMATION BY MEANS OF SURFACING OF ROLLERS FROM GRAPHITIZED CAST STEEL

S u m m a r y

The working conditions of mill rollers and the conditions of selection of the deposited material of layers have been analysed. The surfacing technology of roller pins of graphitized cast steel used in Huta Łabędy (Łabędy Steel Plant) has been worked out. The metallographic, mechanical and chemical composition microanalysis tests of the deposited layer and exploitation investigations confirmed the correctness of the worked out technology.