

Odporność na erozyjne zużycie strumieniowe napoin wykonanych drutem proszkowym samoosłonowym przy kącie padania ścierniwa 60°

Wear resistance in erosive condition of hard-facing plates made with wire SSA and abradant impact angle 60°

Streszczenie

W artykule omówiono napawanie i eksploatację płyt trudnościeralnych wykorzystywanych w przemyśle wydobywczym, pracujących w warunkach zużycia metal-minerał. Otrzymane wyniki prezentują właściwości dwóch napoin wykonanych z różnymi parametrami. Badania zużycia erozyjnego przeprowadzono z wykorzystaniem piaskarki przemysłowej przy kącie padania strumienia erozyjnego 60°. Trudne warunki pracy napoin wskazują na jednoczesny wpływ parametrów geometrycznych napoiny oraz jej właściwości mechanicznych i struktury na odporność na zużywanie.

Abstract

The paper shows the problem of exploitation and hard-facing of abrasive-resistant plates used in mining industry, working in the condition of metal-mineral wear. In the paper presented results refer to two hard-faced padding welds made according to different parameters. The research of the wear was carried out with the 60° angle erosive stream. Severe conditions of work of hard-faced abrasive-resistant plates show the simultaneous role of hard-faced padding weld geometrical parameters and its mechanical and structural properties in the wear resistance.

Wstęp

Trwałość części maszyn i urządzeń jest związana z parametrami eksploatacyjnymi, których wzrost powoduje przyśpieszone zużycie. Analiza przyczyn zużycia części maszyn i urządzeń wykazuje, że ok. 50% części ulega zużyciu ściernemu, 15% adhezyjnemu, 15% zmęczeniowemu, 5% w wyniku korozji, a 14% wskutek łącznego działania tych procesów zużycia [1÷3]. Wszystkie wymienione przyczyny zużycia można odnaleźć w procesie eksploatacji napoin odpornych na zużycie ścierne, wykorzystywanych przez szeroko rozumiany przemysł wydobywczy.

Dr inż. Marek Gucwa, dr inż. Robert Bęczkowski – Politechnika Częstochowska.

Zużycie części maszyn i urządzeń w tym przypadku jest najczęściej wynikiem tarcia powierzchni metalowych o przerabiane minerały.

Zużycie ścierne metal-minerał następuje wówczas, gdy w obszarze tarcia występują luźne lub utwierdzone cząstki ścierniwa [1]. W praktyce można wyróżnić trzy podstawowe rodzaje zużycia ściernego tego typu:

- rysowanie lub brzdowanie materiałem ściernym działającym pod małym obciążeniem (rylny zsypowe materiałów sypkich),
- mikroskrawanie materiałem ściernym działającym pod dużym obciążeniem (młyny kulowe, zęby kół zębatych, mieszarki itp.),
- żłobienie dużymi cząsteczkami działającymi pod dużym obciążeniem (czepaki koparek, walce kruszarek skał itp.).

Ekonomicznym sposobem przywracania cech użytkowych zużytych częściom jest napawanie regeneracyjne. Oprócz napawania regeneracyjnego stosuje się napawanie na nowe części maszyn i urządzeń. Jest to tzw. napawanie prewencyjne lub technologiczne [1, 4]. Stały rozwój technologii spawalniczych oraz inżynierii materiałowej, daje możliwość wytwarzania napoin o właściwościach jakie nie były dawniej osiągalne. Dzięki temu wzrasta trwałość maszyn i urządzeń nawet w trudnych warunkach eksploatacji, które można spotkać np. w przemyśle wydobywczym. Szczególnie narażone na zużycie są płyty i ryny przesypowe używane w transporcie materiałów sypkich.

W wykonanych badaniach porównano właściwości napoin wykonanych różnymi parametrami i zbadanie ich wpływu na odporność na zużywanie tak przygotowanych napoin. Napoiny te mogą być wykorzystywane do wytwarzania wspomnianych wcześniej płyt, jak również jako wykładziny boków taśmociągów.

Materiały do badań

Jako podłoże do badań wybrano stal konstrukcyjną niestopową ogólnego przeznaczenia S235 o składzie chemicznym podanym w tabelicy I. Grubość blachy wynosiła 10 mm.

Tablica I. Skład chemiczny stali S235
Table I. Chemical composition of S235 steel

Skład chemiczny stali, %					
C	Mn	Si	P	S	Al
0,22	1,10	0,10-0,35	0,050	0,050	0,020

Tablica II. Skład chemiczny drutu proszkowego
Table II. Chemical composition of flux-care wire

Skład chemiczny drutu proszkowego, %			
C	Cr	Nb	B
5,4	22	7	+

Tablica III. Parametry procesu napawania
Table III. Hard-facing parameters

Parametry	Napoina 4	Napoina 7
Szerokość zakosów, mm	25	25
Energia liniowa napawania, kJ/mm	3,27	3,72
Długość wolnego wylotu elektrody, mm	20	40
Odbiór ciepła, W/mK	4,3	4,3

Tablica IV. Średnie wartości parametrów geometrycznych napoin
Table IV. Average values of geometrical parameters of the padding welds

Parametry	Napoina 1	Napoina 2
Szerokość napoiny, mm	35,33	32,67
Wysokość napoiny, mm	4,01	5,12
Głębokość wtopienia, mm	1,64	1,06
Udział materiału podłoża w napoinie, %	32,14	22,24

Do wykonania napoiny wybrano drut proszkowy samoosłonowy Corthal 61 o średnicy 2,8 mm i podanym przez producenta składzie chemicznym zamieszczonym w tabelicy II. Napoiny wykonane tym drutem są przeznaczone do pracy w warunkach zużycia ściernego typu metal-minerał.

Aby zrealizować cel badań, wykonano 2 napoiny jednowarstwowe z różnymi parametrami procesu. Proces napawania został przeprowadzony na stanowisku do napawania automatycznego ANAP-1 w Zakładach Produkcyjno-Remontowych KWB BOT Bełchatów S.A. Parametry procesu napawania umieszczono w tabelicy III.

Efektem napawania z założonymi parametrami było uzyskanie 2 napoin o parametrach geometrycznych przedstawionych w tabelicy IV. W tej samej tabelicy zamieszczono również udziały materiału podłoża w napoinie, który obliczany jest jako stosunek powierzchni przekroju nadtopionego metalu podłoża do sumy powierzchni przekroju nadlewu napoiny oraz metalu podłoża:

$$U_p = \frac{F_w}{F_n + F_w} \cdot 100\%$$

gdzie: U_p – udział materiału podłoża w napoinie, F_w – powierzchnia przekroju nadtopionego metalu podłoża, F_n – powierzchnia przekroju nadlewu napoiny

Udział materiału podłoża w napoinie jest stosunkowo duży, jednak już w pierwszej warstwie napoiny można zapewnić wymagane właściwości eksploatacyjne. W większości metod napawania mały udział metalu podłoża w napoinie można uzyskać przez zmniejszenie energii liniowej procesu, czyli ilorazu mocy i prędkości napawania. Jednak zmniejszenie energii liniowej pociąga za sobą spadek wydajności napawania i ekonomiczności całego procesu, a w skrajnych przypadkach może uniemożliwić prawidłowe wtopienie i przyczynić się do powstawania przyklejeń. Napoina 2 była wykonywana przy wyższej energii liniowej, jednak zwiększony odcinek wolnego wylotu elektrody spowodował powstanie mniejszego wtopienia w materiał podstawowy oraz zmniejszył stopień wymieszania napoiny z materiałem podłoża.

Badania strukturalne

W celu przeprowadzenia badań metalograficznych zostały wykonane zglądy poprzeczne. Do trawienia przygotowanych zglądów użyto odczynnika o składzie chemicznym: 80 ml C_2H_5OH , 10 g chlorku żelaza $FeCl_2$, 10 ml HCl .

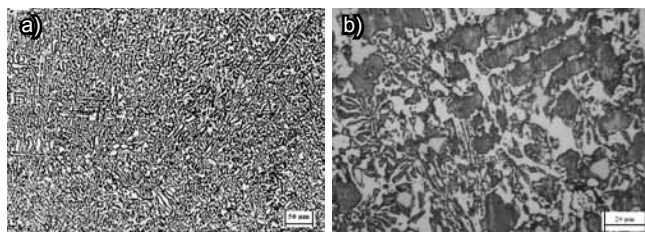
Badania metalograficzne zostały wykonane na mikroskopie optycznym Axiovert 41. Stosując ten sam materiał dodatkowy, a zmieniając część parametrów procesu napawania, osiągnięto duże zróżnicowanie struktury. Jest to szczególnie widoczne, gdy porównuje

się wielkość i kształt wydzielań węglkowych w badanych napoinach. Przedstawione mikrostruktury pochodzą ze środkowych części napoin (rys. 1, 2).

Struktura napoiny 1 charakteryzuje się dużą dyspersją z licznymi węglkami pierwotnymi, przy czym ich wielkość zmniejsza się od powierzchni w kierunku linii wtopienia. W napoinie tej można zauważyć w strukturze występowanie węglków pierwotnych w postaci wielokątów i liczne drobne wydzielenia węglków eutektycznych. Struktura napoiny 2 składa się z wydzielań węglków pierwotnych o kształcie podłużnym i nieregularnym w otoczeniu osnowy austenitycznej i drobnych węglków eutektycznych. Należy zaznaczyć, że w przypadku tej próbki widać wyraźną dominację nieregularnych wydzielań i przynajmniej częściowo przypadkowe zorientowanie węglków o wydłużonym kształcie. Cechą charakterystyczną badanych napoin jest rozdrobnienie węglków, które zwiększają się z odległością od powierzchni i jest wywołane większymi prędkościami odprowadzania ciepła w kierunku materiału rodzimego. W tabelicy V zamieszczono wyniki pomiarów udziału objętościowego węglków w strukturze w zależności od miejsca badania. Badania te wykonano z wykorzystaniem programu Olympus Stream.

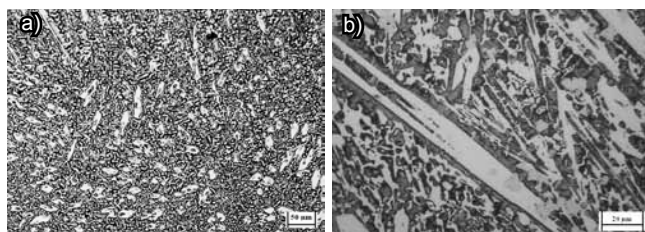
Tabela V. Udział objętościowy węglków w strukturze
Table V. Volume part of carbides in the structure

Udział objętościowy węglków, %	Napoina 1	Napoina 2
Powierzchnia napoiny	31,9	41,64
Środek napoiny	34,4	43,18
W pobliżu linii wtopienia	30,34	38,16
Średnia	32,21	40,99



Rys. 1. Mikrostruktura napoiny 1: a) powiększenie 100x, b) powiększenie 500x

Fig. 1. Microstructure of padding weld 1: a) magnification 100x, b) magnification 500x



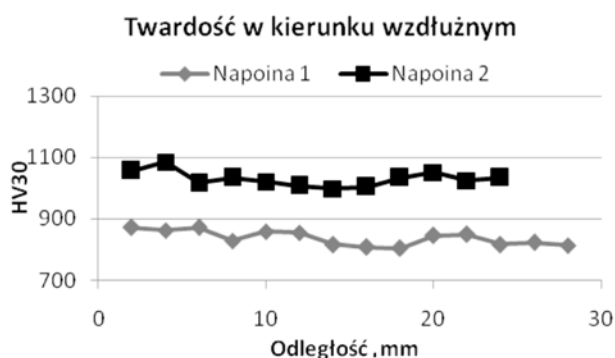
Rys. 2. Mikrostruktura napoiny 2: a) powiększenie 100x, b) powiększenie 500x

Fig. 2. Microstructure of padding weld 2: a) magnification 100x, b) magnification 500x

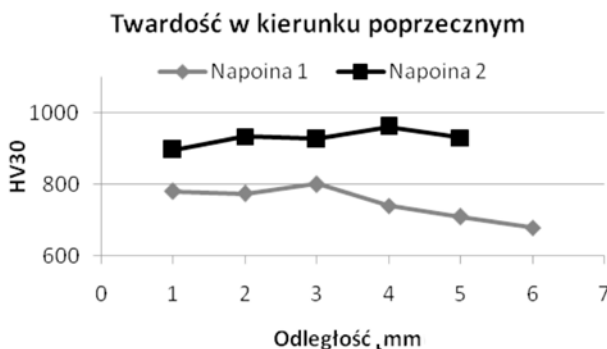
Badanie twardości

Badanie twardości wykonano na przygotowanych próbkach metodą Vickersa przy obciążeniu 294,2 N. Badania przeprowadzono w kierunku wzdłużnym oraz poprzecznym, a ich wyniki przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Twardość w kierunku wzdłużnym była mierzona na całej długości napoiny w odległości 2 mm od jej powierzchni. Twardość w kierunku poprzecznym była mierzona w środkowej części napoiny, od jej powierzchni do linii wtopienia.

Z przedstawionych badań wynika, że napoina 1 charakteryzuje się mniejszą twardością niż napoina 2. Można tłumaczyć to mniejszym udziałem węglków w strukturze napoiny 1 oraz większym stopniem udziału materiału podłoża w napoinie, który wynosi 32,14% w porównaniu do 22,24% w napoinie 2.



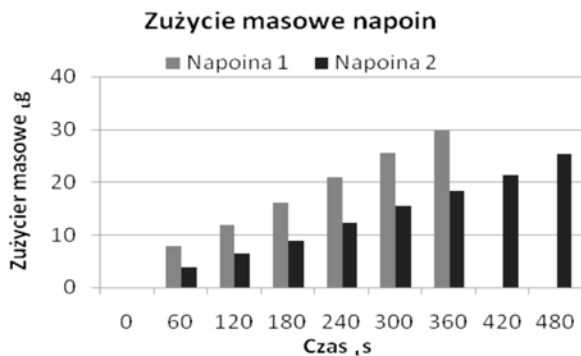
Rys. 3. Twardość napoin w kierunku wzdłużnym
Fig. 3. Hardness in the longitudinal direction



Rys. 4. Twardość napoin w kierunku poprzecznym
Fig. 4. Hardness in the lateral direction

Badanie odporności na erozyjne zużywanie strumieniowe

Kolejną badaną właściwością napoin była ich odporność na erozyjne zużywanie strumieniowo przy kącie padania strumienia 60°. W tym celu posłużono się piaskarką przemysłową, a najważniejsze parametry pracy piaskarki były następujące: ciśnienie 8 atm, wydajność ścierniwa 13 kg/min, średnica dyszy 9 mm, odległość dyszy od próbki ustalono na 100 mm.



Rys. 5. Zużycie masowe
Fig. 5. Massive wear

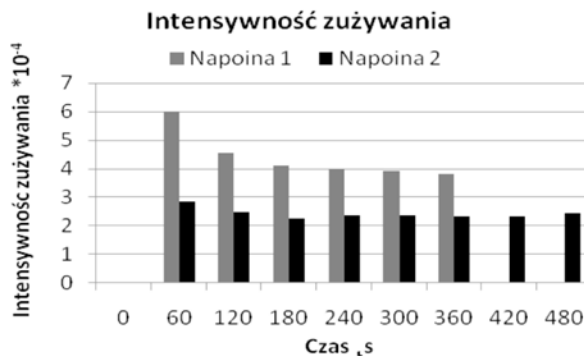
Jako erodentu użyto ścierniwa kwarcowego o ziarnistości 0,5÷2mm. Do badań przygotowano próbki o wymiarach 40x50 mm, które zostały umieszczone w specjalnym uchwycie pod kątem 60° względem dyszy. Badanie procesu zużycia erozyjnego przebiegało w ten sposób, że po minucie pracy piaskarki mierzono ubytek masy próbki za pomocą wagi elektronicznej Vibra model AJH-620CE o nośności 620 gramów i dokładności odczytu do 0,001. Następnie próbka była badana wizualnie, ponownie montowana i poddawana procesowi zużycia przez następną minutę. Całość operacji powtarzano, aż do stwierdzenia zużycia warstwy napoiny do materiału rodzimego. Zużycie masowe Z było obliczane ze wzoru:

$$Z = m_p - m_t$$

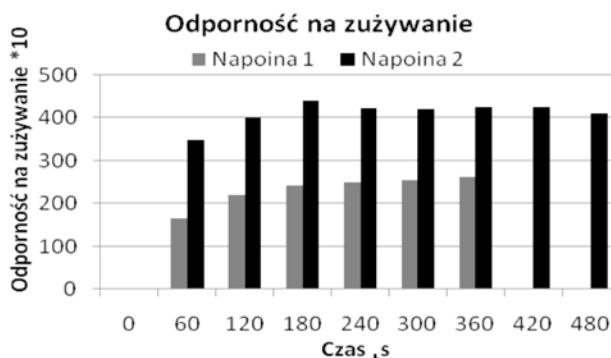
gdzie: m_p – masa początkowa, m_t – masa po procesie ścierania

Wskaźniki zużycia, czyli intensywność zużycia oraz odporność na zużycie są znane i używane w opisie zjawisk trybologicznych. Zwykle intensywność zużycia odnosi się do drogi, na jakiej zaszło to zużycie. W tym przypadku jednak zdecydowano się, na podstawie literatury, odnosić intensywność zużycia do masy ścierniwa, jakie zostało użyte w jednostce czasu [3].

Z analizy otrzymanych wyników dotyczących zużycia widać, że napoina 2 charakteryzuje się większą



Rys. 6. Intensywność zużywania
Fig. 6. Wear intensity



Rys. 7. Odporność na zużywanie
Fig. 7. Wear resistance

odpornością na zużywanie w stosunku do napoiny 1 (rys. 5÷7). Większa twardość oraz wielkość węglików w napoinie 2 wpływają korzystnie na wzrost odporności na zużywanie w tym systemie trybologicznym. Dodatkowo napoina 2 ma większą wysokość nadlewu oraz mniejszy stopień wymieszania materiału podłoża z napoiną. Czynniki te powodują, że napoina 2 charakteryzuje się w tym przypadku większą trwałością. Należy pamiętać, że twardość nie może być jedynym wyznacznikiem określającym odporność na zużywanie.

Wnioski

Parametry procesu napawania mają istotny wpływ na rodzaj powstającej struktury i jej właściwości. Ilość węglików w strukturze napoiny 2 jest większa o 27% w stosunku do napoiny 1. Pociąga to za sobą wzrost twardości, co w tym przypadku przekłada się w sposób bezpośredni na wzrost odporności na zużywanie.

Zwiększenie długości wystającego odcinka elektrody powoduje wzrost wydajności stapienia, co pociąga za sobą powstanie mniejszego wtopienia oraz zmniejszenie stopnia wymieszania napoiny z materiałem podłoża.

Literatura

- [1] Klimpel A.: „Napawanie i natryskiwanie cieplne-technologie”, WNT, Warszawa 2000.
- [2] Womersley D.: Hardfacing: not merely a reclamation process. Surface Engineering nr 1/1995, s. 43-46.
- [3] Hejwowski T.: Studium procesów zużywania erozyjnego, ściernego i zmęczenia cieplnego elementów maszyn oraz kształtowanie struktur o korzystnych właściwościach eksploatacyjnych, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej 2003.
- [4] Dziubiński J., Adamiec P.: Napawanie i natryskiwanie wczoraj i dziś, Przegląd Spawalnictwa, nr 5/1998, s. 6-8.