

NITRIFIED COATINGS FOR ELEMENTS OF AGRICULTURAL MACHINES

Summary

Results of the research of regenerative metallic coatings spread on specimens of 45 steel are presented. Properties (roughness, hardness and wear resistance) of coatings spread in the different way and additionally after ion nitriding were examined. The research show that the properties of coatings and results of the ion nitriding depended on the chemical composition of the coating material and of the spreading method.

Key words: agricultural machines; machinery parts; regenerative coating; ion nitriding; hardness; wearability; laboratory experimentation

AZOTOWANE POWŁOKI NA ELEMENTY MASZYN ROLNICZYCH

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań nad polepszeniem jakości powłok regeneracyjnych nałożonych na próbki ze stali 45. Badano właściwości powłok nałożonych w różny sposób, oraz dodatkowo, azotowanych jonowo. Badania wykazały, że właściwości powłok (chropowatość, twardość i odporność na ścieranie) oraz skutki azotowania jonowego zależą od składu chemicznego materiału powłoki i sposobu jej nakładania.

Słowa kluczowe: maszyny rolnicze; części maszyn; powłoka regeneracyjna; azotowanie jonowe; twardość; odporność na ścieranie; badania laboratoryjne

1. Wstęp

Jakość maszyn rolniczych i spożywczych zależy przede wszystkim od trwałości części narażonych na obciążenia dynamiczne i zużycie cierne. Dotyczy to także części stykających się z glebą lub materiałami o bardzo zmieniających się właściwościach. W pierwszym przypadku chodzi nie tylko o konsystencję gleby, ale również o występujące w niej ciała różniące się bardzo własnościami, jak kamienie, fragmenty skamielin i różnego rodzaju odpady, które bardzo zanieczyszczają środowisko. Ponadto czynnik ekonomiczny wymusza stosowanie na elementy maszyn tanich materiałów. Coraz częściej spotyka się części maszyn wykonane z takich materiałów, jak np. stale niskostopowe, ulepszone metodami obróbek powierzchniowych [1-3]. Wtedy, odporny na pękanie element stalowy pokrywany jest, w miejscach narażonych na intensywne zużycie, powłoką odporną na ścieranie, a części narażone na korozję – powłoką kwasoodporną.

W badaniach przyjęto założenie, że dodatkowa obróbka cieplno-chemiczna powłok może znacznie polepszyć ich właściwości. Krótkotrwałe azotowanie w stosunkowo niskiej temperaturze nie powinno wpływać na ich osłabienie, zwłaszcza powłok zawierających składniki odporne na

działanie podwyższonej temperatury (wolfram, molibden i inne).

Przedstawiono wyniki badań, których celem była ocena właściwości obróbki cieplno-chemicznej powłok regeneracyjnych nałożonych na próbki z ulepszonej cieplnie stali konstrukcyjnej, węglowej. Badano właściwości pięciu powłok o różnym składzie chemicznym, nakładanych w różny sposób i azotowanych jonowo w jednakowych warunkach [4].

2. Materiał, obróbka i metody badawcze

Na próbki o wymiarach $\phi 35 \times 250$ mm, ze stali 45 w stanie zmiękczonym, nakładano powłoki następującymi metodami:

- napawanie elektro-wibracyjne drutem SG3-S1, PZ60-54, 650-JG,
- natapianie gazo-proszkowe proszkiem PMNi55G,
- metalizacja natryskowa – drut ze stali 4H13.

Skład chemiczny według norm PN-88/M-6942 i PN-71/86020; aktualnie, zamiast normy PN-88/6942 stosuje się normy europejskie PN-EN ISO 14343:2010, PN-EN 14341:2008, PN-EN 756:2005 oraz normę PN-EN 636:2008, a zamiast normy PN-71/H-86020 – normę PN-EN 10088:2007.

Tab. 1. Metody nakładania powłok i skład chemiczny materiałów w procentach

Table 1: Methods of spreading of coatings and chemical composition of materials in per cent

Metoda	Materiał	C	Mn	Si	P _{max}	S _{max}	Cr	Ni	Cu	Mo	Inne
NEW	SpG3-S1	0,1	1,3-1,7	0,7-1,0	0,03	0,03	max 0,25	max 0,3	-	-	-
NEW	PZ 6054	0,15	0,25	2,5	-	-	9,5	-	0,2	-	-
NEW	650-JG	0,36	-	-	-	-	5,1	-	-	1,4	-
NGP	PMNi55g	3	-	-	-	-	7	reszta	-	-	Fe _{max} 4
MN	4H13	0,36	max 0,8	0,8	0,04	0,03	14	max 0,6	-	-	-

NEW – napawanie elektro-wibracyjne, NGP – natapianie gazo-proszkowe, MN – metalizacja natryskowa

Azotowanie jonowe powłok (powierzchnie szlifowane) przeprowadzono w piecu typu JONIMP 900/500 w temperaturze 520°C, w ciągu ośmiu godzin i przy potencjale azotowym $N_p = 8,5\%$.

W badaniach porównywano właściwości powłok przed i po azotowaniu jonowym. Badania obejmowały:

- ocenę chropowatości powierzchni z pomocą aparatu SURTRONIK-3 firmy Taylor-Hobson,
- pomiary twardości HV0,1 z pomocą twardościomierza ZWICK-3212, w trzech ścieżkach prostopadłych do powierzchni, w odstępach 0,04 mm.

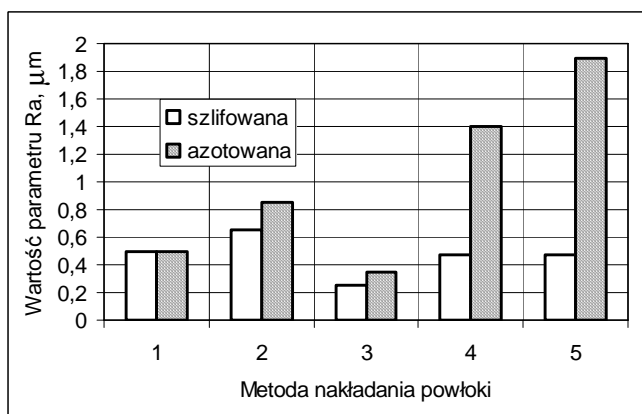
Badanie odporności na zużycie cierne prowadzono za pomocą przyrządu zamocowanego na tokarce, z prędkością obrotową 210 obr/min. Jako przeciwpróbki stosowano wałeczki ze spieku twardego G10, zakończone czaszą kulistą o promieniu 4,5 mm. Przyjęto siłę docisku najłabszej powłoki – 20 daN. Próba trwała 15 minut. Miarą zużycia była szerokość wytarcia mierzona na poboczniczy walca.

3. Wyniki badań

Podczas badań porównywano właściwości powłok, przed i po obróbce cieplno-chemicznej, o różnej zawartości składników stopowych, nałożone w różny sposób. Oceniano zmiany chropowatości, twardości oraz wpływ azotowania jonowego na zużycie cierne próbek.

3.1. Ocena chropowatości powierzchni

Badania obejmowały określenie kilka parametrów geometrycznych powierzchni i wykazały, że skutkiem azotowania jonowego ich zmiany są podobne. Dlatego na rys. 1 przedstawiono tylko zmiany parametru Ra. Z porównania tych zmian wynika, że obróbka cieplno-chemiczna powoduje na ogół wzrost parametru Ra, a wartość tego wzrostu zależy od składu chemicznego i metody nakładania powłoki. Największy wzrost wartości tego parametru wykazała powłoka po metalizacji natryskowej stalą 4H13, natomiast chropowatość powłoki napawanej elektro-wibracyjnie stalą SpG3-S1 po azotowaniu nie uległa zmianie.

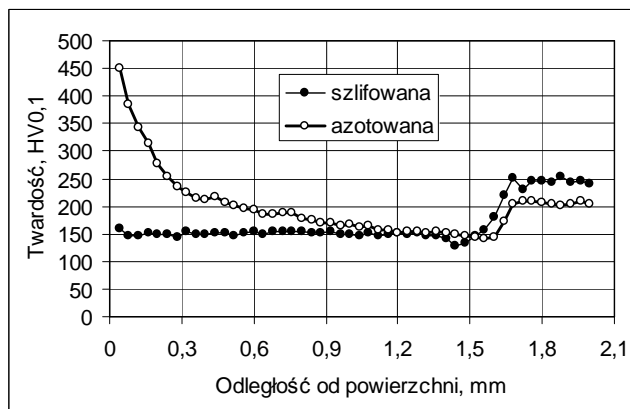


Rys. 1. Parametr chropowatości Ra próbek szlifowanych i po azotowaniu jonowym. Metoda i materiał powłoki: 1 – NEW/SpG3-S1, 2 – NEW/PZ5064, 3 – NEW/650-JG, 4 – NGP/PMNi55g, 5 – MN/4H13

Fig. 1. Roughness parameter Ra of the ground specimens and after ion nitridation. Method and material of coating: 1 – NEW/SpG3-S1, 2 – NEW/PZ5064, 3 – NEW/650-JG, 4 – NGP/PMNi55g, 5 – MN/4H13

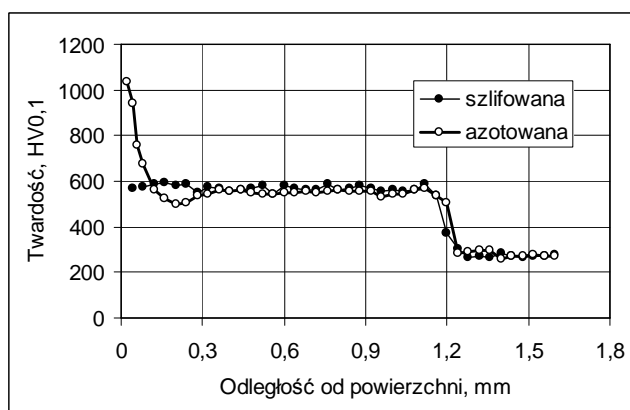
3.2. Pomiary twardości

Na rys. 2–6 przedstawiono profile twardości próbek szlifowanych i azotowanych jonowo. Z rysunków wynika, że obróbka cieplno-chemiczna wpływa nie tylko na wzrost twardości warstwy wierzchniej, ale również na zmiany twardości rdzenia próbek i nałożonych na nie powłok. W Próbce napawanej elektro-wibracyjnie stalą węglową o podwyższonej zawartości manganu i krzemu SpG3-S1 (rys. 2) stwierdzono obniżenie twardości powłoki, nawet w stosunku do rdzenia, i dalsze po azotowaniu jonowym, co wskazuje na małą odporność materiału powłoki na odpuszczające działanie temperatury. Takiego obniżenia nie stwierdzono w przypadku próbek napawanych stalą stopową PZ60-54 (rys. 3) i stalą 650-JG (rys. 4). W przypadku stali PZ60-54 twardość powłoki była wyraźnie większa od twardości rdzenia, a w warstwie dyfuzyjnej wzrosła dodatkowo o 400 jednostek HV0,1. W przypadku stali 650-JG twardość powłoki była największa, a jej przyrost po azotowaniu – niewielki.



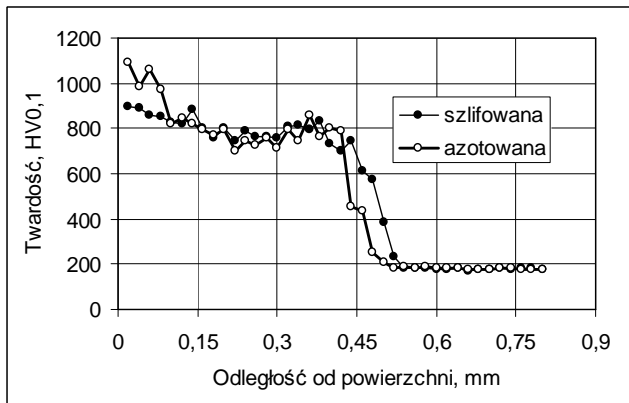
Rys. 2. Rozkłady twardości powłok napawanych elektro-wibracyjnie stalą SpG3-S1; próbki - szlifowana i po azotowaniu jonowym

Fig. 2. Hardness distribution of padding welds by electro-vibratory cladding with SpG3-S1 steel; ground specimen and after ion nitridation



Rys. 3. Rozkłady twardości powłok napawanych elektro-wibracyjnie stalą PZ6054; próbki - szlifowana i po azotowaniu jonowym

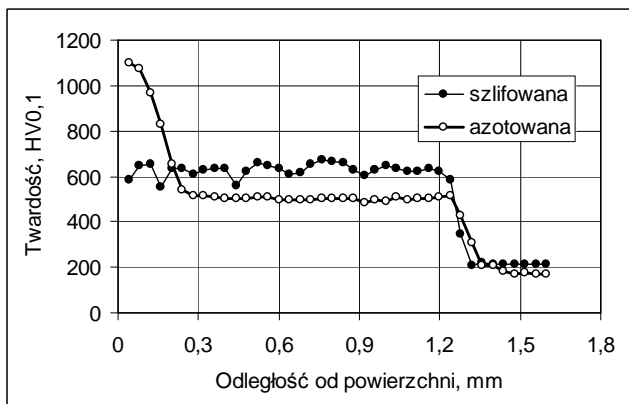
Fig. 3. Hardness distribution of padding welds by electro-vibratory cladding with PZ6054 steel; ground specimen and after ion nitridation



Rys. 4. Rozkłady twardości powłok napawanych elektro-wibracyjnie stalą 650-JG; próbki - szlifowana i po azotowaniu jonowym

Fig. 4. Hardness distribution of padding welds by electro-vibratory cladding with 650-JG steel; ground specimen and after ion nitridation

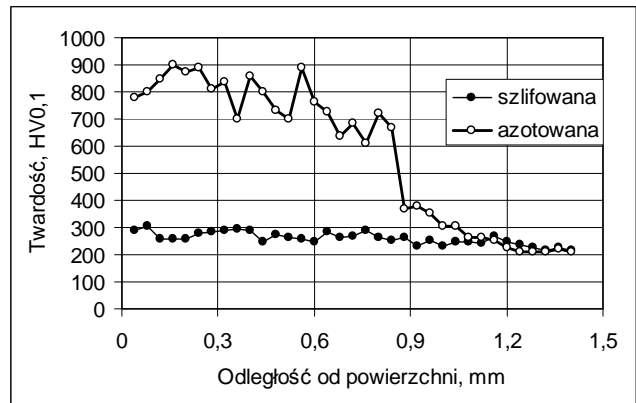
Podobny rozkład twardości wykazała próbka natapiana gazo-proszkowo (rys. 5). Powłoka miała o około 400 jednostek HV0,1 większą twardość od twardości rdzenia. Azotowanie jonowe spowodowało jej obniżenie o około 100 tych jednostek i wyrównanie wartości w nieazotowanej strefie powłoki. Wzrost twardości w strefie dyfuzyjnej (grubość tej strefy – około 0,2 mm) był znaczący i wynosił około 500 Jednostek HV0,1.



Rys. 5. Rozkłady twardości powłok natapianych gazo-proszkowo stopem MPNi55g; próbki – szlifowana i po azotowaniu jonowym

Fig. 5. Hardness distribution of coatings melted by gas-powder method with MPNi55g – alloy; ground specimen and after ion nitridation

Powłoka metalizowana natryskowo stalą 4H13 charakteryzowała się grubszą warstwą dyfuzyjną, dochodzącą do około 1 mm, prawie do granicy występowania powłoki, przy czym profil twardości w warstwie dyfuzyjnej był nierówny. Z porównania profilów różnych powłok i stosowanych metod ich nakładania wynika, że ich przebiegi wyraźnie się różnią, a azotowanie jonowe te różnice zwiększa.

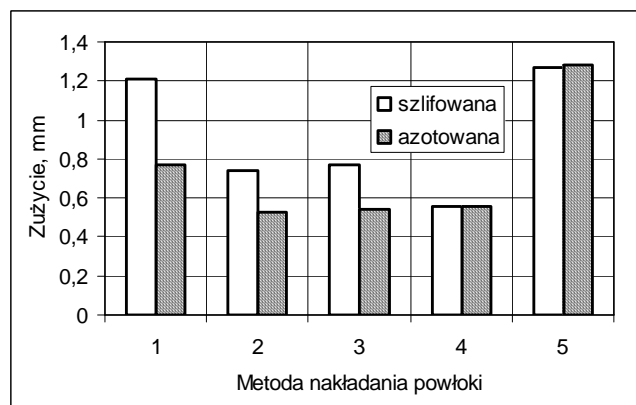


Rys. 6. Rozkłady twardości powłok po metalizacji natrikowej stalą 4H13; próbki - szlifowana i po azotowaniu jonowym

Fig. 6. Hardness distribution of coatings after metallization with 4H13 steel; ground specimen and after ion nitridation

3.3. Badanie odporności na zużycie

Odporność na zużycie cierne jest podstawową cechą użytkową decydującą o przydatności technologii nakładania powłok regeneracyjnych. Wyniki badań prowadzone na próbkach pokrytych powłokami z różnych stopów pokazano na rys. 7. Z rysunku wynika, że skutki azotowania jonowego powłok zależą przede wszystkim od sposobu ich nakładania. Największy wzrost odporności na zużycie cierne wykazały próbki z powłokami nakładanymi elektro-wibracyjnie. Szerokość wytarcia próbek azotowanych zmniejszyła się o około 30%, najwięcej w przypadku próbki napawanej stalą SpG3-S1. W przypadku pozostałych technologii skutki azotowania były znikome. Badania wykazały ponadto, że odporność na zużycie cierne zależy przede wszystkim od składu chemicznego powłoki. Największą odporność na ścieranie wykazała powłoka natapiana gazo-proszkowo stopem niklu. Nieco mniejszą wykazywały powłoki napawane elektro-wibracyjnie stalami stopowymi PZ60-54 i 650-JG, w których twardość warstwy wierzchniej po azotowaniu przekraczała wartość 1000 HV0,1.



Rys. 7. Odporność na zużycie cierne (szerokość wytarcia); próbki - szlifowana i po azotowaniu jonowym. Metoda i materiał powłoki: 1 – NEW/SpG3-S1, 2 – NEW/PZ5064, 3 – NEW/650-JG, 4 – NGP/PMNi55g, 5 – MN/4H13

Fig. 7. Frictional wear resistance (detrition width); ground specimen and after ion nitridation. Method and coating material: 1 – NEW/SpG3-S1, 2 – NEW/PZ5064, 3 – NEW/650-JG, 4 – NGP/PMNi55g, 5 – MN/4H13

4. Podsumowanie i wnioski

Celem badań była ocena złożonej technologii nakładania i azotowania jonowego powłok [1]. Założono, że stosowanie nowych technologii w produkcji elementów maszyn, narażonych na obciążenia dynamiczne oraz na zużycie cierne, przyczynią się do wzrostu trwałości pewnej grupy narzędzi i maszyn, także rolniczych. Badania, w których porównywano wpływ składu chemicznego powłoki, metody jej nakładania oraz azotowania jonowego wykazały, że:

1. Obróbka cieplno-chemiczna powoduje wzrost chropowatości, parametru Ra, a wartość tego wzrostu zależy od gatunku materiału i sposobu nakładania powłoki.

2. Azotowanie jonowe powoduje wzrost twardości i wpływa na profil twardości powłoki.

3. Profile twardości powłoki zależą od składu chemicznego materiału i sposobu jej nakładania, a azotowanie jonowe wyraźnie je zmienia; zwiększa różnice między profilami twardości.

4. Skutki azotowania jonowego zależą od składu chemicznego powłoki i sposobu jej nakładania. Wzrost odporności na zużycie cierne o około 30% wykazały próbki napawane elektro-wibracyjnie. Nie zauważono korzystnego wpływu obróbki cieplno-chemicznej na próbce natapianej gazoproszkowo i na próbce metalizowanej natryskowo.

W pracy wykazano, że nakładanie powłok regeneracyjnych może spowodować wzrost trwałości niektórych elementów maszyn, a azotowanie jonowe – wzrost odporności

na zużycie cierne. Przy wyborze technologii ocenianych w niniejszej pracy winien decydować czynnik ekonomiczny, koszty materiałów, a przede wszystkim koszty stosowanych metod nakładania warstw i koszt obróbki cieplno-chemicznej, azotowania jonowego.

5. Bibliografia

- [1] Berkowski L.: Możliwości kojarzenia zjawisk (przemian fazowych, zgniotu i dyfuzji) w złożonych procesach technologicznych. *Technologia maszyn. V Naukowe Warsztaty Profesorskie (Zbiór referatów)*, Koszalin, 1999: 23–30.
- [2] Kula P., Krasiński A.: Regeneracja części maszyn i pojazdów poprzez napawanie niskowęglową stalą stopową wraz z obróbką cieplno-chemiczną po napawaniu. *Inżynieria Materiałowa*, 2002, nr 5: 531–534.
- [3] Berkowski L., Żaboklicki A.: Badania nad zastosowaniem techniki laserowej w obróbce roboczych powierzchni narzędzi kuźniczych. *XIII Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Konstrukcja i technologia wytłoczek i wyprasek. Poznań, 12-13.05.1997. Materiały*, s. 83–90, *Obróbka Plastyczna Metali*. 1997, nr 3: 19–26.
- [4] Jarecki R.: Ocena odporności na zużycie warstw regeneracyjnych obrobionych cieplno-chemicznie. *Praca dyplomowa. Politechnika Poznańska*, 2000.