

Jan SENATORSKI*, Jan TACIKOWSKI*, Paweł MAĆZYŃSKI*

BADANIA PORÓWNAWCZE ODPORNOŚCI NA ZUŻYCIE PRZEZ TARCIE AZOTOWANYCH I NAWĘGLANYCH STALI KONSTRUKCYJNYCH

COMPARATIVE RESEARCH OF WEAR RESISTANCE BY FRICTION OF NITRIDING AND CARBURIZED CONSTRUCTIONAL STEELS

Słowa kluczowe:

stale konstrukcyjne: 18HGT i 20MnCr5, azotowanie, nawęglanie, właściwości tribologiczne

Key words:

constructional steels 18HGT and 20MnCr5, nitriding, carburizing, tribological properties

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości tribologicznych azotowanych i nawęglanych stali konstrukcyjnych 18HGT i 20MnCr5. Zauważono wprost proporcjonalną zależność ich odporności na zużycie od wartości nacisków powierzchniowych. Jednakże właściwości tarciovo-zużyciowe warstw nawęglanych i azotowanych nie wykazały znaczących różnic.

* Instytut Mechaniki Precyzyjnej, ul. Duchnicka 3, 01-796 Warszawa, Polska, tel. 22 5602 600.

WPROWADZENIE

Wytwarzanie warstw dyfuzyjnych, m.in. poprzez obróbkę cieplno-chemiczną, stanowi jedną z najbardziej efektywnych metod konstituowania warstwy wierzchniej, której funkcją jest uczestniczenie w parze tarciowej z jak najmniejszym zużyciem. W zakresie procesów technologicznych wytwarzania warstw dyfuzyjnych stosunkowo najwięcej uwagi poświęcono dotychczas nawęglaniu i azotowaniu [L. 1], przy czym wiele tego typu procesów stosowanych w krajowym przemyśle stanowią opracowania Instytutu Mechaniki Precyzyjnej [L. 2].

Wspomniane warstwy dyfuzyjne są zróżnicowane pod względem budowy. W ich obszarze występują zmiany składu chemicznego, mikrostruktury i często składu fazowego powodujące zróżnicowanie właściwości w poszczególnych jej strefach. Nie zawsze cała wytworzona warstwa jest wykorzystywana podczas eksploatacji części maszyn. Wiąże się to z jednej strony z dopuszczalnym zużyciem, a z drugiej strony często z koniecznością usuwania części warstwy ze względu na korekcję wymiarów czy też wymaganą klasę chropowatości powierzchni.

Właściwości tarciovo-zużyciowe warstw dyfuzyjnych zależą od wielu czynników, przy czym szczególny wpływ na te właściwości wykazuje temperatura będąca m.in. funkcją zjawisk mechanicznych i czynników je wywołujących, tzn. wymuszeń. Kwestii wpływu wymuszeń na właściwości tarciovo-zużyciowe materiałów poświęcono stosunkowo wiele prac, ale znikoma ich liczba dotyczy warstw dyfuzyjnych [L. 3]. Wobec niewielkiej liczby prac poruszających problematykę współzależności właściwości tarciovo-zużyciowych oraz wymuszeń warstw dyfuzyjnych wytwarzanych w różnych procesach technologicznych podjęto w IMP tego typu badania. Ich przedmiotem były m.in. dwa rodzaje warstw: nawęglane i azotowane.

OPIS PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Wytwarzanie warstw dyfuzyjnych

Do procesów cieplno-chemicznych umożliwiających wytworzenie odpowiednich warstw azotowanych i nawęglanych wybrano stale w gatunku 18HGT i 20MnCr5 szczególnie przydatne do wytworzenia badanych warstw. Zestawienie składu chemicznego wybranych stali zawiera **Tabela 1**.

Tabela 1. Skład chemiczny badanych stali

Table 1. Chemical composition of investigated steels

Gatunek stali	Skład chemiczny [%]				
	C	Si	Mn	Cr	Ti
18HGT	0,20	0,30	0,95	1,15	0,08
20MnCr5	0,22	0,37	1,40	1,30	–

Warunki wytwarzania warstw i obróbki cieplnej przed lub po obróbce cieplno-chemicznej podano w **Tabeli 2**.

Tabela 2. Warunki wytwarzania warstw dyfuzyjnych i obróbki cieplnej

Table 2. Condition of produce the diffusion layers and their thermal treatments

Rodzaj obróbki cieplno-chemicznej	Gatunek stali	Parametry procesu			Obróbka cieplna
		Temperatura T [°C]	Czas T [h]	Ośrodek	
Azotowanie	18HGT	530	6	Atmosfera regulowana typu NH ₃ -N ₂	Poprzedzające hartowanie 860°C oraz odpuszczanie 600°C, 3h
Nawęglanie		930	6	Atmosfera regulowana o potencjale węglowym 0,85%	Hartowanie bezpośrednie po nawęglaniu, odpuszczanie 180°C, 2h
Azotowanie	20MnCr5	570	24	Atmosfera regulowana typu NH ₃ -pow.	Poprzedzające normalizowanie
Nawęglanie		930	5	Atmosfera regulowana o potencjale węglowym 0,85%	Hartowanie z podchłodzeniem do 840°C, odpuszczanie 200°C, 2h

Procesy azotowania i nawęglania przeprowadzono w atmosferach regulowanych umożliwiających wytworzenie warstwy o określonym stężeniu powierzchniowym azotu i węgla [L. 4, 5].

Azotowanie poprzedzało ulepszenie cieplne, stosowane zwykle przed tym procesem w celu podwyższenia własności wytrzymałościowych rdzenia.

Nawęglanie przeprowadzono z hartowaniem bezpośrednim umożliwiającym skrócenie łącznego czasu procesu wytwarzania oraz utwardzania warstwy i zmniejszenie deformacji.

Charakterystyka warstw dyfuzyjnych

Wytworzone do badań warstwy, których charakterystykę podaje **Tabela 3**, odpowiadały, z punktu widzenia struktury, grubości i twardości, zalecanym zwykle w praktyce przemysłowej. Najgrubsza – warstwa nawęglona o strukturze martenzytycznej – miała najmniejszą twardość powierzchniową. Warstwa azotowana uzyskana w procesie krótkookresowym oraz długookresowym była już

kilkakrotnie cieńsza. Miała ona nieco wyższą twardość powierzchniową, co związane było z występowaniem przy powierzchni cienkiej strefy węglonitków i azotków żelaza $\epsilon + \gamma'$ o twardości około 1200 HV0,02.

Tabela 3. Charakterystyka warstw dyfuzyjnych

Table 3. Description of diffusion layers

Rodzaj warstwy	Gatunek stali	Parametry procesu T[°C]/t[h]	Opis mikrostruktury	Grubość warstwy g [mm]	Twardość HV0,5 powierzchni/rdzenia
Azotowana	18HGT	530/6	Strefa przypowierzchniowa węglonitków i azotków $\epsilon + \gamma'$ oraz strefa roztworu stałego Fe _a [N]	0,16	826/268
Nawęglana		930/6	Martenzyt z przypowierzchniową strefą austenitu szczątkowego	0,95	745/460
Azotowana	20MnCr5	570/24	Strefa przypowierzchniowa węglonitków i azotków $\epsilon + \gamma'$ oraz strefa roztworu stałego Fe _a [N]	0,25	555/175
Nawęglana		930/6	Martenzyt z przypowierzchniową strefą austenitu szczątkowego	0,80	606/480

Właściwości tarciovo-zużyciowe warstw dyfuzyjnych

W badaniach właściwości tarciovo-zużyciowych warstw dyfuzyjnych zastosowano znormalizowaną metodę: 3 wałeczki–stożek [L. 6]. Metodą tą wyznaczono zużycie liniowe warstw azotowanych i nawęglanych. Próby tarcia prowadzono przy utrzymywaniu, w przybliżeniu stałych, nacisków jednostkowych na wybranym poziomie. Łączny czas próby wynosił 100 min. Wytarcia mierzono, przerywając próbę co 10 min. Następnie zwiększono obciążenie odpowiednio do zwiększającej się powierzchni wytarcia. Parametry badań metody: stożek–3 wałki podano w Tabeli 4. Zużycie liniowe charakteryzowano całkowitym zużyciem w okresie próby – z_1 [μm]. Właściwości tarciovo-zużyciowe warstw azotowanych i nawęglanych scharakteryzowano wykresami obrazującymi przebieg zużycia w funkcji czasu tarcia i nacisku powierzchniowego (Rys. 1–4).

Tabela 4. Parametry badań zużycia liniowego

Table 4. Condition of linear wear investigations

Nacisk p [MPa]	Prędkość tarcia V [m/s]	Czas tarcia t [min]	Smar	Wydatek smaru w [kropli/min]
50	0,58	100	Lux - 10	30
100				
200				
300				
400				
600				

Na **Rys. 1** pokazano wpływ nacisków powierzchniowych (50÷600 MPa) na zużycie warstwy azotowanej stali 18HGT. Dla tej warstwy charakterystyczny jest wyraźny wzrost zużycia w funkcji nacisków powierzchniowych, przy czym do 200 MPa nie obserwuje się zużycia przyspieszonego. Zużycie takie występuje natomiast przy nacisku 400 MPa, a zwłaszcza przy 600 MPa, przy którym obserwuje się objawy zatarcia. Głębokość wytarć, w przypadku tej warstwy (z wyjątkiem próby przy nacisku 50 MPa), wykraczały już poza przypowierzchniową strefę azotków i węgloazotków żelaza, o grubości 6 μm . Wartości zużycia liniowego przy naciskach 50÷200 MPa zawierały się w granicach 5,8–11,6 μm .

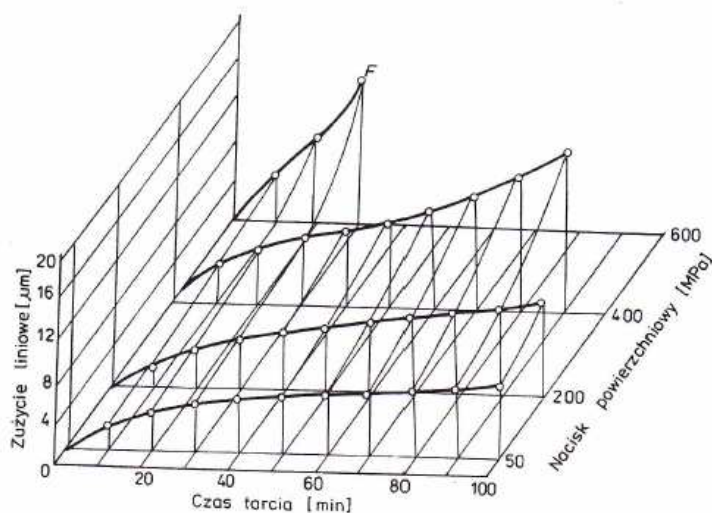
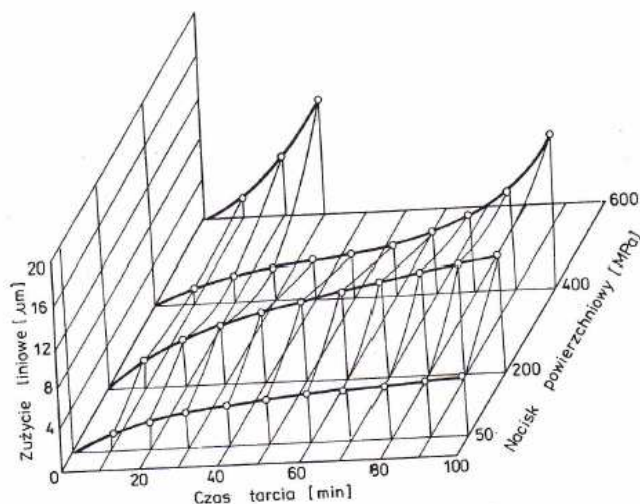
**Rys. 1. Zużycie liniowe warstwy azotowanej stali 18HGT w zależności od czasu tarcia i nacisków powierzchniowych. F – zatarcie**

Fig. 1. Linear wear of nitrided layer of steel 18HGT in dependence from friction time and surface pressures. F- seizure

Zużycie warstwy nawęglanej wytworzonej na stali 18HGT jest przedstawione na **Rysunku 2**, przy czym wyznaczono je w zakresie nacisków po-

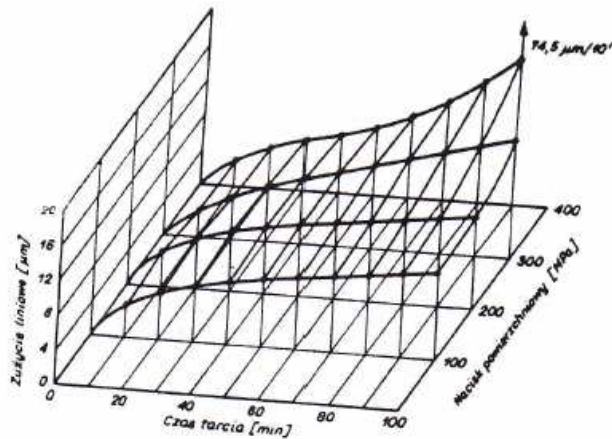
wierzchniowych 50÷600 MPa. Dla warstwy tej wzrost nacisku powyżej 200 MPa powoduje wyraźne zwiększenie zużycia liniowego prowadzącego do zatarcia przy nacisku ≥ 400 MPa. Głębokość wytarcia w przypadku warstwy nawęglanej nie wykraczała poza jej płytką strefę przypowierzchniową, niezależnie od wartości stosowanego nacisku podczas próby. Wartości zużycia przy naciskach 50÷200 MPa wynosiły 7,0÷9,2 μm .



Rys. 2. Zużycie liniowe warstwy nawęglanej stali 18HGT w zależności od czasu tarcia i nacisków powierzchniowych

Fig. 2. Linear wear of carburized layer on steel 18HGT in dependence from friction time and surface pressures

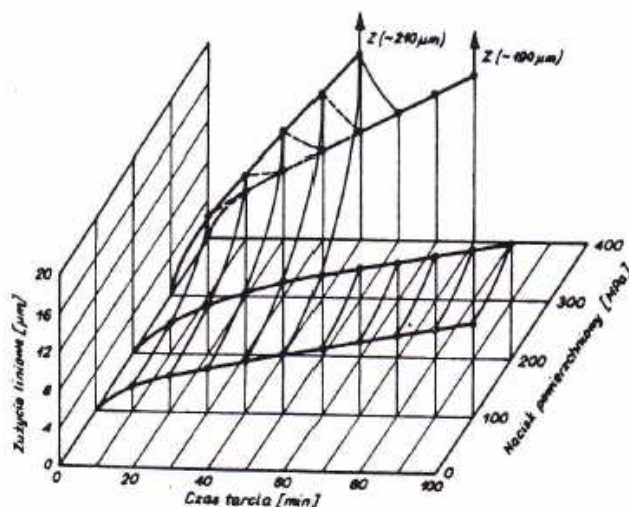
Zużycie warstwy azotowanej długookresowo, wytwarzanej na stali 20MnCr5, przedstawiono na **Rys. 3**, przy czym wyznaczono je w zakresie nacisków powierzchniowych 100÷400 MPa. Warstwa ta charakteryzowała się większym zużyciem liniowym bezpośrednio przy powierzchni, pomimo występowania strefy węglazotków i azotków $\epsilon + \gamma'$ o dużej twardości. Stosowane wartości nacisków powierzchniowych powodowały, że strefa ta zużywała się już w okresie docierania. Wartości zużycia liniowego przy stosowanych naciskach dochodziły do wielkości 74,5 μm .



Rys. 3. Zużycie liniowe warstwy azotowanej stali 20MnCr5 w zależności od czasu tarcia i nacisków powierzchniowych

Fig. 3. Linear wear of nitrided layers of steel 20MnCr5 in dependence from friction time and surface pressures

Zużycie warstwy nawęglonej wytworzonej na stali 20MnCr5 ilustruje **Rys. 4**, przy czym wyznaczono je w zakresie nacisków powierzchniowych 100÷400 MPa. W tym przypadku zużycie liniowe bezpośrednio przy powierzchni jest większe niż w głębiej położonej strefie. Fakt ten wiąże się z występowaniem przy powierzchni austenitu szczątkowego. Minimum zużycia występuje na głębokości ok. 0,1 mm. W głębszych strefach zużycie wyraźnie wzrasta, wykazując objawy zatarcia, co może być związane ze zmniejszeniem się stężenia węgla oraz spadkiem twardości.



Rys. 4. Zużycie liniowe warstwy nawęglanej stali 20MnCr5 w zależności od czasu tarcia i nacisków powierzchniowych. Z – zatarcie

Fig. 4. Linear wear of carburized layers on steel 20MnCr5 in dependence from friction time and surface pressures. Z – seizure

WNIOSKI

1. Wyniki badań właściwości tribologicznych warstw dyfuzyjnych uzyskanych w procesach technologicznych azotowania i nawęglania wskazują na wyraźną wprost proporcjonalną zależność ich odporności na zużycie od wartości nacisków powierzchniowych.
2. Badania wykazały, że odporność na zużycie przez tarcie określona dla warstw nawęglanych i azotowanych wytworzonych na zbliżonych stalach była podobna, co stwarza możliwość zastępowania nawęglanych elementów maszyn pracujących w warunkach tarcia – elementami azotowanymi [L. 7].

LITERATURA

1. Burakowski T., Senatorski J., Tacikowski J.: Badania odporności na zużycie azotowanych, nawęglanych i chromowanych warstw dyfuzyjnych. Postępy technologii maszyn i urządzeń. Wyd. Naukowe PWN. Zeszyt 3–4/90, s. 57–71.
2. Burakowski T.: Ważniejsze osiągnięcia IMP w zakresie metaloznawstwa i obróbki cieplnej w ciągu minionego 40-lecia. Metaloznawstwo i Obróbka Ciepła nr 73–74, 1985, s. 4–38.
3. Burakowski T., Senatorski J., Tacikowski J.: Vergleich des Verschleisswiderstandes nach Einsatzarten und Nitrieren. HTM, 1985, nr 40, s. 211–215.

4. Sułkowski I., Tacikowski J., Zyśk J.: Zastosowanie metody „NITREG” do narzędzi i części maszyn. Materiały XXIV Seminarium IMP (1984), s. 93–98.
5. Sobusiak T.: Obróbka cieplna w atmosferach regulowanych. Metaloznawstwo i Obróbka Ciepła. 45, 1980, s. 28–32.
6. PN-83/H-04302. Próba tarcia w układzie: 3 wałeczki–stożek.
7. Nakonieczny A., Senatorski J., Tacikowski J., Tymowski G., Liliental W.: Komputer – controlled Gas Nitriding – a viable replacement for Carburising. Heat Treatment of Metals. 1997, 4, p. 81–88.

Summary

This work presents the research results of tribological properties of constructional steels of grades 18HGT and 20MnCr5 after nitriding or carburizing. A directly proportional dependence of their wear resistance on the value of their surface pressures was stated. However, wear–friction properties of carburized and nitrided layers did not show any significant differences.

