

Piotr BAŁA\* , Janusz KRAWCZYK\* , Marcin MADEJ\*

## WŁASNOŚCI TRIBOLOGICZNE STOPÓW Z UKŁADU Ni-Ta-Al-M O DUŻEJ ZAWARTOŚCI WĘGLA

### THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF THE ALLOY FROM Ni-Ta-Al-M SYSTEM WITH HIGH CARBON CONTENT

#### Słowa kluczowe:

zużycie, tribologia, stopy Ni, węgliki, materiał narzędziowy

#### Key words:

wear, tribology, Ni-based alloys, carbides, tool material

#### Streszczenie

W niniejszej pracy przedstawiono ocenę własności tribologicznych stopów z układu Ni-Ta-Al-M o dużej zawartości węgla. Materiały te zaprojektowano do pracy w wysokich temperaturach w warunkach silnego zużycia tribologicznego oraz agresywnego chemicznie środowiska. Omówiono mikrostrukturę

---

\* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. (12) 617-26-19. e-mail: pbala@agh.edu.pl.

badanych stopów po odlaniu i po obróbce cieplnej oraz określono rodzaj i udział objętościowy węglików.

Badania tribologiczne wykonano w temperaturze pokojowej, w stanie po odlaniu oraz po obróbce cieplnej celem określenia roli węglików w mechanizmie zużycia. Określono wpływ obciążenia i czasu trwania próby na parametry tribologiczne ww. stopów. Dla wszystkich wariantów testów tribologicznych wyznaczono wielkość zużycia, współczynnik tarcia oraz określono mechanizm zużycia.

## WPROWADZENIE

W ostatnich latach bardzo szybko wzrosła produkcja odlewów ciśnieniowych wykonywanych ze stopów cynku, aluminium i miedzi. Wynika to głównie z rozwoju inżynierii materiałowej, która rozwiązuje problem trwałości oprzyrządowania ciśnieniowego, a także z potrzeb przemysłu na odlewy ciśnieniowe o lepszych właściwościach. Materiałom narzędziowym stawia się szereg wymagań takich, jak wysoka twardość, obrabialność, odporność na zużycie, szoki cieplne oraz odkształcenie plastyczne. Na rynku dostępny jest szeroki wybór stali narzędziowych, jednak w dużej mierze nie spełniają one zakładanych, wysokich oczekiwań [L. 1, 2]. W matrycach do odlewania ciśnieniowego najbardziej narażone na zużycie są wystające elementy wkładek roboczych, które w kontakcie z ciekłym, zawierającym krystality metalem, wtryskiwanym pod ciśnieniem dochodzącym do 300 MPa, ulegają nadmiernemu zużyciu. Nieustannie poszukuje się zatem nowych rozwiązań pozwalających na zwiększenie trwałości narzędzi [L. 1–5]. Głównym celem niniejszej pracy jest określenie własności tribologicznych w warunkach tarcia suchego nowych materiałów z układu Ni-Ta-Al-M o dużej zawartości węgla, co stanowić będzie informację wyjściową do określenia możliwości zastosowania tych stopów. Stopy te opisano szczegółowo między innymi w pracach [L. 6–8].

## MATERIAŁ DO BADAŃ

Skład chemiczny badanych stopów przedstawiono (w sposób ograniczony ze względów patentowych) w **Tabeli 1**. Mikrostrukturę badanych stopów w stanie przed i po obróbce cieplnej przedstawiono na **Rys. 1**. Obróbka cieplna złożona była z zabiegów przesycania i starzenia. W obu badanych stopach w stanie po odlaniu widać strukturę dendrytyczną oraz dwa rodzaje węglików, tj. węgliki tantalu typu MC oraz węgliki chromu  $Cr_7C_3$ . W stopie Ni-Ta-Al-C-Cr w stanie po odlaniu udział objętościowy węglików wynosił 35%, natomiast po obróbce cieplnej – 32%, a w stopie Ni-Ta-Al-C-Co-Cr po odlaniu – 50%, po obróbce cieplnej – 37%. W wyniku obróbki cieplnej (przesycanie 1100°C, chłodzenie w wodzie i starzenie 850°C/4 godz.) rozpuszczeniu uległa część węglików

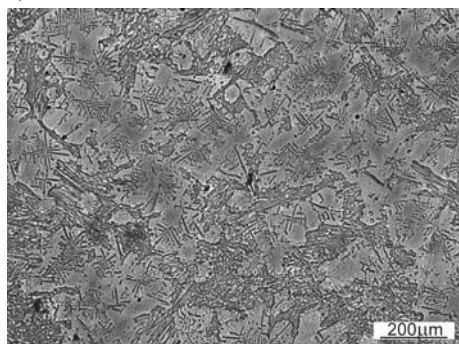
chromu. W obu stopach, niezależnie od stanu, stwierdzono w osnowie obecność fazy międzymetalicznej  $\gamma'$  ( $\text{Ni}_3(\text{AlTa})$ ).

**Tabela 1. Skład chemiczny materiałów użytych do badań**

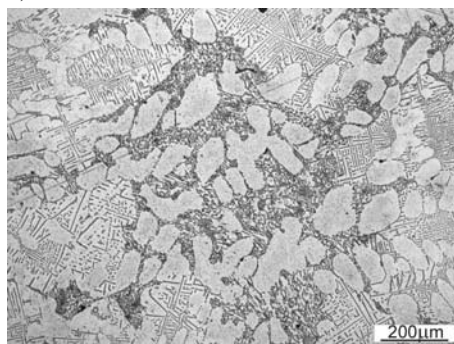
Table 1. The chemical composition of investigated Ni-based alloys

Stop	Skład chemiczny, % masowy						
	C	Cr	Ta	Al	Zr	Co	Ni
Ni-Ta-Al-C-Cr	0,834	XX	XX	XX	0,2	–	reszta
Ni-Ta-Al-C-Co-Cr	0,898	XX	XX	XX	0,2	20	reszta

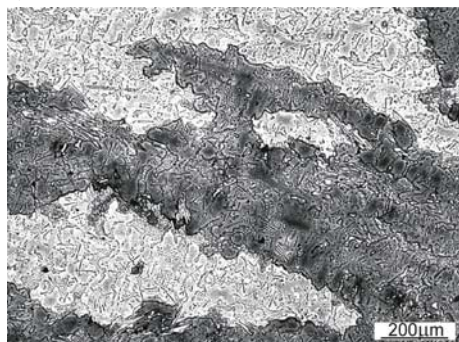
a) Twardość 366 HV10



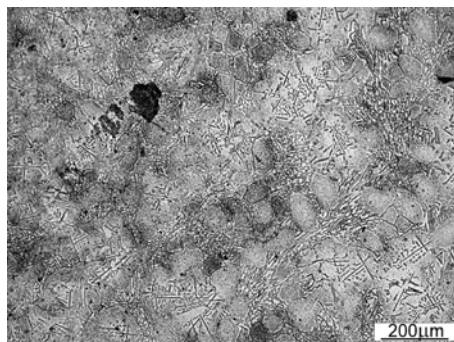
b) Twardość 400 HV10



c) Twardość 360 HV10



d) Twardość 330 HV10



**Rys. 1. Mikrostruktura badanych stopów: a, b) stop Ni-Ta-Al-C-Cr; c, d) stop Ni-Ta-Al-C-Co-Cr; a,c) stan lany; b, d) stan po obróbce cieplnej**

Fig. 1. Microstructure of investigated alloys: a,b) Ni-Ta-Al-C-Cr alloy; c, d) Ni-Ta-Al-C-Co-Cr alloy; a, c) as-cast state; b, d) after heat treatment

## METODOLOGIA BADAŃ

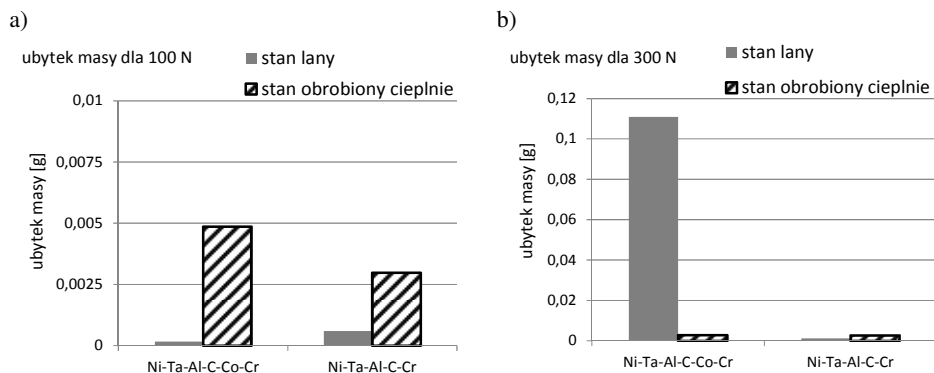
Badania tribologiczne wykonano na tribotesterze T-05 typu klocek-rolka. Parametry procesu badania tribologicznego: temperatura pokojowa, obciążenie 100 N i 300 N, czas trwania testu: 2000 s, przeciwpróbka-stal łożyskowa

100Cr6 obrobiona cieplnie na maksymalną twardość (61 HRC), styk rozłożony, prędkość obrotowa 136 obr/min, prędkość poślizgu  $v \approx 0,25$  m/s. Wykonano po dwa pomiary dla każdej pary trącej. Badania metalograficzne wykonano przy użyciu mikroskopu optycznego Axiovert 200 MAT. Próbkę trawiono odczynnikiem 4 g  $\text{CuSO}_4 + 20$  ml  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ .

## WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA

Na **Rys. 2** zaprezentowano wielkość zużycia badanych stopów. Jak widać, przy obciążeniu 100 N (**Rys. 2a**) w stanie po odlaniu ubytek masy podczas testu tribologicznego jest niewielki. Większe zużycie stwierdzono dla próbek po obróbce cieplnej, szczególnie w stopie Ni-Ta-Al-C-Co-Cr.

Przy obciążeniu 300 N (**Rys. 2b**) stop Ni-Ta-Al-C-Co-Cr niezależnie od stanu cechował się niskim zużyciem. Stwierdzono silne zużywanie się stopu Ni-Ta-Al-C-Co-Cr w stanie lanym, które w wyniku obróbki cieplnej znacznie się obniża. Różnica w zużyciu była tak duża, że dla stanu lanego, ze względu na intensywne zużycie próbki, test po czasie 1331 s przerwano, natomiast próbka po obróbce cieplnej w wyniku dużych sił tarcia po czasie 1900 s wypadła z uchwytu (próbka skrawała przeciwpróbkę). Jest to najprawdopodobniej związane z tym, że w przypadku materiału w stanie po odlaniu wrywaniu ulegają duże fragmenty pomiędzy węglnikami pierwotnymi, a po obróbce cieplnej wrywaniu ulegają obszary ograniczone siatką wtórnie wydzielonych węglików.

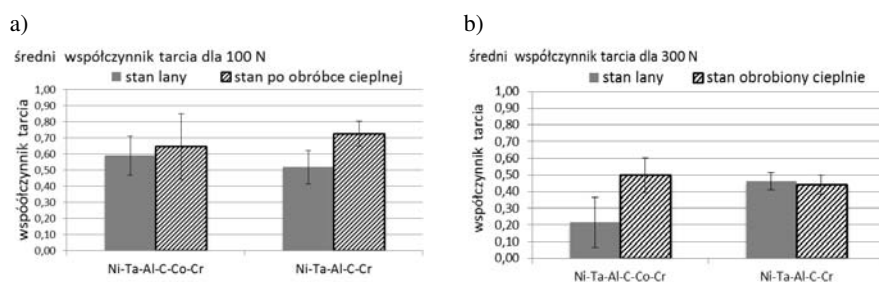


**Rys. 2. Porównanie wielkości zużycia badanych stopów przed i po obróbce cieplnej: a) obciążenie 100 N; b) obciążenie 300 N**

Fig. 2. A comparison of the wear level of the investigated alloys: a) load 100 N; b) load 300 N

Na **Rys. 3** zestawiono średnie wartości współczynnika tarcia dla poszczególnych prób tribologicznych. Jak widać, przy obciążeniu 100 N (**Rys. 3a**) obróbka cieplna spowodowała, iż średnie współczynniki tarcia wzrosły, w tym zdecydowanie więcej w stopie Ni-Ta-Al-C-Cr.

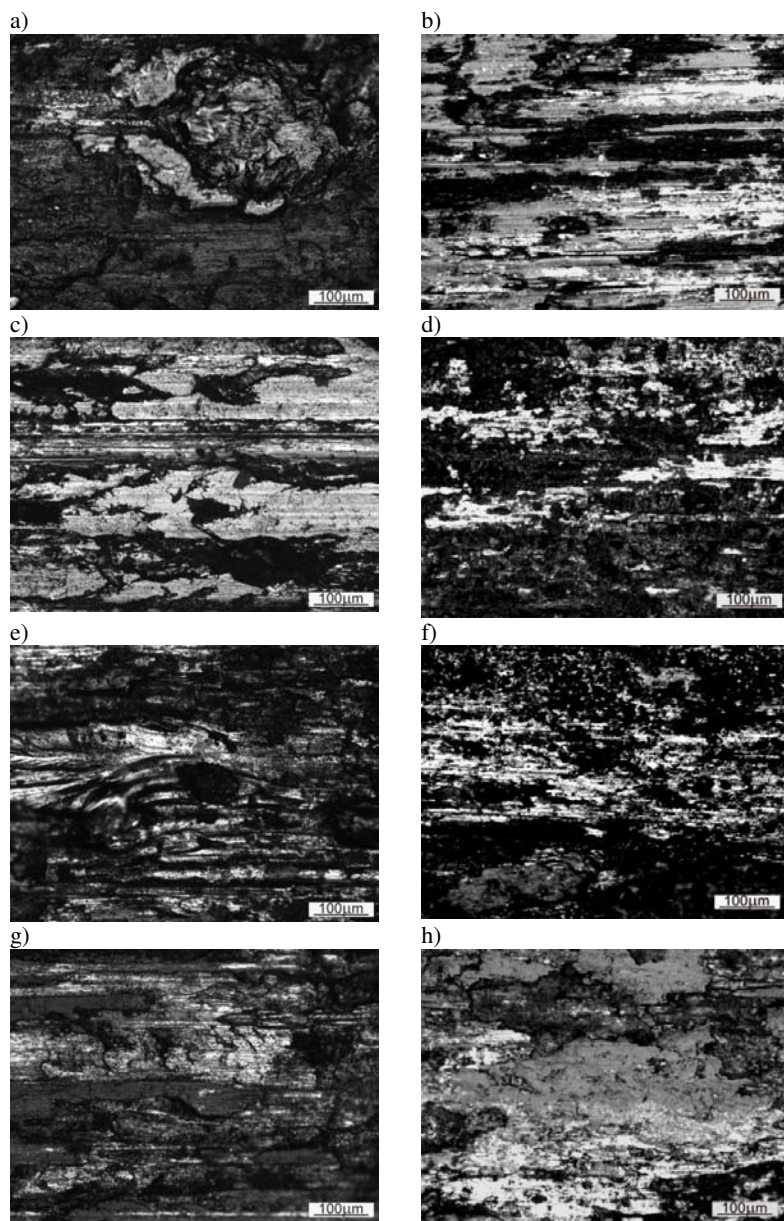
Przy obciążeniu 300 N stop Ni-Ta-Al-C-Cr wykazał zbliżony średni współczynnik tarcia po odlaniu i po obróbce cieplnej. Natomiast stop Ni-Ta-Al-C-Co-Cr charakteryzował się znacznie większym współczynnikiem tarcia w stanie po obróbce cieplnej niż po odlaniu. Wydaje się, iż w stanie po odlaniu znaczna część węglików uległa wykruszeniu i wchodziła między elementy tarcie. Należy stwierdzić, że własności retencyjne osnowy tego stopu w stanie lanym są zdecydowanie gorsze niż po obróbce cieplnej i niewystarczające do powstrzymania wykruszania cząstek przy zastosowaniu obciążenia 300 N. Średnie współczynniki tarcia dla mniejszego obciążenia są większe, bo materiał nie ulega łatwej dekohezji.



**Rys. 3. Porównanie wartości średnich współczynników tarcia dla badanych stopów w czasie 1000 s: a) obciążenie 100 N; b) obciążenie 300 N**

**Fig. 3. A comparison of the medium friction coefficient of the investigated alloy trough 1000 s: a) load 100 N; b) load 300 N**

Mechanizmy zużycia określono na podstawie zdjęć mikroskopowych powierzchni próbek po teście tribologicznym, które zaprezentowano na **Rys. 4**. Badane stopy w stanie po odlaniu i przy obciążeniu 100 N charakteryzuje intensywne zużycie adhezyjne widoczne jako wrywanie obszarów z powierzchni próbki oraz zużycie ściernie. Stwierdzono również skrawające (bruzdujące) oddziaływanie z powierzchnią wyrwanym mechanizmem adhezyjnym fragmentów materiału próbki. W stopie Ni-Ta-Al-C-Cr zastosowanie obróbki cieplnej powoduje zwiększenie złuszczeniowego mechanizmu zużycia (umacnianie odkształceniowe i wykruszanie tego materiału). Zmniejszył się natomiast czysto adhezyjny charakter zużycia. W stopie Ni-Ta-Al-C-Co-Cr zastosowanie obróbki cieplnej nie zmienia mechanizmu zużycia, które zachodzi głównie przez adhezję, jednakże wrywaniu ulegają znacząco mniejsze obszary materiału. Jest to najprawdopodobniej związane z tym, że w przypadku materiału w stanie po odlaniu wrywaniu ulegają obszary pomiędzy dużymi ziarnami (pomiędzy nimi nie występowała drobna faza węglkowa, co ułatwiało szczepianie adhezyjne), a po obróbce cieplnej wrywaniu ulegają obszary ograniczone siatką wtórnie wydzielonych węglików. Mimo iż są one mniejsze niż w przypadku stopu nieobrobionego cieplnie, ubytek materiału jest większy.



**Rys. 4.** Powierzchnia badanych stopów po teście tribologicznym: a, b) stop Ni-Ta-Al-C-Cr obciążenie 100 N; c, d) stop Ni-Ta-Al-C-Cr obciążenie 300 N; e, f) stop Ni-Ta-Al-C-Co-Cr obciążenie 100 N; g, h) stop Ni-Ta-Al-C-Co-Cr obciążenie 300 N. a, c, e, g) stan lany; b, d, f, h) po obróbce cieplnej

**Fig. 4.** The samples surfaces after tribological test. a, b) Ni-Ta-Al-C-Cr alloy load 100 N; c, d) Ni-Ta-Al-C-Cr alloy load 300 N; e, f) Ni-Ta-Al-C-Co-Cr alloy load 100 N; g, h) Ni-Ta-Al-C-Co-Cr alloy load 300 N; a, c, e, g) as-cast state; b, d, f, h) after heat treatment

Zwiększenie obciążenia do 300 N w przypadku próbek w stanie lanym wydaje się zmniejszać adhezyjny charakter ich zużycia, chociaż obserwowano miejsca o tym charakterze (szczególnie w stopie Ni-Ta-Al-C-Co-Cr). W przypadku stopu Ni-Ta-Al-C-Cr widoczny jest złuszczeniowy charakter zużycia. Zastosowanie obróbki cieplnej nie wpłynęło znacząco na mechanizmy zużycia. Niemniej jednak w stopie Ni-Ta-Al-C-Cr zwiększył się udział mechanizmu ściernego, natomiast w stopie Ni-Ta-Al-C-Co-Cr zmniejszyła się intensywność złuszczenia a zwiększa się udział brzdowania.

## WNIOSKI

Wykonane w niniejszej pracy badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- 1) W stanie po odlaniu badane stopy przy obciążeniu 100 N cechują się dużą odpornością na zużycie. Stopy zużywają się przez ścieranie oraz adhezję. Zwiększenie obciążenia do 300 N wydaje się zmniejszać adhezyjny charakter ich zużycia. W takich warunkach stop Ni-Ta-Al-C-Co-Cr uległ silnemu zużyciu.
- 2) Zmiany w mikrostrukturze wywołane obróbką cieplną spowodowały, że przy obciążeniu 100 N zwiększyło się zużycie oraz zmieniły się mechanizmy zużycia. Zużycie zachodzi głównie przez adhezję oraz w przypadku stopu Ni-Ta-Al-C-Cr również przez złuszczenie. Zwiększenie obciążenia do 300 N nie wpłynęło znacząco na zmianę mechanizmów zużycia stopów obrobionych cieplnie.
- 3) Własności retencyjne osnowy stopu Ni-Ta-Al-C-Co-Cr w stanie lanym są zdecydowanie gorsze niż po obróbce cieplnej, co znacznie zwiększa intensywność zużycia w przypadku zastosowania dużego obciążenia.

## Podziękowania

Autorzy dziękują mgr. inż. Łukaszowi Piątkowi za pomoc w przygotowaniu niniejszej pracy.

Badania realizowane w ramach Projektu „Opracowanie nowych zaawansowanych technologii kucia materiałów wysokotopliwych” Nr WND-POIG.01.03.01-12-004/09 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (POIG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

## LITERATURA

1. Shivpuri R.: Friction and Wear of Dies and Die Materials, Friction, Lubrication and Wear Technology, Vol. 18, Metals Handbook, ASM International, 1995, 1266–1326.
2. Altan T.: Dies and Die Materials for Hot Forging, Forming and Forging, Vol. 14, Metals Handbook, ASM International, 1996, 61–95.
3. Sully L.J.D.: Die Casting, Casting, Vol. 15, Metals Handbook, ASM International, 1998, 611–632.
4. Bonderek Z., Chromik S.: Odlewnictwo ciśnieniowe metali i formowanie wtryskowe tworzyw sztucznych, Wydawnictwo naukowe AKAPIT, Kraków 2006.
5. Blicharski M.: Inżynieria materiałowa: stal, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004.
6. Bała P.: Microstructural characterization of the new tool Ni-based alloy with high carbon and chromium content, Archives of Metallurgy and Materials. vol. 55 (2010) 1053–1059.
7. Bała P.: Charakterystyka mikrostruktury stopu modelowego na podstawie Ni od dużej zawartości węgla, Materiały konferencyjne XXXVIII Szkoła inżynierii materiałowej, Kraków – Krynica, 28.09–1.10 (2010) 112–117.
8. Bała P.: New tool materials based on Ni alloys strengthened by intermetallic compounds with a high carbon content, Archives of Materials Science and Engineering vol. 42/1 (2010) 5–12.

## Summary

**In the paper, the two alloys from Ni-Ta-Al-M system with high carbon content, strengthened by intermetallic compounds, are presented. The chemical compositions of the new materials were designed in such a way as to obtain matrix strengthening by means of the precipitation of intermetallic compounds rich in Ni as well as Al and Ta and having the carbide fraction above 20%. Carbides should remain stable in the microstructure, regardless of the heat treatment, since they favourably influence an abrasion resistance. Tools use for special application made of these materials should primarily have good tribological properties at elevated temperatures.**

**The microstructures and carbides volume fraction of investigated alloys are described. The tribological tests were performed at ambient temperature to determined the role of the carbides in the wear mechanism. The wear level, coefficient of wear, and wear mechanism for all investigated alloys, are described.**