

Katarzyna DYJA^{*}, Janina ADAMUS^{*}

BADANIA NAD DOBREM SMARÓW TECHNOLOGICZNYCH DO TŁOCZENIA BLACH ALUMINIOWYCH I TYTANOWYCH

RESEARCH ON SELECTION OF TECHNOLOGICAL LUBRICANTS FOR FORMING ALUMINIUM AND TITANIUM SHEETS

Słowa kluczowe:

smar technologiczny, tłoczenie blach, blacha, aluminium, tytan

Key words:

technological lubricant, sheet-metal forming, sheet, aluminium, titanium

Streszczenie

W pracy przedstawiono problemy tribologiczne występujące podczas tłoczenia blach aluminiowych i tytanowych, ze zwróceniem uwagi na zjawisko nalepiania się kształtowanego materiału na powierzchnie robocze narzędzi. Omówiono wyniki badań nad doбором smarów technologicznych do operacji tłoczenia mających na celu ograniczenie tego zjawiska. Mając na uwadze szkodliwe oddziaływanie dotychczas stosowanych smarów technologicznych na środowisko, badania przeprowadzono na smarach na bazie olejów roślinnych.

^{*} Politechnika Częstochowska, ul. Dąbrowskiego 69, 42-201 Częstochowa, Polska, e-mail: janina.adamus@gmail.com.

WPROWADZENIE

Z uwagi na ciągłe dążenie do obniżania ciężaru konstrukcji pojazdów mechanicznych, zwłaszcza w przemyśle lotniczym i samochodowym, obserwuje się tendencję do zastępowania ciężkich elementów monolitycznych lekkimi elementami powłokowymi wykonanymi z blach. Blaszane wytłoczki kształtowane w temperaturze otoczenia charakteryzują się bowiem dużą lekkością i dobrą wytrzymałością, a ponadto wytłoczki wykonane ze stopów aluminium bądź tytanu mają dobrą odporność korozyjną, co stanowi ich istotną zaletę [L. 1–2]. Niestety zarówno stopy aluminium, jak i stopy tytanu należą do materiałów o niskiej tłoczności i niskich właściwościach tribologicznych. Obie grupy materiałów wykazują dużą skłonność do tworzenia nalepień na powierzchniach roboczych narzędzi, co czasami tylko utrudnia, a czasami wręcz uniemożliwia proces kształtowania blach [L. 3–6]. Autorzy prac [L. 7–10] podkreślają, że skutecznym sposobem przeciwdziałania temu zjawisku jest stosowanie smarów technologicznych i powłok przeciwadhezyjnych, które zapobiegają bezpośredniemu kontaktowi obrabianego materiału z narzędziem. Smary technologiczne równocześnie powinny obniżyć opory tarcia pomiędzy odkształcanym metalem a narzędziem.

Podstawowym wymaganiem stawianym smarom technologicznym do tłoczenia blach jest odporność na działanie dużych nacisków powierzchniowych i zachowanie ciągłości filmu smarnego. Wysokie naciski występujące w procesach obróbki plastycznej często wymagają stosowania dodatków smarnościovych typu Extreme Pressure (EP) i Anti-Wear (AW) [L. 11–12]. Należy jednak pamiętać, że niektóre z tych dodatków, a są to przeważnie związki fosforowe, siarkowe i chlorowe, mogą inicjować mechanizmy korozyjne. Opracowując smary do procesów obróbki plastycznej, należy mieć również na uwadze fakt, że w przeciwieństwie do smarowania maszyn pracujących w obiegu zamkniętym, w obróbce plastycznej występuje tzw. otwarty węzeł tarcia, co wiąże się z dużo większym zużyciem smaru technologicznego. W procesach tłoczenia blach nowy smar musi być każdorazowo (tzn. po każdej operacji) wprowadzany w węzeł tarcia. Spora jego część jest zużywana bezpowrotnie, a mianowicie jest „zabierana” przez odkształcany materiał i pozostaje na wytłoczce. Potem smar zazwyczaj jest usuwany z powierzchni wytłoczki. Wymagają tego wszystkie procesy obróbki powierzchniowej, mające związek z nanoszeniem powłok lakierowych. Taka sytuacja sprawia, że wobec smarów technologicznych stawia się kolejne wymagania, takie jak: łatwość nanoszenia na narzędzie lub blachę, łatwość usuwania z wyrobu oraz łatwość utylizacji odpadów posmarowych. Autorzy prac [L. 13–15] zwracają uwagę, że ważnym aspektem smarowania w procesach tłoczenia blach jest oddziaływanie smaru technologicznego na człowieka i otaczające go środowisko. Gwałtowne zmiany środowiskowe, które ujawnił 21 wiek zmuszają do zwiększenia wysiłku na rzecz ochrony środowiska. Każdy proces wytwarzania, który wiąże się z produkcją masową powinien

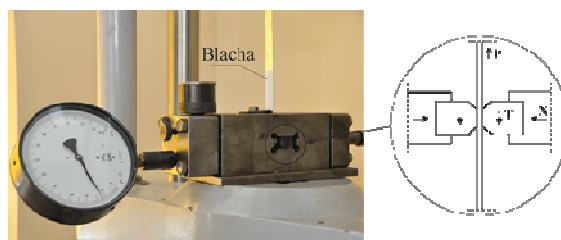
być ponownie rozważony pod względem ochrony środowiska. W zakresie tribologii oczekuje się zmniejszenia ilości odpadów posmarowych oraz ograniczenia stosowania lotnych rozpuszczalników organicznych wykorzystywanych do usuwania smarów z wytłoczek [L. 12, 16–21]. Rozpatrując tribologiczne aspekty smarowania w procesach tłoczenia blach, należy zatem skupić badania nad możliwością kształtowania blach bez udziału smarowania bądź z zastosowaniem smarów przyjaznych otoczeniu. Mimo iż większość smarów technologicznych stosowanych do operacji kształtowania blach należy do grupy smarów na bazie olejów mineralnych i syntetycznych, to autorzy prac [L. 12, 16, 22–24] uważają, że alternatywę mogą stanowić oleje roślinne. Oleje te należą do substancji biodegradowalnych, a dzięki obecności długich łańcuchów kwasów tłuszczowych zapewniają dobre smarowanie w warunkach tarcia granicznego. Autorzy niniejszej pracy postanowili zbadać możliwości wykorzystania smarów na bazie olejów roślinnych do kształtowania blach aluminiowych i tytanowych.

CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań było określenie współczynnika tarcia dla grupy olejowych smarów technologicznych opracowanych według własnych receptur. Jako oleje bazowe wykorzystano następujące oleje roślinne: olej rzepakowy (nr 1.01), oliwę z oliwek (nr 2.01), olej słonecznikowy (nr 3.01). Jako główne dodatki uszlachetniające zastosowano kwas borowy (H_3BO_3) i kwas stearynowy ($C_{18}H_{36}COOH$). W celach porównawczych zbadano również współczynnik tarcia oleju handlowego (nr 4.01), stosowanego w zakładach specjalizujących się w kształtowaniu blach na zimno, którego bazę stanowi olej mineralny.

Badania przeprowadzono dla blach: aluminiowej 2024 (stop aluminium z miedzią jako podstawowym pierwiastkiem stopowym) oraz tytanowej Grade 2 (czysty tytan techniczny). Materiał narzędzia to stal narzędziowa NC10.

Współczynnik tarcia wyznaczono w tzw. próbie „przeciągania pasa blachy”, której schemat pokazano na **Rys. 1**.



Rys. 1. Pomiar współczynnika tarcia: a) widok urządzenia, b) schemat próby przeciągania pasa blachy: P – siła ciągnięcia, N – siła docisku, T – siła tarcia

Fig. 1. Friction coefficient measurement: a) device view, b) scheme of strip-drawing test: P – drawing force, N – pressure force, T – frictional force

Próba przeciągania pasa blachy nie jest próbą znormalizowaną, ale jest powszechnie stosowana do określania współczynnika tarcia w tłocznictwie [L. 25–27].

Przed przystąpieniem do badań zmierzono twardość elementów roboczych narzędzi oraz chropowatość powierzchni narzędzi i blach.

WYNIKI BADAŃ

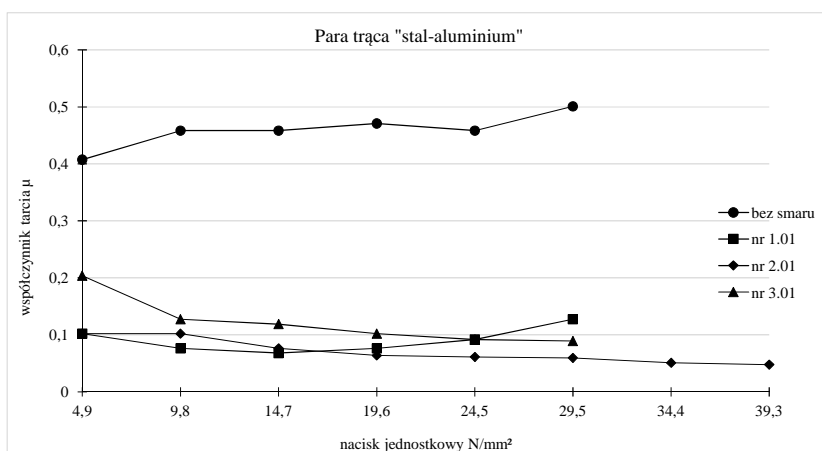
Twardość narzędzi wynosiła 62 HRC. Chropowatość powierzchni roboczej narzędzi oraz przeciąganych pasów aluminiowych i tytanowych zestawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Chropowatość powierzchni

Table 1. Surface roughness

materiał	R_a [μm]	R_z [μm]
narzędzie	0,05	0,4
blacha aluminiowa	0,13	0,8
blacha tytanowa	0,44	3,2

Wyniki badania współczynnika tarcia przedstawiają Rys. 2–7. Współczynniki tarcia w funkcji nacisku powierzchniowego dla pary trącej: „stal–aluminium” i „stal–tytan” podczas smarowania olejami bazowymi przedstawiono odpowiednio na Rys. 2 i 3.

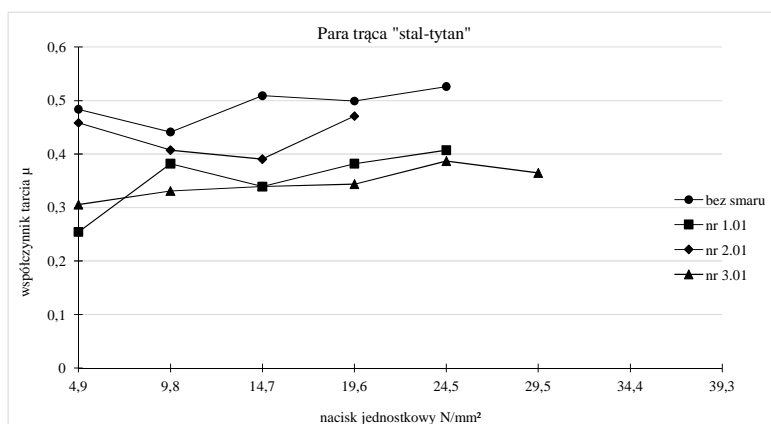


Rys. 2. Współczynniki tarcia dla pary trącej „stal–aluminium” w obecności olejów bazowych
Fig. 2. Friction coefficients for frictional pair “steel – aluminium” in presence of base oils

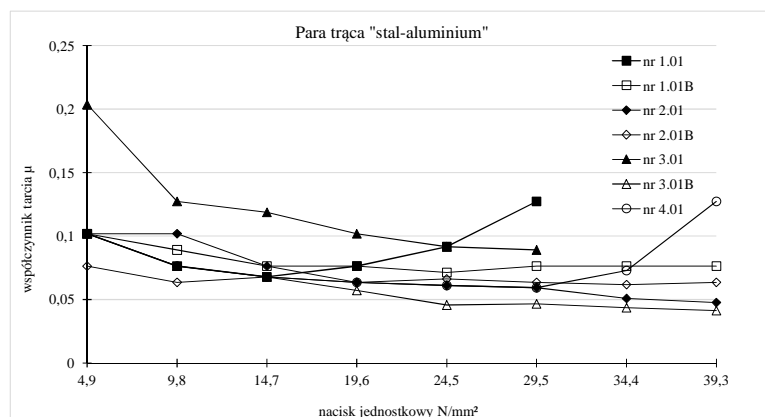
Jak widać z Rys. 2 i 3, bazowe oleje roślinne powodują wyraźne obniżenie współczynnika tarcia jedynie w przypadku pary trącej „stal–aluminium”, tj. z $\mu = 0,4 \div 0,5$ dla warunków tarcia technicznie suchego do $\mu \approx 0,1$ w przypadku

smarowania. W przypadku pary trącej „stal–tytan” jedynie oleje bazowe nr 1.01 i nr 3.01 spowodowały obniżenie współczynnika tarcia z $\mu = 0,5$ do $\mu = 0,3$, natomiast olej nr 2.01 zmniejszył współczynnik tarcia nieznacznie i przy nacisku powyżej $19,6 \text{ N/mm}^2$ film smarny uległ przerwaniu.

Wyniki badania współczynnika tarcia dla analizowanych olejów z dodatkiem kwasu borowego przedstawiają **Rysunki 4 i 5** (literą B oznaczono smary z dodatkiem kwasu borowego). **Rysunek 4** ilustruje wyniki badań dla pary trącej „stal–aluminium”, a **Rys. 5** dla pary trącej „stal–tytan”. Dla porównania przedstawiono również wyniki badania współczynnika tarcia analizowanego oleju handlowego.



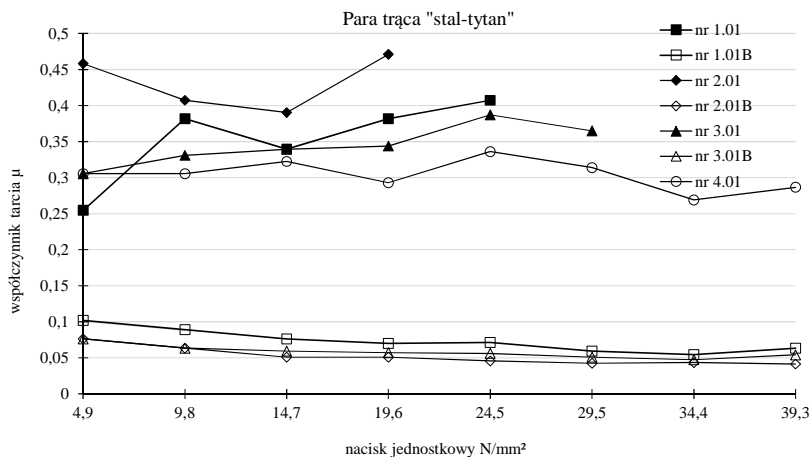
Rys. 3. Współczynniki tarcia dla pary trącej „stal–tytan” w obecności olejów bazowych
Fig. 3. Friction coefficients for frictional pair “steel – titanium” in presence of base oils



Rys. 4. Współczynniki tarcia dla pary trącej „stal–aluminium” w obecności olejów bazowych z dodatkiem kwasu borowego

Fig. 4. Friction coefficients for frictional pair “steel – aluminium” in presence of base oils with additive of boric acid

Największe obniżenie współczynnika tarcia na skutek dodania kwasu borowego do olejów bazowych zaobserwowano w przypadku oleju nr 3.01. Wartość współczynnika tarcia zmniejszyła się z $\mu = 0,2$ do $\mu = 0,05$.



Rys. 5. Współczynniki tarcia dla pary trącej „stal-tytan” w obecności olejów bazowych z dodatkiem kwasu borowego

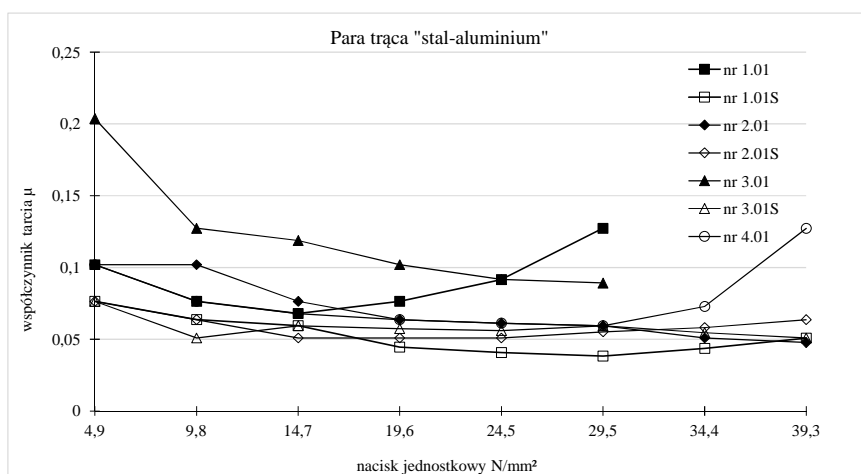
Fig. 5. Friction coefficients for frictional pair “steel – titanium” in presence of base oils with additive of boric acid

Z analizy **Rysunków 4 i 5** widać dużo większą skuteczność dodatku kwasu borowego w przypadku smarowania pary trącej „stal-tytan” w porównaniu z parą trącą „stal-aluminium”. Dla wszystkich badanych smarów z dodatkiem kwasu borowego nastąpiła redukcja współczynnika tarcia o ponad 50%. Ponadto w przypadku pary trącej „stal-tytan” oleje roślinne z dodatkiem kwasu borowego wykazują dużo lepszą skuteczność aniżeli badany smar handlowy nr 4.01.

Działanie kwasu borowego jako dodatku uszlachetniającego smarów technologicznych opiera się na podobieństwie budowy krystalicznej do struktury cząsteczki grafitu, który jest powszechnie wykorzystywany jako dodatek zmniejszający współczynnik tarcia. Grafit i kwas borowy charakteryzują się warstwową budową siatki krystalicznej zapewniającą małą spójność w pewnych kierunkach poślizgu. W tych strukturach atomy ułożone w płaskiej warstwie są związane pomiędzy sobą silnymi wiązaniami kowalencyjnymi, natomiast pomiędzy warstwami występuje znacznie słabsza więź typu elektrostatycznego Van der Waalsa. Związki krystaliczne o budowie warstwowej odznaczają się wyraźnie zaznaczonymi płaszczyznami poślizgu [L. 28]. Skuteczność kwasu borowego jako smaru stałego została potwierdzona w pracach [L. 29, 30]. Zastosowanie kwasu borowego powoduje wyraźne zmniejszenie siły ścinania.

Kolejnym badanym dodatkiem uszlachetniającym olejów bazowych pochodzenia roślinnego był kwas stearynowy należący do kwasów tłuszczowych o długich łańcuchach węglowych. Kwasy tłuszczowe często dodawane są do smarów z uwagi na to, iż tworzą film smarny odporny na wysokie naciski powierzchniowe [L. 28, 31].

Wyniki badania współczynnika tarcia w obecności smarów z dodatkiem kwasu stearynowego dla pary trącej „stal–aluminium” i „stal–tytan” przedstawiają odpowiednio **Rysunki 6 i 7** (literą S oznaczono smary z dodatkiem kwasu stearynowego).



Rys. 6. Współczynniki tarcia dla pary trącej „stal–aluminium” w obecności olejów bazowych z dodatkiem kwasu stearynowego

Fig. 6. Friction coefficients for frictional pair “steel – aluminium” in presence of base oils with additive of stearic acid

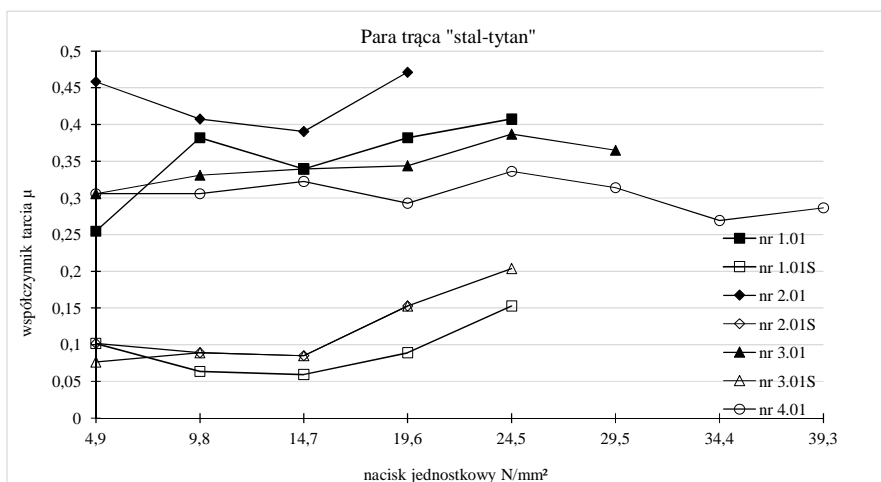
Podobnie jak w przypadku dodatku kwasu borowego, dodatek kwasu stearynowego powoduje znaczne obniżenie współczynnika tarcia podczas badania pary trącej „stal–tytan”. Niestety skuteczność smarów z dodatkiem kwasu stearynowego ograniczała się tylko do małych nacisków powierzchniowych. Powyżej nacisku $24,5 \text{ N/mm}^2$ film smarny uległ zerwaniu.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki badań wykazały, że oleje roślinne mogą stanowić bazę do produkcji biodegradowalnych smarów technologicznych do procesów tłoczenia blach trudnoodkształcalnych, jakimi są blachy aluminiowe i tytanowe.

Spośród badanych dodatków uszlachetniających lepsze właściwości smarne wykazuje nietoksyczny kwas borowy. Wyjątkowo obiecujące są wyniki ba-

dań współczynnika tarcia dla pary trącej „stal–tytan”, w której blacha tytanowa charakteryzuje się wyjątkowo niekorzystnymi właściwościami tribologicznymi (duża skłonność do nalepiania się na narzędzia). Dodatek kwasu borowego do olejów roślinnych zmniejsza opory tarcia podczas tłoczenia o ponad 50%.



Rys. 7. Współczynniki tarcia dla pary trącej „stal–tytan” w obecności olejów bazowych z dodatkiem kwasu stearynowego

Fig. 7. Friction coefficients for frictional pair “steel – titanium” in presence of base oils with additive of stearic acid

Podziękowania

Badania realizowane w ramach Projektu „Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym”, nr POIG.01.01.02-00-015/08-00 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (PO IG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

LITERATURA

- Więcowski W., Adamus J.: Blachy aluminiowe w aspekcie zastosowań w przemyśle lotniczym. *Rudy i Metale Nieżelazne* 54/11 (2009) 769–772.
- Adamus J.: Tytan i jego stopy jako materiał stosowany na elementy tłoczone. *Inżynieria Materiałowa* 30/5 (2009) 310–313.
- Adamus J.: The influence of friction and lubrication on sheet-aluminium forming process. *Mat. 14th International Colloquium Tribology: Tribology and Lubrication Engineering*, Esslingen-Germany, January 13–15 (2004) 1813–1818.

4. Adamus J.: Tribologiczne problemy kształtowania blach tytanowych. *Tribologia* 2 (2008) 15–24.
5. Adamus J., Dyja K.: Wpływ tarcia i smarowania na proces kształtowania blach. *Rudy i Metale* 59/4 (2014) 191–196.
6. Mori K., Murao T., Harada Y.: Forming of Long Pure Titanium Cups by Multi-Stage Deep Drawing. *Proceedings of the 22nd Biennial Congress on IDDRG, Nagoya* (2002) 25–32.
7. Adamus J.: Zastosowanie powłok przeciwadhezyjnych w narzędziach do tłoczenia. *Tribologia* Nr 4 (190) (2003) 11–21.
8. Adamus J., Lackner J.M., Major Ł.: A study of the impact of anti-adhesive coatings on the sheet-titanium forming processes. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 13 (2013) 64–71.
9. Mori K., Murao T., Harada Y.: Prevention of seizure by oxide coatings in multi-stage deep drawing of pure titanium sheets. *Transaction of the NAMRI/SME* 30 (2002) 25–31.
10. Rao K., Wei J.: Performance of a new dry lubricant in the forming of aluminum alloy sheets. *Wear* 249 (2001) 86–93.
11. Michalczewski R., Piekoszewski W.: Wpływ dodatków AW/EP do olejów na zacieranie i powierzchniową trwałość zmęczeniową elementów pokrytych powłoką WC/C. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn* 41/3 (2006) 67–80.
12. Podgornik B., Jacobson S., Hogmark S.: Influence of EP and AW additives on the tribological behaviour of hard low friction coating. *Surface & Coating Technology* 165 (2003) 168–175.
13. Kiechle A.: Entwicklung umweltfreundlicherer kuhlschmierstoffe fur die umformung von blechen. *Werkstattstechnik* 79/10 (1989) 577–580.
14. Lovell M., Higgs C.F., Deshmukh P., Mobley A.: Increasing formability in sheet metal stamping operations using environmentally friendly lubricants, *Journal of Materials Processing Technology* 177 (2006) 87–90.
15. Wang Z.G.: Tribological approaches for green metal forming. *Journal of Materials Processing Technology* 151 (2004) 223–227.
16. Balulescu M., Cira L., Herdan J., Environmentally friendly metalworking fluids, *Ecological and Economical Aspects of Tribology. Proceedings of the 9th International Colloquium, Technische Akademie Esslingen, Esslingen-Germany*, 11–13 January (1994) 7.11-1–7.11-5.
17. Erdemir A., Fenske G.R.: Clean and cost-effective dry boundary lubricants for aluminium forming, *SAE Special Publication no SP-1350* (1998) 9–17.
18. Goto K.: The study of non-graphite dispersion type forging oil and re-used effect of actual machine, *Proceedings of the 7th ICTP* (2002) 769–775.
19. Miller P.R., Patel H.: Using complex polymeric esters as multifunctional replacements for chlorine and other additives in metalworking. *Lubrication Engineering* 53 (1997) 31–33.
20. Takeuch M., Ikesue F., Kashimura N.: Development of environmentally friendly lubricant with high performance and simple treatment for cold forging. *Proceedings of the 6th ICTP* (1999) 383–390.
21. Tisza M., Tisza Jr M.: Development of a CAPP system for lubricating selection in sheet metal forming. *Proceedings of the 7th ICTP* (2002) 751–756.

22. Carcel A.C., Palomares D., Rodilla E., Pe´rez Puig M.A.: Evaluation of vegetable oils as pre-lube oils for stamping. *Materials and Design* 26 (2005) 587–593.
23. Erdemir A., Fenske G.R., Erck R.A., Nicholas F.A., Busch D.E., Tribological properties of boric acid and boric-acid-forming surfaces. Part 1: Crystal chemistry and mechanism of self-lubrication of boric acid. *Lubrication Engineering* 47 (1991) 168–178.
24. Rao K.P., Xie C.L.: A comparative study on the performance of boric acid with several conventional lubricants in metal forming processes. *Tribology International* 39 (2006) 663–668.
25. Vollertsen F., Hu Z.: Tribological size effects in sheet metal forming measured by a strip drawing test. *Annals of the CIRP* 55/1 (2006) 291–294.
26. Le H.R., Sutcliffe M.P.F: Measurements of friction in strip drawing under thin film lubrication. *Tribology International* 35 (2002) 123–128.
27. Costa H.L., Hutchings I.M.: Effects of die surface patterning on lubrication in strip drawing. *Journal of Materials Processing Technology* 209/3, (2009) 1175–1180.
28. Hebda M., Wachal A.: *Tribologia*. WNT, Warszawa 1980.
29. Dvorak S.D., Wahl K.J., Singer I.L.: Friction behaviour of boric acid and annealed boron carbide coatings studied by in situ Raman triobometry. *Lubrication Engineering* 59 (2003) 14–22.
30. Damera N.R., Pasam V.K. Performance profiling of boric acid as lubricant in machining. *Journal of The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 30 (2008) 239–44.
31. Masuko M., Shibatsuji M., Yokomizo M., Aoki S., Suzuki A. On the effort to discriminate the principal function of tribofilm on friction under the boundary lubrication condition. *Tribology International* 44 (2011) 702–710.

Summary

In the paper, tribological problems occurring during forming aluminium and titanium sheets are presented. Special attention is paid to the creation of aluminium or titanium build-ups on the working surfaces of the tools. The test results of technological lubricant selection for sheet metal forming which aim to decrease this phenomenon are discussed. Considering the detrimental effect of current technological lubricants on the environment, the tests were performed with lubricants based on vegetable oils.