

Władysław CZUPRYK*, **Michał KRAWIEC***

EFEKTYWNOŚĆ SMARÓW PLASTYCZNYCH Z NAPEŁNIACZAMI W PROCESIE GŁĘBOKIEGO TŁOCZENIA BLACH STAŁOWYCH

THE EFFECTIVENESS OF GREASES WITH FILLERS IN THE DEEP DRAWING OF STEEL SHEETS

Słowa kluczowe:

smary plastyczne, napelniacze, efektywność smarowania

Key words:

greases, fillers, lubrication effectiveness

Streszczenie

W artykule przedstawiono badania nad wpływem smaru stałego będącego napelniaczem w smarze plastycznym na efektywność smarowania w procesie kształtowania blach sztywnymi narzędziami. Ocenę efektywności smarowania utworzonych kompozycji przeprowadzono na uniwersalnym urządzeniu hydraulicznym firmy Erichsen. Analizie poddano cztery smary stałe, tj. MoS₂, Sn, Sb₂O₃, MIX. Napelniacze te były dodawane w ilości 4% wagowych do sma-

* Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, Wydział Inżynieryjno-Ekonomiczny, Katedra Aparatury i Inżynierii Procesowej, ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław, tel. (71) 36-80-291, (71) 36-80-290, e-mail: wladyslaw.cupryk@ue.wroc.pl, michal.krawiec@ue.wroc.pl.

ru plastycznego wapniowego (Maszynowy 2). Dodatkowo w celach porównawczych poddano ocenie smar Litomos EP25 (uważany za jeden z efektywniejszych smarów, przeznaczony do smarowania maszynowych węzłów ślizgowych) oraz olej LAN-10 (powszechnie stosowany w procesach tłoczenia). Efektywność smarowania oceniano wg trzech kryteriów, tj.: wartością maksymalnej siły tłoczenia przy stałej średnicy wstępniaka (krążka blachy), głębokością tłoczenia mierzoną drogą przesunięcia się stempla do momentu pęknięcia wytłoczki oraz wartością największej średnicy krążka blachy, przy której nie następowało oderwanie się dna wytłoczki (pęknięcie wytłoczki). Stwierdzono, że efektywność smarowania smaru technologicznego w procesie tłoczenia blach stalowych zależy istotnie od gatunku smaru. Jest ona wyraźnie wyższa dla smaru plastycznego w porównaniu z olejem technologicznym. Dokonana modyfikacja smaru Maszynowego 2 analizowanymi napełniaczami spowodowała wyraźny wzrost efektywności smarowania w procesie tłoczenia blach.

WPROWADZENIE

Obróbka plastyczna metali zaliczana jest do technologii wysokoefektywnych i ekonomicznych mających duże perspektywy rozwoju. Wydajność procesu obróbki plastycznej w znacznym stopniu zależy od nacisków, w konsekwencji których powstają siły tarcia, występujące pomiędzy narzędziem (stempel, matryca) a kształtowanym materiałem podczas procesu tłoczenia sztywnymi narzędziami. Średni nacisk jednostkowy na powierzchniach styku podczas przeróbki plastycznej stali na gorąco waha się w przedziale od 50 do 500 MPa, a przy obróbce na zimno osiąga wartość ok. 2500 MPa [L. 7, 9]. Wartości te są wiele razy większe od tych, jakie występują w ślizgowych węzłach maszyn [L. 4]. Znacząca jest również energia tracona na pokonanie oporów sił tarcia, która szacowana jest w granicach od 40% [L. 6] do 70% [L. 12]. Optymalizację tarcia i zużycia w węzłach maszynowych ślizgowych można uzyskać zarówno poprzez polepszanie własności trybologicznych współpracujących materiałów, jak również stosowanych środków smarnych. Natomiast w procesie tłoczenia jest ona znacznie ograniczona. W procesie plastycznego kształtowania zawsze współpracuje bardzo twarda powierzchnia narzędzia (stempel, matryca) ze znacznie mniej twardą powierzchnią formowanego elementu. Stąd też tylko poprzez dobór właściwego smaru technologicznego można efektywnie ograniczać negatywne skutki tarcia w procesie obróbki plastycznej metali.

W technologii przeróbki plastycznej coraz częściej kieruje się zasadą, że podczas tłoczenia elementów o skomplikowanych kształtach, gdzie podczas procesu występują ekstremalnie różniące się warunki tarcia (naciski powierzchniowe i prędkości poślizgu), należy stosować różne gatunki smarów. Adekwatne staje się zastosowanie w tych ekstremalnych miejscach smaru plastycznego. Smar ten zapewnia wysoko obciążonym węzłom ślizgowym działa-

jącym przy tarceniu mieszanym znacznie korzystniejsze warunki tarcia, tworząc grubsze warstwy graniczne niż oleje będące bazą w ich produkcji [L. 1, 2, 3]. Dodatkowo zastosowanie w smarach plastycznych napełniaczy może wyraźnie zwiększyć ich efektywność.

METODA I WARUNKI BADAŃ

Uniwersalne urządzenie hydrauliczne do tłoczenia blachy firmy Erichsen jest wykorzystywane głównie do wyznaczania granicznego współczynnika wytłaczania. Niekiedy jest ono też używane do oceny efektywności smarów technologicznych do tłoczenia blach. Widok tego stanowiska pokazuje **Rys. 1**. Testy zostały przeprowadzone dla jednego gatunku blach, tj. stalowej węglowej tłocznej IT. Próby przeprowadzono przy stałej sile docisku kołnierza wytłoczki równej 10 kN. Próbkę (krążki) po operacji wykrawania zostały ogradowane, dokładnie odtłuszczone za pomocą benzyny ekstrakcyjnej i acetonu, a następnie pozostawione na wolnym powietrzu do całkowitego osuszenia powierzchni. Smar był наносzony za pomocą pędzla, cieniutką warstwą na powierzchnię krążka od strony współpracy z matrycą. Po każdym teście stempel i matryca były dokładnie oczyszczane benzyną z cząstek pozostałego smaru. Przy zmianie gatunku smaru czyszczono dokładnie całą głowicę badawczą najpierw benzyną ekstrakcyjną, a potem acetonem. W czasie próby odczytywano maksymalną siłę tłoczenia oraz wysokość wysunięcia stempla. Dokładność odczytu wynosiła dla siły tłoczenia ± 50 daN oraz $\pm 0,1$ mm dla głębokości tłoczenia (wysunięcia stempla).



Rys. 1. Widok hydraulicznego urządzenia do tłoczenia blachy firmy Erichsen: 1 – urządzenie wykrawające, 2 – głowica badawcza

Fig. 1. Hydraulic device for sheet metal forming: 1 – punching device, 2 – probe

Do oceny efektywności smarowania badanych kompozycji przyjęto następujące trzy wielkości kryterialne:

- maksymalną siłę tłoczenia przy stałej średnicy wstępniaka (krążka blachy),
- głębokość tłoczenia rejestrowaną przy tak dobranej średnicy krążka blachy, że zawsze zachodziło oderwanie się dna wytłoczki. Jest to głębokość przesunięcia się stempla do momentu pęknięcia wytłoczki,
- największą średnicę krążka blachy, przy której nie następowało oderwanie się dna wytłoczki (pęknięcie wytłoczki).

WYKAZ MATERIAŁÓW I ICH KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA

Do badań zastosowano następujące materiały:

1. Dwa smary plastyczne będące w handlu, polskiej produkcji, tj. smar Maszynowy 2 i Litomos EP-25:
 - Smar Maszynowy 2 jest produktem, w skład którego wchodzi rafinowany olej mineralny, mydło wapniowe wysokocząsteczkowego kwasu tłuszczowego oraz woda jako stabilizator. Jest on przeznaczony do smarowania łożysk ślizgowych i innych powierzchni trących z wyjątkiem łożysk tocznych, w zakresie temperatur od -10°C do 60°C . Ma on penetrację 280 w temperaturze 25°C i jest odporny na działanie zimnej wody.
 - Litomos EP-25 jest smarem do wysokoobciążonych węzłów tarcia. Jest on wytwarzany na bazie oleju mineralnego, zawiera dodatki o działaniu przeciwutleniającym i przeciwkorozyjnym, dodatek EP oraz 4–5% dwusiarczku molibdenu. Przeznaczony jest do smarowania przegubów homokinetycznych i kulowych, cięgier, sworzni, złącz, łożysk ślizgowych i tocznych. Ma on penetrację tę samą, co smar maszynowy, tj. 280. Według [L. 13] jest on jednym z najlepszych produktów smarowych do smarowania węzłów ślizgowych pracujących w warunkach tarcia mieszanego. Smar maszynowy 2 jest jego przeciwieństwem.
2. Cztery kompozycje smarowe sporządzono na bazie smaru maszynowego 2 z następującymi napełniaczami:
 - dwusiarczek molibdenu (MoS_2). Jest on związkiem pochodzenia naturalnego o ziarnach wielkości do $10\ \mu\text{m}$. Dwusiarczek ten stosowany jest obecnie w NAFTOCHEMie do produkcji molibdenowych smarów plastycznych.
 - proszek cyny o granulacji do $63\ \mu\text{m}$. Cyna i jej stopy, jak pokazały badania Golego [L. 8], wykonane pod kątem określenia odporności różnych metali i stopów na szepianie i utlenianie podczas współpracy ze stalą w warunkach tarcia suchego, jako jedyne nie wykazywały skłonności do szepiania, a w warunkach zużywania utleniającego tworzyły ochronne warstewki tlenków silnie związanych z stalowym podłożem, dzięki czemu dobrze spełniały zadania ochrony przed oddziaływaniami adhezyj-

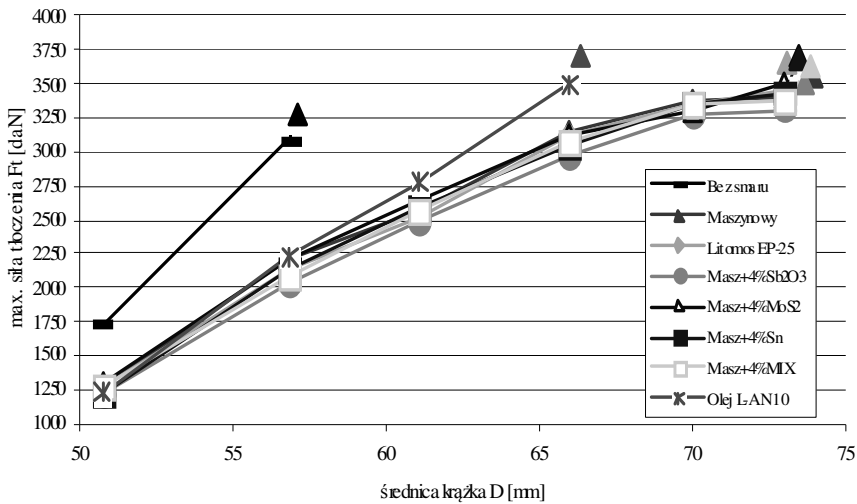
nymi. Również Roach [L. 14], badając możliwość współpracy różnych metali ze stałą w warunkach tarcia mieszanego zakwalifikował cynę według przyjętej czterostopniowej skali odporności na zatarcie (dobra, względnie dobra, słaba i bardzo słaba) do grupy pierwszej, tj. charakteryzującą się dobrą współpracą ze stałą.

- proszek trójtlenku antymonu (Sb_2O_3) o granulacji do 50 μm . Hebda i Wachal [L. 11] charakteryzują Sb_2O_3 jako związek o budowie warstwowej i zaliczają go wspólnie z grafitem i siarczanami do grupy smarów stałych. Czupryk [L. 5], badając na maszynie typu „Amsler” zużycie skrajzenia stal 45 surowa–stal 45 ulepszona cieplnie, które było smarowane olejem Lux i jego mieszaniną z tlenkiem antymonu, jednoznacznie potwierdzili dobre własności smarne tego tlenku. Zużycie badanych par stalowych smarowanych olejem z Sb_2O_3 było ponad 50% mniejsze od smarowanych tylko luxem. Według Golego [L. 8] antymon należy do grupy metali i stopów, które nie wykazują skłonności do szepiania, a w warunkach zużywania utleniającego tworzy kruche warstewki tlenków słabo związanych ze stalowym podłożem.
 - proszek brązu heksagonalnego o nazwie MIX. Brązy heksagonalne są to związki o właściwościach metalicznych i nadprzewodzących [L. 10]. Właściwości ferroelektryczne i fotochromowe czynią je materiałami znajdującymi zastosowanie w przemyśle elektronicznym. Stosuje się je między innymi do produkcji kondensatorów i przekaźników piezoelektrycznych. Ważnym elementem strukturalnym w brązach heksagonalnych są okteadory tlenków wolframu (WO_6), które tworzą tunele heksagonalne (w których gromadzi się niewielka ilość wody, odpowiedzialna za zjawisko fotochromowe). Ponadto w obszarach obsadzonych przez atomy wolframu istnieją wakansy, które są czynnikiem ułatwiającym powstawanie płaszczyzn poślizgu (łupliwości), prostopadłych do heksagonalnych tuneli. Dodatkowo heksagonalna budowa związku sprzyja powstawaniu płaszczyzn poślizgu podczas działania sił ścinających. Istnienie tych płaszczyzn łatwego poślizgu zdecydowało o użyciu go jako napęniacza w badaniach.
3. Blacha stalowa węglowa, walcowana na zimno, tłoczna (IT). Jej skład chemiczny to: C = 0,07%, Mn = 0,27%, Si = 0,01%, P = 0,008%, S = 0,016%, Cr = 0,02%, Ni = 0,03%, Cu = 0,03%, Mo = 0,001%. Stałe materiałowe dla tej blachy wynoszą: moduł Younga $E = 193760$ MPa i wytrzymałość na rozciąganie (wytrzymałość doraźna) $R_m = 273$ MPa.

WYNIKI BADAŃ

Na Rys. 2 zilustrowano graficznie charakterystyki maksymalnej siły tłoczenia F_t w funkcji średnicy wstępniaka d_k , zmierzone przy smarowaniu analizowa-

nymi kompozycjami. Dodatkowo dla celów porównawczych zostały naniesione wykresy $F_t = f(d_k)$ dla przyjętych smarów wzorcowych. Na wykresach tych ostatni punkt linii ciągłej wskazuje średnicę krążka (wstępniaka), przy której następowało oderwanie dna wytłoczki. Na **Rys. 3** pokazano w formie słupków zmierzone głębokości tłoczenia krążków o średnicy $d_k = 73,3$ mm dla blachy IT. Głębokość tłoczenia oznacza wartość przesunięcia się stempla, przy której następowało pęknięcie (oderwanie się dna) wytłoczki.



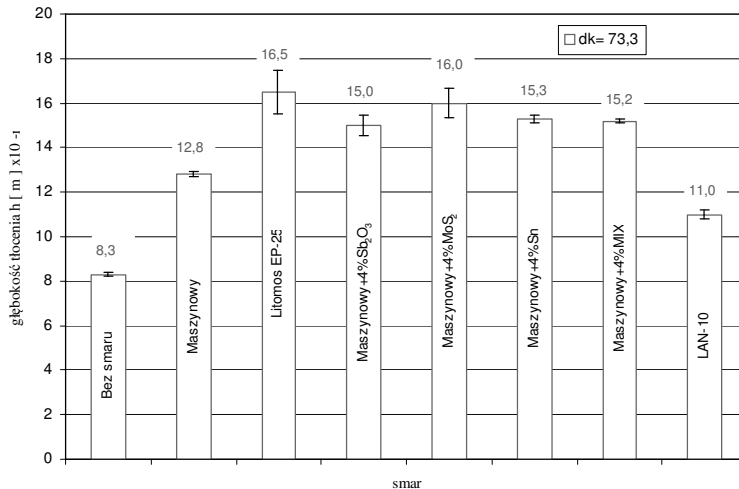
Rys. 2. Zależność maksymalnej siły tłoczenia od średnicy krążka z blachy stalowej IT przy smarowaniu kompozycjami zawierającymi Sb_2O_3 , MoS_2 , Sn oraz MIX

Fig. 2. Maximum stamping force versus steel sheet IT disc diameter for lubrication with mixtures containing Sb_2O_3 , MoS_2 , Sn and MIX

Jak widać z **Rys. 2** blacha niesmarowana tłoczyła się bez pęknięcia wytłoczki tylko przy średnicy wstępniaka $d_k = 50,8$ mm. Zastosowanie oleju L-AN 10 zwiększyło tę średnicę do wartości $d_k = 61,1$ mm. Zastosowanie smaru plastycznego Maszynowego 2 oraz jego kompozycji spowodowało, że cylindryczne naczynia (wytłoczki) wykonane z blachy węglowej IT tłoczyły się bez uszkodzeń przy średnicy $d_k = 70$ mm. Natomiast oderwanie dna wytłoczki następowało dopiero przy średnicy wstępniaka $d_k = 73,3$ mm.

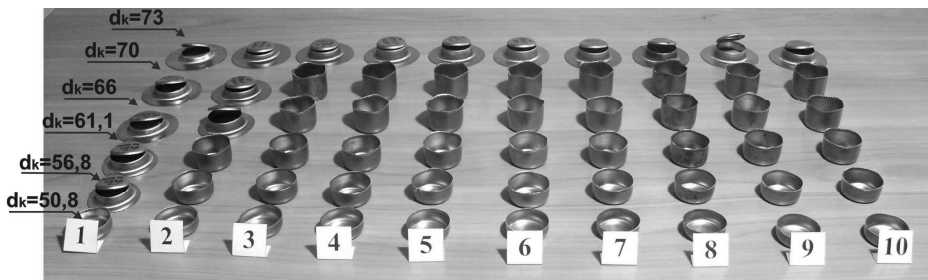
Zmierzone charakterystyki przedstawione na **Rys. 2–3**, jednoznacznie wskazują, że rodzaj i jakość użytego smaru (jego efektywność) ma istotny wpływ na opory tłoczenia oraz związaną bezpośrednio z nimi głębokość tłoczenia mierzoną drogą stempla do zerwania dna wytłoczki. Przykładowo (**Rys. 3**) krążki z blachy stalowej IT o średnicy $d_k = 73,3$ mm bez udziału smaru tłoczyły się tylko na głębokość ok. 8,3 mm. Użycie smaru Maszynowego 2 spowodowało, że cylindryczne naczynia pękały przy głębokości ok. 12,8 mm, czyli na-

stąpił 50% wzrost głębokości tłoczenia. Zmodyfikowanie smaru Maszynowego 2 przyjętymi napełniaczami wywołało dalsze zwiększenie głębokości tłoczenia. Wzrost ten był różny i zależał od rodzaju użytego napełniacza. Ogólnie w stosunku do smaru maszynowego jego kompozycje powodowały wzrost głębokości tłoczenia od ok. 17% do ok. 25%.



Rys. 3. Głębokość tłoczenia krążka z blachy stalowej IT o średnicy 73,3 mm, smarowanego badanymi smarami

Fig. 3. Depth of stamping of 73.3 mm ϕ steel sheet IT disc lubricated with tested greases



Rys. 4. Widok serii miseczek wykonanych ze stali węglowej IT z użyciem różnych smarów: 1 – bez smaru, 2 – olej L-AN 10, 3 – smar maszynowy, 4 – Litomos oraz kompozycje z 4%: 5 – Sb₂O₃, 6 – MoS₂, 7 – PTFE, 8 – grafitu, 9 – MIX, 10 – 4% Sn

Fig. 4. Series of cups made of carbon steel with use of different greases: 1 – without grease, 2 – oil L-AN 10, 3 – machine grease, 4 – Litomos, and mixtures with 4% of: 5 – Sb₂O₃, 6 – MoS₂, 7 – PTFE, 8 – graphite, 9 – MIX and 10 – 4% Sn

Przykładowo na **Rys. 4** przedstawiono widok miseczek z blachy węglowej IT (po jednej serii badań) uzyskane z prób na urządzeniu Erichsena przy smarowaniu badanymi smarami.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Efektywność smarowania smaru technologicznego w procesie tłoczenia blach, mierzona maksymalną siłą tłoczenia oraz głębokością tłoczenia (tj. drogą stempla do zerwania dna wytłoczki) zależy istotnie od gatunku smaru. Jest wyraźnie wyższa dla smaru plastycznego w porównaniu z olejem technologicznym. Ponadto modyfikacja plastycznego smaru Maszynowego 2 przyjętymi do badań napełniaczami spowodowała wyraźny wzrost efektywności smarowania w procesie tłoczenia blach.

Odnosząc się do wyników uzyskanych dla jednego z kryteriów, którym jest wartość największej średnicy wytłaczanego krążka blachy bez pęknięcia, dla wszystkich zastosowanych napełniaczy wytłoczki pękały przy tej samej średnicy krążka $dk = 73,3$. Prawdopodobnie przyczyną tego stanu jest zbyt mała gradacja średnic użytych próbek w zakresie wymiarowym 70–73,3 mm.

Największą efektywność z badanych kompozycji, porównywalną ze smarem wzorcowym Litomos EP-25, ma kompozycja smaru maszynowego z 4% MoS_2 .

Otrzymane charakterystyki najlepszej kompozycji smarnej (z MoS_2) oraz Litomосу EP 25 dowodzą, że efektywność smarowania smaru plastycznego napełnionego smarem stałym zależy głównie od właściwości smarnych napełniacza, a w mniejszym stopniu od smaru bazowego.

Fakt ten motywuje do dalszych poszukiwań napełniaczy smarów plastycznych, które mogą znacznie poprawić efektywność smarowania w procesie tłoczenia blach sztywnymi narzędziami.

LITERATURA

1. Bakašvili D.L., Imerlišvili T.V., Prognozirovanie toščiny plenki plastičnych smazok v uprugogidrodinamičeslich kontaktach, *Trenie i Iznos*, 1987, T. 8, No 2, s. 236–243.
2. Baranov N.G., Kłassifikacija svojstva, obłasti primenenija poroškowych antifrikcionnych materialov, *Trenie i Iznos*, 1991, T. 12, No 5, s. 905–913.
3. Belosevič V.K., Metodyka razrabotki tehnologičeskich smazok dlja processov obrabotki metallov dav leniem, *Trenie i Iznos*, 1981, T. 2, No 2, s. 318–326.
4. Belosevič V.K., Rudosev V.B., Apostolov L.A., Analiz uslovij i naprjaženij trenija pri listovoj štampovke-vytjažke so smazkoj, *Trenie i Iznos*, 1989, t. 10, No 5, s. 879–885.
5. Czupryk W., Wpływ zjawisk wtórnych na zużywanie utleniające metali w procesie tarcia poślizgowego, Wyd. Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 2000.
6. Gierzyńska M., Tarcie, zużycie i smarowanie w obróbce plastycznej metali, WNT, Warszawa 1983.

7. Gierzyńska-Dolna M., Adamus J., Motyl M., Wpływ smarów technologicznych na zjawiska kontaktowe w procesach obróbki plastycznej, *Tribologia* 3–1994, s. 196–205.
8. Golego N.L., *Schvatyvanije v mašinach i metody jego ustranienija*, Izdatelstvo Technika, Kijev 1965.
9. Grudev A.P., Zilberg Ju. V., Tilik V.T., *Trenie i smazki pri obrabotke metallov davleniem*, Metallurgija, Moskva 1982.
10. Hanuza J., Sprawozdanie, Projekt badawczy nr 7 TO8D 042 19 „Brązy heksagonalne – nowe materiały ferroelektryczne – ich struktura, fizykochemia i mechanizmy przemian fazowych”, Wrocław 2002.
11. Hebda M., Wachal A., *Trybologia*, WNT, Warszawa 1980.
12. Mang T., *Die Schmierung In der Metalbearbeitung*, Vogel – Bücheverlag, Würzburg 1983.
13. Krawiec S., Skuteczność działania smarów plastycznych przy zmiennych wartościach obciążenia i prędkości poślizgu. *Tribologia* Nr 4/2005 (202), s. 135–146.
14. Roach A.E., Goodzeit C.L., Munnicut R.P., Scoring characteristics of thirty- eight elemental metals in high speed sliding contact with steel, *Trans. A.S.M.E.* 1956, No 78, s. 1659–1667.

Summary

The paper presents investigations into the influence of a solid lubricant being the filler in grease on the effectiveness of lubrication in the deep drawing of sheet metal with rigid tools. The lubrication effectiveness of grease mixtures was evaluated using the Erichsen universal hydraulic device. Four solid lubricants: MoS₂, Sn, Sb₂O₃ and MIX were analysed. These fillers were added in the amount of 4% by wt. to calcium grease (machine grease 2). For comparison purposes, grease Litomos EP25 (considered to be one of the most effective greases for machine sliding pairs) and oil LAN-10 (commonly used in sheet-metal forming processes) were evaluated. Lubrication effectiveness was evaluated according to three criteria: the maximum stamping force at a constant diameter of the preform (a sheet metal disc), the stamping depth measured as the distance covered by the punch until the stamping fractured and the largest diameter of the sheet metal disc at which the stamping's bottom would break off (the stamping would fracture). It was found that the lubrication effectiveness of the technological grease in the forming of steel sheets significantly depends its grade. The effectiveness is considerably higher for the grease than for the technological oil. Thanks to the modification of machine grease 2 with the fillers its lubrication effectiveness in the sheet metal forming process increased even more.