

Akira Sasaki, członek STLE, Japonia

Stellan Sjoeborg, członek STLE, Szwecja

Jan Sjoeborg, Thermopanel AB, Szwecja

Jak usunąć osady zanieczyszczające wnętrze maszyn

Problemy ze smarowaniem występują w przypadku niekorzystnych warunków w miejscach kontaktu powierzchni trących elementów. Wszystkie ruchome elementy maszyn wymagają smarowania. Gdy środkiem smarnym są oleje, w trakcie pracy ulegają one utlenieniu. Oleje na bazie mineralnej są niepolarne, ale ich produkty utleniania – tak. Produkty utleniania występujące w cyrkulującym oleju łatwo podlegają adsorpcji na powierzchniach metalowych. Podczas oglądania uszkodzonych elementów często na ich powierzchniach można zauważyć brązowy,

czasami lepki osad (nagar). Są to produkty utleniania oleju. Nawet gdy olej zostanie wymieniony, produkty utleniania, które tworzą nagary na wewnętrznych powierzchniach maszyn i przewodów, nie zawsze mogą być usunięte.

Producenci olejów do usunięcia osadów po starym oleju zalecają wypłukiwanie ich przy użyciu olejów do płukania zawierających dużo detergentów i środka dyspergującego. Olej do płukania po procesie mycia musi być całkowicie usunięty z układu przez wymywanie go świeżym olejem, aby zapewnić sprawne funkcjonowanie systemu. Takie postępowanie jest czasochłonne, a dodatkowo powstaje dużo oleju odpadowego. Dlatego rozwiązanie to jest obecnie nieakceptowane z punktu widzenia wskaźników produkcji i ochrony środowiska. Zużyte oleje zawierają produkty utleniania, które są polarne, a ciecz polarna rozpuszczona w oleju może zmyć osady z powierzchni metalowych, gdy stężenie frakcji nierozpuszczalnej w oleju jest niskie.

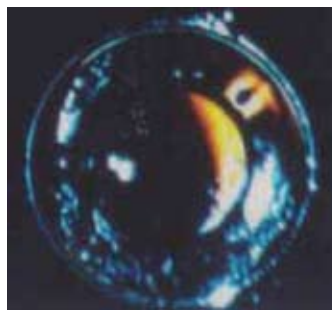
We wrześniu 1997 r. w pewnej fabryce podczas oglądania wewnętrznych powierzchni przewodów prasy hydraulicznej, w której występowały problemy z zaworami hydraulicznymi, zauważono osad na zaworach. Zastąpiono wtedy część przewodów węzami gumowymi, aby zapobiec problemom wibracji. Zainstalowano także elektrostatyczny oczyszczacz oleju w systemie offline (kidney loop) do układu hydraulicz-

nego prasy. Problemy z zaworem hydraulicznym zniknęły po kilku miesiącach. Gdy we wrześniu 2002 r. opisywana fabryka została zamknięta, okazało się, że po 5 latach przewody nadal były czyste.

W artykule przedstawiono wyniki wdrożenia technologii elektrostatycznego oczyszczacza oleju oraz opis mechanizmu usuwania osadów z wewnętrznych powierzchni układu hydraulicznego w trakcie eksploatacji układu.

Problemy smarowania

Niemal wszystkie problemy mechaniczne maszyn i zespołów występują najczęściej na styku dwóch będących w wzajemnym ruchu powierzchni, gdy zaistnieją tam skrajnie niekorzystne warunki. Przyczyny tkwią w procesach trybologicznych, takich jak niedostateczne smarowanie, zwiększone tarcie czy zużycie. Gdy dobrze obejrzymy uszkodzone elementy maszyn lub zespołów, zobaczymy osady na ich wewnętrznych powierzchniach. Wybrane przykłady takich osadów są pokazane na zdjęciach 1 i 2. Autorzy artykułu przebadali zanieczyszczenia znajdujące się w olejach, stosując ekstrakcję rozpuszczalnikami, i stwierdzili, że większość zanieczyszczeń w typowych olejach hydraulicznych to produkty utleniania oleju [1]. Produkty te są polarne i łatwo podlegają adsorpcji na powierzchniach metali, które charakteryzuje moment dipolowy.



Fot. 1. Produkty utleniania oleju powleka-
jące wnętrze uszkodzonej pompy

Prawie we wszystkich układach hydraulicznych i smarowania stosowane są filtry mechaniczne na głównych przewodach układu olejowego lub na ich bocznej części. Stwierdzono, że filtry mechaniczne zainstalowane w układach olejenia generują elektryczność statycz-

Podstawowe zagadnienia:

- Problemy smarowania
- Osady
- Filtry
- Elektrostatyczny oczyszczacz oleju
- Produkty utleniania oleju



Fot. 2. Produkty utleniania oleju powlekające zawór regulacji ciśnienia

ną oraz że wyładowania elektrostatyczne są jednym z głównych powodów utleniania olejów [2, 3]. Odkrycia te sugerują, że osadów na wewnętrznych powierzchniach elementów maszyn tak długo nie da się uniknąć, jak długo wykorzystujemy maszyny współczesnych konstrukcji.

We wrześniu 1997 r. jeden z autorów artykułu zastąpił kilka fragmentów wysokociśnieniowych przewodów w 150-tonowych prasach hydraulicznych gumowymi węzami wysokociśnieniowymi celem uniknięcia przenoszenia wibracji prasy przez zespoły hydrauliczne. Prasa hydrauliczna miała filtr mechaniczny na głównym przewodzie układu olejowego od roku 1990. Po obejrzeniu wnętrza usuniętych fragmentów przewodów zauważył on na



Fot. 3. Osady wewnątrz przewodu

nich osad, co ilustruje zdjęcie 3. Jeden fragment przewodu zachował w swoim biurze, dobrze go zabezpieczając. Wyczyścił zbiornik oleju, wymienił olej, bez operacji płukania, a w układzie hydraulicznym prasy zainstalował elektrostatyczny oczyszczacz cieczy (*Electrostatic Liquid Cleaner* – ELC), jako że prasa hydrauliczna często miała problemy z zaworem hydraulicznym. Problemy te zniknęły w momencie zainstalowania ELC, a prasa hydrauliczna pracowała bezawaryjnie, bez wymiany oleju, aż do zamknięcia zakładu w kwietniu 2002 r.

Gdy po zamknięciu zakładu wyjęto jeden z pozostałych fragmentów przewodów hydraulicznych po stronie niskociśnieniowej prasy hydraulicznej, zauważono, że na wewnętrznych powierzchniach przewodu nie było żadnych osadów, co ilustruje zdjęcie 4. Na tej podstawie można przypuszczać, że olej, który został oczyszczony przy użyciu ELC, zmył osady z pozostałych fragmentów przewodów. W artykule omówiony został mechanizm usuwania osadów z wewnętrznych powierzchni przewodów.

Badania zanieczyszczeń

Wewnętrzną powierzchnię zanieczyszczonych przewodów oraz przewodów czystych przetarto acetonem. W rezultacie osady na wewnętrznych powierzchniach zanieczyszczonego przewodu zostały usunięte, a powierzchnie oczyszczonego przewodu pozostały czyste i niezmiennione, co ilustruje zdjęcie 5. Z tego wynika, że brązowe osady na zanieczyszczonym przewodzie są w pewnym stopniu rozpuszczalne w acetonie oraz że nie ma żadnych osadów w przewodzie czystym. Wewnętrzna powierzchnia zanieczyszczonego przewodu została

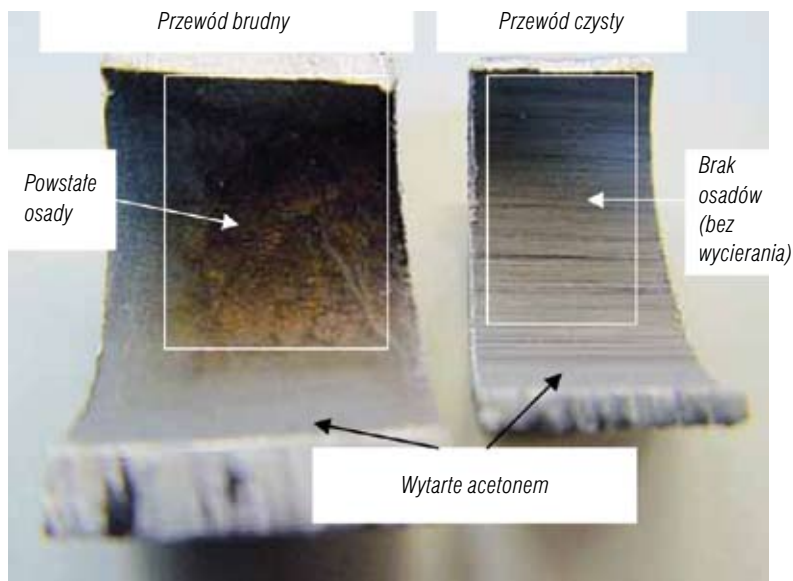


Fot. 4. Czyste wnętrze przewodu wskutek zastosowania ELC

opłukana strumieniem acetonu, a roztwór acetonowy został zebrany na szkiełku zegarkowym.

Po odparowaniu acetonu na szkiełku pozostały dwie frakcje, co widać na zdjęciu 6. Frakcja rozpuszczalna w acetonie stanowi zewnętrzny pierścień na szkiełku, a osad nierozpuszczalny zgromadził się w centralnej części szkiełka. Obecność silnego pasma absorpcji przy 1720 cm^{-1} sugeruje, że głównym składnikiem frakcji rozpuszczalnych w acetonie są produkty utleniania oleju. Widmo IR osadu frakcji nierozpuszczalnych w acetonie

wobit



Fot. 5. Porównanie wyglądu powierzchni wnętrza przewodu brudnego i czystego

wykazuje, że jest to mieszanina produktów utleniania oleju, produktów rozkładu dodatków i innych zanieczyszczeń występujących w osadzie.

Podczas utleniania oleju uzyskujemy trzy frakcje, większość stanowi baza olejowa, która nie uległa zmianie pod wpływem temperatury, dwie pozostałe to produkty utleniania oleju rozpuszczalne w oleju (o względnie niewielkim ciężarze cząsteczkowym) i spolimeryzowane produkty utleniania oleju nierozpuszczalne w oleju (ciężar cząsteczkowy jest duży, nawet do około 100 000) [5].

Spolimeryzowanym produktem utleniania oleju, pobranym ze zbiornika oleju z układu hydraulicznego powlekleliśmy wewnętrzne ścianki szklanej butelki, po czym napełniliśmy ją świeżym olejem hydraulicznym, tak jak pokazano na zdjęciu 7. Następnie butelkę wstawiliśmy na 24 h do komory o temperaturze 80°C, w kolejnym etapie butelkę poddaliśmy myciu w łaźni ultradźwiękowej przez 2 godziny, ale osady nie uległy rozpuszczeniu w oleju świeżym.

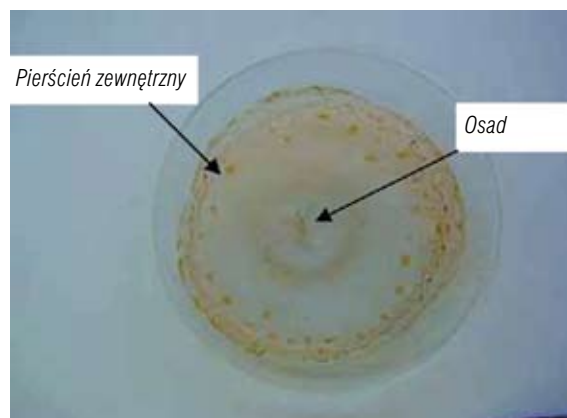
Świeży olej hydrauliczny z dodatkiem 1% acetonu (dalej jest to nazywane „mieszaniną”) został następnie wlewy do tej butelki. Butelka z mieszaniną została wstawiona do płuczki ultradźwiękowej na 1 godzinę. Stwierdzono, że osady uległy rozpuszczeniu w mieszaninie, co pokazano na zdjęciu 8. Mieszanina była mętna przez kilka dni, ale się sklarowała, po 1 tygodniu stania wydzieliła się niewielka ilość osadu, co przedstawiono na zdjęciu 9. To sugeruje, że niepolarna baza olejowa nie rozpuszcza produktów utleniania oleju, natomiast olej z 1% acetonu, który jest polarny,

osad rozpuszcza. Przy zwiększaniu ilości osadu w mieszaninie w pewnym momencie znaleźliśmy trochę osadu na dnie szklanej butelki. Zebraliśmy osad i przepłukaliśmy go eterem naftowym celem usunięcia resztek oleju. Wyszuszone osad rozpuściliśmy w acetonie. Większość osadów to produkty utleniania oleju, które mają ostry pik absorpcji w widmie IR przy długości fali 1720–1730 cm^{-1} . Okazało się, że osad to nadmiar produktów utleniania oleju, które nie są już w stanie rozpuścić się w obecnej ilości acetonu.

Wyniki analiz

Analiza osadów występujących na wewnętrznej powierzchni fragmentu przewodu wykazała, że podstawowym ich składnikiem są produkty utleniania oleju i ich mieszanina z produktami dekompozycji dodatków olejowych i innych zanieczyszczeń. Zjawisko odkładania się osadów na wewnętrznych powierzchniach maszyn jest nie do uniknięcia, gdy oleje pracują przez długi czas, ponieważ olej utlenia się w trakcie eksploatacji; spolimeryzowane produkty utleniania, które mają polarną naturę, podlegają adsorpcji do metalowych powierzchni, po czym wyłapują i wiążą inne cząstki zanieczyszczeń, jako że są one kleiste i mają dużą lepkość. W przeszłości istniały tylko dwie metody ich usunięcia: jedna to wymiana oleju podczas operacji płukania przy użyciu oleju do mycia z dużą zawartością detergentu, a druga to przecieranie powierzchni rozpuszczalnikiem.

W drugim przypadku nie ma jednak możliwości umycia niedostępnych wewnętrznych powierzchni przewodów i elementów, o ile nie są one poddawane przeglądowi lub demontażowi. Kierownictwo, które przywiązuje dużą wagę do stopy zwrotu nakładów inwestycyjnych (*Return on Assets* – ROA) i ochrony środowiska, nie pochwała praktyk, którym towarzyszą przestoje produkcyjne maszyn oraz powstawanie odpadów przemysłowych. Ostatnio niektórzy producenci



Fot. 6. Wygląd pozostałości na szkiełku zegarkowym

AUTOMATYKA, ELEKTRYKA, ZAKŁÓCENIA

Konferencja - Jurata 13-16 czerwca 2007

www.infotech.gdansk.pl, e-mail: infotech@infotech.gdansk.pl, tel./fax 058 625 16 01

INFOTECH



Fot. 7. Produkty utleniania oleju nierozpuszczalne w bazie olejowej



Fot. 8. Mętna mieszanina rozpuszczonych produktów utleniania oleju przy zastosowaniu płuczki ultradźwiękowej



Fot. 9. Ta sama co na zdjęciu 8 mieszanina rozpuszczonych produktów utleniania oleju po 1 tygodniu stania

olejów próbują zapobiec odkładaniu się osadów na wewnętrznych powierzchniach maszyn, stosując względnie wysokie stężenie dodatków dyspergująco-myjących w olejach, dla przykładu są to oleje niemieckiej klasy HLP-D. Nie jest to jednak najlepsze rozwiązanie, biorąc pod uwagę, że dodatki dyspergująco-myjące zawierają metale, które wykazują silne działanie utleniające na olej [4], a produkty utleniania zawieszony w oleju przyspieszają jego utlenianie, jak pokazano w tabeli 1.

Tabela 1. Porównanie utleniania oleju zawierającego produkty utleniania (PU) i niezawierającego ich

Warunki badania	TAN bez PU	TAN z PU
Olej świeży	0,09 mg KOH/g	0,09 mg KOH/g
Olej po wygrzewaniu w komorze w temperaturze 80°C przez 10 miesięcy	0,13 mg KOH/g	0,47 mg KOH/g

PU – produkty utleniania

TAN – całkowita liczba kwasowa

Należy zwrócić uwagę na fakt, że każdy utleniony olej ma niewielką ilość rozpuszczalnych w oleju produktów utleniania, a oprócz tego frakcję spolimeryzowaną, nierozpuszczalną w oleju. Produkty utleniania rozpuszczalne w oleju pochodzą z bazy olejowej. Mogą one współistnieć z cząsteczkami niepolarną bazy olejowej przez wyrównanie ładunków dipolowych, tworząc dimery rozpuszczalne w oleju [6,7]. Spolimeryzowane produkty utleniania oleju nierozpuszczalne w oleju są pochodnymi rozpuszczalnych produktów utleniania. Tak więc rozpuszczalne produkty utleniania są tylko produktami pośrednimi między olejem bazowym a produktami utleniania oleju nierozpuszczalnymi w oleju.

Najpierw musimy wyjaśnić mechanizm powstawania osadów na wewnętrznych powierzchniach elementów maszyn i przewodów. Cząsteczki olejów bazowych są niepolarne, ale

cząsteczki produktów utleniania oleju mają zarówno grupy polarne, jak i niepolarne. Materiały polarne (hydrofilowe) i materiały niepolarne (hydrofobowe) nie lubią się wzajemnie. Energia wzajemnego oddziaływania grup metylowych (hydrofobowych końcówek węglowodorów) wynosi około 0,1 kcal/mol, a grup polarnych (hydrofilowych) – około 15 kcal/mol [6, 7]. Dlatego produkty utleniania oleju mające



www.motoreduktory.com.pl
kacperek@kacperek.com.pl
 tel: (22) 632-24-45, 631-96-31





PRODUKUJEMY:
 przekładnie ślimakowe
 przekładnie zębate
 części uzębione
 śruby trapezowe

OFERUJEMY:
 silniki elektryczne
 sprzęgła
 falowniki
 koła pasowe

Zobacz nasze produkty na targach ITM w Poznaniu salon MACH-TOOL w dniach 11-14 czerwca 2007



Sterowniki w automatyce portal branżowy



- ◊ Aktualności z branży
- ◊ Katalog firm
- ◊ Baza wiedzy
- ◊ Pliki
- ◊ Kalendarz imprez
- ◊ Oferty pracy
- ◊ Forum dyskusyjne
- ◊ Sklep <http://sklep.sterowniki.pl>
- ◊ Kursy on-line

Sprawdź swoją wiedzę ☞ **Sprawdź**
nową platformę nauczania ☞ **Oszczędzaj**
czas i pieniądze ☞ **Ucz się** kiedy chcesz

grupy polarne będą miały przesunięte ładunki dipolowe tak, aby mogły one współistnieć z niepolarną bazą olejową, gdy te produkty utleniania są rozpuszczalne w oleju.

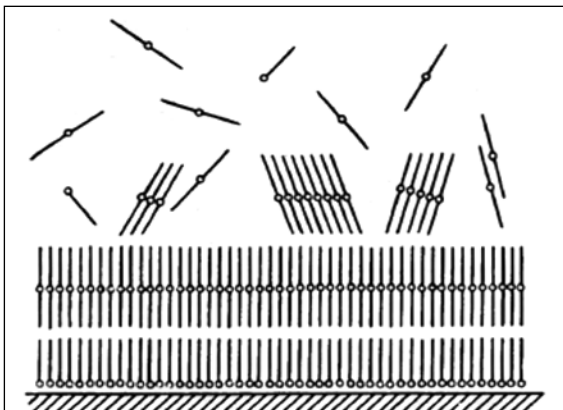
Gdy zawartość produktów utleniania nierozpuszczalnych w oleju jest niewielka, mogą one występować jako zawiesina w oleju wraz z produktami rozpuszczalnymi, ale gdy ich ilość wzrośnie, zaczyna się proces wypadania z oleju. Wtedy nadmiar tych produktów, które nie mogą się już rozpuścić w mieszaninie oleju, i rozpuszczalnych produktów utleniania ulegnie adsorpcji do metalu i utworzy osady w miejscach, gdzie stały moment dipolowy jest wysoki [6, 7]. Polarne cząsteczki tworzą warstwę na powierzchni metalu w sposób przedstawiony na rysunku 11. To jest przyczyna powstawania osadów z zanieczyszczeń na wewnętrznych powierzchniach elementów maszyn i przewodów, jak przedstawiono na zdjęciach 1, 2, 3.



Fot. 10. Porównanie wyglądu siatkowych filtrów podciśnieniowych z filtrem mechanicznym 3 µm oraz filtrów z ELC

Zgodnie z tym, co uzyskano doświadczalnie i pokazano na zdjęciach 7 i 8, czysty i świeży olej bazowy nie zmywa osadów, ale olej zawierający wystarczającą ilość acetonu zmywał i rozpuszczał osady w oleju ze szklanych ścianek. Jednak w pewnym momencie produkty utleniania stają się nierozpuszczalne i wytrącają się z mieszaniny, jeśli jest ich nadmiar, ponieważ adsorpcja i desorpcja są zasadniczo zjawiskami odwracalnymi. Jednakże desorpcja nie wystąpi, gdyż właściwości osadów (hydrofilowe) i roztworu (hydrofobowe) są odmienne, podobnie jak spolimeryzowane produkty utleniania oleju i niepolarna baza olejowa. Mechanizm desorpcji osadów z nierozpuszczalnej w oleju frakcji utleniania oleju działa do osiągnięcia maksymalnej rozpuszczalności w roztworze w sposób odwrotny od pokazanego na rysunku 11, gdy roztwór jest polarny lub związki rozpuszczalne w oleju są polarne.

ELC nie może usunąć rozpuszczonych frakcji, ale może usunąć każdego typu osad, cząstki stałe wszystkich rozmiarów z nierozpuszczalnych frakcji, z nieprzewodzącej cieczy [8]. Podczas oczyszczania dowolnego przepracowanego oleju rozkład cząsteczkowy oczyszczonego oleju to przede wszystkim baza olejowa i rozpuszczalne w oleju produkty utleniania, a także w niewielkim stężeniu nierozpuszczalne w oleju produkty utleniania, których rozkład ciężaru cząsteczkowego mieści się w zakresie od 500



Rys. 11. Schematyczny rysunek przedstawiający powstawanie kilku warstw cząsteczek polarnych na powierzchni metalu (wg „Molecular Physics of Boundary Friction” – Akhmatova)

do 100 000. Naturalną tendencją układu jest dążenie do uzyskania stanu równowagi. Gdy stężenie zanieczyszczeń w cieczy staje się niskie, zanieczyszczenia przejdą z miejsca o wysokim stężeniu do miejsca o niskim stężeniu. Dlatego oleje zużyte, które oczyszczono metodą ELC, a które zawierają rozpuszczalne w oleju produkty utleniania, mogą zmywać osady z wewnętrznych powierzchni maszyn i przewodów, wykorzystując działanie sił natury, które pracują w kierunku utrzymania równowagi, podczas gdy celem ELC jest usuwanie zanieczyszczeń z oleju. Stąd wewnętrzne powierzchnie przewodów przy zastosowaniu ELC zostały oczyszczone w stopniu pokazanym na zdjęciu 4. To jest nie tylko ten jeden przypadek.

Inny przykład, przedstawiony przez producenta samochodów, pokazany jest na zdjęciu 10. Obydwa filtry podciśnieniowe były zastosowane w identycznych 3000-tonowych wtryskarkach pracujących obok siebie w fabryce. Produkowały one identyczne kształtki plastikowe. Podciśnieniowy filtr siatkowy w maszynie (na rysunku po prawej) był stosowany razem z mechanicznym filtrem 3 µm na pętli baypassu wtryskarki przez 9900 h. Powierzchnia tego filtra jest powleczona brązowymi produktami utleniania.

Wnioski

1. Gdy układy hydrauliczne są stosowane przez wiele lat, powstają osady na wewnętrznych powierzchniach elementów maszyn i przewodów.
2. Przewody pras hydraulicznych badano przed i po zainstalowaniu elektrostatycznego oczyszczacza oleju.
3. Przewód przed zainstalowaniem elektrostatycznego oczyszczacza oleju miał osady z produktów utleniania oleju na wewnętrznych powierzchniach.
4. Przewód po zainstalowaniu elektrostatycznego oczyszczacza oleju przez 5 lat nie miał żadnych osadów na wewnętrznych powierzchniach.

Filtr siatkowy podciśnieniowy (na rysunku po lewej) był stosowany z filtrami mechanicznymi innej wtryskarki przez 13 000 h, a następnie został zainstalowany elektrostatyczny oczyszczacz oleju (ELC) na okres 4000 h. Nie widać żadnych osadów na jego powierzchni.

Literatura

1. Sasaki, A. i inni, „A Study Of Hydraulic Valve Problems”, *Lubr. Engr.* 45, 3, 1989, str. 140-146
2. Sasaki, A. i inni, „Generation of Static Electricity During Oil Filtration”, *Lubr. Engr.* 55, 9, 1999, str. 14-21
3. Sasaki, A. i inni, „Free Radicals and Oil Auto-Oxidation Due to Spark Discharges of Static Electricity”, 55, 9, 1999, str. 24-27
4. O'Connor J.J., „Standard Handbook of Lubrication Engineering”, McGRAW-HILL, 1968, str. 14-9
5. Sasaki, A., „Study of Sticking Mechanism of Hydraulic Vales by Oil Oxidation Products” (Ph.D. thesis), Tokyo University of Agriculture and Technology, marzec 1992
6. Akhmatov, A.S., „Molecular Physics of Boundary Friction”, Translated from Russian, The Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem 1966
7. Allen, C. M. & Drauglis, E., „Boundary Layer Lubrication: Monolayer or Multilayer”, *Wear*, 14, 5, 1969, str. 363
8. Sasaki, A. i inni, „A New Technology for Oil management: Electrostatic Oil Cleaner”, NCFP 102-1.2/SAE OH 2002-01-1352

Akira Sasaki, członek STLE, Kleentek Industrial Co., Ltd. Japonia

Stellan Sjoeborg, członek STLE, Kleentek OQC Scandinavia, AB, Szwecja

Jan Sjoeborg, Thermopanel AB, Szwecja

STLE – Society of Tribologists & Lubrication Engineers (Towarzystwo Trybologiczne i Inżynierów Smarowników)



Artykuł pod redakcją Haliny Gawrońskiej

WF PZL Zakład Doświadczalny Sp. z o.o.



W związku z dynamicznym rozwojem naszej firmy oferujemy szeroki asortyment wyrobów znajdujących zastosowanie m.in. w przemyśle motoryzacyjnym, chemicznym, gazowniczym, górnictwym itp.

Wykomujemy na indywidualne zamówienia odbiorców filtry i wkłady: hydrauliczne, powietrza, oleju, paliwa, do gazu i inne.

Na życzenie naszych klientów przeprowadzamy regenerację zużytych wkładów filtracyjnych.



Dla Twojej firmy przefiltrujemy wszystko



ul. Fabryczna 4
39-120 Sędziszów Młp.
Tel. (17) 74-50-120
(17) 74-50-119
Fax (17) 75-50-128
E-mail: j.sroka@wfdz.pl
Kooperant
WF „PZL-Sędziszów” SA