Moduł 1

Procesy zużycia elementów maszyn, urządzeń i narzędzi

1. Istota procesu zużywania się elementów maszyn, urządzeń i narzędzi
2. Rodzaje zużycia
3. Zjawisko tarcia
4. Korozja materiałów
5. Przeciwdziałanie zużyciu

1. Istota procesu zużywania się elementów maszyn, urządzeń i narzędzi

Podczas użytkowania maszyn, urządzeń i narzędzi następuje pogorszenie stanu poszczególnych elementów. Objawia się to:

- wzrostem temperatury elementów współpracujących,
- wzrostem poziomu hałasu i drgań,
- zwiększeniem oporów związanych z wykonywaniem ruchu elementów współpracujących,
- obniżeniem sprawności działania i własności użytkowych maszyn, urządzeń i narzędzi.

Proces prowadzący do pogorszenia właściwości elementów maszyn, urządzeń i narzędzi nazywa się zużywaniem. Zużywanie spowodowane jest różnorodnymi procesami fizycznymi i chemicznymi związanymi przede wszystkim z warunkami technicznymi eksploatacji, maszyn, urządzeń i narzędzi. Głównymi przyczynami zużywania są:

- zjawisko tarcia,
- zjawisko zmęczenia materiałów,
- procesy korozji,
- procesy erozji.

Poza procesami zużywania destrukcyjny wpływ na elementy maszyn, urządzeń i narzędzi maja procesy starzenia związane z wpływem środowiska, w którym są eksploatowane elementy oraz wpływem czynników wewnętrznych (procesów mechanicznych, mechaniczno-fizycznych i mechaniczno-chemicznych występujących w czasie funkcjonowania i przechowywania elementów). Procesy zużywania elementów maszyn, urządzeń i narzędzi następują tylko wtedy, gdy są one użytkowane (wykonują procesy robocze). *[http://www.zpid.utp.edu.pl/e-ksiazki/5/R4.PDF]*

Stan elementów na określonym etapie procesu zużywania nazywany jest zużyciem. Stan elementu jest określany poprzez dwie grupy parametrów:

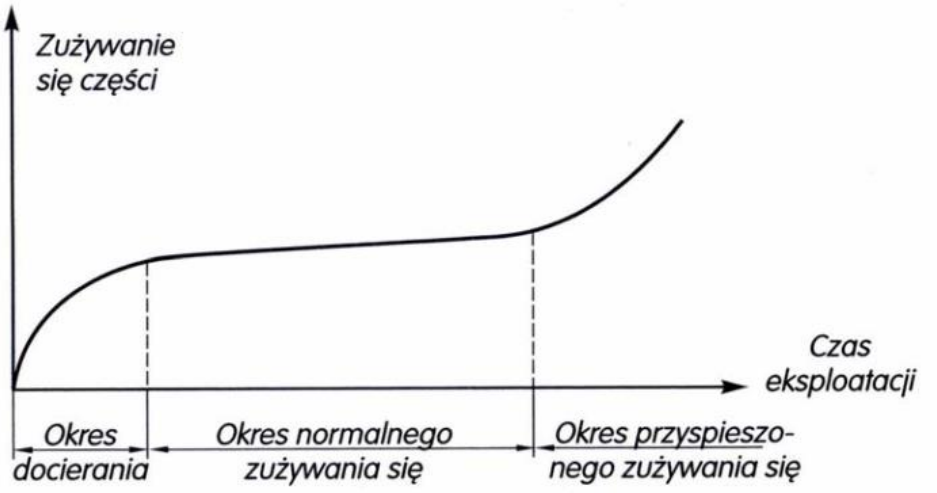
a) parametry stereometryczne (geometryczne), czyli np.: kształt, wymiary, chropowatość powierzchni, rysy, pęknięcia, wżery, wgniecenia,
b) właściwości fizyczne i chemiczne, czyli.: skład chemiczny i strukturę materiału, właściwości mechaniczne, rozkład naprężeń w materiale.
[http://www.zpid.utp.edu.pl/e-ksiazki/5/R4.PDF]

Procesy zużywania i starzenia są nierozerwalnie związane z istnieniem każdego elementu i jego eksploatacją; są to procesy naturalne, których nie można wyeliminować. Każdy element podlega procesom zużywani i starzenia nawet w tedy, gdy jest on poprawnie eksploatowany. Eksploatowanie maszyn, urządzeń i narzędzi zgodnie z zaleceniami producenta przyczynia się do osłabienia i opóźnienia procesów zużywana i starzenia.

Zależność zużywania się elementów od okresu eksploatacji przedstawiona jest na rysunku 1.1. Intensywność zużywania się elementów (części) jest różna w kolejnych okresach eksploatacji elementów:

- okres docierania - zużywanie się elementów (części) jest wysokie, związane jest to z:
  - ukrytymi wadami materiałowymi,
  - niedokładnością wykonania,
  - niedokładnością montażu,
  - błędami podczas transportu i przechowywania,

- okres normalnego zużywania się – w przybliżeniu stałe i niewysokie zużywanie się elementów, związane z przestrzeganiem norm i zaleceń producenta dotyczących warunków eksploatacji maszyn, urządzeń i narzędzi,
- okres przyśpieszonego zużywania się – nagły wzrost zużywania się elementów związany z sumowaniem się wcześniejszych zużyć elementów maszyn, urządzeń i narzędzi.



Rys.1.1. Zależność zużywania się elementów od okresu eksploatacji
[Górecki A., Grzegórski Z.:Montaż, naprawa i eksploatacja maszyn i urządzeń przemysłowych. WSiP, Warszawa, 1996]

2. Rodzaje zużycia

[http://www.zpid.utp.edu.pl/e-ksiazki/5/R4.PDF, http://www.mech.pg.gda.pl/katedra/kmip/files/2012/05/Rodzaje_zuzyciaA4.pdf]

W związku z występowaniem wielu przyczyn i mechanizmów procesów zużycia wyróżnia się następujące rodzaje zużycia (rys.1.2.):

- ścierne,
- adhezyjne,
- zmęczeniowe,
- przez utlenianie,
- cierno – korozyjne.

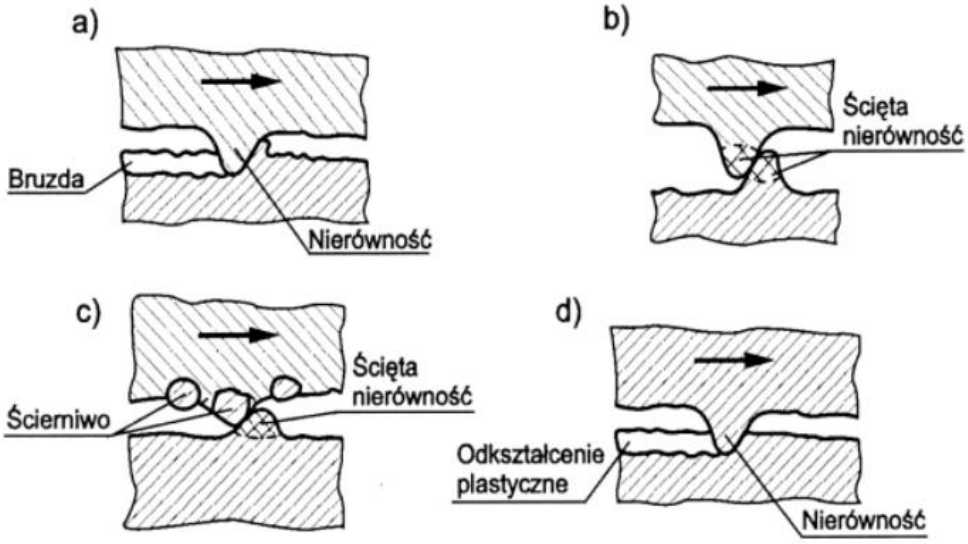
Tabela 1.1. Podstawowe rodzaje zużycia

Rodzaj zużycia	**Główny proces powodujący zużycie**
ścierne	mikroskrawanie, rysowanie
adhezyjne	powstawanie połączeń adhezyjnych
zmęczeniowe	oddziaływanie naprężeń zmęczeniowych
przez utlenianie	utlenianie
cierno – korozyjne	połączone działanie procesów zużycia

[opracowano na podstawie: *[http://www.zpid.utp.edu.pl/e-ksiazki/5/R4.PDF]]*

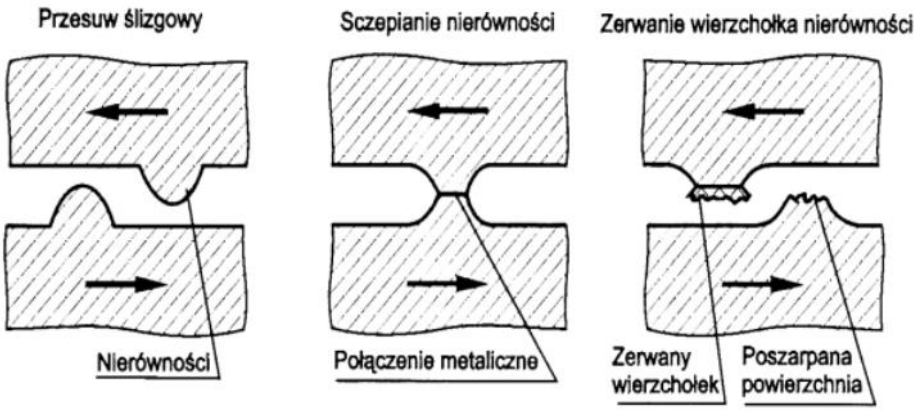
Zużycie ścierne polega na niszczeniu powierzchni współpracujących elementów w wyniku skrawającego, bruzdującego, ścinającego oddziaływania nierówności powierzchni, ścinającego oddziaływania cząstek ciał obcych (ścierniwa) lub produktów zużycia, odkształceń plastycznych.

[Źródło: http://www.mech.pg.gda.pl/katedra/kmip/files/2012/05/Rodzaje_zuzyciaA4.pdf]

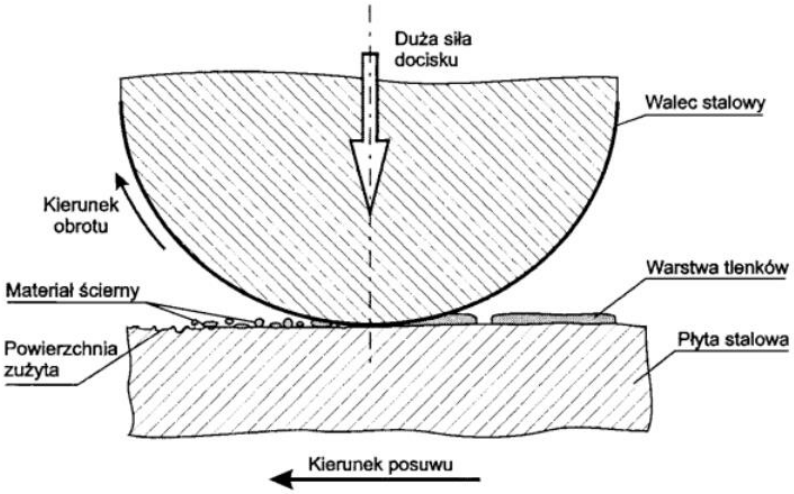


Rys. 1.2. Modele elementarnych procesów zużycia ściernego: a) bruzdowanie, b) ścinanie nierówności, c) ścinanie nierówności ścierniwem, d) odkształcenie plastyczne materiału przedmiotu
[http://www.z-spaw.zut.edu.pl/lab_pliki/Instrukcja_Inzynieria_powierzchni_i_techniki_spawalnicze_w_inzynierii_powierzchni_MiBM_S2.pdf]

Zużycie adhezyjne polega na niszczeniu warstwy wierzchniej współpracujących elementów w wyniku powstawania i rozrywania połączeń adhezyjnych tworzących się pomiędzy wierzchołkami nierówności współpracujących powierzchni. Występuje zawsze wtedy, gdy istnieje tarcie pomiędzy powierzchniami współpracującymi. *[Źródło: http://www.mech.pg.gda.pl/katedra/kmip/files/2012/05/Rodzaje_zuzyciaA4.pdf]*



Rys. 1.3. Przebieg procesu zużycia adhezyjnego
[http://www.z-spaw.zut.edu.pl/lab_pliki/Instrukcja_Inzynieria_powierzchni_i_techniki_spawalnicze_w_inzynierii_powierzchni_MiBM_S2.pdf]



Rys. 1.4. Przebieg procesu zużycia przez utlenianie
[http://www.z-spaw.zut.edu.pl/lab_pliki/Instrukcja_Inzynieria_powierzchni_i_techniki_spawalnicze_w_inzynierii_powierzchni_MiBM_S2.pdf]

Zużycie przez utlenianie polega na niszczeniu warstwy wierzchniej współpracujących elementów poprzez powstawanie powierzchniowych ubytków materiału w wyniku tworzenia się tlenków oraz ich usuwaniu pod działaniem siły tarcia. Zużycie przez utlenianie jest uważane za jedyny dopuszczalny proces zużycia. Każdy inny proces zużycia powodowałby znacznie większe ubytki materiału. Utlenianie chroni powierzchnie elementów maszyn, urządzeń i narzędzi przed intensywnym zużyciem. *[Źródło: http://www.mech.pg.gda.pl/katedra/kmip/files/2012/05/Rodzaje_zuzyciaA4.pdf]*

Zużycie zmęczeniowe następuje w wyniku cyklicznego oddziaływania naprężeń w miejscach styku punktowego powierzchni współpracujących elementów. Wyróżnia się następujące typy zużycia zmęczeniowego:

- wykruszanie – występuje jeżeli pomiędzy powierzchniami elementów współpracujących występuje tarcie ślizgowe,
- łuszczenie – występuje, jeżeli pomiędzy powierzchniami elementów współpracujących występuje tarcze toczne (lub toczno-ślizgowe) w styku suchym lub niedostatecznie smarowanym,
- pitting – występuje, jeżeli pomiędzy powierzchniami elementów współpracujących występuje tarcze toczne (lub toczno-ślizgowe) w styku smarowanym.

[Źródło: http://www.mech.pg.gda.pl/katedra/kmip/files/2012/05/Rodzaje_zuzyciaA4.pdf]

Zużycie cierno-korozyjne powstaje, gdy elementy współpracujące poddane są działaniu drgań, niewielkich poślizgów, cyklicznym obciążeniom oraz korozji w wyniku czego powstają ubytki w warstwie wierzchniej tych elementów.
[Źródło: http://www.mech.pg.gda.pl/katedra/kmip/files/2012/05/Rodzaje_zuzyciaA4.pdf]

Zużycie elementów maszyn, urządzeń i narzędzi może być spowodowane czynnikami:

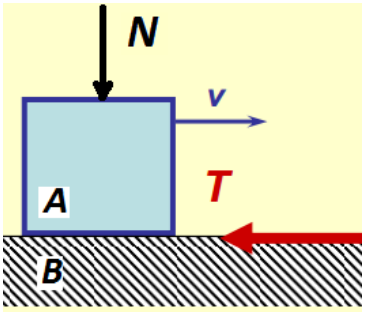
- mechanicznymi,
- chemicznymi.

Zużycie mechaniczne spowodowane jest przede wszystkim tarciem występującym pomiędzy powierzchniami elementów współpracujących, powoduje zmianę wymiarów i kształtu elementów współpracujących. Zagadnienia związane ze zjawiskiem tarcia omówione zostaną w następnym rozdziale.

Zużycie chemiczne spowodowane jest z korodującym oddziaływaniem kwasów zawartych w olejach i smarach oraz atmosferze środowiska, w którym użytkowane są maszyny, urządzenia i narzędzia. Proces korozji (jeżeli nie zostanie zahamowany) prowadzi do całkowitego zniszczenia elementu.

3. Zjawisko tarcia

W miejscu styku ciał (środowisk) wykonujących ruch względem siebie powstają siły przeciwdziałające temu ruchowi. Zjawiska powodujące powstawania tych sił oporu nazywane są tarciem. Tarcie wpływa hamująco na ruch względy ciał. W niniejszym kursie rozważać będziemy tylko tarcie występujące pomiędzy powierzchniami ciał stałych. Rysunek 1.5. ilustruje w bardzo ogólny sposób zjawisko tarcia. Ciało A położone jest na powierzchni ciała B i wywiera nacisk równy sile N. Jeżeli ciała te przemieszczają się względem siebie z prędkością v to wytwarzana jest siła tarcia T, która działa przeciwnie do prędkości v przemieszczenia wzajemnego ciał.



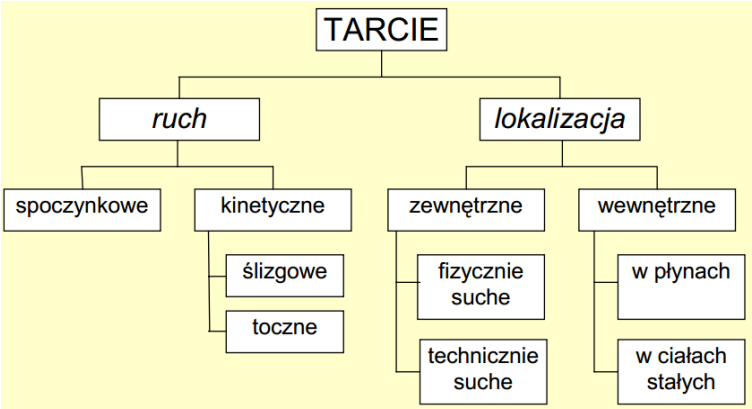
Rys. 1.5. Ilustracja zjawiska tarcia
[opracowano na podstawie:
http://kpt.wm.am.gdynia.pl/doc/PKM_I_w04_(tarcie_i_smary).pdf]

Zjawiska powodujące tarcie mają różnorodną naturę, jednak największy wpływ mają:

- rodzaj i stan powierzchni stykających się ciał,
- wartość siły nacisku N pomiędzy ciałami.

Natomiast powierzchnia styku ciał i wartość prędkości wzajemnego przemieszczania ciał v są pomijane.

Pod pojęciem tarcie należy rozumieć zjawiska fizyczne przeciwdziałające wzajemnemu ruchowi dwóch stykających się ciał związane z powstawaniem oporów tarcia i procesami zużywania się stykających się powierzchni.

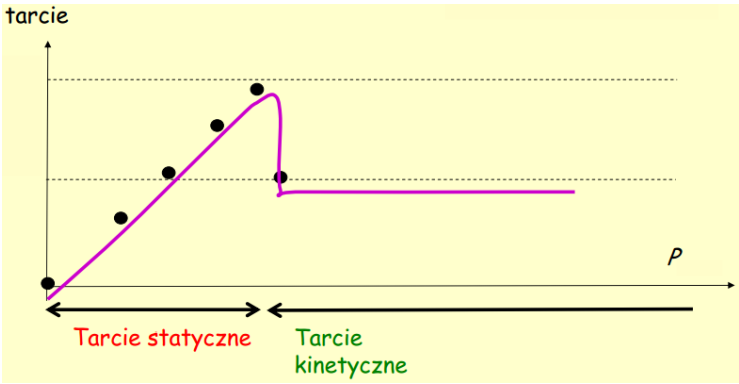


Rys. 1.6. Klasyfikacja tarcia
[http://kpt.wm.am.gdynia.pl/doc/PKM_I_w04_(tarcie_i_smary).pdf]

Klasyfikację tarcia przedstawiono na rysunku 1.6.

Tarcie spoczynkowe (statyczne) – występuje, gdy ciała stykające się nie wykonują ruchu względem siebie (są względem siebie w spoczynku); siła tarcia spoczynkowego jest równa sile, którą należałoby użyć, aby spowodować wzajemny ruch ciał. Tarcie spoczynkowe w niewielkim stopniu przyczynia się do zużycia powierzchni ciał stykających się.

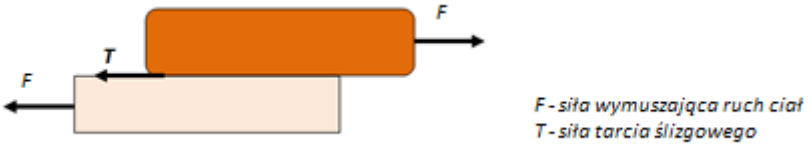
Tarcie kinetyczne (ruchowe) – występuje, gdy ciała stykające się wykonują względem siebie ruch. Tarcie to przyczynia się do zużycia powierzchni ciał stykających się.



Rys. 1.7. Wartości tarcia podczas wprawiania ciał w ruch
[opracowano na podstawie:
http://kpt.wm.am.gdynia.pl/doc/PKM_I_w04_(tarcie_i_smary).pdf]

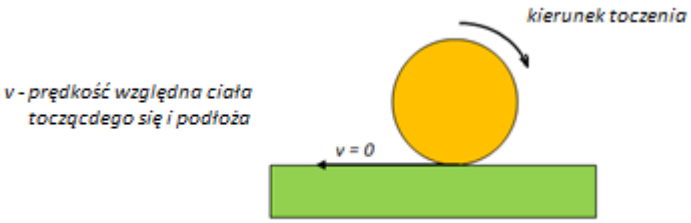
Na rysunku 1.7. zilustrowano zmienność wartości siły P, którą należy przyłożyć do ciał stykających się, w celu wprawiania ich w ruch względem siebie. W czasie, gdy ciała jeszcze nie wykonują ruchu względem siebie (tzn. gdy występuje tarcie statyczne) siła P ma wartość większą niż w przypadku, gdy ciała względem siebie przemieszczają się (tzn. występuje tarcie kinetyczne).

Tarcie kinetyczne ślizgowe – występuje, gdy powierzchnie ciał stykających się przesuwają się wzajemnie.(rys.1.8.)



Rys. 1.8. Ilustracja tarcia kinetycznego ślizgowego
[opracowanie własne]

Tarcie kinetyczne toczne – występuje, gdy jedno ze stykających się ciał toczy się po powierzchni drugiego i prędkość względna w punkcie styku ciał wynosi zero.(rys.1.9.)



Rys. 1.9. Ilustracja tarcia kinetycznego tocznego
[opracowanie własne]

Tarcie zewnętrzne dotyczy sił tarcia występujący na powierzchniach zewnętrznych ciał stykających się. Wyróżnia się:

- tarcie zewnętrzne fizycznie suche, tzn. gdy powierzchnie ciał stykających się są idealnie czyste,
- tarcie zewnętrzne technicznie suche, - powierzchnie ciał stykających się mają pozostałości po obróbce (płyn chłodzący, niewielkie zanieczyszczenia, itp.).

Tarcie wewnętrzne – przeciwdziała przemieszczaniu się wzajemnym poszczególnych warstw w strukturze materiału (np. odkształceniom materiałów, wzajemnym przemieszczeniom warstw w cieczy).

Skutki tarcia mogą być:

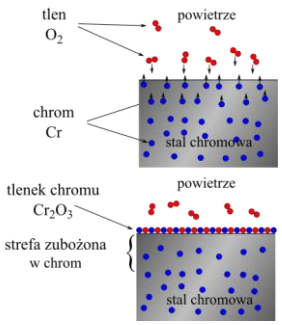
- pozytywne – np. działanie przekładni ciernych, hamulców ciernych,
- negatywne – zużycie powierzchni elementów współpracujących, zwiększenie zużycia energii.

4. Korozja materiałów

W zależności od czynników będących przyczyną zużycia chemicznego wyróżniamy korozję:

- chemiczną,
- elektrochemiczną.

Korozja chemiczna polega na bezpośrednim oddziaływaniu suchych gazów lub cieczy na metal, któremu nie towarzyszy przepływ prądu elektrycznego. Korozja chemiczna zachodzi pod wpływem utleniaczy, jak tlen, dwutlenek siarki, itp. i powoduje powstawanie na powierzchni metali warstwy tlenków. Utlenianie metalu do jego tlenków nie zawsze jest procesem szkodliwym. Jeżeli warstwa tlenku jest dostatecznie zwarta i mocno związana z powierzchnią metalu, chroni ona (pasywuje) metal przed dalszym utlenianiem.(rys.1.10).



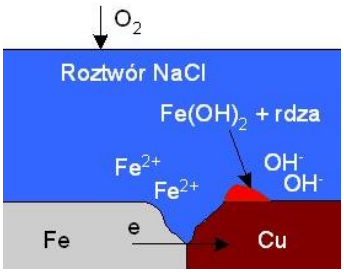
Rys. 1.10. Mechanizm powstawania warstwy tlenku na powierzchni metalu
[http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Mechanizm_pasywacji.svg]

Korozja elektrochemiczna jest najbardziej powszechnym rodzajem korozji. Zachodzi w zwykle w środowiskach wilgotnych, na skutek przepływu prądu elektrycznego, z jednej części metalu do drugiej, za pośrednictwem elektrolitu. Przykładem jej może być rozpuszczanie metali w kwasach. Jednak nie zawsze metale muszą być zanurzone w roztworze wodnym, wystarczy np. wilgoć w powietrzu i zawarte w nim zanieczyszczenia.

Korozja elektrochemiczna jest wynikiem działania lokalnych ogniw korozyjnych tworzących się na powierzchni metalu. Ogniwa te powstają w rezultacie niejednorodności chemicznej (lub fizycznej) metalu np. na styku różnych metali, bądź wskutek niejednorodności krystalicznej w strukturze metalu.

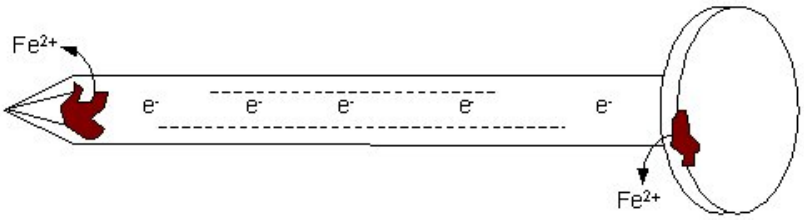
Lokalne ogniwa korozyjne mogą powstawać:

- wskutek zetknięcia dwóch różnych metali lub metalu z wtrąceniami niemetalicznymi,
- w rezultacie naprężeń mechanicznych, występujących w metalu,
- jako ogniwa stężeniowe tworzące się wówczas, gdy kawałek metalu styka się z roztworami o różnych stężeniach soli lub tlenu.



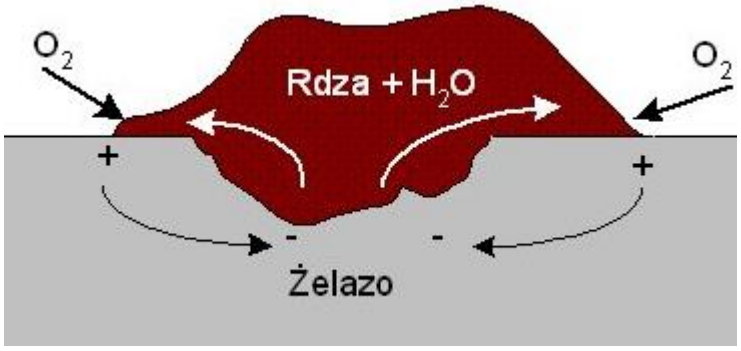
Rys. 1.11. Mechanizm powstawania lokalnego ogniwa korozyjnego wskutek zetknięcia dwóch różnych metali lub metalu z wtrąceniami niemetalicznymi
[http://open.agh.edu.pl/mod/resource/view.php?id=594]

Na rys. 1.11. przedstawiono mechanizm powstawania lokalnego ogniwa korozyjnego wskutek zetknięcia dwóch różnych metali lub metalu z wtrąceniami niemetalicznymi. Tymi wtrąceniami mogą być inne metale związki chemiczne lub niemetale.
W tym ogniwie, żelazo jako metal bardziej aktywny w porównaniu z miedzią stanowi anodę ogniwa i samorzutnie przechodzi do roztworu w postaci jonów Fe^{2+}. Procesowi utleniania żelaza (oddawanie elektronów) towarzyszy sprzężony proces katodowy (przyłączanie elektronów). Powstałe w wyniku reakcji katodowej jony OH^- oraz jony Fe^{2+} w reakcji anodowej, tworzą trudnorozpuszczalny wodorotlenek żelaza (II), który utlenia się w obecności tlenu do wodorotlenku żelaza (III). Mieszanina tych wodorotlenków tworzy „rdzę".



Rys. 1.12. Mechanizm powstawania lokalnego ogniwa korozyjnego wskutek działania naprężeń mechanicznych
[http://open.agh.edu.pl/mod/resource/view.php?id=594]

Na rysunku 1.12. przedstawiono mechanizm powstawania lokalnego ogniwa korozyjnego wskutek działania naprężeń mechanicznych. Ten typ korozji bardzo często występuje na powierzchniach np. poddanych obróbce skrawaniem oraz w elementach poddanych ciągłym naprężeniom. W wyniku powstałych naprężeń powierzchnia metalu nie jest jednorodna. Powstają miejsca o wyższej energii, z których jony znajdujące się na powierzchni przechodzą łatwiej do roztworu niż z powierzchni „niezdefektowanej". Powierzchnia części metalu poddanych znacznym naprężeniom mechanicznym stanowi anodę, zaś powierzchnia niezedefektowana stanowi obszar katodowy. Na anodzie zachodzi proces utleniania, w tym miejscu następuje rozpuszczanie metalu i powstają „wżery".



Rys. 1.13. Mechanizm powstawania ogniwa korozji stężeniowej
[http://open.agh.edu.pl/mod/resource/view.php?id=594]

Na rysunku 1.13. przedstawiono mechanizm powstawania ogniwa korozji stężeniowej. Najczęściej spotykanym przykładem korozji stężeniowej jest „rdzewienie konstrukcji stalowych „ w wilgotnej atmosferze". Skondensowana para wodna lub roztwór soli na powierzchni żelaza jest bardziej napowietrzana na krańcach niż w środku. Na obwodzie kropli powstają obszary katodowe (potencjał dodatni +), zaś w środku obszary anodowe (potencjał ujemny -), w którym żelazo rozpuszcza się. Produktem reakcji jest „rdza", która osadza się w obszarze katodowym (na obwodzie).

Ze względu na skutki zniszczenia rozróżnia się korozję:

- równomierną,
- międzykrystaliczną,
- lokalną:
  - wżerową,
  - naprężeniową,
  - selektywną,
  - kontaktową.

Korozja równomierna polega na równomiernym pokryciu warstwą tlenku całej powierzchni elementu. Nieznacznie zmniejsza się przekrój elementu i jego wytrzymałość mechaniczna i dlatego jest najmniej groźnym dla materiałów rodzajem korozji.

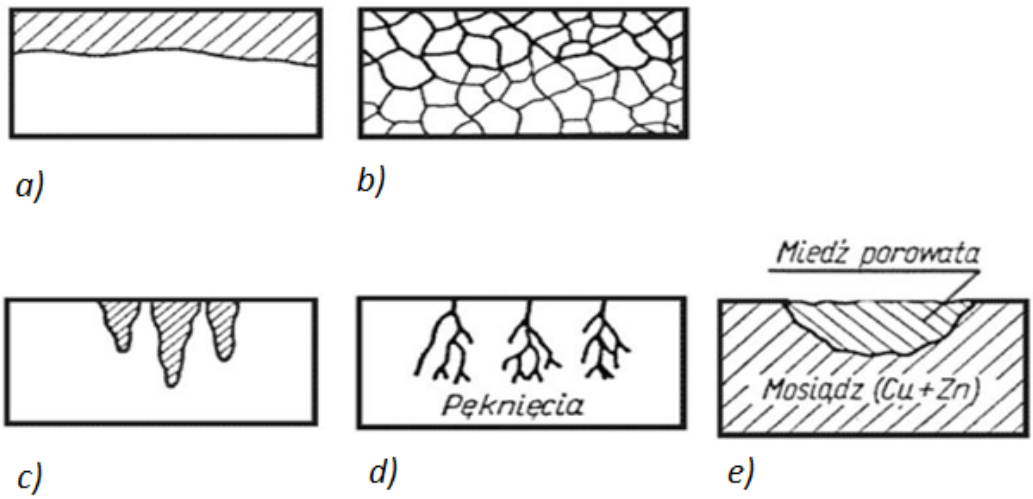
Korozja międzykrystaliczna powstaje wzdłuż granic ziaren metali i może doprowadzić do naruszenia spójności pomiędzy ziarnami, co doprowadzić może do destrukcji materiału polegającej na jego kruszeniu się.

Korozja wżerowa charakteryzuje się punktowym ubytkiem masy metalu. Powstaje przeważnie w miejscach niejednorodności materiału (wtrącenia niemetaliczne, odkształcenia) oraz zewnętrznych (zarysowania, wgniecenia). Elementy o powierzchniach gładkich i jednorodnych są odporne na ten typ korozji.

Korozja naprężeniowa występuje wtedy, gdy materiał poddany jest działaniu naprężeń wewnętrznych lub zewnętrznych i występuje środowisko agresywne (chlorki, ługi, wysoka temperatura).

Korozja selektywna występuje, gdy jeden ze składników stopu ulega usunięciu. Ten typ korozji w znacznym stopniu zmniejsza właściwości wytrzymałościowe materiału.

Korozja kontaktowa zachodzi w miejscu styku różnych stopów metali np. stali ze stopem miedzi, dzięki czemu powstają lokalne ogniwa prowadzące do znacznego ubytku metalu.



Rys. 1.14. Typy korozji: a) równomierna, b) międzykrystaliczna, c) wżerowa, d)naprężeniowa, e) selektywna
[opracowano na podstawie: http://www.iim.p.lodz.pl/wyklady.html - wykład 7:Korozja i tarcie]

5. Przeciwdziałanie zużyciu

Najważniejszymi przyczynami zużywania się elementów maszyn, urządzeń i narzędzi poddawanych prawidłowej eksploatacji zgodnie z zaleceniami producentów są:

- tarcie,
- korozja.

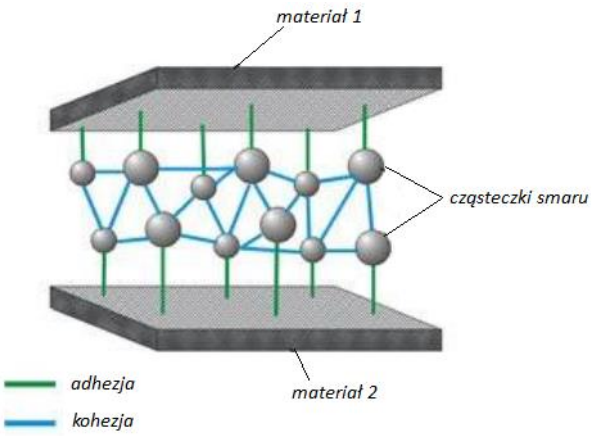
Dzięki przestrzeganiu zasad użytkowania określonych przez producentów maszyn, urządzeń i narzędzi można w znacznym stopniu ograniczyć i opóźnić proces zużywania elementów.

Zużycie elementów maszyn, urządzeń i narzędzi spowodowane tarciem można ograniczyć poprzez:

- wykonywanie elementów z materiałów odpornych na ścieranie,
- smarowanie powierzchni trących.

Podstawową metodą ograniczenia tarcia i zużycia spowodowanego tarciem jest wprowadzenie pomiędzy powierzchnie styku ciał substancji smarującej. Substancja smarująca powinna charakteryzować się dużą adhezją do powierzchni trących oraz niewielką odpornością na ścinanie. Rysunek 1.15. przedstawia istotę smarowania po-

wierzchni trących się. Cząsteczki smaru powinny silnie przylegać do powierzchni materiałów trących (duża adhezja) i być słabo związanymi z innymi cząsteczkami smaru (mała kohezja). Mała kohezja umożliwia przemieszczanie się warstw smaru względem siebie i skuteczne smarowanie.



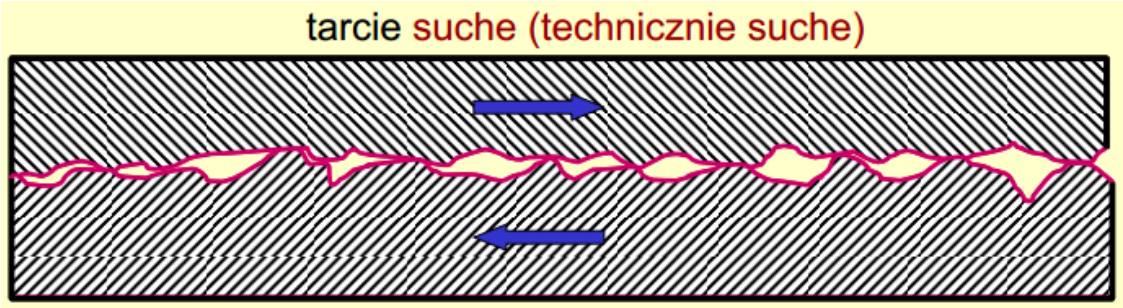
Rys. 1.15. Ilustracja zjawiska smarowania powierzchni trących.
[opracowano na podstawie:
http://kpt.wm.am.gdynia.pl/doc/PKM_I_w04_(tarcie_i_smary).pdf]

Wprowadzenie warstwy smaru pomiędzy powierzchniami trącymi umożliwia oddzielenie tych powierzchni od siebie i w efekcie osłabienie zjawiska tarcia.

W zależności od grubości warstwy smarnej pomiędzy powierzchniami trącymi może wystąpić tarcie:

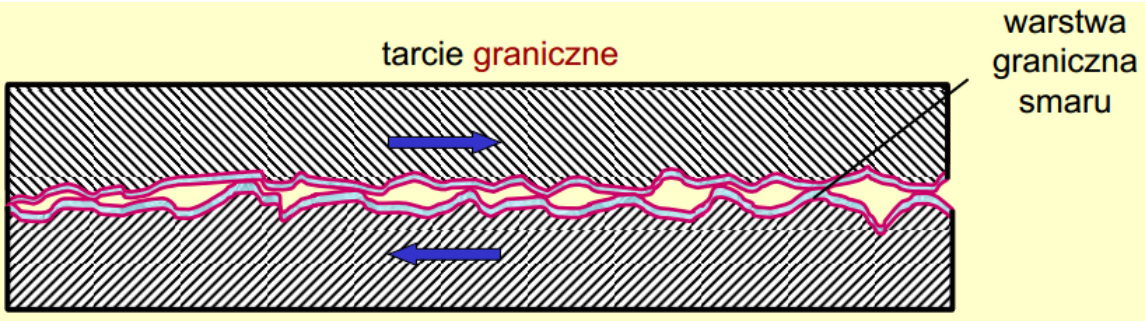
- suche,
- graniczne,
- płynne.

Z tarciem suchym mamy do czynienia, gdy powierzchnie trące nie są rozdzielone warstwą smaru. Powierzchnie te stykają się ze sobą, mikronierówności obu powierzchni stykają się ze sobą lub zazębiają, występuje oddziaływanie międzycząsteczkowe, powstają mikrospoiny w punktach styku nierówności. Wszystkie te czynniki w sposób jednoznaczny wpływają na zwiększenie tarcia pomiędzy powierzchniami, dlatego z punktu widzenia procesów zużycia jest to stan bardzo niekorzystny powodujący intensywne zużywanie elementów maszyn, urządzeń i narzędzi.(rys.1.16.)



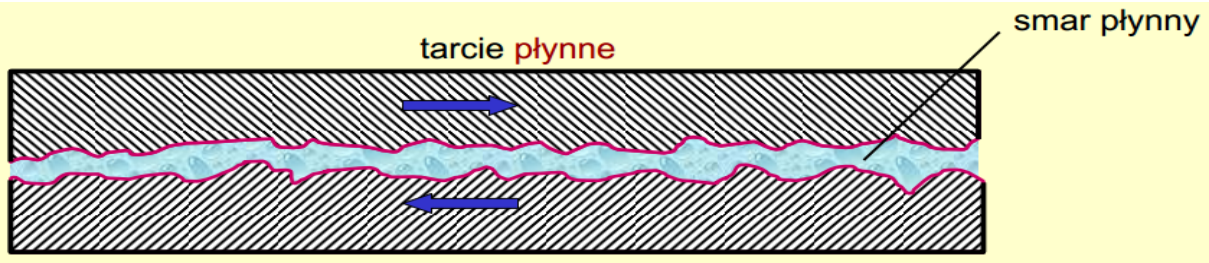
Rys.1.16. Ilustracja zjawiska tarcia suchego
[http://kpt.wm.am.gdynia.pl/doc/PKM_I_w04_(tarcie_i_smary).pdf]

Tarcie graniczne występuje wówczas, gdy warstwa substancji smarującej wprowadzona pomiędzy powierzchnie trące ma grubość nie mniejszą niż 0,5 μm, na styku tych powierzchni powstaje warstwa nośna o specjalnych właściwościach – związek chemiczny smaru z cząsteczkami metalu. Jeżeli podczas pracy warstwa ta ulegnie zniszczeniu to nastąpi stan tarcia suchego. Stan tarcia granicznego nie gwarantuje zupełnego oddzielenia powierzchni trących, w związku z tym nie zabezpiecza powierzchni przed zużyciem. (rys. 1.17.)



Rys.1.17. Ilustracja zjawiska tarcia granicznego
[http://kpt.wm.am.gdynia.pl/doc/PKM_I_w04_(tarcie_i_smary).pdf]

Tarcie płynne charakteryzuje się obecnością pomiędzy powierzchniami ciał warstwy smaru gwarantującej oddzielenie od siebie tych powierzchni oraz zagwarantowanie braku tarcia pomiędzy nimi, czyli brak zużycia ciernego powierzchni. (rys.1.18.)



Rys.1.18. Ilustracja zjawiska tarcia płynnego
[http://kpt.wm.am.gdynia.pl/doc/PKM_I_w04_(tarcie_i_smary).pdf]

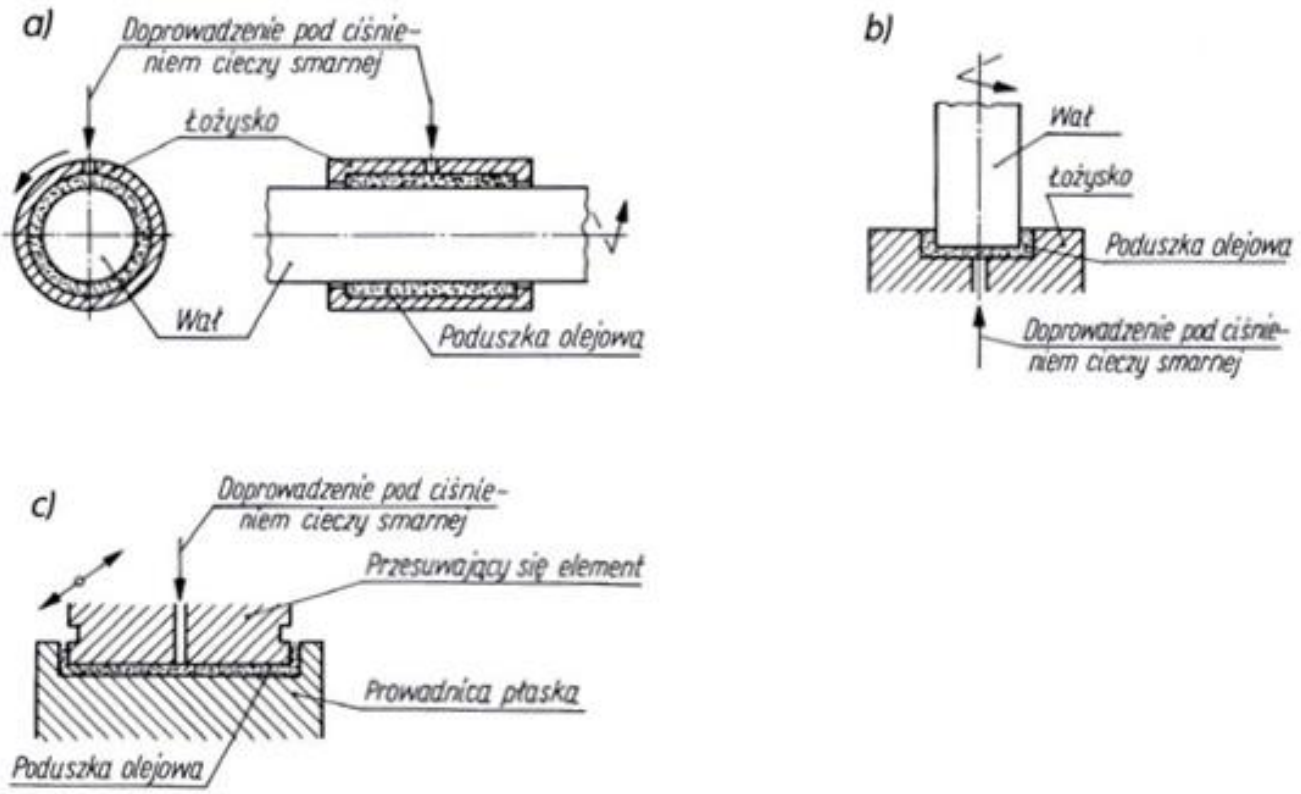
W konstrukcjach maszyn, urządzeń i narzędzi należy dążyć do tego, aby elementy stanowiące połączenia ruchowe pracowały w warunkach tarcia płynnego.

Smarowanie

Smary wprowadzane pomiędzy powierzchnie trące wypełniają następujące zadania:

- zmniejszenie tarcia,
- częściowe zabezpieczenie przed korozją powierzchni trących,
- zmniejszenie zużycia powierzchni trących,
- odprowadzenie ciepła z przestrzeni tarcia,
- uszczelnienie przestrzeni tarcia,
- usuwanie cząstek materiału powstających w wyniku zużywania się powierzchni trących.

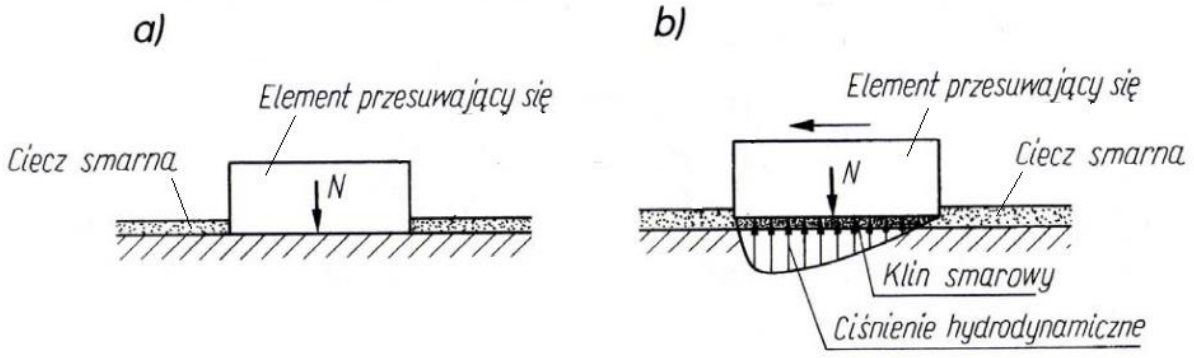
Idealna realizacja funkcji smaru miała by miejsce, gdyby smar tworzył odpowiednio wytrzymałą warstwę, rozdzielającą przemieszczające się względem siebie, dociskane do siebie powierzchnie trące, nie dopuszczające do bezpośredniego wzajemnego oddziaływanie ich mikronierówności.



Rys. 1.19. Smarowanie hydrostatyczne: a) w łożysku ślizgowym promieniowym, b) w łożysku ślizgowym osiowym, c) w prowadnicy płaskiej
[A.Górecki, Z.Grzegórski: Montaż, naprawa i eksploatacja maszyn i urządzeń przemysłowych. WSiP. Warszawa, 2003]

W zależności od metody tworzenia warstwy smarującej rozróżnia się smarowanie:
- hydrostatyczne,
- hydrodynamiczne.

Smarowanie hydrostatyczne polega na dostarczaniu pod ciśnieniem substancji smarującej pomiędzy powierzchnie współpracujących elementów. Umożliwia ono uzyskanie dość stabilnej warstwy smarującej oddzielającej powierzchnie trące. Na rysunku 1.19. zaprezentowano przykłady zastosowania smarowania hydrostatycznego.



Rys. 1.20. Powstawanie klina smarowego przy hydrodynamicznym smarowaniu powierzchni płaskich: a) w spoczynku, b) w ruchu
[A.Górecki, Z.Grzegórski: Montaż, naprawa i eksploatacja maszyn i urządzeń przemysłowych. WSiP. Warszawa, 2003]

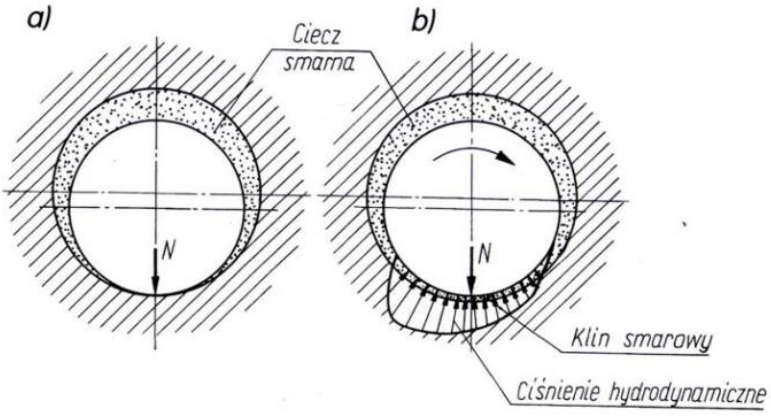
Przy **smarowaniu hydrodynamicznym** nie jest możliwe tworzenie się ciągłej warstwy smarowej podczas rozruchu maszyny. Warstwa smarowa będąca w stanie przenieść zadane obciążenie, tworzy się dopiero po przekroczeniu krytycznej prędkości względnej smarowanych powierzchni, która zależy od: obciążenia, formy i odkształcalności styku oraz lepkości oleju – uzależnionej od temperatury i ciśnienia. Poniżej prędkości krytycznej dochodzi zatem do bezpośredniego siłowego oddziaływania trących powierzchni. Mechanizm smarowania hydrodynamicznego przedstawiony jest na rysunku 1.20.

Jeżeli powierzchnie trące nie wykonują ruchu względem siebie, to w wyniku działania obciążenia zewnętrznego N następuje wyciśnięcie warstwy smaru z przestrzeni między powierzchniami trącymi. W przypadku, gdy powierzchnie trące wykonują względem siebie ruch o odpowiedniej prędkości, to powstaje ciśnienie dynamiczne wytwarzające tzw. klin smarowy, który powoduje odsunięcie od siebie powierzchni trących i zapewnienie stanu tarcia płynnego.

Aby powstał klin smarowy muszą być spełnione następujące warunki:

- między współpracującymi powierzchniami istnieje luz,
- współpracujące powierzchnie wzajemnie się przemieszczają,
- odpowiednio duża ilość substancji smarnej znajduje się pomiędzy współpracującymi powierzchniami.

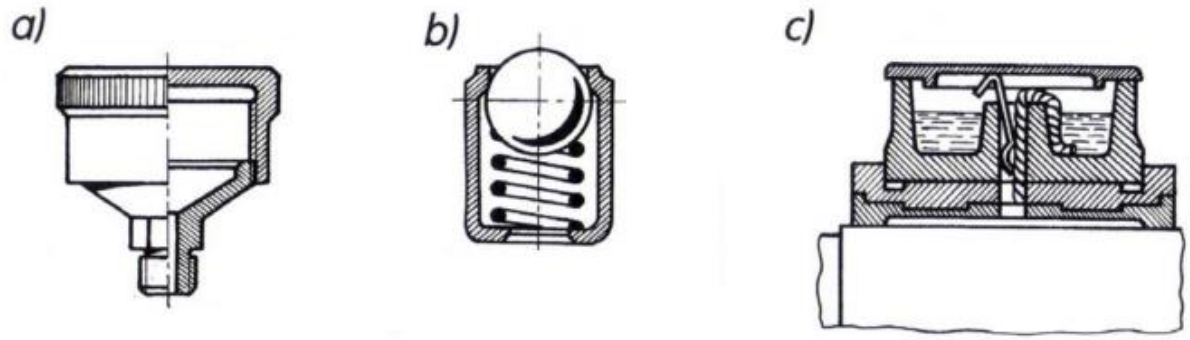
Mechanizm powstawania klina smarowego przy hydrodynamicznym smarowaniu powierzchni obrotowych jest analogiczny jak przy hydrodynamicznym smarowaniu powierzchni płaskich. (rys.1.20.)



Rys. 1.21. Powstawanie klina smarowego przy hydrodynamicznym smarowaniu powierzchni obrotowych: a) w spoczynku, b) w ruchu
[A.Górecki, Z.Grzegórski: Montaż, naprawa i eksploatacja maszyn i urządzeń przemysłowych. WSiP. Warszawa, 2003]

Smarowanie powierzchni trących w maszynach, urządzeniach i narzędziach wykonywane jest ręcznie oraz z wykorzystaniem specjalnych urządzeń. Smarowanie ręczne polega na wkładaniu doraźnie przez pracownika środka smarnego pomiędzy powierzchnie trące za pomocą pędzla lub szpatułki. Stosowane są też układy smarowania: indywidualny i centralny, umożliwiające zagwarantowanie smarowania bez konieczności ciągłego udziału pracownika.

Smarowanie indywidualne charakteryzuje się tym, że każdy punkt smarowania zaopatrzony jest w zbiornik napełniany okresowo środkiem smarnym i z tego zbiornika środek smarny jest dozowany do przestrzeni pomiędzy powierzchniami trącymi. (rys. 1.21.)



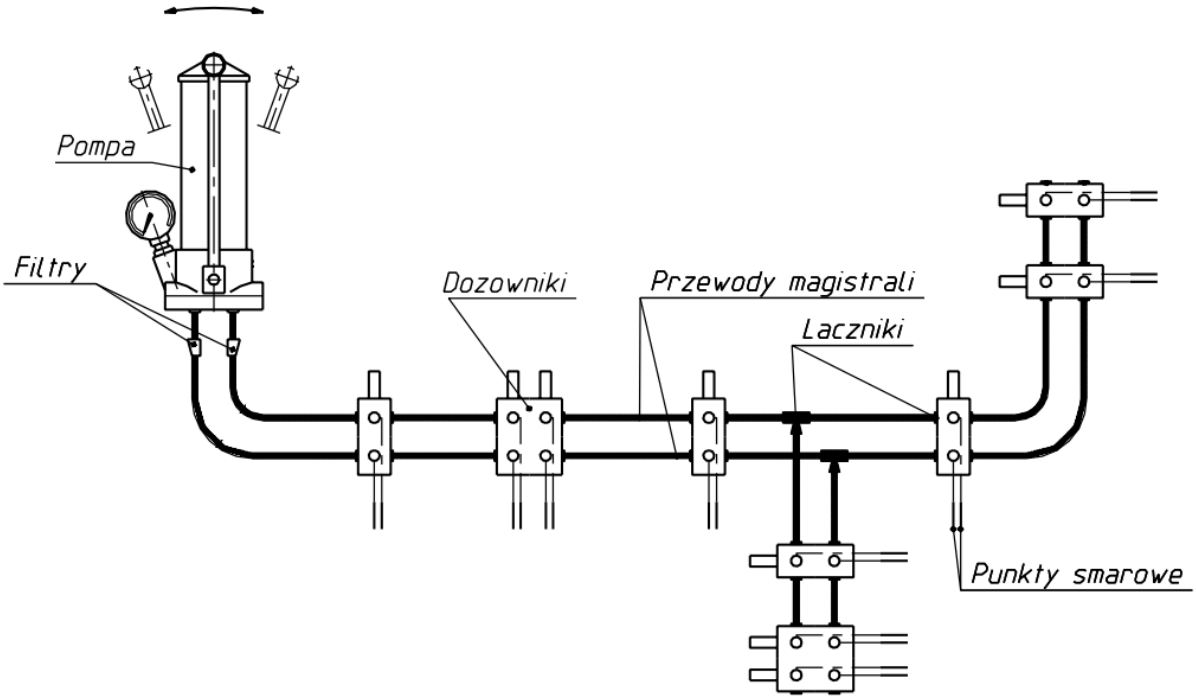
Rys. 1.22. Przykłady smarownic smarowania indywidualnego; a) smarownica wkręcana, b) smarownica kulkowa, c) smarownica knotowa
[opracowano na podstawie: A.Górecki, Z.Grzegórski: Montaż, naprawa i eksploatacja maszyn i urządzeń przemysłowych. WSiP. Warszawa, 2003]

Smarownice smarowania indywidualnego montowane są w punktach smarowania i napełniane środkiem smarnym. W przypadku smarownic kulkowej i wkręcanej środkiem smarnym jest smar o konsystencji żelowej, który jest wtłaczany do smarownic i stopniowo wypychany jest do przestrzeni smarowanej. W przypadku smarownicy knotowej środek smarny ma konsystencję ciekłą i poprzez knot skapuje w postaci kropli na powierzchnie smarowane. Smarownice napełniane są środkiem smarnym okresowo.

Systemy smarowania centralnego w znacznym stopniu ułatwiają realizację procesu smarowania, gdyż eliminują konieczność ciągłego dozoru punktów smarowania maszyn i urządzeń – stosowane są w rozbudowanych konstrukcjach maszyn i urządzeń. Ideą smarowania centralnego jest doprowadzenie do punktów smarowania odpowiedniej ilości substancji smarującej oraz w odpowiednim czasie. Podstawowy system centralnego smarowania składa się co najmniej z następujących części:

- pompa sprężająca środek smarny,
- filtry środka smarnego,
- dozowniki,
- przewody transportujące środek smarny.

Pompa (napędzana ręcznie lub silnikiem) tłoczy środek smarny do przewodów magistrali smarowniczej, a następnie do dozowników dostarczających środek smarny do punktów smarowania. Ciśnienie środka smarnego może przyjmować różne wartości i dzięki temu uzyskuje się różną intensywność dostarczania środka smarnego do punktów smarowania. Systemy smarowania centralnego mogą być zautomatyzowane i eliminować konieczność udziału pracowników w realizacji procesu smarowania. (rys.1.22.)



Rys. 1.23. Schemat działania układu centralnego smarowania
http://www.polna.com.pl/sites/default/files/do-pobrania/polna_katalog_urzadzen_centralnego_smarowania.pdf

Smary stosowane w budowie maszyn, urządzeń i narzędzi mogą być:

- stałe (np. grafit, teflon, miedź),
- o konsystencji żelu(np. smary plastyczne),
- ciekłe(np. oleje smarne, emulsje chłodząco- smarujące),
- gazowe.

WŁAŚCIWOŚCI SMARÓW
[*http://www.mech.pg.gda.pl/katedra/kmip/files/2012/05/Rodzaje_zuzyciaA4.pdf]*

- Lepkość – podstawowa właściwość oleju decydująca o nośności warstwy smarowej i o oporach ruchu. Lepkość maleje ze wzrostem temperatury, a rośnie ze wzrostem ciśnienia.
- Wskaźnik lepkości (indeks wiskozowy) – charakteryzuje szybkość zmian lepkości oleju przy zmianach jego temperatury.
- Piezowspółczynnik lepkości – charakteryzuje wpływ ciśnienia na lepkość.
- Temperatura krzepnięcia.
- Temperatura zapłonu.
- Właściwości przeciwzużyciowe – cecha smaru zapewniająca odporność na zużycie w warunkach tarcia granicznego poprzez tworzenie na smarowanych powierzchniach warstwy zaadsorbowanych cząsteczek oleju.
- Właściwości przeciwzatarciowe – cecha smaru umożliwiająca tworzenie na powierzchniach trących warstwy ciała stałego stanowiącego związek chemiczny. Jest on tworzony bezpośrednio z powierzchnią metalu albo przez substancję aktywną chemicznie znajdującą się w smarze (np. siarka) lub też powstającą wskutek termicznego rozkładu znajdującej się w smarze substancji chemicznie obojętnej.
- Właściwości przeciwkorozyjne.
- Właściwości przeciwutleniające.
- Właściwości przeciwpieniące.
- Właściwości przeciwemulgujące.
- Właściwości dezaktywujące szkodliwe działanie niektórych dodatków na niektóre metale.

Zapobieganie korozji
[http://www.mech.pg.gda.pl/katedra/kmip/files/2012/05/Rodzaje_zuzyciaA4.pdf]

W celu ograniczenia zużycia korozyjnego elementów maszyn, urządzeń i narzędzi stosowane są następujące działania:

- wykonywanie elementów z materiałów odpornych na korozję,
- stosowanie inhibitorów korozji,
- ochrona katodowa,
- stosowanie powłok ochronnych:
  - powłoki organiczne: farby, lakiery, tworzywa sztuczne, smoła i smary,
  - powłoki metaliczne: anodowe, katodowe,
  - powłoki niemetaliczne: oksydowanie, fosforanowanie.

Inhibitory (opóźniacze) korozji tworzą zwykle na powierzchni metalu warstewki ochronne hamujące szybkość korozji.

Zabezpieczenie przed korozją elektrochemiczną stanowi tak zwana *ochrona katodowa* polegająca na połączeniu chronionej konstrukcji z metalem mniej szlachetnym, tworzącym anodę (protektor) ogniwa, natomiast katodą jest obiekt chroniony. Połączenie takiej anody z konstrukcją chronioną wykonuje się przez bezpośredni styk (tzw. powłoki anodowe) lub za pomocą przewodnika. Za pomocą protektorów chroni się przed korozją duże obiekty stalowe, takie jak kadłuby statków, rurociągi i podziemne zbiorniki. Protektorami są blachy lub sztaby wykonane z metali aktywnych jak: cynk, magnez lub glin, połączone przewodami z obiektem chronionym. W utworzonym w ten

sposób ogniwie anodą jest protektor, który ulega korozji. Po zużyciu protektory wymienia się na nowe. Identyczny efekt daje zastąpienie cynku złomem stalowym połączonym z dodatnim biegunem prądu stałego, podczas gdy chroniona konstrukcja połączona jest z biegunem ujemnym.

Powłoki anodowe są wykonane z metali o bardziej ujemnym potencjale elektrochemicznym (mniej szlachetnych) niż metal chroniony. Pokrywanie metali powłokami anodowymi zapewnia chronionemu metalowi ochronę katodową, gdyż powłoka z metalu mniej szlachetnego działa w charakterze anody jako protektor. Jako przykład powłok anodowych można wymienić cynk i kadm. Najważniejszym, praktycznym zastosowaniem powłok anodowych jest pokrywanie stali powłoką cynkową (blachy ocynkowane). W przypadku pokrywania powierzchni stalowych cynkiem w razie pojawienia się rysy lub szczeliny tworzy się ogniwo w którym katodą jest żelazo zaś anodą cynk. W tej sytuacji do roztworu przechodzą jony cynku a nie jony żelaza. Tak więc w przypadku pokrywania metali powłokami anodowymi, powłoka pokrywająca nie musi być idealnie szczelna.

Powłoki katodowe są wykonane z metali bardziej szlachetnych niż metal chroniony. Przykładem powłok katodowych są np. powłoki z miedzi, niklu, chromu, cyny lub srebra. Powłoka katodowa jest skuteczna tylko wówczas, kiedy cała powierzchnia stalowa jest nią szczelnie pokryta. Po utworzeniu szczeliny powstaje mikroogniwo, w którym żelazo jest anodą i ono ulega rozpuszczeniu, co przyspiesza korozję, a metal szlachetny staje się katodą ogniwa. W rezultacie uszkodzenia powłoki katodowej szybkość korozji w miejscu uszkodzenia jest większa niż w przypadku braku powłoki katodowej.

Metaliczne powłoki ochronne mogą być nakładane przez: zanurzenie w ciekłym metalu, platerowanie (zwalcowanie na gorąco), natryskiwanie roztopionego metalu na powierzchnię chronioną i elektrolizę.

Niemetaliczne powłoki ochronne wywoływane są na powierzchni metali przez wytworzenie na niej związku chemicznego w wyniku zabiegów chemicznych jak:

- utlenianie (oksydowanie) mające na celu wytworzenie na chronionym metalu pasywnych warstewek tlenkowych
- fosforanowanie za pomocą kwasu fosforowego (tworzą się trudno rozpuszczalne fosforany metali)

Do niemetalicznych powłok ochronnych zalicza się również emalie szkliste, które wyróżniają się dobrą odpornością na działanie alkaliów, kwasów a także na działanie rozpuszczalników organicznych i na działanie podwyższonych temperatur.

Bibliografia:

1. Górecki A: Technologia ogólna. Podstawy technologii mechanicznych. WSiP. Warszawa, 2012
2. Górecki A,, Grzegórski Z.: Montaż, naprawa i eksploatacja maszyn i urządzeń przemysłowych. WSiP, Warszawa, 2003
3. Legutko S.: Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń. WSiP, Warszawa,2011
4. Praca zbiorowa: Poradnik mechanika. WNT, Warszawa,2000
5. Solis H., Lenart T.: Technologia i eksploatacja maszyn. WSiP, Warszawa, 1996
6. Zawora J.: Podstawy technologii maszyn. WSiP, Warszawa,2012

Netografia:

1. http://iim.p.lodz.pl/materialy-dydaktyczne - Materiały dydaktyczne dotyczące nauki o materiałach
2. http://kpt.wm.am.gdynia.pl/doc/PKM_I_w04_(tarcie_i_smary).pdf - Prezentacja dotycząca tarcia i smarów
3. http://www.polna.com.pl/sites/default/files/do-pobrania/polna_katalog_urzadzen_centralnego_smarowania.pdf - Katalog urządzeń Zakładów Automatyki "POLNA"
4. http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Mechanizm_pasywacji.svg - Schemat mechanizmu pasywacji
5. http://www.zpid.utp.edu.pl/e-ksiazki/5/R4.PDF - Fizyczne aspekty diagnostyki
6. http://www.z-spaw.zut.edu.pl/lab_pliki/Instrukcja_Inzynieria_powierzchni_i_techniki_spawalnicze_w_inzynierii_powierzchni_MiBM_S2.pdf - Michał Kawiak: Inżynieria powierzchni i techniki spawalnicze w inżynierii powierzchni