

POLITECHNIKA  **BIAŁOSTOCKA**

WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA



KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

PODSTAWY TECHNIKI I TECHNOLOGII

Kod przedmiotu: **IS01123, IN01123**

Numer ćwiczenia: **10**

Temat: **Zastosowanie metod makroskopowych do oceny zużycia elementów maszyn**

Opracowanie:

mgr inż. Elżbieta Krawczyk-Dembicka

Białystok 2015

1. WPROWADZENIE

1.1. Badania makroskopowe

Badania makroskopowe często traktowane są jako badania wstępne do dokładniejszych badań mikroskopowych. Polegają one na obserwacji powierzchni zewnętrznej zgładów lub przełomów badanych elementów przy pomocy lupy o powiększeniu nie przekraczającym 30x lub okiem nieuzbrojonym. Ponieważ przy badaniach makroskopowych obserwuje się większe przekroje i powierzchnie, a niekiedy nawet całe przedmioty, pozwala to na wstępną ocenę struktury oraz rozmieszczenia różnego rodzaju wad i zniekształceń w badanym przedmiocie lub półfabrykacie.

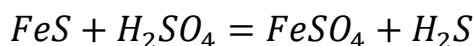
Badania makroskopowe mają na celu:

1. Określenie stopnia naruszenia spójności metali, spowodowanego obecnością wtrąceń niemetalicznych, pęcherzy gazowych, rzadziwności materiałowych, zawałców, pęknięć itp., które można ujawnić na zgładzie, na przełomie oraz niekiedy na powierzchniach zewnętrznych badanego elementu.
2. Ujawnienie struktury pierwotnej, tzn. struktury powstałej podczas krzepnięcia i widocznej na zgładach trawionych albo na przełomach.
3. Ujawnienie włóknistości metali i stopów powstałej w rezultacie przeróbki plastycznej. Włóknistość widzimy najczęściej na zgładach trawionych, po zadziałaniu odczynnikami trawiącymi, a rzadziej bezpośrednio na przełomie.
4. Ujawnienie na zgładach trawionych miejsc odkształconych, w przypadku gdy nastąpiło przekroczenie granicy plastyczności.
5. Określenie niejednorodności struktury lub składu chemicznego spowodowanej obróbką cieplną (np. hartowanie powierzchniowe) obróbką cieplno-chemiczną (np. nawęglanie) oraz powiązania powłok ochronnych z podłożem. Powyższe można zauważyć na zgładach trawionych, jak również na przełomach.
6. Określenie jakości spoin i zgrzein. Wady spoin i zgrzein wyszukiwać należy na zgładach poprzecznych i podłużnych spoin oraz oglądając lico spoin.
7. Określenie wielkości ziarn ujawnionych na zgładach trawionych jak również na przełomach.

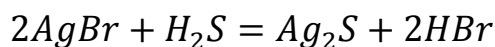
Etapem poprzedzającym przeprowadzenie badań makroskopowych, jak również badań mikroskopowych, jest odpowiednie przygotowanie próbki, czyli tzw. zgładu. Miejsce pobrania próbek nie może być przypadkowe. Dobór właściwego przekroju do obserwacji zależy bowiem od sposobu wykonania badanej części, jej wielkości oraz od celu realizowanego badania. Z przedmiotów odlewanych próbki pobiera się najczęściej w płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni, natomiast z przedmiotów po przeróbce plastycznej, przynajmniej po jednej próbce w kierunku równoległym i prostopadłym do kierunku przebiegu włókien w materiale. Szlify z przedmiotów spawanych wykonuje się na

przekrojach poprzecznych i podłużnych. Przeznaczone do obserwacji powierzchni zgładów po wygładzeniu szlifuje się papierami ściernymi o różnej ziarnistości, a następnie poddaje trawieniu. Najczęściej wystarczy zakończyć szlifowanie papierami ściernymi o ziarnistości 320. W szczególnych przypadkach wymagana jest ziarnistość papieru drobniejsza lub nawet polerowanie. Do trawienia próbek stosuje się zwykle roztwory wodne kwasów nieorganicznych lub soli, przy czym niektóre z nich używane są do głębokiego trawienia, a inne do powierzchniowego. Rodzaj odczynnika trawiącego oraz sposób trawienia dobierany jest każdorazowo, w zależności od rodzaju, postaci i stanu materiału oraz od rodzaju badań. Wykrywanie niektórych uszkodzeń nie wymaga specjalnego przygotowania próbki, analizy uszkodzeń można dokonać obserwując np. szlify i powierzchnie przedmiotów. W ten sposób możliwe jest wykrywanie nieciągłości w materiale spowodowanych przez pory, jamy skurczowe, rzadziny w odlewach, zawalcowanie, wady spawania, pęknięcia podczas obróbki cieplnej itp. Jednak w przypadku, kiedy występują wady ukryte, niezbędne jest użycie silnie trawiących odczynników (np. odczynnika Jacewicza). Wykrywanie niejednorodności struktury i składu chemicznego przeprowadzać można za pomocy odczynników miedziowych lub odczynnika Baumanna. Odczynniki te oddziałują na pierwiastki wykazujące dużą skłonność do likwidacji, tzn. na węgiel, fosfor i siarkę.

Jednym ze sposobów makroskopowego badania stali, służącym głównie do wykrywania w niej zanieczyszczeń spowodowanych siarką i fosforem, jest tzw. próba Baumanna. Polega ona na tym, że zeszlifowaną na drobnym popierze ściernym i dobrze obmytą w strumieniu wody próbkę stali (np. wycinek śruby, nita, czy też haka) kładzie się na okres 2-3 minut na zwykły bromosrebrowy papier fotograficzny, zwilżony uprzednio 2-5% roztworem wodnym kwasu siarkowego i ułożony emulsją do góry na szklanej płycie. Kwas siarkowy, który jest zawarty w papierze, po zetknięciu się z próbką, działa na siarczki w niej zawarte w myśl reakcji:



W wyniku zachodzących reakcji chemicznych następuje wydzielanie się siarkowodoru, który reaguje z bromkiem srebra zawartym w papierze fotograficznym:

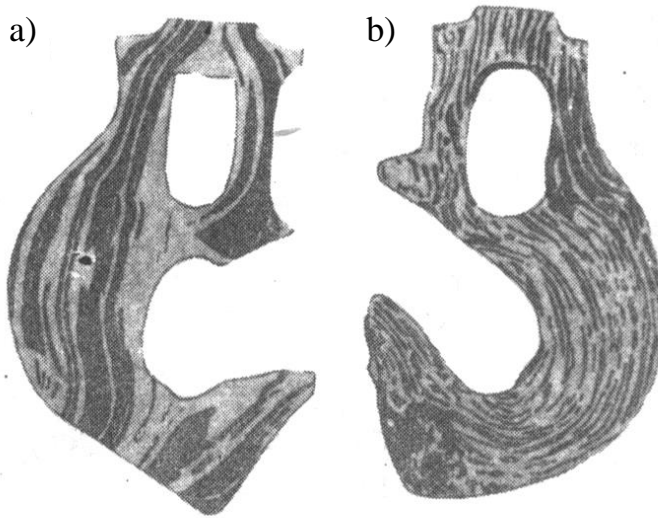


i tworzy na papierze fotograficznym czarny obraz siarczku srebra ukazujący rozmieszczenie zanieczyszczeń w badanym materiale (Rys. 1). Kolejnym krokiem jest wypłukanie odbitki w czystej wodzie i utrwalenie jej w normalnym utrwalaczu w ciągu dziesięciu minut, po czym ponownie należy płukać ją w wodzie przez około 0,5 h i wysuszyć.



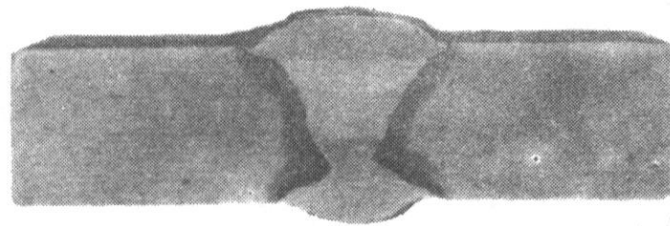
Rys. 1. Wynik próby Baumanna.

Na Rys. 2 przedstawiono wyniki próby ukazującej dwa podłużne przekroje haków, z których jeden a) jest wycięty zgrubej walcowanej blachy, a drugi b) – kutego. Włóknista budowa zanieczyszczeń, występująca wyraźnie w haku pierwszym, pozwala łatwo odróżnić hak wycięty z blachy od haka kutego.



Rys. 2. Wynik próby Baumanna ukazujący makrostrukturę haka: a) wyciętego z grubej walcowanej blachy, b) kutego.

Innym badaniem makroskopowym, służącym do oceny połączeń spawanych jest tzw. próba Adlera. Przeprowadza się ją przy użyciu odczynnika Adlera, który w wyniku działania trawiącego pozwala ujawnić wielkość i kształt spoiny, jakość wykonania spoiny, określić strefę wpływu ciepła itp. (Rys. 3). Próba polega na naniesieniu na powierzchnię przygotowanego zglądu niewielkiej ilości głęboko trawiącego odczynnika Adlera i pozostawieniu go przez krótką chwilę, do momentu ujawnienia obrazu spoiny. Następnie należy starannie wypłukać próbkę pod bieżącą wodą i wysuszyć.



Rys. 3. Makrostruktura połączenia spawanego ujawniona w wyniku trawienia odczynnikiem Adlera.

1.2. Zużycie materiałów

Trybologia jest nauką o tarcii i procesach towarzyszących tarcii. Zajmuje się ona opisem zjawisk fizycznych (mechanicznych, elektrycznych, magnetycznych itp.),

chemicznych, biologicznych i innych w obszarach tarcia. Jednym ze skutków tarcia jest tribologiczne zużycie materiałów.

Zużyciem trybologicznym nazywamy ubytek objętości warstwy wierzchniej powierzchni trącej spowodowany (jedno- lub wielokrotnym) oddziaływaniem powierzchni współpracującej, bezpośrednio lub za pośrednictwem substancji stałych, ciekłych lub gazowych znajdujących się pomiędzy tymi powierzchniami. Jest ono wynikiem procesu ciągłych, niszczących zmian pierwotnego stanu masy, składu chemicznego, struktury i stanu naprężenia materiału powierzchniowej warstwy elementów maszyn, spowodowanego oddziaływaniem elementów współpracujących i środowiska.

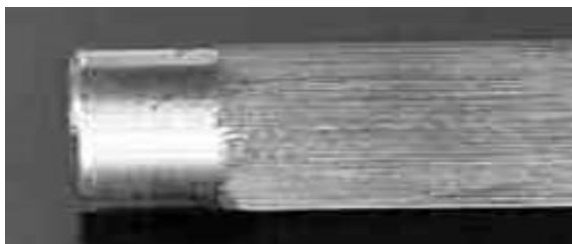
Najczęściej podziału zużycia trybologicznego dokonuje się według kryterium dominującego procesu niszczenia powierzchni tarcia. Główne rodzaje zużycia to:

- zużycie ściernie (abrazyjne)
- zużycie adhezyjne
- scuffing
- zużycie z udziałem utleniania (korozja)
- zużycie zmęczeniowe.

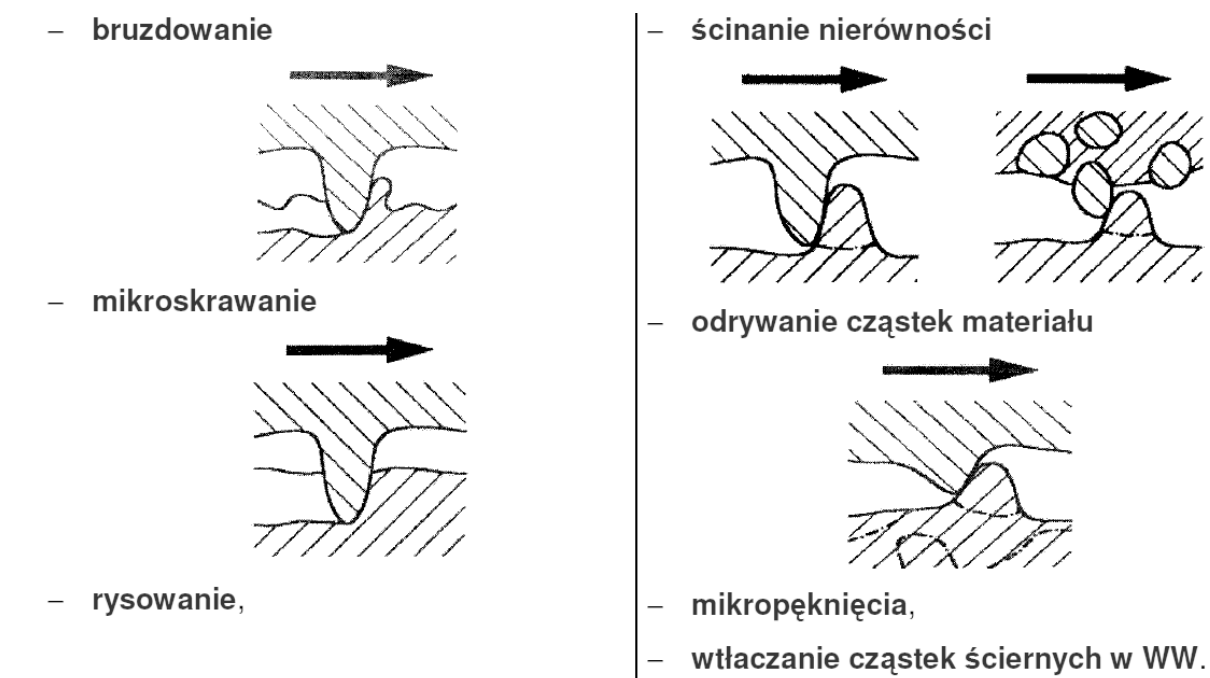
Zużycie ściernie występuje wtedy, gdy w obszarach tarcia współpracujących elementów znajdują się utwardzone albo luźne cząstki ścierniwa, jak też wystające nierówności twardego materiału. Może ono być spowodowane przez:

- ziarna umocowane we współpracujących powierzchniach,
- luźne pojedyncze ziarna ściernie, w tym także powstające w wyniku utleniania produktów zużycia,
- warstwę ścierną występującą między współpracującymi powierzchniami,
- strumień ścierny, tj. strumień płynu, w którym są zawieszane cząstki ścierniwa,
- ścieranie w środowisku ściernym, gdy styk ziarna ze ścierną powierzchnią następuje pod działaniem sił wykonujących pracę ścierania i zgniatania materiału ścierniwa.

Wygląd powierzchni będącej wynikiem zużycia ściernego przedstawiono na Rys. 4, natomiast rodzaje skutków zużycia ściernego przedstawiono na Rys. 5.



Rys. 4. Powierzchnia po zużyciu ściernym



Rys. 5. Skutki zużycia ściernego.

Zużycie adhezyjne (szepianie adhezyjne) określa je jako powstawanie silnych oddziaływań między trącymi się metalami. Jest ono również definiowane jako lokalne połączenie dwóch ciał stałych na skutek działania sił molekularnych zachodzących przy tarcu, czy też jako zjawisko połączenia się powierzchni styku trących się ciał, wywołane międzycząsteczkowym przyciąganiem materiału obu ciał. Szepianie adhezyjne należy jednak rozumieć jako zjawisko łączenia trących się metali w mikroobszarach elementarnych styków, z wyłączeniem etapu ich niszczenia.



Rys. 6. Powierzchnia po zużyciu adhezyjnym

Szepianiu adhezyjnemu sprzyja:

- podobieństwo struktury krystalicznej,
- zbliżone wartości parametrów sieci,
- podwyższona temperatura (zwiększa skłonność do szepiania się elementów z tego samego metalu lub metali o zbliżonej strukturze krystalicznej),
- zgniot,

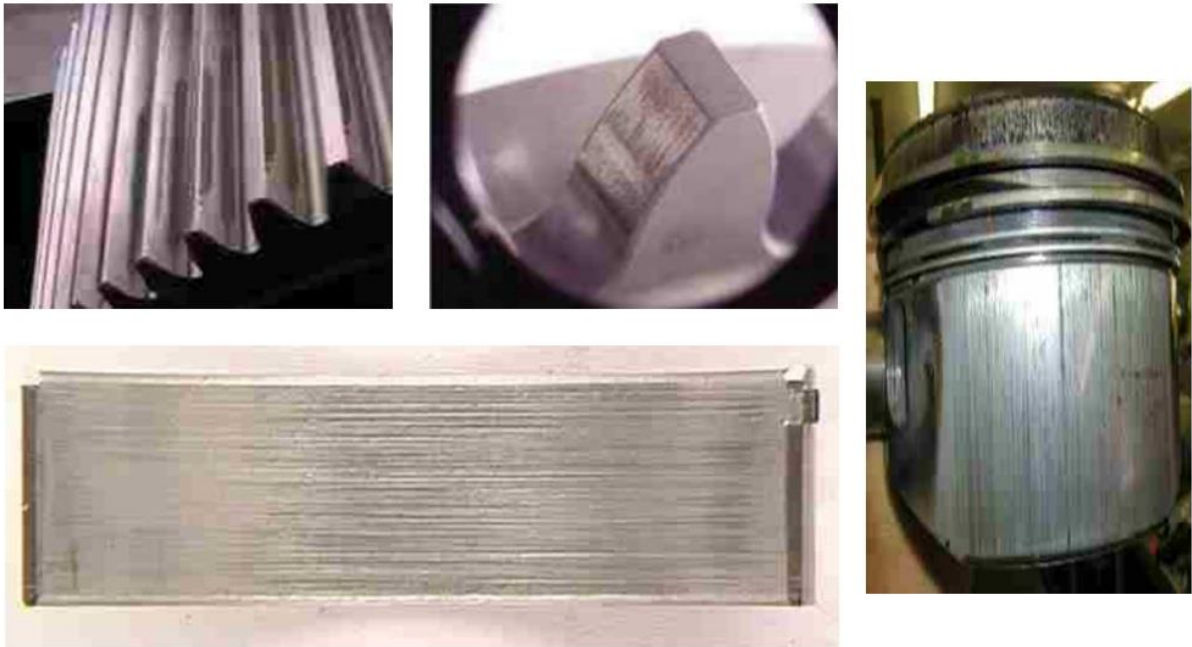
- sprężyste odkształcenie sieci;
- praca elementów przy małych prędkościach i pod wpływem dużych nacisków.

W ogólnym przypadku niszczenie szepień może odbywać się na trzy sposoby:

- bez oddzielenia materiału,
- z przenoszeniem cząstek bardziej miękkiego materiału na twardszy element i pokrycie go ciągłą warstwą materiału o mniejszej wytrzymałości,
- z oddzielaniem cząstek materiału z trących się elementów.

Całkowita siła przyciągania adhezyjnego zależy od rzeczywistej powierzchni styku wartości sił międzycząsteczkowych. Przyciąganie adhezyjne bez trwałych wiązań międzypowierzchniowych nie powoduje zużycia.

Scuffing to gwałtowne zużycie spowodowane zachwianiem równowagi termicznej i mechanicznej w wyniku przerwania warstwy olejowej, polegające na zaczepianiu nierówności powierzchni i podwyższeniu temperatury w warunkach, gdy warstwa olejowa istnieje, lecz jest zbyt cienka w stosunku do wysokości nierówności. Ten rodzaj zużycia łączy w sobie elementy zużycia ściernego i adhezyjnego i polega na szepianiu się i następnym rozrywaniu połączeń wierzchołków nierówności w mikroobszarach styku. Przykłady scuffingu przedstawiono na Rys. 7.



Rys. 7. Makrostruktura powierzchni po scuffingu

W przypadku gdy intensywność niszczenia powierzchni przez ścieranie jest mniejsza od intensywności tworzenia warstw tlenków, występuje *zużycie z udziałem utleniania*.

Zużycie to polega na niszczeniu warstwy wierzchniej metali i stopów w warunkach tarcia w wyniku oddzielania warstw tlenków utworzonych w strefie tarcia wskutek adsorpcji tlenu oraz warstw roztworów stałych powstałych następnie w wyniku dyfuzji tlenu w odkształcone plastycznie lub sprężycie obszary metalu. Zużycie z udziałem utleniania występuje przy tarcu ślizgowym i tocznym. Przy tarcu tocznym, zużyciu z udziałem utleniania zawsze towarzyszy zużycie zmęczeniowe. Natomiast przy tarcu ślizgowym zużycie przez utlenienie występuje w przypadku tarcia granicznego oraz tarcia technicznego suchego. Intensywność procesu zużycia przez utlenienie zależy od:

- chemicznej aktywności metalu,
- plastyczności trących metali,
- szybkości dyfuzji tlenu do metalu,
- własności utworzonych warstw tlenków.

Ostatecznie można stwierdzić, że intensywność procesów zużycia przez utlenienie jest zależna od charakterystyk procesu tarcia. Przykładem tego rodzaju zużycia jest *korozja*.

Zużycie zmęczeniowe powstaje na skutek cyklicznego oddziaływania naprężeń kontaktowych w warstwach wierzchnich współpracujących elementów tarcowych. Naprężenia te wywołują miejscową utratę spójności i związane z tym ubytki materiału. Ubytek masy następuje dopiero po przekroczeniu przez poszczególne mikroobszary materiału granicznej liczby cykli obciążenia i granicy zmęczenia. Ubytek masy poprzedzony jest powstawaniem mikropęknięć, a następnie makropęknięć materiału. Zużycie zmęczeniowe może być:

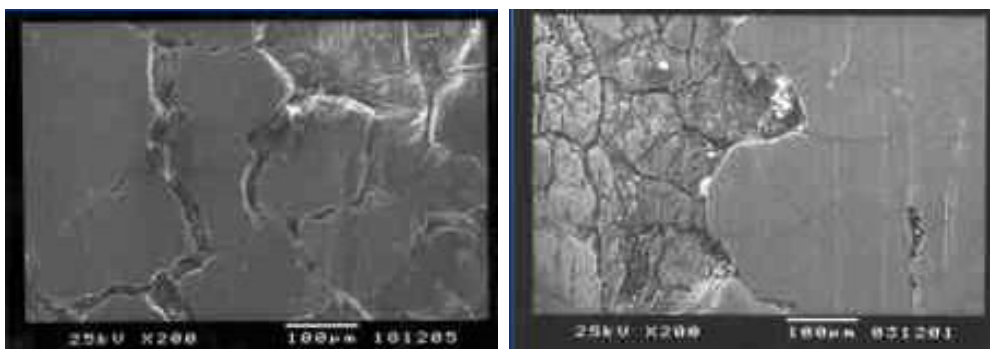
- powierzchniowe, charakteryzujące się miejscowymi ubytkami warstwy wierzchniej,
- objętościowe, związane z tworzeniem się pęknięć zmęczeniowych.

Wyróżniamy dwa rodzaje zużycia zmęczeniowego:

- zużycie przez łuszczenie (*spalling*)
- zużycie gruzelkowate (*pitting*).

Zużycie przez łuszczenie (*spalling*) polega na stopniowym narastaniu naprężeń w warstwie wierzchniej skojarzonych elementów tarcowych (toczenie lub toczenie z poślizgiem) przy suchym styku w granicach naprężeń Hertza, w wyniku cyklicznego oddziaływania naprężeń kontaktowych, a następnie na tworzeniu się mikropęknięć i rozprzestrzenianiu się ich, powodujący odpadnięcie cząstki materiału od podłoża. Może ono wystąpić również w elementach niedostatecznie smarowanych. Objawia się miejscowymi ubytkami materiału o kształcie łusek oddzielanych podczas tarcia od podłoża. W procesie zużywania przez łuszczenie materiał warstwy wierzchniej umacnia się pod wpływem plastycznych odkształceń, których wartość wyraźnie się zwiększa oraz rośnie gradient

naprężeń. Obraz mikrostruktury powierzchni, przedstawiający charakterystyczne dla zużycia przez łuszczenie ubytki materiału przedstawiono na Rys. 8.

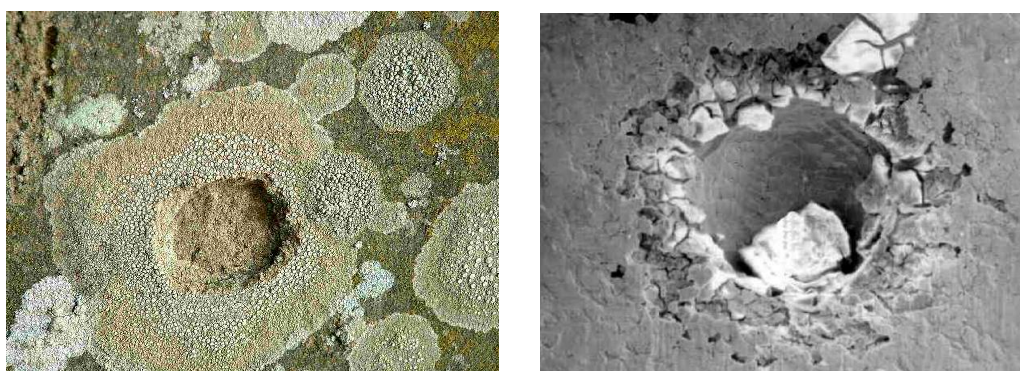


Rys. 8. Mikrostruktura powierzchni po zużyciu przez łuszczenie (*spalling*)

Zużycie gruzelkowe (*pitting*) jest zużyciem zmęczeniowym, spowodowanym cyklicznym oddziaływaniem naprężeń kontaktowych powstających w warstwach wierzchnich elementów skojarzeń tarcowych (toczenie lub toczenie z poślizgiem) przy smarowanym styku w granicach naprężeń Hertza. Jest to więc zużycie zmęczeniowe występujące w obecności oleju. W przebiegu procesu tego typu zużycia można wymienić trzy charakterystyczne etapy:

- zmęczenie materiału i inicjacja pęknięć,
- rozwój i rozprzestrzenianie się pęknięć w wyniku rozklinowującego działania oleju,
- wrywanie przez olej cząstek metalu, które zmniejszyły lub utraciły spójność z macierzystym materiałem.

Obraz mikrostruktury powierzchni zniszczonej w wyniku pittingu przedstawiono na Rys. 9.



Rys. 9. Mikrostruktura powierzchni po zużyciu gruzelkowym (*pitting*)

2. CEL I ZAKRES ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z rodzajami badań makroskopowych i sposobami ich przeprowadzania.

Zakres ćwiczenia obejmuje przeprowadzenie badań makroskopowych za pomocą oka nieuzbrojonego i mikroskopu stereoskopowego o powiększeniu rzędu $7\div 45x$ służących określeniu rodzajów zużycia i analizie przyczyn zużywania elementów maszyn.

3. PRZEBIEG ĆWICZENIA

- 1) Zapoznanie się ze stanowiskiem badawczym
- 2) Wykonanie pomiarów elementów maszyn
- 3) Wykonanie szkiców makrostruktur badanych elementów maszyn wraz z opisem charakterystycznych stref oraz wskazaniem miejsca i rodzaju ewentualnych wad
- 4) Opracowanie wniosków na podstawie przeprowadzonych badań
- 5) Wykonanie pisemnego sprawozdania z przebiegu ćwiczenia

Stanowisko pomiarowe:

Elementy maszyn

Mikroskop stereoskopowy MSZ200



Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Imiona, nazwiska, kierunek i rok studiów oraz nr grupy laboratoryjnej członków zespołu
2. Temat ćwiczenia
3. Datę wykonania ćwiczenia
4. Krótki opis stosowanej metody badawczej
5. Schemat stanowiska
6. Wyniki wykonanych pomiarów
7. Wnioski z przeprowadzonego ćwiczenia

Przykładowe pytania kontrolne:

1. Podaj definicję badań makroskopowych.
2. Cele badań makroskopowych.
3. Opisz próbę Baumanna.
4. Opisz próbę Adlera.
5. Podaj definicję zużycia tribologicznego.
6. Wymień i krótko scharakteryzuj rodzaje zużycia.

Przepisy BHP

1. Prowadzący ćwiczenia laboratoryjne, przed przystąpieniem do ćwiczenia, zapoznaje studentów z obsługą stanowiska. Kontrolę przestrzegania przez studentów instrukcji BHP (przedstawioną na zajęciach wprowadzających) pełni prowadzący zajęcia.
2. Studenci obsługują stanowisko pod nadzorem prowadzącego.
3. Stanowiska niebezpieczne pod względem BHP obsługuje prowadzący, a w przypadku konieczności, po udzieleniu osobnego instruktażu, dopuszcza do obsługi stanowiska konieczną ilość studentów.
4. Studenci odbywający ćwiczenia zobowiązani są do zachowania maksymalnej ostrożności i uwagi przy obsłudze stanowiska i absolutnego stosowania się do zaleceń prowadzącego.
5. Podczas pobytu przy stanowisku laboratoryjnym zabrania się studentom wykonywania jakichkolwiek czynności, które nie są związane z realizowanym ćwiczeniem.

Literatura przedmiotu

1. M. Blicharski, *Inżynieria materiałowa – stal*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004.
2. U. Fischer, M. Heinzler, F. Näher, H. Paetzold, R. Gomeringer, R. Kilgus, S. Oesterle, A. Stephan, oprac. merytor. wersji pol. J. Potrykus [tł. z niem.], *Poradnik mechanika*, Wydawnictwo REA, Warszawa 2014.
3. A. Górecki, *Technologia ogólna: podstawy technologii mechanicznych*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 2014.
4. S. Rudnik, *Metaloznawstwo*, WN PWN, Warszawa 1996.