

Materiały konstrukcyjne 1 – laboratorium

ĆWICZENIE NR 2

BADANIE METALOGRAFICZNE PRÓBEK RÓŻNYCH RODZAJÓW STALI

Celem ćwiczenia jest badanie próbek różnych rodzajów stali przy użyciu mikroskopu metalograficznego.

1. Wprowadzenie teoretyczne

Badania mikroskopowe polegają na pobraniu próbki z badanego wyrobu, wyszlifowaniu i wypolerowaniu wybranej powierzchni tj. wykonaniu tzw. zglądu metalograficznego, który po właściwym wytrawieniu poddaje się obserwacji mikroskopowej. Celem badań metalograficznych na mikroskopie świetlnym jest ujawnienie struktury metali i ich stopów oraz wad niewidocznych okiem nieuzbrojonym. Pozwalają one na rozróżnienie składników strukturalnych i określenie ich morfologii, ilości, wymiarów i rozmieszczenia.

Stopy metali

Stop - substancja składająca się z metalu stanowiącego osnowę, do której wprowadzono co najmniej jeden pierwiastek (metal lub niemetal), wykazująca cechy metaliczne.

Czyste metale są w technice stosowane stosunkowo rzadko. Powszechne zastosowanie znajdują stopy metali - w wielu przypadkach wykazujące lepsze własności niż czyste metale.

Stopy są substancjami dwu- lub wieloskładnikowymi, makroskopowo wykazującymi własności metaliczne. Co najmniej jeden z głównych składników stopu jest metalem. Składniki stopów to: **pierwiastki, roztwory stałe, fazy międzymetaliczne i międzywęzłowe**

Stopy metali charakteryzują się **wiązaniem metalicznym** jako jedynym lub występującym oprócz innych rodzajów wiązań. Skład chemiczny stopów jest wyrażony przez:

- stężenie masowe składników,
- stężenie atomowe składników.

Stosunek masy danego składnika do całej masy stopu podany w procentach określa jego **stężenie masowe**. Udział atomów składnika w ogólnej liczbie atomów stopu wyrażony procentowo stanowi **stężenie atomowe** składnika.

Fazy

Faza - jednorodna część stopu, oddzielona od reszty stopu powierzchnią rozdziału, zwaną granicą faz. Na granicy faz skład i właściwości zmieniają się w sposób nieciągły (skokowy).

Rodzaje faz: stałe, ciekłe, gazowe

Stopy mogą mieć strukturę **jedno- lub wielofazową**. Poszczególne fazy stopu zwykle dość znacznie różnią się między sobą własnościami. Liczba, rodzaj i własności faz są uzależnione

od składu chemicznego stopu. Zbiór faz znajdujących się w stanie równowagi termodynamicznej jest nazywany **układem**.

Stopy metali są wytwarzane głównie przez topienie i krystalizację ze stanu ciekłego. W wyniku tych procesów z cieczy, będącej zwykle roztworem wszystkich składników stopu, mogą powstać:

- roztwory stałe,
- fazy międzymetaliczne,
- mieszaniny faz.

Roztwór stały - jednorodna faza o wiązaniu metalicznym i strukturze krystalicznej, czego skutkiem są właściwości metaliczne.

Metal, którego atomy występują w sieci w przewodzie, jest rozpuszczalnikiem. Drugi składnik jest nazywany pierwiastkiem rozpuszczonym.

Roztwory stałe i ich składniki

Roztwór stały stanowi jednorodną fazę o wiązaniu metalicznym i strukturze krystalicznej o własnościach typowo metalicznych.

Roztwory stałe podstawowe i wtórne

Roztwory stałe mogą być:

- podstawowe,
- wtórne.

Roztwory podstawowe: gdy rozpuszczalnikiem jest pierwiastek będący składnikiem stopu.

Roztwory wtórne: gdy rozpuszczalnikiem jest faza międzymetaliczna.

Roztwory stałe podstawowe zachowują strukturę sieciową taką samą, jak czysty metal rozpuszczalnika. W zależności od zakresu stężenia składnika rozpuszczonego roztwory stałe mogą być podzielone na:

- graniczne,
- ciągle.

Roztwór stały podstawowy występuje zwykle w pewnym zakresie stężeń zmniejszających się od 100% rozpuszczalnika. Jeżeli stężenie składnika rozpuszczonego jest ograniczone w pewnym zakresie, roztwór stały jest nazywany roztworem stałym **granicznym**. W przypadku nieograniczonej rozpuszczalności obydwu składników w stanie stałym w całym zakresie stężeń, tj. od 0 do 100%, roztwór stały jest roztworem stałym **ciągłym**.

Czynniki decydujące o tworzeniu roztworów stałych

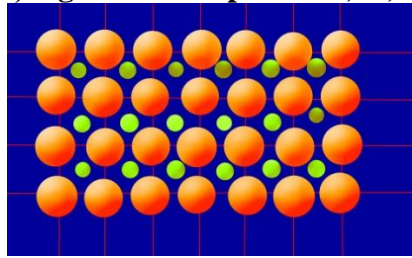
Czynniki decydujące o tworzeniu roztworów stałych można ująć w formie czterech reguł:

- elektrowartościowości ujemnej,
- typów sieci,
- wielkości atomów,
- względnych wartościowości.

Z uwagi na usytuowanie metalu rozpuszczalnika i metalu rozpuszczonego roztwory stałe dzielimy na roztwory stałe **międzywęzłowe** i roztwory stałe **różnowęzłowe**.

Roztwory międzywęzłowe powstają, gdy atomy pierwiastka stopowego mają małą średnicę i mogą w sieci krystalicznej metalu podstawowego zajmować pozycje międzywęzłowe. Pierwiastkami takimi są azot, wodór, węgiel i bor. Wszystkie inne pierwiastki stopowe tworzą roztwory różnowęzłowe, tzn. atomy pierwiastka stopowego zajmują w sieci krystalicznej położenie węzłowe zastępując atomy pierwiastka podstawowego. W obu przypadkach obce atomy tworzą określone defekty punktowe. Ich ilość i wielkość są funkcjami rodzaju i zawartości pierwiastka stopowego w stopie.

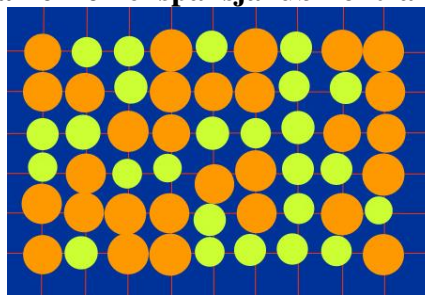
Roztwory stałe międzywęzłowe (atomy składnika rozpuszczonego znajdują się między węzłami sieci rozpuszczalnika) – graniczne: np. Fe z B, O, C, H, N.



Roztwór międzywęzłowy np. roztwór C w Fe

Roztwory międzywęzłowe są roztworami granicznymi; zawsze ma miejsce ekspansja sieci. Tworzą je metale przejściowe (np. Fe, Ti) z pierwiastkami niemetalicznymi o bardzo małych promieniach atomowych (H, C, N).

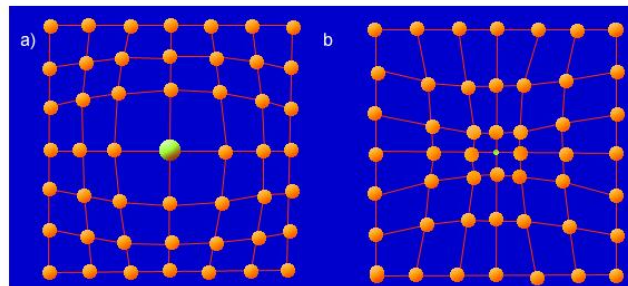
Roztwory stałe różnowęzłowe (atomy rozpuszczalnika i składnika rozpuszczonego w węzłach sieci) - ciągle lub graniczne - ekspansja lub kontrakcja sieci.



Roztwór stały różnowęzłowy

Roztwory różnowęzłowe mogą być:

- **ciągłe (dowolne proporcje atomów rozpuszczalnika i pierwiastka rozpuszczonego) lub**
- **graniczne (ograniczona rozpuszczalność pierwiastka rozpuszczonego); zawsze ma miejsce ekspansja lub kontrakcja sieci.**



Schemat deformacji sieci roztworu stałego różnowęzłowego, wywołanej przez atom pierwiastka rozpuszczonego: **a) ekspansja, b) kontrakcja**

Stopy jednofazowe o strukturze roztworów stałych wykazują zwykle wyższe właściwości wytrzymałościowe niż czyste metale. Umocnienie poprzez tworzenie się roztworu stałego (obecność pierwiastków rozpuszczonych w sieci rozpuszczalnika) wiąże się z działaniem jednego lub kilku mechanizmów dyslokacyjnych:

- blokowaniem dyslokacji w położeniach wyjściowych, zmniejszeniem szybkości ruchu dyslokacji w wyniku zwiększenia naprężenia tarcia sieci,
- utrudnieniem w pokonywaniu przeszkód przez dyslokacje w wyniku ograniczenia poślizgu poprzecznego.

Fazy międzymetaliczne

W opisanych wyżej typach stopów jako oddzielne występowały bądź czyste metale, bądź roztwory stałe nieograniczone lub ograniczone. Składniki stopu w stanie stałym mogą jednak

tworzyć też tzw. **fazę międzymetaliczną**, charakteryzującą się odmienną siecią krystaliczną niż sieci krystaliczne jej składników.

Fazy międzymetaliczne są połączeniami metali lub metali z niemetalami i wykazują własności metaliczne ze względu na częściowy lub całkowity udział wiązania metalicznego między atomami wchodzącymi w skład fazy. Charakterystyczne cechy faz międzymetalicznych opisują cztery zasady:

- struktura krystaliczna faz międzymetalicznych różni się od struktury każdego ze składników,
- atomy każdego ze składników wykazują uporządkowane rozmieszczenie w sieci krystalicznej,
- w oddziaływaniach między atomami występuje przewaga wiązania metalicznego,
- wzajemne stosunki ilościowe atomów składników rzadko odpowiadają wartościowościom chemicznym pierwiastków, jakie wykazują one w związkach chemicznych, chociaż fazom można przypisać wzory podobne do wzorów związków chemicznych.

Z reguły sieć krystaliczna fazy międzymetalicznej jest bardzo skomplikowana, co powoduje jej dużą twardość i kruchość.

Mieszanie faz

Stanem stopu, występującym bardzo często, jest mieszanina faz. O mieszaninie faz mówi się wtedy, gdy w stopie znajdują się co najmniej dwie fazy w stanie rozdrobnienia, oddzielone od siebie granicami międzyfazowymi. Każda faza ma przy tym określone, właściwe sobie, skład chemiczny, strukturę krystaliczną i własności. Mieszanie faz mają zwykle lepsze własności wytrzymałościowe i mniejszą plastyczność od poszczególnych faz.

Podział stali i ich oznaczenia

Stal to stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, obrabiany plastycznie i cieplnie, otrzymywany w procesach stalowniczych ze stanu ciekłego. Na ogół zawiera mniej niż 2% węgla. Stopy żelaza, zawierające mniej niż 0,05% węgla, nazywa się żelazem technicznym. Podstawą klasyfikacji stali jest najczęściej skład chemiczny (wg analizy wytopowej), jakość i zastosowanie.

Stale niestopowe to stopy żelaza z węglem i innymi pierwiastkami w postaci domieszek lub zanieczyszczeń o zawartości mniejszej od granicznej. Graniczne zawartości tych pierwiastków, tj.: Al, B, Bi, Co, Cu, lantanowców, Cr, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Sc, Si, Te, Ti, V, W i innych (oprócz: C, P, S, N), zostały określone przez normy PN-EN.

Pierwiastki, których zawartość przekracza umowną graniczną wartość określoną w normach, nazywamy **dotatkami stopowymi**. Dodatki stopowe najczęściej wprowadza się w celu podwyższenia własności mechanicznych materiału, zwiększenia hartowności oraz uzyskania specjalnych właściwości fizycznych i chemicznych.

Stale stopowe to stopy żelaza z węglem, które zawierają celowo wprowadzone dodatki stopowe w ilości równej lub powyżej umownie określonej granicy. Według norm PN-EN wartości graniczne zawartości Al, Co i W zostały podwyższone od 0,1 do 0,3% w porównaniu z normami PN. Najczęściej są stosowane następujące dodatki stopowe: chrom, nikiel, krzem, mangan, molibden, wolfram i wanad.

Chrom zwiększa wytrzymałość, twardość i zdolność przehartowywania stali. Zwiększa odporność stali na ścieranie, korozję, działanie czynników chemicznych i wysokiej temperatury.

Nikiel zwiększa ciągliwość i wytrzymałość stali oraz sprzyja głębokiemu hartowaniu, a także uodparnia na korozję i działanie wysokiej temperatury.

Krzem zwiększa sprężystość i wytrzymałość stali. Do stali resorowych i sprężynowych dodaje się 0,5÷2,5% krzemu.

Mangan zwiększa wytrzymałość i sprzyja głębokiemu hartowaniu. Stale manganowe są odporne na uderzenia i ścieranie. Stosuje się je między innymi na osie samochodów.

Molibden zwiększa hartowność stali oraz wytrzymałość w podwyższonej temperaturze.

Wolfram nadaje stali drobnoziarnistość, zwiększa hartowność, twardość i odporność na zużycie. Stale narzędziowe szybko tnące zawierają do 18% wolframu i utrzymują twardość w temperaturze do 600°C.

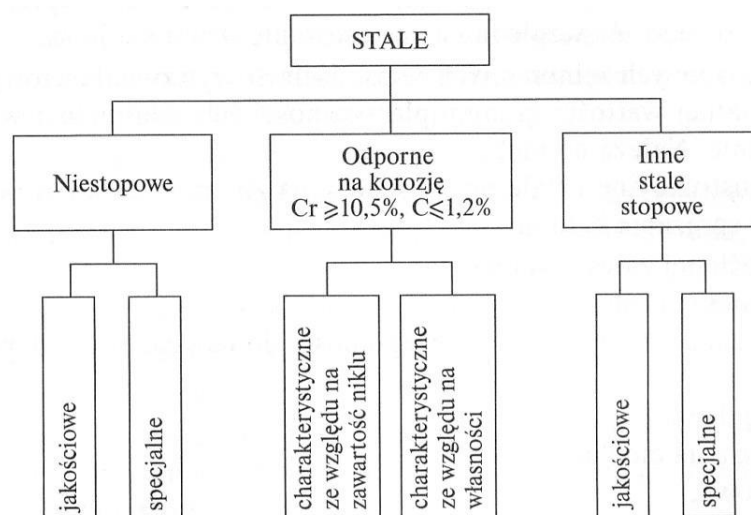
Wanad zwiększa drobnoziarnistość i hartowność stali. Dodaje się go w niewielkich ilościach do stali sprężynowych i narzędziowych.

Istnieją różne kryteria podziału stali, które określają różne ich rodzaje i grupy (klasy). Główne kryteria to:

- skład chemiczny – stale: niestopowe (węglowe), nierdzewne (odporne na korozję) i stopowe,
- podstawowe zastosowanie – stale: konstrukcyjne, maszynowe, narzędziowe, o specjalnych własnościach itp.,
- jakość – określoną np. przez stężenia siarki i fosforu – jakościowe, specjalne,
- sposób wytwarzania – stale: martenowskie, elektryczne, konwertorowe i inne,
- sposób odtleniania – stale: uspokojona, półuspokojona i nieuspokojona,
- rodzaj produktów – blachy, pręty, druty, rury, kształtowniki itp.

W normie PN-EN 10020:2003 podano klasyfikację gatunków stali według składu chemicznego, właściwości i zastosowania. Ze względu na zawartość pierwiastków, czyli skład chemiczny, stale dzieli się na:

- niestopowe,
- odporne na korozję (zawierające $Cr \geq 10,5\%$ i $C \leq 1,2\%$),
- inne stopowe.



Rys 1 Ogólny podział stali ze względu na skład chemiczny wg normy PN-EN 10020:2003

Źródło: Aleksander Górecki, Technologia ogólna, podstawy technologii mechanicznej, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 2009.

Najczęściej stosowaną **przeróbką plastyczną stali** jest walcowanie (na gorąco lub na zimno), ciągnięcie (na gorąco lub na zimno), prasowanie, kucie. Temperaturą rozgraniczającą procesy przeróbki plastycznej na gorąco i zimno jest **temperatura rekrytalizacji statycznej**, tzn. taka w której ziarno zgniecione, przebywając przez 1h, powróci do postaci wyjściowej.

Przez **obróbkę cieplną** rozumie się wyżarzanie normalizujące (N) i ulepszanie cieplne (Q), czyli hartowanie i odpuszczanie.

Zawartość masowa węgla w stopie równa 2,11% jest zawartością graniczną między stalą, a żeliwem. Stale konstrukcyjne zawierają węgiel w ilości około 10-krotnie mniejszej.

Gatunek stali można oznaczyć na trzy sposoby podając:

1. symbole literowe i cyfrowe, wskazujące na zastosowanie oraz właściwości mechaniczne i inne,
2. symbole literowe i cyfrowe, wskazujące na skład chemiczny stali,
3. numer stali.

Sposób pierwszy jest niezbędny konstruktorowi, sposób drugi - technologowi spawalnictwa, zaś sposób trzeci jest dogodny do celów zestawieniowo-rozliczeniowych, szczególnie, gdy stosuje się elektroniczne przetwarzanie danych.

Oznaczenie gatunku wg sposobu pierwszego zawiera dwa symbole główne i co najmniej jeden symbol dodatkowy.

Pierwszy symbol główny – to duża litera alfabetu łacińskiego, określająca zastosowanie. Może to być:

- S – stal konstrukcyjna,
- L – stal na rury przewodowe,
- B – stal na pręty zbrojeniowe do betonu,
- R – stal na szyny,
- Y – stal na struny sprężające,
- P – stal na urządzenia ciśnieniowe,
- G – staliwo.

Drugi symbol główny – to trzycyfrowa liczba, określająca minimalną granicę plastyczności R_e (MPa) dla najmniejszego zakresu grubości wyrobu (≤ 16 mm z wyjątkiem stali stopowych ulepszonych cieplnie, dla których zakres ten wynosi ≤ 5 mm). W przypadku stali o zastosowaniu R lub Y symbol główny drugi – to minimalna wytrzymałość na rozciąganie R_m (MPa) zamiast granicy plastyczności.

W grupie stali konstrukcyjnych (S) najczęściej spotyka się następujące granice plastyczności $R_e \equiv 235, 275, 355, 420, 460$ MPa, ale mogą też być stale mające $R_e \equiv 500, 550, 620, 690, 890$ i **960** MPa.

Symbole dodatkowe dla stali konstrukcyjnych (S) są inne dla stali niestopowych i inne dla stali mikrostopowych, zwanych drobnoziarnistymi.

Pierwszy symbol dodatkowy dla stali niestopowej to odmiana plastyczności wyrażona pracą łamania KV (uśrednioną) w żądanej temperaturze. Pracę łamania $KV=27J$ w temperaturze $+20^\circ C, 0^\circ C, -20^\circ C$ oznacza się odpowiednio symbolem **JR, J0, J2**, zaś pracę łamania $KV=40J$ w tej samej temperaturze – odpowiednio **KR, K0, K2**.

Drugi symbol dodatkowy dla stali niestopowej ma postać, **G_n**, gdzie n jest cyfrą ze zbioru (1,4). Jeżeli $n=1$, to oznacza, że stal jest nieuspokojona, a jeżeli $n=2$, to oznacza, że stal jest uspokocona. **Jeżeli $n=3$, to oznacza, że stan dostawy ustala wytwórca.**

Spośród gatunków stali niestopowych konstrukcyjnych mamy do dyspozycji następujące: S235JR, S235JRG1, S235JRG2, S235J0, S235J2G3, S235J2G4, S275JR, S275J0, S275J2G3, S275J2G4, S355JR, S355J0, S355J2G3, S355J2G4, S355K2G3, S355K2G4.

Pierwszy symbol dodatkowy dla stali stopowej drobnoziarnistej składa się z litery określającej stan dostawy. Może to być litera:

- N – stal normalizowana lub walcowana normalizująco,
- M – stal walcowana termomechanicznie,
- Q – stal ulepszona cieplnie (hartowana i odpuszczona)
- A – stal utwardzona wydzieleniowo.

Każda z tych obróbek cieplnych ma na celu rozdrobnienie ziarna krystalicznego, a zastosowane mikrododatki stopowe, jak Nb, V, Ti tworzą twarde węgliki zwiększające wytrzymałość. Największą wytrzymałość mają stale typu Q i A, lecz są one produkowane tylko w postaci blach.

Drugi symbol dodatkowy dla stali drobnoziarnistej jest samą literą **L** lub znakiem **L1**, lub znakiem **L2**, co oznacza odpowiednią pracę łamania *KV* dla stali N, M, Q przy postawieniu tego samego oznaczenia (np. L).

Spośród stali drobnoziarnistych mamy do dyspozycji następujące gatunki (w nawiasach podano cyfrowe oznaczenia tych stali):

a) w grupie stali normalizowanych lub walcowanych normalizująco:

S275N (1.0490), S275NL (1.0491), S355N (1.0545), S355NL (1.0546), S420N (1.8902), S420NL (1.8912), S460N (1.8901), S460NL (1.8903); S460NH, S460NLH (dwa ostatnie gatunki są przeznaczone na rury prostokątne i okrągłe kształtowane na zimno),

b) w grupie stali walcowanych termomechanicznie:

S275M (1.8818), S355M (1.8823), S420M (1.8825), S460M (1.8827) (stale te występują również w odmianie do pracy w obniżonych temperaturach jako ML).

W stalach z oznaczeniami N i M litera L oznacza, że gwarantowana jest praca łamania $KV=27J$ w $-20^{\circ}C$, a L1 w $-50^{\circ}C$.

c) w grupie stali ulepszonych cieplnie:

S460Q (1.8908), S500Q (1.8924), S550Q (1.8904), S620Q (1.8914), S690Q (1.8931), S890Q (1.8940), S960Q (1.8941) (stale te występują również w odmianach do pracy w obniżonych temperaturach jako QL i QL1),

d) w grupie stali utwardzonych wydzieleniowo:

S500A (lub AL), S550A (lub AL), S620A (lub AL), S690A (lub AL). Stale typu Q i A mają zapewnioną pracę łamania $KV=27J$ w temperaturze $-20^{\circ}C$. Odmiana z literą L ma $KV=27J$ w temperaturze $-40^{\circ}C$, a odmiana L1 ma $KV=27J$ w temperaturze $-60^{\circ}C$.

Osobną grupę stanowią stale trudno rdzewiejące, które są stalami stopowymi, ale nie drobnoziarnistymi. Są one oznaczane tak jak stale niestopowe, lecz z końcowym znakiem symboli dodatkowych występuje litera W lub WP, gdy stal zawiera podwyższoną ilość fosforu. Są to następujące gatunki:

S235J0W, S235J2W, S355J0WP, S355J2WP, S355J0W, S355J2G1W, S355J2G2W, S355K2G1W, S355K2G2W.

Symbole główne **wskazujące na skład chemiczny stali** stosuje się do oznaczania stali m. in.:

- niestopowych (oprócz automatowych) zawierających mniej niż 1% manganu; w tym przypadku znak stali składa się z litery C i liczby określającej wymaganą średnią zawartość węgla pomnożoną przez 100, np. C45,
- stopowych (oprócz stali szybko tnących), które zawierają przynajmniej jeden pierwiastek stopowy $\geq 5\%$; w tym przypadku znak stali składa się z litery X na początku, natomiast pozostałe zasady tworzenia znaków stali są takie same jak poprzednio, z tym, że jeżeli występują pierwiastki o tej samej zawartości, to umieszcza się je w oznaczeniu w kolejności alfabetycznej (np. X40CrMoV5-1-1),
- szybko tnących – znak stali składa się z liter HS i liczb oznaczających zawartości pierwiastków stopowych w procentach w następującej kolejności: wolfram, molibden, wanad, kobalt (W-Mo-V-Co); liczby oddziela się poziomymi kreskami (np. HS6525).

2. Wykonanie ćwiczenia

1. Przygotowanie mikroskopu metalograficznego do badań z wykorzystaniem różnych technik tj.: – jasne pole – ciemne pole – kontrast fazowy – polaryzacja oraz sprawdzenie działania zasadniczych podzespołów mikroskopów.

2. Próbki ze stali wskazanej przez prowadzącego poddać obserwacji z wykorzystaniem różnych technik obserwacji.
3. Przeprowadzić obserwację wybranych zglądów metalograficznych i porównać z wzorcami zawartymi w normach.
4. Dokonać identyfikacji składników strukturalnych w próbkach dla określenia rodzaju i ilości poszczególnych faz, kształtu i wielkości ziarna, jakości powłok, itd.
5. Wykonać rysunek obrazu mikroskopowego badanych próbek.

3. Sprawozdanie

MATERIAŁY KONSTRUKCYJNE 1 laboratorium	
Imię i nazwisko	
Nr albumu	
Kierunek	
Nazwa doświadczenia	

- 1) **Cel ćwiczenia**
- 2) **Teoria**
- 3) **Sposób wykonania doświadczenia**
- 4) **Opracowanie wyników - rysunki obserwowanych mikrostruktur z odpowiednim opisem.**
- 5) **Wnioski**

Opracowano na podstawie:

1. Grabowska B., Nowoczesne techniki badawcze w inżynierii materiałowej, ćwiczenia laboratoryjne.
2. Sienko M.J., Chemia.
3. Dobrzański L.A., Materiały inżynierskie.
4. <https://strefainzyniera.pl/arttykul/1232/oznaczanie-stali-wg-pnen>
5. <https://www.zwcad.pl/wyszukiwanie-w-bazie-wiedzy/46-zagadnienia-konstrukcyjne/131-podzial-stali-porownanie-oznaczen-starych-i-nowych.html>