

HENRYK MORAWIEC, ZENON MOLENDĄ

Katedra Metaloznawstwa
Instytut Metali NieżelaznychRENTGENOGRAFICZNE BADANIE UMOCNIEŃ MIEDZI
I MOSIĄDZU1. Wstęp

Badania te przeprowadzono w ramach pracy nad intensyfikacją procesu przeciągania rur kondensatorowych.

Znany jest wpływ wzrostu stopnia zgniotu przerabianego materiału na jego umocnienie. Jest to istotne nie tylko ze względu na zmianę oporu plastycznego metalu, ale również na znajomość zachodzących w nim zmian strukturalnych i stan naprężeń wewnętrznych.

Badania procesu umocnienia przeprowadzone przez Kurdiumowa [1,2] na żelazie i jego stopach wykazały istniejącą zależność pomiędzy zmianami własności mechanicznych a elementarnymi procesami deformacji plastycznej, tj. zdolnością do przemieszczania się dyslokacji.

Przemieszczanie się dyslokacji w metalu może być utrudnione w wyniku:

1) zmniejszenia się drogi swobodnego przemieszczania się dyslokacji, tj. przez zmniejszenie się wymiaru obszarów kryształów wolnych od subgranic oraz zwiększenie się różnicy orientacji sąsiednich bloków,

2) zwiększenie oporu przemieszczania się dyslokacji w samych kryształach a właściwie obszarach wolnych od subgranic. Następuje to w wyniku naruszenia periodyczności budowy atomowej kryształu wewnątrz tego obszaru. Naruszenie prawidłowości w budowie krystalicznej następuje w wyniku obecności atomów wtrąceń czy dodatków stopowych. Niemalą rolę odgrywa nie tylko obecność tych atomów, ale również niejednorodność ich rozłożenia w kryształach. Zmiany strukturalne zachodzące w procesie umocnienia sprowadzają się do fragmentacji ziarn, tj. tworzenia obszarów wielkości 10^{-4} cm ze znacznym odkształceniem na ich granicach. Fragmenty te nie posiadają

prawkłowej budowy sieci krystalicznych i nie stanowią obszarów koherentnego rozpraszania promieni X. Obszary koherentnego rozpraszania promieni rentgenowskich - tzw. bloki mozaikowe są wielkości 10^{-6} cm i określane są na podstawie poszerzenia prążka na rentgenogramie.

Podczas umocnienia występują również odkształcenia II rodzaju, które stanowią niejednorodne sprężyste odkształcenia fragmentów. Podobnie jak wielkość bloków mozaikowych określa się je z poszerzenia linii interferencyjnej. Wielkość tej deformacji sprężystej ($\frac{\Delta a}{a}$) jest różna dla różnych metali; dla stopów żelaza wynosi $0,5-3 \cdot 10^{-3}$ i jest tym wyższa, im wyższa granica plastyczności materiału.

Z umocnieniem związane jest również powstanie odkształceń III rodzaju, wywołujące obniżenie intensywności linii interferencyjnych rentgenogramu. Odkształcenia te traktuje się podobnie jak termiczne oscylacje atomów wokół idealnych położeń sieci z tym, że przyjmuje się je jako statyczne, podobne tym odkształceniom, jakie zachodzą w roztworach stałych w wyniku różnic w średnicach atomowych obu składników. Najnowsze badania wykonane przez W.A. Ilinę [3] przy pomocy liczników scyntylacyjnych wykazały, że całkowita intensywność interferencji jest niezależna od stopnia zgniotu, z tym jednak założeniem, że uwzględnia się również powstałe na rentgenogramie od metalu silnie zdeformowanego dość daleko rozprzestrzeniające się "wyskoki" na krzywej intensywności. Otwarty jest jednak problem pochodzenia owych "wyskoków", czy odnoszą się one do linii interferencyjnych czy też są wynikiem dyfuzyjnego rozpraszania intensywności, którego nie zmienia się w zależności kątowej w sposób ciągły i posiada maksima w węzłach sieci odwróconej. W przypadku bowiem przynależności tych "wyskoków" do maksimum linii, można by to wyjaśnić istnieniem niejednorodnej deformacji sprężystej znacznej wielkości we fragmentach, czyli odkształceniami II rodzaju. Natomiast jeśli przynależą one do tła wywołane przemieszczeniem atomów (odkształceniami III rodzaju), to istnienie tych "wyskoków" tła wskazywałoby na pewne prawidłowości w rozmieszczeniu przemieszczeń.

Znany jest fakt, że do 30-40% zgniotu silnie wzrasta umocnienie, które następnie wzrasta wolniej, by znowu po osiągnięciu 80-90% zgniotu wykazać dalszy wzrost.

Dość często kojarzy się odkształcenia II rodzaju z wielkością umocnienia. Ten pogląd nie jest słuszny, gdyż podczas pierwszego stadium wyżarzania tzn. wypoczynku, obserwuje się dość znaczny spadek odkształceń II rodzaju przy prawie niezmiennych wielkościach własności mechanicznych. Nie stwier-

dzono w tym procesie również zmian w wielkości bloków. Badanie odkształceń proszków w czasie którego stwierdzono silny wzrost odkształceń II rodzaju bez zmian twardości i wielkości bloków wskazuje, że zmiany w odkształceniu II rodzaju nie są związane ze zmianą własności mechanicznych a za tym ich obecność nie jest niezbędna w procesie umocnienia.

Istotnym elementem umocnienia jest rozdrobnienie ziarn na fragmenty o różnej orientacji wzajemnej. Granice tych fragmentów charakteryzują się silnym naruszeniem prawidłowości struktury krystalicznej i są przeszkodą dla zachodzenia elementarnych procesów deformacji plastycznej. Długość drogi łatwego przemieszczania się dyslokacji pod działaniem sił wewnętrznych przy fragmentacji ziarna znacznie się zmniejsza. Potwierdza to proste doświadczenie wykazując, że zmniejszenie wielkości ziarna wywołuje wzrost oporu przeciw deformacji plastycznej.

Na podstawie badań przeprowadzonych na silnie odkształconych stopach żelaza wynika, że wielkość bloków nie wiele się różni dla poszczególnych stopów, zaś wielkość odkształcenia $\frac{\Delta a}{a}$ zależy od obecności atomów składnika rozpuszczonego. Im wyższa jest wartość $\frac{\Delta a}{a}$, tym wyższa twardość, za tym $\frac{\Delta a}{a}$ jest jedynie miarą przedziału sprężystej deformacji kryształów, potwierdza to liniowa zależność tych dwóch wielkości i to również w stanie wyżarzonym. Można zatem stwierdzić, że umocnienie jest nie tylko wynikiem substruktury ziarn, lecz uwarunkowane również własnościami kryształów w stanie wyjściowym.

2. Badania własne

2.1. Metodyka badań

Badania przeprowadzono na próbkach wyciętych z przeciąganych rur miedzianych (M1) i msiężnych (M70). Metoda badań rentgenograficznych opierała się na analizie zmian szerokości prążków interferencyjnych. Przegląd stosowanych metod analizy szerokości interferencji dla rozdzielenia wpływu odkształceń II rodzaju i wielkości bloków oraz zależność składności otrzymywanych wartości od przyjętej funkcji krzywej fotometrycznej przedstawili D.M.Wasiljew i B.I.Smirmow [4]. W niniejszej pracy do rozdzielenia wpływu obu tych czynników stosowano metodę A.Kochendörfera [5]. Wg tego autora przeprowadzono również korektę uwzględniającą wpływ czynników geometrycznych na szerokość linii. Otrzymywane krzywe

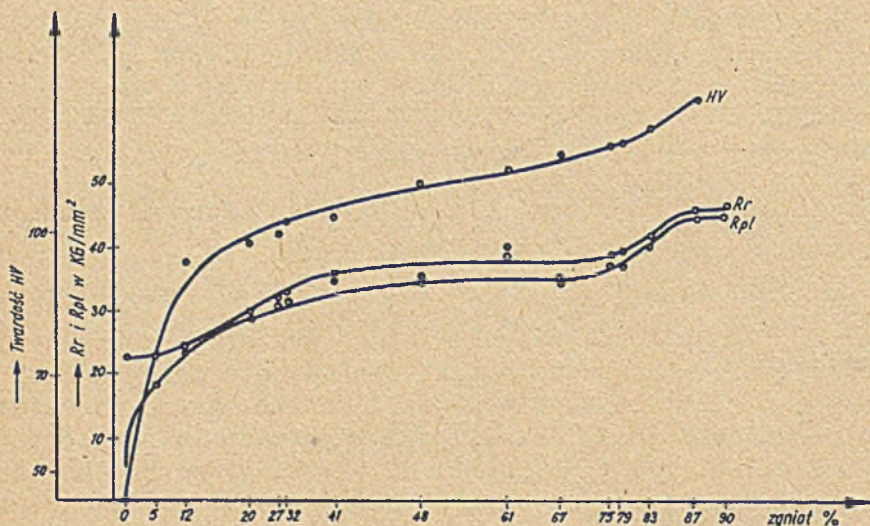
fotometryczne ze względu na nielogarytmiczną zależność wysokości od zaciernienia, korygowano wg metody opisanej przez Ju.A.Bugariackiego [6].

Badania przeprowadzono na kamerze Bragg-Brentano, używając promieniowania $K\alpha$ Cu a do pomiarów stałych sieciowych $K\alpha$ Co. Zmiany własności mechanicznych zachodzących podczas umocnienia badano przez określenie granicy plastyczności, wytrzymałości na rozciąganie oraz twardości Vickersa.

2.2. Wyniki badań

a) dla próbek miedzi

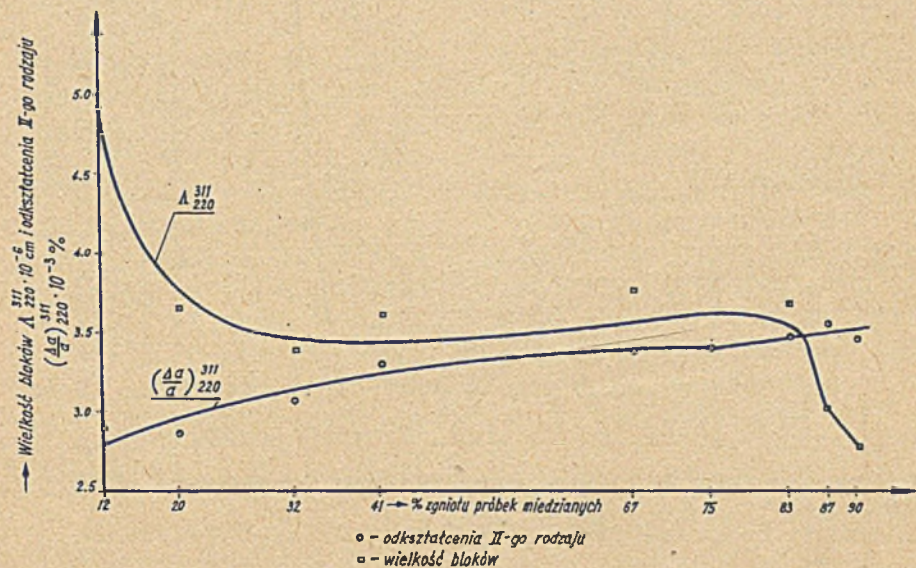
Próbki posiadały zgniot od 0-90%, wszystkie własności badano pod kątem widzenia ich zmian w zależności od zgniotu.



Rys.1. Zależność własności mechanicznych miedzi od stopnia zgniotu

Zmiany granicy plastyczności, wytrzymałości na rozciąganie i twardości w funkcji zgniotu przedstawiono na rys.1. Ze wzrostem zgniotu do ok.30% widoczne są znaczne zmiany przyrostu własności mechanicznych, dalszy przebieg krzywej jest bardziej łagodny i dopiero po przekroczeniu 80% zgniotu widoczny jest ponownie szybszy wzrost tych własności. Jak z tego wynika, wzrost własności mechanicznych nie jest jednokowy i zmienia się od zakresu zgniotu. Na podstawie pomiarów

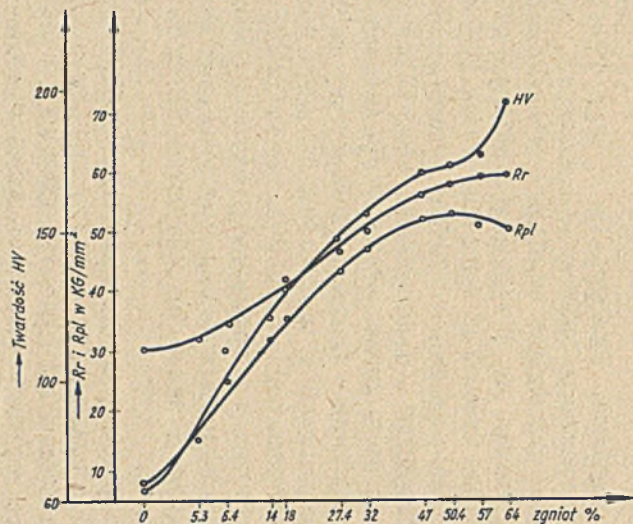
szerokości linii interferencyjnych przeprowadzonych zgodnie z metodą [5], wyliczono wielkości bloków Δ oraz odkształcenia $\frac{\Delta a}{a}$. Na rys.2 przedstawiono zależność obu tych wielkości



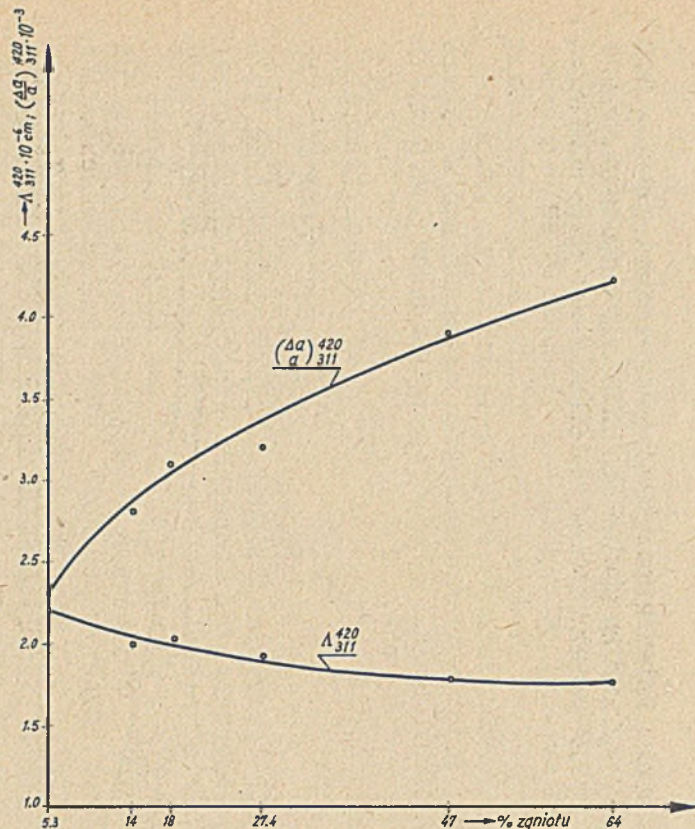
Rys.2. Zależność wielkości bloków i odkształceń II rodzaju od stopnia zgniotu

od stopnia zgniotu. Jak wynika z tego wykresu odkształcenia II rodzaju wzrastają bardzo nieznacznie, ale mniej więcej równomiernie, natomiast wielkość bloków maleje ze wzrostem zgniotu. Widoczne są 3 zakresy o różnym stopniu nasilenia tych zmian. Ze wzrostem zgniotu do ok.30% widoczny jest dość znaczny spadek wielkości bloków, następnie do ok.80% krzywa spadku ma łagodny i jednostajny charakter, natomiast powyżej 80% widoczny jest znowu szybszy spadek wymiarów bloków. Występuje tutaj pewna analogia odwrotnej zależności zmian własności mechanicznych i wielkości bloków. Ponieważ nawet dla próbek o najwyższych stopniach zgniotu otrzymano wysokokątowe interferencje o widocznym jeszcze rozdziale dubletów, przeprowadzono pomiar zmian stałych sieciowych przyjętych za miarę naprężeń I rodzaju. Stwierdzono dość znaczny wzrost tych naprężeń.

Przeprowadzono również pomiary zmian intensywności jako miernik odkształceń III rodzaju, stwierdzając spadek intensywności ze wzrostem zgniotu. Jednak ze względu na zbyt duże rozbieżności wyników pominięto ich dyskusję.



Rys.3. Zależność własności mechanicznych mosiądzu od stopnia zgniotu



Rys.4. Zależność wielkości bloków i odkształceń II rodzaju od stopnia zgniotu dla mosiądzu

b) Mosiądz M70

W próbkach tych udało się osiągnąć jedynie 65% zgniotu. Przebieg zależności zmian własności mechanicznych od zgniotu przedstawia rys.3. Zasadniczo charakter krzywych jest podobny do otrzymanych z badań miedzi. Widoczny jest początkowo znaczny wzrost umocnienia, z kolei krzywa ma przebieg łagodny, by pod koniec znowu wykazać szybszy przyrost tych zmian. Odmienny w stosunku do miedzi ma charakter krzywych odzwierciedlających zmiany odkształceń II rodzaju i wielkości bloków. Przebieg tych zmian przedstawia rys.4. Widoczny jest jednostajny charakter przebiegu obu krzywych wzrostu odkształceń II rodzaju i spadku wielkości bloków, przy czym gradient zmian odkształceń II rodzaju jest większy niż dla spadku wielkości bloków. Wynikałoby stąd, że dla mosiądzu odkształcenia II rodzaju odgrywają większą rolę. Wykreślone zależności zmian własności mechanicznych od odkształceń II rodzaju i wielkości bloków wykazują liniową zależność tych zmian.

3. Dyskusja wyników

Z porównania przebiegu krzywych zmian własności mechanicznych oraz odkształceń II rodzaju i wielkości bloków wynika, że proces umocnienia metali w wyniku przeróbki plastycznej związany jest z równoczesnym rozdrobnieniem bloków, jak również ze wzrostem odkształceń II rodzaju. Najsilniejszy wzrost obu tych wielkości od stopnia zgniotu widoczny jest do osiągnięcia zgniotu ok.30%, następnie zmiany te są wolniejsze. Można zatem sądzić, że wielkość bloków będzie się zmniejszać tylko do określonej granicy wielkości. Dla miedzi obserwuje się powtórny etap szybszego zmniejszenia się wielkości bloków po osiągnięciu zgniotu ok.80%. Widoczna jest tu pełna analogia do krzywej umocnienia z tym, że przyrostom własności mechanicznych odpowiadają spadki wielkości bloków.

Większy udział odkształceń II rodzaju, występujących podczas deformacji plastycznej, obserwuje się w mosiądzu niż w miedzi. Jest to zrozumiałe uwzględniając fakt wpływu odkształceń sieci atomowej w wyniku obecności atomów składnika w roztworze stałym. Te odkształcenia wywołują większy opór przemieszczającym się dyslokacjom, co prowadzi do większego umocnienia stopu w porównaniu z czystym metalem.

Na podstawie tych wyników można by zatem wnioskować o równoczesnym występowaniu zmian wielkości bloków i odkształceń II rodzaju w procesie umocnienia metali i stopów. Równo-

cześniej stwierdzono zmiany stałych sieciowych w miedzi ze wzrostem zgniotu, co świadczy o obecności naprężeń I rodzaju. Wydaje się jednak, że obecność tych naprężeń jest wynikiem różnicy pomiędzy granicami plastyczności i umocnienia rdzenia i warstwy powierzchniowej metalu (różnica naprężeń, która po zdjęciu obciążenia tworzy stan naprężeń I rodzaju, a nie jest wynikiem mikronaprężeń, gdyż badania przeprowadzone na zgniatanym proszku miedzi m.in. przez Rowińskiego [7] nie wykazały zmian stałych sieciowych.

4. Wnioski

W oparciu o przedstawione wyniki badań, jak również cytowanych prac [1, 2, 3, 7] należy przyjąć, że istotą umocnienia metali i stopów jest rozdrobnienie bloków, które powoduje wzrost oporu dla drogi swobodnego przemieszczania się dyslokacji. Stwierdzone natomiast odkształcenia II rodzaju związane są z procesem deformacji, nie stanowią jednak o umocnieniu, gdyż podczas pierwszego stadium wyżarzania (wypoczynek) znikają, mimo że własności mechaniczne nie ulegają zmianom. Powstałe zaś naprężenia I rodzaju związane są ze sposobem przeróbki plastycznej a nie z istotą procesu umocnienia.

LITERATURA

- [1] G.W.Kurdiunow - *Mietalłowiedienije i termiczeskaja obrabotka mietalłow*, 1960, nr 10.
- [2] G.W.Kurdiunow, M.D.Perkas - *Mietalłowiedienije i termiczeskaja obrabotka mietalłow*, 1961, nr 9.
- [3] W.A.Ilina, W.K.Krickaja, G.W.Kurdiunow - *Fizika mietalłow i mietalłowiedienije*, 1962, t.13, nr 1.
- [4] D.M.Wasiliew, B.I.Smirnow - *Uspiechi fiziczeskich nauk*, 1961, t.73, nr 3.
- [5] A.Kochendörfer - *Z.Kristallographie*, 1944, t.105, s.393.
- [6] Ju.A.Bagariacki - *Rentgenografija w fiziczeskom mietalłowiedienii*, Moskwa, 1961.
- [7] B.M.Rowinskij - *Ž.E.T.F.*, 1938, nr 8, s.96.