

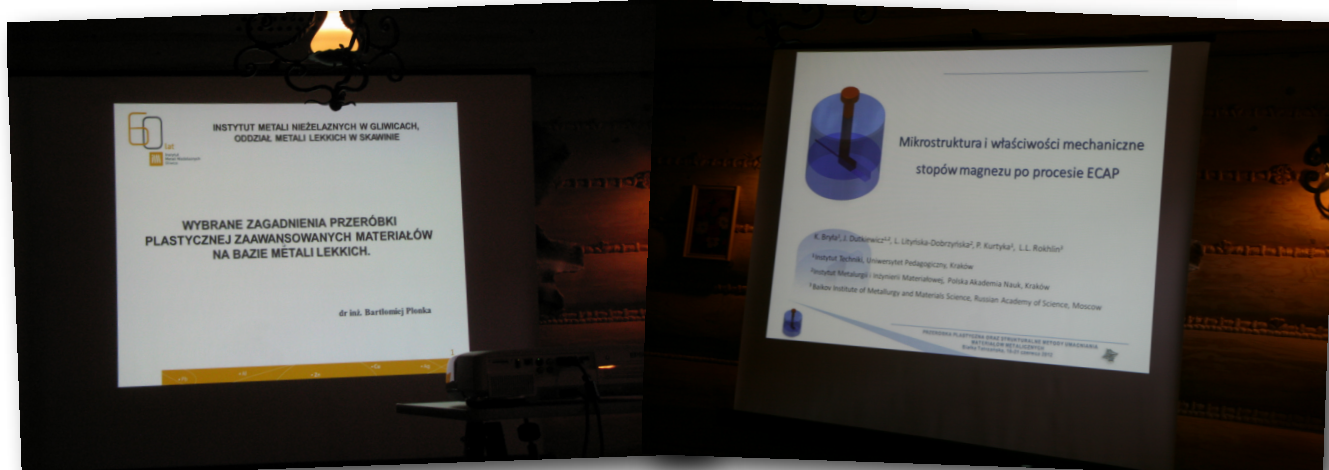
II Seminarium Komisji Metalurgiczno-Odlewniczej PAN w Krakowie

PRZERÓBKA PLASTYCZNA ORAZ STRUKTURALNE METODY UMACNIANIA MATERIAŁÓW METALICZNYCH

W dniach od 18 do 21 czerwca br. w Białce Tatrzańskiej w pensjonacie „Toporów”, odbywało się seminarium, dotyczące problematyki przeróbki plastycznej, strukturalnych metod umacniania materiałów oraz odnowy strukturalnej tworzyw metalicznych. Seminarium zorganizowane zostało przez członków Komisji Metalurgiczno-Odlewniczej PAN w Krakowie przy współudziale organizacyjnym Polskiego Towarzystwa Stereologicznego.

W upalne czerwcowe dni w seminarium uczestniczyli pracownicy naukowcy z Wydziału Metali Nieżelaznych AGH, Instytutu Techniki Uniwersytetu Pedagogicznego, Instytutu Metali Nieżelaznych O/ML w Skawinie, Wydziału Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej AGH.

Uczestnicy seminarium wysłuchali dziesięciu wykładów wygłoszonych m.in. przez prof. dr hab. inż. Ludwika Błażę, prof. dr hab. inż. Stanisława Wierzbńskiego oraz prof. dr hab. inż. Józefa Zasadińskiego. Ożywione dyskusje prowadzone w trakcie wykładów (zapytania, krótkie komentarze), a przede wszystkim w czasie poświęconym na wymianę poglądów umożliwiały poszerzenie wiedzy uczestników seminarium w zakresie przeróbki plastycznej, strukturalnych metod umacniania oraz odnowy strukturalnej w metalach, stopach, kompozytach oraz fazach międzymetalicznych. Wystąpienia dyskutantów stanowiły także



cenne źródło informacji o projektowanych i wdrożonych nowych technologiach, procesach, jak również metodach analizy zjawisk zachodzących w materiałach metalicznych w trakcie odkształcania, obróbki cieplnej i odnowy strukturalnej.

Streszczenia wybranych wykładów oraz program seminarium stanowią załącznik do niniejszego sprawozdania.

Wykłady wygłoszone podczas seminarium:

1. Prof dr hab inż. Józef Zasadziński

Teoria i praktyka kształtowania plastycznego metali i stopów

2. Dr inż. Bartłomiej Płonka

Wybrane zagadnienia przeróbki plastycznej zaawansowanych materiałów na bazie metali lekkich

3. Prof dr hab inż. Ludwik Błaż

Wydzielanie dynamiczne

4. Dr inż. Krzysztof Mroczka

Wpływ odkształcenia plastycznego w procesie FSW na mikrostrukturę i właściwości wybranych zgrzein stopów aluminium

5. Dr inż Krzysztof Bryła

Drobnziarnista struktura stopów magnezu otrzymywanych w procesie ECAP

6. Prof dr hab inż. Stanisław Wierzbński

Zdrowienie i rekrytalizacja metali

7. Prof dr hab inż. Stanisław Wierzbński

Rola materiałów w rozwoju cywilizacyjnym ludzkości

8. Prof dr hab inż. Ludwik Błaż

Szybko-krystalizowane stopy aluminium

9. Prof dr hab inż. Ludwik Błaż

Mechaniczna synteza lekkich kompozytów metalicznych

10. dr inż. Paweł Kurtyka

Krzywe naprężenie-odkształcenie kompozytów - modele i perspektywy



TEORIA I PRAKTYKA KSZTAŁTOWANIA PLASTYCZNEGO METALI I STOPÓW

Opracowanie ma charakter syntetycznego wykładu w którym w pierwszej części podjęto próbę odpowiedzi na dwa podstawowe pytania interesujące specjalistów zajmujących się kształtowaniem plastycznym metali i stopów. Po pierwsze jaki opór stawia metal podczas deformacji plastycznej i po drugie jak duże odkształcenie plastyczne można zrealizować w czasie kształtowania by nie dopuścić do utraty spójności kształtowanego metalu. W tym kontekście wprowadzono pojęcie odkształcalności metalu lub stopu z wyeksponowaniem takich czynników jak wielkość odkształcenia, prędkość odkształcenia, temperatura, zmiana drogi deformacji, warunki tarcia oraz stan naprężenia które rzutują na odkształcalność metali

Konsekwencją tej analizy jest próba odpowiedzi na pytania jak projektować proces kształtowania plastycznego aby osiągnąć cel jakim jest zbliżenie się do „idealnego” procesu kształtowania plastycznego.

Część druga opracowania zmierza do pokazania jak wykorzystać podstawową wiedzę dotyczącą kształtowania plastycznego metali w praktyce technologicznej na przykładzie procesu wyciskania metali ze szczególnym uwzględnieniem prowadzenia procesu kształtowania plastycznego w tzw. systemach zintegrowanych, których celem jest uzyskanie wyrobu finalnego o założonych kształtach i własnościach w jednym cyklu technologicznym.

ODNOWA STRUKTURALNA METALI I STOPÓW PO ODKSZTAŁCENIU PLASTYCZNYM NA ZIMNO W PROCESACH REKRYSZTALIZACJI STATYCZNEJ, ANIZOTERMOCZNEJ ORAZ DYNAMICZNEJ

Większość wyrobów metalowych pożądaną kształt uzyskuje w procesach obróbki plastycznej na gorąco ($>0,5T_{top}$) lub na zimno ($<0,5T_{top}$), w szczególności w procesach walcowania, ciągnięcia, wyciskania i kucia. Podczas obróbki plastycznej na gorąco dyfuzyjnie kontrolowana wspinaczka dyslokacji powoduje zanik nowo tworzących się dyslokacji, wnosząc istotny wkład w proces zdrowienia. W przypadku obróbki plastycznej na zimno, wspomniane procesy technologiczne powodują znaczne umocnienie metalu, prowadzące do utraty jego spójności (pękania). W celu umożliwienia dalszej obróbki plastycznej metale poddaje się wyżarzaniu rekryształizacyjnemu w wyniku, którego następuje przekryształizowanie uprzednio odkształconych ziaren w nowe, o strukturze i własnościach ziaren nieodkształconych, a w konsekwencji stworzone zostają odpowiednie warunki do dalszej obróbki plastycznej.

Wyróżniamy trzy typy odnowy strukturalnej, obejmujące zdrowienie i rekryształizację statyczną, nieizotermiczną oraz dynamiczną.

Zdrowienie statyczne jest procesem aktywowanym cieplnie, zachodzącym podczas wyżarzania w temperaturach niższych od temperatury rekryształizacji. Pod pojęciem zdrowienia statycznego rozumie się całokształt zmian zachodzących w strukturze odkształconego metalu niezwiązanych bezpośrednio z tworzeniem nowych ziaren (rekryształizacją).

Rekrystalizację statyczną stanowi proces tworzenia, w uprzednio odkształconym na zimno metalu, nowych ziaren charakteryzujących się znacznie mniejszą gęstością dyslokacji. W metalu po odkształceniu z 80% redukcją przekroju gęstość dyslokacji – określana, jako łączna długość linii dyslokacji przypadająca na jednostkę powierzchni - wynosi ok. 10^{16}m^{-2} , podczas gdy w metalu zrekrystalizowanym ok. 10^{10}m^{-2} . Temperatura rekrystalizacji jest pojęciem umownym, definiowanym pośrednio, nie zaś wielkością fizyczną, bowiem zależy od stopnia gniotu, sposobu, temperatury i prędkości odkształcania, czasu wyżarzania oraz wielkości ziarna w odkształconym metalu. Umownie przyjmuje się, że temperaturę rekrystalizacji wyznacza kompletna rekrystalizacja metalu w czasie jednej godziny

Zastosowanie indukcyjnego bądź elektrooporowego nagrzewania półfabrykatów i wyrobów gotowych pozwoliło na zrównanie tempa przeróbki plastycznej i obróbki cieplnej, a tym samym na projektowanie wysokowydajnych linii technologicznych przetwórstwa metali.

W procesie anizotermicznego zdrowienia - w warunkach liniowego przyrostu temperatury w czasie - częściowemu odnowieniu ulegają własności fizyczne i mechaniczne, zmniejszają się zaburzenia sieci krystalicznej, jak również gęstość dyslokacji. Cechą charakterystyczną zdrowienia jest przywrócenie w różnym stopniu własności fizyko-mechanicznych metali i stopów bez widocznych zmian strukturalnych, a w szczególności bez zarodkowania nowych ziaren i ich rozrostu.

Anizotermiczna rekrystalizacja metali i stopów obejmuje powstanie zarodków rekrystalizacji oraz ich wzrost. Szybkość powstawania zarodków rekrystalizacji jak i ogólna liczba powstających zarodków w zakresie temperatur początku i końca rekrystalizacji pierwotnej jest odwrotnie proporcjonalna do szybkości nagrzewania i szerokości zakresu temperaturowego rekrystalizacji. Uwzględniając fakt, że ze wzrostem szybkości nagrzewania zakres temperaturowy rekrystalizacji przemieszcza się w kierunku wyższych temperatur, szybkość zarodkowania oraz ogólna ilość zarodków będzie tym większa im wyższa szybkość nagrzewania.

Dynamiczne procesy odnowy struktury przebiegające periodycznie lub w sposób ciągły, obejmują sekwencję zmian strukturalnych wywołaną zdrowieniem lub rekrystalizacją dynamiczną w metalach i stopach odkształcanych w temperaturach wyższych od $0,5 T_t$, gdzie T_t – temperatura topnienia stopu. Na podstawie obserwacji zmian strukturalnych na różnych poziomach odkształcania, a także analizy charakterystyk mechanicznych odkształcania (σ – ϵ) uzyskanych w szerokim zakresie temperatur i prędkości odkształcania, metale i stopy podzielone zostały na dwie grupy; do pierwszej z nich zaliczono te, w których dominującym procesem odnowy strukturalnej było zdrowienie dynamiczne, natomiast do drugiej metale i stopy ulegające rekrystalizacji dynamicznej.

Zdrowienie dynamiczne w metalach nieulegających rekrystalizacji dynamicznej obejmuje zmiany strukturalne związane z anihilacją oraz przegrupowaniem dyslokacji, w następstwie, którego tworzy się niskoenergetyczna struktura dyslokacyjna. W literaturze przyjmuje się, że w zakresie temperatur $T < (0,4 \div 0,6)T_t$ mechanizmem kontrolującym proces zdrowienia dynamicznego jest poślizg poprzeczny dyslokacji, natomiast w temperaturach $T > (0,4 \div 0,6)T_t$ kontrolowana przez dyfuzję wspinaczka. W metalach z wysoką wartością EBU intensywny proces zdrowienia dynamicznego przeciwdziała koncentracji energii odkształcania, uniemożliwiając tym samym inicjację procesu rekrystalizacji dynamicznej. Odpowiedni dobór temperatury i prędkości odkształcania może prowadzić do tzw. naprężenia ustalonego płynięcia, w którym $d\sigma/d\epsilon = 0$.

W metalach i stopach charakteryzujących się ograniczoną intensywnością zdrowienia dynamicznego odnowa struktury związana jest z tworzeniem zarodków rekrytalizacji oraz migracją szerokokątowych granic ziaren. Stanowiąca istotę tego procesu migracja szerokokątowych granic ziaren łączy się z pojęciem „frontu rekrytalizacji”, którego przejście obniża gęstość defektów strukturalnych.

Warunkiem koniecznym powstawania frontów rekrytalizacji jest wytworzenie w odkształconym metalu dostatecznie dużych, lokalnych gradientów energii zmagazynowanej, zależnych tak od całkowitej gęstości dyslokacji jak i od ich przestrzennego rozmieszczenia. Powstająca w określonych warunkach temperatury i prędkości odkształcania podstruktura dyslokacyjna, zdeterminowana jest stopniem odkształcenia, stąd też podstrukturę, w której formują się fronty rekrytalizacji można wyrazić przez wielkość odkształcenia krytycznego. Należy dodać, że w odniesieniu do metali polikrystalicznych miarą bardziej adekwatną okazała się krytyczna praca odkształcenia, podczas gdy dla monokryształów metali – krytyczne naprężenie styczne.

Zważywszy na niejednorodny charakter odkształcenia metali polikrystalicznych i związane z tym tworzenie się pasm odkształcenia można przyjąć, że proces ten w gruncie rzeczy przebiega, jako rekrytalizacja statyczna w okresowo biernych pasmach charakteryzujących się wysokim gradientem odkształcenia.

W podsumowaniu wykładu należy podkreślić, że jeżeli w odkształcanym metalu nie zachodzą przemiany fazowe w stanie stałym, to przy odpowiedniej aktywacji cieplnej, w wyniku określonych zmian struktury materiał może osiągnąć stan bliski stanowi równowagi termodynamicznej. Procesy towarzyszące tym zmianom, określane mianem podstawowych procesów strukturalnych obejmują:

- dyfuzję defektów punktowych i ich anihilację (zdrow.),
- przegrupowanie dyslokacji przez poślizg, połączone z anihilacją dyslokacji przeciwnych znaków oraz kurczeniem się pętli dyslokacyjnych (zdrow.),
- przegrupowanie dyslokacji z udziałem dyfuzji (zdrow. i rekryst.),
- pochłanianie dyslokacji i defektów punktowych przez migrujące fronty rekrytalizacji (rekryst.),
- migracja granic ziaren prowadząca do rozrostu ziaren (rekryst.).

Prof. dr hab. inż. STANISŁAW WIERZBIŃSKI
Wydział Matematyczno-Fizyczno-Techniczny UP KEN, Kraków

ROLA MATERIAŁÓW W ROZWOJU CYWILIZACYJNYM LUDZKOŚCI

Tysiąc ludzkich pokoleń obejmuje około 25.000 lat. Spośród tego 1000 pokoleń ponad połowa spędziła życie w jaskiniach w prymitywnych warunkach, jedynie 200 miało skuteczne środki porozumiewania się z innymi, ostatnie 20 widziało drukowane słowo i potrafiło zmierzyć temperaturę (ciepło lub zimno), jedynie 10 mierzyło czas z dobrą dokładnością, tylko cztery korzystało z samochodu, telefonu i silnika elektrycznego. Większość otaczających nas przedmiotów została wytworzona za życia ostatniego pokolenia.

Społeczne znaczenie materiałów zostało już dawno dostrzeżone przez etnografów, którzy wyróżniają epokę kamienia, brązu, żelaza, a od połowy XX w. epokę stali. Dla naszego pokolenia materiały te stały się mniej istotne, bowiem zastąpiły je materiały nowej generacji,

materiały zaawansowane, wykonywane w znacznie mniejszych ilościach technologiami nasyconymi nauką.

Z punktu widzenia wykorzystania materiałów ludzkość przechodziła przez cztery fazy rozwoju:

- ❑ Faza umiejętności naturalnych (użytkowanie łatwo dostępnych surowców, drewna, skór, gliny, kamieni, kości)
- ❑ Faza sztuki rzemieślniczej (epoka brązu i wczesna epoka żelaza-brąz, emalie, szkło, papier)
- ❑ Faza wynalazków inżynierskich (maszyna parowa, konstrukcje mechaniczne, redukcja rud, wzrost produkcji stali 1850-60tyś. Ton, 1900-28 mil. Ton, 2000-800 mil.ton.)
- ❑ Faza odkryć naukowych (energia atomowa, światłowody, nadprzewodniki, nowe stany skupienia).

Materiały można klasyfikować według kryterium wiązań atomowych lub według kryterium funkcji użytkowych.

Klasyfikacja oparta na kryterium wiązań atomowych

- ❑ metale,
- ❑ ceramiki,
- ❑ polimery,
- ❑ kompozyty, fazy międzymetaliczne, materiały komórkowe.

Klasyfikacja oparta na funkcjach użytkowych materiałów

- ❑ materiały dla energetyki,
- ❑ materiały dla środków transportu,
- ❑ materiały dla elektroniki i telekomunikacji,
- ❑ tworzywa biomedyczne.

Klasyfikacja oparta na aktualnym zainteresowaniu materiałami

- ❑ nanotechnologie i nanomateriały,
- ❑ materiały biomedyczne,
- ❑ kompozyty i fazy międzymetaliczne,
- ❑ technologie związane z atomizacją i konsolidacją tworzyw metalicznych i ceramicznych.

Klasyfikacja oparta na sposobie uporządkowania atomów

- ❑ materiały krystaliczne
- ❑ materiały amorficzne
- ❑ materiały komórkowe

Klasyfikacja oparta na naturze wiązań międzyatomowych

- ❑ metale,
- ❑ polimery
- ❑ ceramiki

Klasyfikacja oparta na użytkowych funkcjach materiałów

- ❑ tworzywa konstrukcyjne
- ❑ tworzywa funkcjonalne
- ❑ tworzywa biomedyczne
- ❑ tworzywa budowlane
- ❑ tworzywa włókniste

Projektowanie materiałów – zadania inżynierii materiałowej

- ❑ dostosowywanie materiałów do ekonomicznego zaspokajania określonych potrzeb poprzez opracowywanie nowych lub udoskonalanie istniejących tworzyw;
- ❑ charakteryzowanie materiałów pod względem budowy fazowej, mikrostruktury i właściwości;
- ❑ przewidywanie i wykorzystywanie wpływu, jaki wywiera na materiał technologia jego syntezy i przetwarzania;
- ❑ przewidywanie zachowania się materiału w czasie jego pracy;
- ❑ badanie przydatności materiałów do spełniania wymagań
- ❑ rozwiązywanie problemów materiałowych w zaawansowanych systemach technicznych.

Podstawową istotą metody stosowanej przez inżynierię materiałową, jest analizą wielostronnych zależności istniejących pomiędzy czterema głównymi jej aspektami a mianowicie:

- ❑ zespołami cech charakteryzujących zachowanie się materiałów, dzięki którym stają się one dla nas interesującymi lub użytecznymi;
- ❑ właściwościami określającymi miarę użyteczności materiałów w konkretnych warunkach ich stosowania
- ❑ strukturą, rozumianą łącznie, jako budowa fazowa i mikrostruktura, która determinują właściwości i osiągi materiałów
- ❑ technologią obejmującą syntezę i przetwórstwo materiałów w wyniku, których następuje uzyskanie żądanej struktury (lub struktury i kształtu)

Podsumowując przeprowadzone rozumowanie można metodę projektowania (doboru) materiału do konkretnego zastosowania określić, jako proces dwustopniowy:

- ❑ poprzez wybór składu chemicznego projektujemy strukturę fazową powstającego materiału, ustalając na tej drodze typ wiązania międzyatomowego oraz określając sposób rozmieszczenia atomów traktowanych, jako elementy konstrukcji. Dzięki temu wpływamy na rozkład elektronów walencyjnych w układzie i decydujemy o tych właściwościach, które zależą od budowy fazowej. Równocześnie musimy dobrać technologię za pomocą, której zostanie przeprowadzona synteza zaprojektowanej fazy.
- ❑ wykorzystując wiedzę o naturze związków istniejących pomiędzy mikrostrukturą i właściwościami, projektujemy odpowiednią jej architekturę, a na drodze korekcji składu chemicznego niewielkimi ilościami dodatkowych pierwiastków (niezmieniającymi jednak budowy fazowej), wpływamy na zachowanie i wzajemne oddziaływanie elementów mikrostruktury, ustalając w ten sposób zależne od niej właściwości. Równocześnie dobieramy proces technologiczny, który doprowadzi do otrzymania tej mikrostruktury.

W wykładzie podkreśla się, że burzliwy rozwój nauki o materiałach, metod badawczych oraz oceny ich stosowalności w różnych warunkach eksploatacji nastąpił w XX w., a więc w okresie działalności ostatnich czterech pokoleń.

WYDZIELANIE DYNAMICZNE - STRUKTURALNE I MECHANICZNE SKUTKI PRZEMIANY FAZOWEJ PODCZAS ODKSZTAŁCANIA.

Przemiany fazowe w stopach metali są przedmiotem wielu analiz i prób wyjaśnienia związku między zmianami struktury a właściwościami uzyskanych materiałów. Większość badań dotyczących przemian fazowych prowadzi się w warunkach statycznych, czyli w warunkach wyżarzania w określonej temperaturze, lub zmian temperatury z określoną prędkością nagrzewania/chłodzenia stopu. Przykładem może być starzenie stopów aluminium, rekrytalizacja odkształconych materiałów, odpuszczanie stali – są to procesy określane jako procesy statyczne, czyli przebiegające bez udziału równoczesnego procesu odkształcania. W odróżnieniu od procesów statycznych, te same procesy, zachodzące podczas odkształcania nazywa się dynamicznymi. Dla przykładu, rekrytalizacja stali podczas walcowania na gorąco jest procesem rekrytalizacji statycznej, gdyż przebiega w przerwach między kolejnymi zgmiotami materiału. Proces rekrytalizacji dynamicznej może natomiast wystąpić podczas wyciskania miedzi na gorąco – bezpośrednio w strefie płynięcia plastycznego przed wyjściem materiału z otworu matrycy. Ze względów eksperymentalnych, badania procesów dynamicznych – rekrytalizacji dynamicznej, zdrowienia dynamicznego, wydzielania dynamicznego, lub dynamicznej koagulacji wydzielen - prowadzi się najczęściej wykorzystując próby ściskania, lub skręcania. W tych warunkach, zastosowanie niedużych prędkości odkształcania umożliwia utrzymanie procesu odkształcenia w dostatecznie długim czasie, aby wywołać zmiany związane z procesami dynamicznymi. co sprzyja intensywnym zmianom struktury. Uważa się, że duża intensywność dynamicznych procesów strukturalnych jest związana nie tylko z wysoką temperaturą, ale przede wszystkim obecnością nadmiarowych wakacji i innych defektów punktowych tworzących się pod wpływem odkształcania, które zwiększają intensywność procesów dyfuzyjnych (samodifuzji i dyfuzji składników) w metalach i stopach.

W ramach prezentacji pokazane zostaną przykłady zmian strukturalnych i uzyskane efekty zmian własności mechanicznych wywołanych wydzielaniem dynamicznym w stalach niskostopowych, wybranych stopach aluminium i miedzi. W odniesieniu do praktyki przemysłowej, omówione zostaną aspekty technologiczne występowania dynamicznych procesów strukturalnych. Pokazane zostaną kierunki możliwych zastosowań unikalnych efektów związanych z dynamicznym zdrowieniem i dynamicznym wydzielaniem w kształtowaniu struktury stopów ze szczególnym uwzględnieniem możliwości temperaturowej stabilizacji struktury (własności) wyrobów. Oprócz korzystnych - z praktycznego punktu widzenia – zmian strukturalnych wywołanych wydzielaniem dynamicznym, pokazane zostaną ujemne efekty zmian struktury materiałów związane z niejednorodnym odkształceniem i związanym z nim niejednorodnym wydzielaniem. W szczególności, wydzielanie dynamiczne w stopach miedzi (CuNiSiCrMg, CuTi) prowadzi do lokalizacji przemiany nieciągłej i dynamicznej koagulacji wydzielen, co powoduje znaczące obniżenie siły podczas odkształcania i możliwość rozwoju pęknięć w odkształcanym materiale.

SZYBKĄ KRYSZALIZACJA STOPÓW - PRZEZ NANO-STRUKTURĘ DO WYSOKICH WŁASNOŚCI LEKKICH MATERIAŁÓW METALICZNYCH.

W literaturze można wyróżnić co najmniej kilka kierunków badań zmierzających do uzyskiwania lekkich materiałów metalicznych o wysokich własnościach wytrzymałościowych. Na ogół, osnową takich materiałów są metale takie jak aluminium, magnez, tytan, lub ich stopy. Czyste metale wykazują znaczną plastyczność, ale niewielką wytrzymałość. Z tego względu stosuje się różne procesy strukturalne zmierzające do zwiększenia własności wytrzymałościowych, w szczególności umocnienie odkształceniowe, umocnienie przez wprowadzenie dodatków stopowych do roztworu stałego, umocnienie wydzieleniowe, dyspersyjne, lub z wykorzystaniem przemian fazowych.

W ramach wykładu zostaną omówione ogólne wnioski wynikające ze współpracy polsko-japońskiej w zakresie wykorzystania metod szybkiej krystalizacji stopów aluminium w celu uzyskania silnej dyspersji wydzielen, zwłaszcza tych składników fazowych, które nie są wykorzystywane w kształtowaniu własności mechanicznych w warunkach technologii starzenia stopów. W szczególności metale przejściowe takie jak żelazo, mangan, chrom kobalt, nikiel, molibden i in. tworzą fazy międzymetaliczne z aluminium, których trwałość w podwyższonej temperaturze i brak znaczącej zmiany rozpuszczalności w osnowie aluminiowej praktycznie uniemożliwia obróbkę cieplną w procesie starzenia. Cechą charakterystyczną wielu układów tego typu jest tworzenie się w szybko-krystalizowanych stopach wydzielen o strukturze quasi-krystalicznej, charakteryzującej się odmienną symetrią niż w znanych 14-tu typach sieci Bravais'ego.

Większość produktów uzyskiwanych w procesie szybkiej krystalizacji jest wytwarzana w formie proszków, płatków, lub cienkich taśm skryszalizowanego stopu. Niezbędne jest zatem wykorzystanie technologii mechanicznej konsolidacji takich jak prasowanie próżniowe i wyciskanie, które najczęściej prowadzone jest w warunkach podwyższonej temperatury. W rezultacie skonsolidowane materiały tracą przynajmniej częściowo cechy strukturalne związane z bardzo szybką krystalizacją stopu. W podwyższonej temperaturze następuje przede wszystkim rozrost ziarn, oraz wydzielen łącznie ze zmianami struktury, zwłaszcza quasi-krystalicznych, dyspersyjnych wydzielen faz metastabilnych. Podczas wykładu zostaną omówione grupy stopów o zróżnicowanej odporności wydzielen na rozrost i zmiany struktury w warunkach działania podwyższonej temperatury.

W przypadku szybko-krystalizowanych stopów, które w popularnych technologiach produkcji poddaje się starzeniu, można spodziewać się, że szybkie ochłodzenie cieczy powinno doprowadzić do przesylenia uzyskanego stopu. W rzeczywistości – jak zostanie pokazane na przykładzie stopów Mezo 10 i Mezo 20 – uzyskane struktury, jak również efekty zastosowanej obróbki cieplnej są bardziej złożone niż wynikałoby z ogólnie akceptowanych opisów podręcznikowych. Przesunięcie zakresu składu fazowego względem publikowanych w literaturze wykresów równowagi fazowej jest wyjątkowo duże, a skuteczność przesylenia uzyskanego materiału jest niewielka. Dodatkowym utrudnieniem uzyskania efektu umocnienia przez starzenie stopu jest praktycznie brak zarodkowania homogenicznego silnie dyspersyjnych wydzielen odpowiedzialnych za wzrost własności mechanicznych. Większość wydzielen podczas prób starzenia wzrasta heterogenicznie na licznych defektach sieci (granice międzyfazowe pierwotnych stabilnych wydzielen, granice ziarn i podziarn w ultra-

drobnoziarnistych materiałach). Ten sposób zarodkowania wydzielen podczas rozpadu przesyconego roztworu stałem nie prowadzi do znaczącego umocnienia starzonego stopu.

Pomimo odmiennych efektów starzenia szybko-krystalizowanych stopów aluminium, pozostałe cechy szybko-krystalizowanych stopów z dodatkami metali przejściowych o silnie rozdrobnionych składnikach struktury pozwalają na uzyskanie wyższych własności mechanicznych niż w przypadku stopów wytwarzanych tradycyjnymi metodami metalurgicznymi. Dodatkowo, ze względu na stabilność wydzielen z udziałem metali przejściowych, możliwe jest utrzymanie dużej wytrzymałości w podwyższonej temperaturze różnych wyrobów uzyskanych z lekkich materiałów metalicznych, co znacznie zwiększa zainteresowanie potencjalnych odbiorców.

Prof. dr hab. inż. Ludwik Błaz
Wydział Metali Nieżelaznych, AGH, Kraków

KOMPOZYTY METALICZNE - PRZEGLĄD METOD METALURGICZNYCH WYTWARZANIA KOMPOZYTÓW, RODZAJE ZBROJENIA, WŁAŚCIWOŚCI, REAKTYWNOŚĆ SKŁADNIKÓW, MECHANICZNA SYNTEZA KOMPOZYTÓW. MECHANICZNA SYNTEZA LEKKICH KOMPOZYTÓW METALICZNYCH

W miarę możliwości w dostępnym czasie wykładu na wstępie zostaną omówione podstawowe metody wytwarzania kompozytowych materiałów metalicznych, w tym metody metalurgiczne, zastosowanie metod metalurgii proszków i mechanicznej konsolidacji proszków do wytwarzania kompozytów. Pokazane zostaną cechy strukturalne i właściwości przykładowego kompozytu na osnowie stopu aluminium zbrojonego wiskersami SiC.

Główna tematyka wykładu dotyczy kompozytów wytwarzanych metodą mechanicznej syntezy (Mechanical Alloying—MA) połączonej z metodami konsolidacji proszków metalicznych. Mechaniczna synteza jest zasadniczo oparta na mieleniu proszków będących składnikami kompozytu. Rodzaj młyna, skład mieszaniny proszkowych substratów, czas mielenia, temperatura i atmosfera ochronna, zastosowanie odpowiedniego dodatku zapobiegającego aglomeracji proszków i warunki mielenia, oraz warunki konsolidacji proszków kompozytowych – to tylko wybrane czynniki decydujące o właściwościach uzyskanych materiałów. W literaturze wyróżnia się na ogół trzy rodzaje kompozytów charakteryzujące się połączeniem składników o zróżnicowanej plastyczności układu osnowa/zbrojenie, np.: plastyczny/plastyczny, plastyczny/kruchy i kruchy/kruchy. Mniej informacji można znaleźć na temat reaktywności chemicznej składników kompozytowych.

W ramach współpracy naukowej z Nihon University w Tokio od kilkunastu lat prowadzone są w AGH prace badawcze w zakresie zastosowania tlenków różnych metali (MeO) do zbrojenia kompozytów MA na osnowie aluminium (Al) i stopów aluminium-magnez (AlMg). Istotnym ograniczeniem zastosowań tych kompozytów na elementy układów pracujących w podwyższonej temperaturze jest skłonność do reakcji chemicznej w stanie stałym między osnową a dyspersyjnym zbrojeniem. Analiza kilkudziesięciu układów Al-MeO i AlMg-MeO pozwoliła na wyróżnienie co najmniej dwóch grup materiałów kompozytowych. Pierwszą grupę (I) stanowią kompozyty umacniane tlenkami MeO, w których metal Me nie rozpuszcza się w osnowie, lub w bardzo ograniczonym zakresie, a pierwiastek Me nie tworzy fazy międzymetalicznej z aluminium. Na podstawie badań strukturalnych i rentgenograficznych stwierdzono, że zmiany strukturalne w podwyższonej temperaturze

prowadzą do utworzenia silnie dyspersyjnych tlenków aluminium, lub spineli i tlenków magnezu, oraz wydzielen metalicznych typu Me. Lokalna redukcja objętości produktów reakcji chemicznej jest przyczyną wystąpienia niepożądanego porowatości materiału. W drugiej grupie kompozytów redukcja tlenków MeO przez pierwiastki osnowy prowadzi do utworzenia fazy międzymetalicznej na ogół typowej dla najbliższej fazy od strony Al w układzie równowagi termodynamicznej Al-Me. W tym wypadku można wyróżnić dwa rodzaje układów Al-Me, lub AlMg-Me: Proces redukcji MeO i dyfuzji uwolnionego pierwiastka Me do otaczającej osnowy prowadzi do zmniejszenia objętości właściwej w wyniku utworzenia fazy międzymetalicznej Al_xMe_y , lub do lokalnego zwiększenia objętości. W pierwszym przypadku można spodziewać się zwiększenia skłonności do wzrostu porowatości wyżarzanego kompozytu. W drugim jednak przypadku, wzrost ziarn fazy międzymetalicznej może zmniejszyć, lub zapobiec wzrostowi porowatości w podwyższonej temperaturze. Dodatkowo, wzrost wydzielen Al_xMe_y może być znacznie silniejszy, gdyż rozrastające się ziarno Al_xMe_y zwiększając swoją objętość, utrzymuje stały kontakt na granicy wydzielenie/osnowa i ułatwia tym samym dyfuzję MeAl na granicy międzyfazowej i efektywny wzrost wydzielenia. Pokazane zostaną przykłady kilku układów Al-MeO, AlMg-MeO z opisem reakcji chemicznych między składnikami i odpowiednią dokumentacją badań strukturalnych, oraz badań własności mechanicznych w szerokim zakresie temperatury odkształcania i wyżarzania kompozytów. W badaniach wykorzystano przede wszystkim próby wysokotemperaturowego ściskania, badania twardości kompozytów przed i po wyżarzaniu, analizy kalorymetryczne, badania strukturalne za pomocą mikroskopii świetlnej, transmisyjnej mikroskopii elektronowej, mikroskopii skaningowej i analizę składu chemicznego składników mikrostruktury.

dr inż. Krzysztof Bryła
Wydział Matematyczno-Fizyczno-Techniczny UP KEN, Kraków

MIKROSTRUKTURA I WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE STOPU MAGNEZU AZ31 PO PROCESIE ECAP

Jedną z metod poprawy właściwości mechanicznych stopów jest metoda przeciskania przez kanał kątowy ECAP (ang. Equal Channel Angular Pressing), co powoduje znaczne rozdrobnienie ziarna, dzięki temu poślizg staje się możliwy przy udziale granic ziaren.

W referacie przedstawiono zmiany mikrostruktury i właściwości mechanicznych stopu AZ31 po czterokrotnym przejściu przez kanał kątowy w temperaturze 150 C i 250 C.

Próbki zostały przecięnięte czterokrotnie przez kanał kątowy o nachyleniu 90 w temperaturze 150 C i 250 C. Do badań mikrostruktury oraz mechanicznych wybrano miejsca ze środka przekroju wzdłużnego równoległe do kierunku przeciskania. Mikrostruktury próbek obserwowano za pomocą mikroskopii optycznej oraz transmisyjnej mikroskopii elektronowej. Właściwości mechaniczne próbek po procesie ECAP zostały określone na podstawie badań twardości i prób ściskania.

Mikrostruktura po czterech przejściach przez kanał kątowy w obu temperaturach charakteryzuje się stosunkowo jednorodną wielkością ziarna. Większe ziarna uzyskane w wyższej temperaturze procesu przeciskania spowodowane są aktywacją procesów zdrowienia dynamicznego, które objawiają się przegrupowaniem dyslokacji i tworzeniem struktury podziarnowej. Wyraźne zmniejszenie wielkości ziaren stopu AZ31 metodą przeciskania przez

kanal kątowy w temperaturze 150C powoduje znaczny wzrost granicy plastyczności do 190 MPa i wytrzymałości na ściskanie do 360 MPa.