



Struktura i własności wybranych masywnych szkieł metalicznych Fe-Co-Cr-Mo-C-B-Y

A. Radko ^a, W. Pilarczyk ^b

^a Doktorantka Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny,
email: agnieszka.radko85@gmail.com

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny,
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Materiałów Nanokrystalicznych
i Funkcjonalnych oraz Zrównoważonych Technologii Proekologicznych
email: wirginia.pilarczyk@polsl.pl

Streszczenie: W niniejszym artykule przedstawiono ogólną charakterystykę masywnych stopów amorficznych oraz wybranych stopów $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ i $\text{Fe}_{41}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Y}_2$ otrzymanych w postaci prętów o średnicy 1,5[mm]. Pręty otrzymano w procesie odlewania ciśnieniowego. Przedstawiono również wpływ itru na strukturę i własności badanych stopów. Ponadto przedstawione zostało również zastosowanie masywnych szkieł metalicznych oraz wybranych stopów Fe-Co-Cr-Mo-C-B-Y. Zasadniczym celem pracy było wytworzenie oraz zbadanie struktury i własności stopów $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ i $\text{Fe}_{41}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Y}_2$. W ramach pracy własnej otrzymano i przeprowadzono badania strukturalne za pomocą rentgenowskiej analizy fazowej, mikroskopii świetlnej i elektronowej.

Abstract: The general description of the BMG and the chosen alloys of $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ and $\text{Fe}_{41}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Y}_2$ was introduced in the master's thesis. The alloys were received in the form of rods with diameter of 1,5[mm]. In the casting pressure process rods were received. The influence of ytterium on the structure and properties of the studied alloys was also presented. Moreover, the application of BMG and chosen alloys of Fe-Co-Cr-Mo-C-B-Y was introduced. The main purpose of the work was to manufacture and examine the structure and properties of the chosen $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ i $\text{Fe}_{41}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Y}_2$ alloys. During my own study the structural examination by means of X-ray diffractometer phase analysis/X-ray diffraction, optical microscopy and electron microscopy were carried out.

Słowa kluczowe: masywne szkła metaliczne, zdolność do zeszklenia

1. WSTĘP

Masywne szkła metaliczne stanowią grupę bardzo interesujących materiałów inżynierskich. Pierwsze amorficzne stopy metali wytworzono już w latach 60-tych. Ich twórcą był Pol Duwez z California Institute of Technology w Pasadenie. Wytworzone materiały charakteryzowały się jednak małymi wymiarami geometrycznymi. Z biegiem czasu i postępu nauki, naukowcom udało się uzyskać materiał amorficzny o większej średnicy.

Obecnie masywne szkła metaliczne znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach nauki, techniki, a także w życiu codziennym. Charakteryzują się wysoką wytrzymałością oraz twardością, a zarazem sprężystością i elastycznością. Znajdują zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, np. w przemyśle sportowym, spożywczym, stoczniowym, kosmonautyce, a także w medycynie.

Dzięki obecności dodatków stopowych masywne szkła metaliczne charakteryzują się odpornością na korozję, są lekkie a zarazem wytrzymałe. Ponadto masywne szkła metaliczne cechują się wysoką biokompatybilnością. Dzięki temu mogą być stosowane jako narzędzie chirurgiczne oraz jako elementy implantów, wpływają na proces tworzenia stopów amorficznych, polepszają stabilność termiczną, odporność na korozję, nawet w stadium początkowym tworzenia danego stopu. Przesycenie szkła metalicznego danym dodatkiem, może powodować np. obniżenie granicy wytrzymałości danego materiału [1,2].

Metody wytwarzania materiałów metalicznych są bardzo zróżnicowane, zależnie od rodzaju materiału, ale zawsze wywierają istotny wpływ na strukturę, a więc i własności. Najpopularniejszymi i najczęściej stosowanymi są metody odlewania materiałów do formy miedzianej. Formy te mogą nadawać ostateczny kształt lub mogą formować tzw. wlewki przeznaczony do przeróbki plastycznej na gorąco lub zimno. Struktura, a więc i własności, zależą istotnie od metody formowania i często są bardziej korzystne po przeróbce plastycznej niż po odlewaniu. Podstawowymi metodami otrzymywania masywnych materiałów amorficznych są [3,4,14]:

- odlewanie wysokociśnieniowe;
- odlewanie zasysające;
- odlewanie do formy miedzianej;
- odlewanie odśrodkowe;
- odlewanie zaciskowe;
- odlewanie przechyłowe.

Aby otrzymać strukturę amorficzną konieczne jest bardzo szybkie chłodzenie cieczy z szybkością rzędu 10^4 do 10^6 [K/s]. Zdolność do zeszklenia wiąże się z aspektem kinematycznym i termodynamicznym krystalizacji. GFA zależy w dużym stopniu od rodzaju pierwiastków stopowych, które tworzą dany stop. Odpowiedni ich dobór pozwala uzyskać materiały o wysokim GFA. Duża zdolność do zeszklenia pozwala uzyskać stopy o strukturze amorficznej i nanokrystalicznej, nawet przy mniejszych prędkościach chłodzenia, np. materiałem o największej do tej pory grubości, stop $\text{Pd}_{40}\text{Cu}_{30}\text{Ni}_{10}\text{P}_{20}$. Przy prędkości chłodzenia 10^{-1} [K/s] otrzymano element o grubości około 100 [mm]. Na tym przykładzie można zaobserwować, że zdolność do zeszklenia uległa znacznej poprawie, wzrosła z 10^7 [K/s] do 10^{-1} [K/s] w stosunku do klasycznych szkieł metalicznych. Uzyskanie odlewów o tak dużych średnicach jest bardzo trudne. Najczęściej udaje się to naukowcom, pracującym w specjalnych laboratoriach, wyposażonych w odpowiedni sprzęt [1,5,16].

Zdolność do zeszklenia stopu odzwierciedla fizyczną naturę stopu i wskazuje, czy stop może zostać przeznaczony do formowania masywnego szkła metalicznego w procesie konwencjonalnych procesów odlewania. Jest to bardzo ważny parametr, dzięki któremu możliwe jest uzyskanie nowego materiału z unikalnymi mechanicznymi własnościami [6,15].

Istnieje kilka sposobów na zwiększenie zdolności do zeszklenia [5,16]:

- krytyczna szybkość chłodzenia głównego składnika stopowego jest mniejsza;
- procesowi towarzyszy niskie ciepło mieszania;
- występuje silne oddziaływanie przyciągające między atomami stopu.

2. WŁASNOŚCI I STRUKTURA WYBRANYCH MASYWNYCH SZKIEŁ METALICZNYCH

Masywne szkła metaliczne są materiałami będącymi w centrum zainteresowania inżynierii materiałowej. Stwarzają nowe możliwości zastosowania, które nigdy nie zostałyby osiągnięte przy stosowaniu materiałów konwencjonalnych [21].

Dalszy rozwój masywnych materiałów amorficznych jako materiałów konstrukcyjnych jest obiecujący. Duży wpływ na własności materiałów amorficznych mają dodatki stopowe. Polepszają one odporność na korozję, sprężystość, twardość, elastyczność, wytrzymałość na rozciąganie, własności magnetyczne i elektryczne [3,18].

Masywne materiały amorficzne znajdują zastosowanie w produkcji elementów telefonów komórkowych, aparatów cyfrowych, komputerów przenośnych. Ponadto wykorzystywane są również w sporcie jako części kijów golfowych i ram rowerowych. Bardzo ważne jest to, że materiały amorficzne są materiałami biokompatybnymi. Mogą być wykorzystywane w medycynie jako elementy protez chirurgicznych lub do produkcji narzędzi chirurgicznych [23].

Istotnym zadaniem inżynierii materiałowej jest poszukiwanie związków między właściwościami materiału, a jego strukturą. Poszukuje się takich cech lub charakterystyk struktury, które opisują ją możliwie najpełniej i które mają decydujący wpływ na własności materiału [7,8].

Masywne szkła metaliczne posiadają budowę amorficzną (bezipostaciową). Powszechnie znanym materiałem amorficznym jest szkło, stąd też takie materiały nazywa się również szklistymi [1,7,8].

Wszystkie stopy Fe-Co-Cr-Mo-C-B-Y posiadają dużą wartość zdolności do zeszklenia, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie elementu o strukturze amorficznej, o średnicy 16 [mm]. Itr wpływa na własności masywnych szkieł metalicznych. Skład chemiczny jest tak dobrany, aby masywny materiał amorficzny posiadał doskonałe własności [9,7,10]:

- itr (Y) główny pierwiastek, który odpowiada za wysoką zdolność do zeszklenia;
- żelazo (Fe) podwyższa wytrzymałość stopu, polepsza własności fizyczne;
- bor (B) posiada doskonałe własności przyspieszające i polepszające proces zeszklenia stopu;
- kobalt (Co) odpowiada za polepszenie elastyczności materiału amorficznego (niewielki mikrododatek powoduje zwiększenie gęstości stopu);
- chrom (Cr) odpowiada przede wszystkim za bardzo dobrą odporność korozyjną masywnych szkieł metalicznych;
- molibden (Mo) nadaje dużą twardość masywnym szkłom metalicznym;

- węgiel (C) powoduje jedynie termostabilność stopu.

Już niewielki dodatek itru (od 2% do 4%) polepsza znacznie własności masywnego szkła metalicznego. Pierwiastek ten wpływa korzystnie na zdolność do zeszklenia masywnego szkła metalicznego, znacznie podwyższając ją. Ponadto dodatek itru w masywnych materiałach amorficznych sprawia, że [10,11]:

- powstaje nieszkodliwy tlenek itru;
- obniża temperaturę likwidus;
- zwiększa zdolność do zeszklenia.

Struktura szkieł metalicznych nie jest jednak do końca zidentyfikowana. Najczęściej przyjmuje się, że posiada uporządkowanie bliskiego zasięgu. Obrazy dyfuzyjne nie wykazują jednak plamek dyfrakcyjnych bądź ostrych pierścieni. Można stwierdzić, że są one rozmyte i nie dają kontrastu dyfrakcyjnego. Ich cechą charakterystyczną jest również to, że nie stwarzają możliwości określenia położenia atomów [7,17].

W materiałach amorficznych nie identyfikuje się granic ziarn czy innych defektów charakterystycznych dla ciał krystalicznych. Informacje o położeniu atomów w szkłe metalicznym można uzyskać na podstawie funkcji rozkładu radialnego atomów [3,7].

Struktura danego materiału amorficznego zależy przede wszystkim od rodzaju pierwiastków, które tworzą dany materiał, dodatków stopowych, które wpływają na własności materiału oraz od sposobu wytwarzania danego materiału. Wytwarzanie materiałów amorficznych ma bezpośredni wpływ na własności materiału. Może być przeprowadzane poprzez [12]:

- I: pozyskanie wiedzy na temat własności, które chcemy osiągnąć oraz zestawieniu ich z własnościami jakie może uzyskać nowy materiał;
- II: udoskonalenie istniejącego już materiału i opracowaniu szeregu zabiegów, którym materiał zostanie poddany, w celu uzyskania nowego, masywnego materiału amorficznego;
- III: rozwój baz danych o zastosowaniu przyszłego materiału amorficznego.

3. ZASTOSOWANIE WYBRANYCH MASYWNYCH SZKIEŁ METALICZNYCH

Możliwość zastosowania masywnych szkieł amorficznych jest bardzo duża. Mogą być wykorzystywane jako materiały konstrukcyjne. Amorficzne stopy na osnowie Fe, Ti, Mg i Al mogą być stosowane w samolotach, napędach rakietowych oraz w motoryzacji, ponieważ są odporne na korozję. Stopy tytanu wykorzystywane są w przemyśle [4,13,14]:

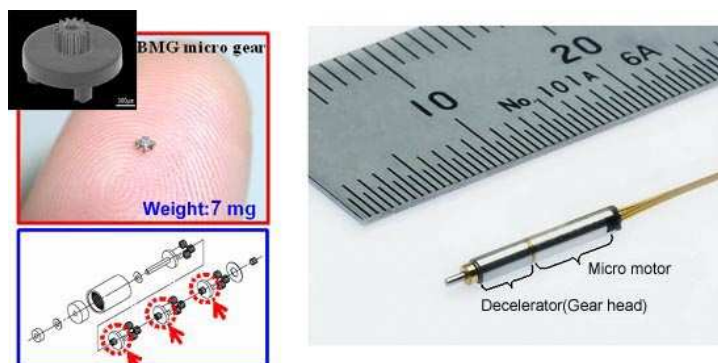
- lotniczym;
- kosmicznym;
- produkcji rowerów;
- medycynie – do produkcji implantów (szczególnie implanty na kolana);
- na ostrza narzędzi chirurgicznych.

Zarówno szkła amorficzne, jak i kompozyty z amorficzną osnową mogą być stosowane na elementy konstrukcyjne. Bardzo ciekawą cechą masywnych szkieł amorficznych, wykorzystywanych jako materiały konstrukcyjne jest to, że stopy na osnowie Al mogą zastępować tytan, ponieważ są również lekkie oraz o wiele tańsze. Ponadto są to elementy odporne na korozję. Stopy pierwszej generacji na osnowie metali wysokotopliwych, jak

i amorficzne stopy i kompozyty na osnowie Al wykazują wytrzymałość na rozciąganie o 25% większą niż konwencjonalne stopy Al [4,6,15].

Metale amorficzne mają szerokie zastosowanie w medycynie. Narzędzia chirurgiczne aktualnie są najczęściej wykonywane ze stopów tytanu lub z diamentu, który jest bardzo drogi. Opracowano specjalną technikę, za pomocą której, można pokryć bardzo cienką warstwą amorficznego metalu np. skalpel, który wykazuje takie same zewnętrzne właściwości jak szkło metaliczne: jest bardzo ostry, odporny na korozję, ścieranie i jest o wiele tańszy niż diamentowy. Na pewno medycyna dużo skorzysta z niesamowitych właściwości materiałów amorficznych, które posłużą do produkcji implantów, protez, płytek stabilizacyjnych, narzędzi chirurgicznych, pomp insulinowych, rozruszników, itp. [5,7,17].

Dzięki nieobecności granic ziarn, szkła metaliczne są materiałami charakteryzującymi się dużą twardością oraz dobrymi własnościami plastycznymi, sprężystymi i elastycznymi. Japońscy naukowcy ciągle pracują nad opracowaniem coraz to nowszych technologii, które pozwoliłyby na szersze wykorzystanie masywnych materiałów amorficznych. W 2006 roku właśnie w Japonii rozpoczęto prace nad nowym projektem, mającym na celu miniaturyzację. Materiał amorficzny wykorzystany został do stworzenia najmniejszego na świecie motoreduktora. Do tej pory do produkcji mikro motoreduktorów stosowano zwykłe materiały metalowe. Nie spełniały jednak oczekiwań (brak odporności na korozję, mała twardość, kruchość). Poniższy rysunek (Rys.1) przedstawia najmniejszy na świecie motoreduktor [18].



Rys. 1. Przykład mikro motoreduktora [18]

Ponadto masywne szkła metaliczne wykorzystywane są również do wytwarzania czujników nacisku. Jest to zasługa takich własności jak: twardość i przewodność elektryczna. Przykład zastosowania masywnych materiałów amorficznych jako czujnik nacisku przedstawia rysunek 2 [18].



Rys. 2. Czujniki nacisku [18]

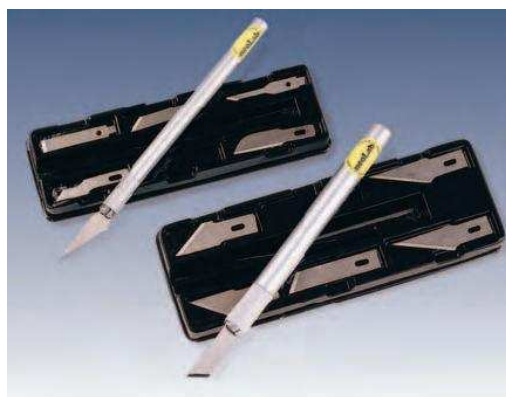
Można stwierdzić, że jesteśmy na początku nowej ery pod względem użycia i zastosowania masywnych szkieł metalicznych. Ich udział w świecie nauki i techniki rozrasta się coraz bardziej. Doskonałe własności masywnych szkieł metalicznych są uzyskiwane dzięki odpowiednio przeprowadzonej obróbce cieplnej. Sprawia ona, że materiały posiadają unikalne połączenie siły oraz twardości. Przez bardzo długi okres czasu, masywne szkła metaliczne uchodziły za materiały luksusowe. Obecnie ich udział w postępie techniki jest bardzo duży. Coraz więcej koncernów elektronicznych, używa szkieł metalicznych jako komponentów, do produkcji wybranych elementów.

Masywne materiały metalowe wykorzystywane są jednak najczęściej w przemyśle sportowym, w szczególności z mikrododatkami Cr, Ti, Cu, Zr. Głównymi mikrododatkami są: tytan - odpowiadający za twardość, oraz aluminium-mające wpływ na lekkość. Poniżej przedstawiono wyroby przemysłu sportowego, zawierające elementy masywnych szkieł metalicznych (Rys.3).



Rys. 3. Wyroby przemysłu sportowego, zawierające komponenty masywnych materiałów amorficznych [20,21]

Amorficzne szkła metaliczne stosowane są również w medycynie. Dzięki swej biokompatybilności oraz odporności na korozję masywne szkła metaliczne mogą być wykorzystywane jako element implantów (np. kolan). Jest również doskonałym materiałem do wytwarzania narzędzi chirurgicznych. Jest wykorzystywany (zamiast diamentu) do produkcji skalpeli, noży oraz jako ostrza brzytw [3]. Poniższy rysunek przedstawia ostrze narzędzi chirurgicznych wykonanych z masywnych materiałów amorficznych (Rys.4).



Rys. 4. Ostrze narzędzia chirurgicznego z masywnego materiału amorficznego [22]

4. MATERIAŁ DO BADAŃ

Ze względu na wysokie GFA oraz interesujące własności materiału amorficznego, do procesu wytworzenia masywnego materiału amorficznego wybrano stopy: $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ oraz $\text{Fe}_{41}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Y}_2$.

Próbki o średnicy 1,5 [mm] otrzymano za pomocą odlewania ciśnieniowego. Przed przystąpieniem do procesu przetapiania pierwiastków stopowych wykonano niezbędne czynności, między innymi:

- rozdrobniono większe kawałki materiału wyjściowego;
- przeliczono skład atomowy na wartość wagową materiału;
- odważono odpowiednią ilość pierwiastków stopowych.

Wyżej wymienione materiały posiadają dużą zdolność do zeszklenia. Jest ona jedną z najwyższych otrzymanych dotychczas wartości GFA. Masywne materiały amorficzne, wykorzystane do procesu charakteryzują się bardzo dobrą odpornością na korozję.

5. PRZEBIEG BADAŃ

Zakres badań obejmował:

- przeprowadzenie procesu przetapiania materiałów wyjściowych;
- przeprowadzenie procesu odlewania masywnych szkieł metalicznych (z wytworzonych stopów wstępnych);
- badanie struktury uzyskanych stopów za pomocą rentgenowskiej analizy fazowej;
- badanie struktury uzyskanych stopów za pomocą mikroskopii świetlnej i elektronowej mikroskopii skaningowej;

Przetapianie i odlewanie wybranych masywnych szkieł metalicznych przeprowadzono w laboratorium wydziału Mechanicznego Technologicznego. Do procesu przetapiania masywnych szkieł metalicznych wykorzystano generator indukcyjny TECHMA – ELCAL, TYP – REL 15, Nr 05042, o zasilaniu $3 \times 380 \text{ V} \pm 5\%$, 50 Hz, 27 kVA, mocy 15 kW, częstotliwości 300÷400 kHz oraz chłodzeniu wodnym $1 \text{ m}^3/\text{h}$. Przetopiony materiał odlano do formy miedzianej z systemem chłodzenia wodą, otrzymano pręty o średnicy 1,5 [mm]. Proces odlewania ciśnieniowego przebiegał w atmosferze gazu ochronnego – argonu.

W ramach badań rentgenowskich dokonano jakościowej analizy fazowej próbki w postaci prętów w stanie bezpośrednio po odlaniu. Rentgenowską analizę faz krystalicznych występujących w badanych próbkach wykonano na podstawie pomiaru i interpretacji dyfraktogramów sporządzonych przy pomocy dyfraktometru rentgenowskiego XRD 7 firmy Seifert – FPM.

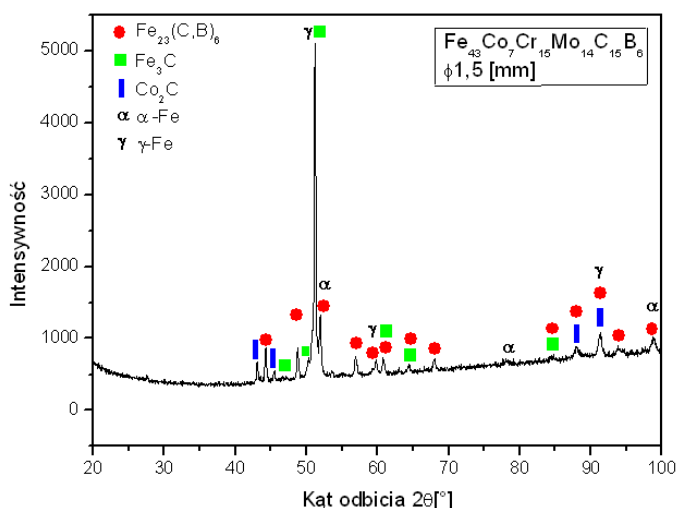
Badania próbek w postaci prętów o średnicy 1,5 [mm] wykonanych ze stopów $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ i $\text{Fe}_{41}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Y}_2$, przeprowadzono na mikroskopie świetlnym typu LEICA MEF4A w laboratorium Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Ponieważ badane substancje posiadają złożony skład chemiczny, wystąpiły trudności w procesie trawienia. Pomimo wielu prób, niektórych powierzchni próbek nie udało się wytrawić żadnym odczynnikiem chemicznym. Badane próbki reagowały najlepiej na następujące odczynniki chemiczne:

- roztwór chlorku żelaza, kwasu solnego oraz alkoholu etylowego;
- nital (4%);
- odczynnik Beraha.

6. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

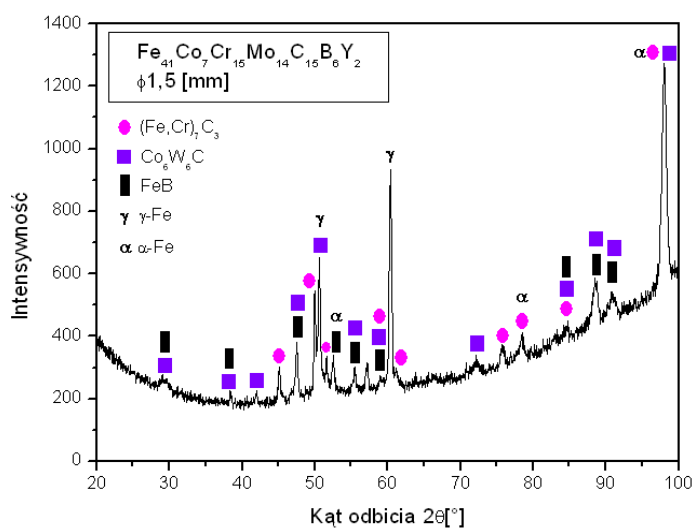
Rentgenowska jakościowa analiza fazowa wykazała, że skład fazowy badanych próbek o średnicy 1,5 [mm] jest następujący: w próbce nie zawierającej itru występują fazy metaliczne na osnowie żelaza α (feryt) i γ (austenit). Występują ponadto węgliki i węglkoborki. Najwięcej jest węglika Cr_{26}C_6 . Najprawdopodobniej jest to związek $\text{Fe}_{23}(\text{C},\text{B})_6$. Występuje ponadto cementyt Fe_3C oraz Co_2C .

Poniższy dyfraktogram (Rys.5) przedstawia wyniki badań rentgenowskich stopu $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ odlanego w postaci pręta o średnicy 1,5[mm]. Z dyfraktogramów wynika, że fazą dominującą w stopie jest $\text{Fe}_{23}(\text{C},\text{B})_6$. Ponadto występuje również faza α –Fe, γ –Fe, Fe_3C oraz Co_2C .



Rys.5. Dyfraktogram rentgenowskiej analizy fazowej stopu $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ w postaci odlanego pręta o średnicy ϕ 1,5 [mm]

Kolejny dyfraktogram przedstawia wyniki analizy rentgenowskiej dla pręta o składzie chemicznym $\text{Fe}_{41}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Y}_2$. Badane próbki posiadają w swym składzie chemicznym itr. Itr jest pierwiastkiem chemicznym, wywierającym znaczący wpływ na strukturę badanych próbek. Z jednej strony itr wpływa korzystnie na GFA – znacznie ją podwyższając, lecz w przypadku badanych próbek prawdopodobnie utrudnił on otrzymanie struktury amorficznej stopów. Występuje podwyższenie tła oraz poszerzenie linii dyfrakcyjnych, co może być związane z powstawaniem niewielkiej ilości fazy amorficznej.



Rys. 6. Dyfraktogram rentgenowskiej analizy fazowej stopu $\text{Fe}_{41}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Y}_2$ w postaci odlanego pręta o średnicy $\varnothing 1,5$ [mm]

Badania za pomocą mikroskopii świetlnej dowodzą, że wszystkie badane stopy posiadają strukturę krystaliczną. W celu ujawnienia struktury, przeprowadzono proces trawienia badanych próbek. Ponadto na niektórych próbkach widoczne są obszary dziur i wgłębień, pochodzące z procesu szlifowania i polerowania próbek.

Wyniki badań struktury stopu $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ o średnicy 1,5 [mm] zostały przedstawione poniżej (Rys.7).



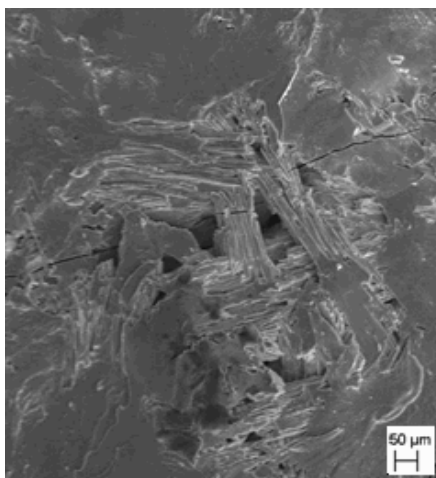
Rys. 7. Obraz struktury stopu $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ w postaci pręta o średnicy 1,5 [mm], powiększenie 200x

Obserwacje struktury stopu $\text{Fe}_{41}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Y}_2$ przedstawiono na rysunkach (Rys.8). Próbkę trawiono w roztworze chlorku żelaza, kwasu solnego oraz alkoholu etylowego w czasie 20[s]. Na zdjęciach widać strukturę iglastą, choinkową, zbliżoną kształtem do dendrytu. Jest ona charakterystyczna dla stopów o strukturze krystalicznej.



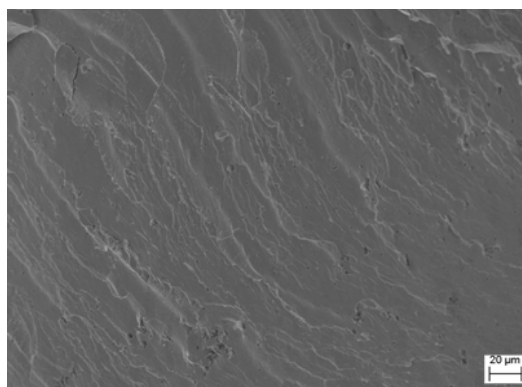
Rys. 8. Obraz struktury stopu $\text{Fe}_{41}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Y}_2$ w postaci pręta o średnicy 1,5 [mm], powiększenie 200x

Poniższy rysunek (Rys.9) przedstawia otrzymane zdjęcie próbki $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ o średnicy 1,5 [mm]. Badanie przełomu stopu, wykazuje, że przełom ten charakteryzuje się morfologią przełomów kruchych, międzykrystalicznych, łupliwych. Na zdjęciu widoczne jest również uszkodzenie stopu – pęknięcie, spowodowane niską odpornością na pękanie materiału.



Rys. 9. Powierzchnia przełomu stopu $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ w postaci pręta o średnicy 1,5[mm], pow.200x (SEM)

Zdjęcia przełomu stopu $\text{Fe}_{41}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Y}_2$ o średnicy 1,5[mm] przedstawione są na rysunku 10. Stop ten posiada miejsca częściowo o powierzchni gładkiej oraz obszary z bardzo małymi wypukłościami. Podobnie jak w przypadku próbek bez itru, zidentyfikowano strukturę mieszaną z niewielkimi wypukłościami oraz niewielką ilością struktury gładkiej.



Rys. 10. Powierzchnia przełomu stopu $\text{Fe}_{41}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Y}_2$ w postaci pręta o średnicy 1,5[mm], pow. 1000x (SEM)

7. PODSUMWANIE

Przeprowadzone badania struktury i własności stopów $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ i $\text{Fe}_{41}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Y}_2$ otrzymanych w postaci prętów o średnicy 1,5[mm] pozwalają stwierdzić, że stopy otrzymane za pomocą metody odlewania ciśnieniowego, posiadają strukturę krystaliczną. Na podstawie badań rentgenowskich można stwierdzić, że stopy zawierające w swym składzie chemicznym itr charakteryzują się mniej ostrymi pikami krystalicznymi niż stop nie zawierający itru.

Badania przeprowadzone na mikroskopie świetlnym wykazały, że wytworzone stopy charakteryzują się strukturą choinkową, która jest charakterystyczna dla stopów o strukturze krystalicznej.

Badania wykonane za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego wykazały, że przełomy stopów $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ i $\text{Fe}_{41}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6\text{Y}_2$ posiadają strukturę mieszaną, częściowo o powierzchni gładkiej. Widoczne są również obszary o niewielkich wypukłościach.

Zarówno stop $\text{Fe}_{43}\text{Co}_7\text{Cr}_{15}\text{Mo}_{14}\text{C}_{15}\text{B}_6$ jak i stop zawierający 2% itru w swym składzie chemicznym wykazują brak odporności na pękanie. Wytworzone stopy są kruche.

LITERATURA

1. L.A. Dobrzański, *Metalowe Materiały Inżynierskie*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2004r.
2. W.H. Wand, Roles of minor additions in formation and properties of bulk metallic glasses, *Materials Science* 52 (2007) 540–596.
3. M. Telford, The case for bulk metallic glasses, *Materialstoday*, 2004.
4. H. Lachowicz, Magnetyki amorficzne, *Wiedza i życie*, 9(1997)
5. A. Inoue: Stabilization of metallic supercooled liquid and bulk amorphous alloys, *Actamater* 48 (2000) 279–346.
6. Y. Li, S.C. Ng, C.K. Ong, H.H. Hung, T.T. Goh, Glass forming ability of bulk glass forming alloys, *Scripta Materialia*, 36/7 (1997) 783 – 787.

7. W.H. Wang, Roles of minor additions in formation and properties of bulk metallic glasses, *Progress in Materials Science* 52 (2007) 540–596.
8. M. Calin, J. Eckert, L. Schultz, Improved mechanical behavior of Cu–Ti-based bulk, *Scripta Materialia* 48 (2003) 653–658.
9. C.Y. Lin, T.S. Chin, Soft magnetic (Fe,M)-Y-B(M=Co or Ni) bulk metallic glasses, *Journal of Alloys and Compounds* 437 (2007) 191–196.
10. J.M. Park, J.S. Park, J.H. Na, D.H. Kim, D.H. Kim, Effect of Y addition on thermal stability and the glass forming ability in Fe-Nb-B-Si glassy alloys, *Materials Science and Engineering A* 435–436 (2006) 425–428.
11. Strona internetowa: www.uop1.yoyo.pl/
12. A.I. Salimon, M.F. Ashby, Y.Br chet, A.L. Greer, Bulk metallic glasses: what are they good for?, *Materials Science and Engineering A* 375–377 (2004) 385–388.
13. Praca Studenckich K ł Naukowych, Kongres Studenckich K ł Naukowych, Zeszyt Nr 12, Wydawnictwo Politechniki  laskiej, Gliwice 2007r.
14. R. Zallen, *Fizyka cia  amorficznych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994r.
15. J. Basu, S. Ranganathans, Bulk metallic glasses: A new class of engineering materials, *Sathana* 28/ 3,4 (2003) 783–798.
16. www.archiwum.wiz.pl
17. Y.C. Kim, W.T. Kim, D.H. Kim, A development of Ti-based bulk metallic glass, *Materials Science and Engineering A* 375–377 (2004) 127–135.
18. www.arcmg.imr.tohoku.ac.jp
19. www.voxim.pl
20. www.nasa.gov
21. www.msport.com
22. www.bionovo.pl
23. S. Takuo, K. Yoshihito, O. Yasuhide, Friction welding of bulk metallic glasses to different ones, *Materials Science and Engineering, A* 375–377 (2004) 394–398.