

Yüksek Sertliğe ve Yüksek Kırılma Tokluğuna Sahip Metal Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi İçin Öncül Olarak Ni-W-B Esaslı Metalik Cam Alaşımının Geliştirilmesi.

Buğrahan ERYEŞİL¹, Aytekin HİTİT², Z.Özgür YAZICI³, Hakan ŞAHİN⁴, Pelin ÖZTÜRK⁵, Burcu HİTİT⁶

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

⁴Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Afyonkarahisar.

⁵Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

⁶Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

e-posta: bugrahaneryesil@gmail.com, hitit@aku.edu.tr, zyazici@aku.edu.tr, hakansahin@aku.edu.tr, pelinsuozturk@gmail.com, burcuhitit@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6680-3357>, <https://orcid.org/0000-0003-2312-7840>, <http://orcid.org/0000-0001-9590-4384>, <https://orcid.org/0000-0002-5669-1918>, <https://orcid.org/0000-0002-1007-6653>, <https://orcid.org/0000-0002-9641-8430>

Geliş Tarihi: 27.08.2019; Kabul Tarihi: 25.09.2019

Öz

Anahtar kelimeler

Metalik cam; Kritik Döküm Kalınlığı; Nanokompozit; Borürler;

Bu çalışmanın amacı, yüksek sertliğe ve yüksek kırılma tokluğuna sahip bir metal matrisli kompozit malzeme üretebilmek için öncül olarak kullanılacak Ni-W-B esaslı bir metalik cam alaşımının camlaşma kabiliyetini geliştirmektir. Metalik camların öncül olarak kullanılması ile de kompozit malzemeler üretmek mümkündür. Fakat metal matrisli kompozitler ile yakın mekanik özelliklere sahip bir kompozit malzeme elde edebilmek için hem yapıda çökelen faz(lar)ın yüksek sertlik değerine hem de yüksek hacim oranına sahip olması gerekmektedir. Bunun sağlanması da ancak yüksek oranda karbon ve/veya bor içeren metalik camların öncül olarak kullanılması ile mümkün olabilir. Ayrıca, metalik cam malzemenin geniş bir kullanım alanı bulması için mümkün olduğunca yüksek kritik döküm kalınlığına sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle, $Ni_{51}W_{31.6}B_{17.4}$ metalik cam alaşımının kritik döküm kalınlığını artırmak amacı ile tungsten yerine sistematik olarak molce % 10, % 15, % 20 tantal, demir ve krom katkıları yapılacaktır. Daha sonra malzeme karakterizasyon teknikleri ile camlaşma kabiliyeti incelenecektir.

Development of Ni-W-B Based Metallic Glass as a Precursor for Production of Metal Matrix Composite Material Having High Hardness and High Fracture Toughness.

Abstract

Keywords

Metallic glass; Critical Casting Thickness; Nanocomposites; Borides;

The objective of this study is to improve glass forming ability of a Ni-W-B based metallic glass which can be used as a precursor to produce a metal matrix composite having high hardness and high fracture toughness. It is possible to manufacture composite materials by utilizing metallic glasses as precursors. However, in order to obtain mechanical properties comparable to those of conventional metal matrix composites, hardnesses and volume fractions of the precipitating phases must be high. These requirements can be fulfilled by only using metallic glasses which contain high amount of carbon and/or boron as precursors. Also, metallic glass to be produced must have as high a critical casting thickness as possible in order to find a wide area of use. For this reason, in order to improve the

critical casting thickness of $Ni_{51}W_{31.6}B_{17.4}$ metallic glass, tungsten will be replaced by 10, 15, 20 at. % tantalum, iron and chromium systematically. Then, glass forming ability of the alloys will be examined by material characterization techniques.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Metalik cam, kristal fazların çekirdeklenme ve büyümesinin önüne geçebilmek için eriyik haldeki metalin yeterince hızlı soğutulması sonucunda elde edilir. Metaller eriyik halden soğutulduklarında atomlarının düzenli bir yapıya geçmeleri ile birlikte kristallenirler. Fakat metal eriği yeterince hızlı soğutulursa atomlar rastgele düzende kalırlar ve sonuç olarak amorf yapılı metal yani metalik cam oluşur. Amorf yapıda dislokasyon mekanizmalarının olmaması bu malzemelerin diğer katı malzemelerin mekanik özelliklerinden daha farklı özellikler göstermelerini sağlar (Christopher *et al.* 2007, Greer *et al.* 2013). Özellikle Ni bazlı metalik camlar, yüksek termal kararlılığı (Yoo *et al.* 2007), yüksek mukavemeti (Na *et al.* 2006), ve bozulmaz korozyon direncinden dolayı metalik cam çalışmalarında ön plana çıkmaktadırlar (Qiang *et al.* 2008, Jayaraj *et al.* 2014). Ayrıca amorf yapıyı kristalizasyon sıcaklığının üstündeki sıcaklıklara kontrollü bir şekilde çıkartarak (yaşlandırma işlemi uygulayarak) yapı içerisinde kısmen kontrollü kristaller çöktürülebilir. Bu da metalik camları öncül olarak kullanıp, metal matrisli kompozit malzemeler üretmek için önemli bir malzeme gurubu yapmaktadır. Metal matrisli kompozitler; metal malzemelerin sahip olduğu süneklik (tokluk) özellikleri ile oksit, karbür, borür ve nitrür gibi seramik malzemelerin sahip olduğu yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımı gibi özellikleri bünyesinde taşıyan bir malzeme gurubudur ve birçok endüstriyel uygulamada başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin mekanik özellikleri ve malzemenin üretim süreçleri nihai ürünün özelliklerini belirleyen faktörlerdir. Ayrıca kompoziti oluşturan bileşenlerin hacim oranı ve tane boyutu gibi özellikleri de son ürünün mekanik özellikleri açısından önem taşımaktadır. Son yıllarda yüksek oranda karbon

ve/veya bor elementi içeren metalik camların ısı işlemleri üzerine yapılan çalışmalar göstermiştir ki, metalik camların öncül olarak kullanımı ile elde edilen kompozit malzemelerin özellikleri bazı metal matrisli kompozit malzemelerin özelliklerine benzer olma potansiyeline sahiptir. Özellikle mikroyapının ve dolayısı ile son ürünün özelliklerinin daha kolay kontrol edilmesi, mikroyapının homojen olması, karmaşık geometrik yapıya sahip nihai ürün elde edilmesinin daha kolay olması gibi sebeplerden dolayı metalik camları öncül olarak kullanarak kompozit malzeme üretimi daha cazip bir üretim yöntemi olarak görülmektedir. Ancak metal matrisli kompozitler ile yakın özelliklere sahip bir kompozit malzeme elde edebilmek için hem yapıda çökelen faz(lar)ın yüksek sertlik değerine hem de yüksek hacim oranına sahip olması gerekmektedir. Bunun sağlanması da ancak yüksek oranda karbon ve/veya bor içeren metalik camların öncül olarak kullanılması ile mümkün olabilir (Hitit *vd.* 2015, Zhang *et al.* 2014).

Bu çalışmanın amacı, yüksek sertliğe ve yüksek kırılma tokluğuna sahip bir metal matrisli kompozit malzeme üretebilmek için öncül olarak kullanılacak Ni-W-B esaslı bir metalik cam alaışımının camlaşma kabiliyetini geliştirmektir. Bu nedenle, $Ni_{51}W_{31.6}B_{17.4}$ metalik cam alaışımının kritik döküm kalınlığını artırmak amacı ile tungsten yerine sistematik olarak molce % 10, % 15, % 20 tantal, demir ve krom katkıları yapılmıştır. Daha sonra malzeme karakterizasyon teknikleri ile camlaşma kabiliyeti incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

$Ni_{51}W_{31.6}B_{17.4}$ metalik cam alaışımının kritik döküm kalınlığını artırmak amacı ile tungsten yerine sistematik olarak molce % 10, % 15, % 20 tantal, demir ve krom katkıları yapılmıştır. Alaışımın elde edilmesi için öncelikle uygun özelliklerdeki toz haldeki elementler temin edilmiş, elde edilen tozlar

uygun şekilde şekillendirilmiş ve ana alaşımlar hazırlanmış, alaşımlar vakum ark ergitme ve döküm cihazında çeşitli kalınlıklarda dökümleri yapılmış ve daha sonra camlaşma kabiliyetlerini belirleyebilmek için çeşitli analizler yapılmıştır.

2.1. Ham Maddelerin Uygun Bileşimde Hazırlanması

Belirtilen kompozisyonlardaki metalik cam numunelerini elde edebilmek için öncelikle yüksek saflıktaki (% 98 ve daha üzeri saflıkta) tozlar Çizelge 1.1' de belirtilen % atomik oranlarda 0,001gr hassaslıktaki terazide tartılıp cam bir beher içersinde karıştırılarak şekillendirilmeye hazır hale getirilmiştir.

Çizelge 1. Hazırlanan alaşımların karışım yüzdeleri (% atomik).

Alaşım Adı	Ni	W	B	Ta	Fe	Cr
Baz Alaşım	51	31.6	17.4	-	-	-
Alaşım 1	51	21.6	17.4	10	-	-
Alaşım 2	51	16.6	17.4	15	-	-
Alaşım 3	51	11.6	17.4	20	-	-
Alaşım 4	51	21.6	17.4	-	10	-
Alaşım 5	51	16.6	17.4	-	15	-
Alaşım 6	51	11.6	17.4	-	20	-
Alaşım 7	51	21.6	17.4	-	-	10
Alaşım 8	51	16.6	17.4	-	-	15
Alaşım 9	51	11.6	17.4	-	-	20

2.2 Alaşımların Hazırlanması ve Ergitme

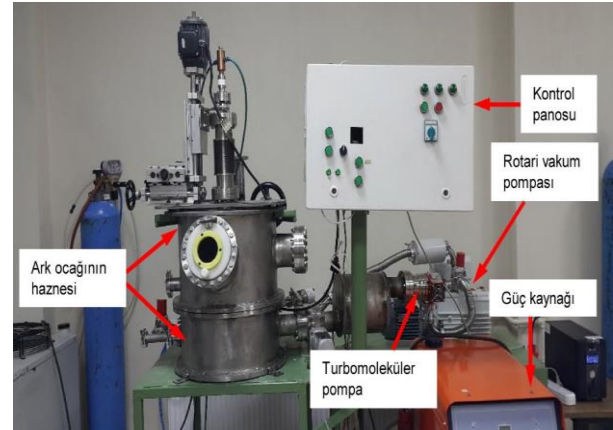
Hassas terazi kullanılarak hazırlanan toz karışımı, homojen bir karışım elde etmek için manuel bir şekilde yaklaşık 10 dk boyunca karıştırılmıştır. Karıştırılan tozlar tek etkili hidrolik bir pres kullanılarak 10 MPa lık bir basınç uygulanarak 10 mm çapında ve yaklaşık olarak 5-6 mm yüksekliğinde tabletler halinde preslenmiştir. Elde edilen bu tabletler vakum ark ocağında ergitilerek ana alaşımlar elde edilmiştir. Ana alaşımların homojen olması için ergitme işlemi 3 kez tekrarlanmıştır. Her bir ergitme işleminden önce ortamdaki oksijen miktarının mümkün olduğunca azaltmak için cihaz önce 5.3×10^{-5} mbar değerine

ulaşana kadar vakuma alınmış daha sonra ortama yüksek saflıkta argon gazı verilmiştir. Hazırlanan bu master alaşımlardan belirli miktarlarda alınarak vakum ark ocağında döküm işlemleri gerçekleştirilmiştir.

2.3 Alaşımların Ergitilmesi ve Döküm İşlemleri

Döküm işleminden önce vakum ark ocağının haznesi 3×10^{-4} mbar veya daha yüksek vakum değerleri elde edilene kadar vakuma alınmış ve ardından 1.2 bar basınç değerine ulaşana kadar yüksek saflıkta argon gazı ile doldurulmuştur (Şekil 1). Daha sonra uygun miktardaki alaşım parçası bakır kalıbın ağzında ergitilmiş ve hemen ardından kalıbın konulduğu haznenin altında bulunan elektropnömatik vana açılarak numunenin kalıbın içine girmesi (emilmesi) sağlanmıştır. Bu emme işlemi cihazın içindeki gaz basıncı (~ 1.2 bar) ile elektropnömatik vananın arkasındaki basınç (~ 10 mbar) arasındaki farktan yararlanılarak yapılmıştır. Kullanılan bakır kalıbın döküm boşluğu 3 mm genişliğe ve 0.5 mm kalınlığa sahiptir.

2.4 Metalografik ve Karakterizasyon İşlemleri



Şekil 1. Alaşımların sentezlenmesi ve dökümü için kullanılan vakum ark ocağının genel görünümü.

Her bir alaşım için en az dört adet numune elde edilmiştir. Elde edilen bu numunelerin ucundan 4 mm'lik kısım hassas kesme cihazı ile kesilip x-ışınları kırınımı (XRD) analizi için ayrılmıştır. Geriye kalan parça da mikroyapı incelemesi için ayrılmıştır. Mikroyapı incelemesi için ayrılan parçalar reçine kullanılarak kalıba alınmıştır (Şekil 2).



Kalıba alınan numuneler uygun bir şekilde zımparalama ve parlatma işlemlerinden geçirilmiştir. Numuneler optik mikroskopta polarize ışık kullanılarak (100x büyütme oranı ile) incelenmiş ve her bir alaşım için kristal miktarı en az olan iki numunesi belirlenmiştir. Belirlenen bu numunelerin X-ışınları kırınımı (XRD) analizi için ayrılan diğer parçaları kullanılarak numunelerin XRD analizleri (2 adet) yapılmıştır. XRD analizi için kullanılacak parçalar yaklaşık 100 mikrondan küçük tane boyutuna sahip olacak şekilde toz hale getirilmiştir. Toz hale getirilen bu numunelere Bruker D8 Advanced model XRD cihazı ile XRD analizleri yapılmıştır. Tarama işlemi $\text{Cu-K}\alpha$ x-ışını kullanılarak, $2\theta=10-100^\circ$ tarama açıları arasında 0.02° 'lik adımlarla ve 0.5 sn/adım hızıyla yapılmıştır.

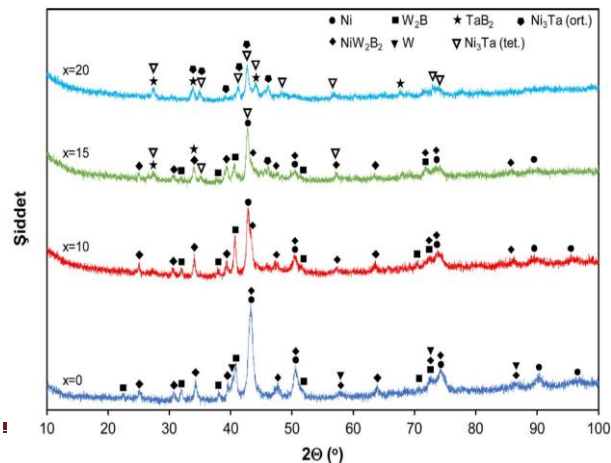
3. Bulgular

3.1 XRD Sonuçları

3.1.1 Tantal Katkılı Alaşımlar

Baz alaşım ve tantal katkılı alaşımlar 0.5 mm'lik kalıplara dökülmüştür. Daha sonra alaşımların amorf

yapıda olup olmadıklarının kontrolü için XRD (X-ışınları kırınımı) analizi yapılmıştır. Şekil 3'te baz



Şekil 3. $\text{Ni}_{51}\text{W}_{31.6-x}\text{Ta}_x\text{B}_{17.4}$ ($x=0, 10, 15, 20$) alaşımlarının 0.5 mm kesit kalınlığına sahip numunelerinin XRD desenleri.

alaşım ile tantal katkılı alaşımların XRD analizi sonuçları gösterilmektedir.

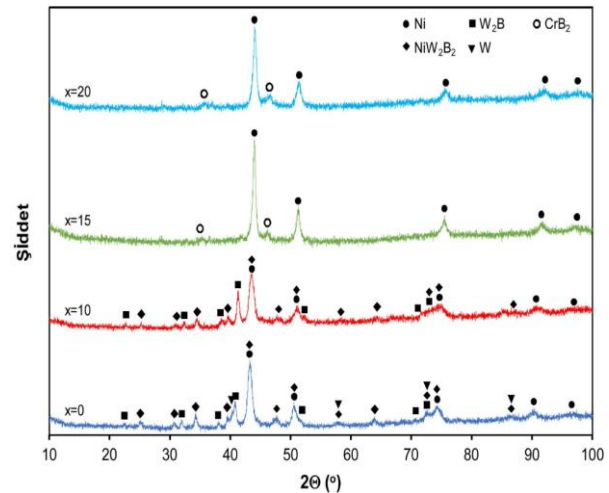
Temel alaşımın ($\text{Ni}_{51}\text{W}_{31.6}\text{B}_{17.4}$) 0.5 mm kesit kalınlığına sahip numunesinde yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip Ni katı çözültisi, NiW_2B_2 , W_2B ve W fazları bulunmaktadır (Şekil 3). % 10 tantal katkısı sonucu yapıda bulunan Ni katı çözültisinin miktarının azaldığı, NiW_2B_2 fazının oranının ise

Şekil 2. Alaşımların kalıba alınan numunelerinin görünüşü.

değişmediği görülmektedir. Ayrıca, W_2B fazının miktarında bir artış görülmekte ve W fazının yapıda olmadığı görülmektedir. Tantal katkısının % 15'e çıkarılması ile Ni katı çözültisinin yapıdaki oranın daha da düştüğü gözlenmiştir. Benzer şekilde W_2B fazının miktarında da dikkat çekici bir düşüş olduğu görülmektedir. NiW_2B_2 fazının oranında ise dikkat çekici bir değişim gözlenmemiştir. % 15 katkısı ile beraber yapıda Ni_3Ta (tetragonal) ve TaB_2 fazlarının da oluştuğu görülmektedir. % 20 tantal katkısından sonra yapıda Ni katı çözültisi ve NiW_2B_2 fazları bulunmamaktadır. Yapıda tetragonal- Ni_3Ta ve TaB_2 fazlarının yanı sıra ortorombik- Ni_3Ta fazının da oluştuğu belirlenmiştir.

3.1.2 Krom Katkılı Alaşımlar

Krom katkılı alaşımların 0.5 mm kesit kalınlığına sahip numunelerinin XRD desenleri Şekil 4'de verilmiştir.

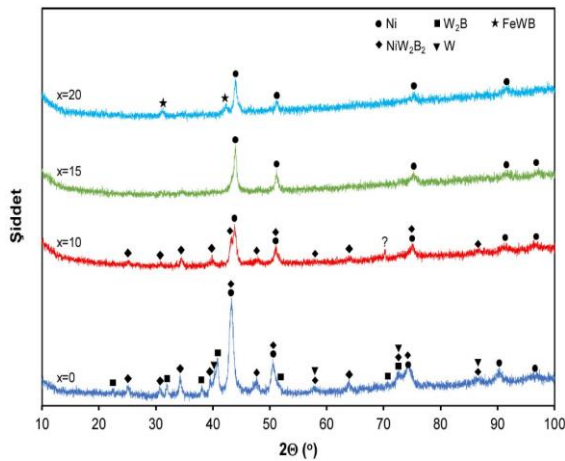


Şekil 4. $\text{Ni}_{51}\text{W}_{31.6-x}\text{Cr}_x\text{B}_{17.4}$ ($x=0, 10, 15, 20$) alaşımlarının 0.5 mm kesit kalınlığına sahip numunelerinin XRD desenleri.

% 10 krom katkılı alaşımın yapısında Ni katı çözeltisi, NiW_2B_2 ve W_2B fazları bulunmaktadır. Temel alaşım ile kıyaslandığında, Ni katı çözeltisinin ve NiW_2B_2 fazının oranının aynı kaldığı ve W_2B oranının ise arttığı görülmektedir. Krom katkısının % 15'e çıkarılması sonucu yapının büyük oranda Ni katı çözeltisinden oluştuğu ve çok az miktarda da CrB_2 fazının bulunduğu gözlenmiştir. Ancak krom katkısının % 20 oranına çıkarılması sonucu yapıda yine sadece Ni katı çözeltisi ve CrB_2 fazlarının bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca, krom katkısının artırılması sonucu CrB_2 fazının oranının az da olsa arttığı görülmektedir.

3.1.3 Demir Katkılı Alaşımlar

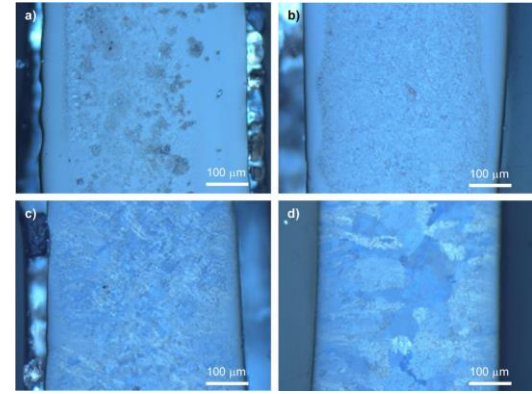
Demir katkılı alaşımların 0.5 mm kesit kalınlığına sahip numunelerinin XRD desenleri Şekil 5'de verilmiştir. % 10 demir katkılı alaşımın yapısında sadece Ni katı çözeltisi ve NiW_2B_2 fazları bulunmaktadır. Temel alaşım ile karşılaştırıldığında NiW_2B_2 fazının oranının kayda değer bir oranda düştüğü görülmektedir. Demir katkısının % 15'e çıkarılması sonucu yapıda sadece Ni katı çözeltisinin bulunduğu belirlenmiştir. Demir katkısının daha da artırılması sonucu yapıda Ni katı çözeltisinin yanı sıra düşük miktarda FeWB fazının da oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 5. $\text{Ni}_{51}\text{W}_{31.6-x}\text{Fe}_x\text{B}_{17.4}$ ($x=0, 10, 15, 20$) alaşımlarının 0.5 mm kesit kalınlığına sahip numunelerinin XRD desenleri.

3.2 Optik Mikroskop Görüntüleri

3.2.1 Tantal Katkılı Alaşımlar

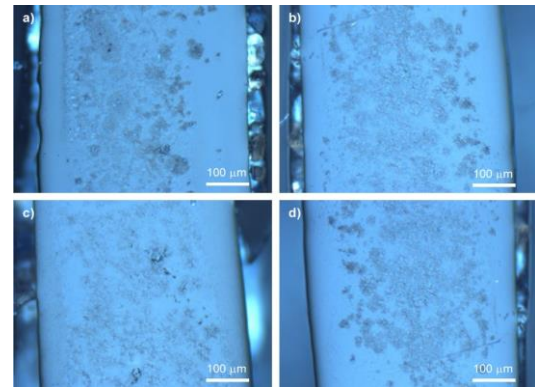


Şekil 6. $\text{Ni}_{51}\text{W}_{31.6-x}\text{Ta}_x\text{B}_{17.4}$ alaşımlarının 0.5 mm kesit kalınlığına sahip numunelerinin optik mikroskop görüntüleri. a) $x=0$, b) $x=10$, c) $x=15$, d) $x=20$.

Temel alaşımın 0.5 mm kesit kalınlığına sahip numunesinin optik mikroskop görüntüsü ile tantal katkılı alaşımların 0.5 mm kesit kalınlığına sahip numunelerin optik mikroskop görüntüleri kıyaslandığında; tantal katkısı ile birlikte yapıdaki kristal oranının arttığı görülmektedir.

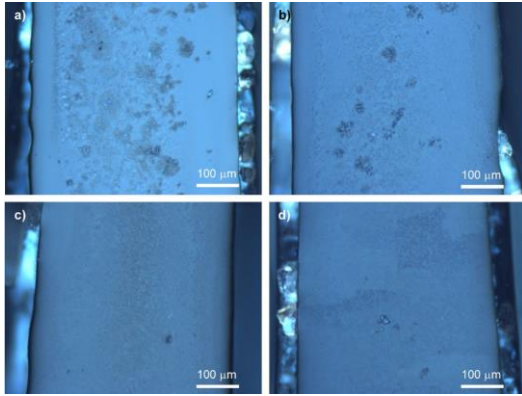
3.2.2 Krom Katkılı Alaşımlar

Krom katkılı alaşımların 0.5 mm kesit kalınlığına sahip numunelerinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir. % 10, 15 ve 20 krom katkılı alaşımların mikroyapıları ile temel alaşımın mikroyapısı arasında çok büyük bir farklılık gözlenmemiştir. Ancak XRD sonuçları göz önüne alındığında % 15 ve 20 katkılı alaşımlarının (büyük oranda) sadece Ni katı çözeltisinden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 7. $\text{Ni}_{51}\text{W}_{31.6-x}\text{Cr}_x\text{B}_{17.4}$ alaşımlarının 0.5 mm kesit kalınlığına sahip numunelerinin optik mikroskop görüntüleri. a) $x=0$, b) $x=10$, c) $x=15$, d) $x=20$.

3.2.3 Demir Katkılı Alaşımlar



Şekil 8. $Ni_{51}W_{31.6-x}Fe_xB_{17.4}$ alaşımlarının 0.5 mm kesit kalınlığına sahip numunelerinin optik mikroskop görüntüleri. a) $x=0$, b) $x=10$, c) $x=15$, d) $x=20$.

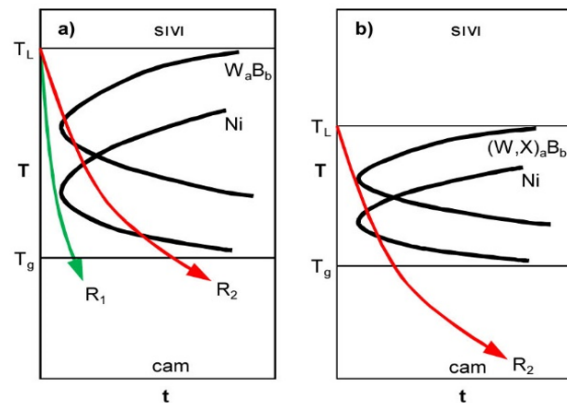
Demir katkıli alaşımların 0.5 mm kesit kalınlığına sahip numunelerinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 8’de verilmiştir. Demir oranının artırılması ile beraber, yapıda çökelen fazların tane boyutunun küçüldüğü görülmektedir. Özellikle % 15 ve 20 demir katkıli alaşımların mikroyapıları oldukça benzer görülmektedir. Ancak XRD sonuçlarına göre % 15 demir katkıli alaşımın sadece Ni katı çözeltisini içerdiği görülmektedir. % 20 demir katkıli alaşım Ni katı çözeltisinin yanı sıra FeWB fazını da içerdiği belirlenmiştir. Ancak bu sonuca mikroyapı görüntüleri ile ulaşmak mümkün değildir.

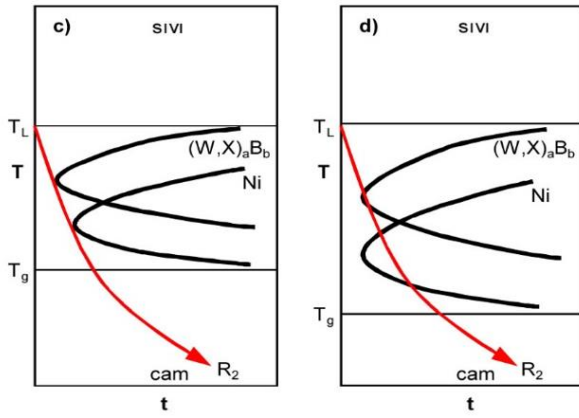
4. Tartışma ve Sonuç

Elde edilen sonuçları değerlendirirken metalik cam alaşımlarının camlaşma kabiliyetleri ile termal özellikleri (cam geçiş sıcaklığı T_g , likidus sıcaklığı T_L) arasındaki ilişkiyi göz önüne almak gerekmektedir (Şekil 9). Sıvı haldeki bir alaşım yeterince yüksek bir soğutma hızı (R_1) ile soğutulduğunda tamamen camlaşmaktadır (Şekil 9-a). Bunun sonucunda belli bir kesit kalınlığında tamamen amorf yapı elde edilebilir. $Ni_{51}W_{31.6}B_{17.4}$ alaşımı için bu kesit kalınlığı yaklaşık 0.1 mm dir. Ancak daha yüksek kesit kalınlığında (örneğin 0.5 mm) camsı yapı elde edilmek istendiğinde, yüksek kesit kalınlığından dolayı soğuma hızı düşecek (R_2) ve tamamen camsı yapı elde edilemeyecektir. Belli bir kesit kalınlığı için soğuma hızı (R_2) sabit olduğundan, alaşımın o kesit kalınlığında amorf yapıda elde edilebilmesi için alaşımın kompozisyonu modifiye edilerek hem

likidus sıcaklığı düşürülmelidir (Şekil 9-b) hem de düşük sıcaklıkta oluşan fazın oluşumu zorlaştırılmalıdır (Şekil 9-c). Ancak likidus sıcaklığını düşürürken alaşımın cam geçiş sıcaklığının da çok fazla düşmemesine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde likidus sıcaklığı düşmesine rağmen kritik döküm kalınlığında kayda değer bir ilerleme elde etmek mümkün olmayacaktır (Şekil 9-d).

$Ni_{51}W_{31.6}B_{17.4}$ alaşımının camlaşma kabiliyetini artırmak amacıyla alaşımın Ta, Cr ve Fe elementleri ile % 10, 15 ve 20 oranlarında modifiye edilmesi ile sentezlenen alaşımların hiçbirinin 0.5 mm kesit kalınlığına sahip numunelerinin amorf yapıda olmadığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar şu ana kadar sentezlenen alaşımların kritik döküm kalınlıklarının (amorf yapıda elde edilebildikleri en büyük kesit kalınlığı) 0.5 mm’nin altında olduğunu göstermektedir. Yapılan katkıların bazıları temel alaşımın yapısında bulunan borürlerin (NiW_2B_2 ve W_2B) oluşumunu engellemiştir (Şekil 9-b). Bunun temel nedeni yapılan katkıların sonucunda alaşımın likidus sıcaklığının düşmesi ve bu sayede aynı kesit kalınlığı için daha yüksek soğuma hızlarının elde edilebilmesidir. Soğuma hızının artması sonucu, söz konusu borürlerin oluşumu engellenmiş ve sadece Ni katı çözeltisinin oluşumu meydana gelmiştir. Bazı alaşımlarda hem Ni katı çözeltisi hem de borürlerin oluşumu gözlenmiştir (Şekil 9-d). Bu alaşımlarda yapılan katkıdan dolayı likidus sıcaklığı düşmesine rağmen T_g sıcaklığı çok düştüğü için ve/veya borürlerin çekirdeklenme hızı arttığı için olumlu bir etki gözlenmemiştir.





metallic glass, Trans. Nonferrous Met. Soc. China. **25**, 1575–1579.

Şekil 9. Ni-W_aB_b şematik TTT diyagramı ve metalik camların camlaşma kabiliyetleri ile terma özellikleri (cam geçiş sıcaklığı T_g , likidus sıcaklığı T_L) arasındaki ilişki. a) Modifikasyondan önceki durum, b) likidus sıcaklığının düşürülmesinin camlaşma üzerindeki etkisi, c) düşük sıcaklıkta çökelen fazın çekirdeklenmesinin zorlaştırılmasının camlaşma üzerindeki etkisi, d) cam geçiş sıcaklığının aşırı miktarda düşmesinin camlaşma üzerindeki etkisi.

Teşekkür

Bu çalışma 117M116 no'lu TÜBİTAK projesi kapsamında yapılmıştır.

5.Kaynaklar

- Christopher A. S., Todd C. H. and Upadrasta R., 2007. Mechanical behavior of amorphous alloys. *Acta Materialia*, **55**, 4067–4109.
- Greer A.L., Cheng Y.Q., Ma E., 2013. Shear bands in metallic glasses. *Materials Science and Engineering R*, **74**, 71–132.
- Yoo Y.H., Lee S.H., Kima J.G., Kim J.S., Lee C., 2008. Effect of heat treatment on the corrosion resistance of Ni-based and Cu-based amorphous alloy coatings. *Journal of Alloys and Compounds*, **461**, 304–311.
- Naa J.H., Park J.M., Hana K.H., Park B.J., Kim W.T., Kim D.H., 2006. The effect of Ta addition on the glass forming ability and mechanical properties of Ni–Zr–Nb–Al metallic glass alloys. *Materials Science and Engineering A*, **431**, 306–310.
- Qiang J.B., Zhang W., Inoue A., 2009. Ni–(Zr/Hf)–(Nb/Ta)–Al bulk metallic glasses with high thermal stabilities. *Intermetallics*, **17**, 249–252.
- Jayaraj J., Nanda Gopala Krishna D., Mallika C., Kamachi Mudali U., 2015. Passive film properties and corrosion behavior of NiNb and NiNbTa amorphous ribbons in nitric acid and fluorinated nitric acid environments. *Materials Chemistry and Physics*, **151**, 318–329.
- Hitit A., Şahin H., Öztürk P. and Aşgın A. M., 2015. A New Ni-Based Metallic Glass with High Thermal Stability and Hardness., *Metals* **5**, 162–171.
- ZHANG J., LIU W., MA Y., YE X., WU Y., HUANG B., 2015. Preparation and properties of Ni_{68.6}W_{17.9}B_{13.5}