



ÖN ISITMA SICAKLIĞININ Ni₃Al/NiAl/NiTi BİLEŞİKLERİNDEN OLUŞAN FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ MALZEMENİN YAPISINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF PREHEAT TEMPERATURE EFFECT ON THE STRUCTURE OF FUNCTIONALLY GRADED Ni₃Al/NiAl/NiTi INTERMETALLIC COMPOUND

Musa KILIÇ^{1*}, İhsan KIRIK², Bülent KURT³, Nuri ORHAN⁴

¹İmalat Müh. Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye.

musa_kilic21@hotmail.com

²Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye.

ihsan.kirik@batman.edu.tr

³Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, Türkiye.

bkurt@nevsehir.edu.tr

⁴Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.

norhan@firat.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 17.12.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 08.05.2015

doi: 10.5505/pajes.2015.49369

* Yazışılan yazar/Corresponding author

Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

Öz

Bu çalışmada, Ni₃Al/NiAl/NiTi bileşiklerinden oluşan fonksiyonel derecelenmiş malzeme(FDM) kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezlemesi (KKIYSS) tekniği ile üretilmiştir. Bu üç farklı bileşiği oluşturacak tozlar hassas bir şekilde tartıldıktan sonra mekanik olarak karıştırılmış ve 200 MPa basınçla preslenmiştir. Preslenen numuneler, 200, 300 ve 400 °C ön ısıtma sıcaklıklarında yüksek voltajlı tutuşturma yöntemi (YVTY) ile argon gazı atmosferinde ateşlenerek üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen bu fonksiyonel derecelenmiş malzemelerin mikroyapıları optik mikroskop, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve X-Işınları Kırınım Cihazı (XRD) ile incelenmiştir. Sonuç olarak, KKIYSS yöntemi ile her üç ön ısıtma sıcaklığında da fonksiyonel derecelenmiş malzeme başarıyla üretilmiş ve istenen metallar arası bileşikler elde edilmiş ancak arakesitlerde daha fazla ergime ve boşluk ile birlikte ana fazlar dışında fazların da oluştuğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: FDM, KKIYSS, NiTi, NiAl, Ön ısıtma sıcaklığı

Abstract

In this study, a functional graded material (FGM) consisted of NiTi NiAl and Ni₃Al were manufactured by self-propagating high-temperature synthesis (SHS) technique. These three different compound powders were mixed in a rotating container after accurately weighed and cold compacted under 200 MPa pressure. These pressed samples were produced for 200, 300 and 400 °C preheating temperature by igniting with high voltage under argon gas atmosphere. The microstructures of these functional graded materials were examined by microscopy, Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-Ray Diffraction (XRD). Consequently, functional graded material successfully generated by SHS in every three preheating temperature and the metallic desired compounds were obtained but, it was seen that apart from the main phases in the intersection there are other phases with more melting and gaps.

Keywords: FGM, SHS, NiTi, NiAl, Preheating temperature

1 Giriş

Fonksiyonel dereceli malzemelerin, karakterizasyonu da dâhil olmak üzere, özellikleri ve üretim yöntemleri malzeme biliminin hızla gelişen yeni bir alanıdır. Bu yeni malzeme kavramı adezyonu artırmak ve yeniden kullanılabilir roket motorları için geliştirilmiş metal seramik kompozitlerdeki termal gerilmeleri en aza indirmek için önerilmiştir. Fonksiyonel dereceli malzemeler fikri Japonya'da 1980'lerin başında önemli ölçüde gelişmiştir. Japonya'da FDM alanında yapılmış olan ulusal program çerçevesinde çalışmalar 15 yıl boyunca sistematik olarak gerçekleştirilmiştir [1]-[3].

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin en yaygın olarak bildirilen imalat yöntemleri: toz metalürjisi (T/M) infiltrasyon, döküm, plazma püskürtme, lazer kaplama, buhar çöktürme ve yanma sentezlenmesidir. Örneğin T/M, plazma püskürtme, lazer kaplama ve buhar biriktirme yöntemleri yoğun enerji ve pahalı ekipmanlar gerektirir. T/M süreçlerinde gözlenen başka bir sorun sıcak presleme veya sıcak izostatik presleme aşamasında oluşan katmanlı yapının bozulmasını içerir.

FDM'lerin imalatı için belki de en ilgi çekici olan yöntem KKIYSS yöntemidir. Yanma sentezlemesi FDM'lerin üretiminde hızlı, ucuz ve güvenilir bir yöntem sunmaktadır.

Bu yöntemde gereken enerji ekonomik bir işlem yapmadan ve herhangi bir pahalı cihaz gerektirmeden bileşenleri arasında oluşan ekzotermik reaksiyon tarafından sağlanmaktadır [4],[5].

Reaksiyonla sentezleme (yanma sentezlemesi), ham ürünlerin, ateşlenir ateşlenmez ekzotermik bir reaksiyonla, bir anda istenen ürüne dönüştüğü işlemin adıdır. İşlem iki alt ateşleme yöntemine ayrılabilir. İlki, hacim yanma sentezi (HYS) ve ikincisi KKIYSS'dir. Bu sentezlemede, karıştırılan tozlardan üretilen bir briket (kompakt), bir ucundan bir tungsten bobin yardımı ile ateşlenir ve bu uçta başlayan reaksiyon bir dalga şeklinde ilerleyerek, tozların bir kısmını yakar geri kalanını da sıcaklığın etkisi ile ergitir ve nihai ürünü meydana getirir. Yanma sentezlenmesi NiAl-Al₂O₃ FDM ve TiC-NiAl FDM uygulamaları için kullanıldığı gibi, yoğun TiC-Ni FDM'ler üretmek ve ısı bariyer malzemesi olarak kullanmak Ni₃Al/Al₂O₃ + TiB₂ FDM sistemlerinin araştırılması için de

kullanılmıştır [5]-[7]. Çok fonksiyonlu davranış ve performansları nedeniyle FDM'ler; biyomedikal ve güç sektörlerinde, elektronik, savunma, otomotiv, havacılık sektörleri gibi geniş uygulama alanlarında yerini almıştır [8].

Zhang ve diğ. (1995) disk şeklinde üretmiş oldukları TiC-Ni₃Al fonksiyonel derecelendirilmiş malzemesinin termal gerilmeleri, bir eksenel simetrik sonlu elemanlar yöntemi kullanarak hesaplamışlardır. Yapmış oldukları test sonucunda termal genişleme katsayısı için sayısal sonuçların iyi uyum göstermiş olduklarını belirlemişlerdir. Fakat Young modülünün test değerlerinin hesaplanan değerlerden daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir [9].

Lei ve diğ. 2004'te yapmış oldukları bir çalışmada Ni-Al sistemli fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin SHS ile başarıyla üretilebileceğini, geleneksel sinterleme ile karşılaştırıldığında, lazer sinterlemenin daha iyi özelliklere sahip numuneler elde edilmesini sağlayacağını ifade etmişlerdir [10].

Özdemir ve diğ. 2010'da yapmış oldukları çalışmada ~%99 yoğunluktaki NiAl bileşimini basınç destekli yanma sentez ile başarılı bir şekilde üretilebileceğini, göreceli yoğunluğunun %99.6 ve NiAl malzemelerin oksidasyon aktivasyon enerjisi 156 kJ / mol olduğu sonucuna varmışlardır[11].

Çapek ve diğ. 2013'te NiTi numunelerini element tozlardan kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezlenmesinin termal patlama modu metoduyla hazırlamışlardır. Yapmış oldukları bu çalışma sonucunda sinterlemenin süresinin; mikroyapı, sertlik ve dönüşüm davranışlarını etkilediğini, sinterleme süresi ve basınç davranışları arasında bir ilişkinin bulunmadığını ifade etmişlerdir [12].

Yapılan literatür araştırması sonucunda kendi kendine ilerleyen yüksek sıcaklık sentezlemesi (KKIYSS) tekniği ile Ni₃Al/NiAl/NiTi bileşiklerinden oluşan fonksiyonel derecelenmiş malzeme (FDM) üretimine ilişkin yeterli bilginin ortaya konulamamış olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada, ön ısıtma sıcaklığının KKIYSS yöntemiyle üretilen fonksiyonel derecelendirilmiş Ni₃Al/NiAl/NiTi intermetalik bileşiminin mikro ve makro yapısına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır

2 Materyal ve Yöntem

2.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan tozların ortalama büyüklüğü -325 mesh'tir. Malzemelerin başlıca özellikleri, Tablo 1'de verilmiştir.

İntermetalik FDM'lerin üretiminde kullanılan nikel, titanyum ve alüminyum tozları Elista Kimya Ltd. Şirketi aracılığıyla (% 99.5 saflıkta Ni, % 99.5 saflıkta Al ve %99.5 Ti) yurt dışından Alfa Aesar firmasından tedarik edildi.

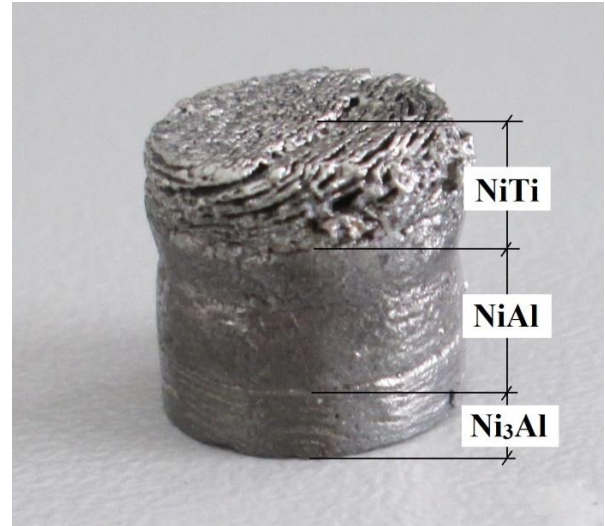
Tablo 1: Bir tablo örneği.

Malzeme	Ağırlıkça a saflık derecesi (%)	Toz Boyutu (mesh)	Erime Sıcaklığı (°C)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Atom Kütlesi (gr/mol)	Kaynama Sıcaklığı. (°C)
Ni	99.5	-325	1453	8.908	58.71	2832
Al	99.5	-325	660.4	2.7	26.9	10.81
Ti	99.5	-325	1680	4.507	47.9	3260

2.2 Deneysel Yöntem

Üretim işleminden önce, ticari olarak temin edilen Ni-Al, Ni₃-Al ve Ni-Ti tozları atomik ağırlıkları göz önüne alınarak hassas terazide tartıldıktan sonra farklı kaplar içerisinde, homojen bir karışım sağlamak için özel olarak tasarlanan dönen bir kap içerisinde 16 devir/dakika ile 24 saat süreyle karıştırıldı. Karıştırılan tozlar 12 mm çapında silindir şeklinde önceden hazırlanmış olan çelik bir toz kompaktlama kalıbı içerisinde 200 MPa basınç altında soğuk preslendi.

Preslenen parçaların ön ısıtmalarını ve ateşleme işlemini gerçekleştirmek amacıyla tasarımı ve imalatı tarafımızdan gerçekleştirilmiş 40x40x30 mm boyutlarında manuel kontrollü bir ateşleme ünitesi kullanılmıştır. Bu ateşleme ünitesi düzeneği beş ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; ön ısıtma odacığı, ateşleme merkezi ve haznesi, sabitleme pistonu, sıcaklık ayar düğmesi ve argon gazı giriş ve çıkış bölümleridir. Preslenmiş numuneler, ateşleme ünitesinde 200, 300 ve 400 °C ön tavlama sıcaklıklarında tavlandıktan sonra, argon gazı ortamında SHS yöntemi kullanılarak numuneler ateşlendi. Ateşleme sonrası elde edilmiş olan numune Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Parçaların presleme şekli ve ateşleme sonrası elde edilen numunenin fotoğrafı.

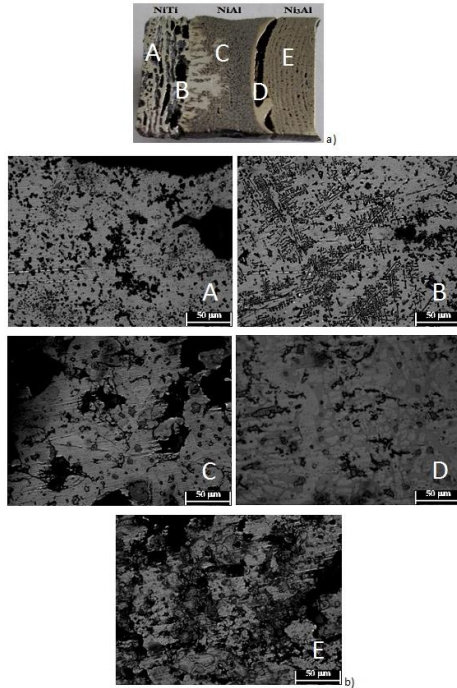
Ateşleme sonrası numuneler kesildikten sonra farklı boyutlardaki zımparalar ile parlatma ve akabinde dağlama işlemlerine tabii tutulmuştur. Elde edilen ürünlerin ana bölgeler ve ara bölgelerinde oluşan faz ve bileşikler tespit etmek amacıyla BRUKER marka XRD-6000 cihazıyla Cu tüp/K α X-ışını tüpü, dalga boyu ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$), 40 kV, 40 mA kullanılarak X-ışını kırınım (XRD) analizleri yapılmıştır. XRD analiz sonuçları daha önce bu cihaz ile yapılmış çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Ayrıca ateşleme sonrası elde edilen numunelerde oluşan faz ve yapılar tespit etmek için LEO marka EVO 40 VP model SEM cihazı ve BRUKER 125 eV marka EDS analiz test cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

3 Sonuç ve Tartışma

3.1 Mikroyapı İncelemeleri

200 MPa presleme basıncı ve 200, 300 ve 400 °C'lik ön ısıtma sıcaklıklarında üretilen numunelerin makro fotoğraflarından

sentezleme işleminin gerçekleştiği görülmektedir. Ancak sadece 200°C'lik ön ısıtma sıcaklığında numune bütünlüğünün korunduğu tespit edildi. 300 ve 400 °C'lik ön ısıtma sıcaklıklarındaki numunelerin özellikle NiTi ve NiTi-Ni₃Al bölgelerinde şekil bütünlüğünün kaybolduğu özellikle 400°C'lik ön ısıtma sıcaklıklarında bunun arttığı görülmektedir. 400 °C'lik ön ısıtma sıcaklığındaki bu şekil bozukluğunun artan ön ısıtmayla artmış olduğu şekilde de görülmektedir (Şekil 2, 3 ve 4). Ancak yine de, 200 ve 400 °C'lik ön ısıtma sıcaklıklarındaki numunelerin her iki ara bölgelerinde de geniş yanma olukları gözlemlenirken 300 °C'lik ön ısıtma sıcaklığındaki numunenin sadece NiTi-NiAl ara bölgesinde meydana geldiği görüldü. Sentezlenen numunenin ana malzemeler ve ara yüzeylerinden alınan optik mikroyapı fotoğraflarından ara kesitler dışında sadece 200 °C'lik ön ısıtma sıcaklığında gözeneklerin oluştuğu görülmüştür. 300 °C'lik ön ısıtma sıcaklıklarında ise özellikle NiAl ve Ni₃Al bölgelerinde gözenekler daha yoğundur. Düşük ön ısıtma sıcaklıkları kullanıldığı zaman ya sıvı oluşumu gerçekleşmez ya da oluşan sıvının miktarı çok düşüktür. Düşük ön ısıtma sıcaklığında (200°C) ergime gerçekleşmediğinden yoğunluğu daha düşük ve daha fazla gözeneğe sahip malzemeler elde edilir. Ön ısıtma sıcaklığı belli bir değerde (300 °C gibi) olduğu zaman reaksiyon sırasında oluşan sıvı miktarı ve ergime artar [13].



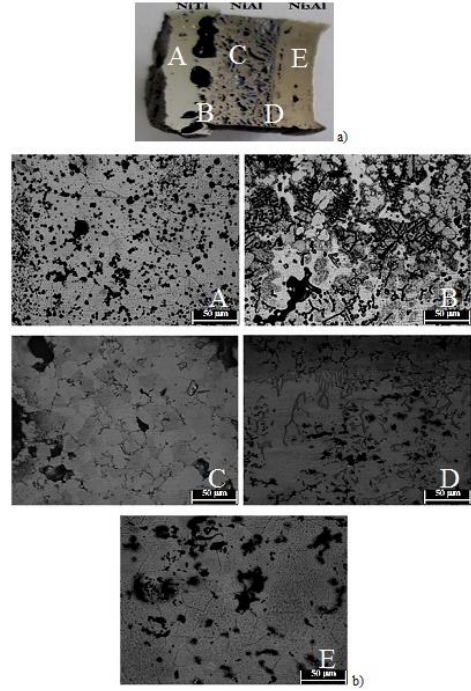
Şekil 2: a) Kompaktlama basıncı: 200 MPa,
Ön ısıtma Sic.: 200 °C numuneye ait makro yüzey fotoğrafı
b) Optik mikroskop görüntüleri.

Üç ön ısıtma sıcaklığına ait optik fotoğraflardan da görüldüğü gibi NiTi - NiAl ara kesitlerinde yoğun dentritik oluşumlar gözlemlenmiştir. Ham kompaktlardaki orijinal gözenekler dolayısıyla nihai ürünlerde elde edilen gözeneklerin ana kökenidir [14].

Michalski ve diğ., 2006, kendi kendine yayılan yüksek sıcaklık sentezi ile üretilen malzemelerin önemli bir dezavantajının, yüksek gözeneklilik olduğunu ifade etmiştir[15].

Gözenek oluşumunda; ham gözeneklilik, ön ısıtma sıcaklığı,

reaksiyon sırasında gaz oluşumu, termal göç, reaksiyona giren maddelerin hacim küçülmesi ve Ni-Ti arasındaki difüzyon farkı etkilidir. 1173 K sıcaklıktaki Ni atomlarının Ti atomları içerisindeki difüzyon hızı, Ti atomlarının Ni atomları içerisindeki difüzyon hızına göre 4000 kat fazladır. Gazın bir kısmı çıkarken, dış basınç arttığından dolayı bir kısmı da içeride hapsedilir. Ayrıca alaşım oluşurken büzülme de olur. Büzülme esnasında da içeri gaz sızıp hapsolabilir. Böylece kapalı gözenekler, küçük odacıklar oluşur. Büzülme tam olarak kapanmadığı zaman odacıklar dar geçitlerle birbirlerine veya kanallara açılır. Böylece küçük açık gözenekler oluşur. Gözeneklerin şekilleri değişik biçimlerde oluşabilmektedir [16].

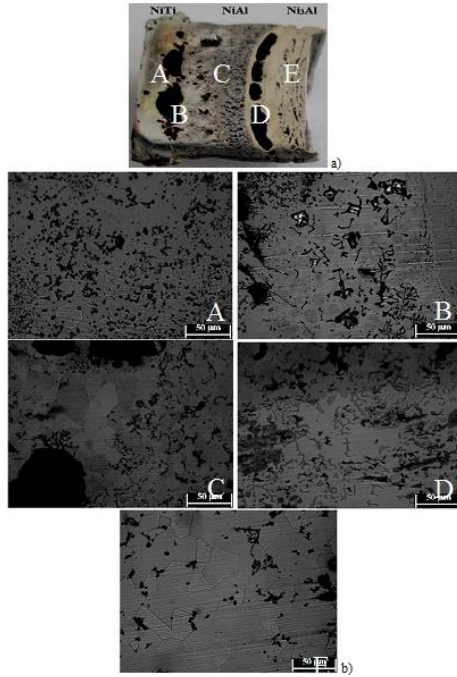


Şekil 3: a) Kompaktlama basıncı: 200 MPa,
Ön ısıtma Sic.: 300 °C numuneye ait makro yüzey fotoğrafı
b) Optik mikroskop görüntüleri

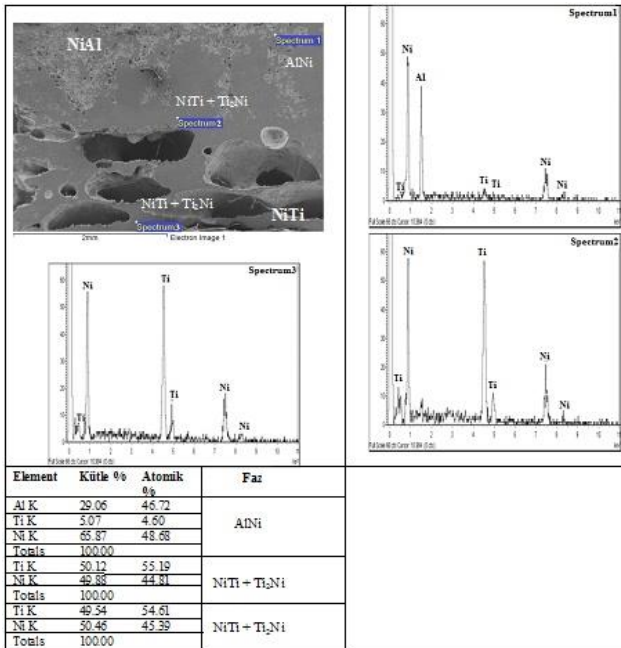
3.2 SEM ve EDS İncelemeleri

200 MPa basınç altında preslenerek 200 °C'lik ön ısıtma sıcaklığı kullanılarak sentezlenen numuneden alınan SEM fotoğrafları ve EDS analizleri Şekil 5 ve 6' da görülmektedir.

NiTi ve NiTi-NiAl ara bölgesinden alınan EDS analizleri sonucunda NiTi kısmında %45 Ni, %55 Ti değerleri elde edilmiş ayrıca NiTi-NiAl ara bölgesinde de %45 Ni, %55 Ti elde edilmiştir. Elde edilen değerler Ni-Ti ikili denge diyagramı yardımıyla değerlendirildiğinde ve XRD sonucundan NiTi tarafında ve ara bölgede NiTi + Ti₂Ni intermetalik fazının meydana geldiği görüldü. NiAl tarafından alınan EDS sonucunda %53 Al, %47 Ni değeri elde edildi. Ni-Al ikili denge diyagramı yardımıyla bu bileşimin AlNi fazının bileşimi ile uyduğu görülmektedir. NiAl ve Ni₃Al ara bölge kısmından alınan EDS sonuçlarından %26Al ve %74 Ni değerleri elde edilmiş ve bu yapının Al-Ni ikili denge diyagramı yardımıyla Ni₃Al intermetalik fazına işaret ettiği sonucu ortaya çıkmıştır. Ni₃Al kısmından alınan EDS sonuçlarından %13 Al ve %87 Ni değerleri elde edildi ve bu yapının Al-Ni ikili denge diyagramı yardımıyla αNi+AlNi₃ intermetalik fazına işaret ettiği sonucuna varıldı.



Şekil 4: a) Kompaktlama basıncı: 200 MPa, Ön ısıtma Sic: 400 °C numuneye ait makro yüzey fotoğrafı b) Optik mikroskop görüntüleri.

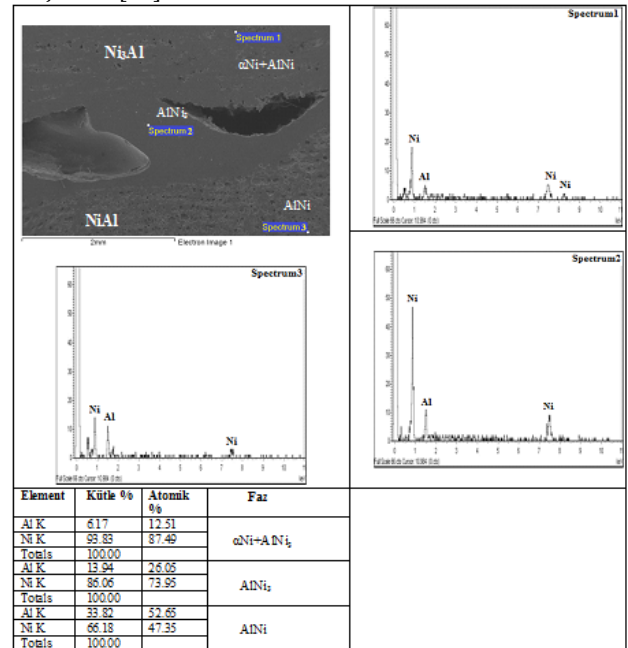


Şekil 5: 200 MPa kompaktlama basıncı ve 200 °C ön ısıtma sıcaklığına sahip numuneye ait SEM fotoğrafı ve EDS sonuçları. Kompaktlama basıncı 200 MPa ve ön ısıtma sıcaklıkları 300 ve 400 olan numunelerin SEM ve EDS analiz sonuçları Şekil 7, 8, 9 ve 10' da sırasıyla gösterilmektedir. Bu numunelere ait sonuçlara incelendiğinde ana fazlarla birlikte farklı fazların yer aldığı analiz sonuçlarında yer almaktadır.

3.3 XRD Analizi

200 MPa presleme basıncı kullanılarak üretilen numunelerde yapılan XRD analizleri sırasıyla (Şekil 11, 12 ve 13) NiTi, NiAl ve Ni₃Al fazlarıyla birlikte Al₃Ti ve TiAl₃ fazlarının bulunduğu

göstermiştir. Yeh ve diğ. 2004'te yapmış oldukları bir çalışmada, XRD analizi sonucunda NiTi, NiTi₂, Ni₃Ti ve Ni₄Ti₃ dâhil olmak üzere çok sayıda fazın yanı sıra gözenekli nihai ürün ve reaksiyona girmemiş Ni'in de yapıda bulunduğu tespit edildi. Bununla birlikte, reaksiyona girmemiş Ni miktarının büyük ölçüde azalmış olduğunu ve baskın olan bileşik NiTi miktarının yoğun ürünlerde önemli ölçüde artmış olduğunu tespit etmişlerdir. Yeh ve diğ. 2004 baskın faz NiTi, diğer iki sabit fazın ise NiTi₂ ve Ni₃Ti, belirtmiş ve aynı zamanda 3-7 µm Ni tozu kullanılan ürünlerde olduğunu ifade etmişlerdir [17]. Bu çalışmada NiTi fazının oluştuğu XRD analizleriyle gösterilmiştir; diğer fazların oluşumu ise EDS analiz sonuçlarına göre ortaya konmuştur. Dong ve diğ. sıcaklık 540 °C'den itibaren yükseldikçe, Al pikinin azaldığından ve NiAl ve Ni₃Al, Ni₂Al₃'ün oluşumu ile ilgili noktaların varlığından söz etmişlerdir [18]



Şekil 6: 200 MPa kompaktlama basıncı ve 200 °C ön ısıtma sıcaklığına sahip numuneye ait SEM fotoğrafı ve EDS sonuçları.

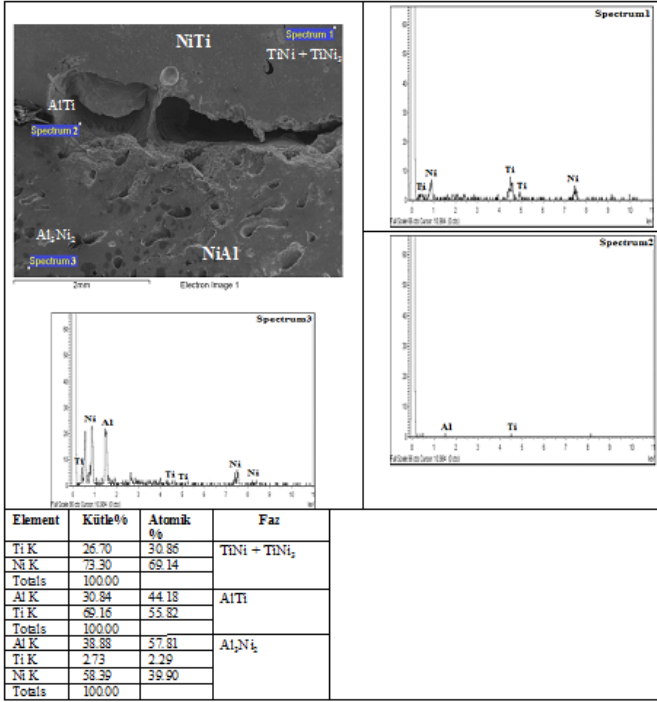
4 Sonuç

1) Sonuçlardan, üç farklı toz karışımının tek kalıpta preslenerek sentezlenmesiyle tek parça fonksiyonel bir malzemenin başarıyla üretilebileceği görüldü.

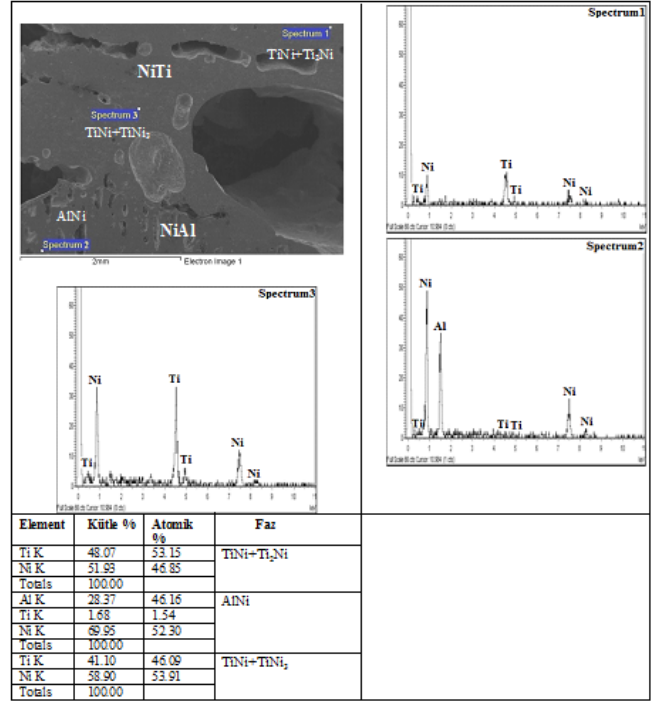
2) 200 MPa presleme basıncı ve 200, 300 ve 400 °C'lik ön ısıtma sıcaklıklarında üretilen numunelerin makro fotoğraflarından sentezleme işleminin başarıyla gerçekleştiği ve sadece 200 °C'lik ön ısıtma sıcaklığında numune bütünlüğünün korunduğu görüldü.

3) Sentezlenen numunenin ana malzemeler ve ara yüzeylerinden alınan optik mikroyapı fotoğraflarından ara kesitler dışında sadece 200 °C'lik ön ısıtma sıcaklığında gözeneklerin oluştuğu görülmüştür. 300 ve 400 °C'lik ön ısıtma sıcaklıklarında ise özellikle NiAl ve Ni₃Al bölgelerinde gözeneklerin daha yoğun olduğu tespit edildi.

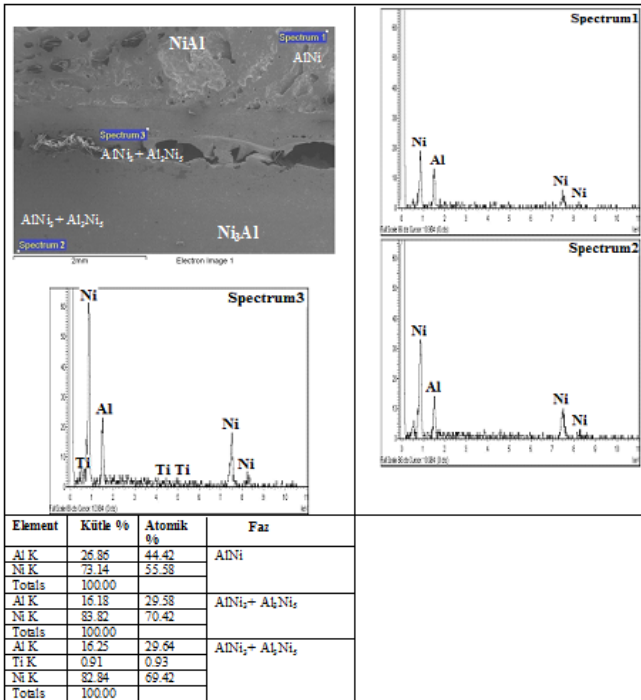
4) Optik mikroyapı fotoğraflarından NiTi-NiAl ara kesitinde dentritik oluşum gözlemlenmiştir. Artan ön ısıtma sıcaklığı ile birlikte ara bölgelerde geniş yanma holleri meydana geldiği gözlemlendi.



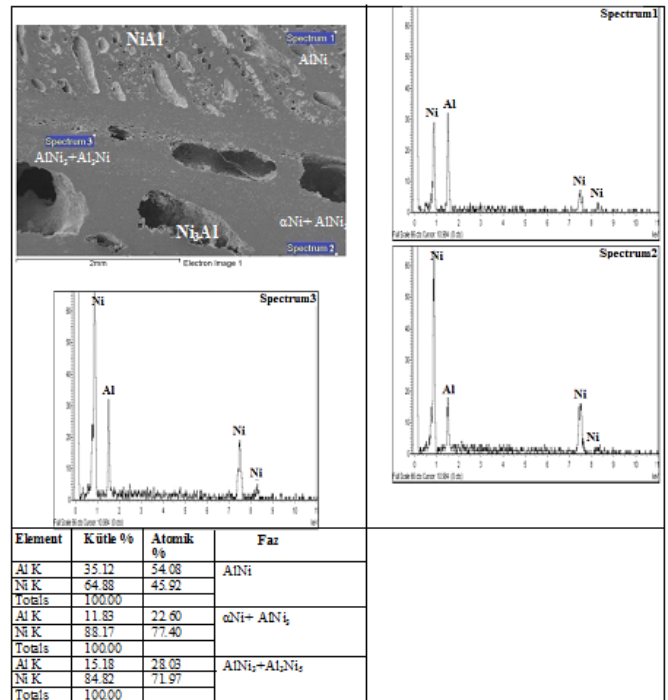
Şekil 7: 200 MPa kompaktlama basıncı ve 300 °C ön ısıtma sıcaklığına sahip numune için SEM fotoğrafı ve EDS sonuçları.



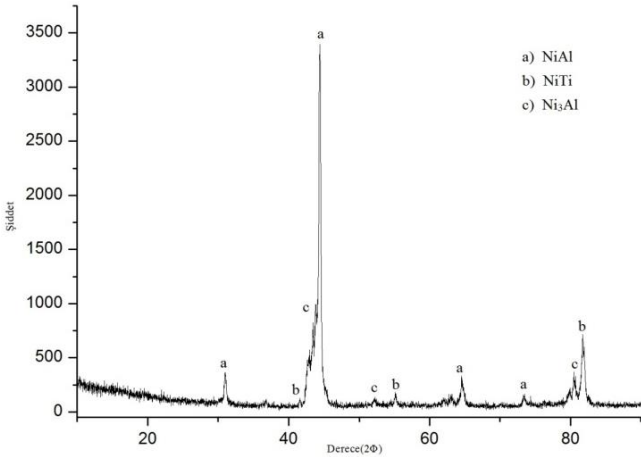
Şekil 9: 200 MPa kompaktlama basıncı ve 400 °C ön ısıtma sıcaklığına sahip numune için SEM fotoğrafı ve EDS sonuçları.



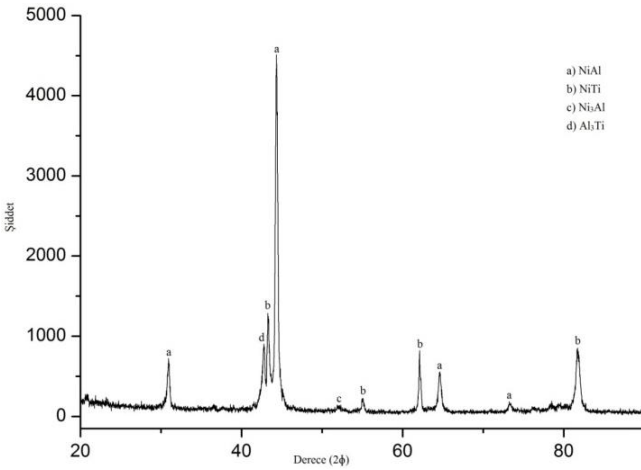
Şekil 8: 200 MPa kompaktlama basıncı ve 300 °C ön ısıtma sıcaklığına sahip numune için SEM fotoğrafı ve EDS sonuçları.



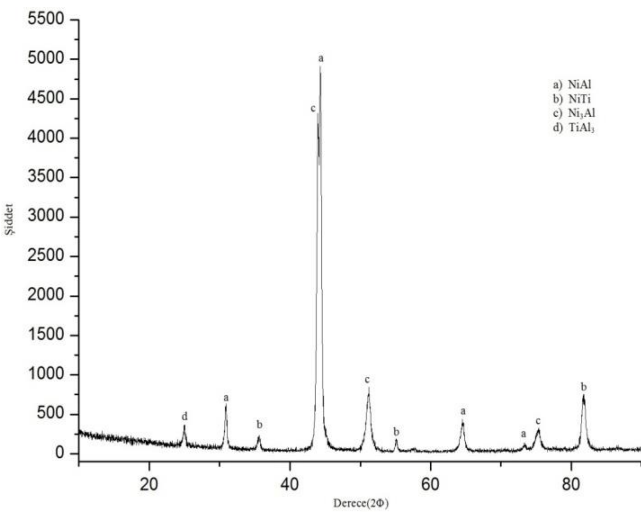
Şekil 10: 200 MPa kompaktlama basıncı ve 400 °C ön ısıtma sıcaklığına sahip numune için SEM fotoğrafı ve EDS sonuçları.



Şekil 11: 200 MPa kompaktlama basıncı ve 200 °C ön ısıtma sıcaklığına sahip numuneye ait XRD paterni.



Şekil 12: 200 MPa kompaktlama basıncı ve 300°C ön ısıtma sıcaklığına sahip numuneye ait XRD paterni.



Şekil 13: 200 MPa kompaktlama basıncı ve 400 °C ön ısıtma sıcaklığına sahip numuneye ait XRD paterni.

5) 200 MPa kompaktlama basıncı ve 200, 300 ve 400 °C'lik ön ısıtma sıcaklıklarına sahip numunelerin XRD analiz sonuçlarında, 200°C'lik ön ısıtma sıcaklığına sahip numunede

Ti, NiAl ve Ni₃Al ana fazlarının oluştuğu 300 ve 400 °C'lik ön ısıtma sıcaklıklarına sahip numunelerde ise ana fazlarla birlikte TiAl₃ fazının oluştuğu tespit edildi

5 Teşekkür

19.02.2015 tarihinde vefat eden değerli hocam Prof.Dr. Nuri Orhan'a Allah'tan rahmet dilerim. FUBAP-TEKF.13.02 no.lu proje kapsamında gerçekleştirilmiş olan bu çalışmaya destek vermiş olan Fırat Üniversitesi Rektörlüğü'ne yazarlar olarak teşekkür ederiz. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisine katkı sağlayan tüm yazar ve hakemlere teşekkür ederiz.

6 Kaynaklar

- [1] Koizumi M. "FGM Activities in Japan". *Composites Part B: Engineering*, 28(1-2), 1-4, 1997.
- [2] Kieback B, Neubrand A, Riedel H. "Processing Techniques for Functionally Graded Materials". *Materials Science and Engineering: A*, 362(1-2), 81-106, 2003.
- [3] Sobczak JJ, Drenchev L. "Metallic Functionally Graded Materials: A Specific Class of Advanced Composites". *Journal of Materials Science & Technology*, 29(4), 297-316, 2013.
- [4] Burkes DE, Moore JJ, "Microstructure and Kinetics of a Functionally Graded NiTi-TiCx Composite Produced by Combustion Synthesis". *Journal of Alloys and Compounds*, 430(1-2), 274-281, 2007.
- [5] Mahamood RM, Esther TAM, Shukla M, Pityana S. "Functionally Graded Material: An overview". *Proceedings of the World Congress on Engineering*, London, United Kingdom, July, 4-6, 2012.
- [6] Morris GD, Muñoz-Morris, MA. "Intermetallics: Past, Present and Future". *Revista de Metalurgia*, 41(Extr), 498-501, 2005
- [7] Ergin N. Fe-Al İntermetalik Malzemenin Basınç Destekli Hacim Yanma Sentezi ile Üretimi ve Özelliklerinin İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2007.
- [8] Rajan TPD, Pillai RM, Pai BC. "Functionally Graded Al-Al₃Ni in Situ Intermetallic Composites: Fabrication and Microstructural Characterization". *Journal of Alloys and Compounds*, 453(1-2), L4-L7, 2008.
- [9] Zhang ML, Liu J, Yuan ZR, Hirai T. "Properties of TiC-Ni₃Al Composites and Structural Optimization of TiC-Ni₃Al Functionally Gradient Materials". *Materials Science and Engineering* 203(1-2), 272-277, 1995.
- [10] Chen L, Jiandong H, Guo Z, Lou Q, Wang Z. "Ni-Al Functionally Graded Materials by Laser Self-Propagating High-Temperature Synthesis, Materials Transactions". *Materials Transactions*, 45(9), 2791-2793, 2004.
- [11] Özdemir O, Zeytin S, Bindal C. "A Study on NiAl Produced by Pressure-Assisted Combustion Synthesis". *Vacuum*, 84(4), 430-437, 2010.
- [12] Čapek J, Kučera V, Fousová M, Vojtěch D. "Preparation Of the NiTi Shape Memory Alloy by the TE-SHS Method-Influence of the Sintering Time". *22nd International Conference on Metallurgy and Materials*, Brno, Czech Republic, 15-17 May 2013.
- [13] Kaya M, Orhan N, Kurt B. "Gözenekli NiTi ŞHA'nın Toz Metalurjisi ile Üretimi ve Ön Isıtma Sıcaklığının Gözenek Oluşumu Üzerindeki Etkisi". *Fırat Üniversitesi Doğu Anadolu Araştırmaları Dergisi*, 23(4), 931-936, 2008.

- [14] Wisutmethangoon S, Denmud N, Sikong L. "Effect of Preheating Temperature and Chamber Pressure on the Properties of Porous NiTi Alloy Prepared by SHS Technique". *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 68(1), 1694, 2012.
- [15] Michalski A, Jaroszewicz J, Rosiński M, Siemiaszko D. "NiAl-Al₂O₃ Composites Produced by Pulse Plasma Sintering with the Participation of the SHS Reaction". *Intermetallics*, 14(6), 603-606, 2006.
- [16] Kaya M. Toz Metalurjisi ile Üretilen NiTi Şekil Hatırlamalı Alaşımların Metalurjik ve Mekanik Karakteristiklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2008.
- [17] Yeh CL, Sung WY. "Synthesis of NiTi Intermetallics by Self-Propagating Combustion". *Journal of Alloys and Compounds*, 376(1-2), 79-88, 2004.
- [18] Dong HX, Jiang Y, He YH, Song M, Zou J, Xu NP, Huang BY, Liu CT, Liaw PK. "Formation of Porous Ni-Al Intermetallics Through Pressureless Reaction Synthesis". *Journal of Alloys and Compounds*, 484(1-2), 907-913, 2009.
- [19] Kılıç M, Kırık İ, Kurt B, Orhan N. "Fonksiyonel Derecelendirilmiş Ni₃Al/NiAl/NiTi İntermetalik Bileşiğine Ön Isıtma Sıcaklığının Etkisinin İncelenmesi". *15th International Materials Symposium*, Denizli, Turkey, 15-17 October 2014.