

Ni-Al-Ti Kompozit Üretimi ve Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi

İ. Yıldız¹, A. Erol², Ş. Talaş², A. Yönetken¹

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 03200, Afyonkarahisar/Türkiye, iyildiz@aku.edu.tr, yonetken@aku.edu.tr

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, 03200, Afyonkarahisar/Türkiye, aerol@aku.edu.tr

Production of Ni-Al-Ti Composite and Investigation of Mechanical Properties

Abstract—Intermetallic materials such as NiAl are among advanced technology materials that have outstanding mechanical and physical properties for high temperature applications. Especially creep resistance, low density and high hardness properties stand out in such intermetallics. It is known that Ni-Al intermetallics are commonly used in various application fields with the addition of Ti, in particular as well as elements such as Co, Cr, Mo and Fe which are related to this group for improving properties thereof. It is especially determined that Ti additive provides positive results in terms of low density, high hardness and shear strength in the produced intermetallics. Given this information, sintering process was used in this study by adding different amounts of Ti powder to Ni-Al powder mixture. When the properties of the sample after sintering were examined we were able to reveal the effects of Ti on Ni-Al and consider 4% Ti added composition as the most suitable ratio in terms of mechanical properties. Analyses were conducted metallographically on the samples after sintering, the densities were calculated and hardness and shear strengths were determined. According to the data while 4% Ti added composition had 5.1 gr/cm³ of density and 186.4 HB hardness values, 2% Ti added composition displayed 224 MPa shear strength.

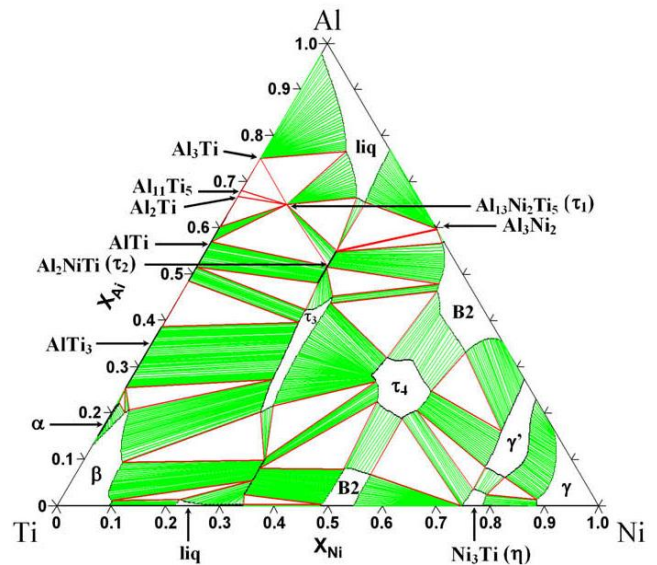
Keywords—Sintering, intermetallic, high temperature, composite

I. GİRİŞ

NiAl intermetalikler, uygulama alanları göz önüne alındığında yüksek sıcaklık uygulamaları ve yüksek korozyon dayanımı başta otomotiv, uzay sanayi ve bağlı bulunduğu endüstri alanında büyük önem arz etmektedir. NiAl yapılı malzemeler, sıcak ekstrüzyon, haddeleme, dövme gibi yöntemleri içeren çeşitli tekniklerle elde edilmektedir [1-4]. Son zamanlarda Ni-Al-Ti filmler geniş yapılı filmlerle karşılaştığında daha küçük tanelere sahiptir. Bu özelliğinden dolayı daha koruyucu film tabakaları meydana getirmektedir. Böylelikle Ni-Ti intermetaliklerinin üretim yöntemleri toz metalurjisine göre çeşitlilik arz etmektedir [5,6,7]. NiAl intermetaliklerine Ti malzemesinin eklenmesiyle yüksek dayanımlı türbin uygulamalarında daha yüksek sıcaklıklara dayanım özelliği göstermektedirler. NiAl intermetalliğine Ti eklenmesiyle ayrıca bu intermetaliklerin sürünme dirençlerinde

de artışlar meydana gelmektedir [8,9]. Metalik malzemeler arasında Ti ve onun alaşımları, yüksek sıcaklıklarda düşük yoğunluklarından dolayı otomotiv ve havacılık uygulamaları için daha az ağırlıklı bileşim üretimlerinde en uygun adaylar olarak gösterilmektedir.

Ancak yüksek sıcaklıklarda çeşitli oksidasyon problemleri ve mekanik özelliklerini etkilemek gibi durumlar söz konusu olmaktadır [10,11,12]. Ni esaslı intermetalikler, onların ergime sıcaklıklarının % 80 üzerindeki sıcaklık uygulamalarında yüksek dayanıma sahip olması bakımından kullanılmaktadır. NiAl alaşımlarına Ti malzemesinin eklenmesiyle, bu alaşımların sahip oldukları özelliklerinin yanında sürünme direnci özellikleri de artmaktadır [13,14]. Ni-Al-Ti sistemdeki izotermal bölgeler TCNI bilgi altyapısı kullanılarak sıcaklıklar hesaplanmıştır. Şekil 1'deki üçlü faz diyagramına göre çalışma sıcaklıklarına göre τ_1 - τ_4 fazları elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda en çok kullanılan fazlar ise τ_1 , τ_2 ve τ_3 olmuştur [15-17]. Titanyum 500-520 °C arası sıcaklıklarda yüksek oksidasyon problemiyle karşı karşıya kalarak TiO₂ formuna dönüşmektedir. Bu durum, Ti ve alaşımlarının teorik olarak aşınma direncinde, ergime sıcaklığında düşme ve dolayısıyla da mekaniksel özellikleri etkilenmektedir [18].



Şekil 1: Ni-Al-Ti üçlü faz diyagramı [18].

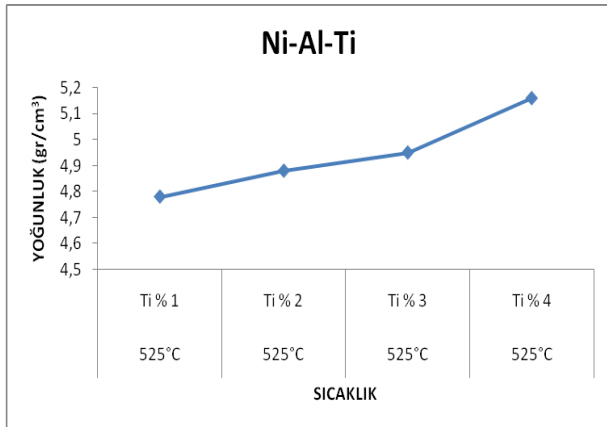
II. DENEYSEL METOT

Bu çalışmada, Ni esaslı intermetalik oluşturmak için Ni malzemesinin yanı sıra Al ve Ti belirli oranlarda 24 saat süresince homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Karışım, uygun kalıp içerisinde tek eksenli soğuk hidrolik preste şekillendirilmiştir. Preslenmiş numuneler Argon gazı atmosferinde tüp fırında 525 °C de 2 saat süreyle sinterlenmiştir. Sinterleme sonrası serbest soğumaya bırakılarak sertlikleri ve kesme dayanımları ölçülmüştür. Ayrıca sinterleme sonrası numunelere XRD ve SEM uygulanmıştır. Deneysel çalışmada takip edilen akım şeması Yönetken ve arkadaşlarının çalışmalarında kullanılan akış şemasının benzeri olup değerlerde farklılıklar vardır [19].

III. DENEYSEL BULGULAR

A. Yoğunluk

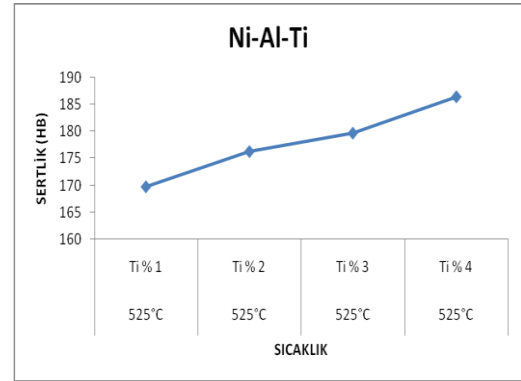
Sinterleme sonrası elde edilen numunelerin yoğunlukları hesaplama yoluyla ($d=m/V$) hesaplanmıştır (Şekil 2). Şekil 3 incelendiğinde en yüksek yoğunluk % 4 Ti katkılı karışımda 5,1 gr/cm³ elde edilmişken en düşük yoğunluk % 1 Ti katkılı karışımda 4,8 gr/cm³ değerine sahiptir.



Şekil 2: Ni-Al-Ti kompozit malzemelerine ait yoğunluk grafiği

B. Sertlik

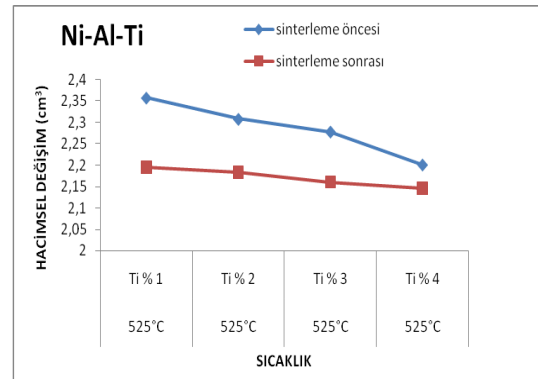
Sinterleme etkisine bağlı elde edilen numunelerin sertlik değerleri Brinell olarak ölçülmüştür (Şekil 3). Şekil 3 incelendiğinde en yüksek sertlik % 4 Ti katkılı karışımda 186,4 HB olarak elde edilmişken en düşük sertlik ise, % 1 Ti katkılı karışım 169,8 HB değerine sahiptir. Sertlik değerinin, % 4 Ti katkılı kompozit malzemede çok yüksek çıkmasının nedeni, Ti malzemesinin bu değerlerde reaksiyona girmesi ve kompozit malzemenin sertliğini artırması olarak düşünülmektedir.



Şekil 3: Ni-Al-Ti kompozit malzemelerine ait sertlik grafiği.

C. Hacimsel Değişim

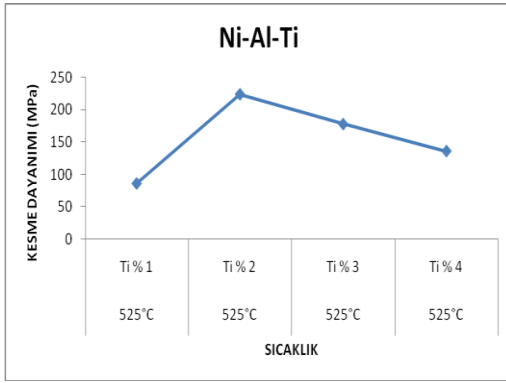
Ni-Al-Ti kompozit malzemelerinin sinterleme sonrasında hacimsel değişimleri hesaplama yoluyla ($d=m/V$) hesaplanmıştır (Şekil 4). Şekil 4 incelendiğinde yoğunluk değerlerindeki artışlara ters orantılı olarak kompozit malzemelerin sinterlenme öncesine göre hacimsel değişimlerinde azalmalar meydana geldiği görülmektedir. En yüksek hacimsel değişim % 4 Ti katkılı karışımda 2,15 cm³ ile elde edilmişken en düşük hacimsel değişim ise % 1 Ti katkılı karışım 2,2 cm³ değerine sahiptir. Bu durumun % 4 Ti katkılı kompozit malzeme içerisinde Ti malzemesinin reaksiyona girerek kompozit malzemenin boyutlarında değişimlere sebep olduğu tahmin edilmektedir.



Şekil 4: Ni-Al-Ti kompozit malzemelerine ait hacimsel değişim grafiği

D. Kesme Dayanımı

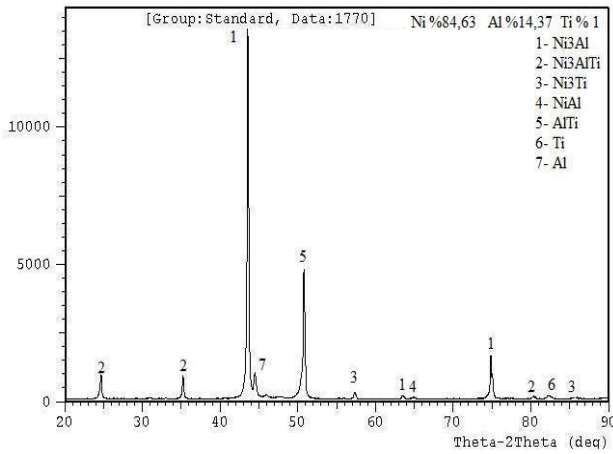
Sinterleme sonrası elde edilen numunelerin kesme dayanım değerleri Autograph AG-IS 100KN cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 5). En yüksek kesme dayanım değeri, % 2 Ti katkılı karışımda 224 MPa olarak elde edilmişken en düşük kesme dayanım değerini ise, % 1 Ti katkılı karışım 86 MPa değerine sahiptir. % 1 Ti katkılı karışıma ait değerlerin düşük çıkmasının nedeni, yapı içerisinde tanelerin homojen bir şekilde dağılmamış olması ve taneler arası boşluklar olarak tahmin edilmektedir.



Şekil 5: Ni-Al-Ti kompozit malzemelerine ait kesme dayanım grafiği.

E. Xrd Analizi

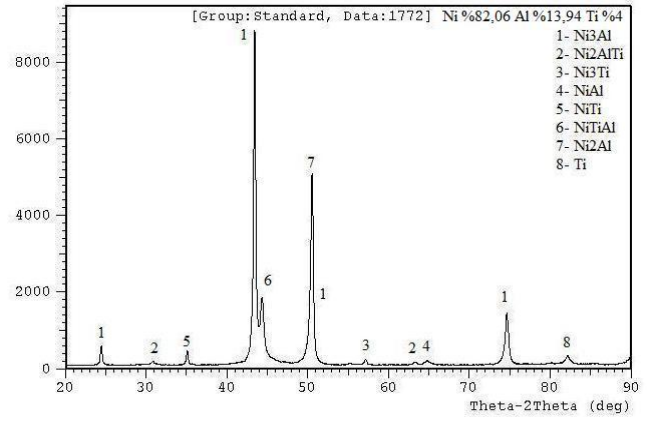
Sinterleme sonrası numunelere XRD analizi yapılmıştır (Şekil 6 ve Şekil 7). Analiz sonuçları incelendiğinde, sinterlenen kompozit malzemelerde en yüksek pik değerine Ni_3Al fazında rastlanmıştır. Yine bu fazı takiben en yüksek pik değerine $AlTi$ fazı sahiptir. Bu pik değeri de kompozit malzeme içerisinde Ti ile Al un reaksiyona girmiş olabileceği olarak tahmin edilmektedir.



Şekil 6: Ni-Al-%1Ti kompozit malzemeye ait XRD grafiği.

Şekil 7 de %4 Ti katkıli karışıma ait XRD analiz sonucu görülmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere en yüksek pik değerine Ni_3Al fazı sahiptir. Bu fazı takiben Ni_2Al fazı olduğu görülmektedir. Bu durumun ise kompozit malzeme içerisinde Ni-Al intermetalığının oluşmuş olabileceği tahmin edilmektedir.

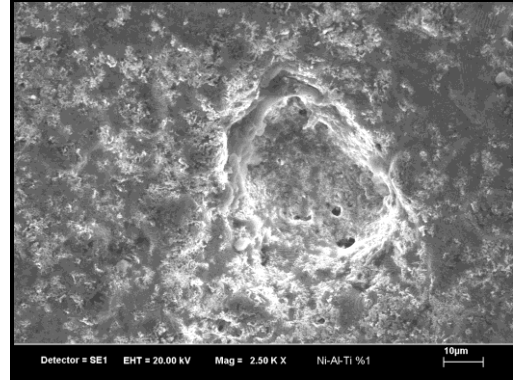
Şekil 6 ve 7 incelendiğinde Ni-Al-Ti kompozisyonunda sinterleme sonrası oluşan intermetalik fazların Ni_3Al , Ni_3AlTi , Ni_3Ti , $NiAl$, $AlTi$, Ti , Al , Ni_2AlTi , $NiTi$, $NiTiAl$, Ni_2Al olduğu görülmektedir.



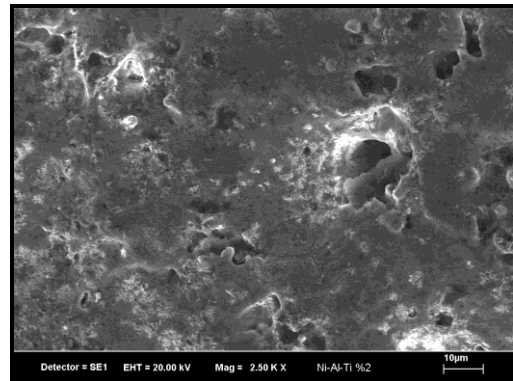
Şekil 7: Ni-Al-%4Ti kompozit malzemeye ait XRD grafiği.

F. Sem Analizi

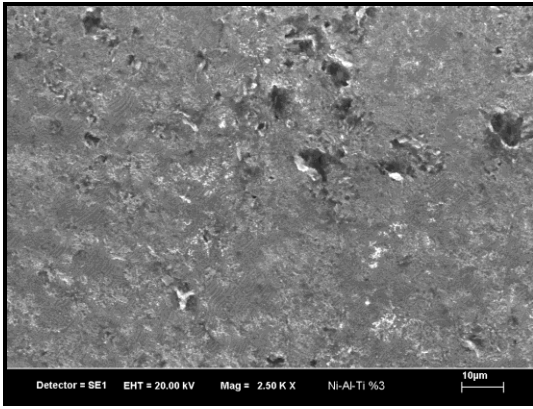
Sinterleme etkisine bağlı olarak elde edilen kompozit malzemelerin SEM analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 8). Kompozit malzemelere ait SEM görüntüleri incelendiğinde %1, 2, 3Ti katkıli malzemelerde boşluklu yapıların olduğu, %4 Ti katkıli malzemede ise daha homojen ve boşluksuz yapı olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumun kompozit malzeme içerisinde yer alan Ti malzemesinin diğer malzemelerle reaksiyona girerek sinterleme sıcaklığını artırmış olabileceği olarak düşünülmektedir.



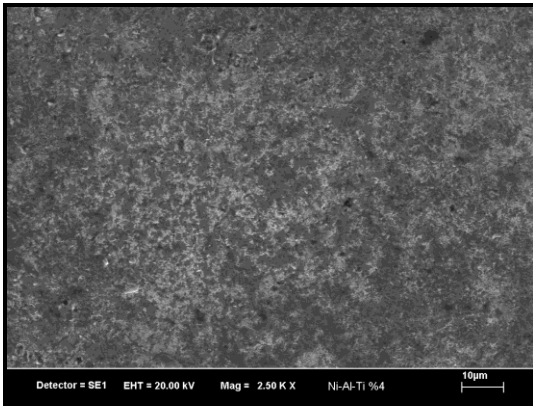
a) Ni-Al-%1Ti katkıli kompozit malzemeye ait SEM görüntüsü.



b) Ni-Al-%2Ti katkıli kompozit malzemeye ait SEM görüntüsü.



c) Ni-Al-%3Ti katkılı kompozit malzemeye ait SEM görüntüsü.



d) Ni-Al-%4Ti katkılı kompozit malzemeye ait SEM görüntüsü.

Şekil 8: Ni-Al-Ti kompozit malzemelere ait SEM görüntüleri.

IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneysel bulgulardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- En yüksek yoğunluk değerine %4 Ti katkılı kompozit malzemede $5,1 \text{ gr/cm}^3$ hesaplanmıştır (Şekil 2).
- Sinterlenen kompozit malzemelerde en yüksek sertlik değeri %4 Ti katkılı kompozit malzemede 186,4 HB sertlik olarak ölçülmüştür.
- Kesme dayanımı en yüksek %2Ti katkılı kompozit malzemede 224MPa olarak ölçülmüştür.
- SEM analizleri incelendiğinde %4 Ti katkılı kompozit malzemenin, daha boşluksuz ve homojen bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir.
- Sinterleme sonrası elde edilen kompozit malzemelerin teorik yoğunlukları kompozit malzeme içerisinde yer alan elementlerin yüzdelik dilimleri ile yoğunluklarının çarpımlarıyla hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda en yüksek teorik yoğunluk %1 Ti katkılı karışım $7,22 \text{ gr/cm}^3$, en düşük teorik yoğunluk ise %4 Ti katkılı karışım $7,18 \text{ gr/cm}^3$ değerine sahiptir.

- Sinterleme etkisiyle elde edilen kompozit malzemelerin gerçek yoğunluğa yaklaşma değerleri, numunelere ait yoğunluk değerlerinin teorik yoğunluğa bölünmesiyle hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda en iyi gerçek yoğunluğa yaklaşma %4 Ti katkılı karışım %72, en düşük gerçek yoğunluğa yaklaşma %1 Ti katkılı karışım %66 değeriyle göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Afyon Kocatepe Üniversitesi BAPK 10.TEF.01 nolu proje ile desteklenmiştir. Bu desteklerinden dolayı Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna çok teşekkürler.

REFERANSLAR

- [1] Dong, H. X., Jiang, Y., He, Y. H., "Formation of Porous Ni-Al Intermetallics Through Pressureless Reaction Synthesis", Journal of Alloys and Compounds, vol. 484, pp. 907-913, 2009.
- [2] Ozdemir, O., "Ni-Al Intermetallics Materials", Access: http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137_5763.pdf.
- [3] Ishak, M., I., "The Effect of Alloying Elements on Wear Behaviour of Ni-Al", Access: http://eprints.usm.my/3573/1/The_effect_of_alloying_elements_on_wear_behaviour_of_NiAl_Mohamad_Izha_Ishak.pdf.
- [4] Morsi, K., "Review: Reaction Synthesis Processing of Ni-Al Intermetallic Materials", Materials Science and Engineering, vol. 299, pp. 1-15, 2001.
- [5] Zayonts, N. L., Kucharski, S., "Surface Characterization and Wear Behavior of Ion Implanted NiTi Shape Memory Alloy", Vacuum, pp. 220-223, 2009.
- [6] Tomochika, H., Kikuchi, H., Araki, T., Nishida, M., "Fabrication of NiTi Intermetallic Compound by a Reactive Gas Laser Atomization Process", Materials Science and Engineering, vol. 356, pp. 122-129, 2003.
- [7] Salehi, M., Karimzadeh, F., Tahvilian, A., "Formation of Ti-Ni Intermetallic Coatings on Carbon Tool Steel by a Duplex Process", Surface and Coatings Technology, vol. 148, pp. 55-60, 2001.
- [8] Schuster, J. C., "Critical Data Evaluation of The Aluminium-Nickel-Titanium System", Intermetallics, vol. 14, pp. 1304-11, 2006.
- [9] Schuster, J.C., Pan, Z., Liu, S., Weitzer, F., Du, Y., "On The Constitution of The Ternary System Al-Ni-Ti", Intermetallics, vol. 15, pp. 1257-67, 2007.
- [10] Gashti, S. O., Shokuhfar, A., Kahrizangi, R. E., Tabrizi, B. N., "Synthesis of Nanocrystalline Intermetallic Compounds in Ni-Ti-Al System by Mechanochemical Method", Journal of Alloys and Compounds, vol. 491, pp. 344-348, 2010.
- [11] Han, C. S., Bae, C. H., Lee, J. H., "Characteristic of Microstructure and Mechanical Properties in Ni-Al-Ti Alloy System", Metallic Materials, vol. 15, pp. 891-895, 2009.
- [12] Moussa, S. O., Morsi, K., "High-Temperature Oxidation of Reactively Processed Nickel Aluminate Intermetallics", Journal of Alloys and Compounds, vol. 426, pp.136-143, 2006.
- [13] Boromei, I., Casagrande, A., Tarterini, F., Poli, G., Veronesi, P., Rosa, R., "Ni-Al-Ti Coatings Obtained by Microwave Assisted SHS: Oxidation Behaviour in the 750-900 °C Range", Surface & Coatings Technology, vol. 204, pp. 1793-1799, 2010.
- [14] Çelikyürek, I., Gurler, R., "The Determination of Vacuum Melting conditions for Some Intermetallic Compounds., Dumlupınar University FBE, pp. 2, 2007.
- [15] Huneau, B., Rogl, P., Zeng, K., Schmid-Fetzer, R., Bohn, M., Bauer, J., "The ternary system Al-Ni-Ti", Part I: Isothermal Section at 900 °C, Experimental Investigation and Thermodynamic Calculation, Intermetallics, vol. 7, pp. 1337-45, 1999.
- [16] Zeng, K., Schmid-Fetzer, R., Huneau, B., Rogl, P., Bauer, J., "The Ternary System Al-Ni-Ti", Part II: Thermodynamic Assessment and Experimental Investigation of Polythermal Phase Equilibria, Intermetallics, vol. 7, pp. 1347-59, 1999.

- [17] Bursıık, J., Broz, P., “Constitution of Ni–Al–Ti System Studied by Scanning Electron Microscopy”, *Intermetallics*, vol. 17, pp. 591–595, 2009.
- [18] Cammarota, G.P., Casagrande, A., Poli, G., Veronesi, P., “Ni–Al–Ti Coatings Obtained by Microwave Assisted SHS: Effect of Annealing on Microstructural and Mechanical Properties”, *Surface & Coatings Technology*, vol. 203, pp. 1429–1437, 2008.
- [19] Yonetken, A., Erol, A., Talas, S., “Microwave Sintering of Electroless Ni Plated SiC Powders”, *Material Science and Engineering Conference*, 1-4 September 2008, Nunberg, Germany.