

Ni-Al-Cr Kompozit Üretimi ve Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması

A. Erol¹, İ. Yıldız², A. Yönetken²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, 03200, Afyonkarahisar/Türkiye, aerol@aku.edu.tr

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 03200, Afyonkarahisar/Türkiye, iyildiz@aku.edu.tr, yonetken@aku.edu.tr

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

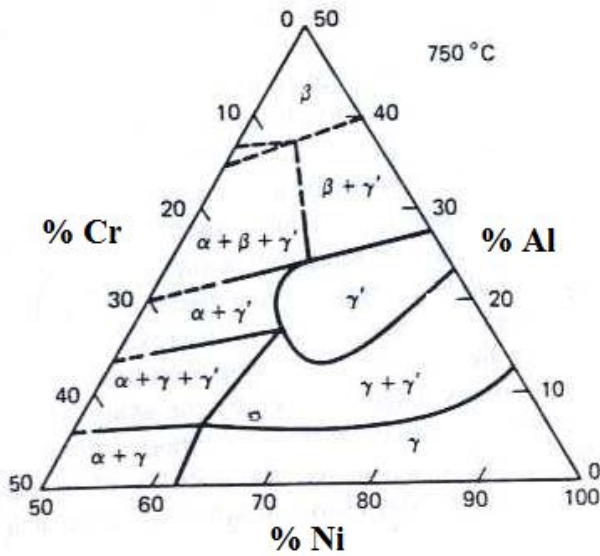
Abstract—Nickel aluminide intermetallic compounds possess attractive properties that make them good candidates for high temperature structural applications. It is known that Ni₃Al intermetallics are commonly used in various application fields with the addition of Cr, in particular as well as elements such as Ti, Co, Mo and Fe which are related to this group for improving properties thereof. Given this information, sintering process was used in this study by adding different amounts of Cr powder to Ni₃Al powder mixture. When the properties of the sample after sintering were examined we were able to reveal the effects of Cr on Ni₃Al and consider 3% Cr added compositions as the most suitable ratio in terms of mechanical properties. Analyses were conducted metallographically on the samples after sintering, the densities were calculated, hardness and shear strengths were determined. According to the data 3% Cr added composition had 5,23 gr/cm³ of density, 153,9 HB hardness values and displayed 307 MPa shear strength.

Keywords—Sintering, intermetallic, composition, high temperature.

I. GİRİŞ

NiAl esaslı intermetalikler, yıllardan beri yüksek sıcaklık uygulamaları için potansiyel olarak önemli konuma sahiptir. Bu intermetaliklerin çalışılmasında dikkate alınan kriterler arasında sentezlenme ve üretilme yöntemleriyle beraber korozyon davranışı, oksidasyon, mekanik özellikler ve alaşım elementlerinin bu malzemelere olan etkileri gösterilebilir [1]. İntermetalik alaşımların çoğu kırılğan oldukları için geleneksel yöntemlerle biçimlendirilmeleri zordur. Bu malzemelerin biçimlendirme yollarından bir tanesi, iyi tane yapılı süperelastik deformasyon olayıdır. Ancak bu malzemelerin yüksek sıcaklıklarda plastik deformasyonla şekil değiştirmeleri için iyi tane yapılarına sahip olmaları zorunlu olmaktadır [2,3]. Yüksek sıcaklıklarda kullanılan alaşımların, kullanıldığı atmosferin aşındırıcı etkilerine karşı dayanıklı olması, dizayn şartlarına bağlı olarak yeterli mukavemete sahip olması ve bunların yanı sıra yüksek sıcaklıklarda metalurjik veya yapısal değişimlere karşı koyabilmek için kararlı olması gereklidir [4,5]. Oksidasyon direnci ve yüksek sıcaklık korozyonu açısından en önemli alaşım elementi kromdur. Bu yüzden korozyon dirençli çelikler, paslanmaz çelikler, Ni-Cr

alaşımları ve süperalaşım gibi malzemeler yeterli miktarda krom elementi içerir. Yüksek sıcaklık uygulamalarında da yüksek bir oranda krom elementi kullanılmaktadır [6]. Cr malzemesine sahip süper alaşımlar, endüstriyel gaz türbinlerinde yanma odaları, kanatçıklar ve nozul malzemesi olarak kullanılmaktadır. Süper alaşımların kullanımı bu saydığımız kritik parçaların ömürlerinin belirgin bir şekilde uzamasını sağlamış, dolayısıyla türbinlerin bakım aralıklarını artırarak bakım maliyetlerinin düşmesini sağlamıştır [7,8]. Basit stokiometrik oranlarda göreceli olarak dar bileşim aralıklarında oluşan intermetaliklerin mükemmel yüksek sıcaklık mukavemet özellikleri çok ilgi çekicidir [9]. Düzenli metaller arası bileşikler kritik düzenlenme sıcaklığının altında büyük oranda düzenli kristal yapılarıyla metalik malzemelerin eşsiz bir sınıfını oluştururlar [10,11]. Bu bileşikler kendilerini oluşturan farklı atomların aralarında oluşturdukları kuvvetli bağlar nedeniyle oldukça farklı mekanik ve fiziksel özellikler gösterirler. Mukavemet ve tokluğun güzel bir kombinasyonunu oluşturan süperalaşımlar ancak 1100 °C'nin altında kullanılabilir. Modern mühendislik seramikleri ise daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir, fakat kovalent bağlanma nedeni ile kırılğan olmakta bu da kullanımını sınırlamaktadır. Metallerarası bileşikler, hem kullanım sıcaklığı hem de mekanik özellikler açısından metalik malzemeler ile seramik malzemeler arasındaki boşluğu doldurmaya aday malzemelerdir. Atomlar arası kuvvetli bağlar nedeni ile süperalaşımlardan daha yüksek mukavemet gösterirken, bağlanmanın hala metalik karakterde olmasından dolayı seramiklere göre daha az kırılğandır [12,13]. Ni-Al-Cr intermetaliklerin çökeltme yöntemleri birçok uzman tarafından araştırılmıştır. Ancak asıl çalışma durumu modülasyon yapısı ve çökeltme durumunun son aşamasına yapılmıştır. Bu intermetaliklerin makroskobik performans ve davranışları, kendi yapılarına bağlı olmaktadır. Çökeltmiş faz yapılarının boyut ve dağılımı, ısıl yaşlanma davranışı tarafından kontrol edilmektedir [14,15]. Cr ve Al her ikisi de nikel içerisinde önemli derecede çözünürler. Ancak bu sistemde çeşitli ara metal bileşikleri biçimindeki Al-Cr faz diyagramı gösterilmiş, Cr ve Al her iki elementin nikel üzerinde γ 'nın oluşumuna etkisi çok zor olabilir. Üç yüzlü faz diyagramı şekil 1'de gösterildiği gibi Cr ve Al her ikisi de nikel karışımı içerisinde oldukça iyi çözünürler ve γ fazı (Ni₃Al) ve % 20'ye kadar Cr, 750 °C'de çözünür [16-18].



Şekil 1: Ni-Al-Cr üçlü faz diyagramı [16-18].

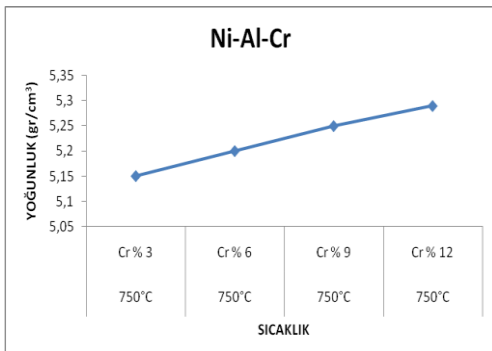
II. DENEYSEL METOT

Bu çalışmada, Ni esaslı intermetalik oluşturmak için Ni malzemesinin yanı sıra Al ve Cr 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 750 °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

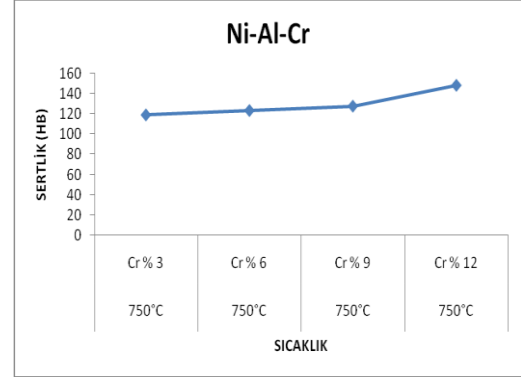
Sinterleme sonrası elde edilen numunelerin yoğunlukları hesaplama yoluyla ($d=m/V$) hesaplanmıştır (Şekil 2). Şekil 2 incelendiğinde en yüksek yoğunluk %12 Cr katkılı karışımda $5,25 \text{ gr/cm}^3$ elde edilmişken en düşük yoğunluk %3 Cr katkılı karışımda $5,15 \text{ gr/cm}^3$ değerine sahiptir.



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

B. Sertlik

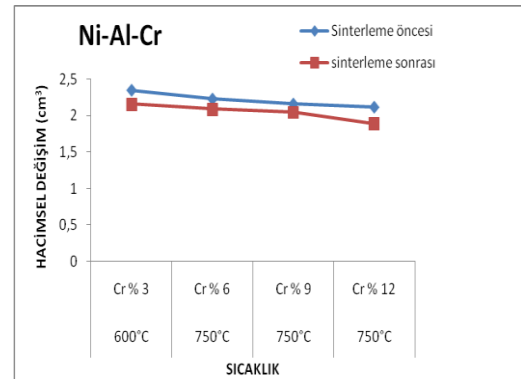
Sinterleme etkisine bağlı elde edilen numunelerin sertlik değerleri Brinell olarak ölçülmüştür (Şekil 3). Şekil 3 incelendiğinde en yüksek sertlik %12 Cr katkılı karışımda 148,3 HB olarak elde edilmişken en düşük sertlik ise, %3 Cr katkılı karışım 120 HB değerine sahiptir. Kompozit malzeme içerisindeki krom miktarına bağlı olarak sertlik değerlerinin artması kromun yapı itibariyle çok dayanıklı bir malzeme olması olarak düşünülmektedir.



Şekil 3: Ni-Al-Cr 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 %12 Cr katkılı karışımda $1,89 \text{ cm}^3$ ile elde edilmişken en düşük hacimsel değişim ise %3 Cr katkılı karışım $2,16 \text{ cm}^3$ değerine sahiptir.

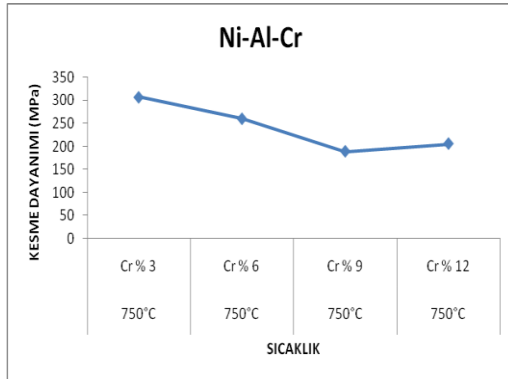


Şekil 4: Ni-Al-Cr kompozit malzemelerine ait hacimsel değişim grafiği

D. Kesme Dayanımı

Sinterleme sonrası elde edilen numunelerin kesme dayanım değerleri Autograph AG-IS 100KN cihazı ile ölçülmüştür

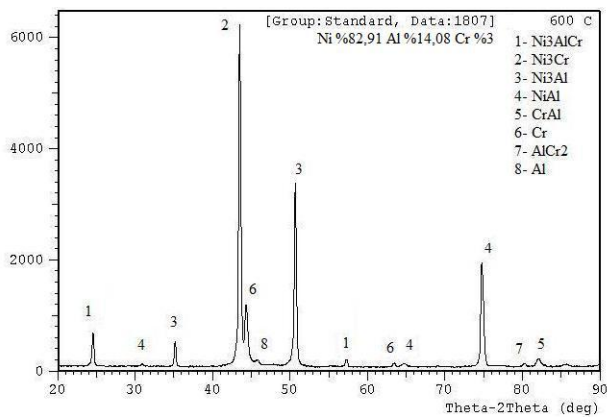
(Şekil 5). En yüksek kesme dayanım değeri, %3 Cr katkılı karışımda 307 MPa olarak elde edilmişken en düşük kesme dayanım değerini ise, %9 Cr katkılı karışım 189 MPa değerine sahiptir. Bu kompozit malzemedeki değerlerin düşük çıkmasının nedeninin, yapı içerisinde tanelerin homojen bir şekilde dağılmamış olması ve taneler arası boşluklardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



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

E. Xrd Analizi

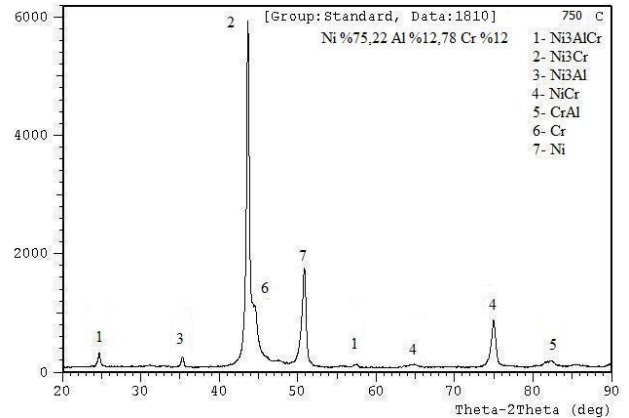
Sinterleme sonrası numunelere XRD analizi yapılmıştır (Şekil 6 ve Şekil 7). Analiz sonuçları incelendiğinde, sinterlenen kompozit malzemelerde en yüksek pik değerine Ni_3Cr fazında rastlanmıştır. Yine bu fazı takiben en yüksek pik değerine Ni_3Al fazı sahiptir. Bu pik değerinde kompozit malzeme içerisinde Ni-Al intermetalığının oluşmuş olabileceğini göstermektedir.



Şekil 6: Ni-Al-%3Cr kompozit malzemeye ait XRD analiz grafiği.

Şekil 7 de %12 Cr katkılı karışıma ait XRD analiz sonucu görülmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere en yüksek pik değerine Ni fazı göstermiştir. Bu durum ise kompozit malzeme içerisinde Ni malzemesinin fazla olduğunu ifade etmektedir.

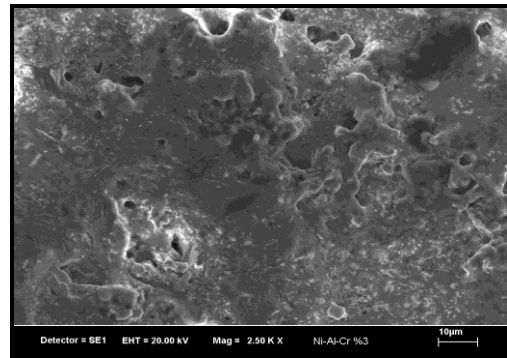
Şekil 6 ve 7 incelendiğinde Ni-Al-Cr kompozisyonunda sinterleme sonrası oluşan intermetalik fazların Ni_3Al , Ni_3AlCr , Ni_3Cr , NiAl, CrAl, Cr, Ni, Al, NiCr, $AlCr_2$ olduğu görülmektedir.



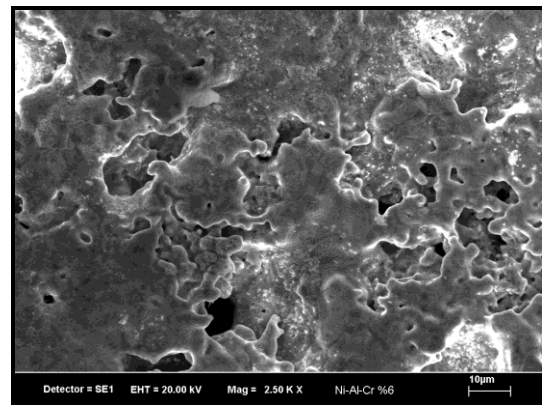
Şekil 7: Ni-Al-12Cr kompozit malzemeye ait XRD analiz grafiği.

F. Sem Analizi

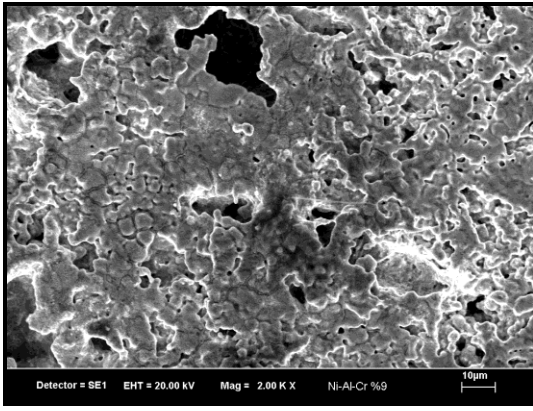
Sinterleme etkisine bağlı olarak elde edilen kompozit malzemelerin SEM analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 8). Kompozit malzemelere ait SEM görüntüleri incelendiğinde %6, 9, 12 Cr katkılı malzemelerde boşluklu yapıların olduğu, %3 Cr katkılı malzemede ise daha homojen ve boşluksuz yapı olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumun %3 Cr katkılı kompozit malzeme içerisinde yer alan Cr'un Al'e göre fazla olmasından dolayı Al malzemesine ait tanelerin sıcaklığın etkisiyle iyi bir şekilde birleşmiş olduğu düşünülmektedir.



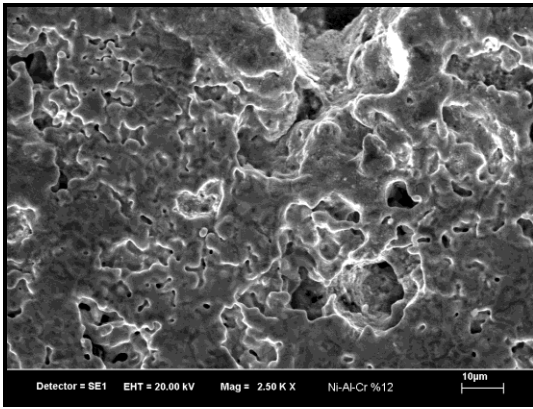
a) Ni-Al-%3Cr katkılı kompozit malzemeye ait SEM görüntüsü.



b) Ni-Al-%6Cr katkılı kompozit malzemeye ait SEM görüntüsü.



c) Ni-Al-%9Cr katkıli kompozit malzemeye ait SEM görüntüsü.



d) Ni-Al-%12Cr katkıli kompozit malzemeye ait SEM görüntüsü.
Şekil 8: Ni-Al-Cr kompozit malzemelere ait SEM görüntüleri.

IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneysel bulgulardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- En yüksek yoğunluk değerine %12 Cr katkıli kompozit malzemede $5,25 \text{ gr/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 2).
- Sinterlenen kompozit malzemelerde en yüksek sertlik değeri %12 Cr katkıli kompozit malzemede 148,3 HB sertlik ölçülmüştür.
- Sinterlenen kompozit malzemeler içerisindeki Cr miktarına bağlı olarak daha homojen ve az gözenekli yapılara sahip olduğu gözlemlenmiştir.
- Kesme dayanımı en yüksek %3 Cr katkıli kompozit malzemede 307MPa olarak ölçülmüştür.
- SEM analizleri incelendiğinde %3 Cr katkıli 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 %12 Cr katkıli karışım $7,36 \text{ gr/cm}^3$, en düşük teorik yoğunluk ise %3 Cr katkıli karışım $7,26 \text{ gr/cm}^3$ 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 %9 ve %12 Cr katkıli karışımlarda %72, en düşük gerçek yoğunluğa yaklaşma %3 ve %6 Cr katkıli karışımlarda %71 olarak ölçülmüştür.

TEŞEKKÜR

Afyon Kocatepe Üniversitesi BAPK 00.23.001 nolu proje ile desteklenmiştir. Bu desteklerinden dolayı Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna çok teşekkürler.

KAYNAKLAR

- [1] Barriocanal, J. G., Pe´rez, P., Garce´s,G., Adeva, P., “Microstructure and Mechanical Properties of Ni₃Al Base Alloy Reinforced with Cr Particles Produced by Powder Metallurgy”, Intermetallics, vol. 14, pp. 456–463, 2005.
- [2] Nieh, T. G., Wadsworth, J., Sherby, O. D., “Superplasticity in Metals and Ceramics”, Cambridge University press, 1997.
- [3] Schuh, C., Dunand, D. C., Acta Materials, vol. 46, pp. 5663, 1998.
- [4] Akdoğan, A., “Süper Alaşım”, Erişim: www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Super_Alasimlar.pdf.
- [5] Çay, V. V., Ozan, S., “Süperalaşım ve Uygulama Alanları”, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ, Doğu Anadolu Bölge Araştırmaları, sy. 178, 2005.
- [6] Betteridge, W., Heslop, J., “The Nimonic Alloys and Other Nickel-Base High-Temperature Alloys”, 29, New York, 1974.
- [7] Schilke, P.W., “Advanced Gas Turbine Materials and Coatings”, GE Energy Schenectady, NY, 2004.
- [8] Boyce, M. P., “Gas Turbine Engineering Handbook”, 3rd ed., pp. 429-497, Gulf Professional Publishing, Elsevier, Oxford, 2006.
- [9] Cahn, R.W., “Proceedings of Materials Week '96 on Nickel and Iron Aluminides: Processing, Properties, and Applications”, Ohio, 7-9 October 1996, edited by S.C. Deevi, V.K.Sikka, P.J.Maziasz and R.W.Cahn, USA, pp. 3, ASM International, 1997.
- [10] Çelikyürek, İ., “Vakumda Ergitme Yolu İle Bazı Düzenli Metallerarası Bileşiklerin Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Ocak 2000.
- [11] Liu, C.T., Stiegler J.O., (Sam) Froes, F.H., Metals Handbook, 10th ed. Vol 2, pp. 913-942, 1999.
- [12] Liu, C.T., and Kumar, K. S., “Ordered Intermetallic Alloys. I. Nickel and Iron Aluminides”, J.O.M., pp. 38, May, 1993.
- [13] Froes, F.H., Suryanarayana, C. and Eliezer, D., “Synthesizing process and modeling advanced materials”, J. Mat. Sci., 27, pp.5113, 1992.
- [14] Xiang, Z. J., Zheng, C., Jie, L. M., “Microscopic Phase-Field Simulation for Precipitation Behavior of Ni-Al-Cr Alloy During Two-Step Aging”, Transaction of Nonferrous Metals Society of China, vol. 18, pp. 930-937, 2008.
- [15] Jixiang, Z., Zheng, C., Qingbo, L., Yan, Z., Yongxin, W., “Microscopic Phase-field Simulation of Effects of Re-aging Temperature on Precipitation of Ni-Al-Cr Alloys”, Chinese Journal of Aeronautics, vol. 22, pp. 551-557, 2009.
- [16] Sims C., T., “A Contemporary View of Nickel-Base Superalloys”, Journal of Metals, vol. 18, pp. 1119, 1966.

- [17] Decker R., F., “Strengthening Mechanisms in Nickel-Base Superalloys”, Steel-Strengthening Mechanisms, Climax Molybdenum Co., Greenwich, Conn. 1969.
- [18] Sabot G., P. and Stickler, R., “Microstructure of Nickel-Based Superalloys”, Physica Status Solidi, vol. 35, pp. 11, 1969.
- [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.