



Mustafa Türkmen
Gizem Erdoğan
Ayşe Nur Kaya

Kocaeli University, Kocaeli-Turkey
mustafa.turkmen@kocaeli.edu.tr; gzemerdoğan_@hotmail.com;
aysenurkaya07_@hotmail.com

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2019.14.1.2A0165	
ORCID ID	0000-0002-9402-2459	0000-0002-1376-6457
	0000-0002-2131-440X	
CORRESPONDING AUTHOR	Mustafa Türkmen	

HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN ALAŞIMLARIN MİKROYAPI VE SERTLİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Bu çalışmada, metalik biyomalzemeler grubundan yüksek mekanik ve biyouyumluluk özellikleri ile dikkat çeken alaşımlardan; Ti6Al4V alaşımı ve 316L paslanmaz çelik malzemelerin hassas döküm yönetim ile üretilebilirliği üzerine çalışılmıştır. Deneysel çalışmalar, hassas döküm yöntemi ile Ti6Al4V ve 316L alaşımlarının üretilebileceğini göstermiştir. Mikroyapıya bağlı olarak, sertlik değerleri geliştirilebilen ve kontrol edilebilen özelliklerin önemli bir aşamasını oluşturmaktadır. Bu amaçla hassas döküm yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen Ti6Al4V alaşımı ve 316 L paslanmaz çelik malzemelerin mikroyapı ve sertlik özellikleri irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hassas Döküm, Mikroyapı, Sertlik, Alaşım, Metal

THE INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND HARDNESS PROPERTIES OF ALLOYS PRODUCED BY INVESTMENT CASTING METHOD

ABSTRACT

In this study, reducibility of Ti6Al4V alloy and 316L stainless steel materials which are from the group of metallic biomaterials with their high mechanical and biocompatibility properties by investment casting method were investigated. Experimental studies showed Ti6Al4V and 316L alloys can be produced by investment casting method. Depending on the microstructure, hardness values constitute an important step of the properties that can be developed and controlled. To this end, microstructure and hardness properties of Ti6Al4V alloy and 316L stainless steel materials produced by investment casting method were investigated.

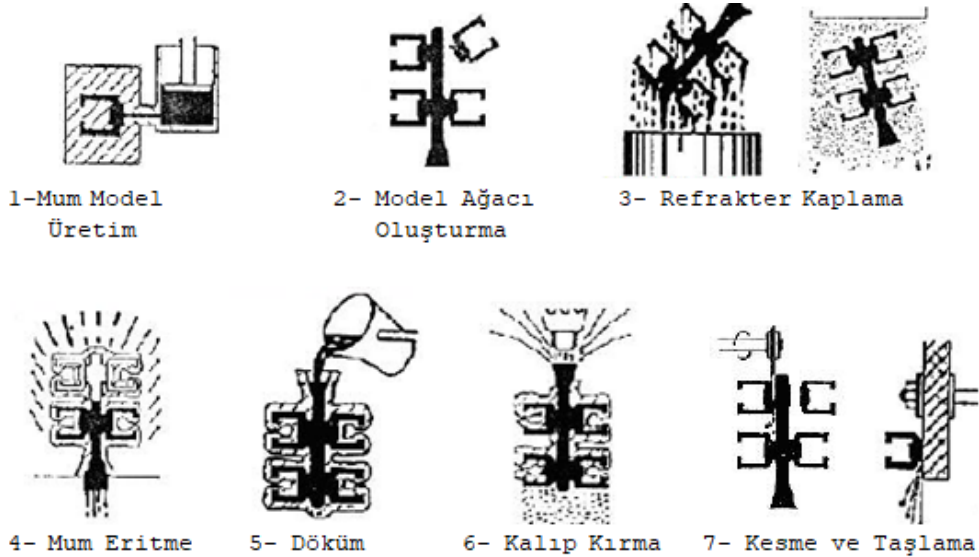
Keywords: Investment Casting, Microstructure, Hardness, Alloy, Metal

How to Cite:

Türkmen, M., Erdoğan, G. ve Kaya, A.N., (2019). Hassas Döküm Yöntemi İle Üretilen Alaşımların Mikroyapı ve Sertlik Özelliklerinin Araştırılması, **Technological Applied Sciences (NWSATAS)**, 14(1):20-26, DOI:10.12739/NWSA.2019.14.1.2A0165.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hassas döküm tekniği 2. Dünya savaşına kadar ticari olarak sadece kuyumcu ve dişçiler tarafından uygulanmış; daha sonra özellikle uçak, tekstil, elektronik ve makine sanayinde hassas parçalara duyulan, yöntemin endüstriyel uygulamasını yaygınlaştırmıştır. Dereceli hassas döküm ve seramik kabuklu hassas döküm olmak üzere iki farklı yöntem uygulanmaktadır [1]. Hassas döküm tekniğinde, üretimi gerçekleştirilecek parçanın modeli için metal kalıp yapılmaktadır. Modeller, mumun metal kalıba enjeksiyonu ile üretildikten sonra, mum modeller aynı yolluk üzerinde olacak şekilde bağlanarak salkım şeklinde model ağacı oluşturulur. Bu durum aynı anda birden fazla parçanın seri üretimine imkan tanımaktadır. Şekil 1. Hassas döküm yöntemi ile üretimin aşamaları göstermektedir. Oluşturulan model ağacı, refrakter çamurla kaplanmaktadır. Bu kaplama kabuk şeklinde olabileceği gibi dereceli olarak da yapılmaktadır. Kaplama sonrası, kalıp ısıtılarak eritilen mum model malzemesinin dışarı çıkarılması sonucu kalıp boşluğu elde edilmektedir. Kaplanan mumun oluşturulan seramik kabuk içerisinden dışarı çıkartılmasından sonra seramik kabuk pişirilmektedir. Metalin ergime sıcaklığının üzerine ısıtılarak ergitilmesi sonrası, oluşturulan boşluklara, istenen şekil elde edilmek üzere dökülmek suretiyle döküm yapılmaktadır. Döküm işlemi sonrası kabuk kırma, kesme ve yüzey işlemleri sonrası nihai ürün elde edilmektedir [2 ve 3].



Şekil 1. Hassas döküm yönteminin aşamaları [3]
(Figure 1. Stages of precision casting process)

Titanyum ve titanyum alaşımları düşük yoğunlukları, yüksek sıcaklıklardaki mükemmel mekanik özellikleri ve yüksek korozyon dayanımlarından dolayı, elektrik enerjisi endüstrisi, nükleer enerji, petrokimya, otomotiv, uzay araçları ve medikal endüstride oldukça fazla uygulama alanına sahiptirler. Ti6Al4V alaşımları uzay araçları endüstrisinde çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler [4, 5 ve 6]. Ti6Al4V alaşımları yüksek sürünme ve gerilme dayanımları gerektiren, genellikle jet motorlarında kompresörlerin soğutucu parçaları, disk ve fan kanatlarında kullanılmaktadır [7 ve 8]. Ayrıca uzay araçlarının yüksek gerilmelere maruz kalan iniş takımları, kanat, uçak şasisi gibi kritik parçalarında Ti6Al4V alaşımı tercih edilmektedir [9]. Titanyuma alaşım elementlerinin eklenmesiyle mekanik ve fiziksel özellikleri iyileşir. Bunlar içerisinde özellikle Alüminyum, α fazına eğilimlidir ve bu alaşımın ergime derecesini β fazına doğru yükseltir. Bu sıcaklık

β geçiş sıcaklığı olarak bilinir. Alaşıma, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo ve V gibi kararlı β fazlı elementler ilave edilince yapı β 'dan α 'nın ergime derecesine iner. Mikro yapı eş eksenli tane ya da β matris içinde uzun α taneleri şeklinde olur [10]. Mikroyapılarına göre beş kategoride sınıflandırılan paslanmaz çeliklerde nikelin % 8'in üzerinde olması osteniti oda sıcaklığında kararlı hale getirir ve bu tür paslanmaz çelikler ostenitik paslanmaz çelik olarak isimlendirilir [11]. Petrokimya, arıtma tesisleri ve medikal endüstri gibi pek çok sahada kullanım alanı bulan Bu çelikler mükemmel mekanik özelliklere ve korozyon dayanımına sahiptirler [12, 13 ve 14]. Östenitik paslanmaz çelikler, ortopedik çalışmalarda en çok kullanılan alaşımlardır. Özellikle deformasyonla kolayca sertleştirilen 316L tipi alaşımlar bu alanda kullanılmaktadırlar. Östenitik faz manyetik olmadığı için, demir içerikli alaşımlarda korozyon açısından da diğer fazlara göre daha avantaj sağlamaktadır. Az miktarda katılan molibdenin alaşımın özellikle oyuklu korozyona direncini artırdığı literatürde belirtilmiştir [15]. Bu çalışmada, hassas döküm yöntemi ile Ti6Al4V alaşımı ve 316L paslanmaz çelik malzemelerin, deneysel numune olarak üretimi gerçekleştirilmiştir. Hassas döküm yönteminin bütün aşamaları uygulanarak üretimi gerçekleştirilen alaşımların mikroyapı ve sertlik özellikleri incelenmiştir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Biyomedikal uygulamalarda çok çeşitli metalik biyomalzemeler ve bu alaşımları üretmekte kullanılan farklı üretim yöntemleri mevcuttur. Bu çalışmada, yüksek mekanik ve biyouyumluluk özellikleri ile dikkat çeken biyometalik alaşımlardan; Ti6Al4V alaşımı ve 316L paslanmaz çelik malzemeler üzerine çalışılmıştır. Mikroyapıya bağlı olarak, sertlik değerleri geliştirilebilen ve kontrol edilebilen özelliklerin önemli bir aşamasını oluşturmaktadır. Bu amaçla hassas döküm yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen Ti6Al4V alaşımının ve 316L paslanmaz çelik malzemelerin mikroyapı ve sertlik özellikleri irdelenmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Deneysel malzeme üretimi Nev Vakumlu Hassas Döküm firmasında Hassas Santrifüj Döküm Cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mum model üretimi, refrakter malzeme ile kaplama, mumun ergitilip dışarı alınması, kabuk pişirme, döküm işlemleri, kalıp kırma ve taşlama işlemleri yapılmıştır. Numuneler çap \varnothing 35mm ve yükseklik 50mm ölçülerinde üretilmiştir. Deneysel çalışmalarda üretimi gerçekleştirilen farklı kimyasal içeriğe sahip Ti6Al4V ve 316L malzemelerin kimyasal bileşimleri Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan Ti6AlV malzemenin kimyasal bileşimi
(Table 1. The chemical composition of Ti6Al4V materials used in the experiments)

	Al	Sn	Mo	V	C	Ni	Cr	Fe	Ti
Ti6Al4V	6.13	0.034	0.01	3.91	0.04	0.02	0.016	0.166	Geriye Kalan

Tablo 2. Deneylerde kullanılan 316L malzemenin kimyasal bileşimi
(Table2. The chemical composition of 316L materials used in the experiments)

	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	V	Fe
316L	0.02	0.80	0.86	16.60	2.45	11.75	0.028	0.4	0.05	Geriye Kalan

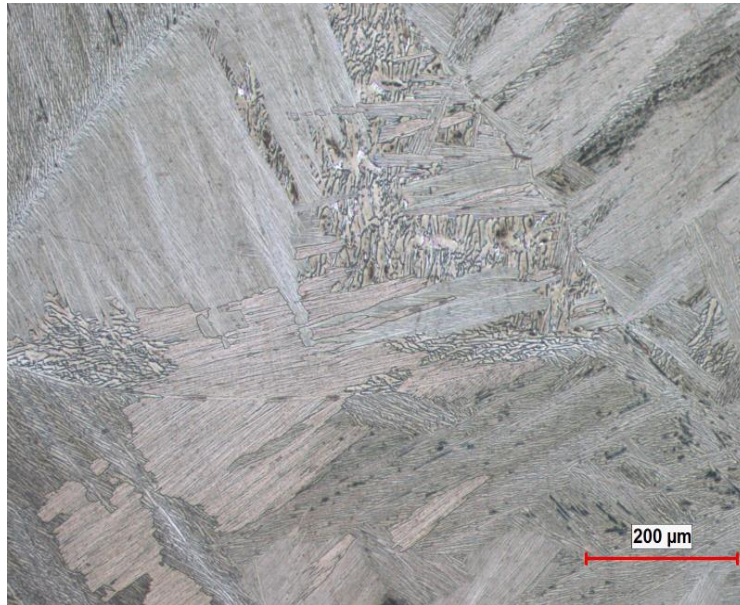
Üretimi gerçekleştirilen numuneler kesme ve kalıplama işlemleri sonrasında yüzeyleri sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 meshlik

su zımparasıyla yüzeydeki pürüzler yok edilinceye kadar zımparalanmıştır. Bu yüzeyler 6µm elmas pasta ile parlatılarak dağlamaya hazır hale getirilmiştir. Ti6Al4V malzemelerin dağlama işlemi için Kroll çözeltisi (92ml H₂O, 6ml HNO₃, 2ml HF) kullanılmıştır. 316L malzemelerin mikroyapı görüntüsünün ortaya çıkarılması için hazırlanan %10 Oksalik asit çözeltisi ile 12V gerilim altında 2A akım şiddetinde elektrolitik dağlama işlemi yapılmıştır. Mikro yapı incelemeleri, X50-X1000 büyütme kapasitesine sahip Nikon ECLIPSE L150 marka optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır. Tane boyutu ölçümleri ClemexVisionLite marka görüntü analiz sistemi kullanılarak yapılmıştır. Deney numunelerinin sertlikleri MikroBul 1000D marka sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçümleri HV1 (1000gr) yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneden 10 adet sertlik ölçümünün ortalaması alınarak sertlik değerleri belirlenmiştir.

4. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ (EXPERIMENTAL RESULTS AND EVALUATION)

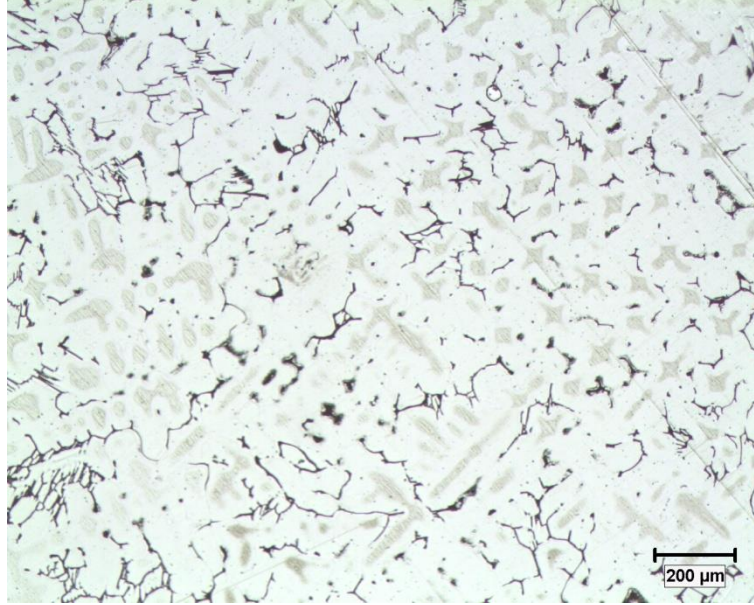
4.1. Mikroyapı (Microstructure)

Şekil 2'de hassas döküm yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen Ti6Al4V alaşımı numuneden alınan mikroyapı resmi verilmiştir. Mikroyapı resmine bakıldığında yapının α ve β fazından oluştuğu görülmektedir. Berberich ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada Ti6Al4V alaşımların, α fazını kararlı hale getiren veya α içinde çözünebilen bir ya da daha fazla element ile β fazını kararlı hale getiren bir ya da daha fazla elementleri yapısında bulundurduğunu belirtmiştir. Ayrıca α ve β fazını kararlı hale getiren elementlerin uygun bir şekilde ayarlanmasıyla oda sıcaklığında α ve β fazlarının karışımı olan bir mikroyapı elde edilebileceğini açıklamıştır [16].



Şekil 2. Ti6Al4V malzemeden alınmış optik mikroskop görüntüleri
(Figure 2. Optic microscope images of Ti6Al4V)

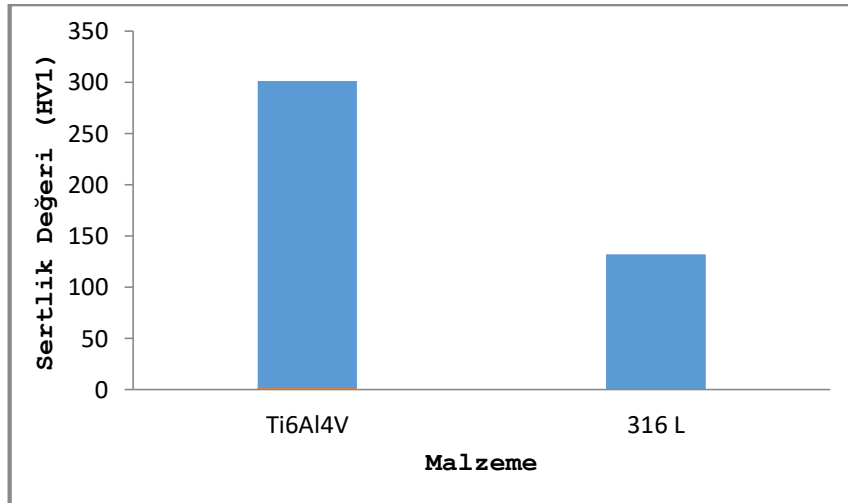
Şekil 3'te hassas döküm yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen 316L paslanmaz çelik numuneden alınan mikroyapı resmi verilmiştir. Mikroyapı resmine bakıldığında yapının kaba taneli bir östenit matris yapıdan oluştuğu görülmektedir. Emre ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada 316L paslanmaz çelik ana malzemenin mikroyapı görüntülerinde benzer sonuçları ortaya koymuştur [17].



Şekil 3. 316L malzemeden alınmış optik mikroskop görüntüleri
(Figure 3. Optic microscope images of 316L Stainless Steel)

4.2. Sertlik (Hardness)

Şekil 4, hassas döküm yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen Ti6Al4V alaşımı ve 316L paslanmaz çelik numunelerin sertlik sonuçlarını göstermektedir. Şekil 3’de görüldüğü gibi Ti6Al4V alaşımı ve 316L paslanmaz çelik malzeme için sertlik değeri sırasıyla 301 HV ve 132 HV1 olarak ölçülmüştür. Sertlik değerleri literatürde ticari olarak temin edilen Ti6Al4V alaşımı ve 316L paslanmaz çelik malzemelerden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun, hassas döküm yöntemi ile üretilen numunelerin ortalama tane boyutu değerlerinin daha yüksek olmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Döküm yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen Ti6Al4V alaşımı ve 316L paslanmaz çelik malzemelerin kaba taneli olduğu literatürde yapılan çalışmalarda da ifade edilmiştir [18 ve 19].



Şekil 4. Ti6Al4V ve 316L malzemelerin vickers sertlik değerleri
(Figure 4. Vickers hardness values of the samples of Ti6Al4V and 316L materials)

5. GENEL SONUÇLAR (GENERAL CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, Ti6Al4V alaşımı ve 316L paslanmaz çelik malzemenin hassas döküm işlemi yapılmıştır. Döküm işlemi sonrası alaşımlara mikroyapı incelemesi ve sertlik testi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Hassas döküm yöntem ile Ti6Al4V alaşımının ve 316L paslanmaz çelik malzemelerinin istenilen özelliklerde üretilebileceği tespit edilmiştir.
2. Ti6Al4V alaşımına uygulanan mikroyapı incelemeleri sonucunda faz yapısının ticari olarak kullanılan haddeleme vb. yöntemler ile üretilen malzemeler açısından literatür ile uyumluluk gösterdiği, döküm işlemine bağlı olarak tane yapısının daha kaba olduğu belirlenmiştir.
3. 316L paslanmaz çelik malzemelere uygulanan mikroyapı incelemeleri sonucunda tane yapısının ticari olarak kullanılan haddeleme vb. yöntemlere nazaran daha kaba olduğu belirlenmiştir. Bu durum döküm işlemi ile üretilen malzemelerde tane ebadının büyük olmasından kaynaklanmaktadır.
4. Ti6Al4V alaşımı ve 316L paslanmaz malzemelere uygulanan sertlik test sonuçları sırasıyla 301 HV1 ve 132 HV1 olarak ölçülmüştür. Sertlik değerlerinin düşük çıkması döküm işlemi sonucu kaba taneli yapıya sahip olmaları ile ilişkilidir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Hassas döküm yöntemi ile numune üretimi konusunda destek sağlayan NEV Vakumlu Hassas Döküm Ltd. Şti. yetkililerine teşekkür ederiz.

NOT (NOTICE)

Bu çalışma, 5-8 Eylül 2018 tarihleri arasında Priştine (Kosova)'de düzenlenen 3rdInternational Science Symposium'da sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Beeley, P., (2001). Foundry Technology, Second Edition, Butter worth Heinemann, Oxford.
- [2] Clegg, A.J., (1991). Precision Casting Processes, Pergamon Pres, Oxford.
- [3] Aran, A., (2007). Döküm Teknolojisi-İmal Usulleri, İTÜ-Makina Fakültesi.
- [4] Akman, E., Demir, A., Canel, E., and Sınmazçelik, T., (2008). Laser Welding of Ti6Al4V Titanium Alloys, Journal of Materials Processing Technology., 209(8), 3705-3713.
- [5] Ding, R., Gou, Z.X., and Wilson, A., (2002). Microstructural Evolution of a Ti6Al4V Alloy During Thermochemical Processing, J.Materials Science and Engineering A, 327, 233-245.
- [6] Ion, J.C., (2005). Laser Processing of Engineering Materials: Principles, Procedure and Industrial Application, Elsevier, Oxford.
- [7] E.W.Collings, (1984). The Physical Metallurgy of Titanium Alloys, American Society for Metals.
- [8] Ming-chen, H., (1999). Thermohydrogen Treatment of Titanium Alloys, Aerospace Materials and Technology, (1), 23-27.
- [9] Applications for Titanium Alloys, (2003). International Titanium Association.
- [10] Modgil, A., (2003). "Effect of High Speed Maching on Surface Topography of Titanium Alloy (Ti6Al4V). A Thesis Presented to the Graduate School of the University of Florida.

-
- [11] ASTM, (2000). *Introduction to Stainless Steels*, Materials Park, Ohio, USA.
- [12] Davis, J.R., (1994). *Stainless Steels*, ASM International, OHIO, USA.
- [13] Smith, W.F., (2000). *Paslanmaz Çelikler, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri*, Cilt: 1, Ankara, 169-214.
- [14] Tülbentçi, K. ve Kaluç, E., (1992). *Geçmişten Günümüze Paslanmaz Çelikler*, META, No 20, 47-52.
- [15] Park, J. ve Lakes, R.S., (2007). *Biomaterials An Introduction* (3. Baskı). New York: Springer Science Business Media.
- [16] Berberich, F., Matz, W., Richter, E., Schell, N., Kreißig, U., and Möller, W., (2000). *Structural Mechanisms of the Mechanical Degradation of Ti6Al4V Alloys in Situ Study During Annealing*. *Surface and Coatings Technology*, (128), 450-454.
- [17] Emre, E.H., Kaçar, R., Bülbül, A., and Manisalı, B., (2017). *AISI 316L-AISI 2205 Farklı Paslanmaz Çelik Çiftinin Kaynak Kabiliyeti*, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt:6, Sayı:1, 244-256.
- [18] Cvijovic-Alagic, I., Mitrović, S., Cvijović, Z., Veljović, D., Babić, M., and Rakin, M., (2009). *Influence of the Heat Treatment on the Tribological Characteristics of the Ti-Based Alloy for Biomedical Applications*, *Tribology in Industry*, Vol:31, No:3, 17-22.
- [19] J. Busby, P. Maziasz, J. McDuffee, A. Rowcliffe, M. Santella, M. Sokolov, M., Teyseyre, S., and Was, G., (2008). *Improved Cast Stainless Steels for ITER Shield Modules*; Annual Report.