

## Ti-Cr-Cokompozit Malzemelerin Poisson Oranı, Sertliği ve Elastik Modülleri Arasındaki Korelasyon

Ahmet YÖNETKEN<sup>1</sup>, Vildan Özkan BİLİCİ<sup>2</sup>, Ayhan EROL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe University, ElectricalEngineeringDept., Afyonkarahisar, Turkey

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe University, PhysicsDept., Afyonkarahisar, Turkey

<sup>3</sup>Afyon Kocatepe University, TechnologyFaculty, Afyonkarahisar, Turkey

e-posta: vildanozkan@aku.edu.tr. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3077-2103>

Geliş Tarihi: 27.08.2019; Kabul Tarihi: 12.09.2019

### Öz

#### Anahtar kelimeler

Ultrasonik hız; Poisson oranı; Young'smodülü; Kayma modülü; Sertlik

Çalışma, Ti-Cr-Cokompozit malzemelerin ultrasonik özelliklerini araştırmayı amaçlamaktadır. Deneysel olarak üretilen ve literatürden toplanan verilere dayanarak, Ti-Cr-Cokompozit numuneleri için Young modülü, Kayma Modülü ve Poisson oranı arasında bir ilişki kurulmuştur. Poisson'ın oranının, borlanmış ve borlanmamış Ti-Cr-Cokompozitlerde artan ultrasonik hız ile yaklaşık olarak azaldığı bulunmuştur. Ayrıca, Youngmodülünde ve kayma modülünde, sertleşmemiş ve sertleştirilmiş Ti-Cr-Cokompozit örneklerinin sertliğindeki değişimler incelenmiştir.

## Correlation between Poisson'sratio, hardnessandelasticmoduli of Ti-Cr-Cocompositematerials

### Abstract

#### Keywords

Ultrasonicvelocity; Poisson'sratio; Young'smodulus; Shear modulus; Hardness

Study aims to investigate the ultrasonic properties of Ti-Cr-Co composite materials. A correlation between Young's modulus, Shear Modulus and Poisson's ratio has been established for Ti-Cr-Co composite samples, based on the data produced experimentally and collected from the literature. Poisson's ratio has been found to approximately decrease with increasing ultrasonic velocity in borided and non-borided Ti-Cr-Co composites. Also, the variations in Young's modulus and shear modulus with hardness of non-borided and borided Ti-Cr-Co composites samples are investigated, respectively.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Biyomalzeme bilimde biyolojik sistemlerle etkileştiğinde uyum sağlayabilecek yeni malzemelerin geliştirilmesi için yoğun bir çaba harcanmaktadır (Axinte et al. 2019). Titanyum ve kobalt tabanlı alaşımlar biyomalzeme olarak kullanılmaktadır.

Metaller, yüksek mukavemeti, yüksek yorulma direnci ve kırılma öncesinde plastik deformasyona maruz kalmamaları, iyi elektriksel ve ısı iletkenlik

ve mekanik özellikleri nedeniyle en yaygın kullanılan biyomateryallerdir (Erol et al 2018).

Toz Metalurjisi, ileri teknoloji malzemelerinin üretilmesine, toz formundaki hammaddelerden başlayarak yüksek mukavemet, daha az hata, yapılan işlemlerin ucuz olması, istenilen tozların fiziksel ve kimyasal özellikleri sağlaması yönünden diğer üretim yöntemlerine kıyasla daha avantajlı bir üretim tekniğidir (Malecki and Micek-Ilnicka 2000; Söyler 2007). Borlama, termokimyasal bir yüzey

sertleştirme işlemi olup bor atomunun yüksek sıcaklıkta metalik malzemeye yayılması sonucu yüzeyde intermetalik borür bileşiği/bileşikleri oluşumuna dayanan yüzey işlemidir (Başmanand Şeşen 2011; Özsoy 1991).

Bu çalışmada; Ti-Cr-Co kompozit numuneleri farklı sıcaklıklarda farklı iki yöntemle (toz metalurjisi tekniği ve kutu borlama tekniği) ile üretildi. Üretilen yeni Ti-Cr-Co kompozitlerin özellikleri, tahribatsız muayene yöntemlerinden olan darbe-yankı (puls-eko) yöntemi kullanılarak ultrasonik özellikler birbirleri ile ve sertlik değerleri ile ilişkilendirilecektir.

## 2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada sırasıyla %99.5 saflıkta, partikül büyüklüğü 70µm olan %80 hacim oranında Titanyum (Ti) tozları, %99.9 saflıkta, %99 saflıkta, 70 µm partikül büyüklüğünde %15 hacim oranında Krom (Cr) tozları ve 150 µm partikül büyüklüğüne sahip %5 hacim oranında Kobalt (Co) tozları Sigma Aldrich'ten alınmıştır. Numuneler %80Ti-%15Cr-%5Co oranında toz metalurjisi yöntemi ile ve borlama işlemi yapılarak elde edilmiştir. Tozlar hassas tartıda tartılarak homojen şekilde bir fazlı karıştırıcıda 24 saat süreyle karıştırıldı. Ti, Cr ve Co tozları 15 mm çapında yaklaşık 5 mm boyunda silindirik biçimli çelik kalıpta 300 barlık bir basınç altında hidrolik pres kullanılarak preslenmişlerdir. Preslenen numunelerin ham yoğunlukları ölçülerek daha sonra geleneksel tüp fırınında 2 saat boyunca Argon gazı atmosferinde 900°C, 1000°C, 1100°C, 1200°C ve 1300°C'de sinterlenmişlerdir. Borlama işleminde ise kutu borlama yöntemi kullanılmıştır. Deney numuneleri paslanmaz çelik kutu içerisinde Ticari Ekabor®-2 tozuna gömüldükten sonra, üste 10 mm kadar Ekrit serpilerek kapakla kapatılmıştır. Numunelerin içinde bulunduğu paslanmaz çelik pota fırın içine yerleştirilerek 4 saat bekletme süresinde borlama işlemi yapılmıştır. Ayrıca %80Ti-%15Cr-%5Co kompozit numuneleri sinterlemeden sonra fırında soğutulmuş ve mikro sertlik ölçümleri METTEST-HT (Vickers) mikro sertlik test cihazı kullanılarak yapılmıştır.

## 2.1 Malzeme karakterizasyonu olarak ultrasonik test

Bir ultrasonik dalganın bir ortamda yayılabileceği yayılma modu olarak ve en yaygın kullanılan ultrasonik muayene yöntemlerinde de, boyuna veya enine dalgalar kullanılır. Ultrasonik hız veya zayıflama (attenuation), yapısal homojenlikler veya atomik boyuttaki kusurlar, elastik parametreler, çökelteler, yer değiştirmeler, sıvı kristallerde moleküllerin sıralanması, faz dönüşümleri, yapı içindeki gözeneklilik ve çatlaklar, farklı alaşımların veya karışık kristal bileşenlerinin konsantrasyonu, kafes alanlarındaki boşluklar, nano yapı malzemelerdeki nano parçacıkların büyüklüğü, elektriksel direnç, özgül ısı, ısı iletkenlik ve sıcaklık, basınç, kristalografik yönlendirme, mıknatıslanma vb. gibi farklı fiziksel koşullara bağlı olarak malzemelerin diğer termofiziksel özellikleri ile ilişkili parametrelerdir. Bu nedenle, bir malzemenin ultrasonik incelemesi, farklı koşullar altında elastik sabitler, mikro yapı, süreksizlikler ve mekanik özellikler hakkında bilgi sağlamaktadır. Ultrasonik olarak malzeme karakterizasyonu çalışmalarında numunelerin boyutlarının belirlenmesi, numune yüzey genişliğinin belirlenmesi, numune kalınlığı ve numune yüzeyinin pürüzsüzlüğü dikkat edilmesi gereken önemli unsurlardandır. Ultrasonik ölçümlerinde numunenin çok kalın veya çok ince olması istenmeyen bir durumdur (Kumar Pandey and Pandey 2010; Özkan 2008). Ayrıca numune yüzeyinin yeterince geniş olmaması durumunda elde edilecek olan spektrumda aynı ölçüde istenmeyen ve bilinmeyen pikler bulunacağından bu özellikler dikkate alınarak kompozit numuneleri hazırlandı.

## 2.2 Ultrasonik hız ve ilgili parametreler

Katıların mekanik özellikleri, iki önemli açıdan sıvıların özelliklerinden farklıdır. İlk olarak, yapıyı oluşturan atomlar arasında daha büyük bağlanma kuvvetleri vardır, böylece kayma gerilmelerini desteklerler. İkincisi ise anizotropi, özellikle atomların düzenli kafes oluşturduğu tek kristalde meydana gelebilir. Her türlü ultrasonik dalganın hızı, elastik modüllerden (Y: Young modülü, G:

kayma yani sertlik modülü ve  $\sigma$ : poisson oranı) ve malzemenin yoğunluğundan ( $d$ ) belirlenebilir. Standart ve farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin ultrasonik süre ölçümleri için Sonatest Sitescan 150 Pulser/Receiver (darbe-yankı yöntemi, A-tarama) kullanılmıştır. Probların merkez frekansları, boyuna dalgalar için 4 MHz ve enine dalgalar için 4 MHz şeklindedir. Numunelerin kalınlığı kumpas (0,01 mm hassaslıkta) ile ölçülmüştür. Ultrasonik dalgaların numunelerin kalınlığı boyunca ilerleme hızı:

$$V = \frac{2 \times d}{t} \quad (1)$$

Burada,  $d$ : numune kalınlığı (mm),  $t$ : ultrasonik dalgaın ilerleme süresi (ns) ve  $V$ : ultrasonik dalgaın ilerleme hızı (m/s) (Medding 1996). Boyuna ve enine dalga hızları ( $V_L$  ve  $V_S$ ) ile ilgili parametreler aşağıdaki ifadelerle belirlenebilir.

$$E = \rho V_T^2 \frac{3V_L^2 - 4V_T^2}{V_L^2 - V_T^2} \quad (2)$$

$$G = \rho V_T^2 \quad (3)$$

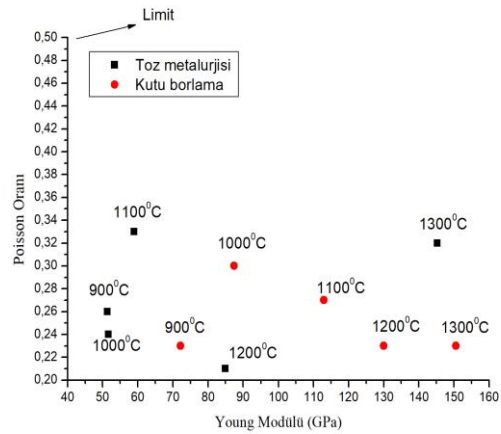
$$\nu = \frac{V_L^2 - 2V_T^2}{2V_L^2 - 2V_T^2} \quad (4)$$

Burada  $E$ ,  $G$ ,  $\nu$  ve  $\rho$  değerleri sırasıyla Young's (elastik) modülü, kayma (sertlik) modülü, Poisson oranı ve numunenin yoğunluğudur (Pao 1983; Kumar Pandey and Pandey 2010).

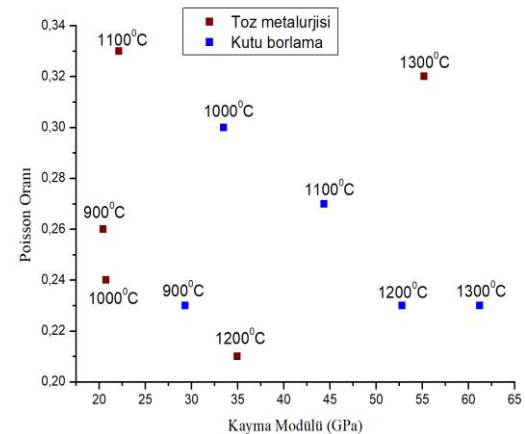
### 3. Bulgular ve Tartışma

Sinterlenen %80Ti-%15Cr-%5Co kompozit numunelerin ultrasonik boyuna dalga hızları, ultrasonik enine dalga hızları, Young's modülü, kayma modülü, Poisson oranı ve sertlik ile ilgili elde edilen ölçüm sonuçları Tablo 1'de gösterilmiştir. Ayrıca, sinterleme sonrası farklı kalınlık oranlarına sahip %80Ti-%15Cr-%5Co kompozit örneklerin yoğunluk değerleri Arşimet yöntemi ile belirlenmiştir ve tabloda gösterilmiştir. Bu kalınlık farkı her bir numune için kıyaslandığında  $\pm 0,1 \text{ mm}$ 'lik bir farkla yapılmıştır. Kendi içinde değerlendirildiğinde bu fark ultrases hız değerlerini etkilememektedir. Önceden de ifade edildiği üzere numune kalınlığı ve numune yüzey genişliği ultrases hız ölçümleri için önemlidir; fakat numunenin çok

kalın veya çok ince olması istenmeyen bir durumdur. Bu sebepten dolayı varolan kalınlık farkının ultrases hız ölçümlerinde borlanmış ve borlanmamış kompozit numuneler için çok büyük bir fark yaratmadığını söyleyebiliriz. Farklı sıcaklıklarda ve farklı iki yöntemle hazırlanan numunelerin boyuna ve enine dalga hızları, elastisite (Young's) modülleri, kayma modülleri, Poisson oranları ve sertlik değeri ölçülüp birbirleri ile olan ilişkileri incelenmiştir. Şekil 1 ve 2'de farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş, borlanmış ve borlanmamış Ti-Cr-Co kompozit numuneleri için sırasıyla  $E$  ve  $G$  ile  $\nu$ 'de değişimleri gösterilmiştir. Şekil 1 ve 2'den görüldüğü gibi  $\nu$ 'nin bazı birkaç numune haricinde  $E$  ve  $G$ 'de bir azalma eğilimi gösterdiği görülebilir.



Şekil 1. Farklı yöntemler ile hazırlanmış Ti-Cr-Co kompozit numunelerinin Poisson oranı-Young modülü grafiği.



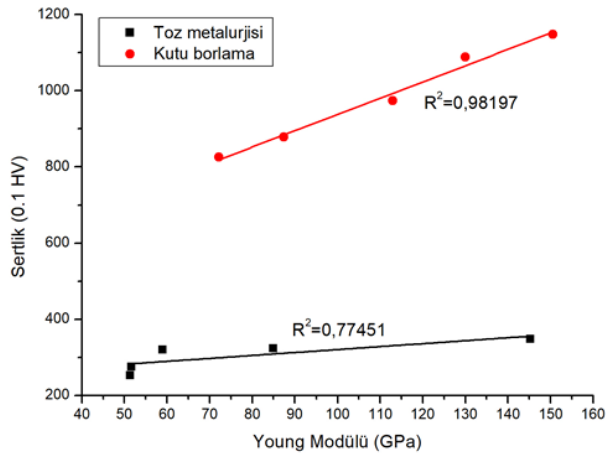
Şekil 2. Farklı yöntemler ile hazırlanmış Ti-Cr-Co kompozit numunelerinin Poisson oranı-Kayma modülü grafiği.

Bu durum borlama işlemi görmüş numunelerde daha net ve açık bir şekilde görülmektedir. Bu durum her bir numunenin kendi içinde ayrı ayrı ele alınması gerektiğini ve yoğunluğun  $v$ 'nin diğer elastik sabitlerle korelasyonunda da önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bu nedenle,  $v$ 'nin  $\rho$ 'nun bir fonksiyonu olan ultrasonik hızlarla,  $G$  ve  $E$  veya  $E$

ile ilişkilendirilmesi için bir girişimde bulunulmuştur. Ayrıca toz metalurjisi yönteminde var olan azalmalar ve artmaların sebebinin enine dalga hızının, herhangi bir mikro yapısal değişiklik veya sıcaklık etkisinden dolayı boyuna dalga hızından daha fazla etkilenmesi ile açıklayabiliriz.

**Çizelge 1.** Kompozit numunelerinin sinterleme sıcaklığı, ultrasonik boyuna ve enine dalga hızları, Young modülü, Kayma modülü, Poisson oranı, sertlik ve yoğunluk değerleri.

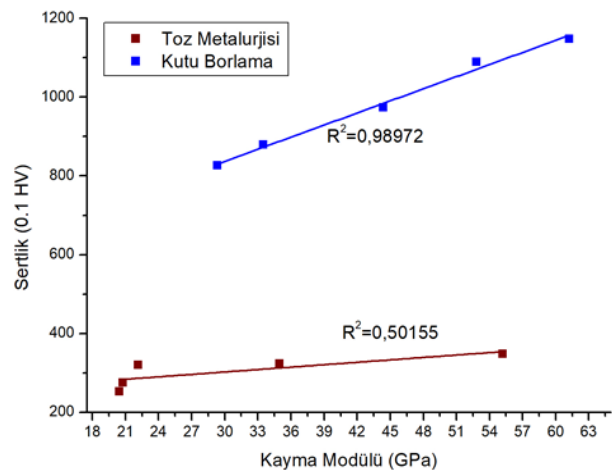
Kompozit Numuneler	Sinterlenme Sıcaklığı (°C)	4 MHz		Young Modülü (GPa)	Kayma Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Sertlik (0.1 HV)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Numune yüksekliği (mm)
		$V_L$ (m/s)	$V_T$ (m/s)						
Borlanmamış Ti <sub>80</sub> -Cr <sub>15</sub> -Co <sub>5</sub>	900	4106,5	2355	51,37	20,46	0,26	253	3,69	0,76
	1000	4137	2412,3	51,62	20,78	0,24	275	3,57	0,76
	1100	5006	2503	58,98	22,16	0,33	320	3,53	0,96
	1200	5212	3143,5	84,94	34,98	0,21	323	3,54	0,86
	1300	7681	3982,5	145,29	55,19	0,32	348	3,48	1,08
Borlanmış Ti <sub>80</sub> -Cr <sub>15</sub> -Co <sub>5</sub>	900	4677,7	2766,5	72,17	29,33	0,23	826	3,83	0,76
	1000	5781	3073	87,37	33,52	0,30	879	3,55	0,76
	1100	6177,7	3454	112,96	44,38	0,27	974	3,72	0,96
	1200	6387	3778,5	130,03	52,83	0,23	1089	3,70	0,85
	1300	6809,5	4036	150,58	61,25	0,23	1148	3,76	1,05



**Şekil 3.** Ti-Cr-Co kompozit numunelerinde Sertlik ve Young modülü değişimi.

Borlanmış ve borlanmamış Ti-Cr-Co kompozit numunelerinin sertliği ile Young modülü ve Kayma modülü değişimleri, Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmektedir. Grafikler, her iki yöntemle hazırlanmış olan Ti-Cr-Co kompozit numunelerin sertlik açısından incelendiğinde yaklaşık olarak aynı

davranışı göstermektedir. Elde edilen değerlere bakıldığında Young modülü ve kayma modülü değerleri arttıkça sertlik değeri de artmaktadır. Sıcaklık artışının sinterlemeye olumlu etkisi sertlik

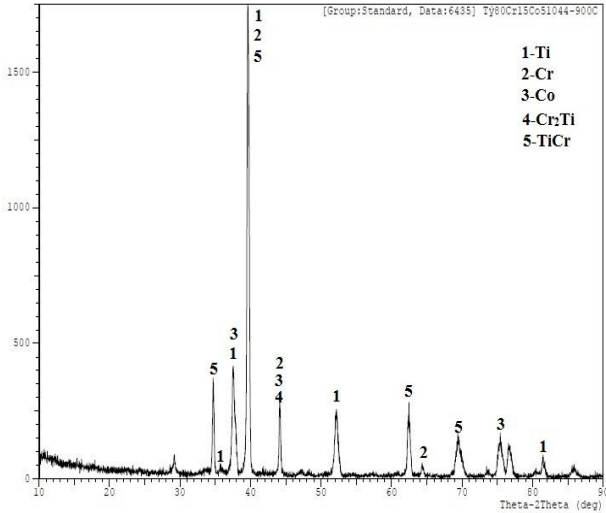


**Şekil 4.** Ti-Cr-Co kompozit numunelerinde Sertlik ve Kayma modülü değişimi.

değerlerinde de gözlenmiştir. Sıcaklık değeri arttıkça sertlik değeri de artmıştır. Aynı sonuç

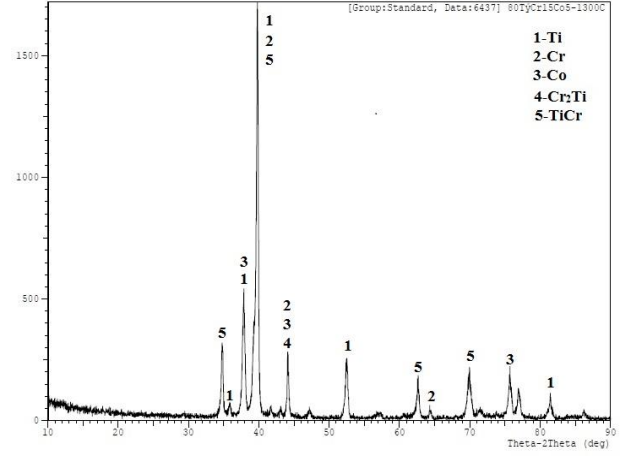
Young ve kayma modülünde de gözlemlenmiştir. Sinterlenme sıcaklık değerleri arttıkça elde edilen Young modülü ve Kayma modülü değerleri de artmıştır. Bu bağlamda ultrasonik hızın sertlik ve sinterlenme sıcaklığı ile ilişkili olduğu net bir şekilde görülmektedir. Sinterleme birbirine temas eden parçacıkların yüksek sıcaklıklarda birbirine bağlanmasını sağladığı için temas eden parçacıklar arasında boyunlaşma ile kendini gösterir. Bu sebeple partiküller arası temasın artar. Boyunlaşmanın; mukavemetin ham mukavemete oranla artmasını ve diğer birçok faydalı özelliğin gelişmesini sağladığı yapılan birçok çalışma ile desteklenmektedir. Toz metalurjisi yöntemi ile kutu borlama yöntemi karşılaştırıldığında, borlanmış numunelerde ultrasonik hızın sapmasının oldukça yüksek olduğunu ve 0,98197 ve 0,98972 korelasyon faktörü ile doğrusal bir ilişki göstermektedir.

#### X Işınları Difraksiyonu



Şekil 5. Ti-Cr-Co 900°C, kompozit numunesine ait X-Ray difraksiyonu

Ti-Cr-Co 900°C, kompozit numunesine ait X-ışını difraksiyonu analiz sonuçlarında sırasıyla Ti, Cr, Co, Cr<sub>2</sub>Ti ve TiCr fazları tespit edilmiştir (Şekil 5).

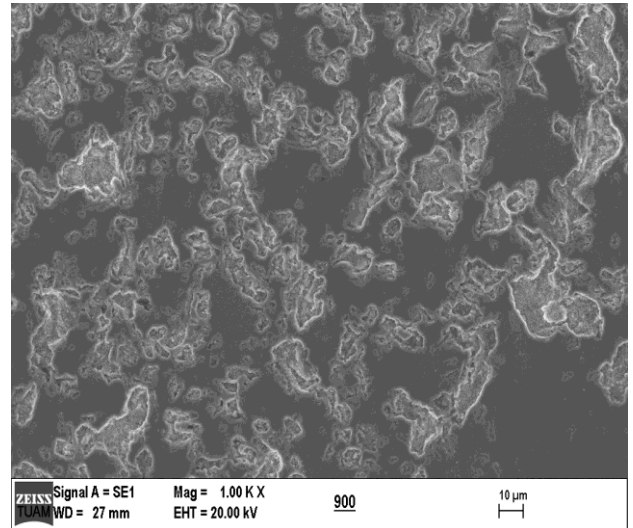


Şekil 6. Ti-Cr-Co 1300°C, kompozit numunesine ait X-Ray difraksiyonu

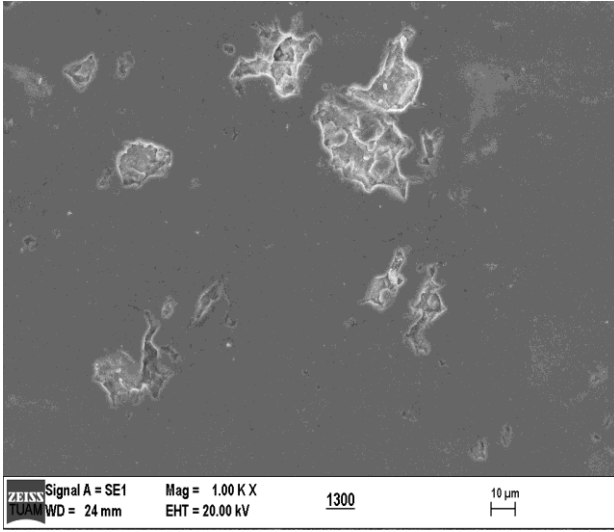
Sinterleme sıcaklığının artmasıyla tane sınırları belirgin hale gelmiş, yüzeysel açık gözeneklilik azalmıştır. Ti-Cr-Co 1300°C kompozitine ait X-ışınları difraksiyonu analiz sonuçlarında sırasıyla Ti, Cr, Co, Cr<sub>2</sub>Ti ve TiCr fazları elde edilmiştir (Şekil 6).

#### SEM analizi

Toz metalurjisi yöntemi kullanılarak Ti-Cr-Co 900°C, üretilen kompozitlere borlanmış numunelere yüzey mikro yapılarına ait SEM görüntüleri Şekil 7. te sunulmuştur.



a)



b)

Şekil 7. Ti-Cr-Co kompozitine ait mikroyapı görüntüleri, a) 900°C, 1kX b) 1300°C, 1kX

#### 4. Sonuç

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Üretilen numunelerin sinterleme sıcaklığının artışına bağlı olarak her iki yöntemde de Poisson oranı hariç ultrasonik özelliklerinde artış gözlemlenmiştir.
- Kutu borlama yöntemi kullanılarak üretilen Ti-Cr-Co kompozit numunelerinde en yüksek sertlik değerleri elde edilmiş olup daha sağlam bir yapının olduğu korelasyon değerlerine bakılarak söylenebilmektedir.
- Korelasyon eğimi, çeşitli ısıl işlemler, alaşımlama etkileri, tane büyüklüğü etkisi, sıcaklık etkisi, vb. sebepler nedeniyle mikro yapıdaki değişiklikler için ve çeşitli alaşımlı sistemler için değişmektedir. Toz metalurjisi yönteminde fit doğrusunun R<sup>2</sup> değeri diğer yöntemlere göre düşüktür. Ti-Cr-Co kompozisyonlarının Young modülü değerlerinin birbirlerine çok yakın olmasından kaynaklanmaktadır.

#### 5. Kaynaklar

Axinte, D., Guo, Y., Liao, Z., Shih, A.J., M'Saoubi, R., Sugita, N., 2019. Machining of biocompatible materials-Recent advances, *CIRP Annals-*

*Manufacturing Technology*,  
<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.05.003>.

Başman, G. and Şeşen, M.K., 2011. The improvement of the surface properties of AISI 316L type stainless steel by boronizing, *İ.T.Ü Engineering Journal*, 10, 115-121.

Erol, A., Yönetken, A., Kuloğlu O.A., 2018. Teeth of Implant Production And Characteristics By Using Ti-Cr-Co Powders, *International Journal of Scientific&EngineeringResearch*, 9(8), 60-65.

Kumar Pandey, D. and Pandey, S., 2010. Ultrasonics: A Technique of Material Characterization, *Acoustic Waves*, Book edited by: Don W. Dissanayake, ISBN 978-953-307-111-4, pp. 466.

Malecki, A. And Micek-Ilnicka, A., 2000. Electroless nickel plating from acid bath, *Surface and Coatings Technology*, 72-77.

Medding, J.A., 1996. Nondestructive Evaluation of Zirconium Phosphate Bonded Silicon Radomes, Phd. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, U.S.A.

Özkan, V., 2008. Bazı Karburlu Metal-Matriks Seramiklerin Tanecik Boyutlarının Sinterlenme Sıcaklığıyla Değişiminin Ultrasonik ile İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar.

Özsoy, A., 1991. Çeliğin Borlanması, Borür Tabakası, Geçiş Zonu ve Ana Matrisin Özelliklerinin İyileştirilmesi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir.

Pao, Y.H., 1983. Elastic waves in solid, *Department of Theoretical and Applied Mechanics*, 50, 1152-1162.

Söyler, M., 2007. Toz metalurjisi ve uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze-Kocaeli.