



Co-Cr-Mo Esaslı Alaşımın Özelliklerine Bazı Metallerin Etkisinin İncelenmesi

Emine ŞAP*¹, Halis ÇELİK²

Özet

Bu çalışmada kobalt-krom-molibden esaslı bir alaşımın, mikroyapı ve mekanik özelliklerine vanadyum (V) ve mangan (Mn) ilavesinin etkisi incelenmiştir. Orijinal alaşım olarak Co-28Cr-6Mo-0,7Mn-0,5Si-0,5C alaşımı alınmış ve daha sonra bu alaşıma ağırlıkça % 0,7-% 1,3 V ve % 1,3 Mn ilave edilerek üç çeşit yeni alaşım üretilmiştir. Alaşımlar ergitme yöntemi ile üretilmiştir. Malzemelerin ergitilmesi için elektrik indüksiyon ergitme fırını kullanılmıştır. Ergitilerek hazırlanan alaşımlardan döküm yöntemi ile numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Mekanik deneyler, mikroyapı ve X-ışınları incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar irdelendiğinde alaşımların dendritik bir yapıya sahip olduğu ve ilave edilen elementlerin alaşımın mikroyapı ve mekanik özelliklerinde bazı değişikliklere sebep olduğu görülmüştür. X-ışınları çalışmaları malzemelerde $M_{23}C_6$, $Mn_{15}C_4$, VSi_2 , vb. fazların meydana geldiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Co-Cr-Mo, alaşımlama, mekanik özellik, mikroyapı, biyomalzeme

Investigation of Effects of Some Metals on Properties of Co-Cr-Mo Based Alloy

Abstract

Effects of V and Mn additions on microstructure and mechanical properties of a cobalt-crom-molibden based alloy have been investigated in this study. Co-28Cr-6Mo-0.7Mn-0.5Si-0.5C alloy was taken as original alloy and 0.7-1.3% V and 1.3% Mn was added to produce three different alloys. Alloys were produced by melting method. Electrical induction furnace was used for melting. Casting method was used to obtain the samples. Mechanical tests, microstructural analysis and X-ray diffraction were carried out. Microstructural examinations showed that the original alloy had dendritic structure and additional elements caused some changes in microstructural and mechanical properties of the alloy. X-ray diffraction studies showed that $M_{23}C_6$, $Mn_{15}C_4$, $TiSi_2$, VSi_2 etc. phases were occurred in materials.

Keywords: Co-Cr-Mo, alloying, mechanical properties, microstructure, biomaterial

1.Giriş

Dünya nüfusunun yaklaşık olarak %10'u vücudunun çeşitli yerleri için tıbbi bir tedavi ile yüz yüze kalmaktadır. Özellikle son 40 yıl içerisinde ortopedist ve mühendislerin çalışmalarıyla geliştirilen biyomalzemeler özürü insanların yaşamsal işlevlerini artırmaya yönelmiş, bu kişilerin yaşamlarını mümkün olduğu kadar normal insanların yaşamlarına yaklaştırmaya yönelik uygulamalar ortaya çıkmıştır (1).

Canlı dokuya implante edilmek ve organ ve dokuların işlevlerini kısmen veya tümünden yerine getirmek üzere tasarlanmış materyallere biyomalzeme adı verilmekte olup, bu materyallerin biyolojik yönden uyumlu olması,

toksik olmaması, kimyasal açıdan inert ve stabil olması, mekanik özelliklerinin yeterli olması, yoğun bir yaşama uyum gösterebilmesi, uygun ağırlık ve yoğunlukta olması, büyük miktarlarda işlenebilme ve fabrikasyon kolaylığı göstermesi ve ekonomik olması istenmektedir. Biyomalzemelerin fiziksel, kimyasal, mekanik, termal özelliklerinin iyi bilinmesi ve doku ile alerjik, toksik, karsinojenik reaksiyon vermemesi istenir.

Biyomalzemeler; metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler olmak üzere 4 gruba ayrılırlar. Tıbbi uygulamalarda kullanılan biyomalzemeleri sert doku yerine kullanılacak biyomalzemeler ve yumuşak doku yerine kullanılacak biyomalzemeler olarak iki grupta toplamak mümkündür. Birinci gruba giren ortopedik protezler veya diş protezleri genellikle metal ve seramiklerden üretilirken, ikinci gruba giren kalp damar sistemi ve cerrahi malzemeleri polimerlerden üretilmektedir (2).

Kristal yapıları ve çok güçlü metalik bağları sayesinde üstün mekanik özelliklere sahip olan metal ve alaşımlarının

¹Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, 12000, Bingöl, TÜRKİYE

²Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 23169, Elazığ, TÜRKİYE

*Sorumlu yazar eposta: esap@bingol.edu.tr

Makalenin geliş tarihi : 16.07.2013

Makalenin Kabul tarihi: 20.12.2013

biyomalzeme alanındaki payı çok büyüktür. Bir yandan ortopedik uygulamalarda eklem protezi ve kemik yenileme malzemesi olarak kullanılırken, öte yandan çene cerrahisinde, diş implantlarında, kalp damar cerrahisinde de kullanılmaktadırlar. Bu açıdan, biyomalzemenin dayanım mukavemeti, yorulması, yüzey korozyonu, dokulara karşı alerjik reaksiyon özellikleri ve biyolojik uyumluluğu üstünde en fazla durulan konulardır (3).

Biyomalzeme olarak kullanılan metallerin önemli olanları çelikler, Ti ve alaşımları, Co ve alaşımlarıdır. Kobalt esaslı alaşımlar yüksek sıcaklıklarda aşınma, korozyon ve ısı dayanımı gerektiren birçok mühendislik uygulamasında yaygın olarak kullanılmaktadır (4). Kobalta ilave edilen en önemli iki alaşım elementi krom ve karbondur. Krom alaşımın korozyon direncini, karbon ise dökülebilirliğini geliştirmek için ilave edilir. Alaşımsız durumda cerrahi uygulamada kobaltın kötü bir korozyon direnci vardır. Kromun ilavesi ile malzeme korozif ortama karşı korunur (5,6,7).

Kobalt esaslı alaşımların ilk medikal kullanımı; döküm yöntemiyle diş implantlarının elde edilmesi şeklinde olmuştur. Vücut içi ve vücut dışı yapılan birçok test, alaşımın biyoyumlu olduğunu ve cerrahi implantlar olarak kullanılabilirliğini göstermiştir (8). Kobalt esaslı protez malzemelere karşı dokuların savunma mekanizmasının oluşturduğu kapsül, paslanmaz çelik için oluşturulan kapsüle göre daha ince olmaktadır (9). Biyoyumluluğu olan Co esaslı metalik alaşımların temelde iki tipi vardır. Bunlardan birincisi olan Co-Cr-Mo alaşımı dökümle şekillendirilir, ikincisi ise Co-Cr-Ni-Mo alaşımı olup sıcak haddelemeyle işlenir (10).

Kobalt esaslı alaşımlarda molibden ve tungsten intermetalik bileşik oluşturan Co_3C ve MC karbürlerini ve M_6C karbürünü şekillendirerek katı çözelti dayanımını artırır (11,12).

Bu çalışmada V ve Mn ilavesinin Co-Cr-Mo esaslı alaşımın mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. İlave alaşım oranları değiştirilerek biyomedikal uygulamalar için daha üstün özellikli malzeme elde edilmeye çalışılmıştır. Daha önce yapılan bir çalışmada hassas döküm yöntemi ile üretilen numunelerin biyoyumluluk ve biyolojik özellikleri incelenmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada numuneler toz metalurjisi

yöntemiyle üretilmiştir. Bu çalışmada numuneler döküm yöntemiyle üretilmiş ve numunelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Co-28Cr-5Mo-0,5Si-0,7Mn-0,5C bileşimindeki alaşım orijinal malzeme olarak seçilmiştir. Çalışmalara ilk önce bu alaşımın üretilmesiyle başlanmıştır. Daha sonra bu alaşıma % 1,3 Mn, % 0,7-1,3 V katılarak yeni alaşımlar elde edilmiştir. İndüksiyon ergitme yöntemiyle dört çeşit alaşım üretilmiştir. Üretilen alaşımların kimyasal analiz test sonuçları Çizelge 2'de gösterildiği gibidir.

Ergitme işlemi için 5 kg kapasiteli indüksiyon ergitme fırını kullanılmıştır. Ergitme işleminde 1800 °C sıcaklığa dayanabilen SiC esaslı ergitme potaları kullanılmıştır. Potaya sırasıyla ergitme sıcaklığı en düşükten başlanarak Co, Cr, Mo, Si, Mn ve C elementleri ilave edilmiştir. Ergitme işleminde 1500 °C sıcaklığa kadar çıkılıp bu sıcaklıkta bir müddet beklenerek elementlerin homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır. SiC potadaki ergimiş metal, kokil kalıba dökülerek 10 mm çapında ve 13 cm uzunluğunda çubuklar halinde üretilmiştir. Döküm sıcaklığı 1450-1475°C civarında tutulmuştur.

Döküm işlemlerinde kullanılmak amacıyla temin edilen tüm alaşım elementlerinin (Co, Cr, Mo, Si, V, Mn, Ti, C) saflık oranı % 99,9 dur. Bu elementlerden belirli oranlarda alınıp ergitilmek suretiyle elde edilen alaşım daha sonra kimyasal bileşiminin anlaşılması amacıyla spektral analize tabi tutulmuştur.

V ve Mn ilavesinin alaşımın sertlik değerine etkisini anlayabilmek için Rockwell ve Vickers sertlik ölçüm yöntemleriyle alaşımın farklı bölgelerinden ölçüm yapılmış ve bunların ortalaması alınmıştır. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve Enerji Dağılımı Spektrometresi (EDS) kullanılarak mikroyapı incelenmiş ve sonuçlar fotoğraflarla tespit edilmiştir. İlave edilen elementlerin meydana getirdiği faz değişikliklerinin anlaşılabilmesi için X-Işınları difraksiyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler alaşıma ilave edilen her elementin malzeme yapısında bir takım değişikliklere sebep olduğunu göstermiştir.

Çizelge 1. Biyomedikal uygulamalarda kullanılan Co alaşımlarının mekanik özellikleri (13)

Alaşım	Proses	Young Modülü 10^3 (MPa)	Akma Dayanımı (0,2 %) (MPa)	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Oranı/Çekme Dayanımı	Uzama (%)
Co29Cr5Mo	Döküm	-	≥ 450	≥ 665	$\geq 0,69$	≥ 8
Co29Cr5Mo	T/M	330	841	-	-	14

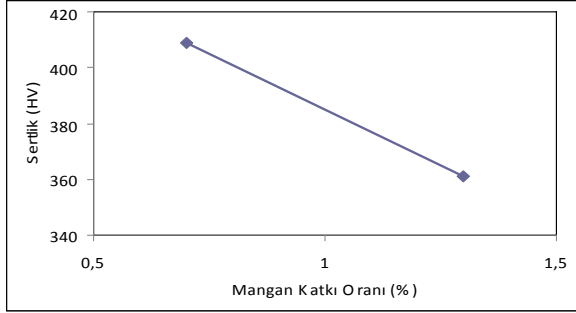
Çizelge 2. Üretilen deney numunelerinin kimyasal bileşimleri

Numune No	Numune Adı	Alaşım elementleri (Ağırlıkça %)							
		Co	Cr	Mo	Si	C	Mn	V	Ti
1	Co-Cr-Mo-0,7Mn	63,92	28,61	5,76	0,48	0,49	0,73	0,03	-
2	Co-Cr-Mo-1,3Mn	62,57	27,78	5,73	0,50	0,49	1,33	0,02	0,01
3	Co-Cr-Mo-0,7V	63,61	28,89	5,52	0,51	0,46	0,74	0,69	0,01
4	Co-Cr-Mo-1,3V	62,28	29,06	5,68	0,52	0,48	0,72	1,26	0,05

3. Bulgular ve Tartışma

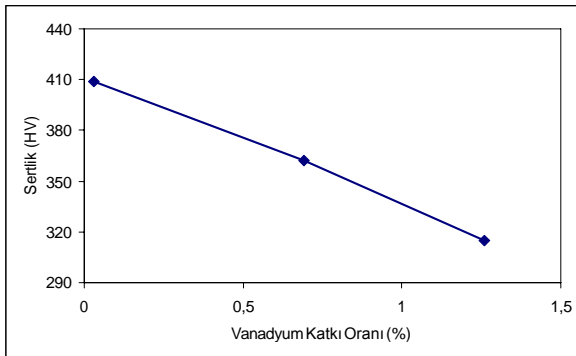
3.1. Sertlik Ölçümleri

V ve Mn ilavesinin 1 no'lu numunenin sertlik değerine etkisi Şekil 1 ve Şekil 2'de görüldüğü gibidir. Şekil 1'den anlaşılacağı gibi % 0,7 Mn içerikli orijinal numunenin (Co-Cr-Mo-0,5Si-0,5C-0,7Mn) sertliği ortalama 409 HV değerindedir. Bu alaşıma % 1,3 Mn ilavesi ile sertlik 360 HV değerine düşmüştür.



Şekil 1. Mangan katkı oranının sertliğe etkisi

Şekil 2'de % 0,7-1,3 oranlarında vanadyum katılarak üretilen alaşımın sertlik ölçüm grafiği görülmektedir. Alaşıma katılan 0,7 V sertliği 47 HV değerinde düşürmüştür ve sertlik 362 HV olarak ölçülmüştür. Vanadyum katkı oranının % 1,3'e yükselmesi ile sertlik değeri 315 HV olmuştur. Vanadyum katkı oranının artışı ile alaşımın sertliğinde de düzgün bir düşüş gözlenmiştir.



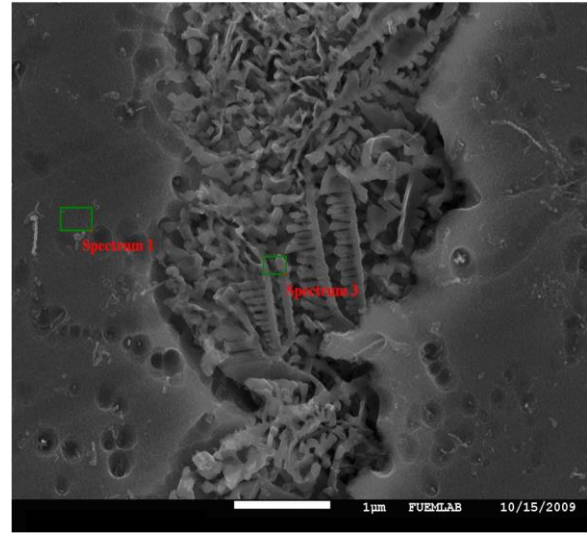
Şekil 2. Vanadyum katkı oranının sertliğe etkisi

3.2. Mikroyapı

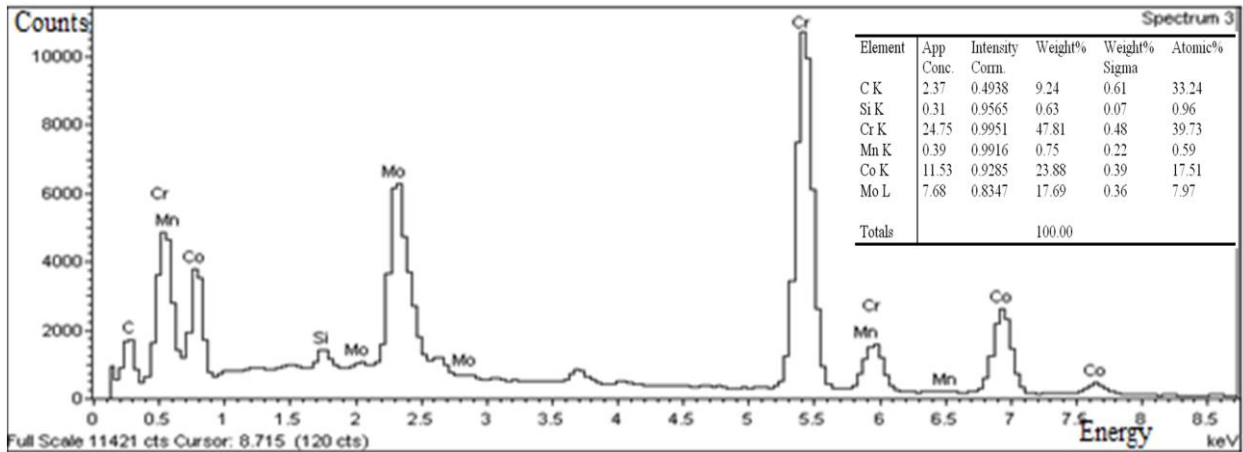
Araştırmada % 0,7-% 1,3 V ve % 0,7-1,3 Mn katkı oranlarında dört çeşit alaşım üretilmiştir. Bunlardan % 0,7 Mn içerikli alaşım orijinal alaşım kabul edilerek tüm numuneler bu alaşımdan türetilmiştir. 1 no'lu numunenin 20000 büyütmedeki mikroyapı fotoğrafı Şekil 3'te görüldüğü gibidir. Mikroyapı fotoğrafından da anlaşılacağı gibi açık renkli bölgelerin nano mertebesinde dendritik bir yapıya sahip olduğu fark edilmektedir.

Şekil 4'te 1 no'lu numunenin 3 no'lu bölgesinden alınan EDS analiz sonuçları görülmektedir. Bu bölge yani dendritlerin olduğu bölgenin Cr bakımından zengin olduğu görülmektedir.

2 no'lu numunenin mikroyapı fotoğrafı Şekil 5'te görülmektedir. Bu fotoğraf incelendiğinde açık renkli bölgelerin nano boyutlu dendritik bir yapıda olduğu anlaşılmaktadır. İkinci faz bölgelerinin numune boyunca çok ince hatlarla birbirine bağlı (ilişkili) oldukları görülmektedir. Bu kısımlar tane sınırları olarak görülmektedir ama aslında tane sınırları olmayıp farklı bir fazdır. Bu durum % 1,3 Mn içerikli alaşımın iki fazdan oluştuğunu göstermektedir. Mn ilave oranının artmasıyla Mn'nin tane inceltici özelliği nedeniyle genel yapının daha homojen bir hal aldığı görülmüştür.

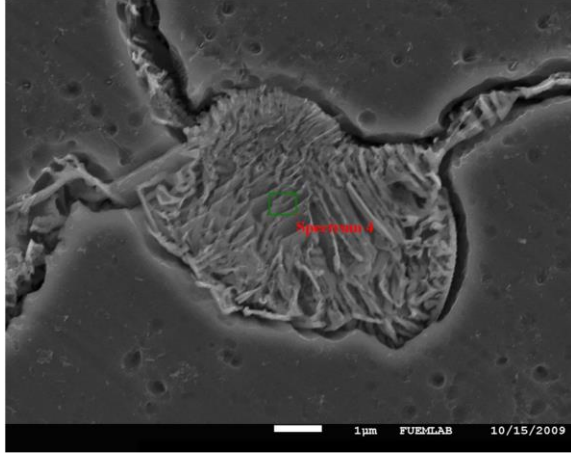


Şekil 3. 1 no'lu numunenin mikroyapı görüntüsü ve EDS analizinin alındığı nokta



Şekil 4. 1 no'lu numunenin 3 no'lu bölgesinden alınan EDS spektrumu

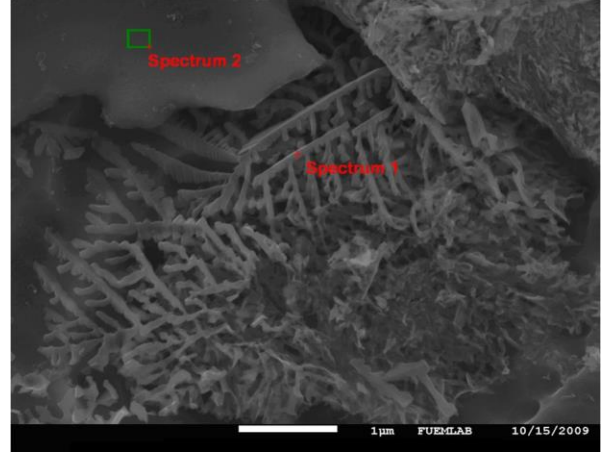
Tane sınırı görünümünde olan kısmın kimyasal yapısının anlaşılması amacıyla Şekil 5'te gösterilen kısımdan EDS analizi yapılmıştır. Analiz grafiği ve analiz değerleri Şekil 6'da görülmektedir. Yapılan analizden bu bölümün Co ve Cr içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir. Molibden oranının da yine bu bölgede biraz yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6). Bu bölge genel yapıdaki tüm bileşenleri kapsamamaktadır.



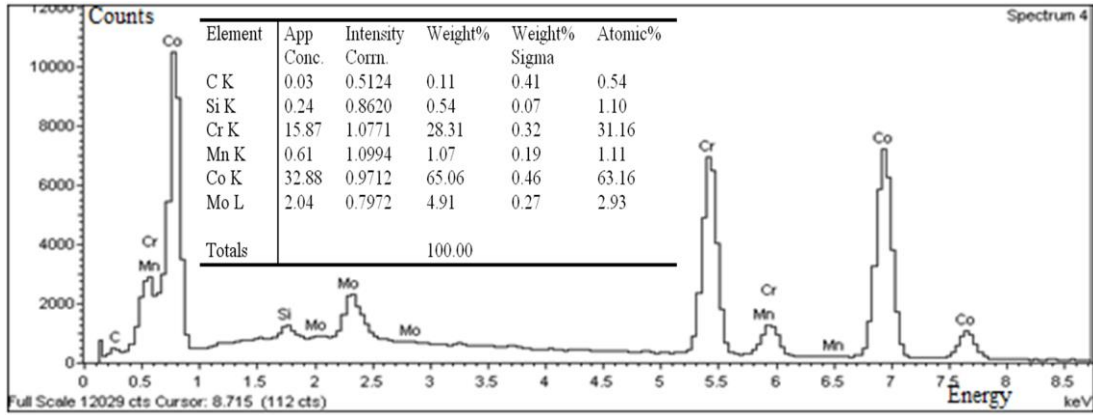
Şekil 5. 2 no'lu numunenin mikroyapı görüntüsü ve EDS analizinin alındığı nokta

Şekil 7'de 3 no'lu numunenin mikroyapı fotoğrafı görülmektedir. Bu alaşım yapısının da yine açık renkli bölgeler ve koyu renkli bölgeler olmak üzere iki fazlı dendritik bir yapıda olduğu görülmektedir. Vanadyum ilavesi

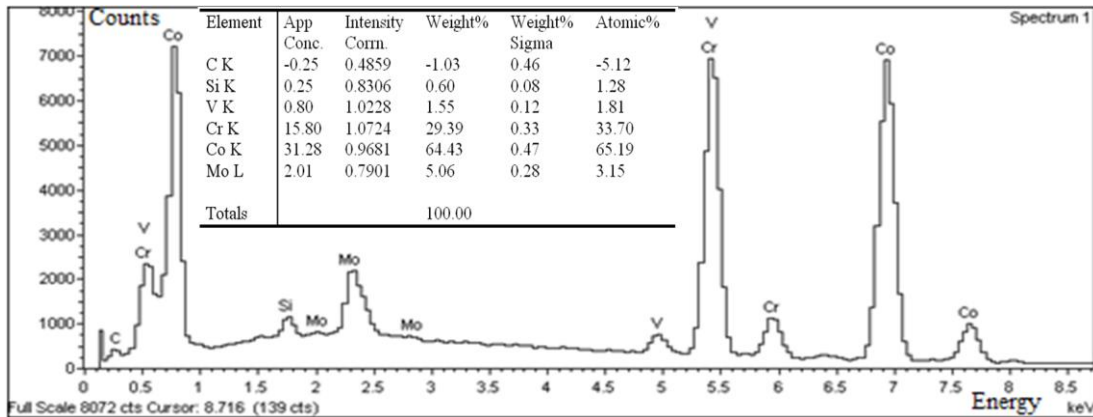
ile ikinci faz bölgesi morfolojisinin değiştiği fark edilmektedir. Vanadyum katılı bu numunenin de açık renkli bölgelerinin nano mertebesinde dendritik bir yapıya sahip olduğu fark edilmektedir. Bu dendrit kollarının kalınlığı yaklaşık olarak 83 nm olarak ölçülmüştür. Bu numunede ikincil dendrit kollarının daha belirgin bir şekilde olduğu görülmektedir. Vanadyum ilavesi ile nano boyutlu dendritik yapının ve ikincil dendrit kolları arasındaki mesafenin arttığı görülmüştür. Dendrit kolları arasında başka bir fazın oluşmadığı sonucuna da varılmıştır. Şekil 8'de 1 numaralı bölgenin EDS analizlerinin grafik ve çizelgesi verilmiştir.



Şekil 7. 3 no'lu numunenin mikroyapı görüntüsü

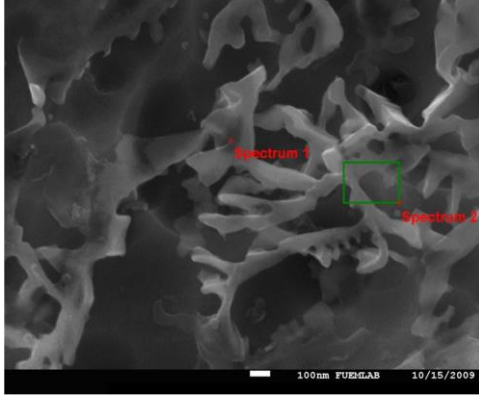


Şekil 6. 2 no'lu numunenin EDS spektrumu

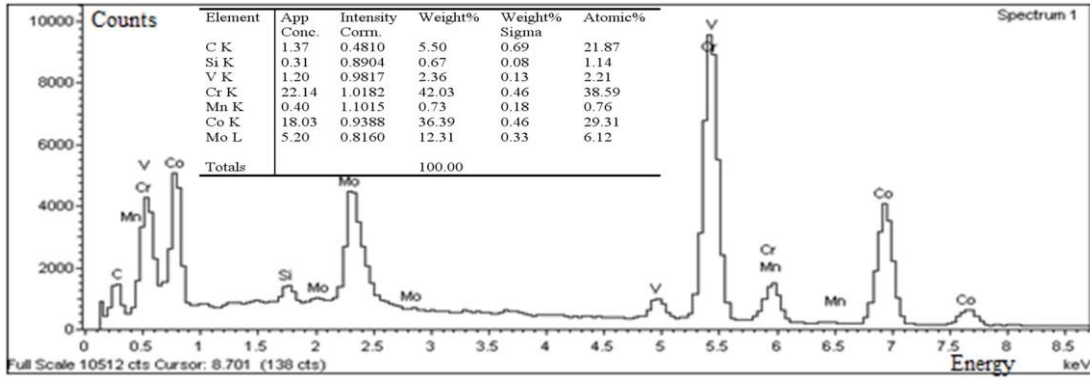


Şekil 8. 3 no'lu numunenin 1 no'lu bölgesinden alınan EDS spektrumu

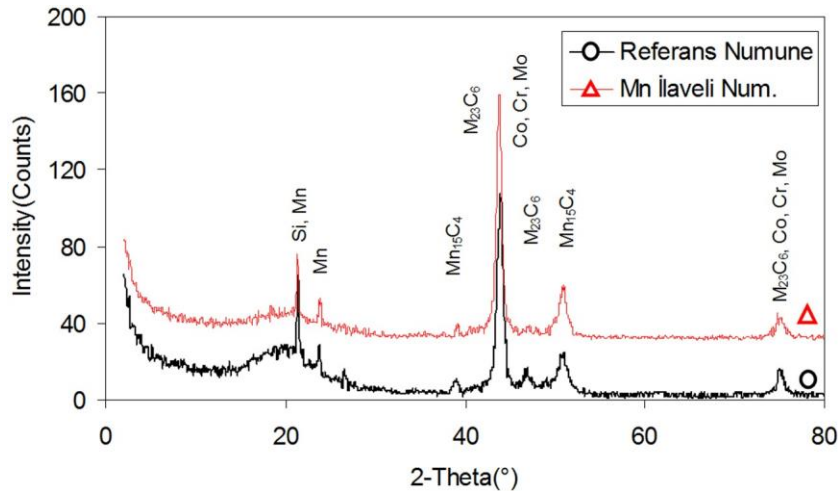
Yüksek büyütmeyle çıkarılarak elde edilen fotoğrafta nano boyutlu dendrit yapı % 1,3 vanadyum katkı numunede de görülmüştür (Şekil 9). Bu yapıya, diğer numunelerde olduğu gibi yine bu numunede de ikinci faz bölgeleri olarak adlandırdığımız, açık renkli bölgelerde rastlanılmıştır. Ayrıca vanadyum ilavesinin %1,3'e çıkmasıyla ikincil dendrit kollarının hem uzunluğunun ve hem de yoğunluğunun azaldığı sonucuna varılmıştır. Şekil 10'da görüldüğü gibi, fazların kimyasal bileşimini anlamak amacıyla belirli bir noktadan EDS analizi alınmıştır. Dendrit kollarından yani 1 numaralı noktadan alınan analizlerden Co içeriği bakımından düşük olduğu ancak diğer elementler yani Cr, Mo, Mn, V bakımından yüksek değerler içerdiği görülmüştür.



Şekil 9. 4 no'lu numunenin mikroyapı görüntüsü ve EDS analizinin alındığı noktalar



Şekil 10. 4 no'lu numunenin 1no'lu bölgesinden alınan EDS spektrumu



Şekil 11. Referans numune ve Mn ilaveli numunenin XRD analizi

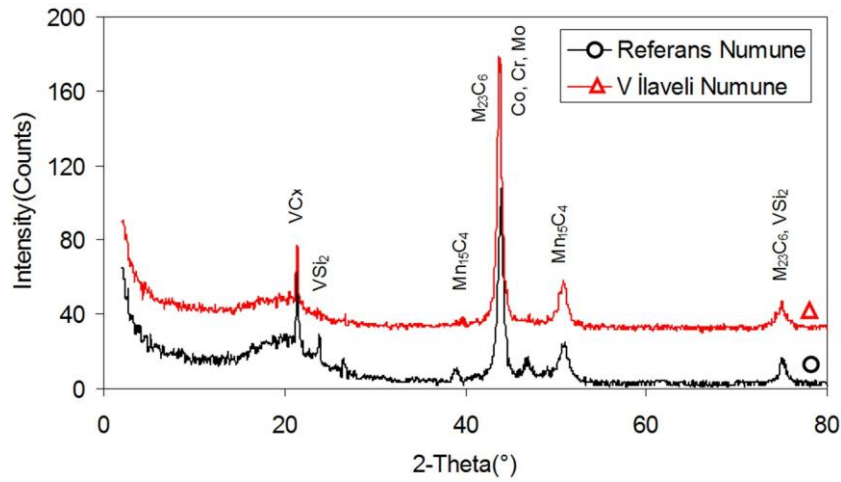
3.3. XRD Analizi

Mn ilaveli alaşımın XRD analizinde, ana yapının Co, Cr, Mo elementlerinden oluştuğu anlaşılmıştır (Şekil 11). Bu yapıda diğer fazlar oluşmuştur. Alaşımda metal karbürler de oluşmuştur. Bunlardan biri her alaşımda bulunan $M_{23}C_6$ tarzındaki karbürdür. Yani $M_{23}C_6$ tarzındaki karbürün ana yapısı $(CoCrMo)_{23}C_6$ kimyasal bileşiminde teşekkül etmiştir.

Mn alaşım içerisinde katı çözeltili halde bulunmaktadır ve $Mn_{15}C_4$ bileşiminde mangan karbür oluşmasına sebep olmuştur. Ayrıca alaşımda katı çözeltili halde Si elementinin bulunduğu da belirlenmiştir.

V ilaveli alaşımın XRD analiz sonucu Şekil 12'de gösterilmiştir. Şekilde ana yapının Co, Cr, Mo elementlerinden oluşan $Cr_{0,549}Co_{1,539}Mo_{0,912}$ bileşiminden teşekkül ettiği anlaşılmıştır. Bu ana kütle içerisinde diğer fazlar teşekkül etmiştir. Aynı zamanda Co, Cr, Mo elementlerinin oluşturduğu $M_{23}C_6$ karbürü ana yapıda vardır. Bu karbürün metal kısmı $Cr_{0,77}Co_{0,15}Mo_{0,08}$ formüllü intermetalik bileşikten oluşmuştur. Yani $M_{23}C_6$ tarzındaki karbürün ana yapısı $(CoCrMo)_{23}C_6$ bileşimi şeklindedir.

Alaşıma ilave edilen V ana kütle içerisinde VC_x tarzında bir karbür oluşturmuştur. Bundan başka, vanadyum alaşım içinde bulunan Si ile birleşerek VSi_2 oluşturmuştur.



Şekil 12. Referans numune ve V ilaveli numunenin XRD analizi

4. Sonuçlar

Çalışmada, Co-28Cr-6Mo alaşımına V ve Mn ilave edilerek yeni alaşımlar üretilmiştir. İlave edilen V ve Mn alaşımın sertlik değerini düşürmüştür. Bu düşüş Mn ilavesi ile 49 HV değerinde, V ilavesi ile 94 HV değerinde olmuştur. İncelemelerden sonra tüm sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda referans alaşımın sertliğini bir miktar düşürerek malzemeye süneklik ve tokluk kazandırabilmek için % 1,3 Mn ve % 0,7-2,0 V ilave edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Elektron mikroskobu (EDS) incelemeleri orijinal alaşımın nano boyutlu dendritik bir yapıda olduğunu göstermiştir. Bu dendritik yapı belirli bölgelerde görülmüştür ve bu bölgelerde dendritik yapı düzgün dağılım göstermiştir. Mn ile nano boyutlu dendritik yapının görüldüğü bölgelerin numune üzerinde dağılımı değişmiş ve bu nano boyutlu dendritlerin morfolojisi de değişmiştir. Dendritik yapı homojen bir hal almıştır. Daha iyi tanecikler elde edilmiştir. Vanadyum ilavesi ile bu nano dendritlerin kollarının orijinal numuneden daha uzun olduğu görülmüştür. Vanadyum ilavesinin artışı ile nano boyutlu dendritik yapının morfolojisinin değiştiği sonucuna varılmıştır.

Araştırmada kullanılan tüm alaşımların genel yapısının Co, Cr, Mo elementlerinden ve $Cr_{0,549}Co_{1,539}Mo_{0,912}$ yapısındaki bileşikten meydana geldiği anlaşılmıştır. Diğer fazlar bu yapı içerisinde yer almışlardır. Katkı elementlerinden Mn, alaşımda $Mn_{15}C_4$ tipinde bir karbür oluşturmuş, vanadyum ise VC_x tarzında bir karbür oluşturmuştur. Bundan başka, vanadyum alaşım içinde bulunan Si ile birleşerek vanadyum silisid (VSi_2) meydana getirmiştir.

Yapılan bir çalışmada Co-Cr esaslı malzemeye belirli oranlarda katılan silikonun malzeme sertliğini artırdığı gözlenmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada toz metalurjisi (TM) yöntemiyle üretilmiş krom (Cr) oranı farklı, kobalt (Co) esaslı Co-Cr-Mo alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlar artan Cr oranıyla birlikte belli bir orana kadar mekanik özelliklerinin iyileştiğini göstermiştir. Yapılan bir diğer çalışmada Cr, Ni, W ve C elementlerinin ilave edildiği Co esaslı bir alaşımında oluşan fazlar incelemiştir. Çalışmada, döküm yöntemiyle elde edilmiş Co-27.74Cr-19.27Ni-6.11W-1.1C alaşımı sıvı N ve suda soğutulmuştur. Metalografik araştırmalar; sonucunda dendritik kollar arasında ötektik karbürlerin çökeldiğini göstermiş, dendritik bir mikroyapıya sahip bir döküm numunesi elde edilmiştir. Farklı soğutma ortamlarında hızla soğutulan numunelerde, dendritik kollar arasında çökelmiş karbür fazının bulunduğu ve bunun sonucunda daha küçük

dendrit tanelerinin ve daha ince dendritik kollarının oluştuğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

1. Battal, T., Hassas döküm ile üretilen femoral nakillerin ısı spray yöntemleri ile geliştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi (Y.L. Tezi), İstanbul, s.5-47,1996.
2. Pasinli, A., Biyomedikal uygulamalarda kullanılan biyomalzemeler, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi (4), 25-34, 2004.
3. Jonn, B.P., Young, K.K., Biomedical Engineering Handbook, Unit:37 Metallic Biomaterials, 2000.
4. Çelik, H., Kaplan, M., Effects of silicon on the wear behaviour of cobalt-based alloys at elevated temperature, Wear, 257, 606-611, 2004.
5. Black, J., Biological performance of materials, Fundamental of biocompatibility, Macrel, Beckel, 119-127, 1999.
6. Jraig, R. G., Restoratif dental materials, Mosby, 408-436, 1997.
7. Ratner, B. D., Biomaterials Science, Academic press, 308-319, 1996.
8. Robert, M., Cobalt-base alloys used in bone surgery, Injury, Int. J. Care Injured 31 S-D18-21, 2000.
9. Akdogan, G., Ti-6Al-4V Alaşımının biyokorozyon ve biyouyumluluk özelliklerinin araştırılması, Gazi Üniversitesi, Ankara, s. 4-58, 1998.
10. Şap, E., Çelik, H. Kobalt esaslı alaşımların mikroyapı ve mekanik özelliklerine Ti ve Mn ilavesinin etkisinin incelenmesi, Makine teknolojileri elektronik dergisi (9) 25-33, 2012.
11. Somunkıran, İ., Çelik, H., T/M Yöntemiyle Üretilmiş Co Esaslı Co-Cr-Mo Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Cr Oranının Etkisi Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi 19 (2), 235-241, 2007.
12. Kuzucu V., Ceylan, M., Çelik, H., Aksoy, İ., Phase investigation of a cobalt base alloy containing Cr, Ni, W and C, Journal of Materials Processing Technology, 74, 137-141, 1998.
13. Black, J., Hastings, G., Handbook of biomaterial properties, Chapman & Hall, p: 136-198, 2001.