



**Co-Cr-Mo ALAŞIMININ SANTRİFÜJ HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ İLE
ŞEKİLLENDİRİLMESİNDE DÖKÜM PARAMETRELERİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Fatma Duygu GARIP

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2016

Fatma Duygu GARİP tarafından hazırlanan “Co-Cr-Mo ALAŞIMININ SANTRİFÜJ HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ŞEKİLLENDİRİLMESİNDE DÖKÜM PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Neşet AKAR

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan : Prof. Dr. Kadir KOCATEPE

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye : Doç. Dr. Ramazan KAYIKÇI

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 12/01/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Metin Gürü
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Fatma Duygu Garip

04.01.2016

Co-Cr-Mo ALAŞIMININ SANTRİFÜJ HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ İLE
ŞEKİLLENDİRİLMESİNDE DÖKÜM PARAMETRELERİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Fatma Duygu GARİP

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2016

ÖZET

Bu tez açık ve vakum atmosfer altında santrifüj hassas döküm yöntemiyle şekillendirilen dental Co-Cr-Mo ASTM F-75 alaşımının mikro yapı ve mekanik özellikler üzerinde döküm parametreleri etkisinin karşılaştırma çalışmasıdır. Dental blok; açık ve vakum atmosfer koşullarında, 90 devir/dakika, 135 devir/dakika, 180 devir/dakika, 225 devir/dakika hızlarında seramik kalıp içerisine vakum indüksiyon ocağında % 0,27 C ve % 0,08 C değerine sahip dental Co-Cr-Mo alaşımı ergitilerek dökülmüştür. Metalografik ve nicel teknikler iki farklı % C değerine sahip dental Co-Cr-Mo alaşımının katılaşma, ergitme ve seramik kalıbın dönme hızı üzerine etkisini incelemek için kullanılmıştır. Co-Cr-Mo alaşımının mikro yapısı üzerinde çeşitli fazlar, karbürler, karbür hacim oranı, partiküller arası uzaklık sırasıyla SEM, XRD ve nicel teknikler kullanılarak tanımlandı. Döküm dental Co-Cr-Mo alaşımlarının maksimum çekme dayanımı, akma dayanımı, uzama döküm parametrelerine göre elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir: Açık ve vakum atmosfer koşullarının ikisinde de, 90 devir/dakika ve 135 devir/dakika hızlarında üretilen dental bloklarda çekme boşlukları gözlenirken, 180 devir/dakika ve 225 devir/dakika hızlarında çekme boşlukları elimine edilmiştir. Açık ve vakum atmosfer koşullarında bütün santrifüj hızlarında, % 0,08 C ve % 0,27 C içeren döküm dental bloklarda $M_{23}C_6$ karbür tipi gözlenirken, % 0,27 C içeren döküm bloklarda ilave olarak açık atmosferde M_7C_3 tip karbür, vakum atmosferinde ise M_7C_3 ve M_3C karbürler gözlenmiştir. Dental döküm bloklarda karbür hacim oranı artan % C oranı ile artmıştır. Vakum ortamında, 225 devir/dakika hızında ve % 0,08 C oranında üretilen dental blokta ASTM F-75 standardını sağlayan, maksimum çekme dayanımı, akma dayanımı, uzama değerleri sırasıyla 680 MPa, 510 MPa ve % 10,6 elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 915. 3.022
Anahtar Kelimeler : Hassas Döküm, Santrifüj Döküm, Vakum Ortamı, Süperalaşımlar, Metalik Biyomalzemeler
Sayfa Adedi : 77
Danışman : Doç. Dr. Neşet AKAR

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CASTING PARAMETERS ON THE
MECHANICAL PROPERTIES IN THE FORMING OF Co-Cr-Mo ALLOY WITH
CENTRIFUGAL INVESTMENT CASTING METHOD"

(M. Sc. Thesis)

Fatma Duygu GARİP

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2016

ABSTRACT

This thesis comprises of a study of the effect of casting parameters on the microstructures and mechanical properties in the shaping of Co-Cr-Mo ASTM F-75 dental alloy with centrifugal investment casting under vacuum condition. Dental blocks were produced by pouring of melted Co-Cr-Mo dental alloy having 0,27 % C and 0,08 % C levels in the vacuum induction melting furnace into the ceramic mould with 90 rpm, 135 rpm, 180 rpm and 225 rpm rotational speeds in the atmosphere and vacuum condition. Metallographic and quantitative techniques were used to examine the effect of rotational speeds of the ceramic mould, melting and solidification condition on the Co-Cr-Mo dental alloy with two carbon levels. The various phases, carbide types, volume rate of carbide and interparticle spacing in the microstructures of Co-Cr-Mo alloy were identified by using SEM, XRD and quantitative techniques respectively. Ultimate tensile strength, yield strength and elongation of castings of Co-Cr-Mo dental alloy were achieved in terms of casting parameters. The results obtained show the following: Shrinkage cavities occurred in the dental casting blocks produced with 90 rpm and 135 rpm whereas 180 rpm and 225 rpm rotational speeds eliminated all cavities in the both atmosphere and vacuum conditions. 0,08 % C and 0,27 % C level in the dental casting blocks produced with all rotational speeds and all atmosphere environment showed $M_{23}C_6$ types carbides. In addition 0,27 % C level caused M_7C_3 carbide in atmosphere condition and M_7C_3 and M_3C carbides in vacuum condition. Carbides volume fraction in the dental casting blocks was increased with increasing carbon level. In the dental casting block of Co-Cr-Mo alloy having 0,08 % C produced with 225 rpm rotational speeds in the vacuum condition, the ultimate tensile strength, yield strength and elongation values with 680 MPa, 510 MPa and % 10,6 respectively were obtained within the window specified as acceptable in ASTM F-75 standard.

Science Code : 915. 3.022

Key Words : Investment Casting, Centrifugal Casting, Vacuum Atmosphere, Superalloys, Metallic Biomaterials.

Page Number : 77

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Neşet AKAR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Doç. Dr. Neşet Akar'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın yapılmasına öncülük eden, çalışmalarım sırasında değerli öngörülerini ve maddi manevi desteğini esirgemeyen, NEV Vakumlu Hassas Döküm kurucusu Tuğrul Gürel Poyraz'a sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu tez NEV Vakumlu Hassas Döküm Medikal ve Otomotiv Tic. Ltd. Şti ve Gazi Üniversitesi iş birliği kapsamında TÜBİTAK 1507 programında 7140817 numaralı "Co-28Cr-6Mo Alaşımının Hassas Döküm Yöntemi ile Vakum Ortamında Dental CAD-CAM Metal Bloklarının Üretilmesi" adlı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte Prof. Dr. Kadir Kocatepe'ye Prof. Dr. Mehmet Erdoğan'a, çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen firma ve üniversite personeline teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca daima yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen değerli dostum Gözde Varel'e sonsuz teşekkür ederim.

Hayatımın her devresinde daima yanımda olup beni destekleyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Kobalt ve Özellikleri	3
2.1.1. Kobalt alaşımları	3
2.1.2. Kobalt alaşım fazları	5
2.2. Kobalt Alaşımlarında Mukavemetlendirme Mekanizmaları	11
2.2.1. Katı eriyik mukavemetlenmesi	11
2.2.2. Çökelti mukavemetlenmesi	12
2.2.3. Tane sınırı mukavemetlenmesi	16
2.2.4. Karbürler	17
2.3. Kobalt Alaşımlarının Mikro Yapısı	19
2.4. Kobalt Alaşımlarının Biyouyumluluğu	20
2.5. Hassas Döküm	21
2.5.1. Hassas döküm yönteminin sınıflandırılması	21
2.5.2. Dereceli hassas döküm yöntemi	22
2.5.3. Seramik kabuk hassas döküm yöntemi	22

	Sayfa
2.6. Döküm Ortamları	23
2.6.1. Açık atmosfer ortamında hassas döküm	23
2.6.2. Vakum ortamında hassas döküm	23
2.7. Hassas Döküm Parametreleri	24
2.8. Santrifüj Döküm	26
2.8.1. Gerçek savurma döküm	27
2.8.2. Yarı savurma döküm	27
2.8.3. Savurmalı döküm	28
2.9. Santrifüj Dökümde G Kuvvetinin Hesaplanması	29
3. MATERYAL VE METOD	31
3.1. Döküm Alaşımı	31
3.2. Hassas Döküm Mum Modellerinin ve Kalıplarının Hazırlanması	31
3.3. Ergitme ve Döküm	33
3.4. Dental CAD-CAM Metal Blok Döküm Kalıpların Bozulması, Yolluklarından Ayrılması ve Temizlenmesi	35
3.5. Dental CAD-CAM Metal Blok Üretim Yöntemi ve Üretim Kodları	36
3.6. Dental CAD-CAM Metal Blok Dökümlerde Makro ve Mikroyapı Analizi	36
3.7. Karbür Tanımı ve Karbür Hacim Oranının Belirlenmesi	39
3.8. İkincil Dendrit Kolları Arası Mesafenin Belirlenmesi	39
3.9. Çekme Testi	39
3.10. Sertlik Testi	41
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	43
4.1. Dental CAD-CAM Metal Blokların Makro-Mikro Yapıları	43
4.2. Dental CAD-CAM Metal Blokların Mekanik Özellikleri	57
4.2.1. Çekme testi sonuçları	57

	Sayfa
4.2.2. Sertlik ölçüm sonuçları	61
4.2.3. Kırık yüzey incelemesi	62
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	71
5.1. Sonuçlar	71
5.2. Öneriler	72
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Saf kobaltın mekanik özellikleri	3
Çizelge 2.2. Cerrahi Co esaslı ASTM standartlarının kimyasal kompozisyonu	4
Çizelge 2.3. Cerrahi Co esaslı ASTM F-75 standardının mekanik özellikleri	4
Çizelge 2.4. Bazı metallerin Co ve Co-30Cr alaşımlarındaki atom çapı farklılıklarına göre yaklaşık çeşitli çözünebilirlik dereceleri	12
Çizelge 2.5. Co esaslı süperalaşımlara alaşım elementlerin etkisi	13
Çizelge 2.6. Co esaslı süperalaşımlara alaşım elementlerin etkisi	13
Çizelge 2.7. Demir ve Nikel esaslı alaşımlar ile Kobalt esaslı alaşımlardaki karbon içerikleri	17
Çizelge 2.8. Vakum indüksiyon ocağında kullanılan vakum seviyeleri	24
Çizelge 2.9. Kobalt esaslı döküm alaşımlarının ergime sıcaklık aralıkları	25
Çizelge 3.1. ASTM F-75 Co-Cr-Mo alaşımının kimyasal kompozisyonu	31
Çizelge 3.2. Co-Cr-Mo süperalaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların üretim parametreleri ve numune kodları	36
Çizelge 4.1. Yüksek karbonlu ve düşük karbonlu Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların santrifüj hızına göre karbür hacim oranı değerleri (A= açık atmosfer ortamı, V = vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım, S=santrifüj hızı, G= Gravity)	48
Çizelge 4.2. Yüksek karbonlu ve düşük karbonlu Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların santrifüj hızına göre ikincil dendrit kolları arası mesafe değerleri. (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım)	55
Çizelge 4.3. Düşük ve yüksek karbonlu Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların santrifüj hızına göre akma, çekme ve kopma dayanımı ve % uzama değerleri	57
Çizelge 4.4. Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların santrifüj hızına Göre sertlik değerleri. (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım, S= Santrifüj, G=Gravity)	62

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kobalt elementinin HSP—YMK dönüşüm sıcaklığına alaşım elementlerinin etkisi	6
Şekil 2.2. Kobalt-krom faz diyagramı	7
Şekil 2.3. Co-Ni ikili denge diyagramı	8
Şekil 2.4. Co-Mo ikili denge diyagramı	9
Şekil 2.5. Co-W ikili denge diyagramı	9
Şekil 2.6. Co-Cr-Mo Üçlü denge diyagramı	10
Şekil 2.7. Mukavemet arttırma mekanizmalarının süperalaşım üzerindeki etkisi	16
Şekil 2.8. C oranı % 0,1-0,6 arası Co-esaslı alaşımlarda genellikle bulunan karbür türlerine kimyasal bileşimin etkisi	18
Şekil 3.1. Dental CAD-CAM metal bloktan metalografik numune çıkarılışı (mm)	37
Şekil 3.2. Mikro yapı incelemesinde kullanılan bölgeler, (a.1 = uç taban, a.2 = uç merkez, b.1 =orta taban, b.2= orta merkez, c.1 = merkez taban, c.2= merkez), (mm)	38
Şekil 3.3. ASTM E8 standart ölçüleri a) ASTM E8 standardı çekme çubuğu ölçüleri, b) ASTM E8 standardına göre işlenmiş çekme numunesi	40
Şekil 4.1. XRD analizi a) Açık atmosferde meydana gelen karbürlerin XRD analizi, b) Vakum atmosferinde meydana gelen karbürlerin XRD analizleri	49
Şekil 4.2. EDS analizi a) Vakum ortamında yüksek C'lu parçada meydana gelen $M_{23}C_6$ fazının EDS analizi b) Vakum ortamında yüksek C'lu parçada meydana gelen M_3X fazının EDS analizi	50
Şekil 4.3. Yüksek karbonlu ve düşük karbonlu Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların santrifüj hızına göre karbür oranı. (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım)	54
Şekil 4.4. Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm bloklarında santrifüj hızının ikincil dendrit kolları arası mesafeye etkisi a) Düşük karbonlu, b) Yüksek karbonlu, c) Vakum ortamında yüksek karbonlu (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım)	56

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Yüksek karbonlu ve düşük karbonlu Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm bloklarında santrifüj hızının ikincil dendrit kolları arası mesafeye etkisi (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D=düşük karbonlu alaşım)	57
Şekil 4.6. Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların santrifüj hızına Göre mekanik etkileri a) çekme dayanımı b) akma dayanımı, c) % uzama. (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım,D= düşük karbonlu alaşım)	60
Şekil 4.7. Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların santrifüj hızına göre sertlik değerleri. (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım, S=santrifüj, G= Gravity)	62

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. X-45 alaşımının katılaşma aşamaları	19
Resim 2.2. ASTM F-75 alaşımına ait farklı büyütme hassas döküm mikro yapıları, a) 200 μm , b) 100 μm , c) 50 μm , d) 25 μm	20
Resim 2.3. Gerçek savurma döküm yöntemi	27
Resim 2.4. Yarı savurma döküm yöntemi	28
Resim 2.5. Savurmalı döküm yöntemi	28
Resim 2.6. G kuvveti hesaplama yöntemi	29
Resim 3.1. Mum montaj aşamaları, a) Mum model ve mum model ölçüleri, b) metal enjeksiyon kalıbı ve c) mum model salkımı	32
Resim 3.2. Seramik kaplama işlemleri a) Mum model salkımının seramik malzeme ile kaplanması (I. kaplama), b) mum model salkımının seramik malzeme ile kaplanması (son kaplama) c) mum boşaltma ve pişirme işlemi tamamlanmış seramik kalıplar	33
Resim 3.3. Vakum indüksiyon ocağı	34
Resim 3.4. Seramik kalıbın vakumlu indüksiyon ocağında konumu	35
Resim 3.5. Döküm işlemi tamamlanmış kalıpların görünümü	35
Resim 3.6. Temizlenmiş Dental CAD-CAM metal blokların yollukları ile birlikte görünümü	36
Resim 3.7. Otomatik kesme cihazı	37
Resim 3.8. Elektrolitik parlatma cihazı	38
Resim 3.9. Çekme test cihazı	40
Resim 3.10. Sertlik test cihazı	41
Resim 4.1. Dental döküm blokların makro yapı resimleri a)VYS135 kodlu döküm parçada disk orta merkezinden alınan 3 numaralı parçanın kesit resmi b) VYS225 kodlu döküm parçada disk orta merkezinden alınan 3 numaralı parçanın kesit resmi	43
Resim 4.2. ADG kodlu döküm parçanın mikro yapısı (Uç merkez)	44
Resim 4.3. VDS225 kodlu döküm parçanın mikro yapısı (Orta taban)	45

Resim	Sayfa
Resim 4.4. VYS180 kodlu döküm parçanın mikro yapısı (Orta merkez)	45
Resim 4.5. ADG kodlu döküm parçanın mikro yapısı (Orta merkez)	46
Resim 4.6. VDS225 kodlu döküm parçanın mikro yapısı (Merkez merkez)	46
Resim 4.7. ADS225 kodlu döküm parçanın mikro yapısı (Merkez taban)	47
Resim 4.8. AYS 225 kodlu döküm parçanın mikro yapı görüntüleri a)Merkez Taban 100X b)Merkez Taban 20X	51
Resim 4.9. VYS 225 kodlu döküm parçanın mikro yapı görüntüleri a) orta taban 100X d) merkez taban 20X	52
Resim 4.10. ADG kodlu parçanın kırılma yüzeyi	63
Resim 4.11. ADS225 kodlu parçanın kırılma yüzeyi görüntüleri	64
Resim 4.12. VDS225 kodlu parçanın kırılma yüzeyi görüntüleri	65
Resim 4.13. AYS225 kodlu parçanın kırılma yüzeyi görüntüleri	66
Resim 4.14. VYS225 kodlu parçanın kırılma yüzeyi görüntüleri	67
Resim 4.15. AYS90 kodlu parçanın kırılma yüzeyi görüntüleri	68
Resim 4.16. VYS90 kodlu parçanın kırılma yüzeyi görüntüleri	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
Gr	Gram
Cm	Santimetre
°C	Santigrat Derece
J	Joule
m²	Metre kare
G	Giga
Pa	Pascal
M	Mega
k	Kilo
kgf	Kilogram kuvvet
kV	Kilo Volt
si	İnç kare
d	Yoğunluk
m	Metre
mm	Milimetre
µm	Mikro Metre
mA	Mili Amper
Ms	Martenzit Başlama Sıcaklığı
As	Östenit Katılma Sıcaklığı

Kısaltmalar	Açıklamalar
Ağ.	Ağırlıkça
ASTM	Amerikan Malzeme Test Standartları
CAD-CAM	Bilgisayar Destekli Tasarım /Üretim
CAT	Kombine Yaşlandırma İşlemi
EDS	Enerji Dağılımı Spektroskopisi

Kısaltmalar**HIP****HSP****HV****ISO****Min.****SEM****TSP****YMK****XRD****Açıklamalar**

Sıcak İzostatik Pres

Hegzagonal Sıkı Paket

Vickers Sertlik

Uluslararası Standard Teşkilatı

Minimum

Taramalı Elektron Mikroskobu

Topolojik Sıkı Paketlenmiş

Yüzey Merkezli Kübik

X Işınları Kırınımı

1. GİRİŞ

Binlerce yıl geriye uzanan hassas döküm yöntemi ile metal şekillendirme, mum modellerin seramik malzeme ile kaplanması, mum boşaltma ve kalıpların pişirme işleminden sonra ergimiş metalin elde edilen kalıp boşluğuna doldurulması aşamalarını içerir. Mum modeller, metal bir kalıba mumun enjeksiyonu ile üretilir ve çok sayıda mum model, ortak bir yolluğa bağlanarak salkım oluşturulur. Bu montajlama tekniği sayesinde çok karmaşık metal parça dökümler yapılabilmektedir. Hassas döküm bu özelliği ile birçok talaşlı imalat işleminin gereksinimini ortadan kaldırır. Hassas döküm teknikleri temel olarak seramik kabuk kalıba döküm yöntemi ve dereceli hassas döküm yöntemi olmak üzere ikiye ayrılır: Seramik kabuk kalıba döküm (Investment Shell Casting) yönteminde, seramik kalıp, modelin etrafını ince cidarlı bir kabuk şeklinde sararken, dereceli hassas döküm yönteminde bir kabın içindeki kalıp boşluğu haricindeki tüm hacim seramik veya alçı malzeme ile doldurulur. Hassas döküm yöntemiyle, iyi bir döküm parça elde etmek için ergimiş metalin döküm sıcaklığı, ergimiş metalin kalıba ilerlediği yollukların boyutları ve kalıp üzerindeki yerleri vb. parametrelerin hassas kontrolü ve kalıp tasarımlarının doğru yapılması gerekir (Eşiyok, 2011).

Yüksek sıcaklıklarda kullanılmak için genellikle VIII-A grubu elementlerden geliştirilen alaşım türlerine süperalaşım denir. 650 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda mukavemetlerini korumaları, ısı korozyonu ve aşınma dirençlerinin yüksek olması süperalaşımın en önemli özelliklerindedir. Yaygın olarak kullanılan süperalaşım; demir, krom ve nikel bazlı süperalaşım, kompleks demir-nikel-krom kobalt alaşımları, karbürlerle güçlendirilmiş kobalt esaslı alaşımlar, katı çözeltili ile mukavemeti artırılmış nikel esaslı alaşımlar ve çökelme sertleştirilmesi uygulanmış nikel esaslı alaşımlardır (Bahadır, 2010).

Canlı dokuya doğrudan temas eden ve vücudun herhangi bir organı ile yer değiştirip onun işlevini yerine getiren yapay malzemelere biyomalzemeler denir. Bu malzemelerde aranılan en önemli özellik, vücutla uyumlu olması veya farmakolojik olarak soy olmasıdır. Hiç bir protez veya implant malzemesinin, insan kemiğinin yerini tutmamasına rağmen, 1950'li yıllardan itibaren birçok implant malzemesi kullanılmaktadır. İmplant malzemelerinin büyük bir çoğunluğu kullanılacağı yere göre; yorulma ve aşınma dayanımı, tokluk, gerilme-gerinme, korozyon direnci, biyouyumluluk, hafiflik, süngerimsi veya sert

doku, ısıl iletkenlik, manyetiklik ve imalat özellikleri göz önüne alınarak DIN, ASTM ve TSE gibi standartlara göre hazırlanmaktadır.

Demir, altın, gümüş, kurşun, bronz ve platin gibi metaller 19. yüzyılın başlarında çatlak kemiklerin tedavisi için, çivi ve tel halinde kullanılmaya başlanmıştır. Yük taşıyıcı olarak en yaygın kullanılan metalik implant malzemeler; paslanmaz çelikler, Co-Cr-Mo'li alaşımlar ve Ti ve alaşımlarıdır. Metaller, kas-iskelet sisteminin biyomekanik koşullarına en iyi uyum gösteren malzemelerdendir. Metaller, belirli sınırlarda ağır, uzun süreli, değişken ve ani yüklenmelere karşı özelliklerini kaybetmeden dayanabilmeleri nedeni ile tercih edilmektedirler. Kırık kemik parçalarının birleştirilmesinde; plaka ya da vida olarak, parçalı veya tek parça halinde kalça kemiği veya diz kapağı protezleri olarak, dişçilikte ise protez veya dolgu malzemesi olarak metallerden yararlanılır (Şap, 2010).

Bu çalışmada vakumlu santrifüj hassas döküm yöntemi kullanılarak Co-Cr-Mo Dental CAD-CAM metal blok üretilmiştir. Dental CAD-CAM Metal blokların üretilmesinde farklı vakum, santrifüj hızı ve kimyasal kompozisyon değerleri kullanılmıştır. Üretilen Dental CAD-CAM metal blokların mikro yapı analizleri ve mekanik testleri yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda mikro yapı ve mekanik değerler arasında ilişki kurulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Kobalt ve Özellikleri

Sert gümüş-gri renğinde bir metal olan Kobalt 1735 yılında Georg Brandt tarafından keşfedilmiştir. Kobaltın simgesi Co, atom numarası 27, atom ağırlığı ise 58,9332 gr/mol'dür. Kobalt periyodik cetvelde D Blok, 9. Grup, 4. Periyotta Demir (Fe) ve Nikel (Ni) arasında yer alır. Kobaltın yoğunluğu 8,8 gr/cm³, Kobaltın kristal yapısı 417 °C sıcaklık altında Hegzagonal Sıkı Paket (HSP), 417 °C ve ergime noktası (1495 °C) sıcaklıkları arasında Yüzey Merkezli Kübik (YMK) yapıdadır. Saf kobaltın mekanik özellikleri Çizelge 2.1'de gösterilmektedir. Kobaltın çekme sırasında elastik modülü 210 GPa'dır. Kobalt manyetik özellik, korozyon dayanımı, aşınma dayanımı, yüksek sıcaklık, biyo uyumluluk gerektiren yerlerde kullanılabilir (Metals Handbook, 1990).

Çizelge 2.1. Saf kobaltın mekanik özellikleri (Metals Handbook, 1990)

Form - % Saflık	Çekme Mukavemeti		Akma Mukavemeti	
	MPa	ksi	MPa	ksi
Döküm - % 99,9	290	42	235	34
Yaşlandırılmış- %99,9	385	56	255	37
Preslenmiş- % 99,9	-	-	690	100

2.1.1. Kobalt alaşımları

Kobalt esaslı alaşımlar genel olarak 650-1150 °C sıcaklık aralığında kullanılır. Krom, Tungsten, Nikel, Molibden ve diğer elementlerin ilavesiyle mekanik özellikleri artırılır. Kobalt esaslı alaşımlar demir ve nikel esaslı alaşımlara göre daha yüksek ergime sıcaklığına sahiptirler. İçerisindeki yüksek krom içeriğinden dolayı kirli gaz atmosferinde, daha iyi yüksek sıcaklık korozyon direnci gösterirler. Kobalt esaslı alaşımlar daha iyi sıcak yorulma direnci ve kaynak kabiliyetine sahiptirler. "Stellite" olarak adlandırılan Co-Cr-W alaşımları yüksek aşınma direncine sahip olmakla birlikte yüksek sıcaklık aşınma ortamlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Stellite alaşımı döküm yöntemiyle şekillendirilebilmektedir.

Kobalt alaşımlarından Co-Cr-Mo alaşımı döküm yöntemiyle şekillendirilebilir. Co-Cr-Ni-Mo alaşımı ise sıcak haddeleme yöntemi ile şekillendirilebilir. Döküm Co-Cr-Mo alaşımı dişçilik alanında ve suni eklem yapımında kullanılmaktadır. Co-Cr-Ni-Mo alaşımı ise yükün fazla olduğu bacak ve kol eklemlerinde kullanılmaktadır (Şap, 2010). Çizelge 2.2'de alaşımlarının kimyasal bileşimi (ASTM F-75, 2012) ve Çizelge 2.3'de F-75 standardının mekanik özellikleri verilmiştir (ASTM F-562, 2012).

Çizelge 2.2. Cerrahi Co esaslı ASTM standartlarının kimyasal kompozisyonu (ASTM F-75, 2012)

Co-Cr-Mo (F-75)			Co-Ni-Cr-Mo (F-562)	
	Ağırlıkça (%)		Ağırlıkça (%)	
Element	Min.	Mak.	Min.	Mak.
Cr	27	30	19	21
Mo	5	7	9	10,5
Ni	-	0,50	33	37
Fe	-	0,75	-	1
C	-	0,35	-	0,025
Si	-	1	-	0,15
Mn	-	1	-	0,15
W	-	0,20	-	-
P	-	0,02	-	0,015
S	-	0,25	-	0,01
N	-	0,25	-	-
Al	-	0,10	-	-
Ti	-	0,10	-	1
B	-	0,010	-	0,015
Co	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan

Çizelge 2.3. Cerrahi Co esaslı ASTM F-75 standardının mekanik özellikleri (ASTM F-75, 2012)

Kopma Mukavemeti (min.) (Mpa)	655
Akma Mukavemeti (%0,2)(min.) (Mpa)	450
Uzama (min.) (%)	8
Alan (Kesit) daralması (min.) (%)	8

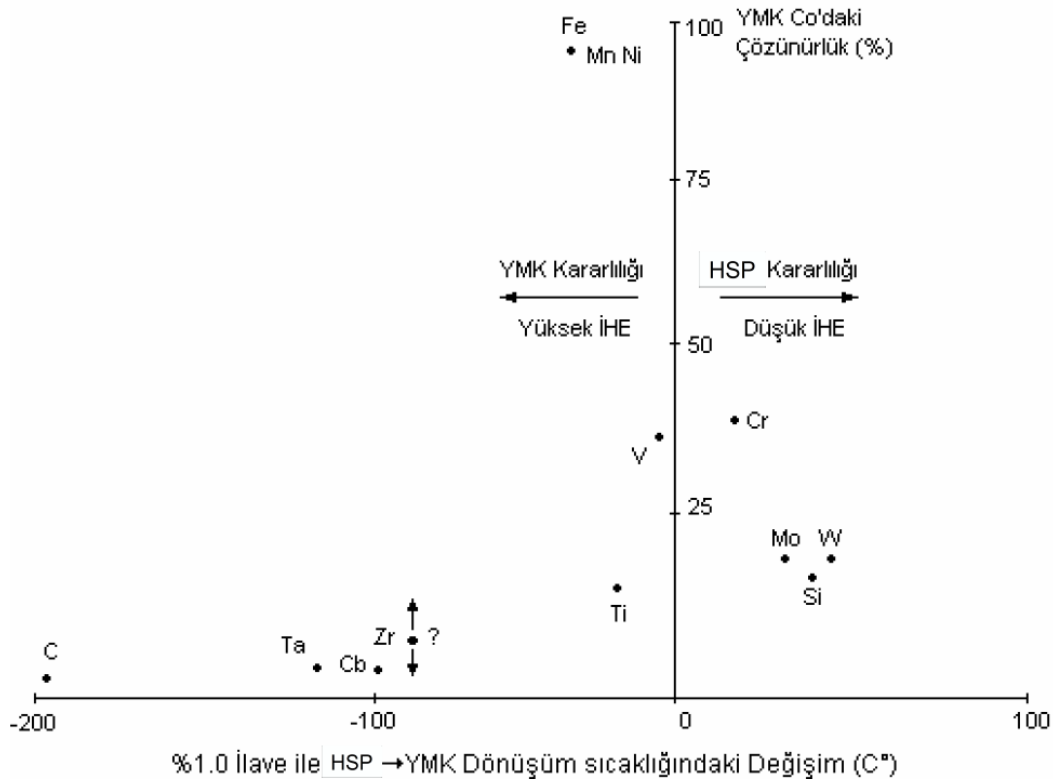
ASTM F-75 alaşımı ortopedik ve dental implantların yanı sıra yaygın olarak yakıt nozüllerinde ve gaz türbinlerinde de kullanılmaktadır (ASTM F75 CoCr Alloy, Arcam EBM System).

2.1.2. Kobalt alaşım fazları

Kobalt esaslı alaşımlar karmaşık intermetalik fazlara ve alaşım elementleri miktarlarına bağlı olarak ana matriste farklı kristallografik yapılara sahiptir. İyi dizayn edilmiş kobalt esaslı süperalaşımlarda ana matris γ olarak adlandırılan, sürekli YMK yapı ve çok az miktarda ϵ olarak adlandırılan HSP yapıda çökelti fazı ve bir veya daha fazla tipte karbür fazları ($M_{23}C_6$, M_7C_3) gibi bileşenlerden oluşmaktadır.

Saf kobalt yüksek sıcaklıktaki γ (YMK) östenitik yapıdan, düşük sıcaklıktaki ϵ (HSP) yapıya 417°C 'de bir allotropik faz dönüşümü gösterir. Soğuma sırasında, YMK yapıdan HSP yapıya dönüşüm 390 °C' de (M_s sıcaklığı) meydana gelir. Isıtma sırasında 430 °C de (A_s sıcaklığı) YMK yapıya dönüşüme neden olur. HSP yapının oluşumunun derecesi alaşım elementlerine ve başlangıç malzemelerinin tane boyutuna bağlıdır. İnce tane boyutu ve yüksek impürite miktarı dönüşümü engeller. Ancak, soğuk işlem dönüşümün tamamlanmasını sağlamaktadır (Sims. ve diğerleri, 1987).

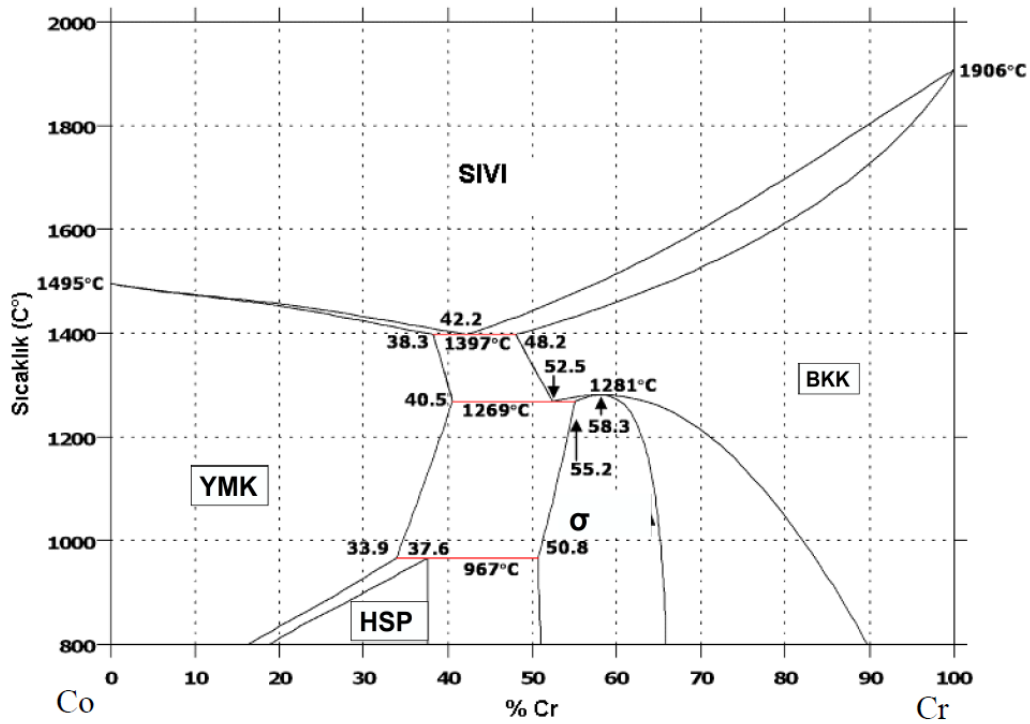
Kobalt alaşımına elementlerin ilavesi HSP ve YMK yapıların termodinamik kararlılığını azaltarak veya arttırarak dönüşüm sıcaklıklarını değiştirir. Bu elementler M_s ve A_s sıcaklıklarını da etkileyerek martenzitik dönüşümü de etkilerler. Örneğin, yaklaşık % 20 (Ağ.) W içeren Co-W alaşımlarında, artan tungsten içeriğinin M_s sıcaklığını oda sıcaklığına düşürdüğü fakat % 1 (Ağ.) Tungsten ilavesinin M_s sıcaklığını 75 °C kadar arttırdığı da bilinmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda % 9,6 (Ağ.) W içeren döküm Co-W alaşımı 1260 °C da 15 saatlik ısıl işlem sonrası ve oda sıcaklığına suyla soğutulmuş ve alaşımın içerisinde büyük oranda YMK Kobalt ve Tungstenin M_s sıcaklığını düşürdüğünü gösteren küçük bir oranda HSP kobalt bulunmuştur. Şekil 2.1'de dönüşüm sıcaklığına her bir elementin % 1 ilavesinin etkisi ve çözünürlük ilişkisi verilmiştir (Sims. ve diğerleri, 1987).



Şekil 2.1. Kobalt elementinin HSP—YMK dönüşüm sıcaklığına alaşım elementlerinin etkisi (Sims. ve diğerleri, 1987)

Nikel, demir, manganez ve karbon YMK yapıyı kararlı hala getiren elementlerdir. Fakat korozyon direnci ve mukavemeti arttırmak için ilave edilen krom ve tungsten HSP yapıyı kararlı hala getiren elementlerdir.

YMK yapıdaki malzemelerde tam bir dislokasyon iki kısmi dislokasyona ayrılabilir. İki kısmi dislokasyon arasında HSP yapıda, üç atom tabakası kalınlığında bir hatalı bölge oluşur. Kısmi dislokasyonlarda parçalanmanın büyüklüğü, azalan dislokasyon enerjileriyle denge dışı HSP yapının varlığından kaynaklanan enerji artışı arasındaki bir dengedir. İstif hataları, katı eriyik mukavemetlenmesinde oldukça önemlidir. Kısmi dislokasyonları birlikte hareket ettirmek için gerilme belli bir değere ulaşmıncaya kadar kayma olmaz. Bu sebepten dolayı, yüksek istif hatasına sahip olan alaşımlar yüksek mukavemete sahiptirler. İstif hatasının miktarı alaşımın kimyasal bileşimine, sıcaklığına, uygulanan gerilime veya deformasyon oranına bağlıdır. Krom elementinin YMK ve HSP yapıdaki kobalt içerisindeki çözünürlüğü çok yüksektir (Sims. ve diğerleri, 1987). Şekil 2.2'de kobalt-krom ikili sisteminin faz diyagramını görülmektedir.



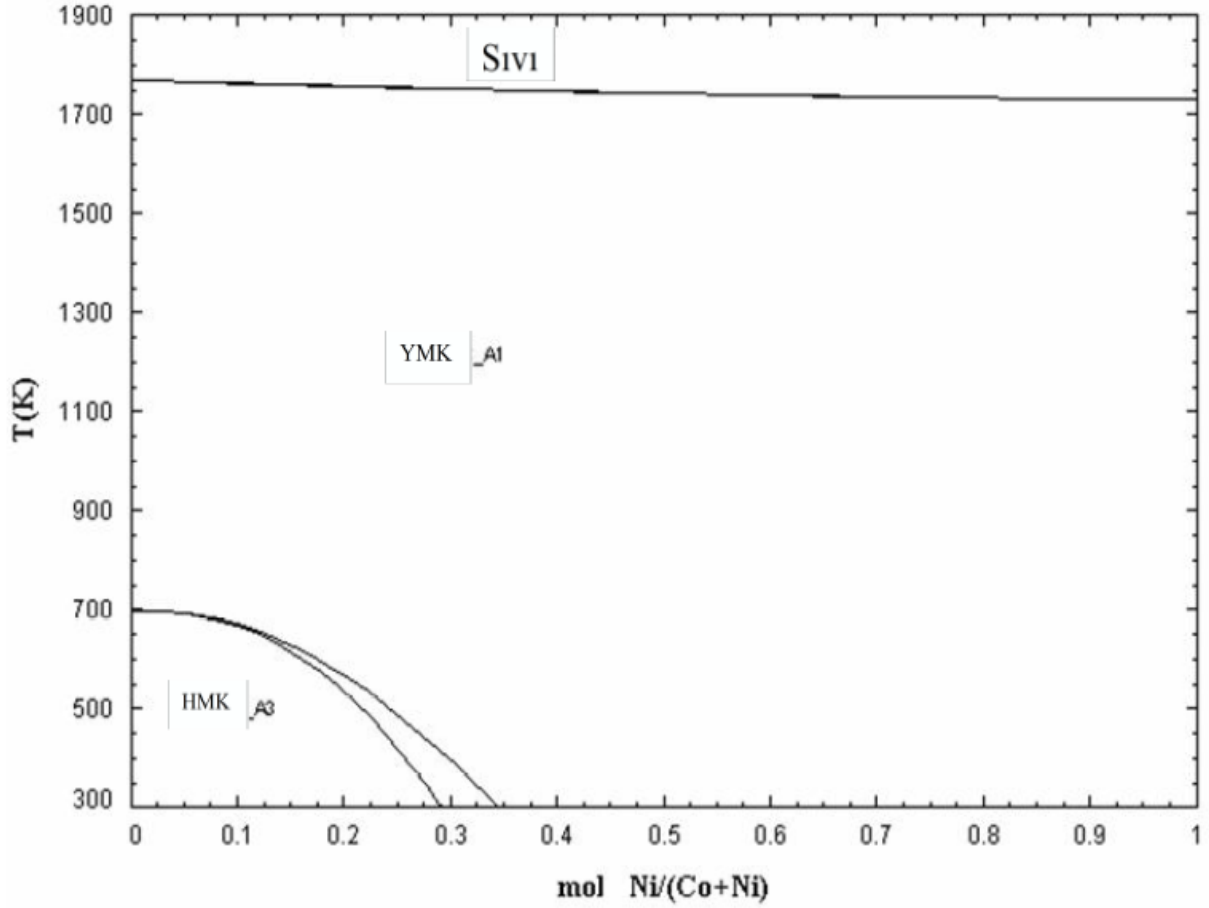
Şekil 2.2. Kobalt-krom faz diyagramı (Metals Handbook,1973)

Kromun kobalt içerisindeki çözünürlüğünün yüksek olmasından dolayı Co-Cr alaşımlarında istif hatalarının kolaylıkla oluşur. % 20-30 (Ağ.) Cr aralığında kararlı olan fazlar, HSP (ϵ) ve σ fazlarıdır. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda YMK yapıdan bu fazların oluşumu oldukça yavaştır ve genel yapı uzun süreli tavlama hariç hala YMK yapıdadır (Brooks, 1990).

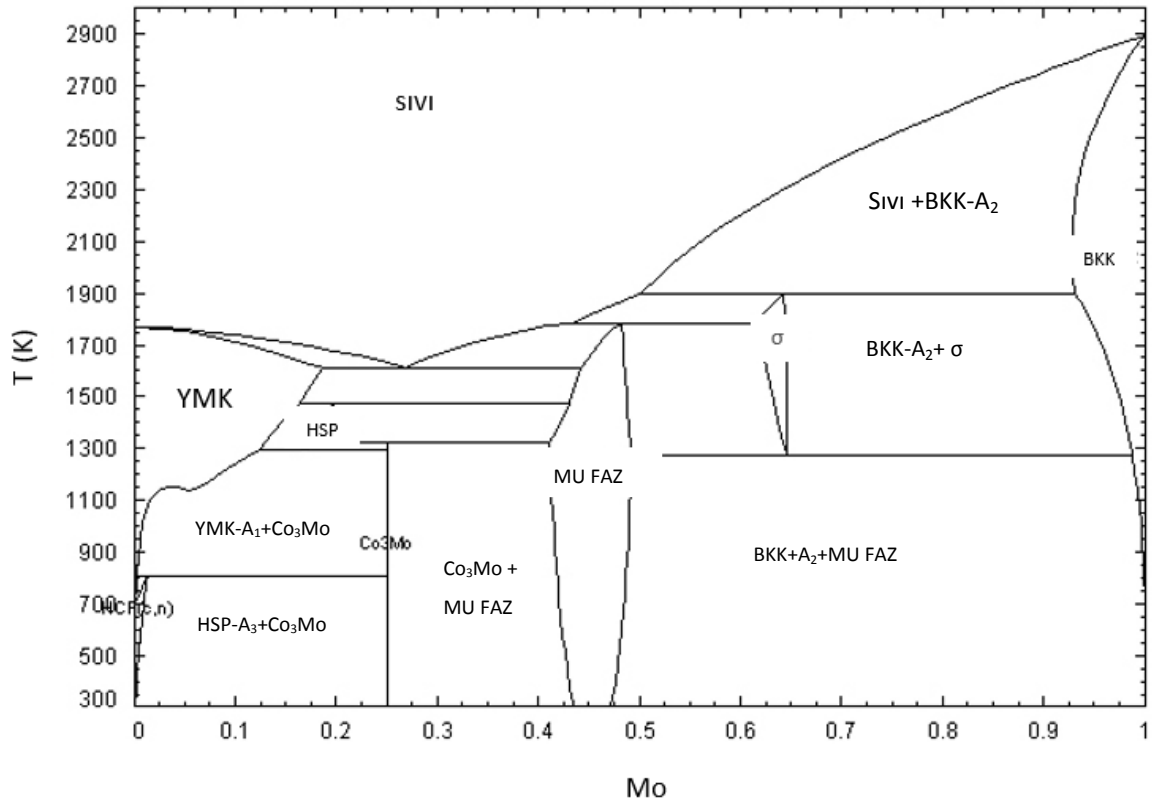
Nikel elementi YMK yapıyı kararlı hale getirirken, istif hatası enerjisini de artırır. Kobalt içerisindeki çözünürlükleri oldukça yüksek olan nikel ve demir elementi istif hatası enerjisini çok fazla etkilememelerine rağmen oldukça önemli rol oynarlar. Nb elementi ise istif hatası oluşumunda çok büyük bir etkiye sahip olmasına rağmen çözünürlüğü çok düşük olduğu için etkisi önemsizdir. Co, Ni, Cr, Mo alaşımlarında deformasyonla YMK–HSP yapı dönüşümü, oda sıcaklığında istif hatası $10-15 \text{ mJ/m}^2$ olduğunda görülmüştür. İstif hatası enerjisi $20-50 \text{ mJ/m}^2$ arasında ise deformasyon YMK allotropun ikizlenmesi ile kontrol edilmektedir (Zhuank, 1989).

Karbür çökmesinde istif hataları çekirdek olarak görev yapar. Bu sebepten dolayı, tavlama sırasında sürünme ve çekme mukavemetini büyük oranda arttıran ince karbür çökeltileri oluşturulabilir (Brooks, 1990).

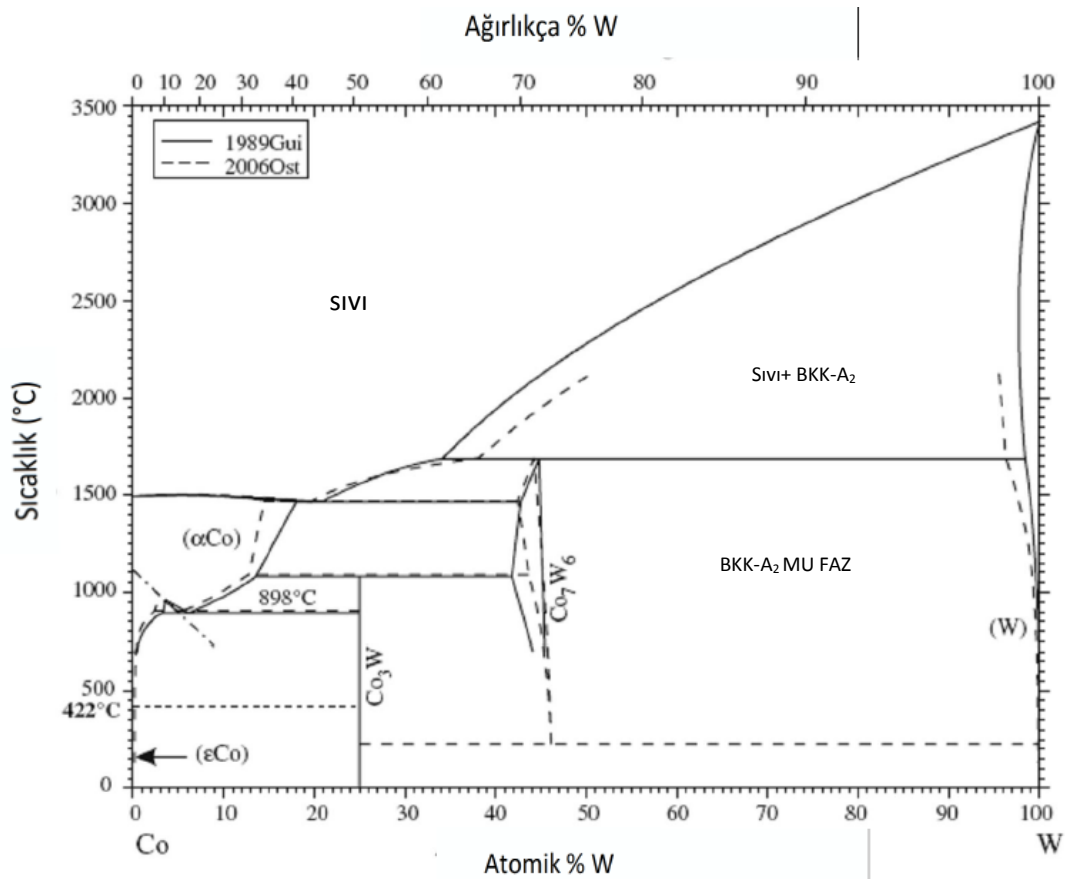
Şekil 2.3 Şekil 2.4 ve 2.5'te Co-X ikili denge diyagramları ve Şekil 2.6'da Co-Cr-Mo üçlü denge (ternary) diyagramları görülmektedir. Şekillerin kobaltça zengin bölümler incelendiğinde yüksek sıcaklıklarda YMK, oda sıcaklığında HSP yapının kararlı olduğu görülmektedir.



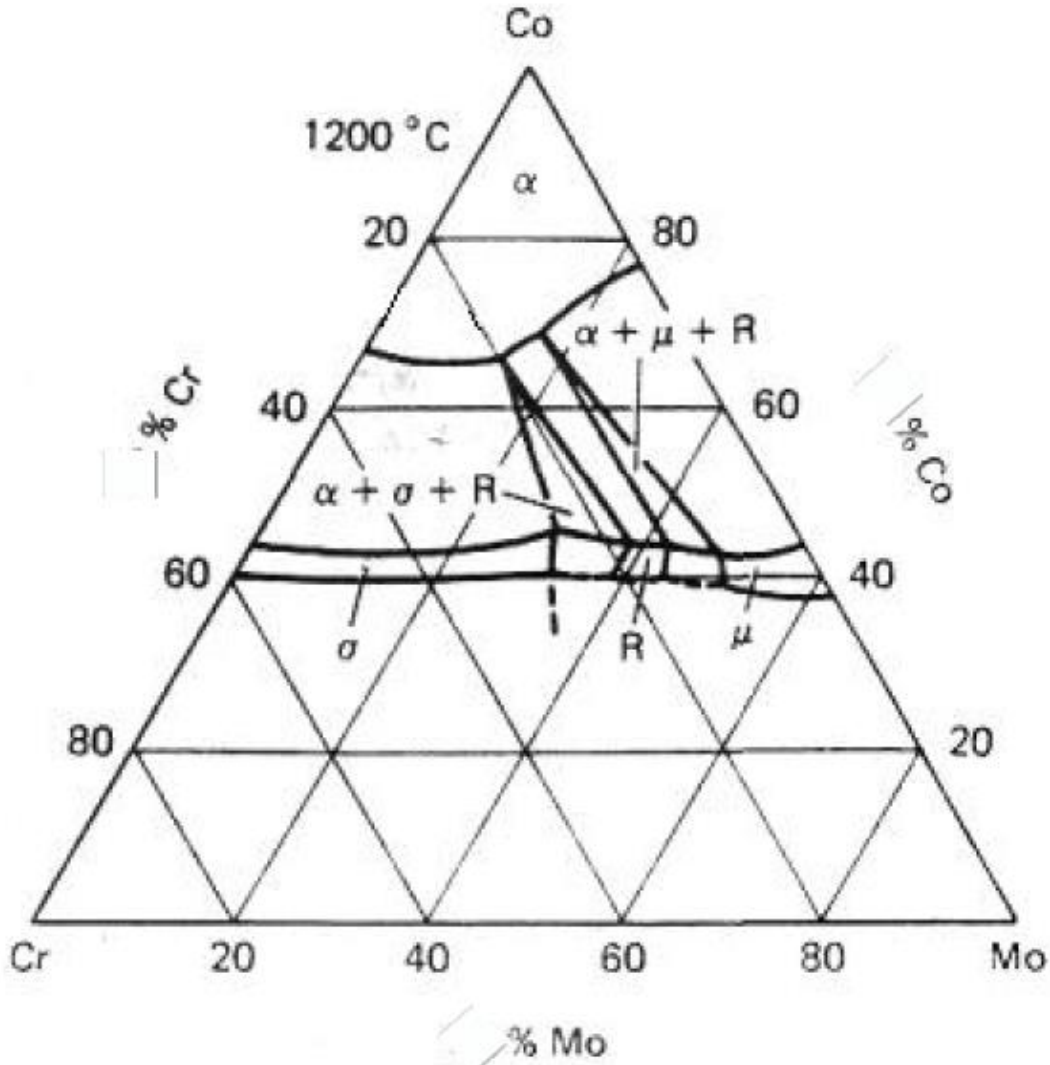
Şekil 2.3. Co-Ni ikili denge diyagramı (Metals Handbook,1980)



Şekil 2.4. Co-Mo ikili denge diyagramı (Metals Handbook,1980)



Şekil 2.5. Co-W ikili denge diyagramı (Metals Handbook,1980)



Şekil 2.6. Co-Cr-Mo Üçlü denge diyagramı (Metals Handbook,1980)

Sürekli sıcaklık çevriminde kullanılacak ve çok hassas toleranslı döküm ve dövme kobalt esaslı süperalaşımların hacimsel ve geometrik farklılıklardan dolayı işlevini kaybedeceği düşünülebilir. Bu sebepten dolayı kobalt alaşımlarının, bütün sıcaklıklarda, matris fazın YMK yapıda olması ve hiç bir dönüşüm olmayacak şekilde dizayn edilmelidir.

Eğer sıkı paketlenmiş atomların tabakaları sıkıştırılmış büyük atomlarla birinden diğerine değişiyorsa, bu yapı topolojik sıkı paketlenmiş (TSP) yapıdır; tam tersine, geometrik sıkı paket yapı bütün yönlerde sıkı paketlenmiştir (Şap, 2010).

2.2. Kobalt Alaşımlarında Mukavemetlendirme Mekanizmaları

Dislokasyon sayısı ve hareketleri ile metallerde akma dayanımı kontrol edilir. Malzemenin akma dayanımını arttırmak için, dislokasyon hareketleri kısıtlanmalıdır. Kısıtlanma, harekete karşı iç gerilim oluşturarak veya dislokasyon hareket düzlemine partiküller yerleştirerek, bağ oluşumu veya partikülleri kesmesiyle sağlanır. Çok sayıda alaşım elementi içeren süperalaşımlar dislokasyon hareketlerinin kısıtlanması, katı eriyik mukavemetlenmesi, çökelme mukavemetlenmesi veya tane sınırı mukavemetlenmesi işlemleri ile gerçekleşir (Bahadır, 2010).

2.2.1. Katı eriyik mukavemetlenmesi

Kobalt alaşımlarında ana alaşım elementi olan krom elementinin % 20-30 (Ağ.) ilavesi çeliklerde olduğu gibi, oksidasyon, yüksek sıcaklık korozyon direnci ve katı eriyik sertleşmesini sağlar. Dövme ve döküm kobalt esaslı alaşımlarda tungsten ve molibden ilavesi gibi refrakter elementler katı eriyik sertleşmesini sağlar. Konvansiyonel alaşımlarda tungsten elementinin ilavesi tercih edilir. FSX-414 ve MM-509 gibi alaşımlarda tungsten yerine molibden ilavesinin, mukavemette bir düşüş olmadan yüksek sıcaklık çekme ve kopma sünekliğini arttırdığı gözlenmiştir (Sims ve diğerleri, 1987).

Kobalt esaslı alaşımlarda kobalt ve çözelti atomu arasındaki atom çapı farkı katı çözelti mukavemetlendirme konusunda fikir verebilir. Bu durumun Cr, Nb, W, Ta ve Mo elementleri için uygulanabilirliği Çizelge 2.4' te görülmektedir. Çizelge 2.4'te de görüldüğü gibi W ve Mo elementlerinin alaşıma iyi özellikler kazandıracağı görülmektedir (Şap, 2010)

Çizelge 2.4. Bazı metallerin Co ve Co-30Cr alaşımlarındaki atom çapı farklılıklarına göre yaklaşık çeşitli çözünürlük dereceleri (Brooks, 1982)

Çözünen	Yaklaşık atom çap farkı, % (dCo - dM)/dCo	1000 °C Co da Yaklaşık çözünürlük, % ağı.	1200°C da Co-30Cr alaşımında yaklaşık çözünürlük % ağı.
Krom	-0,1	35	-
Nikel	+0,2	100	100
Demir	+0,6	100	30
Manganez	+10	76	-
Tungsten*	-10	25	15(25°C de)
Tantalyum*	-15	12	-
Molibden*	-9	20	100
Niobyum*	-15	3	-
Titanyum	-17	8	-
Alüminyum	-15	6	-
Karbon	-40	0,3	0,3

(*) işaretli elementler en büyük atom çap farkına ve en yüksek çözünürlüğe sahiptirler. Aynı zamanda kuvvetli mukavemet kazandırıcı elementlerdir.

2.2.2. Çökelti mukavemetlenmesi

Kobalt esaslı alaşımlarda karbürle sertleştirme, önemli derecede bir çökelti sertleştirme mekanizması gösterdiği için karbon ilavesine dikkat edilmelidir. Çünkü karbonun % 0,3-0,6 (Ağı.) aralığında ilavesi mukavemette lineer olmayan bir artış gösterdiğinden mukavemetteki artışın tersine süneklik azalır. Daha da önemlisi 650-927 °C sıcaklık aralığındaki servis koşullarında ikincil karbür çökmesiyle karbürlerde süneklik daha da düşecektir. Kobalt krom ikili sisteminde % 58 (Ağı.) krom oranında kararlı bir sigma (σ) fazı meydana getirdiğinden, daha yüksek krom seviyeleri istenmez. Molibden ilavesi ise solidüs ve likidüs sıcaklıklarını çok küçük oranlarda azaltır, karbür morfolojisini değiştiren toplam katılma sıcaklığını artırır ve ek ötektik karbürleri meydana getirir (Sims ve diğerleri, 1987, Şap, 2010).

Çizelge 2.5'te ve Çizelge 2.6'da Co esaslı süperalaşımlara eklenen alaşım elementlerin etkisi gösterilmektedir.

Çizelge 2.5. Co esaslı süperalaşımlara alaşım elementlerin etkisi (Superalloys Source Book, 1984:4)

Element	Co esaslı alaşımda % oranı	Etki
Cr	19-30	Oksidasyon ve korozyon direnci sağlar. Karbür oluşturunucudur. Çözelti sertleştiricidir.
Mo, W	0-11	Karbür oluşturunucudur. Çözelti sertleştiricidir.
Al	0- 4,5	Oksidasyon direnci sağlar. Çökelti sertleştiricidir.
Ti	0-4	Karbür oluşturunucudur. Çökelti sertleştiricidir.
Co	-	Çökeltilerin miktarını etkiler.
Ni	0-22	Östenit (YMK) kararlaştırıcıdır.
Cb (Nb)	0-4	Karbür oluşturunucudur. Çözelti sertleştiricidir.
Ta	0-9	Karbür oluşturunucudur. Çözelti sertleştiricidir. Oksidasyon direnci sağlar.
B, Zr	?	Tane sınırı morfolojisi değişkenleri tarafından sürünme-kopma özelliklerini arttırıcılar.

Çizelge 2.6. Co esaslı süperalaşımlara alaşım elementlerin etkisi (Bahadır, 2010)

Element Etkileri	Co-Esaslı
Katı- Eriyik Mukavemetlendiriciler	Nb, Cr, Mo, Ni, W, Ta
YMK matris stabilize ediciler	Ni
Karbür şekilleri; MC tipi M ₇ C ₃ tipi M ₂₃ C ₆ tipi M ₆ C tipi Karbonitritler; M(CN) tipi	Ti Cr Cr Mo, W C, N
Sertleşme çökelticiler ve/veya interetalikler	Al, Mo, W, Ta
Oksidasyon direnci	Al, Cr, Ta
Sıcak korozyon direnci geliştiriciler	La, Y, Th
Sülfidasyon direnci	Cr
Tane sınırı morfolojisi değişkenleri tarafından sürünme-kopma özelliklerini arttırıcılar	B, Zr

Nitrür ve karbonitrürlerle yapılan sertleştirmede daha az bir mukavemetlendirme elde edilir. Bu malzemeler genellikle termodinamik olarak karbürlerden daha az kararlıdır ve servis koşullarında bozulabilirler.

Co-28Cr-6Mo-0.7Mn-0.5Si-0.5C bileşimindeki referans alaşımına Mn, V ve Ti elementlerinin etkisini incelemiştir. Sonuç olarak; referans alaşımın sertliğini bir miktar düşürerek malzemeye süneklik ve tokluk kazandırabilmek için 1,3 Mn, % 0,7-2 % Ti, % 0,7 V ilave edilebileceği sonucuna ulaşmıştır (Şap, 2010).

Mori, Yamanaka, Matsumoto, Chiba (2010), Co-29Cr-6Mo alaşımına farklı kimyasal oranlarda (0,009/0,04/0,08/0,17) N ekleyerek alaşımı vakum indüksiyon ocağında ergitme ve ardından ısı işlem ve soğuk haddeme işlemleri uygulanmıştır. Sonuç olarak Vickers sertliğinin azotun eklenmesiyle arttığını, Cr₂N tozu olarak eklenen N, Ni in yerine geçerek Ni in toksikliğini azalttığını, N' un az miktarda eklenmesi (% 0,17 optimum değer) alaşıma tane incelticinin katılması ve atermal dönüşüm ile soğuk haddelenebilirlik değerinin arttığını gözlemlemiştir.

Yamanaka, Mori, Chiba (2014), ASTM F-75 alaşımına N'un etkisini araştırmıştır. Ar atmosferi altında indüksiyon ocağında farklı N bileşimine sahip alaşımların döküm işlemini gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu döküm alaşımlarına sırasıyla ısı işlem, sıcak haddeme, su verme, ısı işlem, su verme işlemlerini uygulamıştır. Sonuç olarak alaşımdaki N miktarının artmasıyla atermal ε (HSP) martenzit fazının hacimsel oranının azaldığı gözlenmiştir. % 0,10' dan fazla N içeren numunelerde tamamen γ (YMK) matris yapısının oluştuğunu, % 0,05 den fazla N içeren numunelerin akma dayanımının yavaşça arttırdığı tespit edilmiştir. N eklenmesi; γ matrisinde nano boyutlu çökeltilerin oluşmasını sağladığı için Co-29Cr-6Mo alaşımının dayanımını önemli derecede arttırdığı, en iyi deforme edilebilirlik $\gamma \rightarrow \varepsilon$ martenzit dönüşümünün engellenerek elde edildiği bulunmuştur. N nin çok fazla eklenmesi deformasyon sertleşmesini azaltacağını bu da gerilme sünekliğinin azalmasına sebep olacağı gözlenmiştir.

Alfirano ve diğerleri (2012), ASTM F-75 alaşımına Si ve / veya Mn ekleyerek Ar atmosferinde indüksiyon ocağı ile bakır metal kalıplara döküm işlemi gerçekleştirmiş ve daha sonra elektrik fırınında farklı sıcaklıklarda ve farklı akış miktarındaki Ar atmosferinde ısı işlemine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak Si' un ilavesi çökeltilerin

çözünmesi için gerekli süreyi uzatırken Mn' in ilavesi süreyi kısalttığını, artan ısı işlem sıcaklıkları ile karbürlerin morfolojisi “blok” halden “starlike” şekline dönüştüğünü gözlemlemiştir.

Yoda ve diğerleri (2012), Co-Cr-Mo alaşımına farklı kimyasal oranlarda Cr (% 20-33) ve N(% 0,001-0,29) ekleyerek indüksiyon ocağı altında döküm işlemini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak Co-33Cr-5Mo-0.29N kimyasal bileşimine sahip alaşım; kopma mukavemeti, % uzama, zorlama gerilimi bakımından ISO 22674 (Dental sabit ve sabit olmayan restorasyonlar için metalik malzemeler) standart şartlarını sağladığını tespit etmişlerdir.

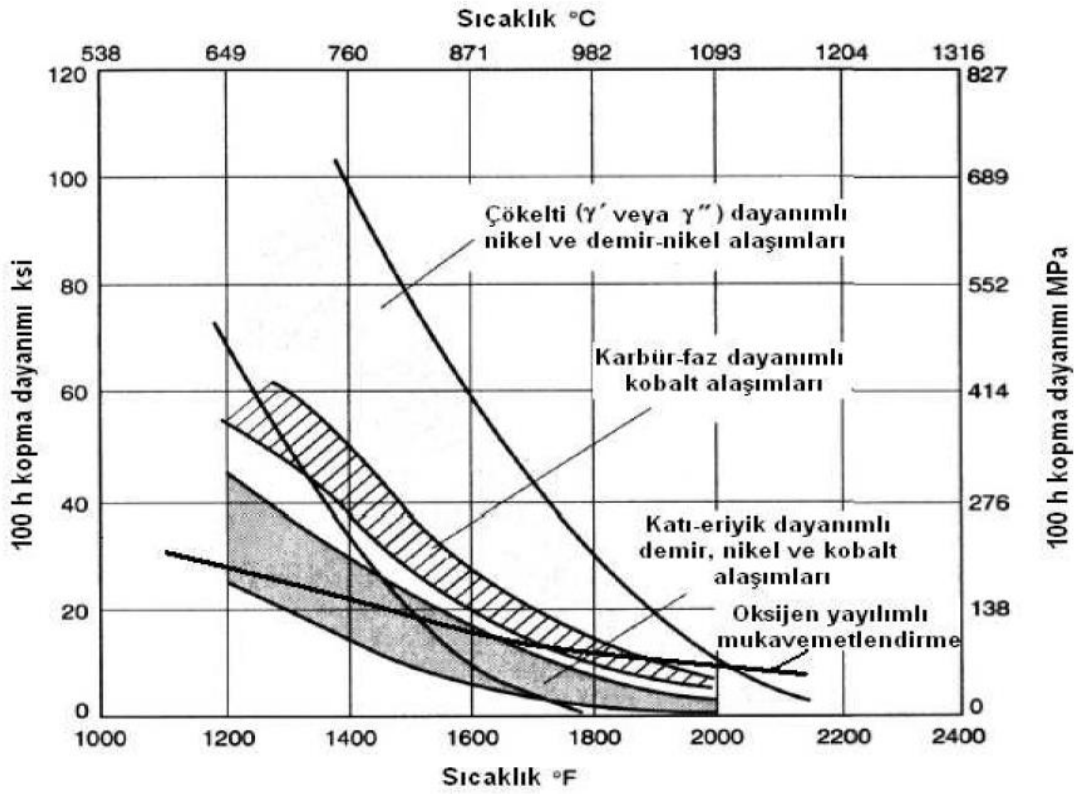
Gültekin ve Bütün (1995) ASTM F-75 alaşımını vakum indüksiyon ocağında hassas döküm yöntemiyle kalça implant üretilmesini incelemiştir. Sonuç olarak W sünekliği Mo'den daha fazla düşürdüğünü gözlemlemiştir.

Giacchi, Morando, Fornaro, Palacio (2010), Cr ve W elementlerinin Yüzey Merkezli Kübik (YMK) yapıya dönüşüm için gerekli sıcaklığı yükselttiğini gözlemlemiştir.

Ramirez-Vidaurre, Castro-Roman, Herrera-Trejo, Garcia-Lopez, Almanza-Casas (2008) ASTM F-75 alaşımında % C oranı arttıkça blok karbürlerin ve ötektoid yapı oranının arttığını gözlemiştir. Fakat blok karbür % C oranına bağlı olarak oransal bir şekilde artarken, ötektoid yapı aynı oransal artışı göstermemektedir. Soğuma hızının artması karbürlerdeki boyutun azaldığını, σ fazının 1199-1207°C sıcaklıkları arasında ve katılaşmanın başladığı zamanlarda gözlemlemiştir.

Nb ilavesi süperalaşımlarda yararlı olduğu kadar zararlıda olabilmektedir. Niyobyum ilavesi sertleşmeyi desteklerken, yaşlandırma sırasında, ana sertleştirme fazı olan γ'' fazı termodinamik açıdan daha kararlı olan δ fazına dönüşebilmektedir. Süperalaşımlarda δ fazının bulunması γ' ve γ'' fazlarının miktarını azaltmakta, ayrıca malzemenin akma dayanımını düşürmektedir. δ fazının çökeldiği noktalarda boşlukların oluşması ve büyümesi neticesinde, düşük çevrim yorulması ve yorulma dayanımını düşürmektedir.

Süperalaşımların mukavemetlendirme mekanizmaları (Şekil 2.7) süperalaşımların sertlik, dayanım, ergime noktası, kopma dayanımı gibi özelliklerini etkiler (Bahadır, 2010).



Şekil 2.7. Mukavemet arttırma mekanizmalarının süperalaşım lar üzerindeki etkisi (Bahadır, 2010)

2.2.3. Tane sınırı mukavemetlenmesi

Döküm kobalt alaşımlarında süneklığı ve kopma mukavemetini arttırmak için bor ilave edilir. Bor tane sınırlarında bir segregasyon eğilimi göstererek tane sınırı enerjisini azaltır ve yüksek sıcaklık direncini artırır. Opiekun ve Sci (1991) HS-25 alaşımı 900 °C de 1000 saatlik çalışma koşullarında 70 MPa'lık bir sürünme mukavemetine sahiptir. Bu alaşıma % 0,01 bor ilave edildiğinde aynı şartlarda sürünme mukavemeti 95 MPa' a arttığını gözlemişlerdir.

Mekanik özelliklerin belirlenmesinde tane sınırları etkilidir. Süperalaşım larında, çatlaklar tane sınırları boyunca yayılma eğiliminde olduklarından mekanik özelliklerin düşmesine sebep olurlar. Tane sınırının zayıflığını engellemek amacıyla alaşım elementi ilavesi yapılması gereklidir. Tane sınırı karbürlerinin süneklığıe zararlı etkisi mevcuttur. Fakat, tane sınırı karbürleri genel mekanik özellikler üzerinde olumlu etkileri de mevcuttur. Örneğin tane sınırları karbürleri, yüksek sıcaklıklarda kopma dayanımını, matrisden tepkili

elementlerin giderilmesiyle sünekliği ve kimyasal kararlılığı arttırmalar. Bazı araştırmacılara göre, karbürler nikel esaslı süperalaşımlarda tane sınırında çökelirken, kobalt ve demir esaslı alaşımlarda taneler arasında çökelir (Bahadır, 2010).

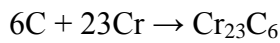
2.2.4. Karbürler

Kübik ve koherant olmayan karbürler, kobalt esaslı süperalaşımların mekanik özelliklerini iyileştirirler. Kobalt esaslı süperalaşımların karbon içeriği demir ve nikel esaslı alaşımlardan daha yüksektir. Çizelge 2.7’de demir ve nikel esaslı alaşımlar ile kobalt esaslı alaşımlardaki karbon içeriğinin genel içerikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.7. Demir ve Nikel esaslı alaşımlar ile Kobalt esaslı alaşımlardaki karbon içerikleri (Bahadır, 2010).

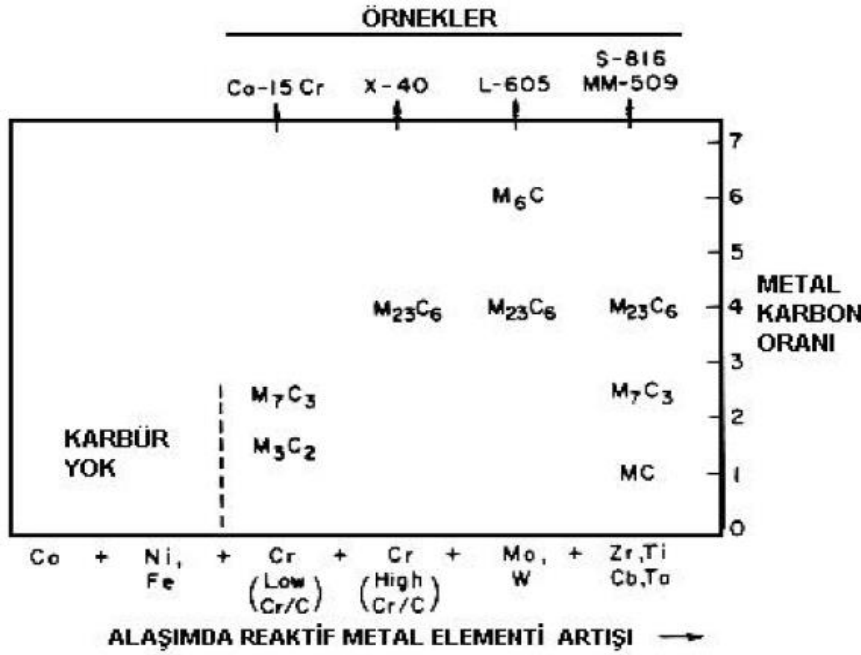
Malzeme	% C (Ağ.)
Östenitik Paslanmaz Çelik	0,02-0,20
Nikel Esaslı Süperalaşım (Döküm)	0,05-0,20
Kobalt Esaslı Süperalaşım (Döküm)	0,25-1,0

Kobalt esaslı alaşımlarda en yaygın karbür olan $M_{23}C_6$ karbürünün oluşumunu Cr elementi, Zr, Ti, Nb ve Ta ilavesi ise M_7C_3 ve MC (TaC gibi) tipi karbürlerin oluşumunu, Mo ve W ilavesi M_6C tipi karbür oluşumunu sağlar. Co elementi ana matris olarak görev yapar, karbür oluşturmaz, Şekil 2.8. Diğer kromca zengin karbürler M_3C_2 , M_7C_3 ve $M_{23}C_5$ tipindeki karbürlerdir. M_3C_2 ortorombik yapıdadır ve kromla peritektik reaksiyon yapar, M_7C_3 ise trigonal yapıdadır ve bu iki karbür tipinde düşük krom-karbon oranlarında meydana gelir. Kobalt esaslı alaşımlarda krom içeriği genellikle yüksek olduğundan (Örneğin, % 20’den büyük) M_7C_3 ve M_3C_2 nadiren bulunur. Ancak, liküdü sıcaklığından yavaş soğutma sonucunda, MAR- M 509 alaşımında M_7C_3 bulunmuştur. M_7C_3 den $M_{23}C_6$ ‘ya ayrışma reaksiyonu, aşağıdaki reaksiyonlar gereğince kuvvetli ikincil karbür sertleşmesini meydana getirir.



M_7C_3 ve M_3C_2 karbürleri yaşlandırma sonucunda çözünürler. Alaşım için gerekli bir karbür dağılımı ısı işlem ile gerçekleşir. Fazla miktarda karbürden (C içeriğinin sınırlandırılması

gibi) ve sürekli veya yarı sürekli karbürler dağıtılarak süneklik sağlanır. Hassas döküm alaşımları için katılma sırasında $M_{23}C_6$ birincil çökelti olarak meydana gelir ve $M_{23}C_6$ ikincil dendrit kolları arasında dendritler arası çökelti olarak bulunur ve soğuyan son fazdır (Şap, 2010).



Şekil 2.8. C oranı % 0,1-0,6 arası Co-esaslı alaşımlarda genellikle bulunan karbür türlerine kimyasal bileşimin etkisi (Şap, 2010)

Giacchi ve diğerleri (2010) $M_{23}C_6$ nın perlit şeklinde oluşması için dakikada 35°C den daha yavaş soğutulması ve katılmanın 990°C 'nin altında tamamlanması gerektiğini gözlemlemiştir.

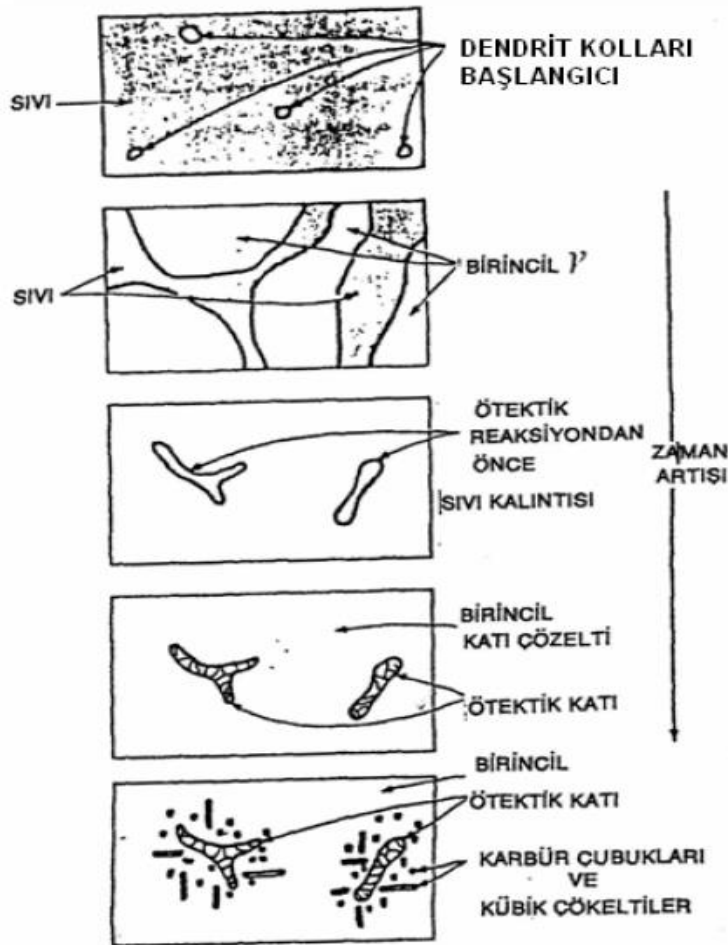
Alfirano ve diğerleri (2012), ASTM F-75 alaşımına Si ve / veya Mn ekleyerek, N atmosferi altında bakır kalıplara döküm işlemini gerçekleştirilmiştir. Sonra elektrik fırınlarında farklı sıcaklıklarda farklı tutma sürelerinde ısıtma işlemi uygulanmıştır. Sonuç olarak Si eklenmediğinde M_2X fazı tane sınırlarında lamelli yapı şeklinde oluştuğunu, M_2X fazı ötektoid reaksiyon ile oluştuğunu, yüksek ısıtma sıcaklıklarında N' un eklenmesi M_2X oluşumunu arttırdığını, N' un eklenmesi düşük ısıtma sıcaklıklarında da tutma süresini kısaltabilirken, yüksek sıcaklıklarda (1275°C 'de) tutma süresini uzatabildiği gözlemlemiştir.

Narushima, Mineta, Kurhara, Ueda (2013) yaptığı araştırmalar sonucunda implantlardaki çökeltilerin, mekanik, kimyasal ve biyolojik özellikleri geliştirmek amacıyla kimyasal kompozisyon ve termomekanik işlemler ile optimize edilerek ayarlanması gerektiği sonucuna varmıştır.

2.3. Kobalt Alaşımlarının Mikro Yapısı

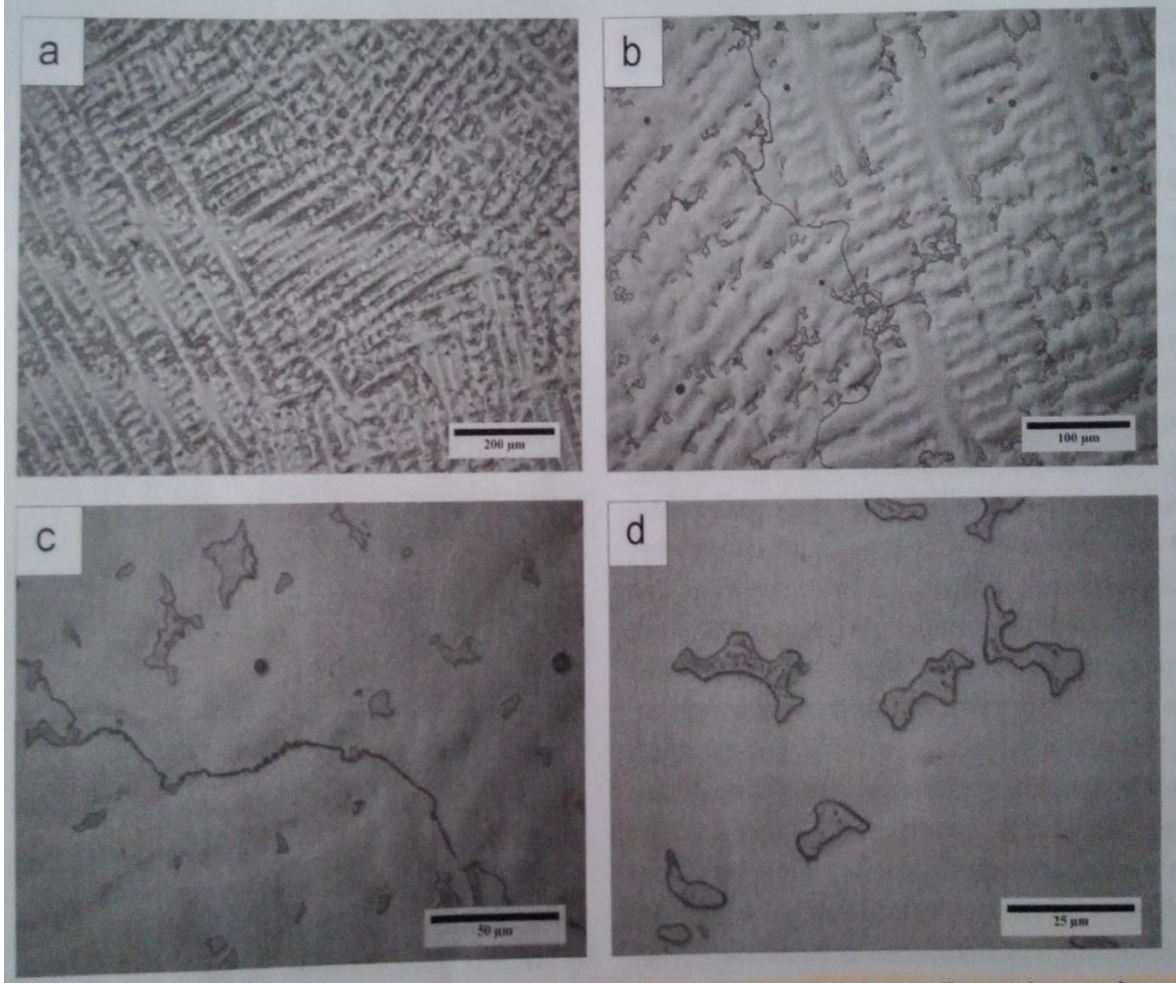
Alaşımların mikro yapısını kimyasal bileşim, kristallografik fazlar ve termomekanik işlemler etkiler. Bu işlemler mukavemet değerlerini oldukça etkiler.

Kobalt esaslı alaşımlarda sıvı metal soğumaya başladığında YMK matris (γ) sıvı içerisinde çökeler. Sıcaklık ötektik noktaya ulaştıktan sonra kobaltça zengin YMK faz ve $M_{23}C_6$ tipi karbürlerden meydana gelen iki fazlı mikro yapı oluşur. Resim 2.1’de kobalt esaslı X-45 alaşımının katılaşma aşamaları şematik olarak gösterilmiştir (Şap, 2010).



Resim 2.1. X-45 alaşımının katılaşma aşamaları (Şap, 2010)

Soğuyan son sıvı faz tane sınırlarında ve dendrit kolları arasında ince $M_{23}C_6$ psödoötektik (ötektik benzeri) karbürler meydana gelir. Ötektik yapı $M_{23}C_6$ ve γ matrisin arka arkaya sıralanmasıyla meydana getirilir. Resim 2.2’de ASTM F-75 alaşımına ait kobalt esaslı döküm alaşımına ait farklı büyütmelelerdeki mikro yapılar verilmiştir (Kaiser R., Williamson K., O’Brien C., Ramirez-Garcia S., Browne D.J., 2013).



Resim 2.2. ASTM F-75 alaşımına ait farklı büyütmelelerde hassas döküm mikro yapıları, a) 200 µm, b) 100 µm, c) 50 µm, d) 25 µm (Kaiser ve diğerleri, 2013)

2.4. Kobalt Alaşımlarının Biyouyumluluğu

Biyomalzeme canlılarda bozulan veya hasar gören fonksiyon ve organların onarımı için kullanılan biyouyumlu malzeme olarak tanımlanabilir. Biyomalzemeler vücuttaki sıvılarla sürekli temas halinde olduğundan biyomalzeme üretiminin her prosesi dikkatlice kontrol edilmelidir. Metaller yüksek mukavemetli bir yapıya sahip olduklarından ve kırılmadan

önce plastik deformasyona uğradıklarından biyomalzeme olarak çok sık kullanılırlar. Döküm Co-Cr-Mo alaşımı dişçilikte ve suni eklem yapımında kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikte olduğu gibi kobalt esaslı süperalaşımlarda da pasivasyon tabakası oluşturmak için krom gereklidir. Alaşım bu hali ile ortopedi ve travmatolojide uzun yıllar kullanılmıştır (Er, 2008).

2.5. Hassas Döküm

Hassas döküm yönteminde enjeksiyon yöntemiyle oluşturulan mum modelin etrafı seramik çamur ile kaplanır. Genel olarak model mumu veya plastikten hazırlanan mum model ergitilerek kalıp boşluğu oluşturulur ve kalıplar pişirildikten sonra oluşturulan kalıp boşluğuna ergimiş metal dökülür (Eşiyok, 2011).

Pattnaik, Karunakar, Jha (2012), yaptığı çalışmalar ile hurda mumlardan çok kaliteli ve ekonomik mumlar elde edilebileceğini, doğal fiberler ile seramik kabuk geliştirilebileceğini, mikro dalga veya infrared ışınları ile mum boşaltma işleminin etkili bir şekilde yapılabileceği sonucuna ulaşmıştır.

Hassas döküm genellikle küçük boyuttaki ve karmaşık parçaların dökümü için seçilmektedir. Hassas döküm yöntemi diğer tüm döküm yöntemlerinden daha maliyetli görünse de, parçanın küçük, alaşımının sert veya işlenmesinin zor olduğu ve hassas ölçülerde mükemmel yüzey istendiği durumlarda düşük maliyetli çözümler sunar. Hassas döküm ürünleri otomotiv, medikal, denizcilik, savunma, havacılık, tarım, tekstil, spor ekipmanları gibi birçok sektörde kullanılmaktadır (Eşiyok, 2011).

2.5.1. Hassas döküm yönteminin sınıflandırılması

Dökülen metalin türü, parça boyutları, istenen soğuma hızı gibi faktörlere bağlı olarak iki farklı hassas döküm yönteminden biri seçilir. Bu yöntemler;

- Dereceli Hassas Döküm Yöntemi (Solid Investment - Flask Investment)
- Seramik Kabuk Hassas Döküm Yöntemi (Shell Investment)

Bu yöntemler, mum model hazırlama tekniği açısından tamamen aynıdır. Seramik kabuk hassas döküm yönteminin farkı, modeller her zaman ön kaplama işlemine tabi tutulur, dereceli hassas döküm yönteminde ise modellere ön kaplama gerekliyse uygulanır.

2.5.2. Dereceli hassas döküm yöntemi

Bu hassas döküm yönteminde kalıp malzemesinin demir esaslılarda ve döküm sıcaklığı yüksek olan demir dışı alaşımlarda 1100 °C ye kadar bozulmadan dayanabilmesi gerekmektedir. Demir dışı alaşımlar için kullanılan alçı, demir esaslılar için uygun bağlayıcı veya refrakter malzeme olmayacaktır. Demir dışı alaşımlar için modelde ön kaplama yapılmaz iken, demir esaslılarda ön kaplama yapmak gerekmektedir. Mum model salkımı, 1000 °C' den daha yüksek sıcaklıklarda eriyen metallerin dökümü için önce refrakter çamura daldırılarak ön kaplama yapılır. Ön kaplama yapılmayan düşük sıcaklıkta eriyen metaller için model salkımı paslanmaz çelik bir derece içinde refrakter bir karışımla kalıplanır. Kalıplama masasına titreşim uygulanması ile kalıp harcının yerleşmesi ve modeli tümüyle sarması sağlanır. Kalıplar kaplamadan sonra ters çevrilir ve 95-150 °C sıcaklığa ısıtılarak eriyen mum dışarı akıtılır (Eşiyok, 2011).

2.5.3. Seramik kabuk hassas döküm yöntemi

Karbon çelikleri ve alaşımlı çeliklerle, paslanmaz çelikler ve ısıya dirençli alaşımların dökümünde seramik kabuk hassas döküm yöntemi kullanılır. Bu yöntemde modeller, bir sıvı içinde süspansiyon halinde bulunan seramik tozunun meydana getirdiği çamur içine daldırılır ve seramik kaplı ıslak yüzeye, seramik kumlar, bir akışkan yatak içinde veya başka bir yöntemle püskürtülerek yapıştırılır. Bu işlem yeterli kabuk kalınlığı elde edilinceye kadar devam eder. Başlangıçtaki kaplamaya "ön kaplama" adı verilir ve genellikle çok ince öğütülmüş tanelerden oluşan bir çamur ve seramik kum kullanılır. Böylece düzgün bir yüzey elde edilir. Ön kaplamanın düzgünlüğü, döküm yüzeyinin düzgünlüğünü etkiler. Sonraki kaplamalarda giderek artan refrakter tane iriliği ile kalıp mukavemeti sağlanır (Eşiyok, 2011).

2.6. Döküm Ortamları

Hassas döküm ortamları atmosfer ortamında ve vakum ortamında olmak üzere iki yöntemle yapılmaktadır. Aşağıda açık ve vakum ortamında hassas döküm açıklanmıştır.

2.6.1. Açık atmosfer ortamında hassas döküm

Açık atmosfer ortamında ergitme indüksiyon veya resistans sistemine sahip ocaklarda yapılır. Elektrikle çalışan ocakların en önemlisi indüksiyon ocaklarıdır. İndüksiyon ocaklarının temiz, sessiz ergitme ünitelerine sahip olma özellikleri diğer ocaklardan avantajlı olmasını sağlar. İndüksiyon ocağı çalışma prensibi; pota dışındaki indüksiyon bobininden geçirilen alternatif akım, sürekli yön değiştiren elektromanyetik değişken alanlar meydana getirir. Malzeme içerisinde oluşan bu endüktiv elektrik alanları ise malzemenin öz direnci vasıtası ile ısı enerjisine dönüşür.

2.6.2. Vakum ortamında hassas döküm

Vakum altında ergitme yöntemi istenmeyen reaksiyonları engellemek ve alaşım kompozisyonunu kontrol edebilmek için geliştirilmiştir. Böylece metalik olmayan oksit kirliliklerinin oluşumu azaltılmakta ve oksidasyon oluşturacak elementlerin tepkimeleri engellenmektedir. Vakum indüksiyon ocağında ergitme odasının atmosferi, vakum sistemi sayesinde kontrol altına alınır. Uygulanan vakum sayesinde homojen alaşım kompozisyonu ve sistemde bulunan ısı ölçerler (pirometre ve ısılıçift) sayesinde ergitme sıcaklığı, katılma süresince kalıp sıcaklığı kontrol altına alınır. Böylece ısı çarpımlar engellenir ve büyük parçaların katılma hızı kontrol altına alınır. Vakum altında ergitme sayesinde reaktif elementlerin ilavesi artmış, reaktif alaşımların ve süperalaşımların üretimi gelişmiştir (Bahadır, 2010).

Süperalaşımlarda gaz içeriğini azaltmak sadece yüksek sıcaklık dayanımı sağlamamaktadır. Aynı zamanda önemli miktarda sünekliği ve işlenebilirliği artırır. Süneklik ve gevreklik arasındaki geçiş sıcaklığını düşürdüğü gibi elektriksel ve manyetik özellikleri iyileştirir. Vakum indüksiyon ergitme saf ve atık malzemelerin alaşım içerisinde homojen olarak dönüştürülen bir prosestir (Maurer, 1989).

Vakum indüksiyon ocağında kullanılan vakum seviyeleri Çizelge 2.8’ da gösterilmiştir, (Bahadır, 2010).

Çizelge 2.8. Vakum indüksiyon ocağında kullanılan vakum seviyeleri (Bahadır, 2010)

Vakum Aralığı	Pa	mbar	Torr
Düşük	10^5-10^2	1000-1	760-1
Orta	10^2-10^{-1}	$1-10^{-3}$	$1-10^{-3}$
Yüksek	$10^{-1}-10^{-6}$	$10^{-3}-10^{-8}$	$10^{-3}-10^{-8}$
Çok Yüksek	$<10^{-6}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$

2.7. Hassas Döküm Parametreleri

Süperalaşım gibi içerisinde çok miktarda element barındıran ve yüksek sıcaklıklarda çalışması beklenen alaşımlarda döküm sıcaklığı kritik önem taşımaktadır. Doğru döküm sıcaklığı seçilmemesi, alaşım kompozisyonundan mekanik özelliklere birçok kritik fonksiyonu doğrudan etkiler (Bahadır, 2010). Döküm için seçilen sıcaklık yükseldikçe, katılaşma sırasında oluşacak tanelerin büyümesine neden olur, (Alfirano ve diğerleri, 2012). Büyük taneli yapı ise beklenen mekanik özellikleri sağlayamaz. Malzeme çalışma esnasında, yüksek sıcaklıklarda, ısıl dayanım gösteremeyerek yırtılma ve kopma gibi hasarlar meydana gelir. Bu nedenle döküm sıcaklığı mümkün oldukça düşük seçilmelidir. Uzun süre yüksek sıcaklıklarda metali bekletmek, alaşım kompozisyonunda değişimler meydana getirebilir. Aşırı düşük döküm sıcaklıklarından da kaçınmak gerekir. Kalıbın ince cidarlı noktalarının tam dolmaması veya kalıbın tam dolmasına rağmen parça içerisinde mikro gözenek oluşumu gibi kusurlar meydana gelir. Genel uygulamalarda döküm sıcaklığı ergime sıcaklığının 50 ila 150 °C üstünde seçilir. Kalıp ön ısıtma sıcaklığı ise kalıptaki bütün detayların tam dolması için önemlidir (Bahadır, 2010). ASTM F-75 standardı için kalıp sıcaklığı yaklaşık 600-650°C dir (Gültekin ve Bütün, 1995). Yalıtım olmadan, kalıbın ön ısıtma fırınından kalıp odasına aktarımı sırasında, sıcaklığını belirli sınırlar arasında koruması gerekmektedir (Bahadır, 2010).

Çizelge 2.9’da kobalt esaslı döküm alaşımlarının ergime sıcaklık aralığı gösterilmiştir (Şap, 2010).

Çizelge 2.9. Kobalt esaslı döküm alaşımlarının ergime sıcaklık aralıkları (Şap, 2010)

Alaşım	Ergime Sıcaklık Aralığı (°C)
Aşınma Dirençli Alaşımlar	
Star J	1215-1275
Yüksek Sıcaklık Alaşımları	
Alaşım X-40	1340-1395
Alaşım X-45	1340-1395
Alaşım FSX-414	1340-1395
WI-52	1315-1345
MAR M 302	1315-1370
MAR M 509	1290-1400
Biyomedikal Alaşım	
ASTM F-75	1315-1345

Ergimiş metalin kalıba hızlı dolumu, kalıptaki ince cidarların dolması ve tane boyutu kontrolü için çok önemlidir. Doğru döküm sıcaklığına ulaşıldığında, eriyik kalıba hızlı ve tek seferde dökülmelidir. Kalıbın üst kısmına ekzotermik toz dökülerek eriyiğin katılaşması sırasında beslenmesine yardımcı olunur. Döküm sonrasında kalıp kırma işlemi titreşim ve sarsıntılardan kaçınılmalıdır, (Bahadır, 2010).

Asgar ve Peyton (1960), Stellite21 (Co-Cr-Mo) alaşımını farklı sıcaklıklarda (ideal sıcaklık 1426 °C) indüksiyon ocağı ile döküm işlemini gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra 871 °C de bir saat beklettikten sonra su vererek ısıl işlemini tamamlamışlardır.. Sonuç olarak spiral ve süreksiz yapı döküm sıcaklığı yüksek olduğunda, sürekli ve ötektoid yapı döküm sıcaklığı düşük olduğunda, çok yüksek döküm sıcaklıklarında ise uygun ürün elde edilemediğini, karpitler spiral ve süreksiz olduğunda uzama değerlerinin yüksek olduğunu, fakat karpitler tane sınırlarında sürekli ve ötektoid yapıda ise uzama değerlerinin düşük olduğunu, kalıp sıcaklığının mikro yapı üzerinde çok etkili olmadığını gözlemlemişlerdir.

İnklüzyon, oksit, metal tortu, aglomer metallerin kalıp içerisine geçmesini engellemek için metal dolmuş haznesinin üzerinde seramik filtre kullanılabilir (Maurer,1989:73).

Kaiser ve diğerleri (2013), hassas döküm yöntemiyle dökülen Co-28Cr-6Mo alaşımını düşük, orta ve hızlı soğutma şartlarında soğutmuşlardır. Hızlı soğutma ile tane boyutu ve ikincil dentrit kolları arasındaki mesafe küçülmüştür, porozitedeki kesit

alanı az miktarda azalırken, karbürlerdeki azalma fazladır. Sertlik değeri artan soğutma oranıyla artmıştır.

Walczak, Beer, Surowska, Borowicz (2012), Co-30Cr-5Mo (Wironit) kimyasal bileşimine sahip saf ve çeşitli oranlarda atık malzeme kullanmışlardır. Sonuç olarak gerekli optimum şartları sağlamak için atık malzemelerin % 50 den fazla kullanılmamasını önermişlerdir.

Geoffrey ve diğerleri (2013), Co-27.5Cr-12W alaşımının vakum indüksiyon ocağı veya santrifüj yöntemiyle döküm işlemini gerçekleştirmişlerdir. Farklı döküm metotları vickers mikro sertliğini etkilemezken, dökülebilirliği ve tane boyutunu etkileyebileceğini ve vakum indüksiyon ile daha ince taneli yapı oluşacağını gözlemlemişlerdir.

Giacchi ve diğerleri (2010), ASTM F75 alaşımının 1530°C de Argon atmosferinde 100 kW indüksiyon ocağında, 1200°C ön ısıtma ile seramik kabuklara ilk olarak ticari saflıkta alaşımlandırma yaparak, ikinci adım olarak bu alaşımı tekrar ergiterek, üçüncü adım olarak ise sertifikalı ASTM F-75 alaşımı satın alarak döküm işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak; yeniden ergitme ile ilk ergitmeden farklı olarak M_6C ve Si inklüzyonları gözlemlemişlerdir. 3. numunedeki karbürler daha küçük ve daha homojen yayıldığı gözlemlemişlerdir. Bunun sebebi 3. numunenin 1. Numuneden düşük C ve Cr elementi içermesidir. $M_{23}C_6$ karbürünün M_6C karbürüne dönüşümü ısıtma işlemi ile 1210°C de gerçekleştirilmiştir.

2.8. Santrifüj Döküm

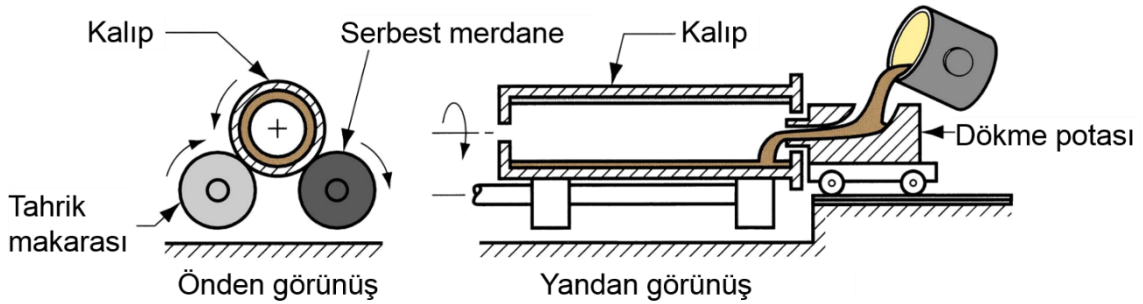
Santrifüj döküm ergimiş metalin kalıp içerisine dönme hareketi yaparak gönderilmesidir. Santrifüj döküm; karmaşık şekilli ve ince kesitli detay parçaların üretiminde tercih edilir. Çünkü santrifüj kuvvetin etkisiyle ergimiş metal kalıbın tüm detaylarına ve kesitlerine rahatlıkla ulaşır. Demir yolu vagon tekerleklerinde, silindir şeklinde ince kesitli parçalarda ve kuyumculuk sektöründe santrifüj döküm yöntemi kullanılmaktadır.

Savurma döküm savurma eksenine göre üç şekilde yapılır;

- Gerçek savurma döküm
- Yarı savurma döküm
- Savurmalı döküm

2.8.1. Gerçek savurma döküm

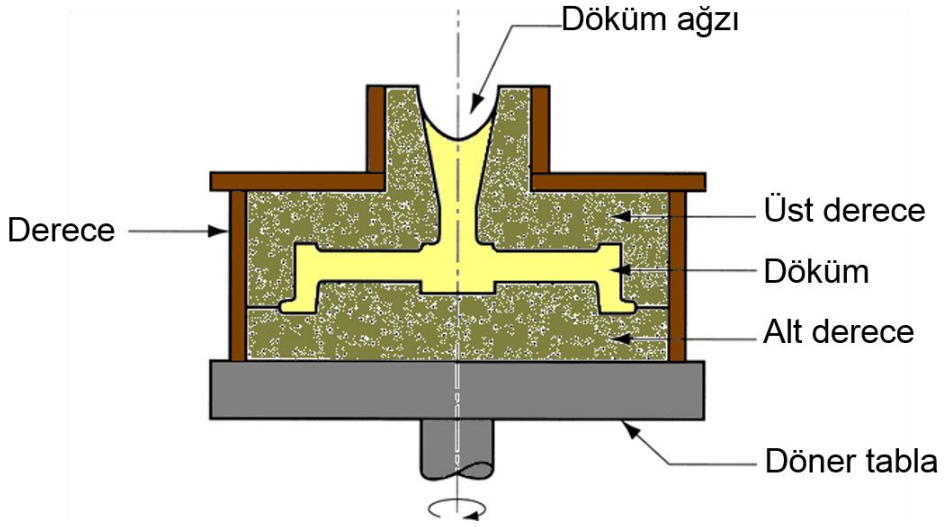
Ergimiş metal, dönen kalıbın içine dökülür. Boru, tüp, burç ve halka tipi parçalar üretilebilir. Yüksek hızda dönmenin sağladığı merkezkaç kuvvetler sıvı metalin kalıp iç cidarına homojen olarak dolmasını ve kalıbın iç şeklini almasını sağlar. Dökümün dış yüzeyi yuvarlak, oktagon, hegzagonal vs. olabilir; ancak içi şekli, radyal simetrik kuvvetler nedeniyle (teorik olarak) mükemmel yuvarlaklıktadır. Dönme eksenini yere paralel dik ya da yatık olabilir. Resim 2.3'te gerçek savurma döküm yöntemi verilmiştir (Gülmez, 2009, Köksal, 2014).



Resim 2.3. Gerçek savurma döküm yöntemi (Gülmez, 2009)

2.8.2. Yarı savurma döküm

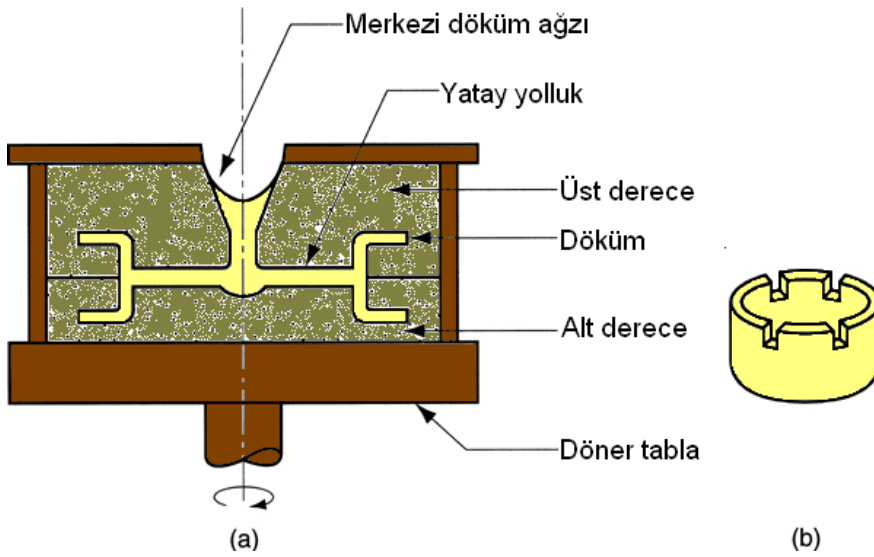
Savurma kuvveti, borsal parçalar yerine dolu dökümler (tekerlek, makara vb.) üretmek için kullanılır. Kalıplar, merkezden metal besleyecek besleyicilerle birlikte tasarlanır. Dökümdeki metalin yoğunluğu, dönüş merkezine oranla dış kesitlerde daha büyüktür. Çoğunlukla, kalitenin en düşük olduğu kısım olan, dökümün merkezi talaşlı işlenerek uzaklaştırılan parçalarda kullanılır. Resim 2.4'te yarı savurma döküm yöntemi verilmiştir (Köksal, 2014).



Resim 2.4. Yarı savurma döküm yöntemi (Gülmez, 2009)

2.8.3. Savurmalı döküm

Kalıplar, parça boşlukları dönme ekseninden uzak olacak şekilde tasarlanarak ergimiş metalin merkezkaç kuvvetiyle bu kalıp boşluklarına dağıtılabileceği şekilde dökülür. Küçük parçalar için kullanılır. Diğer savurma döküm yöntemlerinde olduğu gibi parçanın radyal simetrik olması gerekmez. Resim 2.5' te savurmalı döküm yöntemi verilmiştir. (Gülmez, 2009)

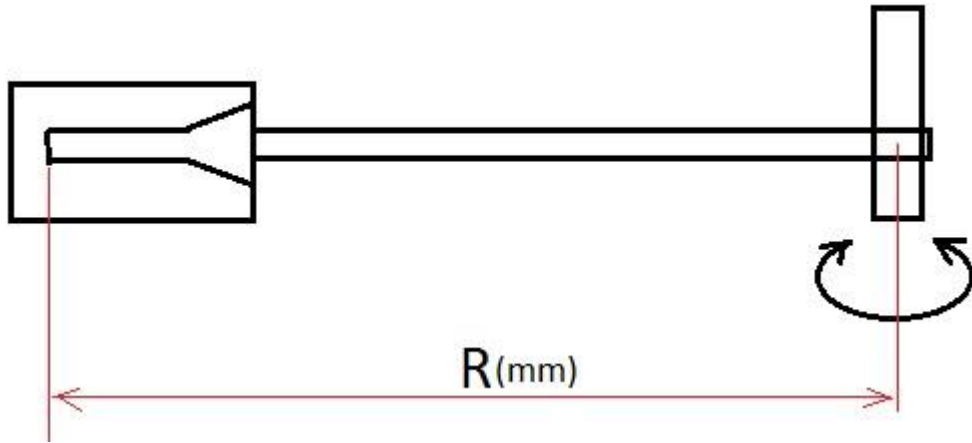


Resim 2.5. Savurmalı döküm yöntemi (Gülmez,2009)

2.9. Santrifüj Dökümde G Kuvvetinin Hesaplanması

G kuvveti serbest hareket eden bir nesnenin maruz kaldığı "yerçekimsel olmayan" kuvvetlerin vektörel toplamıdır. Yerçekiminden kaynaklanmayan hızlanmalara "gerçek ivme" denir ve g kuvveti hesaplanırken sadece bunlar kullanılır. G kuvveti arttıkça nesne üzerindeki gerilim artar. Yüksek seviyelere ulaştığında G kuvvetlerinin etkileri yıkıcı sonuçlar doğurabilir.

G-kuvveti = $0,000001118 \times R \times \text{rpm}^2$ formülü ile hesaplanabilir. Burada R, merkez dönme eksenini ile kalıbın en uzak noktası arasındaki mesafenin mm cinsinden ölçülmesidir (Resim 2.6). 0,000001118 sabit kat sayıdır. rpm (revolution per minute) bir dakikadaki dönme sayısıdır.



Resim 2.6. G kuvveti hesaplama yöntemi

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Döküm Alaşımı

Bu çalışmada ASTM F-75 standardına sahip iki farklı kompozisyonda karbon içeren Co-Cr-Mo döküm alaşımları kullanılmıştır. ASTM F-75 standardının (ASTM F-75, 2012) kimyasal kompozisyon aralığı ve Co-Cr-Mo döküm alaşımlarının kimyasal kompozisyonları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Co-Cr-Mo döküm alaşımlarının kimyasal kompozisyonlarının belirlenmesinde SPECTRO marka SPECTROMAXx model cihaz kullanılmıştır.

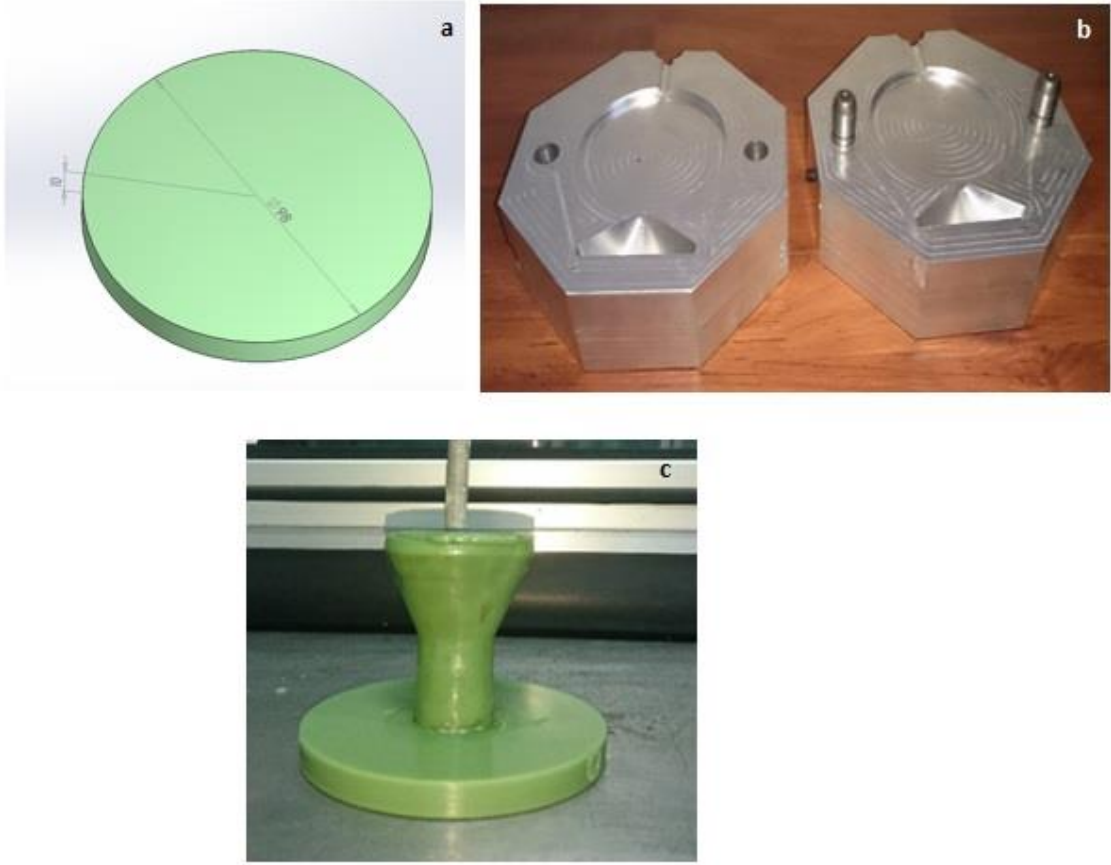
Çizelge 3.1. ASTM F-75 Co-Cr-Mo alaşımının kimyasal kompozisyonu

	Element (ağırlıkça %)								
	Co	Cr	Mo	Ni	Fe	C	Si	Mn	N
ASTM F-75	Kalan	27-30	5-7	0,50	0,75	0,35	1	1	0,25
DC ¹	Kalan	28,46	6,60	0,16	0,405	0,08	0,76	0,37	0,133
YC ²	Kalan	28,92	6,00	0,253	0,382	0,278	0,751	0,389	0,131

¹Düşük Karbonlu; ²Yüksek Karbonlu

3.2. Hassas Döküm Mum Modellerinin ve Kalıplarının Hazırlanması

Deneysel çalışmalarda Dental CAD-CAM metal blok standardına uygun olarak Resim 3.1-a’da ölçüleri verilen hassas döküm mum modeli kullanılmıştır. Mum modeller Resim 3.1-b’de görülen mum model enjeksiyon kalıbında 25 saniye süre ile 7 bar enjeksiyon basıncı ve 140 bar kalıp kapama baskı kuvveti altında MODTECH marka C-RO SEMI model mum enjeksiyon makinesinde elde edilmiştir. Mum modeller elde edildikten sonra Resim 3.1-c’de görüldüğü gibi mum yollukların montajı yapılmış ve tek mum modelli salkım oluşturulmuştur.



Resim 3.1. Mum montaj aşamaları, a) Mum model ve mum model ölçüleri, b) metal enjeksiyon kalıbı ve c) mum model salkımı

Salkım şekline getirilen mum modeller kobalt alaşımlarının hassas dökümünde kullanılan seramik çamuruna daldırılmış ve 200 mesh seramik toz ile ilk kat seramik kabuk, yağmurlama yöntemiyle oluşturulmuştur. İlk kat seramik kabuk 6 saat süre ile fan ortamında iklimlendirme koşullarında kurutulmuştur (Resim 3.2-a). Bu işlemi 2 kat 30-60 mesh tane boyutunda seramik kaplama ve her bir kaplamadan sonra oda iklimlendirme koşullarında 4 saat süre ile kurutma işlemleri takip etmiştir. Kaplama işlemlerine, seramik kalıbın santrifüj döküm yöntemi dikkate alınarak 5 kat 18-30 mesh boyutunda seramik malzeme ile kaplama ve her bir kattan sonra iklimlendirme koşullarında 4 saat süre ile kurutma yapılarak devam edilmiştir. Son kat kaplama sadece seramik çamura daldırma işlemi ile tamamlanmış ve oda sıcaklığında 24 saat süre ile kurutma işlemi yapılarak mum model salkımının seramik malzeme ile kaplanması tamamlanmıştır (Resim 3.2-b).

Mum model salkımının seramik malzeme ile kaplanması işlemi tamamlandıktan sonra seramik kabuk içindeki mum modeller, sıcaklık ve basınç kontrollü otoklavda (Resim 3.2-c) uygun sıcaklık ve basınç değerlerinde uzaklaştırılmıştır. Mum boşaltma işlemi takiben seramik kalıplara 1200°C sıcaklıkta 1 saat süre ile sinterleme işlemi uygulanmıştır.



Resim 3.2. Seramik kaplama işlemleri a) Mum model salkımının seramik malzeme ile kaplanması (I. kaplama), b) mum model salkımının seramik malzeme ile kaplanması (son kaplama) c) mum boşaltma ve pişirme işlemi tamamlanmış seramik kalıplar

3.3. Ergitme ve Döküm

Co-Cr-Mo döküm alaşımlarının ergitme işlemi, $ZrSiO_4$ pota içerisinde Resim3.3'te verilen 400 gram Ti ergitme kapasitesine sahip Topcast marka Ti12 model santrifüj vakum indüksiyon ocağında yapılmıştır.



Resim 3.3. Vakum indüksiyon ocağı

Kalıplar 1200°C de 1 saat sinterleme işlemini takiben ergitme ve döküm makinesine alınmış ve döküm postasına önceden 900 gram Co-Cr-Mo döküm alaşımı şarj edilen indüksiyon ocağının kapağı kapatılmıştır. Döküm işlemleri vakumlu ve vakumsuz olmak üzere iki farklı ortamda gerçekleştirilmiştir (Resim 3.4). Vakum altında ergitme işlemi, atmosfer değeri 40 mbar atmosfer basınç değerine indirgenmiş, yüksek saflıkta argon gazı ile yıkama işlemi yapılmış ve tekrar 40 mbar atmosfer basınç değerine indirgenerek gerçekleştirilmiştir. Ergitme ve döküm işlemi yaklaşık olarak 10 dakika sürede gerçekleştirilmiştir. Döküm işlemleri 90, 135, 180, 225 devir/dakika santrifüj hızlarında 3 dakika dönme eksenini merkezden uzak yatay santrifüj şartlarında yapılmıştır. Döküm işleminden sonra Co-Cr-Mo alaşımı döküm parçaları oda sıcaklığına soğumaya bırakılmıştır.

Ayrıca karşılaştırma amaçlı vakumsuz ve santrifüj yapılmadan normal yerçekimi şartlarında döküm de gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.4. Seramik kalıbın vakumlu indüksiyon ocağında konumu

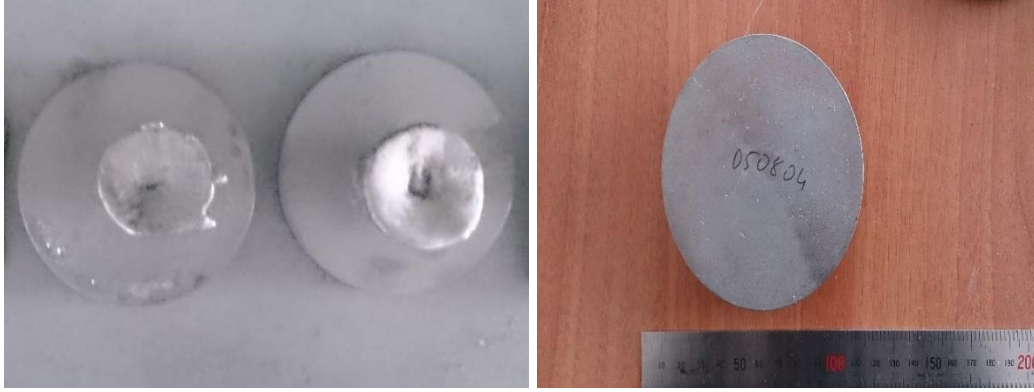
Döküm işlemi tamamlanmış kalıpların görünümü Resim 3.5'te verilmiştir.



Resim 3.5. Döküm işlemi tamamlanmış kalıpların görünümü

3.4. Dental CAD-CAM Metal Blok Döküm Kalıpların Bozulması, Yolluklarından Ayrılması ve Temizlenmesi

Oda sıcaklığına sahip seramik kalıplar kırılarak Dental CAD-CAM metal bloklar alınmış ve döküm parçalara 5 dakika süre ile çelik bilya kumlama işlemi uygulanarak temizlenmiştir. Temizlenmiş döküm parçanın yollukları ile birlikte Resim 3. 6'da verilmiştir.



Resim 3.6. Temizlenmiş Dental CAD-CAM metal blokların yollukları ile birlikte görünümü

3.5. Dental CAD-CAM Metal Blok Üretim Yöntemi ve Üretim Kodları

Bu çalışmada üretilen dental CAD-CAM metal döküm blokların üretim parametreleri ve numune kodları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Yüksek karbonlu Co-Cr-Mo döküm alaşımının ergitme ve döküm işlemleri açık atmosferde ve vakum altında 90, 135, 180 ve 225 devir/dakika santrifüj hızlarında yapılmıştır. Düşük karbonlu Co-Cr-Mo döküm alaşımının ergitme ve döküm işlemleri ise açık atmosferde gravity, açık atmosferde ve vakum altında yalnız 225 devir/dakika santrifüj hızında yapılmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Co-Cr-Mo süperalaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların üretim parametreleri ve numune kodları

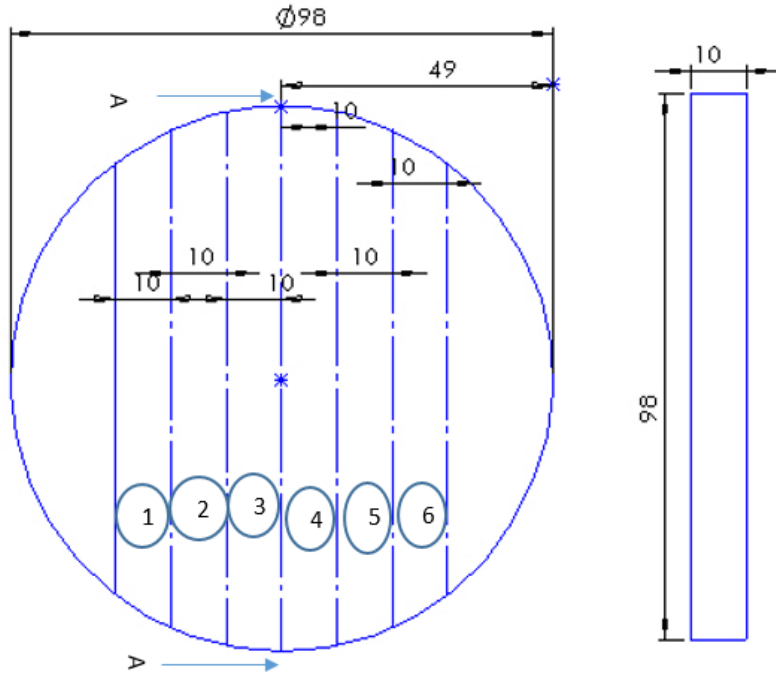
Döküm Alaşımı		Atmosfer Ortamı		Döküm Yöntemi		Santrifüj hızı (dev/dak.)				
Karbon	Alaşım Kodu	Atmosfer basıncı (mbar)	Ortam Kodu	Yöntem	Yöntem Kodu	Gravity	90	135	180	225
Düşük	D	Normal	A	Gravity	G	ADG	-	-	-	-
				Santrifüj	S	-	-	-	ADS225	
		40 mbar	V	Santrifüj	S	-	-	-	-	VDS225
Yüksek	Y	Normal	A	Santrifüj	S	-	AYS90	AYS135	AYS180	AYS225
				40 mbar	V	Santrifüj	S	-	VYS90	VYS135

3.6. Dental CAD-CAM Metal Blok Dökümlerde Makro ve Mikroyapı Analizi

Dental CAD-CAM metal blok dökümlerin makro ve mikro yapı analizi için abrasif kesici ile Resim 3.7’ de gösterilen ATM marka Brillant 250 model otomatik kesme cihazında Şekil 3.1’deki gibi metalografik numuneler döküm parçalardan çıkarılmıştır.



Resim 3.7. Otomatik kesme cihazı



Şekil 3.1. Dental CAD-CAM metal bloktan metalografik numune çıkarılışı (mm)

Dental CAD-CAM metal blok orta merkezinden kesilen 3 numaralı parçanın (AA kesiti) mikro yapı incelemesi için sırasıyla 120, 240, 400, 500, 800 ve 1200 numaralı su zımparalarında zımparalanmış ve daha sonra sırasıyla 6, 3 ve 1 μm elmas pasta süspansiyonları ve 0,25 μm koloidal silika ile parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler temizlendikten ve kurutulduktan sonra Resim 3.8'de görülen Struers marka elektrolitik parlatma cihazında % 2 CrO_3 , % 98 H_2O çözeltisi kullanılarak 25°C sıcaklıkta, 20 Volt akımda ve 1 sn süre ile elektroliz yöntemiyle tekrar parlatılmıştır.

3.7. Karbür Tanımı ve Karbür Hacim Oranının Belirlenmesi

Karbür fazları GNR marka APD 2000 pro XRD modelinde $CuK\alpha_1=1,64056A^\circ$, 40 kV, 40 mA şartlarında belirlenmiştir.

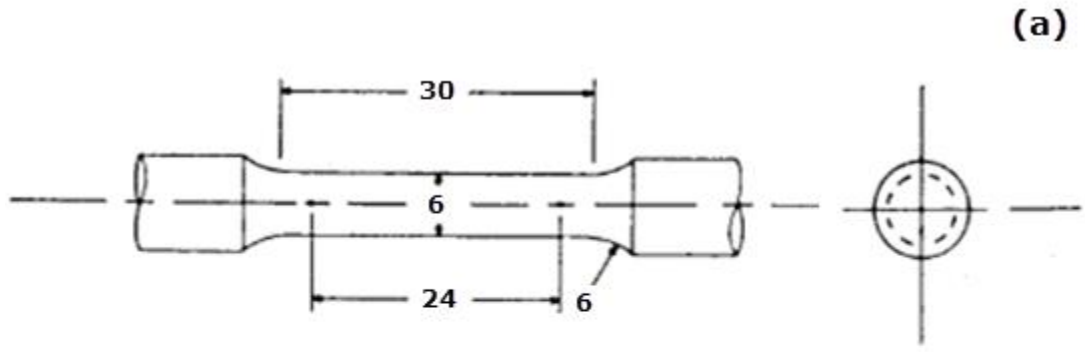
Deneysel çalışmalarda ASTM F-75 standardı kimyasal bileşim aralığında yüksek karbonlu (% 0,27 C) ve düşük karbonlu (% 0,08 C) Co-Cr-Mo alaşımın Çizelge 3.2’de verilen döküm parametrelerine göre üretilen Dental CAD-CAM metal bloklarının mikro yapı analizi karbür hacim oranı belirlenmesinde Leica optik mikroskobunda LAS Image Analysis programı kullanılmıştır. Her bir numuneden 100 büyütmede toplam 30 ölçüm ve 30 ölçümün ortalaması alınarak karbür hacim oranı tespit edilmiştir.

3.8. İkincil Dendrit Kolları Arası Mesafenin Belirlenmesi

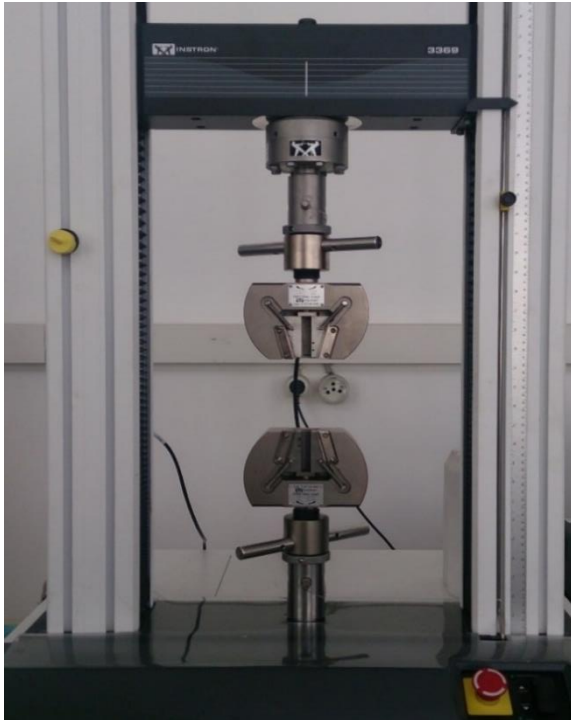
Yüksek karbonlu (% 0,27 C) ve düşük karbonlu (% 0,08 C) Co-Cr-Mo alaşımın Çizelge 3.2’de verilen döküm parametrelerine göre üretilen Dental CAD-CAM metal bloklarının mikro yapı analizinde ikincil dendrit kolları arası mesafe ölçümü yapılmıştır. Bu çalışmada metalografik numunelerin uç, orta ve merkez bölgelerinden (Şekil 3.2) 100 büyütmede çizgisel kesişme (line intercept) metodu ile her bir bölgeden 5 ölçüm ile toplam 30 ölçümün ortalaması alınmıştır.

3.9. Çekme Testi

Değişik döküm parametreleri kullanılarak Çizelge 3.2’e göre üretilen Dental CAD-CAM metal blokların her birinden Şekil 3.1’te belirtilen 1, 2 ve 4 numaralı bölgelerden çekme testi için parçalar alınmıştır. Her bir blok için 3 adet çekme çubuğu numunesi ASTM E8 standardına (ASTM E8, 2015) uygun şekilde ve ölçülerde işlenmiştir (Şekil 3.3.a). İşlenmiş çekme çubuğu Şekil 3.3.b’de gösterilmiştir. Çekme deneyleri INSTRON marka 3360 model çekme cihazında ISO 6892-1:2009 Metodu A’ya göre 800 N ön yükleme ve 0,48 hızında yapılmıştır (Resim 3.9).



Şekil 3.3. ASTM E8 standart ölçüleri a) ASTM E8 standardı çekme çubuğu ölçüleri, b) ASTM E8 standardına göre işlenmiş çekme numunesi



Resim 3.9. Çekme test cihazı

3.10. Sertlik Testi

Deneysel çalışmalarda ASTM F-75 standardı kimyasal bileşim aralığında yüksek karbonlu (% 0,27 C) ve düşük karbonlu (% 0,08 C) Co-Cr-Mo alaşımın Çizelge 3.2’de verilen döküm parametrelerine göre üretilen Dental CAD-CAM metal bloklarının sertlik değerleri EMCO Marka DuraVision 200 model sertlik cihazında Vickers yöntemiyle 50 kgf yük altında tespit edilmiştir (Resim 3.10). Metalografik inceleme için hazırlanan numunelere sertlik testi uygulanmıştır. Aynı numune için 5 farklı noktadan ölçülen sertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır.



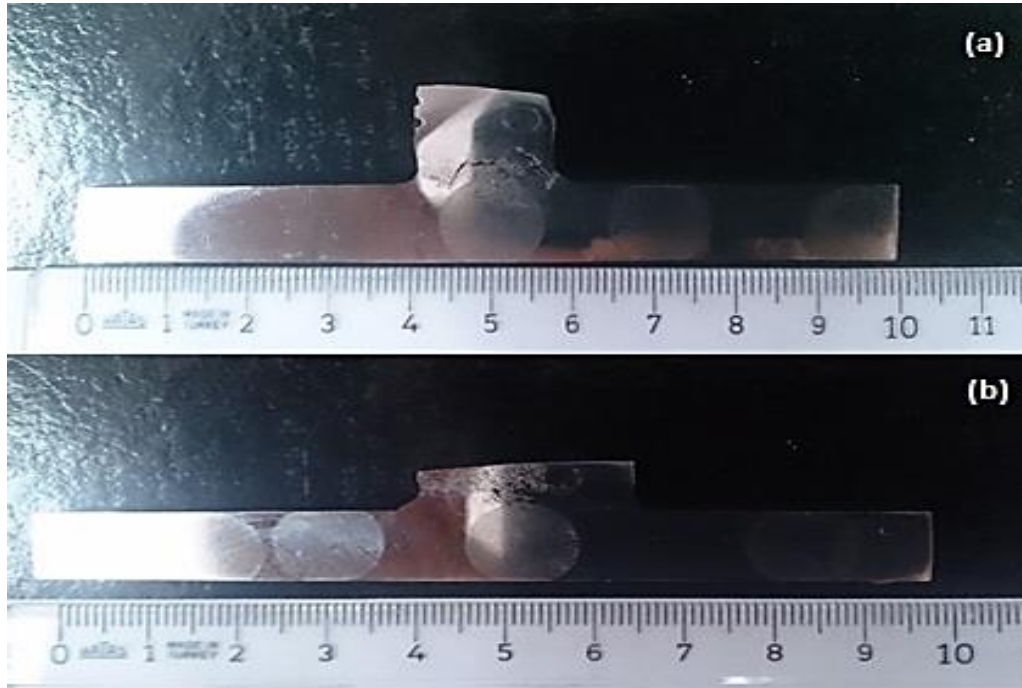
Resim 3.10. Sertlik test cihazı

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Dental CAD-CAM Metal Blokların Makro-Mikro Yapıları

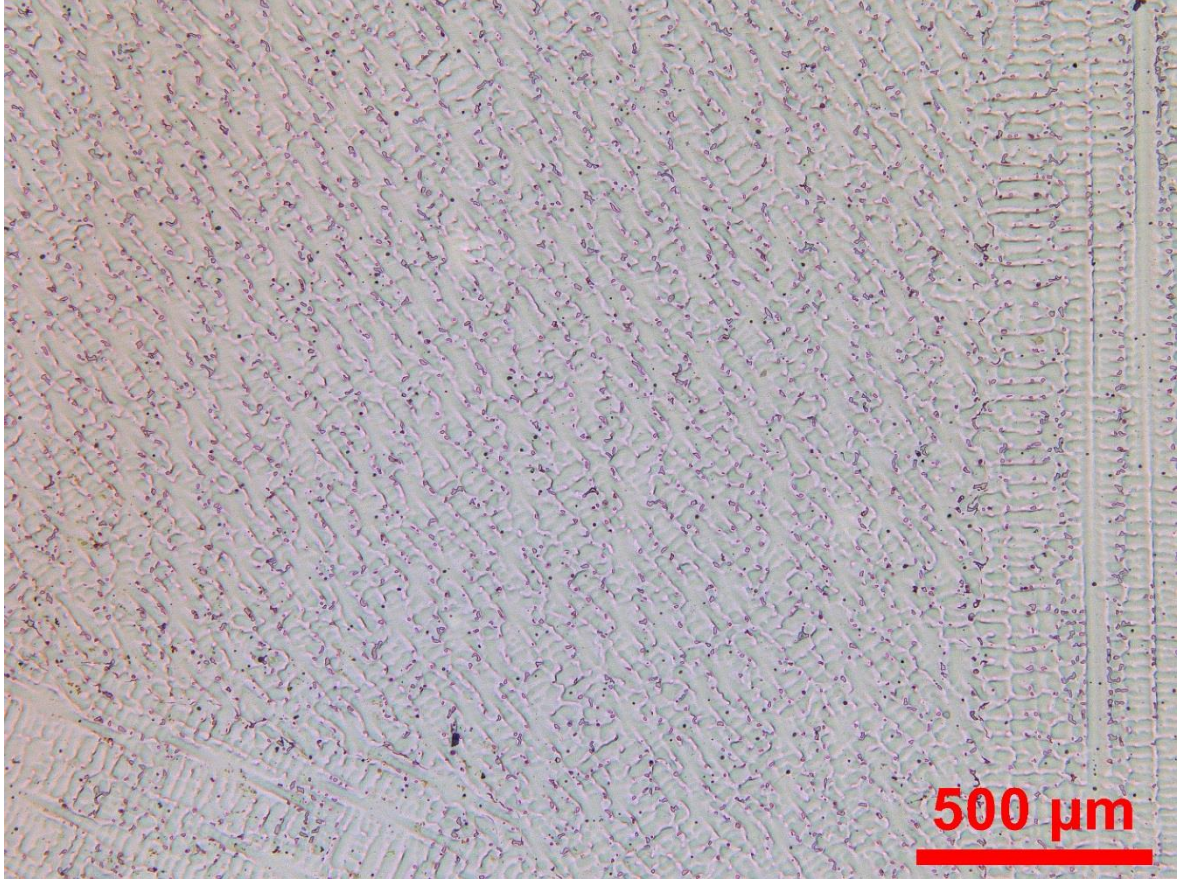
Makro yapı incelemelerinde açık atmosfer ve vakum altında 90 ve 135 devir/dakika santrifüj hızlarında yüksek karbon içeren alaşımlardan üretilen metal blokların kesitinden alınan görüntülerde yolluklarının altında dağınık şekilde çok sayıda çekme boşluğu meydana geldiği görülmüştür (blok orta merkezinden kesilen 3 numaralı parça), Resim 4.1-a. Ancak 180 ve 225 devir/dakika santrifüj hızlarında üretilen metal bloklarında çekme boşlukları yolluğa taşınarak, katılaşma ve soğuma sırasında meydana gelen hacimsel çekmeyi döküm parça dışına çekilmiştir, Resim 4.1-b. Düşük karbon içeren alaşımlardan üretilen ADG, ADS225 ve VDS225 kodlu metal bloklarda da çekme boşlukları yolluk içinde teşekkül etmiştir.

Çekme boşluklarının 90 ve 135 devir/dakika santrifüj hızlarında meydana gelmesinin sebebi; dental CAD-CAM metal blok kalıp boşluğuna bu santrifüj hızlarında gönderilen ergimiş metalin santrifüj kuvvetinin yetersiz olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

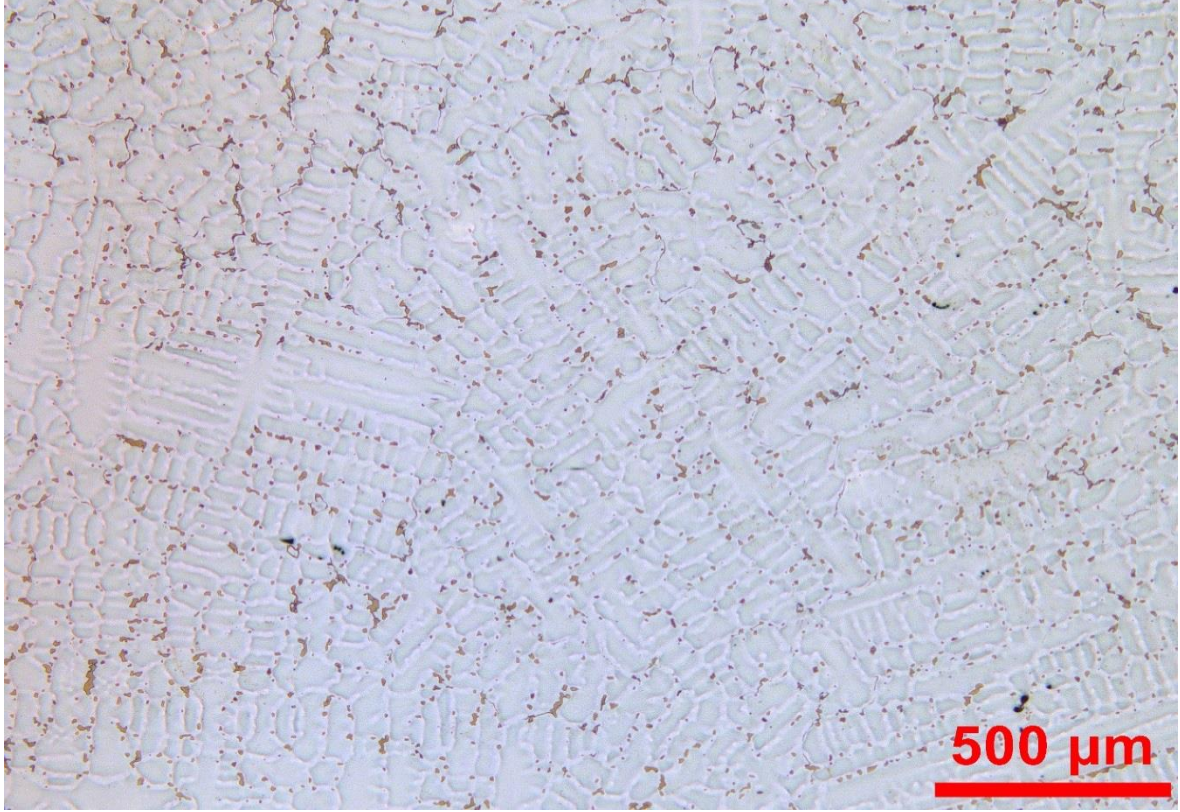


Resim 4.1. Dental döküm blokların makro yapı resimleri a)VYS135 kodlu döküm parçada disk orta merkezinden alınan 3 numaralı parçanın kesit resmi b) VYS225 kodlu döküm parçada disk orta merkezinden alınan 3 numaralı parçanın kesit resmi

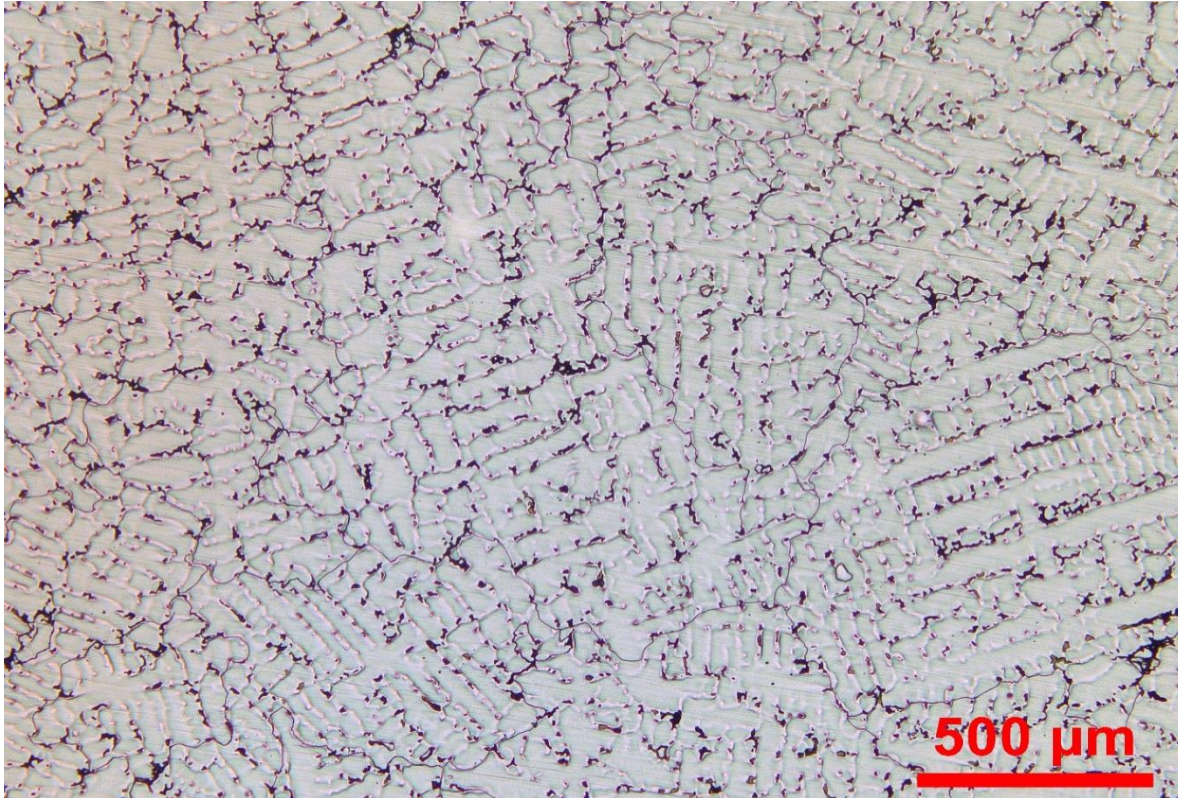
Çizelge 3.2'ye göre üretilen döküm parçaların tamamında mikro yapının kobaltça zengin dendritik matris ile dendritler arası bölgelerde ve tane sınırlarında çökelen ikincil fazlardan teşekkül ettiği, gözlemlenmiştir. (Resim 4.2-7). Dendritler genellikle, katılma yönü ve santrifüj kuvvetinin etkisiyle Dental CAD-CAM metal blok dökümün kenarlarından merkeze doğru yönelmiştir. Birincil dendrit kolları da metal blok dökümün kenarlarından merkeze doğru kabalaşmıştır. Dendritler arası bölgelerde ve tane sınırlarında çökelen karbürlerin geometrisi genellikle ada (blok) şeklinde ve tane sınırları boyunca uzama ve birleşme eğilimindedirler. Katılmanın en son olduğu bölgelerde karbürler nispeten daha kaba ve çoğunlukla tane sınırlarında oluşmuştur (Kaiser ve diğerleri., 2013) (Resim 4.2-7).



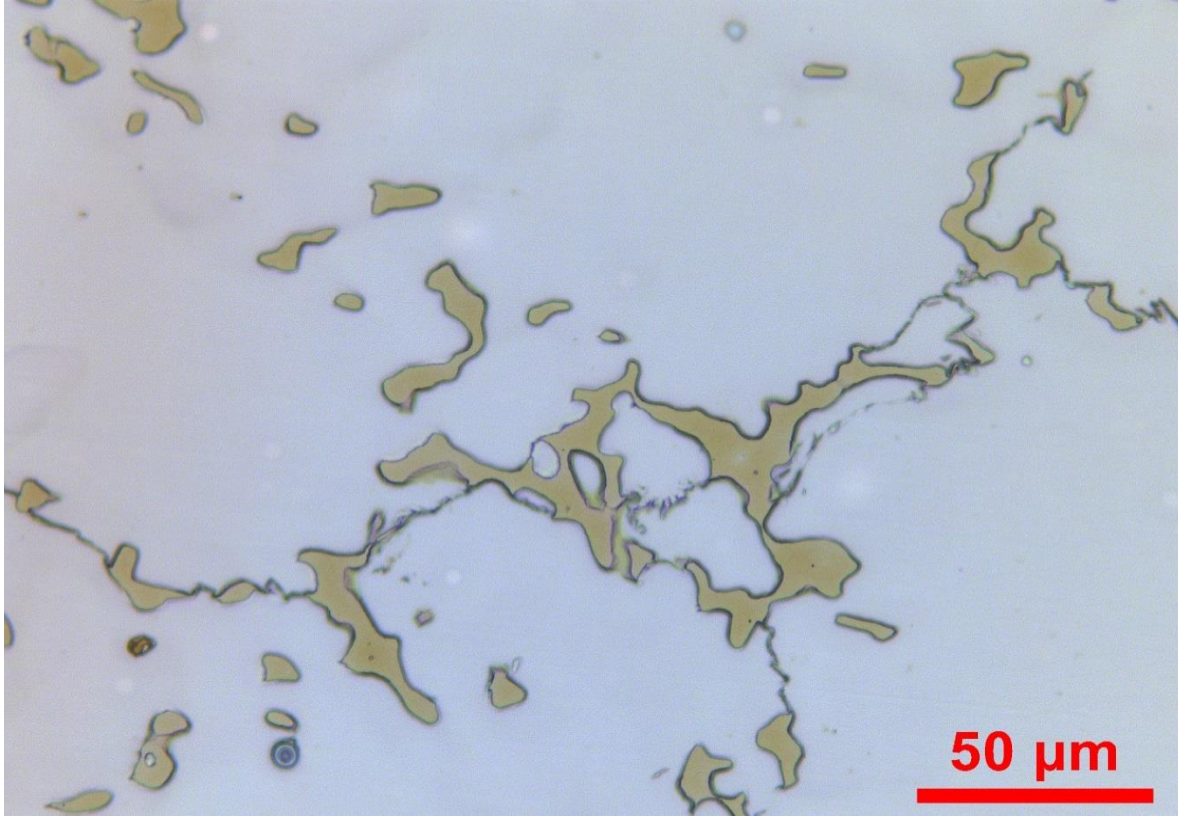
Resim 4.2. ADG kodlu döküm parçanın mikro yapısı (Uç merkez)



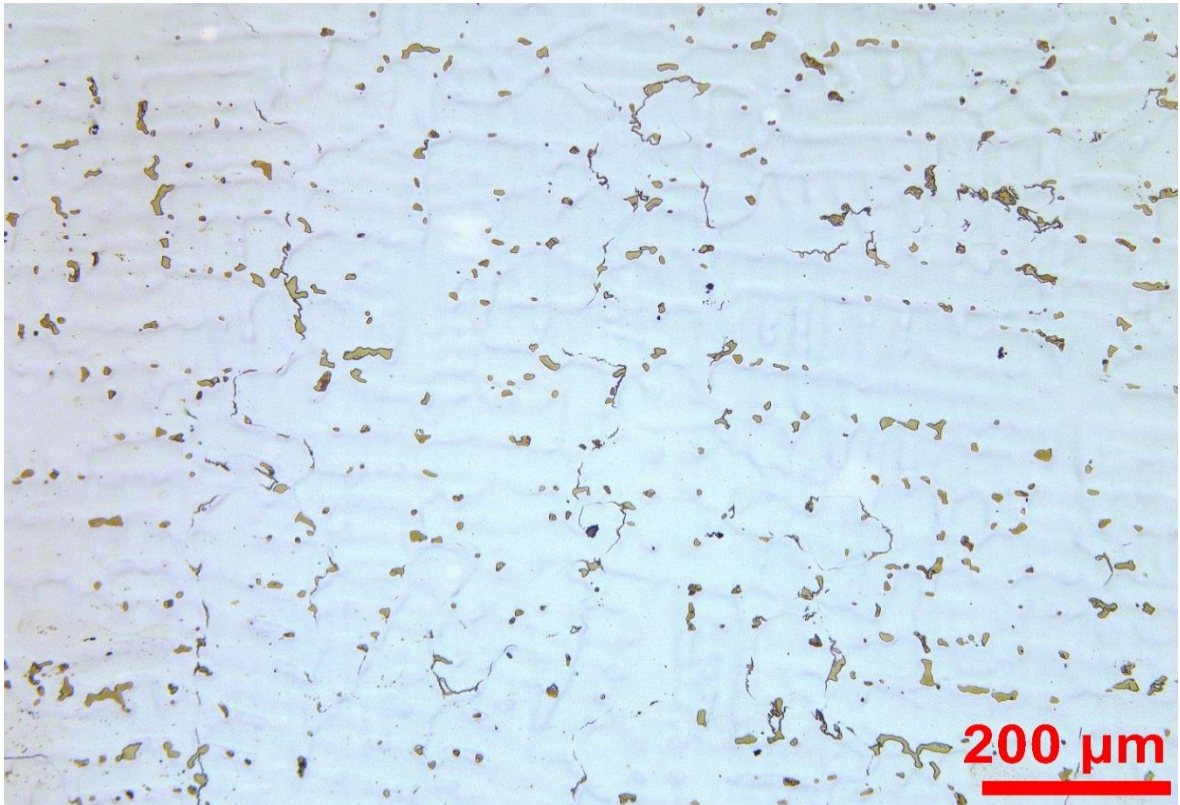
Resim 4.3. VDS225 kodlu döküm parçanın mikro yapısı (Orta taban)



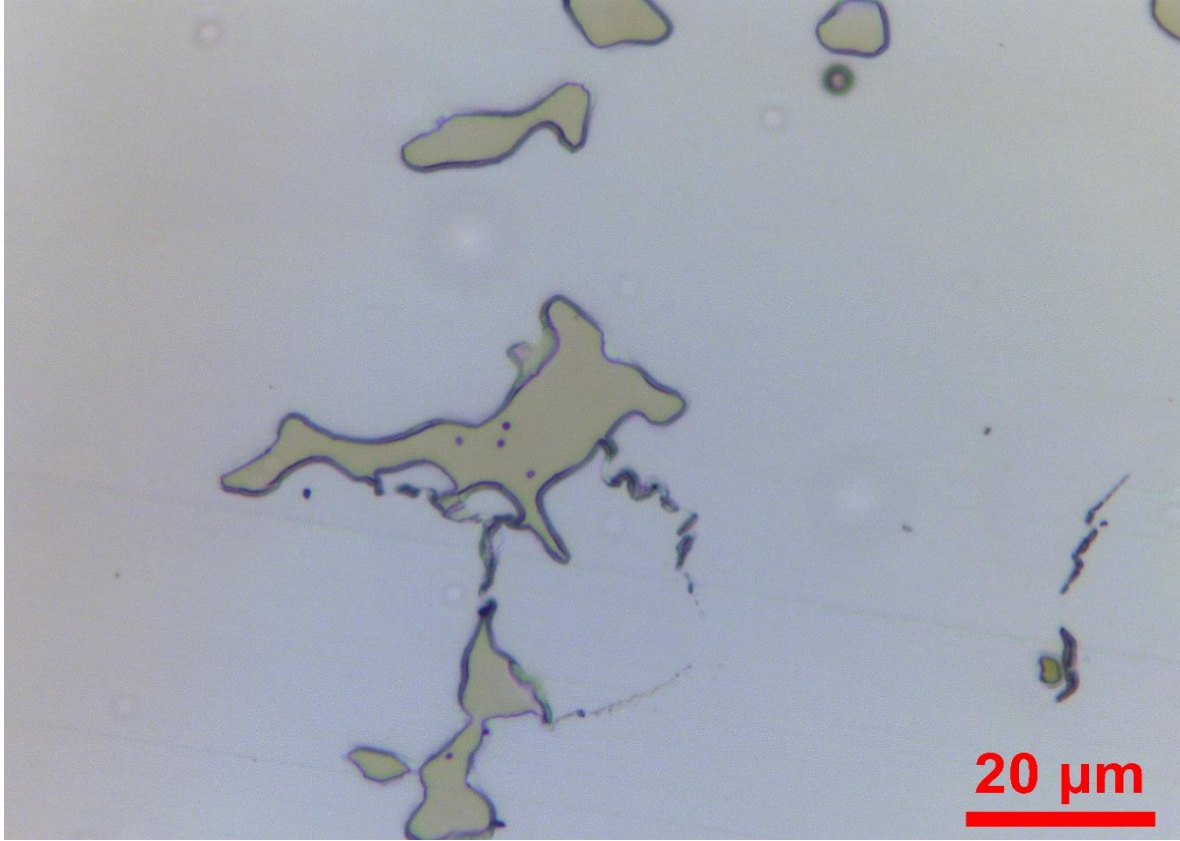
Resim 4.4. VYS180 kodlu döküm parçanın mikro yapısı (Orta merkez)



Resim 4.5. ADG kodlu döküm parçanın mikro yapısı (Orta merkez)



Resim 4.6. VDS225 kodlu döküm parçanın mikro yapısı (Merkez merkez)



Resim 4.7. ADS225 kodlu döküm parçanın mikro yapısı (Merkez taban)

XRD (X-Ray Diffraction) analizi (Şekil 4.1.) ve EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) analizi (Şekil 4.2.) ile yapılan incelemelerde matrisin kobaltça zengin (α) fazı olduğu ve dendrit kolları arasına çökelen karbürlerin Cr ve Mo elementlerince zengin olduğu doğrulanmıştır. Ana ikincil faz genel olarak $M_{23}C_6$ 'ın olduğu ve M'nin Cr ve Mo elementinden teşekkül ettiği tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından da açıklanmıştır (Kaiser ve diğerleri., 2013). XRD sonuçları Çizelge 3.2'e göre açık ve vakum ortamında üretilen metal bloklarda $M_{23}C_6$ ($Cr_{23}C_6$), M_7X_3 (Cr_7C_3) karbürleri meydana gelirken vakum ortamında yüksek karbonlu metal bloklarda (VY) yukarıda belirtilen karbürlere ilave olarak M_3X (Co_3C) karbürü meydana geldiğini göstermektedir, Şekil 4.1-a,b ve Çizelge 4.1.

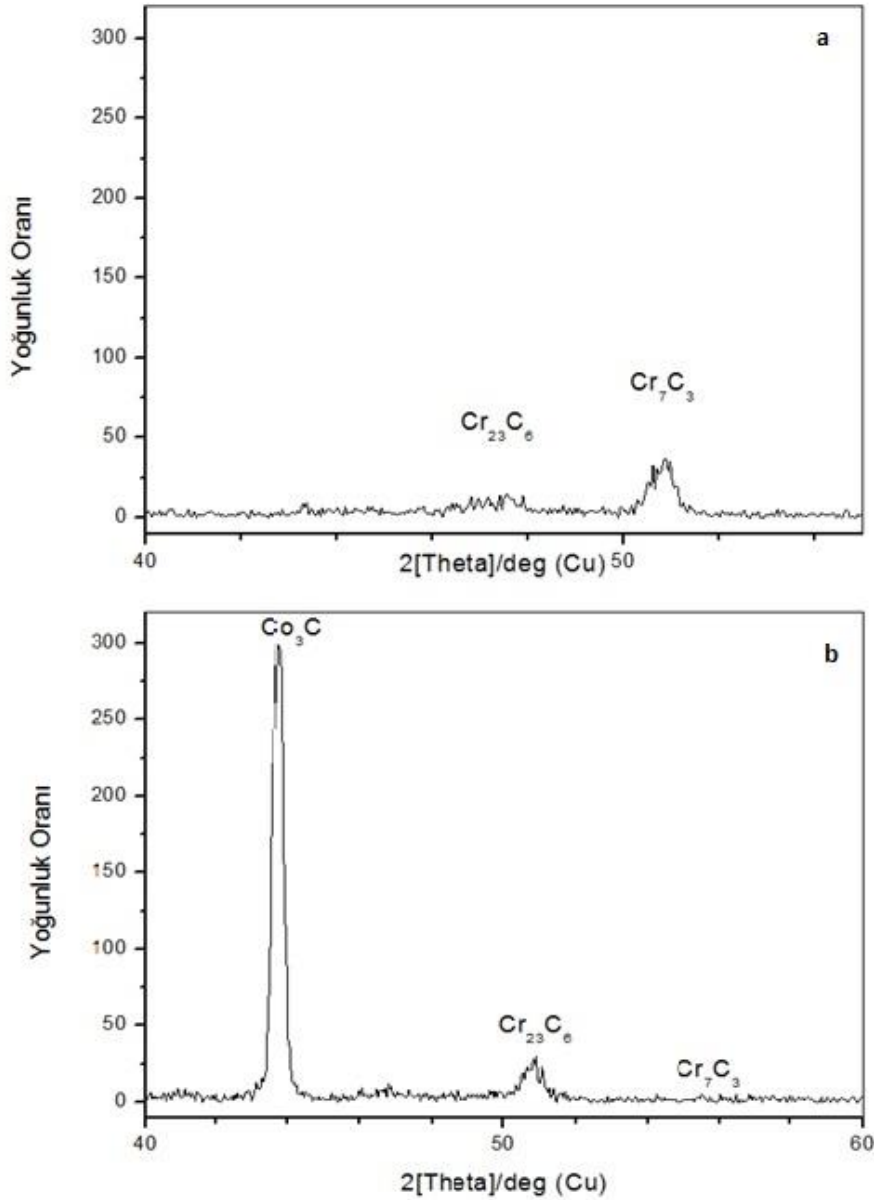
Co-Cr-Mo alaşımlarında $M_{23}C_6$ ($Cr_{23}C_6$) ve M_7X_3 (Cr_7C_3) karbürleri yapılan literatür çalışmalarında da belirtilmiştir. $M_{23}C_6$ fazı Co-Cr-Mo alaşımlarında ana karbüdür. M_7X_3 (Cr_7C_3) fazı üçlü Co-Cr-C faz diyagramında ötektik reaksiyon sonucu oluşmaktadır. M_7X_3 fazının $liquid \rightarrow M_{23}C_6 + \gamma + M_7X_3$ reaksiyon ile şeklinde oluştuğu tahmin edilmektedir. M_7X_3 fazının oluşumu için başka bir formülasyonda M_7X_3 fazının π fazı da

içermesidir. $M_7X_3(Cr_7C_3)$ fazı, yıldız (starlike) şeklinde karmaşık bir mikro yapı içerisinde M_7X_3 'e ek olarak $M_{23}C_6$ ve YMK γ fazları içermekte olduğu literatürde belirtilmiştir (Narushima ve diğerleri, 2013). Buna karşın; bu çalışmada da XRD sonuçlarında M_7X_3 (Cr_7C_3) faz bileşiği tespit edilmiş fakat mikro yapı incelemesinde bu faz yıldız şeklinde teşekkül etmediği gözlemlenmiştir (Resim 4.8).

Co-Cr-Mo alaşımının döküm yöntemleri ile şekillendirilmesi üzerine yapılan bir araştırmada (Ramirez ve diğerleri, 2008) tane sınırlarında gözlemlenen lamelli yapıda $M_{23}C_6$ fazının yanında σ fazı, α fazı, σ ve α fazları, α ve M_6C fazlarının olabileceği ve lamelli yapının ötektoid olabileceği belirtilmiştir. Bu çalışmada vakum ortamında yüksek karbonlu (VY) Co-Cr-Mo alaşım dökümlerinde meydana gelen ötektoid yapıda M_3X fazı olabileceği düşünülmektedir (Resim 4.9). Çünkü M_3X fazı, hem lamelli yapıda hem de kobaltça zengindir.

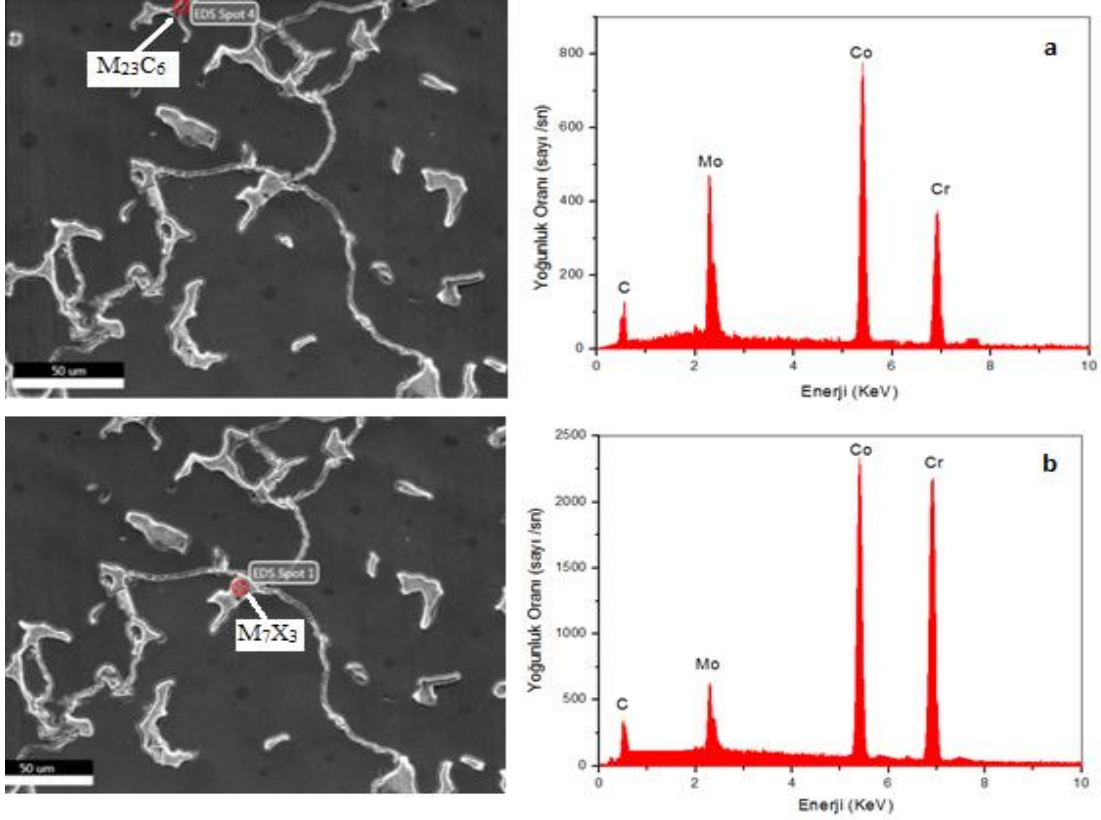
Çizelge 4.1. Yüksek karbonlu ve düşük karbonlu Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların santrifüj hızına göre karbür hacim oranı değerleri (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım, S=santrifüj hızı, G=Gravity)

Numune adı	Karbür Adı ve Yüzde Oranı			
	$M_{23}C_6$	M_7C_3	M_3X	Toplam Karbür
ADG	2,35	-	-	2,35
AYS90	2,57	1,86	-	4,43
AYS135	2,87	3,58	-	6,45
AYS180	3,06	2,13	-	4,84
AYS225	4,27	1,61	-	5,93
ADS225	2,09	-	-	2,09
VYS90	1,03	4,14	1,25	5,49
VYS135	0,55	6,09	0,91	6,23
VYS180	1,31	2,78	1,72	5,82
VYS225	1,16	3,95	0,44	5,41
VDS225	2,20	-	-	2,20



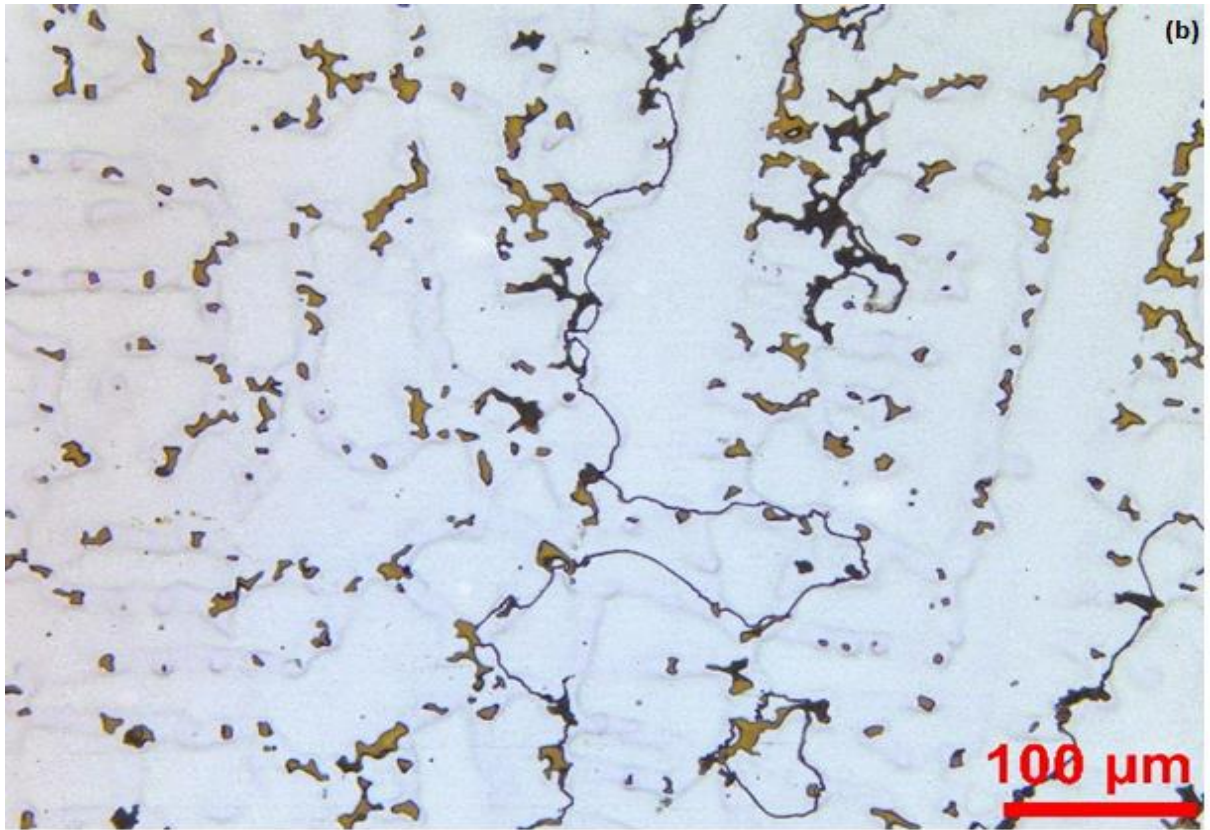
Şekil 4.1. XRD analizi a) Açık atmosferde meydana gelen karbürlerin XRD analizi, b) Vakum atmosferinde meydana gelen karbürlerin XRD analizleri

Literatürde M_3X (Co_3C) fazı hakkında herhangi bir bilgi mevcut değildir. Vakum ortamında yüksek karbonlu alaşımda (VY) meydana gelen M_3X fazının, $M_{23}C_6$ fazının bir dönüşümü olduğu düşünülmektedir. Bu durum birim kafeste Cr atomlarının Co atomları ile yer alan atom olarak yer değiştirmesi ile açıklanabilir. Cr atomu ile Co atomu yarıçap olarak birbirine çok yakındır (Cr: 160 pm, Co: 152 pm). Sabit oranlar yasasına göre $M_{23}C_6$ bileşiği $M_{3,8}C$ olarak yazılabilmektedir. Burada Cr atomu Co atomu ile yer değiştirdiğinden M katsayısı 3 olarak değişmiş olabilir, Şekil 4.2.

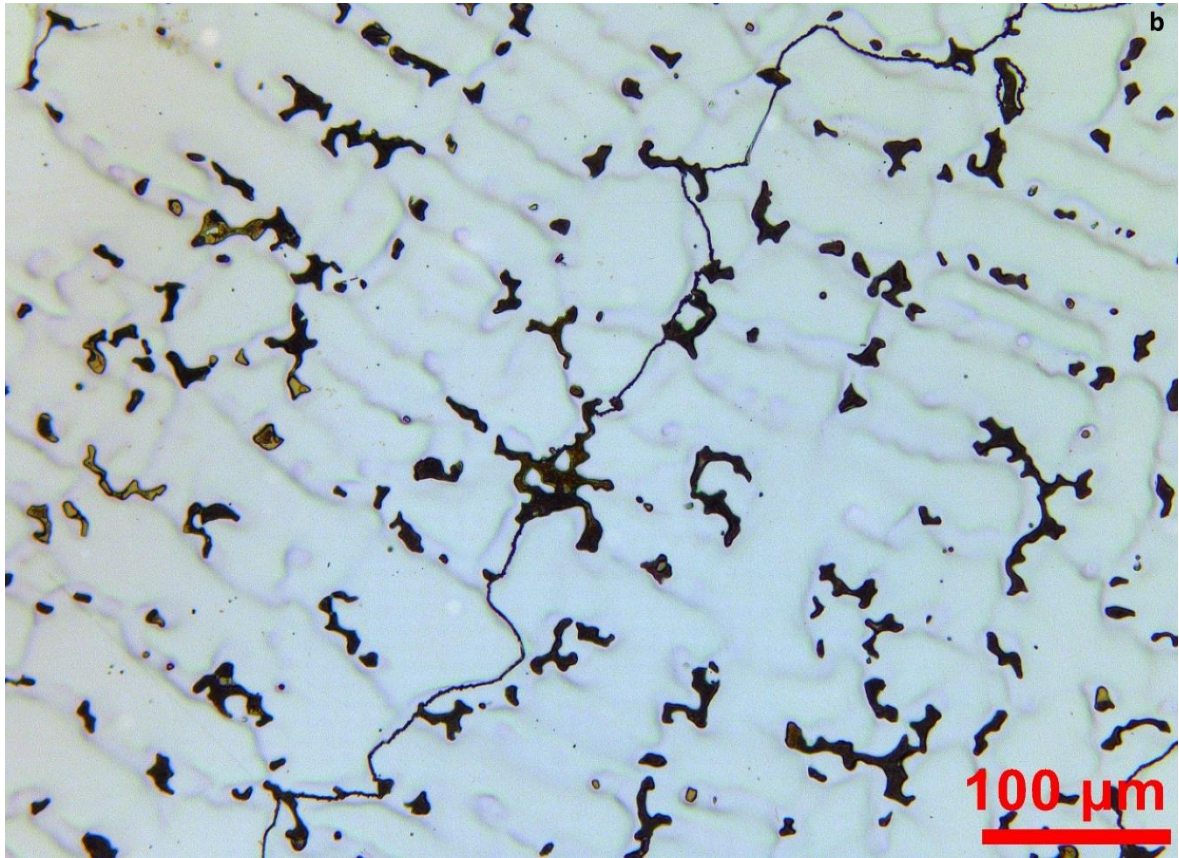
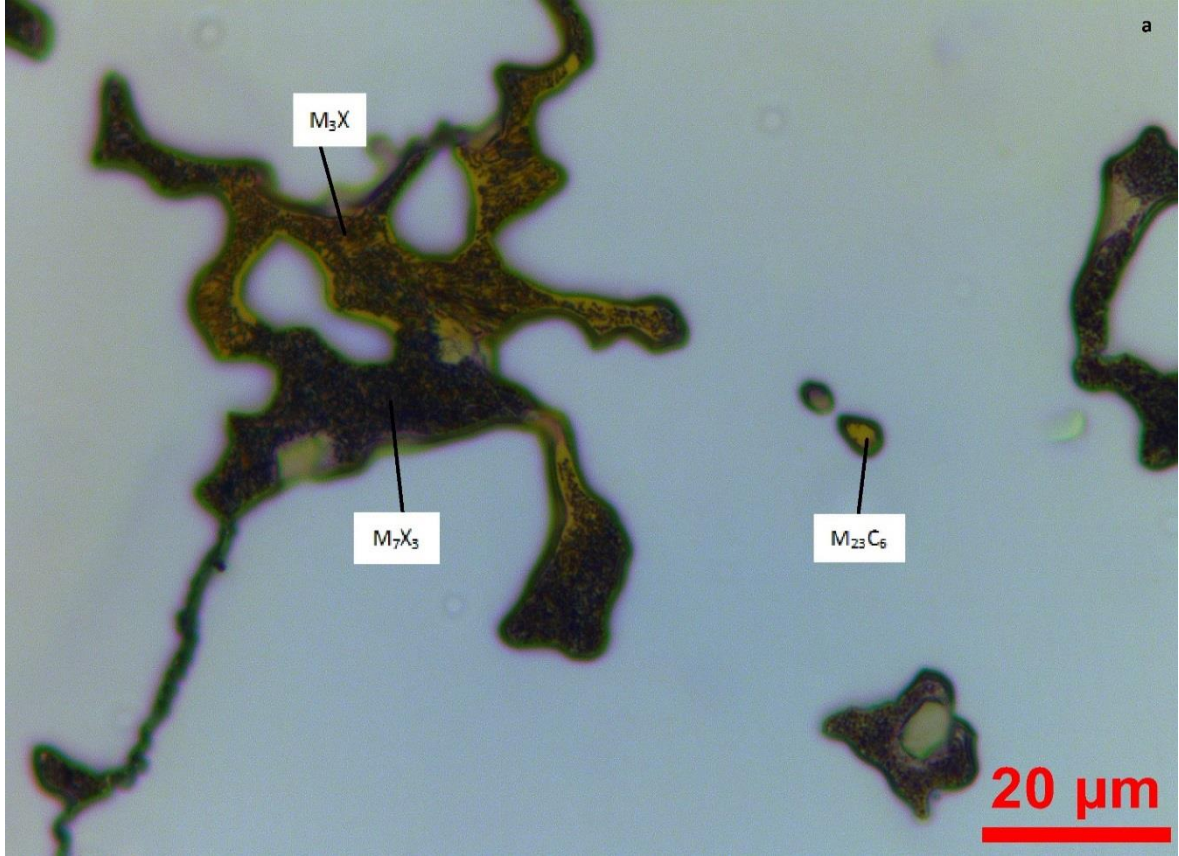


Şekil 4.2. EDS analizi a) Vakum ortamında yüksek C'lu parçada meydana gelen $M_{23}C_6$ fazının EDS analizi b) Vakum ortamında yüksek C'lu parçada meydana gelen M_3X fazının EDS analizi

Düşük karbonlu alaşımın açık açık atmosferde gravity (ADG) yöntemi ile ve açık atmosfer ve vakum altında 225 devir/dakika santrifüj hızı ile üretilen döküm bloklarında (ADS225, VDS 225) sarı renkli $M_{23}C_6$ karbürleri meydana gelirken (Resim 4.2-7) yüksek karbonlu alaşımın açık atmosferde değişik santrifüj hızlarında çoğunlukla sarı renkli $M_{23}C_6$ karbürleri ve yer yer M_7X_3 (Cr_7C_3) karbürleri, vakum altında ise yoğun olarak lamel yapılı M_3X karbürleri, yer yer M_7X_3 (Cr_7C_3) ve $M_{23}C_6$ karbürleri teşekkül etmiştir. (Resim 4.8-9).



Resim 4.8. AYS 225 kodlu döküm parçanın mikro yapı görüntüleri a)Merkez Taban 100X
b)Merkez Taban 20X

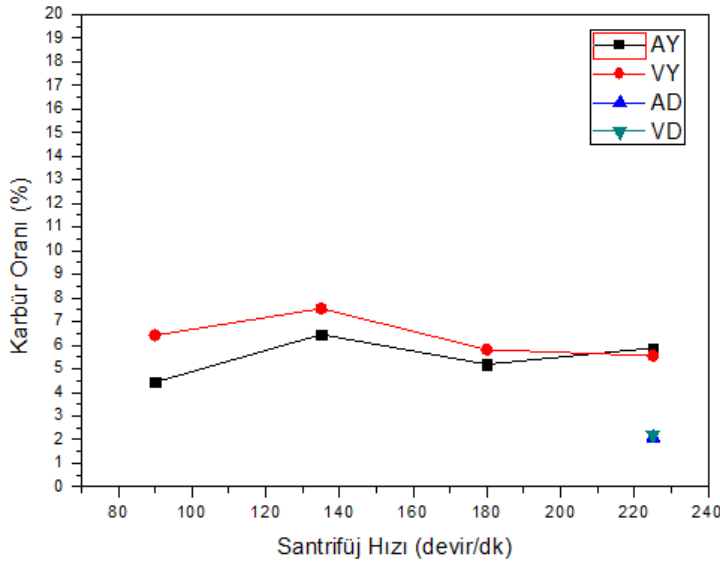


Resim 4.9. VYS 225 kodlu döküm parçanın mikro yapı görüntüleri a) orta taban 100X d) merkez taban 20X

İmplantlarda bulunan çökeltiler, implant alaşımların biyolojik, mekanik ve kimyasal performanslarını geliştirmek amacıyla kimyasal kompozisyonu ve termomekanik işlemleri optimize edilmelidir (Narushima ve diğerleri, 2013).

Düşük karbonlu (% 0,08 C) Co-Cr-Mo alaşımın açık atmosferde üretilen gravity (ADG) döküm bloku toplam % 2,35 karbür oranına sahiptir, Çizelge 4.1 ve Şekil 4.3.. Karbür hacim oranı ADS225 kodlu döküm blokta % 2,09, VDS225 kodlu dökümde ise % 2,20 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre düşük karbonlu alaşımda atmosfer ortamı ve santrifüj kuvvetlerinin karbür hacim oranı üzerine etkili olmadığı belirlenmiştir. Yüksek karbonlu (% 0,27 C) Co-Cr-Mo alaşımın açık atmosferde ve vakum altında santrifüj hızlarına göre üretilen döküm bloklarında da atmosfer ortamı ve santrifüj etkisi karbür hacim oranını çok fazla etkilememiştir. Yalnız yüksek karbonlu alaşımın döküm blokları düşük karbonlu alaşımın döküm bloklarına göre daha yüksek karbür hacim oranı üretmiştir.

Ramirez ve diğerleri (2008) cerrahi implantların üretiminde kullanılan düşük karbonlu ASTM F-75 alaşımının korozyona uğramasının düşük bir ihtimal olduğunu bildirmektedirler. Ayrıca yaptıkları çalışmada blok ve ötektoid karbürlerin hacim oranlarının soğuma oranıyla önemli derecede etkilenmediğini tespit etmişlerdir. Buna karşın, soğuma hızı karbür hacim oranını etkilemezken karbon içeriğinin karbür hacim oranını etkilediğini belirlemişlerdir. Bu çalışmada da literatürdeki sonuçlara benzer şekilde düşük karbon içeren (% 0,08 C) alaşımda karbür hacim oranı yaklaşık % 2,2 iken yüksek karbon içeren (% 0,27 C) alaşımda ise karbür hacim oranı yaklaşık % 6 olarak hesaplanmıştır. Yüksek karbonlu alaşımlarda açık atmosferde (AY) $M_{23}C_6$ karbürü yoğun olarak gözlemlenirken vakum altında M_7C_3 karbür hacim oranı $M_{23}C_6$ karbür hacim oranına göre önemli derecede artış gözlemlenmiştir, Resim 4.8. ve Çizelge 4.1.

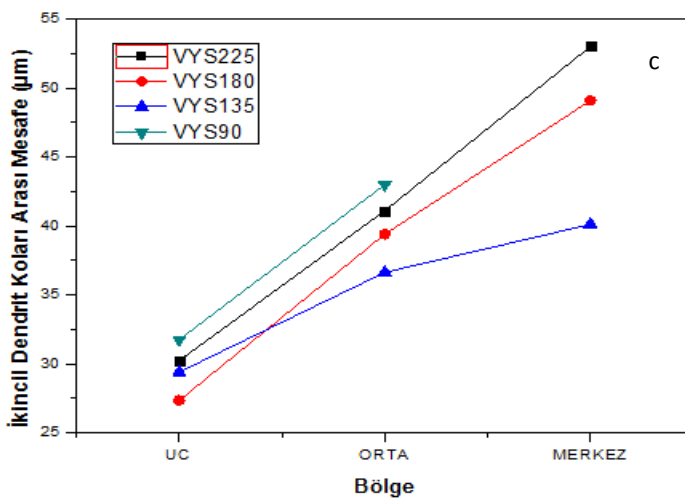
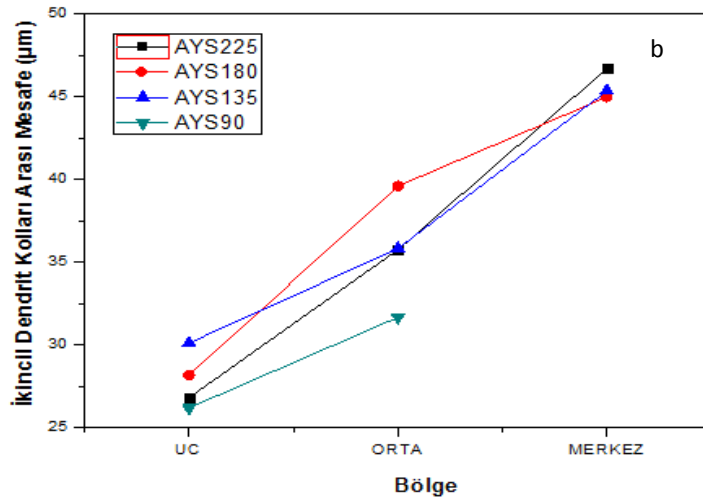
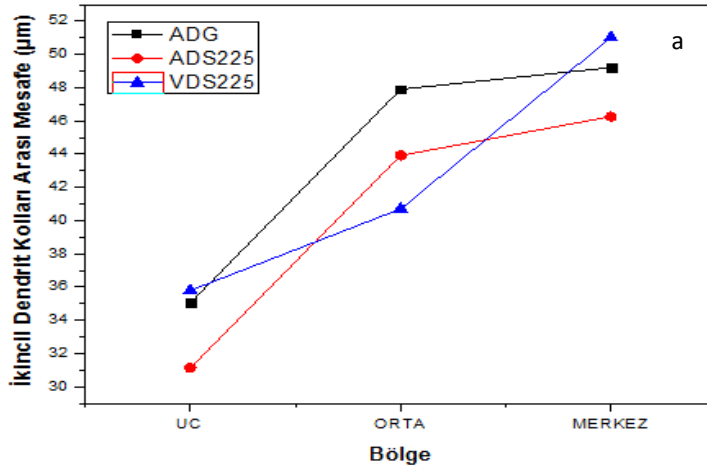


Şekil 4.3. Yüksek karbonlu ve düşük karbonlu Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların santrifüj hızına göre karbür oranı. (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım)

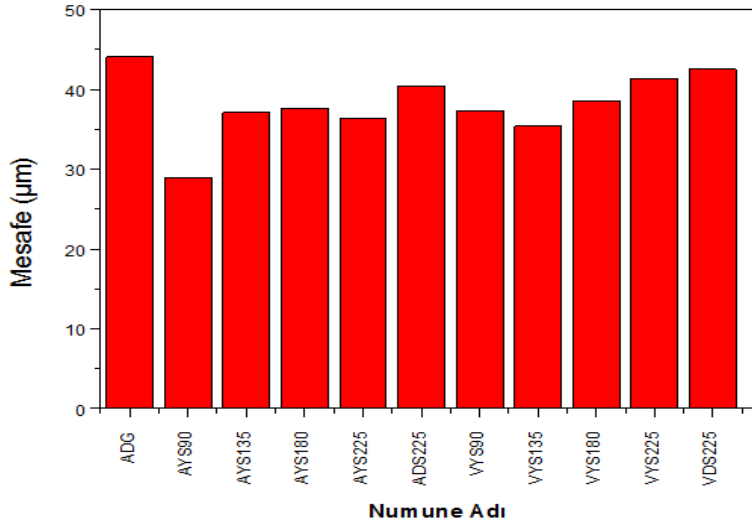
İkincil dendrit kolları arasındaki mesafe sonuçları Çizelge 4.2., Şekil 4.4 ve 4.5’de verilmiştir. Bütün numunelerde ikincil dendrit kolları arası mesafe uç, orta ve merkeze doğru artmaktadır. Bu artış şüphesiz katılaşma hızının uç bölgeden merkeze doğru düşmesinden kaynaklanmaktadır (Kaiser ve diğerleri, 2013). Düşük karbonlu (% 0,08 C) Co-Cr-Mo alaşımı açık atmosferde gravity döküm bloku (ADG) 44,05 μm ikincil dendrit kolları arası mesafeye sahiptir. İkincil dendrit kolları arası mesafe ADS225 kodlu döküm blokta 40,43 μm , VDS225 kodlu döküm blokta ise 42,5 μm olarak ölçülmüştür, Şekil 4.4-a. İkincil dendrit kolları arası mesafe santrifüj hızı ile çok az düşmüştür. Bu düşmenin santrifüj kuvvetinin katılaşma hızını arttırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek karbonlu (% 0,27 C) Co-Cr-Mo alaşımın açık atmosferde santrifüj hızlarına göre üretilen döküm bloklarında ise ikincil dendrit kolları arası mesafe 90 devir/dakika santrifüj hızından sonra artmış ancak 135, 180 ve 225 devir/dakika santrifüj hızlarında dikkate değer bir farklılık göstermemiştir, Şekil 4.4-b. Yüksek karbonlu (% 0,27 C) Co-Cr-Mo alaşımın vakum ortamında santrifüj hızlarına göre üretilen döküm bloklarında da ikincil dendrit kolları arası mesafe santrifüj hızlarına göre önemli bir değişiklik göstermemiştir, Şekil 4.4-c.

Çizelge 4.2. Yüksek karbonlu ve düşük karbonlu Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların santrifüj hızına göre ikincil dendrit kolları arası mesafe değerleri. (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım)

Numune adı	Bölge	Dendrit Kolları Arası Mesafe (μm)	Ortalama (μm)
ADG	Uç	35,04	44,05
	Orta	47,90	
	Merkez	49,21	
AYS90	Uç	26,18	28,91
	Orta	31,65	
	Merkez	-	
AYS135	Uç	30,10	37,09
	Orta	35,81	
	Merkez	45,34	
AYS180	Uç	28,16	37,57
	Orta	39,59	
	Merkez	44,97	
AYS225	Uç	26,80	36,42
	Orta	35,74	
	Merkez	46,69	
ADS225	Uç	31,13	40,43
	Orta	43,91	
	Merkez	46,26	
VYS90	Uç	31,75	37,36
	Orta	42,98	
	Merkez	-	
VYS135	Uç	29,40	35,37
	Orta	36,62	
	Merkez	40,11	
VYS180	Uç	27,34	38,6
	Orta	39,39	
	Merkez	49,08	
VYS225	Uç	30,22	41,39
	Orta	41,09	
	Merkez	53,01	
VDS22d5	Uç	35,79	42,5
	Orta	40,7	
	Merkez	51,01	



Şekil 4.4. Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm bloklarında santrifüj hızının ikincil dendrit kolları arası mesafeye etkisi a) Düşük karbonlu, b) Yüksek karbonlu, c) Vakum ortamında yüksek karbonlu (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım)



Şekil 4.5. Yüksek karbonlu ve düşük karbonlu Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm bloklarında santrifüj hızının ikincil dendrit kolları arası mesafeye etkisi . (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım)

4.2. Dental CAD-CAM Metal Blokların Mekanik Özellikleri

4.2.1. Çekme testi sonuçları

Çizelge 3.2'ye göre üretilen Co-Cr-Mo alaşımın döküm bloklarının çekme dayanımı, akma dayanımı ve % uzama değerleri Çizelge 4.3 ve Şekil 4.6.a-c'de verilmiştir

Çizelge 4.3. Düşük ve yüksek karbonlu Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların santrifüj hızına göre akma, çekme ve kopma dayanımı ve % uzama değerleri

Numune adı	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
ADG	504	607	265,5	6
AYS90	510	651	588	4
AYS135	548	698	508	5,26
AYS180	571	675	632	4,98
AYS225	585	741	672,5	6,55
ADS225	503	660,5	583	7,1
VYS90	543	660	530	5
VYS135	552	702,5	659	5,8
VYS180	532	667	623,5	5,8
VYS225	610	765	722	7,5
VDS225	510	680	606,5	10,6

(A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım, S=santrifüj, G=Gravity).

Deneysel çalışmalarda ASTM F-75 standardı kimyasal bileşim aralığında yüksek karbonlu (% 0,27 C) Co-Cr-Mo alaşımının açık atmosferde ve 90, 135, 180 ve 225 devir/dakika santrifüj hızlarında seramik kalıba dökümü ile elde edilen döküm blokların çekme, akma ve kopma dayanımları ve % uzama değerleri santrifüj hızı arttıkça artmaktadır, Çizelge 4.3, Şekil 4.6.a-c.

Bu durumun sebebi artan “G” kuvveti ile daha rijit ve tok bir yapı oluşmasıyla açıklanabilir. Şöyle ki; 225 devir/dakikadaki G kuvveti, 90 devir/dakikadaki G kuvvetinden 6,25 kat daha fazladır.

Açık atmosferde yüksek karbonlu (AY) Co-Cr-Mo alaşımının ve 90, 135, 180 ve 225 devir/dakika santrifüj hızlarında seramik kalıba dökümü ile elde edilen döküm blokları ASTM F-75 standardında belirtilen 655 MPa çekme ve 450 MPa akma dayanımı değerlerini sağlarken % 8 uzama değerini sağlamamıştır.

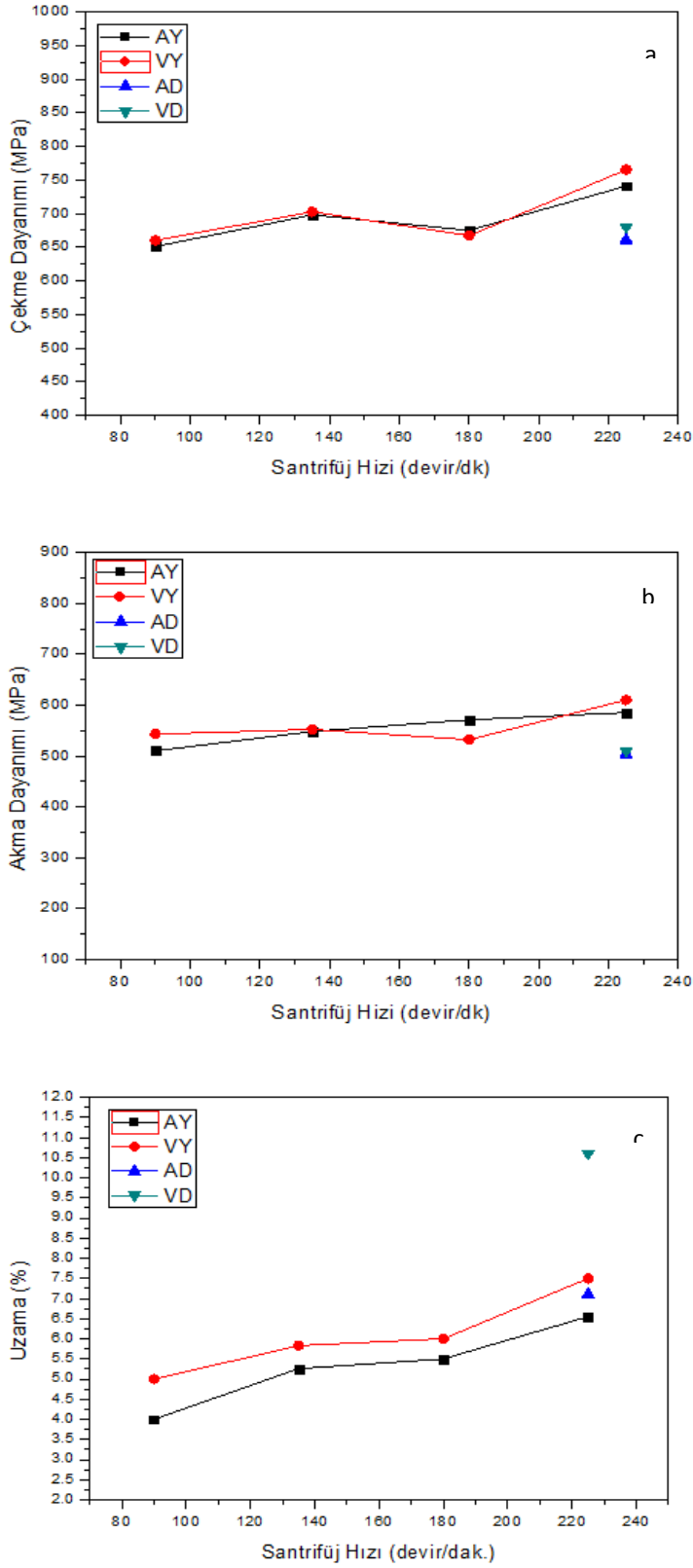
Yüksek karbonlu (VY) Co-Cr-Mo alaşımının vakum ortamında ergitme ve 90, 135, 180, 225 devir/dakika santrifüj hızlarında seramik kalıba dökümü ile elde edilen döküm blokları açık atmosferde aynı santrifüj hızlarında üretilen döküm bloklarına benzer şekilde fakat nispeten daha yüksek çekme özellikleri sergilemişlerdir.

Bu durumun sebebi ise vakum ortamında ergitme ve döküm esnasında normal atmosfer ortamında bulunan gazların olumsuz etkilerinin gözlenmemesiyle açıklanabilir.

VYS180 kodlu döküm parçanın çekme değerlerinin VYS135’e göre bir miktar düşük olmasının deneysel hatalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. VYS225 kodlu döküm blok parça 765 MPa çekme, 610 MPa akma ve 722 MPa kopma dayanım ve % 7,5 uzama değerleri ile yüksek karbonlu (% 0,27 C) Co-Cr-Mo alaşımının vakum ortamında ergitme ve vakum ortamında değişik santrifüj hızlarında en yüksek çekme özellik değerlerini üretmekle birlikte ASTM F-75 standardında belirtilen % 8 uzama değerinden 0,5 daha düşük % uzama değeri sergilemiştir. Diğer bir ifade ile VYS225 kodlu döküm blok parça ASTM F-75 standardında belirtilen 655 MPa çekme ve 450 MPa akma dayanımı değerlerini % 8 uzama dışında sağlamıştır.

Deneysel çalışmalarda ASTM F-75 standardı kimyasal bileşim aralığında düşük karbonlu (% 0,08 C) Co-Cr-Mo alaşımının açık atmosferde seramik kalıba dökümü ile elde edilen döküm blok (ADG) 607 MPa çekme, 504 MPa akma ve 265,5 MPa kopma dayanımları ve % 6 uzama değerlerini vermiştir. Bu değerler düşük karbonlu (% 0,08 C) Co-Cr-Mo alaşımının açık atmosferde seramik kalıba 225 devir/dakika santrifüj hızında dökümü (ADS225) ile sırasıyla 660,5 MPa çekme dayanımı, 503 MPa akma dayanımı ve 583 MPa kopma dayanımı ve % 7,1 uzama ile artış göstermiş fakat ASTM F-75 standardında belirtilen akma dayanımı ve % uzama değerlerini karşılamamıştır. ASTM F-75 standardında belirtilen 655 MPa çekme dayanım, 450 MPa akma dayanım ve % 8 uzama değerlerini düşük karbonlu (% 0,08 C) Co-Cr-Mo alaşımının vakum ortamında ergitme ve vakum ortamında seramik kalıba 225 devir/dakika Santrifüj hızında dökümü (VDS225) 680 MPa çekme dayanım, 510 MPa akma dayanım ve 606,5 MPa kopma dayanım ve % 10,6 uzama değerleri üreterek sağlamıştır.

Dental CAD-CAM metal bloklarda düşük karbonlu alaşım (DC) ile yüksek karbonlu alaşım (YC) karşılaştırıldığında artan karbon oranıyla % uzama değeri azalırken, çekme mukavemeti değeri artmıştır. Çünkü karbon sertleştirici etkisi olan elementtir. Karbon miktarındaki her artış, sertlik ve çekme dayanımını artırırken uzama değerlerini azaltır.



Şekil 4.6. Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların santrifüj hızına Göre mekanik etkileri a) çekme dayanımı b) akma dayanımı, c) % uzama. (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım)

4.2.2. Sertlik ölçüm sonuçları

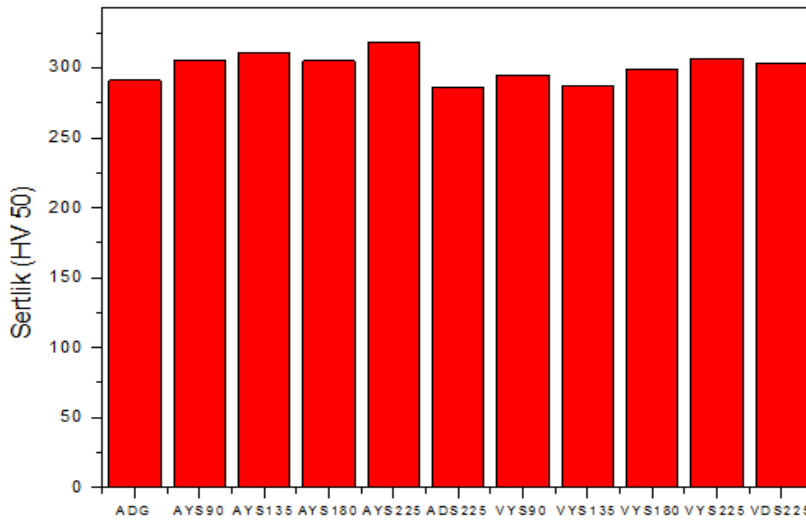
Çizelge 3.2'ye göre üretilen Co-Cr-Mo alaşımının döküm bloklarının sertlik değerleri Çizelge 4.4 ve Şekil 4.7'de verilmiştir. Düşük karbonlu Co-Cr-Mo alaşımın gravity döküm blok (ADG) 291HV, ADS225 kodlu döküm blok 286 HV ve VDS225 kodlu döküm bloku 303 HV sertlik değerleri üretmişlerdir. Düşük karbonlu alaşımın vakum ortamında 225 devir/dakika santrifüj hızı (VDS225) sertlik değerini ADG kodlu döküm bloka göre yaklaşık olarak % 4,12 artırmıştır. VDS225 kodlu numunedeki sertlik artışı aynı zamanda çekme özellik değerlerini de arttırdığı gözlemlenmiştir, Çizelge 4.3. Yüksek karbonlu (% 0,27 C) Co-Cr-Mo alaşımın açık atmosferde santrifüj hızlarına göre üretilen döküm bloklarının sertlik değeri 225 devir/dakika santrifüj hızında (AYS225) maksimum değere (318 HV) ulaşmıştır. Yüksek karbonlu alaşımın vakum ortamı ve 225 devir/dakika santrifüj hızı (VYS225) bu grupta 307 HV ile en yüksek sertlik değerini vermiştir.

Yüksek karbonlu alaşımın açık atmosferde ve değişik santrifüj hızlarında üretilen dökümlerinin sertlik değerleri vakum ortamına göre daha yüksektir.Çizelge 4.1.'de verildiği üzere, yüksek karbonlu alaşımında açık atmosferde (AY) $M_{23}C_6$ karbür yoğun olarak meydana gelirken vakum ortamında M_7C_3 karbür hacim oranı $M_{23}C_6$ karbür hacim oranına göre önemli derecede artış göstermiştir. Bu durumda $M_{23}C_6$ karbür hacim sertliğinin M_7C_3 karbür sertliğinden daha yüksek olabileceği ve sonuç olarak sertlik farklılıklarının karbür tipinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

ASTM F-75 standardında sertlik değerinin 270-355 HV arasında olabileceğini belirtmiştir, (ASTM F-75, 1998). Bu çalışmada üretilen tüm metal blokların standardın gerektirdiği sertlik değeri aralığındadır, Çizelge 4.4.

Çizelge 4.4. Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların santrifüj hızına göre sertlik değerleri. (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım, S=Santrifüj, G=Gravity)

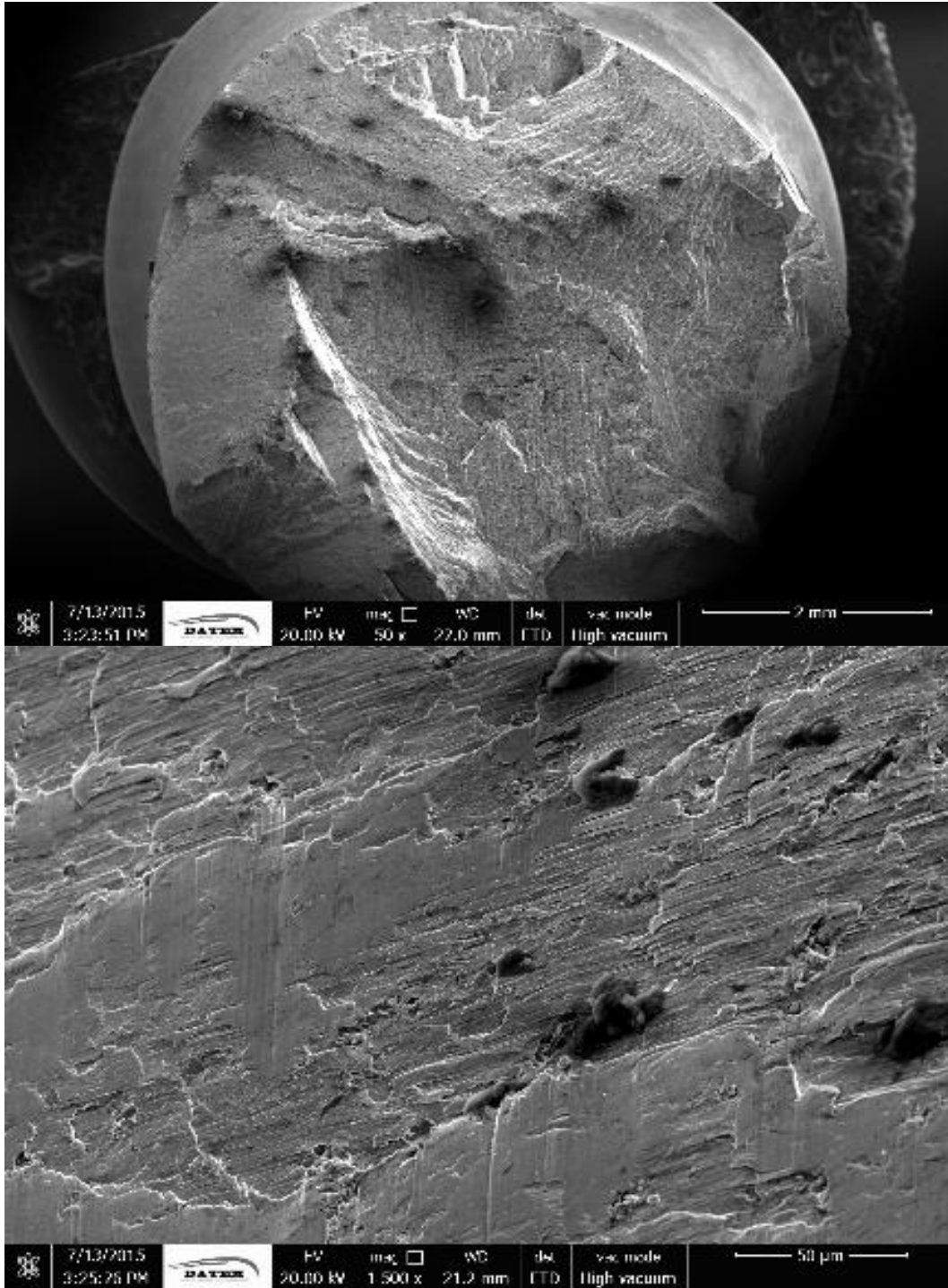
Numune adı	Sertlik Değeri (HV50)
ADG	291
AYS90	306
AYS135	311
AYS180	305
AYS225	318
ADS225	286
VYS90	295
VYS135	287
VYS180	299
VYS225	307
VDS225	303



Şekil 4.7. Co-Cr-Mo alaşımı Dental CAD-CAM metal döküm blokların santrifüj hızına göre sertlik değerleri. (A= açık atmosfer ortamı, V= vakum ortamı, Y= yüksek karbonlu alaşım, D= düşük karbonlu alaşım, S=santrifüj, G=Gravity)

4.2.3. Kırık yüzey incelemesi

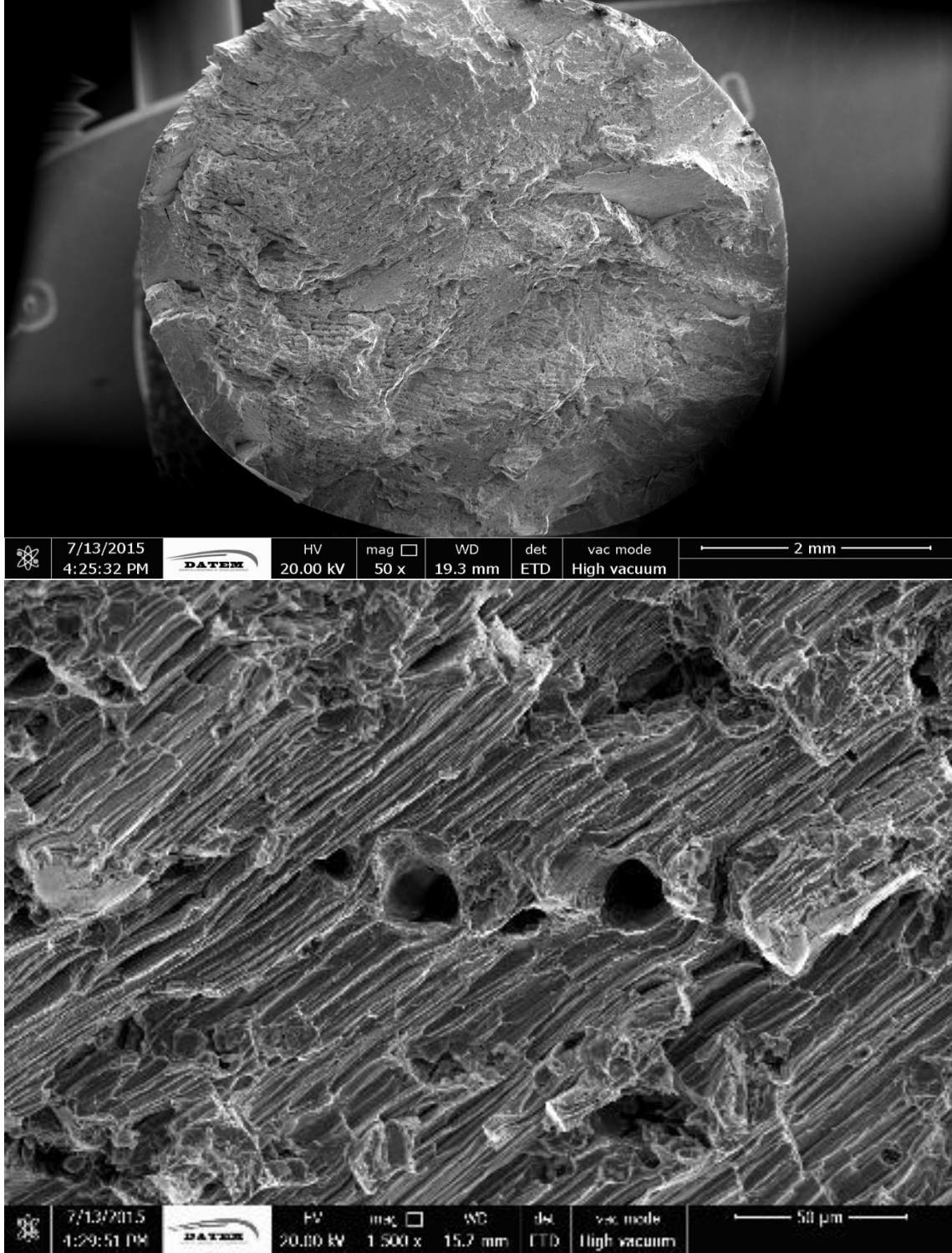
Deneysel çalışmalarda üretilen ADG kodlu döküm blok Resim 4.10'da görüleceği üzere düzgün kırılma yüzeyine sahiptir. Bu nedenle ADG kodlu döküm blok santrifüj dökümlere göre daha düşük kopma dayanımı sergilemiştir. Gevrek kırılmalarda sünek bölge (shear lip zone) nerdeyse oluşmamaktadır (Metals Handbook, 1987).



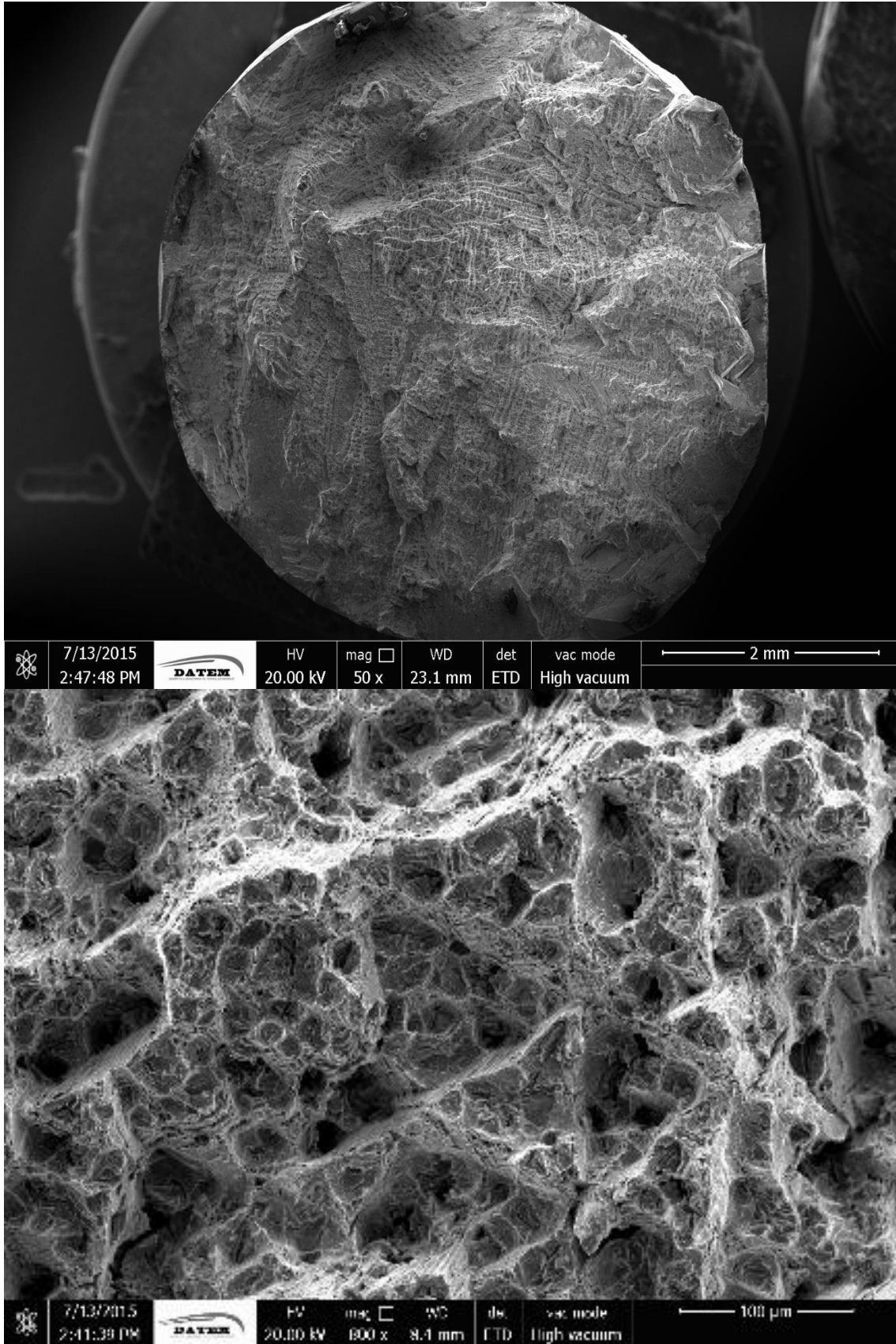
Resim 4.10. ADG kodlu parçanın kırılma yüzeyi

ADS 225 kodlu parça yarı gevrek (quasi-cleavage fracture) kırılma yüzeyi sergilemiştir, Resim 4.11. Açık atmosfer ortamında üretilen numunede sünek bölge oldukça azdır (shear lip zone). Vakum ortamında üretilen numunede (Resim 4.12) ise çukurcuklar (dimples) gözlemlenmiştir. Çukurcuk oluşumu sünek kırılmanın göstergesidir (Metal Handbook, 1987). Bu nedenle düşük karbonlu Co-Cr-Mo alaşımın açık atmosferde 225 devir/dakika

santrifüj hızında (ADS225) üretilen döküm blokları vakum ortamında aynı santrifüj hızında (VDS225) üretilen döküm bloklarına göre daha düşük % uzama değerine sahiptir, Çizelge 4.3. Aynı zamanda VDS225 kodlu döküm blokta taneler arası kırılma yüzeyi gözlemlenmiştir.

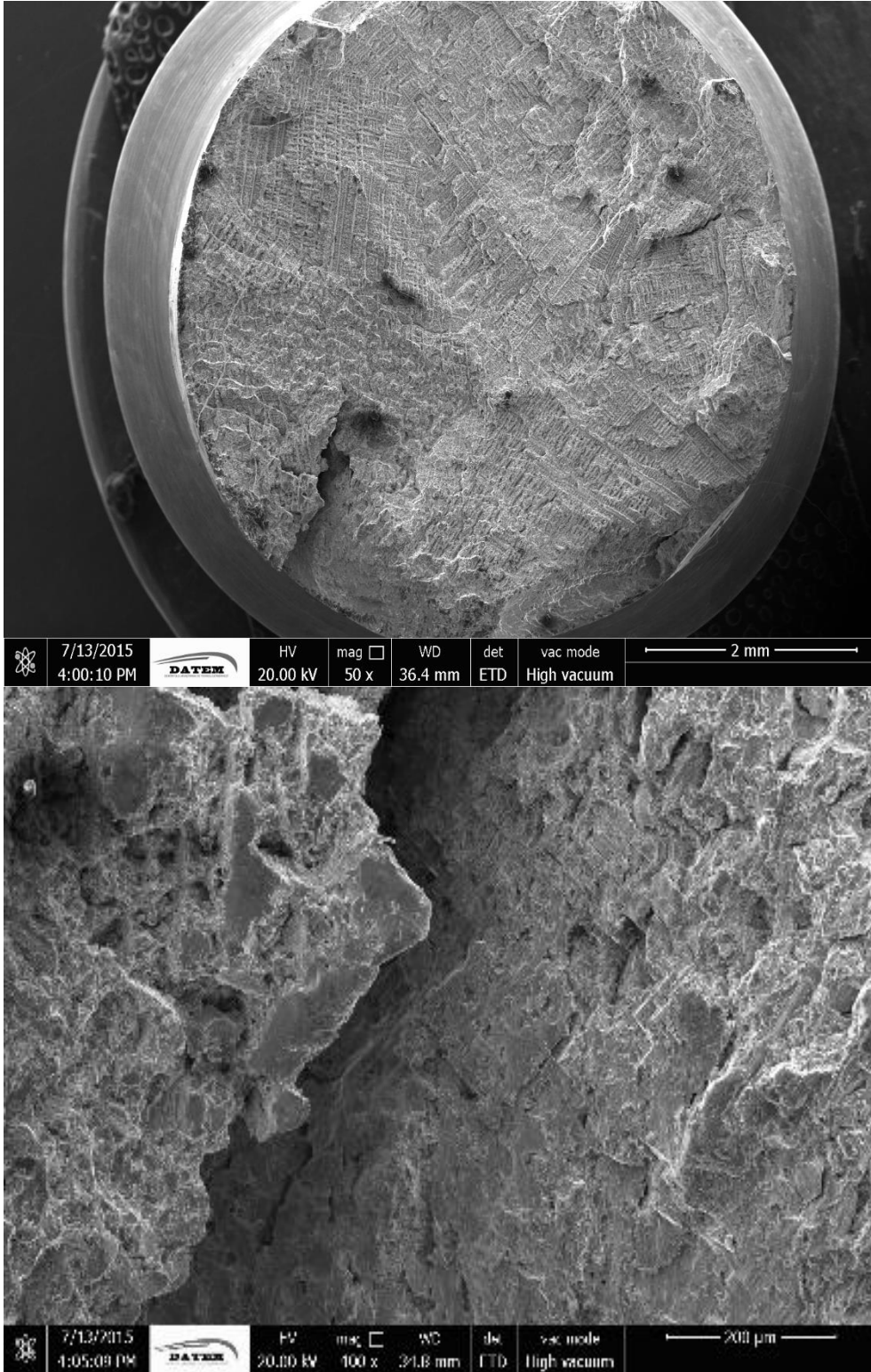


Resim 4.11. ADS225 kodlu parçanın kırılma yüzeyi görüntüleri

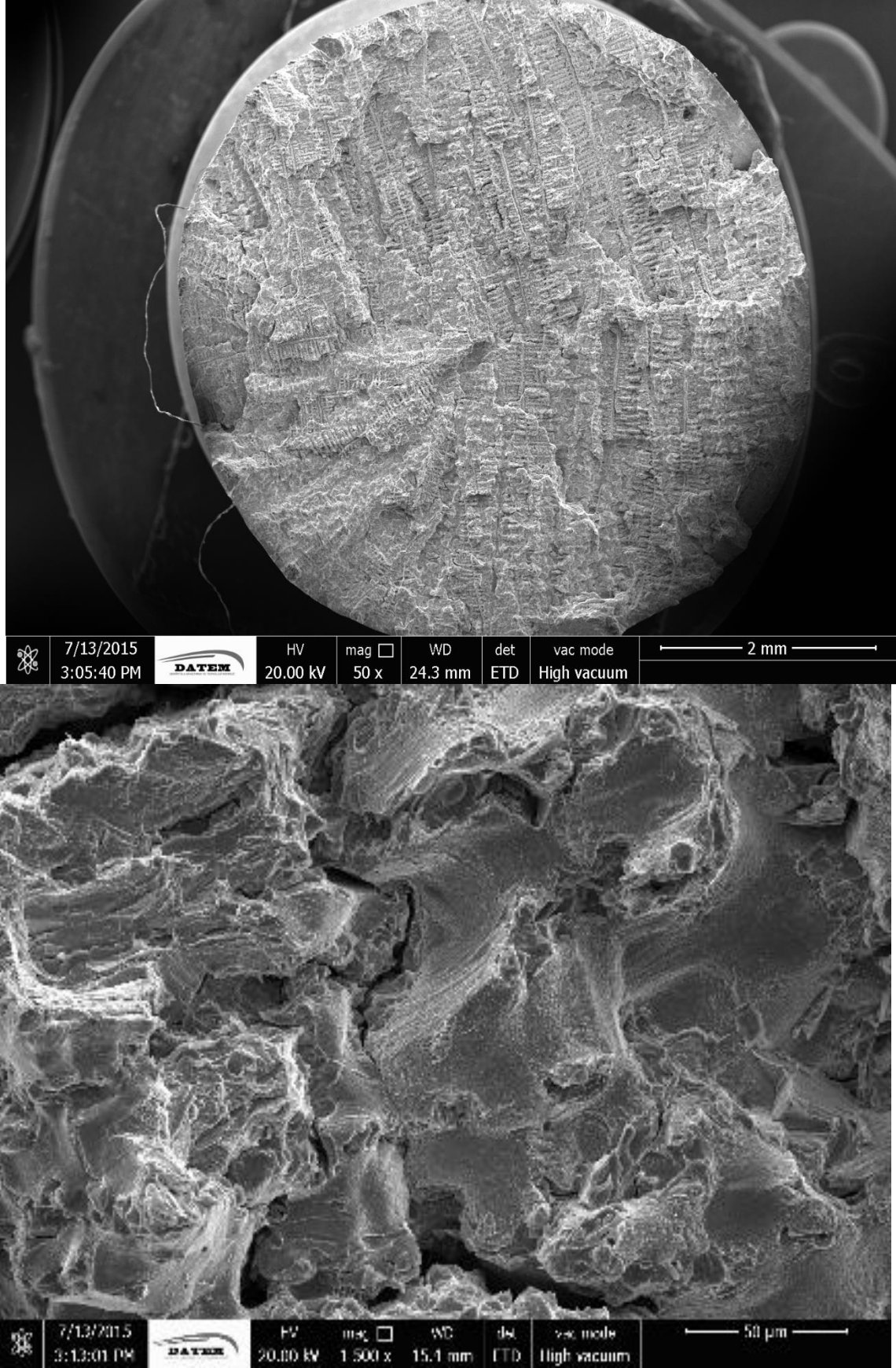


Resim 4.12. VDS225 kodlu parçanın kırılma yüzeyi görüntüleri

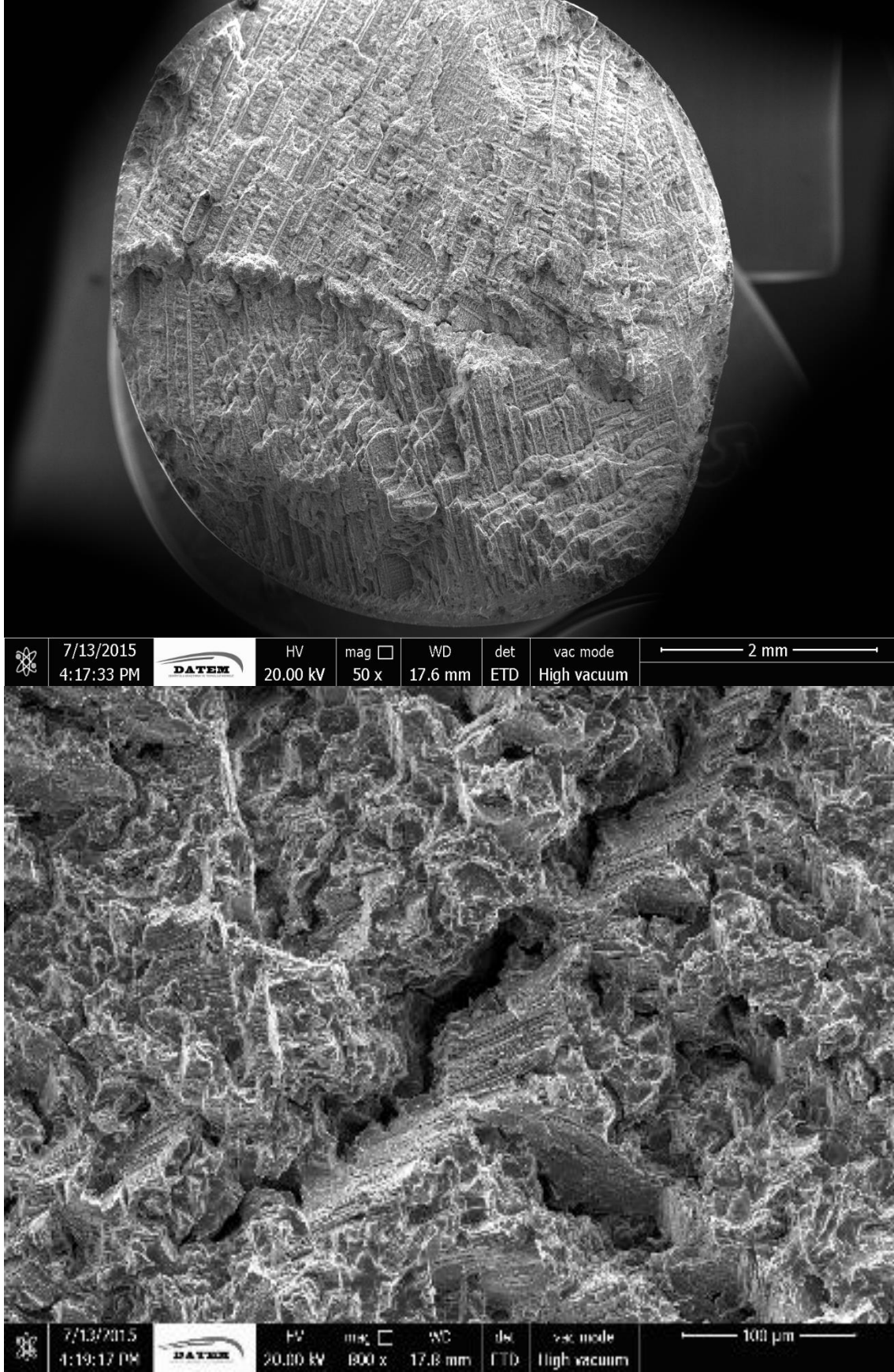
Yüksek karbonlu alaşım ile dökülen parçalar düşük karbonlu alaşım ile dökülen parçalara göre daha geniş bir yüzeyde daha fazla gevrek kırılma yüzeyine sahiptir. Yüksek karbonlu alaşım dökümlerinde taneler arası kırılma yüzeyi daha belirgindir, Resim 4.13-16.



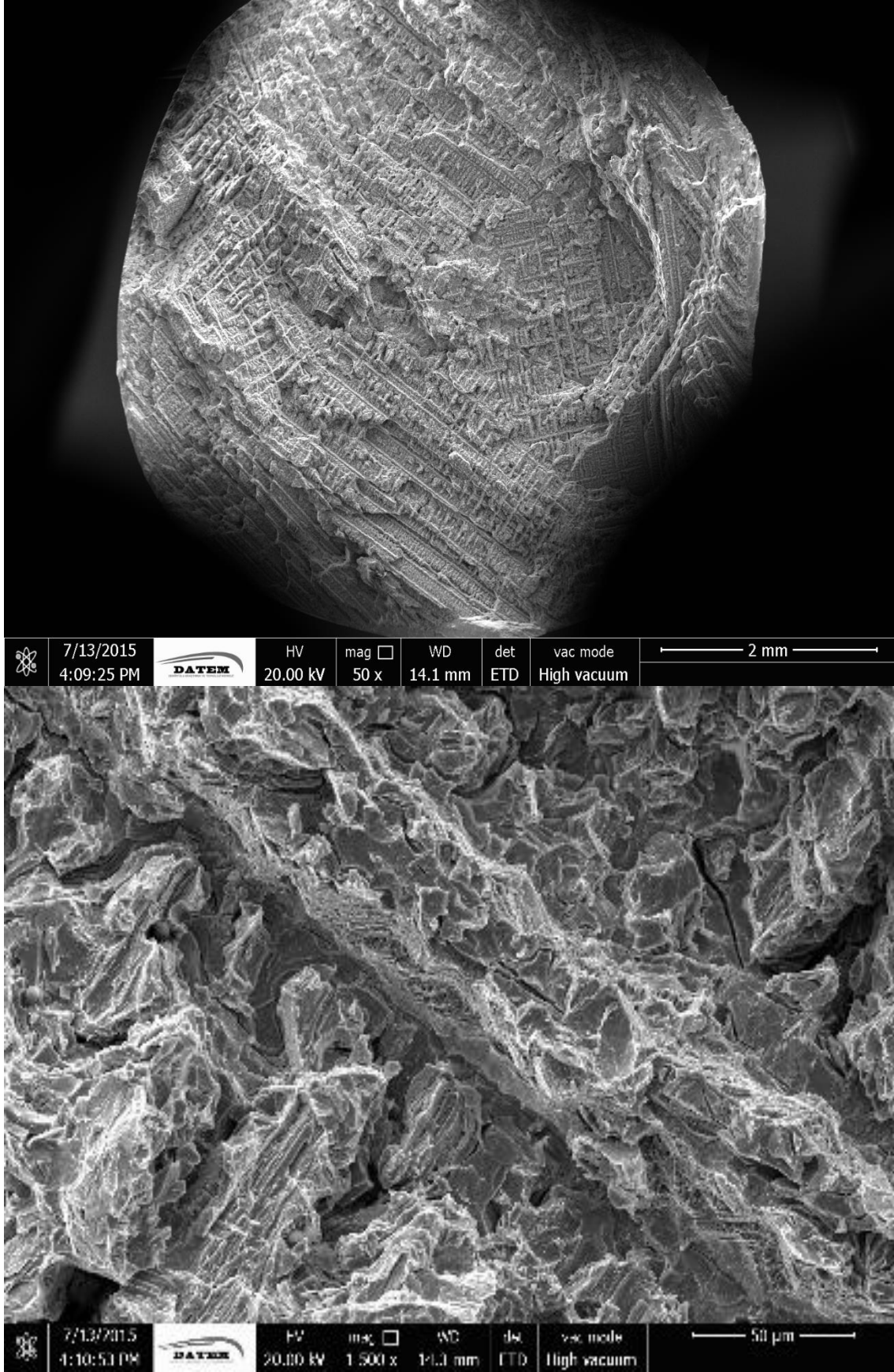
Resim 4.13. AYS225 kodlu parçanın kırılma yüzeyi görüntüleri



Resim 4.14. VYS225 kodlu parçanın kırılma yüzeyi görüntüleri



Resim 4.15. AYS90 kodlu parçanın kırılma yüzeyi görüntüleri



Resim 4.16. VYS90 kodlu parçanın kırılma yüzeyi görüntüleri

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada Co-Cr-Mo süperalaşım olan ve ticari olarak kullanılan ASTM F-75 alaşımının vakum ortamında santrifüj etkisiyle hassas döküm yöntemi ile üretilen Dental CAD-CAM metal blokların vakum, santrifüj ve % C miktarının mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Açık ve vakum atmosfer basıncında, 90 ve 135 devir/dakika santrifüj hızlarında üretilen dental CAD-CAM metal bloklarda çekme boşluğu meydana gelirken, 180 ve 225 devir/dakika santrifüj hızlarında üretilen metal bloklarda çekme meydana gelmemiştir.
2. Açık ve vakum ortamında üretilen düşük karbonlu metal blokların tamamında $M_{23}C_6$ ($Cr_{23}C_6$) karbürleri meydana gelirken yüksek karbonlu (% 0,27 C) metal bloklarda açık atmosfer ortamında M_7C_3 (Cr_7C_3) karbür tipi, yüksek karbonlu dental döküm bloklarda vakum ortamında M_7C_3 (Cr_7C_3) karbüre ek olarak lamelli yapıda M_3X (Co_3C) karbürü meydana geldiği gözlemlenmiştir.
3. Yüksek karbonlu alaşım (% 0,27 C) ile üretilen metal bloklarda, düşük karbonlu alaşım (% 0,08 C) ile üretilen metal bloklara göre yüzde karbür hacim oranı daha fazladır.
4. Bütün numunelerde ikincil dendrit kolları arası mesafe uçtan merkeze doğru artmaktadır.
5. Düşük karbonlu (% 0,08 C) alaşımda vakum ortamında 225 devir/dakika santrifüj hızı ile üretilen dental CAD-CAM metal blokta yüksek çekme mukavemeti ve en yüksek % uzama değeri (% 10,5) elde edilmiştir.
6. Sertlik değeri yüksek karbonlu alaşımda(% 0,27 C) düşük karbonlu alaşıma (% 0,08 C) göre daha yüksektir.
7. Yüksek karbonlu alaşım ile dökülen parçalarda düzgün yüzey ayrılma kırılması (cleavage fracture) gözlemlenirken düşük karbonlu alaşımda (% 0,08 C) numunede sünek kırılmanın göstergesi olan çukurcuklu (dimples) kırılma yüzeyi gözlemlenmiştir.

5.2. Öneriler

1. Günümüz şartlarında zaman ve enerji önemli bir faktör durumundadırlar. Bu durum dikkate alındığında dental CAD-CAM metal bloklarda istenen yüksek mukavemet ve süneklik özelliği için daha yüksek santrifüj hız parametreleri ile ilgili çalışmalar yapılarak, ısıl işlem maliyetlerinin sıfırlanarak enerjiden ve zamandan tasarruf sağlanabilir.
2. Karbür hacim oranı için daha kapsamlı çalışmalar yapılmalıdır.
3. Karbürlere mikro sertlik testi yapılarak, karbürlerin sertlikleri araştırılmalıdır.
4. Vakum ortamında yüksek karbonlu alaşımda (VY) oluşan spesifik çökeltilerin mekanik mukavemete, sünekliğe, aşınma ve korozyon dayancına etkileri konusunda daha kapsamlı çalışmalar yapılmalıdır.
5. % 27 C içeren Co-Cr-Mo (ASTM F-75) alaşımının vakum ortamında santrifüj döküm yöntemi ile şekillendirilmesinde lamelli yapıda meydana gelen M_3X (Co_3C) karbürünün detaylı araştırılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Alfirano, S., Mineta, S., Namba, S., Yoneda, T., Ueda, K. and Narushima, T. (2011). Precipitates in As-Cast and Heat – Treated ASTM F75 Co-Cr-Mo-C Alloys Containing Si and/or Mn, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 42,1941-1949.
- Alfirano, S., Mineta, S., Namba, S., Yoneda, T., Ueda, K. and Narushima, T. (2012). Precipitates in Biomedical Co-Cr-Mo-C-N-Si-Mn Alloys, *Metallurgical and Materials Transactions*, 43,2125-2132.
- Asgar, K., Peyton, A. F. (1960). Effect of Microstructure on the Physical Properties of Cobalt-Base Alloys, *University of Michigan School of Dentistry*, 40,1.
- ASTM F75 CoCr Alloy, *Arcam EBM System*
- Bahadır, B. (2010). Süperalaşımların Açık ve Kontrollü Atmosferde Dökümü, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bouse, G. K. and Mihalisin, J.R. (1989) Metallurgy of Investment Cast Superalloy Components, Superalloys, Supercomposites and Superceramics, *Academic Press*, New York.
- Brooks, C. R. (1982). Heat Treatment, Structure and Properties of Nonferrous Alloys, *ASM*, Metals Park, Ohio 44073.
- Brooks, C. R. (1990). Heat Treatment, Structure and Properties of Nonferrous Alloys, *ASM*, Metals Park, Ohio 44073, 229-252.
- Er, Y. (2008). Nikel-Krom-Molibden Alaşımından, Üç Boyutlu Gözenekli Bir İmplant Üretimi Ve İn-Vivo Şartlarda Biyouyumunun Araştırılması, *Firat Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi*, Elazığ.
- Eşiyok, A. (2011). Hassas Dökümde Kullanılan Mum Kalıbında Besleme Yolluklarının Yerinin 3 Boyutlu Optimizasyonu, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze.
- Geoffrey, A. Thompson, DDS, MS, Lou, Q., Ph, D. and Hefti A. DDS, PhD. (2013) Analysis of Four Dental Alloys Following Torch / Centrifugal and Induction / Vacuum- Pressure Casting Procedures, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, Volume 110,ISSUE 6.
- Giacchi, J.V., Morando, C.N., Fornaro, O., Palacio, H. A. (2013). Microstructural Characterization of As-Cast Biocompatible Co-Cr-Mo Alloys, *Materials Characterization*, 62,53-61.
- Gülmez, T. (2009). İmal Usulleri Ders Notları, *İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi*, İstanbul.

- Gültekin, A., Bütün, B. (1995). CoCrMo İmplant Alaşımının Vakum İndüksiyon Ocağında Hassas Döküm Teknolojisi ve Prototip Protez Parçalarının Üretimi, **8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı**, 1,471-476.
- Handbook, M. (1987). vol. 12 Fractography. **ASM International** Metals Park, Ohio, USA.
- Kaiser R., Williamson K., O'Brien C. and Browne D J. (2013) . Effects of Section Size, Surface Cooling Conditions, and Crucible Material on Microstructure and As-Cast Properties of Investment Cast Co-Cr Biomedical Alloy, **Metallurgical and Materials Transactions**, 44A: 5333-5341.
- Kaiser R., Williamson K., O'Brien C., Ramirez-Garcia S., Browne D.J. (2013), The Influence of Cooling Conditions on Grain Size, Secondary Phase Precipitates and Mechanical Properties of Biomedical Alloy Specimens Produced by Investment Casting, **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, 24: 53-63.
- Köksal S. (2014), Kalıcı Kalıba Döküm Yöntemleri Ders Notları, **Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi**, Manisa.
- Kurosu S., Matsumoto H., Chiba A. (2010) Grain Refinement of Biomedical Co-27Cr-5Mo-0.16N alloy by Reverse Transformation , **Material Letters**, 64:49-52.
- Maurer Gernant E. (1989) Primary and Secondary Melt Processing-Superalloys, Superalloys, Supercomposites and Superceramics, **Academic Press**, New York.
- Metals Handbook. (1990) **ASM**, Casting, Vol. 2.
- Mori M., Yamnaka K., Matsumoto H., Chiba A. (2010) Evolution of Cold-Rolled Microstructures of Biomedical Co-Cr-Mo alloys with and without N Doping, **Materials Science and Engineering A** 528: 614-621.
- Narushima T., Mineta S., Kurihara Y. and Ueda K. (2013) Precipitates in Biomedical Co-Cr Alloys, **JOM**, 65,489-504.
- Opiekun, Z., Mat.Sci, J. (1991). Kinetics of Secondary Carbide Precipitation in Boron-modified Cobalt alloys of MAR-M509 type **Journal of Materials Science**, 26, 3386-3391.
- Ramirez-Vidaurre, L.E., Castro-Roman, M., Herrera-Trejo, M., Garcia-Lopez, C.V. and Almanza-Casas, E. (2008). Cooling Rate and Carbon Content Effect On The Fraction of Secondary Phases Precipitate in As-Cast Microstructure of ASTM F-75, **Journal of Materials Processing Technology** 209,1681-1687.
- Sims, C.T.,Stoloff, N. (1987). 50,H/Gel,W.C., Superalloys **II** John Tiitley And Sbn, USP,
- Spires, Walter, P., Jr., Kelman, David, C., Pafford, J. A. (2012), Developments in Investment Casting Process, **Journal of Materials Processing Technology**, 212,2332-2348.

- Standard Specification for Cobalt-28Chromium-6 Molybdenum Alloy Castings and Casting Alloy for Surgical Implants, ASTM F-75, (2012). *Astm International, United States*.
- Standard Specification for Cobalt-28Chromium-6 Molybdenum Alloy Castings and Casting Alloy for Surgical Implants, ASTM F-75, (1998). *Astm International, United States*.
- Standard Specification for Wrought 35Cobalt-35Nickel-20Chromium-10Molybdenum Alloy for Surgical Implant Applications, ASTM F-562, (2012). *Astm International, United States*.
- Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material ASTM E-8/8M, (2015). *Astm International, United States*.
- Superalloys Source Book. (1984). *ASM*
- Şap, E. (2010) Kobalt Esaslı Alaşımlara Bazı Metallerin Etkisinin Araştırılması, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Walczak, M., Beer, K., Surowska, B., Borowicz, J. (2012), The Issue of Using Remelted CoCrMo alloys in Dental Prosthetics, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 12,171-177.
- Yamanaka, K., Mori, M. and Chiba, A. (2014). Effects of Nitrogen Addition on Microstructure and Mechanical Behavior of Biomedical Co-Cr-Mo Alloys, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 29,417-426.
- Yamanaka, K., Mori, M., Kuramoto, K, and Chiba, A. (2014). Development of New Co-Cr-W- based Biomedical Alloys:Effects of Microalloying and Thermomechanical Processing on Microstructures and Mechanical Properties, *Materials and Design*, 55,987-998.
- Yoda, K., Takaichi, A., Nomura, N., Tsutsumi, Y., Doi, H., Kurosu, S., Chiba, A., Yoshimasa, I., Hanawa, T. (2013) Effects of Chromium and Nitrogen Content on The Microstructures and Mechanical Properties of As-Cast Co-Cr-Mo alloys for Dental Applications, *Acta Biomaterialia*, 8, 2856- 2862.
- Zangenah, Sh., Ketabchi, M. (2013). Grain Refinement by Pearlitic – Type Constituents in Co-28Cr-5Mo-0.3C Alloy, *Materials Letters*, 94, 206-209.
- Zhuank, L., Langer, E.W Z. (1989). Metalikde *Bd*, 80, 251-252.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GARİP, Fatma Duygu
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05.06.1991, Ankara
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0506 601 33 91
 e-mail : f.duygu.garip@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Metal. ve Malz. Müh.	Devam Ediyor
Lisans	Selçuk Üniversitesi/ Metal. ve Malz. Müh.	2013
Lise	Ahmet Yesevi Lisesi/ Fen Bilimleri	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	Nev Vakumlu Hassas Döküm	Ar-Ge Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Sunum:

Santrifüj Hassas Döküm Yöntemi ile Vakum Ortamında Süperalaşım Co-Cr-Mo Dental Cad-Cam Metal Bloklarının Üretilmesi konulu bildirinin jüriye sözlü ve Poster Sunumu, Metalik Fikirler 4. Ar-Ge Proje Pazarı, İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri

Ödül:

3. Ödülü, Metalik Fikirler 4. Ar-Ge Proje Pazarı İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri

Hobiler: Puzzle, Seyahat, Teknoloji



GAZİ GELECEKTİR..