

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN FEMORAL DİZ
KOMPONENTLERİNDE SERAMİK MAÇA KULLANIMI İLE
TALAŞLI İMALAT MİNİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cevat YILMAZ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

ARALIK 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN FEMORAL DİZ
KOMPONENTLERİNDE SERAMİK MAÇA KULLANIMI İLE
TALAŞLI İMALAT MİNİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cevat YILMAZ
(506151404)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Necip ÜNLÜ

ARALIK 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506151404 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Cevat YILMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN FEMORAL DİZ KOMPONENTLERİNDE SERAMİK MAÇA KULLANIMI İLE TALAŞLI İMALAT MİNİMİZASYONU" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Necip ÜNLÜ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Onuralp YÜCEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nilgün KUŞKONMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 16 Kasım 2017
Savunma Tarihi : 13 Aralık 2017

ÖNSÖZ

Çocukluğumdan beri beni döküm sektörünün içinde tutan, hassas dökümle tanışmamı, hassas dökümü Türkiye'nin önde gelen hassas döküm firmalarından olan aile şirketimiz SERPA HASSAS DÖKÜM'de bizzat öğrenmemi ve burada kendimi geliştirmem için bana tüm imkanları sunan rahmetli babam Zafer YILMAZ'a sonsuz saygımı ve şükranlarımı sunarım.

Bana her konuda destek olan en başta anneme ve kardeşime, yakın arkadaşlarıma ve aile şirketimizin tüm çalışanlarına, Berlin Teknik Üniversitesi'nden emekli Prof.Dr. Ing. habil Şevki BALIKTAY'ın tüm metalurjik konulardaki aktardığı tecrübeler ve bilgilere, tasarım ve kalıp imalatı konusundaki geniş vizyonu ve tecrübesiyle hiçbir desteği esirgemeyen Kenan SOLMAZ'a teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca, her türlü akademik desteği ve önerilerini paylaşan başta değerli danışman hocam Doç. Dr. Necip ÜNLÜ'ye, lisans ve lisanüstü eğitim hayatım boyunca aldığım mühendislik eğitiminde bana bilgilerini aktaran tüm hocalarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ortopedi ve Travmoloji konusundaki her türlü bilgi ve tecrübe paylaşımında bulunan amcam Başasistan Uzm. Dr. Barış YILMAZ'a tüm desteği için teşekkür ederim.

Radyografik muayene uygulama ve değerlendirmesinde destek olan Dr. Mustafa GÜRLER'e ve seramik maça imalatında destek olan Dr. Turan TAMBAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Kasım 2017

Cevat YILMAZ
Metalurji ve Malzeme Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. HASSAS DÖKÜM	3
2.1 Hassas Döküm Tarihçesi	3
2.2 Hassas Döküm Yöntemi	4
2.2.1 Hassas döküm yönteminin avantajları	6
2.2.2 Hassas döküm yönteminin dezavantajları	6
2.2.3 Hassas döküm yöntemiyle dökülebilen alaşımlar	6
2.2.4 Hassas döküm yönteminin kullanıldığı sektörler	6
3. DİZ İMPLANT UYGULAMALARI.....	7
4. ENJEKSİYONLA KALIPLAMA YÖNTEMİYLE SERAMİK MAÇA ÜRETİMİ	9
4.1 Paketlenme ve Toz Karakteristikleri	9
4.2 Bağlayıcı Formülasyonu	10
4.3 Karıştırma Prosesi	10
4.4 Kalıplama Prosesi.....	10
4.5 Bağlayıcı Giderme.....	11
4.6 Sinterleme.....	12
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	13
5.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler	13
5.1.1 ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımlı malzeme	13
5.1.2 Dolgulu hassas döküm mumu	14
5.1.3 Kolloidal silika	14
5.1.4 Granüler kalsine zirkon	14
5.1.5 Çift kalsine zirkon	14
5.1.6 Müllitler	14
5.1.7 Mum model kalıp malzemesi	14
5.1.8 Seramik maça kalıp malzemeleri	15
5.2 Femoral Komponent Üretimi	15
5.2.1 Kalıp imalatı.....	15
5.2.1.1 Femoral komponent kalıp imalatı	15
5.2.1.2 Seramik maça kalıp imalatı	15
5.2.2 Seramik maça imalatı	16

5.2.3 Mum model imalatı	18
5.2.4 Çapak alma, seramik maça montajı ve mum montaj	20
5.2.5 Seramik kabuk üretimi	21
5.2.6 Mum geri alma	22
5.2.7 Seramik kabukların sinterlenmesi	23
5.2.8 Döküm işlemi	23
5.2.9 Kırma ve kesim	24
5.2.10 Kumlama	25
5.2.11 Tesviye ve göz kontrol	25
5.3 Karakterizasyon	27
5.3.1 Kimyasal analiz	27
5.3.2 Çekme testi	27
5.3.3 Sertlik ölçümü	28
5.3.4 Yüzey pürüzlülüğü ölçümü	29
5.3.5 Sıvı penetrant muayenesi	30
5.3.6 Radyografik muayene	32
6. SONUÇLAR VE İRDELEME	33
6.1 Seramik Maça Kalıp Malzemesinin Seçimi	33
6.2 M8 Vida Kontrolü	34
6.3 Kimyasal Analiz Sonucu	36
6.4 Mekanik Test Sonuçları	37
6.4.1 Çekme testi sonuçları	37
6.4.2 Sertlik ölçümü sonuçları	38
6.5 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları	38
6.6 Tahribatsız Muayene Test Sonuçları	39
6.6.1 Sıvı penetrant muayenesi değerlendirmesi	39
6.6.2 Radyografik muayene değerlendirmesi	39
6.7 Maliyet Hesabı	40
7. GENEL SONUÇLAR	41
KAYNAKLAR	43
EKLER	45
ÖZGEÇMİŞ	49

KISALTMALAR

ASTM	: American Society of Testing and Materials
AIM	: Air Induction Melting (Hava ortamında indüksiyonla ergitme)
VOD	: Vakum Oksijen Dekarbürizasyon
AgBr	: Gümüş Bromür
NDT	: Non-Destructive Testing (Tahribatsız muayene)
M8	: Metrik 8
Ra	: Aritmetik ortalama pürüzlülük
Rq	: Kuadratik ortalama pürüzlülük
Rz	: Maksimum pürüzlülük derinliği
Rt	: Toplam pürüzlülük derinliği
Rp	: Maksimum pürüzlülük pik değeri
Rv	: Maksimum pürüzlülük pik çukuru değeri
Rs	: Ortalama pik derinliği

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Partikül şekline bağlı olarak maksimum paketlenme yoğunluğunun değişimi.	9
Çizelge 4.2 : Bağlayıcı sistemleri ve giderilme yöntemleri.	11
Çizelge 5.1 : Tedarik edilen ASTM F75 malzemesinin spesifikasyonu ve analizi ..	13
Çizelge 6.1 : Dökümü yapılan 24 adet parçanın M8 vida kontrol sonuçları.	35
Çizelge 6.2 : Kimyasal analiz spektrometresi analiz sonuçları.	37
Çizelge 6.3 : Alşa 10 ton çekme testi sonuçları.	38
Çizelge 6.4 : Döküm yapılan numune parçanın sertlik ölçüm sonuçları.	38
Çizelge 6.5 : TR200 yüzey pürüzlülük cihazıyla yapılan ölçüm sonuçları.	39
Çizelge 6.6 : Seramik maça kullanımı ve talaşlı imalat ile üretilen femoral komponentler için fire oranlarına bağlı maliyet giderleri.	40



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Hassas döküm proses akış şeması .	5
Şekil 3.1: Diz implantının kemiğe yerleştirilmesi .	7
Şekil 3.2: Diz implantını oluşturan bileşenler .	8
Şekil 5.1 : ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımlı malzeme.	13
Şekil 5.2 : 7075 alüminyum alaşımından CNC dik işleme tezgahında seramik maça kalıbı imalatı.	16
Şekil 5.3 : Seramik maça enjeksiyon Kalıbı.	17
Şekil 5.4 : Seramik maça bağlayıcı giderme ve pişirme fırını.	17
Şekil 5.5 : Seramik maça sinterleme fırını.	18
Şekil 5.6 : Üretimi tamamlanmış seramik maçalar.	18
Şekil 5.7 : Femoral komponent mum model enjeksiyon kalıbı.	19
Şekil 5.8 : Femoral komponent mum modeller.	19
Şekil 5.9 : Seramik maçaları monte edilen femoral komponentler.	20
Şekil 5.10 : Mum model salkımı haline getirilen femoral komponentler.	20
Şekil 5.11 : Seramik banyosuna daldırılmadan önce mum model salkımı.	21
Şekil 5.12 : Seramik banyosuna daldırıldıktan sonra mum model salkımı.	21
Şekil 5.13 : Otoklav sonrası mumu geri alınan seramik salkımlar.	22
Şekil 5.14 : 1050°C sinterlenen seramik salkımlar.	23
Şekil 5.15 : ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımının döküm işlemi.	24
Şekil 5.16 : Seramik kabuk kırma işlemi.	24
Şekil 5.17 : Kesim işlemi.	25
Şekil 5.18 : Tesviye işlemi.	26
Şekil 5.19 : M8 vida kontrol işlemi.	26
Şekil 5.20 : WAS Foundry Master kimyasal analiz spektrometresi.	27
Şekil 5.21 : Alşa 10 ton çekme cihazı.	28
Şekil 5.22 : Çekme test numunesi.	28
Şekil 5.23 : Misawa Seiki sertlik ölçüm cihazı.	29
Şekil 5.24 : TR200 portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazıyla ölçüm yapılması.	29
Şekil 5.25 : Temizleyici uygulaması.	30
Şekil 5.26 : Penetrant uygulaması.	31
Şekil 5.27 : Geliştirici uygulaması.	31
Şekil 5.28 : Radioflex 250EG x-ışını radyografik muayene cihazı.	32
Şekil 6.1 : 7075 serisi alüminyum alaşımından yapılan seramik maça kalıbı.	33
Şekil 6.2 : 4140 çelik malzemeden yapılan seramik maça kalıbı.	34
Şekil 6.3 : 7075 serisi alüminyum alaşımından yapılan ve aşınmış seramik maça kalıbı.	34
Şekil 6.4 : M8 vida çalışır parçalar.	35
Şekil 6.5 : Peg yuvası hatalı parçalar.	35
Şekil 6.6 : Peg yuvası vida adımsız parça.	36
Şekil 6.7 : Vida adımı bozuk parça.	36

Şekil 6.8 : Kuvvet – Uzama eğrisi	37
Şekil 6.9 : 3X büyütme yapabilen büyüteç altında femoral komponentlerin incelenmesi	39
Şekil 6.10 : X-ışını radyografisi film görüntüsü	40



HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN FEMORAL DİZ KOMPONENTLERİNDE SERAMİK MAÇA KULLANIMI İLE TALAŞLI İMALAT MİNİMİZASYONU

ÖZET

Artroplastide diz ameliyatlarında kullanılan vücut içi birçok medikal bileşen hassas döküm yöntemiyle üretilmektedir. Femoral komponent ve tibial komponent parçaları genellikle ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımlı malzeme kullanılarak atmosferik ortamda hassas döküm yöntemiyle üretilmektedir.

Döküm sonrası tüm femoral ve tibial bileşenlere talaşlı imalat uygulanması gerekmektedir ve döküm sertliği ortalama 25-35 HRC olan ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımlı malzemenin talaşlı imalatı oldukça zordur. Döküm sonrası femoral ve tibial komponentlerin dış bölgelerine polisaj ve bazı bölgelerine talaşlı imalat prosesi uygulanmaktadır. Protezin kemiğe daha iyi tutunması için dökümden gelen deliklere kılavuz çekilmekte ve peg takılmaktadır.

Bu çalışmada, ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımlı malzemeden üretilmiş femoral komponentlerin peg bölgelerine kılavuz çekme prosesini ortadan kaldırmak için döküm femoral komponentin deliklerinin metrik vida şeklinde çıkması amaçlanmaktadır. Bunun için mum model üretim aşamasında kılavuz dişli seramik vidalar kullanılarak prosesin uygulanması amaçlanmıştır.

Öncelikle seramik vidaların üretilmesi için seramik maça kalıbı tasarlanması üzerine çalışmalar yapılmış ve kullanılacak seramik malzemesine bağlı olarak olabilecek çekme payı ve kalıp malzemesi üzerindeki aşındırıcı etki incelenerek çelik ve alüminyumdan yapılmış kalıp malzemeleri denenmiştir. Yapılan seramik maça baskıları sonucunda 4140 çelik malzemeden yapılmış kalıbın 7075 alüminyum alaşımından yapılan kalıba göre aşınmaya daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

Hazırlanan seramik maça kalıbına fused silika, zirkon, alumina ve bağlayıcı esaslı karışım enjekte edilerek seramik vidalar üretilmiş ve femoral komponentlerin mum enjeksiyonu sonrasında peg yuvalarına seramik maçalar itinayla takılmıştır. Seramik maçaları monte edilmiş femoral komponentler salkım haline getirilerek seramik kabuk üretimine hazır hale getirilmiştir. Seramik kaplama işlemi yapılan salkımlar 8 gün süreyle kurumaya bırakılmış ve ardından otoklavda mum geri boşaltma işlemi yapılarak salkımlar döküme hazır hale getirilmiştir. ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımlı malzeme salkımların ağırlıkları kadar tartılarak döküme hazırlanmış ve ergitme işlemi argon koruyucu atmosferinde 200 kW gücündeki Inductotherm indüksiyon ocağında gerçekleştirilmiştir. Döküm sonrası soğumaya bırakılan salkımların seramik kabukları pnömatik kırıcı yardımıyla kırılmış ve parça yüzeyinde kalan seramik atıkları ve seramik maçalar kumlama yöntemiyle temizlenerek peg yuvaları metrik vida yardımıyla kontrol edilmiştir. 24 adet dökümü gerçekleştirilen femoral komponentin M8 vida kontrolünde 18 adet parçada herhangi bir hataya

rastlanmamış, 4 adet parçanın 1'er adet peg yuvasının metalle kaplandığı, 1 adet parçanın peg yuvasının vida adimsız olarak çıktığı ve 1 adet parçada vidanın çalışmadığı tespit edilmiştir.

Döküm sonrası ASTM E354 standardına bağlı kalınarak kimyasal analiz kontrolü yapılmış ve ölçülen element miktarları malzeme spesifikasyonuna uygun olduğu tespit edilmiştir. Sertlik ölçümü ASTM E18 standardına bağlı kalınarak test edilmiş ve ortalama 33 ± 0.7 HRC çıkan sertlik değeri ASTM F75 standardındaki 25-35 HRC aralığına uyduğu gözlenmiştir. Akma ve çekme dayanımı değerlerinin tespiti için yapılan çekme testi ASTM E8 standardına göre uygulanmış ve minimum değeri 655 MPa olan çekme dayanımı ortalama 883.5 ± 16.37 MPa ve minimum değeri 450 MPa olan akma dayanımı ortalama 691.4 ± 11.77 MPa olarak belirlenmiştir.

Mekanik testleri tamamlanan tüm parçalara ASTM E1417 standardı Tip 2 - Metot C koşullarında sıvı penetrant kontrolü yapılmış ve herhangi bir lineer veya dairesel hataya rastlanmamıştır. Sıvı penetrant muayenesi sonrasında tüm parçalara ASTM F629 standardına göre radyografik film çekimi ve değerlendirme yapılarak parçalarda herhangi bir çatlak, inklüzyon, döküm boşluğu veya süreksizlik tipinde hatalar olmadığı görülmüştür.

Yapılan bu çalışma ile hassas dökümle üretilen metrik vida delikli femoral komponentlerin 24 adetinden 18 adeti istenen tüm gereklilikleri yerine getirdiği ve hatasız ürün oranının %75 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca seramik maça kullanılarak yapılan üretimin talaşlı imalatla yapılan üretimden ortalama %33 daha az maliyet oluşturduğu görülmüştür.

MINIMIZATION OF MACHINING BY USING CERAMIC CORES DURING THE INVESTMENT CASTING PROCESS OF FEMORAL KNEE COMPONENTS

SUMMARY

Humans life standards keep getting to high levels by means of the technology that is improving day by day. In order to decrease the negative effect of medical operations as much as possible on humans life standards, mainly for the ones who had surgeries before, researches and developments are keep getting done. Medical implants that placed in human body are used in many different conditions. Bones are exposed to different stresses, also replaced metallic implants must show same strength like bone. Furthermore, the medical implant that used in human body must have resistance to corrosion and would not be deformed.

Most of the medical components that used in arthroplasty knee operations are produced with investment casting method. Investment casting is one of the oldest shaping method. Before B.C. 4000, metals were started to melting inside the moulds and on B.C. 2000, the investment casting started to apply with melting copper and gold. On 10th century, industrial production of investment casting began. In 1897, Dr. D. Phillbrook Council Bluffs made some trials about dentistry. The collimator trial was applied in 1901 by Dr. William H. Taggart. He filled the damaged teeth with wax and took out the wax from teeth. He embedded the wax inside a heat resistant material and dewaxed. Molten gold metal was casted inside the heat resistant material. Taggart applied the basic process of investment casting, furthermore, filling material and bridgework on dentistry. During the Second World War, necessity of special alloys and complex shaped parts gained importance. Investment casting method provided near net shape parts for defense industry and was preferred for the production of gun and warplane spare parts.

Complex shaped parts and different alloys can be produced with a high surface quality and near net shape using the investment casting method, however, the process takes long time and high costs, because of the necessity for experienced staff and single use wax models, ceramic shells.

A total knee implant has three main parts which are femoral component, tibia component and insert. Femoral component and tibia component parts are generally produced with the investment casting of ASTM F75 Co-Cr-Mo alloy due biocompatibility, fatigue strength, and other mechanical properties. Insert is a polyethylene based material which prevents to wear between two metallic components.

After casting, all femoral and tibia components are needed to have machining process. However, ASTM F75 Co-Cr-Mo based materials which has average casting hardness value of 25-35 HRC, are rather difficult to apply machining process. Polishing is applied to external surfaces of femoral and tibia components as well as machining process is applied to some specific places of the parts after the casting

process. In order to hold prosthesis on the bone even better, tapping and inserting pegs are applied to the as cast holes.

The main aim of this study is to obtain femoral component's holes, mainly coming from casting, to be metric screw shaped in order to remove tapping to femoral component's peg holes which are produced with ASTM F75 Co-Cr-Mo based material. To attain tapped screw holes from casting, ceramic cores must be used on pattern assembly process. For this purpose, first of all, studies which are about designing ceramic core mold were done to produce ceramic screw cores. Shrinkage factor that would occur depending on ceramic raw material that was used and abrasive effect on mold material were observed with trying two different options: steel and aluminum mold materials. Ceramic screw core production begins with preparing the core mixture. This mixture contains 25% fused silicate, 70% zirconia, 5% aluminate and paraffin, polyethylene, polypropylene binders. The particle shape of ceramic core powder material is significant for packing density. Spherical shaped powders have higher packing density than cylindrical, isotropic particles or acicular fibers. Core materials were blended at 140°C. The prepared mixture was injected to two different molds. During ceramic core production, it was observed that the mold produced with 4140 steel was tougher than the mold produced with 7075 aluminum alloy so that the steel mold had more resistance against abrasions. Injected ceramic cores were debinded and sintered. Visual control was applied for all parts and prepared to use during casting. Ceramic cores were assembled with sticking carefully to peg holes after femoral component wax injection. Femoral components with ceramic cores were assembled like a tree and preliminary prepared to ceramic shell production process. Pattern assembled trees were ceramic coated 7 times to get the shell thickness 9 mm and left to drying about 8 days before dewaxing process. During burnout of ceramic shells ASTM F75 Co-Cr-Mo based ingots were melted in Inductotherm 200 kW induction furnace under argon atmosphere. Burnout process should be applied at least 1 hour at 1050°C. After casting process, ceramic shells were broken with vibration and remaining ceramic parts and cores were moved away with sand blasting. All peg holes were checked with M8 screw. As a result of this inspection, the produced all femoral components were checked and no any failure was detected with 18 of those femoral components, 4 of them were covered by metal at their one peg holes. Furthermore 1 of 2 remaining parts did not have screw rail and the other one had trouble while M8 screw was applied. Applying the visual control for ceramic cores should be performed more carefully and stick very strong.

Chemical analysis was performed according to the ASTM E354 standard after casting process. It was observed that the chemical analysis results conformed to the ASTM E354 standard.

Surface roughness was measured with a portable surface roughness tester according to DIN EN ISO 4287 standard. The average surface roughness value must be less than 3.2 μm and the measured value was 2.65 μm .

According to ASTM E18 standard, the hardness value should be between 25-35 HRC. The average hardness was measured 33 ± 0.7 HRC on as cast femoral sample. To identify the ultimate tensile strength and yield strength, the tensile tests were performed according to ASTM E8 standard. It was observed that the average ultimate tensile strength and average yield strength of the studied femoral samples were 883.5 ± 16.37 and 691.4 ± 11.77 MPa, respectively, minimum values must be 655 and 450 MPa, respectively.

After applying mechanical tests, the non-destructive testing methods i.e., liquid penetrant inspection and radiographic inspection, were applied for all studied femoral casting samples. The liquid penetrant test was performed according to the method of ASTM E1417 Type 2 - Method C, and no linear or circular defects were observed. In addition, the radiographic inspection of the femoral casting samples was made according to the ASTM F629 standard, and any crack, inclusion, casting void or discontinuity type defects were not detected.

Overall this study showed that 18 out of 24 femoral components with metric screw holes which were produced by the investment casting method, fulfilled all standard requirements successfully. In addition, producing femoral components with ceramic cores cost 33% less than using machining process. Tapping and drilling to peg holes are not necessary anymore with using ceramic cores.





1. GİRİŞ

Her geçen gün gelişen teknolojiyle beraber insanların yaşam standartları da yükselmektedir. Ortopedik olarak cerrahi operasyon geçiren bireylerin yaşam standartlarının bu operasyon sonucu vücutlarına takılan medikal implanttan en düşük seviyede etkilenmesi için sürekli yeni araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır.

Ortopedik malzemeler insan vücudunda bir çok değişken koşulda kullanılmaktadır. Yaptığımız her harekette vücudumuzdaki birçok kemik farklı gerilmelere maruz kalmaktadır ve bu kemiklerin yerini alacak ortopedik implantların da milyonlarca yüklemeye çevrimine maruz kalacağı aşikardır. Dolayısıyla kullanılan medikal implantın mekanik dayanımı ve yorulma dayanımı büyük önem arz etmektedir. Aynı zamanda vücut içerisindeki sıvı ile herhangi bir tepkime vermemeleri, korozyona uğramamaları ve deforme olmamaları gerekmektedir [1].

19. yüzyıldan günümüze dek metalik malzemeler medikal implant malzemesi olarak kullanılmaktadır. Metalik implantlara kemik onarımında, özellikle de iç kırık durumlarında ihtiyaç duyulduğundan gelişimleri de hızla olmuştur [2].

Metalik biyomalzemeler genel olarak ortopedik uygulamalarda eklem protezlerinde, yüz ve çene cerrahisinde, bel kemiği enstümantasyonlarında, diş implantlarında, kalça plaklarında, anatomik plaklarda, açılı plaklarda vb. birçok alanda kullanılmaktadır [1, 3].

Günümüzde metalik biyomalzemeler paslanmaz çelikler (316L), titanyum ve alaşımları, kobalt krom alaşımları, tantal alaşımları, nikel titanyum alaşımları, amalgam ve altın kullanılarak üretilmektedirler. Vücutta yük taşıyıcı olarak kullanılan metalik malzemelerde genellikle 316L paslanmaz çelik, ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımı veya titanyum alaşımları kullanılmaktadır. [1, 4]

Titanyum alaşımları biyouyumlu olmalarına rağmen aşınma dirençleri düşüktür. Diz implant uygulamalarında kullanılan komponentlerde genellikle ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımlı malzeme tercih edilmektedir. ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımlı

malzemenin sahip olduğu biyouyumluluk, yorulma dayanımı, mukavemet, elastisite, aşınma dayanımı ve diğer öne çıkan mekanik özellikler, bu malzemenin diz implant uygulamalarında ilk sırada tercih edilen malzeme olarak yer almasını sağlamıştır.

ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımı sahip olduğu bileşim ve üretim yöntemi sebebiyle maliyeti yüksek ve şekillendirmesi zor bir malzemedir [5].

Diz implant uygulamalarında kullanılan en karmaşık geometrili ve kritik parça olan femoral komponentler hassas döküm yöntemiyle üretilerek, uygulanan talaşlı imalat proseslerinin ardından nihai ürüne dönüştürülür. Hassas döküm yönteminin kısmen ya da tamamen talaşlı imalatı ortadan kaldırıyor olması kompleks geometrili parçaların üretiminde yöntemin tercih edilmesini sağlar [6].

ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımli malzemenin sahip olduğu önemli mekanik özelliklerden birisi olan sertliği, malzemenin talaşlı imalat uygulanabilirliğini güçleştirmektedir [7].

Bu çalışmada döküm sonrası 25-35 HRC sertliği bulunan ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımli malzemedden üretilmiş femoral komponentlerin peg yuvalarında dökümden M8 vida adımlarının oluşturulması ve talaşlı imalat aşamasındaki zorlukların ortadan kaldırılması amaçlanmıştır.

2. HASSAS DÖKÜM

2.1 Hassas Döküm Tarihçesi

Hassas döküm tekniği tarihte bilinen en eski şekillendirme yöntemlerinden birisidir. Metallerin ergitilerek kalıplara dökülmesi ilk insanların MÖ 4000 yıllarından beri uyguladıkları bir yöntem olup, hassas döküm tekniğinin başlangıcı ise MÖ 2000 yıllarına dayanır. İlk dökümler bakır ve kalay bronzu olup, sonrasında altın dökümleri gerçekleştirilmiştir [8].

Hassas döküm 10. yüzyılın sonlarında dışçilikte kullanılmaya başlanarak modern bir endüstriyel sürece girmiştir. 1897 yılında Dr. D. Phillbrook Council Bluffs ilk dışçilikle ilgili denemesini yaparken, 1901 yılında Tagart, çürük kısmı oyulmuş bir dişi eski haline getirmek için hassas döküm yönteminin temelini oluşturacak bir yöntem geliştirmiştir.

Hassas döküm yönteminin keşfinden önce, dışçilikte oyuğa gümüş veya altın dolgu malzemesi olarak doldurulmuştur. Tagart, dışteki boşluğa mum doldurup orijinal biçimini verecek düzeltmeyi yapıp mumu oradan çıkararak ısıya dayanıklı bir malzemenin içine gömmüştür. Daha sonra mumu eriterek geri almış ve oluşan boşluğa da altın eritip dökerek dolgu parçası üretmiştir. Tagart'ın yaptığı çalışmalar dışçilikte dolgu malzemeleri ve diş köprüleri konusundaki temeli oluşturmuştur.

Daha sonra kauçuk kalıbın keşfedilmesiyle hassas döküm yöntemi kuyumculuk alanında da kullanılmayı cazip kılmıştır.

Hassas Döküm yönteminin endüstriyel boyuta taşınması, 2. Dünya Savaşı döneminde daha fazla özel alaşım üretilmesine ihtiyaç duyulması ve geleneksel döküm yönteminin yetersiz kalmasıyla hassas döküm yöntemine talebin artmasına sebep olmuştur. Savaş sürecinde hassas döküm yöntemi büyük bir gelişme kaydetmiş ve sanayi sürecine girmiştir. Özellikle Almanya'nın hassas döküm prosesinin gelişmesindeki payı büyüktür. Savaşta yüksek miktarda karmaşık şekilli silah ve uçak parçası gereksinimi olması ve hassas döküm metodunun nihai ürün toleranslarına yakın ölçülerde ve yüzey kalitesinde ürün vermesi, yöntemin yaygınca

kullanılmasına ve geliştirilmesine sebep olmuştur. Savaş sürecinde jet türbin kanatlarının üretimi üzerine de çalışmalar yapılmış ve günümüzde hassas dökümle üretilen en karmaşık ve özel parçalar olan türbin kanatlarının üretim prosesinin oluşturulması hakkındaki temeller bu dönemde atılmıştır.

Genel olarak, dişçilikten ve kuyumculuktan elde edilen döküm teknikleri bilgisinin üzerine konularak birçok çeşitte parça üretimi yapılmıştır [9].

2.2 Hassas Döküm Yöntemi

Hassas döküm yönteminde parça üretimi, üretilecek her parçaya özel bir mum model kalıbının tasarlanması ve imal edilmesiyle başlar. Kalıplar model mumunun ve metalin çekme paylarına göre tasarlanarak, kalıbın içerisinden mum modelin çıkabileceği bir sistemde çalışması esasına dayanarak üretilir.

Hazırlanan mum model kalıplarına enjeksiyon preslerinde üretilecek parça sayısı kadar mum enjekte edilir. Üretilecek parçanın büyüklüğüne ve kesitine bağlı olarak 20-140 bar basınç ve 20-80 saniye baskı süresi optimize edilerek mum enjeksiyon prosesi tamamlanır.

Havya yardımıyla eritilerek çubuk şeklindeki mum yolluklara bağlanan modeller, böylelikle salkım oluşturmuş olurlar.

Salkımlar bağlayıcı içeren özel seramik çamur banyolarına daldırılarak ardından zirkon ve alumina esaslı malzemelerle kaplanır ve her oluşturulan tabaka sonrası 4-8 saat arası kuruma süresi beklenerek yeni katman oluşturulur. Bu kaplama işlemi 5-8 kat olacak şekilde tekrarlanır ve sonrasında 5-12 gün kurumaya bırakılır. Kuruma süresi ortam sıcaklığına, ortamın nemine ve parça geometrisine bağlı olarak değişmektedir.

Kuruma süresi dolan seramik salkımlar, içerisindeki mumun geri kazanımı için otoklav içerisine yerleştirilerek 6-8 bar basınç, 200°C sıcaklıkta 15-20 dakika tutularak proses tamamlanır.

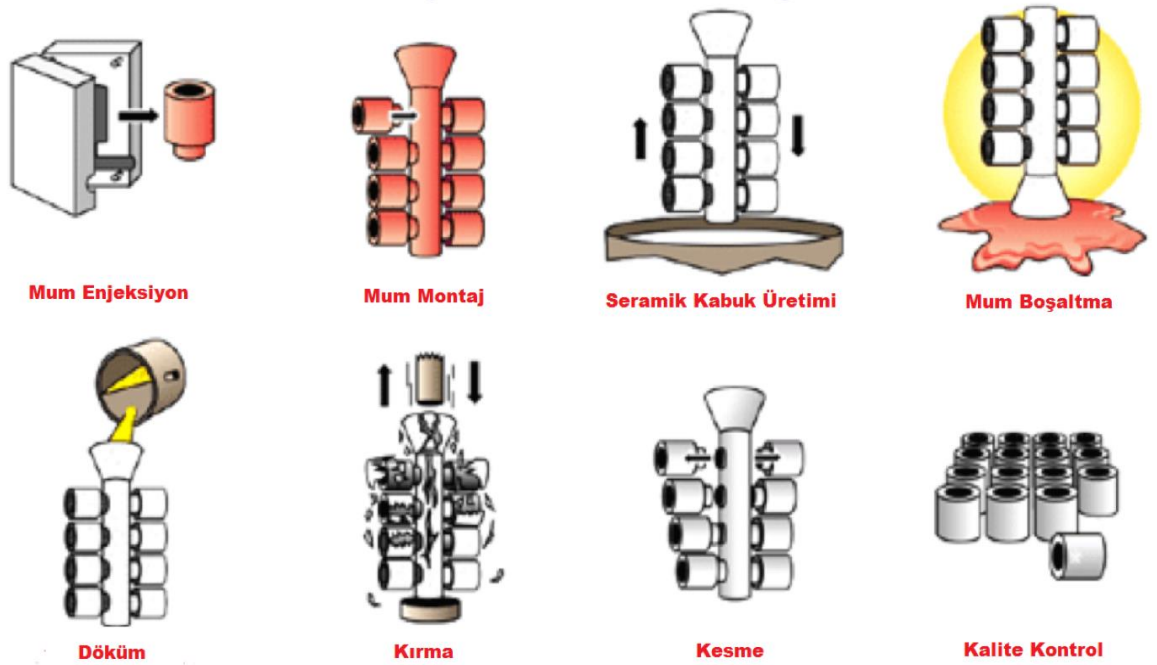
Seramiğin mukavemet kazanması ve döküm esnasında seramik salkımların çatlamasını önlemek amacıyla 1050-1100°C sıcaklıkta parça geometrisine bağlı olarak en az 1 saat olacak şekilde sinterleme yapılır.

Döküm işleminde hassas döküm yöntemiyle çelik, paslanmaz çelik, bakır, alüminyum alaşımları ve nikel ve kobalt esaslı süperalaşımların dökümü yapılmaktadır. Dökümü yapılacak malzemeler sertifikalı ingotlar halinde alınıp ya da hurdadan geri dönüşüm yapılarak dökülecek alaşıma bağlı reçete hazırlanarak ergitilir.

Döküm sonrası seramik kabuklar pnömomatik kırıcının yarattığı titreşim yardımıyla kırılarak salkım yüzeyinden temizlenir. Parçalar metal besleyici yolluklarından taş motorlarıyla kesilerek salkımdan ayrılır ve zımparalama makinasında yollukları sıfırlanarak yüzey temizliği ve seramik kalıntılarını arındırmak amacıyla kumlama bölümüne sevk edilir.

Parça yüzeylerinde kalan seramik kalıntıları parça geometrisine bağlı olarak tamburlu kumlama makinalarında çelik veya paslanmaz çelik bilye yardımıyla ya da cam küre veya silis kumu yardımıyla yüzeyleri kalan seramik atıklarından temizlenir ve görsel muayene için kontrol bölümüne sevk edilir.

Görsel muayenesi yapılan parçalarda gereken tesviye işlemleri yapıldıktan sonra her parçaya uygulanan ve müşteri talebine bağlı istenen ilave testler de uygulandıktan sonra hazır hale gelir [10]. Proses akış şeması Şekil 2.1’de şematize edilmiştir.



Şekil 2.1 : Hassas döküm proses akış şeması [10].

2.2.1 Hassas döküm yönteminin avantajları

Hassas döküm yöntemi karmaşık geometrili ve ince detaylara sahip parçaların üretimi için tercih edilen bir yöntemdir. Yöntem, kullanılabilen malzeme çeşitliliği açısından geniş bir yelpazeye sahiptir ve ortaya çıkan ürünler N8 ($Ra=3.2\mu m$) yüzey kalitesinde ve VDG P690 Alman Hassas Döküm toleransları içerisinde olduğundan yarı ürün veya bitmiş ürün olarak kullanıma uygundur. Çıkan ürünün bitmiş ürüne yakın ölçülere ve yüzeye sahip olması ise talaşlı imalat ve kaynak proseslerini en aza indirmektedir [10,11].

2.2.2 Hassas döküm yönteminin dezavantajları

Hassas döküm yöntemi birçok prostesten oluşmaktadır ve üretim süreci uzun sürmektedir. Proses esnasında kullanılan seramik kalıplar ve mum modeller tekrar kullanılabilir olmadığından üretim maliyetlerinin artmasında önemli etkenlerdir ve hassas döküm prosesinin, diğer üretim yöntemlerine göre daha pahalı bir yöntem olmasına sebep olmaktadır. Yöntemin bir diğer dezavantajı, her proses kendine özgü uzmanlık gerektirdiğinden ve otomasyona uygun olmadığından deneyimli ve yetkin personele ihtiyacı vardır [11].

2.2.3 Hassas döküm yöntemiyle dökülebilen alaşımlar

Hassas döküm yöntemiyle çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, bakır alaşımlarının yanı sıra nikel, kobalt, titanyum esaslı süperalaşımların dökümü de yapılabilmektedir. 1gr'dan 25 kg'a kadar parçalara uygulanabilen hassas döküm yöntemi, karmaşık geometrili veya özel alaşıma sahip birçok parçanın üretiminde kullanılan ve her geçen gün daha da yaygınlaşan bir üretim yöntemidir.

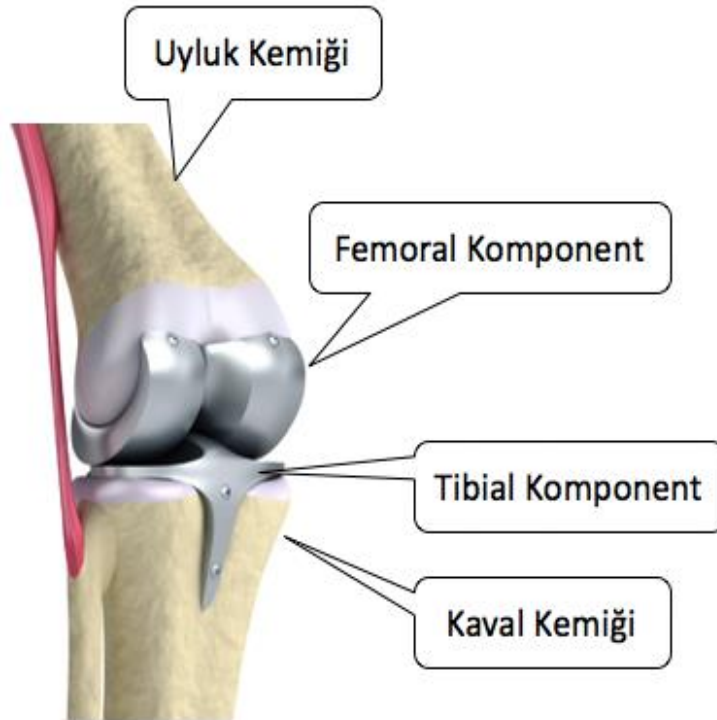
2.2.4 Hassas döküm yönteminin kullanıldığı sektörler

Hassas döküm yöntemi N8 ($Ra=3.2\mu m$) yüzey kalitesinde ve VDG P690 Alman Hassas Döküm Toleransları içerisinde ölçülere sahip parçaların üretilmesine imkan sağlayarak genellikle yarı ürün veya nihai ürün olarak başta havacılık ve savunma sanayi olmak üzere, medikal, otomotiv, tarım, gıda, makina yedek parça, inşaat, tekstil, vana ve pompa sanayi gibi birçok sektöre ürün sunmaktadır [12].

3. DİZ İMPLANT UYGULAMALARI

Diz kıkırdağının hasar gördüğü durumlarda eklem yüzeyinin yapay bir malzemeyle kaplanması diz protezi cerrahisi olarak adlandırılır. Diz protezleri 30 yıldan fazla süredir yaygın olarak kullanılmaktadır. Mevcut kıkırdak hasarı diz ekleminin belirli bir bölgesinde ya da tamamında olabilir, hasarın büyüklüğüne bağlı olarak protez uygulaması yapılacak bölge belirlenerek Şekil 3.1 'deki gibi diz implantı ihtiyaç duyulan kemiğe yerleştirilir. Tekniğine uygun bir cerrahi yapılan ve yeterli rehabilitasyon programı uygulanan hastaların %90'ından fazlasında 15-20 yıl süreyle protezin sorunsuz hizmet vermesi beklenir.

Diz implantı uygulama esnasında hastaya anestezi yapıldıktan sonra diz kesilerek diz eklemine ulaşılır. Eklemi oluşturan femur, tibia ve patella kemiklerinin birbirlerine temas eden yüzlerindeki aşınmış kıkırdak dokusu kesilerek çıkarılır, ardından hastaya uygun seçilen protez parçaları kemik yüzeyine tutturulur. Böylece eklem yüzleri kullanılan metal ve plastikten yapılmış parçalarla yeniden kaplanmış olur.



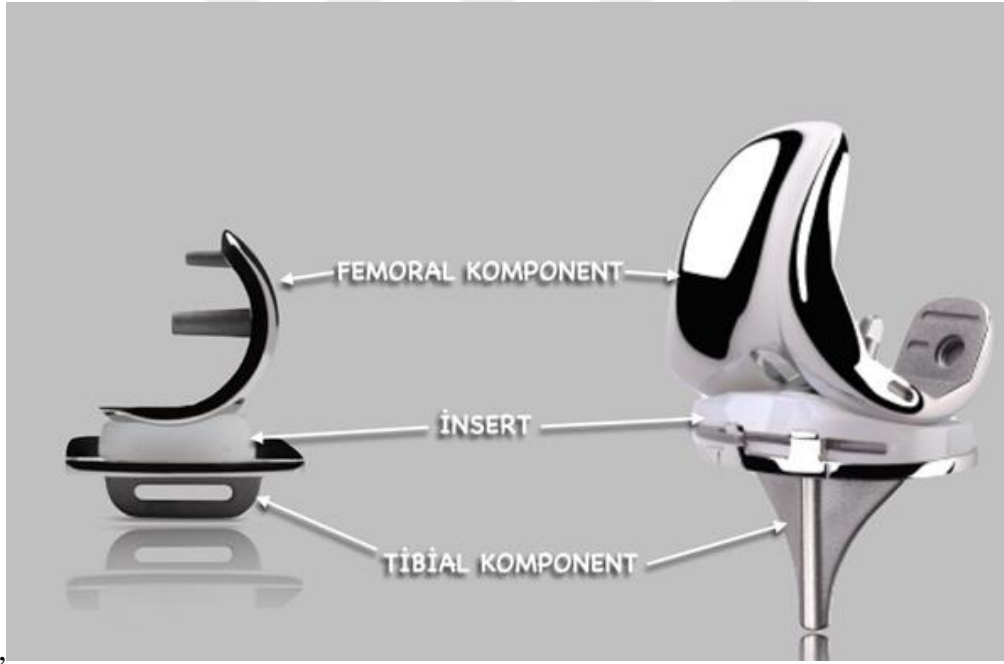
Şekil 3.1 : Diz implantının kemiğe yerleştirilmesi [13].

Diz protezleri eklem yüzeyine uygulanan implant adı verilen metal alaşımlardan ve polietilen malzemeden üretilen plastik bir biyouyumlu malzemeden bir araya gelir.

Sağlıklı bir diz eklemi üst tarafta uyluk kemiğinde femur, alt tarafta kaval kemiğinde tibia ve ön tarafta diz kapağı kemiğinde bulunan patella adı verilen kemiklerden oluşur.

Diz implantı cerrahisinde implant Şekil 3.2'deki gibi 3 ana parçadan oluşur:

1. Femoral komponent: Femur kemiğinin alt yüzeyini kaplayan metal bileşen. ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımlı malzemeden üretilmektedir.
2. Tibial komponent: Tibia kemiğinin üst yüzeyini kaplayan metal bileşen. ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımlı malzemeden üretilmektedir.
3. Inset: Tibial komponent ile femoral komponent arasında bulunan ara bileşen. Polietilen malzemeden üretilmektedir [13].



Şekil 3.2 : Diz implantını oluşturan bileşenler [13].

4. ENJEKSİYONLA KALIPLAMA YÖNTEMİYLE SERAMİK MAÇA ÜRETİMİ

Hassas döküm proesesinde gelişen teknolojiyle beraber seramik maça kullanılan uygulamalar her geçen gün önem kazanmaktadır. Seramik maça üretimi birçok farklı yöntemle yapılmakta fakat hassas döküm prosesinde kullanılan seramik maçalar enjeksiyon ile kalıplama yöntemiyle bağlayıcı ve seramik malzemelerin ısıtılarak kalıp içine enjekte edilmesi ve yumuşamış olan bu karışımın soğuyarak kalıp içerisinde katılaşması prensibiyle üretim yapılarak kullanılır [14].

4.1 Paketlenme ve Toz Karakteristikleri

Kullanılacak seramik tozlarının yüksek reaktiviteli ve ince partikül boyutlu olması, yüksek yaş yoğunluk ve yüksek boyutsal kararlılığın elde edilebilmesi için gerekli olan özelliklerdir. Seramik tozların paketlenme karakteristiğine bağlı olarak şekillendirilebilme özelliği de değişmektedir. Dolayısıyla da kullanılacak partiküllerin seçiminde paketlenme karakteristikleri de göz önünde bulundurulmalıdır [14].

Seramik toz partikülleri eş eksenli, silindirik, plaka ya da küresel şekilde olabilirler ve her şeklin kendine özgü bir paketlenme karakteristiği mevcuttur. Küresel partiküllerin paketlenme yoğunlukları diğer toz partiküllere oranla daha yüksektir. çizelge 4.1'de partikül şekline bağlı olarak paketlenme yoğunluğunun değişimi görülmektedir.

Çizelge 4.1 : Partikül şekline bağlı olarak maksimum paketlenme yoğunluğunun değişimi.

Partikül şekli	Maksimum paketlenme yoğunluğu (% hacim)
Küresel	63.7
İzotropik düzensiz partiküller	63.0
Silindirik (L/D=5)	52.0
İğnesel fiberler	33.0

Geniş partikül dağılımına sahip sistemlerde ince partiküllerin iri partiküllerin arasına yerleşmesiyle daha yüksek paketlenme yoğunluğu değerlerine ulaşılır [15].

4.2 Bağlayıcı Formülasyonu

Üretilecek olan parçada kullanılan bağlayıcı miktarı, parçanın özelliklerinin üzerinde doğrudan etkilidir. Kullanılan bağlayıcı miktarı arttıkça, bağlayıcı giderme işlemi sonrasında oluşacak porozite miktarı artmakta, eğme ve basma mukavemet değerleri düşmektedir. Kullanılacak bağlayıcı miktarı bağlama görevini sağlayacak şekilde minimum bağlayıcının kullanılması esasına dayanır.

Enjeksiyon kalıplama prosesinde polietilen, polistiren, polipropilen, paraffin en yaygın kullanılan bağlayıcı türleridir [16].

4.3 Karıştırma Prosesi

Yüksek kaliteli enjeksiyonla kalıplanmış seramik parçalar için optimum seramik-bağlayıcı karışımı gerekir. Karıştırma esnasında kullanılan yeterli miktardaki bağlayıcı ile seramik tozunun mutlaka homojen karıştırılması gerekmektedir.

Karıştırılan tozlar aglomere olursa karışımın homojen olması güçleşir. Kullanılan toz partiküllerinin nemli olması, sahip oldukları elektrostatik kuvvetler, van der waals kuvvetleri, hidrojen bağları ve adsorbe suyun etkisiyle aglomerasyon oluşur [16].

4.4 Kalıplama Prosesi

Seramik enjeksiyon makinaları malzeme haznesi (silo), malzemeyi kalıba iten bir enjeksiyon ünitesi ve sıcaklık, basınç ve zaman kontrolü sağlayan ünitelerden oluşmaktadır.

Kalıplama esnasında eriyik üzerine yansıyan enjeksiyon basıncı, parça üzerine uygulanan tutma basıncı ve soğuma esnasında hacimsel değişikliği en aza indirmek amacıyla ilave malzemenin kalıba itilmesini sağlayan kalıp basıncı kontrol altında tutulmalıdır [16].

4.5 Bağlayıcı Giderme

Enjeksiyonla kalıplama yöntemiyle seramik maça üretimi için en kritik aşamalardan birisi bağlayıcının giderilmesidir.

Kullanılan bağlayıcı malzeme bileşimine göre farklı bağlayıcı giderme yöntemleri mevcuttur ve çizelge 4.2’de bağlayıcı sistemleri ve giderilme yöntemleri belirtilmektedir. [17].

Çizelge 4.2 : Bağlayıcı sistemleri ve giderilme yöntemleri.

Bağlayıcı sistemi	Bağlayıcı giderme yöntemi
Termoplastik bağlayıcı	Kapiler emme ve super kritik ekstraksiyon
Cila bazlı bağlayıcı	Hava atmosferinde oksitleme
Cila-yağ-polimer esaslı bağlayıcı	Çözücü ekstraksiyonu
Su bazlı bağlayıcı	Vakumda giderme

Termoplastik bağlayıcıların giderilmesinde kullanılan kapiler emme yönteminde parça poröz yatak içerisine gömülür ve kapiler etkinin etkisiyle bağlayıcının giderilmesi sağlanır.

Cila bazlı bağlayıcılarda hava atmosferinde oksitleme yöntemiyle bağlayıcı giderme ve sinterleme prosesleri bir arada yapılabildiğinden uygulanabilirliği kolay bir yöntemdir.

Cila-yağ-polimer esaslı bağlayıcıların giderilmesinde kullanılan çözücü ekstraksiyonu yönteminde seramik parça solvent içine yerleştirilerek bileşim değişiminden dolayı yavaş bir şekilde bağlayıcı giderilir.

Su bazlı bağlayıcıların giderilmesinde kullanılan vakum altında bağlayıcı giderme yönteminde ise buharlaşmanın kontrollü difüzyonu sayesinde iç gaz basıncının minimize edilmesi ve bağlayıcı ile hava veya oksijen arasındaki ekzotermik reaksiyonun ortadan kaldırılması esasına dayanır [18].

4.6 Sinterleme

Bağlayıcı giderme sonrası sinterleme prosesinin uygulanmasının amacı, toz partikülleri arasında bağ oluşturarak mukavemetin ve yoğunluğun artmasını ve porozitenin azalmasını sağlamaktır [19].

Sinterleme prosesi, bir sıvı fazın olduğu sıvı faz sinterlemesi ve herhangi bir sıvı faz oluşumunun olmadığı katı hal sinterlenmesi olarak iki sınıfa ayrılmaktadır.

Sıvı faz sinterlemesinde sıvı fazın akmasını katı partiküllerin yeniden düzenlenmesini çözünme prosesi takip eder ve ardından meydana gelen yeniden çökme ile son olarak katı hal sinterlemesi gerçekleşir. Birinci aşamada oluşan sıvı fazda katı partiküller birbirleri üzerinde kayma hareketi ve kapiler etkinin de etkisiyle partiküllerin arasında sıvı fazın akarak katı partiküllerin düzenini etkilemesi sağlanır. İkinci aşamada sıvı fazın içerisinde küçük boyutlu partiküller çözünür ve büyük boyutlu partiküllerin üzerinde yeniden çöklerler. Üçüncü aşamada ise katı partiküller birlikte büyüyerek yavaş bir şekilde yoğunlaşır.

Katı hal sinterlemesinde ilk aşamada toz partikülleri arasındaki temas alanının artması sağlanır, porlar küreselleşir, partiküllerin merkezleri arasındaki mesafe azalır ve meydana gelen çekilmenin etkisiyle yoğunluk artar. Porların şekil değişimi sinterlemenin ilk aşaması süresince devam eder. Daha sonra porların birbiriyle birleşmesi son bulur ve yapıda malzeme taşınımıyla porların boyutları küçülerek tane büyümesi meydana gelir [20].

Taneler hacim merkezinde kesilmiş altıgen biçiminde yığılmaktadır. Üçlü tane sınırlarında silindirik porlar ve dörtlü tane sınırlarında küresel porlar yer almaktadır. Tane büyümesi esnasında küçük tanelerin kaybolup büyük taneler oluşması ile toplam tane sınırı alanı azalmaktadır.

Yüksek sıcaklıklarda meydana gelen yoğunluk artışı, düşük sıcaklıklarda uzun süreli sinterleme ile elde edilen artıştan daha büyüktür.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

5.1.1 ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşım malzeme

Remelt Alloys firmasından RS15735 şarj numarasıyla AIM + VOD yöntemiyle üretilmiş 75mm çapında 4kg'lık sürekli döküm ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşım malzeme (Şekil 5.1) tedarik edilmiştir. (Ek A)



Şekil 5.1 : ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşım malzeme.

Çizelge 5.1 : Tedarik edilen ASTM F75 malzemesinin spesifikasyonu ve analizi .

Elementler (Sembolleriyile)	ASTM F75 spesifikasyon min. değeri (% ağı.)	ASTM F75 spesifikasyon max. değeri (% ağı.)	Çalışmada kullanılan malzeme (% ağı.)
Karbon (C)	---	%0.35	%0.23
Mangan (Mn)	---	% 1	%0.33
Fosfor (P)	---	%0.02	%0.004
Sülfür (S)	---	%0.01	%0.001
Silis (Si)	---	% 1	%0.85
Nikel (Ni)	---	%0.5	%0.13
Krom (Cr)	%27	%30	%28.48
Molibden (Mo)	%5	% 7	%5.98
Kobalt (Co)	Kalan	Kalan	Kalan
Tungsten (W)	---	%0.2	%0.03
Demir (Fe)	---	%0.4	%0.19
Azot (N)	---	%0.25	%0.15
Oksijen (O)	---	---	82 ppm
Alüminyum (Al)	---	%0.1	<%0.01
Titanyum (Ti)	---	%0.1	%0.01
Bor (B)	---	%0.01	%0.001

5.1.2 Dolgulu hassas döküm mumu

Dolgulu hassas döküm mumları sahip oldukları iyi akışkanlık, boyutsal kararlılık ve iyi yüzey kalitesiyle hassas döküm model kalıplarının içerisine sıvı halde enjekte edilerek mum modellerin üretiminde kullanılmaktadır.

Kullanılan hassas döküm mumu 69-74°C sıcaklık aralığında sıvı faza geçebilen, %35.5-39.5 oranında dolgu içeren, yeşil renkli parafinsiz yapıdadır.

5.1.3 Kolloidal silika

Ağırlıkça %30 SiO₂, %0.3 Na₂O içeren 9.7 pH değerine sahip sıvı, seramik kaplama işlemindeki özel banyoda bağlayıcı malzeme olarak kullanılmaktadır.

5.1.4 Granüler kalsine zirkon

Ağırlıkça %65.4 ZrO₂, %1.6 Al₂O₃, %0.22 TiO₂, %0.05 Fe₂O₃, %0.02 SiO₂ kimyasal bileşimine sahip, seramik kaplamada bağlayıcı banyo sonrası ilk katman kaplamasında kullanılan bir tür seramik esaslı malzemedir.

5.1.5 Çift kalsine zirkon

Ağırlıkça %65.6 ZrO₂, %0.62 Al₂O₃, %0.16 TiO₂, %0.04 Fe₂O₃, %0.02 SiO₂ kimyasal bileşimine sahip, kolloidal silika ile birlikte hazırlanan özel seramik banyosunda kullanılan un şeklindeki bir tür seramik esaslı malzemedir.

5.1.6 Müllitler

Ağırlıkça %49.37 SiO₂, %46.13 Al₂O₃, %2.65 TiO₂, %1.24 Fe₂O₃, %0.19 CaO, %0.14 K₂O, %0.12 MgO, %0.06 Na₂O içeren ve mum salkımlarının bağlayıcı seramik banyosuna daldırıldıktan sonra 2-7. katlarda yüzeyi kaplamak için kullanılan 16/30, 30/80 ve 200 mesh tane boyutu ölçülerine sahip seramik esaslı malzemelerdir.

5.1.7 Mum model kalıp malzemesi

7075 serisi alüminyum alaşımı mukavemet ve sertlik değerleriyle kalıp malzemesi olarak sıkça tercih edilmektedir ve mum enjeksiyon basıncı ile deforme olmayan, sürekli kullanılabilirlik sağlayan bir malzemedir.

5.1.8 Seramik maça kalıp malzemeleri

7075 serisi alüminyum alaşımının yüksek mukavemeti ve sertliği ile seramik maça kalıp malzemesi olarak kullanılması öngörölmüş fakat çalışma esnasında kullanılacak zirkon esaslı seramik maça malzemesinin aşındırıcılığı göz önünde bulundurularak kalıp malzemesi 4140 ıslah çeliği olarak da tasarlanmıştır. Uygun seramik maça kalıp malzemesi seçimi gerçekleştirilmiştir.

5.2 Femoral Komponent Üretimi

5.2.1 Kalıp imalatı

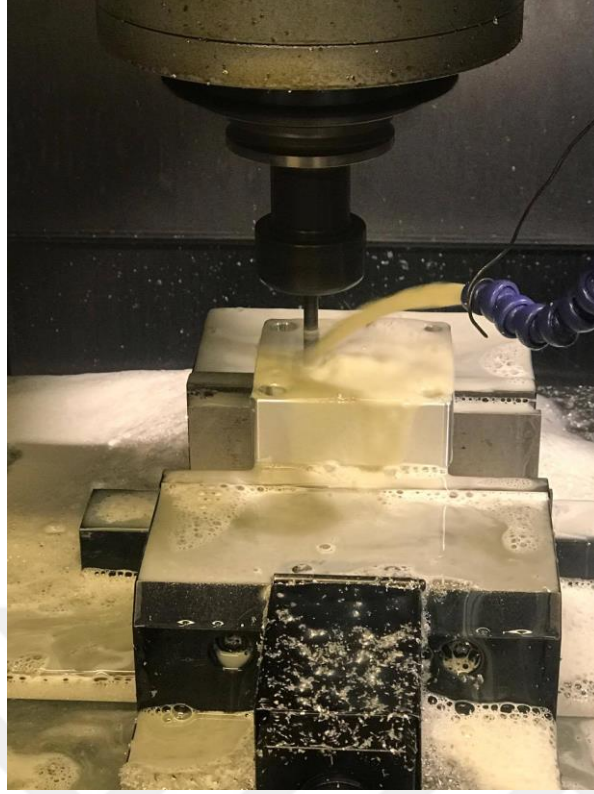
5.2.1.1 Femoral komponent kalıp imalatı

Piyasada birçok firma tarafından medikal ürün imalatı yapılmakta ve femoral diz komponentlerinin tasarımları genel hatlarıyla birbirlerine benzemektedir. Yalnızca bu deneysel çalışmada kullanılmak üzere Serpa Hassas Döküm bünyesinde tasarlanan orta boy bir femoral komponentin mum enjeksiyon kalıbı, 7075 serisi alüminyum alaşımından Spinner marka CNC dik işleme merkezinde üretilmiştir. Kalıp tasarımı yapılırken nihai parça ölçülerine metalin katılma esnasındaki çekme payı ve kalıba enjekte edilen mumun soğuma esnasındaki çekme payı hesaba katılarak ölçülendirme yapılmıştır.

Kullanılan dolgulu mumun soğuma esnasındaki çekme payı %0.5-1 ve ASTM F75 malzemenin soğuma esnasındaki çekme payı %1.5-2 değerlerindedir ve bu değerler geometriye bağılı değişkenlik göstermektedir [21].

5.2.1.2 Seramik maça kalıp imalatı

Seramik maça üretilecek kalıbın, içerisine enjekte edilecek seramik esaslı malzemenin basıncına ve aşındırıcılığına dayanıklı olması gerekmektedir. Fused silika, zirkon ve alumina karışımından oluşan malzemenin enjeksiyon edilebilmesi için hassas döküm kalıbına benzer tasarımda, 7075 serisi alüminyum alaşımından kalıp imalatı Spinner marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır (Şekil 5.2).



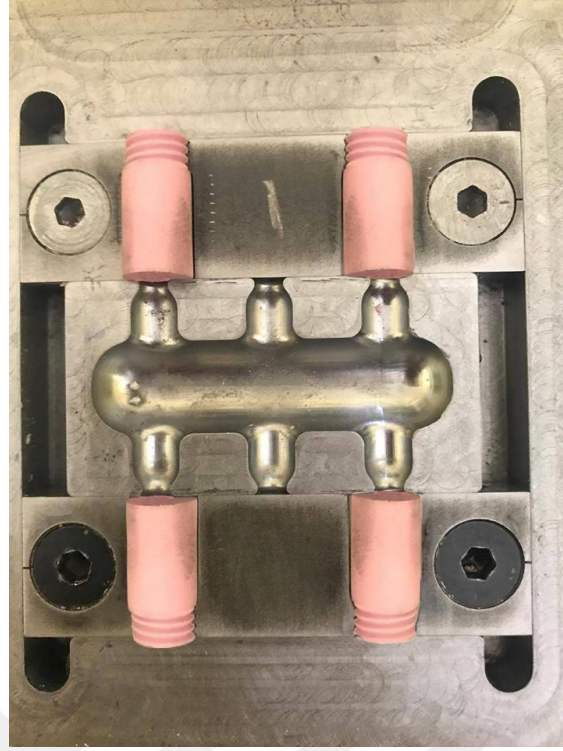
Şekil 5.2 : 7075 Alüminyum alaşımından CNC dik işleme tezgahında seramik maça kalıbı imalatı.

Kalıbın, tekrarlanacak 120 enjeksiyon işlemine karşı aynı kalıp tasarımı çelik malzemedenden de yapılmıştır. Seramik maça üretimi esnasında uygun kalıp malzemesi seçimi de gerçekleştirilmiştir.

5.2.2 Seramik maça imalatı

Hassas dökümden kullanılan seramik maçalar genellikle %25 fused silika, %70 zirkon ve %5 alumina seramik tozlarından oluşan bir harman ile paraffin, polietilen ve polipropilen içeren bir bağlayıcının 140°C sıcaklıkta harmanlanmasıyla oluşan hammaddeden üretilir. Hazırlanan karışım 140°C hazne sıcaklığı 120 °C meme sıcaklığı bulunan bir enjeksiyon makinasında daha önce hazırlanmış olan seramik maça kalıbının içerisine enjekte edilmiştir.

Çalışma için gerekli olan 96 adet seramik maça, meydana gelebilecek üretim hatalarına karşı %25 fire oranıyla beraber üretilerek 120 adet enjeksiyon baskı yapılması planlanmıştır. 7075 serisi alüminyum alaşımından ve 4140 ıslah çeliğinden yapılan kalıpların her ikisinden de 120 adet baskı yapılarak seramik maça üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 : Seramik Maça Enjeksiyon Kalıbı.

Enjeksiyondan çıkan seramik maçalar bağlayıcı giderme prosesi için atmosferik ortamdaki bir fırında 10°C /saat hızla 450°C 'ye kadar ısıtılarak 2 saat bekletilmiş ve kendi halinde soğumaya bırakılmıştır. Ardından pişirmeye götürülen seramik maçalar 100°C /saat hızla 1100°C 'ye kadar ısıtılarak 2 saat bekletilmiş ve fırın içerisinde soğumaya bırakılmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 : Seramik Maça bağlayıcı giderme ve pişirme fırını.

Mukavemet kazanan seramik maçalar son aşama olan sinterleme prosesinde 100°C /saat hızla 1300°C'ye kadar ısıtılarak 3 saat bekletilmiş ve nihai halini alarak göz kontrol bölümüne sevk edilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 : Seramik maça sinterleme fırını.

Göz kontrolü yapılan 120 adet seramik maçada 102 adet maça kontrolden hatasız olarak geçmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 : Üretimi tamamlanmış seramik maçalar.

5.2.3 Mum model imalatı

Mum enjeksiyon için hazırlanmış olan femoral component kalıbına B289 dolgulu hassas döküm mumu yarı otomatik mum enjeksiyon makinasında 70 bar basınç ile 10 saniye sürede enjekte edilerek mum modelin üretimi sağlanmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 : Femoral komponent mum model enjeksiyon kalıbı.

Çalışma kapsamında 24 adet parçanın üretime girmesi planlanmış ve üretilecek parça adeti kadar mum enjeksiyon işlemi tekrarlanarak mum modeller üretilmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 : Femoral komponent mum modeller.

Üretilen mum modeller soğuduktan sonra göz kontrol yapılarak herhangi bir enjeksiyondan kaynaklanan hata olup olmadığı kontrol edilmiş ve sonrasında bir sonraki aşama olan çapak alma ve mum montaj bölümüne sevk edilmiştir.

5.2.4 apak alma, seramik maça montajı ve mum montaj

Mum enjeksiyonu yapılan parçaların kalıp ayırım yüzeylerinde ve mum giriş bölgesinde oluşan çapaklar bu bölümde parça geometrisini deforme etmeden dikkatlice temizlenmiş ve seramik maçalar yapıştırıcı yardımıyla parçalara monte edilmiştir (şekil 5.9). Her parçada 4 adet peg yuvası bulunmaktadır ve 24 adet parça imalatı için 96 adet seramik maça kullanılmıştır.



şekil 5.9 : Seramik maaları monte edilen femoral komponentler.

Seramik maçaların montajının ardından parçalar salkım modeli oluşturulması için parçayı besleyecek yolluk bölümünden havya yardımıyla ergitilerek mum modeller salkım haline getirilmiştir (şekil 5.10).



şekil 5.10 : Mum model salkımı haline getirilen femoral komponentler.

5.2.5 Seramik kabuk üretimi

Hazırlanan mum salkımlar bu aşamada seramik malzemeyle kaplanarak dökümde kullanılacak seramik kabuğun oluşturulması sağlanır. Mum salkımlar önce koloidal silika esaslı bir sıvı banyosuna daldırılmış (Şekil 5.11 ve Şekil 5.12.), ardından zirkon ve alumina esaslı refrakterlerle kaplanmıştır. Mum yüzeyine temas eden ilk kaplama ne kadar ince bir kalınlık oluşturursa, parça geometrisindeki detayların belirginliği de o kadar fazla olmaktadır. Dolayısıyla seramik kaplama işlemi her tabakada daha da kalınlaştırılarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5.11 : Seramik banyosuna daldırılmadan önce mum model salkımı.



Şekil 5.12 : Seramik banyosuna daldırıldıktan sonra mum model salkımı.

Kaplama yapılan her tabaka arası ortalama 6 saat kurutma süresi beklenmiş ve ortalama kaplama kalınlığı 9 mm'ye ulaşıncaya kadar 7 kat kaplama işlemi uygulanmıştır.

Seramik kaplama işlemi biten salkımlar 8 gün süreyle hava sirkulasyonlu özel bir alanda kurutmaya bırakılarak seramik katmanlarının iyice kurumasa sağlanmıştır.

Seramik kabuğu kurutulmuş olan salkımlar içerisindeki mumun alınması için otoklava sevk edilmiştir.

5.2.6 Mum geri alma

Seramik kabukların içerisindeki mumun geri alınması için salkımlar otoklav içerisine yerleştirilmiş ve 7 bar basınç, 200°C sıcaklıkta 15 dakika tutularak içerisindeki mum geri kazanılmıştır (Şekil 5.13). Burada salkımların otoklav makinasına yüklendikten sonra hızlı hareket edilmesi çok önemlidir, aksi takdirde seramik kabuk içerisindeki mumun genişerek seramik kabuğu çatlatma riski vardır.

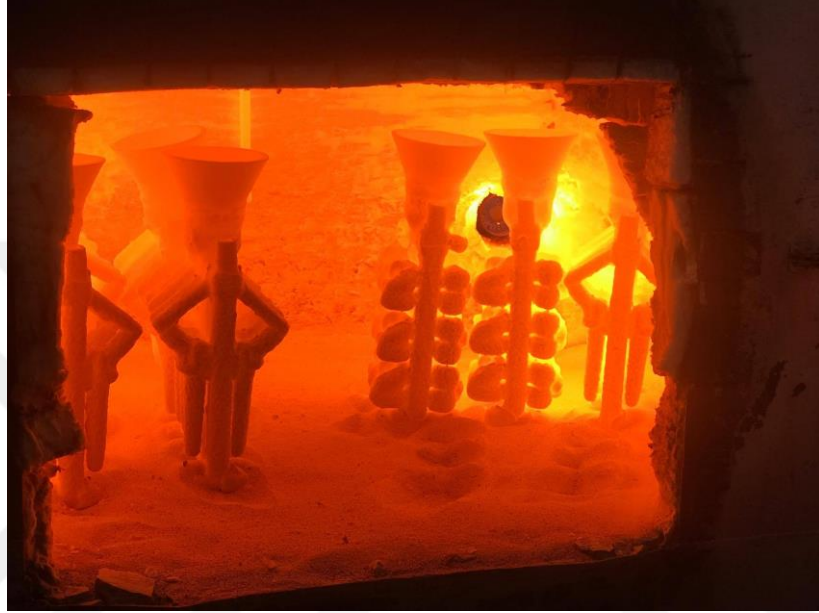


Şekil 5.13 : Otoklav sonrası mumu geri alınan seramik salkımlar.

Otoklav ile mumun geri alınması sağlandıktan sonra seramik salkımlar yıkanarak temizlenmiş ve aynı zamanda herhangi bir çatlak olup olmadığı kontrol edilmiştir.

5.2.7 Seramik kabukların sinterlenmesi

Seramik salkımlar kalan son mum kalıntılarını uzaklaştırmak ve seramiğe mukavemet kazandırmak için 1050°C'de 1 saat sinterlenmiştir (Şekil 5.14). Böylelikle döküm esnasında da seramik kabuk ile sıvı metal sıcaklığı arasındaki fark azaltılarak seramik kabuğun çatlaması veya parça yüzeyinde soğuk birleşme olması engellenmiş olur.



Şekil 5.14 : 1050°C sinterlenen seramik salkımlar.

5.2.8 Döküm işlemi

ASTM F75 malzemesi indüksiyon ocağında argon atmosferi altında ergitilmektedir. Bu çalışmada da 200 kW'lık indüksiyon ocağında argon atmosferi altında ergitme işlemi yapılmıştır. Ergitme yapılan F75 malzemesi, çap 80 mm bloklar halinde lisanslı üretici firmalardan tedarik edilebilmektedir.

Bu çalışmada ASTM F75 malzemesi Remelt Alloys firmasından tedarik edilmiş olup sertifika analiziyle Serpa Hassas Döküm bünyesindeki Was Foundry Master kimyasal analiz spektrometresinde yapılan analiz sonuçları kıyaslanarak malzeme kontrolü sağlanmış ve herhangi bir soruna rastlanmamıştır.

Kimyasal analizi kontrol edilen malzemeden 28 kg.'lık bir ergitme yapılarak 2 salkımın dökümü 1560°C gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.15)



Şekil 5.15 : ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımının döküm işlemi.

5.2.9 Kırma ve kesim

Döküm sonrası soğumaya bırakılan salkımların dışlarındaki seramik kabuklar pnömatik titreşimli kırma makinası yardımıyla kırılmış (Şekil 5.16) ve Bosch marka spiral taş motoru yardımıyla femoral komponent parçaları besleyici yolluklardan ayrılmıştır (Şekil 5.17).



Şekil 5.16 : Seramik kabuk kırma işlemi.



Şekil 5.17 : Kesim işlemi.

5.2.10 Kuşlama

Saykar marka basınçlı elle kuşlama makinasında silis kumu kullanılarak parça yüzeyindeki seramik kalıntıları temizlenmiş ve parçalar tesviye bölümüne yüzey kontrol ve çapak temizleme için sevk edilmiştir.

5.2.11 Tesviye ve göz kontrol

Parçaların yüzeyleri herhangi bir çapak, döküm boşluğu olup olmadığının tespiti için 3X büyütme yapabilen büyüteç altında gözle kontrol edilmiş ve hatalı olan parçalar ıskartaya ayrılmıştır.

Parça yüzeyinde bulunan ve tesviyeyle giderilebilecek parçaların yüzeyleri temizlenmiş (Şekil 5.18) ve vida deliklerinin kontrolü M8 vida yardımıyla parçaların tamamına uygulanmıştır (Şekil 5.19).



Şekil 5.18 : Tesviye işlemi.



Şekil 5.19 : M8 vida kontrol işlemi.

5.3 Karakterizasyon

5.3.1 Kimyasal analiz

Dökümü yapılan salkımlarda bulunan 20 mm çapındaki silindirik analiz takozları döküm sonrası katılaştıktan sonra kesilerek yüzeyi taşlanmış ve kimyasal analiz kontrolüne hazırlanmıştır. Kimyasal analiz kontrolü Serpa Hassas Döküm bünyesinde bulunan WAS Foundry Master 01F0047 seri nolu kimyasal analiz cihazında (Şekil 5.20) ASTM E354 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır (Ek B) [22].



Şekil 5.20 : WAS Foundry Master kimyasal analiz spektrometresi.

5.3.2 Çekme testi

Akma dayanımı ve Çekme dayanımı değerlerinin tayini için Alşa 10 Ton Çekme Cihazında (Şekil 5.21) ASTM E8 standardına bağlı kalınarak Şekil 5.22’de görülen test numunesinden 7 adet çekme testi uygulanmıştır [23].



Şekil 5.21 : Alşa 10 ton çekme cihazı.



Şekil 5.22 : Çekme test numunesi.

5.3.3 Sertlik ölçümü

Misawa Seiki Sertlik ölçüm cihazıyla (Şekil 5.23) 150 kg yük ve elmas uç kullanılarak femoral komponentlerin sertlik ölçümü ASTM E18 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır [24].



Şekil 5.23 : Misawa Seiki sertlik ölçüm cihazı.

5.3.4 Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Qualitest TR200 portatif yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazıyla (Şekil 5.24) femoral komponent üzerindeki düzlemsel yüzeylerden yüzey pürüzlülüğü ölçümü VDG P690/TMS 615 standardına bağlı kalınarak yapılmıştır [25].



Şekil 5.24 : TR200 portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazıyla ölçüm yapılması.

5.3.5 Sıvı penetrant muayenesi

Sıvı penetrant muayenesi için öncelikle ASTM E1417 standardına göre femoral komponentlerin yüzeyleri BT69 Temizleyici Sprey ile olası kir ve lekelerden arındırılmıştır (Şekil 5.25). Penetrant uygulanacak parçalara BT68 Kontrast Kırmızı Penetrant Sprey püskürtme yöntemiyle uygulanmış ve 20 dakika nüfuziyet için beklenmiştir (Şekil 5.26). Daha sonra yüzeyde kalan fazla penetrantın giderilmesi için parçalar spreyle durulanmış ve temiz bir bez ile yüzey kurutulmuştur. BT70 çözücü esaslı geliştirici yardımıyla parçaların üzerine geliştirici homojen bir şekilde spresyle püskürtülmüş ve 20 dakika beklenmiştir (Şekil 5.27).

Geliştirici bekleme süresi tamamlanan parçalar 600 lüks aydınlatma şiddeti bulunan ışık ortamında 3X büyütme yapabilen büyüteçle incelenmiştir [26].



Şekil 5.25 : Temizleyici uygulaması.



Şekil 5.26 : Penetrant uygulaması.



Şekil 5.27 : Geliştirici uygulaması.

5.3.6 Radyografik muayene

ASTM F629 standardına bağılı kalınarak Radioflex 250EG x-ışını cihazıyla (Şekil 5.28) femoral komponentlerin tamamına radyografik film muayenesi yapılmıştır. Parça kalınlığı ve malzeme yoğunluğuna bağılı olarak seçilen 165 kV ve 1.9 dakika x-ışını değerleri neticesinde çekilen Kodak T200 filmler öncelikle bazik karakteristikteki geliştirici sıvıya daldırılmıştır ve 8 dakika bekletilmiştir. Geliştirici sıvıda bekletilen filmler üzerindeki ışın almış AgBr siyah renge dönüşmekte ve siyah Ag film üzerinde kalarak Br solüsyona aktarılmaktadır.

Geliştirici banyosundan çıkarılan filmler 5 dakika süreyle saf su içerisinde bekletilerek yüzeyde kalan geliştiricinin uzaklaştırılması sağlanmıştır.

Son olarak fikselle banyosuna daldırılan filmlerde, filmin üzerindeki ışın almamış AgBr sıyrılıp alınmıştır. Böylelikle filmin şekil değıştirilmesi ve sararması önlenmektedir.

KDE marka film görüntüleme cihazında filmler incelenmiştir [28].



Şekil 5.28 : Radioflex 250EG X-ışını radyografik muayene cihazı.

6. SONUÇLAR VE İRDELEME

6.1 Seramik Maça Kalıp Malzemesinin Seçimi

Seramik maça kalıp malzemesi olarak hassas döküm parça modellerinde sıkça kullanılan 7075 serisi alüminyum alaşımından ve 4140 ıslah çeliğinden iki farklı kalıp üretilmiştir. 7075 serisi alüminyum malzemedен yapılan kalıbın (Şekil 6.1) aşınma dayanımı-göz önünde bulundurularak 4140 ıslah çeliğinden yapılmış kalıbın (Şekil 6.2) daha uzun ömürlü olabileceği düşünülerek çelik kalıp dört gözlü, alüminyum kalıp tek gözlü olarak imal edilmiştir. Seramik maçaların enjeksiyonu esnasında eşit şartlarda kıyaslama yapılabilmesi için her iki kalıptan da 120 baskı alınmıştır. Böylelikle her iki kalıbın da birer gözü kıyaslandığında eşit miktarda seramik malzemeye maruz kalınmış fakat 7075 alüminyum alaşımından yapılan kalıpta 78. baskıdan sonra vida dişlerinde bozulma görülmüştür (Şekil 6.3). 4140 çeliğinden yapılan kalıpta ise 120 baskı sonucunda herhangi bir soruna rastlanmamış ve baskısı yapılan seramik maçaların hepsi göz kontrolden geçmiştir.



Şekil 6.1 : 7075 serisi alüminyum alaşımından yapılan seramik maça kalıbı.



Şekil 6.2 : 4140 çelik malzemedan yapılan seramik maça kalıbı.



Şekil 6.3 : 7075 serisi alüminyum alaşımından yapılan ve aşınmış seramik maça kalıbı.

6.2 M8 Vida Kontrolü

Dökümü yapılan 24 adet parçada bulunan peg yuvaları M8 vida yardımıyla kontrol edilmiştir. Yapılan kontrol sonucunda 24 adet parçanın vida deliklerinin kontrol sonucu çizelge 6.1 deki gibidir.

Çizelge 6.1 : Dökümü yapılan 24 adet parçanın M8 vida kontrol sonuçları.

Parça Adedi (Yüzdesi)	M8 vida kontrol sonucu	Hata sebebi (varsa)
18 adet (%75)	M8 vida çalışır (Şekil 6.4).	---
4 adet (%16.67)	1'er adet peg yuvası metalle kaplanmış (Şekil 6.5).	Seramik kaplama işlemi sonrası salkımın içerisindeki seramik maçanın mum geri alma prosesinde koparak düşmesi sonrasında dökümde mevcut boşluğa metal dolmuştur.
1 adet (%4.165)	1 adet peg yuvası vida adımsız olarak çıkmıştır (Şekil 6.6).	Seramik kaplama işlemi esnasında mum salkım kaplanmadan mevcut 1 seramik maçanın düşmesi sonucu meydana gelmiştir.
1 adet (%4.165)	1 adet peg yuvasında vida çalışmıyor (Şekil 6.7).	Kullanılan seramik maçanın vida adımlarında hata mevcut olduğundan vida adımı bozuk çıkmıştır.



Şekil 6.4 : M8 vida çalışır parçalar.



Şekil 6.5 : Peg yuvası hatalı parçalar.



Şekil 6.6 : Peg yuvası vida adımsız parça.



Şekil 6.7 : Vida adımı bozuk parça.

6.3 Kimyasal Analiz Sonucu

ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımının dökümü esnasında alınan numunenin kimyasal analiz sonucu elde edilen veriler ve elementel miktarların alt ve üst sınırları çizelge 6.2.'de yer almaktadır.

Kimyasal analiz sonucunda elementlerin ağırlıkça miktarlarının, verilen alt ve üst sınırların içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

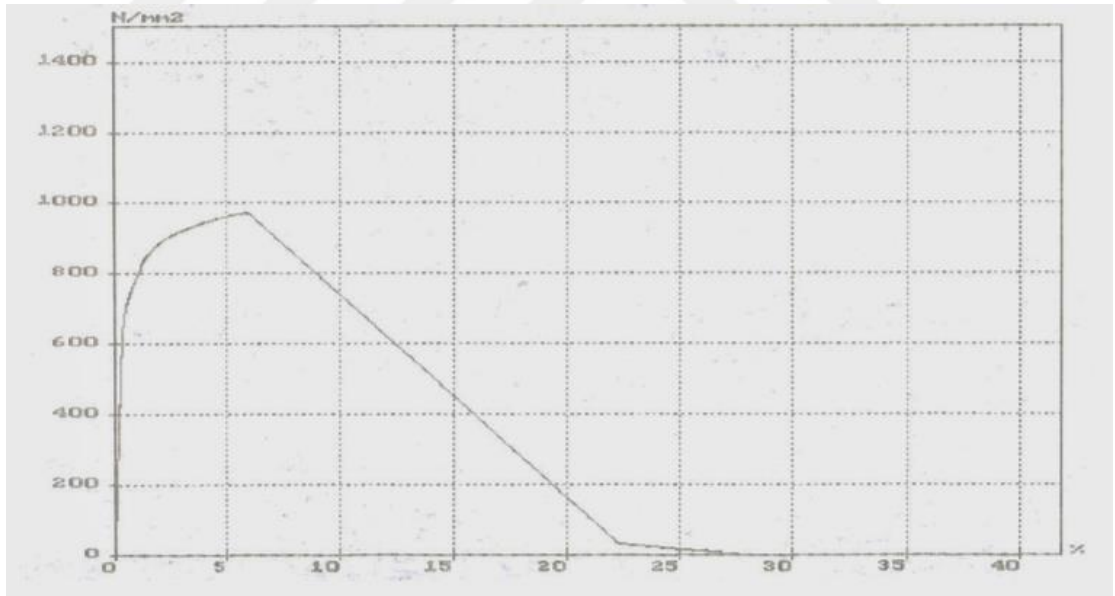
Çizelge 6.2 : Kimyasal analiz spektrometresi analiz sonuçları.

Elementler	Analiz sonucu (% ağı.)	Minimum değer (% ağı.)	Maksimum değer (% ağı.)
Kobalt (Co)	63.6	---	kalan
Karbon (C)	0.232	---	%0.35
Silis (Si)	0.822	---	%1
Mangan (Mn)	0.441	---	%1
Krom (Cr)	27.8	%27	%30
Molibden (Mo)	6.43	%5	%7
Nikel (Ni)	0.0801	---	%0.5
Aluminyum (Al)	0.0121	---	%0.1
Wolfram (W)	<0.0050	---	%0.2
Demir (Fe)	0.354	---	%0.4
Titanyum (Ti)	0.0099	---	%0.1

6.4 Mekanik Test Sonuçları

6.4.1 Çekme testi sonuçları

Alşa 10 tonluk çekme cihazıyla yapılan çekme testi sonuçlarından alınmış olan bir adet örnek çıkan çekme eğrisi Şekil 6.8'deki gibidir.



Şekil 6.8 : Kuvvet – Uzama eğrisi.

ASTM F75 standardına göre akma dayanımı minimum 450 MPa ve çekme dayanımı minimum 655 MPa değerlerine sahip olması gerekmektedir [7]. Yapılan çekme testleri sonucunda akma dayanımı değerleri ve çekme dayanımı değerleri çizelge 6.3'deki gibidir.

Akma dayanımı değeri ortalama yaklaşık 691.4 ± 11.77 MPa ve çekme dayanımı değeri yaklaşık 883.5 ± 16.37 MPa olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.3 : Alşa 10 ton çekme testi sonuçları.

Test Numarası	Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)
1.test	682.3	873.5
2.test	707.1	908
3.test	702.4	894.3
4.test	676.9	860.4
5.test	692.2	888.6
6.test	671.8	854.2
7.test	703.2	900.7
Ortalama değer	691.4	883.5
Standart sapma	11.77	16.37

6.4.2 Sertlik ölçümü sonuçları

Misawa Seiki sertlik ölçüm cihazında yapılan testin sonucunda elde edilen sertlik değerleri Tablo 6.4' deki gibidir. ASTM F75 standardında döküm sonrası sertlik değeri 25-35 HRC olarak verilmektedir ve dökümü yapılan parçalar standarta uygun sertlik değerine sahiptir [7]. Ortalama sertlik değeri 33 ± 0.7 HRC olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.4 : Döküm yapılan numune parçanın sertlik ölçüm sonuçları.

Ölçüm no	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	4.ölçüm	5.ölçüm
Sertlik değeri (HRC)	33	34	33	33	32

6.5 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları

TR200 portatif yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazıyla yapılan ölçüm sonucunda elde edilen Ra, Rq, Rz, Rt, Rp, Rv, Rs değerleri DIN EN ISO 4287 standardına göre belirlenmiş ve çizelge 6.5.'te verilmiştir [28].

Yüzey pürüzlülük değeri hassas dökümde N8 ($Ra=3.2\mu m$) olarak belirlenmiştir. Femoral komponentlerde $Ra=2.65\mu m$ olarak ölçülen değer, istenilen yüzey kalitesini vermektedir.

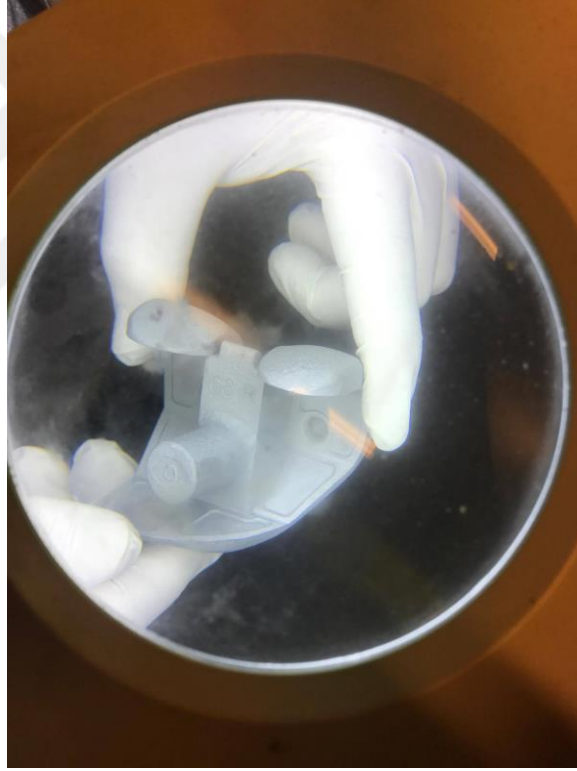
Çizelge 6.5 : TR200 yüzey pürüzlülük cihazıyla yapılan ölçüm sonuçları.

Birimler	Ra	Rq	Rz	Rt	Rp	Rv	Rs
Değerler(μm)	2.650	3.461	19.00	25.78	7.207	11.80	0.0754

6.6 Tahribatsız Muayene Test Sonuçları

6.6.1 Sıvı penetrant muayenesi değerlendirilmesi

ASTM E1417 Standardına bağlı kalınarak yapılan ve Tip 2 Metot C değerlendirmesinde femoral komponentler 3X büyütme yapabilen büyüteç altında (Şekil 6.9) yapılan incelemede herhangi lineer veya dairesel hataya rastlanmamıştır [26].



Şekil 6.9 : 3X büyütme yapabilen büyüteç altında femoral komponentlerin incelenmesi.

6.6.2 Radyografik muayene değerlendirilmesi

ASTM F629 standardına bağlı kalınarak uygulama ve değerlendirme yapılan femoral komponentlerde herhangi bir çatlak, inklüzyon, döküm boşluğu veya süreksizlik tipinde bir hataya rastlanmamıştır (Şekil 6.10) [27].



Şekil 6.10 : X-ışını radyografisi film görüntüsü.

6.7 Maliyet Hesabı

Yıllık ortalama 1.000 adet femoral komponent üretimi için seramik maça kullanımı ile metrik vida adımlı parça üretimi ve talaşlı imalat yöntemiyle metrik vida adımlı parça üretimi için yapılan maliyet hesaplaması çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6 : Seramik maça kullanımı ve talaşlı imalat ile üretilen femoral komponentler için fire oranlarına bağlı maliyet giderleri.

Gider kalemleri	Seramik maça kullanılarak yapılan metrik vida adımı üretimi	Talaşlı imalat yöntemiyle yapılan metrik vida adımı üretimi
Seramik maça	3.000 €	---
Seramik maça kalıbı	2.500 €	---
Matkap ve freze uçları	---	7.000 - 7.500 €
İşleme aparatı	---	750 - 1.000 €
İşçilik ve enerji	4.500 - 5.000 €	6.300 - 7.000 €
Toplam	10.000 - 10.500 €	14.050 – 15.500 €
Fire oranı	%20-25	%10-15
Fire dahil toplam	12.000 – 13.125 €	15.455 – 17.825 €

Seramik maça kullanımıyla yapılan üretim ortalama %33 oranında maliyeti düşürmüştür.

7. GENEL SONUÇLAR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, hassas döküm yöntemiyle ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımından üretilen femoral diz komponentlerinde dökümden metrik vida delikleri çıkarılması sağlanarak, talaşlı imalatın minimizasyonu amaçlanmıştır.

M8 vida biçiminde seramik maça kullanılarak femoral diz komponentlerinin hassas döküm yöntemiyle üretimi sağlanmış ve karakterizasyonu yapılarak çıkan ürünlerin kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- 1) Hassas döküm yöntemiyle femoral komponent üretiminde peg yuvalarının seramik maça kullanılarak M8 vida deliği şeklinde çıkarılabilirliği ve yapılan deneysel çalışmalarda %75 oranında hatasız parça üretimi sağlanmıştır.
- 2) Fused silika, zirkon, alumina ve bağlayıcı içeren seramik maça malzemesinin aşındırıcı etkisi sebebiyle 7075 serisi alüminyum alaşımından yapılan seramik maça kalıbının dişleri enjeksiyon basıncının etkisiyle aşınmış ve kullanılamaz hale gelmiştir. 4140 ıslah çeliğinden yapılan seramik maça kalıbı malzemesinde ise herhangi bir aşınmaya rastlanmamıştır.
- 3) ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımlı malzemenin döküm yapısındaki test kuponundan elde edilen 691.4 MPa ortalama akma ve 883.5 ortalama çekme dayanımı değerleri ASTM E8 standardının gereksinimleri olan minimum 450 MPa akma ve 655 çekme dayanım değerlerini sağlamıştır.

ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımlı malzemenin döküm yapısındaki sertlik değeri ortalama 33 ± 0.7 HRC olarak ölçülmüş ve ASTM F75 standardının gereksinimi olan 25-35 HRC aralığı içerisinde yer almıştır.

- 4) Dökümü yapılan femoral komponentlerin yüzeyleri tesviye edilerek kumlanmış ve yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde hassas döküm için kabul kriteri olan N8 yüzey kalitesi değeri elde edilmiştir.

5) Yüzey hatalarının tespiti için kullanılan sıvı penetrant ile tahribatsız muayene yöntemi, dökümü yapılmış ve M8 metrik vida kontrolünden geçen tüm femoral komponentlere uygulanmıştır ve yüzeylerinde herhangi bir lineer veya küresel hataya rastlanmamıştır.

İç yapıda var olan çatlak, inklüzyon, döküm boşluğu veya süreksizlikleri tespit etmek için kullanılan yüksek enerjili radyografik ışınlar kullanılarak tahribatsız muayene yöntemi, sıvı penetrant testinden geçmiş tüm femoral komponentlere uygulanmıştır ve iç yapılarında herhangi bir hataya rastlanmamıştır.

6) Hassas döküm yöntemiyle üretilen femoral komponentlerin peg yuvalarına yapıştırılan M8 seramik maçaların iyi yapışmadığı takdirde seramik kaplama prosesinde veya mum geri alma prosesinde düşerek hatalı parça çıkmasına sebep olduğu tespit edilmiştir.

7) Seramik maça kullanılarak yapılan üretim, talaşlı imalatla yapılan üretime göre 1.000 adet parça için yapılan maliyet hesabında ortalama %33 avantaj sağlamıştır.

Enjeksiyonla kalıplama yöntemiyle üretilen seramik maçaların vida adımlarında olan bir hata, dökümü yapılmış parçanın vida yuvasında M8 vidanın çalışmamasına sebep olduğu görülmüştür. Hata kaynakları ortadan kaldırıldığı takdirde metrik vida delikli femoral komponentlerin üretiminde %75'in üzerinde verim alınabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Gümüşderelioğlu M.** (2002). Tıbbın Geleceği Biyomalzemeler. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 2-4.
- [2] **Chen, Q.Z. ve G.A. Thouas,** (2015). Metallic implant biomaterials. *Materials Science & Engineering R-Reports*, 87, 1-57.
- [3] **University of Aberdeen** (2004). Metallic Instrumentation, Biomaterials-From Concept to Clinic.
- [4] **Çakır A.** (1995). İnsan vücudunda kullanılan metalik implantların dünü ve bugünü. *8th International Metallurgy and Materials Congress.*
- [5] **Ramsden, J.J.** (2007). The design and manufacture of biomedical surfaces, *CIRP Annals*, 56/2, 687-711.
- [6] **Datta, G.L. ve Dey, V.** An overview of the status of Investment Casting Process, Kharagpur, India.
- [7] **ASTM** (2012). F75-12 Standard Specification for Cobalt-28 Chromium-6 Molybdenum Alloy Castings and Casting Alloy for Surgical Implants
- [8] **Metals Handbook** (1970). American Society for Metals, Forging and Casting, 5, Ohio.
- [9] **ASM** (1988). Metals Handbook Casting, 15, Ohio, USA.
- [10] **Url-1** <http://www.serpahassasdokum.com/hasdok.asp>
- [11] **Url-2** <http://www.thompsoninvestmentcastings.com/advantages-of-investment-casting.html>
- [12] **Url-3** www.jobshop.com/techinfo/papers/investmentcastin2.shtml
- [13] **Url-4** <http://www.selimgokay.com/pg/diz-protezi>
- [14] **Engineered Materials Handbook** (1987). Ceramics and Glasses, *ASM International Handbook Committee.*
- [15] **Pujari, V.K.** (1987). Effect of Powder Characteristics on Compounding and Green Microstructure in the Injection Molding Process, 635-644.
- [16] **Mutsuddy, B.C., Ford, R.G.,** (1995). Ceramic Injection Molding
- [17] **Palacı, Y., Toy, Ç., Baykara, T.,** (1994). Enjeksiyon kalıplama ile şekillendirilmiş parçadan bağlayıcı giderilmesi
- [18] **Karataş, Ç., Özbilen, Ş., Sarıtaş, S.,** (1996). Toz Enjeksiyon Kalıplamada bağlayıcıların giderilmesi, 567-580.

- [19] **Demirkesen, E.**, (1994). Sinterleme ile Malzeme Üretimi, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- [20] **Yeh, T., Sacks, M.D.**, (1990). Effect of Green Microstructure on Sintering of Alumina,309-331.
- [21] **Sabau, A.S.**, (2005). Alloy shrinkage factors for the investment casting process
- [22] **ASTM** (2014). E354-14 Standard Test Methods for Chemical Analysis of High Temperature, Electrical, Magnetic and Other Similar Iron, Nickel and Cobalt Alloys.
- [23] **ASTM** (2016). E8-16a Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.
- [24] **ASTM** (2017). E18-17 Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials.
- [25] **VDG Merkblatt** (1999). P690 Germany Lost Wax Casting Dimensional Tolerances.
- [26] **ASTM** (2016) E1417-16 Standard Practice for Liquid Penetrant Testing.
- [27] **ASTM** (2015) F629-15 Standard Practice for Radiography of Cast Metallic Surgical Implants.
- [28] **TSE** (2004) TS 6956 EN ISO 4287 Geometrik Mamül Özellikleri – Yüzey Yapısı: Profil Metodu – Terimler, Tarifler ve Yüzey Yapısı Parametreleri

EKLER

Ek A : ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımlı malzemenin RS15735 şarj numaralı sertifikası

Ek B : WAS Foundry Master Kimyasal Analiz Spektrometresinde yapılan ASTM F75 Co-Cr-Mo alaşımlı malzemenin kimyasal analiz raporu





27151 Tungsten Road • Cleveland, Ohio 44132-2940 • U.S.A.
 +1 216 289-4555 • FAX: +1 216 289-0939 • 1-800-CASTMETALS
 www.remeltsources.com • email: info@remeltsources.com



Certified Heat Analysis

Certificate: 24871
 Page 1 of 1

Customer:

Primary Contact:
 Alloy: F-75
 Heat #: RS15735
 Purchase Order #: 613 RSI Sales Order #: 2007431 Order Qty: 5,608 lbs
 Specification(s): ASTM F75-12 Low Fe Date of Issue: 09/07/16
 Sample ID: CB, CM, CE, (AVG)
 Manufacturing Process: AIM + VOD Form: 75mm diameter x 4 kg piece weight CC Bar

Element		ASTM F75-12 Low Fe		Method of Analysis	
		Specification Minimum	RS15735		Specification Maximum
Carbon	C	-	0.23 %	0.35 %	COMB
Manganese	Mn	-	0.33 %	1.00 %	OES
Phosphorous	P	-	0.004 %	0.020 %	OES
Sulfur	S	-	0.001 %	0.010 %	COMB
Silicon	Si	-	0.85 %	1.00 %	OES
Nickel	Ni	-	0.13 %	0.50 %	OES
Chromium	Cr	27.00 %	28.48 %	30.00 %	OES
Molybdenum	Mo	5.00 %	5.98 %	7.00 %	OES
Cobalt	Co	Balance	Balance	Balance	OES
Tungsten	W	-	0.03 %	0.20 %	OES
Iron	Fe	-	0.19 %	0.40 %	OES
Nitrogen	N	-	0.15 %	0.25 %	COMB
Oxygen	O	-	82 ppm	-	COMB
Aluminum	Al	-	< 0.01 %	0.10 %	OES
Titanium	Ti	-	0.01 %	0.10 %	OES
Boron	B	-	0.001 %	0.010 %	OES

Material conforms to specification(s) listed. This document may not be reproduced, except in full, without the written approval of Remelt Sources, Inc. The recording of false, fictitious, or fraudulent statements or entries on this document may be punished as a felony under federal law.

Garry Pease - Quality Manager

Ek B



SPEKTROMETRE ANALİZ SONUÇLARI (%)

Müşteri : CEVAT YILMAZ
Sarj No: 231017-1112
Parça : 68 R FEMUR
Program : CO_OR
Malzeme: F75

	Co	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Nb
1	63,6	0,232	0,822	0,441	27,8	6,43	0,0801	0,0121	0,0099	0,0055
Ort	63,6	0,232	0,822	0,441	27,8	6,43	0,0801	0,0121	0,0099	0,0055

	W	Fe	Ti	V
1	< 0,0050	0,354	0,0099	0,0661
Ort	< 0,0050	0,354	0,0099	0,0661

ONAY

SERPA
Hassas Döküm
Sanayi ve Ticaret Ltd.Şti.



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Cevat Yılmaz

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul – 26.03.1993

E-Posta : cevat.yilmaz@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

Lise : 2011, Haydarpaşa Anadolu Lisesi

Lisans : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Yüksek Lisans : 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Malzeme Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİMLER:

- Ocak 2014 – Haziran 2014: Yarı zamanlı laboratuvar ve ofis araştırma asistanı, Prof.Dr.Adnan Tekin UYG-AR Merkezi
- Ekim 2014 - Temmuz 2015: Kalite Kontrol Sorumlusu, Serpa Hassas Döküm
- Temmuz 2015 – Ocak 2016: Ar-Ge Müdürü, Serpa Hassas Döküm
- Ocak 2016 - ... : Fabrika Müdürü, Serpa Hassas Döküm
- Ağustos 2017 : SectorCert – Level 2 Sıvı Penetrant Sertifikası No:Z-SC-066814/PT2

