

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

SARI-YEŞİL RENKLİ DEĞERLİ METAL ALAŞIMLARININ DİZAYNI VE ÜRETİMİ

OZAN BÜLBÜL

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

**DANIŞMAN
PROF. DR. MUSTAFA ÇİĞDEM**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SARI-YEŞİL RENKLİ DEĞERLİ METAL ALAŞIMLARININ DİZAYNI VE ÜRETİMİ

Ozan BÜLBÜL tarafından hazırlanan tez çalışması 30.09.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Derya DIŞPINAR
İstanbul Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimin başlangıç döneminden itibaren benimle yakından ilgilenen, gerek tez konusu tespiti gerekse tez çalışmalarım süresince engin tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM' e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın en önemli bölümü olan üretim aşamasında, altın ve gümüş gibi değerli metallerin temini, modelleme, kalıplama ve döküm çalışmalarında tesislerini ve tecrübelerini benimle içtenlikle paylaşan, üretim aşamasının her anında yardımlarını esirgemeyen Pozitif Döküm ailesinin tüm bireylerine ayrı ayrı teşekkür ederim.

Laboratuvarda yapılan mekanik testler sırasında bilgi, birikim ve desteklerini esirgemeyen, cihaz kullanımı konusunda tecrübelerini benimle paylaşan, ne zaman ihtiyacım olsa yardıma koşan değerli büyüklerim Arş. Gör. Zekeriya Yaşar CÖMERT, Yrd. Doç. Dr. Kerem Altuğ Güler, Teknisyen Mehmet ÇALIŞKAN ve Uzman Yahya BAYRAK' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim sırasında yürütücüsü olduğu İSTKA projesinde çalışmaktan büyük keyif aldığım, bilgi birikimi ve mesleki tecrübeleri başta olmak üzere ihtiyaç duyduğum her konuda yardımını esirgemeyen değerli büyüğüm Doç. Dr. Ergün KELEŞOĞLU' na destekleri için çok teşekkür ederim.

Beraber çalışmaktan keyif aldığım sevgili arkadaşım Şaban TOROS' a teşekkürlerimi iletirim.

Eğitim hayatım boyunca ilk günden son güne kadar, iyi ve kötü günlerimde her daim yanımda olan, gösterdikleri sabır ve anlayış ile desteklerini her zaman hissettiren biricik aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eylül, 2014

Ozan BÜLBÜL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	
ALTIN	4
2.1 Altının Tarihçesi	4
2.2 Dünya’da Altın	7
2.3 Türkiye’de Altın.....	8
BÖLÜM 3	
ALTININ ÖZELLİKLERİ.....	10
3.1 Fiziksel özellikleri	10
3.2 Kimyasal Özellikleri	11
3.3 Mekanik Özellikleri	13
3.4 Altının Kullanım Alanları	14

3.4.1. Kuyumculuk Endüstrisi.....	15
3.4.2. Elektronik Sektörü.....	15
3.4.3. Uzay ve Havacılık.....	16
3.4.4. Dişçilik ve Tıp.....	16
3.4.5. Otomotiv Endüstrisi	16
BÖLÜM 4	
ALTININ ÖLÇÜ BİRİMİ.....	18
4.1 Altının Safılık Birimleri	18
4.1.1 Altın Ayar Tespit Yöntemleri	19
4.1.1.1 Mihenk Taşı Yöntemi ile Ayar Tespiti	20
4.1.1.2 Kimyasal Yöntemlerle Ayar Tespiti.....	20
4.2 Altının Ağırlık Birimleri.....	21
BÖLÜM 5	
ALTIN ALAŞIMLARININ RENK TEKNOLOJİSİ	22
5.1 Renk Sistemleri	23
5.1.1 CIELAB Renk Sistemi.....	24
5.1.2 Munsell Renk Sistemi.....	26
5.2. Sarı Altın Alaşımları.....	27
5.2.1 22 Ayar Standart Sarı Altın Alaşımları	27
5.2.2 22 Ayar Koyu Sarı Altın Alaşımları.....	28
5.2.3 18 Ayar Standart Sarı Altın Alaşımları	28
5.2.4 18 Ayar Açık Sarı Altın Alaşımları	30
BÖLÜM 6	
ALTIN ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜ	32
6.1 Model ve Kalıp Yapımı	32
6.2 Ergitme ve Alaşımlama	32
6.3 Ergitme Cihazları, Potalar ve Ergimeye Yardımcı Maddeler.....	33
6.3.1 Ergitme Cihazları	33
6.3.2 Potalar.....	34
6.3.3 Erimeye Yardımcı Maddeler (Flakslar)	35
6.3.4 Diğer Katkıları.....	35
6.3.5 Döküm Sıcaklığı	36
6.4 Hassas Döküm Yöntemi	36
6.4.1 Hassas Dökümün Tarihçesi	36
6.4.2 Hassas Döküm Yönteminin Basamakları.....	38

6.4.3 Dereceli Hassas Döküm.....	41
6.4.3.1 Esnek Mum Kalıpları.....	42
6.4.3.2 Kauçuk Kalıp Yapımı	42
6.4.3.3. Hassas Döküm Model Mumları	43
6.4.4 Mum Model Üretimi	45
6.4.5 Model Ağacının Hazırlanması	47
6.4.6 Mum Giderme.....	48
6.4.7 Kalıbın Pişirilmesi	49
6.4.8 Ergitme ve Döküm	50
BÖLÜM 7	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	55
7.1 Numune Kalıpları, Modeller, Model Ağacı Ve Derecenin Hazırlanması.....	55
7.2 Alaşım Hazırlama ve Döküm	57
7.3 Mekanik Testler ve Renk İncelemesi	60
7.4 Mikroyapısal İnceleme.....	62
7.5 DTA (Diferansiyel Termik Analiz)	69
BÖLÜM 8	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	77

SİMGE LİSTESİ

Ag	Gümüş
Au	Altın
B	Bor
Br	Brom
°C	Santigrat
Cd	Kadmiyum
Cl	Klor
Cm	Santimetre
Cu	Bakır
daN	Dekanewton
E	Elektrot potansiyeli
GPa	Gigapaskal
gr	Gram
H	Hidrojen
HCl	Hidroklorik asit
Hg	Civa
H ₂ O ₂	Hidrojen peroksit
j	joule
°K	Kelvin
KCN	Potasyum siyanür
kg	Kilogram
kgf	Kilogramkuvvet
L	Litre
m	Metre
mm	Milimetre
N	Newton
NaCN	Sodyum siyanür
(NH ₄) ₂ SO ₄	Amonyum sülfat
NaOH	Sodyum hidroksit
Ni	Nikel
nm	Nano metre
Pd	Paladyum
Psi	libre/inç ²
Pt	Platin
Zn	Çinko
Zr	Zirkonyum
%	Yüzde

‰	Binde
Ω	ohm
α	Alfa
γ	Gama

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
A.Ş.	Anonim Şirket
C	Chroma
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
Ct	Karat
FIFA	Fédération Internationale de Football Association
H	Hue
HB	Hardness Brinell
HV	Hardness Vickers
M.Ö.	Milattan Önce
V	Value
YMK	Yüzey Merkezli Kübik
Y.Y.	Yüz Yıl

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Amerikan Ulusal Sanat Galerisi'nde sergilenen, altın ve bronzdan üretilen Herkül heykelinin hassas döküm ile üretim aşamaları	5
Şekil 2.2	Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü tarafından üretilen Cumhuriyet Altınları	6
Şekil 2.3	18 ayar altından yapılan FIFA Dünya Kupası	7
Şekil 3.1	İnce altın levhanın çeşitli oksidan çözelti içindeki çözünme hızları	12
Şekil 3.2	Dünya'nın ilk altın parası, Lidya Aslanı	15
Şekil 4.1	Mihenk taşı ile ayar tespiti	20
Şekil 5.1	Renkleri gösteren Au-Ag-Cu sisteminin şematik üçlü diyagramı	23
Şekil 5.2	CIELAB Renk Diyagramı	24
Şekil 5.3	CIELAB koordinat sistemi	25
Şekil 5.4	Munsell renk sisteminde H, C ve V	26
Şekil 5.5	Munsell Renk Sistemi	26
Şekil 6.1	Alacahöyük bronz geyik heykeli	37
Şekil 6.2	Hassas döküm yöntemlerinin şematik gösterimi	40
Şekil 6.3	Hassas döküm için kalıp üretim basamakları	41
Şekil 6.4	Dereceli hassas döküm üretim basamakları	42
Şekil 6.5	Kuyumculukta kullanılan yüzüklere ait mum model örnekleri	46
Şekil 6.6	Mum model ağacı	48
Şekil 6.7	A) Döküm sonrası model ağacı (Döküm ağacı), B) Döküm ağacından kesilip temizlenmiş bir yüzük, C) Parlatma ve taş yerleştirme sonrası yüzük	52
Şekil 7.1	Kauçuk mum basma kalıpları	56
Şekil 7.2	Havşa yardımı ile model ağacının oluşturulması	56
Şekil 7.3	Solda fırından çıkarılan derece, sağda derecenin döküm ocağına yüklenişi ..	57
Şekil 7.4	Solda önce ergitilen altın gümüş ve bakırın karıştırılması, sağda katkıların ilave edilişi	58
Şekil 7.5	Dökümün ardından hava ve su ile soğutulan derece	59
Şekil 7.6	İki adet çekme ve bir adet sertlik test numunesinden oluşan döküm ağacı ..	59
Şekil 7.7	Çekme test numuneleri, üstte deney öncesi, altta deney sonrası	60
Şekil 7.8	Ölçüm sonrası sertlik test numuneleri	61
Şekil 7.9	Monteye alınmış numuneler	62
Şekil 7.10	Referans numunenin 50x'teki mikroyapı görüntüsü	63
Şekil 7.11	A ₃ kodlu numunenin 50x'teki mikroyapı görüntüsü	63
Şekil 7.12	A ₁ kodlu numunenin 50x'teki mikroyapı görüntüsü	64
Şekil 7.13	A ₂ kodlu numunenin 50x'teki mikroyapı görüntüsü	64

Şekil 7.14 Referans numunenin 100x'teki mikroyapı görüntüsü	65
Şekil 7.15 A ₃ kodlu numunenin 100x'teki mikroyapı görüntüsü	65
Şekil 7.16 A ₁ kodlu numunenin 100x'teki mikroyapı görüntüsü	66
Şekil 7.17 A ₂ kodlu numunenin 100x'teki mikroyapı görüntüsü	66
Şekil 7.18 Referans numunenin 200x'teki mikroyapı görüntüsü	67
Şekil 7.19 A ₃ kodlu numunenin 200x'teki mikroyapı görüntüsü	67
Şekil 7.20 A ₁ kodlu numunenin 200x'teki mikroyapı görüntüsü	68
Şekil 7.21 A ₂ kodlu numunenin 200x'teki mikroyapı görüntüsü	68
Şekil 7.22 Referans numuneye ait DTA sonuç grafiği	70
Şekil 7.23 1 numaralı numuneye ait DTA sonuç grafiği	70
Şekil 7.24 2 numaralı numuneye ait DTA sonuç grafiği	71

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Altının fiziksel özellikleri.....	10
Çizelge 3.2 Saf altının mekanik özellikleri	14
Çizelge 4.1 Kuyumculukta kullanılan altın ayarları ve yüzde saflık değerleri	19
Çizelge 4.2 Bar ve külçelerin ons cinsinden karşılıkları.....	21
Çizelge 5.1 Avrupa’da Kullanılan Renk Standartları.....	25
Çizelge 5.2 22 Ayar Sarı Altın Alaşımının Mekanik Özellikleri.....	27
Çizelge 5.3 22 Ayar Koyu Sarı Altın Alaşımının Mekanik Özellikleri.....	28
Çizelge 5.4 18 Ayar Standart Sarı Altın Alaşımının Mekanik Özellikleri	29
Çizelge 5.5 18 Ayar Açık Sarı Altın Alaşımının Mekanik Özellikleri	30
Çizelge 6.1 Mum modellerdeki bazı olası sorunlar, nedenleri ve çözüm önerileri.....	46
Çizelge 6.2 Kauçuk kalıplarda bazı olası sorunlar, nedenleri ve çözüm önerileri	50
Çizelge 6.3 Dökümde oluşabilecek bazı olası hatalar ve muhtemel nedenleri	53
Çizelge 7.1 Hazırlanan döküm alaşımların içerikleri	58
Çizelge 7.2 Çekme ve Sertlik testlerinden elde edilen sonuçlar	61
Çizelge 7.3 1 ve 2 numaralı DTA deney numunelerinin bileşimleri	71

SARI-YEŞİL RENKLİ DEĞERLİ METAL ALAŞIMLARININ DİZAYNI VE ÜRETİMİ

Ozan BÜLBÜL

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM

Değerli metaller geçmişten günümüze dek insanoğlu için önemli bir yere sahip olmuşlardır. Özellikle altın, sahip olduğu parlak renk ve yüksek mekanik özellikleri ile her daim güç ve zenginlik sembolü olmuştur. Çağlar boyunca ziynet ve süs eşyaları olarak kullanılmış ve kuyumculuk sektörünün en önemli hammaddesi olmuştur.

Kuyumculuk sektörü ülkemizde önemli bir yere sahiptir. Altın bu sektörün en önemli girdilerinin başında gelmektedir. Ciddi bir üretim hacmine sahip olan kuyumculuk sektöründe döküm için oldukça fazla ithal mastır alaşım kullanılmaktadır. Sektördeki yerli mastır alaşım açığını kapatabilecek bir alternatif oluşturma amacıyla yapılan bu çalışma, referans alaşımlardan elde edilen ürünlerle karşılaştırmalar yapılarak yürütülmüştür.

Altın alaşımlarının dökümünde en yaygın yöntemlerden birisi hassas döküm yöntemidir. Bu çalışmada üretim yöntemi kayıp mum tekniği olarak da bilinen bu yöntemdir. Yöntemin adımları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında altının genel özellikleri, hassas döküm yöntemi ve bu yöntem ile altın üretimi ve altın alaşımları için renk, sertlik, çekme mukavemeti, uzama miktarı, DTA ve tane boyutu incelemeleri yapılmıştır. Bu incelemeler sırasında alaşımın dizaynında çeşitli değişiklikler yapılmış ve bu değişikliklerin alaşımın özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Üretilen numunelere uygulanan bütün testler referans alınan ithal mastır alaşım ürünlerine de uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar bire bir karşılaştırmalar yapılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Altın, altın alaşımları, mekanik özellikler, renk, hassas döküm, sertlik, çekme testi, DTA, tane boyutu

**DESIGN AND PRODUCTION OF YELLOW-GREEN COLOURED PRECIOUS
METAL ALLOYS'**

Ozan BÜLBÜL

Department of Metallurgical and Materials Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM

From past to present, precious metals have an important place in mankind's life. Especially gold, with the brilliant colour and high mechanical properties, is always a symbol of power and wealth. Down the ages, gold has been used as jewelry and decorative items. Gold is the most important raw material for the jewellery.

Jewellery has an important place in our country. Gold is the one of the primary inputs of this sector. Jewellery has a large production volume and a lot of import master alloys are being used for casting. The main goal of this study is to product an alternative domestic master alloy. In this study, properties of the domestic products are compared with the reference master alloy products' properties.

Investment casting is one of the most popular techniques for the casting of gold alloys. This technique is also known as the lost wax casting process. In this study, lost wax casting is used for the casting process. There is lots of information for the steps of this technique.

This is a research study for general properties of gold, investment casting process, gold production by this technique and colour of gold alloys, hardness and tensile tests, elongation, DTA and grain size of gold alloys. Alloy design was changed many times during this study and effects of these changes on the alloy's properties were analyzed. All the tests were performed to the both samples which are made by new designed alloy and reference alloy. The results of the tests were compared.

Key words: Gold, gold alloys, mechanical properties, colour, investment casting, hardness, tensile test, DTA, grain size

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Altın, insanoğlunun binlerce yıldır kullandığı ve hiçbir zaman vazgeçemediği metallerden birisi olmuştur. Parlak sarı rengi sayesinde oldukça dikkat çeken altın, insanoğlunun tanıştığı ilk metaldir. Kolay işlenebilmesi, atmosfer şartlarında yüksek korozyon direnci ve rengini kolay kolay kaybetmemesi sayesinde asırlar boyunca özellikle takı ve süs eşyası olarak en çok tercih edilen metal olmuştur. Kuyumculuk sektörünün vazgeçilmezi olan altın, diğer elementlerle yaptığı alaşımlar sayesinde farklı renk tonlarında ürünler yaratılmasına olanak sağlamaktadır [1], [2].

Tarih boyunca güç ve zenginlik simgesi olarak kabul edilen altın, erken dönemlerde tanrılara sunulan hediyelerde sıkça kullanılmıştır. Tarihteki hemen tüm önemli uygarlıkların ve hükümdarların ilgi alanında bulunan altın, gelişen ekonomilerle birlikte uluslararası ticarete de önemli bir yere sahip olmuştur [1].

Kuyumculuk sektörünün en önemli hammaddesi altın ve altın alaşımlarıdır. Altın, şekillendirmeye yatkın oluşu, yumuşaklığı, alaşımlanabilme yeteneği ve diğer birçok üstün fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri sayesinde asırlardır sektördeki yerini ve önemini korumuştur [1], [3].

Altın ölçümü için sektörde kullanılan birden fazla önemli ölçü birimi bulunmaktadır. Bu farklı birimleri, saflık derecesini belirlemek amacıyla kullanılanlar ve ağırlık cinsinden değerini belirlemek amacıyla kullanılanlar olarak iki ana başlık altında toplamak mümkündür. Genellikle saf altını bin birimin tamamı altın olarak kabul eden karat sistemi en yaygın saflık ölçü birimidir. Ağırlık birimlerinde genel olarak ons ve gram

kullanılmaktadır. Dünya borsalarında altın için kullanılan geleneksel ağırlık birimi “troy ons” olup, bir ons; 31,10348079 gram saf altına denk gelmektedir [1], [4].

Antik çağlardan itibaren, altının süs eşyaları yapımında yaygın olarak kullanılmasında sahip olduğu rengin payı büyüktür. İlave elementler kullanılarak çok sayıda değişik renkte altın alaşımları üretmek mümkündür. Fakat bu çeşitli renklerin arasında kuyumculuk sektörü açısından farklı tonlarıyla birlikte sarı-yeşil altın dünya çapında en popüler renktir.

Bu çalışmada sarı-yeşil renkli alaşımların renk ve mekanik özellikler bakımından ithal alaşımlar seviyesine gelmesine çalışılmıştır. Özellikle döküm sonrasında sertlik ve çekme testlerine tabi tutularak, alaşım elementlerinin sertlik ve uzama değerlerine olan etkileri incelenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Kuyumculuk sektörünün vazgeçilmez girdilerinin başında altın gelmektedir. Asırlardır takı ve süs eşyaları yapımında kullanılan altının en çok tercih edilen renk ve alaşımlarından bazılarına ait, mastır alaşım dizaynı ve üretimi sektör için oldukça önemli bir konudur. Sektörde genellikle yurtdışında hazır olarak alınan mastır alaşımlar kullanılmaktadır. Bu ithal alaşımlar iyi sonuçlar vermekle birlikte oldukça pahalı oldukları ve yerli alternatifleri bulunmadığı için sektör temsilcileri mecburen bu alaşımları tercih etmektedir. Bu çalışma, kuyumculuk sektörü tarafından istenilen renk ve mekanik özelliklere sahip mastır alaşımların dizaynı ve üretimi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

1.3 Hipotez

Takı ve süs eşyaları üretiminde birçok alaşım ve renk kullanılmakla birlikte en çok tercih edilen sarı-yeşil renkli altın alaşımlarıdır. Bu çalışmada üç farklı saflık ayarında sarı-yeşil renkli alaşımların üretimi üzerinde çalışılmıştır. 14, 18 ve 21 ayar altın alaşımlarının metalurjik olarak dizaynı ve üretimi sektörde ihtiyaç duyulan yerli mastır alaşım açığını kapatmak hedefiyle yapılmıştır.

Yapılan farklı dizaynların ithal mastır alaşımlar ile benzer döküm şartlarında üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen mastır alaşımlar ile ithal mastır alaşımlar bir takım mekanik

testlere tabi tutularak sonuçları karşılaştırılmıştır. Her iki alaşım türüne de sertlik ve çekme testleri uygulanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan üretimde en azından ithal mastır alaşımın sahip olduğu mekanik özelliklerin tutturulması, mümkünse daha iyi özelliklere sahip alaşım üretimi için çalışılmıştır.

Ayrıca mekanik özelliklerin yanı sıra bir diğer önemli özellik olan renk için de benzer kıyaslamalar yapılmıştır. Kullanılan farklı alaşım elementlerinin ve bu elementlerin farklı miktarlarda kullanılmasının alaşımın renk ve mekanik özelliklerine olan etkisi incelenmiştir.

2.1 Altının Tarihçesi

Madenlerin insanlık tarihiyle ilk teması günümüzden yaklaşık olarak 10 ila 12 bin yıl önce gerçekleşmiştir. Bu süreçte insanoğlunun ilk olarak tanıştığı metal ise, parlaklığı ve renginin de yardımıyla altın olmuştur. Asırlar öncesine dayanan bu tanışıklığa rağmen insanlar için altın, tarih boyunca her zaman en popüler metal olarak kalmayı başarmıştır [1], [2], [3].

Henüz madencilik tekniklerinin yaygın olarak kullanılmadığı dönemlerde daha çok toprak yüzeyinden ve genellikle alüvyonların içinden, %90-99 saflıkta altın çıkarılmıştır. Doğada saf olarak bulunması, parlak ve sarı rengini kolay kolay kaybetmemesi, yumuşak oluşu ve buna bağlı olarak rahatlıkla işlenebilmesi sayesinde ilk çağlardan itibaren popüleritesini koruyarak günümüze kadar ulaşmayı başarmıştır [1], [3].

Altın ticari bir meta olarak kullanılmaya başlamadan önce, özellikle eski Yunanlılar, Asurlular, Etrüsklüler ve Mısırlılar tarafından sanat eserlerinde yaygın olarak kullanılmıştır. Sarı renginin Güneş'i çağrıştırması nedeniyle Mısırlılar tarafından Güneş Tanrısı Ra'nın sembolü olarak görülmüştür. İlk çağlarda tanrısal olarak kabul edilip, üretilen eserler tanrılara sunulmaktayken, zaman içinde siyasi iktidarların güçlenmesi ile birlikte hükümdarların vazgeçilmezi konumuna gelmiştir [1], [3], [5].



Şekil 2.1 Amerikan Ulusal Sanat Galerisi'nde sergilenen, altın ve bronzdan üretilen Herkül heykelinin hassas döküm ile üretim aşamaları [6]

Tarih boyunca her dönem güç sembolü olan altın, çeşitli uygarlıkların yıkılmasında, siyaset ve ekonomik alanda her zaman var olmuştur. Altını bir para birimi olarak kullanmak, büyük altın stoklarına sahip olmak geçmiş dönemlerde uluslararası alandaki güç dengeleri için her zaman belirleyici bir faktör olmuştur [7], [8].

Gelişen ekonomilerle birlikte altın kullanımı, günlük ticaretten ziyade endüstriyel alana ve takı üretimine kaymış olsa da insanoğlu için popülaritesini korumuş ve iyi bir yatırım aracı olmuştur. Özellikle kriz ve savaş gibi sıkıntılı dönemlerde değerini koruması ve hatta yükseltmesi ile her zaman en güvenilir limanlardan biri olmuştur [7], [8].



Şekil 2.2 Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü tarafından üretilen Cumhuriyet Altınları [9]

Bilim insanları da medeniyetin ilk dönemlerinden itibaren altın üzerine oldukça fazla zaman ayırmışlardır. Özellikler simyacılar, dokunduğu her şeyi altına çevirdiğine inanılan filozof taşıyı bulmayı başaramasalar da bu dönemde yaptıkları çalışmalarla modern kimyanın temellerini atmışlardır [5], [10].

Tarih boyunca hemen hemen tüm uygarlıkların ilgi alanında bulunan altın, çok sayıda ünlü hükümdarın da ilgisini çekmiştir. Zengin maden kaynaklarına sahip olan Anadolu, tarih boyunca madenciliğin ön plana çıktığı bölgelerden biri olmuştur. Yapılan kazılarda bulunan ve günümüzde Anadolu Medeniyetler Müzesi'nde sergilenmekte olan çok sayıda eser M.Ö. 6000'li yıllardan itibaren Anadolu'da madencilik ve altın üretimi yapıldığı göstermektedir. Ayrıca Çanakkale – Troya'da M.Ö. 2500-2000 yıllarına ait altın eşyalar bulunmuştur. Tarihteki ilk altın para da yine M.Ö. 700'lü yıllarda Salihli bölgesinde Lidya Kralı Krezüs tarafından bastırılmıştır [7], [11].

Sadece Anadolu'daki uygarlıklarla sınırlı kalmayan bu ilgiye bir başka örnek de Kleopatra'dır. Antik Mısır'ın en önemli tarihi figürlerinden biri olan Kleopatra devlet işlerinin yanı sıra altın üretimi ile de fazlasıyla ilgilenmiştir. Bu konuyla ilgili Chrysepora adında bir eseri de bulunmaktadır. Ayrıca altın üretimi için ilk resmi tesis de M.Ö. 1300'lerde Mısır'da kurulmuştur [3].

Osmanlı İmparatorluğu ve Altaylar başta olmak üzere, bütün Türk devletlerinde altın önemli bir güç sembolü olmuş ve birçok alanda kullanılmıştır [2].

Çeşitli edebiyat eserlerinde de göze çarpan altınla ilgili yazıların ilki M.Ö. 1000 yılında Hintli Vedanta tarafından yazılmıştır. Ayrıca Herodot'un M.Ö. 484-425 yılları arasındaki eserlerinde de altına rastlanmaktadır [3].

Günümüzde de önemini koruyan altın, iyi bir yatırım aracı olmasının yanı sıra özellikle ulusal ve uluslararası spor organizasyonlarında şampiyon olan takım ve sporculara verilen kupa ve madalyaların da vazgeçilmezidir.



Şekil 2.3 18 ayar altından yapılan FIFA Dünya Kupası [12]

2.2 Dünya’da Altın

Dünya altın üretimi, son 25 yılda yaklaşık olarak ikiye katlanmıştır. Bu gelişmeler sonucunda, bilinen altın cevherleri işletmeye alınırken, yeni altın yataklarının bulunması için bütün dünyada yoğun bir arama ve yatırım dönemi başlamıştır. 1990 yılında 2133 ton olan dünya toplam altın üretimi, sürekli yükselen bir eğri göstererek, 2000 yılında % 12’lik bir artışla 2381 ton olmuştur. Dünya altın talebi 2000 yılında 3294 ton olmuştur. Altın üretimi ve talebi arasındaki 1000 ton civarındaki fark merkez bankaları tarafından satılan altın külçelerden ve hurda altın ticaretinden karşılanmaktadır.

Dünya altın üretiminin % 53’ü dört sanayileşmiş ülke, ABD, Kanada, Avustralya ve Güney Afrika’da yapılmaktadır. 1980 yılına göre üretim artışı ABD’de 13 kat,

Avustralya'da 18 kat ve Kanada'da 3,5 kat olmuştur. Yıllık altın üretimi, Rusya hariç, 24 ton olan Avrupa'nın dünya üretimindeki payı % 1'dir.

Dünya altın talebinde, Hindistan, ABD, Suudi Arabistan ve Çin ile birlikte Türkiye ilk sıraları paylaşmaktadır. Türkiye, dünya altın üretimi sıralamasında yer almadığı halde dünya altın talebinde beşinci sıradadır.

Dünya toplam altın rezervi 49 bin tondur ve bunun % 65'i, dünya altın üretiminde ilk sıraları paylaşan ABD, Kanada, Avustralya ve Güney Afrika'da bulunmaktadır. 2000 yılında, altın aramaları için dünyada 1,09 milyar dolar harcanmıştır. Bu harcamanın % 49'u altın üretiminde ilk sıraları paylaşan üç gelişmiş ülke ABD, Kanada ve Avustralya'da yapılmıştır.

Altın madenciliğinde teknoloji seçimi, cevher içindeki altın taneciklerinin büyüklüğüne ve cevher kayasında bulunan diğer minerallerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Cevherdeki altın taneciklerinin mikroskobik boyutta dağılmış olması durumunda kullanılan yegâne etkin yöntem, siyanür yardımı ile çözeltiye alma (siyanür liçi) teknolojisi günümüzdeki dünya altın üretiminin % 83'ü için kullanılmaktadır [13].

2.3 Türkiye'de Altın

Ülkemizde, halen işletilmekte olan tek altın madeni Normandy Madencilik A.Ş. tarafından işletilmekte olan İzmir ili Bergama ilçesindeki Ovacık Altın Madeni'dir. Çeşitli yabancı sermayeli şirketler tarafından işletilebilirliği belirlenmiş olan diğer altın madenleri için Ovacık Altın Madeni'nin akıbeti beklenmektedir.

Ülkemizde, altın cevherleşmelerine yönelik modern maden yatağı modellemelerine dayandırılmış aramalar son 15 yıldır aralıklarla sürdürülmektedir. Potansiyel tahmini, maden yataklarının aranması çalışmalarının ilk aşamasını oluşturmaktadır. Türkiye'nin jeolojisinin ABD'de en çok altın üretimi yapılan Nevada ve California'ya büyük benzerlikler göstermesinden yola çıkılarak 1997 yılında ülkemiz altın potansiyelinin tahmini çalışması yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, Türkiye altın potansiyelinin 6500 tona kadar çıkabileceği hesaplanmıştır.

Ülkemizde, halen işletilmekte olan Ovacık Altın Madeni ve işletilmeye hazır 8 altın madeni vardır. Mevcut bilgilere göre, 450 ton altın ve 1100 ton gümüş rezervi belirlenmiştir. Bu rezervin toplam değeri yaklaşık 4,5 milyar dolar ve madencilik sektörü için 4,2 çarpanına göre ülke ekonomisinde yaratacağı katma değer ise 18

milyar dolardır. Bu projeler için yapılması gerekli tahmini yatırım tutarı 830 milyon dolardır. Bu projelerde tahmini doğrudan istihdam 2060 kişi ve madencilik sektörü için 16,2 çarpanına göre dolaylı istihdam ise 33.400 kişidir [13].

ALTININ ÖZELLİKLERİ**3.1 Fiziksel özellikleri**

Altın, periyodik tablonun 1B grubunda yer alan soy metallerden biridir. Kimyasal sembolü Au olan altının adı Latince’de parlayan şafak anlamına gelen “Aurum” kelimesinden gelmektedir. Sarı renkli ve parlak bir görünümüne sahiptir. Aynı grupta bulunduğu diğer metaller gibi oksitlenme, sülfürlenme ve korozyon direnci, ayrıca yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, diğer metallerle kolay alaşım yapabilme gibi özelliklere sahiptir. Atom numarası 79, atom ağırlığı 196.9665’tir, özgül ağırlığı ise 19,2 ile 19,4 gr/cm³ aralığında değişmektedir. Çizelge 2.1’de altının temel fiziksel özelliklerinden bazıları verilmiştir [1], [11].

Çizelge 3.1 Altının fiziksel özellikleri [1]

Özellik	Değer
Atomik Ağırlık	196,9665
Ergime Sıcaklığı [°C]	1064,43
Kaynama Sıcaklığı [°C]	2808
Atomik Yarıçap [nm]	0,1422
Kristal Yapısı	YMK
Latis Sabiti [nm]	0,407
Atomlar Arası Mesafe [nm]	0,2878
Yoğunluk 273 °K [gr/cm ³]	19,32
Sertlik, HB [kgf/mm ²]	25
Elastisite Modülü 293 °K	7,747 x 10 ⁴
Poisson oranı	0,42
Uzama [%]	39-45
Sıkıştırılabilirlik 300 °K [pa ⁻¹]	6,01 x 10 ⁻¹²

Çizelge 3.1 (Devam) Altının fiziksel özellikleri [1]

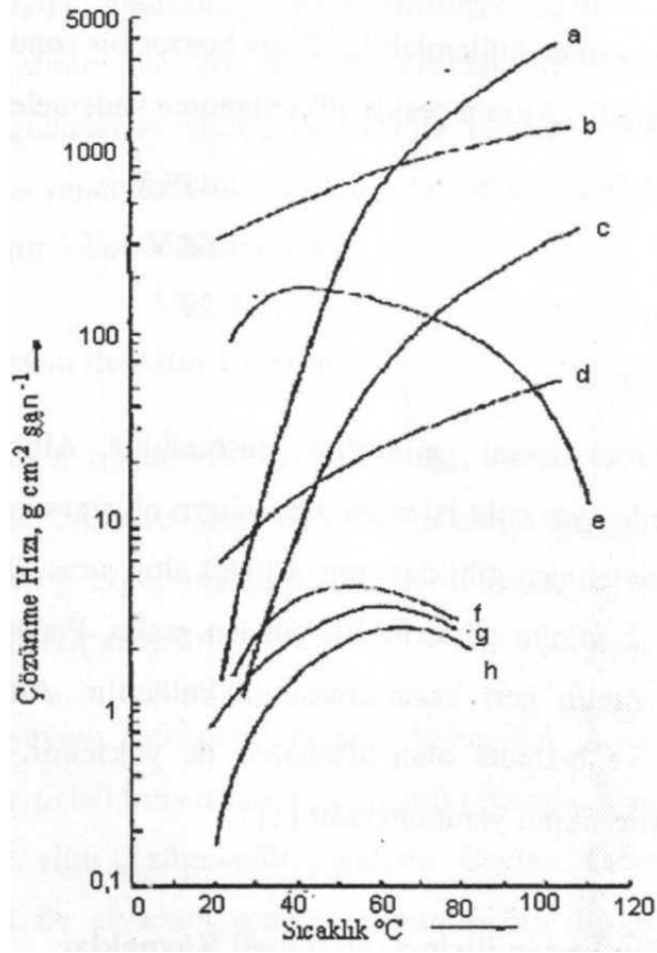
Özellik	Değer
Füzyon Isısı [J/Mol]	$1,268 \times 10^4$
Buharlaşma Isısı 289 °K [J/Mol]	$3,653 \times 10^3$
298 °K'de Spesifik Isı [J/g.k]	$1,288 \times 10^{-1}$
Termal İletkenlik 273 °K [W/g.K]	311,4
273-373 °K Termal Genleşme [K^{-1}]	$1,416 \times 10^{-7}$
Elektriksel Direnç 273 °K [$\Omega.cm$]	$2,05 \times 10^{-6}$
Termal Direnç Sabiti 273-373 °K [K]	$4,06 \times 10^{-3}$
298 °K'de Entropi [J/K]	47,33

Altının değeri genellikle +2 olarak bilinmekle birlikte, yapılan araştırmalar sonucunda tuzlarının Au^{+1} ve Au^{+3} karışımlarından oluştuğu ispatlanmıştır. Altın 185Au ile 203Au arasında yer alan 19 farklı yapay izotopa sahiptir fakat tek doğal izotopu 197Au'dur. Radyoaktif olan izotoplarının yarılanma süreleri birkaç saniye ile 199 gün arasında değişmektedir. α ve γ ışınları yayan 195Au tıp alanında kullanılan en önemli altın izotopudur ve 183 günlük yarılanma ömrüne sahiptir [2].

Genellikle altın ve alaşımları manyetik özellik göstermemektedir. Buna rağmen, altın mangan alaşımları az da olsa manyetik özellik gösterir. Ayrıca altının demir-kobalt ile yaptığı alaşımlar ise ferromanyetik özellik göstermektedir [1].

3.2 Kimyasal Özellikleri

Altın metalik elementler arasında standart elektrot potansiyeli hidrojen'den daha pozitif olan değere sahip ($H E=0,00 V$, $Au E=1,68 V$) olan en soy metaldir. Bu özelliği altına yüksek stabilite ve korozyon direnci sağlamaktadır. Altını çözmek için selenik asit hariç diğer asitler tek başlarına yeterli değildir. Altını çözmek için genellikle nitrik asit ve hidroklorik asidin bire üç oranında karışımından oluşan kral suyu kullanılmaktadır. Altını çözündürmek için ayrıca oksijen eşliğinde kullanılan siyanür çözeltileri de başarılı olmakta ve oldukça kararlı siyanorat iyonları oluştururlar. Şekil 2.1'de altının çeşitli çözeltilerdeki çözünme hızları verilmiştir [1], [2], [14].



Şekil 3.1 İnce altın levhanın çeşitli oksidan çözeltiler içindeki çözünme hızları:

a)Kral suyu, 6 mol/L; b) HCl, 6 mol/L + Br₂, 0,2 mol/L; c) NaCN, 0,45mol/L + 4-nitrobenzoik asit, 0,1 mol/L + NaOH, 0,2 mol/L; d) HCl, 6mol/L + Cl₂ (doymuş); e) HCl, 6 mol/L + H₂O₂, 0,22 mol/L; f) NaCN, 1mol/L + hava; g) NaCN, 0,45 mol/L + NaOH, 0,2 mol/L + hava; h)NaCN, 0,006 mol/L + Ca(OH)₂, 0,04 mol/L + hava [2]

Altın ayrıca hiçbir sıcaklıkta oksijen ve sülfür ile tepkimeye girmeyen tek metaldir. Sadece tellür ile yüksek sıcaklıklarda tepkimeye girmektedir. Altının selenyum, bizmut, antimon ve kurşuna karşı da afinitesi yüksek olmakla birlikte bu elementler mekanik proseslerde sıkıntı yaratmaktadır [2], [14].

Altın çok sayıda metal ile alaşım yapabilme özelliğine sahiptir. Bunlar içerisinde periyodik cetvelde de aynı grupta yer aldığı Ag, Ni, Cu, Pd en önemlileri olup, Zn, Hg ve Cd ile de alaşım yapmaktadır. Altının afinitesi bakır, kurşun ve çinkoya sırasıyla artmaktadır. Kristal kafes yapısı (YMK), koordinasyon sayıları (12) altın ile aynı, atomik

yarıçapları ise birbirlerine oldukça yakın olan Ag, Cu, Ni, Pd ve Pt bu sayede altın ile kolayca alaşım yapabilmektedir [1].

Altın aynı zamanda hem termal hem de elektriksel olarak çok iyi bir iletkenidir. -55°C ile $+200^{\circ}\text{C}$ aralığında elektrik akımını çok iyi iletmektedir. Aynı zamanda yüksek termal iletkenliğe de sahip olan altın, uzay mekiği motorları gibi yerlerde kullanılmaktadır [15].

3.3 Mekanik Özellikleri

Altının yumuşak oluşu ve kolay şekil alabilmesi en önemli özellikleri arasındadır. Saf altının Vickers sertliği 40 HV ve Mohs sertliği ise 2,5'tir. Oldukça yumuşak olmakla birlikte saf altının bu özelliği kullanım alanındaki talep doğrultusunda mekanik işlemler uygulanarak değiştirilebilmektedir. Haddeleme ve tavlama işlemleri uygulanarak daha sert bir ürün elde etmek mümkündür fakat altın için en iyi sertleştirme yöntemi alaşımlamadır. Saf altına uygulanan tavlama işlemi ile diğer altın alaşımlarına uygulanan tavlama sıcaklıkları alaşım durumuna göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin saf altın 305°C iken, renkli altın alaşımlarına bileşimine bağlı olarak $500-700^{\circ}\text{C}$ arasında ısı işlem uygulanmaktadır [1].

Kolay şekil alabilme özelliği altının bir diğer önemli özelliğidir. Bu özelliği sayesinde çok ince levha ve teller haline getirilirken herhangi bir parçalanma gerçekleşmemektedir. Tel ve levha haline gelebilme kabiliyeti bakımından en iyi metaller arasında yer almaktadır. Bu özelliğine örnek olarak, 31 gram ağırlığındaki altından 80km tel çekilebilir, 10 gram ağırlığındaki altın ise 12m^2 'lik bir alana sahip olan levha haline getirilebilmektedir. Ayrıca tarihte, Venedik'te camlara yaldızlama olarak işlenen altının dövülerek 1 inç'in 5 milyonda biri kadar inceltilebildiğine dair bilgiler de mevcuttur [15], [16].

Aynı zamanda altın yumuşaklığından ötürü oldukça yüksek bir parlatılabilirliğe de sahiptir. İçerdiği alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak parlaklığında değişiklikler gözlenebilmektedir [17].

Diğer metallerle kıyaslandığında altın doğada saf olarak bulunabilen neredeyse tek metal olma özelliği ile öne çıkmaktadır. Altın doğada bulunduğu formuyla incelendiğinde kristalin bir görüntüsü yoktur. Kübik, oktahedral ve dodekahedral olarak

görülen yüzeylerde ipliğimsi, yaprağımsı ve küresel şekiller sergileyebilmektedir [3], [14], [18].

Çizelge 3.2 Saf altının mekanik özellikleri [2]

	Çekme Dayanımı [N/mm ²]	Uzama [%]	Sertlik [HB]	Elastiklik Modülü	
				[GPa]	[10 ⁶ Psi]
Döküm	125	30	33	74,5	10,8
Bıçımlenebilir ve tavlınmış	130	45	25	79,9	11,6
%60 Kesit Daralması (50 mm'de)	220	4	58	79,3	11,5

3.4 Altının Kullanım Alanları

Yapılan arkeolojik çalışmalara dayanarak, ilk çağlarda altın kullanımının günümüze oranla daha çok insanların günlük gereksinimlerini karşılamaya yönelik eşyaların yapımında kullanıldığı sonuca varılmaktadır.

Altının doğal parlak rengi ve bu rengi kaybetmemesi her daim insanoğlunun ilgisini çekmiştir. Altın ayrıca sahip olduğu teknik özellikleri sayesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Korozyon direnci, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, kolay şekil alabilme gibi üstün özellikleri sayesinde tıptan elektroniğe, iletişimden havacılık ve otomotiv sektörlerine kadar pek çok alanda kullanılmaktadır.

Altın aynı zamanda geçmişten günümüze uluslararası ticarete önemli bir role sahiptir. İlk olarak Lidya Kralı Krezus döneminde para olarak basılmış ve 19.Y.Y'a kadar kullanılmaya devam etmiştir. Şekil 3.2'de ilk altın para olan Lidya Aslanı görülmektedir.

1. Dünya Savaşı döneminde ihtiyaçları karşılayacak oranda altının bulunamamasıyla birlikte para olarak kullanımı tamamen sona ermiştir. Bu tarihten sonra üretilen altın paralar daha çok koleksiyon amaçlı olarak üretilmiştir [2], [4], [16].



Şekil 3.2 Dünya'nın ilk altın parası, Lidya Aslanı [19]

3.4.1. Kuyumculuk Endüstrisi

Altın ilk çağlardan günümüze kadar her daim güç ve zarafet simgesi olmuştur. Bulunuşundan günümüze dek her dönem takı ve süs eşyası olarak kullanılmıştır. Kolay şekil alması, yüksek korozyon direnci, parlak rengini kolay kolay kaybetmemesi nedeniyle kuyumculuk sektörünün vazgeçilmezleri arasında yer almaktadır. Günümüzde dünyadaki üretiminin %86 gibi muazzam bir bölümü süs ve ziynet eşyası olarak kullanılmaktadır [2], [4].

3.4.2. Elektronik Sektörü

Altının kullanımının yaklaşık %6'lık bölümünü elektronik sektörü oluşturmaktadır. Altın bu alanda genellikle cep telefonu ve bilgisayar devreleri, video alıcılarının bağlantıları ve televizyon yayın sinyallerini görüntüye dönüştüren devrelerde kullanılmaktadır.

Altın üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde elektronik sektörü için önemli malzemelerden biri olmuştur. Dövülebilme ve kaynaklanabilirlik özellikleri sayesinde üretilen ince teller yüksek hızda çalışan mikro elektronik devrelerin üretiminde kullanılmaktadır. Yılda 40 milyona yakın bilgisayar üretimi yapıldığı düşünüldüğünde altın kullanımının bu endüstri için ne kadar önemli bir yeri olduğu daha net görülmektedir.

Altın kızılötesi ışınları çok iyi yansıtma özelliğine sahip bir metaldir. Bu özelliği sayesinde teleskoplarda ikincil aynaların kaplanması kullanılmaktadır. Ayrıca uzay

araçlarının dış cephe kaplamaları ve uydulardaki elektronik devre kutularının kaplaması da altın ile yapılmaktadır [2], [4].

3.4.3. Uzay ve Havacılık

Altın mükemmel seviyelerde ısı iletkenliğe sahip bir metaldir. Bu özelliği sayesinde standart endüstriyel ürünler dışında uzay ve havacılık sektöründe de oldukça geniş bir kullanıma sahiptir. Özellikle uzay araçlarındaki devrelerin çoğu yüksek ısı üretmektedir ve bu ısının aletlerden uzaklaştırılması için altın kullanılmaktadır. Örneğin, bir uzay mekiğinin ana motor egzozunda sıcaklık 3300°C'ye kadar yükselmektedir ve burada iletken olarak altın alaşımları kullanılmaktadır.

Ayrıca havacılık sektöründe, jet uçaklarının yakıtlarında yanmayı sağlayan statör ve tüplerin üretimi ile uçakların kokpit camlarının donmasını önlemek amacıyla altın kaplamalar kullanılmaktadır [2], [4].

3.4.4. Dişçilik ve Tıp

Sağlık sektöründe altın birçok alanda kullanılmakla birlikte en yaygın kullanım alanı dişçiliktir. Dişçilikte binlerce yıldır kullanılmakta olan altın özellikle ağız içinde kimyasal stabilitesinin yüksek olması sebebiyle tercih edilmektedir. Altının ayrıca alerji yapmama özelliği, kararmaması, leke tutmaması, soy metal olması, alaşımlarının sahip olduğu mekanik özellikleri, uygun yaslanma direnci gibi özellikleri sayesinde diş hekimliğinde tercih edilmesinin en önemli sebepleridir. Günümüzde dişçilik sektöründeki kullanımı %2 civarındadır.

Tıp alanında ise ilaçlarda, göz kapağındaki kasların tedavisinde ve bazı hastalıkların tedavisi için koloidal altın süspansiyonu kullanılmaktadır. Ayrıca bazı eklem ve romatizma ilaçları ile DNA ile ilgili laboratuvar çalışmalarında kullanılmaktadır [4].

3.4.5. Otomotiv Endüstrisi

Altın, otomotiv sektöründe birden fazla noktada kullanılmaktadır. Egzozlarda katalitik konvertör olarak, motorda yüksek sıcaklık ve aşınmanın olduğu yerlerde, hava yastıklarında kullanılmaktadır. Hava yastığının darbe anında şişmesini sağlayan sistemde altın kaplı olan kontak malzemeler kullanılmaktadır. Darbe anında aktive olan

bu malzeme hava yastığının şişmesini sağlamaktadır. Korozyon direnci gereken bazı parçalarda da kullanımı mevcuttur [2], [4].

ALTININ ÖLÇÜ BİRİMİ

Altın sektöründe kullanılan birden fazla önemli ölçü birimi bulunmaktadır. Bu farklı birimleri saflık derecesini belirlemek amacıyla kullanılanlar ve ağırlık cinsinden değerini belirlemek amacıyla kullanılanlar olarak iki ana başlık altında toplamak mümkündür. Her iki ana başlıktaki birimler de kendi içerisinde ülkeler, bölgeler, tercih edilen ölçü sistemleri ve kullanım amaçları gibi çok sayıda sebepten kaynaklanan farklılıklar göstermektedir.

4.1 Altının Saflık Birimleri

Kuyumculuk sektörü altın alaşımlarının en önemli kullanım alanlarının başında gelmektedir. Altın alaşımlarının safiyetini belirlemek için yaygın olarak 1000'lik sistem kullanılmaktadır. Altının saflık derecesi karat(Ct) ve milyem birimleriyle ifade edilmektedir. Milyem uluslararası alanda daha geçerli ve karata göre daha hassas bir saflık birimidir. Ayrıca ülkemizde kullanılan ayar ifadesi karat ile eş değer bir saflık birimi olup, sektörde karat yerine yaygın olarak ayar sözcüğü kullanılmaktadır. %100 saflıktaki altın 24 karat yani 1000 milyem olarak kabul edilmektedir ve bu eşitlikten yola çıkarak saflık hesaplamaları yapılmaktadır. Saf altının yirmi dörtte biri olan 1 karat yaklaşık olarak 41,66 milyeme eşittir. Altının saflık dereceleriyle ilgili olarak bu temel eşitlikten yola çıkarak İngiltere'de Resmi Ayar Dairesi tarafından 1973 yılında dört yasal standart belirlenmiştir. Bunlar 916.6 safiyet (22 karat), 750 safiyet (18 karat), 585 safiyet (14 karat) ve 375 safiyet (9 karat) değerleridir [1], [20], [21].

Çizelge 4.1 Kuyumculukta kullanılan altın ayarları ve yüzde saflık değerleri [22]

Ayar	Ağırlıkça Altın Oranı	
	Karat (Ct)	%
24 Ayar	24/24	%100 Au (%99.95 min)
22 ayar	22/24	%91,66 Au
21 Ayar	21/24	%87,5 Au
20 Ayar	20/24	%83,33 Au
18 Ayar	18/24	%75 Au
15 Ayar	15/24	%62,2 Au
14 Ayar	14/24	%58,33 Au
12 Ayar	12/24	%50 Au
10 Ayar	10/24	%41,67 Au
9 Ayar	9/24	%37.5 Au
8 Ayar	8/24	%33.33 Au

Altın saflık derecesi olarak sıkça kullanılan karat, Arapça kökenli bir sözcüktür ve harnup (keçiboynuzu) ağacının tohumu anlamına gelen kırat sözcüğünden gelmektedir. Harnup ağacının tohumları benzer boyut ve ağırlıkta oldukları için Arap ve Afrikalı tüccarlar tarafından uzun yıllar boyunca ölçü birimi olarak kullanılmıştır. O dönemde 1 altın para 24 kırat (tohum) ağırlığından oluşmaktadır.

Mücevherat sektöründe farklı saflıktaki altın alaşımlarının kullanım yaygınlığı ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Örneğin; Avrupa genelinde 14 ve 18 karat en çok tercih edilen alaşımlar olurken, İngiltere’de 9 karatlık alaşımların kullanımı daha yaygındır. Avrupalıların aksine, Uzakdoğu, Hindistan ve çevresinde ise 21-22 karatlık alaşımlar oldukça popülerdir. Bu tercih farklılığının sebebi temelde altının bu bölgelerdeki kullanım amacından kaynaklanmaktadır. Doğu kültüründe asırlardır süs ve ziynet eşyası olarak kullanılan altın, Batı’da ise daha çok yatırım yapmak ve stoklamak için tercih edilmektedir ve bu durum da tercih edilen alaşımlara yansımaktadır [1].

4.1.1 Altın Ayar Tespit Yöntemleri

Kuyumculuk sektöründe altın ayar tespiti için kullanılan iki temel yöntem vardır. Bunlar mihenk taşı ile ayar tespiti ve kimyasal yöntemlerle ayar tespitidir. Mihenk taşıyla ayar tespiti genelde mamuller veya hurdalar üzerinde uygulanır. Kimyasal yöntemle ayar tespiti ise mamullere, yarı mamullere, hurdalara ve alaşımlara uygulanabilir.

4.1.1.1 Mihenk Taşı Yöntemi ile Ayar Tespiti

Mihenk (deney) taşı ile ayar ölçümü pratik olup, uzmanlık bilgisi gerektiren bir konudur. Bu şekildeki ayar ölçümü, kuyumcular tarafından kullanılan bir yöntemdir.

Mihenk taşı yöntemi,

- Ayarları farklı, değerli metallerin belirlenmesinde
- Kaplama yapılmış veya yapılmamış mücevherlerin belirlenmesinde
- Mücevher parçalarının değerlerinin bulunmasında
- Hurdaya ayrılan değerli metal artıklarının eritmeden önce ayarlarının belirlenmesinde,

kullanılır [21].



Şekil 4.1 Mihenk taşı ile ayar tespiti [21]

4.1.1.2 Kimyasal Yöntemlerle Ayar Tespiti

Altın alaşımlarından yapılan parçaların altın miktarlarını belirlemede en hassas yöntem ergitme yöntemi ile yapılan ayar tespitidir. Bu yöntemde potada ergitme ile alaşımdaki altın ve gümüş miktarı bulunur.

Altın, gümüş, platin gibi kıymetli metallerin yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeme özelliğinden faydalanılan bu yöntemde, 1150°C'de kurşun ile birlikte eritilen alaşımdaki diğer metaller ve kurşun oksitlenerek grafit potadaki gözenekler tarafından emilirken kıymetli metaller ayrılarak pota dibinde kalmaktadır. Ardından nitrik asit yardımıyla gümüş de çözülerek ayrılmaktadır. Kalan altın miktarının milyem cinsinden değeri (3.1) eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır [21].

$$\text{Altının Milyem Değeri} = \frac{\text{Numunenin son ağırlığı}}{\text{Numunenin ilk ağırlığı}} \times 1000 \quad (4.1)$$

4.2 Altının Ağırlık Birimleri

Altının alım satımında kullanılan ağırlık birimi dünyanın pek çok yerinde farklılıklar göstermekle birlikte genel olarak en yaygın olanlar ons ve gramdır. Dünya borsalarında altın için kullanılan geleneksel ağırlık birimi “troy ons” olup, bir ons; 31,10348079 gram saf altına denk gelmektedir. Uluslararası altın piyasalarının büyük çoğunluğunda işlemler ons üzerinden yapılmakla birlikte ölçü birimi olarak metrik sistemi kullanan kimi ülkelerde gram ve gramın katları ile işlem görmektedir. Ayrıca Ortadoğu ve Asya’nın bazı bölgelerinde “tolas”, Uzakdoğu’da ise “taels” adlı farklı ağırlık birimleri kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bar ve külçelerin gram ve ons cinsinden değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir [4].

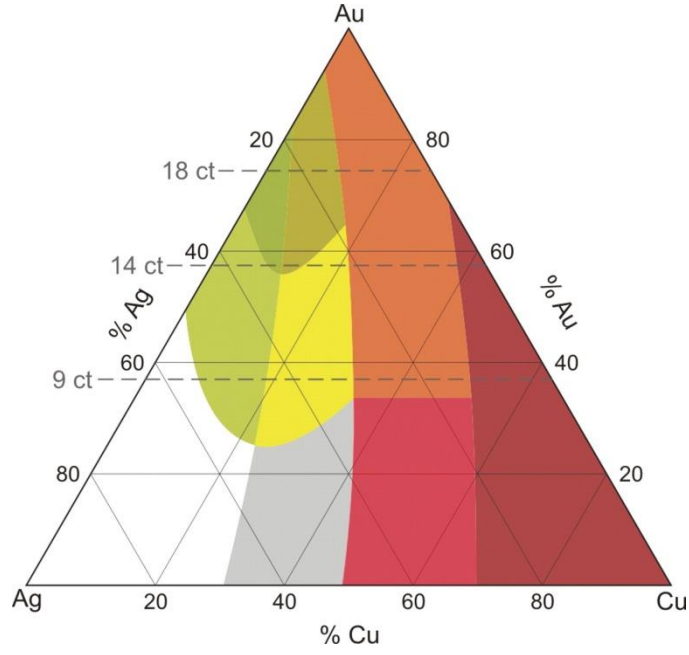
Çizelge 4.2 Bar ve külçelerin ons cinsinden karşılıkları [4]

Gram	Ons
1	0.032151
2	0.064302
3	0.096452
4	0.128603
5	0.160754
6	0.192904
7	0.225055
8	0.257206
9	0.289357
10	0.321507
20	0.643015
50	1.607.537
100	3.215.074
250	8.037.686
500	16.075.372
1000	32.150.743
12500	401.884.288

ALTIN ALAŞIMLARININ RENK TEKNOLOJİSİ

Antik çağlardan itibaren, altının süs eşyaları yapımında yaygın olarak kullanılmasında sahip olduğu rengin payı büyüktür. İlave elementler kullanılarak çok sayıda değişik renkte altın alaşımları üretmek mümkündür. Fakat bu çeşitli renklerin arasında kuyumculuk sektörü açısından farklı tonlarıyla birlikte sarı-yeşil altın dünya çapında en popüler renktir.

Altının sertlik, korozyon direnci, renk gibi birçok özelliği Au-Ag-Cu üçlü sistemi üzerinde değişiklikler yapılarak kontrol ve modifiye edilmektedir. Bu üçlüye ilave olarak istenilen rengi sağlamak amacıyla dördüncü bir alaşım elementi eklenerek çeşitlilik arttırılabilmektedir. Bu dördüncü element düşük ayarlı alaşımlar için genellikle çinkodur. Çinko ilavesi özellikle düşük ayarlı alaşımlarda rengi beyazlatmaya yönelik bir etki yapmaktadır. Çinkonun yanı sıra nikel ve paladyum ilaveleri de alaşımı beyazlatmak için kullanılmaktadır. Bileşimdeki metal oranına bağlı olarak temel renkler dışında birçok farklı alternatif de oluşmaktadır. Şekil 5.1 'te, en çok kullanılan üçlü altın alaşım sistemindeki renk değişiklikleri görülmektedir [1], [22].



Şekil 5.1 Renkleri gösteren Au-Ag-Cu sisteminin şematik üçlü diyagramı [4]

Altında istenen rengi tutturmak için eklenen alaşım elementlerinin genel olarak renge etkisi aşağıdaki gibidir:

Gümüş: Altın rengini yeşile doğru değiştirir. Katılma miktarına göre yeşilin tonlarında koyulaşma görülür.

Bakır: Altının rengini kırmızıya doğru değiştirir. Katılma miktarına göre kırmızı tonlarında koyulaşma görülür.

Çinko: Altının rengini mat beyaz hâle getirir. Katılma miktarına göre beyazlık tonlarında değişimler görülür.

Paladyum - Nikel: Altının rengini parlak beyaz hâle getirir. Katılma miktarına göre beyazın tonlarında değişimler olur.

Yardımcı metaller: Yardımcı metallerin katılmasıyla istenilen renk tonu elde edilir. Fakat dayanım ve işlenebilirliği artırabilmek için en az iki katkı metali birlikte kullanılır [21].

5.1 Renk Sistemleri

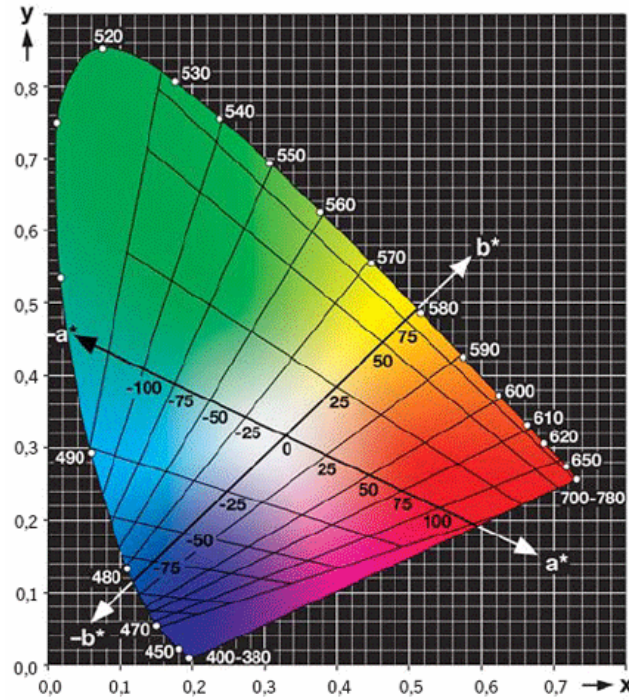
Renk, altın alaşımları için çok önemli bir özelliktir. Farklı alaşım dizaynları sayesinde değişik tonlarda çok sayıda farklı renkli altın alaşımı üretilebilmektedir. Renklerdeki bu çeşitlilik ve renklerin önemine rağmen henüz bu konuda bir standart oluşturulmamıştır.

Altın tarih boyunca parlak rengi ve rengini koruyabilmesi sayesinde her daim ss eşyalari ve kuyumculuk için en çok rağbet gören metal olmuştur. M.. 862 yılında Lidyalilar electrum olarak bilinen ve %73Au-%27Ag bileşimine sahip bir yeşil altın-gümüş alaşımını para olarak kullanmışlardır. Ayrıca %70Cu-%30Au bileşimine sahip bir kırmızı altın alaşımının da günümüzde Peru'nun kuzeyine denk gelen bölgede yaşayan imulu kuyumcular tarafından kullanıldığı bilgisi bulunmaktadır. Günümüzde ise çeşitli renkli altın alaşımlari eşsiz takilar ve süs eşyalari yapımında kullanılmaktadır. Altın alaşımlarının renklerini belirlemek için kullanılan birden fazla renk sistemi bulunmakla birlikte en çok tercih edilen iki sistem şunlardır [23]:

- CIELAB renk sistemi
- Munsell renk sistemi

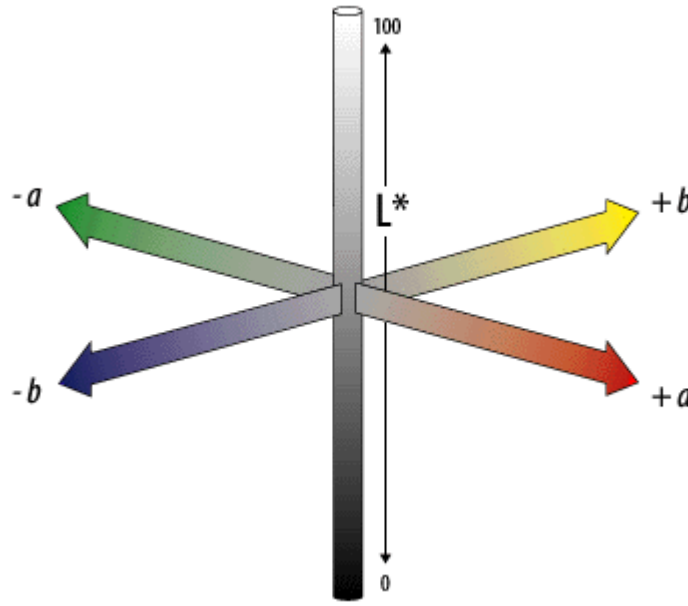
5.1.1 CIELAB Renk Sistemi

CIELAB renk sistemi matematiksel altyapı üzerine kurulmuş bir renk tanımlama sistemidir. Bu sistem Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Commission Internationale de l'Eclairage, CIE) tarafından oluşturulmuştur ve en popüler renk sistemlerinden biridir.



şekil 5.2 CIELAB Renk Diyagramı [24]

İnsan gözünde üç tipte konik yapılı ışık algılama hücreleri bulunur. Bu hücreler; mavi, yeşil ve kırmızı ışıklara karşı hassastırlar. CIELAB sistemi renkleri tanımlarken insan gözü ile ilgili bu bilgiyi temel almaktadır. Buradan hareketle oluşturulan modellemeler neticesinde her renk L, a ve b simgeleriyle ifade edilen üç bileşenden oluşmaktadır. CIELAB sistemi, renk belirleme esnasında sadece rengi belirlenecek nesneyi değil, aynı zamanda ışığa ve gözlemciye ilişkin tanımlar da getirmektedir. Bu sayede diğer renk tanımlama sistemlerine nispeten daha hassas ve tekrarlanabilen sonuçlar vermektedir.



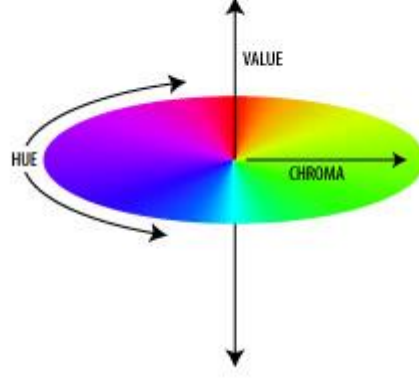
Şekil 5.3 CIELAB koordinat sistemi [25]

Çizelge 5.1 Avrupa’da Kullanılan Renk Standartları [1]

Sembol	Renk	Kimyasal bileşim (%)						Ayar
		Au	Ag	Cu	Zn	Ni	Pb	
0N	Yeşil-Sarı	58.5	34	7.5				14
1N	Açık Sarı	75	19	6				18
		58.5	30	11.5				14
		58.5	26	15.5				14
2N	Açık Sarı	75	16	9				18
3N	Sarı	91.7	5.5	2.8				22
		75	12.5	12.5				18
		58.5	20.5	21				14
		37.5	10	45	7.5			9
	Koyu sarı	91.7	3.2	5.1				22
4N	Pembe	75	9	16				18
		58.5	9	32.5				14
8N	Beyaz	75	10.5	3.5	0.1	0.9	10	18
		75		11		14		18
		59		24	7	10		14
		59		26	8	7		14
		59	28.5	1.5	0.1	0.9	10	14

5.1.2 Munsell Renk Sistemi

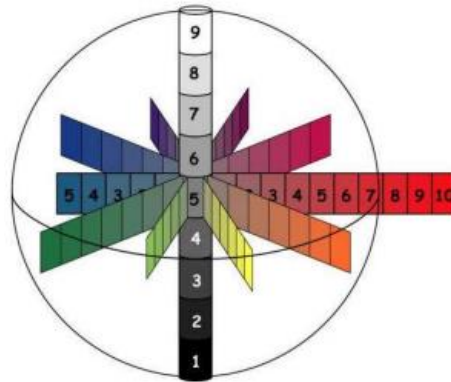
İlk kez 1905 yılında Amerikalı Albert Henry Munsell tarafından, “A Color Notation” adlı çalışması aracılığıyla ortaya atılmış olan bu sistem üç renk özelliği tanımlar. Bunlar; H (hue, yani tonlama), C (chroma, yani krom) ve V (value, yani değer-aydınlık).



Şekil 5.4 Munsell renk sisteminde H, C ve V [26]

Krom, 15 seviyeden oluşmaktadır ve bir rengin doygunluk veya saflığını ölçer. Değer, 11 dereceden oluşur ve bir rengin karanlık ve aydınlığını ölçmek için kullanılır. Tonlamalar ise beş temel renkten oluşmaktadır. Bunlar:

Kırmızı (R), sarı (Y), yeşil (G), mavi (B) ve erguvani (P) ile 10 seviyesi olan renkler arası ikinci bir boyuttur. Örneğin, parlak bir kırmızı 5R 4/14 olurdu. Burada 5R tonlamaları, 4 aydınlanmayı ve 14 kromu temsil etmektedir. Şekil 5.5’ te Munsell renk sistemi gösterilmektedir [27], [28], [29].



Şekil 5.5 Munsell Renk Sistemi [30]

5.2. Sarı Altın Alaşımları

5.2.1 22 Ayar Standart Sarı Altın Alaşımları

Bileşimi, %917 Au, %55 Ag, %28 Cu olan bu alaşımın yoğunluğu $17,9 \text{ g/cm}^3$, ergime sıcaklığı ise $995\text{-}1020^\circ\text{C}$ arasındadır. Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 22 Ayar Sarı Altın Alaşımının Mekanik Özellikleri [31]

Alaşımın durumu	Döküm Hali	Soğuk İşleme Oranı %20	Soğuk İşleme Oranı %75	Tavlanmış 600°C , 30 dk
Sertlik (HV)	65	100	138	52
Kopma Direnci (daN/mm^2)	-	29	44	2
%0,2 İşleme Direnci (daN/mm^2)	-	21	38	6
Uzama (%)	-	3	0,5	27

Bu alaşım genellikle bükme, presleme gibi soğuk işlem yöntemlerine uyumlu oluşu ile ön plana çıkmaktadır. Tavlama öncesi alaşıma soğuk işlem uygulanması tavlama için gereken sıcaklığın düşmesini sağlayacaktır. Bu nedenle tavlama yapmadan önce en az %50, tercihe bağlı olarak da %75 oranına kadar soğuk işlem uygulanması gerekmektedir. Ayrıca düşük oranda uygulanan soğuk işlem sonucunda sadece yüksek tavlama sıcaklığı gerekliliği değil, aynı zamanda istenmeyen oranlarda tane büyümesi de meydana gelmektedir. Soğuk işlem oranı tel çekme yöntemi ile daha da yükseltilebilmektedir.

Önerilen tavlama sıcaklığı %75 oranında soğuk işlem görmüş malzeme için 600°C 'de 30 dakikadır. Ayrıca küçük parçalar için alev kaynağı ile 650°C 'de 60 saniye olarak da uygulanabilmektedir.

Alaşımın kullanımında en iyi sonuçları elde edebilmek için belirtilen soğuk işlemler ve tavlama özellikleri uygulanmalı ve alaşım küçük taneli yapıda kullanılmalıdır [31], [32].

5.2.2 22 Ayar Koyu Sarı Altın Alaşımları

Bileşimi, %917 Au, %32 Ag, %51 Cu olan bu alaşımın yoğunluğu $17,8 \text{ g/cm}^3$, ergime sıcaklığı ise $964-982^\circ\text{C}$ arasındadır. Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3 22 Ayar Koyu Sarı Altın Alaşımının Mekanik Özellikleri [31]

Alaşımların durumu	Döküm Hali	Soğuk İşleme Oranı %20	Soğuk İşleme Oranı %75	Tavlama 600°C, 30 dk
Sertlik (HV)	80	120	165	70
kopma Direnci (daN/mm ²)	-	36	50	27,5
%0,2 İşleme Direnci (daN/mm ²)	-	27	45	9,5
Uzama (%)	-	1,5	1,0	30

Bu alaşım genellikle bükme, presleme gibi soğuk işlem yöntemlerine uyumlu oluşu ile ön plana çıkmaktadır. Tavlama öncesi alaşıma soğuk işlem uygulanması tavlama için gereken sıcaklığın düşmesini sağlayacaktır. Bu nedenle tavlama yapmadan önce en az %50, tercihe bağlı olarak da %75 oranına kadar soğuk işlem uygulanması gerekmektedir. Ayrıca düşük oranda uygulanan soğuk işlem sonucunda sadece yüksek tavlama sıcaklığı gerekliliği değil, aynı zamanda istenmeyen oranlarda tane büyümesi de meydana gelmektedir. Soğuk işlem oranı tel çekme yöntemi ile daha da yükseltilebilmektedir.

Önerilen tavlama sıcaklığı %75 oranında soğuk işlem görmüş malzeme için 600°C 'de 30 dakikadır [31], [32].

5.2.3 18 Ayar Standart Sarı Altın Alaşımları

Bileşimi, %750 Au, %125 Ag, %125 Cu olan bu alaşımın yoğunluğu $15,45 \text{ g/cm}^3$, ergime sıcaklığı ise $885-895^\circ\text{C}$ arasındadır. Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4 18 Ayar Standart Sarı Altın Alaşımının Mekanik Özellikleri [31]

Alaşımın durumu	Döküm hali	Soğuk işlenme oranı %20	Soğuk işlenme oranı %75	Tavllanmış 550°C,30 dk	Sertleştirilmiş 280°C, 60 dk
Sertlik (HV)	170	190	225	150	230
Kopma direnci (daN/mm ²)	-	68	90	52	75
%0.2 İşlenme Direnci (daN/mm ²)	-	50	85	35	60
Uzama (%)	-	4	1, 5	40	15
Erichsen Deneyi (mm)	-	-	-	7mm/9kN	

Bu alaşım bükme, presleme, kesme, haddeme, tel çekme gibi tüm soğuk şekillendirme tekniklerine uyumludur. Makine ile işleme, elmas ile tıraşlama ve yontma gibi işlemler için alaşımın tercihen soğuk işlenmiş veya sertleşmiş olması gerekmektedir. Alaşımdan en yüksek verimi alabilmek için tavsiye edilen soğuk işleme ve tavlama şartlarına uyulmalı ve küçük taneli olarak kullanılmalıdır.

Tavlama öncesi alaşıma soğuk işlem uygulanması tavlama için gereken sıcaklığın düşmesini sağlayacaktır. Bu nedenle tavlama yapmadan önce en az %50, tercihe bağlı olarak da %75 oranına kadar soğuk işlem uygulanması gerekmektedir. Ayrıca düşük oranda uygulanan soğuk işlem sonucunda sadece yüksek tavlama sıcaklığı gerekliliği değil, aynı zamanda istenmeyen oranlarda tane büyümesi de meydana gelmektedir. Soğuk işlem oranı tel çekme yöntemi ile daha da yükseltilebilmektedir.

Önerilen tavlama sıcaklığı %75 oranında soğuk işlem görmüş malzeme için 550°C'de 30 dakikadır. Tavlama işlemi oksitlenme ihtimalini ortadan kaldırmak için hava ile temas olmayacak şekilde, uygun bir ortamda yapılmalıdır. Tavlama sonrasında hızlı bir soğuma istendiği için suda soğutma uygulanmalıdır.

Ayrıca işleme sonrası son şeklini alan parçalara 280°C sıcaklıkta 60 dakika süreyle ısı uygulanarak bu alaşımın sertliği %30-50 oranında artırılabilir [31] ,[32].

5.2.4 18 Ayar Açık Sarı Altın Alaşımları

Bileşimi, %750 Au, %160 Ag, %90 Cu olan bu alaşımın yoğunluğu 15,6 g/cm³, ergime sıcaklığı ise 895-920°C arasındadır. Alaşıma ait mekanik özellikler Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5 18 Ayar Açık Sarı Altın Alaşımının Mekanik Özellikleri [31]

Alaşımin durumu	Döküm hali	Soğuk işlenme oranı %20	Soğuk işlenme oranı %75	Tavllanmış 550°C, 30 dk	Sertleştirilmiş 280°C, 60 dk
Sertlik	135	170	210	135	170
Kopma direnci	-	65	80	50	55
%0,2 işlenme direnci (daN/mm ²)	-	55	72	30	35
Uzama (%)	-	2, 5	1,2	3,5	35
Erichsen deneyi(mm)	-	-	-	7mm/8kN	-

Bu alaşım bükme, presleme, kesme, haddeleme, tel çekme gibi tüm soğuk şekillendirme tekniklerine uyumludur. Makine ile işleme, elmas ile tıraşlama ve yontma gibi işlemler için alaşımın tercihen soğuk işlenmiş veya sertleşmiş olması gerekmektedir. Alaşımdan en yüksek verimi alabilmek için tavsiye edilen soğuk işleme ve tavlama şartlarına uyulmalı ve küçük taneli olarak kullanılmalıdır.

Tavlama öncesi alaşıma soğuk işlem uygulanması tavlama için gereken sıcaklığın düşmesini sağlayacaktır. Bu nedenle tavlama yapmadan önce en az %50, tercihe bağlı olarak da %75 oranına kadar soğuk işlem uygulanması gerekmektedir. Ayrıca düşük oranda uygulanan soğuk işlem sonucunda sadece yüksek tavlama sıcaklığı gerekliliği değil, aynı zamanda istenmeyen oranlarda tane büyümesi de meydana gelmektedir. Soğuk işlem oranı tel çekme yöntemi ile daha da yükseltilebilmektedir.

Önerilen tavlama sıcaklığı %75 oranında soğuk işlem görmüş malzeme için 550°C’de 30 dakikadır. Tavlama işlemi oksitlenme ihtimalini ortadan kaldırmak için hava ile temas olmayacak şekilde, uygun bir ortamda yapılmalıdır. Tavlama sonrasında hızlı bir soğuma istendiği için suda soğutma uygulanmalıdır. Eğer yavaş soğutulursa istenilen sertleşme gerçekleşmemektedir.

Ayrıca işleme sonrası son şeklini alan parçalara 260°C sıcaklıkta 60 dakika süreyle ısı uygulanarak bu alaşımın sertliği %20-30 oranında artırılabilir [31], [32].

ALTIN ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜ

Dökümü kısaca ergitilmiş metal veya alaşımın bir kalıp boşluğuna dökülüp, kalıbın şeklini alarak katılaşması ve bunun sonucunda da nihai ürün veya yarı mamul formunda üretilmesi olarak tanımlayabiliriz.

Döküm işleminde sırasıyla izlenen adımlar temel olarak şunlardır:

- Model Yapımı
- Kalıp Yapımı
- Metal ya da Alaşımın Ergitilmesi ve Kalıba Dökülmesi
- Döküm Parçalarının, Döküm Sonrası Temizlenmesi

6.1 Model ve Kalıp Yapımı

Modeller, dökümü yapılacak olan ve tasarımı önceden belirlenmiş bir parçaya örnek olarak üretilen metal numunelerdir. Kuyumculukta kullanılan modellerin bir kısmı gümüşten yapılmaktadır. Hazırlanan modellere giriş kanalları ve yolluklar kaynak yapılarak eklenmektedir. Ardından ilave parçalarıyla birlikte üretimi tamamlanan modellerin şekli kauçuk kalıplara alınmaktadır [4], [33].

6.2 Ergitme ve Alaşımlama

Ergitme işlemine giren metallerin, ileri aşamalarda altının işlenebilirliğini düşürmemek adına saf olması gerekmektedir. Çok düşük miktarlarda bile olsa arsenik, kurşun, antimon gibi yabancı maddelerin karışması durumunda farklı ayarlardaki altın alaşımlarının işlenebilirliğinde ciddi sorunlar yaşanmaktadır. Örneğin, 9 ve 18 ayar ayar

altın alaşımlarında kurşun içeriği %0,05 gibi az bir oranda bile olsa ileride yapılacak olan işlemler esnasında ciddi kırılmalıklar yaratmaktadır. Bu nedenle alaşımlamanın eritme aşamasında yapılması gerekmektedir [4], [33].

Katılma esnasında ortaya çıkan yabancı maddeler ileride yapılacak olan işlemler için sorunlar yaratmaktadır. Bu aşamada ortaya çıkan yabancı maddelerin genellikle tane sınırlarında toplandıkları görülmektedir. Bu maddeler eğer düşük ergime sıcaklığına sahip fazlar ise ileri aşamalarda uygulanması muhtemel kaynak ve tavlama işlemleri esnasında eriyerek problem yaratacaklardır. Film, tabaka veya kırılmalık metallar arasında meydana gelen fazlar halinde ortaya çıkan yabancı maddeler ise ileride yapılması muhtemel haddeleme işlemlerinde gevreklik yaratacaklardır [4], [33].

Alaşımlar hazırlama işlemi için en iyi sonuç veren yöntem, önce görece düşük ergime noktasına sahip maddelerin eritilmesi, ardından ergime noktası yüksek olanların prosese dahil olması ve mevcut ergime sıcaklığının yeterli olmadığı durumlarda tam ergimeyi sağlayabilmek için ergime sıcaklığının yükseltilmesidir. Bu yöntem ergime sıcaklıkları arasındaki farkın çok yüksek olmadığı maddeler için tavsiye edilmektedir [4], [33].

6.3 Ergitme Cihazları, Potlar ve Ergimeye Yardımcı Maddeler

6.3.1 Ergitme Cihazları

Kuyumculuk sektöründe basit ve eski modellerden modern teknolojilerle donatılmış yeni ürünlere uzanan geniş bir yelpazede birçok fırın ve ergitme cihazları kullanmak mümkündür. Örneğin, sektörde modern indüksiyonlu ergitme ocaklarından basit şalümlara kadar çeşitli tipte ergitme cihazları kullanılmaktadır. Burada en çok dikkat edilmesi gereken nokta, yöntem ayrımı yapmaksızın, gaz ile ergimiş metal temasının mümkün olan en düşük seviyeye indirebilmektedir.

Ergimiş haldeki alaşımlar ve metallar hidrojen ve oksijen gibi gazlarla tepkimeye girerek bu gazların atomlarının ergimiş metal içinde dağılması neden olmaktadır. Ergimiş haldeki alaşımlar katılarken bu gazlar gaz delikleri olarak anılan kabarcıklar halinde yeniden ortaya çıkabilirler veya çözünmüş halde bulunan oksijen alaşımlar içerisindeki

bazı metallerle birleşerek metal oksitler meydana getirebilir. Bu oluşumların yüksek miktarlarda gerçekleşmesi durumunda sorunlu dökümler meydana gelmektedir.

İndüksiyonlu cihazlara olan rağbet gün geçtikçe artmaktadır. Bunun en önemli sebebi ise hızlı ısıtma ve eritme yapabilmeleri sayesinde gaz kaçaklarını oldukça düşük seviyelere indirmesidir. Ayrıca indüksiyonlu cihazların bir başka önemli özelliği ise elektromanyetik karıştırma ile ergiyik halde alaşımların yüksek homojenliğe sahip olmasını sağlamalarıdır.

Bir başka popüler cihaz türü ise vakum özelliğine sahip olan elektrik dirençli ocaklar ve indüksiyonlu ısıtma cihazlarıdır. Eritme işlemi vakumlu ortamda yapıldığında ortamdaki tüm havayı ve ergimiş metalden çıkan gazları da bertaraf ederek istenmeyen gazlardan kaynaklı problemleri ortadan kaldırmaktadır. Bu sayede tercih edilen yöntemler arasına girmektedir [4].

6.3.2 Potalar

Potalardan istenen temel özellikler şunlardır:

- İçlerindeki maddelerle tepkimeye girmemelidirler.
- Ani sıcaklık değişiklikleri sonucunda meydana gelen yumuşama ve çatlamaya karşı yüksek dirençte olmalıdırlar.

Grafit ve kil potalar, düşük oranlarda da olsa ergiyik haldeki alaşımı oksitlerden temizlemeye yardımcı olan ve birçok kez tekrar kullanılabilen potalardır. Bu özellikleri sayesinde çeşitli renk ve ayarlardaki alaşımların dökümü için genellikle kil ve grafit potalar tavsiye edilmektedir. Grafit potaların bünyesinde bulunan karbon, artan ısı ile birlikte havadaki serbest oksijen ile tepkimeye girerek ergimiş haldeki metalin çevresinde gaz fazında bir karbon monoksit tabakası oluşturmaktadır. Oluşan bu tabaka hava ile ergimiş metal arasındaki etkileşimi engelleyerek en düşük seviyeye inmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu karbon monoksit tabakası ergiyik alaşımda oluşan oksitlerle de tepkimeye girip karbondioksit gazı oluşturup alaşımdaki oksit miktarını da azaltarak çift yönlü fayda sağlamaktadır.

Bir çeşit karbon kaynağı olan odun kömürü parçaları da benzer sebeple yani oksidasyonu önlemek amacıyla ergimiş haldeki metalin yüzeyinde gezdirilmektedir.

Nikelli beyaz alaşımların dökümü için ise kilden yapılmış potalar kullanılması daha doğru bir tercih olacaktır. Çünkü grafit potaların bünyesindeki karbon, nikel ile tepkimeye girme riski taşımaktadır.

Bu gibi sebeplerden ötürü farklı alaşım türleri için farklı potalar kullanmak, birinden diğerine bulaşma riskini ortadan kaldırarak bu tip olası sorunların meydana gelmemesini sağlayacaktır [4], [33].

6.3.3 Erimeye Yardımcı Maddeler (Flakslar)

Ergitme işlemi esnasında flaks kullanımının iki temel nedeni vardır:

- Ergimiş metalin hava ile temasını keserek gaz kaçıışı ve oksidasyonu engellemek amacıyla ergiyik haldeki metal üzerinde koruyucu bir tabaka oluşturmak.
- Ergiyik metalin içindeki oksitlerle tepkimeye girip ergiyik yüzeyinde birikecek bir cüruf oluşturmak.

Burada dikkat edilmesi gereken şey ise döküm öncesi bu tabakaların metalin yüzeyinden alınmasıdır. Aksi takdirde döküm sonrası malzemede istenmeyen sonuçlar ortaya çıkacaktır.

Altın alaşımlarının dökümünde yaygın olarak kullanılan flakslar, ergime noktası 760°C olan boraks ve 870°C olan borik asittir [4].

6.3.4 Diğer Katkılar

Alaşımların içeriklerindeki farklılıklara bağlı olarak çeşitli eklemeler yapılabilmektedir. Hegzakloroetan gaz alıcı görevi yapan bir katkıdır ve buhar olarak ergimiş metaldeki sıkışan gazları çıkarmaya yarar. Amonyum klorür ilavesi ise arıtıcı bir flaks görevi görmektedir. Alaşımda bulunan yabancı metallerle tepkimeye girip, buhar halinde klorürler oluşturmaktadır. Oksijen giderici ergimiş haldeki alaşımda bulunan oksijenle tepkimeye girer ve buhar fazında oksitler meydana getirirler. Oksijen gidericiler özellikle gümüş için oldukça faydalı olmaktadır [4].

6.3.5 Döküm Sıcaklığı

Ergimiş metalin kabı eksiksiz doldurabilmesi için iyi bir akıcılığa sahip olmalıdır. Yeterli akıcılığı sağlayabilmek için doğru döküm sıcaklığı seçilmelidir. Eğer döküm sıcaklığı olması gereken çok üzerinde olur ise bu durumda alaşımın içine gaz kaçma riski de artacaktır. Bu durum dökümün tane boyutunun aşırı büyümesine yol açabilir. Bu sebeplerden ötürü döküm sıcaklığını doğru seçmek çok önemlidir. Bunun için de ergiyik haldeki alaşımın sıcaklığı uygun bir ölçüm cihazıyla düzenli olarak takip edilmelidir. Farklı ayarlardaki alaşımlar için tavsiye edilen döküm sıcaklığı alaşımın tamamen sıvı hale geldiği sıcaklığın yaklaşık olarak 75-100°C üzerindedir [4].

6.4 Hassas Döküm Yöntemi

6.4.1 Hassas Dökümün Tarihçesi

Metallerin ergitilerek kalıplara dökülebilirliğinin keşfedilmesi, insanlık tarihinin ilk yıllarında uygarlaşma adına atılan en önemli adımlar arasında yer almaktadır. Farklı bölgelerde birbirlerinden bağımsız olarak renkli mineraller, azurit ve malakit ile yapılan denemeler neticesinde yapılmaya başlanan bakır tasfiyesi işlemi M.Ö. 4000 yılından önce gerçekleştirilmiştir. Metalurji alanında atılan bu ilk adımları kesin tarihi ve yeri bilinmemektedir. Bununla birlikte aynı dönemlere denk gelen bazı kanıtlar Anadolu, İran, Suriye, Filistin ve Tayland'da metalurjik faaliyetlere başlandığını göstermektedir. Yaşadığımız coğrafya adına en önemli kanıtlardan birisi Hititliler dönemine ait Alaca Höyük'te bulunan bronz geyik heykelidir. M.Ö. 2400'lü yıllara ait olduğu belirtilen bu heykelin üzerinde bulunan yolluk parçaları sayesinde hassas döküm ile üretildiği sonucuna varılmıştır. Anadolu dökümcülük tarihindeki yeri açısından büyük önemi sahip olan bu eser Şekil 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.1 Alacahöyük bronz geyik heykeli [34]

Bakır tasfiyesinin ardından bir sonraki adım yine bakırın taştan veya kilden yapılan açık kalıplara dökümü ile üretilen basit parçalar olmuştur. Ardından tüm yüzeyleri şekillendirebilen iki parçadan oluşan kalıplar kullanılmıştır. İlk ergitme ve tasfiye işlemlerinin çömlek pişiriminde kullanılan fırınlarda ve çömlekçilerden özellikle potalar konusunda yardım alınarak yapıldığı tahmin edilmektedir. Özellikle Yakın Doğu'da dönemin çömlekçileri tanrılara adak olması için çok çeşitli sembolik heykeller üretmişlerdir. Daha eski çağlarda taşlara oyularak yapılan bu tarz dini ikonlar zamanla yerini döküm üretilen daha detaylı heykelciklere bırakmışlardır.

Günümüzde kullanılan kayıp mum tekniğinin temelleri M.Ö. 4000 yılında dönemin metal işçileri ve çömlekçiler tarafından atılmıştır. Bu dönemde ilk kez balmumundan işlenerek hazırlanan bir model kil ile kaplanarak kalıp oluşturulmuştur. Ardından kili ısıtarak sertleştirirken aynı anda balmumunun da eriyerek uzaklaşması sonucu modelin tüm detaylarını barındıran dökümler yapmaya başlamışlardır. Yeni keşfettikleri bu yöntem hassas döküm tarihi açısından önemli bir dönüm noktasıydı. Bu yeni yöntem

sayesinde taş ve kille yapılan ürünlere oranla çok daha ince detaylara sahip ve daha dayanıklı dökümler almaya başlamışlardır.

Arkeologların tekniğin Fransızca ismi olan “cire perdue” olarak adlandırdıkları kaybolan mum tekniği ile ilk dökümler saf bakır kullanılarak yapılmıştır. Ardından arsenikli bakır ile kalay bronz dökümleri takip etmiş ve son olarak da altın dökümleri yapılmaya başlanmıştır.

M.Ö. 3500’lü yıllarda Mezopotamya’da hassas döküm ile üretilen ilk bakır dökümlerine rastlanmıştır. Bu ürünler, genellikle yazının icadı öncesinde kullanılan mühürlerin arkasına monte edilmiş konumda olan ve mührün sahibini simgeleyen hayvan figürlerinden oluşmaktaydı. Aynı döneme ait benzer figürlere günümüzde Güney Batı İran’a denk gelen Elam bölgesinde rastlanmıştır. Bu eserler günümüzde Paris’te bulunan ünlü Louvre Müzesi’nde sergilenmektedir. Ayrıca birkaç yüzyıl sonrasına ait benzer kalıntılara bazı Yunan şehirleri ve Truva’da da rastlanmıştır [35].

6.4.2 Hassas Döküm Yönteminin Basamakları

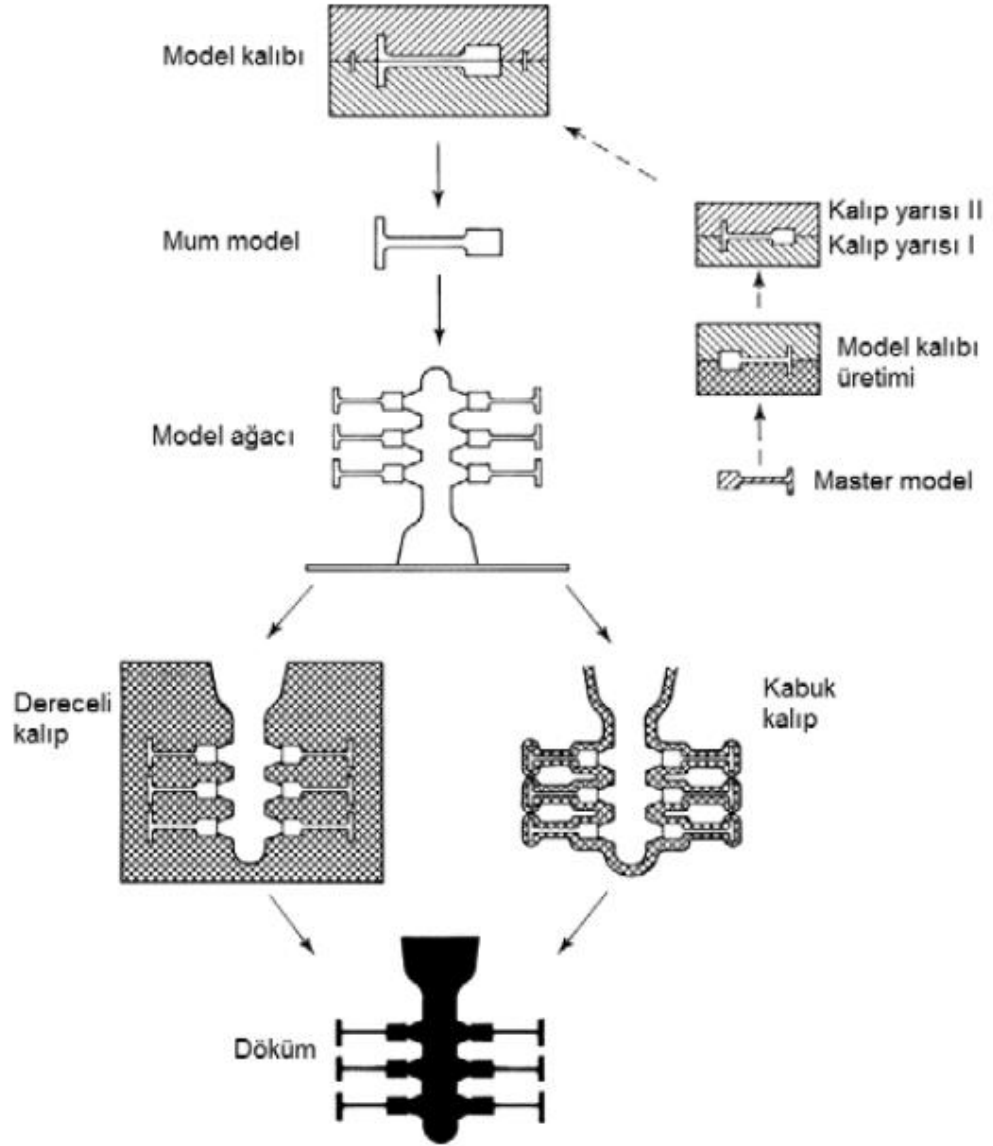
Hassas döküm yöntemi aynı zamanda kaybolan mum yöntemi olarak da bilinmektedir. Bunun sebebi kalıplar oluşturulurken model olarak kullanılan mumun harcanmasıdır. Bu yöntem için harcanabilen, genellikle mum bir modelin etrafının oda sıcaklığında sertleşebilen refrakter çamuru ile kaplanması sonucunda hazırlanan kalıplar kullanılmaktadır. Kalıp hazırlandıktan sonra mum model yakılarak veya ergitilerek kalıbın içerisinden ayrılıp kalıp boşluğunu meydana getirmektedir. Bu sebeple hassas dökümün yanı sıra harcanan mum yöntemi olarak da adlandırılmaktadır [33].

Hassas dökümün sağladığı avantajlar:

- Karmaşık şekilli parçaların tek parça olarak üretiminde geleneksel döküm yöntemlerine oranla çok daha başarılı sonuçlar elde edilmektedir.
- Ergitilip dökülebilen tüm metaller için uygulanabilen bir yöntemdir.
- Bilinen diğer yöntemlere kıyasla çok daha yüksek boyut hassasiyeti, daha ince detaylar ve daha düzgün bir yüzey elde etmek mümkündür.
- Bu yöntem ile 25 kg ağırlığa kadar dökümler yapılabilir, nadiren de 400 kg’a kadar parçalar üretilebilmektedir.

- Tane boyutu, tane yönlenmesi ve yönlenmiş katılaşma gibi önemli metalurjik durumlar yakından takip edilebilmekte ve dolayısıyla mekanik özellikler istenilen şekilde kontrol edilebilmektedir.
- Diğer döküm yöntemlerinin aksine elde edilen ürünlere ilave işlem gereksinimi olmadığı için malzeme seçiminde kolay işlenebilirlik kriterine uymak gibi bir kısıtlama yoktur.
- Hassas döküm yöntemlerinde tek parça kalıplar kullanılmaktadır. Bu sayede diğer yöntemlerde oluşan ayırma yüzeyi gibi ürün yüzeyinde izler oluşturan durumlar yaşanmamaktadır.
- Dökümü esnasında belirli bir koruyucu ortam veya vakum gereksinimi olan metaller de bu yöntem ile rahatlıkla dökülebilmektedir.

Hassas döküm yöntemi kalıp hazırlama yöntemlerine göre iki gruba ayrılır. Bunlar kabuk kalıp ve dereceli kalıp yöntemleridir. Her iki yöntemde de model hazırlama teknikleri birbirinin aynısıdır. Dereceli kalıp yönteminde modellere ön kaplama işlemi uygulanabilir fakat bu zaruri bir durum değildir. Hiç bir ön kaplama işlemi olmadan da kullanılabilir. Fakat kabuk kalıp yönteminde modele ön kaplama uygulaması her zaman yapılmaktadır. Hassas döküme ait bu yöntemlerin şematik gösterimi Şekil 6.2’de verilmiştir [33].



Şekil 6.2 Hassas döküm yöntemlerinin şematik gösterimi [33]

Uygulamalar açısından ele alındığında dereceli kalıp yöntemi demir esaslı ve demir dışı alaşımlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu gruplar arasında demir esaslı olanlar için modellerde ön kaplama yapılmakla birlikte, demir dışı alaşımlar için ön kaplama işlemine gerek görülmemektedir. Ön kaplama yapılan durumlarda ince ve kaba taneli olmak üzere farklı tane boyutuna sahip iki ayrı refrakter çamuru kullanılmaktadır. Bunlardan ince taneli olan ön kaplama aşamasında kullanılırken, ardından yapılacak olan dolgu için kaba taneli refrakter malzeme kullanılmaktadır. Ana bileşeni ince silis kumu olan refrakter malzeme bünyesinde ilave olarak silikatlar ve alüminyum oksit barındırmaktadır [33].

6.4.3 Dereceli Hassas Döküm

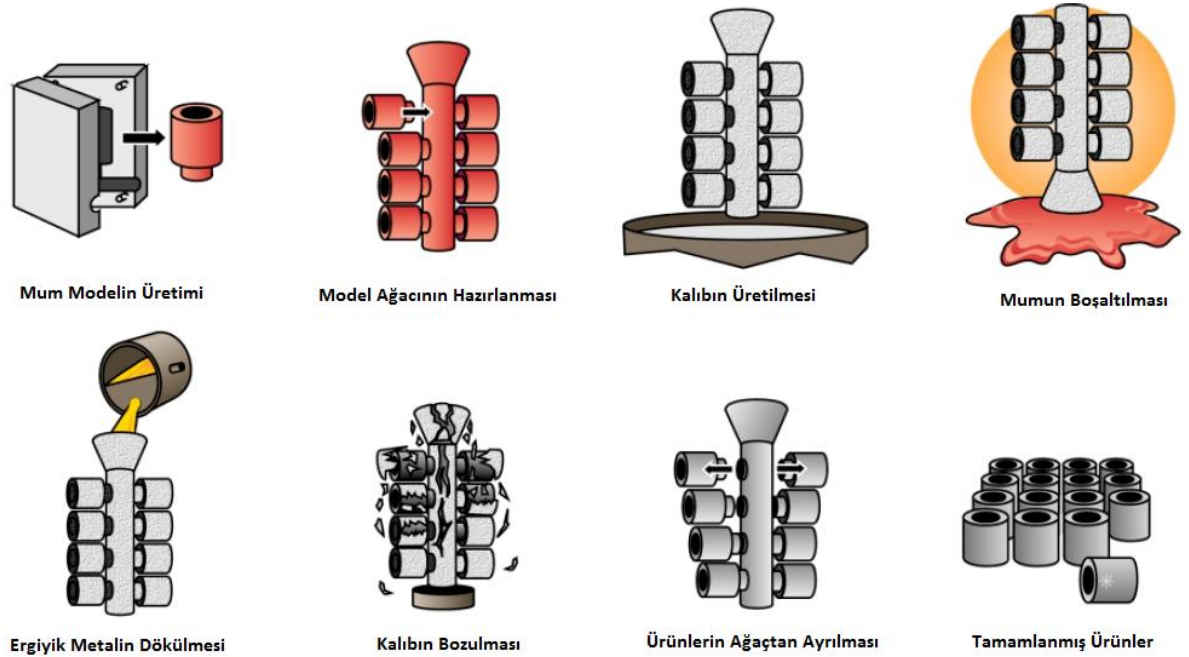
Dereceli hassas döküm işleminin ilk adımı dökümü yapılacak olan mastır modelin tasarımı ile başlar. Tasarım kâğıt üzerinde elle çizim yöntemiyle veya bilgisayar ortamında uygun çizim programları yardımıyla yapılmaktadır. Tasarlanan mastır model işlenerek veya prototip yöntemi ile üretimi gerçekleştirilir. Üretilen mastır model mum kalıbı yapmak için uygun bir kauçuk içerisine yerleştirilir ve kauçuk pişirilerek mum kalıbı hazırlanmaktadır. Bu işlemin ardından kauçuk kalıp tam ortasından iki eşit parçaya halinde kesilerek mastır model çıkarılır. Hazırlanan bu kalıba mum enjekte edilerek mum modellerin üretimi yapılır. Üretilen mum modeller uygun bir yolluk tasarımına sahip olarak hazırlanan model ağacı üzerine özenle monte edilerek model ağacı oluşturulur. Model ağacı silindirik bir derece içerisine yerleştirilir ve derecenin içerisi kalıp çamuru ile kaplanır. Kalıp çamuru ile doldurulan derecenin tamamen oturması ve boşluk, gözenek gibi hatalar oluşmasını önlemek adına titreşim ve vakum uygulanır. Kalıplama işlemi tamamlandıktan sonra derece sertleşmeye bırakılır. Kalıp üretim basamakları Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3 Hassas döküm için kalıp üretim basamakları [36]

Sertleşen derece fırına yerleştirilip kalıp pişirilir ve aynı zamanda kalıp içerisindeki mum da uzaklaştırılmış olur. Fırında pişirilen kalıp fırından alınıp sıcak haldeyken döküm işlemi yapılır. Dökümün ardından bir süre soğumaya bırakılan kalıp ardından suya

daldırılarak bozular. Kalıbın bozulmasının ardından döküm ağacı su ve çeşitli kimyasallar ile temizlenir. Tüm bu işlemlerin ardından döküm ağacı üzerinden parçalar özenle kesilerek ayrılır ve süreç tamamlanır. Dereceli hassas dökümün üretim basamakları Şekil 6.4'te şematik olarak verilmiştir [33].



Şekil 6.4 Dereceli hassas döküm üretim basamakları [37]

6.4.3.1 Esnek Mum Kalıpları

1935 yılında Kanada'da geliştirilen esnek vulkanize kauçuk mum model kalıplarının yapım tekniği hassas dökümün kuyumculuk sektöründeki gelişimi açısından önemli bir adım olmuştur. Kalıp yapımında takı üretimi için kullanılan mastır modellerden faydalanılmaktadır. Bu sayede karmaşık şekilli modeller hızlı ve ucuz olarak üretilabilmektedir. Geleneksel kalıplarda üretilen parçalara oranla çok daha ince detaylara sahip ve karmaşık şekilli tasarımların üretilmesini sağlamaktadır [33].

6.4.3.2 Kauçuk Kalıp Yapımı

Kauçuk kalıplar doğru tasarlanması, yüksek kaliteye sahip üretimler için temel gereksinimlerden biridir. Hassas döküm parçalarının üretiminde tasarımcının hayalleri ve yaratıcılığı tamamen özgür bırakılmış olup, herhangi bir sınırlama yoktur.

Kalıp yapımında kullanılabilecek birden fazla kauçuk türü mevcuttur. Her biri farklı özellikler sahip olan doğal, sentetik, silikon gibi kauçuk tipleri arasında dökümü yapılacak olan parçanın tasarımını en uygun olan kalıp malzemesi olarak seçilmektedir. İnce detaylara sahip parçalar için genellikle dayanımı daha düşük olan silikon kauçuk tercih edilmektedir. Doğal kauçuk ise yüksek dayanım ve aşınma direnci gibi özelliklere sahiptir. Kauçuk tipleri arasında en yeni olanı ise iki bileşenli vulkanizasyon gerektirmeyen kauçuklardır. Bu tip kauçuklar kullanım kolaylıkları ile dikkat çekerken dayanım olarak diğer türlere oranla oldukça düşük bir dayanıma sahiptir.

Kalıp üretimine başlamadan önce, kullanılacak olan mastır model ultrasonik banyoda yağ giderici çözeltiler yardımıyla dikkatlice temizlenmelidir. Vulkanize kauçuk tercih edilen durumlarda kauçuk metal bir çerçeve içine sıkıca ve kat kat yerleştirilip, ardından model kauçuğun merkezine yerleştirilir ve üzerine eşit miktarda kauçuk kat kat yerleştirilir. Kullanılan kauçuk türüne bağlı olarak 150-160°C arasında bir sıcaklıkta preslenerek vulkanizasyon işlemi gerçekleştirilir. Ardından kalıp tek parça olarak çıkarılır ve keskin bir neşter yardımı ile iki parçaya ayrılıp mastır model kalıptan çıkarılır. Kalıbın kesim işlemi en çok dikkat edilmesi gereken noktaların başında gelmektedir. Çünkü mastır model çıkarıldıktan sonra kesilen parçalar tekrar bir araya getirildiklerinde birbirleri ile tamamen uyumlu olmak zorundadır. Aksi takdirde doğru şekilde kapatılamayan kalıplar mum model üretiminde sıkıntılar yaratmaktadır [33].

6.4.3.3. Hassas Döküm Model Mumları

Bilinen en eski termoplastik malzeme olan mum, kolay şekil alabilme özelliği sayesinde tarih boyunca hassas döküm ve el sanatları alanlarında sıkça kullanılmıştır. Geçmişte hassas döküm için sadece balmumu kullanılmakta iken günümüzde benzer özellikte birçok malzeme kullanılmaktadır.

Günümüzde hassas döküm modelleri için kullanılan mum karışımları birçok farklı bileşenin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Çeşitli mumlar, reçineler, dolgu malzemeleri ve suyun karışımından elde edilen model mumlarında bu karışımlar hazırlanırken oranlar, sertlik, viskozite, genleşme, büzülme gibi özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedir. Mum çeşitleri, yapısındaki karbon atomu zincirlerinin diziliş şekli ve uzunluklarına göre sertlik, ergime noktası, viskozite gibi bazı özelliklerinde

farklılıklar göstermektedir. Örneğin, kısa zincir düşük sertlik ve düşük ergime noktasına sahip olduğunu ifade ederken, zincir uzadıkça bu değerlerde de artış gözlenmektedir.

Mumlar ısı altında genleşme, soğukta ise büzülme eğilimi gösteren malzemelerdir. Mumlar metallere oranla daha yüksek genleşme oranlarına sahiptir. Bu durum mumun yapısı ve bileşenlerine bağlı olarak değişmektedir.

Hassas döküm yönteminde kullanılan model mumlarını üç ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar:

- Katkısız veya dolgusuz model mumları,
- Emülsiyon model mumları,
- Dolgulu model mumlarıdır.

Katkısız veya dolgusuz model mumları, pek çok mum ve reçine bileşiğinden oluşmaktadır. Yüzey bitimleri parlaktır. Genellikle geri dönüştürülüp model ve yolluk yapımında kullanılırlar.

Emülsiyon mumları, bileşim bakımından katkısız mumlara benzerler fakat ilave edilen %7-12 oranında su ile emülsiyon halini alırlar. Yüzey bitimleri son derece düzgündür. Kullanımları oldukça basittir ve oldukça yaygın bir kullanıma sahiptirler. Ayrıca bu tip mumlar da geri dönüştürülüp model ve yolluklarda kullanılabilirler.

Dolgulu model mumları, diğer iki türün bileşenlere ek olarak bu tür mumlarda toz halde dolgu malzemeleri de kullanılmaktadır. Dolgu malzemesi ilavesi sayesinde mumun kararlılığı artarken, pürüzlenme ve oyuklanma azalmaktadır. Geri dönüştürülebilir olmaları diğer iki mum tipi ile ortak özelliklerindendir.

Hassas dökümde kullanılacak mumların özellikleri üretim kalitesi için büyük önem teşkil etmektedir. İstenilen kaliteye sahip mumlar üretebilmek için her biri farklı yönde etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Bunlar:

- Kül içeriği,
- Viskozite,
- Yüzey bitimi,
- Katılaşma ve ergime noktası,

- Kürleşme süresi,
- Oksidasyon kararlılığı,
- Büzülme ve pürüzlenme,
- Sertlik ve elastiklik,
- Geri dönüştürülebilirliktir.

Hassas döküm mumlarının üretiminde, kullanıcı ve üretici arasında belirlenen standartlara uyumlu ürünler elde edebilmek için bu parametrelerde yapılacak değişiklikler ile istenilen özellik ve kalitede mum üretimi yapılabilmektedir [33].

6.4.4 Mum Model Üretimi

Hassas döküm mumlarının seçimi üretimi yapılacak olan parçanın özelliklerine bağlı olarak yapılmalıdır. Ergime aralığının dar olması mumlar için çoğu zaman tercih sebebidir. Doğru mum seçimi yapabilmek için mumların yoğunluk, kül içeriği, sertlik, ısı genleşme gibi fiziksel karakteristiklerine hakim olmak son derece önemlidir.

Örneğin, mumun kalıbı tamamen doldurabilmesi viskozitesine bağlıdır. Isıl genleşme özelliği ise büzülme miktarlarını inceleyerek dökülecek olan parçanın gerçek boyutlarını hesaplayabilme noktasında yardımcı olmaktadır.

Mum model üretimi hazırlanan kauçuk kalıplara mumun enjekte edilmesi ise gerçekleşmektedir. Bu aşamada sıcaklık en önemli parametrelerden biridir. Sıcaklık birden fazla noktada ön plana çıkmaktadır. Kaliteli mum üretebilmek için mum sıcaklığının yanı sıra kalıp sıcaklığı ve nozul sıcaklığı da önemli parametreler arasında yer almaktadır. Yeni nesil mum presleri bu özellikleri kontrol edebilen sistemlere sahiptir. Modelin en iyi şekilde kalıba basılabilmesi için optimum mum sıcaklığı seçilmelidir. Yüksek sıcaklıklarda kabarcık oluşumu, düşük sıcaklıklarda ise kalıbı tam dolduramama gibi sorunlar yaşanabilmektedir.



Şekil 6.5 Kuyumculukta kullanılan yüzüklere ait mum model örnekleri [38]

Sıcaklık kadar önemli bir başka parametre ise basınçtır. Basınç değişikliği mum modelin ağırlığını dolayısıyla da ergitilecek metalin miktarında değişikliğe sebep olmaktadır.

Bütün mum ve kalıp çeşitleri için özel sıcaklık, basınç ve soğuma süresi değerleri mevcuttur. Belirli bir proses için kullanılan ideal değerler de zamanla değişiklik gösterebilmektedir. Ekipmanların kullanım süresi arttıkça bu değerler tekrar gözden geçirilmeli ve gerekli görülmesi halinde değerler yeniden hesaplanmalı ve düzenlemeler yapılmalıdır.

Üretimi tamamlanan mum modellerin depolanması ve saklama koşulları da oldukça dikkat edilmesi gereken noktalar arasında yer almaktadır. Özellikle tozdan uzak ve herhangi bir şekil bozukluğuna sebep olmayacak şartlarda saklanmalıdır. Aksi takdirde istenilen kalite ve hassaslıkta ürünler elde edilmesi mümkün olmamaktadır [33].

Çizelge 6.1 Mum modellerdeki bazı olası sorunlar, nedenleri ve çözüm önerileri [39]

Sorun	Muhtemel nedeni/Düzeltilme yolu
Model çapaklı, dışına mum taşmış	Mum kazanının hava basıncı çok yüksek / Hava basıncı azaltılmalı. Mum çok sıcak / Sıcaklığı ayarlanmalı.
Model tam değil, bir kısmı eksik	Kazanın hava basıncı az / Basınç ayarlanmalı. Mum soğuk / Sıcaklık ayarlanmalı. Kauçuk kalıp çok sıkı tutulup basılmış / Kalıbı çok sıkmadan mum basılmalı

Çizelge 6.1 (Devam) Mum modellerdeki bazı olası sorunlar, nedenleri ve çözüm önerileri [39]

Sorun	Muhtemel nedeni/Düzeltilme yolu
Model tam değil, bir kısmı eksik	Sıkma flanşları kirli, bu nedenle kalıp eşit basınca sahip değil / Sıkma flanşları yüzeyi düz olacak şekilde temizlenmeli. Kalıpta hava sıkışıp kalıyor / Kalıptan hava çıkışını sağlayacak kesikler yapılmalı. Kalıp aşırı soğuk / Kalıp ısıtılmalı
Modelde hava kabarcıkları	Hava basıncı yüksek / Basınç ayarlanmalı. Kazanda mum az / Kazanın yarısından fazlası dolu olacak şekilde mum ilavesi yapılmalı. Mum çok sıcak veya soğuk / Sıcaklık ayarlanmalı ve taze mum erirken içindeki havayı almak için mum karıştırılmalı. Kalıp memeye eğri basılıyor / Düzgün basılmalı.
Model kırılğan	Mum aşırı sıcak / Sıcaklık ayarlanmalı. Mum tekrar kullanılmış / Yeni mum kullanılmalı. Eski mum en fazla %50 olmalı. Kalıp açılmadan önce uzun süre soğumaya bırakılıyor / Kalıp daha çabuk açılmalı ve daha az sayıda kalıpla çalışılmalı.
Modelin rengi atık	Mum aşırı ısıtılmış / Kazan temizlenip yeni mum koyulmalı.
Modeller kolayca bükülüyor, mum kauçuğa yapışıyor	Mum fazla sıcak / Sıcaklık ayarlanmalı. Kalıp erken, mum henüz sıcakken açılıyor / Kalıbın soğumasına zaman tanınmalı.

6.4.5 Model Ağacının Hazırlanması

Model ağacı oluşturulurken yerleştirilecek olan modellerin birbirinin aynısı veya benzer şekil, boyut ve ağırlığa sahip olmasına özen gösterilmelidir. Kalıbı tam olarak doldurabilmek için farklı ebatlarda modellerin aynı ağaca yerleştirilmesinden kaçınılmalıdır. Eğer farklı kalınlıktaki parçaların aynı ağaca dizilme zorunluluğu varsa en hafif ve ince olanlar basıncın daha yüksek olduğu ağacın üst kısmına yerleştirilmelidir.

Yolluklar arası bağlantıların düzgün ve iyice doldurulmuş olmasına dikkat edilmelidir. Geleneksel yöntemler ana ve ara yolluk arasında 45° ile 60° arasında bir açının uygun olduğu belirtilirken, günümüzde ise en verimli sonuçlar için dik açıyla birleştirilmesi önerilmektedir.

Model ağacı yapımının ilk adımı kauçuk altlıktır. Altlık seçimi ve tasarımını dikkatlice yapılmalıdır. Yolluk ağzı görevi gören bu kısmın genellikle koni şeklinde bir tasarıma sahip olması tercih edilmektedir. Altlığın hazırlanmasının ardından ana yolluk yapımına geçilir. Ana yolluğun yapımında modellere oranlar daha düşük ergime noktasına sahip bir mum kullanılması kalıptan mumun boşaltımını daha verimli yapabilmek için gerekmektedir. Ana yollukta da konik yapı tercih edilmektedir.

Şekil 6.6 Mum model ağacı [40]



6.4.6 Mum Giderme

Model ağacı hazırlanıp derece içine yerleştirildikten sonra derece kalıp malzemesi ile doldurulup donması için yaklaşık 2 saat bekletilmektedir. Kalıp hazır hale geldikten sonra metal dökümü yapılabilmesi için içerisindeki mumun boşaltılması gerekmektedir.

Mum giderme işlemi iki farklı yöntemle yapılabilir. Bunlar;

- Kuru mum giderme yöntemi,
- Buharla mum giderme yöntemidir.

Kuru yöntem, kalıp pişirme işleminin bir parçasıdır. Kalıp pişirme fırınında pişerken aynı zamanda mum da kalıptan uzaklaştırılmaktadır. Buharda mum alma yöntemi ise kuru yöntemde yanan mumun yarattığı hava kirliliğini önlemek amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir.

İki yöntemin birbirlerine olan üstünlüklerini saptamak amacıyla yapılan çalışmalara göre bir dönem buhar ile mum giderme yönteminin gaz boşluğunu azalttığı ve dolayısıyla da daha kaliteli üretim için tercih sebebi olduğu kanısına varılmıştır. Bu durumda özellikle kuru yöntemde kalıbın iç yüzeyinin yeterince temizlenememesi ve bunun da gaz boşluklarına sebep olmasının payı büyüktür. Yakın dönemde yapılan çalışmalar ise bu sonucu tam olarak desteklememektedir. Buhar ile mum giderme yönteminin kalıbın geçirgenlik özelliğine olumsuz etkileri saptanmıştır. Bu nedenle henüz kesin olarak bir yöntemin diğerine olan üstünlüğü kanıtlanamamıştır. Fakat hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın dikkat edilmesi gereken en önemli nokta mum alma ve pişirme arasında kalıbın soğumasına imkân verilmemesi gerektiğidir [33].

6.4.7 Kalıbın Pişirilmesi

Pişirme işlemi, kalıba döküm öncesi uygulanan son işlemdir. Bu işlem ile kalıptan kalan mum artıkları temizlenir ve kalıbın döküm için ihtiyaç duyacağı karakteristikler kazandırılmış olur. Pişirme işlemi kalıplara son halini veren işlem olduğu için pişirme parametrelerine çok dikkat edilmeli ve üretici tavsiyelerine uyulmalıdır.

Rutin bir pişirme işleminde kalıp ilk olarak yavaşça 250°C'a ısıtılmalı ve bu sıcaklıkta yaklaşık 2 saat kadar bekletilmelidir. Ardından 450°C'a 1 saat içerisinde ısıtılmalı ve bu sıcaklıkta da 2 saat bekletilmelidir. 450°C'ta 2 saat bekletildikten sonra bu kez yarım saat gibi kısa bir sürede 730°C'a çıkarılıp burada ise yaklaşık 3 saat kadar beklenmelidir. bu işlemin ardından kalıp dökümün yapılacağı sıcaklığa getirilerek bu sıcaklıkta dengeye ulaşabilmesi için yarım saat bu sıcaklıkta bekletilmelidir. Kalıbın döküm sıcaklığı dökülecek olan parça ve alaşıma bağlı olarak belirlenmelidir.

Bekleme süreleri ve tutma sıcaklıklarının kalıbın her noktasında sıcaklığın dengeli olması sağlayacak şekilde doğru seçilmelidir. Kalıp malzemelerinin ısı iletimlerinin zayıf olduğu göz önünde bulundurularak bekleme süreleri yarım saatten az olmamalıdır.

Kalıp içerisindeki artıkları temizlemek fırın atmosferi oksitleyici olmalıdır. Ayrıca fırınlarda hava sirkülasyonunun gerçekleşebilmesi için aşırı yüklemekten kaçınılmalıdır. İçerisinde mücevher taşlar bulunan kalıplarda ise sıcaklık 630°C'ı aşmamalıdır. Rutin yöntemdeki sıcaklık parametrelerine ulaşamayan bu durumda temizleme işlemini tamamlayabilmek için tutma süresi uzatılmalıdır [33].

Çizelge 6.2 Kauçuk kalıplarda bazı olası sorunlar, nedenleri ve çözüm önerileri [39]

Sorun	Muhtemel nedeni/Düzeltilme yolu
Kesilen kalıplar birbirine iyi oturmuyor	Kullanılan kauçuk ambalajdayken vulkanize olmaya başlamış / Taze kauçuk kullanılmalı Kalıp kalınlığı az / Yeterli miktarda kauçuk kullanılmalı. Presin tablaları pişirme kalıbına yeterince basmalı Kalıp aşırı kalın / Kalıplama işlemlerini gözden geçirmek gerek Kauçuk şeritler farklı yönlerde dizilmiş / Şeritler aynı yönde yerleştirilmeli
Kalıpta boşluklar (hava sıkışması) var	Model kauçukla doldurulmamış / Modelin içi ve etrafı kauçuk parçalarıyla doldurulmalı Pres tablaları pişirme sıcaklığında değil / Pres uygun sıcaklığa ısıtılmalı Pres tablaları çok çabuk sıkılmış / Pişirme tablaları ilk kavuşma 1/2 tur sıkılmalı ve iki dakikada bir bu işlem sürdürülmeli (dirençten ötürü sıkılamayınca kadar) Kauçuk tavsiye edilen sürede pişirilmemiş / Kauçuğun her katı için genel olarak 155°C'ta 7,5 dk. pişirilmeli
Pişirme sonrasında kalıp kat kat ayrılıyor	Kauçuk şeritlerin yüzeyi temiz değil / Kauçuk kalıbı hazırlarken el kiri, diğer toz ve kirlerden uzak tutulmalı
Kalıp yumuşak, ortası da yapış yapış çıkıyor	Kalıp düşük sıcaklıkta pişirilmiş / Pres tablalarının sıcaklığı kontrol edilmeli Pişirme süresi kısa / Her kat kauçuk için 7,5 dk olmalı
Kalıp yüzeyi çakıllı Kalıp yapışkan, kavrulmuş Kalıpta çekme fazla Kalıp esnek değil	Kalıp fazla ısıtılmış / Pres sıcaklığı kontrol edilmeli

6.4.8 Ergitme ve Döküm

Kuyumculuk sektöründe bazı firmalar üretim için hazır alaşımlar satın alıp kullanırken, bazıları ise alaşımlama işlemini ergitme esnasında yapmaktadır. İkinci grupta yer alan

firmalar genellikle bir mastır alaşım ile saf metal karışımı ile bu işlemi gerçekleştirmektedirler.

Ergitme işleminde kullanılacak olan alaşımın tane boyutlarının birbiri ile aynı veya yakın olması işlem sırasında sıcaklığı kontrol edebilmek için önemlidir. Kullanılan parçaların küçük olması hızlı ve kolay bir ergitme işlemi yapılmasını sağlamaktadır.

Ergitme işlemi temel olarak üç yöntem ile yapılmaktadır. Bunlar,

- Gaz torcu,
- Elektrik rezistanslı fırın,
- İndüksiyon ile ergitmedir.

Bu üç yöntem içerisinde en eski olanı ve günümüzde sektörde kullanımı oldukça azalmış olan torç yöntemidir. Bu yöntemde ergitme işlemi için indirgeyici özellikte, parlak mavi renkte alev kullanılmalıdır. İndirgeyici alev aynı zamanda düşük oksijen içeriği ile metalin oksitlenmemesi için bir koruyucu görevi görmektedir. Genellikle propan veya doğal gaz tercih edilmektedir.

Elektrik rezistanslı fırınlar kapalı bir ortamda, atmosfer kontrollü olarak ergitme imkânı sağlayan bir yöntemdir. Rezistanslı sistemde ergitme işlemi inert ortamda yapılmaktadır. Bu yöntemde ergitme işlemi oldukça yavaş gerçekleşmektedir ve beyaz altın alaşımlarını ergitmek için gerekli olan yüksek sıcaklıklara ulaşılması oldukça güçtür.

Günümüzde en çok tercih edilen ve en modern teknolojiye sahip olan yöntem indüksiyon ile ergitme yöntemidir. Oldukça hızlı bir ergitme sağlayan bu yöntem özellikle düşük frekansta artan karıştırma etkisi yaratarak kimyasal ve ısı homojenizasyonu hızlı bir şekilde sağlamaktadır.



A



B



C

Şekil 6.7 A) Döküm sonrası model ağacı (Döküm ağacı), B) Döküm ağacından kesilip temizlenmiş bir yüzük, C) Parlatma ve taş yerleştirme sonrası yüzük [41]

Hassas dökümün en önemli ve dikkat edilmesi gereken aşaması ergitme safhasıdır. Öncelikle ergitme işleminde kullanılacak olan alaşım miktarı doğru hesaplanmalıdır. Hesaplama yapılırken sadece kalıbın içi değil döküm ağzını da dolduracak miktarda alaşım kullanılması gerektiği unutulmamalıdır. Ergitme işlemi sırasında kullanılan hurda metal miktarı ve özellikleri dikkatlice seçilmelidir. Hurda malzeme oranı en alt seviyede tutulmalıdır. Kullanılan hurda metalin temiz olmasına dikkat edilmelidir. Herhangi bir oksit veya kalıp malzemesi kalıntısı bulunması dökümün kalitesine olumsuz etki edecektir. Ergitme işleminin ardından ergiyik halde alaşımın homojenleşebilmesi için karıştırılması gerekmektedir. Torç veya rezistanslı ergitme yapılan açık fırınlarda bu işlem uygun bir refrakter malzeme yardımıyla elle yapılmaktadır. İndüksiyon ile ergitme yapılan modern sistemlerde karıştırma işlemi elektromanyetik olarak gerçekleştirilmektedir. Metalin oksitlenme, buharlaşma gibi kayba sebep olabilecek durumlardan etkilenmemesi için uzun süre ergiyik halde tutulmaması tavsiye edilmektedir. Ayrıca döküm öncesinde metalin, alaşımın ergitme sıcaklığının üstüne çıkmasına dikkat edilmelidir.

Ergitme tamamlandıktan sonra son adım olan kalıba döküm işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem kullanılan döküm makinelerinin tipi bağlı olarak devirmeli pota veya tabanından boşalan potalar ile yapılabilmektedir. Pota tipleri arasındaki fark sıcaklık kaybının devirmeli potalarda daha yüksek olmasından kaynaklıdır.

Kalıp içine dolmaya başlayan sıvı metal hızlı bir şekilde katılaşmaya başlamaktadır. Sıvı metal ile kalıp arasındaki yüksek sıcaklık farkından ötürü katılaşma kalıp yüzeyinde başlayıp iç kısımlara doğru devam etmektedir. Eğer model tasarımı, yollukların genişlikleri ve ağacın montajı doğru yapılmışsa verimli ve kaliteli bir döküm alınacaktır [33].

Çizelge 6.3 Dökümde oluşabilecek bazı olası hatalar ve muhtemel nedenleri [39]

Sorun	Muhtemel nedeni/Düzeltilme yolu
Çapaklanma var	Su/alçı oranı hatalı, alçı zayıf kalıyor Alçı iyi muhafaza edilmemiş Alçılama çalışması süresi aşılmış veya donma esnasında fanus hareket ettirilmiş Fanus yeterince bekletilmeden fırına alınmış (en az 1 saat) Fanus çok hızlı ısıtılmış Fanus pişirmeden önce nemlendirilmemiş. Fanus pişirildikten sonra soğumaya bırakılmış ardından döküm yapılmış
Dökümler eksik, parçalar tam değil	Mum model ağaca yanlış alınmış (yolluklar ince, fazla uzun veya sayıca az) Mum yeterince iyi uzaklaştırılamamış Döküm esnasında fanus fazla soğuk Döküm esnasında maden fazla soğuk Madenin gramajı yetersiz
Tavlama öncesi parlak döküm	Mum yeterince iyi uzaklaştırılamamış
Tavlamada çıkmayacak şekilde koyu renkli ve kaba döküm	Alçı çok yüksek sıcaklıkta pişirilmiş (790°C 'nin üzerinde) Maden aşırı ısıtılmış
Döküm delikli madende fiskeler	Modeller ağaca iyi alınmamış Mum iyice uzaklaştırılmamış Metal aşırı ısıtılmış Fanus fazla sıcakken döküm yapılmış Madende eski metal oranı fazla (en fazla %50) Maden boraksla yeterince temizlenmemiş Madene çok fazla boraks katılmış

Çizelge 6.3 (Devam) Dökümde oluşabilecek bazı olası hatalar ve muhtemel nedenleri

[39]

Sorun	Muhtemel nedeni/Düzeltilme yolu
Parçanın içinde yabancı madde	Yolluk sisteminde sivri köşeler ve dirsekler var Fanus yeterince dinlendirilmeden fırınlanmış Fanus çok hızlı ısıtılmış Fanus alt lastiği çıkarılırken dip koçan bölümünün temizliği kontrol edilmemiş Eritilen maddede yabancı madde var Fanus paslı veya döküm öncesinde temiz değil Pota eski, dağılmaktadır veya yeterince boraks katılmamıştır
Dağılma (fanusta kırık alçı)	Yolluk sisteminde sivri köşeler ve dirsekler var Fanus yeterince dinlendirilmeden fırınlanmış Fanus çok hızlı ısıtılmış Alçı tam donmadan muamele görmüş
Dökümler güverseli	Mum ağaç yüzey temizleyici sıvıyla muamele edilmemiş Alçı iyi karıştırılmamış, iyi vibrasyon yapıp vakumlanmamış Vakum pompası iyi görev yapmıyor
Dökümde pürüzlü yüzey	Mum modeller pürüzlü / Ana kalıp cilalanıp kauçuğa alınmalı Modellin yolluğu hatalı Su/alçı oranı hatalı Fanus yeterince dinlendirilmeden fırınlanmış Fanus çok hızlı ısıtılmış Model fanusta sıkışıp kalmış, kaynayarak alçıyı yemiş Madende fazla eski metal var / %50'nin üzerinde olmamalı
Beneklenme (kumlu yüzey)	Alçılama çok hızlı yapılmış / En iyi sonuç 9-10 dk.

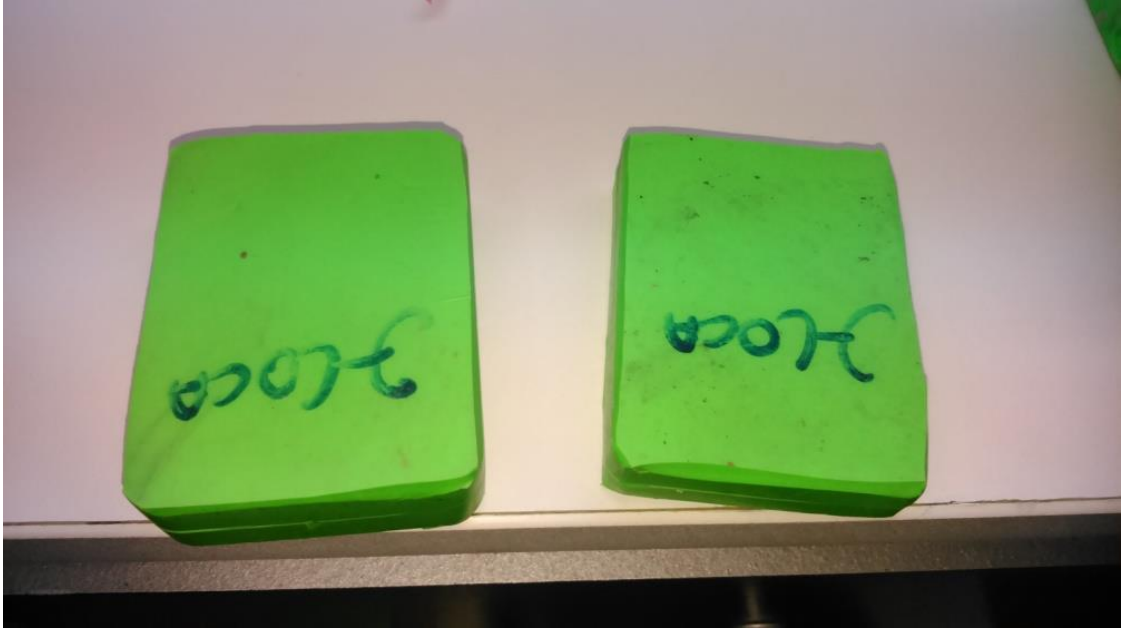
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu projede gerçekleştirilen deneysel çalışmalar beş alt başlık altında toplanmaktadır.

- Numune kalıpları, modeller, model ağacı ve derecenin hazırlanması
- Alaşım hazırlama ve döküm
- Mekanik testler ve renk incelemesi
- Mikroyapı incelemesi
- DTA

7.1 Numune Kalıpları, Modeller, Model Ağacı Ve Derecenin Hazırlanması

Mevcut olan ithal mastır alaşımlar ile bu çalışma kapsamında üretimi gerçekleştirilen alaşımların özelliklerini karşılaştırmak amacıyla çekme ve sertlik testleri ile mikroyapısal inceleme yapılması planlanmıştır. Bu testler için uygun numuneler, çekme çubuğu ve sertlik ölçümü için plaka şeklinde numune modelleri üretilmiştir. Üretilen bu modeller ile kauçuk mum model basma kalıpları oluşturulmuştur. Kauçuk kalıp resimleri Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1 Kauçuk mum basma kalıpları

Hazırlanan kauçuk kalıplara mum basılarak mum modeller üretilmektedir. Ardından üretilen mum modeller bir altlık üzerine monte edilip olan 10 mm çapındaki mum yolluğa havşa yardımı ile dizilerek model ağacı oluşturulmaktadır. Şekil 7.2’de model ağacının yapılışı görülmektedir.



Şekil 7.2 Havşa yardımı ile model ağacının oluşturulması

Model ağacı hazırlandıktan sonra dereceye (delikli fanus) alınıp ardından alçılama işlemi gerçekleştirilmektedir. Alçının donması için yaklaşık olarak iki saat beklenip mum giderme ve pişirme işlemleri için fırına yüklenmektedir. Mum giderilip pişirilen kalıplar

döküme hazır hale gelmektedir. Şekil 7.3'te fırından çıkarılan döküme hazır halde olan ve döküm için dökümün yapılacağı ocağa yüklenen derece görülmektedir.



Şekil 7.3 Solda fırından çıkarılan derece, sağda derecenin döküm ocağına yüklenişi

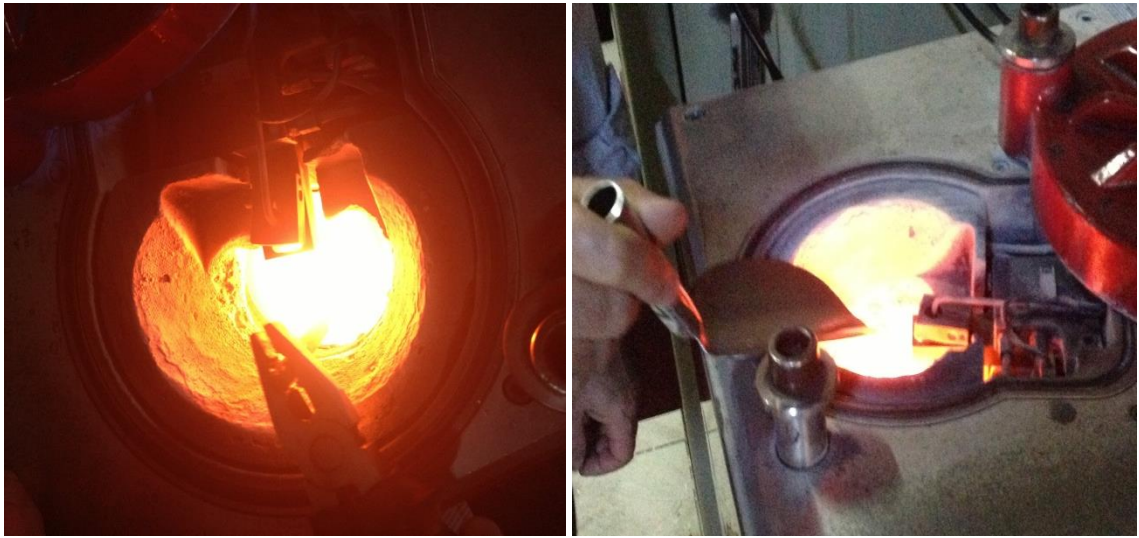
7.2 Alaşım Hazırlama ve Döküm

Bu çalışmada sarı-yeşil renk için 14, 18 ve 21 ayarda dökümler yapılmasına karar verilmiştir. Bu üç farklı ayarın her biri için altın ve katkı olarak adlandırılan diğer metallerin hangi oranlarda kullanılacağı yapılan araştırmalar ve geçmiş tecrübeler ışığında kararlaştırılmıştır. Dökümlerde kullanılan alaşımların içerikleri Çizelge 7.1'de verilmiştir. Belirlenen bu elementler ve kullanılacak miktarlara göre altın ve diğer hammaddeler temin edilmiştir. Hammaddeler hassas ölçüm cihazları yardımıyla Çizelge 7.1'de belirtilen miktarlarda özenle tartılıp, ayrı ayrı paketlenerek döküm için mastır alaşımların içerikleri hazırlanmıştır. Her bir katkının ayrı ayrı paketlenmesi döküm aşamasındaki ergitme sıralaması için büyük önem taşımaktadır. Genel olarak bütün dökümler için öncelikle altın, gümüş ve bakırın eritilmesi, ardından diğer katkıların ilave edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 7.1 Hazırlanan döküm alaşımların içerikleri

Ayar	Bileşim (%)					
	Au	Ag	Cu	Zn	Cu-Zr	Cu-B
14	58,5	9	25,5	5	0,5	1,5
18	75	11	9	3	0,5	1,5
21	87,5	3	6	3,5	-	-
14 T	58,5	9	23,5	7	0,5	1,5
14 TY	58,5	9	25,5	7	-	-
14 – 1	58,5	9	25,5	5	0,5	1,5
14 – 2	58,5	9	25,5	5,5	-	1,5
14 – 3	58,5	9	27	5,5	-	-

Döküm aşamasında öncelikler ilgili döküm için(14, 18 veya 21 ayar) belirlenen altın, gümüş ve bakır indüksiyon ocağında ergitilmiştir. Ardından önceden belirlenen katkıları sırasıyla eklenip ergitilmiş ve ergime tamamlandıktan sonra döküm yapılmıştır. Şekil 7.4'te altın, gümüş ve bakırın ergitilmesi ve katkıların ilavesi görülmektedir.



Şekil 7.4 Solda önce ergitilen altın gümüş ve bakırın karıştırılması, sağda katkıların ilave edilişi

Döküm yapıldıktan sonra ocaktan çıkarılan derece bir süre havada ve suda soğutulmuş, ardından tazyikli su ile yıkanıp bozulmuş, üretilen alaşımın döküm ağacı çıkarılıp temizlenmiştir. Şekil 7.5'te döküm sonrası soğuma aşamalarındaki derece görülmektedir.

Temizleme işleminin ardından çıkarılan döküm ağacından iki adet çekme ve bir adet plaka şeklindeki sertlik testi numunesi mekanik testlerin yapılması ve renk tonlarının

değerlendirilmesi için kesilerek ayrılmıştır. Döküm ağacı kesilmeden önceki bütün haliyle Şekil 7.6’da görülmektedir.



Şekil 7.5 Dökümün ardından hava ve su ile soğutulan derece



Şekil 7.6 İki adet çekme ve bir adet sertlik test numunesinden oluşan döküm ağacı
Altın alaşımlarında renk tayininin ilgili renk sistemleri ve spektrofotometre cihazı yardımı ile yapılması gerekmektedir. Ancak laboratuvarlarımız bünyesinde spektrofotometre cihazı bulunmamasından ötürü renkler ile ilgili değerlendirme sektördeki tecrübeli döküm ustaları ve mühendislerin yorumuna bırakılmıştır.

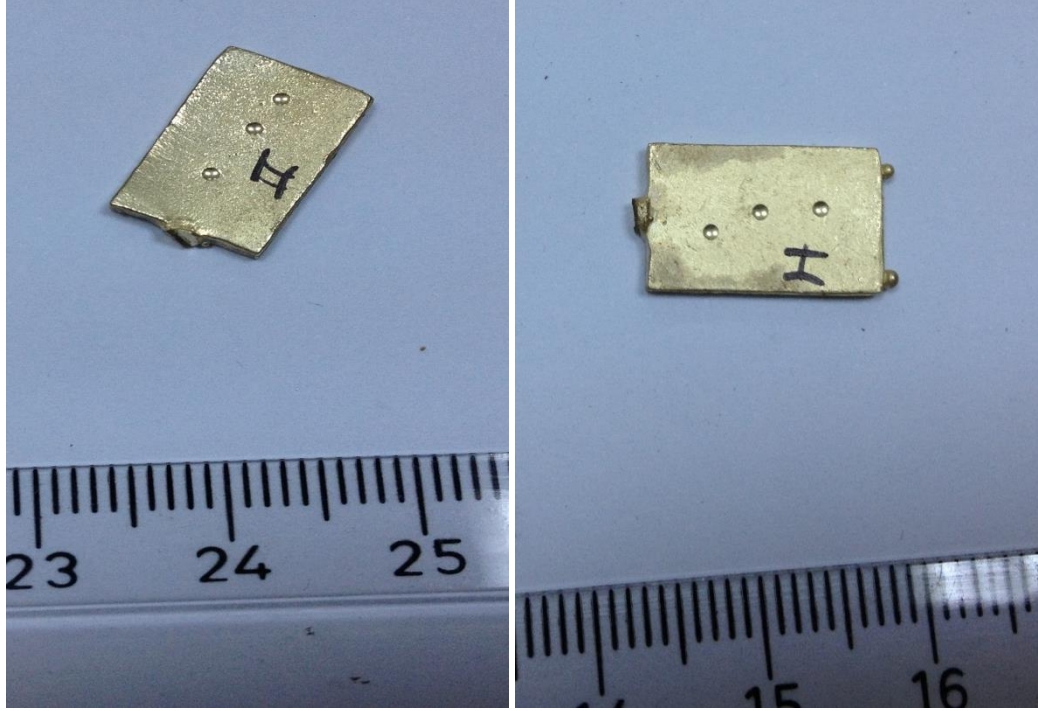
7.3 Mekanik Testler ve Renk İncelemesi

Döküm numunelerine çekme ve sertlik testleri uygulanmıştır. Laboratuvarımızda bulunan 100 kN kapasiteli Mohr & Federhaff marka çekme cihazı ile çekme testleri yapılmış ve çekme mukavemeti ile uzama değerleri incelenmiştir. Şekil 7.7’de çekme testi numunelerinin deney öncesi ve sonrası görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7.7 Çekme test numuneleri, üstte deney öncesi, altta deney sonrası

Döküm ile ürettiğimiz malzemelere ısıtma işlemi, şekillendirme gibi herhangi bir ek işlem uygulanmamıştır. Sertlik testleri için üretilen plaka şeklindeki numunelere 2,5/62,5 kP Brinell yöntemi ile sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik numunelerinin ölçüm sonrası görüntüsü Şekil 7.8’de verilmiştir.



Şekil 7.8 Ölçüm sonrası sertlik test numuneleri

Üç ayrı ayar ve beş farklı bileşimde üretilen numuneler ile 14 ayar referans numuneye ait çekme ve sertlik test sonuçları Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2 Çekme ve Sertlik testlerinden elde edilen sonuçlar

Ayar	Sertlik (HB)	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Uzama (%)
14 (Referans)	72,32	203	34,8
14	66,15	298,23	28,14
18	75	304	25
21	80	330	30
14 T	75	222	36,5
14 TY	73	308	38
14 – 1	75	308	46
14 – 2	72,26	320,92	48
14 – 3	75,51	231,32	38

7.4 Mikroyapısal İnceleme

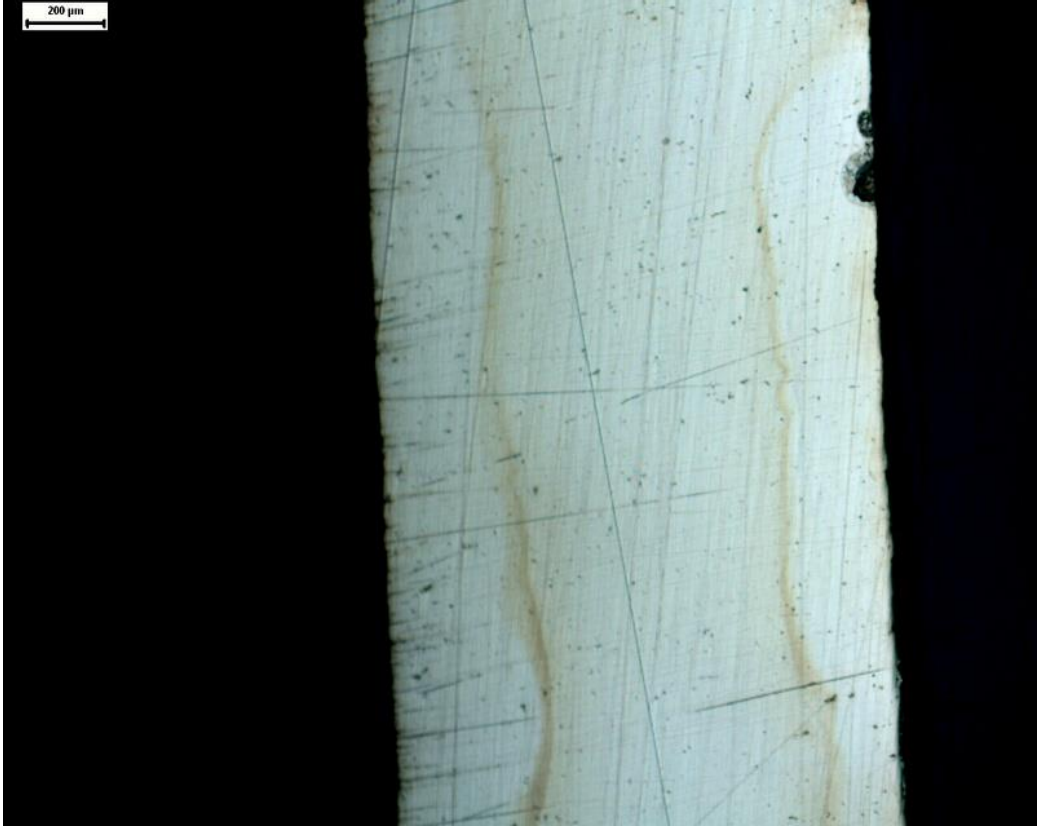
Sertlik test numunesi olarak üretilen plaka şeklindeki numunelerde sertlik ölçümleri tamamlandıktan sonra mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Numuneler önce soğuk monte yöntemi ile yüzey hazırlama işlemleri için daha elverişli boyutlara getirilmiştir. Monteye alınmış olan numuneler Şekil 7.9’da verilmiştir.



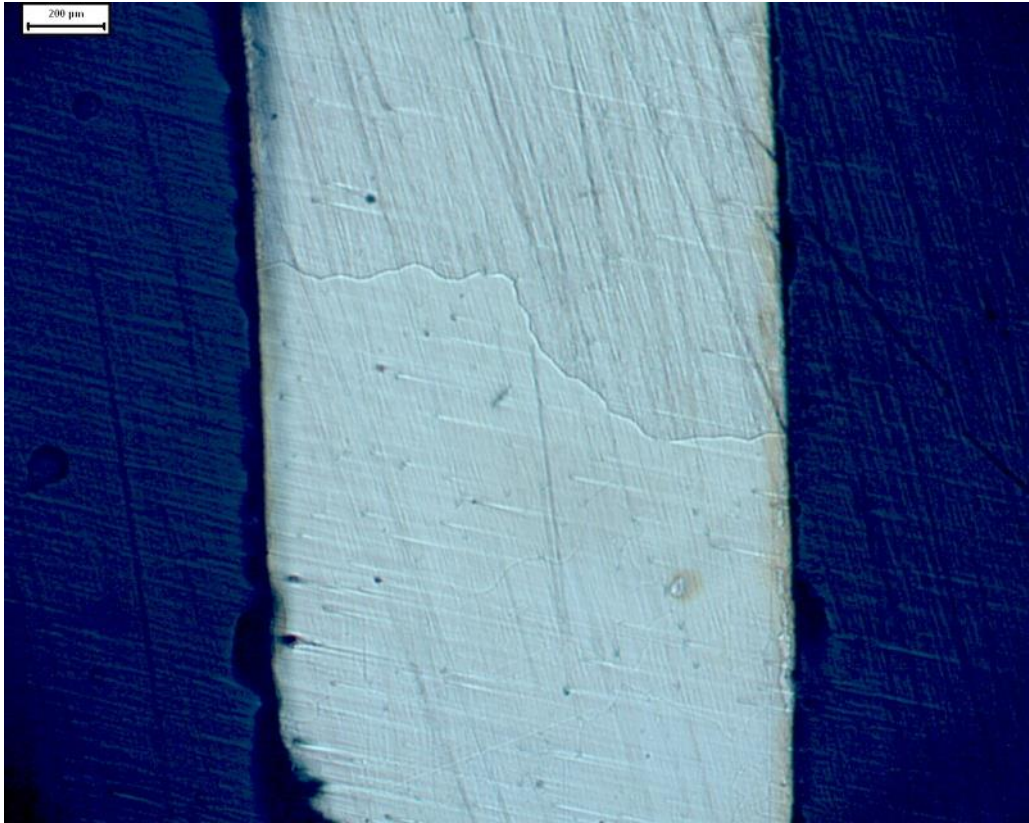
Şekil 7.9 Monteye alınmış numuneler

Ardından zımparalama cihazında sırasıyla 600, 800, 1000 ve 1200 mesh boyutlarındaki zımparalar ile zımparalanmıştır. Zımpara işlemi altından en az kayıp vermek için özellikle sadece ince zımparalar kullanılmıştır. Zımparalama işleminin ardından parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Parlatma işleminin ardından %5 KCN ve %5 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ içeren bir çözelti ile dağlanmış ve Şekil 7.10’da verilen mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir.

Referans numune ile birlikte farklı bileşimlere sahip A_1 , A_2 ve A_3 kodlu numunelerin mikroyapı görüntüleri farklı büyütmelerde incelenmiştir. A_1 ve A_2 bileşimlerinde farklı tane küçültücülerin etkisi incelenmiştir. A_1 ’de tane küçültücü olarak Zr ve B kullanılmış, A_2 ’de ise sadece sadece B kullanılmıştır. A_3 bileşiminde ise tane küçültücü kullanılmamıştır. Referans, A_1 , A_2 ve A_3 kodlu numunelerin her biri için 50x, 100x ve 200x büyütmelerdeki mikroyapıları Şekil 7.10, Şekil 7.11, Şekil 7.12, Şekil 7.13, Şekil 7.14, Şekil 7.15, Şekil 7.16, Şekil 7.17, Şekil 7.18, Şekil 7.19, Şekil 7.20 ve Şekil 7.21’de verilmiştir.



Şekil 7.10 Referans numunenin 50x'teki mikroyapı görüntüsü



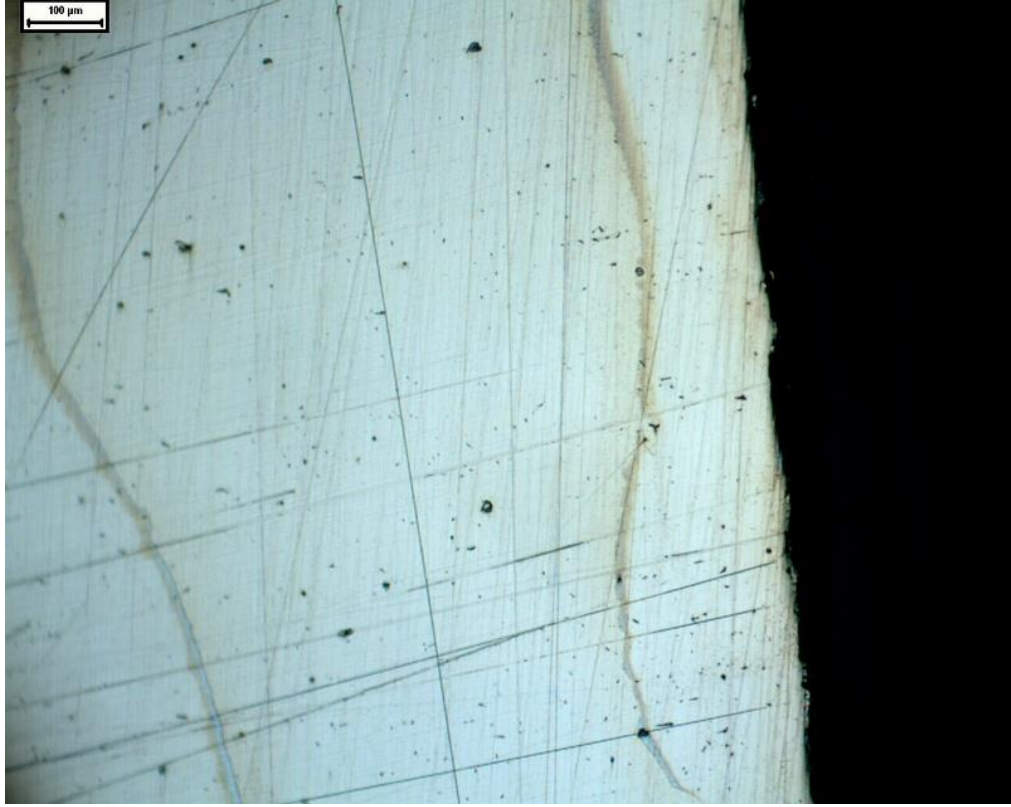
Şekil 7.11 A₃ kodlu numunenin 50x'teki mikroyapı görüntüsü



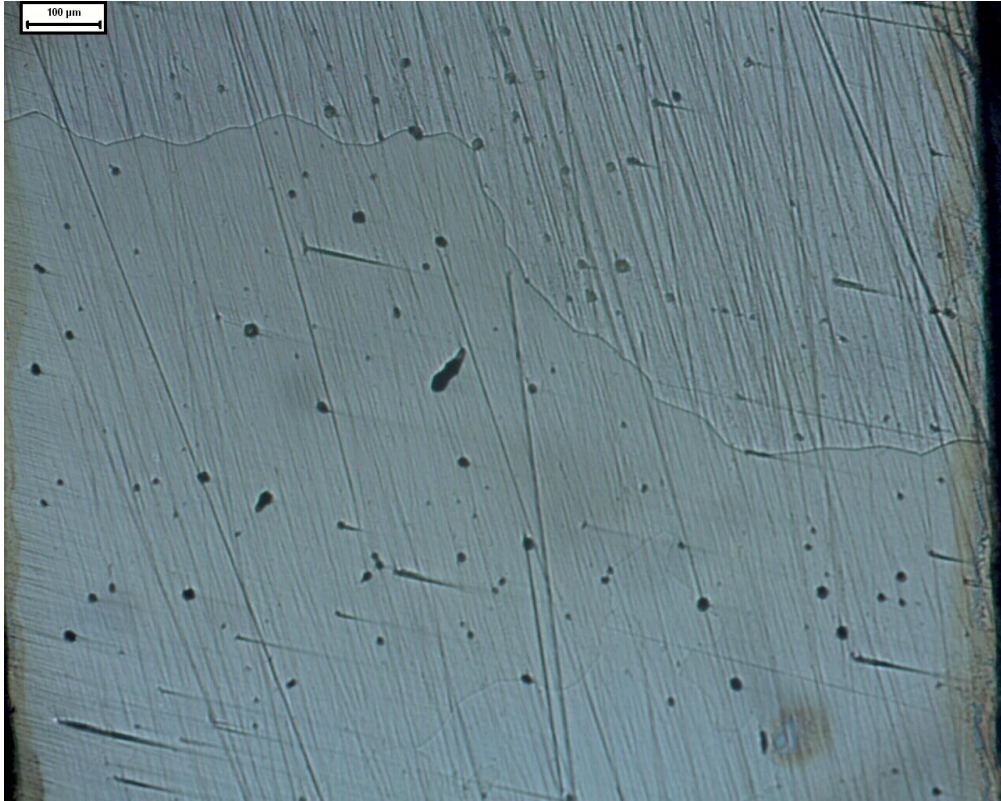
Şekil 7.12 A₁ kodlu numunenin 50x'teki mikroyapı görüntüsü



Şekil 7.13 A₂ kodlu numunenin 50x'teki mikroyapı görüntüsü



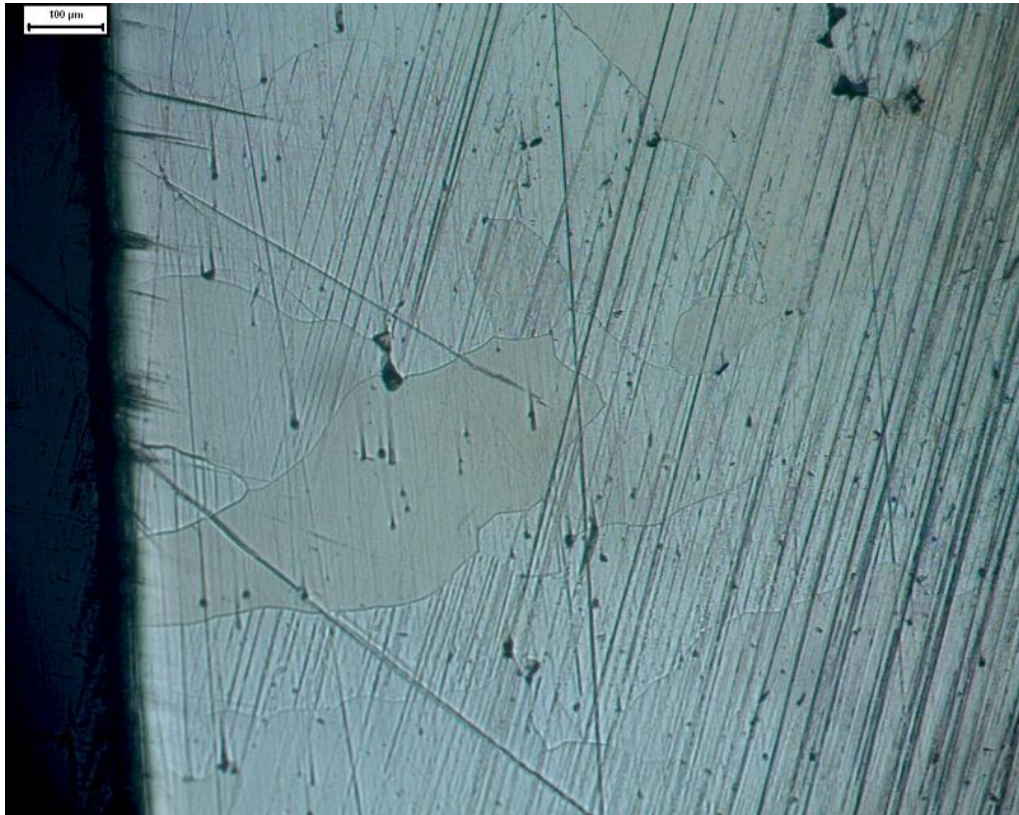
Şekil 7.14 Referans numunenin 100x'teki mikroyapı görüntüsü



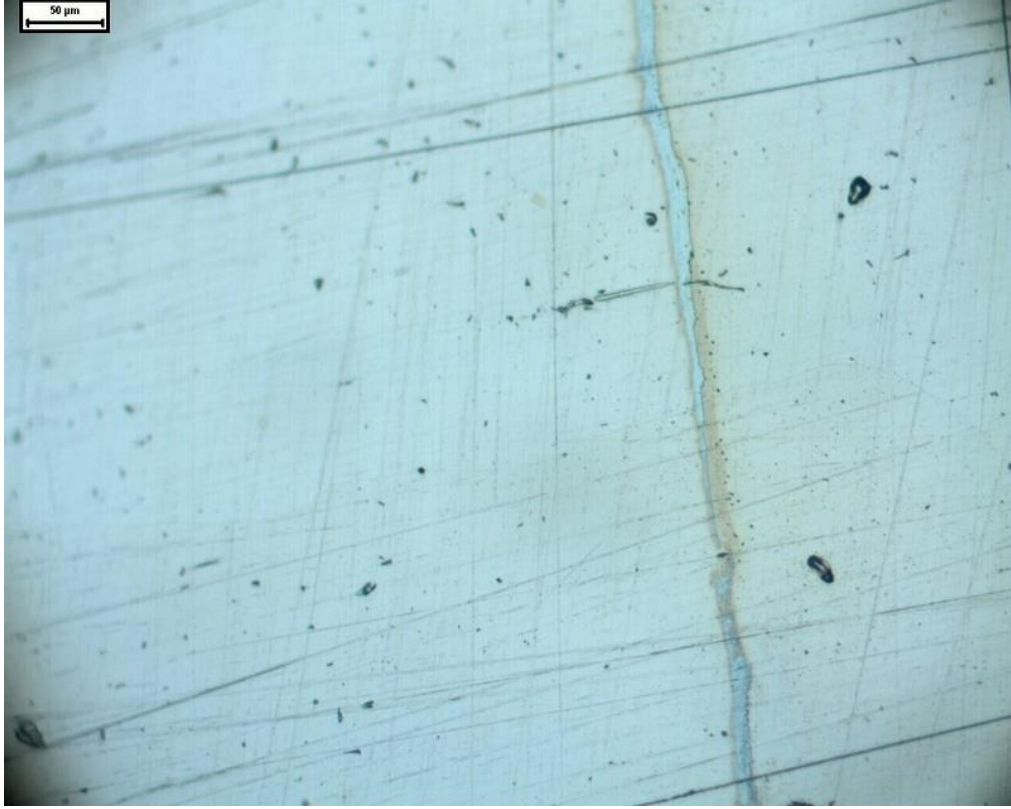
Şekil 7.15 A₃ kodlu numunenin 100x'teki mikroyapı görüntüsü



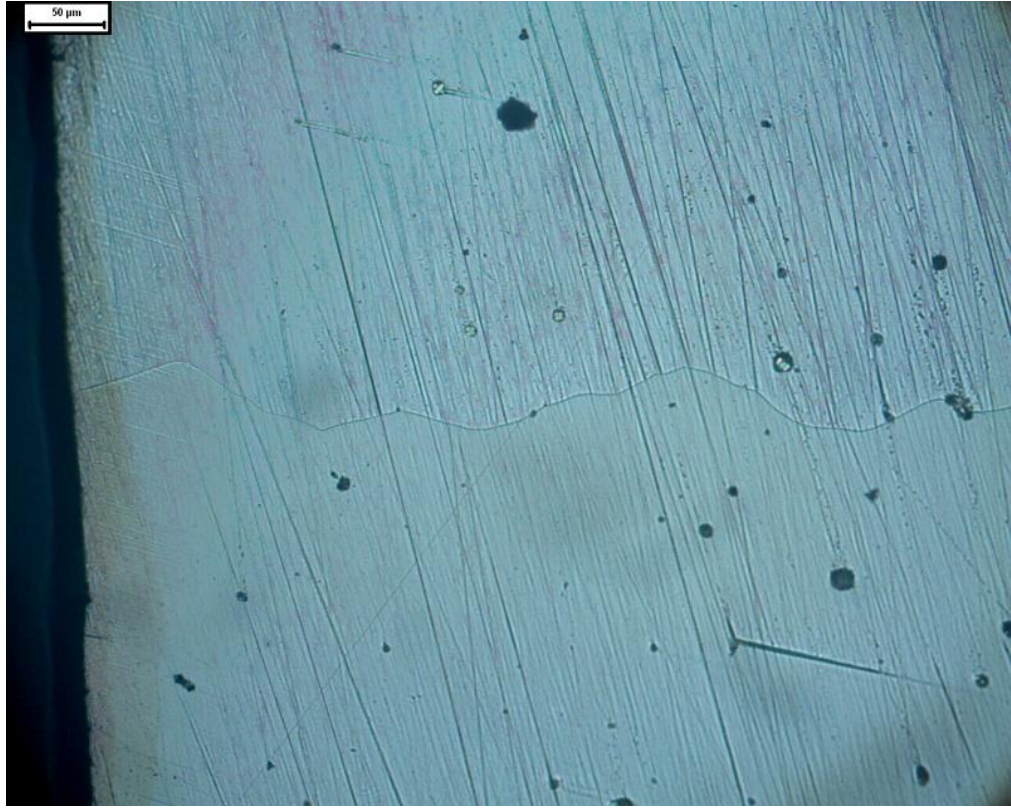
Şekil 7.16 A₁ kodlu numunenin 100x'teki mikroyapı görüntüsü



Şekil 7.17 A₂ kodlu numunenin 100x'teki mikroyapı görüntüsü



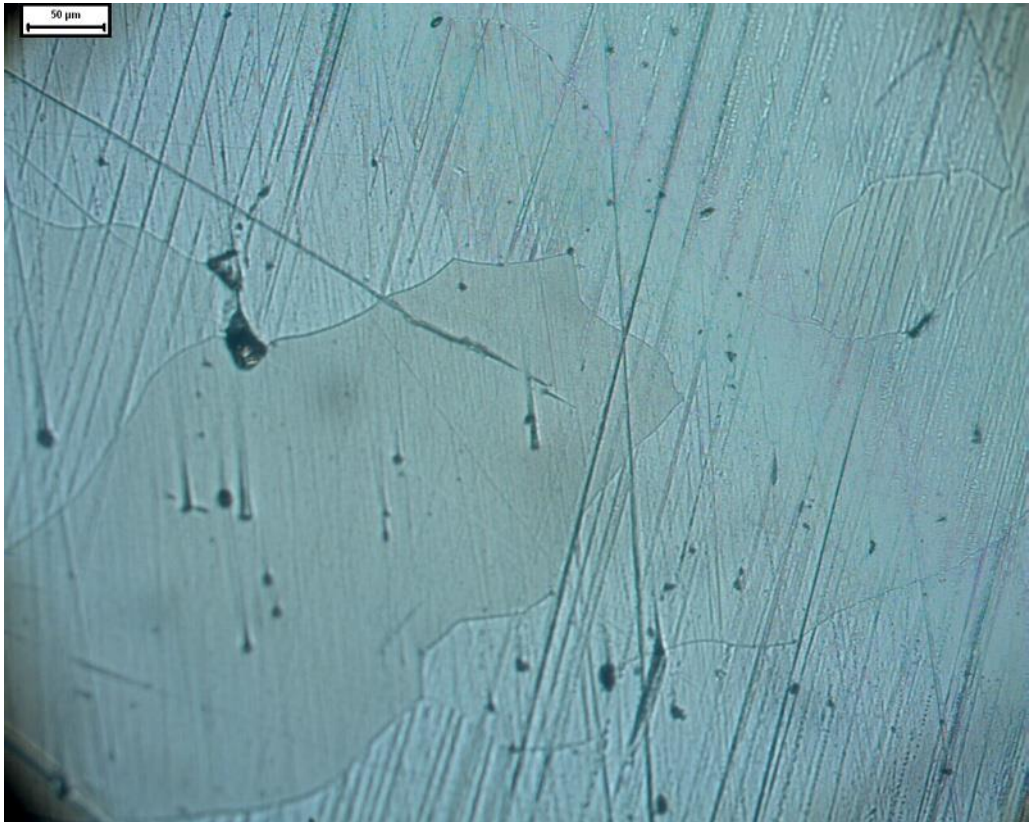
Şekil 7.18 Referans numunenin 200x'teki mikroyapı görüntüsü



Şekil 7.19 A₃ kodlu numunenin 200x'teki mikroyapı görüntüsü



Şekil 7.20 A₁ kodlu numunenin 200x'teki mikroyapı görüntüsü



Şekil 7.21 A₂ kodlu numunenin 200x'teki mikroyapı görüntüsü

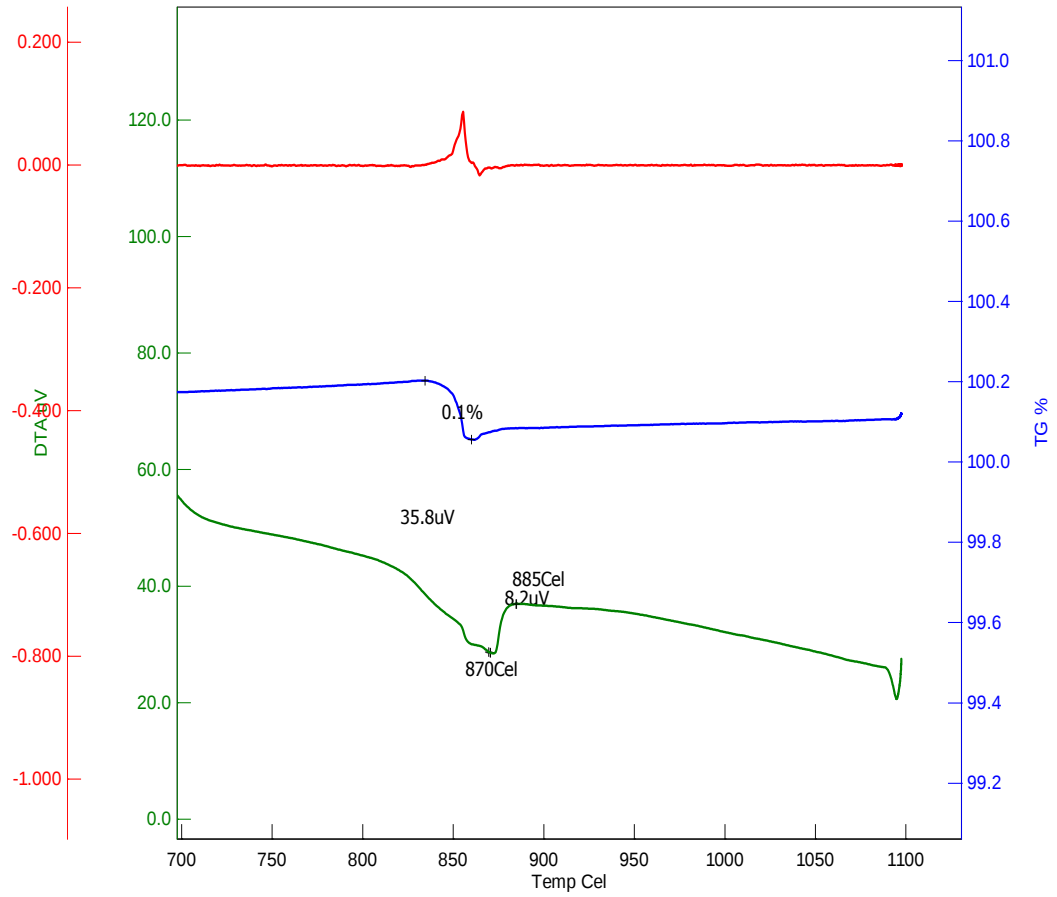
Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde Zr en etkili tane küçültücü olarak öne çıkmaktadır. Borun tane küçültmeye etkisi olmakla birlikte Zr kadar etkili olmadığı gözlenmiştir. Ayrıca yapılan elde ettiğimiz bu mikroyapı görüntülerinden referans numunede kullanılan alaşımın içeriğinde tane küçültücü olmadığı sonuca varılmıştır.

7.5 DTA (Diferansiyel Termik Analiz)

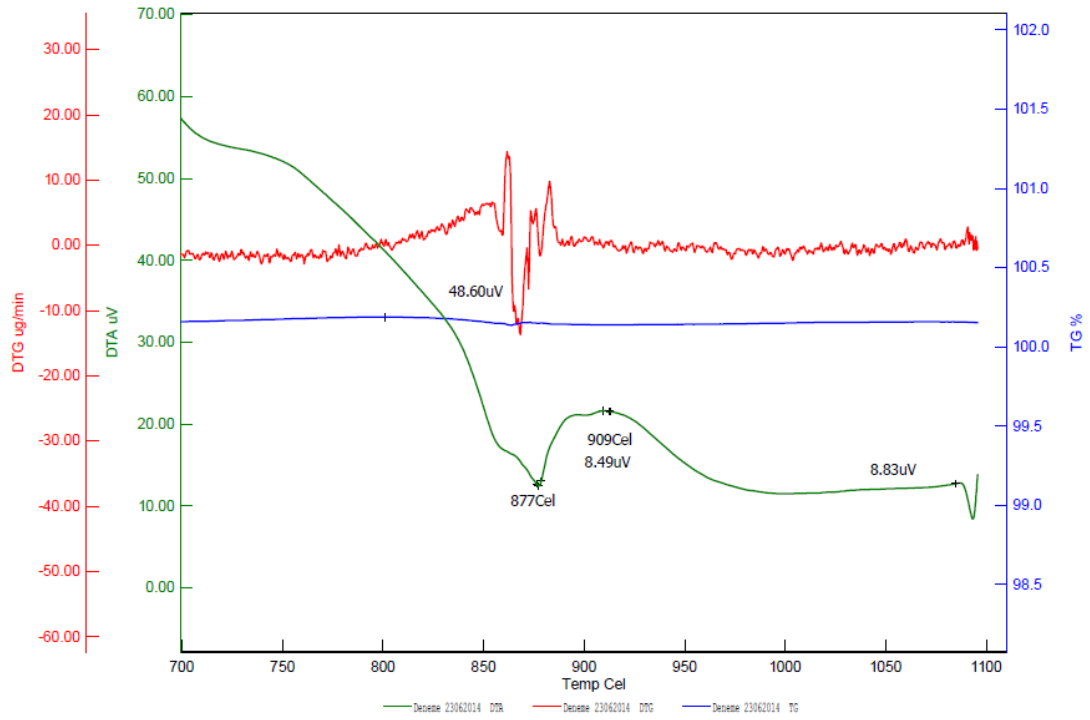
Altın alaşımlarında solidüs ve likidüs eğrilerinin birbirlerine göre konumu oldukça önemlidir. Solidüs ve likidüs eğrileri birbirine ne kadar yakın olursa altının gözenekliliği merkeze o kadar yakın olur. Bu durum da daha iyi bir yüzeye sahip olduğunun göstergesidir.

Referans malzeme ve bu çalışmada dizaynı ve üretimi gerçekleştirilen malzemeden alınan birer numunenin DTA analizleri yapılmıştır. Alaşımların solidüs ve likidüs eğrilerini çıkartılarak gözeneklilik durumu bakımından referans malzeme ile kıyaslama yapılmıştır.

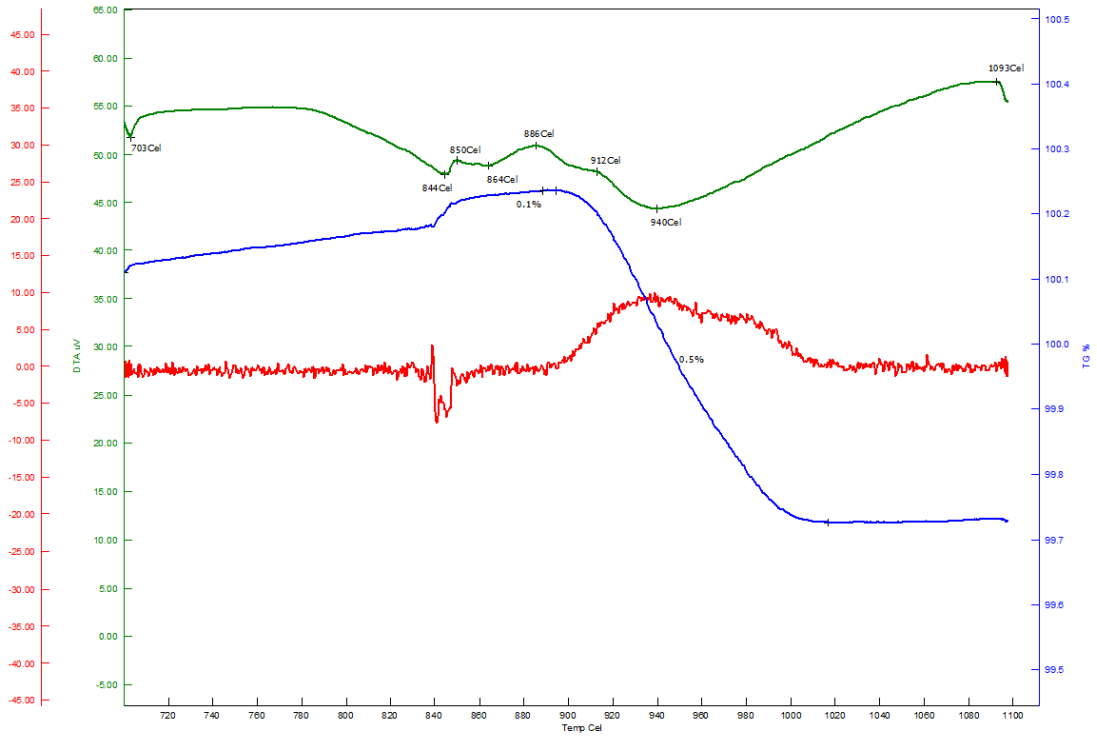
Referans numunenin solidüs-likidüs eğrilerinin arasındaki fark 15°C'dir. Referans numuneye ait DTA deney sonucunun grafiği Şekil 7.22'de görülmektedir. Yapılan ilk denemeye ait olan DTA sonucunda ise hazırlamış olduğumuz 1 numaralı numuneye ait solidüs-likidüs eğrilerinin arasındaki fark 32°C bulunmuştur. Deney sonucuna ait grafik Şekil 7.23'te görülmektedir. Bu değer referans numune ile kıyaslandığında kabul edilebilir sınırdan uzaktadır. Bu nedenle bileşim değişikliğine gidilerek üretilen 2 numaralı numuneye de DTA deneyi yapılmış ve bu deney sonucunda kabul edilebilir bir değer olan 20°C'lik bir fark oluşmuştur. Bu deneye ait DTA sonuç grafiği Şekil 7.24'te görülmektedir.



Şekil 7.22 Referans numuneye ait DTA sonuç grafiği



Şekil 7.23 1 numaralı numuneye ait DTA sonuç grafiği (32°C)



Şekil 7.24 2 numaralı numuneye ait DTA sonuç grafiği (20°C)

DTA deneyinde kullanılan 1 ve 2 numaralı numunelerin bileşimleri dikkate alındığında Zn miktarındaki artışın solidüs ve likidüs eğrilerinin değerlerini aşağıya doğru çektiği ve kullanılan Ag miktarının azaltılıp Zn miktarının artışı ile solidüs likidüs eğrileri arasındaki farkta ciddi bir azalma olduğu gözlenmiştir. 1 ve 2 numaralı numunelerin bileşimleri Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3 1 ve 2 numaralı DTA deney numunelerinin bileşimleri

Numune No	Bileşim (%)			
	Au	Ag	Cu	Zn
1	58,5	11	25,5	5
2	58,5	9	25,5	7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı ülkemizde önemli bir yere sahip olan kuyumculuk sektörünün en önemli girdilerinden olan ithal döküm alaşımlarına alternatif olabilecek bileşimlerde mastır alaşımlar üretebilmektir. Mevcut ithal referans alaşımlara yapılan testler sonucunda bu alaşımların sahip olduğu mekanik özellikler, renk ve yapısal özellikler tespit edilmiştir. Yapılan teorik ve deneysel çalışmalar ile en azından referans numuneler ile aynı, mümkünse daha iyi özelliklere sahip mastır alaşımların dizaynı ve üretimi amaçlanmıştır.

Yapılacak karşılaştırmalar için sertlik, çekme mukavemeti, % uzama miktarı, renk, tane boyutu ve DTA değerleri kriter olarak belirlenmiştir. Referans numune ve yapılan üretimlere ait numunelere bu özelliklerini tespit etmek için testler uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar bir önceki bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çalışma sonucunda metalurjik dizaynı ve üretimi yapılan alaşımların test sonuçları ile referans alaşıma ait değerleri teker teker değerlendirmek gerekirse;

- **Sertlik;** referans alaşımın sahip olduğu sertlik değerleri yakalanmış hatta yapılan üretimler referansa göre birkaç puan daha yüksek ortalamaya sahip bir ortalama değere sahiptir. Dolayısıyla sertlik bakımından hedeflenen değer yakalanmış ve hatta daha iyi sertlik değerlerine sahip numuneler üretilmiştir.
- **Çekme mukavemeti;** referans alaşımdan çok daha yüksek değerlere sahip numuneler üretilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda çekme

mukavemetinde sağlanan bu yüksek değerlerin özellikle tane küçültücülerin ilavesi ile elde edildiği sonucuna varılmıştır.

- **% uzama miktarı;** referans alaşıma göre ortalama olarak birkaç puan yüksek olmakla birlikte özellikle son üretilen numunelerde oldukça yüksek uzama değerlerine ulaşılmıştır.
- **Renk;** spektrofotometre cihazı kullanılamamakla birlikte, döküm ustalarının tecrübelerinden ve referans numunelerden faydalanılarak sektör taleplerine uygun tonlarda üretimler yapılarak bu alandaki hedeflere ulaşılmıştır.
- **Tane boyutu;** yapılan mikoyapı incelemelerinde referans numunede tane küçültücü kullanılmadığı ve dolayısıyla oldukça iri taneli bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Hem tane küçültücülü hem de tane küçültücüsüz alaşımlar hazırlanarak ve diğer mekanik özellikleri de sağlayacak şekilde iri ve küçük taneli numuneler üretilmiştir.
- **DTA;** yapılan analizlerde referans numunenin solidüs ve likidüs noktaları arasında 15°C'lik bir farka sahip olduğu belirlenmiştir. Üretilen ilk numunenin hem sahip olduğu değerler hem de iki nokta arasında 32°C'lik bir farka sahip olması nedeniyle uygun bulunmamıştır. İkinci denemede ise 20°C'lik farka sahip, referansa daha yakın ve kabul edilebilir bir bileşime ulaşılmıştır.

Bütün bu kriterler ve elde edilen sonuçlar incelendiğinde üretilen numuneler ile ülkemiz kuyumculuk sektörünün en önemli girdilerinden olan ithal mastır alaşımlara alternatif olabilecek özelliklere sahip mastır alaşımlar üretilmesi konusunda önemli yol kat edilmiştir. Birçok özellik bakımında referans alaşımın özelliklerine ulaşan ve hatta önemli bir kısmında daha iyi özelliklere sahip olan bu alaşımların, bir takım küçük geliştirmeler ile sektörde kullanılan ithal mastır alaşımlara önemli bir alternatif oluşturması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Sarı, A., (2006). Altın Alaşımlarında Tane Küçültmenin Derin Çekmeye Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Gürdal, B., (2008). Cila Ramatlarından Altın Geri Kazanımı ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Erdem, B., (2006). İkincil Kaynaklardan Altın Geri Kazanımı ve Rafinasyon Prosesinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Gümüş, A., Aksoy, A., Sarı, M., Kaya, M., Can, Ö., Tamer, Ö., Doğan, S., Yıldırım, T., (2014). Değerli Metal Alaşımlarının Metalürjik Dizaynı ve Üretimi, Lisans Bitirme Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- [5] Sumer, P., (2009). Düşük Konsantrasyonlu Çözeltilerden Solvent Ekstraksiyon Yöntemiyle Rodyum, Altın ve Gümüş Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] National Gallery of Art, Exhibitions, http://www.nga.gov/exhibitions/2011/antico/pl09_dex29.shtm, 10 Ağustos 2014.
- [7] Sayın, Z.E., (2010). Altın Konsantresinden Doğrudan Liç ile Altın Eldesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [8] Başaran, H.Ö., (2010). Altın Cevherlerinin Ateş Analizlerinde Kullanılan Curuflaştırıcıların Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] T.C. Darphane ve Damga Matbaası Genel Müdürlüğü, Cumhuriyet Altını Üretimi, http://www.darphane.gov.tr/tr/content.php?parent_id=201&content_id=201, 13 Ağustos 2014.
- [10] Grimwade, M., (1985). Introduction to Precious Metals, Newnes Technical Books, London.
- [11] Küçük, C., (2007). Siyanürle Liç Yöntemiyle Cevherden Altın Kazanımı, Çevresel Sorunlar ve Türkiye Örnekleri (Türkiye Açısından Altın Üretimi), Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [12] FIFA, World Cup, www.fifa.com, 10 Ağustos 2014.
- [13] Türkiye Madenciler Derneği, (2002). Dünyada ve Türkiye’de Altın Madenciliği, <http://kozaaltin.com.tr/upl/turkiyemadencilerdernegialtin.pdf>, 15 Ağustos 2014.
- [14] Habashi, F., (1997). Handbook of Extractive Metallurgy, Wiley-VCH, Germany.
- [15] Önel, Ö., (2011). Altın Cevherinin Zenginleştirilmesinde Kullanılan Yoğunluğa Dayalı Zenginleştirme Yöntemleri ve Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [16] Durmaz, C., (2012). Kuyumculuk Kökenli Curuflardan Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri ile Altın Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] Bernstein, L.P., (2004). Power of Gold, John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, England.
- [18] Turan, A., (2009). Keban Yöresi Piritik Refrakter Altın Cevherlerinin Ateş Analizi Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] Altın Madencileri Derneği, <http://www.altinmadencileri.org.tr/userfiles/file/maden%20web-24-10-08.pdf>, 20 Ağustos 2014.
- [20] Metals Handbook Committee, (1990). *Metals Handbook*, 10th editions, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 13:704-707.
- [21] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Hayat Boyu Öğrenme Genel Müdürlüğü, http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/kuyumculuk/moduller/alasim_metal_oranlari.pdf, 20 Ağustos 2014.
- [22] Kurtoğlu, A., Tuğrul, A.B., (2006). “Gama absorpsiyon tekniği ile kıymetli metallerin analizi ve değerlendirilmesi”, İTÜ Dergisi, 5(3): 143-154.
- [23] Cretu, C., van der Lingen, E., (1999). “Coloured Gold Alloys”, Gold Bulletin, 32(4): 115-126.
- [24] Heidelberg, http://www.us.heidelberg.com/www/html/en/content/articles/myheidelbergonline/color_management, 20 Ağustos 2014.
- [25] University of South Carolina, School of Medicine, http://dba.med.sc.edu/price/irf/Adobe_tg/models/cielab.html, 20 Ağustos 2014.
- [26] University of South Carolina, School of Medicine, http://dba.med.sc.edu/price/irf/Adobe_tg/models/munsell.html, 20 Ağustos 2014.
- [27] Munsell, A.H., (1905). A Color Notation, Geo. H. Ellis Co., Boston.
- [28] Internet Archive, <https://archive.org/details/acolornotation00munsgoog>, 20 Ağustos 2014.

- [29] Rochester Institute of Technology, http://www.rit.edu/cos/colorscience/ab_munsell_diaries.php, 20 Ağustos 2014.
- [30] Munsell Color, Color Blog, <http://munsell.com/color-blog/tom-parish-munsell-interview-podcast/>, 20 Ağustos 2014.
- [31] Akalır, N.E., (2006). Altın Mastır Alaşımları, Yılıçi Projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- [32] Köse, E., (2003). Altın Alaşımlarının Metalurjisi, Lisans Bitirme Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- [33] Güler, K.A., (2011). Hassas Dökümde Boyutsal Hassasiyete ve Yüzey Kalitesine Etki Eden Unsurlar, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [34] Tarih ve Arkeoloji Blog, Alacahöyük, <http://tarihvearkeoloji.blogspot.com.tr/2014/03/alacahoyuk.html>, 22 Ağustos 2014.
- [35] Hunt, L.B., (1980). "The Long History of Lost Wax Casting", Gold Bulletin, 13: 63-79.
- [36] Kerr Casting, 2012 Product Catalog, <http://www.kerrcasting.com/>, 22 Ağustos 2014.
- [37] Hitchiner Manufacturing Co., Inc., Publications, http://www.hitchiner.com/publications/Intro_to_IC.pdf, 22 Ağustos 2014.
- [38] JewelwaxCoUk, <http://jewelwax.co.uk/>, 24 Ağustos 2014.
- [39] Teknik Döküm, Ansiklopedi, http://www.teknikdokum.com/uploads/Dokum_Kilavuzu_reklamsiz.pdf, 24 Ağustos 2014.
- [40] AliexpressCom, <http://tr.aliexpress.com/item/Yihui-Casting-rubber-base-for-making-wax-tree-making-jewelry-tools/1391417451.html>, 24 Ağustos 2014.
- [41] TurkcadcamNet, Raporlar, <http://www.turkcadcam.net/rapor/otoinsa/images/meiko-cs-ic-tree-big.jpg>, 27 Ağustos 2014.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ozan BÜLBÜL

Doğum Tarihi ve Yeri : 14.04.1989 / Adana

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ozanbulbul89@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Metalurji ve Malzeme Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimler	Dört Yol Süleyman Demirel Anadolu Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010	İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.	Stajyer
2011	İlhanlar Haddecilik Boru Profil A.Ş.	Stajyer
2013	YTÜ Malzeme Muayeneleri Lab. LAK/YT Birimi	Proje Teknik Uzmanı