

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RENKLİ – KATMANLI PLAKA OLUŞTURMA YÖNTEMİ VE
LEHİMSİZ ALYANS ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Candeniz UYSAL

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RENKLİ – KATMANLI PLAKA OLUŞTURMA YÖNTEMİ VE
LEHİMSİZ ALYANS ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Candeniz Uysal
(506121207)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Servet TİMUR

AĞUSTOS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506121207 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Candeniz UYSAL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Renkli - Katmanlı Plaka Oluşturma Yöntemi ve Lehimsiz Alyans Üretimi**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Servet TİMUR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sebahattin Gürmen**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Gökhan Orhan**
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **13 Ağustos 2014**
Savunma Tarihi : **20 Ağustos 2014**

Prof. Dr. Veli Aytekin'e,

ÖNSÖZ

Sadece mesleki çalışmalarda değil hayatımın tüm alanında bilgi birikimi ve tecrübesiyle yol gösterici olan, etik ve ahlaki değerleri başladığım her işte ilk öncelikte tutmayı öğrendiğim değerli hocam Prof. Dr. Servet Timur'a bana kattıkları ve anlayışı için teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışma disiplini öğrenmem ve karşılaştığım problemlerin basitleştirmesini öğrendiğim değerli hocam Yar. Doç. Dr. Nuri Solak'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması başta olmak üzere tüm mesleki kararlarımda yanımda olan, desteğini ve güvenini sürekli hissettiğim Araş. Gör. Yasin Kılıç ve Uzman Ayşe Kılıç'a teşekkür ederim.

Fakültedeki tüm çalışmalarında desteklerini esirgemeyen ve aynı ekipte bulunmaktan keyif aldığım Araş. Gör. Dr. Güldem Kartal, Araş. Gör. Levent Kartal, Yük. Müh. Perim Özkalafat, ve Yük. Müh. Cevahir Durmaz'a ve beraber çok şey öğrendiğimiz grup stajerimiz Çağatay Üstün'e teşekkür ederim.

Sistem tasarımları ile deneylerin gerçekleştirilmesinde bilgi birikimini ve tecrübelerini benimle paylaşan ve her zaman destek olan Yük. Müh. Ahmet Turan ve Met. Müh. Emin Kondakçı'ya, karşılaştığım tüm sorunlarda sürekli yanımda olan Araş. Gör. Murat Alkan ve Araş. Gör. Mehmet Buğdaycı'ya, analizlerin gerçekleşmesinde desteğini esirgemeyen Araş. Gör. Onur Tazegül, Araş. Gör. Emre Tekoğlu, Araş. Gör. Doğukan Çetiner ve Yük. Müh. Berk Alkan'a, tez çalışmasına yapmış oldukları katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Çalışma ortamımızın samimi ve daha verimli olması adına tecrübe ve emekleriyle her zaman yanımda olan Yük. Müh. Kenan Eke, ve Metalurji ve Malzeme Müh. Mahmut Sefa Berke'ye teşekkürlerimi sunarım.

Zihinsel aktivelerde olduğu kadar tüm spor aktivitelerinde de yanımda Maden Müh. Can Polat'a dostluğu ve bana kattıkları için teşekkür ederim.

Dostluğunu ilk günden beri esirgemeyen ve ticari hayatta da arkadaşılığımızdan hiçbirşey kaybetmeden birlikte keyif alarak çalıştığım Yük. Müh. Hasan Fehmi Çapın'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tanıştığım günden beri mesleki ve özel hayatımda önemli yere sahip olan ve maddi manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen Dr. Selim Ertürk ve Araş. Gör. Cengiz Yıldız'a teşekkür ederim.

Bu çalışmayla beraber hayatımda attığım her adımda koşulsuz destekçim ve en büyük motivasyon kaynağım ailem ve kız arkadaşım Emine Taban'a varlıklarıyla kendimi bu kadar şanslı görmemi sağladıkları için şükranlarımı sunarım.

Ağustos 2014

Candeniz Uysal
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. KUYUMCULUKTA KULLANILAN METALLER	3
2.1 Altın.....	3
2.2 Gümüş	5
2.3 Bakır	6
2.4 Platin.....	7
2.5 Altın Alaşımları.....	9
2.5.1 Renkli altın alaşımları	10
2.5.2 Beyaz altın alaşımları	12
3. BİRLEŞTİRME TEKNOLOJİSİ.....	15
3.1 Lehim İşlemi	15
3.2 Kaynak İşlemi	16
3.3 Sürtünme Kaynağı.....	18
3.4 Ultrasonik Kaynak.....	19
3.5 Soğuk Basınç Kaynağı	20
3.6 Difüzyon Kaynağı	21
4. MOKUME GANE TAKI ÜRETİM YÖNTEMİ.....	23
4.1 Mokume Gane Tekniği.....	23
4.2 Mokume Gane Tarihçesi	23
4.3 Klasik Mokume Gane Üretim Yöntemi	25
4.4 Etkin Parametreler ve İşlem Kısıtları	27
4.5 Nihai Ürün Özellikleri.....	27
5. YÜZÜK ALYANS İMALATI.....	29
5.1 Halka Bükme ve Kaynak veya Lehim İşlemi:	29
5.2 Hassas Döküm.....	30
5.3 Borudan Kesme İşlemi	31
5.4 Kalın Plakadan Talaşlı Yöntemlerle Halka Üretimi.....	32
5.5 Toz Metalurjisi İle Üretim.....	32
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	35
6.1 Malzeme Seçimi	35
6.2 Malzeme Hazırlama	36
6.3 Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar	37
6.4 İnfrared Deney Sistemi.....	38
6.5 İndüksiyon Sistemi Deneyleri	39

6.6 Redüktan Atmosfer Deneyleri	41
7. DENEY SONUÇLARI ve İRDELEMELER	43
7.1 Sıcaklık deneyleri ve karakterizasyonları.....	43
7.2 Süre Deneyleri ve Karakterizasyonları.....	48
8. GENEL SONUÇLAR VE İRDELEMELER.....	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ	57

KISALTMALAR

XRF	: X-Işınları Flüoresan Spektrometresi
XRD	: X-Işınları Difraksiyon Spektrometresi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	: Enerji Ayırıcı X-Işınları Spektrometresi

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Altının Fiziksel Özellikleri.....	4
Çizelge 2.2 : Gümüşün Fiziksel Özellikleri.....	5
Çizelge 2.3 : Bakırın Fiziksel Özellikleri	7
Çizelge 2.4 : Platinin Fiziksel Özellikleri.....	8
Çizelge 2.5 : Farklı altın alaşımlarının altın içerikleri	10
Çizelge 6.1 : Bakır ve gümüş numunelerinin kimyasal analizleri	37
Çizelge 6.2 : Farklı Deney Sistemleri Parametleri	42
Çizelge 7.1 : Sıcaklık Deneyleri Parametreleri.....	43
Çizelge 7.2 : Süre Deneyleri Parametleri	48

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Altın Kullanım Oranları.	4
Şekil 2.2 : Gümüş Kullanım Oranları.	6
Şekil 2.3 : Bakırın Kullanım Alanları.	7
Şekil 2.4 : Platin kullanımı oranları [7].	9
Şekil 2.5 : Altın-Gümüş-Bakır Sistemi Faz Diyagramları[9].	11
Şekil 2.6 : Altın-Bakır-Gümüş Siteminde Renk-Bileşim İlişkisi [10].	13
Şekil 3.1 : Kaynak yöntemlerine ait genel sınıflandırma.	16
Şekil 3.2 : Metal kaynak yöntemlerine ait genel sınıflandırma.	17
Şekil 3.3 : Sürtünme kaynağı hareket türleri.	18
Şekil 3.4 : Sürtünme kaynağına uygun parça kesitleri.	19
Şekil 3.5 : Sonotrod; elektro-akustik dönüştürücü.	19
Şekil 3.6 : Soğuk basınç nokta kaynağı örneği.	20
Şekil 3.7 : Soğuk basınç kaynağı yönteminin şematik gösterimi.	21
Şekil 4.1 : Mokume Gane Yüzük Örnekleri [22].	24
Şekil 4.2 : Lehimle birleştirme [24].	25
Şekil 4.3 : Akım Şeması.	26
Şekil 4.4 : Olası Hata Bölgeleri[25].	28
Şekil 5.1 : Bükülerek Yuvarlatılmış yüzük ve lehim için uçlarına yerleştirilmiş ilave metal parçalar (a) ve sert lehim yapılmış yüzük(b) [27-28].	30
Şekil 5.2 : Mum modelin imalatı, ürün ağacının oluşturulması, döküm ve döküm sonrası işlemler [30].	31
Şekil 5.3 : Kalın plakandan yüzük üretim işlemi ve nihai ürün [31].	32
Şekil 5.4 : Toz halindeki malzemenin önce pul biçiminde şekillendirilmiş, ardından sinterlenmiş ve en sonunda bitirme işlemleri ile elde edilmiş yüzük biçimleri [32].	33
Şekil 6.1 : Ag-Cu İkili Faz Diyagramı [33].	35
Şekil 6.2 : Ag-Cu Alaşımlarının Bileşime Bağlı Mek. Özellikleri [34].	36
Şekil 6.3 : Ayarlanabilir Basınçlı Deney Düzeneği.	38
Şekil 6.4 : Difüzyon kaynağı başarısız olmuş numune örnekleri.	39
Şekil 6.5 : İndüksiyon Sistemi Numunelerinin Çizgisel Atomal Dağılımı.	40
Şekil 6.6 : Tork Kutuları.	41
Şekil 6.7 : Redüktan Atmosfer Sistemi Numunelerinin Çizgisel Atomal Dağılımı.	42
Şekil 7.1 : Numunelerin önden ve yandan görünüşü.	44
Şekil 7.2 : 650 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmanın SEM mikrografı ve çizgisel EDS sonucu.	44
Şekil 7.3 : 700 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmanın SEM mikrografı ve çizgisel EDS sonucu.	44
Şekil 7.4 : 750 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmanın SEM mikrografı ve çizgisel EDS sonucu.	45
Şekil 7.5 : Sıcaklık Deneyleri Birleşim Bölgesi Kalınlıkları Grafiği.	46
Şekil 7.6 : T1 Numunesi kesit bölgesine ait mikroyapı.	46

Şekil 7.7 : T2 Numunesi kesit bölgesine ait mikroyapı.	47
Şekil 7.8 : T3 Numunesi kesit bölgesine ait mikroyapı.	47
Şekil 7.9 : 120 dk. süre ile 700 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmanın SEM mikrografı ve çizgisel EDS sonucu.....	48
Şekil 7.10 : 90 dk. süre ile 700 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmanın SEM mikrografı ve çizgisel EDS sonucu.....	49
Şekil 7.11 : 60 dk. süre ile 700 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmanın SEM mikrografı ve çizgisel EDS sonucu.....	49
Şekil 7.12 : Süre Deneyleri Birleşim Bölgesi Kalınlıkları Grafiği.	50
Şekil 7.13 : S1 numunesi kesit bölgesine ait mikro yapı.	51
Şekil 7.14 : S2 numunesi kesit bölgesine ait mikro yapı.	51
Şekil 7.15 : S3 numunesi ait kesit bölgesine ait mikro yapı.	51

RENKLİ - KATMANLI PLAKA OLUŞTURMA YÖNTEMİ VE LEHİMSİZ ALYANS ÜRETİMİ

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında geleneksel Uzak Doğu takı üretim sanatı olan Mokume Gane tekniğinin incelenmesi, sistem modernizasyon önerileri ve denemelerinin yapılması ve sisteme ait her bir işlem adımı için önem arz eden etkin parametrelerin irdelenmesini kapsamaktadır.

Mokume Gane üretim tekniği farklı renkteki metallerin plakalar halinde difüzyon ile birleştirilmesi ve ardından difüzyon yüzeyine dik olarak oluşturulan deformasyonların haddelme mekanik işlemi özel ve tekrar edilemeyen desenlere dönüştürülmesi kademelerinden oluşmaktadır.

Malzeme seçimindeki etken faktörlere faz diyagramları ve mekanik özellik tablolarından incelenerek bakır – gümüş metallerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Yerli üreticilerden standart kuyumculuk üretimine imkân tanıyan safiyette temin edilen numuneler belirlenen ölçülerde hassas olarak kesilmiştir. Elde edilen numunelerin yüzeylerinin temizlenmesi ve oksit tabakasının giderimi için kademeli olarak mekanik yüzey temizleme işlemine tabi tutulmuştur.

Azot ve oksijen atmosferinde ön deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda yapılan analizlerde açık atmosfer koşullarında yapılan deneyler ile metal plakalar üzerinde oksit tabakasının oluştuğu görülmüştür. Bu tabakanın difüzyon mekanizması üzerine olumsuz etkisi tespit edilmiştir.

İkinci grup deneylerde anlık basınç değişimlerinin oluşan difüzyon bağı üzerine etkilerini incelemek için atmosfer kontrollü bir sistem tasarlanmıştır. İndüksiyon bobininin içinden geçen bir cam tüp içerisinde anlık basınç kontrolü sağlayacak bir sistem tasarlanmış ve üretilmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği çalışma koşullarında yüksek sıcaklık sebebi ile basınç sağlayan ekipmanların mekanik özelliklerinde büyük değişimler gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı tüm deney serisi bu sistem ile istenilen verimde gerçekleştirilemediğinden alternatif bir sistem tasarımı zorunlu hale gelmiştir. Ayrıca sistemde ön denemelerin yapıldığı numunelere yapılan SEM-EDS analizlerinde birleşme yüzeylerinde boşluklar tespit edilerek sistemin ana sorunu da ortaya konulmuştur. Bahsi geçen bu problemlerden dolayı alternatif sistem tasarımı yapılarak üçüncü grup deneyler gerçekleştirilmiştir.

Atmosfer kontrollü olarak tasarlanan bu yeni sistemde tüp fırın kullanılarak yapılan üçüncü grup deneylerde basınç sabit kalmak koşulu ile ideal difüzyon sıcaklığı ve süresi tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklığa dayanıklı çelik malzemeden üretilen tork kutuları ile plakalar hidrolik pres altında sabitlenmiş ve farklı sıcaklıklarda oluşan difüzyon bölgelerinin karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan çizgisel elementel analizi ve metalografik incelemeler sonucunda en geniş difüzyon bölgeleri tayin edilmiştir.

Bu koşullarda üretilen numunelerin yüzeylerinde farklı mekanik deformasyonlar oluşturulmuş ve haddelenerek istenen yüzey görüntüsüne ulaşmaya çalışılmıştır. Mokuma Gane tipi yüzük üretimi için istenilen yüzey görüntüsüne üç katmanlı levha ile ulaşılammış olup çok daha ince ve çok daha fazla katmanlı yapılar kullanılarak üretilmesi önerilmiştir. Olumlu bir sonuç teşkil etmesi bakımından ideal koşullarda difüzyonu gerçekleştirilmiş çok katmanlı tabakadan farklı tasarımda örnek bir yüzük başarı ile üretilmiştir.

COLORFULL MULTILAYERED PLATE MANUFACTURING PROCESS AND SOLDER FREE WEDDING RING PRODUCTION

SUMMARY

This study comprises research about the traditional Japanese art of jewelry manufacturing technique which named Mokume Gane. At the same time determination of the effective parameters step by step for modernization suggestions. Mokume Gane technique involves different coloured metallic strips by diffusion bonding. After this the resulting structure deformed perpendicular the surface of diffusion bond. Finally deformed shape rolled for getting unique pattern and smooth surface.

In the field of jewelry, many different methods and models have been produced from past to present. Visual elements and aesthetic concerns as the most important factors about this development. These elements will move to the top level and unique product is a special method that will enable the production of Mokume Gane technique.

After the industrial revolution in metallurgy and materials science studies has gained momentum. New production methods have emerged in different places at the same time. Multi-layer structures not only in Far East, the Europe were also observed. The most important issue here, diffusion bonding has only the far east is seen as unique.

Getting together to or more parts for a specific purpose is called combining technology. Combining methods can be analyzed in two essential categories; permanent (which does not allow disassembly) and temporary (allowing disassembly).

Permanent combining methods are welding and soldering. Temporary combining methods are applying with the mechanical additional parts which are bolts, nuts, rivets so on. At this point, the agglutination process can be handled under the two main categories about adhesive's strength and ability.

In this study permanent joining techniques, soldering and welding operations necessary to examine the basic level, including solid-state welding process and is particularly focused on the diffusion welding method.

Identical or different, diffusion welding often used for the combining of metallic materials. Mainly developed for the aerospace industry and nuclear technology is known. The reason is not so; majority of the components used in this field sections apply heat in conventional welding methods within the reach of the elements or materials there are different reasons such as the use of conventional welding methods are not possible. On the basis of the same material diffusion welding material strength can reach values of approximately. The most important source parameters, welding temperature, pressure and time and the amount of strain amount is surface finish and protective atmosphere.

Mokume Gane technique is formed by three different successive phases: It starts with the diffusion of different colored sheet metals one into each other to form a single-body structure, then the process is followed by the plastic deformation step of this formed structure, and as the third step, deformed structure is rolled for getting unique patterns.

Unlike previous studies energy saving and shortening of the processing time and the atmosphere control in order to accelerate diffusion designed three different heating technology was tested. Preliminary experiments were carried via infrared technology. Problems encountered has led to the idea of using induction technology as an alternative method. However, the designed pressure system with controlled atmosphere is damaged by high temperature during the experiments. High temperature causes the plastic deformation on the structural steel equipments. In last system effects of the different processing temperatures and times were investigated about diffusion mechanism.

One of the foundations of the formation of the common cultural heritage ornaments and jewelry production. These items are not required for daily necessities and that is cosmetic products. The metals used in the jewelry industry compared to other metals has some outstanding features. They are; brightness, easy workability, high oxidation resistance. If one examines the historical and contemporary examples: gold, silver, copper and platinum have been found to find a wide application area in jewelry.

Copper and silver are the two metals have been selected considering their some specific properties. Key decision factors have been set by using phase diagrams and mechanical property tables. The raw materials which are provided by domestic producers with standard jewelry production purity. And then sheet metals have been shaped according to the determined sizes. Regular surface treatments for cleaning and oxide layer removal have applied on the samples.

Nowadays rings having different designs are used for ornamental purposes and are manufactured from various materials. Usually, gold, silver, copper, platinum, iron, aluminum and alloys of these metals are used in the material. According to their targeted customer base of manufacturers' materials, machinery and equipment status, design and product quality levels are determined. In the manufacture of simple products; cheaper methods, less costly materials, simple in design and production as much as possible the amount is attempted. For some amount of producing unique and original design products with valuable materials, manufacturing methods are also available.

Preliminary experiments were carried out under an atmosphere of nitrogen and oxygen. As a result of this experiments existence of oxygen causes consist of the oxide film layer and this layer's negative effect of diffusion bonding was determined.

In the second group of experiments a new experiments setup designed for the effect of instantaneous pressure changes on diffusion bond. The setup design and adapted for an instantaneous pressure change control in a glass tube passing through the induction coil. During the working conditions structural equipment are physically transformed and cannot keep their shapes. Because of this situation characterization studies showed gaps in the mating surface which get EDS. Unstable pressure applying conditions shows that an alternative experimental setup have to design.

In a tube furnace with controlled atmosphere third group experiment practiced. At a constant temperature, different pressure values are analyzed. The tork boxes, which

made of high temperature resistant steel fixed under a hydraulic press. After this consisting diffusion, bonds are characterized with different temperature values. It seems that the most effective diffusion bond occurs under these conditions.

Depends on the all characterization results the diffusion bond width, changes during different time and temperature values. The widest bonding occurs under 750⁰C and 90 minutes.

1. GİRİŞ

Mühendislik alanındaki bilgi birikimi ve tecrübe hem endüstriyel anlamda hem de teknik alanda ilerlemenin yanı sıra geleneksel üretim yöntemlerinin optimizasyonu ve yalınlaştırılması açısından en önemli faktörleri oluşturmaktadır. İnsanlığın varoluşundan bu yana neredeyse tüm çağlarda var olmuş metal işleme zanaatının temel metalurjik süreçlerle yorumlanması akademik alanda geniş bir çalışma sahası teşkil etmektedir.

Kuyumculuk alanında sanat olarak ele alınabilecek görsel unsurların dışında üretim ve işleme yöntemleri tamamen metalurjik süreçlerden oluşmaktadır. Tecrübeye dayalı bilgi birikimiyle oluşan üretim sistemlerinin bilimsel temellere oturtulmasıyla yeni üretim yöntemlerinin ortaya çıkması sağlanarak mevcut yöntemlerin kişiye ve ortama bağlı faktörlerinin etkisi ortadan kaldırılmıştır.

Görsel unsurların ve estetik kaygının kullanıcı tarafından en önemli unsur olarak ele alındığı kuyumculuk alanında geçmişten günümüze farklılık yaratacak birçok yöntem ve model üretilmiştir. Bu unsurları en üst seviyeye taşıyacak ve eşsiz ürünler üretimine olanak sağlayacak özel bir yöntem ise Mokume Gane tekniğidir.

Geleneksel Uzakdoğu takı üretim yöntemlerinden olan Mokume Gane bilirliliğinin artmasıyla bilimsel olarak ele alınmış ve klasik üretim aşamaları incelenerek modernizasyonu ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda birden fazla katman içeren bu yapının bir arada kalabilmesi için lehim, sıvı hal difüzyonu ve katı hal difüzyonu gibi mekanizmalar incelenerek etkili parametreleri tespit edilmiştir. Bununla beraber iki farklı metal plakanın bir araya getirilmesi sırasında karşılaşılan oksit film oluşumu, koruyucu atmosfer seçimi vb. problemleri aşmak üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan tez çalışmasında geleneksel yöntem ve konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalardan yola çıkılarak Mokume Gane takı üretim parametrelerinin en geniş anlamda incelenmesine dair bir deney sistemi oluşturulmuş ve optimum şartların belirlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak enerji tasarrufu ve işlem süresinin kısaltılması ve difüzyonun hızlandırılması adına atmosfer kontrollü olarak tasarlanan üç farklı ısıtma teknolojisi denenmiştir. Ön deneyler infrared teknolojisi kullanılarak yapılırken karşılaşılan sorunlar diğer bir alternatif ısıtma yöntemi olan indüksiyon teknolojisini kullanma fikrini doğurmuştur. Fakat tasarlanan plaka sabitleyici sistemin de indüksiyondan zarar görmesi ile yine atmosfer kontrollü olarak tasarlanan bir tüp fırın kullanılarak direk ısıtma yöntemi ile olumlu sonuçlar elde edilmiş olup üç farklı teknoloji kullanılarak üç farklı deney serisi oluşturulmuştur. Nihai sistemde farklı işlem sıcaklığının ve süresinin difüzyon mekanizmasına etkileri irdelenmiştir.

2. KUYUMCULUKTA KULLANILAN METALLER

Ortak kültür mirasının oluşumunun temellerinden biri de metalden yapılan süs eşyaları ve takılar olarak ele alınabilir. Bu varsayımın gerçekliği, ilk defa yaşamsal bir işlev dışında üretilen bu eşyaların estetik kaygının oluştuğunu göstermesidir. Fiziksel görünümün en önemli unsur olduğu takı üretiminde kullanılan metallerin diğer metallere göre üstün özellikleri;

- ✓ Parlaklık
- ✓ Kolay İşlenebilme
- ✓ Yüksek Oksidasyon Direnci,

olarak sıralanabilmektedir.

Bulunan en eski örnekler ve günümüzdeki ileri teknoloji ile elde edilmiş ürünler de göz önüne alındığında kuyumculukta,

- ✓ Altın
- ✓ Gümüş
- ✓ Bakır
- ✓ Platin ve grubu metaller

ve bu metallerin ana fazı oluşturduğu alaşımlar geniş kullanım alanı bulmaktadır.

2.1 Altın

Yer kabuğunda nabit olarak bulunabilmesi ve parlaklığı sebebiyle eski çağlardan beri önem taşıyan bir metaldir. Sahip olduğu değer sebebiyle nabit kaynakların tükenmesinin ardından madenciliğine önem verilmiş ve 1 ppm metalik konsantrasyona sahip cevherler dahi günümüzde verimli olarak işlenmektedir.

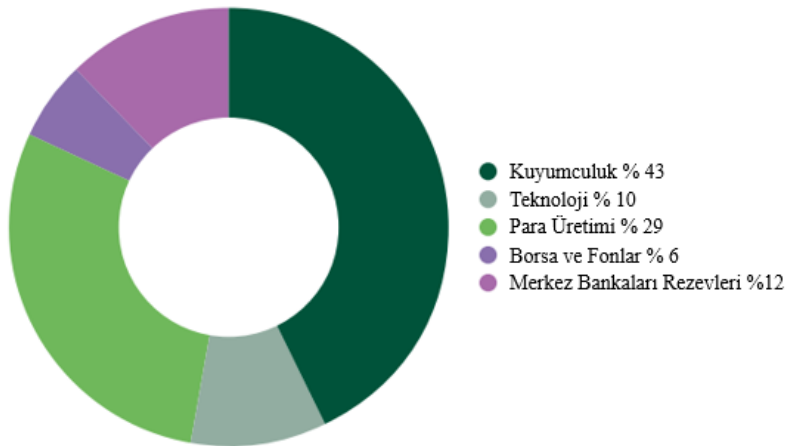
Metalik altının fiziksel özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Altının fiziksel özellikleri.

Atomal Ağırlık	196,967
Yoğunluk	19,3 kg/dm ³
Ergime Noktası	1063 ⁰ C
Buharlaştırma Noktası	2960 ⁰ C
20 kg/mm ²	200 Mpa (20 kg/mm ²)
Sertlik (Mohs)	2,5
Elastik Modül	8000 kg/mm ²
Termal Genleşme Katsayısı	14x10 ⁻⁶
Kristal Kafes Yapısı	Yüzey Merkez Kübik

Alman standartlarına göre metalik altının safiyeti %99,96 mertebesinde olmalıdır (Gümüş =%0,015, Fe= %0,006, Pd=% 0,01, Cu=%0,005 ve Bi=%0,001) [1].

Altının en yaygın kullanımı kuyumculuk ve elektronik sektörüdür. Bunların yanı sıra sahip olduğu mali değer sebebiyle de stok külçesi ve bankalar arası işlemde kullanılmaktadır. 2012 yılına ait dünya çapındaki kullanım oranları aşağıda şekil olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Altın kullanım oranları.

İşlenebilir olması ve parlak sarı rengi ile kuyumculuk sektörünün en önemli metallerinden biri olan altın takı ve süs eşyalarında saf veya alaşımlandırılmış olarak kullanılmaktadır. Alaşımlandırma iki temel amaçla yapılmaktadır. Bunlardan ilki metalik altının sahip olduğu mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için ve görselliğin zenginleştirilmesi adına farklı renklerin elde edilmesi için tercih edilmektedir. Bununla birlikte diğer yandan da yüksek fiyata sahip olması sebebiyle kendisinden daha ucuz metallerle alaşımlandırılarak tüketicinin daha uygun fiyata nihai ürüne

ulaşabilmesi açısından da düşük ayarlı altın alaşımlarının üretilmesi önem arz etmektedir [3].

2.2 Gümüş

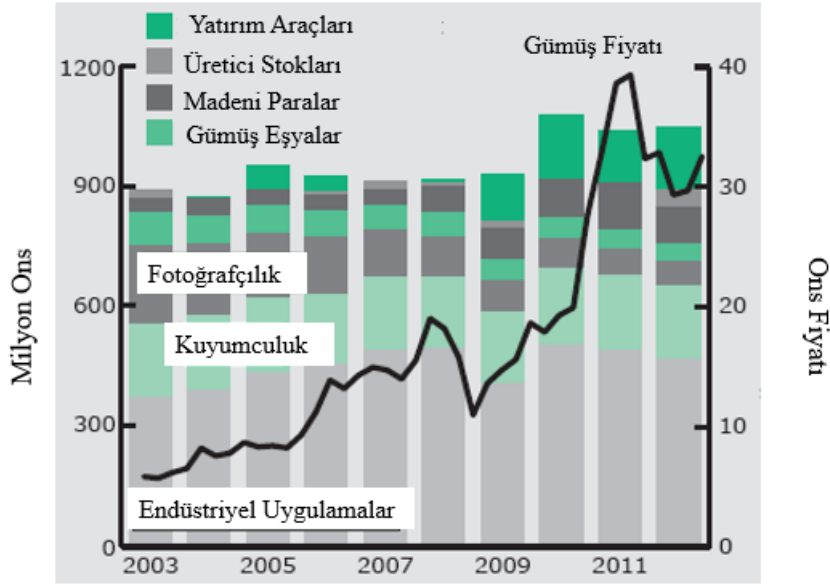
Parlak beyaz rengi ve sünek olması sebebiyle takı ve süs eşyası üretiminde çok uzun yıllardan beri kullanılan bir metaldir. Tarihsel geçmişinde sünekliği ve parlak rengi sebebiyle süs eşyası ve mutfak gereçlerinin üretiminde kullanıldığı bilinmektedir. Gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlar doğrultusunda son yıllarda çok farklı kullanım alanları bulmuş ve önemini korumuştur [1]. Gümüşün fiziksel özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Gümüşün fiziksel özellikleri.

Atomal Ağırlık	107,87
Yoğunluk	10,5 kg/dm ³
Ergime Noktası	961.9 ⁰ C
Buharlaşıma Noktası	2193 ⁰ C
Sertlik(Brinel)	300 Mpa (30 kg/mm ²)
Sertlik (Mohs)	2,5-3
Elastik Modül	8000 kg/mm ²
Termal Genleşme Katsayısı	19,8x10 ⁻⁶
Kristal Kafes Yapısı	Yüzey Merkez Kübik

Isı ve elektrik iletkenliği çok yüksek olduğu için elektronik sektöründe de geniş kullanım alanına sahip bir metaldir. Gümüş bileşiklerinin ultraviyole ışığa karşı duyarlılığı sebebiyle fotoğrafçılık endüstrisinde de kullanımı mevcuttur. Antibakteriyel özelliğinden dolayı tıbbi uygulamalarda da kullanılmaktadır [1]. Gümüşün kullanım oranları ve fiyatları Şekil 2.2’de verilmiştir.

Kullanım alanların gösterdiği çeşitlilik sebebiyle gümüşe olan ilgi her geçen yıl daha da artmaktadır. Sahip olduğu maddi önem sebebiyle altın gibi farklı alaşımlarla benzer renklerinin elde edilmesi için birçok çalışma yapılmış ve alaşım oluşturulmuştur. Fiyatının ise altından çok daha ucuz olması sebebiyle son yıllarda en çok tercih edilen kuyumculuk metali olarak çok yüksek hacimli üretimi ve rafinasyonu gerçekleşmektedir.



Şekil 2.2 : Gümüş kullanım oranları.

2.3 Bakır

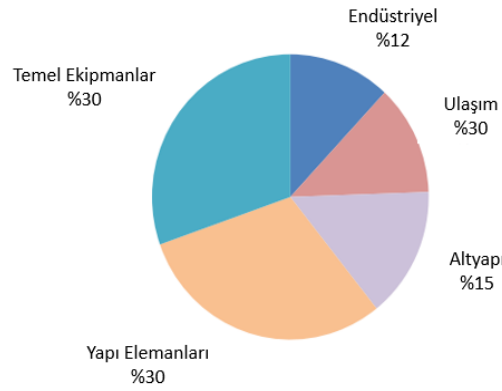
Yerleşik hayata geçişle birlikte ortaya çıkan tarımsal alet ve eşya ihtiyacının gereksinimi olan eşyaların üretilmesinde en çok kullanılan metallerden biri de bakırdır. İnsanoğlunun bakırla ilk etkileşiminin M.Ö. 13000 yıllarında olduğuna dair kanıtlar mevcuttur. Parlak rengi ve kolay işlenebilir olması sebebiyle süs eşyalarında silah yapımına kadar geniş bir kullanım alanına tarihsel süreçte rastlanmaktadır. Bakır parlak kırmızı renkte olmasına rağmen normal atmosfer koşullarında yeşil bir oksit tabakası oluşturma eğilimindedir. Elektriksel ve termal iletkenliğini çok yüksek bir metal olup günümüzdeki kullanım alanları bu özellikleri doğrultusunda şekillenmiştir [1]. Bakırın fiziksel özellikleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Günümüzde bakır metalinin çok çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Yüksek elektriksel ve termal iletkenliği sebebiyle elektronik sektörü ve enerji taşımacılığı bunların başında gelmektedir. Ayrıca bakır diğer metalleri bünyesinde yüksek oranda çözebilmesi sebebiyle geçmişten günümüze birçok alaşımda kullanılmıştır. Antik çağlardan bugüne pirinç, bronz gibi alaşımların uygulamaları hala geçerliliklerini korumakta, bununla birlikte günümüzde kesici takım uçları vb. spesifik uygulama alanlarında da kullanılmaktadır. Bakır metalinin birçok bileşiği de endüstriyel olarak çeşitli alanlarda önem arz etmektedir. Örneğin bakır sülfat çeşitli katkılarla yem

sanayi, tarım, hayvancılık ve ahşap sektörlerinde anti fungal özelliği sebebiyle tercih edilmektedir. Bakırın kullanım alanları Şekil 2.3’de verilmiştir

Çizelge 2.3 : Bakırın fiziksel özellikleri.

Atomal Ağırlık	63,54
Yoğunluk	8,94 kg/dm ³
Ergime Noktası	1083 °C
Buharlaştırma Noktası	2600°C
Sertlik (Brinell)	350 Mpa
Sertlik (Mohs)	3
Elastik Modül	12500 kg/mm ²
Termal Genleşme Katsayısı	1,5x10 ⁻⁶
Kristal Kafes Yapısı	Yüzey Merkez Kübik



Şekil 2.3 : Bakırın kullanım alanları.

Yaygın olarak kullanımı olan bakır metali önemini günümüzde de korumaktadır. Primer üretimine yönelik literatürde çok fazla çalışma olup farklı üretim yöntemleri mevcuttur. Son yıllarda konsantrasyonu yüksek kullanıma bağlı olarak giderek azalan bakır cevherlerinin geri kazanımı ve yeni üretim prosesleri konuları üzerine yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Sahip olduğu özellikler sebebiyle bakır, insanoğlunun gündelik hayatında önemini korumaya devam etmektedir.

2.4 Platin

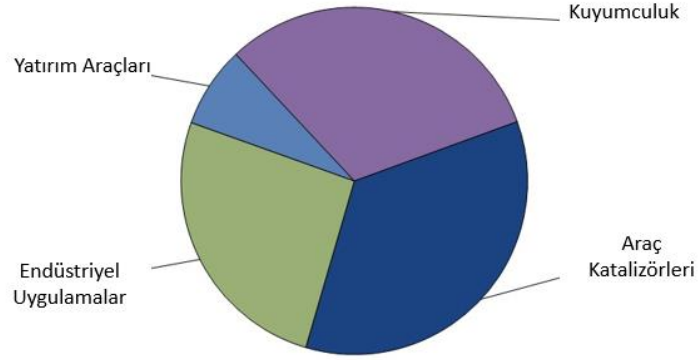
Nadir bulunması, ısı ve asite karşı yüksek direnç göstermesi sebebiyle kullanımı diğer metaller kadar geçmişe dayanmamaktadır. Kullanıma dair ilk bulgular Mısır

topraklarında bulunmuştur. İspanyol kaşiflerin Amerika kıtasında keşfedip gümüşe benzeterek Avrupa'ya getirmesiyle bilinirliği artmıştır. 18. Yüzyılda en kıymetli metal olarak sadece kraliyet ailelerine takı üretiminde kullanılmıştır. Rengi çeliğe çok benzer şekilde gridir. Normal atmosfer koşullarından ve nemden etkilenmez. Sadece kral suyunda çözünürlüğü bulunmaktadır. Yüksek mekanik işlenebilirliğe sahiptir. Diğer soy metallerin aksine termal ve elektriksel iletkenliği düşüktür. Platinin fiziksel özellikleri Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Platinin fiziksel özellikleri.

Atomal Ağırlık	195,09
Yoğunluk	21,45 kg/dm ³
Ergime Noktası	1769 °C
Buharlaştırma Noktası	4530 °C
Sertlik (Brinell)	450 Mpa
Sertlik (Mohs)	4
Elastik Modül	17200 kg/mm ²
Termal Genleşme Katsayısı	8,7x10 ⁻⁶
Kristal Kafes Yapısı	Yüzey Merkez Kübik

Kimyasal olarak yüksek kararlılığı ve termal dayanımı sebebiyle geçmiş yıllardaki teknoloji yokluğunda kendine geniş kullanım alanı bulamamıştır. Sahip olduğu bu özellikleri sebebiyle ilk kullanımı metrik ölçü birimlerinin emsal numunelerinin oluşturulması olmuştur. Standardizasyon için hazırlanan metre kilogram örnekleri yüksek kararlılığında dolayı platinden imal edilmişlerdir. Günümüzde ise platinin birçok stratejik alanda kullanımı mevcuttur. Stabil yapısı sayesinde tıbbi uygulamalarda yapay kemik veya implant olarak kullanılmaktadır. Sahip olduğu katalitik etki sebebiyle de petrokimya, polimer sanayi ve yakıt hücrelerin gibi geniş bir uygulama alanlarına sahiptir. Platinin son yıllardaki en geniş kullanım alanı ise otomobil emisyonlarının azaltılması amacıyla kullanılan katalitik konvertör üretimidir. Egzoz gazları içerisinde bulunan CO, hidrokarbonlar ve NO_x gazlarının katalitik dönüşümü seramik yüzey üzerine kaplanmış platin yüzeyinde gerçekleşmektedir [1,6]. Platinin kullanım alanları Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4 : Platin kullanımı oranları [7].

Yüksek teknoloji içeren uygulamalarda geniş kullanım alanına sahip olduğu için platinin önemi her geçen gün artmaktadır. Yerkabuğunda bulunma oranı çok düşük olması ve sahip olduğu özellikleri ile platin günümüzde iyi bir yatırım aracı ve kuyumculuk metali olarak önemini korumaktadır.

2.5 Altın Alaşımları

Son yıllarda artan metal fiyatları ve kuyumculuk ürünlerine olan talebin yükselmesi sebebiyle saf metal kullanımının yerine alaşımların geliştirilmesi üzerine çalışmalar hız kazanmıştır. Alaşım geliştirme çalışmalarında farklı bileşimlerde üretilen alaşımların mekanik ve fiziksel özelliklerinin saf metallerinkiyle aynı olması beklenmektedir. Maliyet düşürücü bu çalışmalar farklı birçok alaşım ailesinin üretilmesine ve kullanılmasına imkan tanımıştır. Böylelikle daha düşük miktarlarda kıymetli metal kullanılarak son ürünün fiziki ve mekanik özelliklerinin aynı olması sağlanmıştır [8].

Daha düşük maliyetle ürün eldesi amacıyla başlayan bu çalışmalar renkli altın alaşımlarının talep görmesiyle estetik kaygıyla popülerliğini günümüzde dahi korumaktadır. Kuyumculuk alaşımları içerisinde en geniş çalışma alanı bulan grup altın alaşımlarından oluşmaktadır. En yüksek fiyata sahip olmasıyla birlikte en çok tercih edilen metal olması bu sonucu ortaya çıkarmıştır. Sahip oldukları renk ve bileşime göre isimlendirilen çeşitli altın alaşımları farklı ürün grupları ve farklı coğrafyalarda tüketici kararı üzerinde etkin bir tercih sebebidir.

Üretilen alaşımlar içerisindeki kıymetli metal içeriğini belirlemeye yönelik uluslararası kabul görmüş iki sistem bulunmaktadır. Bunlardan ilkinde safiyet binlik sistemle belirlenir ve saf altın $\frac{0}{1000}$ olarak kabul edilir. $\frac{0}{1000}$ 750 olarak safiyeti

belirlenmiş bir alaşımda 250 birim diğer elementler 750 birim saf altın olduğu kabul edilmiştir. Bu sistem ülkemizde gümüş safiyeti belirlemede sıkça kullanılmakta ve milyem olarak isimlendirilmektedir. Milyemden önce gelen rakam saf altının binde oranını vermektedir. Bir diğer safiyet belirleme sistemi ise karat olarak adlandırılmıştır. Metal safiyeti 24 birimde incelenmektedir. Saf altının 24 karat olduğu kabul edilir. Metrik sistemle ifade edildiğinde bir karat 0,0416 kg olarak hesaplanır. Bu küsurat sebebiyle Avrupa’da uzun bir süre kullanılmamasına karşın günümüzde tüm dünyada kullanılmaktadır. İki sistem karşılaştırıldığında saf altın 1000 milyem aynı zamanda da 24 karat bileşimindedir [1].

Çizelge 2.5 : Farklı altın alaşımlarının altın içerikleri.

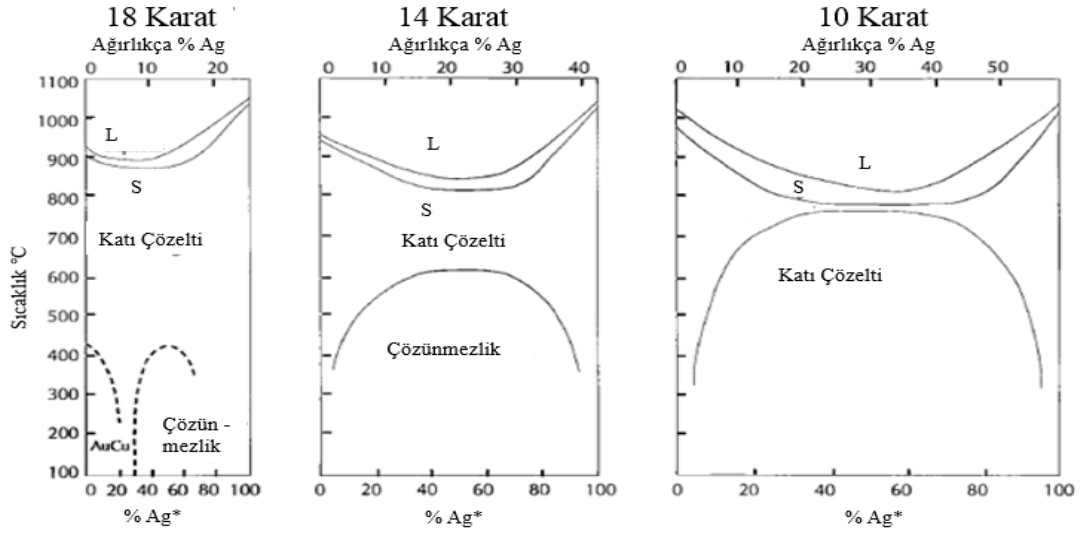
Karat	Safılık	Altın (%)
24	1000	100
22	916,6	91,66
20	833,3	83,33
18	750	75,0
15	622	62,2
14	585	58,5
12	500	50,0
10	416	41,6
9	375	37,5
8	333	33,3

Altın alaşımları renkli alaşımlar ve beyaz alaşımlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Renkli altın alaşımları altın-gümüş-bakır üçlü sistemi üzerinde farklı bileşimlerde üretilirken beyaz altın alaşımları ise saf altının paladyum ve nikel ile yaptığı alaşımlardan üretilmektedir. Farklı sistemler üzerinden değerlendirilse de çoğu renkli altın alaşımının ağırlıkça % 1 ile % 15 bileşim aralığında çinko içerdiği bilinmektedir. Faz diyagramı ve mekanik özelliklerin incelemelerinde çinkonun yer almamasının farklı bir sebebi vardır. Alaşım içerisindeki çinko miktarındaki farklılıkların alaşım özelliklerini çoğu zaman değiştirmedığı, bazı durumlarda ise etkileri net olarak gözlenmeyecek kadar az olduğu için renkli altın alaşımları altın-gümüş-bakır sistemleri üzerinden incelenmektedir [9-10].

2.5.1 Renkli altın alaşımları

Altın-gümüş-bakır üçlü sisteminde incelenen renkli altın alaşımlarının sınıflandırılmasında etkin iki parametre bulunmaktadır. Alaşımlar incelenmesinde

altın bileşimi sabit tutularak ikili faz diyagramı şeklinde hazırlanan üçlü faz diyagramları çizilip farklılıklar incelenmektedir.



Şekil 2.5 : Altın-Gümüş-Bakır Sistemi Faz Diyagramları[9].

. Sabit altın bileşimine göre çizilen diyagramlarda yatay ekseninde gümüş bileşiminin verilmesinin yanı sıra alaşım bileşiminin de belirlenmesi için “% Ag*” parametresi kullanılmaktadır. Bu parametre alaşımdaki ağırlıkça gümüş bileşiminin bakır ve gümüş toplam bileşimine bölünmesiyle elde edilen yüzde olarak hesaplanmaktadır. Altın-gümüş-bakır üçlü sistemleri karat değeri ve bu parametre üzerinden sınıflandırılmaktadır. Geniş faz bölgeleri ve intermetalik bileşiklerinin oluşmaması sebebiyle renkli altın alaşımları elde edilen bu faz diyagramlarına göre üç ana grupta incelenmektedir [9].

Tip1

%Ag* değeri 0-10 ile 90-100 aralığında olan alaşımlar bu grupta yer almaktadır. Bu alaşımlar ergime noktası altındaki tüm sıcaklıklarda homojen katı çözelti oluşturmaktadır. Mekanik özellikleri bakımından ise iki farklılığa sahiptirler. Tip1 alaşımları tavlama işlemi ile yumuşatılırlar. Ayrıca bu alaşımlara yaşlandırma işlemi ile sertlik kazandırılmaz [9].

Tip2

%Ag* değeri 10-25 ile 75-90 arasında olan alaşımlar bu grupta yer almaktadır. Bu gruptaki alaşımlar çözünmezlik bölgesi üstündeki sıcaklıklarında homojen katı çözelti oluşturmaktadırlar. Oda sıcaklığına yavaşça soğutulduklarında ise α (Au-Cu)

fazı bakırca zengin α (Au-Cu) fazından çökelti oluşturmaktadır. Tip2 alaşımları ısıtılma işlemle yaşlandırılabilir özellik göstermektedir. Ayrıca bu alaşımlar tavlama ile yumuşatılabilir [9].

Tip3

%Ag* değeri 25-90 arasındaki alaşımlardır. Tip3 alaşımları çözünmezlik bölgesinin üstünde homojen katı çözelti oluşturmaktadırlar. Oluşturdukları bu faz oda sıcaklığına yavaşça soğutulduğunda α (Au-Cu) ve (Au-Cu) fazlarına ayrılmaktadır. Bu alaşımlar yaşlandırılabilir [9].

2.5.2 Beyaz altın alaşımları

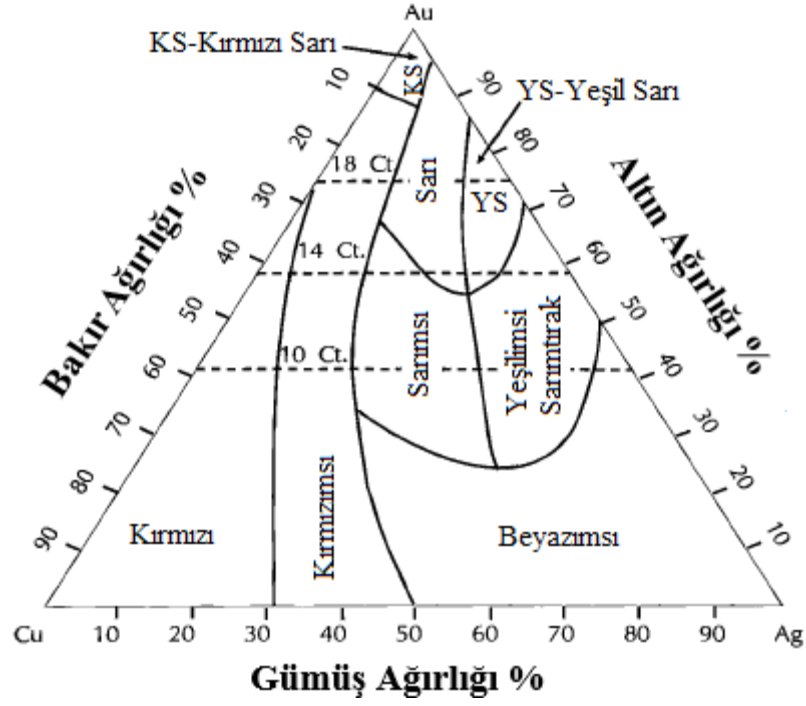
Platin alaşımlarının ikamesi olarak beyaz altın alaşımlarının kullanılmaya başlanması ikinci dünya savaşı yıllarında başlamıştır. Savaş dönemlerinde oluşan ekonomik krizler ve ülkeler arası anlaşmazlıklar sebebiyle ülkeler kıymetli metal stoklarına ağırlık vermekte ve savaş harcamalarını bu şekilde gerçekleştirmektedir. 19. Yüzyıl sonlarında sahte gümüş olarak para basımında kullanılan platin alaşımının kullanım alanlarının keşfedilmesi ve stratejik bir hale gelmesiyle fiyatı çok yüksek seviyelere gelmiştir. Beyaz altın alaşımlarının ortaya çıkmasındaki en büyük etken platin alaşımlarına olan talep doğrultusuna ikame edilebilir olmalarıdır. Günümüzde beyaz altın alaşımları özellikle taşlı ürünlerde pırlantanın zarafetini daha açık bir şekilde ortaya koyduğu için tercih edilmektedir. Pırlantanın kendi rengini ortaya koyabilmesi için renkli altın alaşımlarından gelecek ışık yansımaları istenmemektedir [12].

Beyaz altın alaşımları platin alaşımlarının daha düşük maliyetli alternatifleri olmalarının yanı sıra bazı yüksek mekanik özellikleri sebebiyle de tüketici ve üreticiler tarafında tercih edilmektedir. Yüksek mekanik dayanım göstermeleri, dökülebilme özelliklerinin diğer alaşımlardan daha iyi olması, vb. sebeplerden dolayı kuyumculuk ürünlerinde beyaz alaşımlar büyük bir yer kaplamaktadırlar [11].

Standart altın bileşimleri olan 10, 14, 18 karat bileşiminde diğer alaşımların olduğu gibi beyaz altın alaşımlarının da kullanımı bulunmaktadır. Parlak sarı olan saf altının rengini açmak için en yaygın olarak kullanılan iki metal paladyum ve nikeldir. Alaşımlarının sahip olduğu yüksek mekanik özellikler sebebiyle ağartıcı olarak en çok kullanılan metal nikeldir. Bu tercihte nikel fiyatının paladyum fiyatından yaklaşık 1500 kat daha ucuz olmasının etkisi bulunmaktadır. Son yıllarda yaygın olarak görülen nikel alerjine karşın nikel kullanımı sınırlandırılmış ve nitelikli

ürünlerin paladyumla üretimi yaygınlaşmıştır. Nikel ve paladyumun yanı sıra krom mangan ve çinko da ağartıcı olarak kullanılmaktadır [12].

Tüm altın alaşımların bileşime bağlı olarak oluşturduğu renkler Şekil 2,6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 : Altın-Bakır-Gümüş sisteminde renk-bileşim ilişkisi [10].

3. BİRLEŞTİRME TEKNOLOJİSİ

En az 2 veya daha fazla sayıda parçanın; beklentileri (mukavemet vb. mekanik özellikler, bir arada bulunma süresi gibi) karşılayacak biçimde bir araya getirilmesi işlemine birleştirme denilebilir. Birleştirme teknolojisi; kalıcı (de montaja izin vermeyen) ve geçici (demontaja izin veren) birleştirme yöntemleri olmak üzere 2 esas kategoride incelenebilir.

Kalıcı birleştirme yöntemleri içerisinde kaynak ve lehim; geçici birleştirme yöntemleri içerisinde ise cıvata, somun, perçin vb. makine bağlantı elemanları ile mekanik olarak yapılan birleştirme işlemleri bulunmaktadır. Bu noktada, yapıştırma işlemi her iki esas kategori altında ele alınabilir; yapıştırıcının (adhezif) yapışma gücü veya kabiliyetine göre belirlenir [13].

Tez konusu itibarıyla kalıcı birleştirme yöntemlerinin incelenmesi gerektiğinden; lehim ve kaynak işlemleri hakkında temel düzeyde olmak üzere, katı hal kaynak yöntemleri ve özellikle difüzyon kaynak yöntemi üzerine yoğunlaşmıştır.

3.1 Lehim İşlemi

Birleştirilmesi istenilen iki veya daha fazla metalik malzemenin; kendi ergime sıcaklıklarından daha düşük bir sıcaklıkta ergiyen dolgu veya ilave metal (lehim alaşımı) tarafından ısıtılarak (sararak) gerçekleştirilen birleştirme yöntemlerine lehimleme adı verilir. Bu teknikte; ergime sıcaklığı kavramının sınırları, ana malzemeler için solidüs sıcaklığı ve lehim malzemesi için de likidüs sıcaklığı olarak ele alınmalıdır. Birleşme bölgesinde ana malzemeler sıvı lehim tarafından ısıtılarak sarılır; böylece lehim alaşımı ve ana malzemeler arasında difüzyon olur ve işlem tamamlanmış olur. Ana malzemeler ergitilmez. Dekapan ve/veya koruyucu bir atmosfer (koruyucu gaz veya vakum) kullanılabilir. Sert lehimleme ve yumuşak lehimleme olarak uygulama sıcaklıklarına göre alt uygulamaları bulunmaktadır. Ergime sıcaklığı 450°C'nin üzerinde olan lehim malzemesinin kullanıldığı

uygulamalara; sert lehimleme, bahsedilen sıcaklığın altında eriyen lehim malzemesinin kullanıldığı uygulamalara ise yumuşak lehimleme denilmektedir [14].

3.2 Kaynak İşlemi

En az 2 veya daha fazla sayıda parçanın kuvvet (basınç) ve/veya ısı enerjisi kullanılarak, sürekli bir içyapıya sahip olacak şekilde birleştirilmesine kaynak işlemi denilmektedir [15].

Kaynak işlemi çok sayıda alt kategoride incelenebilir. Özellikle; enerjinin taşınma türüne, ana malzeme türüne, işlem amacına ve imalatın türüne göre kategorize edilebilmektedir.

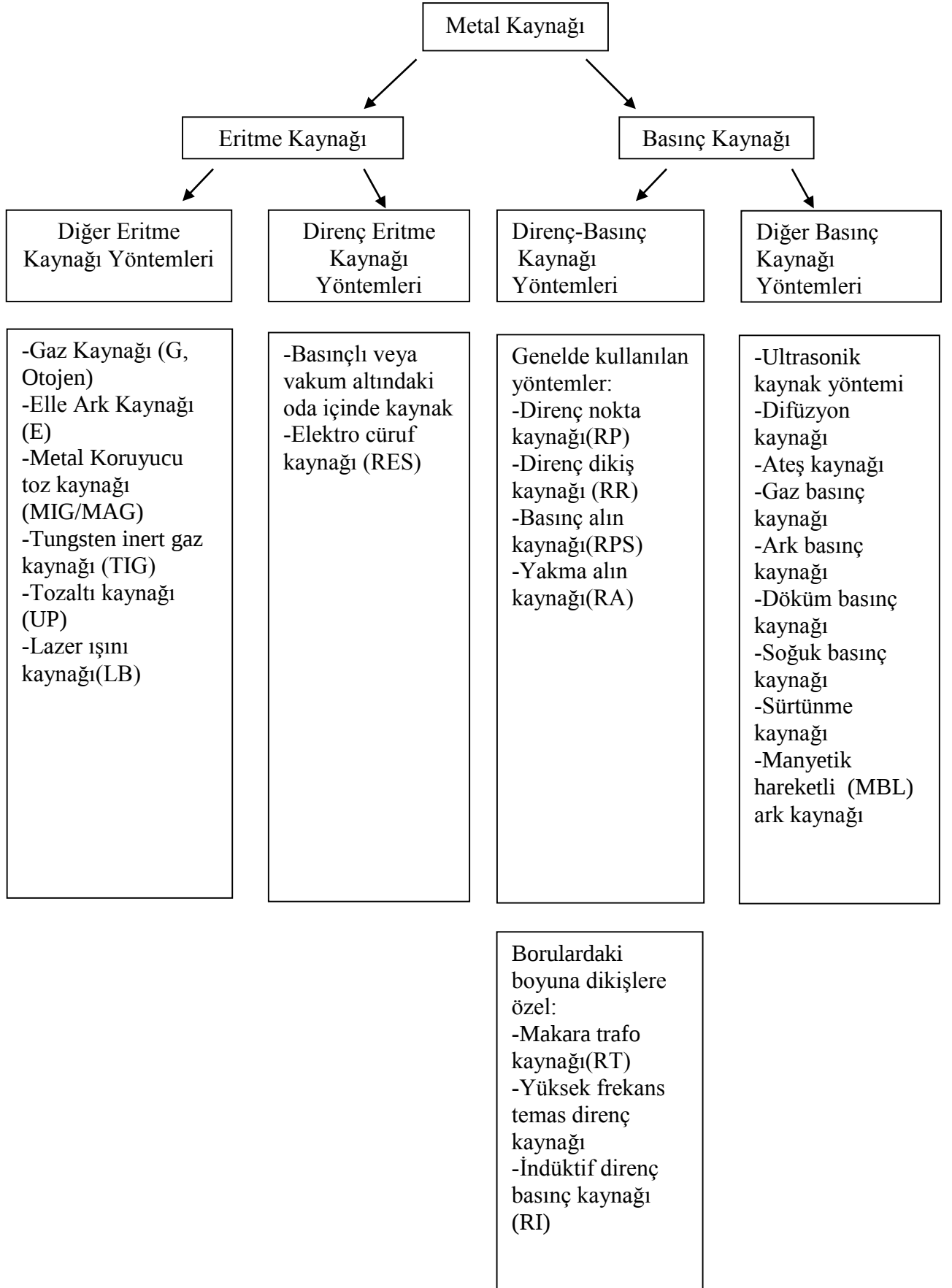
Enerji taşıyıcısı cinsine göre	Ana malzemenin cinsine göre	Kaynak işlemi amacına göre	Kaynak işlemi işleyiş şekline göre	İmalat türüne göre
-Gaz -Elektrik akımı -Ark -Işın -Hareket -Sıvı	-Metaller -Plastikler -Kompozit malzemeler	-Birleştirme kaynağı -Kaplama kaynağı	-Eritme kaynağı -Basınç kaynağı	-Elle kaynak (m) -Yarı mekanik kaynak(t) -Tam mekanik kaynak (v) -Otomatik kaynak (a)

Şekil 3.1 : Kaynak yöntemlerine ait genel sınıflandırma.

Bu çalışmadaki konuya yönelik metalik malzemelerin kaynağı ve bu grubun da alt kategorisi olan basınç kaynağı üzerine araştırma yapılmıştır. Metalik malzemelerin kaynak işlemi genellikle ertitme (eritme) ve basınç esaslı kaynak olmak üzere 2 alt kategoride incelenmektedir. Bunlar da kendi alt yöntemlerine göre sınıflandırılmakta ve incelenmektedir. Şekil 3.2’de bu alt kategoriler gösterilmiştir [16].

Eritme esaslı kaynak; birleştirilmesi istenilen yüzeylerin, her hangi bir kuvvet uygulanmaksızın, ilave malzeme ile beraber ertitilerek kaynaklanması işlemidir.

Basınç esaslı kaynak; birleştirilecek iki yüzey üzerine yeterli kuvvet uygulanarak plastik deformasyon oluşturulur, böylece difüzyon ve yeniden kristalleşme gerçekleşerek kaynak işlemi yapılmış olur. Genellikle, dolgu malzemesi kullanılmaz ve birleşme yüzeyleri bağlantıyı sağlamak veya kolaylaştırmak amacıyla ısıtılır.

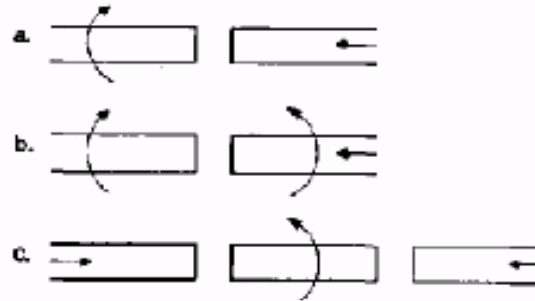


Şekil 3.2 : Metal kaynak yöntemlerine ait genel sınıflandırma.

Uçak-uzay sanayii, elektronik sanayii, kuyumculuk sektörü gibi ileri teknolojik ve üretim hacmi görece düşük miktarda olan uygulamalarda kaynak işleminin ana malzemelere etkisinin olabildiğince az ve içyapının mümkün olduğunca homojen olması beklenir. Bu sebepten ötürü ısı girdisinin mümkün olduğunca az, hatta hiç kullanılmadığı ve bunun yerine mekanik kuvvet kullanılan; uygulamada özel kaynak yöntemleri olarak da isimlendirilen basınç esaslı kaynak usullerinden olan sürtünme, ultrasonik, soğuk basınç ve difüzyon kaynaklarından faydalanılmaktadır.

3.3 Sürtünme Kaynağı

Basınç esaslı kaynak kategorisinde yer almaktadır. Malzeme sürtünme ısısı ile plastik deformasyona uğratarak kaynaklanmaktadır. Ergime işlemi yoktur, yüksek sıcaklıklardan ötürü hızlı biçimde difüzyon ve ardından yeniden kristalleşme görülür. Sürtünme ısısının meydana gelebilmesi için, parçalardan en az birisinin hareket ettirilmesi gerekir. Bu hareket doğrusal veya radyal (döner biçimde) olabilir. Hareket oluşturulurken; kaynaklanacak parçalardan biri veya her ikisi hareketli olabilir. Şekil 3.3'te, hareket cinsleri görülmektedir [17].

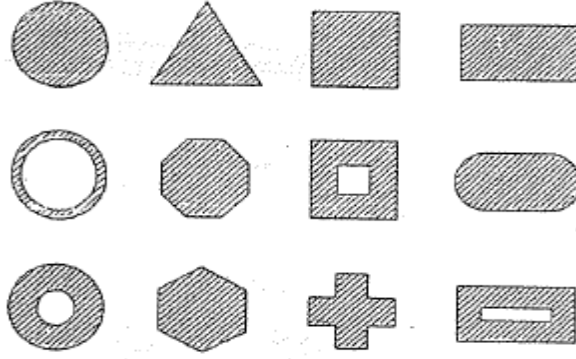


Şekil 3.3 : Sürtünme kaynağı hareket türleri.

- a-) Parçalardan biri sabit, diğeri dönmektedir
- b-) Her iki parça ters yönde dönmektedir
- c-) Kaynaklanacak parçalar sabit olup, arada bir parça dönmektedir.

Benzer veya farklı tür malzemelerin kaynağında kullanılabilir. Bilhassa diğerkaynak metodlarının uygun olmadığı kaynak uygulamalarında, tercih edilmektedir. 0,6 ila 200 mm çapları arasında dolu silindirik parçalar ve 900 mm çapına kadar boru parçaları kaynak yapılabilir. Yöntemin uygulanacağı malzemenin mukavemeti; aksenal basma gerilmesine ve dönme momentlerine karşı yeterli olmalıdır. Malzeme sürtünme kaynağına yetecek derecede, sıcak kalıcı şekil

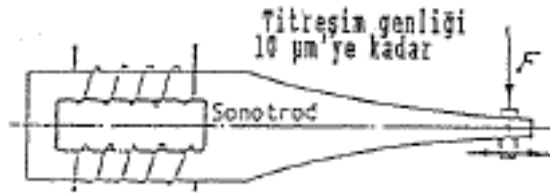
değiştirme kabiliyetine sahip olmalıdır. Sürtünme kaynağında ergime bölgesi dardır ve bağlantının mukavemeti yüksektir. Sürtünme süresi; yeterli deformasyonu sağlayacak kadar olmalıdır ve temelde malzemenin yapısına, kaynak ağızları türüne bir de kaynaklanacak parçalardaki sıcaklık dağılımına bağlıdır. Sertliği önlemek için, işlem sonrası soğutma süreleri mümkün olduğu kadar uzatılmalıdır. Bu ise, ısının tesiri altındaki bölgenin genişletilmesiyle sağlanır [18].



Şekil 3.4 : Sürtünme kaynağına uygun parça kesitleri.

3.4 Ultrasonik Kaynak

Ultrasonik kaynak yönteminde parçalar, ultrasonik alandaki mekanik titreşimler ve hafif bir basınç yardımı ile birleştirilir. Bu amaçla bir elektro-akustik dönüştürücüden (sonotrod) yararlanılır (Şekil 3.5). Bu dönüştürücüde değişken bir elektrik akımı bir nikel alaşımının manyeto-striktif etkisi yardımı ile aynı frekanstaki boyuna mekanik titreşimlere çevrilir.



Şekil 3.5 : Sonotrod; elektro-akustik dönüştürücü.

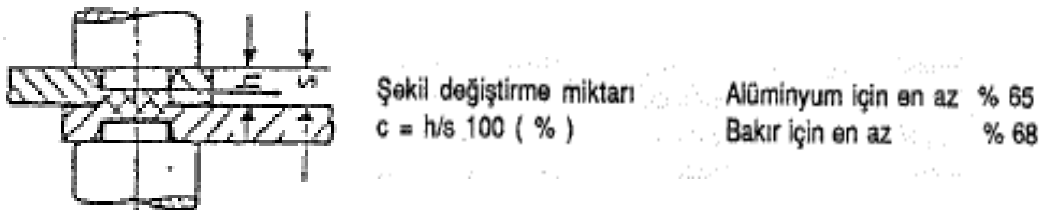
Sonotrod tarafından oluşturulan ultrasonik titreşimler, yüzeye paralel olarak yerleştirilmiş iki parçadan üstteğine iletilir ve temas yüzeylerinde yani alt ve üst kaynak yerinde izafi bir harekete neden olur. Ultrasonik dikiş kaynağında bindirilen saclar dönen tekerlek şeklindeki sonotrodlar tarafından senkronize çalıştırılan altlık makaralarına bastırılır. Tekerlek şeklindeki sonotrodların levha titreşimleri üstteki iş parçasına iletilir. Kaynak yapılan metallerde yeterli basınç ve titreşim genliği

sağlandığında, iş parçasının her iki temas yüzeyindeki (kaynak yerindeki) pürüzlülüklerin tepelerinde titreşimler akmaya başlar. Aynı zamanda yüzeyde bulunan yüzey tabakası (oksitler, pislikler, gazlar) kesme zorlamasıyla yırtılarak kenarlara doğru kayar. Böylece oluşan sürtünme ısı, malzemenin kaynak bölgesinde bir kuazi viskoz hal oluşturarak, yeterli derecedeki yaklaştırma sayesinde kaynak yapılan her iki bölgede atomik seviyede birleştirme kuvvetleri etkili olur. Şekil değiştirme ve sıcaklık yükselmesiyle de rekristalizasyon başlar. Böylece yeni oluşan kristaller bir parçadan diğerine geçer. Şimdiye kadar bir erime işlemi gözlenmediği araştırmalarda belirtilmiştir [15,19].

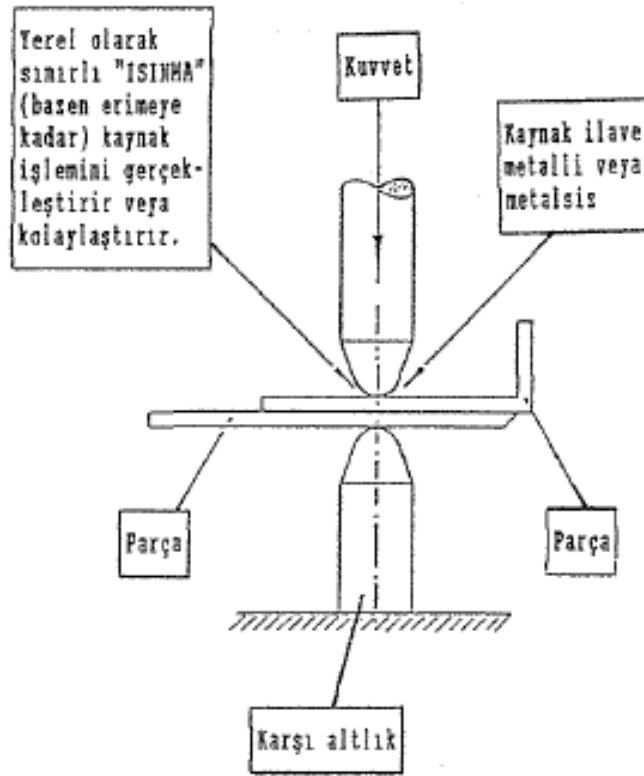
3.5 Soğuk Basınç Kaynağı

Isı verilmeden basınç altında parçaların birleştirilmesi gerçekleştirilir. Temizlenmiş (talaşlı işleme, yağ giderme, yüzey soyma, fırçalama vb. önlemlerle) kaynak yüzeylerinin şekil değiştirmesi ile oksitler ve absorbe olmuş gazlar gibi kalıntı ve istenmeyen tabakalar yırtılır. Metal yüzeyleri birbirine temas eder, ardından sınırlı bir yerel deformasyon ısı ve yeniden kristalleşme ile birleşir (temas yüzeylerine yakın atom tabakaları kuazi (sanki) sıvı duruma geçer).

Şekil 3.6'da uygulama örneği ve buna ait yöntem parametreleri görülmektedir. Şekil 3.7'de ise yöntemin şematik gösterimi bulunmaktadır. Bu yöntemle; homojen ve yumuşak metallerin kaynaklı yapıları elde edilmektedir. Örnek olarak; bakır (elektrikli trenlerin telleri), alüminyum bakır veya gümüş bakır, iletken ve temas bağlantıları, kompozit malzemelerden kovanlar, CrNi çelikleri ile alüminyum, tantal, niyobyum, bakır ve nikelin bağlantıları. Ek olarak soğuk şekil değiştirme sayesinde pekleşmiş güvenilir bağlantıların da elde edildiği belirtilmektedir [16].



Şekil 3.6 : Soğuk basınç nokta kaynağı örneği.



Şekil 3.7 : Soğuk basınç kaynağı yönteminin şematik gösterimi.

3.6 Difüzyon Kaynağı

Benzer veya farklı, genelde metalik malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan bir kaynak yöntemidir. Esas olarak uçak-uzay sanayii ile nükleer teknoloji için geliştirildiği bilinmektedir. Böyle olmasının sebebi; çoğunlukla bu alandaki kullanılan parçaların kesitleri konvansiyonel kaynak yöntemlerindeki ısı uygulayan elemanların ulaşabileceği yerlerde bulunmaması veya malzemelerin farklı olması gibi nedenlerle alışlagelmiş kaynak yöntemlerinin kullanılması mümkün değildir. Aynı malzemelerin difüzyon kaynağında esas malzemenin dayanım değerlerine yaklaşık olarak ulaşmak mümkündür. En önemli kaynak parametreleri, kaynak sıcaklığı, basınç miktarı ve süresi ile şekil değiştirme miktarı, yüzey kalitesi ve koruyucu atmosferdir.

Difüzyon kaynağı, birbirleri ile temasta olan yüzeyler arasında minimum makroskopik deformasyon ile belirli bir süre ısı ve basınç uygulayarak kontrollü difüzyonla oluşturulan katı hal (faz) kaynağı olarak tanımlanabilir. Soğuk basınç kaynağında olduğu gibi, difüzyon kaynağında da bağ oluşumu için birleştirilecek yüzeylerin birbirine teması şarttır; yani birleştirilecek parçaların yüzeylerindeki mikroskobik çıkıntıların belirli bölgelerde karşılıklı olarak birbirlerine temas etmeleri

gerekir. Uygulanan dış kuvvet ve sıcaklığın etkisiyle önce uç noktalarda akma ve sürünme oluşur. Bu işlem yüzeylerin harekete başladıkları noktada oksit ve kir tabakasının parçalanmasıyla başlar, birleştirilecek parçaların yüzeylerinin birbirine tamamen temas etmesi ile sonuçlanır. Kaynak genellikle, düşük basınç, yüksek sıcaklık ve diğer katı faz kaynak yöntemlerine göre daha uzun sürede yapılır. Yüzeylerin ısınma esnasında artan ortam şartlarından etkilenmemesi için de vakumda soy gaz veya redükleyici bir ortamda çalışılmalıdır. Kaliteli bir yüzeyin sağlanması için taşlama yapılabilir. Çok hassas hazırlanmış yüzeyler de maliyeti arttırır. Difüzyon kaynağının uygulanmasında özellikle farklı metal veya alaşımların birleştirilmelerinde ekseriya bir ara tabaka kullanılır. Ara tabakalar kaynak alanındaki heterojenliği minimuma indirir ve birleştirmenin oluşumunun kolaylaştırır (0.25 mm gibi). Ara tabakalar ince folyolar şeklinde olduğu gibi, püskürtme veya elektrolitik kaplama şeklinde de olabilir.

Difüzyon kaynağında sıcaklık, deformasyona, oksit çözünürlüğüne, allotropik dönüşümlere, yeniden kristalleşmeye, difüzyona ve işlemin kısa sürede yapılmasına etkidiğinden, en önemli parametredir. Aynı cins metallerin birleştirilmesinde işlem sıcaklığı $0,7 \times T_{\text{ergime}}$ olarak alınır (T_{ergime} °K cinsinden metalin ergime sıcaklığıdır). Genelde işlem sıcaklığı 0,5 ila $0,7 \times T_{\text{ergime}}$ aralığı olarak kabul edilmektedir.

İşlem donanımı, birleşme için gerekli basınç sağlayacak bir pres veya baskı ünitesi, çoğunlukla mekanik veya hidrolik bir pres, parçaların bölgesel veya tamamen ısınmasını sağlayacak yüksek frekanslı indüksiyon ısıtma veya direkt direnç ısıtma ünitesi, vakum veya koruyucu gaz ortamı ve parçanın birleşme işleminin gerçekleştirildiği bir kaynak kamarasından oluşur. Difüzyon kaynağı konstrüktif olarak üç şekilde uygulanır. Alın, bindirme ve konik birleştirmeler halinde yapılabilir. Fakat parçalar arasındaki farklı genleşmeler sonucu oluşan gerilmeler dolayısıyla, çalışma basıncının iyi ayarlanması gerekir [20].

4. MOKUME GANE TAKI ÜRETİM YÖNTEMİ

4.1 Mokume Gane Tekniği

Tarihsel süreci incelendiğinde takı üretimine yönelik yapılan teknik çalışmaların büyük bir kısmı görsel unsurları arttırıcı nitelikte çalışmalardır. Farklı renklerin elde edilmesi ve estetik kaygıyı ön plana taşıyacak karmaşık görsel şekillerin üretilmesi amacıyla birçok yöntem ve teknik geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak hassas döküm teknolojisinde yapılan çalışmalar ve farklı renkte altın alaşımlarının üretilmesine yönelik çalışmalar gösterilebilir. Mokume Gane de farklı renkteki metallerin veya alaşımların tek bir yüzeyde elde edildiği ve kesinlikle nihai ürünün lehim yöntemleri gibi ekstra birleştirme teknolojileri kullanılmadan önceden birleştirilmiş halde elde edilmesini ve yüzey özelliklerinin/görüntüsünün mükemmel olmasını gerektiren eski bir takı üretim yöntemidir

4.2 Mokume Gane Tarihçesi

Mokume Gane yaklaşık 400 yıl önce Japonya’da keşfedilen bir metal sanattır. İlk başlarda kılıç kabzası, el koruyucuları ve takı gibi eşyaların üretimi için kullanılmıştır. Değişen koşullar sebebiyle bugün sadece takı üretimi için ele alınmakta ve bir kuyumculuk yöntemi olarak geçerlilik görmektedir. Mokume Gane ikiden fazla metal katmanın bir araya getirilip birleştirme işleminin ardından tek parça hale getirildiği bir tekniktir. Geleneksel üretim yöntemleri ve üretilecek takıdan beklenen yüzey kalitesi ve görsellik göz önünde bulundurulduğunda farklı plakaları bir arada tutacak yöntem olarak difüzyon kaynağı öne çıkmaktadır. Difüzyon kaynağının ise kömür fırınlarında yapıldığı bilinmektedir. Birleştirme işleminin ardından elde edilen, farklı renklerin aynı yüzey üzerinde görüldüğü metal çubuk çeşitli mekanik işlemlerle şekillendirilir. Farklı renklerin kontrastını yakalamak adına yapılan bu işlemler kesme, bükme ve dövmedir. Elde edilen metalik parçanın son ürün haline gelmesi için gereken çalışmalar standart kuyumculuk yüzey işlemleriyle aynıdır [21].



Şekil 4.1 : Mokume Gane Yüzük Örnekleri [22].

Literatürdeki ismi görünümünün ağaç kabuğu (damarı) şeklini andırdığı için “wood grained metal” olarak belirlenmiştir. Farklı en az 2 rengi bünyesinde barındıran bu yapının oluşabilmesi için seçilen metallerin süneklik ve dövülebilirliklerinin uyumlu olması gerekmektedir. Ayrıca difüzyonun oluşması için birbiri içerisinde çözünürlüğe de sahip olmaları önem arz etmektedir. Yapıyı bir arada tutan difüzyon, metal levhaların temas yüzeylerinde atomların basınç ve/veya sıcaklık ile birlikte diğer metal levha yüzeyine hareketi ile gerçekleşmektedir. Böylelikle oluşan yeni alaşım ve bundan kaynaklı kristal yapısı ile bir arada duran levhalar homojen bir yapı haline gelmektedir [21-13].

Kılıç üretimi konusundaki yüksek bilgi birikiminin farklı bir alanda uygulamaya konulmasıyla ortaya çıkan Mokume Gane Denbei Shoami tarafından keşfedilen bir tekniktir. Dublex çeliklerin üretiminin ortaya konulmasının ardından farklı renkteki demir dışı metallerin bir araya getirilmesiyle yüzeyde farklı ve eşsiz bir desen oluşturulacağı Shoami tarafından ön görülmüştür. Shoami çalışmalarıyla ilk Mokume Gane örneğini bir kılıç kabzası üreterek vermiştir. Bunun ardından süs eşyası ve takı olarak farklı ürünler aynı teknikle üretilmiştir [23].

Sanayi devriminin ardından metalurji ve malzeme bilimine yönelik çalışmalar oldukça hız kazanmıştır. Yeni üretim yöntemlerinin aynı anda ya da kısa aralıklarla farklı coğrafyalardan çıktığını gösteren birçok örnek de bulunmaktadır. Mokume Gane ile de benzer şekilde sadece Japonya’da değil farklı farklı coğrafyalarda karşılaşmak mümkündür. Burada en önemli fark Japonya haricinde hiçbir coğrafyada difüzyon tekniğinin kullanıldığına dair bir örnek olmamasıdır. 19. Yüzyılda İngiltere’de gümüş mutfak eşyalarının popülerliği bilinmektedir. Sheffield Plate

firması tarafından daha düşük maliyetli gümüş tabak üretmek amacıyla bakır üzerine gümüş veya alman gümüşü lehimlenerek iki katmanlı bir yapı oluşturulmuştur. Bir diğer örnek ise 19. Yüzyılın sonlarında yine İngiltere’de ortaya çıkmıştır. Burada Japonya’dakine benzer farklı katmanların ortaya çıkmasına yönelik bir amaçla lehim ile birleştirme yapılmıştır. Ancak oluşan hava boşlukları ve çatlaklar sebebiyle şekillendirme kısıtlı limitler içerisinde gerçekleştirilmiştir. Tekniğin basitleştirilmiş hali olarak görülebilecek lehimleme yöntemi ile homojen blok elde edilebilir. Bu aşamadan sonra farklı renklerin aynı yüzeyde görülebilmesi için yan yüzeylerin eğme vb. işleme tabi tutulması gerekmektedir. Bunun nedeni ise tabakalar arası boşlukların ortaya çıkmasının engellenmesidir [23].



Şekil 4.2 : Lehimle birleştirme [24].

4.3 Klasik Mokume Gane Üretim Yöntemi

Geleneksel üretim yöntemine bakıldığında ilk adım farklı renklerin aynı yüzeyde oluşturacağı deseni hatasız elde etmek için gerekli işlemlerin en başında malzeme seçimi gelmektedir. Difüzyon ve plastik şekil verme işlemlerini içeren bu teknik için malzeme seçiminde etkili olacak tercih sebepleri bu iki işleme yöneliktir. Bu aşamadaki en önemli parametreler tercih edilecek metallerin rengi ve süneklik değerlerinin birbirine yakın olmasıdır. Bununla birlikte birbirleri içerisindeki çözünürlükleri de önemli bir diğer parametredir.

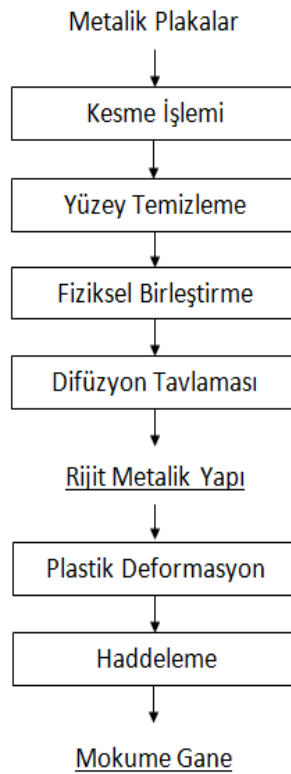
Renk seçiminde sadece saf metalin rengi değil alaşımların rengi de ele alınmaktadır. Ayrıca ısı ve kimyasal ajanlar yardımıyla metal yüzeyinde oluşturulacak farklı tonların da tercih sebebi olduğu bilinmektedir [21].

Oluşturulacak nihai desene göre katman sayısının da belirlenmesinin ardından aynı boyutlarda olacak şekilde kesilir. Kesme işleminde önemli noktalardan biri tam temasın sağlanabilmesi için kesilen yüzeylerde çapak vb. kalıntıların bırakılmamasıdır. Bu işlemin ardından etkin şekilde difüzyonun gerçekleşmesi için temas yüzeylerinin üzerinde bulunan oksit tabakası giderilmelidir. Ayrıca oksit

giderme işleminin ardından yüzeyde kalabilecek kir, yağ vb. kalıntılar uzaklaştırılır. Bir araya getirilen katmanlar difüzyon için gerekli enerjinin sağlanması için herhangi bir şekilde ısıtılır. Verilen ısı miktarına göre katı hal veya sıvı hal difüzyonunun oluşması için yeterli sürenin geçmesinin ardından yapıyı fiziksel olarak homojen ve bütün haline getirecek bağ oluşumu sağlanmış olur [21].

Elde edilen rijit yapı kesitten incelendiğinde homojen ve eşit kalınlıkta farklı renkteki metal veya alaşımlarının gözlenebileceği halde olsa da yüzeyde hala tek bir renk görülecek haldedir.

Bu aşamada farklı plastik şekil verme teknikleri ile malzeme yüzeyinde farklı renklerin birbiri içine dağılımını sağlayacak şekilde desen oluşturma işlemi gerçekleştirilir. Plaka düzlemine dik ve/veya dike yakın açılarla alt katmanlar ortaya çıkacak şekilde çentik, delik veya kesikler açılır. Daha sonra haddede kalınlık eşitlenene dek incelendiğinde malzemeye verilen hasar yüzey boyunca yayılarak farklı desenlerin oluşumuna sebebiyet verir. Her ne kadar aynı işlemler uygulansa da Mokume Gane tekniği ile bire bir aynı desenin elde edilmesi difüzyonun mekanizmasının atomal boyutta kontrol edilememesi sebebiyle imkansızdır. Tekniğe ayrıcalık kazandıran en önemli unsurlardan birisi de bu özelliğidir.



Şekil 4.3 : Akım Şeması.

4.4 Etkin Parametreler ve İşlem Kısıtları

Yapılan literatür taramasında Mokume Gane tekniği ile takı üretimi konusunda etkin parametrelerin bu tekniğin en önemli adımı olan difüzyon tavlaması etrafında yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bu parametrelerin;

- ✓ Yüzey Temizliği
- ✓ Metal veya Alaşım Bileşimi
- ✓ Metallerin veya Alaşımların Birbiri İçerisinde Çözünürlüğü
- ✓ Yüksek Sıcaklık Oksidasyonu
- ✓ Sıcaklık
- ✓ Basınç

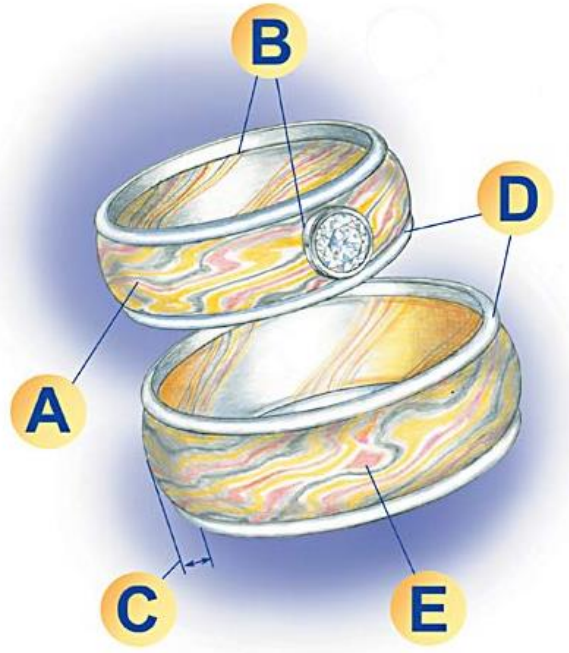
olduğu tespit edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde bu etmenler göz önünde bulundurularak gerekli deney düzenekleri tasarlanıp üretilmiş ve uygun sistemler tercih edilerek optimum şartların belirlenmesi için elde edilen sonuçlar ele alınmıştır.

Mokume Gane Tekniği'nin zayıf yanı ise elde edilecek ürünlerin belirli fiziksel şekillerde sınırlı kalması, görsel unsurun sadece yüzeyde etkili olabilmesidir. Farklı renklerin aynı yüzeyde elde edilebilmesi için kısmi ergime veya katı hal difüzyonu ile üretilen parçaların ergitilmesi tam çözünürlük sağlanmasıyla kontrastın yok olması anlamına gelmektedir. Bu sebeple Mokume Gane tekniği ile boyutları konusunda kısıtlama olmamakla beraber sadece düz levhalardan üretim yapılabilmektedir. Hassas döküm işlemi yapılamadığı için karmaşık geometrilik şekiller üretilmemektedir. Yüzük veya bilezik benzeri dairesel ürünlerin üretimi ise ancak kaynak işlemi ile iki ucun bir araya getirilmesiyle mümkün olmaktadır.

4.5 Nihai Ürün Özellikleri

Nihai kullanıcıya sunulmak üzere Mokume Gane tekniği ile hazırlanacak olan ürünün sahip olması gereken bazı kriterler mevcuttur. Elde edilecek ürünün takı ya da dekoratif amaçla üretildiği göz önünde bulundurulursa bu kriterler görsel unsurları yoğun olarak içermektedir. Şekil 4.4'te son ürünün sahip olması gereken kriterler görsel olarak incelenmiştir [25].



Şekil 4.4 : Olası Hata Bölgeleri[25].

- ✓ A: Yüzey düz olmalı ve farklı renklerin görünürlüğü belirgin olmalıdır.
- ✓ B: Temas yüzeyleri boyunca herhangi bir boşluk, çukur veya temassızlık bulunmamalı yüzey homojen olmalıdır.
- ✓ C: Yapının minimum kalınlığı 2mm olmalı ve herhangi bir kaplama vb. işlem geçirmemiş olmalıdır.
- ✓ D: Herhangi bir ek parça ile birleştirme işlemine tabi tutulduysa lehim veya kaynak izleri belli olmamalıdır.
- ✓ E: Yüzey rengi parlak ve net olmalı, görünen alt katmanlar belirgin değildir.

5. YÜZÜK ALYANS İMALATI

Günümüzde takı amaçlı kullanılan yüzükler farklı tasarımlara sahip ve çeşitli malzemelerden imal edilmektedir. Genellikle altın, gümüş, bakır, platin, demir, alüminyum gibi metal ve alaşımlardan oluşan malzemelerden yararlanılmaktadır. Üreticilerin hedeflemiş oldukları müşteri kitlelerine göre kullandıkları malzemeleri, makina-teçhizat durumlarını, tasarımlarını ve ürün kalite seviyesini belirlemektedirler. Manevi özelliği çok olmayan ve sadece süs amaçlı kullanıma yönelik üretimlerde; daha ucuz yöntemlerle, daha az maliyetli malzemelerden, basit tasarımlarda ve olabildiğince fazla miktarda üretim yapılmaya çalışılmaktadır. Buna karşın farklı, özgün tasarımlara sahip, değerli malzemelerle ve az sayıda gerçekleştirilen üretimler de mevcuttur. Ülkemizde yüzük üreten firmalar incelendiğinde daha çok beş yöntemin kullanıldığı belirtilebilir;

5.1 Halka Bükme ve Kaynak veya Lehim İşlemi:

Boyutları ve kesit şekli önceden seçilmiş olan (genelde tel veya yassı biçimde kullanılmakta) yarı ürün ilk olarak bükme makinasında çene ve mandrel yardımıyla bükülmekte ve halka biçimi verilmektedir. Ardından halkanın iki ucunun sert lehim veya kaynak yöntemleri ile (lazer kaynağı, oksii-asetilen gaz kaynağı vb.) birleştirilmesi sağlanmaktadır [26]. Ayrıca tasarıma göre gerekli eklemeler ve motifler sonraki aşamalarda yapılabilmektedir. En sonun da cilalama-parlatma işlemi yapılarak ürün tamamlanmış olur. El işçiliği yoğunudur, zahmetlidir ve üretim hızı oldukça yavaştır. Kaynak dikişinin belli olmaması için ya çok iyi parlatılması (lehim ile ana metal aynı renkte olmak koşulu ile) veya üstüne ilave bir maliyet ile kaplama yapılması gereklidir.

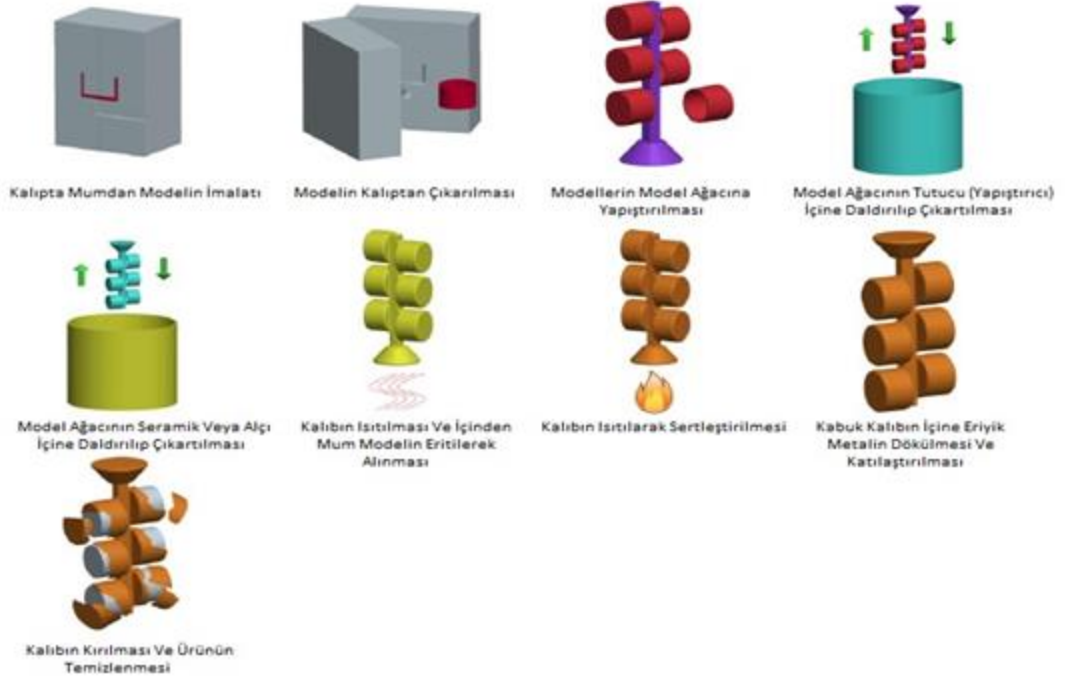


Şekil 5.1 : Bükülerek Yuvarlatılmış yüzük ve lehim için uçlarına yerleştirilmiş ilave metal parçalar (a) ve sert lehim yapılmış yüzük(b) [27-28].

5.2 Hassas Döküm

Ülkemizde en yaygın kullanılan takı üretim yöntemlerin başında gelmektedir. Bu yöntem “Dereceli Hassas Döküm” olarak da adlandırılmaktadır. Esas olarak dökülecek olan yüzüğün şekline uygun modelin mumdan imal edilmesiyle başlamaktadır. Bu işlem için kuyumculukta çoğunlukla silikondan yapılan kalıplar kullanılarak istenen sayıda mum model elde edilmektedir. Bu model parçaları yine mumdan imal edilen gövdeye eklenerek salkım (ağaç) elde edilmektedir. Model salkımı, alçı (seramik) banyosuna daldırılarak; çevresine ince bir tabaka kaplanması sağlanmaktadır. Diğer bir yöntemde ise salkım fanus içine yerleştirilmekte ve etrafına alçı dökülmektedir. Her iki yöntemde de seramik tabaka kuruyup katılaşınca kadar bir fırında pişirilmektedir. Dış çevresi sert alçı kaplı salkım, fırına sokulmaktadır ve böylece mum modelin eriyip dışarı akması sağlanmaktadır. Mum eritiminin ardından fırın sıcaklığı daha da yükseltilerek belli bir süre içinde alçı kalıp pişirilip ve sinterlenmektedir. Böylece döküm işlemine dayanacak şekilde mukavemetinin artması sağlanmaktadır [29]. Mum salkımdan kalan boşluğa eriyik metal dökülmektedir. Metal soğuyup ve katılaştıktan sonra basınçlı su veya darbe ile dış cidardaki seramik katman uzaklaştırılmaktadır. Parçalar ana gövdeden kesilerek alınmaktadır. Ardından çapak giderme, taşlama, temizleme, parlatma işlemleri ve son olarak da cila işlemleri yapılmaktadır. Döküm işleminde öngörülememiş boyutsal çekme veya distorsiyonlar varsa; bunların kompanse edilmesi için mum modeller tekrar tasarlanıp imal edilebilmektedir. Ayrıca bu yönteme ek olarak; özel kalite seviyesinde imalat gerçekleştirilmek isteniyorsa; mum modelin seramik kaplanması, mum modelin eritilerek uzaklaştırılması, alçı kalıbın sinterlenmesi ve döküm

işlemlerinin hepsi vakum ortamında yapılabilmektedir. Hatta hassas döküm aynı zamanda santrifüj (savurma) döküm ile birleştirilerek yüksek yüzey kalitesinde nihai ürün elde edilebilmektedir [1].



Şekil 5.2 : Mum modelin imalatı, ürün ağacının oluşturulması, döküm ve döküm sonrası işlemler [30].

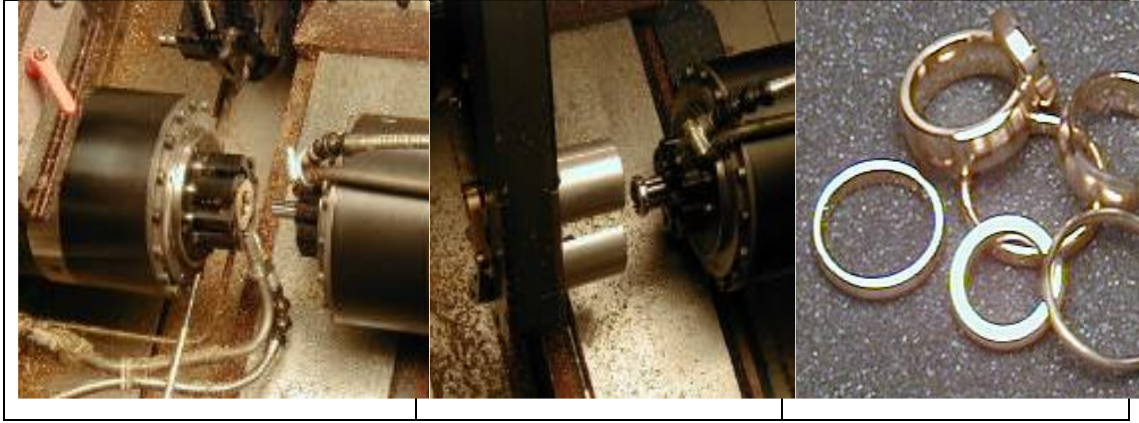
5.3 Borudan Kesme İşlemi

Bu yöntemde boru üretim aşaması özellikle altın yüzük üretiminde en pahalı ve en çok işletme sermayesi gerektiren adımı oluşturur. Farklı yöntemlerle boru üretimi mümkündür. Bunlardan en yaygın olanında, yassı levha yarı mamul; tandem hadde veya progresif haddelerden geçirilerek kaynak yardımı ile birleştirilmekte ve boru biçimi aldırılmaktadır. Buna alternatif olarak; doğrudan boru çekme yöntemi ile üretilmiş yarı mamul de kullanılabilir. Ancak kuyumculukta farklı renk ve ayarlarda yüzük üretimi gerçekleştirildiğinden dolayı boru üretimi aşırı derecede işletme sermayesi gerektirmektedir. Örneğin sadece 1 kg yeşil 14 K takı üretilcek ise boru çekme sisteminin yapısı gereği en az 6-8 kg alaşım ergitilerek 1,4 kg boru çekilmesi gerçekleştirilir. Geri kalan altın pota içinde, ilk çekme hurdası ve son kısım hurdası olarak atıl durumda kalır. Aynı işletmenin 3 farklı renk ve 2 farklı ayar (14 ve 18 K) üretim yatığı varsayılır ise gerekli başlangıç hammadde miktarı ($3 \times 2 \times 6 = 36$ Kg) küçük bir işletmenin sermayesini aşacaktır. Boru biçimindeki ürün belirli

boyutlarda torna tezgahı veya uçan testere benzeri makinalarda kesilmektedir. Bu kesilen ortası boş yüzük biçimindeki parçalara son işlemler yapılmaktadır ve böylelikle basit en kesitlere sahip, köşeli biçimde yüzükler imal edilmiş olmaktadır.

5.4 Kalın Plakadan Talaşlı Yöntemlerle Halka Üretimi

Sermaye sorunu olmayan ve büyük üretici olarak tanımlanan işletmelerde(yurtdışında) yüzük üretim usullerinden birisi de yüzük kalınlığında yassı levhadan kesilmiş parçaların bilgisayar kontrol bağlama, tutturma aparatları ve kesme takımları özel olarak hazırlanmış torna tezgahlarında hassas talaşlı işlenmesi gelmektedir [31].



Şekil 5.3 : Kalın plakadan yüzük üretim işlemi ve nihai ürün [31].

5.5 Toz Metalurjisi İle Üretim

Ayrıca toz metalurjisi yöntemi de kullanılmaktadır. Su ile atomize yöntemiyle elde edilen alaşım tozları kurutulup, elendikten sonra vakum-gaz giderme işlemine tabi tutulmaktadır. Ardından verilmek istenen yüzük şekline sahip kalıplarda toz parçacıkları sıkıştırılmaktadır. Redükleyici atmosfer ortamında sinterleme gerçekleştirilmektedir. Bu aşama sonunda boyutsal değişiklikler meydana geldiğinden parça tekrar sıkıştırılıp ve sinterlenmektedir. Bu işlemi son boyut ve şekil verilmesi amacıyla yine yüzük haddemeleme işlemi takip etmektedir. Sonrasında tavlama işlemi yapılmaktadır ve en son zımpara ile parlatma işlemi gerçekleştirilerek yüzük hazır hale gelmektedir [32].



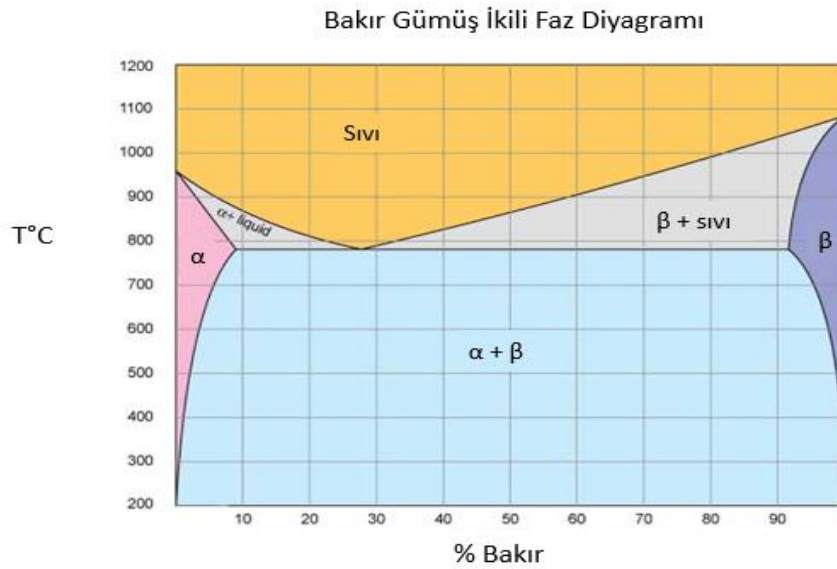
Şekil 5.4 : Toz halindeki malzemenin önce pul biçiminde şekillendirilmiş, ardından sinterlenmiş ve en sonunda bitirme işlemleri ile elde edilmiş yüzük biçimleri [32].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Malzeme Seçimi

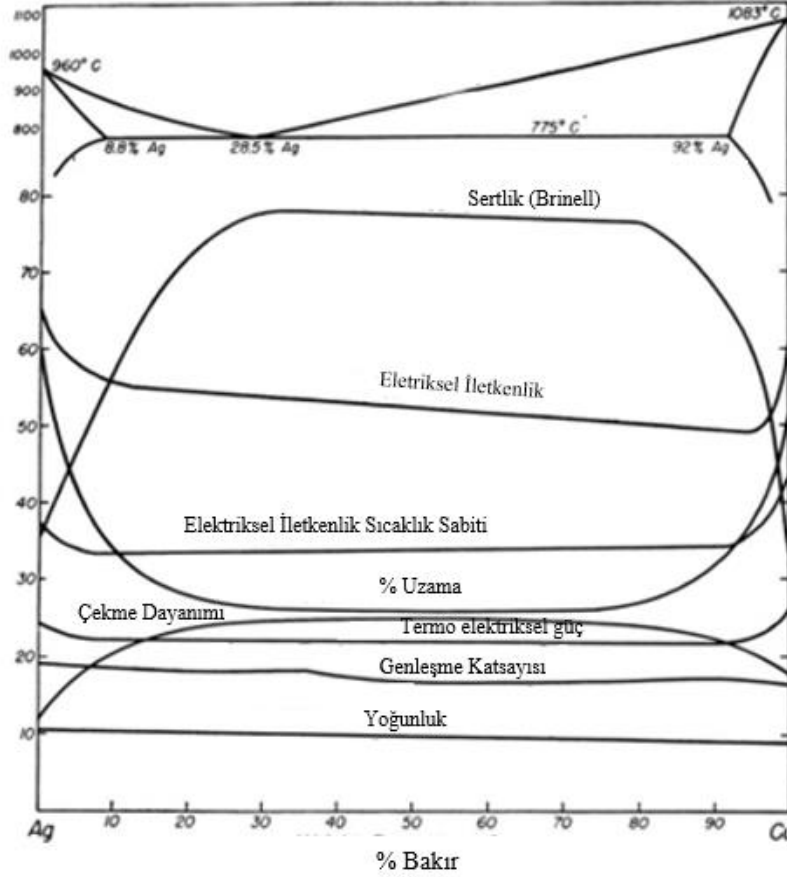
Yapılan literatür çalışmaları doğrultusunda malzeme seçimi konusunda etkin parametreler belirlenmiş ve malzeme seçimi bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Deneysel süreçteki hakimiyetin artması ve çalışma koşullarına bağlı parametrelerin optimizasyonunu kolaylaştırmak amacıyla iki ayrı alaşım yerine iki ayrı metalin tercih edilmesine karar verilmiştir.

Oluşturulacak yapının mekanik özelliklerinin yeterli olabilmesi için birbiri içerisinde çözünürlüğü yüksek olan ve intermetalik bileşik oluşturmayan metal çiftleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Kuyumculuk sektöründe kullanımı yaygın olan metallerden bakır, nikel ve gümüşün birbirleri içerisinde sınırsız çözünürlüğe sahip olduğu bilinmekle birlikte alerjik reaksiyonlara sebep olduğu bilinen nikel tercih edilmemiştir. Deneysel çalışmalarda ekonomik nedenlerle bakır ve gümüş üzerinde karar kılınmıştır. Bakır yerine ilerleyen süreçlerde altın kullanımında, temel parametrelerin kolaylıkla adapte edilebileceği ön görülmüştür. Ag-Cu ikili faz diyagramı Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1 : Ag-Cu ikili faz diyagramı [33].

Gerçekleştirilecek difüzyon işleminin ardından plastik şekil verme işlemine tabi tutulacak yapının mekanik özelliklerinin birbirine yakın olması da önem arz etmektedir. Bu sebeple seçilen metal çiftinin mekanik özellikleri de karşılaştırılmıştır. Bakır ve gümüşün mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2 : Ag-Cu Alaşımlarının Bileşime Bağlı Mek. Özellikleri [34].

6.2 Malzeme Hazırlama

Çalışılacak metal çiftine karar verilmesinin ardından gümüş Onsa Mücevherat İmalatı ve Dış Ticaret A.Ş.'den, bakır ise Cem Metal San. ve Tic. Ltd. Şti.'den 2'şer mm kalınlığında gerilim giderme tavlaması yapılmış levha olarak temin edilmiştir.

İkili faz diyagramında öngörülen davranışları sergileyeceğinden ve temin edilen metallerin safiyetlerinden emin olunması için temin edilen metallerin nicel analizleri XRF ve kimyasal analiz yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Metallerin farklı bölgelerinden alınan numuneler ile yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 6.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1 : Bakır ve gümüş numunelerinin kimyasal analizleri.

Bileşen, %	Bakır Levha	Gümüş Levha
Pb	0,017	0,082
Cu	99,230	7,140
Ag	-	92,310
Zn	0,147	-
Fe	0,041	-
Cd	-	0,074
Sn	-	0,222
Sb	-	0,148

Kimyasal olarak tanımlanan metaller farklı sistemlerde kullanılabilmesi amacıyla 15*15*2 mm’lik numuneler haline getirilerek kullanılmıştır. Kesme düzlemlerinde kalabilecek herhangi bir çıkıntı veya çapağın temas yüzeyini etkilemesini engellemek için tüm parçaların kenarları temizlenmiştir. Yüzeylerinde bulunan oksit film tabakasının giderilmesi ve temas yüzeyinin artırılması için numune yüzeyleri deneylerden kademeli şekilde mekanik olarak temizlenerek olası birleşmeme probleminin de önüne geçilmiştir.

6.3 Kullanılan Malzeme ve Ekipmanlar

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda difüzyon ile birleşmenin gerçekleşebilmesi için etkin parametrelerden sıcaklık ve sürenin incelenmesine karar verilmiştir. Sabit basınç altında gerçekleşmesi gereken deneylerin kontrol edilebilirliğini görmek adına üç farklı sistemde ön deneyler gerçekleştirilmiştir.

İlk deney düzeneğinde yüksek sıcaklık ortamı Elektra marka infrared fırın içerisinde sağlanmıştır. Basınç ise dört noktadan mesnetlenen tork kutuları ile uygulanmıştır.

Sistem üzerine uygulanan basıncın kontrol edilebilirliğini sınamak için hazırlanan ikinci deney sisteminde Reterm marka 3,5 kW gücünde indüksiyon ocağı ve gerekli basıncı sağlamak için tasarlanan çelikten imal edilmiş düzenek kullanılmıştır. Bu düzenek BÖHLER K-100 kalite çelikten imal edilmiş dört ayak ile hizalanmış bir yük kolundan oluşmaktadır. Koruyucu atmosferin sağlanması için yük bölmesi cam ile izole edilebilmektedir. Deney düzeneğine ait çizim Şekil 6.3’te gösterilmektedir.



Şekil 6.3 : Ayarlanabilir basınçlı deney düzeneği.

Isınma hızı, yüksek sıcaklıkta bekleme süresi gibi parametrelerin kontrolünün etkin olarak sağlanabilmesi için ise tüp kontrol sistemine sahip tüp fırın kullanılmıştır. Tüp giriş çıkışına konulan flanşlar ile sızdırmazlığı sağlanan sisteme hidrolik preste basınç verilmiş plakalar kullanılarak deney gerçekleştirilmiştir.

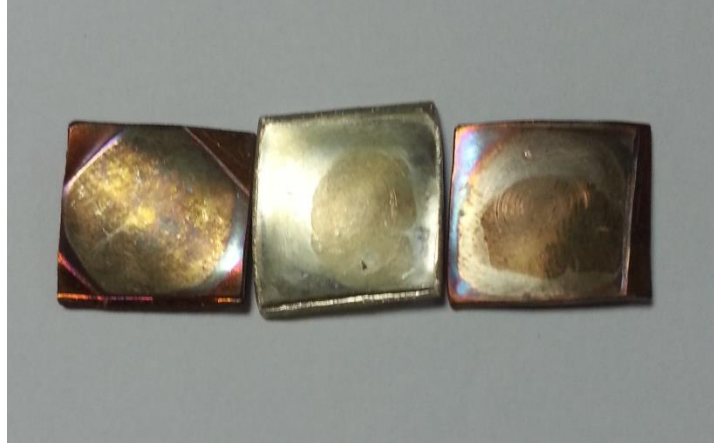
Tüm bu sistemlerde koruyucu gaz olarak Linde firmasından temin edilmiş saf N_2 ve saf H_2 gazları kullanılmıştır.

6.4 İnfrared Deney Sistemi

Yapılan literatür araştırmalarında üretim kademelerinden en önemlisinin difüzyon tavlama aşaması olduğu belirlenmiştir. Bu işlem adımına yönelik etkin parametreler ise difüzyon süresi ve sıcaklığı olarak tespit edilmiştir. Fırın içinde yapılacak işlemlerde yüksek sıcaklık ve kapalı hacimlerde bulunacak oksijen gazının etkilerinden kurtulmak için inert bir gaz geçirilebilecek bir fırın tercih edilmiştir. Adi karbon çeliğinden hazırlanan takozlar arasına üç adet plaka yerleştirilmiş ve takozdaki deliklerden geçirilen cıvatalar sıkılarak sabit bir şekilde bir arada tutulmaları sağlanmıştır. Plakalar Cu-Ag-Cu sıralamasıyla yerleştirilmiş ve çelik ile temasının kesilmesi için ince refrakter malzeme (alümina battaniye) kullanılmıştır.

Hazırlanan numune fırına yerleştirildikten sonra 10 dk. boyunca 0,1 l/dk. gaz debisiyle fırın içerisinden inert gaz geçirilmiş ve ardından ısıtma sistemi devreye alınmıştır. 6 C°/dk. hızla ısıtılan fırın 600 C°'ye sabitlenmiş ve bir saat boyunca aynı sıcaklıkta tutulduktan sonra gaz akışı devam ederken soğumaya bırakılmıştır.

Elde edilen numuneler basit mekanik zorlamalarla ayrıldığı için tasarlanan düzeneğin tekrarlanabilirliğinin deneyler için yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Ayrılan plakaların birbirleriyle temas halinde olan yüzeylerinin görüntüsü Şekil 6.4’te verilmiştir.



Şekil 6.4 : Difüzyon kaynağı başarısız olmuş numune örnekleri.

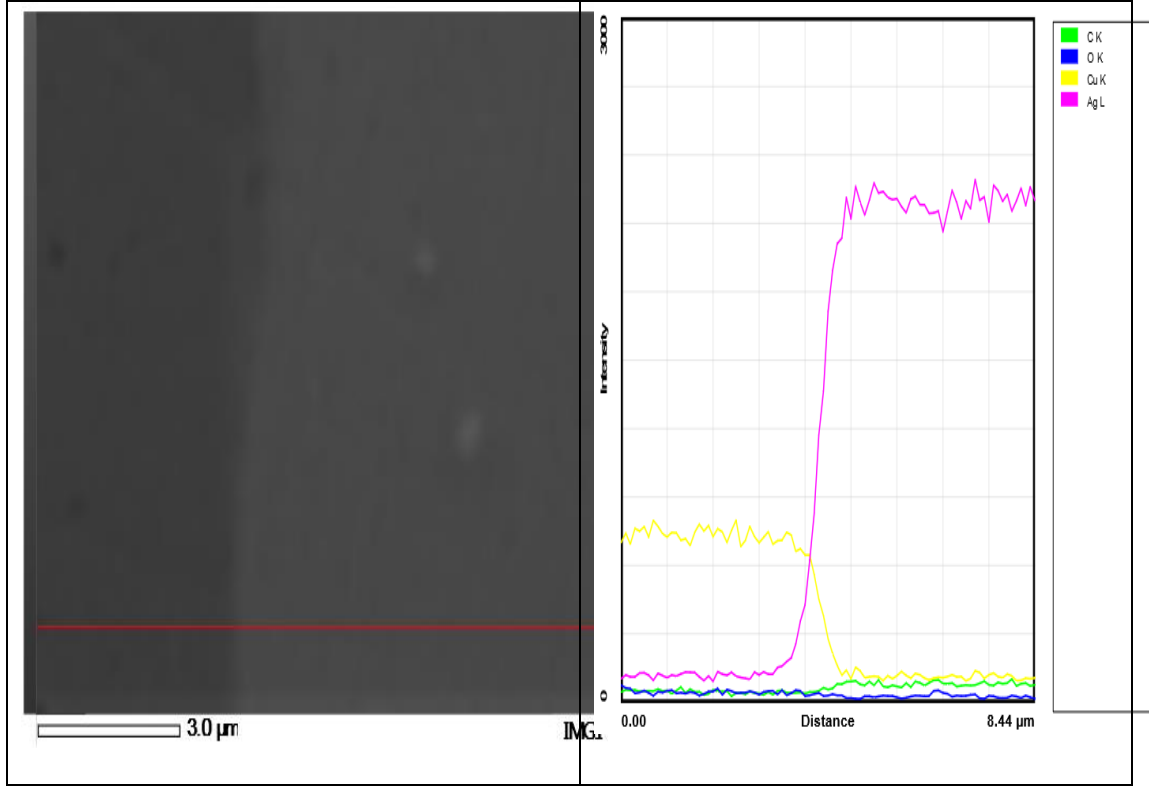
6.5 İndüksiyon Sistemi Deneyleri

Plakaların bir arada durmasını sağlayacak difüzyon bölgesinin kalınlığını arttırabilmek amacıyla sabit sıcaklıkta farklı yüklerdeki sonuçların incelenmesi için bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Hazırlanan sistem yapısal olarak çelik malzemeden üretilmiştir. İki yarı sabitleyici plaka, dört ayrı dişli kolonla bir araya getirilmiş ve atmosfer kontrolünün sağlanması için gerekli olan bir cam tüp yuvası plakalara açılmıştır. Yüksek sıcaklığa dayanıklı contalarla alt ve üst plakaya sabitlenen cam tüp indüksiyon bobinin içerisine yerleştirilmiştir.

Cam tüp içesinden geçen piston arasına yerleştirilen numuneler sistemin üzerindeki tork kolu yardımıyla istenilen yük değeri uygulanabilecek şekilde yerleştirilmiş ve sistemden azot gazı geçişi sağlanmıştır. Tasarlanan bu sistemin en büyük avantajı uygulanan yüke anlık müdahale şansının bulunmasıdır. Tork kutularında baştan uygulanan yükün termal genleşmeyle istenilen değerde tutulamaması ihtimaline karşın bu adaptasyon gerçekleştirilmiştir.

İndüksiyon sistemi ile yapılan deneysel çalışmalar, plakaların 600 °C sıcaklıkta bir saat tutulmasıyla gerçekleştirilmiştir. Deney süresince 0,1 l/dk. N₂ gazı cam tüp içerisine verilmiştir. Sıcaklık değeri infrared termometre ile ölçülmüştür.

Deney sonunda elde edilen numuneler hassas kesme cihazı ile merkez doğrultularında kesilerek bakalite alınmış ve mekanik parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Yapılan EDS analizleri sonucu elde edilen çizgisel analiz verileri Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.5 : İndüksiyon sistemi numunelerinin çizgisel atomal dağılımı.

Birleşme noktasındaki atomal dağılıma bakıldığında 1,5 µm'lik bir difüzyon bölgesi görülmektedir. Isınma ve soğuma sürelerini ortadan kaldırmaya yönelik tasarlanan bu sistemde tasarımsal olarak yapılan hatalar tespit edilmiştir. Yük uygulaması için kullanılan piston yüksek sıcaklıkta rijitliğini yitirip esneyerek basıncın plakaların farklı bölgelerine farklı değerlerde uygulanmasına neden olmuştur. Böylelikle elde edilen numunelerin bölgesel olarak birleşmeye uğramadığı kısımlar tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda ise birleşmenin olduğu bölgelerde difüzyon bölgesinin kalınlığında eşit bir dağılım olmadığı görülmüştür.

Bu deneylerin sonucunda küçük numunelerde indüksiyon sisteminin uygulama açısından yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

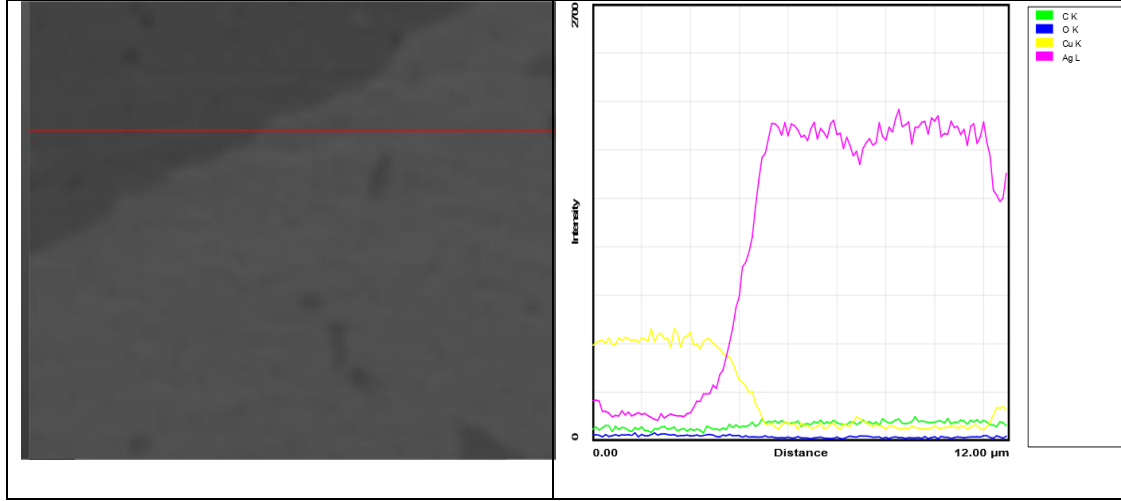
6.6 Redüktan Atmosfer Deneyleri

İndüksiyon sistemi ile yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen numunelerin EDS analizlerinde düşük miktarda görülen oksijen varlığını ortadan kaldırmak amacıyla redüktan atmosfer kullanılması için en uygun ortam olarak tüp fırın tercih edilmiştir. Tüp fırında yük kontrolü sağlanamayacağı için yeniden gerekli ölçülerde tork kutuları temin edilmiştir. Yüksek sıcaklıkta termal genişmeden kaynaklı basınç kaybını en alt seviyeye indirmek için tork kutusunun imal edildiği malzeme ve bağlantı vidalarında paslanmaz çelik kullanılması tercih edilmiştir.



Şekil 6.6 : Tork kutuları.

Tork kutusu içerisine yerleştirilen plakalar pres altında sıkıştırılmış ve bağlantı elemanları ile yükün sabit değerde kalması sağlanmıştır. Çelik malzeme ile plakaların etkileşiminin engellenmesi için tork kutusu ile numune arasında refrakter malzeme kullanılması tercih edilmiştir. Tüp fırının giriş ve çıkış kısımları sızdırmazlığı sağlayacak şekilde kapatılmış ve azot gazı fırın içerisine verilerek koruyucu atmosfer yaratılmıştır. 10 °C/dk. ısıtma hızı ile fırın merkezinin bir saatte 600 °C'ye ulaşması sağlanmıştır. Bir saat bu sıcaklıkta tutulan numuneler sistemden gaz geçişi devam ederken soğumaya bırakılmıştır. Tork kutusundan alınan numune hassas kesme cihazı ile kesilmiş ve farklı metallerin birbirine difüze oldukları bölgeler EDS analizi ile karakterize edilmiştir. Difüzyon bölgesindeki metallerin atomal dağılımı Şekil 6.7'de gösterilmektedir.



Şekil 6.7 : Redüktan atmosfer sistemi numunelerinin çizgisel atomal dağılımı.

Yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda sıcaklık ve sürenin etkisinin en detaylı şekilde görülebileceği düzeneğin tüp fırın sistemi olduğuna karar verilmiştir. Bu kanyaya birleşme bölgesinin çizgisel taramasında görülen 2μm'lik düzgün yapışma sergileyen ve homojen yapıli difüzyon bölgesinin görülmesi etkili olmuştur. Hazırlanan deney düzenekleri arasında en geniş birleşme bölgesi tüp fırın sisteminde görülmektedir. Farklı sistemlerde yapılan deneylerin koşulları Çizelge 6.2'de verilmektedir.

Çizelge 6.2 : Farklı deney sistemleri parametreleri.

	İnfrared Sistem	İndüksiyon Sistemi	Tüp Fırın
<i>Sıcaklık, °C</i>	600	600	600
<i>Isı kaynağı</i>	İnfrared Flaman	İndüksiyon Akımı	Direnç Teli
<i>Basınç, Bar</i>	90 bar	ölçülemedi	90 bar
<i>Koruyucu gaz ve debisi</i>	N ₂ , 0,1 l/dk.	N ₂ , 0,1 l/dk.	N ₂ , 0,1 l/dk.
<i>Süre, dk.</i>	60	60	60
<i>Birleşim Bölgesi Kalınlığı, μm</i>	0	1,4	2,1

7. DENEY SONUÇLARI ve İRDELEMELER

Tekrar edilebilir parametreler ile hazırlanan süre ve sıcaklık deney setlerinin sonucunda elde edilen numuneler optik mikroskop ve elektron mikroskobu ile makro ve mikro olarak incelenmiş sonuçlar tablolar haline getirilmiştir.

7.1 Sıcaklık deneyleri ve karakterizasyonları

Çok katmanlı plakanın oluşturulabilmesi için gerekli deney düzeneğinin aynı parametrelerle yapılan deneyler sonucunda tüp fırın sisteminde oluşturulmasına karar verilmiştir. Bu aşamadan sonra difüzyon mekanizması üzerine etkin parametrelerden sıcaklık ve sürenin difüzyon bölgesi kalınlığı üzerine etkisi araştırılmıştır.

Sistem üzerine etkin parametrelerden basınç, ısınma için geçen süre, koruyucu atmosfer bileşimi ve yüksek sıcaklıkta kalma süreleri sabit tutularak farklı sıcaklıkların difüzyon bölgesinin kalınlığına etkisi incelenmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği parametreler Çizelge 7.1’te verilmiştir.

Çizelge 7.1 : Sıcaklık deneyleri parametreleri.

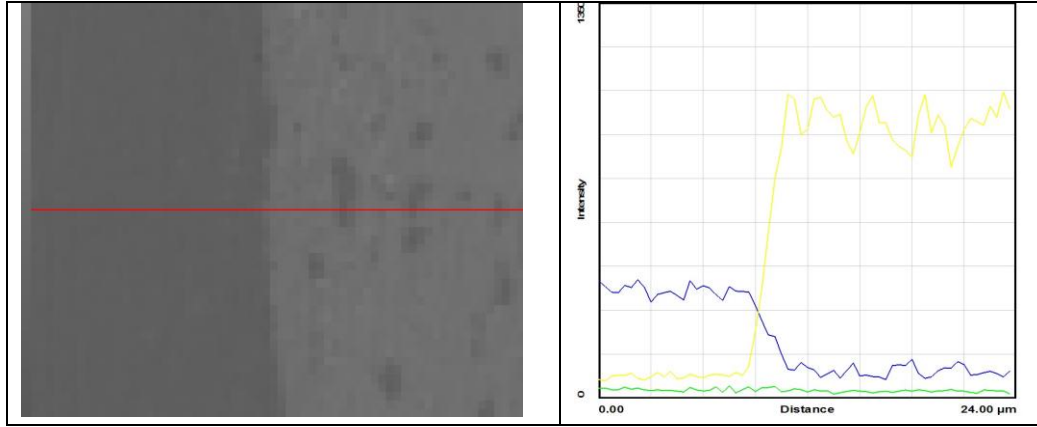
<i>Parametre</i>	T1	T2	T3
<i>Basınç, bar</i>	90	90	90
<i>Koruyucu Gaz ve Debisi</i>	5 ml/dk. H ₂ ,190 ml/dk. N ₂	5 ml/dk. H ₂ ,190 ml/dk. N ₂	5 ml/dk. H ₂ ,190 ml/dk. N ₂
<i>Isınma Süresi</i>	120 dakika	120 dakika	120 dakika
<i>Sıcaklık, °C</i>	650	700	750
<i>Yalıtım Malzemesi</i>	Karbon Kağıt	Karbon Kağıt	Karbon Kağıt

Soğuma sırasında oksidasyonu engellemek için numunelerin oda sıcaklığına gelene kadar kapalı atmosferde soğumaları beklenmiştir. Ayrıca soğuma esnasında fırın içerisine oksijen girişinin önüne geçmek için gaz geçişi ters basınçlı bir sistem ile numuneler fırından çıkartılana kadar devam ettirilmiştir. Numunelerin sırasıyla fırından çıktıkları andaki görüntüleri Şekil 7.1’de verilmiştir.

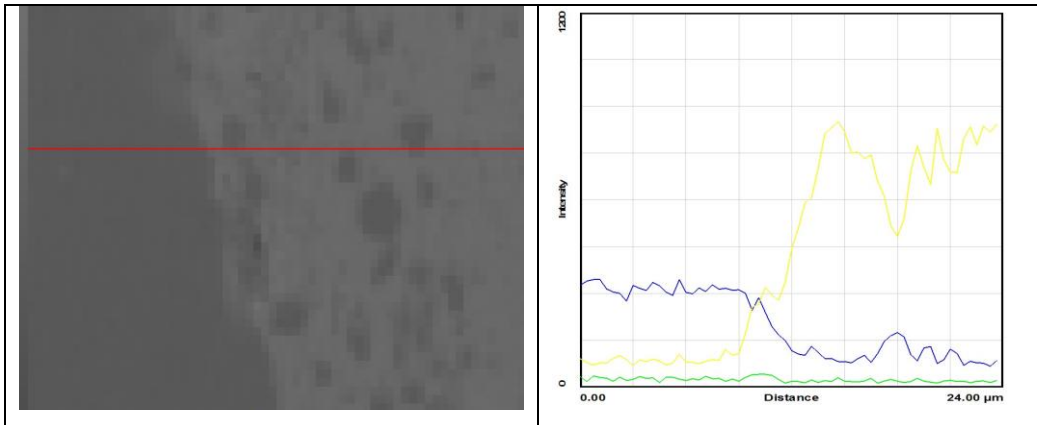


Şekil 7.1 : Numunelerin önden ve yandan görünüşü.

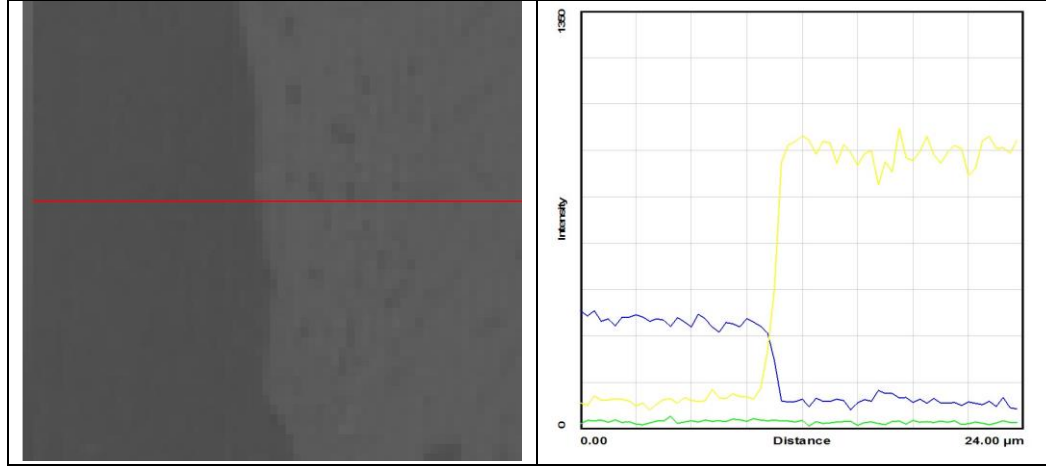
Deneyler sonucunda elde edilen numuneler hassas kesme cihazı ile 2,4 mm/dk. hızla kesilmiş ve bakalite alınarak karakterizasyon çalışmaları için mekanik olarak parlatılmıştır. Jeul marka taramalı elektron mikroskobu ile yapılan EDS analizlerinin sonucu sırasıyla Şekil 7.2, 7.3 ve 7.4’de verilmiştir.



Şekil 7.2 : 650 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmanın SEM mikrografi ve çizgisel EDS sonucu.



Şekil 7.3 : 700 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmanın SEM mikrografi ve çizgisel EDS sonucu.



Şekil 7.4 : 750 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmanın SEM mikrografı ve çizgisel EDS sonucu.

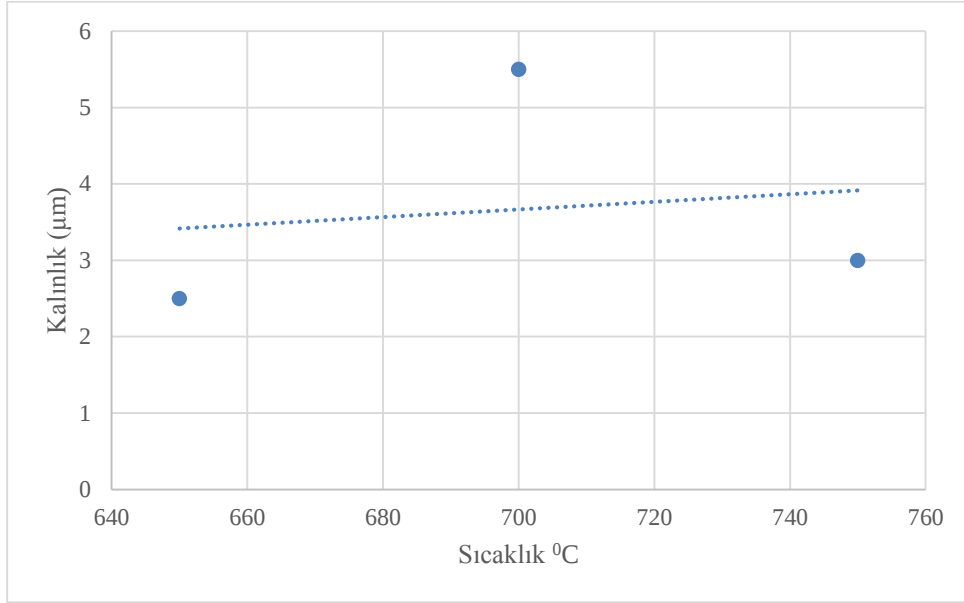
Yapılan deneyler ve karakterizasyon çalışmaları sonucunda difüzyon bölgesi kalınlığının sıcaklık ile doğrusal olarak artmadığı tespit edilmiştir. Numunelere ait bileşimin çizgisel dağılıma bakıldığında 700°C sıcaklığında yapılan deneyde bakırdan gümüşe geçişin en yüksek seviyeye ulaştığı görülmektedir. EDS yapılan bölgelerden alınan görüntülerde gümüş kısmında bakır içeren bölgeler de tespit edilmiştir. İkili faz diyagramlarına bakıldığında bakır ve gümüşün sınırsız çözünürlükleri olduğu ve intermetalik bileşiklerinin bulunmadığı bilinmektedir. Karakterizasyon çalışmaları sonucu elde edilen bu yapının % 92,5 safiyetteki gümüşteki empürilerin bölgesel olarak çözünürlüğü etkilemesinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Artan deney sıcaklığı ile bakır plaka homojenitesi fazla bir değişiklik göstermemekle birlikte gümüş plakadaki homojenite 700°C'ye kadar azalmakta daha yüksek sıcaklıkta ise artmaktadır.

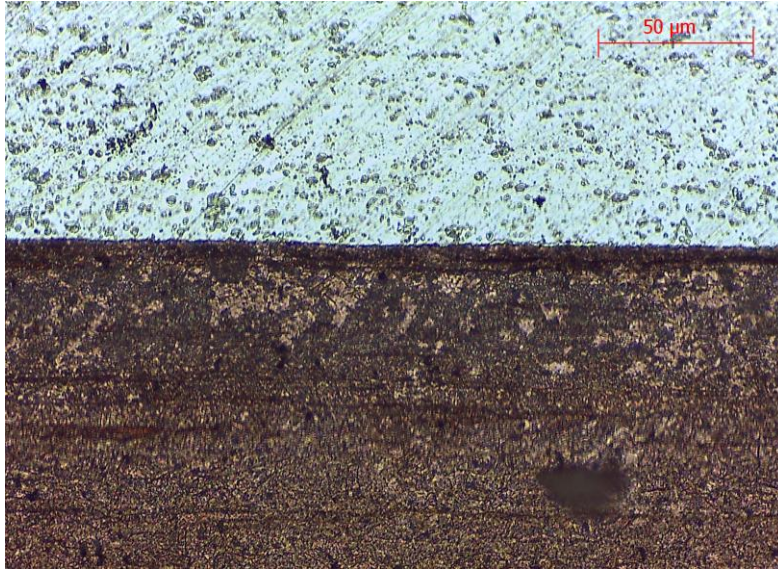
Yapılan çizgisel analiz sonucunda plakaların birleşme bölgesindeki difüzyon kalınlığı tespit edilmiştir. Farklı sıcaklıklardaki oluşan difüzyon kalınlıkları şekil 7.5 ile verilmiştir.

Metal plakalar arasında gerçekleşen difüzyonun makro boyutta incelenmesi için EDS analizlerinde kullanılan numunelerle aynı prosedürde hazırlanmış yeni numuneler ile metalografik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen görüntüler metal atomlarının birbirleri içerisindeki dağılımının EDS analizinde elde edilen atomal harita ile tutarlılığı karşılaştırılmıştır. Temas bölgesine yakın tanelerin renk değişimi ve tane yapısının incelenmesi için yapılan bu karakterizasyon çalışmasında

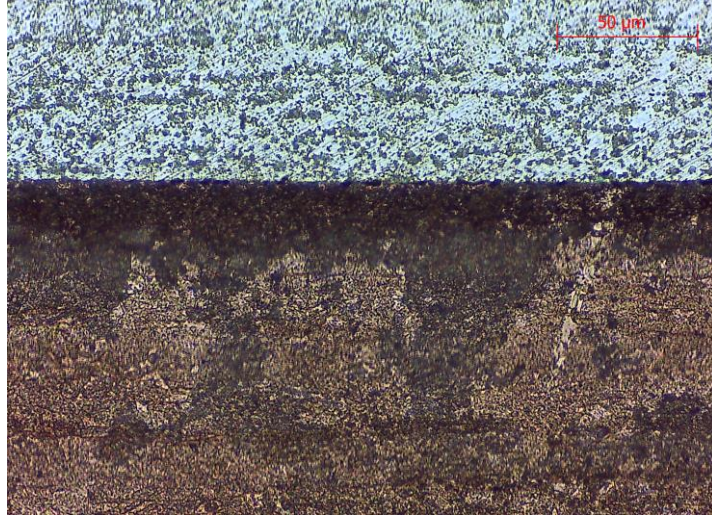
numuneler %25 NH₃, %25 saf su ve %50 H₂O₂ (Hacmen %3'lük.) çözeltisi ile dağlanmıştır. Metalografik inceleme fotoğrafları görüntüler sırasıyla Şekil 7.6, 7.7 ve 7.8'de verilmiştir.



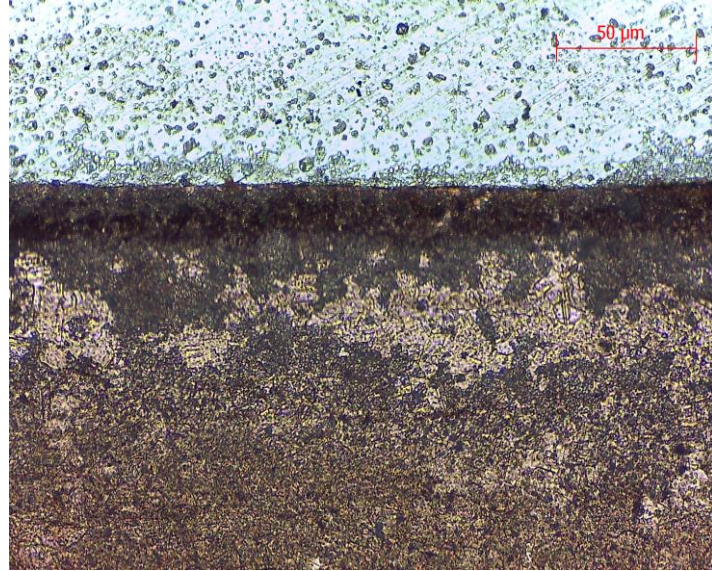
Şekil 7.5 : Sıcaklık deneyleri birleşim bölgesi kalınlıkları grafiği.



Şekil 7.6 : T1 Numunesi kesit bölgesine ait mikroyapı.



Şekil 7.7 : T2 Numunesi kesit bölgesine ait mikroyapı.



Şekil 7.8 : T3 Numunesi kesit bölgesine ait mikroyapı.

Yapılan metalografik incelemeler EDS verileri ile karşılaştırılmış ve farklı metallerin (metal-alaşım) birbirleri ile difüzyon yolu bir birleşmelerindeki tutarlık ortaya konulmuştur. Tüm numunelere ait görüntülerde birleşim alanında karakteristik bakır ve gümüş renginden farklı bir renkte birleşim bölgesi görülmektedir. Tespit edilen bölgenin kalınlığı atomal dağılım analizi ile tespit edilen kalınlıklarla paralellik göstermektedir. Metalografi görüntülerinde dikkat çeken bir diğer özellik ise artan sıcaklıkla bakır kısmında temas bölgesine yakın tanelerin bünyelerinde çözdükleri gümüş sebebiyle renklerinde görülen değişimdir. Artan süre ile numunelerin Cu kısmının rengi giderek açılmaktadır.

7.2 Süre Deneyleri ve Karakterizasyonları

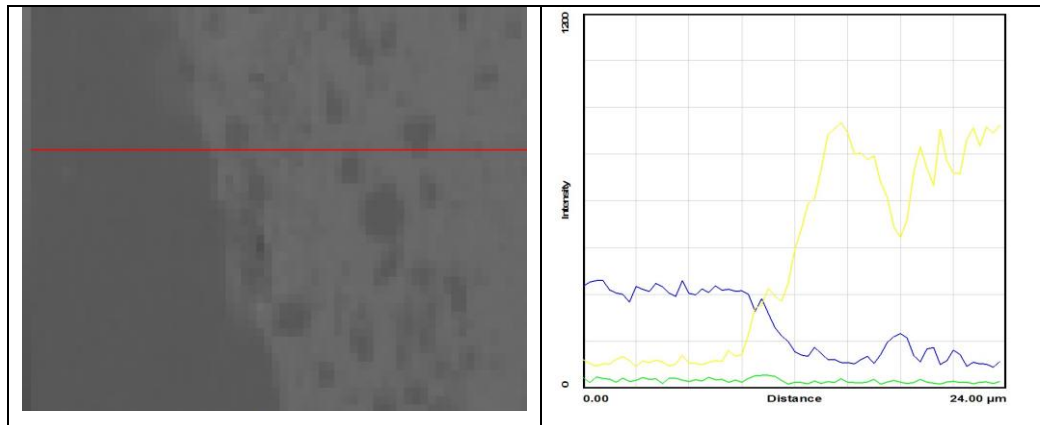
Plakalar arası oluşan difüzyon bölgesinin kalınlığına sıcaklığın etkisini belirlemek için yapılan deneylerin sonuçlarına göre en etkili sıcaklık 700 °C olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklık değerinde sürenin difüzyon kalınlığına etkisini incelemek için sabit koşullarda farklı sürelerde çalışılmıştır. Isınma ve soğuma süreleri sabit tutularak fırın içi oluşturulan en yüksek sıcaklıkta kalma süresi araştırılmıştır.

Süre deneylerinin gerçekleştirildiği parametreler çizelge 7.2’de verilmektedir.

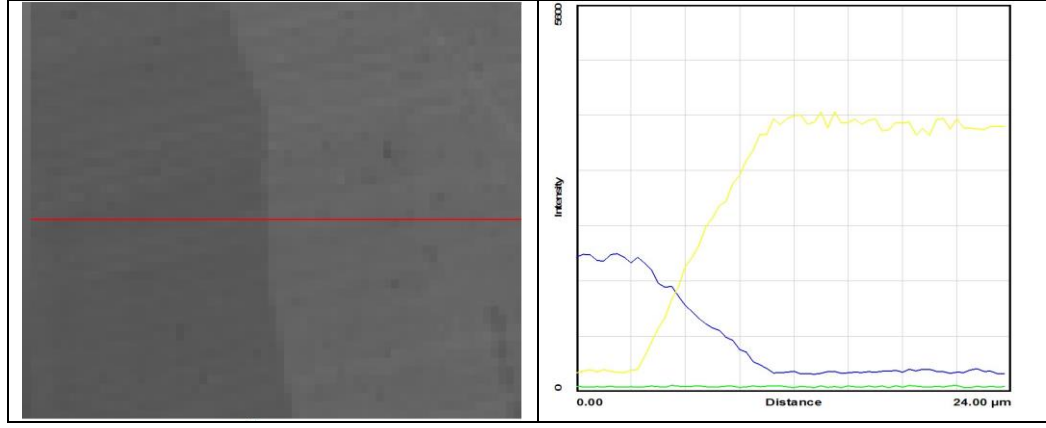
Çizelge 7.2 : Süre deneyleri parametreleri.

Parametre	S1	S2	S3
Basınç, bar	90	90	90
Koruyucu Gaz ve debisi	5 ml/dk. H ₂ ,190 ml/dk N ₂	5 ml/dk. H ₂ ,190 ml/dk. N ₂	5 ml/dk. H ₂ ,190 ml/dk. N ₂
Isınma Süresi, dk.	60	90	120
Sıcaklık, °C	700	700	700
Yalıtım Malzemesi	Karbon Kağıt	Karbon Kağıt	Karbon Kağıt

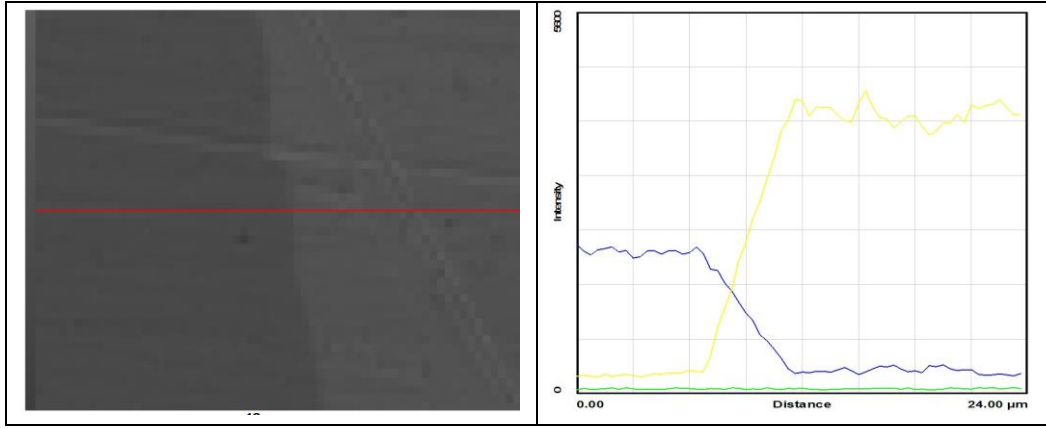
Süre deneylerinde oluşacak difüzyon bölgesinin sıcaklık deneylerindeki mekanizmayla bir farklılık göstermemesi için sadece deney parametreleri değil deneylerin yapılış şekilleri de bire bir tekrar edilmiştir. Deney başlangıçları ve soğuma esnasında numunelerin oda sıcaklığına gelene kadar oksidasyona uğramaması için gaz geçişinin devam ettirilmesi sağlanmıştır. Taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen EDS analizlerine ait görüntüler ve atomal dağılım grafikleri aşağıdaki şekillerde sırasıyla verilmiştir.



Şekil 7.9 : 120 dk. süre ile 700 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmanın SEM mikrografi ve çizgisel EDS sonucu



Şekil 7.10 : 90 dk. süre ile 700 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmanın SEM mikrografi ve çizgisel EDS sonucu

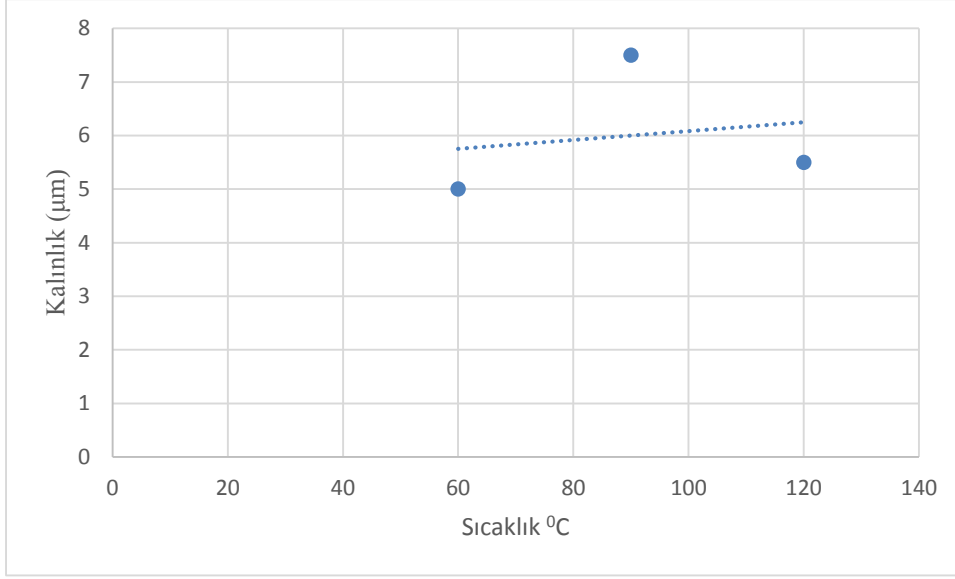


Şekil 7.11 : 60 dk. süre ile 700 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmanın SEM mikrografi ve çizgisel EDS sonucu

Süre deneylerine ait numunelerin çizgisel atomal dağılımları sıcaklık deneyleriyle karşılaştırıldığında birleşim bölgesi kalınlığının doğrusal artmaması dışında birçok farklılık göstermektedir. S1 ve S2 numunelerinde temas bölgesi dışında hem Ag hem de Cu bölgesinde diğer numunelere kıyasla daha fazla homojen bir yapı tespit edilmiştir. 90 dakikaya kadar atomal geçişlerin bakırdan gümüş yönüne olduğu, bunun üzerindeki sıcaklıklarda ise ters yöne bir atomal geçiş tespit edilmiştir.

Süre deneylerinden elde edilen numuneler ile yapılan karakterizasyon çalışmaları sonucundan elde edilen atomal dağılım grafiklerine bakıldığında en geniş birleşme bölgesinin 90 dakika süre ile gerçekleştirilen deneysel çalışmada olduğu tespit edilmiştir.

Sürenin oluşan difüzyon bölgesi kalınlığına etkisinin daha iyi anlaşılması için elde edilen veriler ile bir dağılım grafiği oluşturulmuştur. Sonuçlara ait dağılım grafiği Şekil 7.12’te verilmektedir.

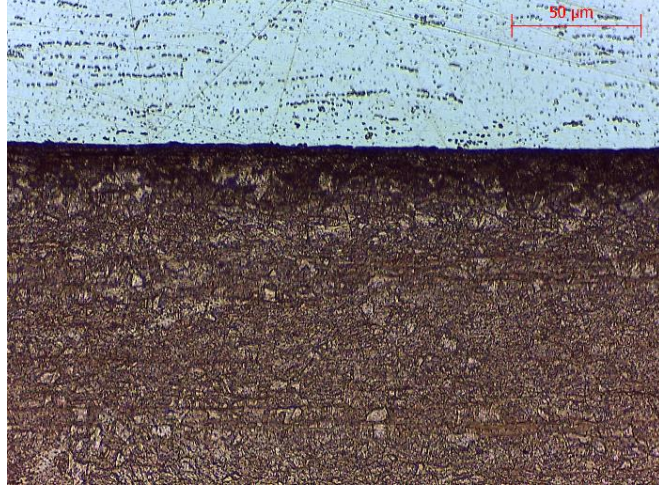


Şekil 7.12 : Süre Deneyleri Birleşim Bölgesi Kalınlıkları Grafiği.

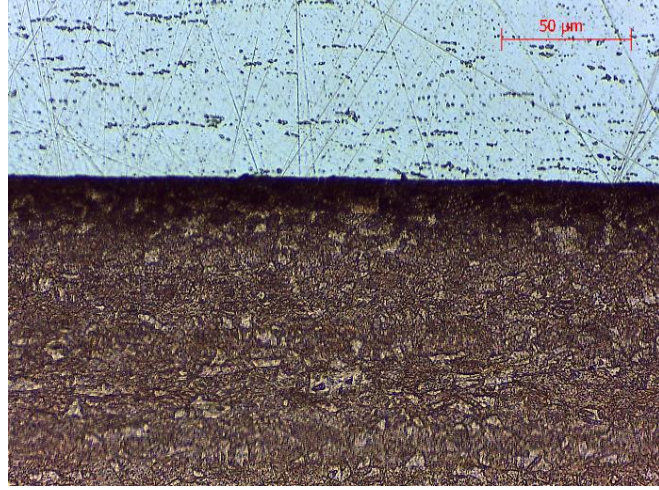
Süre deneyleri ile elde edilen numuneler de sıcaklık deneyleri numuneleri ile aynı koşullarda gerekli hazırlık safhalarından geçerek metalografik incelemeye hazırlanmıştır. Metalografik inceleme sonucu elde edilen görüntüler sırasıyla Şekil 7.13, 7.14 ve 7.15’de verilmiştir.

Süre deneyleri numunelerin metalografik incelemelerinde de birleşme bölgesi kalınlığı çizgisel atomal dağılım ile uyumluluk arz etmektedir. EDS sonuçlarında da görüldüğü gibi S1 ve S2 deneylerinde difüzyonun yönü gümüşten bakıra tespit edildiği için bu durumu destekler şekilde numunelerin gümüş kısmında makro değişimler görülmemektedir. S3 deneyinde ise bakırdan gümüşe difüzyon da görülmekte ve numunenin her iki kısmındaki makro değişimler EDS sonuçlarını doğrulamaktadır.

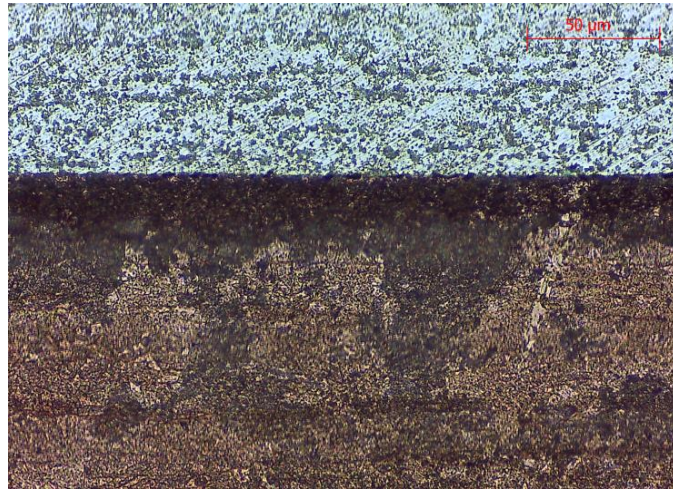
Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar farklı renkli alaşımların uygun sıcaklık, zaman ve basınç altında birbirleri ile difüzyon yolu ile kaynatılabileceğini ve dolayısı ile yıllardır gizli bir ustalık sanatı olarak bilinen Mokume Gane tipi takı üretimi için gerekli malzemelerin üretilebileceğini ortaya koymuştur.



Şekil 7.13 : S1 numunesi kesit bölgesine ait mikro yapı.



Şekil 7.14 : S2 numunesi kesit bölgesine ait mikro yapı.



Şekil 7.15 : S3 numunesi ait kesit bölgesine ait mikro yapı.

8. GENEL SONUÇLAR VE İRDELEMELER

1. Oksidasyonun engellenmesi ve mekanik anlamda yeterli bir difüzyon bölgesinin oluşturulması için kontrollü atmosferde çalışılması gerektiği tespit edilmiştir.
2. Difüzyon mekanizmasının oluşumu ve boşlukların engellenmesi için basıncın gerekliliği tespit edilmiştir.
3. Artan sıcaklıkla oluşturulan difüzyon bölgesi kalınlığı arasında doğrusal bir oran olmadığı tespit edilmiştir.
4. Artan yüksek sıcaklıkta kalma süresi ile oluşturulan difüzyon bölgesi kalınlığı arasında doğrusal bir orantı olmadığı tespit edilmiştir.
5. Artan sıcaklık ve süre koşullarının atomal yönelme doğrultusunda etkin olduğu ve bu durumun değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.
6. Aynı numunelerin farklı kesitlerinde yapılan EDS analizleri ile birleşim bölgesi kalınlığının homojen olduğu tespit edilmiştir.
7. Kurulan deney düzenekleri ve belirlenen parametreler ile numunelerin oksidasyona uğramadan birleştiği yapılan EDS analizleri sonucu ispat edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Pinton, D.** (1999). *Jewellery Technology*. Edizioni Gold, Milano, Italy
- [2] **Street. L., Palmberg. J., Artigas. J. C., Grubb. M.** (2013). Gold Demand Trends., World Gold Council Report.
- [3] **Yuan, J., Li, W., Chang, W.** (2012) Rare Metal Materials and Engineering, Volume 41, Issue 6, June 2012, Pages 947-951
- [4] **World Silver Survey 2013** (2013) Thomson Reuters GFMS
- [5] **The World Copper Factbook 2013** (2013) International Copper Study Group
- [6] **Reith. F., Campbell. S.G., Ball. A.S., Pring. A., Southam. G.,** (2014) Earth-Science Reviews, Volume 131, April 2014, Pages 1-21
- [7] **Url-**<http://www.platinum.matthey.com>>, alındığı tarih: 02.03.2014
- [8] **Vilaplana J., Romaguera C., Grimalt F., Cornellana E.,** (1991) New Trends in the Use of Metal in Jewellery, *Contact Dermatitis*, Vol. 25, Pages 145-148
- [9] **Rapson W.,** (1990) The Metallurgy of the Coloured Carat Gold Alloys, *Gold Bulletin*, Vol. 23,
- [10] **Sistare S., McDonald A.,** (n.d.) The Metallurgy of Some Carat Gold Jewellery Alloys,
- [11] **Junping Y., Wei L., Chang W.,** (2012) Nickel Release of 10 K White Gold Alloy for Jewellery, *Rare Metal Materials and Engineering* Vol. 41
- [12] **Bettezzati L., Moiraghi I., Calliari I., Dabala M.,** (2004) Hardening Phases in Some Ni-free 14 Carat White Gold Alloys, *Intermetallics* Vol. 12
- [13] **ASM Handbook,** “Welding, Brazing and Soldering”, 6.Cilt.
- [14] **DIN ISO 857-2:2007-03.**
- [15] **ANIK, S.,** *Kaynak Tekniği Cilt I*, İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı 960, 1970.
- [16] **DVS-Merkblatt 2909,** “Reibschweißen von metallischen Werkstoffen Konstruktion und Fertigung”, Cilt 1-5, 1993-2009.
- [17] **Nicholas, E. D.,** *Welding in the World*, “Friction Processing Technologies”, 47. Cilt, Sayı 11-12, Kasım 2003.
- [18] **Wang, K. K. Ve Lin, W.,** *AWS The Welding Journal*, “Flywheel Friction Welding Research”, Makale Eki, Haziran 1974.
- [19] **Vitek, J. ve Miklanek, L.,** *Schweisstech Berlin*, “Technologische Bedingungen für die Qualitätssteigerung beim Ultraschallschweißen von Metallen”, 28. Cilt, 1978.

- [20] Altan, E. ve Karahasanoğlu, C., , “Yayınma Kaynağı” *Mühendis ve Makine Dergisi*, 28. Cilt, Sayı 335, 1987.
- [21] Binnion, James, and Bryan Chaix. "Old Process, New Technology: Modern MokumeGane.10.12.2013.<<http://mokumegane.com/documents/SantaFePaper.pdf>>.
- [22] Url-<<http://www.aharoni-jewellery.com/>> , alındığı tarih: 21.03.2014
- [23] Url-<<http://www.silversmithing.com/1mokume.htm>> , alındığı tarih: 21.03.2014
- [24] Url-<<http://www.ayakokusuzawa.com>> , alındığı tarih: 25.03.2014
- [25] Mann. B. B., (2004), Mokume-Gane: Manufacturing Works of Art, Part 2
- [26] KLOTZ Fred, (2002), *Cold Forging of Karat Gold findings, Gold Thecnology s. 13-16. Virginia*
- [27] Url- <<http://www.newyorkweddingring.com/photos-workshops/photos-wedding-ring-workshop-solder-chips.htm>> , alındığı tarih: 22.05.2014
- [28] Url-<<http://www.newyorkweddingring.com/photos-workshops/photos-wedding-ring-workshop-braze-platinum.htm>>
- [29] FACCENDA, Valmo., (1996), Altın Takı Üretim Teknikleri, Karşılaşılan Problemler ve Çözümleri Sempozyum Notları, S. 10-16
- [30]Url-<<http://www.espint.com/engineering/best-fit-manufacturingpractices/investment-casting.aspx>> alındığı tarih: 18.01.2014
- [31]Url-<http://www.spinner.com.tr/ozeluygulamalar/17_1.pdf>01/08/2012.> alındığı tarih: 22.01.2014
- [32] Url-< http://www.platinumguild.com/files/pdf/V9N6_production_wedding.pdf> alındığı tarih: 28.01.2014
- [33] Binnion. J., (2013) Precipitation (Age) Hardening Sterling
- [34] Taylor. L. S., (2013) An Investigation of the Mechanical and Physical Properties of Copper – Silver Alloys and Use of These Alloys in Pre-Columbian America, *Massachusetts Institute of Thecnology*.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Candeniz Uysal
Doğum Yeri ve Tarihi: 02/04/1989 - Kütahya
Adres: Büyükdere Mah. Cami Sok. No21/4 Sarıyer İstanbul
E-Posta: candenizuysal@gmail.com
Lisans: İTÜ Metalurji ve Malzeme Müh. Lisans Programı