

T.C.  
TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ELMASLI KESİCİ TAKIMLARDA SİNERLEME SONRASI YAPILAN ISIL  
İŞLEMLERİN TAKIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Ali Kemal ASLAN**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği**

**DANIŞMAN**  
**Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul Çelik**

**HAZİRAN – 2015**

**T.C.**  
**TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELMASLI KESİCİ TAKIMLARDA SİNERLEME SONRASI YAPILAN ISIL**  
**İŞLEMLERİN TAKIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Ali Kemal ASLAN**  
**(111107103 )**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği**

**DANIŞMAN**  
**Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul ÇELİK**

**HAZİRAN – 2015**

**T.C.**  
**TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELMASLI KESİCİ TAKIMLARDA SİNERLEME SONRASI YAPILAN ISIL**  
**İŞLEMLERİN TAKIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Ali Kemal ASLAN**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 12/06 /2015 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

**İmza:.....**

Yrd. Doç. Dr.  
Ertuğrul ÇELİK  
(T.Ü)

**DANIŞMAN**

**İmza:.....**

Prof. Dr.  
Sedat KOLUKISA  
(T.Ü)

**ÜYE**

**İmza:.....**

Yrd. Doç. Dr.  
İlyas SOMUNKIRAN  
(F.Ü)

**ÜYE**

Bu tez, Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Abdullah DİKİCİ  
Enstitü Müdürü  
İmza ve Mühür

Bu çalışma, Tunceli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

**Proje No: YLTUB014-04**

**NOT:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı "Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu"ndaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Elmaslı kesici takımlar mermer, kireç taşı gibi doğal taşların çıkarılması ve işlenmesinde, beton, asfaltın kesiminde ve çeşitli yüzey parlatma işlemlerinde kullanılırlar. Bu takımlar genellikle toz metalürjisi yöntemiyle imal edilirler. Doğal ya da sentetik elmas taneleri istenen ürün özelliklerine göre seçilmiş metal tozlardan oluşan matrise bağlanır.

Bu çalışmada sinterlemeyle imal edilmiş elmaslı kesici takımlara yapılan ısı işlemlerin takımın mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda altı farklı alaşımdan oluşan soketler iki farklı sinterleme sıcaklığı ve basıncında imal edilerek toplam 12 farklı numune kullanılmıştır. Çalışmada numunelere önce 950 °C'ye 75 dakikada çıkılarak, bu sıcaklıkta 90 dakika bekletilerek ve daha sonra doğal soğumaya bırakılarak ısı işlem uygulanmıştır. Daha sonra ham numunelere 950 °C'ye 75 dakikada çıkılarak, bu sıcaklıkta 180 dakika bekletilerek ve daha sonra doğal soğumaya bırakılarak ayrı bir ısı işlem uygulanmıştır. Çalışmalarda matris alaşımındaki bakır miktarının artırılıp MX1480 miktarının azaltılmasıyla numunelerin sertlik ve eğilme mukavemetlerinin azaldığı ancak yoğunluklarının ve yüzde uzama miktarlarının arttığı tespit edilmiştir. Yapılan ısı işlemler sonucunda ise tane irileşmesi yoluyla mikro yapıda sinterleme sonrası kalan porozitelerin büyük bir kısmının elimine edildiği ancak yapıda daha büyük çaplarda poroziteler oluştuğu görülmüştür. Ayrıca alaşım elementlerinin birbiri içinde çözünerek daha homojen bir yapı elde edildiği görülmüştür. Yapılan her iki ısı işlemin sonucunda da numunelerin sertlik ve yoğunluk değerlerinin düştüğü, ancak sünekliklerinin arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elmaslı Kesici Takım, Matris Alaşımları, Toz Metalürjisi, Sinterleme, Porozite, Yoğunluk, Mekanik Özellikler, Isıl İşlem, Tane Büyümesi

## ABSTRACT

### **Effect of Heat Treatment Which Is Applied After Sintering On Mechanical Properties of Diamond Cutting Tools**

Diamond cutting tools are used in mining and processing natural stones as marble, limestone and various surface polishing processing. These tools are generally produced by powder metallurgy route. Natural or synthetic diamond particles are bonded with metal matrix that metal powders which are selected according to the final product properties.

With this study it was investigated that effect of heat treatment on mechanical properties of diamond cutting tools which are produced by sintering. In the experimental studies, 12 samples have been used which has six different chemical alloy that were produced at two different sintering temperatures and pressures. In the study heat treatment was applied to samples through rising temperature up to 950 °C for 75 minutes, and then rested at this temperature since 90 minutes and then left to cooling. After another heat treatment was applied to raw samples through rising temperature up to 950 °C for 75 minutes, and then rested at this temperature for 180 minutes and then left to cooling. At the experiments they were observed that hardness and bending strength values of samples were dropped and conversely density values of samples were increased by rising the rate of Cu and reducing rate of MX1480 in the alloy. Resulting of heat treatments it was observed that the porosities were eliminated in the microstructure by grain growth but new porosities were occurred which have larger sizes. Also more homogenous structure has been obtained by dissolving each alloying elements in together. As a result of both heat treatments it was observed that density and hardness values of samples were decreased but ductility values were increased.

**Keywords:** Diamond Cutting Tools, Matrix alloys, Powder Metallurgy, Sintering, Porosity, Density, Mechanical Properties, Heat Treatment, Grain Growth

## TEŞEKKÜRLER

Elmaslı kesici takımlar doğal taş, beton, asfalt gibi malzemelerin kesim işlemlerinde ve petrol arama, sondaj ve jeolojik yer araştırmalarında oldukça geniş kullanıma sahiptir. Bu takımların imalatı alanında yapmış olduğum bu çalışmanın ülke sanayisine ve bu alanda çalışma yapacak insanlara katkısı olması dileklerle, bana bu çalışma süresince yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul ÇELİK' e, içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için ekonomik katkı sağlayan Tunceli Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimine içten teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalarım sırasında yanımda olan arkadaşım Uzman Melih Yücesan'a ve diğer arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin yazılması sırasında bana sabır ve destek gösteren eşime ve biricik kızıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**Öğr. Gör. Ali Kemal ASLAN**

**TUNCELİ- 2015**

## İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ÖZET.....	I
SUMMARY.....	II
TEŞEKKÜRLER.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	IX
RESİMLER LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tarihçe.....	3
1.2. Elmalı Kesici Takımlar.....	5
1.2.1. Elmas.....	5
2.2. Elmas Taşı Nasıl Keser.....	5
2.3. Soket Türleri.....	7
2.4. Elmalı Kesici Takım Türleri.....	9
2.4.1. Dairesel Kesim.....	10
1.2.4.2. Katrak Kesim.....	12
1.2.4.3. Tel Kesim.....	13
1.2.4.4. Karotiyer ile Delme.....	14
1.2.4.5. Taşlama ve Parlatma.....	15
1.3. Elmalı Kesici Takımların Üretimi.....	17
1.3.1. Toz Metalürjisi.....	18
1.3.1.1. Tozların Hazırlanması.....	18
1.3.1.1.1. Granülasyon.....	19
1.3.1.1.2. Matris Elmas Karışımının Hazırlanması.....	20
1.3.1.2. Presleme.....	20
1.3.1.2.1. Soğuk Presleme.....	20
1.3.1.2.2. Sıcak Presleme.....	22
1.3.1.2.3. İzostatik Sıcak Presleme.....	26
1.3.1.2.4. Soğuk İzostatik Presleme.....	27
1.3.1.3. Sinterleme.....	28
1.3.1.3.1. Sinterleme Mekanizmaları.....	29
1.3.1.3.2. Sinterleme Fırınları.....	30
1.3.1.3.3. Parti Fırınlar.....	31
1.3.1.3.4. Sürekli Fırınlar.....	32
1.3.1.3.5. İndüksiyonla Sinterleme.....	33
1.3.1.3.6. Mikrodalga İle Sinterleme.....	33
1.3.1.3.7. Plazma Sinterleme.....	34
1.3.1.3.8. Lazer Sinterleme.....	35
1.3.1.4. Pekiştirme İşlemleri.....	35
1.3.1.4.1. İnfiltrasyon.....	35
1.3.1.4.2. Lehimleme.....	38
1.3.1.4.3. Lazer Kaplama.....	38

1.3.1.4.4.	Çapak Alma.....	39
1.3.1.4.5.	Kalite Kontrol.....	39
1.3.2.	Bitirme İşlemleri.....	40
1.3.2.1 .	Yarıçap Taşlama.....	40
1.3.2.2.	Lehimleme/Lazer Kaynağı.....	40
1.3.2.3.	Tesviye ve Bileme.....	42
1.3.2.4.	Germe.....	43
1.3.2.5.	Tel Testere Montajı.....	43
1.4.	Elmas Seçimi.....	44
1.4.1.	Elmas Tipi.....	44
1.4.2.	Elmas Tane Boyutu.....	46
1.4.3.	Elmas Yoğunluğunun Önemi.....	46
1.4.4.	Kaplanmış Elmaslar.....	48
1.5.	Matris Tozları.....	50
1.5.1.	Kobalt.....	52
1.5.2.	Kobalt Alternatifleri.....	53
1.5.3.	Diğer Matris Tozları.....	56
1.5.4.	Matris Tozlarının Üretimi.....	58
1.6.	Tane İrileşmesi.....	59
1.6.1.	Sinterleme İşleminde Tane İrileşmesi ve Porozite.....	61
2.	MATERYAL VE METOT.....	65
2.1.	Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	65
2.2.	Soketlere Isıl İşlem Uygulanması.....	68
2.2.1.	Isıl İşlem Fırını.....	68
2.2.2.	Isıl İşlem Uygulaması.....	69
2.3.	Sertlik Ölçme İşlemi.....	70
2.4.	Yoğunluk Ölçme İşlemi.....	71
2.5.	Üç Noktalı Eğme Deneyi.....	72
2.6.	Optik Mikroskop Çalışmaları.....	72
2.7.	Elektron Mikroskobu İncelemeleri.....	73
2.8.	X Işınları İncelemeleri.....	73
3.	DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	74
3.1.	Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	74
3.2.	Yoğunluk Ölçüm Sonuçları.....	76
3.3.	Üç Noktalı Eğme Deneyi Sonuçları.....	79
3.4.	Optik Mikroskop İncelemeleri.....	87
3.5.	Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri.....	90
3.6.	Kırık Yüzey İncelemeleri.....	97
3.7.	XRD İncelemeleri.....	100
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	107
	KAYNAKLAR.....	113
	ÖZGEÇMİŞ.....	119



## **SEKİLLER LİSTESİ**

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1.1. Elmasın Taşı Kesmesinin Şematik Gösterimi.....	6
Şekil 1.2. Dairesel Testere Tipleri.....	7
Şekil 1.3. Farklı Tasarıma Sahip Soket Türleri.....	9
Şekil 1.4. Elmaslı Kesici Takım Üretiminin Aşamaları.....	17
Şekil 1.5. Sıcak Pres İşleminin Aşamaları.....	23
Şekil 1.6. İndüksiyon Isıtmanın Şematik Gösterimi.....	24
Şekil 1.7. Endirek Isıtma Tekniğinin Şematik gösterimi.....	25
Şekil 1.8. Direkt Isıtma Tekniğinin Şematik gösterimi.....	25
Şekil 1.9. Sıcak İzostatik Presleme Şematik gösterimi.....	27
Şekil 1.10. Soğuk İzostatik Presleme.....	28
Şekil 1.11. Mikroskobik Ölçekte Sinterleme.....	30
Şekil 1.12. Sürekli Sinterleme Fırını Şematik Gösterimi .....	32
Şekil 1.13. Mikrodalga Sinterleme Şematik Gösterimi.....	34
Şekil 1.14. Plazma İle Sinterleme Şematik Gösterimi.....	34
Şekil 1.15. Lazer Sinterleme.....	35
Şekil 1.16. Karot başlıklı tip yüzey işlem uçları ve uçların üretiminde kullanılan kalıbın kesit görünüşü .....	36
Şekil 1.17. Next Tozlarının Sinterleme Sıcaklığına Bağlı Sertlik Değerleri.....	55

Şekil 1.18.	750 °C'de Next 100 tozuyla ve geleneksel toz karışımıyla sıcak preslenmiş bir malzemenin elektron mikroskobu görüntüleri .....	56
Şekil 1.19.	Tane İrileşmesi.....	60
Şekil 2.1.	Deneyleerin Akış Şeması.....	65
Şekil 3.1.	A grubu numunelerin ısııl işlemlili ve ısııl işlemsiz sertlik değęerleri.....	75
Şekil 3.2.	B grubu numunelerin ısııl işlemlili ve ısııl işlemsiz sertlik değęerleri.....	76
Şekil 3.3	A grubu numunelerin 90 dakika ve 180 dakika ısııl işleme tabi tutulmuş yoğunluk değęerleri değışimi grafiği .....	78
Şekil 3.4	B grubu numunelerin 90 dakika ve 180 dakika ısııl işleme tabi tutulmuş yoğunluk değęerleri değışimi grafiği .....	78
Şekil 3.5	A2-C2-E2 numunelerinin 3 nokta eğme deneyi sonuçları grafiği .....	80
Şekil 3.6	B2-D2-F2 numunelerinin 3 nokta eğme deneyi sonuçları grafiği .....	81
Şekil 3.7	A1 ve B1 numunelerinin 3 nokta eğme deneyi sonuçları .....	82
Şekil 3.8	A grubu numunelerinin 3 nokta eğme deneyi sonuçları .....	83
Şekil 3.9	C grubu numunelerinin 3 nokta eğme deneyi sonuçları .....	84
Şekil 3.10	E grubu numunelerinin 3 nokta eğme deneyi sonuçları .....	85
Şekil 3.11	B grubu numunelerinin 3 nokta eğme deneyi sonuçları .....	85
Şekil 3.12	D grubu numunelerinin 3 nokta eğme deneyi sonuçları .....	86
Şekil 3.13	F grubu numunelerinin 3 nokta eğme deneyi sonuçları .....	87
Şekil 3.14	Sırasıyla A2-C2-E2 numunelerinin 1000X optik mikroskop gęrüntüleri...	88
Şekil 3.15	Sırasıyla A4-C4-E4 numunelerinin 1000X optik mikroskop gęrüntüleri...	88
Şekil 3.16	Sırasıyla A6-C6-E6 numunelerinin 1000X optik mikroskop gęrüntüleri...	88
Şekil 3.17	Sırasıyla B2-D2-F2 numunelerinin 1000X optik mikroskop gęrüntüleri...	89

Şekil 3.18	Sırasıyla B4-D4-F4numunelerinin 1000X optik mikroskop görüntüleri....	89
Şekil 3.19	Sırasıyla B6-D6-F6numunelerinin 1000X optik mikroskop görüntüleri....	89
Şekil 3.20	Sırasıyla A2-C2-E2 numunelerinin SEM görüntüleri.....	91
Şekil 3.21	Sırasıyla B2-D2-F2 numunelerinin SEM görüntüleri.....	92
Şekil 3.22	B2 numunesinin EDX analizi sonuçları.....	94
Şekil 3.23	F2 numunesinin EDX analizi sonuçları.....	95
Şekil 3.24	A2 ve B2 numunelerinin SEM görüntüleri.....	96
Şekil 3.25	A2 numunesinin kırık yüzey görüntüsü.....	97
Şekil 3.26	C2 numunesinin kırık yüzey görüntüsü.....	98
Şekil 3.27	B2 numunesinin kırık yüzey görüntüsü.....	99
Şekil 3.28	F2 numunesinin kırık yüzey görüntüsü.....	99
Şekil 3.29	F2 numunesinde EDX alınan noktaların görüntüleri .....	100
Şekil 3.30	F2 numunesinin EDX analizleri.....	100
Şekil 3.31	A2 numunesinin X ışını incelemeleri.....	101
Şekil 3.32	C2 numunesinin X ışını incelemeleri.....	102
Şekil 3.33	E2 numunesinin X ışını incelemeleri.....	102
Şekil 3.34	B2 numunesinin X ışını incelemeleri.....	103
Şekil 3.35	D2 numunesinin X ışını incelemeleri.....	104
Şekil 3.36	F2 numunesinin X ışını incelemeleri.....	104
Şekil 3.37	A2-C2-E2 numunelerinin X ışını incelemeleri.....	105
Şekil 3.38	B2-D2-F2 numunelerinin X ışını incelemeleri.....	106

## TABLÖLAR LİSTESİ

### Sayfa No:

Tablo 1.1	Aşınan soketin bir cm <sup>2</sup> alanında yüzeye çıkmış elmasların toplam sayısı.....	47
Tablo 1.2.	Kobalt alternatifi tozların tipik özellikleri.....	54
Tablo 1.3.	Next tozlarının sinterleme sıcaklıkları.....	55
Tablo 2.1.	Kullanılan Tozların Özellikleri.....	67
Tablo 2.2.	A grubu numuneler.....	68
Tablo 2.3.	B grubu numuneler.....	68
Tablo 3.1.	Tüm numunelerin yoğunluk değerleri.....	77
Tablo 3.2.	Tüm numunelerin bağıl yoğunluk ve porozite verileri.....	78

## RESİMLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Resim 1.1. Soketli ve Sürekli Kenarlı Dairesel Testereleler.....	11
Resim 1.2. Mermer Bloğun Katrakt Makinesinde Kesilmesi.....	13
Resim 1.3. Farklı Karotiyer Örnekleri.....	15
Resim 1.4. Elmaslı Taşlama Tekerleği.....	16
Resim 1.5. Çift Konik ve Silindirik Toz Karıştırıcılar.....	18
Resim 1.6. Gravimetrik Soğuk Pres Makinesi.....	21
Resim 1.7. Volumetrik Soğuk Pres Makinesi.....	22
Resim 1.8. Vakum Atmosferli Parti Fırın.....	31
Resim 1.9. Lehimleme yoluyla Karotiyere Soketin Montajı.....	41
Resim 1.10. Dairesel Testereye Soket Montaj Lehimleme Makinesi.....	41
Resim 1.11. Girintili Yüzeyle ve Yuvarlatılmış Yüzeyle Doğal Elmaslar.....	44
Resim 1.12. Kobalt Esaslı ve Nikel Esaslı Alaşımdan Üretilmiş Elmas Taneleri.....	45
Resim 1.13. Tek Tabaka Titanyum Karbür Kaplı Elmas Aşındırıcılar ve Nikel Alaşımılı İlave Tabakalı Elmas Aşındırıcılar.....	49
Resim 2.1. Isıl İşlem Fırını.....	69
Resim 2.2. Ölçümlerin yapıldığı sertlik ölçme cihazı .....	70
Resim 2.3. Ağırlık ölçümlerinin yapıldığı hassas terazi.....	71
Resim 2.4. Deneyleerde kullanılan optik mikroskobu.....	72

## 1. GİRİŞ

Kesici takım; bir tezgâha ya da bir gövdeye sabitlenerek malzeme üzerinde genellikle talaş kaldırarak şekil verme işlevini yerine getiren aletlerdir.

Günümüzde şekil verilen malzeme türüne göre, takım ömürlerine, performanslarına, basınç, sıcaklık gibi çalışma koşullarına göre farklı kesici takım malzemeleri kullanılmaktadır. Kesici takımın malzeme türleri;

- Karbon ve takım çelikleri
- Yüksek hız çelikleri
- Sert maden uçlu kesiciler
- Seramikler
- Sermetler
- Siyalonlar
- Kardiyolit
- Elmaslar
- Kübik Bor nitrür
- Polikübik boron nitrit olarak sınıflandırılabilir.

Kesici takım seçilirken işlenecek malzeme özellikleri, sıcaklık, basınç, atmosferik ortam, kesme kuvvetleri göz önünde bulundurulur. Ancak genel olarak kesici takımlarda aranan nitelikler; sertlik, tokluk, yüksek darbe dayanımı, kimyasal inertlik, yüksek termal kararlılık şeklinde listelenebilir. Bu hususlar göz önünde bulundurulduğunda elmaslı kesici takımlar bu özelliklere içeriğindeki elmas sayesinde sahiptirler. Ancak elmasın sahip olduğu bazı özellikler onun kullanım alanlarını da kısıtlamaktadır. Bu özellikleri gevrek olması, belirli kristalografik düzlemler boyunca ayrılması, 650 °C'den itibaren hızla okside olmaya başlaması ve atmosferik basınç altındayken 1500 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tekrar grafitte dönüşmesi, yüksek sıcaklıklarda demir esaslı malzemeyle çalışılırken demirin karbonu çözmesi veya demire difüze olan grafitte dönüşmesi olarak sıralanabilir. Bu özelliklerinden dolayı demir esaslı malzemelerin işlenmesinde kullanılmamaktadır. Kübik boron nitrür de tıpkı elmas gibi yüksek sertlik ve yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Ancak kübik boron nitrür aynı şartlarda demir esaslı malzemenin işlenmesi esnasında stabil kalabildiği için bu malzemelerin işlenmesinde daha uygundur.

Elmas karbonun allotropik bir formu olup, bilinen en sert malzemedir (Konstanty, 2005). Sertlik özelliğinin yanında yüksek iletkenlik, kimyasal etkilere karşı mükemmel tepkisizlik, çok düşük ısıl genleşme ve en önemlisi diğer malzemeleri kesebilmesini sağlayan kesici kenarlara sahip olması gibi eşsiz özelliklere de sahiptir. Bu özellikleri elması kesme uygulamalarında kesici alet olarak oldukça önemli kılmaktadır. Elmaslı kesici takımlar doğal taşların kesimi endüstrisinde yaygın olarak kullanılmakta olup bununla beraber inşaat, yol yapımı, ağaç işleri, çeşitli cam seramik, metal ve plastik malzemelerin imalatında kullanılırlar. Elmasın sertlik ve iletkenlik özellikleri sayesinde sanayi uygulamalarında kullanımını sağlamaktadır. Makinelerde matkap ucu olarak ve diğer malzemelerin kesimi ve parlatılmasında aşındırıcı malzeme olarak kullanılmaktadır (Vishwanath, 2011; Diamond Industry Report, 2011).

Bunun dışında elmaslı kesici takımların kullanım alanları:

- Doğal taşlar
- Beton
- Alüminyum ve alaşımları
- Bakır ve alaşımları
- Aşındırıcı plastikler
- Cam ve karbon fiber kompozitler
- Ham seramikler
- Tungsten karbür
- Aşındırıcı ahşap/plastik kompozitlerin kesilmesi ve işlenmesidir.

Daha iyi kesim için;

Taş, seramik, beton vb. kırılğan malzemelerin bir elmaslı testere vasıtasıyla kesilmesi, işlenen yüzey üzerinde rijit taneciklerle geçerek içeriğindeki mineralin aşınmasını içerir. Kesici kenar gibi davranan elmas kristalleri matrise sıkıca tutunmuştur, gittikçe artan aşınmaya maruz kalan yeni partiküller kesme için yeterli miktarda çıkıntı oluşurken sonuçta kopmayla sonuçlanan mekanik bozulmaya maruz kalır (Konstanty, 2005).

En iyi kesme şartlarını belirlemek için takım ömrü ile kesme oranı arasında ideal bir denge elde etmek gerekir. Sert iş parçası için dayanıklı elmas seçimi genel bir kurarken

matris elmas kopmasıyla birlikte uygun bir oranla aşınmalıdır. Yanlış matris seçimi ve/veya yanlış elmas ölçüsü, tipi, yoğunluğu seçimi takımın aşırı hızlı aşınmasına neden olur.

Elmas ve matris seçimine bakmaksızın testere bıçağı performansı üzerinde oldukça güçlü etkiye sahip başka faktörler vardır. Bunların en önemlileri:

- Soket, kesme kenarı üretim yöntem ve parametreleri
- İş parçasının özellikleri
- Kesme şartları
- Soğutma verimliliği
- Testere gövdesi kalitesi
- Testere tasarımı ve gerilimi
- Makinenin özellikleri ve operatörün becerisidir (Konstanty, 2005).

### **1.1. Tarihçe**

İnsanlığın doğuşundan bugüne, insanlar yaşamsal ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla aletler üretmektedir. Bu anlamda hammadde olarak doğal taşların kullanımı tarihi insanlık tarihi kadar eskilere dayanmaktadır. Bu doğal taşların çıkarılması ve işlenmesi tarihi bu kadar eskilere dayanmaktayken bu alanda elmaslı kesici takımların kullanılması yüz yıllık bir süreci kapsamaktadır.

1854 yılında Fransız mühendis Hermann çoklu elmaslı takıma dönüştürülen, sert taşların kesme, döndürme ve şekillendirilmesi için tek elmas kristalli alet için patent başvurusunda bulunmuştur (Hughes, 1980).

Taş kesimi için kullanılan ilk elmaslı dairesel testere 1885 yılında Fromholt tarafından Fransa'da geliştirilmiştir. Euville 'de taş ocaklarında 13 yıl sonra büyük çaplı bir bıçak kullanılmıştır. İlk bıçakların çevresine karbonado elmaslar kullanıldı. Bu tip karbonado bıçaklar 1900'lerde Paris'te büyük binaların inşaatında kireç taşı ve mermer kesiminde kullanılmıştır (Tolansky, 1967).

Takım üretimindeki ilerleyen aşama 1927-1931 arasındaki, metal matrisli aşındırıcı malzemelerin tozlarla üretiminin ABD ve İngiltere'de yayınlanan patentlerinin tanımlandığı dönemi kapsamaktadır. Elmasın metal tozlarla bağlanması fikri 1883' e



dayanırken, elmas katkılı takımların gelişimi çok sonra 1940'lı yıllarda uygulanmaya başlanmıştır (Jones, 1960).

Son 50 yılda görülen alet üretim teknolojisindeki daha hızlı gelişmeler, sentetik elmasın bulunmasına bağlanabilir. Sentetik elmas kristalleri üretim çabaları birkaç yüzyıl öncesine dayanır. Ancak 1950'lerden sonra tekrarlanabilir seri sentetik elmas üretimine başlanabilmiştir (Konstanty, 2005).

Üretim teknolojilerindeki kalıcı ilerlemeler sentetik elmasların ticari önemini artırmış, bugün endüstriyel elmas tüketiminin %95'inden fazlasını sentetik elmas oluşturmaktadır. Bu süre boyunca elmaslı takımlar üzerinde geliştirilen daha doğru ve daha düşük maliyetle daha hızlı iş yapmayı sağlayabilen modern üretim teknikleri endüstriyel alanlara uygulanmış ve böylece bu alanlarda devrim niteliğinde gelişmeler sağlanmıştır (Jennings, 2003).

## 1.2. ELMASLI KESİCİ TAKIMLAR

Elmaslı kesici takımlar kesme işlevini elmasın yerine getirdiği, bir çelik testere gövdesi ve/veya bir çelik tel üzerine elmas-matris bileşimli soket ve/veya boncuğun montaj edilmesiyle imal edilen; doğal taş, beton, moloz vb. sert malzemelerin kesilmesinde, aşındırılmasında kullanılan takımlardır. Bu takımlarda kesme işlevini elmas yerine getirmektedir. Elmasın kesici takımlarda kullanılmasının çeşitleri nedenleri vardır. Bir kesici takımında genel olarak aranan özellikler sertlik, tokluk, yüksek darbe dayanımı, kimyasal inertlik, yüksek termal kararlılık şeklinde listelenebilir. Bu özellikler açısından bakıldığında elmasın yapısı itibarıyla bu niteliklere sahip olması onu kesici takım bileşiminde tercih edilir kılmaktadır.

### 1.2.1. Elmas

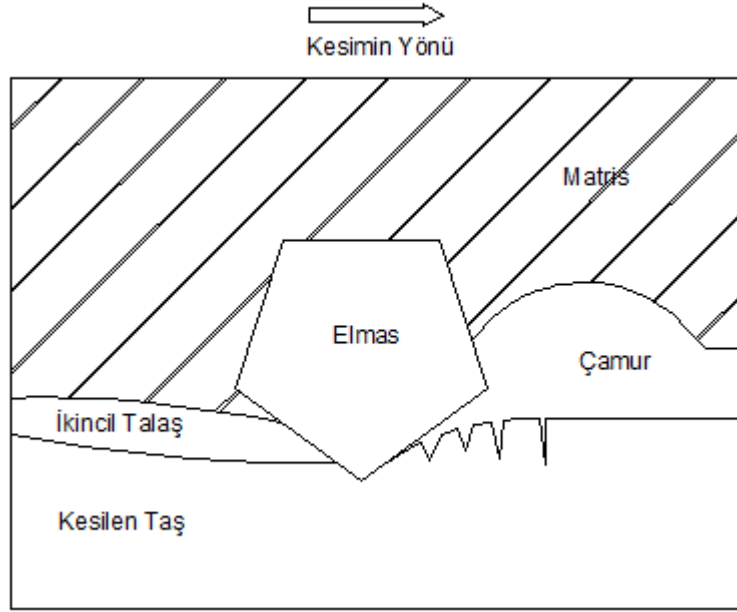
Elmas karbonun allotropik bir formu olup, bilinen en sert malzemedir (Konstanty, 2005). Elmasın ergime noktası 3547 °C olup havada 850 °C’ de yanmaya başlar ve havasız ortamda 1500 °C’de grafitte dönüşür. Sertlik özelliğinin yanı sıra yüksek iletkenlik, mükemmel derecede kimyasal inertlik, çok düşük ısıl genleşme ve en önemlisi diğer malzemeleri kesebilmesini sağlayan kesici kenarlara sahip olması gibi eşsiz özellikleri de vardır. Bu özellikleri elmasın kesme uygulamalarında kesici takımlarda tercih edilmesini sağlamaktadır.

Elmasın sertlik değeri uluslararası kabule sahip 1-10 arası sertlik ölçeğine sahip Mohs Sertlik Ölçeğine göre 10’dur. Bu değer elmasın uluslararası ölçekte en sert malzeme olduğunu gösteriyor. Bu ölçeğe göre Kuvarsın sertlik değeri 7, yakutun 8 ve topazın sertlik değeri 9’dur (URL1, 2015).

### 1.2.2. Elmas taşı nasıl keser

Elmaslı kesici takımla kesme işleminde kesme işlevini elmas taneleri yerine getirir. Kesim sırasında matris-elmas bileşiminden oluşan soket ve/veya boncuk kesilen parçayla direkt temas halindedir. Elmas tanecikleri kesilen taş yüzeyine girerek matristen aldığı destek ile taş yüzeyinden tanecikler kopartarak kesme işlevini yerine getirmektedir. Elmas tanesi kesme yönünde hareket ederken önünde kesilen taş yüzeyinde plastik

deformasyonlar oluşturmaktadır. Elmasın gerisinde ise taş kesildiği için plastik deformasyon bölgesi oluşmaktadır. Elmasın taşı kesmesi sırasında taş malzemeden kaldırılan talaş kesme yönünde elmasla birlikte sürüklenmekte ve bu talaş matris üzerinde aşındırma etkisi yaratmaktadır. Bu nedenle elmasın hareket yönünde önünde hem matrisin aşınması sonucu çıkan talaş ve hem taşın kesimi sonucu çıkan talaş soğutma sıvısıyla karışarak çamur oluşturmaktadır (Tönshoff, 2002).



Şekil 1.1. Elmasın taşı kesmesinin şematik gösterimi

Yukarıda verilen şekil 1.1.'de bir elmaslı kesicinin taşı kesmesinin şematik gösterimi mevcuttur. Elmasın matristen çıkma miktarı da kesim sırasında önemli etkenlerden birisidir. Şöyle ki matristen az çıkmış bir elmas kesme işlevini yerine getirirken matristen daha fazla destek alacak ancak oluşan çamur matrisi daha erken aşındırmaya başlayacaktır. Tersinden bakıldığında ise çok çıkıntıya sahip elmas taneciğinin matris desteği zayıf olacak ve elmas işlevini tamamlayamadan matristen kopabilecektir. Burada elmas ve matrisin uyumlu aşınmasının sağlanacağı optimum çıkıntı yüksekliğinin sağlanması önemlidir (Konstanty, 2002).

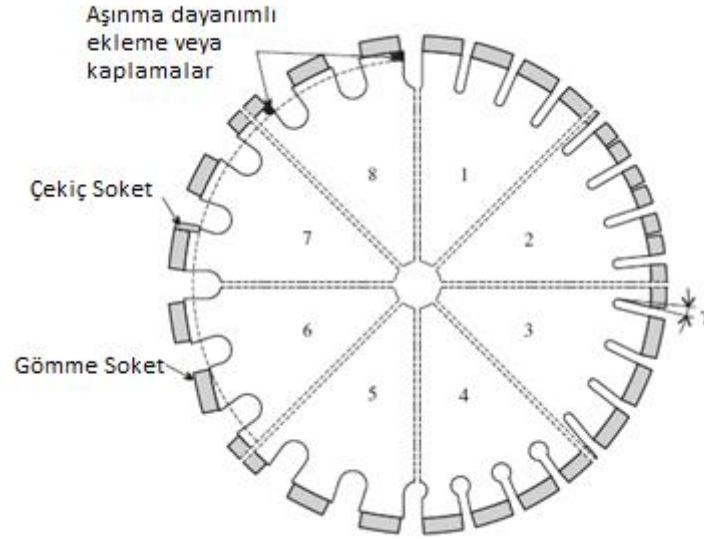
Burada elmasın kesilen malzeme yüzeyine girinti miktarı da diğer önemli bir etkenidir. Elmasın malzemeye girinti miktarı matristen çıkıntı miktarıyla alakalı olmakla birlikte, girinti miktarının yüksek olması kesme işlemi için daha yüksek kuvvetler

gerektirecektir. Girinti miktarının az olması durumunda ise kesme kuvvetleri azalacak ve elmasın kaldırdığı talaş miktarı da azalacaktır.

### 1.2.3. Soket Türleri

Soket dizaynı ve bileşimi özellikle soketli testerelerle kesme uygulamalarında olağanüstü önem arz etmektedir. Uygun oluk ve soket dağılımı seçimi; kesim kalitesi, gürültü, abrasif aşınma ve testere çeliğinin yorulma ömrü açısından gelişmiş takım özellikleri, soğutucunun kesim bölgesine akışı ve soketin abrasif aşınmasının azaltılmasını sağlar (Konstanty, 2005).

Endüstriyel uygulamalardan elde edilen deneyimler neticesinde birkaç farklı testere şekilleri geliştirilmiştir. Bu temel şekiller aşağıda şekil 1.2.' de tek bir çelik gövde üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Dairesel testere tipleri

Sert malzemelerin kesilmesinde soketin kenara tutunma oranının yüksek olması beklenmektedir. Şekilde 1 ile gösterilen dar yuvalı testere bu ihtiyacı karşılamaya yönelik olarak sert malzemelerin kesilmesi için uygundur.

Soketi iki ya da daha fazla parçaya ayırarak sokete kesim sırasında oluşan talaşın aşındırıcı etkisinin azaltılması sağlanabilir. Şekilde 2 numara ile gösterilen testere türünde

soket ikiye bölünerek aynı zamanda soğutucu akışkanın kesim esnasında kesme bölgesine girebilmesi yoluyla talaşın sokete aşındırma etkisi azaltılmıştır.

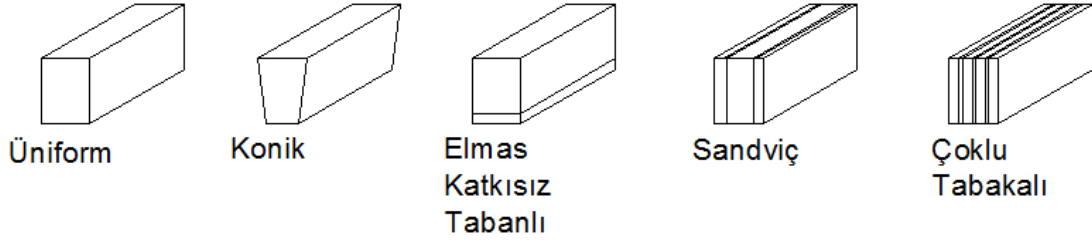
Yorulma çatlaklarının önüne geçebilmek için her yuvanın önüne bir ileri çentik uygulanmış (tip 3) veya her yuvanın alt kısmına bir anahtar deliği şekli verilmiştir (tip 4). Böylece her iki yöntemle de testere gövdesinin ömrünün artırılması sağlanmıştır.

Ağır çalışma şartlarında kullanılan yani yüksek kesme kuvvetlerine maruz kalan büyük testere gövdelerinde de yorulma çatlaklarının önlenmesi problemi ön plana çıkmaktadır. Bu durum hem yüksek kesme kuvvetlerine maruz testere gövdelerinin soketlere yüksek oranda kuvvet iletmeleri gerekliliğinden ve hem de büyük çaplardaki bu gövdelerin pahalılığından dolayı imalatın ekonomikliği için birkaç kez kullanılmaları gerekliliğindedir. Bunu sağlamak için de şekil de 5. Tip ile gösterilen geniş yuvalı testere geliştirilmiştir.

Geniş yuvalar kesme sırasında oluşan talaşın kesme bölgesinden atılmasında dar yuvalara göre daha verimlidirler. Bu nedenle yalnızca çok abrasif malzemelerin kesiminde değil aynı zamanda yüksek hızlı kesim uygulamalarında da kullanılmaktadırlar.

Kesme sırasında testerenin bıçağı ile kesilen parça ardında çok sert aşındırıcı parçaların sıkışması soketlere zarar vermekte, soketin erken kaybına yol açmaktadır. Aynı zamanda testere olukları bu durumdan etkilenmekte ve erken aşınmaktadır. Bunu önlemek için bıçağın çevresine şekilde tip 6 ve tip 7’de gösterildiği gibi aşınma önleyici soketler yerleştirilir. Bununla beraber tip 8’de görüldüğü biçimde abrasif dayanımlı sementit karbürle güçlendirme yapılabilir ya da kaplama yapılarak her iki yuvada bir ön kenar güçlendirilebilir (Konstanty, 2005).

Elmaslı soketlerin üretiminde birçok farklı tasarım modelleri kullanılmaktadır. Genellikle basit soketlerin imalatı ekonomik olmakla birlikte uygulamalarda daha karmaşık tasarımlara ihtiyaç duyulabilmektedir. Aşağıdaki şekilde sıklıkla kullanılan soket türleri verilmiştir.



**Şekil 1.3.** Farklı tasarıma sahip soket türleri

Konik tipte soketlerin kullanılma nedeni soketin kesme esnasında taşa yanıl sürtünmelerini azaltarak daha düşük kesme kuvvetleri sağlamaktır.

Elmas katkısız tabanlı soket kullanılmasının iki nedeni vardır. Bunlardan birincisi soketler dairesel kesimde testerenin çelik gövdesine kadar aşınmazlar bu nedenle tabanda elmas kullanmayarak elmas maliyeti düşürülür. İkinci nedeni ise soketin testere gövdesine lazer kaynağıyla tespit edildiği uygulamalarda elmasın karbon içeriği nedeniyle kaynak sonrası testere gövdesini gevreteceğinden dolayı elmasız taban tercih edilir (Zhan, 2003; Reinhardt, 2003; Yang, 2003).

Sandviç soketler iç ve dış tabakaların farklı aşınma dayanımlarına sahip olduğu soket türleridir. Çoklu tabakalı soketler ise tabakaları arasında elmas içermeyen matrislerden oluşan ara tabakalara sahip soketlerdir. Sandviç soket ve çoklu tabakalı soketler geleneksel soketlere göre; dairesel kesimde arzu edilen aşınma profillerini sağlamaları ve tabakalı olmaları sayesinde kesim sırasında eksenden sapma önlendiği için daha üstün konuma gelmişlerdir (Zhan, 2003; Reinhardt, 2003).

#### **1.2.4. Elmaslı Kesici Takım Türleri**

Elmaslı kesici takımların kullanıldıkları uygulamalar ve kesme yöntemlerine göre farklı tipleri mevcuttur. Bunlar;

1. Dairesel Kesim
2. Katarakt Kesim
3. Tel Kesim
4. Karot Kesim
5. Taşlama ve Parlatma İşlemleridir.

Bu kesme yöntemlerine göre kullanılan soketler de farklılık göstermektedirler. Bu soket türleri ayrı başlıklar halinde değil de kesme yöntemlerinin başlıkları altında incelemeye çalışılmıştır.

#### **1.2.4.1. Dairesel Kesim:**

Dairesel elmas testereler hem portatif hem de sabit olarak kullanılabilen verimli takımlardır. Kuru kesim uygulamaları için sonsuz kenarlı ve lazer kaynaklı soketli dairesele testereler kullanılır.

Taş, beton, seramik gibi kırılğan malzemelerin kesilmesi, elmaslı dairesele testereler ile yapılır. Matrise sıkıca tutunmuş olan elmas tanecikleri kesici kenar görevi görürler. Dairesel kesimde soketler bir çelik gövde üzerine lehimlenirler. Belirli çevresel hızlarda dönen testere gövdesine lehimlenmiş olan soketler malzemeye temas ederek üzerindeki soket vasıtasıyla kesme işlevini yerine getirirler (Konstanty, 2002).

Testereye soketlerin uygun bir şekilde tespit edilmesi oldukça önemlidir. Çalışma sırasında soketin üzerine gelecek dinamik yükleri ve ısı yükleri karşılayabilmesi için uygun yöntemle çelik gövde üzerine tespit edilmelidir. Soketlerin dairesele testerelere montajı için iki yöntem kullanılır. Bunlar lehimleme ve lazer kaynağı metotlarıdır. Lehimleme yöntemi testere bıçağı ıslak kesim uygulamalarında kullanılacaksa tercih edilir, lazer kaynağı ise küçük çaplı seri üretimlerde kuru kesim uygulamaları için kullanılmaktadır.

Dairesel kesme yönteminde testere bıçağı 25-65 m/s yüksek çevresel hızlarında sabit doğrultuda döner. Bu dönme hareketi sonucu her bir elmas taneciğinin arkasında kesme sırasında bir destek noktası işlevi gören bir matris kuyruğı gelişir. Kesme sırasında oluşan artıkların uzaklaştırılması için testere gövdesinde yuvalar bulunur. Bu boşluklar ayrıca matrisin çabuk aşınmasını da önlemeye yarar. Kesmenin yönü ister aşağı olsun ister yukarı, kesme prosesinden takımın yapısı etkilenecektir ve bıçak özelliklerinde değişim meydana gelecektir.

Dairesel kesimde kesme yönünün iki farklı etkisi vardır. Birincisi aşağı ve yukarı kesmede kesme kuvvetlerinin ve çelik gövdenin matrisi desteklemesinin bağıl oryantasyonu farklıdır. Her iki durumda da kesme kuvvetlerinin maksimum rijitlikten sapmasıyla dengesiz kesme şartları ortaya çıkar, böylece sistemde istenmeyen titreşimler

meydana gelir. İkincisi bıçağın dönüş yönünün ters çevrilmesiyle elmas yüklenme şartları çarpıcı biçimde değişmektedir (Ertinghausen, 1985).

Aşağı yönlü kesmede elmas tanecikleri iş parçasına temas ederken tam derinliğine içine girmekte, malzeme içinde ilerlerken hareket yörüngesindeki yüzey tabakasını sıyrarak ilerleyerek yüzeye çıkmakta ve en sonunda iş parçasıyla temasını kesmektedir. Yukarı kesme de ise elmas kesilen malzemeye önce yüzeyden çentik şeklinde girmekte daha sonra sokulma değerleri maksimum derinliğe kadar giderek artmaktadır. Buradan testerenin aşağı yönlü kesme hareketi sonucunda kesme bölgesine giren titreşim darbe kuvvetlerinin kristaller üzerindeki etkisiyle elmasın kopması kolaylaştırılmıştır.

Yapılan çalışmalar testerenin çevresel aşınmasının kesmenin yönüyle de ilgili olduğunu göstermiştir. Yukarı kesme de bütün soketler uygunca aynı oranda aşınmaya maruz kalırken, aşağı kesim de her bir soketin aşınma oranı çeşitlilik göstermektedir (Konstanty, 2005).

Kesme yönünde bıçağın performansını etkileyen diğer önemli bir parametre ise, kesme kenarı ile kesilen malzeme arasında anlık biriken talaş kalınlığı olarak tanımlanan kümülatif talaş kalınlığıdır. Yukarı yönlü kesme modunda elmaslar kesme bölgesinden ayrılırken maksimum talaş uzaklaştırma kapasitesine sahip iken aşağı yönlü kesmede elmas maksimum derinlikten iş parçasına girdiği için maksimum talaş üretmekte ve iş parçasını terk edene kadar çevresinde biriken bu talaş matrisin erken aşınmasına neden olmaktadır. Burada kesme yönüyle birlikte oluşan talaşın kesme bölgesinden tahliyesi için testere üzerinde açılmış olan yuvaların olması önemlidir. Bu yuvalar vasıtasıyla aşırı talaş birikimi engellenir ve böylece matrisin erken aşınması önlenir (Konstanty, 2002; 2003).

Sürekli kesici kenarlı bir dairesel testere olması durumunda ise kesmenin yönünün etkisi olmamaktadır. Aşağıda resim 1.1' de bir dairesel testere ve sürekli kenarlı testerenin fotoğrafı birlikte verilmiştir.





**Resim 1.1.** Soketli (solda) ve sürekli kenarlı (sağda) dairesel testereler

#### **1.2.4.2. Katrakt Kesim**

Katrakt kesim ocaklardan gelen taş blokların kesilmesinde oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Özellikle gelişmiş mermer fabrikalarında kullanılırlar. Katrakt kesme işlemi düzgün doğrusal olarak hareket eden lamaların uç kısmına monte edilmiş elmas soketlerin taş blok ile temas ederek bloğu aşındırması suretiyle gerçekleştirilir. Katrakt makineleri mafsallar veya kızaklar yardımıyla sabitlenerek ileri-geri hareket ederek, çerçeveli bir şasi üzerine sağlamca sarsıntılardan ve titreşimlerden etkilenmeyecek şekilde monte edilmiş olan taş blokları kesen makinelerdir. Hareketin yönü yatay veya dikey olabilir. Kesimde bıçak maksimum 2 m/s yavaş hızda ileri geri kesme hareketi yapar. Bıçağın ileri geri hareketi kesme sırasında oluşan talaşın atılmasını yavaşlatır. Bu durum matris için şiddetli aşınma koşullarını geliştirdiğinden matris elmadan önce aşınır ve bu durum elmas kopmasıyla sonuçlanır (Konstanty, 2005; URL-2, 2015).

Katrakt kesimde lama gövdelerinin görevi; kesim esnasında katrakt tarafından iletilen kuvvetleri sokete düzgün ve hatasız bir şekilde iletmektir. Lama gövdelerinin gerilimi ve sertlik özellikleri kesim esnasında bu ihtiyaçları karşılayabilecek seviyede olmalıdır. Katrakt kesimde kullanılan soketler lama üzerine düzenli ya da düzensiz aralıklarla dizilirler. Uygulanan düzenli dizilim işlemleri blok titreşimlerini azaltarak kesilen bloğun yüzey kalitesini artırır. Dizilim işleminin belirli sınırlamaları vardır. Çalışan her soketin kesme için asgari bir baskı kuvvetine gereksinimi vardır. Dizilim çok küçük seçildiğinde makine çok sayıdaki soketler için daha fazla güç üretmek zorunda kalır ve bu güç yetersiz gelebilir. Dizilim büyük seçildiğinde ise soket başına düşen yük miktarı

artacağından elmaslar ömrünü tamamlayamadan soketten kopabilirler (Konstanty, 2005, URL-2, 2015).

Katrakt kesimde kullanılacak olan soketlerin belirlenmesinde kesilecek taşın özellikleri önemli rol oynamaktadır. Kesilecek taşın fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre soket çeşidi belirlenmekle birlikte kesimi etkileyen kesme hızı, kesme sıvısı vb. diğer faktörlerde önemlidir. Lama soketleri konik ya da düz gövdeli olarak üretilebilirlerken uygulamada daha çok konik gövdeli soketler kullanılmaktadır. Soketler gerekli gerdirme ve sertlik işlemlerinin tamamlandığı lama gövdelerine uygun belirli dizilimle kaynak edilirler. Kaynak işlemleri genellikle otomatik kaynak makineleriyle yapılır (URL-2, 2015).

Dairesel kesime kıyasla; çerçeve kesim yavaş yatay bir hızda gerçekleşir ve sonuç olarak elmas üzerindeki darbe düşük olur. Bu nedenle matrisin aşınma dayanımı elmas dayanımının üzerinde önceliklidir. Besbelli az sayıda yetersiz dışarı çıkmış kesme kenarlarıyla yüksek besleme oranlarının kombinasyonu uygulamaları yüksek içine girme derinliklerine ve dolayısıyla kısa takım ömrüne neden olur. Resim 1.2.2.' de bir mermer bloğun katrakt kesimi verilmiştir (Konstanty, 2005).



**Resim 1.2.** Mermer bloğun katrakt kesim makinesinde kesilmesi (URL-3, 2015)

#### **1.2.4.3. Tel Kesim**

Elmas tel ile kesim yöntemi son yıllarda taş ocaklarında oldukça yaygın kullanılır hale gelmiştir. Birçok kesme işlerine adaptasyon uygunluğu nedeniyle, geliştirilmiş kesilmiş yüzey dokusu, indirgenmiş ses ve titreşim gibi özellikleriyle çeşitli taş ve beton kesim işlerinde kullanımı artmaktadır. Özellikle mermer ocaklarında kullanımı oldukça yaygın hale gelmiştir. Çatlak ve eklemlerinden açılarak çıkartılan mermer kütlelerinin bloklara ayrılmasında kullanılması işlerinde uygundur. Çatlak ve eklemleri az olan mermerlerin çıkartılması için uygun bir yöntem değildir (Urhan ve Şişman, 1993).

Bu yöntemin mermer ocaklarında uygulanmasında esasını; dik ve yatay deliklerin mermer blok üzerinde açılması ve bu deliklerin birbiriyle irtibatlandırılmasının ardından deliklerin elmas telin geçirilerek mermer bloğun kesilmesi ve devrilerek ana gövdeden ayrılması oluşturur. Daha sonra kesilen bu blok dilimlere ayrılır. Bunun için öncelikle mermer ocağının önünde tel kesimin yapılabilmesi için bir L şeklinde ağız açılır. Daha sonra yatay ve dikey delikler delinir. Elmas tel bu deliklerden geçirilerek makineye bağlanır. Ve kesme işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra ana kütleden ayrılan bu mermer bloğu yine elmas tel ile daha küçük dilimlere doğranır (Urhan ve Şişman,1993).

Elmas tel ile kesmede elmas katkılı boncuklar yüksek dayanımlı paslanmaz çelik bir tel halat üzerinde düzenli boşluklarla dizilmişleridir. Kesme işlevi deliklerden geçirilerek iki ucu birleştirilmiş olan çelik halatın blok içerisinde makine tarafından hareket ettirilmesiyle halat üzerindeki elmas boncukların taşı aşındırması vasıtasıyla gerçekleşir. Takım performansı açısından bakıldığında elmasın halata sıkıca yerleşmesi ve kesme işlevi sırasında üniform bir tarzda aşınması önemlidir. Çelik halat malzeme içinde serbestçe dönerken elmas boncuklar halatın çevresinde dönmemelidir (Konstanty, 2005).

#### **2.4.4. Karotiyer ile Delme Yöntemi**

Elmaslı katkılı deliciler, süs taşları, taş, beton, asfalt, tuğla, cam ve diğer metal olmayan malzemelerin delinmesinde, sondaj deliklerinin delinmesinde, güçlendirilmiş betonarme yapılarda elektrik, tesisat ve havalandırma kanallarını için delikler açılmasında ve ayrıca jeolojik araştırmalarda keşif sondajlarının yapılmasında kullanılırlar (Konstanty, 2005).

Yapı malzemelerinde derin olmayan delikler açmak için kullanılan karot uçları sıcak presleme yoluyla imal edilirler. Islak delmede iş parçasını ve takımı soğutmak ve köpüklerin atılması için su karotiyerin merkezinden enjekte edilir. Kuru delme için bir

ekipmanla elle tutulan matkaplar sementit karbür uçlu yanal hava delikleri içeren kısa bir taç içine takılı matkap tarafından yönlendirilirler. Bu uca soketlerin montajı güvenlik nedeniyle lazer kaynaklı yapılmalıdır. Jeolojik araştırmalarda ve maden yatağı aramalarında kullanılan delici uçlar infiltrasyon yöntemiyle imal edilir (Konstanty, 2005). Aşağıda resim 1.3. 'de farklı karotiyer örnekleri verilmiştir.



**Resim 1.3.** Farklı karotiyer örnekleri (URL-4, 2015)

#### **1.2.4.5. Taşlama ve Parlatma**

Metal matrisli elmaslı takımlar kesme ve delme işlemlerine ilaveten taşlama ve parlatma işlemlerinde de kullanılırlar. Taş işlemede ölçümleme, taşlama, kaba yüzey parlatma adımları tek kafalı ya da çok kafalı elmaslı otomatik yüzey parlatma makinaları ile gerçekleştirilir. Binalarda taban ve duvar döşemelerinde kullanılan karoların üretiminde de kullanılırlar. Gelişen teknolojiyle birlikte normalde ağaç malzemelerin kullanıldığı mutfak tezgâhları, masaüstleri, pencere pervazları, kapı çerçeveleri gibi yapı malzemelerinin üretiminde doğal taşların kullanımı oldukça artmıştır. Bu türden imalatların yapılabilirliği ihtiyacı nümerik bilgisayar kontrollü (CNC) makinelerle karşılanmaktadır.

Son zamanlarda elmaslı takımla taşlama işlemlerinin inşaat mühendisliği alanında da kullanımı gelişmiştir. Beton ve duvarların planyalanması, kabloların geçirilmesi için beton ve tuğlaların dilimlenmesi, yağışlı havalarda suda kızaklama riskini azaltmak için yollar, köprüler, havaalanlarında su kanalları açma işlemleri elmaslı takımlarla yapılan uygulamalara tipik örneklerdir (Konstanty, 2005).

Elmaslı takımların bir başka önemli kullanılma alanları da cam ve seramiklerin taşlanması uygulamalarıdır. Mimari, ahşap, otomotiv ve optik sektörlerinde kullanılan camların taşlanmasında çeşitli şekillerde metal bağlı kupa tekerlek, çevresel tekerlek ve kalem kenarlı tekerlekler kullanılmışlardır. Taşlama işlemleri ilerledikçe daha ince taneler içeren taşlama tekeri ve soğutucu kullanılarak yapılır (Konstanty, 2005). Aşağıdaki resim 1.4. 'de elmaslı bir taşlama tekeri gösterilmiştir.



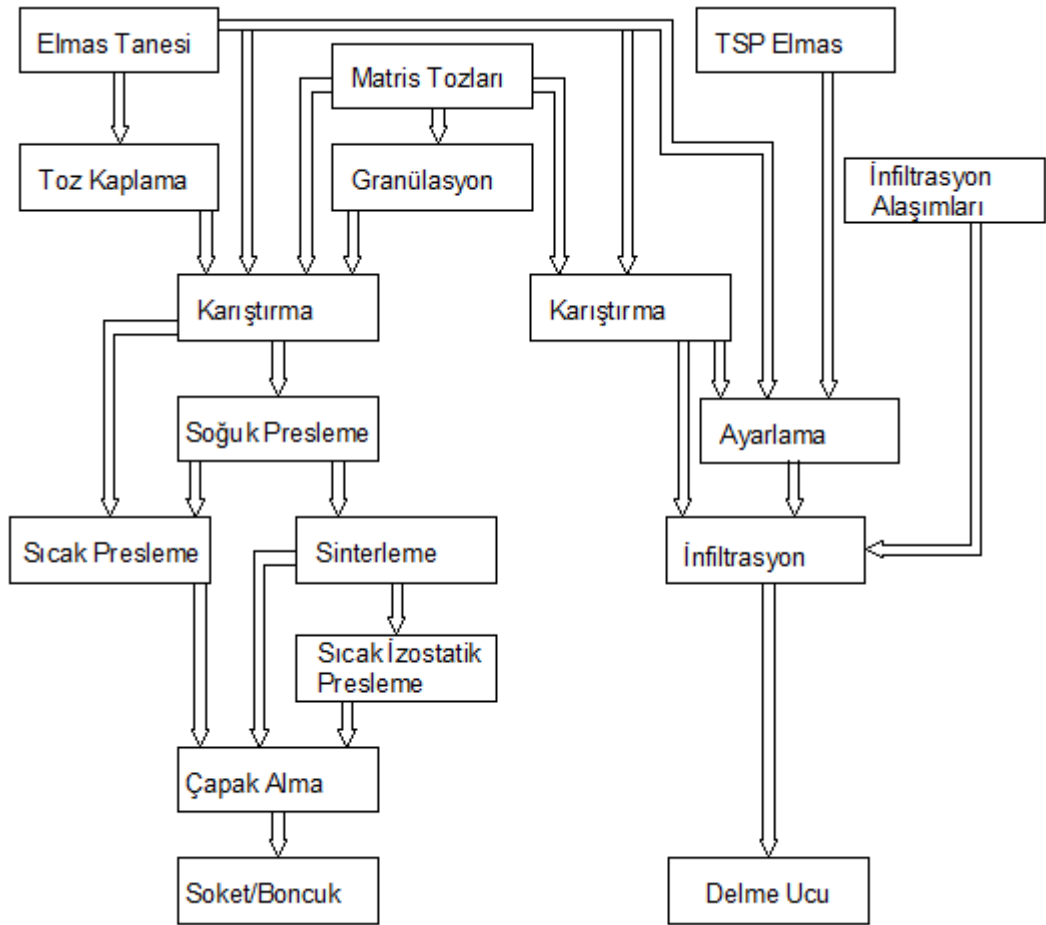
**Resim 1.4.** Elmaslı taşlama tekerleği (URL-5, 2015)

Seramik ve diğer metal olmayan sert ve kırılğan malzemeler yalnızca elmas takımlarla gerekli hassasiyetle ve kalite de taşlanabilir ve yüzeyleri parlatılabilir. Genel bir kural olarak tok, yoğun ve ince taneli malzemeleri taşlamak kaba taneli ve gözenekli seramikleri taşlamaktan daha zordur. Bunlara ilaveten son zamanlarda geliştirilen yeni tekniklerle tungsten karbür (WC) 'de elmaslı takımla taşlanabilmektedir.

### 1.3. Elmaslı Kesici Takımların Üretimi

Elmaslı kesici takımların üretimi genellikle toz metalürjisi yöntemiyle yapılmaktadır. Bu yöntemde üretim süreci elmaslı kesici takımın toz metalürjisi yöntemiyle imal edilmesi ve imalat sonrası gerekli ilave tamamlama işlemleri olmak üzere iki ayrı aşamadan oluşur.

Aşağıdaki diyagram (Şekil 1.4.) toz metalürjisi yöntemiyle elmaslı kesici takım üretimini açıklamaktadır.



Şekil 1.4. Elmaslı kesici takım üretiminin aşamaları

### 1.3.1. Toz Metalurjisi

Toz metalürjisi kesici aletlerin imalatında en etkili üretim prosesidir. Toz metalürjisi metoduyla ekonomik yoldan yüksek kaliteli parçaların imal edilebilmesi olanağına sahiptir. Toz metalürjisi tekniğiyle belirli tane iriliğinde, belirli şekle sahip tozlar doğru dizilimle yüksek performanslı şekle dönüştürülür (Vishwanath, 2011). Bu yöntem aynı zamanda malzemenin özelliklerine göre uyumlu olabilen esnek bir üretim yöntemidir. Toz metalürjisi yönteminin temel adımları:

- Toz Hazırlanması Aşaması
- Presleme Aşaması
- Sinterleme Aşaması' dır.

#### 1.3.1.1.Toz Hazırlanması

Toz metalürjisi yöntemi tozların hazırlanması aşamasıyla başlar. Burada tüm parametreler sonuçta üretilmesi istenen ürünün şekil ve ölçü özelliklerine göre seçilir. İlk önce son ürün özelliklerine göre önceden belirlenmiş olan formüle göre tozlar karıştırılır. Karıştırma işlemi “blender” diye de bilinen karıştırıcılarla yapılır. Karıştırma işlemi için kullanılan karıştırıcılar konik, çift konik, silindirik vb. farklı şekillerde olabilirler (Vishwanath, 2011). Resim 1.3.1.’ de çift konik ve silindirik karıştırıcıların resimleri verilmiştir.



**Resim 1.5.** Çift konik ve silindirik toz karıştırıcılar (URL-6, 2013)

Tozların karıştırılması esnasında tozlara yağlayıcı ve bağlayıcı maddeler ilave edilir. Kullanılan bağlayıcılar sıcak presleme sinterleme süresince yapıdan tamamen çıkacak ısı özelliklere sahip olarak seçilmelidir. Bu hususa dikkat edilmezse soket kalitesi düşer ve soketin testereye lehimlenmesi esnasında problemlere neden olabilecek kalıcı gözenekli bir yapı meydana gelir. Karıştırma işlemi sırasında dökülen toz miktarını azaltmak, segregasyon oluşumunu engellemek, tozlar arası sürtünmeyi azaltmak için karışıma parafin yağı gibi yağlayıcılar ilave edilir. Yağlayıcılar ayrıca soğuk ve sıcak presleme aşamalarında çelik kalıbın aşınmasını engellerler (Konstanty, 2005).

Elmas parçacıklar matris tozlarıyla karıştırma işlemi öncesinde genellikle kaplanır. Bu kaplama işlemi matris tozları ve elmas parçacıklarının üniform olmayan dağılımı sonucu meydana gelebilecek erken aşınmayı önlemek için yapılır. Ayrıca kaplanmış elmas kullanılması elmasın verimli yoldan çıkmasına yardımcı olduğu gibi kalıp ömrünü de uzatır. Elmaslar organik uçucu çözücü içinde çözünmüş tutucuyla matris tozunun homojen bulamacıyla kaplanır. Sonra bu bulamaç elmasların üzerinde sıcak hava akışkan yatağın üzerine yayılır (Çelik, 2009).

#### **1.3.1.1.1. Granülasyon**

Matris tozları hacimsel doldurmayla soğuk preslenecekse tozların gerekli akışkanlık ve preslenebilirlik özelliklerini sağlayabilmeleri için yapılan ilave işleme granülasyon denilir. Granülasyon toz partiküllerinin birbirlerine daha sıkı tutunmalarını sağlayarak ve toz partikülleri arasındaki gözenekliliği azaltarak istenilen mekanik mukavemetin elde edilmesini sağlar (Konstanty, 2005). Granülasyon çeşitli yollardan gerçekleştirilebilir. Fakat pratikte elmas takım endüstrisinde yaygın olarak kullanılan iki teknik vardır: Bunlardan birincisi ve eski olanı yüksek hızda karıştırma prensibine dayalı olan “spartan” granülatörü tekniğidir. Yeni kullanılan teknik ise mekanik yuvarlama prensibiyle gerçekleştirilir (Baert, 1999). Bu yöntem de elmas partikülleri de granülasyon işlemine tabi tutulur. Böylece elmas matris tozları karışımındaki gözeneklilik azaltılmış olur. Granülasyon işleminde toz partiküllerinin birbirine tutunma ve sıkışma oranını artırmak için uygun çözücüler içinde çözünmüş çeşitli organik bağlayıcılar kullanılabilir. Bu bağlayıcılara poli (butil metakrilat), poli (alkil metakrilat), polivinil butiral, parafin mumu örnek verilebilir. Burada bağlayıcı maddenin uygun ısı özelliklere sahip olması



gerekir ki sıcak presleme sırasında yapıdan uzaklaşmasın (Burckhardt, 1997; Konstanty, 2005).

#### **1.3.1.1.2. Matris-Elmas Karışımının Hazırlanması**

Elmaslar, matris tozlarıyla karıştırılmadan önce bazı uygulamalarda yüzeyleri kaplanır, bazı uygulamalarda da kaplanmaz (Çelik, 2009). Karışım işlemi son ürün kalitesi üzerinde oldukça önemli etkiye sahiptir. Hem matris tozlarının hem de elmas kristallerinin homojen olmayan dağılımı socketin erken aşınmasına neden olur. Bunu önlemek için her bir elmas taneciği ayrı ayrı matris tozu ile kaplanır, socket içindeki bölgesel elmas yığılmaları önlenir ve daha homojen elmas dağılımı sağlanır. Elmaslı granül kullanılmasının diğer bir avantajı ise çelik soğuk pres kalıplarının sert aşındırıcı parçalardan etkin bir şekilde ayrılmasından dolayı daha uzun ömürlü olmalarını sağlamasıdır (Baert, 1995).

#### **1.3.1.2. Presleme**

Geleneksel presleme işlemi tozun kalıp içinde üst ve alt baskı kalıpları arasında sıkıştırılmasıyla gerçekleştirilir. Tek eksenli sıkıştırma olarak da adlandırılan bu işlemde basınç bir eksen boyunca doğrusal olarak uygulanır. Günümüzde yüksek yoğunluklu parçaların imal edilmesi için sıcak presleme ve izostatik sıcak presleme gibi yeni teknikler yaygın olarak kullanılmaktadır (Vishwanath, 2011).

##### **1.3.1.2.1. Soğuk Presleme**

Soğuk presleme katmanlı ve çoklu katmanlı socketlerin imalatında sıcak presleme işlemi öncesinde gerekli görüldüğü zaman ve bir ön sinterleme işlemi olarak uygulanır. Homojen yapılu takım üretimi için isteğe bağlı olarak soğuk presleme sıcak presleme öncesinde uygulanabilir. İlave ekipmana ihtiyaç duyulmasına rağmen socketlerin sıcak presleme öncesi soğuk preslenerek sıcak presleme işleminin üretkenliğini artırmak mümkündür, bu amaçla tasarlanmış geleneksel gevşek toz dolu grafit kalıp her sıcak presleme çevrimi başına daha fazla socket üretimini sağlar.

Geleneksel soğuk presleme işlemleri çelik kalıplar kullanılarak gerçekleştirilir. Düşük ve orta basınçlarda presleme basınçları kullanılır. Soğuk presleme uygulamalarında

elmas takım imalatında gravimetrik ve hacimsel tip olmak üzere iki tip mekanizma kullanılır (Konstanty, 2005).

Gravimetrik soğuk pres makinelerinde titreşimle ya da vidayla kalıba toz doldurma besleyicisi bulunur. Burada doğru miktarlarda elmas-matris karışımı ağırlığının kalıplara doldurulabilmesi için hassas teraziler kullanılır. Volümetrik soğuk presleme makinelerinde ise toz besleme sistemi ağırlık değil de hacimsel doldurma prensibine göre çalışır. Gravimetrik presler az miktarlarda soket üretimi için yüksek esneklik sunar. Buna karşın granüle edilmiş tozlar kullanılma zorunluluğu ve yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle hacimsel soğuk presleme tekniği özellikle seri imalatın olduğu alanlarda daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Konstanty, 2005). Aşağıda Resim 1.6.' da bir Gravimetrik soğuk pres makinesi ve resim 1.7.' de bir Volümetrik pres makinesi görülmektedir.



**Resim 1.6.** Gravimetrik soğuk pres makinesi (URL-7, 2015)



**Resim 1.7.** Volümetrik soğuk presleme makinası (URL-8, 2014)

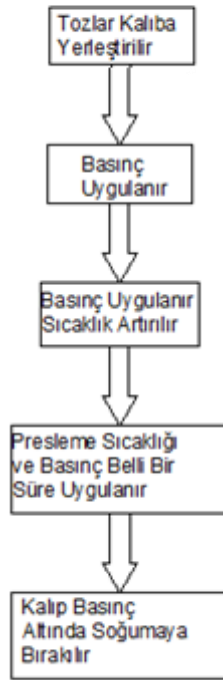
### 1.3.1.2.2. Sıcak Presleme

Sıcak presleme; tozlara ısı ve basınç birlikte uygulanarak üründe iç gözeneklerin çok yüksek oranlarda elimine edildiği bir yapıya ulaşılabilen bir işlemdir. Bu işlemle presleme ve sinterleme prosesleri tek seferde yapılmakta ve böylelikle geleneksel toz sıkıştırma yöntemlerine göre birçok avantajlar elde edilmektedir. Tozların birbirine bağlanmasını sağlamak için tozların ergime sıcaklıklarının altında ancak yakın değerlerde ısı işlem uygulanır. Böylece katı faz difüzyonunun gerçekleşmesi sağlanır. Bu sayede gözeneklilik oranı azalır ve soğuk preslemeye oranla daha yoğun bir yapı elde edilir (Konstanty, 2005). Metal tozlarının plastik deformasyon direnci sıcaklık artışıyla düşmekteyken sıcak preslemeyle daha düşük basınçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca sıcak preslemenin tozların şekline ve ölçülerine olan hassasiyeti soğuk presleme ve sinterlemeye oranla daha azdır. Bu nedenle sinterlemeye uygun olmayan yüksek

performanslı takımların üretiminde sıcak presleme yöntemi uygulanır (Gartner,1998; Morelli, 2001).

Tipik bir sıcak presleme işleminin aşamaları şu şekilde verilebilir

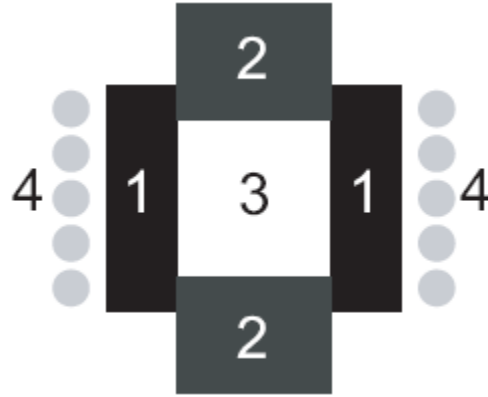
- 1- Toz ya da soğuk preslenmiş bileşim grafit kalıba yerleştirilir.
  - 2-Kalıp içindeki toz sıkıştırılmaya başlanır
  - 3-Gerekli sıcak presleme sıcaklığına ulaşıncaya kadar sıcaklık sürekli artırılır
  - 4-Sıkıştırma basıncı ve sıcaklık belirli süre uygulanır
  - 5- Kalıp basınç altında iken malzemenin oksidasyonunun gerçekleşmeyeceği bir sıcaklık derecesine kadar yavaşça soğumaya bırakılır (Upadhyaya, 2002).
- Aşağıda şekil 1.5.' de sıcak presleme işleminin aşamaları verilmiştir.



Şekil 1.5. Sıcak pres işleminin aşamaları

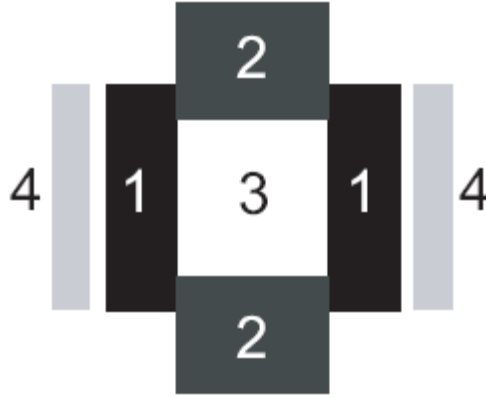
Sentetik elmasların yüksek sıcaklıklara karşı dayanımının az olması nedeniyle elmaslı kesici takım imalatında sentetik elmasın fiyat ve performans özellikleri de göz önünde bulundurulduğunda sıcak presleme işleminin önemi artmaktadır. Sıcak presleme işleminde ısının eldesi için 3 ayrı teknik kullanılmaktadır. Bunlar indüksiyon ile ısıtma, indirekt dirençli ısıtma ve direkt dirençli ısıtmadır.

İndüksiyon ile ısıtma işleminde ısıtma, kalıp etrafına sarılan bobinlere yüksek akım verilerek kalıbın ısıtılmasıyla sağlanır. Tozların sıkıştırılması için metal ya da grafitten yapılan kalıplara basınç uygulanır. İndüksiyon sargısı içerisine bırakılan kalıp, yüksek frekans jeneratörü ve indüksiyon sargısıyla ısıtılır. Bu yöntemin avantajı kalıba uygulanan basınç ve indüklenme gücünün birbirinden bağımsız olmasıdır. Bu sayede düşük basınçlarda sıvı faz sinterleme işlemleri yapılabilmektedir. Bu sistemde sıcaklık dağılımının homojen sağlanamaması temel sorun olarak göze çarpmaktadır. Manyetik alanının kalıp içerisine etkimesi 0,5-3 mm arasındadır. Sıcaklık kalıbın ısıl iletkenliğiyle yayılacağı için kalıbın yüksek sıcaklıklarda ısıtılması gerekmektedir. Çok yüksek sıcaklıklar ise zaman zaman kalıba zarar verebilmektedir. Bununla beraber sistemin bir yüksek frekans jeneratörüne ihtiyaç duyması ve kalıp yerleşiminin düzenliliği diğer dezavantajlar olarak gösterilebilir. Kalıp yerleşiminin düzensizliği düzensiz ısı dağılımına neden olacaktır. (URL-9, 2015). Şekil 1.6.'da şematik olarak indüksiyon ile ısıtma gösterilmiştir.



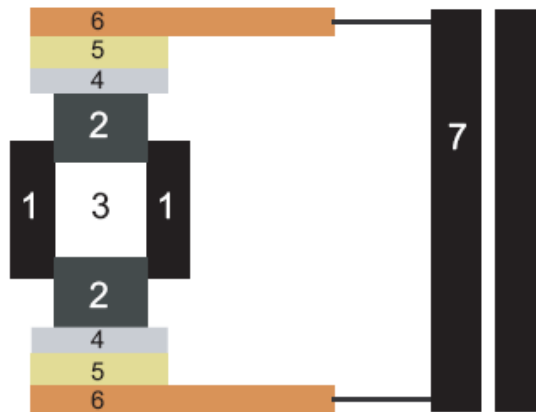
Şekil 1.6. İndüksiyon ısıtma yönteminin şematik gösterimi

Endirekt dirençli ısıtma yönteminde kalıp elektrik akımıyla ısıtılan grafit elemanların çevrelediği bir bölme yerleştirilir. Burada kalıbın ısıtılması işlevini bölmeyi çevreleyen grafit elemanlar sağlamaktadır. Elektrik akımıyla ısınan grafit ısıtıcılar temas halinde oldukları kalıbı ısıtırlar. Böylelikle kalıp dolaylı olarak ısıtılmaktadır. Bu yöntemle yüksek sıcaklıklara çıkılabilmekte, sıcaklık ve basınç birbirinden bağımsız olarak kullanılabilir. Bu yöntemde kalıbın ısıtılmasının çok zaman alması ve kalıp dıştan içe doğru ısındığı için ısının eşit olarak dağılmasının uzun sürmesi sistemin dezavantajları olarak gösterilebilir. Şekil 1.7.'de şematik olarak endirekt ısıtma tekniği gösterilmiştir.



**Şekil 1.7.** Endirekt ısıtma tekniğinin şematik gösterimi

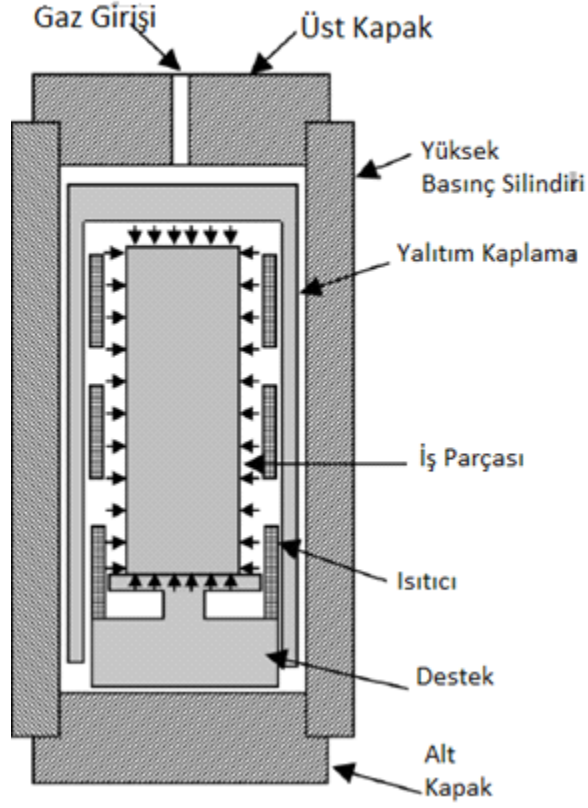
Direkt dirençli ısıtma tekniğinde, kalıp direkt olarak elektrik gücü ile ısıtılır. Kalıp ve toz parçanın direnci ile ısı tam olarak kalıpta oluşur. Isının direkt olarak ihtiyaç duyulan yerde üretilmesiyle ısıtma süresi çok azalmıştır. Bununla beraber ısı dağılımı da yine diğer iki yöntemle kıyasla daha homojendir. Bu sayede sıcak presleme işleminde yüksek sıcaklıklara da çıkılabilmektedir. Direk dirençli ısıtma tekniğinin takımın ölçüleri ve şekliyle ilgili bazı sınırlamaları vardır. Uygulamalarda görülmüştür ki taşlama tekerleri ve sürekli kesici kenara sahip testerelerin imalatında bu yöntem yavaş kalmakta ve enerji tüketimi yüksek olmaktadır. Bununla beraber kalıp içinde homojen ısı dağılımının zorluğuyla karşılaşmaktadır (URL-10, 2015). Şekil 1.8.'de şematik olarak direkt ısıtma tekniği gösterilmiştir.



**Şekil 1.8.** Direkt ısıtma tekniğinin şematik gösterimi 1. Grafit yan tutucular, 2. Baskı grafitleri, 3. Preslenecek malzeme, 4.Grafit elektrot, 5. Bronz plaka, 6. Bakır elektrot, 7. Güç kaynağı

### 1.3.1.2.3. Sıcak İzostatik Presleme

Sıcak izostatik presleme tam yoğun bir malzeme elde etmek için, ön pekiştirilmiş uygun toz karışımına sıcak inert bir gaz tarafından üretilen izostatik basıncın uygulanmasını yoluyla gerçekleştirilir. Soğuk preslenmiş parçalar tüm gözenekler elemine edilerek tam yoğunluğa ulaşabilmek için geleneksel sinterleme fırınında ön sinterlenirler (Bonneau, 2002). Böylelikle malzeme direk sıcak izostatik presleme işlemine uygun hale getirilir. Ayrıca ön pekiştirilmiş parçalar sıcak izostatik presleme öncesi boşaltılmış cam tüplere konulmalıdır. Yarı bitmiş parçalar birkaç defa boşaltılmış ve argon gibi gazla basınçlı temizlenmiş bir sıcak izostatik presleme basınç kabının içine, sıcak izostatik presleme çevrimi başlamadan yerleştirilir (Base, 2003). Sıcak izostatik presleme işleminde 200 Mpa'ın üzerinde basınç değerlerine çıkılabildiği için daha düşük sinterleme sıcaklıklarında çalışılabilme olanağı sunmaktadır. Böylece yeni teknolojik imkanlar doğar çünkü sıcak izostatik presleme işlemi genelde 1100 °C 'yi aşan aşırı yüksek presleme sıcaklıkları gerektiren soğuk bileşiminden artık gözenekleri giderme işlemini takiben uygulanabilir. Sıcak izostatik presleme teknolojisi son zamanlarda elmaslı kesici takımların imalatı alanına yavaş yavaş girmiş ve oldukça önemli bir yere gelmiştir. Özellikle elmaslı tel testerelerin boncuklarının üretiminde belirgin bir uygulama alanına sahiptir (Konstanty, 2005). Şekil 1.9.' da sıcak izostatik preslemenin şematik gösterimi verilmiştir.



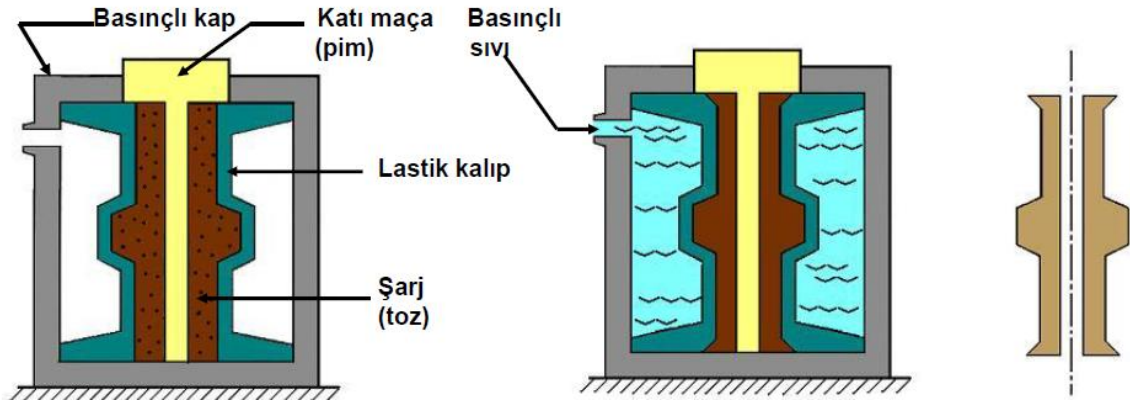
Şekil 1.9. Sıcak izostatik presleme (HIP) şematik gösterimi

#### 1.3.1.2.4. Soğuk İzostatik Presleme

Soğuk izostatik presleme prosesinde tozlar lastik bir kalıp içerisine doldurulur. Bu kalıp içinde sıvı bulunan bir basınç uygulama kabında basınç uygulanarak homojen yapıları parçalar elde edilir. Şekil 1.10.'da soğuk izostatik preslemenin şematik gösterimi verilmiştir.

Soğuk izostatik preslemeyle tam yoğunluk elde etmek amacıyla, kapsülleme ve sıcak izostatik presleme gibi ileri işlem adımlarından geçebilecek tozlardan göreceli olarak basit şekiller ya da kompakt yapılar oluşturulur. Burada bahsedilen sıkıştırılabilir tozlar metaller, seramikler, polimerler ve kompozit malzemelerdir.





Şekil 1.10. Soğuk izostatik presleme (Vural, 2012)

### 1.3.1.3. Sinterleme

Sinterleme, genelde atomik ölçekte oluşan kütle taşınım olayları aracılığıyla bağ yapan parçacıkların, ağırlıklı olarak katı bir yapıya dönüştürüldüğü sistemdir. Sinterleme, gözenekli yapıda bir form kazandırılmış tozların yüzey alanının küçülmesi, partikül temas noktalarının büyümesi ve buna bağlı olarak gözenek şeklinin değişmesine ve gözenek hacminin küçülmesine neden olan ısıl olarak aktive edilmiş malzeme taşınımı olarak da tanımlanabilir. Diğer bir ifadeyle sinterleme toz kütesinin veya gözenekli yapıda sıkıştırılmış toz parçaların özelliklerini gözeneksiz yapıya sahip malzemeye dönüştürmek için yapılan bir ısıl işlem uygulamasıdır. Sinterleme işlemi sıkıştırılmış parçalara mukavemet kazandırma amaçlı yapılır. Sinterleme işlemi birçok katı-gaz etkileşimlerini, kimyasal reaksiyonları, malzeme taşınım olaylarını içeren kompleks bir yapıya sahiptir. Sinterlemenin başlaması birbirleriyle temas halinde olan parçaların bağlantılarının katı-hal bağına dönüşmesiyle başlar. Burada bir partiküle ait yüzey atomu en az iki partikülle katı-hal bağı kurmaktadır. Sinterleme genellikle metalin ergime sıcaklığının %70'i ile %90'ı arasında yapılır (German, 1994).

Bir katı hal sinterleme işleminin gerçekleşmesini sağlayan etken sistemin serbest enerjisinin azalmasıdır. Bu partikül temas noktalarının büyümesi sonucu spesifik yüzey alanının küçülmesine,

- Porozite hacminin azalmasına
- Gözeneklerin küreselleşmesine
- Atom boşlukları dislokasyon gibi kristal yapı hatalarının elimine edilmesine neden olur.

Sinterleme pek çok yapısal araç ve toz metalürjisiyle takım üretiminde vazgeçilmez bir adımdır (Kang, 2005). Elmaslı kesici takım üretiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Elmaslı kesici takım uygulamalarında sinterleme de öne çıkan hususlar bileşim, takımın mekanik dayanımı ve nihai ürünün ölçülerinin doğruluğu olmaktadır. Tam yoğun bir ürün elde etmek için atmosfer içeren hidrojen indirgemesinin ortak kullanımı yüksek işlem sıcaklıklarında uzun yerleşim zamanına maruz kalan elmasların korunması için önemli bir oksijensiz çevrim sağlar, ancak, böyle bir işlem oksit partiküllerinin uzaklaştırılmasıyla matrisi yumuşatır bunun sonucunda yeniden kristalleşme ve tane büyümesi meydana gelir. İlaveten soğuk preslenmiş soketteki üniform yoğunluğa sahip olmayan çok iyi matris tozlarını içeren bölgeler, kaçınılmaz bir şekilde biçiminin bozulmasına ve sinterleme sonrası kıvamsızlığına yol açar (Konstanty, 2005).

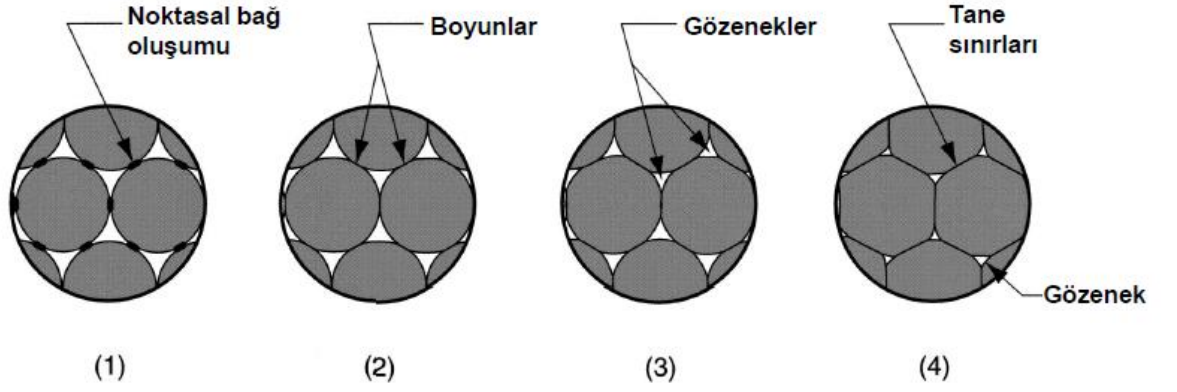
### **1.3.1.3.1. Sinterleme Mekanizmaları**

Katı hal sinterleme mekanizmaları üç ana başlıkta toplanır (Kurt, 2004):

**1.Aşama:** Partiküller arasındaki temasın boyun olarak adlandırılan sinter köprülerine dönüşmesidir. Bu aşamada toz partikülleri birbirinden bağımsız durumdadırlar. İki parçacık arasındaki temas düzlemlerinde tane sınırı oluşumu başlar. Partiküllerin merkezleri çok az miktarda birbirine yakınlaşır.

**2.Aşama:** Güçlü boyun oluşumu devam eder. Düzenli boşluk ağı oluşumu gözlenir. Yeni mikro yapı oluşumuna izin veren tane büyümesi gerçekleşir. Hacimsel daralma en fazla bu aşamada gerçekleşir.

**3.Aşama:** Bu aşamada kapalı gözeneklerin oranı hızla azalmaya başlar ve boyunların oldukça gelişmesi sonucunda birbirinden izole edilen gözenekler küresel şekil almaya başlar. Sinterlenen malzemede teorik yoğunluğun elde edilebilmesi için gözenekler içerisinde hapsolmuş gaz bulunmamalıdır. Tam teorik yoğunluğa ulaşılabilmesi için sinterleme vakumlu ortamda yapılmalı veya sıkışan gaz difüzyonla yapıdan uzaklaştırılabilmelidir. Şekil 1.11.' de sinterleme aşamaları şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1.11. Mikroskobik ölçekte sinterleme (URL-11, 2015)

Sinterleme işlemi; yoğunluk ve dayanım gerektiren çelikler, manyetik malzemeler, sementit karbürler gibi toz metalürjisi ürünlerinde çoğu kez üç aşamada gerçekleşir. Daha çok kaba toz boyutunda ve küresel şekilli tozlardan yüksek gözenekli yapıda gaz veya sıvı geçirgenlik özellikleri aranan filtre türü toz metalürjisi ürünlerinde sadece birinci aşama sinterleme işlemi yeterlidir.

Geleneksel soğuk presleme/sinterleme işlemi, tel testere boncuklarının üretiminde geniş ölçekte bir uygulama alanına sahiptir, ancak sürekli kesici kenar üretiminde ve ara sıra da soketli testere üretiminde de kullanılır (Sakarcan, 1995).

### 1.3.1.3.2. Sinterleme Fırınları

Sinterleme işlemi sıcaklık, basınç gibi parametrelerin kontrolünün sağlandığı sinterleme fırınlarında gerçekleştirilir. Ayrıca fırın atmosfer ortamı sağlar, yağlayıcı ve bağlayıcıların giderilmesini sağlayarak sinterleme sonrası ısıl işlem imkanı verir. Genellikle fırın çıkışlarında atık malzemelerin yakılmasını sağlamak için bir yakıcı mevcuttur. Sinterleme fırınları bu fonksiyonları parti veya sürekli şekilde yaparlar. Parti ve sürekli fırınlar arasındaki fark fırın sıcaklığı-zaman veya parça konumu-zaman ilişkilerinin kontrolüne bağlıdır (Çavdar ve Atik, 2011).

### 1.3.1.3.3. Parti Fırırlar

Fırın sinterlenecek malzeme ile yüklenir ve birkaç saat boyunca sıcaklık uygulanır. Fırın cidarları çalışma bölgelerinin etrafındaki yansıtıcı ısı kalkanları ve dıştan su soğutma ile sürekli soğutulur. Sıcak bölgeye yükleme üstten, önden veya alttan çeşitli kaldırmaçlar ile yapılabilir. Vakum sinterleme sadece bu fırında yapılabilmektedir. Aynı şekilde basınç takviyeli sinterleme de sadece parti fırında yapılabilmektedir (German, 2007).

Vakum sinterleme temiz ve reaktif olmayan atmosfer sağlamak için sinterleme esnasında ortaya çıkan buharın pompalama mekanizması ile sürekli olarak boşaltıldığı, sızdırmaz odalarda sinterlemenin gerçekleştirildiği fırınlardır. Vakum sinterleme fırınlarının büyük çoğunluğu bir soğutma duvarı, vakum pompalı sistemli ön yükleme cihazları ve opsiyonel ıslatıcı giderme ve gaz soğutma özelliğiyle birlikte tasarlanırlar. Güçlü grafit izolasyonu ve ısıtma elemanları sayesinde endüstriyel çalışmalar için tasarlanmış olan bu ağır tip çalışma fırınlarında uzun ve güvenli servis imkanı sağlamaktadır. Fırın içinde malzemenin tüm çevresini saran düz ısıtma elemanları mükemmel sıcaklık dağılımı sağlar. Pompalama sistemi, güç kaynağı, soğutma sistemleri ve ıslatıcı giderme sistemi sinterleme işlemi için kontrol edilebilir seviyede tasarlanır.

Parti fırında haznenin çapı büyüdükçe sinter yükü artmaktadır. Bazı fırınlarda 500 kg'a kadar çıkabilmektedir. Maksimum sıcaklık 3000 °C civarındadır. Çalışma basıncı parti fırınlarda bir atmosferin üzerinde olabilmektedir. Resim 1.8.'de vakum atmosferli bir parti fırın fotoğrafı verilmiştir.



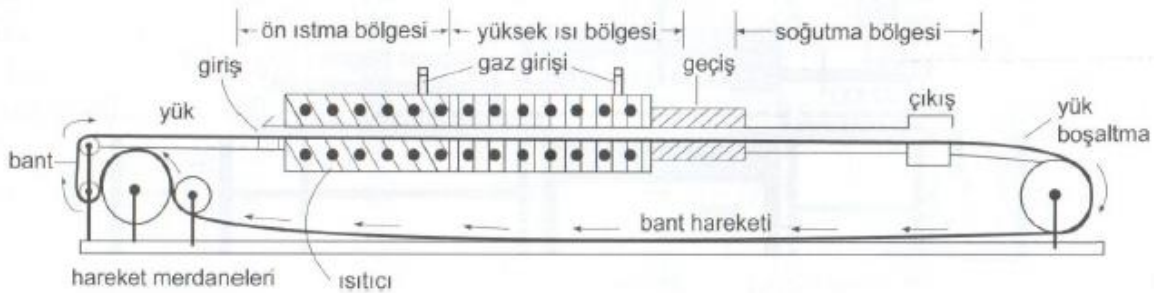
**Resim 1.8.** Vakum atmosferli parti fırın (URL-12, 2015)

#### 1.3.1.3.4. Sürekli Fırınlr

Bu fırında sinterlenecek malzeme sürekli hareket halinde olan bir bant üzerine konumlandırılır. Malzeme bant vasıtasıyla fırının içerisine girer. Burada malzemenin konumu zamana karşı taşıyıcı bant veya itici konveyörler vasıtasıyla ardışık bölgelerde kontrol edilir. Konveyörler genellikle tel örgülerden imal edilmesine rağmen yüksek sıcaklıklarda seramik, grafit veya refrakter bant yâda itici kullanılması uygun olur. Refrakter malzemeler ve grafit kullanımı durumunda 2000 °C sıcaklık değerlerinin üzerine çıkılabilir (German, 2007).

Sürekli bir fırında ilk bölgeler yağlayıcı, polimer ve kirletici giderme bölgesi olarak kullanılır. Bölgelerde kirleticilerin uzak tutulması ve kimyasal reaksiyonların kontrol altında tutulması için atmosfer bileşimi ve akışı ayarlanır. Uygun fırın tipinin seçimi sinterlenecek malzeme, sinterleme sonrası soğutma hızı, atmosfer tipi ve işletme maliyeti gibi faktörler göz önünde bulundurularak yapılır.

Aşağıdaki şekil 1.12.' de en yaygın kullanım alanına sahip sürekli fırının şematik gösterimi bulunmaktadır. Fırın sabit bir sıcaklık profiline ve belirli hızda hareket eden bir banta sahiptir. Yatay bant fırın içerisinden geçer ve sonra fırının altından geçerek hareketine sürekli olarak devam eder. Malzeme ise bu esnada sırasıyla ön ısıtma, yüksek ısı ve soğutma bölgelerinden geçmektedir. Yüksek sinterleme sıcaklıkları bantların ömürlerini kısaltır. Yüksek sinterleme sıcaklıkları için volfram, seramik veya grafit taşıyıcı bantlar kullanılmaktadır (German, 2007).



Şekil 1.12. Sürekli sinterleme fırını şematik gösterimi (German, 2007).

### **1.3.1.3.5. İndüksiyonla Sinterleme**

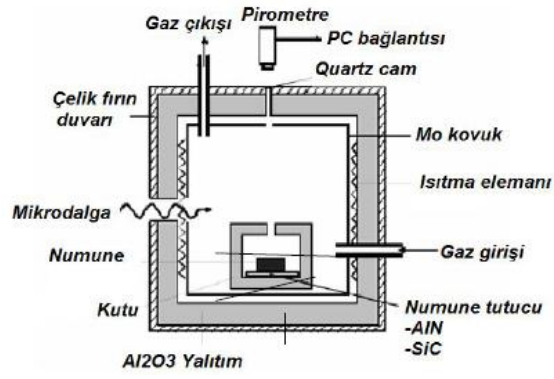
Bu yöntemde akım taşıyan bir bobin vasıtasıyla toz malzeme içinde manyetik alan oluşturulur. Bobin malzemesi genellikle bakırdan olup içerisinden soğutma suyu geçmektedir. Burada kullanılan bobinden geçen akım frekansları 50 Hz ile 50 KHz arasında değişir (German, 1996). İletken olmayan malzemelerin sinterlenmesi durumunda indüksiyon bobini içinde manyetik akıyı çekecek farklı bir iletkene ihtiyaç duyulur (Çavdar ve Atik, 2011).

Genellikle malzemelerin yüzeylerini ısıtmada kullanılır.İndüksiyon bobinin boyu, malzeme boyundan uzundur. İndüksiyon akımının frekansına göre ısınma derinliği değişir. Yüksek sıcaklık ve yüksek frekansta ısınma derinliği azalır. Demir gibi çok iletken malzemeler kısa sürede ısınır. İndüksiyon sinterlemesinde bütün toz malzemeler numune olarak kullanılabilir (German, 2007).

İndüksiyon sistemlerinde ısınma çok hızlı gerçekleşir. Geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen bir sinterleme işlemi için 40-50 dk gibi bir süre geçerken aynı sinterleme işlemi indüksiyon tekniğiyle 5-6 dk. gibi çok kısa sürede gerçekleşebilmektedir. Bunun dışında geleneksel yöntemle son ürün özellikleri kıyaslandığında mekanik özellikleri hemen hemen aynı değerler göstermektedir (Çavdar ve Atik, 2011).

### **1.3.1.3.6. Mikrodalga ile Sinterleme**

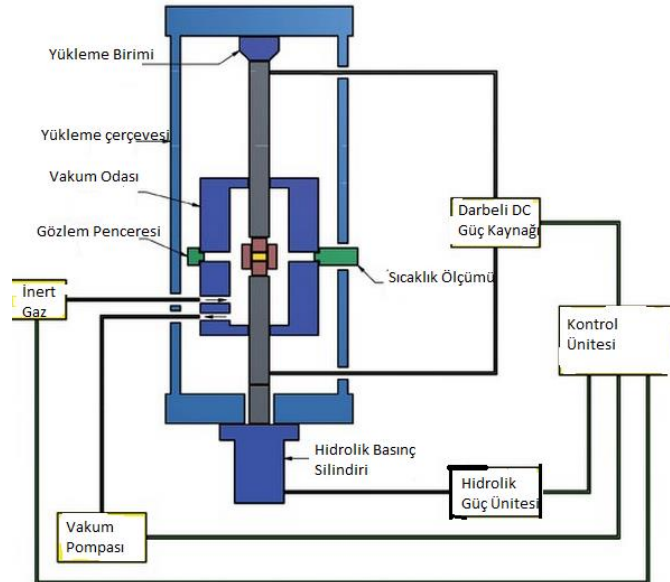
Bu teknik seramiklerin sinterlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok yüksek frekanslarda elektromanyetik dalga üretilmektedir (Clark, 1993). Ev tipi mikrodalga fırınlara göre oldukça yüksek güç ve frekans değerleri sağlayarak seramik ve metalik malzemeler sinterlenebilir. Şekil 1.13.'de mikrodalga sinterleme yönteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.13. Mikrodalga ile sinterleme şematik gösterimi (Kurt, 2005)

### 1.3.1.3.7. Plazma Sinterleme

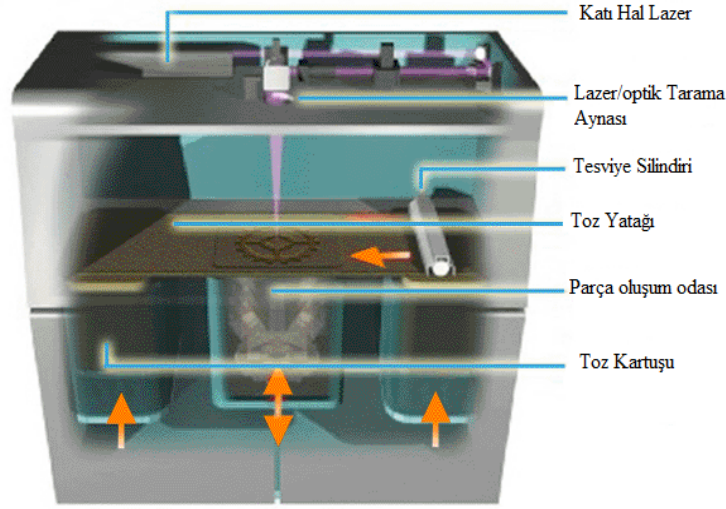
Bu sinterleme metodu mikrodalga sinterleme yöntemine benzemektedir ancak sinterleme mikrodalga sinter fırınına göre daha hızlı gerçekleştirilmektedir. Plazma sinterleme genel olarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC ve ZrO<sub>2</sub> gibi seramik malzemelerin ve iletken olmayan malzemelerin sinterlenmesinde kullanılır. Bu teknikte yüksek sıcaklıklar sayesinde ısınma daha hızlı gerçekleşmekte ve böylece güç kaybı azalmaktadır (Çavdar ve Atik,2011). Şekil 1.14.' de plazma sinterleme işleminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.14. Plazma ile sinterleme şematik gösterimi

### 1.3.1.3.8. Lazer Sinterleme

Bu teknikle malzemelerde ergime, bağlanma ve camsı yüzey oluşumu sağlanabilmektedir. Lazer ışınları vasıtasıyla malzeme yüzeyinde 2400 °C sıcaklığa kadar çıkılabilmektedir (Çavdar ve Atik, 2011). Şekil 1.15.' de lazer sinterleme fırını verilmektedir.



Şekil 1.15. Lazer sinterleme (URL-13, 2013)

### 1.3.1.4. Pekiştirme İşlemleri

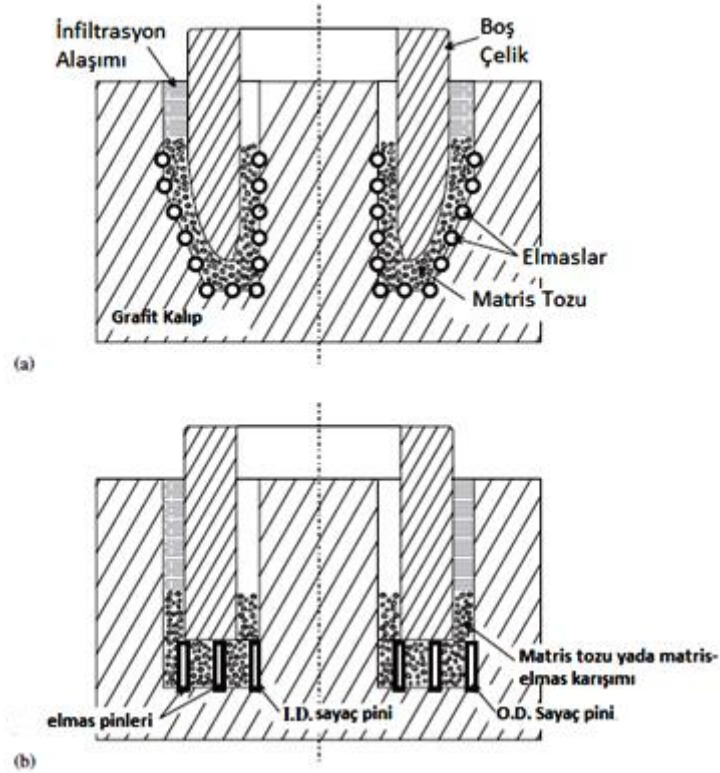
#### 1.3.1.4.1. İnfiltrasyon

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen parçalarda içyapıdaki gözeneklerin ergimiş metal kullanılarak doldurulması prosesidir. Genellikle sinterleme tekniği ile imal edilmiş ürünlerde daha fazla yoğunluk elde edebilmek için uygulanan bir tekniktir. Bu işlemde diğer metallere düşük ergime noktasına sahip olan metal yüksek sıcaklıkta parçaya infiltre edilir. Burada kullanılacak olan sızdırma metalinin ergime sıcaklığı ana metalden küçük olmalıdır. İnfiltrate edilecek kompakt ve temel matris kompakt olmak üzere iki kompakt yapılır. İnfiltrate edilmiş metal kompakt temel matris kompaktın altına yerleştirilir



ve sinterlenir. Yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça kompaktların gözenekleri açılır ve ergimiş metal bu gözeneklerin içine emilip tamamen dolarak hem yoğunluğun ve hem de bağ kuvvetinin yükselmesine yardımcı olur. Bunun sonucunda parçada çıplak gözle görülür bir değişiklik fark edilemez. Ancak sinterleme ve infiltrasyon işlemi gerçekleşmiş parça daha yoğun ve daha az poroziteli bir yapı kazanmıştır (Konstanty, 2005).

İnfiltrasyon işlemi zemin etüdü, jeolojik oluşumların araştırılması ve petrol arama endüstrisi için delme işleminde kullanılan döner yüzeyli karotiyer uç, melez uç ve elmas uçların yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır.



**Şekil 1.16.** Karot başlıklı tip yüzey işlem uçları ve uçların üretiminde kullanılan kalıbın kesit görünüşü (Konstanty, 2005)

Şekil 1.16.' de görüldüğü gibi işlem gevşek tozların birleşik gözeneklerini bir grafit kalıp içine yerleştirilmiş düşük ergime noktasına sahip olan bir sıvı infiltrasyon alaşımıyla doldurma işlemidir. İnfiltrasyon işlemi bir tek tabaka iri taneli elmasların kalıp içine direk yerleştirilmesi ve ucun çalışma yüzünü arzu edilen bir desende oluşturmakla başlayan bir takım adımlar içermektedir. İç sondaj sıvı geçitlerini güçlendirmek için infiltrasyon sonrası uzaklaştırılan çeşitli tutucu parçalar, ayrıca kalıp içinde bu aşamada monte edilebilir.

Elmas ön işlem görmüş soketlerin içine yerleştirilir ve sonraki işlemler sırasında dislokasyondan korumak için geleneksel yapıştırıcılarla yapıştırılır (Konstanty, 2005).

Sonraki adımda, boru şeklinde boş bir çelik kalıp içine konumlandırılır ve uygun bir tutturucuyla yerine tutturulur. Daha sonra ana matris tozu ya da matris elmas karışımı içeriye sokulur ve şişleme ya da vibrasyonla sıkıştırılır. Matris tozları genellikle tungsten karbür partikülleri ve/veya ötektik tungsten karbür içerir, ancak tungsten, demir, bakır, nikel, kobalt gibi metal tozları da ayrıca kullanılabilir (Naidich, 2001). Matris tozlarının tane büyüklüğü, şekli ve ölçü dağılımı malzemenin gerekli yoğunluğu elde edebilmek ve ayrıca yüksek sıcaklık işlemleri sırasında büzülmesini önlemek için dikkatlice seçilmelidir. Nihai ürünün tutarsız boyut ve bileşimlerine kolayca yol açan çok ince matris tozlarının kullanımı istenmemektedir. İnce ebatlı tozlar küçük miktarlarda, ancak, herhangi bir sinterleme sorunuyla karşılaşmadan iri parçacıklar arasındaki boşlukları doldurmak için kullanılabilir. Kalıp yükleme kolaylığı için toz malzeme bazen ısıtıldığı zaman buharlaşan sıvı bir hidrokarbon taşıyıcıyla uygulanır (Smith, 1989). Toz kalıp içine yerleştirildiğinde, boş çeliğin belli bir kısmını çevreleyecek şekilde, uygun bir infiltrasyon alaşımı, tercihen iri tane formunda, granül veya önceden kesilmiş parçalar, matris tozuna bitişik olarak konumlandırılır. İnfiltrasyon alaşım miktarı katılaşma sonrasında az miktarda bir çekme göz önünde bulundurularak biraz fazla hesaplanmalıdır. Çinko, nikel, manganez ve kalay içeren çeşitli bakır bazlı malzemeler infiltrasyon alaşımlarında ana bileşen olarak kolaylıkla kullanılırlar; fakat demir, molibden, silisyum, gümüş, kadmiyum, fosfor ve krom gibi başka elementler, ıslaklığı artırmak, infiltrasyon sıcaklığını düşürmek ve matris bileşiğinin ergime içinde çözünmesini indirmek için az miktarda ayrıca eklenebilirler (Konstanty, 2005). Bütün kalıp fırın içine yerleştirilerek ısıtılır böylece infiltrasyon alaşımı erir ve onu çelik levhaya bağlayan toz kütesinin içine süzülmeyle çekilir. İnfiltrasyon alaşımının ergime aralığına ve viskozitesine bağlı olarak, işlem genellikle 950 ve 1250 °C arasında dağılım gösteren sıcaklıklarda tercihen düşük atmosfer veya vakum ortamlarında gerçekleştirilir (Horton, 1991). Eğer uygun bir düşük ergime noktası dar bir alaşım kullanılırsa kontrollü atmosfere gerek duyulmayabilir. İnfiltrasyon işlemi sonrasında kalıp soğutulmalıdır (Konstanty, 2005).

#### **1.3.1.4.2. Lehimleme**

Bu teknikte takım gövdesine uygun bir biçimde ince üniform elmas-lehim bulamacı kaplanır. Daha sonra parça vakum altında ısıtılarak yüzeye sıkıca bağlanan tek bir elmas tabakası elde edilir. Alternatif olarak elmaslar takım üzerinde düzenli bir tarzda belirlenmiş boşluklar bırakılarak çoklu bir şekilde de lehimlenebilir. Bu durumda çelik gövde üzerine uygun yapıştırıcı ve otomatik dağıtıcı vasıtasıyla çok küçük bir damla düzeniyle sürülür. Elmas tanecikleri serpilir ve yüzeylere yapışır. Ardından uygun bir lehimleme tozu süspansiyonu elmasların üzerine serpilir ve daha sonra parça fırın içinde ısıtılır (Konstanty, 2005).

Bu uygulama için hem “aktif lehimleme” hem de “nikel bazlı lehimleme” yöntemleri kullanılabilir (Trenker ve Seidemann, 2002). Aktif element olarak alaşımların ıslanma karakteristiklerini artıran ve elmasla kimyasal bağlanmasına yardımcı olan titanyum içeren gümüş bazlı alaşımlara nispeten aktif sert lehimlerin bağ kuvveti yumuşaktır. Nikel bazlı alaşımlar mekanik olarak güçlüdür ve sert lehimlerde titanyumun oynadığı role eşdeğer öneme sahip elementler krom ve silisyumun bir bileşiminden oluşur. Optimum lehimleme sıcaklık aralığı sırayla aktif lehim ve nikel bazlı lehim için 900-950 °C ve 1000-1050 °C aralıklarındadır.

Aletlerin lehimlemeyle üretiminin başlıca avantajları; az miktarda elmas tüketimi, miktar ve kesici kenarların dağılımında mükemmel kontrol ve mükemmel tane çıkıntısı olarak verilebilir. Lehimlenmiş takımlarda yüksek kesme oranı, düşük güç tüketimi ve uzun takım ömrü özellikleri elde edilir (Konstanty, 2005).

#### **1.3.1.4.3. Lazer Kaplama**

Toz metalürjisinde kullanımı giderek artan bir teknik de lazer kaplamadır. Bu teknik taş, beton, asfalt kesmede kullanılan küçük çaplı dairesel testere üretiminde uygulanmaktadır.

Lazer kaplama işlemi düşük karbonlu çelik gövde üzerine elmas katkılı malzemenin doğrudan kaplanmasıyla yapılır. Elmas tanesi ve matris tozu bir karıştırma birimine kontrollü bir şekilde verilir. Sonra matris tozunun inert bir atmosferde eritildiği ve alt tabakaya bağlandığı bir yere bir lazer ışınının odak noktası bir meme vasıtasıyla enjekte edilir. İşlem iki soğutulmuş çelik kalıp arasına güvenli bir şekilde bağlanmış olan çelik gövdenin kenarına bitişik bir şekilde durur. Kalıplar çelik merkezin ötesine kesici kenarın kalınlık ve şeklini belirleyen bir boşluk oluşturacak çıkıntı oluşturur. Matris elmas karışımı

tedariği ve besleme hızının aynı anda kontrolüyle soketli ya da uygun bir yükseklikte sürekli kesici kenarlı kaplama mümkündür (Konstanty, 2005).

Metal eriyiğin hızlı katılaşması, ince taneli bir yapı oluşumun sağlar ve malzemenin mükemmel mekanik özelliklere sahip olmasını sağlar. Kalay bronzlar lazer kaplama için ideal olarak görölmektedir ve sadece ıslanmayı artırmak ve elmasın kimyasal tutulumunu güçlendirmek için ilave edilen titanyum elementi alaşımı kullanılabilir. Orta derecede tungsten karbür tozu ilaveleri matrisin aşınma direncini artırmak için ayrıca uygulanabilir (Konstanty, 2005).

#### **1.3.1.4.4. apak Alma**

Bazı elmaslı testere soketleri, taşlama soketleri imalat ve pekiştirme işlemlerinin ardından yüzeylerinin temizlenmesi, çapaklarının alınması gerekebilir. Bu apak alma işlemi genellikle kaba alüminyum veya silisyum karbür taneli aşındırıcılar vasıtası ile gerçekleştirilir.

#### **1.3.1.4.5. Kalite Kontrol**

Kalite kontrol testi genellikle bir sertlik testiyle sınırlıdır (Konstanty, 2003). Basitliği ve ucuzluğu nedeniyle Rockwell B testi en yaygın tekniktir. Tam yoğun bir matris-elmas karışımı büyük ölçüde matris bileşimine bağlı olan dar bir sertlik değerleri aralığına sahiptir. Öte yandan, eğer soketin yapısı herhangi bir yönde bozulursa ya da yoğunluk eksik olursa sertlik tanımlanan aralığa uygun düşmeyecektir. Yoğunluğu eksik malzemeler genellikle matrisin zayıf aşınma dayanımıyla ve elmasın matristen kopma özellikleriyle sonuçlanan çok düşük tokluğa sahiptirler. Böylece eğer sertlik değerlerinde herhangi bir şüpheli durum varsa nihai ürünün yoğunluğunun ölçülmesi ile önemli bir kalite kontrolü olur. Doğru yoğunluk değerlerini sağlamak için, ölçümler su yer değiştirme tekniği vasıtasıyla gerçekleştirilmelidir (MPIF, 1996).

İnfiltr edilmiş matkap uçları söz konusu olduğunda doğru elmas ayarı ve çıkıntı miktarını tespit etmek için görsel muayene rutin olarak uygulanır, uçtaki iç kusurları ve süreksizlikleri tespit etmek için radyografi gibi zararsız yöntemlerden ayrıca yararlanılabilir (Weitang, 1992).

### **1.3.2. Bitirme İşlemleri**

Uygulamaların büyük çoğunluğunda, toz metalürjisi işleminin nihai ürünü direkt bir alet olmaz ve ilave bitirme işlemlerine maruz kalır. Bunlar başlıca, kullanım esnasında uygulanan kuvvetleri karşılayabilmek için çelik gövde üzerine elmas soketlerin ve boncukların tutturulmasıyla ilgili işlemlerdir (Konstanty, 2005).

#### **1.3.2.1. Yarıçap Taşlama**

Farklı testere çaplarının büyük bir aralığı, takım imalatçısının stoklarında tüm soket şekillerini ve bu soketleri üretebilmesi için çok fazla sayıda çeşitlilikte grafit kalıplar kullanımını gerektirir. Bu sorunu çözmek için, genellikle gerekli taşlama işlemi yapıldıktan sonra ön ayarlı herhangi bir çelik gövdeye uyacak serbest tabanlı elmasa sahip tek bir soket tipi üretilir. Lazer kaynağı için soketlerin hazırlanmasında ayrıca soket tabanı taşlama işlemine gerek duyulur. Modern lazer kaynakları 0.1 mm genişliğinde odaklı bir lazer ışını kullanılarak gerçekleştirilir. Bu nedenle soketin çelik merkeze mükemmel uyumunun sağlanabilmesi için, soketin alt kısmının yarıçapının belirlenmesi işlemi son derece hassas bir şekilde yapılmalıdır (Konstanty, 2005).

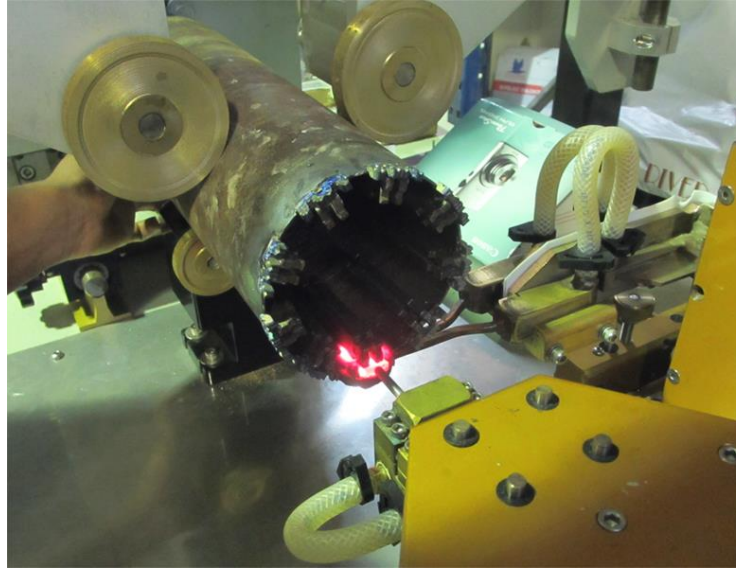
Günümüzde seri üretim için tasarlanmış soketleri büyüklüğüne göre ayırma yeteneğine sahip son derece gelişmiş ekipmanlar kullanılmaktadır, ancak eski tip kollu taşlama makinesi ve manuel taşlama makinesi de ayrıca kullanılabilir.

#### **1.3.2.2. Lehimleme/Lazer Kaynağı**

Elmaslı soketlerin testere bıçağı, karot ucu ya da taşlama tekeri olabilmesi için uygun şekilli çelik gövdeye tutturulmaları gerekir. Genellikle, lehimleme veya lazer kaynağı bu aşamada kullanılır. Lehimleme doğal taşların sulu kesimi için kullanılan aletlerin üretiminde yaygın olarak kullanılır. Lazer kaynağı küçük çaplı kesici dairesel bıçakların seri üretiminde çoğunlukla kullanılır. İkinci durumda, kesme sırasında oluşan ısı geleneksel lehim macununu yumuşatır ve bunun sonucunda yüksek çevresel hızlı kuru kesme sırasında bütün soketin çelik merkezden kopması riski vardır. Lazer kaynağı dikişinin eğilme dayanımına 1800 Mpa 'da ulaşıldığında, lehim bağlantısı için 350-600

MPa ile karşılaştırıldığında lazer kaynağı pratik olarak soket ayrılması olasılığını giderir (Weber, 1997).

Lehimleme işlemi optik pirometre ile kontrol edilen yüksek frekanslı indüksiyon ısıtıcıyla donatılmış özel bir lehim makinesinde ya da manuel olarak bir gaz torcuyla yapılır (Davies,1992). Isı uygulaması yapılmadan önce ergitilmiş soket ve lehim folyosu ergitilmiş alet gövdesinin kenarına yerleştirilmiş ve mekanik yollarla ya da mıknatısla sabitlenmiştir. Resim 1.9. 'da karotiyere elmas soketin lehimleme yöntemiyle montajı, Resim 1.10.'da ise dairesel testereye soketin montajını yapan makine görülmektedir.



**Resim 1.9.** Lehimleme yoluyla karotiyere elmas soketin montajı (URL-14, 2013)



**Resim 1.10.** Dairesel testereye soket montaj lehimleme makinesi (URL-15, 2013)

Lehimleme sırasında oluşan ısı ve termal gerilmelerin takım gövdesini zayıflatmaması ve/veya deforme etmemesi oldukça önemli bir konudur. Kritik sıcaklık olan 700 °C üzerindeki sıcaklıklardan kaçınılmalıdır ve lehimleme süresi minimum düzeyde tutulmalıdır. Bu sıcaklık dezavantajını önlemenin en uygun yöntemi su soğutma kelepçe ekipmanlı, çelik gövdenin yan tabanını aşırı ısınmaya karşı koruyan bir mikro işlemci kontrollü lehimleme makinası kullanılmasıdır (Konstanty, 2005).

Lazer kaynağı çelik merkezin ve soket matris malzemesinin seçimini kısıtlar. Isı etkisine maruz bölgede lazer demeti geçtikten sonra hızlı soğuma yüzünden kırılğan martenzit oluşumunu önlemek için genellikle düşürülebilir sertlikli düşük karbon çeliği kullanılır. Bu nedenle, soket elmas katkısız, çelikle kusursuz kaynak edilebilir uygun bir malzemedenden yapılmış tabana sahip olmalıdır (Konstanty, 2005). Lazer kaynağının önemli bir avantajı ise operatör müdahalesinin minimuma indirilmesiyle yüksek üretilebilirliğidir (Weber, 1991).

### **1.3.2.3. Tesviye ve Bileme**

Tesviye işleminin amacı; takım gövdesinin deliğiyle soketi eş merkezli hale getirmek, yanlarını temizlemek ve yanal salgıyı azaltmaktır. Sonrasında yapılan bileme işlemi ise elmasın etrafındaki matrisi uzaklaştırarak yeterli çıkıntı yaratmak ve başından itibaren etkili kesme sağlamak için yapılır. Tesviyenin aksine bileme işlemi aşağı taşlama modunda gerçekleştirilir, bıçak ve taşlama tekerleğinin dönüş yönü elmas parçacıkları üzerinde daha az etki uygulayan aynı yödedir (Konstanty, 2005).

#### **1.3.2.4. Germe**

Germe işlemi elmaslı testere bıçakları imalatında yaygın olarak yapılan bir uygulamadır. Dairesel çelik merkez üretim sırasında üzerinde gerilmeleri biriktirir. Dairesel testere asla mükemmel simetriye sahip olmadıkları için testere yalpalamadan dönmez. Bu nedenle, çelik merkez başlangıçta düz konumlanmasına neden olan eşit olmayan gerilmeleri giderme işlemine tabi tutulmalıdır. İyi bir tesviye işlemi, gerilmenin yeri tespit edilerek karşı yönde ek gerilme yaratarak yapılmaktadır (Konstanty, 2005).

Çoklu bıçaklı kiremit kesme makineleri üzerinde uygulama gerçekleştirilmek istendiğinde malzeme seçimi ve testere gerilmesi sırasında özel önlemler alınmalıdır (Jennings,1993). Bunlar bir mil üzerinde birbirine oldukça yakın kümelenmiş çok sayıda testere ile işler ve böylece tek bir bıçağın başarısızlığı hemen diğerlerine taşınır ve bütün testere setin tamamının yenilenmesini gerektiren bir durum ortaya çıkarır. Bıçağın yanal salgı ve gerilim şartları tam mekanize ve bilgisayarlı son kontrolleri (Weber, 2004) dışında, maharetli ve deneyimli bir testere demircisi tarafından haddelme ve çekiçleme işlemleri gerçekleştirilmelidir.

#### **1.3.2.5. Tel Testere Montajı**

Toz metalürjisi aşamasında, tel testere boncukların üretimi, tam pekiştirilmiş elmas katkılı bir katı silindirik taç üzerine sıkıca bağlanmış, sonradan boyunca sıkılma ve dişliye ihtiyaç duyan bir halka içermektedir. Boncuklar ve boşluklar basit bir montaj ekipmanı ya da otomatik makineler aracılığıyla düzenli aralıklarla bir çelik halat üzerine monte edilir. Elmas boncukların yerine sıkıca tutunması ve halat etrafında dönmemesi esastır. Bunun önlenmesi için son eğilimler; bireysel boncukları ayırmak ve halatın zararlı çamurlar tarafından aşınmasını önlemek için su geçirmez bir koruma sağlamayan enjeksiyon kalıplı plastik veya kauçuk vulkanize kullanımı yönündedir. Sarmal yay ayırıcılar ve sahada kolaylıkla montaj veya tamir edilebilen durdurma yüzüklü eski tip elmas tel, hala mermer ve aşındırıcı olmayan malzemelerin kesimi için kullanılabilir (Konstanty, 2005).



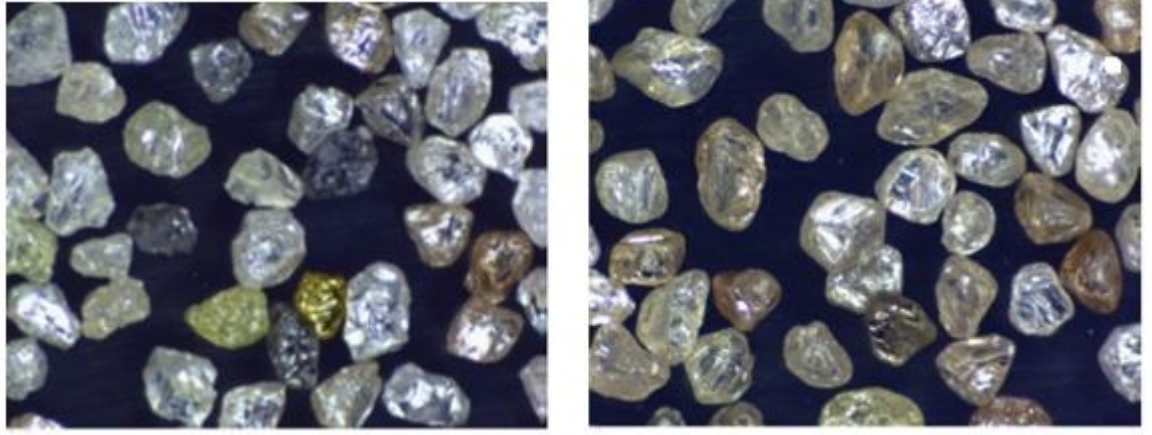
## **1.4. Elmas Seçimi**

### **1.4.1. Elmas Tipi**

Bir elmaslı kesici takımında kullanılacak elmas seçilirken öncelikle işlenecek malzeme dikkate alınır. Daha sert bir malzeme işlenecekse daha dayanımlı elmas seçimi genel bir prensip halini almıştır. Elmas üreticileri takım imalatçılarına hem sentetik elmas hem de doğal elmaslar için mekanik dayanım, ısıl kararlılık ve matris tutunma karakteristikleri açısından oldukça geniş bir aralık sunmaktadırlar (Konstanty, 2005).

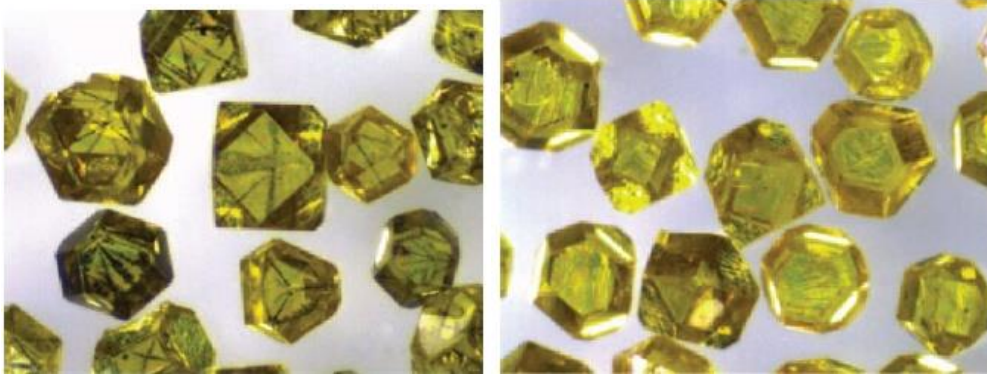
Bort elmaslardan öğütülmeyle elde edilen doğal elmaslar metalik inklüzyonlar içermediklerinden mükemmel termal kararlılık gösterirler. Doğal elmaslar mekanik dayanımlarını 1400 °C 'ye kadar kaybetmezler, oysa sentetik elmaslar dayanımlarını 800 °C civarında kaybetmeye başlarlar. Elmasın matrise tutunması açısından bakıldığında ezilmiş doğal elmas kristalleri mükemmel bağlanma özellikleri gösterirler. Bu doğal elmasları mermer, kireç taşı ve daha az sert taşların katrakt kesiminde oldukça avantajlı duruma getirmiştir. Öte yandan düzensiz elmas yüzeyi mekanik dayanıma zarar verir. Çoğu sert uygulamalarda, bu sakınca yuvarlatılmış elmas yüzeyleriyle giderilebilir. Yuvarlatılmış yüzey aslında yüksek kesme kuvvetlerinin söz konusu olduğu ve bu nedenle

rijit ve daha güçlü makinelere ihtiyaç duyulduğu anlamına gelir (Konstanty, 2005). Resim 1.11.' de girintili yüzeyli ve yuvarlatılmış yüzeyli doğal elmaslar görülmektedir.



**Resim 1.11.** Girintili yüzeyli doğal elmaslar (solda) , yuvarlatılmış doğal elmas (sağda), (Konstanty, 2005)

Sentetik elmas kullanmanın avantajı tasarlanabilir olması ve uygulama ihtiyaçlarını karşılayabilirliğinin olmasıdır. Başka bir ifadeyle istenilen ürün özelliklerini sağlayacak şekilde tasarlanabilirliğe sahip olmasıdır. Takım imalatçılarının ihtiyaçlarına göre oluşturulmuş kobalt esaslı ve nikel esaslı olmak üzere iki ana grup sentetik elmas vardır. Kobalt esaslı elmaslarda kobalt elmasın ara tabakalar arasına girerek metalik inklüzyonların oluşumuna sebep olurken nikel esaslı elmaslarda impüriteler elmas tanesi içinde düzenli olarak dağılmaktadır. Bunun sonucunda mükemmel derecede duru dış görünüş ve ayrıca sıcak preslemeden sonra iyi mekanik özellikler elde edilebilmektedir (Konstanty, 2005). Kobalt esaslı alaşımdan üretilen elmaslarla imal edilen elmaslı kesici takımlar düşük kesme hızlarında oldukça verimli ancak güç gerektiren uygulamalarda yetersiz kalmaktadır (Davis ve ark., 1960).



**Resim 1.12.** Kobalt esaslı (solda) ve nikel esaslı (sağda) alaşımdan üretilmiş elmas taneleri (Konstanty, 2005)

Elmas tanelerinin seçiminde darbe dayanımı da oldukça önemli bir kriterdir. Çünkü elmas tanecikleri kesme işlemi sırasında yerine göre oldukça yüksek darbe kuvvetlerine maruz kalabilmektedirler (Konstanty, 2005).

Elmas seçiminde elmasın şeklide oldukça önemli bir faktördür. Elmas taneciğinin şekli kullanım esnasında dayanımını, sağlamlığını ve kırılma karakteristiklerini belirler. Bu açıdan bakıldığında düzgün şekle sahip olan kübik-ortogonal şekilli elmaslar, düzgün olmayan keskin köşeli ve kaba yüzeyli elmaslara göre daha dayanıklıdır. Ancak daha az dayanıklı elmaslar matrise daha iyi tutunma sergilerler. Bu nedenle bu elmaslar katarakt kesim uygulamalarında tercih edilirler. Bu nedenle doğal elmas yerine seçilen uygun sentetik elmaslarla soket karakteristiklerinin geliştirilmesinin büyük önemi vardır (Burges, 1978).

#### **1.4.2. Elmas Tane Boyutu**

Elmas tanesinin büyüklüğü elmasın matris yüzeyinden dışarıya doğru çıkıntı yüksekliğini belirler ve kesici kenarın kesme yüzeyinden açıklığına etki eder. Bu açıdan bakıldığında etkili bir kesimde kesilecek malzeme ve elmas çıkıntı yüksekliği dolayısıyla elmas tane boyutu arasında yakın bir ilişki vardır.

Pratikte önerilen elmas tane boyutları aşağıdaki gibidir (Konstanty, 2005)

- 50/60 US mesh- çok sert ince taneli malzemeler için
- 40/50 US mesh- sert, ince taneli malzemeler için
- 30/40 US mesh- orta sertlikteki malzemeler için

- 20/30 US mesh- çok yumuşak malzemeler için

Sert taşların işlenmesinde daha küçük boyutlu elmasların kullanılmasının nedeni küçük boyutlu elmasın dayanımının daha yüksek olmasındandır. İri taneli elmaslar ise yüksek kesim hızlarında talaş boşluğunun fazla olması ve kesilen taş parçalarının testerenin her dönüşünde kesim bölgesinden daha fazla miktarda rahat çıkması sayesinde kesilen taşın yüzeyinin daha temiz çıkmasını sağlar. Ancak çok iri bir tanecik çok sert malzemelerin kesim işleminde kullanılırsa elmaslar matristen kopar. Ayrıca elmas yüzeyinde aşınmadan ötürü düzleşmeler oluşur. Bu da elmasın parlaması ve kesme işlevini yitirmesiyle sonuçlanır (Konstanty, 2005; Çelik, 2009).

### **1.4.3. Elmas Yoğunluğunun Önemi**

Bir soket ya da boncuk içindeki elmas miktarı 100 yoğunluğun 4.4 karat/cm<sup>3</sup>'e eşit olduğu bir ölçüğe dayanır (hacimce % 25). Diğer tüm yoğunluklar oransaldır. Elmas yoğunluğu tane büyüklüğüyle ele alındığında aletin çalışma yüzeyinin her biriminin kesme noktaları sayısını kontrol eder. Tablo 1.1.' de gösterildiği gibi elmas ve çekilme sitelerinin sayısı yoğunluğu ile orantılıdır ve tane boyutu ile ters orantılıdır (Konstanty, 2005).

Yoğunluğun kullanımı birkaç faktöre bağlıdır. Alet bileşimini tasarlarken, öncelikle işlenecek malzeme ve özellikleri dikkate alınmalıdır. Genellikle, daha kolay kesim ve daha abrasif iş parçası için elmas yoğunluğu daha yüksek olmalıdır.

Takım ömrünü artırmak için yüksek yoğunluk uygulandığında, yeterli yüksek makine gücü sağlanabilir olmalıdır. Aksi takdirde tek bir tanecik üzerine yükleme kıyasla küçüktür, elmas parlatmayla sonuçlanan tanecik sokulma derinliği az olur. Böyle bir durumda kesme küçük olur ya da hiç kesmeme hareketi gözlemlenir ve takımın onarılması gerekir.

Elmas yoğunluğunun düşürülmesi üzerinde, tek bir elmas üzerindeki yük nispeten yüksek olur, kesin kritik bir noktaya ulaşıncaya kadar her taneden malzeme uzaklaştırma miktarı artırılır. Tane dayanım-tokluğu aşıldığında elmas parçalanmaya ya da matristen erken kopmaya başlar (Konstanty, 2005).

İlginçtir ki, verilen herhangi bir zamanda göreceli sadece küçük bir oran yani %24-26 oranında, aktif çalışan doğru çıkıntı yüksekliğine sahip elmas çıkıntıları vardır (Wright, 1986; Webb, 1999).

**Tablo 1.1.** Aşınan soketin bir cm<sup>2</sup> alanında yüzeye çıkmış elmasların toplam sayısı (General Electric Company, 1991)

Mesh	Elmas Konsantrasyonu					
	15	20	25	30	35	40
25/35	14	19	24	29	34	38
30/40	22	30	37	45	52	60
35/40	26	34	43	51	60	68
40/50	38	51	63	76	88	101
50/60	65	87	109	131	153	174
60/80	85	114	142	170	199	227

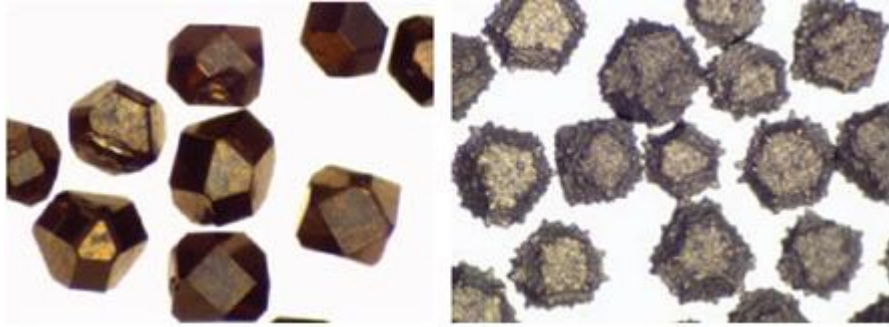
#### 1.4.4. Kaplanmış Elmaslar

Matrisin en önemli iki vazifesinden birisi elması olabildiğince uzun süre tutmalıdır. Genellikle elmasın işlevini tamamlayamadan düşmesinin nedeni matrisin onu tutamamasıdır. Özel olarak, blok şekil ve pürüzsüz yüzey tanımıyla karakterize edilen çok güçlü sentetik taneciklerden etkin yararlanma kapasiteli matrislerin geliştirilmesi kolay değildir. Bu nedenle elmasın kendisi matristen erken ve fazla kopmaması için matrisle birlikte çalışmalarıdır (Konstanty, 2005; Çelik, 2009).

Takım imalatında matris elmas ara yüzeyindeki sürtünme kuvvetini artırarak elmas matris bağlanmasını artırmanın iki yolu vardır. İlk yöntem elmasın yüzeyinin ısıyla ya da kimyasal yollarla pürüzlendirilmesidir (Tokura, 1989). Bu işlemin önemli bir dezavantajı elmasın bağlanma mukavemetinin yeterli artışı için elmas yüzeyinden görece büyük miktarlarda malzeme kaldırılmalıdır. Bir başka risk ise bu tür bir yüzey aşındırma işlemi

elmasın bütünlüğüne ve dayanımına zarar verebilir. Bu nedenle bu yöntem soketli testerelede geniş uygulama alanı bulamamıştır (Konstanty, 2005).

Elmasın matris içindeki tutunumunu artırmanın daha etkili bir yolu elmas taneciklerinin titanyum, krom ya da silisyum gibi güçlü karbür formunda, zirkonyum, tungsten, tantalum, molibden, niyobyum ya da bunların alaşımlarıyla kaplanması yöntemidir. Karbür formunun oksidasyondan korunması amaçlı tercihen nikel bazlı tabaka ya da tabakalar uygulanabilir. Matris malzemesi ile malzemeyi uyumlu kılmak ve yumuşak matrislerdeki elmas sökülmesini dikenli yapıyla mekanik kilitleme sağlayarak minimize etmek için nikel bazlı kaplama yapılabilir. Aşağıda Resim 1.13.'de tek tabakalı Titanyum karbür kaplamalı elmas aşındırıcı ve üzerine Nikel bazlı ilave tabakalı dikensi yapıllı elmas aşındırıcıların görüntüsü verilmiştir (Konstanty, 2005).



**Resim 1.13.** Tek tabaka titanyum karbür kaplı elmas aşındırıcılar (solda) ve nikel alaşımlı ilave tabakalı elmas aşındırıcılar (sağda) (Konstanty, 2005).

Karbür formu tabakasının kaplanması en uygun yöntemlerle yapılması sınırlı zararlı ısı çevrimli güçlü kimyasal bağlanma üretir. Çoğunlukla kimyasal buhar kaplama teknikleri (CVD) (Chen ve Sung, 1991) kullanılmakla beraber, metal buhar kaplama gibi metotlarda ayrıca kullanılabilir (McEachron ve ark. , 1993).

Birincil karbür tabaka kalınlığı 0,1-10  $\mu\text{m}$  arasında görece ince bir tabakadır. Ancak ikincil kaplama tabakası elmas taneciğinin ağırlıkça %20-60' ı arasında uygulanır. Bu nedenle kaplamanın ağırlığı hassasiyetle bilinmelidir ve elmas matris karışımı hazırlanacağı zaman hesaba katılmalıdır (Konstanty, 2005).

Kaplanmış elmas kullanımıyla özellikle düşük çevresel hızlarda ve yüksek kesme oranlarında uzun takım ömrü, elmas yüzeyinin grafizasyon, oksidasyon ve matris bileşenlerinin aşındırıcı etkisinden korunması ve kesici elmasların yüzey kusurlarının iyileştirilmesi yoluyla güçlendirilmesi sağlanır (Hayden, 1997).

Hatalı imalat koşullarının kaplama başarısızlığını artıran ve uygulamalarda takım performansına zararlı etkileri vardır. En ciddi zararlar; yüksek okside matris tozları nedeniyle kaplamanın oksidasyonu, sıcak pres veya sinterleme esnasında çıkılan yüksek sıcaklıklara uzun süre maruz kalması sonucu kaplamanın matris içinde çözünmesidir.

Kaplanmış elmaslar ilk zamanlarda yalnızca granitin işlenmesinde kullanılmasına rağmen, günümüzde elmaslar titanyum bazlı kaplanarak mermer, kireçtaşı, kumtaşı gibi kesimi güç taşların işlenmesinde kullanılmaktadırlar (Konstanty, 2005).

## 1.5. Matris Tozları

Elmaslı kesici takım üretiminde kullanılan matris tozları matrisin temel işlevlerini sağlayacak şekilde seçilmelidir. Burada matrisin işlevi elması sıkıca tutmak ve elmas kaybına uygun değer ile oranlı olarak aşınmalıdır.

Metal matris işlenen malzemeye uyumlu bir şekilde aşınmalıdır. Matrisin erken aşınması sonucu elmas taneleri yeterince aşınmadan önce yüzeyden daha fazla dışarıya çıkar bunun sonucunda kesme kuvvetlerinden doğan dinamik yükleri karşılayamaz ve çalışma ömrünü tamamlamadan önce matristen kopar. Bu durum elmasa oranla çok yumuşak bir matriste görülür. Aşınma dayanımı düşük olan matris aşınma dayanımı oldukça yüksek olan elmastan önce aşınır ve elmasın erken kopmasına neden olur. Öte yandan çok sert bir matris, elmas aşındıktan sonra aşınacak bu durumda ise elmas körelecek yani kesme işlevini yerine getiremeyecektir. Bu durum “cılalanma” olarak adlandırılır. Çok sert ve yoğun bir malzeme testere ile kesildiği zaman malzemeden çok ince halde toz parçası koparılır. Bu durumda matris aşınması yavaştır. Çünkü testere kesilen malzemenin sertliğine bağlı olarak içine sokulamamakta ya da çok az sokulmaktadır, bunun sonucunda matrisin malzeme yüzeyiyle teması çok azdır. Diğer yandan, kesilen malzeme yumuşak, kumlu ve süngerimsi bir yapıda ise bu defa testerenin malzemenin içine sokulma derinliği fazla olduğundan matris aşınması hızlı olacaktır. Elbette burada sadece kesilen malzemenin niteliği değil, kesim yöntemi de aşınma ömrünü belirlemesi açısından önemlidir. Çünkü farklı kesim yöntemlerinde kesme kuvvetleri, normal ve teğetsel kuvvetler farklılıklar gösterecektir. Örneğin katrakt kesimde testerenin hareketi yatay eksen üzerinde ileri-geri şeklinde olduğundan kaldırılan talaşın uzaklaştırılması işlemi yine testere tarafından yapılmaktadır. Bu da matrisin aşınma ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir. Dairesel kesimde ise kaldırılan talaşın uzaklaştırılması işlemi bıçağın tek yönlü hareketi sayesinde katrakt kesime oranla daha kolay olacaktır, bunun sonucunda da matris aşınması daha yavaş olacaktır (Konstanty, 2005; Çelik, 2009).

Metal matrisin diğer önemli görevi elması kesme işlemleri sırasında kesme kuvvetlerini karşılayabilecek oranda sıkıca tutmasıdır. Kesme sürecinde elmas ve metal matris arasındaki bağ, elmas tanelerinin maruz kaldığı dönme momentini karşılayacak güçte olmalıdır. Burada bahsettiğimiz elmasın tutulması; elmasın matrisle mekanik ve/veya kimyasal bağ oluşturmasıdır. Matrisin elması tutabilme özelliği matrisin aşınma özellikleri



ve akma dayanımıyla belirlenir. Elmasın sökülmesi değil de kırılarak kopması, üzerine gelen dinamik kuvvetlerin matrisin akma dayanımından fazla olduğu durumlarda gerçekleşir. Aynı zamanda bu durum sadece elmas çevresindeki elastik deformasyonla ilgili değildir. Ayrıca elmasın şekli, kesilen malzemenin sertlik ve darbe etkisi de aşınma özelliklerini belirgin bir biçimde etkilemektedir. Örneğin sert ve kuvars içeren bir malzemenin yüksek hızda kesilmesi esnasında elmas üzerinde malzemenin çentik darbe etkisi aynı hızda yumuşak bir malzemenin kesimine oranla çok daha yüksek olacak ve dolayısıyla matrisin daha erken aşınmasına neden olacaktır (Konstanty, 2005; Çelik, 2009).

Matris bileşimlerinin birçok uygulamasında bağlanma mekanik yolla yapılmasına rağmen, ilave bileşenler yardımıyla kimyasal bağlanma da geliştirilmeye çalışılmaktadır. Burada genellikle karbür oluşturan alaşımlar kullanılır. Bu alaşımların ergime noktası sıcaklıkları sıcak pres sinterleme sıcaklığının altında olmalıdır. Böylece alaşım sinterleme esnasında elmas parçacıklarını ıslatır ve çevresini sarar. Çoğu zaman bu kalın karbür tabakaları keskin elmas yüzeyinin deformasyonuna neden olur. Karbür şekillendiricilerin optimum konsantrasyonu ihtiyaç duyulan elmas tutma kabiliyetinden çok daha az olduğundan, matris malzemesi olarak kullanılan son derece güçlü birleştirici alaşımların kullanılmasında problemler ortaya çıkar (Konstanty, 2005; Çelik, 2009).

Bu tür problemlerin çözülebilmesi için sıvı faz sinterleme tekniği uygulanmaktadır. Krom içeren önceden mekanik olarak alaşımlandırılmış (Levin ve Gutmanas, 1990) ya da önceden alaşımlandırılmış (Akyüz ve Hofmann, 1998) tozlar ve tungsten içeren karışımlar endüstriyel ortamda bütünüyle incelenmiştir (The metallurgy of diamond tools, 1985; Levin ve Gutmanas, 1990). Ancak her iki teknikte de uygulanamaz hale gelmiştir. Takım performansındaki artış, eklenen özelliklere karşı neredeyse karşılığını vermemektedir. Bu işlemler zaman almakta ayrıca grafit kalıbın koruması gerekliliğinden dolayı gereksiz olmaktadır. Kalıp malzemesi olan grafit matris malzemesi ile reaksiyona girer ve birleşir ve bu nedenle soket sıcak presten çıkmadan önce kolaylıkla parçalanabilir. Ayrıca bazı karbür yapıcı elementler matrisin yumuşaklığını bozar. Yukarıdaki nedenlerden dolayı, günümüzdeki trend kimyasal duyarlı matrislerdense metal ile kaplanmış elmasların kullanılması yönündedir (Konstanty, 2005).

Soket üretim işlemi, elmasın bozulma aşamasına göre belirlenir. Son ürünlerdeki elmas tanelerinin özellikleri büyük oranda soket işleme sıcaklığı ve matrisin kimyasal bileşimine bağlıdır. Sentetik elmaslar 800°C'den sonra sertliklerini kaybetmeye başlarlar ve bu sertlik düşüşü 1000°C'den sonra daha hızlı olarak devam eder. Bu nedenle, elmas

tanenin termal kararlılığı için matris tozlarının sıcak presleme işlemi 1100 °C civarında yapılması gerektiğinde dikkate alınmalıdır (Konstanty, 2005).

Elmas sertliğindeki azalmaya ek olarak, sentetik ve doğal elmasların her ikisinde de 700 °C civarında oluşmaya başlayan yüzey grafizasyonu da önemli bir sorundur. Takım ömrünün bu dönüşümden olumsuz etkilenmemesi için grafitte dönüşen elmas miktarı minimize edilmelidir. Bu durum özellikle ince taneli elmas içeren uygulamalarda önemlidir. Soket üretiminde; genellikle elmas tanelerinin boyutunun küçük olması yüksek sıcaklık ve daha uzun sıcak presleme süreleri gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak da elmas yüzeyinde daha fazla grafizasyon artışı görülmektedir. Demir, kobalt, nikel ve tungsten gibi metaller fark edilir derecede karbon çözücü olduğu için elmas yüzeyini etkiler ve elmasın kullanılmadan yapıdan uzaklaşmasına neden olur (Tuzzeo ve ark., 1999; Bullen, 1975). Bunların dışında işlem sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, sıcak pres sarf malzemeleri tüketimi de o denli fazla olur, bu da işlemin ekonomikliğini azaltır. Bu nedenle matris tozları karışımı, sıcak presleme işleminde elde edilecek yaklaşık yoğunluğa göre sınıflandırılır.

Elmaslı takımlarda doğru matris seçimi karmaşık bir işlemdir. Bu nedenle yumuşak (aşınmaya daha az dirençli) bir matris seçilmesi testerenin kayayı daha rahat kesebilmesi için tercih edilir. Daha sonra, takım özelliklerini optimize etmek için katkı maddeleri eklenebilir. Çok aşırı koşullarda temel matris malzemesi bile matrisi sertleştirmek için değiştirilebilir (Konstanty, 2005; Çelik, 2009).

En çok kullanılan temel matris tozları kobalt, demir, bakırdan oluşur. Bununla beraber metal matris bileşiminde nikel, kalay, bronz alaşımları, tungsten ve tungsten karbür tozları da kullanılır. Bunların elmaslı kesici takımlarda matris tozu olarak kullanılma nedenleri ise başlıklar halinde anlatılmıştır.

### **1.5.1. Kobalt**

Kobalt tozları elmaslı kesici takımların metal matris bileşiminin ana metallerinden birisidir. Bunun nedenleri iki önemli fonksiyonu yerine getirmesidir (Konstanty, 2005) :

- Aşınma Dayanımı
- Elmas tutma kapasitesi

Bununla beraber diğer metallerden farklı olarak kobalt tozlarının;

- Çok çeşitli derecelerde tane büyüklüğü, tane şekli, tane dağılımına ve kimyasal saflığa sahip olması
- Görece düşük sıcaklık ve basınç şartları altında sıcak presleme vasıtasıyla teorik yoğunluğa düşük maliyetle ulaşılabilir olması özellikleridir (Konstanty, 2005).

Elmaktan daha hızlı aşınan yumuşak bir matris olması durumunda elmasın kopma olasılığı yüksektir. Kobalt sertliği sağlayarak körelen ilk elmas taneciğinden sonra ilerledikçe ortaya çıkan yeni kesme noktalarıyla birlikte aşınan ideal bir aşınma dayanımı sağlar. Elmasın tutunma kapasitesi elmas takım performansı belirleyen en önemli etkenlerdendir. Kobalt elmas kristallerinin tutunmasına yardım eden metaldir. Başka ifadeyle kobalt takımın elmas tutunma kapasitesini artırır (Konstanty, 2005; Çelik, 2009).

Bununla beraber kobaltın diğer tozlara oranla; farklı kimyasal yapı, şekil ve tane büyüklüklerinde çok fazla çeşitlerinin olması; sıcak presleme işlemlerinde düşük sıcaklık ve basınç değerlerinde az enerji tüketimiyle yüksek yoğunluk değerlerine ulaşılabilmesi gibi bazı üstünlükleri vardır (Konstanty, 2005; Çelik, 2009).

### **1.5.2. Kobalt Alternatifleri**

Kobaltın fiyatlarının yüksek ve kararsız yapıda olması kesici takım imalatı endüstrisinde kobalt alternatifleri tozlar geliştirilmesi çalışmalarını zorunlu hale getirmiştir (Vishwanath, 2011). Bu yönlü çalışmalar yapılmış ve halen de yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda kobalt alternatifleri özellikleri kobalta yakın çeşitli tozlar geliştirilmiştir. Bunlar aşağıdaki tablo 1.2.'de gösterilmiştir.

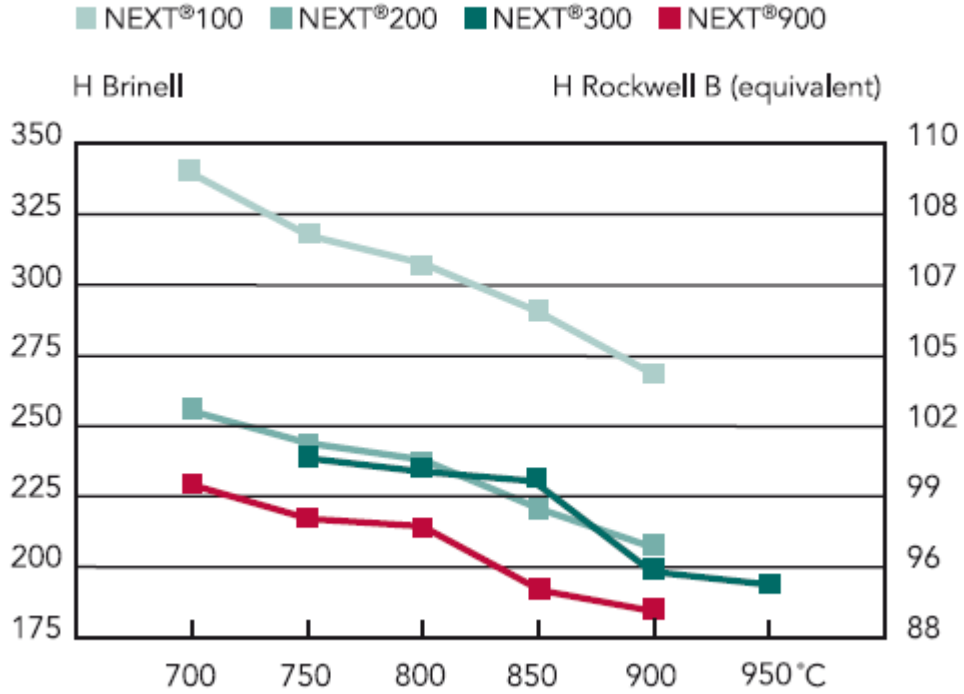
**Tablo 1.2.** Kobalt alternatif tozların tipik özellikleri

Toz Adı	Kimyasal Bileşim	% Oksijen içeriği	Ortalama tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Teorik Yoğunluk $\text{g/cm}^3$	Toz Yoğunluğu $\text{g/cm}^3$	Üretici Firma
Cobalite 601	%70 Fe %20 Cu %10 Co	0.50	4.9÷5.0	8.18÷8.20	1.68÷2.10	Union Miniere
Cobalite 801	%55 Cu %25 Co %13 Fe %7 Ni	0.27÷0.40	2.9÷4.0	8.80	1.60÷1.83	
Next 100	Cu,Fe.Co	0.8÷1.2	0.8÷1.5	8,62	1.05÷1.65	Eurotungstene
Next 200	Cu,Fe.Co	0.8÷1.2	0.8÷1.5	8,75	0.95÷1.55	
Next 300	Cu,Fe.Co	<%1	4	8,12	-	
Next 900	Cu,Fe.Co	0.8÷1.2	3	8,08	-	
MX 1480	Next100,Fe	0.8÷1.2	0.8÷1.5	8,47	-	

Eurotungstene firmasının geliştirdiği Next serisi matris tozları kobaltın tipik özelliklerine yakın sonuçlar vermektedir. Bu tozların genel özellikleri: Next tozları daha uygun maliyetli ve fiyatı diğer ticari bağlayıcılara oranla daha stabildir. Çok daha ince ölçekte mükemmel metal dağılımı ve diğer tozlardan daha homojen bir yapı sağlar. Geliştirilmiş takım ömrü ve performansı ile yüksek elmas çıkıntısı ve güçlü elmas tutunumu sağlar (URL-16, 2015).

Bu tozlar, demir, bakır ve kobalt olmak üzere 3 metalin önalaşım bileşiminden oluşur. Saf Next tozlarının ticari tozların ilavesiyle özellikleri optimize edilebilen 4 derece aralığı vardır. Next100, Next200, Next300, Next900 olmak üzere. Aşağıdaki grafikte bu

tozların sinterleme sıcaklığının bir fonksiyonu olarak sertlik değerleri verilmektedir (URL-16, 2015).



Şekil 1.17. Next tozlarının sinterleme sıcaklığına bağlı sertlik değerleri (URL-16, 2015).

Tablo 1.3. Next tozlarının Sinterleme sıcaklıkları (URL-16, 2015).

Sinterleme Sıcaklığı	Next100	Next200	Next300	Next900	MX 1480
Minimum	825 °C	700 °C	775 °C	825 °C	750 °C
Çoğu uygulamalar için önerilen	850 °C	725 °C	825 °C	850 °C	800 °C

Next100 serisinde bileşim oranları bakır %0-50, demir %0-35, kobalt ise %0-30 arasındadır. Ticari katkı maddeleriyle karıştırılarak kesme performansı optimize edilebilir. Genellikle 500 mm üstü bıçak için önerilir. Sinterleme esnasında oksidasyondan korunmalıdır (URL-16, 2015).

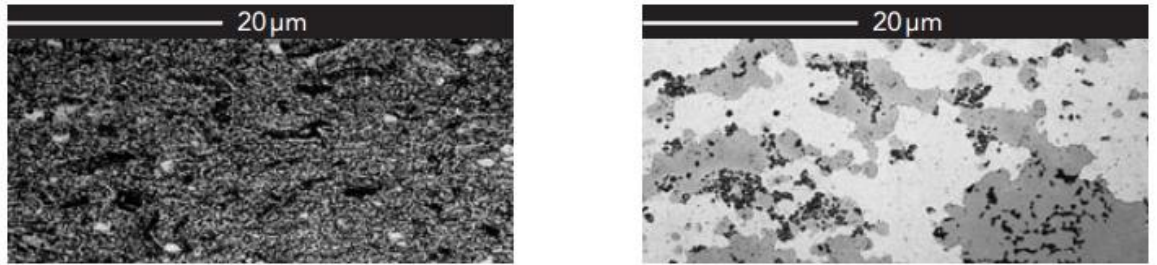
Next200 serisinde bileşim oranları bakır %0-65, demir %0-20, kobalt ise %0-30 arasındadır. Olağanüstü serbest kesim yeteneğine sahiptir. Genellikle 500 mm altı bıçaklar için önerilir.

Next300 serisinde bileşim oranları bakır %0-4, demir %0-80, kobalt ise %0-30 arasındadır. Düşük bakır içeriğine (<%3 Cu) sahiptir. Lazer kaynağı için tasarlanmıştır. Yüksek süneklik ve yüksek dayanım torku sağlar.

Next900 serisinde bileşim oranları bakır %0-25, demir %0-80, kobalt ise %0-4 arasındadır. Geleneksel katkı maddeleriyle mükemmel bir birleşim gösterir. Taş parlatma işlemleri için mükemmel performans elde edilir. Kobalt oranı %3'ün altındadır.

Next serisi tozlara değişen oranlarda Fe veya WC ilavesiyle MX serisi ticari tozları geliştirmiştir. Bu sayede Next 100, 200, 300 serisi tozlarının özellikleri optimize edilmiştir. MX 1480 tozu Next 100 serisine %20 Fe ilave edilerek geliştirilmiştir. Böylelikle Fe ilavesi sünekliği artırmıştır (URL-16, 2015).

Aşağıdaki şekil 1.18.' de 750 °C'de Next 100 tozu kullanılarak ve geleneksel toz kullanılarak sıcak preslenmiş sinterlenmiş bir malzemenin elektron mikroskobu görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 1.18.** 750 °C'de Next 100 tozuyla (solda) ve geleneksel toz karışımıyla (sağda) sıcak preslenmiş bir malzemenin optik mikroskobu görüntüleri (URL-16, 2015).

### 1.5.3. Diğer Matris Tozları

İnfiltrasyon işlemiyle üretilen aletler dışında, diğer tüm tozlar takımda elmas tutunumunu artırmaya yardımcı olmak amacıyla, aşınma dayanımını artırmak için kobalta ya da alternatifi tozlara ilave olarak kullanılırlar. Demir, bakır, kalay, bronz alaşımları, tungsten, tungsten karbür ve nikel alaşımları yaygın olarak kullanılır.

Demir takımın ihtiyaç duyulan dayanımını sağlamak için kobalt boyunca ve bazen de kimyasal bağ oluşumuna yardımcı olarak nikel ilavesiyle matrise eklenir. Demir karbonun ostenit içindeki önemli derecedeki çözünürlüğünden dolayı elmas taneleriyle yüksek üretim sıcaklıklarında tehlikeli reaktif olabilir. Yine de, kobalta ve Next tozlarına orta derecede demir eklenmesi sünekliği önemli derecede artırır ve ikincil olarak akma dayanımını artırır (Bonneau, 1999). Penta karbonil demirin ısı ayrıştırılmasıyla hazırlanan ince demir tozu matris bileşimlerinde sıklıkla kullanılır (Ebenhoech, 1987).

Bronz serisi tozların ilaveleri, bakır veya kalay elementi ayrı ayrı yâda bileşik olarak kullanılır, genellikle matrisin yoğunluğunu destekler ve aşınma dayanımını indirger böylece takım daha az abrasif malzemelerin işlenmesinde uygun hale gelir.

Kalay, ön alaşımli kalay bronzlar ve çoğu durumlarda ön alaşımli bronzlar sinterleme yâda sıcak presleme sıcaklıklarında ergimiş halde bulunurlar. Sıvı arasında, bir geçiş fazı görünse bile, bu geçiş sınırlı olmalıdır ki parçalar kendi şekillerine tutunsun ve sıcak preslemeyle uygulanan pekiştirme sırasında kalıptan dışarı minimum zorlama olsun. Sıvı fazın matris bileşimleri arasındaki difüzyonu olumsuz etkilemesinin yanında, bu nedenle tekrar üretilebilir sonuçlar için ısıtma oranı, zaman, sıcaklık ve sıcaklıkta basınç değerleri kontrol altında tutulmalıdır.

Tungsten en sert ve en rijit metallere biridir. Tungstenle elmas ara yüzeyinde ince bir film tabakası oluşumunu sağlayabilen, elmas içindeki karbona karşı güçlü atomik bağ afinitesine sahiptir. Bu özellikleriyle tungsten matrisin aşınma dayanımını artırdığı gibi, hem mekanik destekleme hem de kimyasal bağlanma sağlayarak elmasın matris içinde daha sıkı tutunmasına katkıda bulunur.

İnce tozlar yaygın olarak sıcak presleme yöntemiyle soket üretiminde kullanılır. İnfiltrasyon yöntemiyle elmas takım üretiminde ise iri toz ölçüleri daha uygundur.

Tungsten karbür matrisin abrasif dayanımını artırmak için sıklıkla çeşitli miktarlarda kullanılır. Kimyasal bileşim, tane büyüklüğü, tane şekli ve mikro yapısına göre çeşitlilik gösteren birçok tungsten karbür tozları mevcuttur (Konstanty, 2005).

Bakır düşük ergime noktasıyla takım içinde bir bağlayıcı görevi görmektedir. Diğer metal tozlarının tanelerinin tutulmasına yardımcı olur. Bakır aynı zamanda taneler veya zerrelere arasındaki boşlukların doldurulmasına da yardımcı olur. Yapının daha yoğun hale gelmesiyle tanecik sınırlarına doğru gider. Bakır sokete gereken yumuşaklığı ve aşınma dayanımını sağlar. Çok sert bir matris elmastan daha geç aşınacağından elmas körelmesi

durumunun ortaya çıkmasına neden olacaktır. Bu nedenle yumuşaklık da gerekli oranda matriste bulunmalıdır. Bakır matrisin bu ihtiyacını karşılamaktadır (Konstanty, 2005).

Matrisin abrasif aşınma dayanımını artırmanın bir alternatif yolu ise Nikel bazlı ön alaşımlı tozlar kullanmaktır. Bu tozların matrisin abrasif dayanımını artırmaya yardımcı tungsten karbür tozlara oranla daha azdır. Nikel bazlı alaşımların tungsten karbürün yerini alması sağlanabilirse, nikel bazlı alaşımların ucuz olması, düşük spesifik yoğunluğa sahip olmaları, yükseltilmiş sıcaklıklarda yumuşak olmaları, matrisin sıcak sıkıştırılabilirliğini bozmamaları gibi özellikleri sayesinde önemli ekonomik ve teknolojik avantajlar sağlanabilir. Ayrıca nikelin matrisin sertlik değerini ve mukavemetini artırdığı başka çalışmalarla da kanıtlanmıştır (Konstanty, 2005; Çelik, 2009).

#### **1.5.4. Matris Tozlarının Üretimi**

Toz metalürjisiyle üretilen tozları karakterize eden özellikler vardır. Bu özellikler tozların kullanılacakları yere uygunluğunu, imalat sonrası elde edilecek nihai ürünün özelliklerini belirleyen karakteristikleridir. Bu özellikler:

- Tane boyutu ve dağılım
- Tane şekli
- Yüzey alanı
- Taneler arası sürtünme
- Akışkanlık ve paketlenme
- Tane mikro yapısı
- Bileşimin homojenliği ve saflığı

Şeklinde sıralanabilir. Bununla birlikte uygun metal tozu üretim tekniğinin seçimi; üretim miktarı, toz özellikleri, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır (ASM, 1998). Toz üretim teknikleri;

- Atomizasyon
- Kimyasal
- Elektro-Kimyasal
- Mekanik olarak sınıflandırılır.

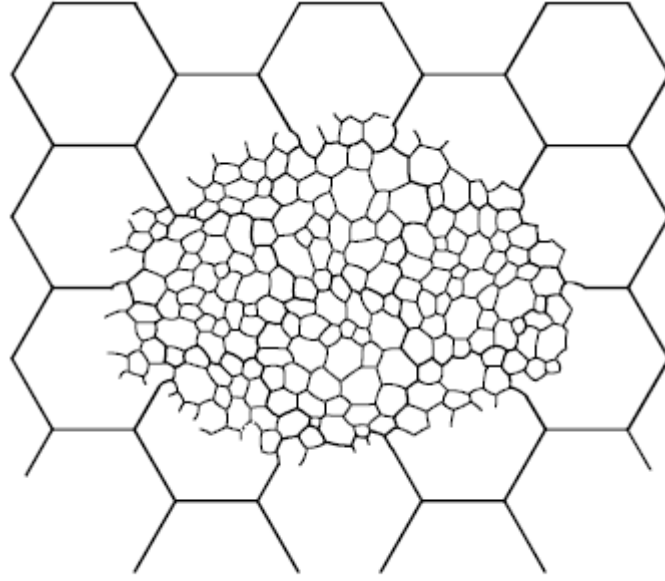


## 1.6. Tane İrileşmesi

Tane büyümesi bir malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde tavllanmasıyla malzemeyi oluşturan tanelerin difüzyonla zamanla büyümesi olarak tanımlanabilir. Tane irileşmesi sırasında yapısında farklı boyutlarda tanecikleri barındıran malzemede, büyük boyutlu tanecikler difüzyon yoluyla küçük boyutlu tanecikleri yok eder. Yapıdaki büyük boyutlu taneler küçük boyutlu tanelerden daha düşük enerjiye sahiptirler. Bunun nedeni büyük boyutlu taneciklerin daha az tane sınırlarına sahip olmasıdır. Tane sınırı aynı kimyasal yapı ve kafes yapısına sahip birbirine bitişik kristallerin veya tanelerin birbirine temas eden ara yüzey ya da geçiş bölgeleri olarak tanımlanabilir. Birbirine bitişik konumda olan bu taneciklerin atom dizilimleri aynı değildir, bu nedenle tane sınırındaki atomlar kristal kafes içindeki atomlara göre kaymış durumdadırlar. Bu kaymış pozisyon sayesinde tane sınırındaki atomların enerjisi kristal kafes içindeki atomlara kıyasla yüksektir. Malzemedeki iri taneler, ince tanelerden daha düşük serbest enerjiye sahiptir. İri ve ince tanelerin serbest enerjileri arasındaki fark, tane büyümesi için gerekli itici gücü oluşturur ve atomlar arası bağ kuvvetleri bu kuvvete karşı koyar. Sıcaklık arttıkça kafes rijitliği ve tane büyüme hızı da artar (Wakai, 2004; Kang ,2005 ; German, 2010 ; URL-17, 2015).

Malzeme içinde; mikro yapının yarı kararlı bir hale ulaşmak için enerjisini en aza indirme çabası tane irileşmesine neden olur. Kendi enerjisini en aza indirmek için, tane sınırı alanını küçültmeye ve topolojik yapısını değiştirmeye çalışır. Bu tane irileşmesi normal veya anormal olabilir. Normal tane irileşmesi bütün tanelerin üniform irileşmesiyle ifade edilir. Anormal tane irileşmesinde ise bazı taneler diğerlerinden daha fazla irileşirler (URL-17, 2015).

Polikristallerde tane irileşmesi en iyi biçimde kimyasal olarak tek fazlı saf sistemle açıklanır. Böylesi bir yapıda da hareketin kinetiği sınırdan sınıra çeşitlenir, çünkü tane sınırı enerjisi tane sınırı dağılımıyla çeşitlenir ve tane sınırı hareketliliği sabit olmayabilir. Bu nedenle, tane irileşmesi bu şekilde basit teorilerle katıyen açıklanamayacağından birkaç teoriyle açıklanmaya çalışılmıştır. Tane irileşmesinin temellerini anlamak için kullanışlı sabit tane sınırı enerjisinin kabulüyle klasik teori geliştirilmiştir (Kang, 2005).



**Şekil 1.19.** Tane irileşmesi

Tane büyümesi tavlama süresinin karekökü ile orantılıdır. Klasik teori tane irileşmesini basit bir yolla açıklamaya çalışmıştır. Buna göre tane irileşmesinin itici gücü yalnızca tane sınırının eğrilik yarıçapıyla belirlenir ve ortalama tane irileşmesi hızı tane sınırının ortalama hareketiyle doğru orantılıdır. İkinci varsayım yalnızca tane irileşmesi sırasında tane şekli ve tane boyutu dağılımı değişmez olduğunda geçerlidir. Bu durum anormal tane irileşmesi içermeyen doymuş gerçek mikro yapıya ulaşıldığında gözlemlenir. Tavlama süresinin artmasıyla tane büyüklüğü dağılımı sabit bir duruma ulaşır ve ortalama tane boyutu tavlama süresinin karekökünün bir fonksiyonu olarak artar (Wakai, 2004; Kang, 2005).

Tanelerin şekil değişiminin dinamiği topoloji terimleriyle açıklanabilir. Şekil 1.19. 'de şematik olarak iki boyutlu bir mikro yapı ve üst üste binen büyük bir altıgen dizisi gösterilmektedir. Taneler büyük altıgen boyutuna büyüdükçe iç kenarlar kaybolurken dış kenarlar (tane sınırları) devam etmektedir. Böyle bir işlemde mikro yapıdaki toplam değişim basitçe açıklanabilir. Tane büyümesi sonrasında büyük tanelerin dağılımı küçük tanelerin orijinal gruplanmasıyla belirlenir (Kang, 2005).

### 1.6.1. Sinterleme İşleminde Tane Büyümesi ve Porozite

Sinterleme süresi arttıkça tane irileşmesi artar ve porozite azalır. Bruch, tane ölçüsü ve kısmi porozitenin arasındaki ters orantıyı ilk çalışanlardan birisidir. Aşağıdaki, denklem 1 porozite ve tane boyutundaki değişime kıyasla yavaş değişen ortalama gözenek boyutuna bağlı olarak tam yoğunluk öncesi sinterleme için de geçerlidir (German, 2010).

$$G = \frac{\theta \cdot G_0}{\sqrt{\epsilon}} \quad \text{Formül (1.6.1.)}$$

Denklemden;

G: Tane boyutu     $\theta$ : Yaklaşık olarak 0.6     $G_0$ : İlk Tane Boyutu

$\epsilon$ : Kesirli Porozite

Yukarıda verilen bağıntı 0.15 ve 0.40 porozite için geçerli olup tam yoğunluğa kadar kullanılabilir. Daha düşük yoğunluklar için, yani %5'in üzerinde porozite olduğu durumlar için ise;

$$G = G_T + C_1 \cdot \epsilon \quad \text{Formül (1.6.2.)}$$

Denklemin daha uygundur. Bu denklemden;

$G_T$  = Sıfır gözeneklilik için tahmini son tane boyutu

$C_1$  = Negatif değerli bir sabit

Porozite ve tane boyutu sinterleme özellikleri üzerinde etkilidir. Örneğin sinterlenmiş alüminyumun tane boyutunun 0.8  $\mu\text{m}$ 'den 6.9  $\mu\text{m}$ 'ye yükselmesiyle mukavemeti 8 kat düşmektedir. Aynı şekilde porozitenin de malzemenin mukavemeti üzerinde olumsuz etkileri vardır. Birçok çalışmalar tane büyümesi ve yoğunluğun elektriksel özellikler, termo elektriksel davranışlar, ısıl iletkenlik, sertlik, kırılma tokluğu, süneklik ve diğer özellikler üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle sinterleme işleminde tane büyümesinin kontrolünün sinterleme özellikleri üzerinde belirleyici etkileri vardır (German, 2010).

Difüzyonla irileşme, değişen boyutlarda iki taneciğin ara yüzeyi boyunca atom alışverişi sırasında meydana gelir. Büyük taneler küçük tanelerin yerine büyür. Büyük tanelerin birim hacim başına yüzey enerjileri düşüktür, bu nedenle sıradan difüzyon olayları küçük tanelerin boyutunu azaltırken onların boyutunu artan bir şekilde artırır. İrileşme tane boyutun yanında ayrıca mikro yapı da bileşim farklılığı, farklı kristal dizilimi ve farklı gerilmelerden de etkilenir (German, 2010).

Sinterleme teorisinin yakın tarihinde Coble tane boyutu ve tane şeklini içeren bir konseptle yoğunluk modellemesi gerçekleştirmiştir. Başlangıçta yoğunluk ve tane irileşmesi ayrı fenomenler olarak ele alınmıştı, ancak Breg ve Siegle yoğunluğun, tane boyutu-porozite ilişkisine bağlı olduğunu gösterdiler. Tane sınırlarının tane büyümesiyle hareket etmesi sonrasında sinterleme tepkilerini belirler. Gözenekler sinterleme sırasında büzülmek için tane sınırına yakın olmaya ihtiyaç duyarlar. Eğer gözenekler tane sınırına tutunmuş olarak kalırlarsa büzüşebilirler. Gözenekler tane sınırlarından ayrılır. Buna dayanarak tane irileşmesi sinterleme için zararlıdır tane sınırları daha geniş aralıklı olduğu zaman, porozitelere daha az yakınlığa sahiptir ve genellikle porozitelerden daha hızlı hareket ederler. Aslında hızlı tane irileşmesi dikkate değer gözenekli yapıda erken biten sinterleme şartları üretir.

Sinterleme ve tane irileşmesi her ikisi de benzer aktivasyon enerjileri tarafından belirgin olarak atomik hareketlilik oranına dayanır. Birim hacim başına ara yüzey enerjisi porozite büyüklüğü ve tane boyutu zıtlığıyla çeşitlilik gösterir. Buna dayanarak daha küçük ara yüzey alanlı daha büyük özellikler birim hacim başına daha kararlıdır. Böylece, ısıtıldığında atomlar yüksek enerjili küçük tanelerden küçük enerjili büyük tanelere doğru rastgele hareket ederler. Yalnızca tüm tane boyutları ve porozite boyutlarının eşit olduğu bir yapıda malzemenin sinterlenmesi esnasında tane irileşmesi meydana gelmez. Öte yandan büyük taneler doğal olarak küçük taneleri yutarlar.

Burada ortaya çıkan bir diğer husus, sinterleme sırasında oluşan tane irileşmesi kendine benzer tane boyutu dağılımına imkân verir. Tane boyutu normal karakteristik bir boyuta ulaştığında tane şeklide bir ölçek parametresi olarak karakteristik ölçüye bağlı bir aynı şekilde olur. Aynı şekilde tane boyutu değişirken tane şekli tane dağılımı aynı kalır (German, 2010).

İlk çalışmalar sinterlenmiş yoğunluğun artmasıyla tane büyümesinin hızlandığını açık bir şekilde gösterdi. Dahası hızlı tane büyümesi hızlı sinterlemeyle birlikte devam eder. Gözlemlerden elde edilen tane büyümesi ve sinterlemenin ortak çeşitli yönleri:

-Tane büyümesi 0.7rölatif yoğunluk oranına kadar yavaştır, 0.9 yoğunluğun üzerinde hızlıdır.

-Tane sınırları partiküller arası bağ oluşumuyla artar, sonra tane irileşmesi nedeniyle azalır. Maksimum tane sınırı alanı 0.85 rölatif yoğunlukta oluşur.

-Başlangıçta daha küçük taneler olması tane büyümesine katkıda bulunur.

-Yüksek oranda küçük tanelerden oluşan yaygın ölçülü tane dağılımı daha hızlı tane büyümesini sağlar.

-Katı çözeltili formunda ilave maddeler tane büyümesini hızlandırır.

-Gözenek içeren ikincil fazlar tane irileşmesini geciktirir.

-Tane irileşmesi sırasında ikincil fazlar ve gözenekler tane sınırı boyunca hareket edebilir.

-Gözenek büyümesi sinterleme süresi geçtiğinde meydana gelir.

- Tane sınırları büyük gözeneklerden tane irileşmesi sırasında kolaylıkla ayrılır

-Küçük poroziteler küçük tane boyutları verir

-Daha çok porozite ve daha çok ikincil faz olduğunda sinterleme sırasında daha küçük tane boyutu gözlemlenir.

-Tane sınırları gözeneklerden ayrıldığında büzülme biter.

Şeklinde listelenebilir.

Tane irileşmesi en belirgin biçimde sinterlemenin orta aşamasında işlem parametreleri pik sıcaklığı tutulma süresi ve uygulanan basınca bağlı olarak oluşur. Birçok malzeme için sinterleme büzülmesi ve tane irileşmesi için aktivasyon enerjileri benzerdir. Buna dayanarak tane büyümesi ve yoğunluk arasında geliştirilen deneysel bağlantılar çeşitlilik arz eder (German, 2010).

Sinterlemenin başlangıç aşamasında gözenekler tanelerin kenarında açık havuz şeklinde yerleşmişlerdir. Gözenekler açık olduğu için gaz bileşimin içine girip çıkabilir. Sinterlemenin son aşamasından sonra hapsolan gazın bileşikten dışarıya çıkarılması mümkün değildir. Gözeneklerde gaz sıkıştığı zaman tam yoğunluğa ulaşmak mümkün olmayacaktır. Tane boyutu ve tane şekli mikro yapı içinde sabit olmadığından açıktan kapalı gözeneklere değişim porozite şartlarının üzerinde bir dağılımda yer alır.

Yığılmış toz olması durumunda iki boyutta gözenek mümkündür: yığının içinde büyük gözenekler ve yığınların kenarında küçük gözenekler olmak üzere. Küçük gözenekler kolaylıkla yok edilir ancak topaklar arası gözeneklerin çekilmesi yavaştır. Buna dayanarak başlangıçta homojen gözenekli yapı daha yüksek sinterleme yoğunluğu verir.

Gözenekler eğer yerel kaybolma bölgeleri (tane sınırları ya da serbest yüzeyler) varsa çekilir (büzülür), ama aynı zamanda komşu gözeneklerle etkileşir ve birleşme ya da katıya doğru difüzyonla tane irileşmesine maruz kalır. Sinterleme atmosfer ortamında gerçekleştirildiği takdirde malzeme tam yoğunluğa erişebilir ancak atmosfer bazlı sinterleme yapılırsa tane irileşmesi devam ederken gözenekler büyür ve sabit hale gelir. Gözenek içindeki basınç gözenek büyümesiyle düşer, böylece gözenek büyümesi hızlanır. Hareket eden bir tane sınırının sürüklenme kuvveti gözenek boyutuna bağlıdır. Bu kuvvet sinterlemenin sonunda hızlı tane irileşmesinin sonucu olarak gözeneklerin kaybolmasıyla azalır.

Tane sınırında olmayan gözenekler sinterleme esnasında sabit kalır. Burada yoğunlaşılacak mesele tane sınırlarına bağlanmış olan gözenekleri korumaktır. Tane sınırı ve gözenek arasında harekete rağmen bir iğneleme kuvveti vardır. Bu kuvvetin etkisi yüzey enerjisi ve gözenek boyutuna göre değişir. Göreceli ara yüzey enerjisi dik bir yüzey enerji dengelemesiyle tespit edilen dihedral açıyla değerlendirilir. Dihedral açıları gözeneklilik boyutu gözeneklerin sinterleme esnasında tane sınırından ayrışma olasılığını belirler. Birleşme taneler yaklaşık tesadüfi şartlarla temas ettiğinde oluşur, bu yüzden öncelikle geçici daha sonra da kalıcı dihedral açı oluşur.

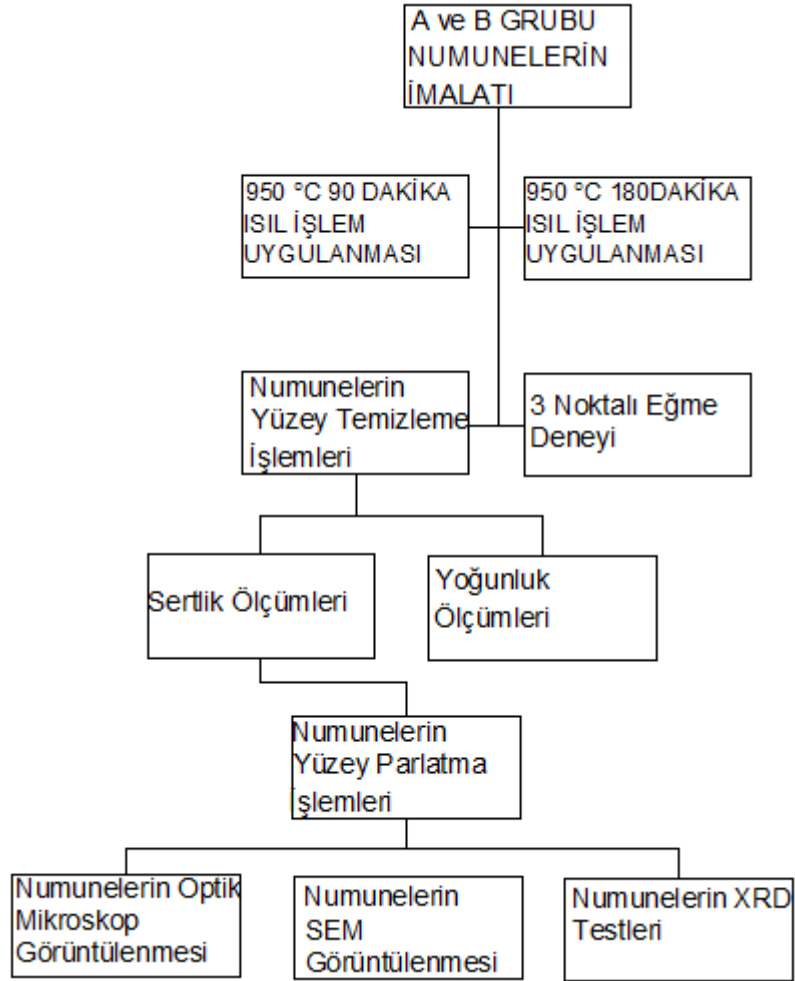
Sinterleme esnasında tane sınırının gözenek sabitlemesi, tane sınırının gözenekler tarafından kısmi kaplanma oranına dayanır. Küçük bir dihedral açısı tane sınırında ikincil fazın kararlı olduğunu gösterir. Herhangi bir gözeneklilik derecesinde bir dar dihedral açısı gözeneklerin yayıldığı ve tane temaslarının indirgiendiği anlamına gelir. Bu duruma göre daha az tane büyümesi beklenmektedir. Yüzey enerjileri kimyasal segragasyona duyarlıdır. Bu nedenle atmosfer ortamındaki değişimler, katkı maddeleri, kirleticiler ve diğer bileşenler sinterleme ve tane büyümesini etkileyecektir (German, 2010).

Birçok sinterleme çalışmaları tane irileşmesi üzerinde yoğunlaşmasına rağmen irileşme gözeneklerde, dağıntılarda ve sıvı birikintilerinde de görülmüştür. Sinterlemeyle ilgili yapılan ilk modellemelerde tane boyutu temel alınmasına rağmen, yeni fikirler porozite üzerinde yoğunlaşmıştır. Öyle ki sinterlemenin en iyi poroziteyle anlaşabileceği düşünülmektedir. Bu konseptle nano ölçekte sinterleme ürünlerinin nasıl üretileceği öğrenilebilir. Sinterleme sonrası malzemenin yoğunluğunda porozite büyük oranlarda belirleyici olduğuna göre poroziteyi azaltacak ve hatta yok edecek çalışmalar önem kazanmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında ısıl işlemle tane irileşmesi sağlanarak numunelerdeki porozitenin azaltılması yoluyla takım özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada; deney numunelerinin imalatı ve incelenmesi için aşağıda akış şeması verilen imalat ve kontrol işlemlerinden faydalanılmıştır.



Şekil 2.1. Deneylerin akış şeması

### 2.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Tablo 2.1.'de özellikleri verilen ve şekil 2.2.'de elektron mikroskobu görüntüleri verilen metal tozları tablo 2.2.'de verilen şekilde bileşimleri oluşturulmak üzere 0.1 gr hassasiyetli bir tartım makinesi ile tartıldı. Daha sonra hazırlanan tozlar üç boyutlu bir toz

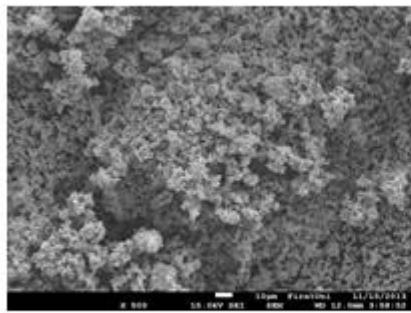


karıştırma mikseri kullanılarak 20 dakika süre ile karıştırıldı. Karıştırılan tozlar içerisinde %2 oranında PEG 400 ve hacimce 1:4 oranında çelik bilyeler topaklanmayı önlemek ve PEG 400'ün yapıya homojen dağılımını sağlamak için eklendi. Karıştırma işleminden sonra soğuk presleme işlemi için 0.01 gr hassasiyetli bir terazi kullanılarak 20 gram ağırlığındaki numuneler, 40x10mm kesitli bir kalıp içerisinde 250 MPa basınç altında çift etkili bir toz presi kullanılarak şekillendirildi.

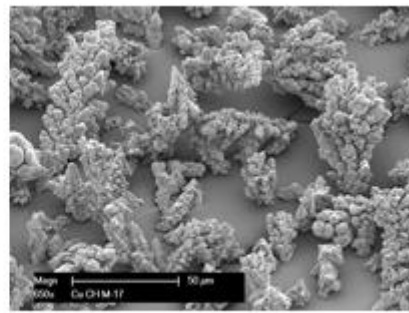
Üretilen soğuk preslenmiş numuneler grafit kalıplar içerisinde dökülerek direk dirençli ısıtma prensibi ile çalışan PLC kontrollü vakumlu bir sıcak pres kullanılarak tablo 2.2. ve tablo 2.3' de belirtilen parametrelere göre numunelerin imalatı yapıldı.

**Tablo 2.1.** Kullanılan tozlar ve özellikleri

Kullanılan Toz	% İçerik	Tane Boyutu ve Şekli	Toz Ticari Adı ve Üretici
MX 1480	Next100 + %20 Fe	0,8-1,5 µm	MX 1480 Eurotungstene
Ni	99.8 Ni	2 µm	Ni 2800 A Eurotungstene
Cu	99.9 Cu	63 µm	Cu 1197 GGP Metal Powder



a



b

**Şekil 2.2.** Kullanılan tozların elektron mikroskobu görüntüleri. a- MX 1480 b-bakır

Öncelikle Ni, Cu, ve MX 1480' den oluşan numuneler 700 °C sıcaklıkta, 20 MPa basınçta ve 800 °C sıcaklıkta, 30 MPa basınçta olmak üzere iki ayrı grup halinde 4 dakika

süreyle sıcak pres sinterleme tekniğiyle üretilmişlerdir. Aynı parametrelerle Cu ve MX 1480 tozu oranı değiştirilerek toplam altı farklı bileşimde numuneler üretilmiştir. Daha sonra bu numuneler bir ısıl işlem fırınında farklı sıcaklık ve süre parametrelerinde ilave ısıl işleme sokulmuşlardır. Aşağıda tablo 2.2.'de A grubu numunelerin; tablo 2.3'de ise B grubu numunelerin alaşım yüzdeleri ve sinterleme sıcaklık ve basınç değerlerini gösteren tablolar verilmiştir.

**Tablo 2.2.** A grubu numuneler

Numune Adı	Alaşıma katılan malzemeler (%ağ.)			Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Süresi (Dakika)	Teorik Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
	Ni	Cu	MX 1480				
A1	3	10	87	700	20	4	8,36
A2	3	20	77	700	20	4	8,43
A3	3	30	67	700	20	4	8,50
A4	3	40	57	700	20	4	8,57
A5	3	50	47	700	20	4	8,63
A6	3	60	37	700	20	4	8,70

**Tablo 2.3.** B grubu numuneler

Numune Adı	Bileşime katılan malzemeler (%ağ.)			Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Süresi (Dakika)	Teorik Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
	Ni	Cu	MX 1480				
B1	3	10	87	800	30	4	8.36
B2	3	20	77	800	30	4	8,43
B3	3	30	67	800	30	4	8,50
B4	3	40	57	800	30	4	8,57
B5	3	50	47	800	30	4	8,63
B6	3	60	37	800	30	4	8,70

## **2.2. Numunelere Sinterleme Sonrası Isıl İşlem Uygulanması**

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen elmassız soketlere ısıl işlem uygulayarak numunelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. A ve B grubu numuneler önce 950 °C de 90 dakika bekletilmiş, daha sonra fırın içerisinde doğal soğumaya bırakılmışlardır. A ve B grubu numuneler ayrıca 950 °C 'de 180 dakika bekletilerek ayrı bir ısıl işleme tabi tutulup fırın içerisinde doğal soğumaya bırakılmışlardır. Isıl işlem uygulaması Tunceli Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan Protherm marka özel amaçlı ısıl işlem fırınında gerçekleştirilmiştir.

### **2.2.1. Isıl İşlem Fırını**

Bu çalışmada soketlere ilave ısıl işlem uygulamak için protherm marka üç fazlı rezistans ısıtmalı özel amaçlı ısıl işlem fırını kullanılmıştır. Fırının maksimum çalışma sıcaklığı 1200 °C olup üzerinde elektronik kumanda devreli bir programlayıcı bulunmaktadır. Fırında ısıtma işlemi üç fazdan beslenen elektronik kumanda sistemiyle yönetilen rezistanslar aracılığıyla yapılmaktadır. Fırının iç duvarları yüksek sıcaklıklara dayanıklı özel refrakter malzemedен imal edilmiştir. Fırın içerisinde ısıl işlem esnasında oluşabilecek gaz atıklar fırın içerisinden dışarıya verilmiş olan bir tahliye kanalı vasıtasıyla dışarı çıkarılmaktadır. Ayrıca bu kanal ısıl işlem esnasında koruyucu atmosfer oluşturulması için de kullanılabilir. Fırın çalışması esnasında dış ortamla tamamen yalıtım halindedir. Resim 2.1.' de deneylerde kullanılan fırının fotoğrafı görülmektedir. Fırının üzerinde bulunan programlayıcı vasıtasıyla fırın istenilen sürede istenilen sıcaklık değerlerine ulaşp, istenilen süre bu sıcaklıkta bekletilme ve daha sonra soğutulmaya bırakılmaktadır.



**Resim 2.1.** Isıl işlem fırını

### **2.2.2. Isıl İşlem Uygulaması**

Farklı bileşimlerde üretilmiş olan soketler ısıl işlem fırınına alınmadan önce fırın içine yerleşimi için bir kap imal edildi. Soketler imal edilen bu çelik kabın içerisine yerleştirilmeden önce oksidasyonu önlemek amaçlı röwetmann alçı tozu çelik kabın iç yüzeyine uygulandı. Daha sonra numuneler düzenli bir şekil de aralarına yapışmalarını önlemek amaçlı toz serpilerek dizildi. Dizme işlemi bittikten sonra numunelerin üzerine de bir miktar toz döküldü. Daha sonra numuneler dikkatli bir şekilde fırın içerisine yerleştirilerek istenilen program dahilinde ısıtılmaya başlandı. Öncelikle A ve B grubu numuneler 75 dakikada 950 °C sıcaklığa çıkılarak, bu sıcaklıkta 90 dakika bekletildi ve daha sonra fırın içerisinde doğal soğumaya bırakıldı. Fırın oda sıcaklığına geldiğinde fırın kapakları açılarak numuneler çıkarıldı. Üzerindeki koruma amaçlı dökülmüş olan röwetmann alçı tozu alınarak numuneler çıkartıldı. Uygulanan bu ısıl işlemle elde edilen numunelere sırasıyla C ve D grubu numuneler isimleri verildi. A grubu numunelere 90

dakika süreyle 950 °C ısıtma işlemi uygulanması sonucu elde edilen numunelere C grubu ismi verildi. Ve aynı ısıtma işleminin B grubu numunelere uygulanması sonucu elde edilen numunelere de D grubu numuneler adı verilmiştir.

A ve B grubu numunelere 80 dakikada 950 °C sıcaklığa çıkılarak bu sıcaklıkta 180 dakika bekletilerek ve daha sonra fırın içerisinde doğal soğumaya bırakılarak ayrı bir ısıtma işlemi uygulanmıştır. Soğuma işlemi bittiğinde fırın içi sıcaklık oda sıcaklığına düştüğünde numuneler fırından çıkartıldı. A grubu numunelere bu ısıtma işleminin uygulanması sonucu elde edilen numunelere E grubu; B grubu numunelere bu ısıtma işleminin uygulanması sonucu elde edilen numunelere ise F grubu numuneler adları verildi.

### 2.3. Sertlik Ölçme İşlemi

Isıtma işlemi uygulanan numunelerin sertliklerinin belirlenmesi amacıyla Emco Test marka Durajet model sertlik ölçme cihazında numunelerin sertliği 187,5 kg yük ve 2.5 mm çapında sertlik ölçüm ucu ile HB30 ve 62,5 kg yük ile HB10 Brinell sertliği cinsinden ölçülmüştür. Sertliğin tam olarak belirlenebilmesi için numunelerin orta, uç, arka ve ara bölgelerinden sertlik değerleri ölçülmüş ve her bir numuneden toplam 5 adet sertlik değeri alınmıştır. Daha sonra bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak numune sertlik değerleri belirlenmiştir.



**Resim 2.2.** Ölçümlerin yapıldığı sertlik ölçme cihazı

## 2.4. Yoğunluk Ölçüm İşlemi

Numunelerin yoğunluğunun ve porozite miktarının belirlenebilmesi için tüm numuneler ısıtıl işlem öncesi ve sonrasında iki defa ayrı ayrı olmak üzere yoğunluk testine tabi tutulmuşlardır. Yoğunluk ölçümü ASTM B311-92 standardında belirtildiği üzere hesaplanmıştır. Buna göre numunelerin öncelikle havada kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra aynı numuneler darası alınmış bir metal sepet ile sıcaklığı termometre ile ölçülen saf su dolu ölçüm kabına batırılarak suyun içerisinde tartılmışlardır. Tartımların yapıldığı hassas terazi resim 2.3.'de gösterilmiştir. Yoğunluk değerleri hesaplanırken aşağıdaki formül kullanılmıştır. Hesaplamalar ASTM B-311 standardına uygun olarak yapılmıştır.

$$d = \frac{A \times E}{A - B}$$

Formül (2.1.)

Denklemden:

d: Numunenin özkütlesi

A: Numunenin havadaki kuru ağırlığı

B: Numunenin su içerisindeki ağırlığı

E: Suyun yoğunluğudur.



**Resim 2.3.** Ağırlık ölçümlerinin yapıldığı hassas terazi

## 2.5. Üç Noktalı Eğme Deneyi

Numunelerin eğilme mukavemetini ölçmek için üç noktalı eğme deneyi yapılmıştır. Deneyler ASTM B 528-83a standardına uygun olarak yapılan özel aparat ile Tunceli Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan SHIMADZU marka universal çekme, basma, üç noktalı eğme cihazında yapılmıştır. Numunelerin eğilme dayanımının ölçülmesi için TRAPEZIUMX yazılımı kullanılmıştır.

## 2.6. Optik Mikroskop Çalışmaları

Numunelerin hem ısıtma işlem öncesi hem de ısıtma işlem sonrası mikro yapılarının incelenmesi ve uygulanan ısıtma işleminin mikro yapı özelliklerine etkilerini inceleyebilmek amacıyla NikonMA100 Eclipse marka optik mikroskopunda NIS Elements D yazılımıyla numunelerin 20X ve 100X görüntüleri alınmıştır. Resim 2.4.' de çalışmaların yapıldığı optik mikroskopunun fotoğrafı verilmiştir.



**Resim 2.4.** Deneylerde kullanılan optik mikroskopu

Isıl işleme tabi tutulan numunelerin mikro yapısını incelemek için numune yüzeyleri sırasıyla 180, 240, 320, 600, 800, 1000, 1200 ve 2000 Mesh'lik su zımparalarıyla düzgün hale getirildi. Daha sonra elmas pasta kullanılarak sırasıyla 6 ve 1 mikronluk elmas pastalarla numune yüzeyleri parlatıldı. Parlatılan yüzeyin kirlerden arındırılması için alkol ile temizlendi ve kurutuldu. Daha sonra temizlenen yüzey  $5\text{HNO}_3 + 5\text{Asetik Asit} + 1\text{H}_3\text{PO}_4$  bileşimini su ile %40 oranında karıştırılarak hazırlanan dağlayıcı ile dağlandıktan sonra optik mikroskop ve elektron mikroskobu incelemeleri için hazır hale getirildi.

## **2.7. Elektron Mikroskobu İncelemeleri**

Isıl işleme tabi tutulan numunelerin mikro yapılarını incelemek amaçlı Elazığ Fırat Üniversitesi Laboratuvarlarında bulunan Jeol marka taramalı elektron mikroskobunda saf numunelerden ve ısıl işleme tabi tutulmuş numunelerden 2 numaralı serinin yani ağırlıkça %3 Ni, %20 Cu ve %77 MX 1480 içeren numunelerin görüntüleri alınmıştır. Numunelerin ayrıca birer tane de kırık yüzey görüntüleri alınmıştır. Ayrıca İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında bulunan Leo Marka taramalı elektron mikroskobunda bütün numunelerden 2-4-6 numaralı serilerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri alınmıştır.

## **2.8. X Işınları İncelemeleri**

Numunelere uygulanan ısıl işlemler sonucunda numune iç yapısında meydana gelen fazların analizi amaçlı İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında bulunan X Işınları Laboratuvarlarında Rikagu marka XRD cihazında numunelerin X ışınları incelemeleri yapılmıştır.



### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde numuneler üzerinde yapılan işlemlerin sonuçları değerlendirilmiş ve her sonucun nedenleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

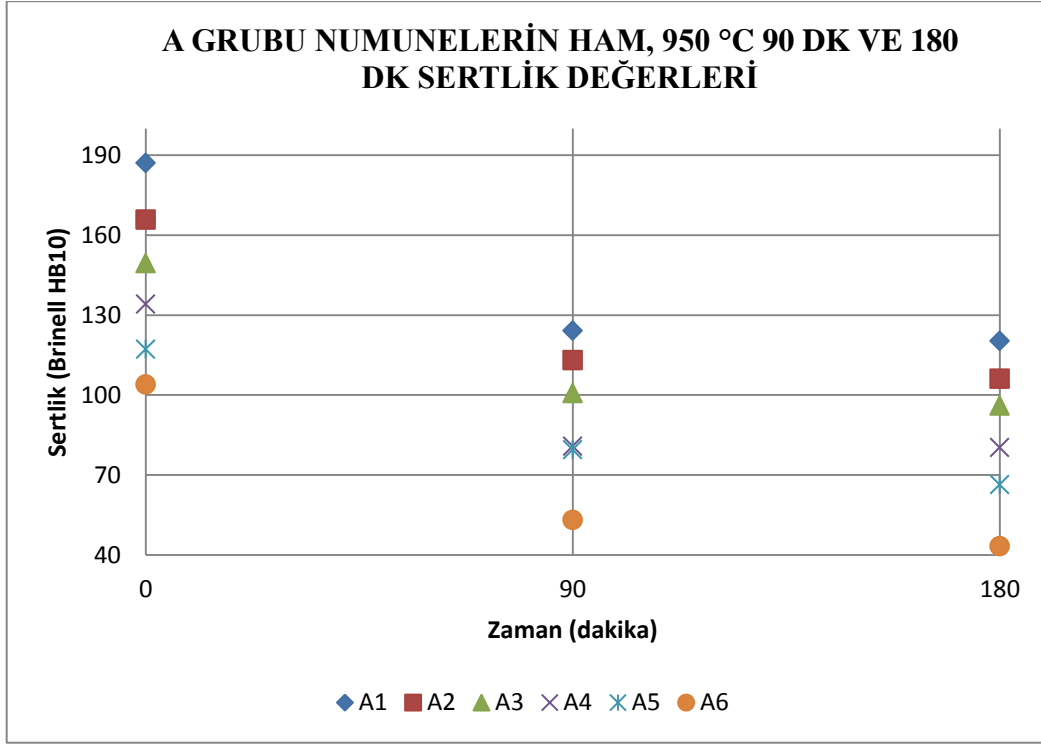
#### 3.1. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Şekil 3.1.'de A grubu numunelere, şekil 3.2.'de ise B grubu numunelere 950 °C sıcaklıkta 90 dakika ve 180 dakika ısıl işlem uygulamaları sonucu elde edilen sertlik değerleriyle ilk sertlik değerleri birlikte verilerek aynı sıcaklıkta uygulanan ısıl işlemin süresinin sertliğe etkisi hakkında fikir edinilmeye çalışılmıştır. Şekil 3.1' de ve şekil 3.2.'de yatay eksende 0 zaman değeri ısıl işlemsiz ham numunenin değerini, 90 dakikadaki sertlik değeri C grubu numunelerin, 180 dakika ise E grubu numunelerin sertlik değerlerini göstermektedir.

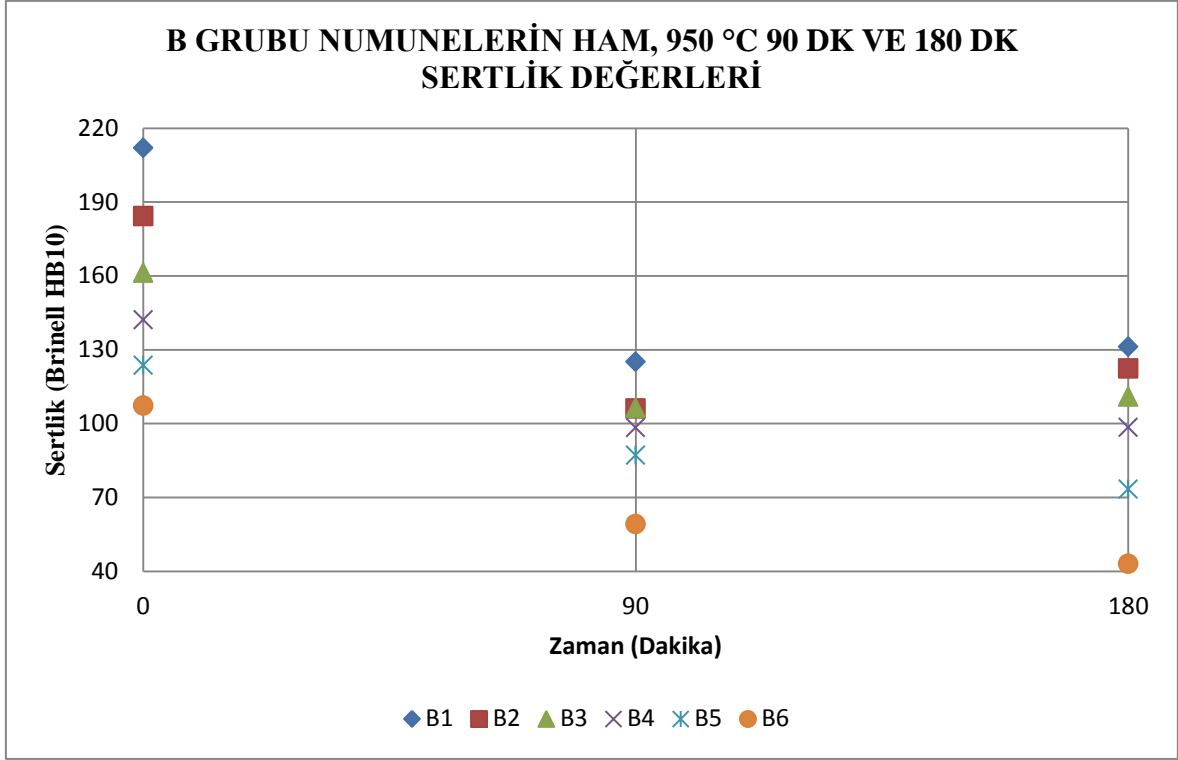
A ve B grubu numunelere her iki ısıl işlem uygulanması sonucunda da sertlik değerlerinin düştüğü görülmüştür. Bu uygulanan ısıl işlem sonucunda yapıda tane irileşmesi meydana geldiği için sertlik değerlerinde düşme görülmüştür. Bu durum normaldir ve beklenildiği gibi çıkmıştır. Qian Lei ve arkadaşlarının (2011), Cu-8.0Ni-1.8Si-0.6Sn-15Mg alaşımına sahip numunelere izotermal ısıl işlem uygulamaları sonucunda da sertlik değerlerinin belirgin bir biçimde düştüğü görülmüştü. B grubu numunelerde ayrı bir durum olarak 180 dakika ısıl işlem gören numunelerin sertlik değerlerinin 90 dakika ısıl işlem gören sertlik değerlerine göre B1, B2, B3, B4 numunelerinde daha yüksek olduğu görülmektedir. B5 ve B6 numunelerinde ise sertlik değerleri düşmektedir. Burada ısıl işlemlerin sonucunda sertlik değişiminin farklı olmasının B grubu numunelerin sinterleme sıcaklıklarının ve basınçlarının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. B4 ve B5 grubu numunelerde sonucun farklı çıkmasının nedeni ise bakır oranının yüksek olmasının ısıl işlem sıcaklığı üzerine etkisi olarak yorumlanabilir.

Aynı bileşime sahip A ve B numunelerinin sertlik değerleri karşılaştırıldığında daha yüksek sıcak presleme basıncı ve sinterleme sıcaklığına sahip B grubu numunelerin sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Çelik (2009), 'in yaptığı çalışmada da

numuneleri 3 farklı sinterleme sıcaklığında imal etmiş ve sinterleme sıcaklığının artışıyla numunelerin sertlik değerlerinin de arttığı görülmüştür. Aynı çalışmada sıcak presleme basıncının artmasıyla da numunelerin sertlik değerlerinin arttığını tespit etmişti.



Şekil 3.1. A grubu numunelerin ısıtılmış ve ısıtılmamış sertlik değerleri



Şekil 3.2. B Grubu numunelerin ısıtılmış ve ısıtılmamış sertlik değerleri

### 3.2. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Sinterleme yoluyla üretilmiş numunelere ilave ısıtım uygulamasının sıkıştırılabilirlik ve yoğunluğa etkisi noktasında fikir edinebilmek için yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Aynı zamanda numunelerdeki porozite miktarının belirlenebilmesi için her numunenin teorik yoğunluğu hesaplanmış ve ölçülen yoğunluk değerleriyle karşılaştırılmıştır.

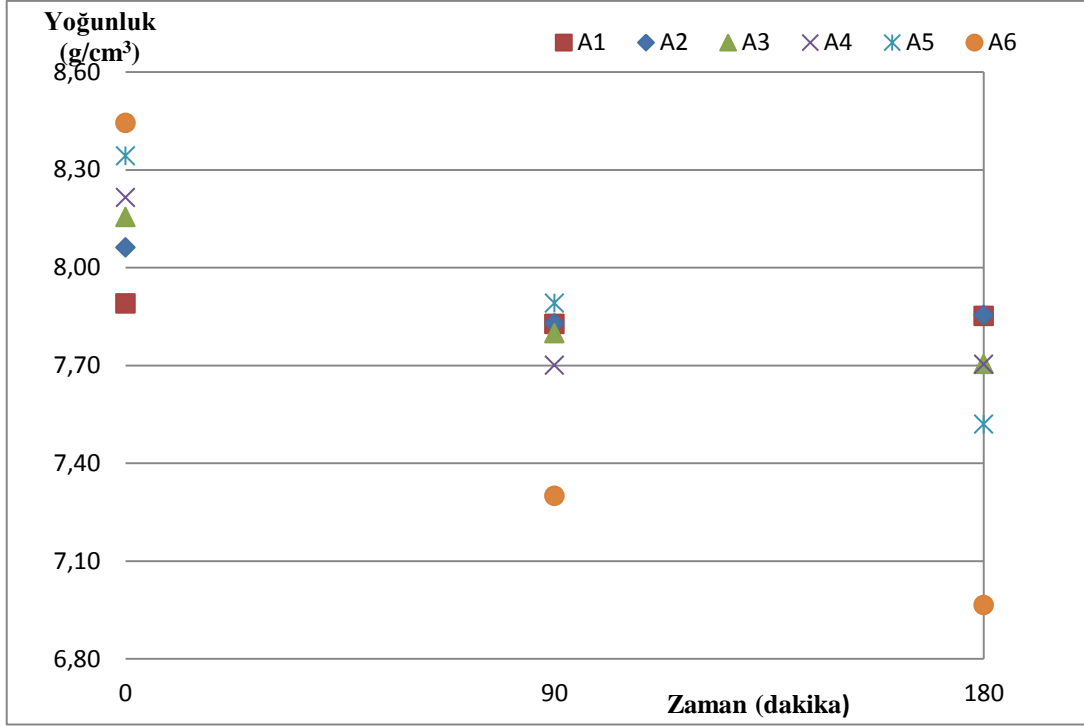
Şekil 3.3.' de A grubu numunelere 950 °C sıcaklıkta 90 dakika ve 180 dakika ısıtım uygulanması sonucu elde edilen numunelerin yoğunluk değerleri değişimi verilmiştir. Tablo 3.1.'de ısıtılmış ve ısıtılmamış tüm numunelerin yoğunluk değerleri verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Tüm numunelerin yoğunluk değerleri

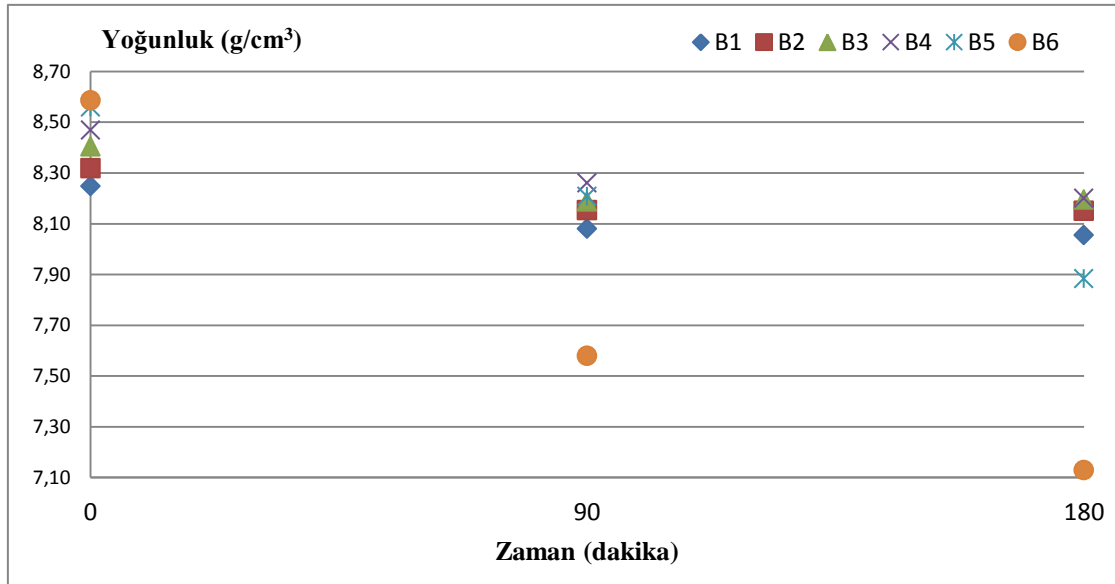
Seri No	Teorik Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )					
		A	B	C	D	E	F
1	8,36	7,88	8,24	7,82	8,07	7,85	8,05
2	8,43	8,06	8,31	7,82	8,15	7,85	8,15
3	8,50	8,15	8,40	7,79	8,18	7,70	8,19
4	8,57	8,21	8,46	7,70	8,26	7,70	8,20
5	8,63	8,34	8,55	7,89	8,20	7,51	7,88
6	8,70	8,44	8,58	7,29	7,57	6,96	7,12

**Tablo 2.2.** Tüm numunelerin bağıl yoğunluk ve porozite verileri

Seri No	A		B		C		D		E		F	
	Bağıl Yoğunluk (%)	Porozite (%)	Bağıl Yoğunluk (%)	Porozite (%)	Bağıl Yoğunluk (%)	Porozite (%)	Bağıl Yoğunluk (%)	Porozite (%)	Bağıl Yoğunluk (%)	Porozite (%)	Bağıl Yoğunluk (%)	Porozite (%)
1	94,3	5,7	98,59	1,41	93,54	6,46	96,58	3,42	93,85	6,15	96,27	3,73
2	95,5	4,5	98,63	1,37	92,82	7,18	96,66	3,34	93,13	6,87	96,64	3,36
3	95,92	4,08	98,84	1,16	91,72	8,28	96,3	3,7	90,61	9,39	96,38	3,62
4	95,85	4,15	98,82	1,18	89,85	10,1	96,38	3,62	89,9	10,1	95,68	4,32
5	96,57	3,43	99,08	0,92	91,35	8,65	95	5	87	13	91,25	8,75
6	96,98	3,02	98,62	1,38	83,76	16,2	87,04	12,96	80	20	81,88	18,12



Şekil 3.3. A grubu numunelerin 90 dakika ve 180 dakika ısıtılma tabii tutulmuş yoğunluk değeri değışimi grafiği



Şekil 3.4. B grubu numunelerin 90 dakika ve 180 dakika ısıtılma tabii tutulmuş yoğunluk değeri değışimi grafiği

A grubu numunelere uygulanan her iki ısıtılma sonucunda da yoğunluk değeri değeri ilki duruma göre düşüşü görülmüştür. A1, A2 ve A4 numunelerine yapılan her

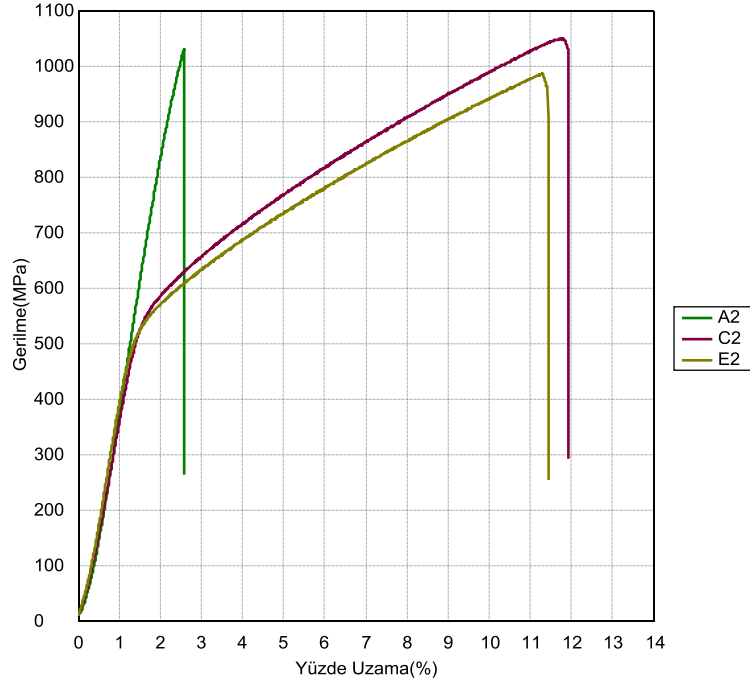
iki ısıtım işlem sonucunda da yoğunluk değerlerinin yaklaşık olarak aynı olduğu gör÷lmektedir. Bu numuneler için yapılan ısıtım işlemde bekletilme süresinin uzatılmasının yoğunluğu etkilemediği gözlemlenmiştir.

Yoğunluk sonuçlarında A grubu numunelerde bakır oranının artırılıp MX1480 oranın azaltılmasıyla yoğunluk değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.3.' de bu durum gör÷lebilmektedir. Aynı şekilde B grubu numunelerde de bakır oranının artırılması ve MX 1480 oranının azaltılmasıyla yoğunluk değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Wilbert D. Ve arkadaşlarının toz metalürjiyle üretilen bileşimlerde bakırın mekanik özelliklerine etkileri üzerine yaptıkları çalışmalarda da benzer şekilde bileşime %8 oranında bakır ilavesiyle başlangıçta 3.13 g/cm<sup>3</sup> olan bileşim yoğunluğu 3.5 g/cm<sup>3</sup>'e yükselmiştir.

B grubu numunelere uygulanan her iki ısıtım işlemin sonucunda da yoğunluk değerlerinin ilk duruma göre düştüğü gör÷lmüştür. B grubu numunelerde de D1, D2 ve D3 numunelerinin yoğunluk değerleriyle F1,F2,F3 numunelerinin yoğunluk değerleri hemen hemen aynı kaldığı yapılan ısıtım işlemin süresinin artırılmasının yoğunluk değerlerinde ciddi bir değişim yaratmadığı anlaşılmıştır.

### **3.3. Üç Noktalı Eğme Deneyi Sonuçları**

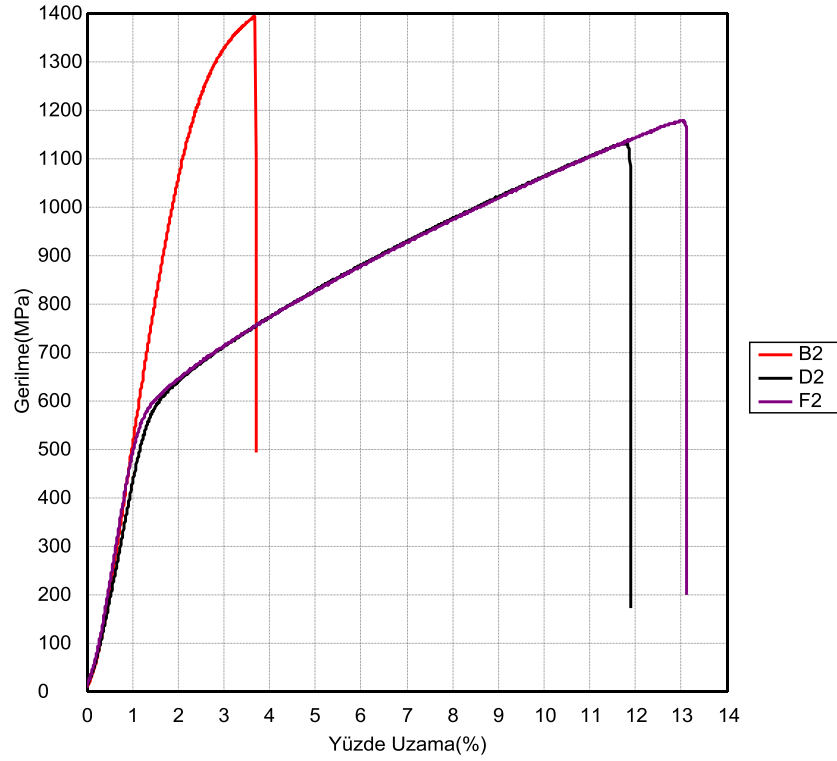
Numunelerin enine kırılma mukavemeti üç noktalı eğme deneyi ile ölç÷lmüştür. Çalışmada ASTM B 528-83a standardına göre imal edilen özel aparat kullanılarak ölç÷mler yapılmıştır.



**Şekil 3.5.** A2-C2-E2 numunelerinin 3 nokta eğme deneyi sonuçları grafiği

Yukarıda verilen şekil 3.5.'de A2 numunesi ve bu numuneye uygulanan ısı işlemleri sonucu elde edilen C2 ve E2 numunelerinin 3 noktalı eğme deneyi sonuçları aynı grafik üzerinde karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. A2 numunesinin maksimum gerilme değeri 1029,13 MPa iken C2 için bu değer 1048,47 MPa olarak ölçülmüştür. Burada A2 numunesiyle C2 numunesinin maksimum gerilme değerleri arasında çok büyük bir fark yoktur. Ancak yüzde uzama miktarlarında aynı durum söz konusu değildir. A2 uzaması % 2,57 iken C2 uzaması %11,98 olmuştur. Buradan A2 numunesine uygulanan ısı işleminin eğilme mukavemetini çok az etkilediği ancak sünekliğini artırdığı görülmektedir. Bu durum uygulanan ısı işleminin tane büyümesi yoluyla ara yüzey enerjilerini zayıflattığından kaynaklanmıştır. Numuneye 950 °C' de 180 dakika uygulanan ısı işleminin sonucunda elde edilen E2 numunesi için durum daha farklı gelişmiştir. Burada E2 numunesinin maksimum gerilme değeri 986,051 MPa olarak ölçülmüş olup uygulanan ısı işlemi sonucu bu değer az miktarda düştüğü görülmüştür. Uygulanan ısı işleminin süresinin artırılması sonucu tane büyümesi artmış matris alaşımı içindeki bakır alaşımına içine daha derin nüfuz ederek gerilme mukavemet değerini düşürmüştür. Yüzde uzama miktarında ise ısı işlem süresinin artırılmasıyla büyük bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

Aşağıda verilen şekil 3.6. ise B2 grubu numune ve bu numuneye uygulanan ısıt işlemler sonucu elde edilen D2 ve F2 numunelerinin eğilme deneyi sonuçlarını tek grafik üzerinde göstermektedir.



Şekil 3.6. B2-D2-F2 numunelerinin 3 noktali Eğilme Deneyi Sonuçları

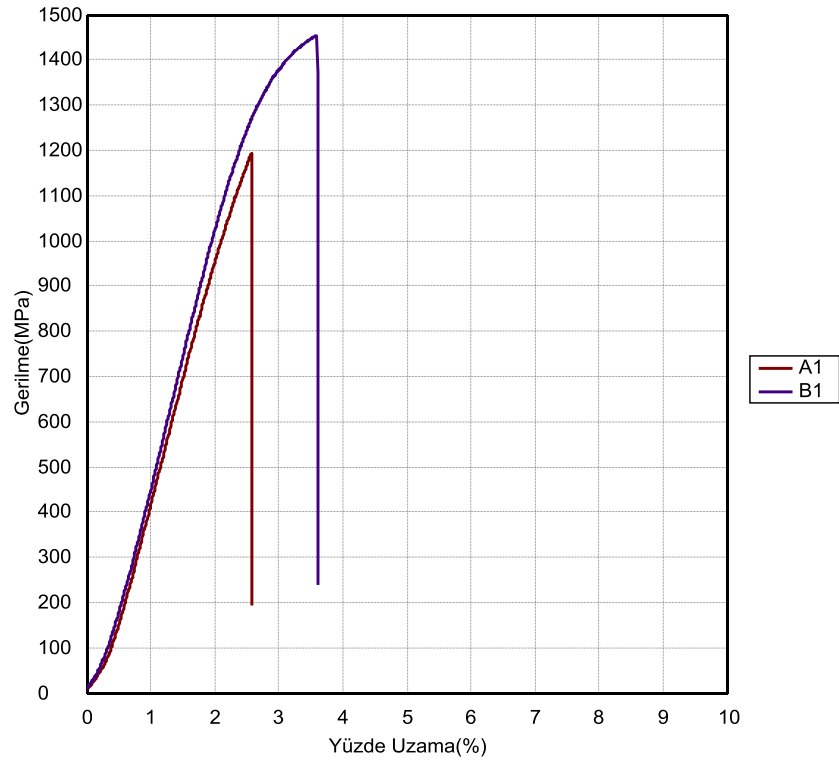
B2 numunesi için eğilme mukavemeti 1392,99 MPa, Yüzde uzama ise %3.685 olarak ölçülmüştür. D2 numunesinin eğilme mukavemeti 1130 MPa olarak ölçülmüştür ve B2'ye göre eğilme mukavemeti azalmıştır. D2 numunesinin yüzde uzama miktarı %11,767 olarak ölçülmüş olup B2'ye göre yüzde uzaması %8,082 artmıştır. Yapılan ısıt işlemin eğilme mukavemetini düşürdüğü ancak sünekliği artırdığı anlaşılmıştır.

F2 numunesi için eğilme mukavemeti değeri 1177,78 MPa olarak hesaplanmıştır. Ve bu değer B2'ye göre düşük ancak D2 numunesinin eğilme mukavemeti değerinden yüksektir. F2 yüzde uzama miktarı %13,12 olarak ölçülmüş olup B2 ile arasındaki uzama fark miktarı % 9,289 olarak hesaplanmıştır. Buradan yapılan ısıt işlemin D2 numunesine yapılan ısıt işleminden daha mukavemetli ve daha sünek bir numune elde edilebildiği görülmektedir. Burada 180 dakika sürede yapılan ısıt işlem sonucu tane büyümesi yoluyla matris yapısında porozitenin azaldığı düşünülmektedir. Mikro yapı görüntülerinde açıkça görüldüğü üzere dağınık halde çok sayıda bulunan poroziteler ısıt işlem sonrası sayılarının



azaldığı ancak belirli bölgelerde daha büyük çaplarda ortaya çıktığı görülmektedir. D2 ve F2 numunelerinin sertlik değerleri karşılaştırıldığında da F2 numunesinin D2 numunesine göre daha sert olduğu görülmektedir ve bu durumu desteklemektedir.

Aşağıda verilen şekil 3.7.'de ise aynı bileşime sahip ancak farklı sinterleme basıncı ve sıcaklığı ile imal edilmiş A1 (20 MPa) ve (30 MPa) B1 numunelerinin 3 noktalı eğilme deneyinden elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. A1 numunesi 1192,91 MPa gerilme değerine sahip iken; aynı alaşıma sahip ancak daha yüksek sinterleme sıcaklığı ve basıncı ile imal edilen B1 numunesinin gerilme değeri 1454 Mpa olarak ölçülmüştür. A1 numunesinin yüzde uzama değeri %2,57 iken B1 numunesinin %3,586 olarak ölçülmüştür.

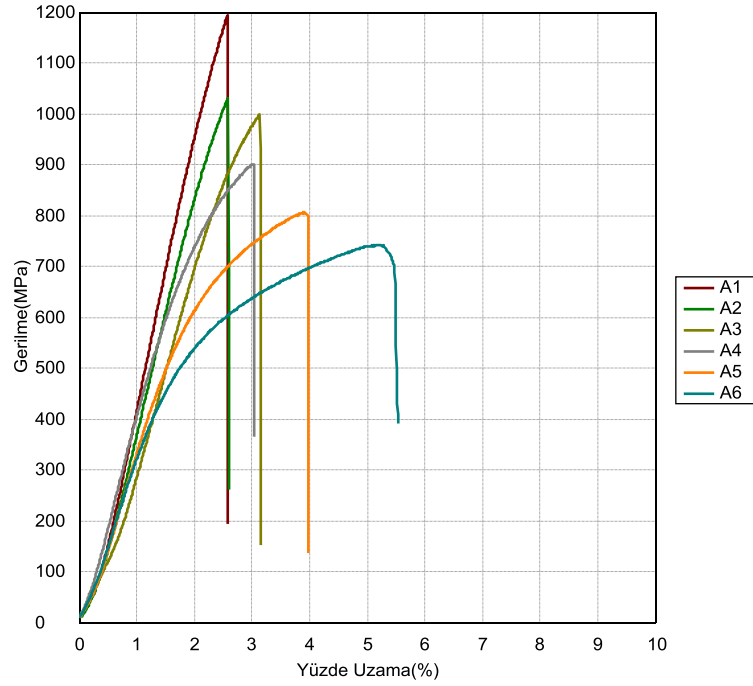


Şekil 3.7. A1 ve B1 numunelerinin 3 nokta eğme deneyi sonuçları

Grafikten anlaşılacağı üzere aynı bileşime sahip numunenin farklı sıcak pres sinterleme sıcaklık ve basınçları numunenin eğilme dayanımını yüzde uzama miktarını etkilemektedir. Burada  $300 \text{ kg/cm}^2$  basınçta ve  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta imal edilen B grubu numunenin eğilme dayanımı A grubuna göre oldukça yüksektir. Buradan sıcak pres sinterleme basıncı ve sıcaklığının artmasının sinterleme etkisini artırarak alaşımın mekanik

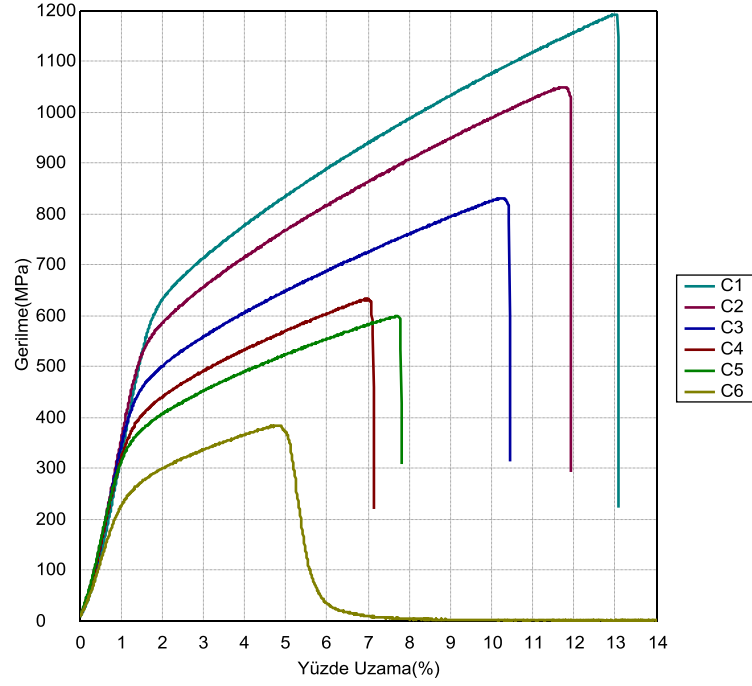
özelliklerini geliştirdiği anlaşılmaktadır. Taneler arası bağlar daha güçlüdür, poroziteler daha az ve numune yoğunlukları daha fazladır.

Aşağıda şekil 3.8.'de A grubu numunelerin deney sonuçları, Şekil 3.9.' da C grubu numunelerin deney sonuçları, Şekil 3.10.'da ise E grubu numunelerin deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.8. A Grubu numunelerin 3 noktalı eğme deneyi sonuçları

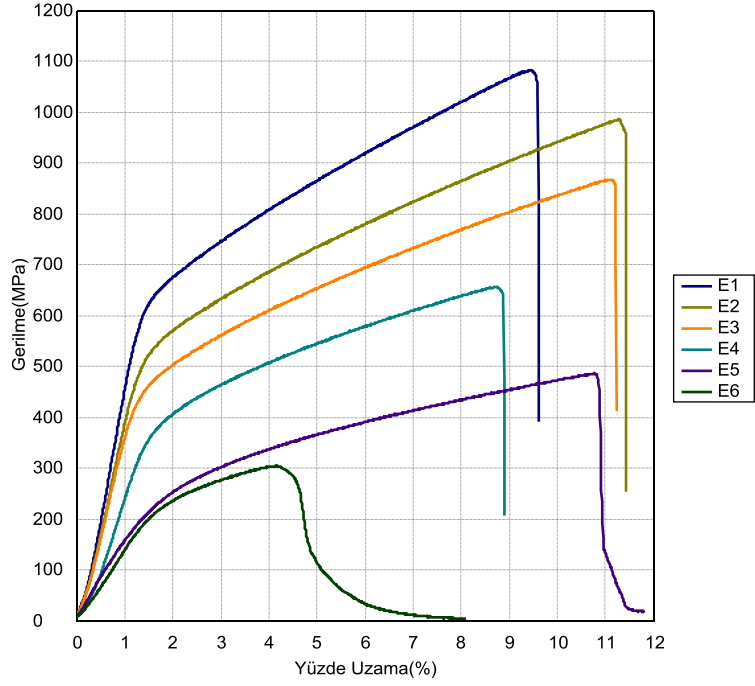
A grubu numunelerin deney sonuçlarında eğilme mukavemeti değerinin bakır oranının artmasıyla düştüğü görülmektedir. Eğilme mukavemet değerlerindeki düşüş seri numarası yükseldikçe devam etmiştir. Aynı zamanda bileşimdeki Cu oranının artmasıyla sünekliliğin arttığı da görülmektedir. Ancak bu artış özellikle A5 ve A6 numunelerinde belirgindir.



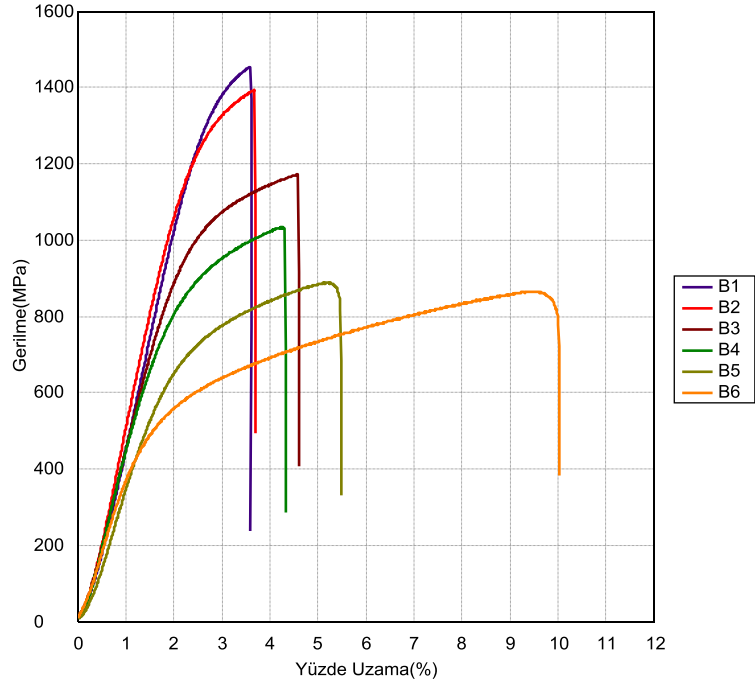
Şekil 3.9. C Grubu numunelerin üç noktali eğme deneyi sonuçları

C grubu numunelerin 3 noktali eğme deney sonuçları şekil 3.9'da verilmiştir. C grubu numunelerde bakır oranı arttıkça eğilme mukavemeti değerleri azalmaktadır. Burada A grubundan farklı olarak numunelerin seri numarası arttıkça yani Cu oranı artıp MX 1480 oranı azaldıkça, süneklik değerleri azalmıştır. Numunelere uygulanan ısı işlemi aynı seri elemanları için sünekliği artırdığı ancak grubun kendi içinde sünekliği azalttığı görülmüştür. Burada ısı işlemi esnasında bakırın yapı içerisinde partiküller boyutta daha iyi yayılım göstererek MX1480 tozlarıyla taneler arası bağların artmış olmasının bu sonuca neden olduğu düşünülmektedir.

E grubu numunelerin 3 noktali eğme deney sonuçları ise şekil 3.10.'da verilmiştir. Bu grup numunelerinde de Cu oranı arttıkça eğilme mukavemeti değerlerinin azaldığı görülmektedir. Süneklik değerlerinde ki değişim ise C grubundan farklıdır. Uygulanan ısı işlemi sonucu E1,E2,E3 numunelerinin sünekliklerinin arttığı, E4 numunesinde ilk 3 seriye göre bir azalma olduğu, E5 numunesinde tekrar sünekliğin arttığı gözlemlenmiştir. E6 numunesinde ise yüzde uzama oldukça azalmış ve serinin en düşük değerini almıştır.



Şekil 3.10. E grubu numunelerin 3 noktali eğme deneyi sonuçları

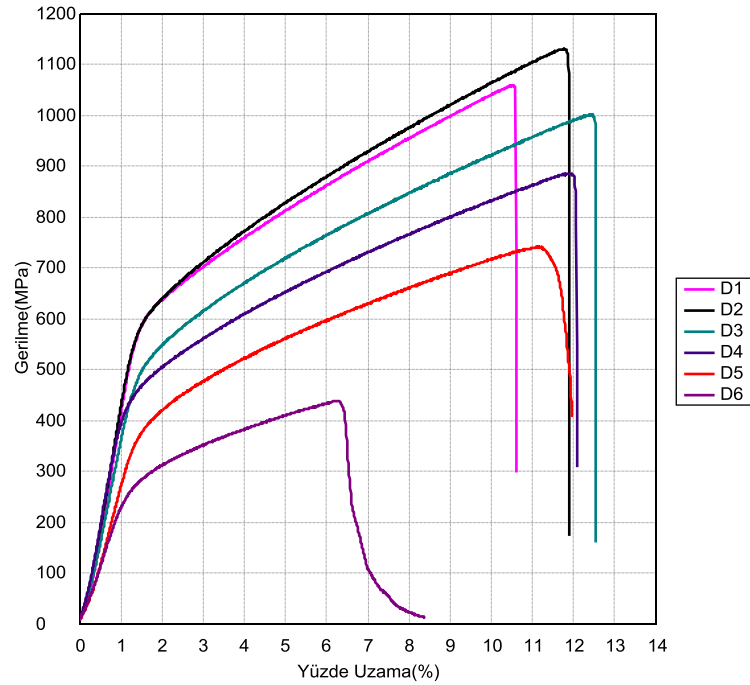


Şekil 3.11. B grubu numunelerin deney sonuçları

Şekil 3.11.' de B grubu numunelerin deney sonuçları verilmiştir. Bu numune grubunda da alaşımdaki Cu oranının artmasıyla eğilme mukavemetinin azaldığı

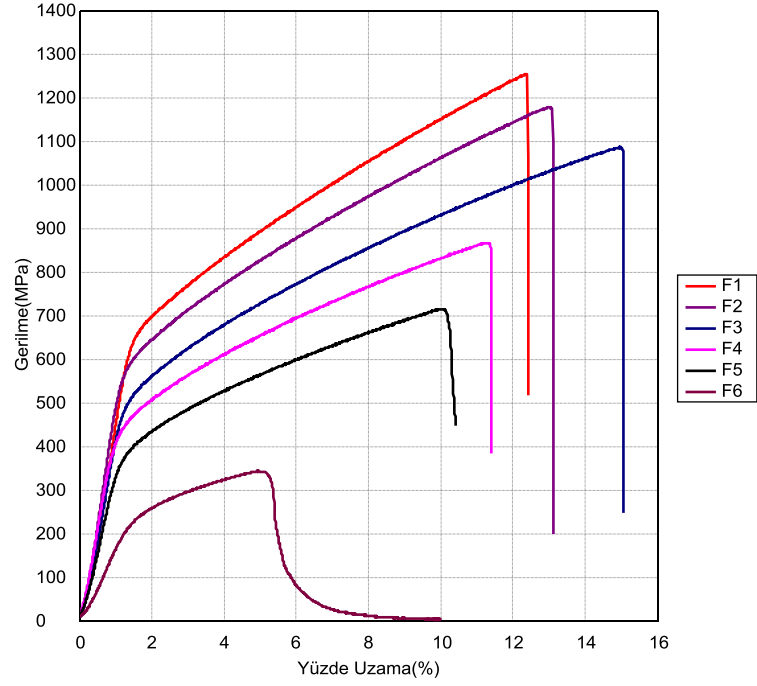
görülmüştür. Eğilme mukavemeti değeri B1 için 1454 MPa iken bu değer B2 için 1392 MPa, B3 için 1172,33 MPa, B4 için 1033,38 MPa, B5 için 888,29 MPa ve B6 için ise 865,614 MPa olarak ölçülmüştür. Numunelerin sünekliğinin ise alaşımdaki Cu oranının artmasıyla beraber arttığı görülmüştür.

Şekil 3.12.' de D grubu numunelerin deney sonuçları verilmiştir. Bu numune grubu B grubu numunelere 950 °C'de 90 dakika ısıl işlem uygulanarak elde edilmiştir. D grubu numunelerde alaşımda ki Cu oranının artmasıyla birlikte eğilme mukavemeti değerleri D2 numunesi haricinde azaldığı; bununla beraber süneklik değerlerinin ise D6 numunesine kadar artış gösterdiği görülmüştür. D6 numunesinde süneklik değeri azalmıştır.



Şekil 3.12. D grubu numunelerin deney sonuçları

Şekil 3.13.' de ise F grubu numunelerinin deney sonuçları verilmiştir. Bu grupta Cu oranının artırılıp MX1480 oranının azaltılmasıyla, eğilme mukavemeti değerlerinin azaldığı görülmektedir. Sünekliğin ise F1, F2, F3 numunelerinde arttığı daha sonra F4, F5, F6 numunelerinde ise azaldığı görülmektedir.

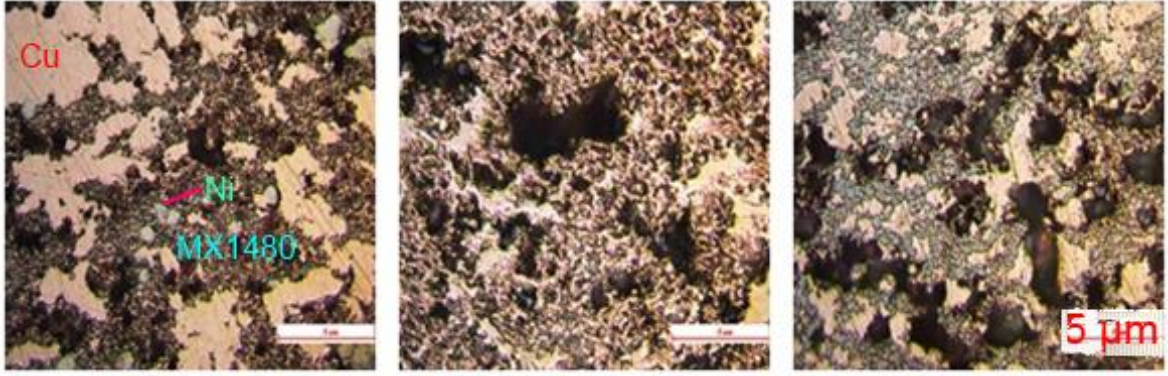


Şekil 3.13. F grubu numunelerinin deney sonuçları

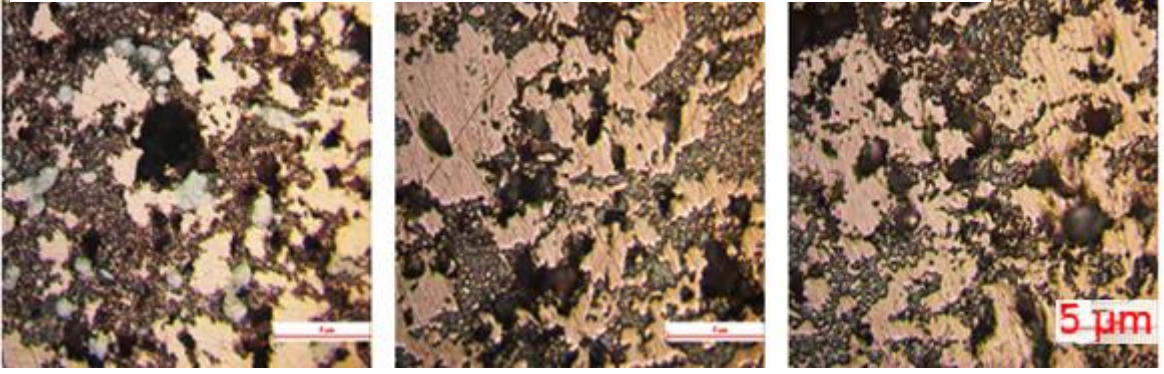
### 3.4. Optik Mikroskop İncelemeleri

Aşağıda verilen şekillerde önce A grubu numunenin ve ona 950 °C sıcaklıkta 90 dakika ısıtılma işlemi uygulanmasıyla elde edilmiş olan C grubunun ve 180 dakika ısıtılma işlemi uygulanmasıyla elde edilmiş olan E grubu numunelerinin 2-4-6 serilerinin mikro yapısını incelemek amaçlı 100X büyütmede alınmış optik mikroskop görüntüleridir. Görüntülerde tüm ölçekler 5 µm'dir.

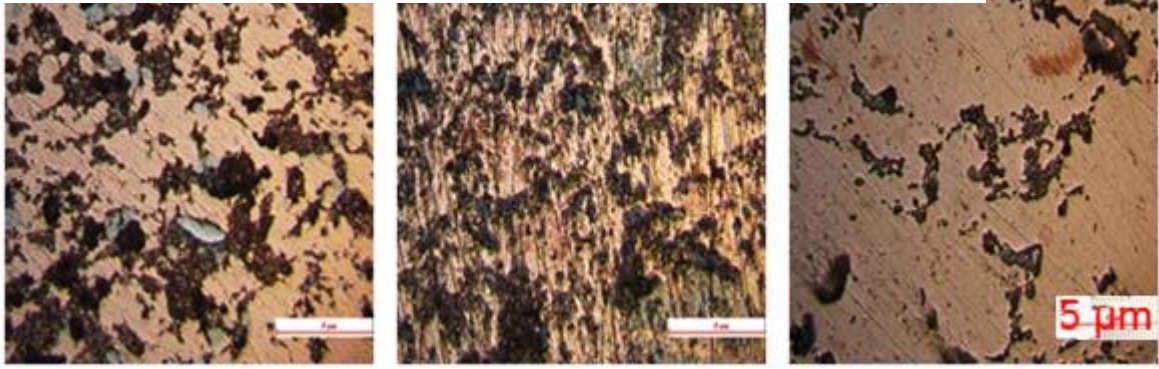
Görüntüler incelendiğinde şekil 3.15.'de görülen A4 numunesinin mikro yapısında bakır tanelerinin yapıda topaklar halinde bulunduğu MX1480 tanelerinin yaygın ancak bakır ve nikeli kendi içinde çözemediği görülmektedir. C4 numunesinde ise yapılan ısıtılma işleminin sonucunda bakırın tanelerinin aralarındaki bağ noktalarını geliştirerek yapıya daha yaygın hale geldiği ve MX 1480 içinde çözüldüğü görülmektedir. Benzer şekilde nikel elementi de yapılan ısıtılma işleminin sonucunda MX 1480 içinde çözünerek daha homojen bir dağılıma sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca yapılan ısıtılma işleminin sonucunda mikro yapıda yeni fazların oluştuğu da açıkça görülebilmektedir. E4 numunesinde ise yapılan ısıtılma işlemi tane irileşmesinin devam ederek MX1480 tanelerinin Cu ve Ni tanelerini kendi içinde çözerek yapıya daha homojen olarak dağıldıkları görülmektedir.



Şekil 3.14. Sırasıyla A2-C2-E2 numunelerinin 100X optik mikroskop görüntüleri

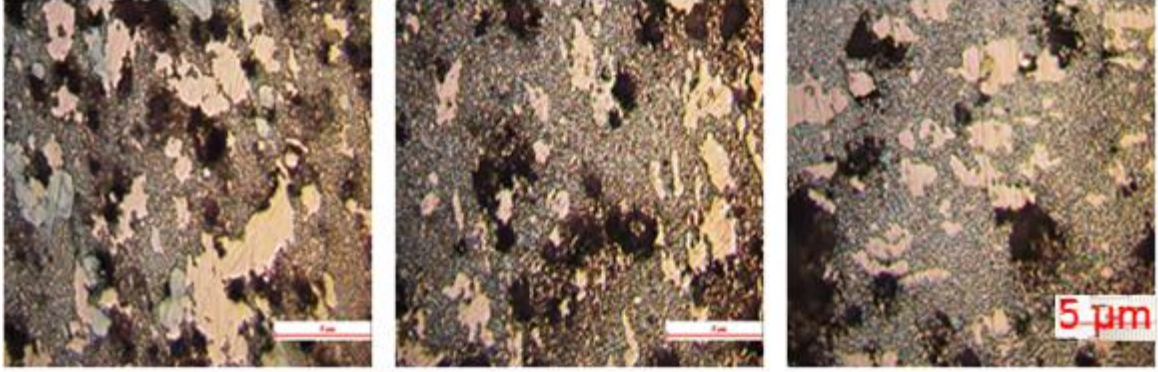


Şekil 3.15. Sırasıyla A4-C4-E4 numunelerinin 100X optik mikroskop görüntüleri

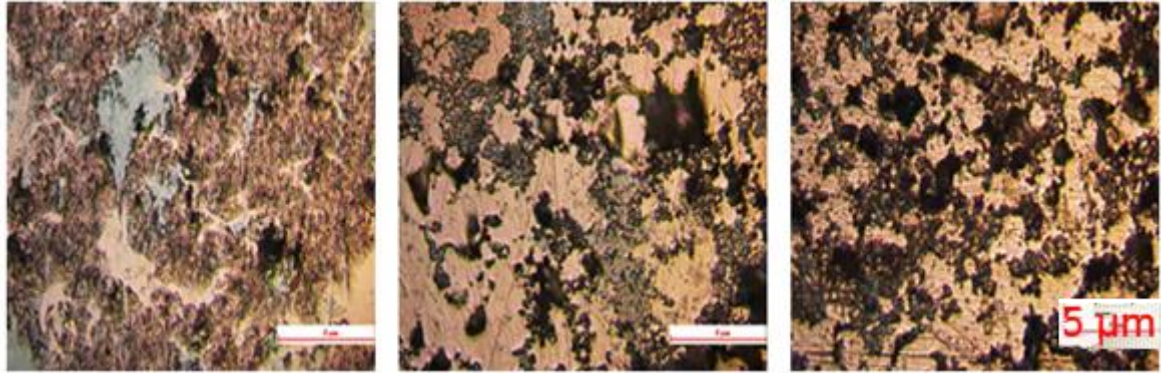


Şekil 3.16. Sırasıyla A6-C6-E6 numunelerinin 100X optik mikroskop görüntüleri

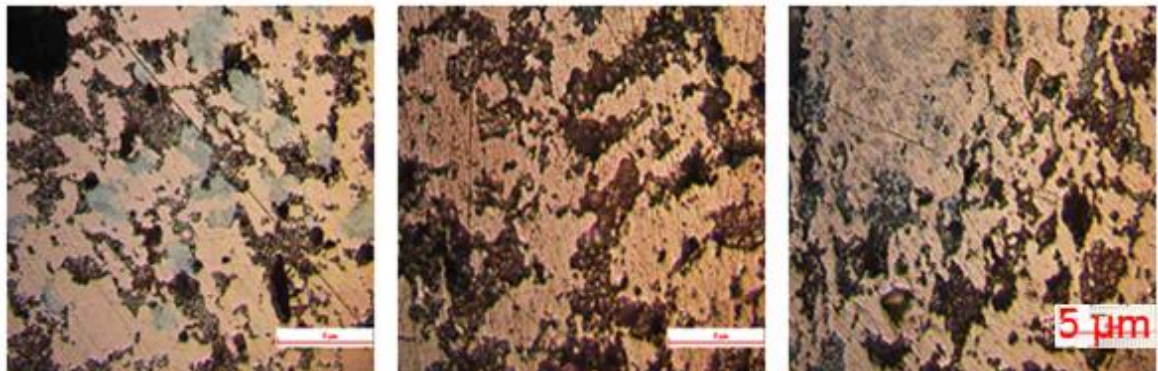
Aşağıda verilen şekil 3.17. B grubu numunenin, şekil 3.18. D grubunun ve şekil 3.19. 180 dakika ısıtılma işlemi uygulanmış olan F grubu numunelerinin 2-4-6 serilerinin mikro yapısını incelemek amaçlı 100X boyutunda alınmış elektron mikroskobu görüntüleridir. Görüntülerin tümünde ölçek 5µm'dir.



Şekil 3.17. B2-D2-F2 Sırasıyla numunelerinin 100X optik mikroskop görüntüleri



Şekil 3.18. Sırasıyla B4-D4-F4 numunelerinin 100X optik mikroskop görüntüleri



Şekil 3.19. Sırasıyla B6-D6-F6 numunelerinin 100X optik mikroskop görüntüleri



Görüntüler incelendiğinde B2 numunesinde bakır, MX1480 ve nikelin birbirinden daha ayırık ve kendi içinde toplu olarak yerleştiği görülmektedir. D2 numunesinde ise bakırın MX1480 içinde çözünerek yapıya daha homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Benzer şekilde nikel taneleri de MX içinde çözüldüğü görülebilmektedir. F2 numunesinde ise yapılan ısıtma işlemi mikro yapıda yeni fazlar oluştuğu, tane irileşmesiyle gözeneklilik sayısının azaldığı ancak daha büyük çaplarda gözeneklerin olduğu görülmektedir.

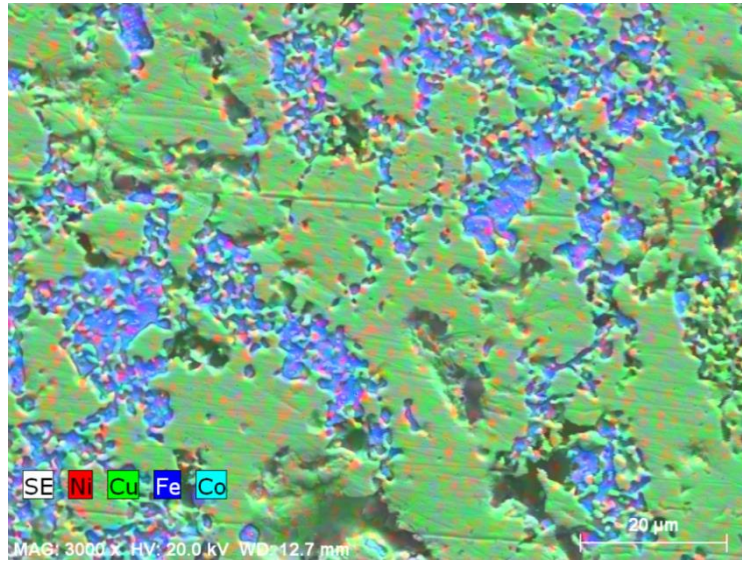
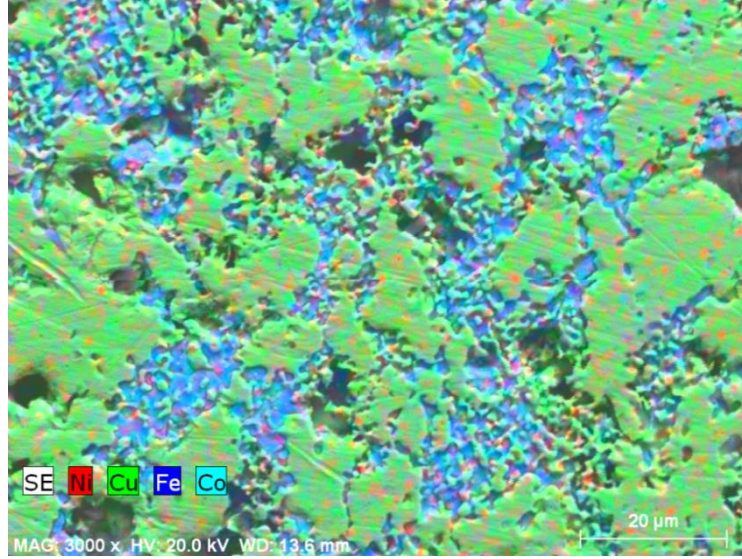
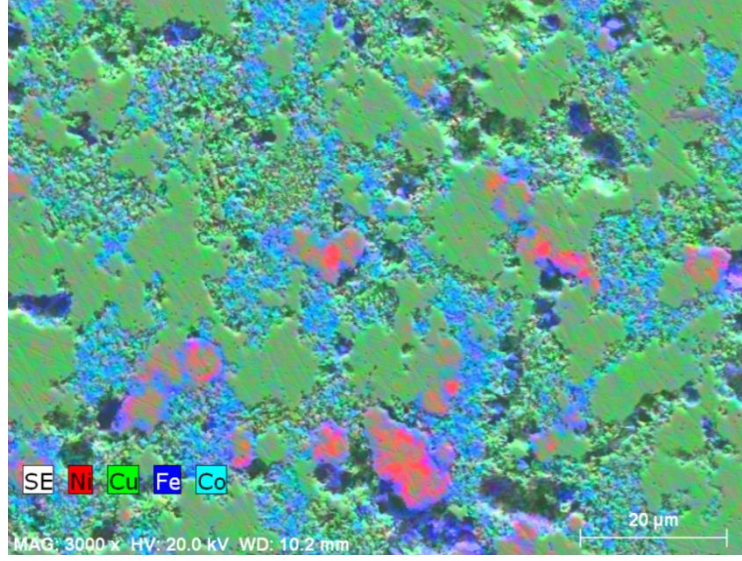
### **3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri**

Aşağıda verilen şekil 3.20.'de sırasıyla yukarıdan aşağıya doğru A4-C4-E4 numunelerinin 3000X büyütmede alınmış renkli SEM görüntüleri yer almaktadır. Burada ısıtma işlemi yapılmamış numune yani A4 numunesine bakıldığında Ni taneleri belirli bölgelerde bulunmakta tüm yapıda görülmemektedir. Uygulanan her iki ısıtma işlemi sonucunda elde edilen numunelerde ise Ni partiküllerinin yapıya daha küçük partiküllere ayrılarak ve daha homojen bir yapıda yayıldığı görülmüştür. Aynı durum görece daha zayıf partiküller halinde olan Fe içinde geçerlidir. Fe partikülleri de A4 numunesinde belirli birkaç noktada yoğunlaşmışken uygulanan ısıtma işlemleri sonucunda yapıya daha partiküller ve daha homojen olarak yayılmışlardır.

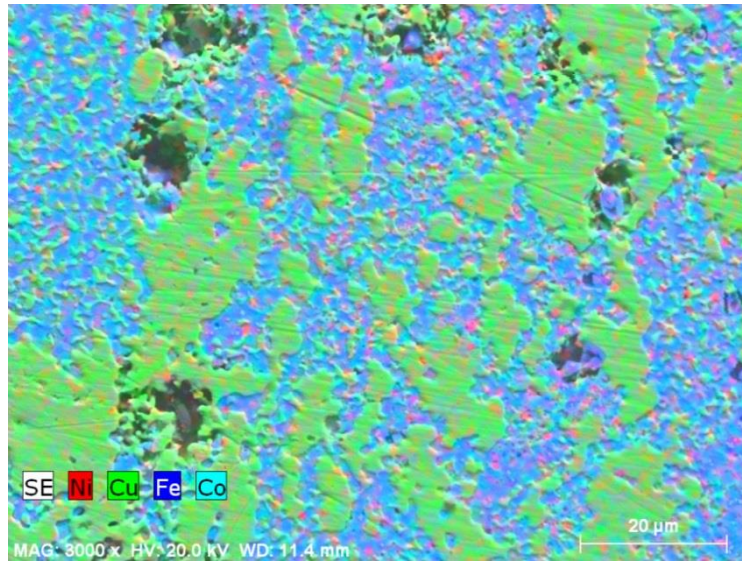
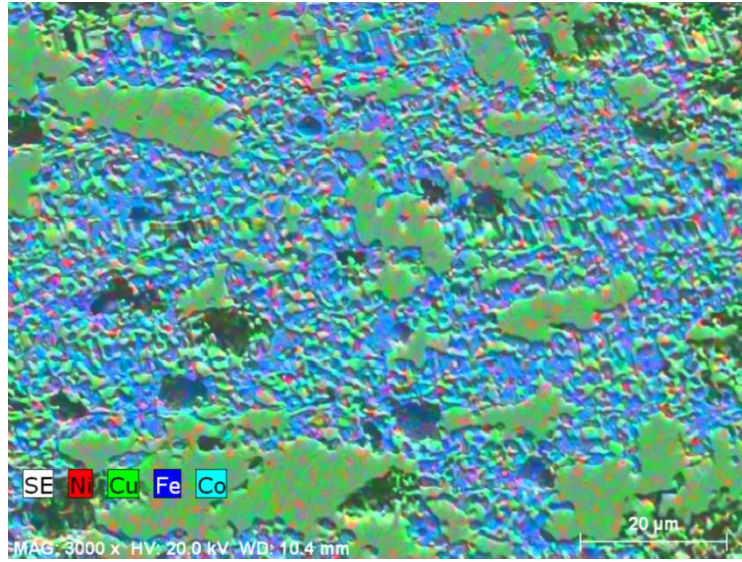
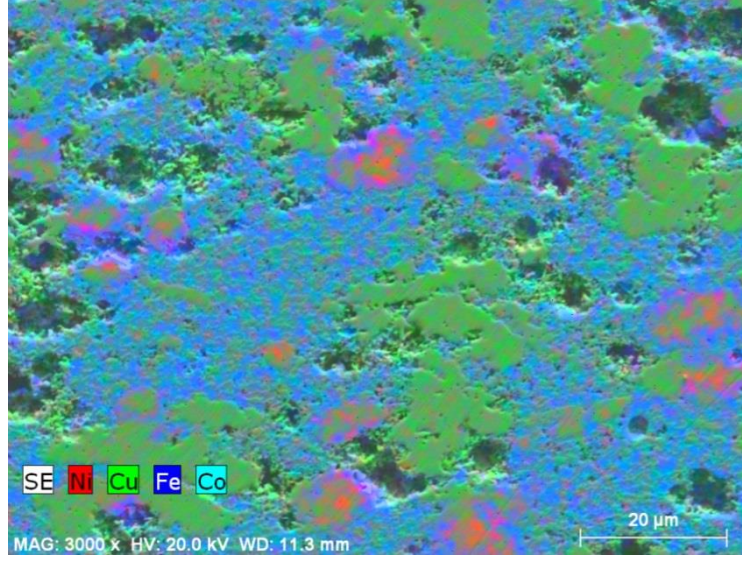
Co, Fe ve Ni elementleri A4 numunesinde birbirlerinden ayrı kendi içinde toplu görülürlerken, 90 dakika 950 °C uygulanan birinci ısıtma işlemi sonucunda bu üç numune birbirleriyle karışmışlardır. Bu durum ikinci ısıtma işlemi daha homojen bir yapıda gözlemlenmiştir.

Uygulanan her iki ısıtma işlemi sonucunda da belirgin olarak göze çarpan bir husus bakır taneciklerinin tane irileşmesi yoluyla taneler arası bağlarını geliştirerek yapıya daha yaygın olarak nüfuz etmişlerdir. Uygulanan ısıtma işlemleri sonucunda özellikle Cu-Ni fazları oluştuğu yani bakırın Nikeli bünyesinde çözdüğü gözlemlenebilmektedir.

SEM görüntüleri porozite açısından incelendiğinde ise; uygulanan birinci ısıtma işlemi sonucu ilk durumda yapıya daha çok yayılmış olan poroziteler tane irileşmesi yoluyla azalmış ancak belirli bölgelerde daha büyük çaplarda ortaya çıkmıştır. 180 dakika uygulanan ısıtma işlemi sonucunda da buna benzer sonuçlar elde edilmiş ancak porozite yoğunluğunun (porozite sayısının) C4 numunesine göre daha az olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.20. Yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla A4-C4-E4 numunelerinin SEM görüntüleri



Şekil 3.21. Yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla B2-D2-F2 numunelerinin SEM görüntüleri

Yukarıda verilen şekil 3.21.'de ise sırasıyla B2-D2-F2 numunelerinin SEM görüntüleri görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde;

Isıl işlemsiz numunede Ni elementinin Co ve Fe içerisinde kısmen çözüldüğü, daha çok belirli bölgelerde toplu biçimde kaldığı görülmektedir. B2 numunesinde toplu biçimde kalan Ni taneleri D numunesinde bakırın da içerisinde çözünerek yapıya daha homojen olarak dağılmışlardır. Aynı şekilde F numunesinde de Ni taneleri yapıya nerdeyse tamamen homojen bir dağılım göstermiştir.

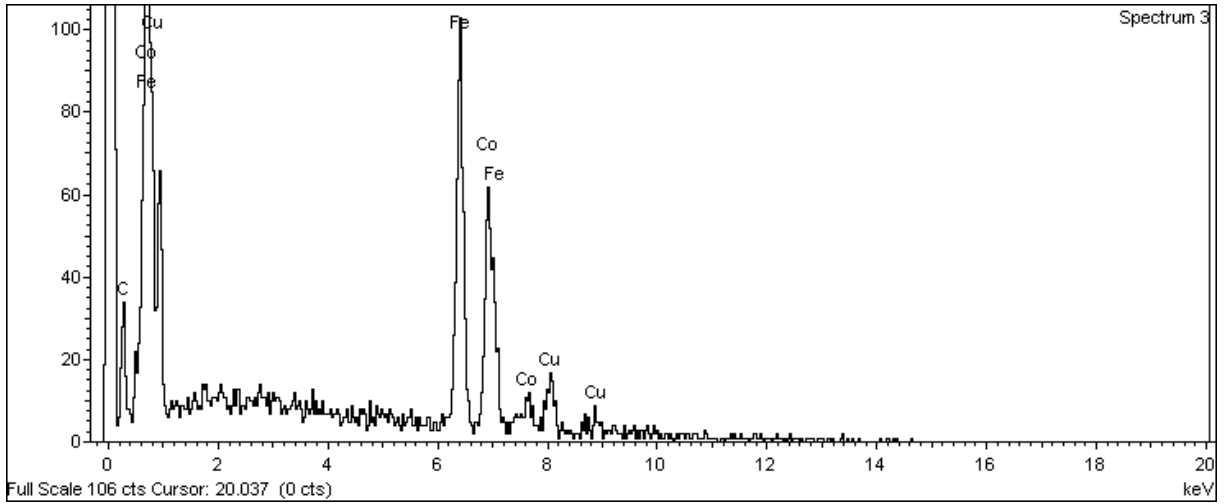
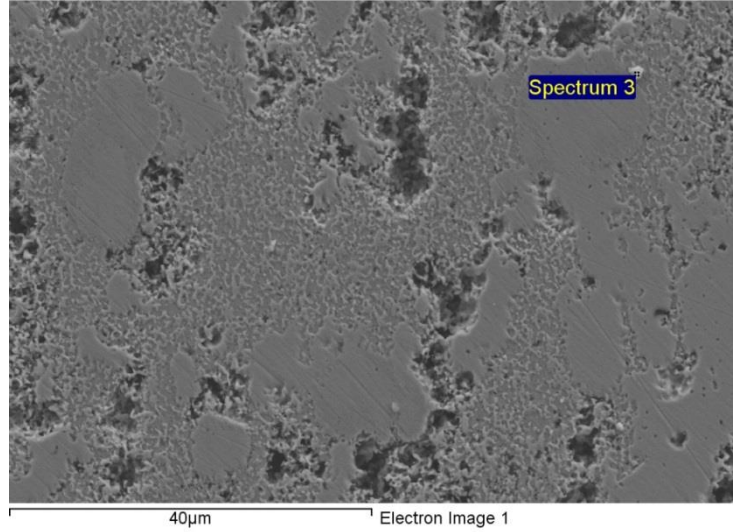
Görüntüler bakır elementi açısından incelendiğinde D numunesinde bakırın taneler arası bağların uygulanan ısıl işlemin sonucunda gelişerek, tane irileşmesi meydana geldiği açıkça görülmektedir. Bakır tane irileşmesi sırasında daha çok demirle fazlar oluşturmuştur. D4 numunesinin XRD sonuçlarında en sık rastlanan fazın  $FeCu_4$  fazı olması bu durumu desteklemektedir. Uygulanan ikinci ısıl işlem sonrası bakır tanelerinin; taneler arası bağları daha da gelişerek poroziteleri azaltmış ancak belirli bölgelerde daha büyük poroziteler meydana gelmiştir. Bu durum tane büyümesi bölümünde anlatılan porozite büyümesi durumunun ısıl işlem sonrası belirli porozitelerde meydana geldiğini gösterdiği düşünülebilir.

B numunesinde MX1480 içerisinde nikeli kısmen çözmüş, bakır ise daha ayrı ve kendi içinde toplu olarak durmaktadır. Görüntülerde görünen yeşil noktalar ise MX 1480 tozunun kendi içerisindeki bakır olduğu düşünülmektedir. Yapılan 950 °C'de 90 dakika ısıl işlem uygulaması sonrası elde edilen D grubu numunede ise hem nikel hem de bakırın MX1480 içerisinde çözüldüğü görülmektedir. MX 1480 taneler arası bağları geliştirirken yeni fazlar oluştuğu düşünülmektedir. Oluşan fazlar en çok demir elementi ile bakır arasında olup, demirle nikel ve kobalt arasında da fazlar oluştuğu düşünülmektedir. F numunesinde ise bakır taneler arası bağları daha da geliştirerek tane irileşmesi yoluyla yapıya daha çok yayılmıştır. Ayrıca MX1480 içindeki kobalt taneleri de tane büyümesi yoluyla yapıya daha homojen ve daha yoğun olarak yayılmıştır. D numunesinde MX1480 bölgelerinde demir taneleri yoğunluklu olarak göze çarparken F numunesinde kobalt taneleri daha yoğun olarak görülmektedir. Nikel elementi ise F numunesinde daha da homojen bir yapıya kavuşmuştur.

Görüntüler porozite açısından incelendiğinde ise D grubu numunelerde porozite sayısı B grubuna nispeten azalmıştır. F grubunda ise her iki numuneye kıyasla porozite sayısı oldukça azalmış ancak porozite çapları belirgin biçimde artmıştır. Burada sıcak pres sinterleme esnasında yapı içerisinde hapsolmuş olan gazların oluşturduğu porozitenin ısıl

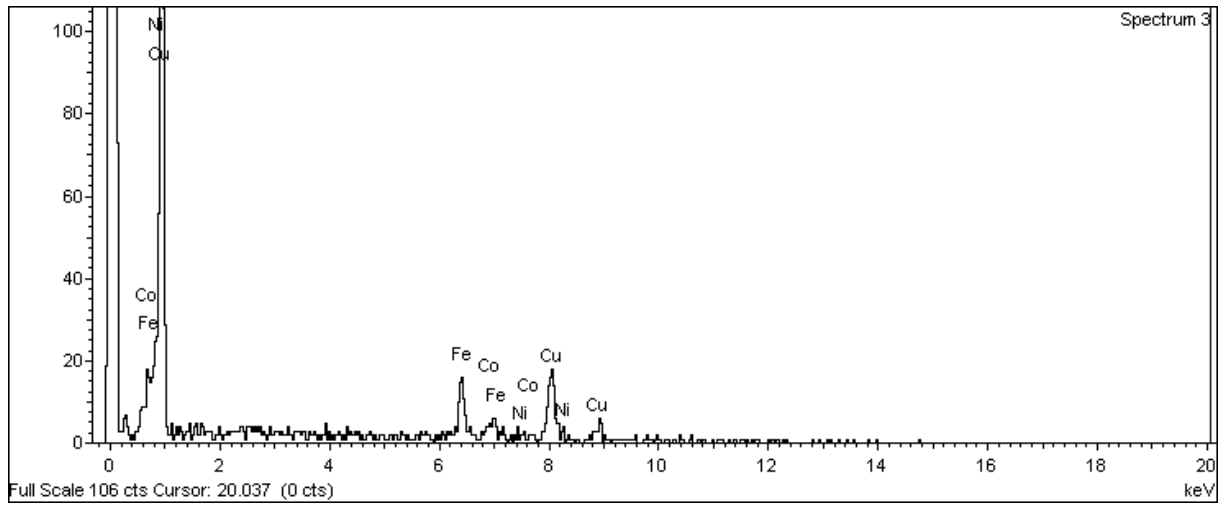
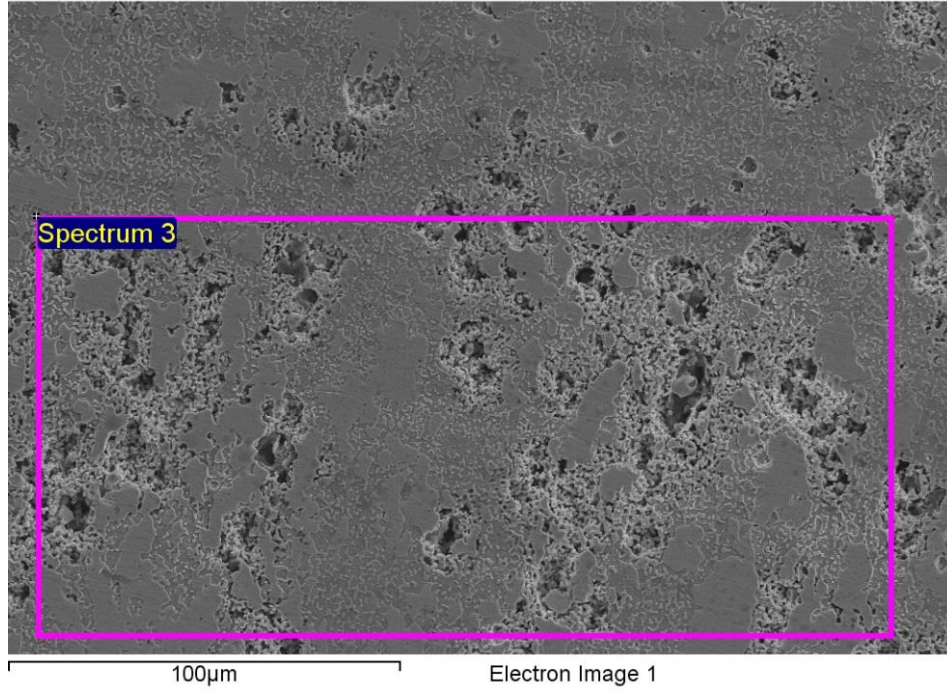
işlemler esnasında yapıyı terk etmeyerek porozite büyümesi yoluyla çaplarının arttığı düşünülmektedir.

Numunelerin mikro yapısında meydana gelen değişimin daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıda önce B2 numunesinden bir alandan alınan EDX analizi arkasından F2 numunesinde bir alandan alınan EDX analizleri verilmiştir.



Element	Weight%	Atomic%
C K	18.41	52.33
Fe K	36.68	22.43
Co K	26.02	15.08
Cu L	18.90	10.16
Totals	100.00	

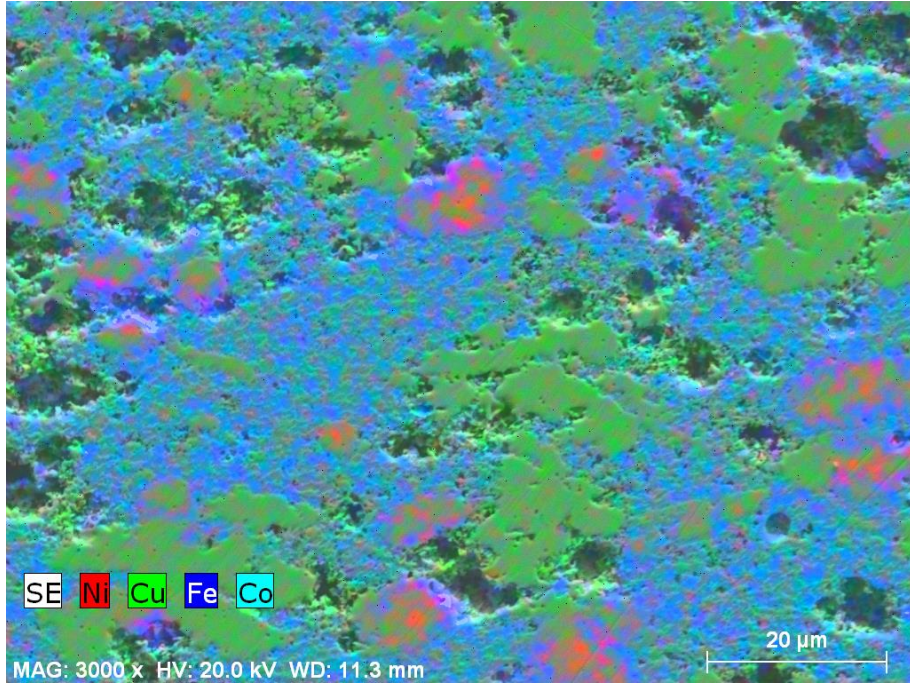
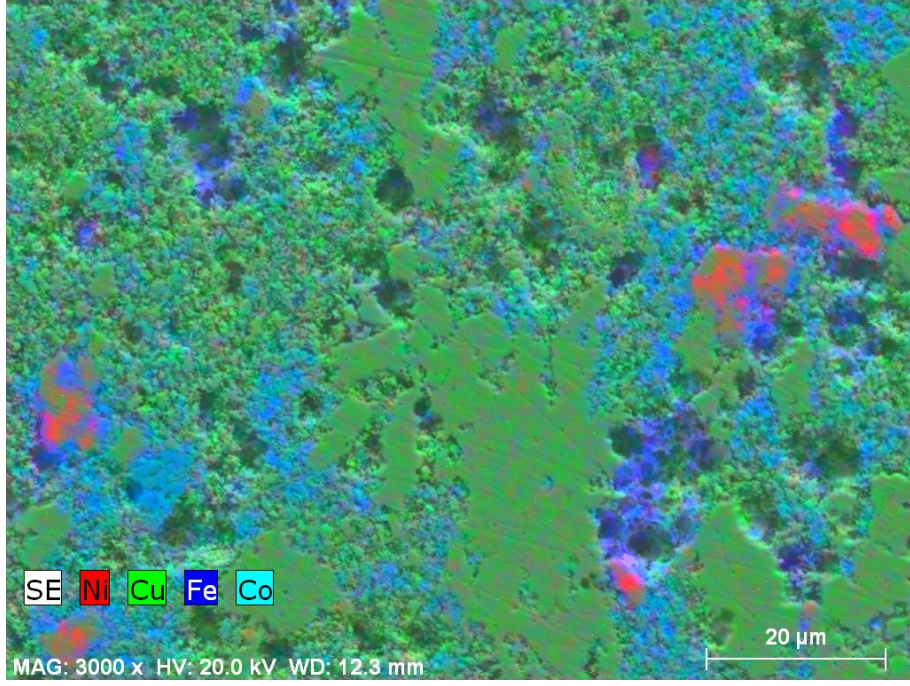
Şekil 3.22. B2 Numunesinin EDX analizi sonuçları



Element	Weight%	Atomic%
Fe K	15.07	16.68
Co K	5.49	5.76
Ni K	3.53	3.71
Cu L	75.90	73.84
Totals	100.00	

Şekil 3.23. F2 numunesinin EDX sonuçları

B2 ve F2 numunelerinin EDX sonuçları incelendiğinde F2 numunesinde bileşim değerlerine yakın yüzdeler görülmektedir. B2 numunesinde ise durum böyle değildir.



Şekil 3.24. A2 ve B2 numunelerinin 3000X SEM görüntüleri

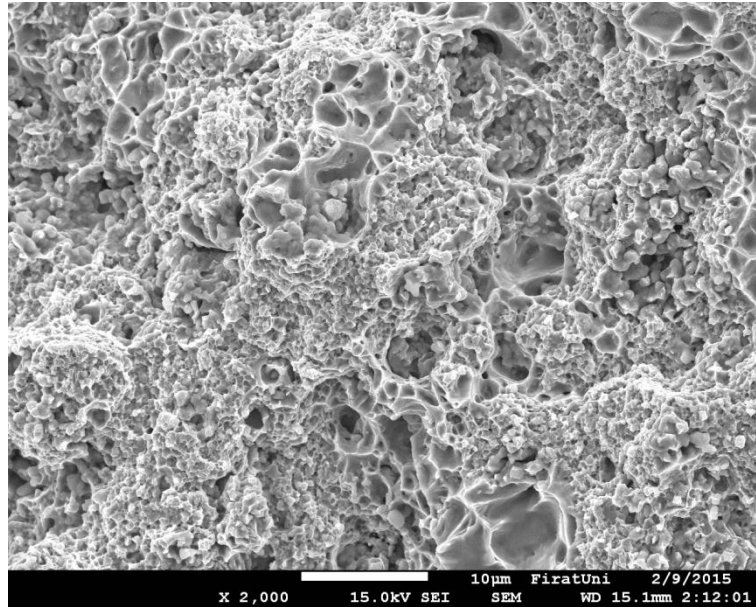
Yukarıda verilen şekil 3.24.'de ise yukarıdan aşağıya doğru sırayla A2 ve B2 numunelerinin 3000 X büyütmede alınmış SEM görüntüleri yer almaktadır. Görüntüler incelendiğinde A numunesinde bakırın toplu olarak yer aldığı ve MX içinde büyük oranda çözülmediği görülmektedir. Ayrıca nikel taneleri de kendi içinde toplu olarak kalmış MX içinde çözünmemiştir. B grubu numunelerde ise bakırın MX içerisinde büyük oranda

çözüldüğü görülmektedir. Benzer şekilde nikel taneleri de bakır içerisinde çözünerek yapı içerisinde daha homojen bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Görüntülerde göze çarpan bir diğer husus ise A numunesinde demir taneleri MX içerisinde daha toplu olarak görülmekte iken B numunesinde demirin yapı içerisinde daha homojen çözüldüğü görülmektedir. Ayrıca her iki numunenin görüntülerinde de porozitelerin demir taneleri çevresinde yoğunlaştığı görülmektedir.

### 3.6. Kırık Yüzey İncelemeleri

Üç noktalı eğme deneyi sonucunda kırılan numunelerin yüzeyleri kırılmanın türünün belirlenmesi ve matris tozlarının birbirine tutunma biçiminin anlaşılması amacıyla incelenmiştir.

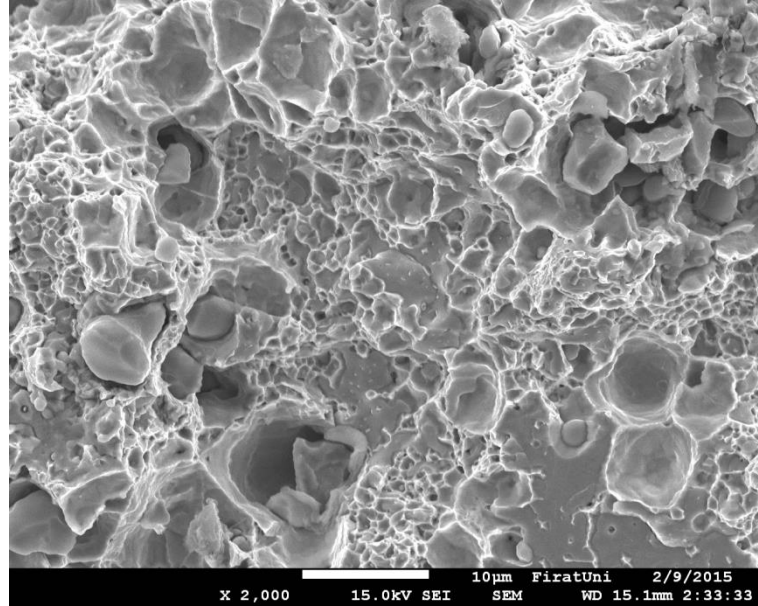
Şekil 3.25.' de A2 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı yer almaktadır. Fotoğrafta görüldüğü üzere çoğunlukla tanecikli bir yapı mevcut olup bu kırılmanın gevrek olduğunu göstermektedir. Yüzey üzerinde yer alan az sayıda süngerimsi yapı ise kısmen de olsa sünek kırılmanın olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.25. A2 Numunesinin kırık yüzey görüntüsü

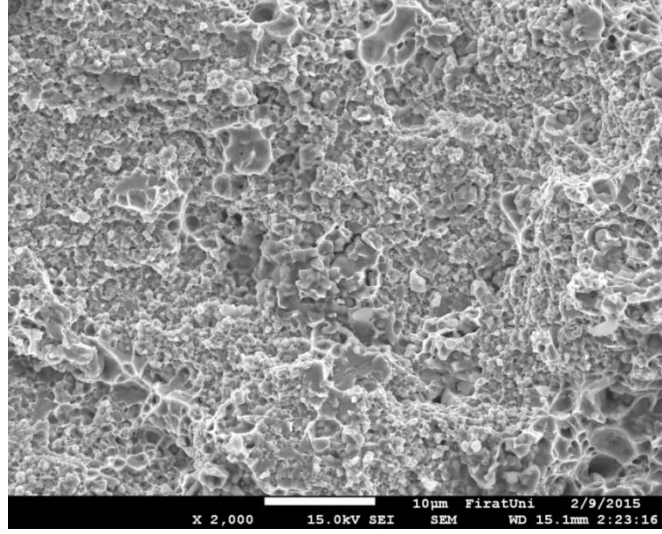


Aşağıda verilen şekil 3.26.'da ise C2 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı yer almaktadır. Bu numunenin kırık yüzey fotoğrafında ise hem süngerimsi yapı hem de tanecikli yapı bir arada yer almaktadır. Bu da kırılmanın hem sünek hem de gevrek olduğunu göstermektedir. Kırılma bölgeleri bazen taneciğin yapısında meydana gelmişken bazen ise tanelerin yapısını koruduğu ve ya tamamen koptuğu ya da hiç kopmadığı gözlenmektedir. A2 ve C2 numunelerinin kırık yüzey fotoğrafları aynı büyütmede alınmış olmasına rağmen C2 numunesindeki tanelerin daha büyük olduğu görülmektedir. Yapılan ısıtıl işlem sonucunda tane irileşmesi meydana geldiği bu fotoğraflardan da anlaşılmaktadır.



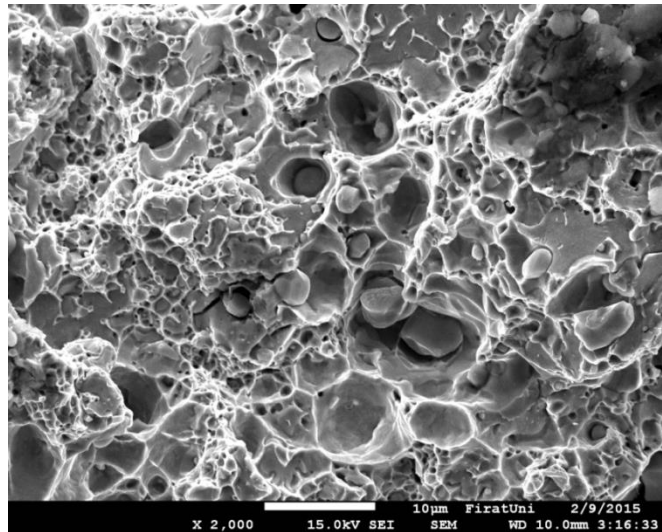
**Şekil 3.26.** C2 Numunesinin kırık yüzey görüntüsü

Aşağıda verilen şekil 3.27.'de ise B2 numunesinin kırık yüzey fotoğrafı yer almaktadır. Görüntülerde süngerimsi yapının çok az olduğu sıklıkla tanecikli yapının yer aldığı görülmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere numune gevrek kırılmıştır. Yer yer az miktarda da olsa süngerimsi kırılmalar mevcuttur.



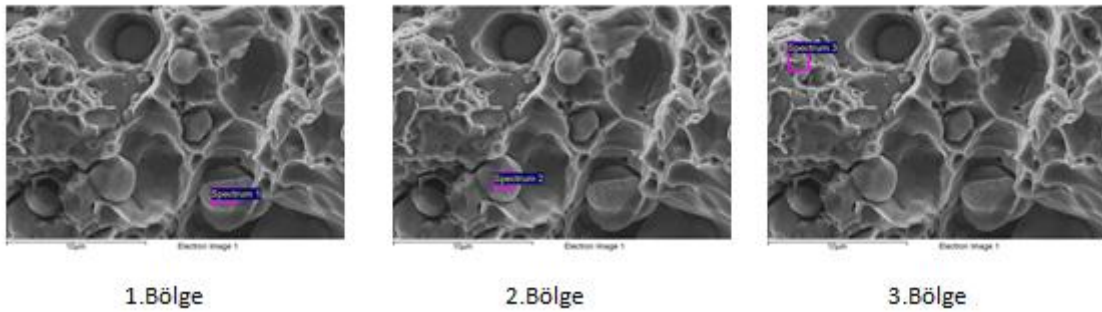
**Şekil 3.27.** B2 Numunesinin kırık yüzey görüntüsü

Aşağıda Şekil 3.28.'de ise B2 numunesine 950 °C'de 180 dakika ısıtılması sonucu elde edilen F2 numunesinin kırık yüzey görüntüsü yer almaktadır. Görüntülerde kırılmanın daha çok süngerimsi yapıda olduğu gözlemlenmekte olup az miktarda taneli yapıda mevcuttur. Bundan dolayı kırılmanın sünek kırılma olduğu anlaşılmaktadır. Buradan yapılan ısıtılma işlemi sonucunda numunenin yumuşadığı anlaşılmaktadır. Nitekim sertlik sonuçları da bu durumu desteklemektedir.



**Şekil 3.28.** F2 Numunesinin kırık yüzey görüntüsü

Aşağıda verilen şekil 3.29.'de F2 numunesinin kırık yüzeyinden EDX alınmış olan noktalar, şekil 3.30.' da ise analizlerin sonuçları verilmiştir. Kırılmanın hangi taneler de hangi biçimde olduğunun anlaşılmasıyla yapılan bu çalışma sonucunda 1. Bölgede görülen yapıda atomik olarak %64.41 oranında oksijen olduğu ve %31.01 oranında demir olduğu anlaşılmaktadır. Burada demirin oksitlendiği anlaşılmaktadır. 2. EDX analizi yapılan tane ise yine oksitlenmiş demir tanesi olduğu analiz sonuçlarından anlaşılmaktadır. 3. EDX analizi alınan süngerimsi yapıda ki bölgede ise atomik olarak %45 oranında Cu bulunduğu ve %33.45 oranında Fe bulunduğu görülmektedir. Bu analizden sünek kırılmanın bakır yoğunluklu bölgede meydana gelmiş olduğu yorumu yapılabilir. Ayrıca kırılma esnasında demir tanelerinin yapıdan matristen kopmadan tutunduğu da görülmektedir.



Şekil 3.29. F2 Numunesinde EDX alınan noktaların görüntüleri

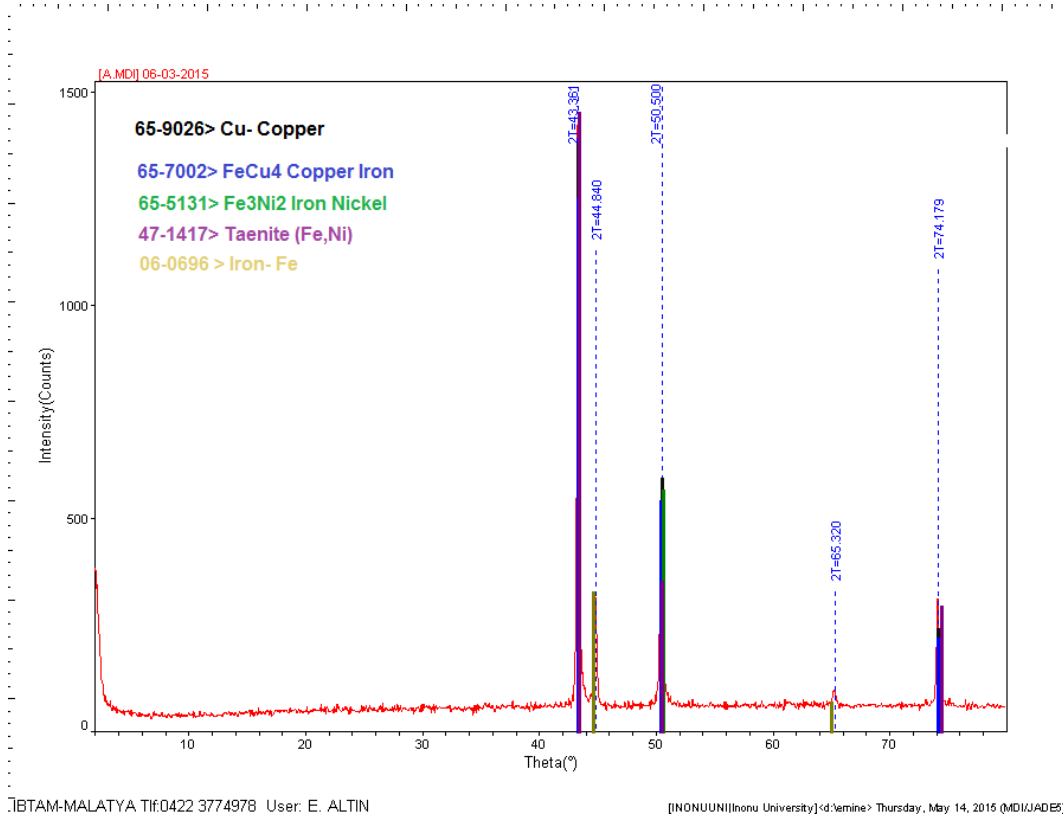
1. Bölge			2. Bölge			3. Bölge		
Element	Weight%	Atomic%	Element	Weight%	Atomic%	Element	Weight%	Atomic%
O K	33.84	64.41	O K	22.48	50.87	O K	1.22	4.44
Fe K	56.87	31.01	Fe K	61.46	39.84	Fe K	32.17	33.45
Co K	3.26	1.68	Co K	2.68	1.65	Co K	17.11	16.86
Cu L	6.03	2.89	Ni K	0.54	0.33	Ni K	0.25	0.24
			Cu L	12.84	7.31	Cu L	49.25	45.01
Totals	100.00		Totals	100.00		Totals	100.00	

Şekil 3.30. F2 Numunesinin EDX analizleri

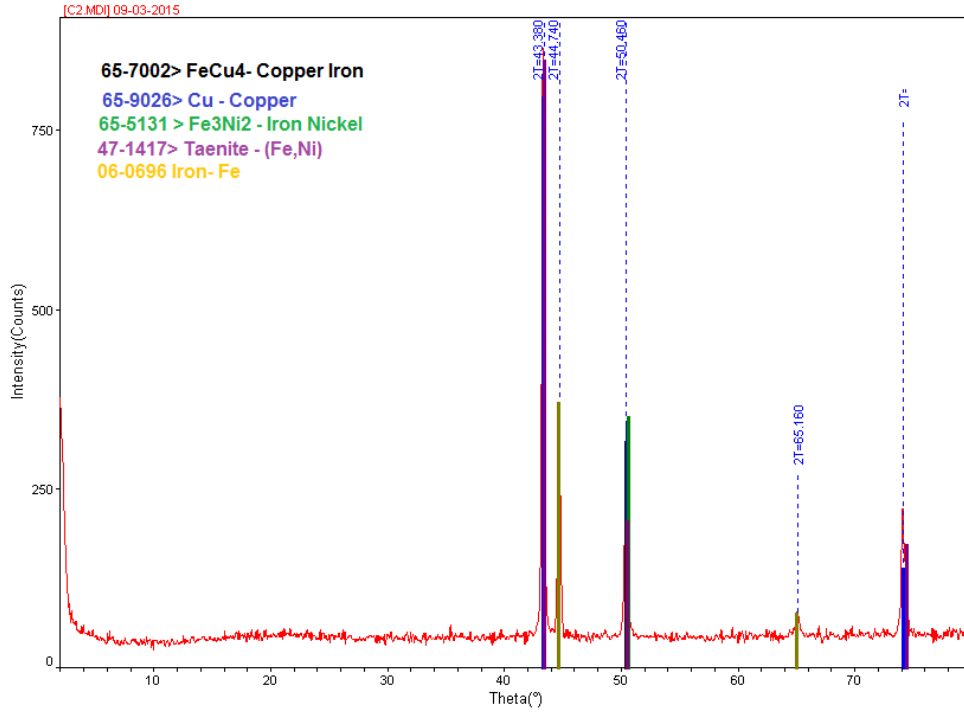
### 3.7. XRD İncelemeleri

Şekil 3.31.'de A2 numunesinin XRD sonuçları verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı üzere A2 numunesinde sıcak pres sinterleme işlemi sonrası aynı açılarda Taenite (Ni zengin Fe, Ni fazı) ve FeCu<sub>4</sub> fazlarına rastlanılmıştır. Bununla beraber Fe<sub>3</sub>Ni<sub>2</sub>, saf Cu ve saf demir fazları da görülmüştür. C2 numunesinde ise A2 numunesiyle aynı fazlar olduğu

görülmüş yeni bir faz oluşmadığı anlaşılmıştır. E2 numunesinin X ışınları incelemelerinde ise Kamacite (Fe zengin Fe, Ni fazı) fazı olduğu, Taenite fazının ise kaybolduğu görülmüştür. Bu sonuçlardan ısıtılma sonrası Cu ve Ni elementinin Fe içerisinde çözünerek yeni fazlar oluşturdukları anlaşılmaktadır. SEM görüntüleri de bu yaklaşımı destekleyici niteliktedir.



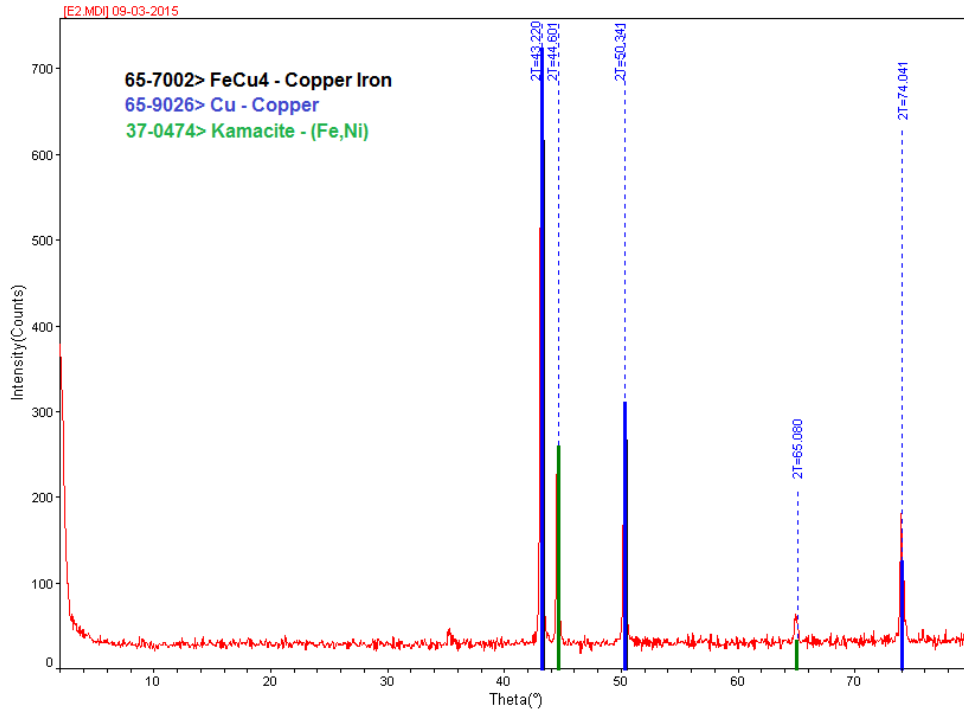
Şekil 3.31. A2 numunesinin X ışını incelemeleri



BTAM-MALATYA Tif:0422 3774978 User: E. ALTIN

[INONUUNI|Inonu University|d:emine> Thursday, May 14, 2015 (MDIUADES)

Şekil 3.32. C2 numunesinin X ışını incelemeleri

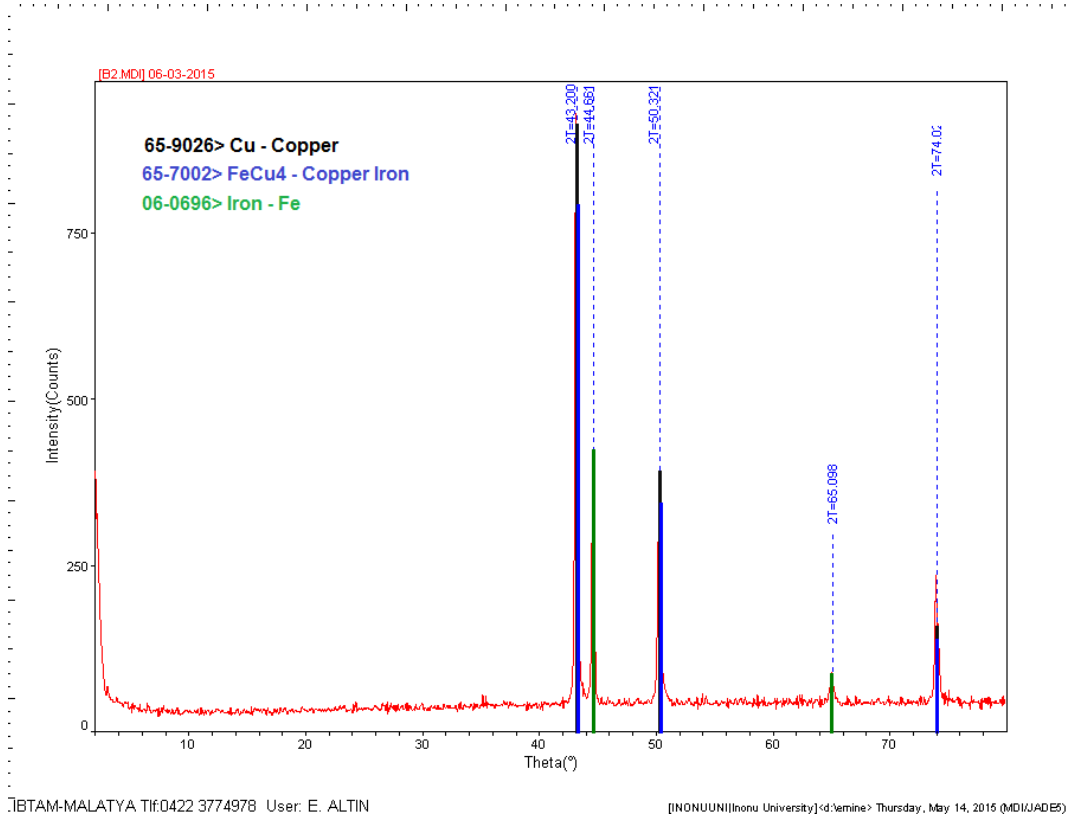


BTAM-MALATYA Tif:0422 3774978 User: E. ALTIN

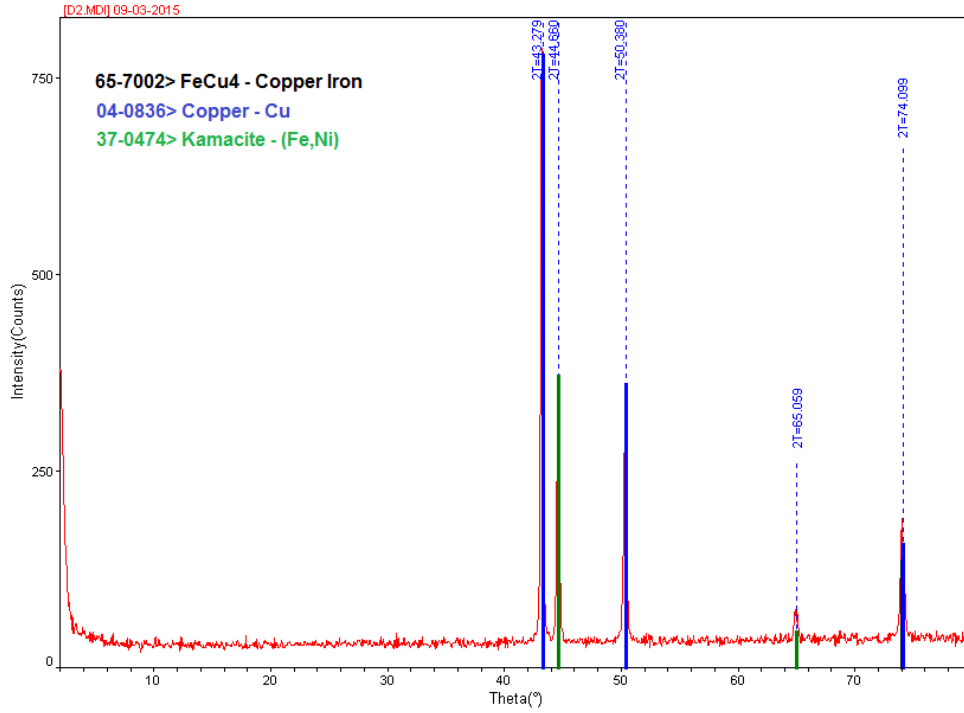
[INONUUNI|Inonu University|d:emine> Thursday, May 14, 2015 (MDIUADES)

Şekil 3.33. E2 numunesinin X ışını İncelemeleri

Aşağıda verilen şekiller ise B2-D2-F2 numunelerinin X ışını incelemeleri sonuçlarını göstermektedir. B2 numunesinde  $\text{FeCu}_4$ , Cu ve Fe fazları görülmüştür. Bu numuneye yapılan ısıl işlem sonrası elde edilen D2 numunesinde ise nikel demir içerisinde çözünerek Kamacite fazını oluşturmuştur. Bununla beraber  $\text{FeCu}_4$  ve saf bakır fazı da görülmüştür. F2 numunesinde ise yeni faz oluşumuna rastlanılmamıştır.



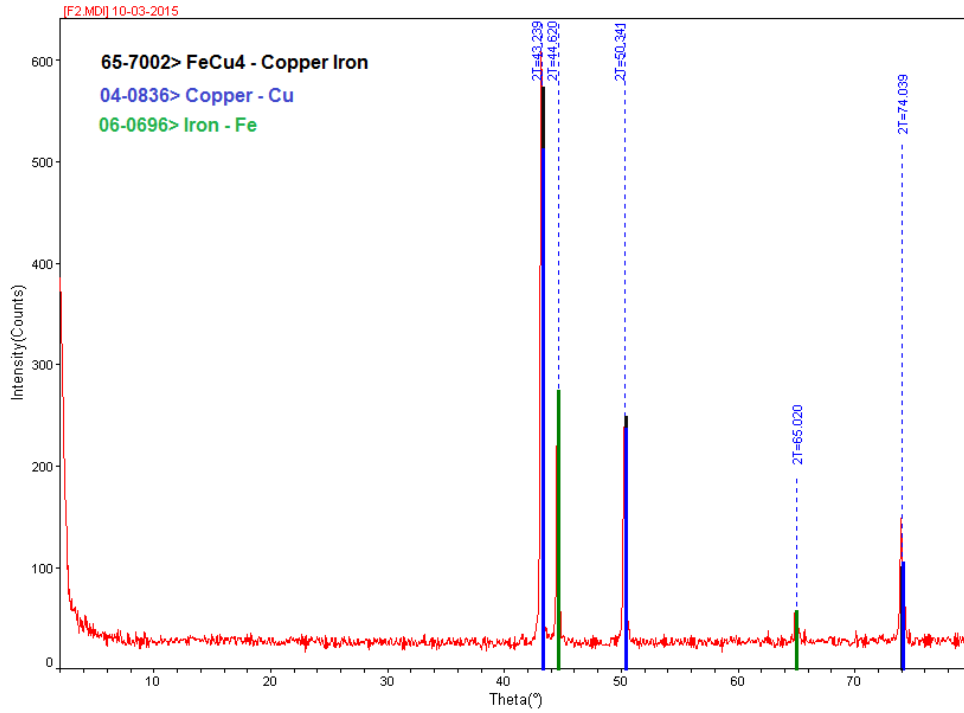
Şekil 3.34. B2 numunesinin X ışını incelemeleri



TBTAM-MALATYA Tif:0422 3774978 User: E. ALTIN

[NONUUNI|Inonu University]d:emine? Thursday, May 14, 2016 (MDI/IADE5)

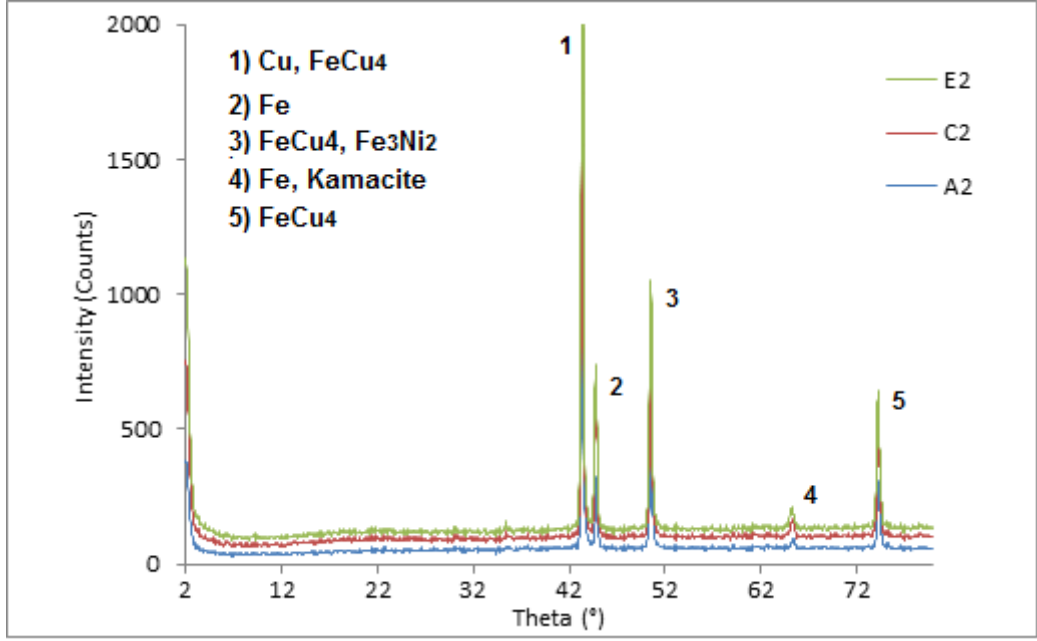
Şekil 3.35. D2 numunesinin X ışını incelemeleri



TBTAM-MALATYA Tif:0422 3774978 User: E. ALTIN

[NONUUNI|Inonu University]d:emine? Thursday, May 14, 2016 (MDI/IADE5)

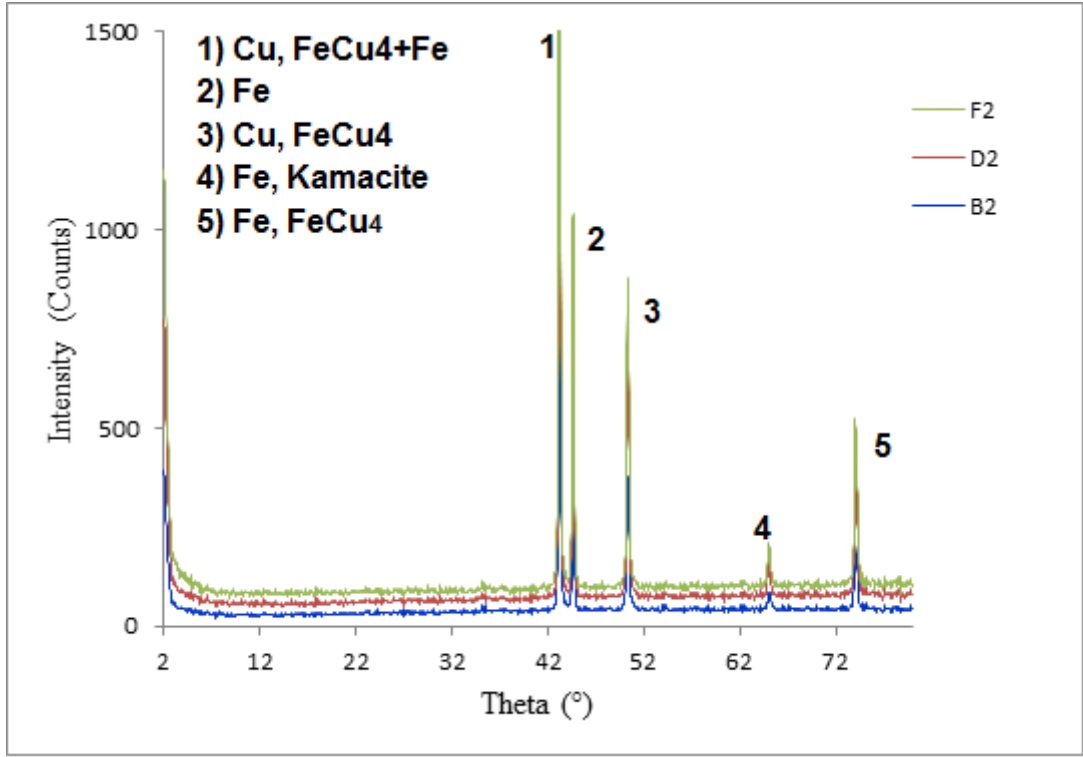
Şekil 3.36. F2 numunesinin X ışını incelemeleri



Şekil 3.37. A2-C2-E2 numunelerinin X ışını incelemeleri

Şekil 3.37.'de A2-C2-E2 numunelerinin X ışını incelemeleri tek grafik üzerinde verilmiştir. Şekil incelendiğinde numunelerde hemen hemen aynı fazların görüldüğü yalnızca pik noktalarının ve açılarının küçük miktarlarda değiştiği anlaşılmıştır. Benzer şekilde Şekil 3.38' de verilen B2-D2-F2 numunelerinin X ışını incelemelerinde de numunelerde aynı fazlar görülmüş, pik noktaları ve açılarında küçük değişimler meydana geldiği anlaşılmıştır.





Şekil 3.38. B2-D2-F2 numunelerinin X ışını incelemeleri

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elmaslı kesici takımlarda sinterleme sonrası yapılan ısıl işlemlerin takım özelliklerine etkisi isimli bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle imal edilen elmas soketlere 950 °C sıcaklıkta 90 ve 180 dakika bekletilme sürelerinde iki farklı ısıl işlem uygulanması sonucu aşağıdaki bilgi ve bulgulara ulaşılmıştır.

1. Aynı bileşime ( %ağ. 3Ni- 10Cu- 87 MX1480) sahip ancak farklı sinterleme sıcaklığı ve basınç değerlerinde imal edilen A ve B numunelerinin sertlik değerleri karşılaştırıldığında 30 MPa basıncında ve 800 °C sinterleme sıcaklığında imal edilen B grubu numunelerin sertlik değerlerinin; 20 MPa basıncında ve 700 °C sinterleme sıcaklığında imal edilen A grubu numunelerden daha yüksek olduğu görülmüştür.

2. Aynı basınç ve sıcaklıkta imal edilen ancak bileşim oranı Cu miktarı artırılıp MX1480 miktarı azaltılarak elde edilen 1-6 arasında numaralandırılan serilerde Cu oranının artırılmasıyla numunelerin sertliklerinin azaldığı tespit edilmiştir.

3. A grubu numunelere 950 °C sıcaklıkta 90 dakika bekletilerek uygulanan ısıl işlem sonrası elde edilen C grubu numunelerinin sertlik değerleri altı numunedeki değişimin ortalaması olarak yaklaşık %38 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

4. A grubu numunelere 950 °C sıcaklıkta 180 dakika bekletilerek uygulanan ısıl işlem sonrası elde edilen E grubu numunelerinin sertlik değerleri altı numunedeki değişimin ortalaması olarak yaklaşık %42 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

5. B grubu numunelere 950 °C sıcaklıkta 90 dakika ısıl işlem uygulanması sonucu elde edilen D grubu numunelerin sertlik değerleri altı numunedeki değişimin ortalaması olarak yaklaşık %37 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

6. B grubu numunelere 950 °C sıcaklıkta 90 dakika ısıl işlem uygulanması sonucu elde edilen F grubu numunelerin sertlik değerleri altı numunedeki değişimin ortalaması olarak yaklaşık %39 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

7. A ve B grubunun her ikisine de yapılan ısıl işlemlerin sonucunda sertlik değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. Uygulanan ısıl işlem tane irileşmesi yoluyla numunelerin sertlik değerlerinde düşüşe neden olmuştur.

**8.** Aynı bileşime sahip A ve B grubu numunelerin yoğunluk değerleri karşılaştırıldığında yüksek sinterleme basıncı ve sıcaklığına sahip olan B grubu numunelerinin yoğunluk değerlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

**9.** A ve B grubu numunelerinin kendi içinde 1-6 arası serilerde yapılan yoğunluk ölçümlerinde bakır oranının artırılıp MX1480 oranının azaltılmasıyla yoğunluk değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

**10.** A grubu numunelerin yoğunluk değerleri C ve E grubu numunelerinin yoğunluk değerleriyle karşılaştırıldığında yapılan ısıl işlemin yoğunluk değerlerini sırasıyla ortalama %5 ve %7 civarında düşürdüğü tespit edilmiştir.

**11.** B grubu numunelerin yoğunluk değerleri D ve F grubu numunelerinin yoğunluk değerleriyle karşılaştırıldığında yapılan ısıl işlemin yoğunluk değerlerini sırasıyla ortalama %3 ve %5 civarında düşürdüğü tespit edilmiştir.

**12.** Uygulanan ısıl işlemlerin her iki numune grubunda da yoğunluk değerlerini belirgin oranda düşürmemiş olmasının nedeninin tane irileşmesi yoluyla porozitelerin yoğunluğunun azalması olduğu sonucuna varılmıştır.

**13.** Aynı bileşime ve aynı seri numarasına sahip A ve B grubu numunelerinin yapılan 3 noktalı eğme deneyi sonuçlarında eğilme mukavemeti değerleri karşılaştırıldığında yüksek sinterleme basıncı ve sıcaklığına sahip B1 numunesinin eğilme mukavemeti değerinin A1 numunesine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde B1 numunesinin yüzde uzama miktarı 3,58 ölçülürken A1 numunesinin yüzde uzaması %2,57 olarak ölçülmüştür. Sinterleme sıcaklık ve basıncının artırılmasıyla bileşim elementlerinin daha homojen bir yapıda karıştığı, nikel ve bakırın MX1480 tozu içinde daha iyi çözündüğü böylelikle daha sert ve daha yoğun bir mikro yapıya ulaşıldığı düşünülmektedir.

**14.** A2-C2-E2 numunelerine yapılan 3 nokta eğme deneyi sonuçlarında;A2 numunesinin eğilme mukavemeti 1029, 13 MPa iken C2 numunesinin eğilme mukavemeti 1048,47 MPa olarak ölçülmüş olup A2 numunesiyle çok az farklı olduğu görülmüştür. Ancak yüzde uzama miktarları belirgin biçimde değişmiştir. A2 numunesinin yüzde uzama değeri %2,57 iken C2 numunesi için bu değer %12,73 olarak ölçülmüştür. Yapılan ısıl işlemlerle bakır demir fazları oluştuğu, bakırın MX1480 içerisinde daha homojen çözülmesi sonucunda sünekliğin arttığı düşünülmektedir. E2 numunesinin yüzde uzama sonucu %11,2 olarak

ölçülmüş ve bu değer C2 yüzde uzamasına oldukça yakın aynı olmakla birlikte eğilme mukavemeti değeri 986,051 MPa ile A2 numunesine göre daha düşük ölçülmüştür. Yapılan ısıtıl işlemin süresinin uzatılmasıyla bakırın alaşım içinde daha yaygın yayılarak gerilme mukavemet değerini düşürdüğü düşünülmektedir.

**15.** B2-D2-F2 numunelerine yapılan 3 nokta eğme deneyi sonuçlarında; D2 numunesinin eğilme mukavemet değerinin B2 numunesine göre düşük olduğu görülmüştür. Yapılan ısıtıl işlemlerle numunenin eğilme mukavemetinin belirgin biçimde düştüğü, yüzde uzama miktarının ise arttığı görülmüştür. Yapılan ısıtıl işlemlerle bakır MX 1480 içerisinde çözünerek numunenin sertliğini düşürdüğü anlaşılmıştır. F2 numunesinde de benzer şekilde eğilme mukavemet değerinin düştüğü ancak yüzde uzama miktarının arttığı görülmüştür.

**16.** A grubu numunelerin kendi içindeki serilerine yapılan 3 nokta eğme deneyi sonuçlarında A1 ve A2 numunelerinin yüzde uzama miktarları yaklaşık olarak eşit olduğu ancak %ağırlıkça 3Ni- 20Cu- 77 MX1480 alaşıma sahip A2 numunesinin eğilme mukavemetinin yaklaşık 200 MPa düştüğü görülmüştür. Bu sonuçlardan alaşımdaki bakır miktarının bu alaşım değerleri içinde ağırlıkça %10 artırılmasıyla mukavemetin düşeceği ancak yüzde uzama miktarının değişmediği anlaşılmaktadır. Aynı ilişki %ağırlıkça 3Ni- 30Cu- 67 MX1480 alaşımına sahip A3 ve %ağırlıkça 3Ni- 40Cu- 57 MX1480 alaşımına sahip A4 numuneleri arasında da vardır. Hatta bu iki numunenin eğilme mukavemet değerleri arasındaki fark değerinin A1-A2 ikilisinin fark değerinden daha az olduğu görülmektedir. A5 numunesinin eğilme mukavemeti değeri A4 numunesine göre düştüğü ve yüzde uzamasının belirgin biçimde arttığı görülmüştür. A6 numunesinin eğilme mukavemet değerinin serinin en düşük değeri olduğu ve yüzde uzama miktarının ise serinin en yüksek değeri olduğu görülmüştür. Buradan A grubu numuneler içerisinde matris bileşimindeki bakır miktarının %40'ın üzerine çıkarılıp, MX1480 miktarının %57'nin altına düşürüldüğünde malzemenin eğilme mukavemetinin belirgin biçimde düştüğü ve yüzde uzama miktarının arttığı görülmektedir. Bu bileşim yüzdelerinin sonrasında bakır tanelerinin yapıya daha homojen dağılarak tane irileşmesi sonucu sertliği ve dayanımı düşürdüğü, sünekliği artırdığı düşünülmektedir.

**17.** C grubu numunelerin 3 nokta eğme deneyi sonuçlarında alaşımdaki bakır miktarının artmasıyla A grubunun tersine bir şekilde yüzde uzama miktarının azaldığı görülmüştür. Eğilme mukavemet değerlerinin ise her seride belirgin biçimde değiştiği tespit edilmiştir.

**18.** A,C ve E grubu numunelerin optik mikroskop görüntülerinde A grubu numunelerde bakır taneleri alaşımda MX 1480 ve Ni 'den belirgin olarak ayrı ve kendi içinde toplu olarak yer aldığı görülmüştür. Benzer şekilde Ni taneleri belirli birkaç bölge de kendi içinde toplu olarak bir arada bulunduğu görülmüştür. 950 °C sıcaklıkta 90 dakika bekletilerek yapılan ısıl işlem sonucu elde edilen C4 numunesinde bakır taneleri kendi taneleri arasında yeni bağlar geliştirerek ve aynı zamanda MX 1480 içinde çözünerek yapıya yayıldığı gözlemlenmiştir. Uygulanan ısıl işlemle Ni taneleri MX 1480 içindeki Fe ile fazlar oluşturarak yapıya daha homojen olarak yayılmıştır. 950 °C sıcaklıkta 180 dakika uygulanan ısıl işlem sonrası elde edilen F4 numunesinde ise gözenekli yapının azaldığı, bakırın hem kendi taneleri hem de MX 1480 taneleri arasında tane irileşmesi neticesinde yeni tane sınırları geliştirerek yapı içerisinde daha homojen yayıldığı görülmüştür.

**19.** B,D,E grubu numunelerin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde B2 numunesinde bakırın A2 numunesine kıyasla daha küçük topaklar halinde ve daha yayılı olarak bulunduğu görülmüştür. Sinterleme sıcaklığı ve basıncının artırılmasıyla bakır MX 1480 ile daha yüksek oranda sinterlenmiştir. Yapılan ısıl işlemle elde edilen D2 numunesinde bakırın MX 1480 içerisinde çözünerek daha homojen bir dağılımı görülmüştür. F2 numunesinde matris alaşımı daha homojen bir yapıya kavuştuğu ve porozite yoğunluğunun azalarak belirli bölgelerde büyük çaplarda poroziteler ortaya çıktığı görülmektedir.

**20.** Aynı bileşime sahip A2 ve B2 numunelerinin SEM görüntüleri incelendiğinde A numunesinde bakır taneleri topaklar halinde belirli bölgelerde yoğunlaşmışken, B numunesinde bakırın MX 1480 içinde daha yayılı olarak çözüldüğü görülmektedir.

**21.** A4-C4-E4 numunelerinin SEM görüntüleri incelendiğinde A4 numunesinde birbirinden ayrı belirli bölgelerde toplanmış olan Cu, Ni ve MX 1480; C4 numunesinde Ni çözülerek yapıya daha homojen yayıldığı, bakırın ise taneler arası yeni bağlar geliştirerek MX1480 içinde çözüldüğü görülmektedir. E4 numunesinde ise alaşım bileşenleri birbiri içinde çözünerek daha homojen bir yapı elde edildiği görülmüştür. Bu grup numuneleri porozite açısından incelendiğinde ise yapılan ısıl işlem sonucunda tane irileşmesi yoluyla

A4 numunesindeki gözenek sayısının C4 'de daha azaldığı ancak porozite çaplarının arttığı görülmüştür. Aynı durum yapılan ikinci ısıl işlem de görülmüştür.

**22.** B2-D2-F2 numunelerinin SEM görüntüleri incelendiğinde B2 numunesinde Co ve Fe içerisinde kısmen çözünmüş olan Ni tozlarının D2 numunesinde Cu içerisinde de çözünerek yapıya daha homojen yayıldığı görülmüştür. F2 numunesinde nikelin yapı içinde daha da homojen çözüldüğü görülmüştür. B2 numunesinde alaşım içindeki bakır taneleri MX 1480 içinde çözünmediği görülmüştür. Uygulanan ısıl işlemler sonucunda hem alaşım içindeki bakır taneleri kendi içinde taneler arası bağları geliştirerek tane irileşmesi yoluyla yapıya daha yoğun yayıldığı ve hem de MX1480 içinde ki Cu bileşenleri de kendi içinde yeni bağlar geliştirerek tanelerini irileştirdiği görülmüştür. F numunesinde ise bakırın yapıya daha homojen olarak dağıldığı görülmüştür.

**23.** B2-D2-F2 numunelerinin SEM görüntüleri porozite açısından incelendiğinde D grubu numune de porozite sayısının B grubuna göre azaldığı ancak porozite çaplarının büyüdüğü görülmüştür. F grubunda ise porozite sayısı daha da azaldığı ancak porozite çapının daha da arttığı görülmüştür.

**24.** A grubu numunelerin kırık yüzey görüntüleri incelendiğinde A2 numunesinde süngerimsi yapı mevcut olduğu kırılmanın gevrek olduğu, C2 numunesinde ise hem süngerimsi hem de tanecikli yapı olduğu görülmüştür.

**25.** B grubu numunelerin kırık yüzey incelemelerinde; B2 numunesinde kırılmanın gevrek olduğu, D2 numunesinde kırılmanın hem gevrek hem sünek olduğu tespit edilmiştir.

**26.** A2 numunesinin XRD incelemelerinde FeCu<sub>4</sub>, Fe<sub>3</sub>Ni<sub>2</sub>, Taenite (Ni ağırlıklı Fe,Ni fazı) fazları görülmüştür. Numuneye 90 dakika süresince 950 C ısıl işlem yapılması sonucu elde edilen C2 numunesinde ise aynı fazlar görülmüş olup fazların oluşum açılarının çok küçük bir değişim gösterdiği görülmüştür. E2 numunesinde ise FeCu<sub>4</sub> ve Kamacite (Fe ağırlıklı Fe, Ni fazı) fazları görülmüş olup Fe<sub>3</sub>Ni<sub>2</sub> ve Taenite fazları kaybolmuştur.

**27.** B2 numunesinin X ışınları incelemelerinde FeCu<sub>4</sub> fazı görülmüştür. D2 numunesinde ise FeCu<sub>4</sub> ve Kamacite fazlarına görülmüştür. Bu yapılan ısıl işlemle nikelin demirle yeni faz oluşturduğu anlaşılmıştır. A grubu numunelerde 180 dakika ısıl işlem uygulaması sonrası görülen Kamacite fazı bu numune grubunda 90 dakika ısıl işlem sonucunda ortaya çıkmıştır. F2 numunesinde ise Kamacite fazının kaybolduğu görülmüştür.

**28.** Aynı bileşime sahip A ve B grubu numunelerinin deneysel sonuçları karşılaştırıldığında yüksek sıcaklık ve basınçta üretilen B grubu numunelerinin mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu anlaşılmıştır.

**29.** Her iki numune grubuna da yapılan ısıtma işlemlerinin sonucunda porozitenin yoğunluk olarak azaldığı ancak yoğunluğu düşürecek değerde daha büyük çaplarda yeni poroziteler ortaya çıktığı görülmüştür.

**30.** A2 numunesine yapılan ısıtma işlemi sonrası eğilme mukavemeti yaklaşık olarak aynı kalırken, plastik bölgenin ise yaklaşık 5 kat arttığı 3 noktalı eğilme deneylerinde görülmüştür. Bu sonucun matrisin elmas tutunma kapasitesini artıracak olduğunu düşünülmemektedir.

## KAYNAKLAR

- Alev, E.**, 2011, Otomobil endüstrisinde toz metalürjisi yöntemiyle üretilen parça kullanımı ve performansının araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye.
- Akyüz, D.A.**, 1996, Metal diamond interaction in diamond tools with cobalt-based binder, A literature overview. An introduction to powder metalurgy for diamond tool manufacturers. *IST LTD. & ASM Int.*, Lecture 3, Lausanne, Switzerland, 25-27
- Akyüz, D.A.**, 1998, Interface aspects in cobalt-based diamond cutting tool segments, *1998 PM World Congress & Exhibition*, vol.4, Granada, Spain, October 18-22, 158-163
- Anon.**,1995, Diamond tools for the new millennium. *Marmo machine international*, 9, 376–391.
- Anon.**, 2003, New high-performance cold pres from Dr. Fritsch. *Industrial Diamond Review*, 63(4), 25.
- Baert, M.**, 1995, Coating of diamonds and granulation of metal powders. *In Proceedings of Seminar on PM Diamond Tools*, Lausanne, Switzerland, November 2–3, pp. 24–40.
- Bailey, M.W., Collin, W.D.**, 1977, Investigations into Diamond Sawing Using Titanized Grits. *Stone Industries*, 18-21
- Bain & Company**, 2011, *Diamond Industry Report*.
- Bonneau, M.**, 1995, Tensile rupture on sintered cobalt specimens. *Proc. seminar on PM diamond tools*, Lausanne, Switzerland.
- Bonneau, M.**, 1997, Mechanical Properties of Special Ternary Alloy Bonds Compared with Cobalt Bonds. *Proceedings Second International Conference PM Diamond Tools*, Montreaux, Switzerland.
- Bovenkerk, H.P., Bundy, F.P., Hall, H.T., Strong, H.M., Wentorf, R.H.**, 1959, Preparation of diamond. *Nature*, 184(4693): 1094–1098.
- Bundy, F.P., Hall, H.T., Strong, H.M., Wentorf, R.H.**, 1955, Man-made diamond. *Nature*, 176(4471): 51–55.
- Burgess, R.R.**, 1978, Man-made diamond for stone processing. *Proc. 1st Technical Symposium*, Bucharest, Romania, October 5-6
- Cai, O.**, 1996, Encapsulated diamond. remarks and technical notes. *Diamante Applicazioni & Tecnologia*, 2(8): 62–72.



- Cai, O.**,1997,Sintering without pressure or free sintering. *Diamante Applicazioni & Tecnologia*, 3(11): 106–122.
- Collin, W.D.**, 1977, The influence of slot geometry and segment spacing on diamond saw performance. *Industrial Diamond Review*, 37(1): 48–54.
- Çavdar,U., Atik, E.**, 2011, Geleneksel ve hızlı sinterleme yöntemleri. *CBÜ Soma Meslek Yüksek Okulu Teknik Bilimler Dergisi*, 1: 15
- Çelik,E.** , 2009, Elmaslı kesici takımlarda alternatif bağlayıcılar. *Doktora Tezi*, FıratÜniversitesi, Metalurji Eğitimi Mekanik Metalurji Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.
- Çelik, E., Çelik, Ö., Güven, Ş.Y.**, 2010, Sıcak pres tasarımı ve elmaslı kesici takımların Üretimi. 2. *Ulusal Tasarım İmalat Kongresi*, Balıkesir, Türkiye.
- Çelik, E., Kaplan,M., İnci,S.**, 2011, Fe-Cu-Co-Sn Matrisli elmaslı kesici takımlara Ti ilavesinin etkisi. *6th. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Türkiye.
- Davis, P.R., Fish, M.L., Peacock, S., Wright, D.N.**, 1996, An indicator system for saw grit, *Industrial Diamond Review*, No. 3: 78-87
- Davis, P.R.**, 2001, The future of diamond abrasives in stone processing, *Industrial Diamond Review*, 61 (3): 159-167
- De Beers Industrial Diamond Division**, Machining stone with diamond tools, *Diamond Information*, L15
- Eurotungstene Company**, *Next brochures*, <http://www.eurotungstene.com/-diamond-tools-metal-powders-next-keen-> , 18 Aralık 2013.
- Gartner, B.J.**, 1998, Development of vacuum sintering press for production of diamond tools. *Industrial Heating*, 65 (10): 67-68
- Grüneis,H.&T.**, 1998, Sintering and brazing all in one, *Industrial Diamond Review*, No.25: 45-47
- Hall, H.T., Strong, H.M., Wentorf, R.H.**, 1960, Method of making diamonds. *U.S. Patent* 2, 947, 610 (August2, 1960)
- Hughes, F.**,1978, Diamond grinding of metals. *Industrial diamond information bureau, Ascot*, pp. 1–3.
- Hughes, F.H.**, 1980, The early history of diamond tools. *Industrial Diamond Review*, 40 (6): 405–407.
- Jennings, M., Wright, D.**, 1991, Guidelines for sawing Stone. *Diamonds in Industry Stone*, De Beers Industrial Diamond Division, 25-30

- Jennings, M.**, 2003, ... andthenext 50 years?, *Industrial Diamond Review*, 63(1): 15.
- Joong, S., Kang, L.**, 2005, Sintering densification grain growth and microstructure. *Elsevier Butterworth Heinemann*.
- Karagöz, Ş., Zeren, M.**, 2001, Mermer Kesiminde Kullanılan Elmas Kesici Takımlarda Aşınma Karakteristiği, *Türkiye 3. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Afyon,Türkiye.
- Kimura, K.**,1988, Method for forming metal-coated abrasive grain granules. *US Patent* 4,770,907(September 13, 1988).
- Konstanty, J.**, 1997, Cobalt and diamond tooling. *Proc. The Cobalt Conference*, HongKong, Presentation No. 5: 1-10
- Konstanty, J.**, 2005, *Powder Metallurgy Diamond Tools*
- Lei, Q., Li, Z., Zhu, A., Qiu, W., Liang, S.**, 2011, The transformation behavior of Cu–8.0Ni–1.8Si–0.6Sn–0.15Mg alloy during isothermal heat treatment.*Materials Characterizations*,62: 904-911
- Matarrese, R.R.**, 1992, Dual-coated diamond pellets and saw blade segments made therewith. *US Patent*5,143,523 (September 1, 1992).
- McEachron, R.W., Clark, T.J., Matarrese, R.R., Sinigaglia, S.**, 1992, Coated abrasive particles. *European Patent Application* 0533444A2 (September 15,1992).
- Morelli, E.,Oppici, S.**, 2001, New range of machines for the production of grinding wheels. *Industrial Diamond Review*, 61(2): 102–103.
- Nas,E., Gökkaya, H., Sur, G.**, 2013, Sıcak presleme yöntemi kullanılarak kompozit malzemelerin üretilebilirliği üzerine bir değerlendirme, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(2):56-65
- Owers, C.**, 2000, Industrial diamond applications, economics and a view to the future. *Industrial Diamond Review*, 60(3): 176–181.
- Oliveira, L.J., Bobrovintichii, G.S., Filgueira, M.**, 2007, Processing and characterization of impregnated diamond cutting tools using a ferrous metal matrix, *International Journal of refractory metals and hard materials*, 25: 328- 335
- Özdemir, Ö., İpek, M., Zeytin, S.**, Kesici takım malzemeleri, 2000, *Makine ve Mühendis*, Sayı 487
- Parys, J.-M.**, Diamond tools for the stone industry. *Diamand Boart S.A.*, 1995.

- Ren, S., Shen, X., Guo, C., Liu, N., Zang, J., He, X., Qu, X.,** 2011, Effect of coating on the microstructure and thermal conductivities of diamond–Cu composites prepared by powder metalurgy. *Composites Science and Techonology*, 71: 1550-1555
- Rodrigues, F., Azevedo, M.G., Skury, A.L.D.,** 2012, Diamonds for use in abrasive tools. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science Vol II*, San Fransisco, USA
- Sheppard, N., Dolly, B.,** 1993, Hybrid bit success for SYNDAX3 pins. *Industrial Diamond Review*, 53(6): 309–311.
- Smith, R.H., Cooley, C.H.,** 1989, Rotary drill bit with abrasion and erosion resistant facing. *US Patent*4,884,477 (December 5, 1989).
- Throat, R.R., Brahmkar, P.K., Mohan, T.R.R.,** 2004, Consolidation behavior of Cu-Co-Fe pre-alloyed powders. *International Symposium of Research Students on Materials Science and Engineering*, Chennai, India.
- Tolansky, S.,** 1967, Early historical uses of diamond tools. In *Proceedings of the International Industrial Diamond Conference ‘Science and Technology of Industrial Diamonds’*, edited by Burls, J., Vol. 2, IndustrialDiamond Information Bureau, London, pp: 341–349.
- Tönshoff, H.K., Hillman-Apmann, H., Asche, J.,** 2002, Diamond tools in Stone and çivil engineering industry: Cutting Principles, wear and applications, *Diamond and Related Materials*, 11: 736-741
- Turhan, H., Yıldız, T., Gülenç, B.,** 2007, Toz metalurjisiyle üretilen Cu/FeMn<sub>p</sub> ve Cu/FeCr<sub>p</sub> metal matrisli kompozitlerin mikroyapı ve mekanik özellikleri. Fırat Üniversitesi, *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 19(4): 569-574.
- Van Doorslaer, T.,** 1999, Coating of abrasive grains and the granulation of metal powders. In *Proceedings of International Workshop on Diamond Tool Production*, Turin, Italy, November 8–10: 83–88.
- Vishwanath, U.V.,** 2011, A Project Report On Application of Electrolytic Iron Powder for Development of Diamond Cutting Tools,
- Weber, K.,** 1995, Modern diamond segment production on cold presses and hot presses. In *Proceedings of Seminar on PM Diamond Tools*, Lausanne, Switzerland, November 2–3:48–50.
- Weber, G., Burckhardt, S.,** 1998, Economic production of diamond segments. *Industrial Diamond Review*, 58(4): 111–112.
- Wilbert, D., Angel, W., Tellez, L., Chavez J.F., Chavira, E., Verduzco, V.F.,** 2014, Effect of copper on the mechanical properties of alloys formed by powder metallurgy. *Materials&Design*, 58: 12-18

- Yalçın, B.**, 2007, Toz metalurjisi yöntemiyle imal edilen titanyum alaşımı implantların temel özelliklerinin araştırılması. *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Yılmaz, R., Özyürek, D.**, 2009, Toz metalurjisi ile üretilen Fe-Cu-C esaslı malzemelerin aşınma özellikleri. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, Türkiye.
- Zong, W.J., Li, Z.Q., Sun, T., Cheng, K., Li, D., Dong, S.**, 2010, The basic issues in design and fabrication of diamond cutting tools for ultra-precision and nanometric machining, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 50: 411-419
- URL-1**, 2015, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Elmas>, 13 Mart
- URL-2**, 2015, <http://www.wdiamant.com.tr/downloads/winterstone%20katalog.pdf>, 24 Mart
- URL-3**, 2015, [http://img.directindustry.com/images\\_di/photo-g/frame-saw-marble-100453-2976997.jpg](http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/frame-saw-marble-100453-2976997.jpg), 15 Mart
- URL-4**, 2015, <http://www.fordia.com/Content/documents/Pdf/Fr/Catalogue>, 25 Mart
- URL-5**, 2015, <http://www.diamond-grinding-wheel.com/image/dsc09804.jpg>, 25 Nisan
- URL-6**, 2015, [http://www.pharmatech.co.uk/images/products/mb400\\_drum.jpg](http://www.pharmatech.co.uk/images/products/mb400_drum.jpg), 20 Nisan
- URL-7**, 2015, <http://www.dr-fritsch.de/index.php/cpg-100-679.html>
- URL-8**, 2015, [http://www.dr-fritsch.de/tl\\_files/maschinen/kaltpressen](http://www.dr-fritsch.de/tl_files/maschinen/kaltpressen), 12 Mart
- URL-9**, 2015, [http://www.directhotpressing.com/tl\\_files/technologie/cfi\\_4-09\\_pst\\_e.pdf](http://www.directhotpressing.com/tl_files/technologie/cfi_4-09_pst_e.pdf), 12 Mart
- URL-10**, 2015, [http://www.directhotpressing.com/tl\\_files/technologie/cfi\\_4-09\\_pst\\_e.pdf](http://www.directhotpressing.com/tl_files/technologie/cfi_4-09_pst_e.pdf), 15 Mart
- URL-11**, 2015, <http://web.itu.edu.tr/~dikicioglu/Toz%20metalurjisi.pdf>, 15 Mart
- URL-12**, 2015, [http://tr.lfjscermet.com/china/high\\_temperature\\_amp\\_high\\_vacuum\\_sintering\\_furnace\\_effective\\_hy\\_sz4500-p19437.html](http://tr.lfjscermet.com/china/high_temperature_amp_high_vacuum_sintering_furnace_effective_hy_sz4500-p19437.html), 28 Nisan
- URL-13**, 2015, [http://www.lasersintering.com/images/services/sls\\_machine.gif](http://www.lasersintering.com/images/services/sls_machine.gif), 20 Nisan
- URL-14**, 2015, <http://www.msiautomation.com/images/concentrated-heating.jpg>, 18 Nisan
- URL-15**, 2015, <http://2.imimg.com/data2/NJ/RT/IMFCP-1580416/cbm300-g-f19254b2-250x250.jpg>, 25 Nisan
- URL-16**, 2015, <http://www.eurotungstene.com/-diamond-tools-metal-powders-next-keen->, 18 Aralık

**URL-17**, 2015, [http://en.wikipedia.org/wiki/Grain\\_growth](http://en.wikipedia.org/wiki/Grain_growth), 28 Nisan

## ÖZGEÇMİŞ

1981 Malatya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Malatya'da tamamladı. Lise öğrenimini Zonguldak Fen Lisesinde tamamlamıştır. 2008 yılında İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2010 yılında Tunceli Üniversitesi Meslek Yüksek Okulunda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2011 yılında Tunceli Üniversitesi'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı. Halen Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışan Ali Kemal ASLAN evli ve bir çocuk babasıdır.