

**ELAZIĞ VIŞNE MERMERİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNE
KESİCİ TAKIM MATRİS BİLEŞENLERİNİN ETKİSİ**

Sinan İnci

**Yüksek Lisans Tezi
Metalürji Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mehmet Kaplan
OCAK-2013**

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

**ELAZIĞ VIŞNE MERMERİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNE
KESİCİ TAKIM MATRİS BİLEŞENLERİNİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinan İnci

(091.122.105)

Anabilim Dalı: Metalürji Eğitimi

Programı: Döküm

Danışman: Doç. Dr. Mehmet Kaplan

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18 Ocak 2013

OCAK-2013

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELAZIĞ VIŞNE MERMERİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNE
KESİCİ TAKIM MATRİS BİLEŞENLERİNİN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinan İnci

(091.122.105)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Ocak 2013

Tezin Sunulduğu Tarih : 17 Ocak 2013

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet Kaplan (FÜ)



Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Halis Çelik (FÜ)



Prof. Dr. Hüseyin Turhan (FÜ)



OCAK-2013

ÖNSÖZ

Elazığ Vişne Mermerinin İşlenebilirliğine Kesici Takım Matris Bileşenlerinin Etkisi konusunda araştırma yapmak amacıyla bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir. Tezde kesici takım ömrünü uzatabilmek ve mermer üretim maliyetini düşürebilmek amacıyla gerekli araştırmalar yapılarak Elazığ Vişne Mermerinin İşlenebilmesine en uygun kesici takım bileşimi belirlenmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmamın her safhasında bana yol gösteren ve yakın ilgisi ile büyük destek sağlayan danışman hocam Sayın **Doç. Dr. Mehmet Kaplan**'a (Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi), Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Koordinasyon Birimine, hayatımın her safhasında ve bu çalışmam için büyük destek veren başta *anneciğim ile kardeşlerime, arkadaşlarıma* ve çalıştığım yerdeki *amir ve arkadaşlarıma* teşekkürü borç bilirim.

Sinan İnci
ELAZIĞ–2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ	XII
TABLolar LİSTESİ	XVI
KISALTMALAR	XVII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Elazığ Vişne Mermeri (EVM)	2
1.1.1. Elazığ Vişne Mermerinin Üretimi.....	4
1.2. Mermer Kesici Takımlar.....	4
1.2.1. Elmaslı Tel Kesim Yöntemi.....	6
1.2.2. Katrak Lamaları	11
1.2.3. Tepsi Testere Sistemiyle Kesim.....	13
1.2.3.1. Tepsi Testere ile İlgili Diğer İşlemler	19
1.2.3.1.1. Tepsi Testerelerin Depolanması.....	19
1.2.3.1.2. Tepsi Testerenin Tezgâha Bağlanması.....	19
1.2.3.2. Tepsi Testereli Kesim Makineleri	21
1.2.3.3. Üretime Yardımcı İşleme Makineleri	26
1.2.3.3.1. Kafa (Baş) Kesme Makinesi	27
1.2.3.3.2. Yan Kesme Makinesi	27
1.2.3.3.3. Köprü Kesme Makinesi	28
1.2.3.3.4. Düşey (Yatay) Yarma Makineleri	29
1.2.3.4. Tepsi Testereli Makinelerde Kesim İşlemi	30
1.2.3.4.1. Tepsi Testereli Makinelerde Kesme Yöntemleri	30
1.2.3.4.2. Tepsi Testereli Blok Kesicilerinde Kesim Aşamaları	32
1.2.3.5. Tepsi Testereli Makinelerde Kesim İşlemi	33
1.3. Mermer Kesici Takım Üretimi.....	37
1.3.1. Mermer Kesici Takım Tasarımı ve Bileşimi.....	37
1.3.2. Mermer Kesici Takım için Matris Seçimi.....	39
1.3.3. Mermer Kesici Takım için Elmas Tanecik Seçimi	42

	<u>Sayfa No</u>
1.3.3.1. Elmas Tanecik Tipi	42
1.3.3.2. Elmas Tanecik Boyutu	46
1.3.3.3. Elmas Öz Kütlesi	47
1.3.4. Mermer Kesici Takım Soket İmalatı	48
1.3.4.1. Metal Matris Toz Karışımının Hazırlanması	48
1.3.4.2. Metal Matris Elmas Karışımının Hazırlanması	48
1.3.4.2.1. Granülasyon (Tanecik) Haline Getirme	50
1.3.4.3. Sinterleme	50
1.3.4.3.1. Katı Hal Sinterlemesi	53
1.3.4.3.1.1. Katı Hal Sinterleme Aşamaları	53
1.3.4.3.2. Sıvı Faz Sinterlemesi	56
1.3.4.3.2.1. Sıvı Faz Sinterleme Aşamaları	58
1.3.4.3.3. Sinterlemeye Etki Eden Faktörler	59
1.3.4.3.3.1. Sıcaklık ve Süre	60
1.3.4.3.3.2. Toz Partikül Boyutu	60
1.3.4.3.3.3. Toz Karışımın Bileşimi	60
1.3.4.3.3.4. Ham Öz Kütle	60
1.3.4.3.3.5. Koruyucu Atmosferin Bileşimi	61
1.3.4.3.4. Alaşım Elementleri	61
1.3.4.3.4.1. Bakır	61
1.3.4.3.4.2. Bakır-Karbon	62
1.3.4.3.4.3. Nikel	62
1.3.4.3.4.4. Nikel-Bakır	63
1.3.4.3.4.5. Kobalt	63
1.3.4.3.4.6. Kobalta Alternatif Tozlar	64
1.3.4.4. Presleme	65
1.3.4.4.1. Soğuk Presleme	65
1.3.4.4.2. Sıcak Presleme	66
1.3.4.4.2.1. İndüksiyon ile Isıtma Yöntemi	67
1.3.4.4.2.2. Endirekt Dirençle Isıtma Yöntemi	68
1.3.4.4.2.3. Direkt Dirençle Isıtma Yöntemi	69
1.3.4.5. Bitirme İşlemleri	69
1.3.4.5.1. Çapakların Temizlenmesi	69
1.3.4.5.2. Kalite Kontrol İşlemleri	70
1.3.4.5.3. Soketlerin Testere Gövdesi ile Birleştirilmesi	70

	<u>Sayfa No</u>
1.3.4.5.4. Testerelelerin Taşlanması	71
1.3.4.5.5. Testerelelerin Balans Ayarının Yapılması	72
1.4. Mermer Kesici Takımların Aşınmasını Etkileyen Faktörler	72
1.4.1. Mermer Kesici Takım Tasarım Özelliklerinin Aşınmaya Etkisi.....	72
1.4.2. Mermer Kesici Takım Çalışma Parametreleri.....	75
1.5. Mermer Kesici Takımların Aşınma Karakteristiği.....	77
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	79
2.1. Deney Numunelerinin Üretimi	79
2.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler	79
2.3. Toz Karışımının Hazırlanması	80
2.4. Grafit Kalıbın Hazırlanması ve Sinterleme İşlemi	81
2.5. Soketlerin Testere Gövdesi ile Birleştirilmesi	85
2.6. Mermer Kesici Testerelelerin Taşlanması	87
2.7. Deney Numunelerinin Sertliğinin Ölçülmesi.....	89
2.8. Üç Nokta Eğme Deneyi	90
2.9. Öz Kütle Ölçümü	92
2.10. Mikro Yapı İncelemeleri.....	94
2.11. Elazığ Vişne Mermeri Kesme İşlemi ve Aşınma Deneyi.....	94
3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR	96
3.1. Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	96
3.2. Üç Nokta Eğme Deneyi Sonuçları	96
3.3. Öz Kütle Ölçüm Sonuçları.....	98
3.4. Mikro Yapı İnceleme Sonuçları.....	100
3.4.1. Matriste Oluşan Faz ve Bileşiklerin İkili ve Üçlü Denge Diyagramlarındaki Yerinin Belirtilmesi	101
3.4.2. SEM ve EDX incelemeleri.....	104
3.4.3. XRD incelemeleri	112
3.5. Aşınma Deneyi Sonuçları	114
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	115
KAYNAKLAR	118
EKLER	139
Fotoğraflar Listesi.....	139
Videolar Listesi	142
ÖZGEÇMİŞ	143

ÖZET

Bu çalışma, Elazığ Vişne Mermerinin (EVM) İşlenebilirliğine Kesici Takım Matris Bileşenlerinin Etkisini belirlemek amacı ile yapılmıştır. Mermer üretim maliyeti, esas itibarıyla kesici takım performansı ile kontrol edilmektedir. Mermerin kesilebilmesi için öncelikle aşınma türü ile mermer taşı arasındaki etkileyici faktörlerin belirlenmesi gerekir. Mermer kesici takımlarının aşınmasını etkileyen faktörlerin başında aşındırıcı soket matrisi ve elmas partikülleri ile kayaç özellikleri arasındaki üçlü ilişki gelmektedir. Bu çerçevede kesici takım soketini oluşturan metallerin üretim yöntemlerinin mermer kesici takım (MKT) ömrünü nasıl etkileyebileceğinin bilinmesi de önemlidir. Bu nedenle kesici takım ömrünü uzatarak mermer üretim maliyetini düşürebilmek için kesici soketler de kullanılan metal ve bileşimleri ile bunların % miktarlarının ve üretim tekniklerinin EVM ve diğer mermer taşlarına göre belirlenmesi büyük bir önem arz etmektedir.

Bu çalışmada özellikle EVM'nin kesme işleminde kullanmak amacıyla 85Cu15Sn bronzu ile %5 Co, %15 Cu ve %2-11 Ni katkılı matris bileşimine sahip elmaslı soketler toz metalürjisi (TM) yöntemiyle üretilmiştir. Ağırlıkça % 2, 5, 8 ve 11 oranlarında ve ortalama 2,5 µm tane boyutlu Nikel tozu matris bileşimine ilave edilmiş ve soketlerin üretimi 270 N basınç altında ve 670°C sinterleme sıcaklığında 4,5 dakika süreyle yapılmıştır. Hazırlanan matris karışımına toplam olarak %27 konsantrasyonunda 40/50 mesh tane boyutuna sahip sentetik elmas tozu ilave edilerek karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra bu matris karışımı sıcak presleme yöntemiyle elmaslı soket haline dönüştürülmüştür. Üretilen soketler 350 mm çapındaki çelik testere disklerine 40Ag19Cu21Zn20Cd kimyasal bileşime sahip ve 1,2 mm çaplı lehim teli ile sert lehim yapılarak birleştirilmiştir.

Soket matrislerinin gerçek öz kütleleri ile bağıl öz kütleleri Archimedes prensibine göre tespit edilip teorik öz kütleleri ile karşılaştırma yapıldı. Soket matrislerin sertlikleri Brinell Sertlik Ölçme Cihazı ile 62,5 kg yük altında ve 2,5 mm çaplı bilye kullanılarak ölçülmüştür. Soketlerin eğme mukavemeti üç noktalı eğme testi ile belirlendi.

Deney amaçlı üretilen Ni katkılı ve katkısız MKT soketlerinin kesme performansı (aşınma miktarı) Elazığ'da bulunan Alacakaya Mermer, Şaheser Mermer ve Asmer Mermer Fabrikalarındaki PLC sistemli mermer kesme makinelerinde EVM kesilerek belirlenmiştir. Soketlerin aşınma miktarı beş ayrı yerden kumpasla ölçülerek belirlenmiştir.

Soketlerin mikro yapı ve kimyasal bileşimi, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve enerji dağılımlı X-ışını spektrometresinde (EDX) tekniklerinden faydalanılarak incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda Ni ve diğer metal tozlarının MKT matrisi içerisinde oldukça homojen bir dağılım sergilediği gözlenmiştir. Ayrıca artan Ni katkı miktarı ile MKT matrislerinin sertliklerinde de artış olduğu tespit edilmiştir. Başka bir ifadeyle Ni katkı miktarı artışı ile MKT bünyesindeki gözenekli yapı azalmış olup bu azalmaya bağlı olarak numunelerin sertliklerinde bir miktar artış gözlenmiştir. Soketlerin gerçek öz kütlesi ile bağlı öz kütlelerinde de Ni ilavesine bağlı olarak artış olduğu görülmüştür. Üç noktalı eğme deneyi sonuçlarına göre %2-8 Ni katkılarında soketlerde eğme mukavemetinin arttığı, ancak daha sonra %11 Ni ilaveli numunelerde bu değerin düştüğü gözlenmiştir.

SEM incelemelerinde, elmas tozlarının ve matristeki diğer alaşım elementlerinin dağılımının düzenli olduğu ve sinterleme etkisiyle elmas tanecikleri ile matris arasındaki gözeneklerin yok denecek kadar az olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, MKT matrisi bünyesindeki Ni katkı oranının artması ile açıklanabilir. Aynı zamanda matris karışımının çok iyi sinterlendiği ve bu paralelde taneciklerin birleşerek boyun verdiği görülmüştür. Taneciklerin boyunlaşarak birleşmesi, sinterleme işleminin tam olarak amacına ulaştığı anlamına gelmektedir.

XRD incelemelerinde sinterleme işlemi etkisiyle $\text{Cu}_{327,92}\text{Sn}_{88,08}$, CoCu_2Sn , $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$, CoCu_2Sn , Co_3Sn_2 , CoNiSn , $\text{Cu}_2\text{Ni}_3\text{Sn}_3$, CoSn , Co_3Sn_2 , NiSn , Cu_5Sn , Ni_4Sn , CuNi_2Sn , CuSn , Co_3Sn_5 , Cu_9NiSn_3 , $\text{Cu}_{5,6}\text{Sn}$, CoNiSn , Ni_4Sn faz ve bileşiklerin oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca önemli bir bulgu olarak %8–11 Ni katkılı matrislerin XRD incelemesinde monoklinik yapı olan η -Bronzu (Cu_6Sn_5) kırılğan fazının oluştuğu gözlenmiştir.

Diğer bir önemli bir bulgu ise NR (Referans Numunesi) dahil N1, N2 ve N3'te Co_3C fazı, N4'te ise CoC_x fazı oluşmuştur. Ayrıca % 11 Ni katkılı N4 numunesinde $\text{Co}_3\text{C} \rightarrow \text{CoC}_x$ dönüşümü gerçekleşmiştir. Bu tespit aşınma sonuçları ile karşılaştırılırsa; özellikle %8–11 Ni'li numunelere ait aşınmış yüzey fotoğraflarında aşınma çizgilerinin iyice azalması şeklinde kendini göstermiştir. Bu da %2-11 Ni katkılı matris malzemesinin aşınma mukavemetinin referans malzemesine göre daha artmış olduğunu göstermektedir.

Maksimum gerilme ve kopma gerilmesi değerlerinde %8 Ni katkısına kadar artma, %8–11 Ni katkılarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu azalmaya %8–11 Ni katkılarının etkisi ile matriste oluşan η -Bronzu (Cu_6Sn_5) kırılma fazının sebep olduğu düşünülmektedir. Hatta matriste oluşan η -Bronzu fazının sertlik artışının da bir nedeni olduğu düşünülmektedir. Bu arada Ni katkılı MKT'lerde Ni ilave miktarının artışı ile aşınma dirençlerinde de bir miktar artış olduğu görülmüştür. En yüksek aşınma direnci % 11 Ni katkılı numunelerde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mermer Kesici Soketi, 85Cu15Sn, Cu, Co, Ni, Mermer Kesici Takım Matrisi, Sıcak Presleme, Toz Metalürjisi, Mermer Kesici Takım Aşınması, Elazığ Vişne Mermeri, η -Bronzu...

SUMMARY

In this study, *the Effect of Cutting Tool Matrix Components Elazig Cherry Marble workability* was conducted to determine. A marble production cost, mainly with the performance of the cutting tool is controlled. In order to cut marble, marble stone between the impressive factors first necessary to determine the type of wear. Marble cutting tools at the beginning of the factors affecting is three-way relationship between the abrasive wear of the socket matrix and the diamond particles with the characteristics of the rock. In this context, marble cutting tool life of the cutting tool socket forming metals also important to know how you can influence. For this reason, the marble to reduce production costs by extending life of the cutting tool for used of sockets for cutting metal, and combinations % of these amounts and production techniques according to Elazig Cherry Marble and other marble stones determination is of great importance.

In this study, especially in cutting process Elazig Cherry Marble in order to use, 85Cu15Sn bronze with 5% Co, 15% Cu and 2-11% Ni added diamond has a combination of matrix sockets made of powder metallurgy method. It was added by weight of 2, 5, 8 and 11 percent and the average particle sizes of 2.5 μm of powder nickel and the sockets in the production matrix composition under 270 N pressures and the sintering temperature of 670°C was performed for 4.5 minutes. By the addition of the prepared matrix mixture at 27% concentration of 40/50 mesh particle size synthetic diamond powder was stirred with a mixer. Then a mixture of the matrix, with method of hot pressing is transformed into a diamond socket. The produced sockets, 40Ag19Cu21Zn20Cd chemical composition and 1.2 mm diameter solder wire with combined brazing done...

The socket matrices the densities of the real with the density of relative according to the principle of Archimedes determined and were compared with the theoretical densities. Socket matrix hardness Brinell Hardness Tester with a 62.5 kg load and 2.5 mm in diameter using a ball were measured. Sockets flexural strength was determined by three-point bending test.

Built as an experimental Ni-doped and undoped Marble Cutting Tool sockets cutting performance (amount of wear) in Elazig Alacakaya Marble, Şaheser Marble and Asmer Marble factories PLC system marble cutting machines were located Elazig Cherry Marble cutting.

The sockets amount of wear determined by measuring a compass from five separate. Microstructure and chemical composition of the sockets, scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD) and energy dispersive X-ray spectrometer (EDX) techniques were benefiting.

As a result of experimental studies, Ni and other metal powders in of marble cutting tool exhibited a very homogeneous distribution. Also additives increasing the amount of Ni hardness of Marble Cutter Tool matrices has been determined that an increase. In other words, Ni Marble Cutting Tool within the porous structure with an increased amount of the contribution has been reduced and the amount of this reduction depending on the hardness of the samples increased. Sockets relative to the mass of the actual self-bodies were also increased due to the addition of Ni. According to the results of the three-point bend test sockets bending strength increased by 2-8% Ni additives, but then this value will fall 11% Ni-added specimens.

SEM examination, diamond powders and other matrix, the effect of alloying elements and sintering the diamond particles and the regular distribution of the pores of the matrix was found to be negligible. This contribution Marble Cutting Tool with increasing Ni can be explained within the matrix. At the same time mixture of matrix when sintered a very good and in parallel particles combine has been found that the neck. The combinations of the particles in the neck, the sintering process are exactly the purpose of the reaches of the means.

XRD patterns of the effect of the sintering process, $\text{Cu}_{327,92}\text{Sn}_{88,08}$, CoCu_2Sn , $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$, CoCu_2Sn , Co_3Sn_2 , CoNiSn , $\text{Cu}_2\text{Ni}_3\text{Sn}_3$, CoSn , Co_3Sn_2 , NiSn , Cu_5Sn , Ni_4Sn , CuNi_2Sn , CuSn , Co_3Sn_5 , Cu_9NiSn_3 , $\text{Cu}_{5,6}\text{Sn}$, CoNiSn , Ni_4Sn phases and the compounds was detected. It is also important as finding matrices with added 8-11% Ni the XRD examination of the monoclinic structure η -Bronze (Cu_6Sn_5) phase is observed fragile.

Another important finding is NR (reference sample), including the N1, N2 and N3 Co₃C phase, in N4 CoC_x phase is formed. In addition, 11% Ni-added sample N4 Co₃C→CoC_x transformation took place. This finding is compared with the results of wear, particularly photographs of worn surfaces of 8-11% Ni added samples showed itself in the form of reduced wear lines thoroughly. This is added to 2-11% Ni matrix material has an increased wear strength than the reference material.

Maximum stress and tensile stress values up to 8% increase in the contribution of Ni, 8-11% Ni additives were found to be decreased. This is a decrease of 8-11% Ni matrix with the effect of the contributions of η -Bronze (Cu₆Sn₅) is thought to be caused by brittle phase. Even with the increase in hardness of the matrix phase comprising η -Bronze is thought to be a reason. In the meantime, an additional amount of Ni marble cutting tools Ni added a slight increase with the increase of wear resistance has been observed. 11% Ni added to the samples that high abrasion resistance is obtained.

Keywords: Marble Cutter Socket, 85Cu15Sn, Cu, Co, Ni, Marble Cutting Tool Matrix, Hot Pressing, Powder Metallurgy, Marble Cutting Tool Wear, Elazig Cherry Marble, η -Bronze ...

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Elazığ Vişne Mermeri.....	1
Şekil 1.2. Elmas tel kesme yönteminin şematik görünümü	7
Şekil 1.3. Çelik tel halat	8
Şekil 1.4. Elmaslı boncuklar.....	9
Şekil 1.5. Elmaslı teller	10
Şekil 1.6. Elmaslı tel ile kesme makinesi	10
Şekil 1.7. Katrak kesme makinesinin şematik görünümü	11
Şekil 1.8. Katrak lama soket çeşitleri	11
Şekil 1.9. Elmaslı katrak lama soketi	11
Şekil 1.10. Katrak testere laması	12
Şekil 1.11. Katrak makinesi	12
Şekil 1.12. Elmas tane büyüklüğü ile kesilen doğal taş arasındaki ilişki.....	13
Şekil 1.13. Elazığ Vişne Mermeri Kesici Tepsi Testere	14
Şekil 1.14. Flanşla testerenin bağlanması	20
Şekil 1.15. Tek testereli dairesel blok kesim makinesi	22
Şekil 1.16. İki testereli dairesel blok kesim makinesi.....	23
Şekil 1.17. Dev tepsi testere ile blok kesim makinesi.....	23
Şekil 1.18. Tepsi testereli blok kesim makinesi.....	24
Şekil 1.19. Çift ayaklı tepsi testereli blok kesim makinesi	25
Şekil 1.20. Dört ayaklı tepsi testere ile blok kesim makinesi.....	26
Şekil 1.21. Kafa (Baş) kesme makinesi	27
Şekil 1.22. Yan kesme (enine boyutlandırma) makinesi	28
Şekil 1.23. Köprü kesme makinesinin hareketlerini gösteren şematik görünüm	29
Şekil 1.24. Köprü kesme makinesi	29
Şekil 1.25. Yatay yarma makinesi.....	30
Şekil 1.26. Düşey yarma makinesi	30
Şekil 1.27. Yukarı kesme (a) ve aşağı kesme (b) yöntemlerinin görünümü	31
Şekil 1.28. Kesim alanının şematik olarak görünümü	33
Şekil 1.29. Kesici elmastaki potansiyel gerilme dağılımı	34
Şekil 1.30. Talaş oluşumu sırasında meydana gelen üç aşama.....	35
Şekil 1.31. Kesme sırasında küre şekilli elmas tanenin talaş oluşturma prensibi	36
Şekil 1.32. Değişik amaçlarla kullanılan soket çeşitleri	37

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.33. Eğimli soketlerin görünüşü.....	38
Şekil 1.34. Normal, sandviç ve çok tabakalı soketin aşınma şekli.....	38
Şekil 1.35. Doğal elmas aşındırıcılar (a) çok tabakalı yüzey (b) ovalleştirilmiş yüzey	43
Şekil 1.36. Sentetik elmas aşındırıcılar (a) Co esaslı sentetik elmas (b) Ni esaslı sentetik elmas	43
Şekil 1.37. Çeşitli sentetik elmas taneciklerinin gösterimi.....	45
Şekil 1.38. Granülasyon yapılmış matris tozu	50
Şekil 1.39. Küresel partiküller için katıhal sinterleme aşamaları.....	54
Şekil 1.40. Katı hal sinterlemesi sırasında gözeneklerin kapanması	55
Şekil 1.41. Geleneksel sıvı faz sinterlemesi ve bağıntılı mikro yapısal değişimler	58
Şekil 1.42. Sıvı faz sinterlemesinde aşamaların şematik olarak gelişimi.....	59
Şekil 1.43. Gözenek miktarının mekanik özelliklere etkisi.....	61
Şekil 1.44. Ni-esaslı alaşım tozlarının SEM görüntüsü	65
Şekil 1.45. Serbest haldeki ve (a) soğuk preslenmiş (b) toz karışımlarının grafit kalıba yerleşimi .	66
Şekil 1.46. Sıcak presleme işleminin şematik resmi	66
Şekil 1.47. İndüksiyon ile kalıbın ısıtılması.....	67
Şekil 1.48. Endirekt ısıtma tekniği.....	68
Şekil 1.49. Direkt ısıtma tekniği.....	69
Şekil 1.50. Elmaslı tepsi testerelerde çap, soket et kalınlığı ve soket adedi arasındaki ilişki.....	73
Şekil 1.51. Testerenin sabit yönde dönmesinde elmas tanesinin çıkıntısı ve matris desteği	74
Şekil 1.52. Elmas tanesinin aşınma mekanizması	75
Şekil 1.53. Çeşitli kayaların kesiminde tepsi testerelerin aşınması ve kesme yükleri ile ilişkisi	76
Şekil 2.1. Sinterleme işleminde Sıcaklık-Zaman-Basınç değişimi.....	79
Şekil 2.2. Metal toz karıştırıcı	80
Şekil 2.3. Metal tozların tartılması; (a) tara alımı, (b) metal toz tartımı	80
Şekil 2.4. İlk karışımı tamamlanan tozlara (a) PEG ve (b) bilye katımı	81
Şekil 2.5. Karışımı tamamlanan tozların tartımı ve paketlenmesi	81
Şekil 2.6. Kalıp hazırlanması ve tozların kalıba yerleştirilmesi.....	82
Şekil 2.7. Kalıbın sinterleme kabineye yerleştirilmesi ve termokuplun takılması	83
Şekil 2.8. Grafit kalıbın şematik görünüşü	84
Şekil 2.9. Sıcak pres sinterleme makinesinin sıcaklık, zaman, basın göstergesi.....	84
Şekil 2.10. Sinterleme anında kalıbın görünüşü, (a) PEG'in yandığı an,(b) ve (c) sinterleme anı..	84
Şekil 2.11. Sinterleme işleminin gerçekleştirildiği kalıbın açılması	85
Şekil 2.12. Soketlerin temizlenmesi	86
Şekil 2.13. Sert lehim yapılmış soketin detay görünümü.....	86
Şekil 2.14. Soketlerin çelik gövdeye kaynak edilmesi	87

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.15. Tamamlanmış elmaslı tepsi testereler	87
Şekil 2.16. Testerenin taşlanması; (a),(b),(c) testerenin taşa bağlanması, (ç) alın taşlama,..... (d) yanak taşlama.....	88
Şekil 2.17. Taşlanmış ve balansı alınmış mermer kesme işlemine hazır hale getirilmiş Ø350'lik.. tepsi testereler	88
Şekil 2.18. Brinell Sertlik Ölçümü yük ve iz çapının görünüşü	89
Şekil 2.19. (a) BSD Ölçüm Cihazı (b) ölçüm aparatı, tablası ve ölçüm anı (c) ölçüm ekranı	90
Şekil 2.20. Sertlik Ölçümü yapılan numune	90
Şekil 2.21. (a) Üç nokta eğme deneyi aparatının şematik görünümü (b) üç noktalı eğme testi..... düzeneği	91
Şekil 2.22. Öz kütle ölçme düzeneği mezür ve hassas terazi	93
Şekil 2.23. Üretilen testereler ile Elazığ Vişne Mermerinin kesilmesi	94
Şekil 2.24. Kesilen Elazığ Vişne Mermeri	95
Şekil 3.1. Ni katkı oranına bağlı olarak BSD değerleri değişim grafiği	97
Şekil 3.2. Ni katkı oranına bağlı kopma gerilmesi diyagramı.....	98
Şekil 3.3. Ni katkı oranına bağlı max gerilme diyagramı.....	98
Şekil 3.4. Soketlerin % Ni içeriğine bağlı olarak gerçek öz kütle değişim grafiği.....	100
Şekil 3.5. % Nikel değişiminin bağlı öz kütleye etkisi.....	101
Şekil 3.6. Cu-Sn ikili faz diyagramı.....	102
Şekil 3.7. Cu-Sn-Ni üçlü faz diyagramı.....	102
Şekil 3.8. Ni-Cu denge diyagramı	103
Şekil 3.9. Co-Cu Faz Diyagramı	103
Şekil 3.10. Co-C denge diyagramı	104
Şekil 3.11. Soket üretiminde kullanılan 85Cu15Sn bronz tozunun (a) SEM fotoğrafı ve (b) XRD grafikleri.....	104
Şekil 3.12. Soket üretiminde kullanılan sentetik elmasın SEM fotoğrafı.....	104
Şekil 3.13. Ni katkısız referans numunesinin 10000 büyütme SEM fotoğrafı.....	105
Şekil 3.14. Ni katkısız referans numunesinin 100 büyütme SEM fotoğrafı.....	105
Şekil 3.15. Ni katkısız matrisin SEM ve EDX fotoğrafı.....	106
Şekil 3.16. %2 Ni katkılı matrisin 10.000 büyütme SEM fotoğrafı	106
Şekil 3.17. %2 Ni katkılı matrisin 100 büyütme SEM fotoğrafı	107
Şekil 3.18. % 2 Ni katkılı matrisin SEM ve EDX fotoğrafı	107
Şekil 3.19. %5 Ni katkılı matrisin SEM fotoğrafı ve EDX analizi.....	108
Şekil 3.20. %5 Ni katkılı matrisin 100 büyütme SEM fotoğrafı	108
Şekil 3.21. % 5 Ni katkılı matrisin SEM ve EDX fotoğrafı	109
Şekil 3.22. %8 Ni katkılı matrisin 10.000 büyütme SEM fotoğrafı	109

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.23. %8 Ni katkılı matrisin 35.000 büyütme SEM fotoğrafı	110
Şekil 3.24. %8 Ni katkılı matrisin 100 büyütme SEM fotoğrafı	110
Şekil 3.25. % 8 Ni katkılı matrisin SEM ve EDX fotoğrafı	111
Şekil 3.26. %11 Ni katkılı matrisin SEM fotoğrafı	111
Şekil 3.27. %11 Ni katkılı matrisin 100 büyütme SEM fotoğrafı	112
Şekil 3.28. % 11 Ni katkılı matrisin SEM ve EDX fotoğrafı	112
Şekil 3.29. Ni katkısız matrisin XRD analizi	113
Şekil 3.30. %2 Ni katkılı matrisin XRD analizi.....	113
Şekil 3.31. %5 Ni katkılı matrisin XRD analizi.....	114
Şekil 3.32. %8 Ni katkılı matrisin XRD analizi.....	114
Şekil 3.33. %11 Ni katkılı matrisin XRD analizi.....	115
Şekil 3.34. % Nikel değişiminin aşınma oranına etkisi.....	115
Şekil 3.35. Nikel Katkısız Nr numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı	116
Şekil 3.36. Nikel Katkısız Nr numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı	116
Şekil 3.37. %2 Ni katkılı N1 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı	117
Şekil 3.38. %2 Ni katkılı N1 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı	117
Şekil 3.39. %5 Ni katkılı N2 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı	118
Şekil 3.40. %5 Ni katkılı N2 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı	118
Şekil 3.41. %5 Ni katkılı N2 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı	119
Şekil 3.42. %8 Ni katkılı N3 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı	119
Şekil 3.43. %8 Ni katkılı N3 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı	120
Şekil 3.44. %8 Ni katkılı N3 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı	120
Şekil 3.45. %11 Ni katkılı N4 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı	121
Şekil 3.46. %11 Ni katkılı N4 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı	121

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Elazığ Vişne Mermerinin Kimyasal Özellikleri.....	2
Tablo 1.2. Elazığ Vişne Mermerinin Fiziksel özellikleri.....	3
Tablo 1.3. Katraklarda kesme verimine etki eden parametreler.....	13
Tablo 1.4. Tepsi testere çapı ve su ihtiyacı.....	16
Tablo 1.5. Tepsi testere çapları ile fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler	17
Tablo 1.6. Tepsi testere çapına karşın testere çevresel hızı ve gerekli motor devri ilişkisi.....	18
Tablo 1.7. Tepsi testere üreticilerince önerilen çevresel hızlar	19
Tablo 1.8. Tepsi testere çapları ile flanş ölçüleri arasındaki ilişkiler	20
Tablo 1.9. Tepsi testerelerin sınıflandırılması	21
Tablo 1.10. Soket üretimi sınırlamaları	41
Tablo 1.11. Aşınan soketin 1 cm ² alanındaki yüzeye çıkmış elmasların toplam sayısı	47
Tablo 1.12. Tepsi testerelerde lazer kaynağı ile lehimlemenin karşılaştırılması	71
Tablo 2.1. Soket üretiminde kullanılan matris grupları ve üretim parametreleri	80
Tablo 2.2. Lehim telinin özellikleri.....	86
Tablo 2.3. Doğal taş kesme parametreleri	95
Tablo 3.1. Sıvının öz kütlesinin bulunması	98
Tablo 3.2. Gerçek öz kütle sonuçlarını bulma.....	98
Tablo 3.3. % Nikele bağlı olarak numunelerin teorik ve gerçek öz kütleleri	98

KISALTMALAR

85CuSn15	:Bronz
A	:Deforme olmamış talaş alanı
AC	:Alternatif akım
AISI	:Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
Al₂O₂	:Alüminyum Oksit
ASTM	:Amerikan Malzeme ve Test Standardı
B	:Numunenin sıvı içerisindeki ağırlığı
B	:Kaldırılan alanın yarıçapı
b	:Numune genişliği
BN	:Bor Nitrür
BSD	:Brinell Sertlik Ölçüm Yöntemi
C	:Numuneye göre değişen katsayı
CaO	:Kalsiyum Oksit
CO	:Karbon monoksit
CO₂	:Karbon dioksit
D	:Bilye Çapı
d	:İz Çapı
D	:Flanş sapı
D	:Kesme derinliği
DC	:Doğru akım
dk	:Dakika
dv	:Devir
EDX	:Enerji dağılımlı X-ışını spektrometresi
EVM	:Elazığ Vişne Mermeri
F	:Kırılma anında numuneye uygulanan kuvvet
Fe₂O₃	:Hematit
G	:Basma yüzeyi
H	:Blok yüksekliği

h	:Numune yüksekliği
H	:Flanş kalınlığı
H	:Bıçak çapı
HB	:Brinell Sertliği
hp	:Beygir Gücü
J	:Flanş fatura derinliği
K₂O	:Potasyum Oksit
L	:Destek noktaları arasındaki mesafe
L	:Blok boyu
MgO	:Magnezyum Oksit
Mohs	:Mineral Sertlik Skalası
MTA	:Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MKT	:Mermer Kesici Takım
N₁	:Numune 1
N₂	:Numune 2
N₃	:Numune 3
N₄	:Numune 4
N_R	:Referans Numunesi
Na₂O	:Sodyum Oksit
Ni(CO)₄	:Nikel karbonil
P	:Yük
P	:Eğme Mukavemeti
PEG	:Polietilen Glikol Yağlayıcı
pH	:Hidrojen Gücü
PLC	:Programlanabilir sayısal kontrol sistem
R	:Çentik kuvveti
rpm	:Dakika devir sayısı
sa	:Saat
SEM	:Taramalı Elektron Mikroskobu
SIC	:Standart Endüstriyel Sınıflandırma

SiO₂	:Silisyum Oksit
SnBz15	:85Cu15Sn Bronzu
sn	:Saniye
ST	:Yan kesme
t	:Kesim süresi
TiO₂	:Titanyum Oksit
TI	:Tokluk indeksi
TM	:Toz Metalürjisi
TTI	:Termal tokluk indeksi
V	:Volt
V	:Kesim hızı
vb	:ve benzeri
WC	:Tungsten karbür
XRD	:X Işını Kırınımı

SEMBOLLER LİSTESİ

α	:Alfa
β	:Beta
η	:Eta
$\emptyset$	:Çap
σ	:Sigma
$<$	:Küçük
$>$	:Büyük
$/$	:Bölü
$\sqrt{}$	:Var
X	:Yok
x	:Çarpı
%	:Yüzde
$^{\circ}$	:Derece
$^{\circ}\text{C}$	:Santigrat derece
μm	:Mikrometre
ρ	:Sıvının öz kütlesi
ρ	:Gerçek öz kütle
σ_b	:Ortalama basınç yerindeki gerilme
c'	:Sınırlayıcı faktör
a	:Soketteki yükseklik kaybı
A	:Numunenin havadaki ağırlığı
Ag	:Gümüş
B	:Bor
C	:Karbon
c	:Matris ile kayaç arasındaki açıklık
Cd	:Kadmiyum
cm	:Santimetre
cm²	:Santimetre Kare

cm³	:Santimetre Küp
Co	:Kobalt
Cr	:Krom
Cu	:Bakır
d	:Kesme derinliği
d	:Numune öz kütlesi
d_{eq}	:Talaş kalınlığı
d_c	:Elmas kesme derinliği
d_p	:Çalışma yüksekliği
d_s	:Ölçümün yapıldığı sıcaklıktaki sıvının öz kütlesi
e	:Çentik kuvveti sonucunda ortaya çıkan talaşın kopma açısı
F	:Kuvvet
Fe	:Demir
F_n	:Normal kuvvet
F_t	:Teğet kuvveti
gr	:Gram
GPa	:Giga Paskal
h_m	:Deforme olmuş azami talaş kalınlığı
h_p	:Çalışma yüksekliği
kg	:Kilogram
kgf	:Kilogram Kuvvet
K_k	:Kardırma Kuvveti
kN	:Kilo Newton
kV	:Kilovolt
kW	:Kilowatt
l	:Litre
l_k	:Deforme olmayan talaş yüzeyi
m	:Metre
m²	:Metrekare

m_s	:Sıvı Ağırlığı
m_{sm}	:Sıvı+mezür ağırlığı
m_m	:Mezür ağırlığı
m_n	:Numune Ağırlığı
mA	:Mili Amper
ml	:Mililitre
mm	:Milimetre
mm²	:Milimetrekare
MPa	:Mega Paskal
N	:Newton
N_A	:Elmasın birim yüzey alanında kesici köşe sayısı
Ni	:Nikel
P	:Fosfor
p	:Ortalama basınç
ρ	:Deneysel olarak ölçülmüş öz kütle
ρ_b	:Bağıl öz kütlesi
ρ_k	:Toz karışım oranları esas alınarak hesaplanan teorik öz kütlesi
ρ_k	:Toplam öz kütle
ρ_k	:Teorik öz kütle
ρ_m	:Matrisin öz kütlesi
ρ_t	:Takviye elamanının öz kütlesi
r	:Kesilen Mermer Miktarı
s	:Aşınma Oranı
Si	:Silisyum
Sn	:Kalay
V_Ç	:Tepsi testerenin dönme hızı
V_K	:Malzemenin ilerleme hızı
V_s	:Sıvı Hacmi

V_n	:Numune Hacmi
Zn	:Çinko
W	:Tungsten
w_t	:Takviye elamanının ağırlıkça oranı
w_m	:Matrisin ağırlıkça oranı

1. GİRİŞ

İlkçağlardan beri insan yaşamında kullanılan mermeri insanoğlu ilkin sadece yapı taşı olarak kullanılmış. Uygarlığın ilerlemesi ile süsleme ve sanat tasarımı amacı ile de kullanılan mermer, her devirde önemli bir yapı malzemesi olarak kullanılmıştır ve insan yaşamındaki önemini kaybetmemiştir. Bu nedenle mermer üreticiliği günümüzün önemli sanayi dallarından biri hali olmakla beraber Mermer Kesici Takım (MKT) imalatı da sektörle birlikte önem kazanıp gelişmektedir.

İyi bir MKT üretebilmek için mermer taşlarının yapısal özelliklerini ve işlenebilirlik güçlüklerinin bilinmesi gerekir. Mermer taşlarını işlenebilirlik güçlüğüne göre petrol yeşili, granit, traverten ve Elazığ Vişne Mermeri (EVM) şeklinde sıralamak mümkündür. Ayrıca mermerler bulundukları yere ve özelliklerine göre de isimlendirilirler. Bu tip isimlendirilmeye; Afyon Şeker, Afyon Kaymak, Marmara Mermeri, Elazığ Bej, EVM gibi kayaçlar örnek olarak verilebilir. Bunlardan dünyada sadece Elazığ yöresinde çıkarılan EVM kırmızı veya bordo zemin üzerine beyaz harelî damarların dağıldığı güzel bir görünüme sahip olması sebebi ile dünya çapında arz edilen tek tür taştır.



Şekil 1.1. Elazığ Vişne Mermeri

Mermer üretim maliyetini doğrudan etkileyen en önemli faktör MKT imalatıdır. MKT'ler genel olarak Toz Metalürjisi (TM) yöntemiyle üretilmektedir. Bu yöntemle üretilen MKT'lerde kesme işlemini kolaylaştırmak için metal matris sentetik elmas takviyesi ile güçlendirilir. MKT'lerde sentetik elmas tanecikleri bir miktar aşınması, buna paralel olarak matris malzemesinin de bir miktar aşması beklenir ve aynı zamanda da elmas taneciklerinin aşınıncaya kadar yerinde kalmalıdır.

Bu çalışmada MKT matris malzemesi olarak bronz (85Cu15Sn), bakır (Cu) ve kobalta (Co) ilave olarak değişik oranlarda nikel (Ni) ilavesiyle sabit oranda 40/50 mesh sentetik elmas takviye edilerek soket numuneleri üretildi. Bu soketler Ø350'lik testere gövdelerine sert lehim yöntemiyle lehimlenerek EVM üzerinde aşınma deneyleri yapıldı. Ayrıca üretilen bu elmaslı soket numunelerinin kırık yüzeylerinden SEM-EDX ve XRD incelemeleri yapıldı. Daha sonra her numune grubundan üç soket üzerinde sertlik deneyi, üç nokta eğme deneyi ve öz kütle ölçümleri yapıldı. Elde edilen deney sonuçlarının EVM'nin işlenmesinde kullanılan elmaslı MKT üretimi açısından çok anlamlı olabileceği sonucuna varılmıştır.

1.1. Elazığ Vişne Mermeri (EVM)

Elazığ ili Alacakaya ilçesi Güleman çevresinde bulunan EVM, Rosso Levanto ismi ile uluslararası alanda kabul görmüş volkanik sedimanter tektonik breş mermerdir (Gümüş vd., 2010). EVM kırmızı, yeşil renkli çakılların gene aynı renkli çimento ile tutturulmasıyla oluşmuştur.

Breş taneleri; harzburjit, kireçtaşı, radyolarit, yastık lavalar ve çamur taşlarının mikrit çimento ve kalsit damarlarının bağlanması sonucunda oluşmuştur. Taneler, köşeli ve az yuvarlak ve bazen de yuvarlak parçalardan oluşmadır. EVM kıta içinde açılmış riftin oluşturduğu derin hendekte birikimi sonucu oluştuğu düşünülmektedir (URL-1, 2008).

EVM tektonik breş olup kaba görünüşlü karsit veya mikrit çimento ile tutturulmuştur. Mermer ocaklarının bulunduğu bölgede kırmızı ve yeşil parçalar mikritik çimentoya çevrilir. Yeşil parçalar içinde gözlenen kırmızı oluşumların kökeni harzburjitlere dayanır. Serpantin minerallerinde kalsitleşme ve paslaşma görülmektedir ve bu yapıda da bol miktarda opak mineral bulunur.

Tablo 1.1. Elazığ Vişne Mermerinin Kimyasal Özellikleri (URL-2, 2011):

SiO ₂	%19,60	Na ₂ O	%38,97
Fe ₂ O ₃	%7,41	K ₂ O	%1,31
MgO	%14,85	TiO ₂	%0,00
CaO	%29,93	Al ₂ O ₂	%0,109

EVM yapısında bulunan kırmızı rengi, kırmızı çamur taşlarından alır ve rengi veren esas mineral demir cevheridir. Siyah breşleri gabro, bağlayıcı madde (matris) ise kalsittir. Kısmen bulunduğu çevrede bulunun krom ve bakır yataklarının da etkisi ile mikalaşmış piritleri ve dünitleri EVM'nin yapısında görmek mümkündür.

EVM'nin oluşumunda tektonizmanın etkisi büyük olmakla beraber bölgedeki ofiyolit ve yan kayaçların etkisi yüksektir.

EVM benzeri bir mermer (sadece desen ve renk tonu olarak EVM’yi andıran bir ürünün) EVM çıkarılmadan önce İtalya’da çıkarılmış. Ancak Elazığ’da çıkan EVM’nin diğer üründen daha kaliteli ve albenili olduğundan İtalya’daki ocakların kapatılmıştır. Bunun sonucunda EVM dünyada tek olma özelliği almıştır (URL-3, 2011).

Tablo 1.2. Elazığ Vişne Mermerinin Fiziksel özellikleri(URL-2, 2011; URL-4, 2010):

Birimi	Ölçüm Değeri	Numune Boyut	Uygulanabilen İşlemler
Mohs Sertliği(URL-5, 2012)	3,5-4 Mohs	1 x 30,5 x 30,5	Çimento Dolgu: X
Shore Sertliği	53 Mohs	1 x 30,5 x 30,5	Epoxy Dolgu: X
Birim Hacim Ağırlık	2,69 gr/cm ³	1,2 x 45,7 x 45,7	Honlama: √
Ağırlıkça Su Emme	%0,7	2 x 30 x 30	Fırçalama: √
Görünür Gözeneklilik	%1,86	2 x 30 x 60	Çekiçleme: √
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	94,5 MPa	2 x 40 x 40	Cilalama: √
Don Sonrası Dayanımı	77,52 MPa	2 x 40 x 60	Kenar Kırma: √
Çekme Dayanımı	8,54 MPa	2 x 60 x 60	Eskitme: √
Eğilme Dayanımı	13,50 MPa	3 x 30 x 60	
Darbe Dayanımı	1,2 MPa	3 x 40 x 40	
Elastite Modülü	19,7 GPa	2 cm plaka	
Böhme (SIC)	34,00 cm/50 cm ²	3 cm plaka	
Böhme (Korund)	23,20 cm/50 cm ²	3 cm plaka	

Eti Holding’e ait İR:1496 numaralı ruhsatlı EVM sahasının rezervini ortaya çıkarmak için ücretli etüt proje kapsamında yapılan 342,70 metrelik sondaj ilerlemesinin, 210,95 metresi cevherli alanda olmuştur. Cevherli kesimlerdeki karot verimi %96,0 ve kuyuların genel karot verimi ise %84,0 olmuştur.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda EVM 530.306 ton görünür ve 16.562 ton muhtemel rezerv saptanmıştır. EVM A, B ve C kalitelerden oluşmaktadır. Yeşilli alanın görünür rezervi 119.678 ton, muhtemel 31.839 ton ve 162.162 ton da mümkün rezerv belirlenmiştir.

EVM, sedimanter kökenli tektonik breş olup kretase yaşlı olduğu düşünülmektedir. Breş taneleri; harzburjit, kireçtaşı, radyolarit, yastık lavalara ve çamur taşlarının mikrit çimento ve kalsit damarlarının bağlanması sonucunda oluştuğu belirtilmektedir. Taneler, köşeli ve az yuvarlak ve bazen de yuvarlak parçalardan oluşmaktadır. EVM, kıta içinde açılmış riftin oluşturduğu derin hendekte birikimi sonucu ile oluştuğu düşünülmektedir.

Dünyada tek olma özelliği taşıyan EVM Çankaya Köşkü, Beyaz Saray, kutsal topraklardaki Safa ve Merve Tepeleri arası, Dubai’deki 7 yıldızlı otel başta olmak dünyanın en seçkin yapılarını süslemektedir (URL-3, 2011).

1.1.1. Elazığ Vişne Mermerinin Üretimi

Dağların altında yatan dünyanın en özel mermerlerinden olan EVM, zorlu bir çalışmayla blok olarak gün ışığına çıkartılıp çoğunlukla blok ya da yarı mamul ürün olarak üretilir. EVM üretimi diğer mermer ocaklarındaki üretim yöntemlerinden farklıdır. Kireçtaşlarında yüksek aynalar oluşturulabilmektedir. Rezerv ve oluşum ortamına bağlı olarak geniş yüzeylerde çalışmak mümkündür; ancak EVM için durum farklıdır.

Rezervin tamamı Elazığ ili Alacakaya ilçesinde bulunan EVM, kırsalda yapılan zemin etüdünün ardından belirlenen dağlarda çıkarılır. İlk önce üst tarafı temizlenen rezerv alanı daha sonra iş makineleri ile kazılarak “patates” diye adlandırılan şekillerde açığa çıkarıp üretime hazır hale getirilir.

Üretim sırasında ortaya çıkan büyük kütleler halindeki EVM, yapının alt tarafına terazide ve düzgün iki delik delinir. Daha sonra kılavuz halatlar yardımı ile deliklerden geçirilen elmas soketli teller ile kesim işlemi yapılır. Alt tarafı kesilen mermerlerin daha sonra yan tarafları da kesilerek bulunduğu parçadan bağımsız bırakılır. Bağımsız kalan mermerler tekrar elmas tel soket kullanılarak ‘blok’ denilen hale getirilir. Ürünün kıymetli olması hesabı ile düzgün köşeli kesimlerin olmadığı iri boyuttaki molozların iki ya da üç yüzü kesilerek blok haline getirilip işlenmek üzere fabrikaya gönderilir.

İşin zor kısmı mermeri ortaya çıkarmak olarak görülse de mermere asıl can veren işlemler fabrikada başlar. Blok olarak fabrikaya getirilen mermerler katrak kesme makinelerine konularak daha küçük bloklar haline getirilir. Bu bloklar daha sonra kimyasal bir maddeyle kaplanıp fırınlanır. Fırından çıkartılan mermerler siparişe göre uygun boyutlarda kesilip verniklenir ve alıcıya arz edilir.

EVM içerdiği silislerden taşın kesimi diğer mermerlere göre daha zor ve daha uzun sürer. Bu yüzden bu taşın kesimi için uzun ömürlü ve dayanıklı bir MKT üretimi yapmak için bu tez çalışmasında soketlerin ana matris bileşeni değişen nikel oranları ile aynı oranda elmas ile güçlendirilerek üretilmiştir.

1.2. Mermer Kesici Takımlar

MKT üretenler EVM’yi ve EVM’nin uygulama şartlarını göz önünde bulundurarak takım ve işleme arasında meydana gelen karışık etkileşimi iyi anlayıp elmaslı MKT tasarımı ve üretimi yapmaları kritik bir önem arz eder. Elmas katkılı takımların yaklaşık %62’si TM yöntemiyle üretilir (Przyklenk, 1993).

Taş kesme ve yapı uygulamaları için testere ve delici takımların soketlerinin üretiminde kullanılan endüstriyel elmas, dünya çapındaki en büyük pazar olan Avrupa'da %61 pazar payına sahiptir (Tillmann, 2000).

EVM'nin kesiminde en önemli faktörlerin başında MKT'lerde kesme görevini yapan aşındırıcı soketlerin kesilecek doğal taşın uygunluğu yer alır. Çünkü soketlerin taşı aşındırarak kesmesi kadar, taşın da soketi aşındırması gerekir. Bu şekilde körelen elmasların yerine yeni elmaslar yüzeye çıkar ve kesme işlemine devam eder.

Kesim hızı her MKT ve doğal taş için farklıdır ve EVM kesimi yapılırken uygun hız belirlenmelidir. Çok düşük bir kesim hızı belirlenir ise elmas tanelerinin iş görmeden yanmasına ve yuvalarından işlevini yerine getiremeden ayrılmasına neden olur. Her iki durumda da, MKT ömrü normalin birkaç katına düşer.

Ülkemizde mermer işleme tesislerinde yapılan kesim işlemlerinde en önemli konu, kesilen kayaca göre uygun testere soketlerinin seçimidir. EVM üreticilerinin uygun soket seçimi yapabilmeleri için kesecekleri kayaçları yeterince iyi tanımaları gerekir. Kayaçların fiziki ve mekanik özelliklerinin kesim sırasında elmas soketlerde meydana gelen aşınmalar üzerinde etkili olduğu bir gerçektir. Bu yüzden kesilecek EVM'nin fiziki ve mekanik özelliklerinin elmas soketlerdeki aşınmalar üzerine etkilerinin bilinmesi önemli bir konuyu teşkil eder. Bununla birlikte, soketlerdeki aşınmalar üzerinde etkili olan diğer bir önemli konu da kesim parametrelerinin ayarlanmasıdır (Bayram, 2002; Kulaksız vd., 2002).

EVM'nin yarı şekilli veya şekilsiz bloklar halinde çıkarılması ve bu blokların levhalara/plakalara ayrılması işleminde, çeşitli kesim sistemleri ile çalışan makineler kullanılır. Kesim işlemi, makinenin kesme donanımına göre aşağıdaki sistemlerle yapılır (Primavori, 2002):

- Çoklu elmas tel sistemiyle kesim
- Düz testere (Katrak Lama) sistemiyle kesim
- Elmas kemerli bant sistemiyle kesim
- Tepsi testere sistemiyle kesim

1.2.1. Elmaslı Tel Kesim Yöntemi

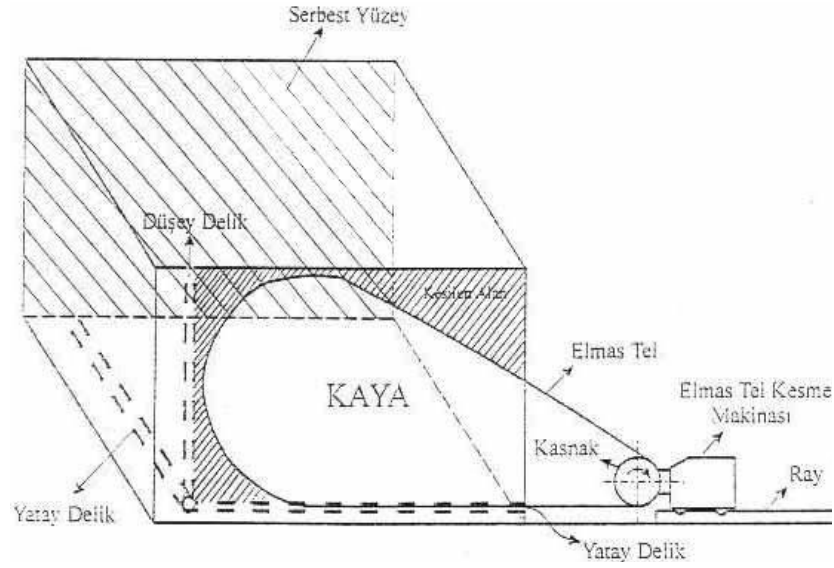
Mermer ocaklarında azami seviyede verim alınıp zayıtsız blok elde edilmesi amacıyla elmas tel kesme makineleri kullanılır. Ülkemiz mermer ocak işletmeciliğinde 25 yıldır kullanılan elmas tel kesme makine ve donanımları mermer işletmeciliğine çok büyük yenilikler getirerek mermer madenciliğinin vazgeçilmezi olmuştur.

Bulunan antik ocaklardaki kalıntılardan tel ile taş kesme yönteminin ilk çağlarda da kullanıldığını göstermektedir. Antik çağa ait bu ocaklarda kol gücüne dayalı bir kesme metodu kullanılmıştır. O dönemlerde taşlar ocaklardan blok olarak değil, levha şeklinde çıkarılmaktaydı.

Mermer üretiminde alışlagelmiş yöntemlerin dışında daha az enerji ve daha az insan gücü gerektirecek, patlayıcılarla üretimde oluşan kayıpları en aza indirecek üretim yöntemleri arayışları süregelmiştir. Antik tel kesme metotlarından yola çıkarak ilk defa 1854 yılında Belçika’da Eugene Chevailier tarafından tel kesme makinesi yapılmış ve patenti alınmıştır (Mannoni vd.,1984; Cappuzzi, 1989).

1880 yılında Guy Michel tarafından geliştirilen tel kesme yöntemi, 1889 yılında en son şekliyle, helis tel kesme metodu ve makinesi olarak yapılmıştır. (Mannoni,1984 vd.; Cappuzzi, 1989). Başlangıçta diğer yöntemlere göre büyük avantajlar içerdiği düşünülmüş olsa da sonraları uygulama aşamasında ortaya çıkan sorunlar, araştırmacıları yeni çözümler üretmeye zorlamıştır.

Helezonik çelik tel sisteminde silisli kumun yanında tungsten karbür gibi aşındırıcılarda kullanılmasına rağmen istenilen verim elde edilememiştir. Yapılan araştırmalarda kayaç ile aşındırıcı arasındaki sertlik farkından ve aşındırıcı sıvı filminin bozulmasından ve istenilen basıncın sağlanamamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu sorunun üstesinden gelebilecek en iyi aşındırıcının elmas olduğuna karar verilmiştir. Araştırmalardan yıllar sonra, 1978 yılında elmas tel kesme sistemi ilk olarak İtalya’nın Carrara mermer bölgesinde bulunan bir mermer ocağında denenmiştir. İlk tel kesme sistemi sınırlı performansa sahip olup yalnız düşey kesim yapabilmiş (Conti,1986). Ancak sonraları her türlü kesimde başarıyla uygulanabilen makineler geliştirilmiştir (Özçelik, 1999).



Şekil 1.2. Elmas tel kesme yönteminin şematik görünümü (Özçelik, 1999).

Elmas telin çalışma esası; kesilecek yüzeylerde düşey ve yatay olarak açılan iki delikten geçirilen elmas telin makinenin volanından (tamburundan) geçirilerek iki ucunun birleştirilmesi ve motor tarafından volanın hareketiyle elmas telin kayacı kesmesidir (Şekil 1.2). Kesme işlemini sağlayan gergi kuvveti, elmas tel kesme makinesinin bir ray üzerinde geriye hareketi ile sağlanmaktadır (Demirdağ, 2001).

Elmaslı tel kesme yöntemi, her tür mermer ocağı için uygun değildir. Özellikle çatlak ve eklemlerinden açılarak çıkartılan mermer kütlelerinin bloklara bölünmesi, elmaslı tel kesme yönteminin kullanılmasından daha ekonomiktir.

Çatlak ve eklem sistemi çok gelişmiş mermer ocaklarında elmaslı tel kesme yönteminin kullanılması, verim artırılmasına bir katkıda bulunmayacağı gibi, aksine üretim veriminin düşmesine de neden olabilmektedir. Elmaslı tel kesme yöntemi, çatlak ve eklemlileri az, masif yapıdaki mermerler için uygun bir yöntemdir (Urhan vd., 1993).

Sonuçta elmaslı tel kesme daha çok kalite güvencesi vermekte ve bloğun değeri artmaktadır. Kare bloklar işletme verimini artırmaktadır. Elmaslı tel kesme ile kesilen blokların değeri %10-20 oranında artmaktadır. Blok yüzeyleri daha düzgün olacağından kenar düzeltmelerinden kaynaklanan blok ve zaman kayıpları da önlenmiş olmaktadır.

Elmaslı tel kesme yöntemi teknolojik esneklik getirmekte ve işletme gürültüsünü azaltmaktadır. Ancak ilk yatırım maliyetleri diğer yöntemlere oranla daha fazladır ve kalifiye elemana ihtiyaç duyulmaktadır (Demirdağ, 2001).

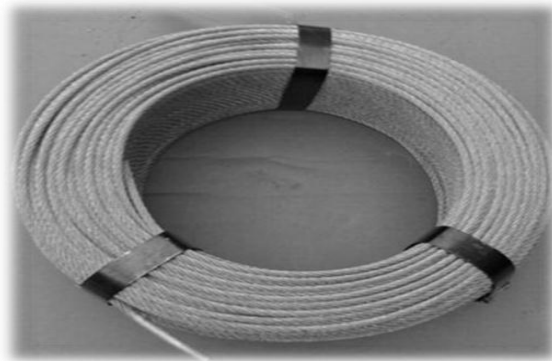
Elmas tel kesme yönteminin avantajları şunlardır (Özçelik, 1999):

- Başka yöntemlerle birlikte kullanılabilen esnek bir yöntemdir,
- Büyük boyutlu kesimlerin yapılabilmesine olanak sağlar (200 m²'den büyük),
- Düşük yatırım maliyetleri sağlamaktadır,
- Makine ve donanımın amorti etme süresi daha kısadır,
- Daha az toz artık oluşturmaktadır,
- Daha az kayıpla daha düzgün blok üretimine olanak sağlamakta, bloğa hasar vermemektedir,
- İş öz kütlesi diğer yöntemlerden daha az olduğundan, iş gücünün daha verimli kullanılmasına imkân tanır,
- Yüksek kesme hızlarında üretim kapasitesini arttırmak mümkündür.

Capuzzi 1989 yılında granit grubundaki elmas tel kesme hızının ve tel ömrünün oldukça düşük olma nedenleri üzerine araştırmalar yapmış ve bunların iki ana problemten kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Bunlar m² kesimin yüksek maliyeti ve telin çabuk yıpranmasıdır (Özçelik, 1999).

Mermer ocak işletmeciliğinde kullanılan elmas teller, bir çelik tele (Şekil 1.3) geçirilmiş elmaslı boncuklardan (Şekil 1.4) oluşmaktadır. Elmaslı boncuklar, 0,25-0,37 mm boyutlu sentetik veya sanayi elmas tanelerinden elektrolitik kaplama ve sinterleme ile elde edilmektedir.

Her bir elmas boncukta 0,30-0,40 karat elmas bulunmaktadır. Kullanılan elmas tanelerinin tanecik boyutu mermer tipine göre değişiklik göstermekle birlikte, en uygun tanecik boyutunun bulunabilmesi için mermerin mineralojik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin saptanması gerekmektedir. Yeterli rezervi bulunan ocaklar için özel elmas boncuk imalatı da yapılabilmektedir (Bozkurt, 1989).



Şekil 1.3. Çelik tel halat

Elmaslı boncuklar 5 mm kalınlığındaki elik tele yaylarla birlikte sıralanmaktadır. Elmaslı tel, tel kesme makinesinin tipine ve kullanım yerine göre 15-60 m uzunlukta hazırlanmaktadır. Elmaslı tel, ocaklarda ve fabrikalarda mevcut teknoloji ile en düşük maliyet ve en yüksek performansı sağlayan kullanışlı bir araçtır.



Sekil 1.4. Elmaslı boncuklar

Mermer blok işletmeciliğinde kullanılan elmaslı boncukların çapları, kullanım amaçlarına ve üretim teknolojisine göre değişim göstermektedir. Bu elmas boncuklar, dış yüzey çapları itibariyle, 8 mm, 8,8 mm, 10 mm, 10,2 mm, 10,5 mm, 11 mm ve 12 mm olarak değişim göstermektedir (Demirdağ, 2001).

Elmaslı boncuğun matris yapısının hacmi hesaplandığında, en yüksek oranın, orta sert mermerlerde 11,0 mm ve sert mermerlerde ise 12,0 mm çapındaki elmaslı boncuklardan elde edildiği görülmekle birlikte, bu oran çaplar kldk azalma göstermektedir. Aynı özelliklerde matris yapının kullanıldığı iki farklı çaptaki elmas boncuğun performansı kıyaslandığında, doğal olarak çapı büyük olan elmas boncukta daha yüksek bir performans elde edilebilmektedir (Akpar Makine, 1999).Elmaslı teller yapılarına göre üç ana gruba ayrılır. Bunlar:

- Elektroplate elmaslı boncuklar (Elektrolitik kaplamalı elmas boncuklar)
- Sinterize elmaslı boncuklar
- Kimyasal yapıştırırmalı elmas boncuklar

Her üç elmaslı boncuk türünün de teknolojik olarak üretimi yapılırken, matris yapıda bulunması gereken elmas taneleri, öncelikle bir ayırım ve sınıflama işlemeine tabi tutulmaktadır. Bu işlem için, değişik boyut aralığında bulunan elmas taneleri, farklı tanecik boyutlarında olacak şekilde eleme işlemeine tabi tutularak aynı boyutlardaki elmas tanelerinin ayırımı sağlanmaktadır.

Kullanılan elmas türünün sentetik kökenli olması nedeniyle belirli bir kalite değerine sahip olmalıdır. Aksi takdirde uzun uğraşlar sonucu elde edilecek elmaslı boncuk, görevini yerine getiremeyecek ve beklenen performansı veremeyecektir. Şekil 1.5'te kullanıma hazır, çeşitli elmaslı teller görülmektedir.

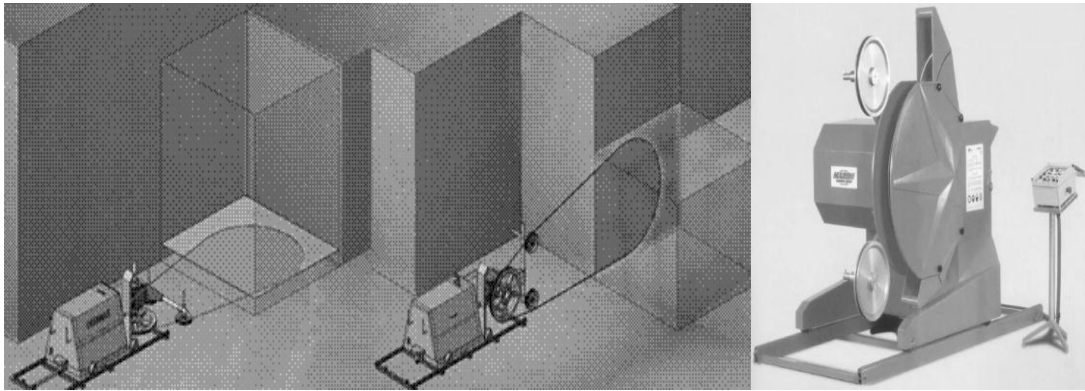


Şekil 1.5. Elmaslı teller

Elmas boncuk imalatında kullanılması gereken malzemeler şunlardır (A.M., 1999):

- Çelik yüzük (normal çelikten çok daha sert olmalıdır, aksi halde imalat aşamasında çapta daralma, kullanım aşamasında ise iç çap genişlemesi söz konusu olacaktır),
- Matris yapı (çeşitli oranlarda Fe, Co, Cu, Sn, Ni, Zn ve bronz vb. dâhil yaklaşık 30 değişik madde içeren bir karışımdır),
- Elmas taneleri (üretilcek elmaslı boncuğun kullanım yerine uygun olmalıdır).

Şekil 1.6'da elmaslı tel ile kesme makinesi görülmektedir.

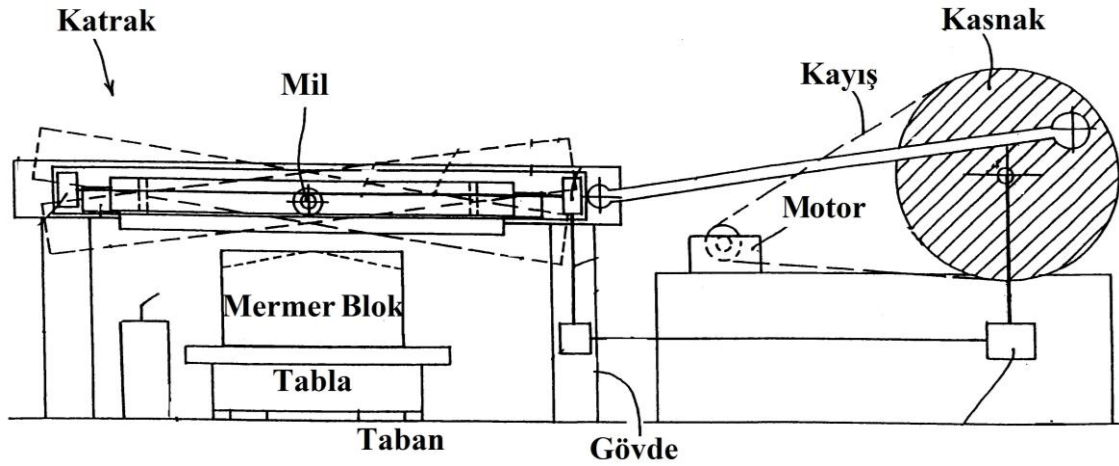


Şekil 1.6. Elmaslı tel ile kesme makinesi (URL-6; URL-7).

1.2.2. Katrak Lamaları

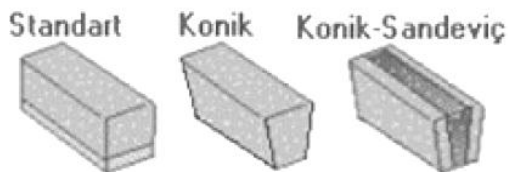
Mermer ocaklarından gelen bloklardan levha üretimi için, işleme tesislerinde çeşitli yöntemler ve bu yöntemlere uygun makineler kullanılmaktadır. Mermer işlemeciliğinde, ocaktan gelen ham mermer bloklarının fiziki durumları göz önünde bulundurularak işleme yöntemi seçilmektedir. Bu işleme yönteminin belirlenmesinde, blokların şekilleri, boyutları, kırık ve çatlak sistemleri önemli olmaktadır.

Elmas lamalı katraklar, sayalanmış (Doğal taş ocaklarında üretilen, şekilleri geometrik açıdan düzgün olmayan ham doğal taş bloklarının yüzeylerinin düzeltilmesi ve gereğinden büyük blokların daha küçük boyutta bloklar haline getirilmesi için yapılan işleme sayalama adı verilmektedir) veya ocaklardan gelen düzgün mermer bloklarından levha elde edilmesinde kullanılan makinelerdir. Şekil 1.7’de bir katrak makinesinin şematik görünümü verilmiştir. Bununla birlikte katraklar, mermer bloklarından plaka elde etmenin en ekonomik ve en hızlı yöntemi olarak mermer sektöründe kullanılmaktadır.



Şekil 1.7. Katrak kesme makinesinin şematik görünümü (Hail vd., 2003).

Elmas lamalı katraklarda kesme işlemi, testerelere özel kaynakla monte edilmiş, yaklaşık 20-30 mm uzunluğunda, 4-5 mm genişliğinde ve 6-7 mm yüksekliğinde dikdörtgen prizma şeklinde özel alaşım ortamında elmas içeren soket adı verilen ve Şekil 1.8’de görülen üç çeşit kesici uçlarla yapılmaktadır. Ayrıca Şekil 1.9’da kullanıma hazır katrak soketleri görülmektedir.

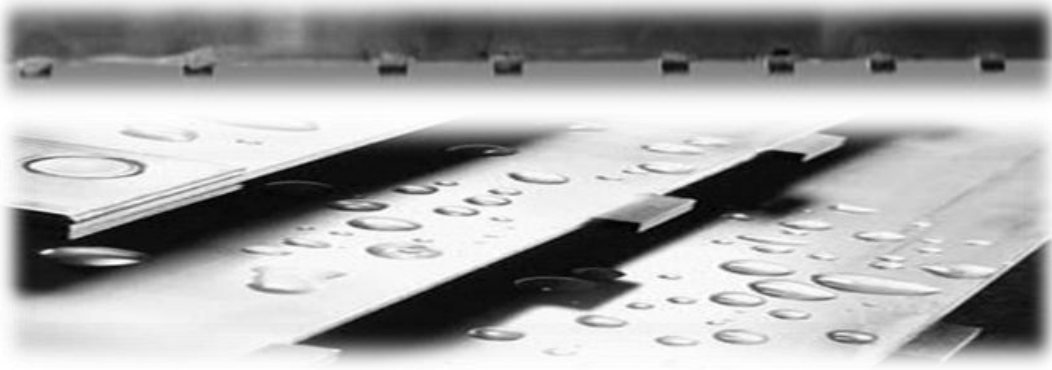


Şekil 1.8. Katrak lama soket çeşitleri



Şekil 1.9. Elmalı katrak lama soketi

Şekil 1.9’da görüldüğü gibi kullanıma hazır katrak lama soketleri uygun yöntemlerle kesme işlemini yerine getirecek olan testere laması üzerine monte edilirler. Lama sacları paslanmaya karşı mukavemetli olduğundan diğer lama saclarına göre daha uzun ömürlüdürler ve ortalama kalınlıkları 3,5 mm’dir. Şekil 1.10’da üzerine elmaslı soketler monte edilmiş bir katrak laması görülmektedir.



Şekil 1.10. Katrak testere lamaları

Katraklarda kesim işlemi makine yapısına bağlı olarak iki şekilde yapılmaktadır. Bunlardan birincisinde blok sabittir ve testereler ileri-geri hareketin yanında, kesim için aşağıya doğru hareket etmektedir (Şekil 1.11). Diğer tipte ise, bloğun bulunduğu vagon yukarıya doğru hareket etmekte ve testereler yatay düzlemde sadece ileri-geri hareket etmektedirler.



Şekil 1.11. Katrak Makinesi (URL-8; URL-9)

Üretim kapasitesinin yüksek, üretim maliyetinin düşük oluşu elmas lamalı katrakların mermer işleme tesislerinde kullanımını artırmaktadır. Elmas lamalı katrakların verimli olarak kullanılmasında önemli olan, kesim sırasında etken parametrelerin en uygun şekilde ayarlanarak en az maliyetle üretimin gerçekleştirilmesidir. Katraklarda kesme verimini etkileyen parametreler üç grupta toplanabilir. Bunlar, sabit parametreler, yarı değişken veya değişken parametreler, Ortam şartlarıdır (Tablo 1.3).

Tablo 1.3. Katraklarda kesme verimine etki eden parametreler (Kulaksız vd., 2002)

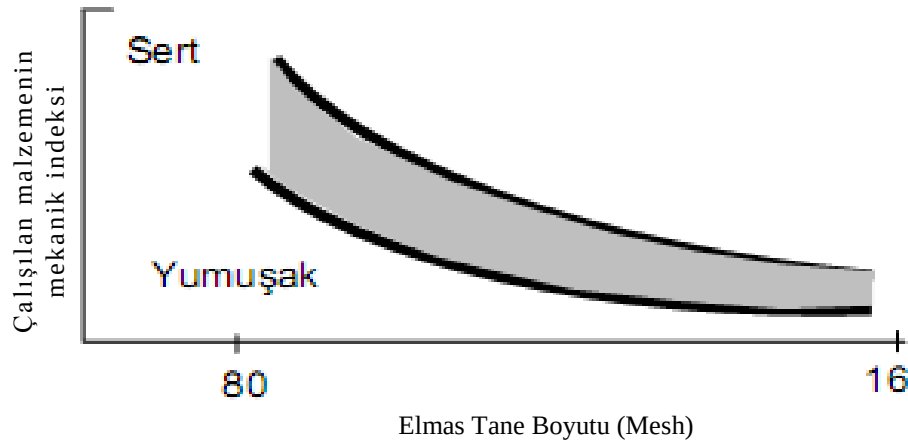
Kesilecek Kayaçla İlgili Sabit Parametreler	Elmas Lamalı Katraklarla İlgili Yan Değişken veya Değişken Parametreler	Ortam Şartları
- Fiziki ve mekanik özellikler - Kimyasal özellikler - Mineralojik özellikler - Petrografik özellikler - Süreksizler - Doku özellikleri - Yapı özellikleri	- Kesme hızı - Lamalar arasındaki mesafe - Lamaların yapısı - Su miktarı ve basıncı - Suyun temizliği ve pH'ı - Kesilen blok boyutları - Makinenin yapısı ve motor gücü - Testere boyutları, yapısı ve sayısı	- Teknik eleman - Kesimde testerelerdeki basınç dağılımı - Elmas taneleri ile mermer arasındaki kuvvetler - Titreşim

Kesme verimine etki eden sabit parametreler kesilecek kayaçla ilgili parametrelerdir. Yarı değişken veya değişken parametreler kesim yapılan elmas lamalı katrakla ilgili parametrelerdir. Ortam koşulları ise, kesim yapılan ortamdaki çevresel koşullardır. Bu üç ana grup Tablo 1.3'te belirtilen çeşitli parametreleri içermektedir.

1.2.3. Tepsi Testere Sistemiyle Kesim

Doğal taş endüstrisinde kullanılan kesici testereleler genellikle AISI 1075 yüksek karbonlu çeliklerden üretilir. Bu çelikler, kaynak edilebilme özelliklerini iyileştirmek ve mukavemetini artırmak için ısıtılmalara tabi tutulur. Asıl kesme işlemini yapan elmas soketler ise; Co, Ni, Fe, Cu, Sn, vs. değişik metallerin değişik oranlarda karıştırılması ile TM yöntemiyle üretilir.

Aşındırıcı özelliğe sahip ve kesme işleminde önemli rol oynayan elmas taneler belli oranlarda ana matris içerisine katılır. Metaller ve elmas iyice karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında soğuk preslenip tablet haline getirilir. Tablet halindeki matris, özel fırınlarda sinterlenir.



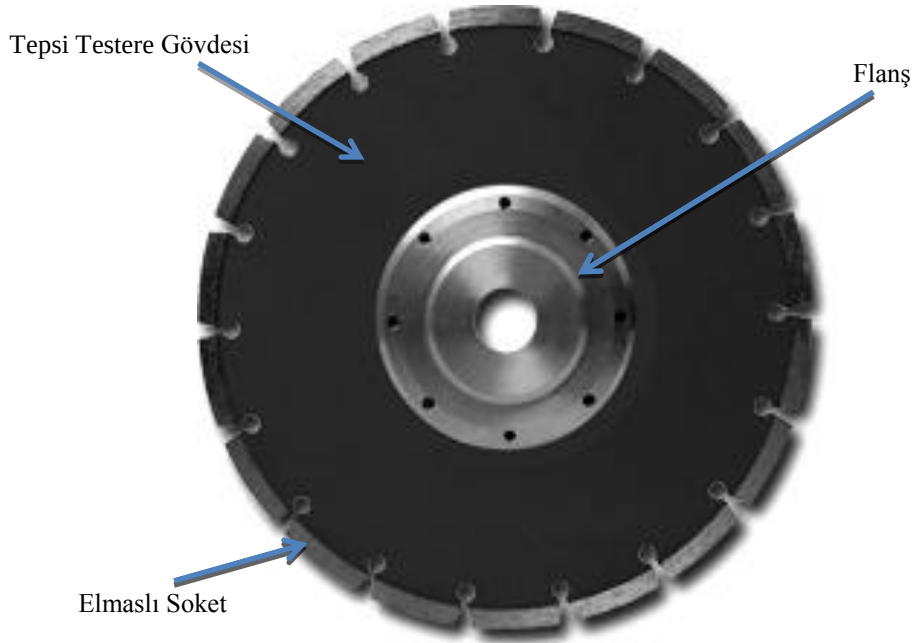
Şekil 1.12. Elmas tane büyüklüğü ile kesilen doğal taş arasındaki ilişki

Üretim yöntemi olarak sıcak presleme yöntemi kullanılacaksa karıştırılan tozlar direkt grafit kalıba alınıp sıcak preslenip soket üretimi yapılır. EVM kesici üretiminde maliyeti düşürmek ve verimliliği artırmak için sıcak presleme yöntemi kullanılır.

Tepsi testerelerde elmasların tane boyutu, kesilecek kayacın cinsine ve tepsi testere çapına göre değişir. Elmas tane boyutu ile kesilecek malzeme arasındaki ilişki Şekil 1.12’de gösterilmiştir (Jennings vd., 1989).

Genellikle sert malzemeler için elmas tane boyutu küçük (tane sayısı fazla), yumuşak malzemeler için elmas tane boyutu büyük (tane sayısı az) olması gerekir (Wright vd., 1986). Bu nedenle bu çalışmada ne çok sert ne de çok yumuşak olan EVM kesiminde 4050 mesh tane boyutu elmas tercih edilmiştir. Çok iri taneli elmasların, sert malzeme kesimi için kullanılması durumunda, elmasın kayada ilerleme hızının minimum olmasından elmas tanesi matrinden çıkar veya körelir (Konstanty, 1991).

Tepsi testereler, günümüzde EVM kesme işleminde en çok kullanılan kesme elemanıdır. Bu testereler 200–3500 mm arasında değişen çaplarda, 1000–5000 dv/dk hızlarda kesme yapan değişik boyutlarda üretilebilmektedir.



Şekil 1.13. Elazığ Vişne Mermeri Kesici Tepsi Testere

EVM kesimini yapan tepsi testerinin çapı ile soket boyutu ve soket adedi arasında doğrusal bir ilişki vardır. Testere çapı arttıkça testerinin et kalınlığı da artar ve buna bağlı olarak soket adedi ve soket boyutu da artar.

Tepsi testere çapının sabit olduğu durumda, soket adedinin azaltılması ya da artırılması, tepsi testerenin kesme hızının dūşmesine sebep olur. Bununla birlikte tepsi testere övdesi de eğilip balans yapar (Jennings vd., 1989).

EVM kesici tepsi testerenin geometrik yapısı Şekil 1.13'te gör÷lmektedir. Bu testere çevresindeki görünüş üzerine belli sayılarda elmaslı soketler uygun yöntemlerle bağlanır ve EVM kesen mermer kesici makinelere takılır. Testereyi kesici tezgâha düzgün bir şekilde bağlamak, kesilen mermer parçasının boyutsal hassasiyeti ve testere ömrü açısından çok önemlidir. Ayrıca, testerede meydana gelebilecek olan salınımları azaltmak için testere çapına bağli olarak çeşitli flanşlar kullanılmalıdır. Diğer yandan flanş çapının artması testerenin kesme derinliğini de azaltmaktadır. Bu sebeple, kesim için uygun flanş çapı seçilmelidir (Ucun, 2004).

Tepsi testerelerle doğal taş kesimini etkileyen fiziki ve mekanik özelliklerden tek eksenli basma dayanımı, çekme dayanımı, sertlik ve aşındırma şartları öncelikli değerlendirilmesi gereken deneylerdir (Wright vd., 1985). Tablo 1.1'de verilen EVM'nin kimyasal özellikleri ve Tablo 1.2'de verilen EVM'nin gerçek özelliklerinden yararlanılarak EVM kesimini etkileyen kimyevi, fiziki ve mekanik özellikler göz önüne alınıp EVM kesme işlemi yapılması gerekir.

Bir malzemedeki aşınma potansiyeli birçok faktör tarafından etkilenir. Bunlar; malzemenin tane boyutu, şekli, oluşma yüzdesi, tane sertliği vb. etkenlerdir. Bütün bu faktörler, birbirleriyle ilişki içerisinde. Bu özelliklerin kesme işlemi başlamadan önce belirlenmesi ve testere tasarımının ona göre yapılması gerekir (Wright, 1986). Burada kesilecek EVM'nin hem aşınma hem de aşındırma özellikleri kesme işleminde önemli bir kıstastır. Kayaçlar tek bir mineralden oluşabildikleri gibi birkaç mineralden veya mineral grubundan da oluşabilir. Bu minerallerin cinsleri, % miktarları, tane boyutları, tanelerin dokusal ilişkileri incelenerek tanımlamalar yapılabilmekte, bu incelemeler de mineralojik analizle yapılmaktadır. Mineralojik analizi kesme işlemi için çok önemli yapan unsur; kayaların bünyelerinde içerdikleri sert mineraller ile kuvars miktarıdır. Kuvars miktarı ne kadar fazla olursa ve tane boyu olarak da ne kadar büyük olursa kesme işlemi o kadar zorlaşacaktır. Kuvars içeriğı ilk aşamada tepsi testereleri keskinleştirip tepsi testerelerin kesme hızını arttırır. Ancak sonraki aşamalarda tepsi testereleri aşındırıp tepsi testerelerin ömürlerini azaltır (Jennings vd., 1989). Özellikle Mohs sertliği 6 ve üstü olan tüm mineral veya mineral grupları büyük bir aşındırıcı özelliğine sahiptirler.

EVM kesme işlemi sırasında, testerenin ve soketteki elmasın üzerinde, sürtünme sonucu oluşan ısının azaltılması için testere gövdesine ve kesim alanına bol miktarda su verilir. Su, kesme sonucu oluşan talaşları ortamdan uzaklaştırıp malzemelerin yüzeylerinde oluşan ısının azaltılmasını da sağlar.

Tablo 1.4. Tepsi testere çapı ve su ihtiyacı

<i>Testere Çapı (mm)</i>	<i>Testere Başına Düşen En Düşük Soğutma Suyu Miktarı (l/dk)</i>	<i>Testere Başına Düşen En Yüksek Soğutma Suyu Miktarı (l/dk)</i>
200-250	6	10
*300-400	10	15
450-550	15	22
600-625	20	30
700-750	30	40
800-900	30	45
1000-1100	40	60
1200-1300	50	75
1400-1600	60	90
2000+	70	120
2500+	80	140

*Tez çalışması ile ilgili deneylerde kullanılan tepsi testere

Soğutma suyu tepsi testerelerin her iki yanından flanşın hemen altından gerekirse testerenin tam karşısından bolca verilmelidir. Tepsi testerelerin su ihtiyacı ile çapları arasındaki ilişki Tablo 1.4'te verilmiştir (Özçelik vd., 2008). Tepsi testere çapı ve soket sayısı; soket çapı ve soket kalınlığı; dairesel flanş çapı arasındaki bilgiler Tablo 1.5'te verilmiştir.

Elmas soketli tepsi testerelerde çevresel hız ve ilerleme miktarı, kesilecek taşın sertliğine ve aşındırma kabiliyetine bağlı olarak seçilir. İstenilen çevresel hızı karşılayacak motor devirleri testere imalatçı firmaları tarafından tespit edilmiştir.

Tablo 1.5. Tepsi testere çapları ile fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler(zelik vd., 2008)

Testere ap (mm)	Testeredeki Soket Sayısı	Soket lüsü (mm)			Gövde Kalınlığı (mm)	Gövde Göbek apı (mm)	Asgari Flanş apı (mm)	Motor Gücü (kW)	Sarf Edilen Su Miktarı (l/dk)	Ağırlık (kg)
		Et Kalınlığı	Yükseklik	Boy						
250	15	2,2	7	33	1,6	30	100	5,5-7,5	6-10	0,6
300	21	2,6	7	38	2,2	60	120	7,5-11	10-15	1
350	21	3	7	38	2,2	60	140	7,5-15	10-15	1,7
*350	25	3,5	8	40	2,2	60	140	7,5-15	10-15	1,7
400	28	3,4	7	40	2,5	60	150	7,5-11	10-15	2,6
450	32	3,8	7	40	2,8	60	160	11-15	15-20	3
500	32	3,8	7	40	3	60	160	11-15	15-20	4
600	36	4,6	7	40	3,4	60	180	15-18,5	20-30	7,4
600	42	4,6	7	40	3,4	60	180	15-18,5	20-30	7,4
700	40	5,3	7	40	4	60	200	22-30	30-40	11,5
800	40	5,8	7	40	4,5	80	225	30-37	30-40	14
900	64	6,5	7	24	4,75	80	250	30-37	30-40	24
1000	70	7	7	24	5	80	250	37-45	40-50	30
1200	80	7,5	8	24	5,5	80	300	45-55	50-60	52
1400	92	8	8	24	6	120	325	45-75	60-70	78
1600	104	9	9	24	7	120	375	45-75	60-70	107
1800	120	10	10	24	7,5	120	400	55-75	70-80	148
2000	132	11	10	24	8	120	425	55-75	70-80	180
2500	140	13	11	24	9	120	450	75-90	80-100	318

*Tez alışması ile ilgili deneylerde kullanılan tepsi testere

Tablo 1.5'te tepsi testere çapı ve soket sayısı, soket ölçüleri, gövde kalınlığı, göbek çapı, flanş çapı, motor gücü ve su sarfiyatı arasındaki ilişki ve tepsi testere çapına karşın testere çevresel hızları ve gerekli motor devirleri ilişkileri ise Tablo 1.6'da verilmiştir.

Tablo 1.6. Tepsi testere çapına karşın testere çevresel hızı ve gerekli motor devri ilişkisi (zelik vd., 2008).

Testere apı (mm)	evresel Hız (m/sn)								
	25	30	35	40	45	50	55	60	65
	Motor Devirleri (rpm)								
200	2400	2900	3400	3800	4300	4800	5300	5700	6200
250	1900	2300	2700	3100	3400	3800	4200	4600	5000
300	1600	1900	2200	2500	2800	3200	3500	3800	4200
*350	1400	1600	1900	2200	2500	2700	3000	3300	3600
400	1200	1400	1700	1900	2100	2400	2700	2900	3100
500	950	1100	1300	1500	1700	1900	2100	2300	2500
550	900	1000	1200	1400	1600	1700	1900	2100	2200
600	800	950	1100	1300	1400	1600	1800	1900	2100
700	700	800	950	1100	1300	1400	1500	1600	1800
800	600	700	850	950	1050	1200	1350	1450	1550
900	500	600	750	850	950	1100	1200	1300	1400
1000	475	550	650	750	850	950	1050	1150	1250
1100	450	500	600	700	800	850	950	1050	1100
1200	400	475	550	650	700	800	900	950	1050
1400	340	410	480	550	610	680	750	820	880
1600	300	360	420	480	540	600	660	720	780
1800	270	320	370	430	480	530	580	640	690
2000	240	290	340	380	430	480	530	570	620
2500	190	230	270	310	350	380	420	460	500

*Tez alışması ile ilgili deneylerde kullanılan tepsi testere

Tepsi testerelerde su kanallarının sık ve fazla olması kesim hızını azaltacaktır. Aynı zamanda tepsi testere gövdesini de zayıflatacaktır. Bazı tepsi testere üretimi yapan firmaların genel olarak kayaç tipi ve kuvars içeriğine göre tavsiye ettikleri tepsi testere çevresel hızları Tablo 1.7’de verilmektedir.

Tablo 1.7. Tepsi testere üreticilerince önerilen çevresel hızlar (Özçelik vd., 2008).

<i>Malzeme</i>	<i>Standart Çevresel Hız (m/sn)</i>
<i>Kuvars oranı yüksek granitler</i>	25-30
<i>Kuvars oranı düşük granitler</i>	30-40
<i>Mermer</i>	40-50
<i>Traverten</i>	45-60
<i>Kumtaşı</i>	40-65

1.2.3.1. Tepsi Testere ile İlgili Diğer İşlemler

Tepsi testere gövde ve soketlerinde yapılması ve ölçülmesi gerekli işlemler;

1.2.3.1.1. Tepsi Testerelerin Depolanması:

Tepsi testere çapları büyüdükçe testere gövdesi kendi ağırlığı nedeniyle herhangi bir yüzeye rastgele dayandırılması gövdede zamanla eğilmelere sebep olabilir. Bunun için ya yatay düzgün yüzey üstünde ambalajlı muhafaza edilmeli ya da çelik askılarda düzgün asılı bulunmalıdır.

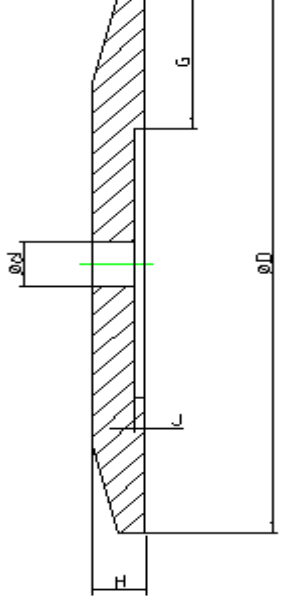
1.2.3.1.2. Tepsi Testerenin Tezgâha Takılması:

- Dönme yönü, testere konumunun kontrol edilmesi,
- Tepsi testerelerin kesme tezgâhı makinelerinde takılmasında yüzeyler kir, pas ve yağlardan arındırılmalıdır.
- Testere takılacak mil dişleri üzerine tam oturtulmalıdır.
- Tepsi testerelerin makineye takılması sırasında gövde üzerinde dönme yönüne göre takılması ve sökme-takma işlemlerinde, mil, flanş ve testere gövdesine gerekli işaretlemeler yapılarak yapılması testere ömrünün uzatılmasına yardımcı olacaktır.
- Testere göbek çapı ile takılan kısım olan mil çapları arasındaki boşluk 0,1 mm hassasiyette olmalıdır. Bu toleransların fazla olması, testerelerde radyan hareketler ve yalpalanmalara sebep olacaktır. Mil-testere çapı uyumsuzlukları çelik bileziklerle sağlanmalıdır. Flanş grubu, testere gövdesi ve mildeki radyan, yanal kaçıklık giderilmelidir. Bunlar testerelerde hızlı aşınmalara ve testere ömrünün azalmasına, gövdede aşınma ve kırılmalara neden olabilir.
- Testere düzeneğinde mil, flanş çapları, paralelliklerin ölçümlerinde mikrometre ya da sayısal (nümerik-dijital) kumpaslar, komparatörler, gönyeler, su terazileri, çelik masterlar, bıçak devir ölçme cihazları ve mercekler kullanılmaktadır.

- Testereleler, makinenin miline flanşlar yardımıyla bağlanır. Flanşlar, testereye gelen radyal ve eksenel yükleri karşılayabilecek standartta yapılmıştır. Makineyi üreten firma testere flanşlarını üretmek zorundadır (Tablo 1.8).

Tablo 1.8. Tepsî testere çapları ile flanş ölçüleri arasındaki ilişkiler(MEB, 2011)

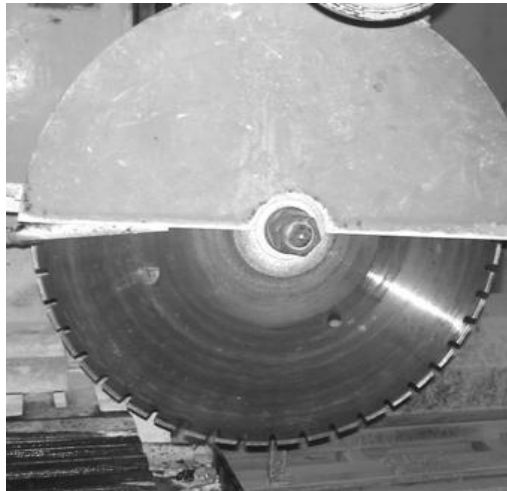
Testere Çapı	$\varnothing D$	G	H	J
200	80	10	12	1
250	100	10	12	1
300	120	10	12	1
*350	140	12	15	1
400	150	12	15	1
450	160	12	18	1
500	170	15	18	1
550	170	15	18	1
600	180	15	18	1
700	200	20	20	1
800	225	20	20	1
900	250	25	20	1,5
1000/1100	250	25	20	1,5
1200	300	30	25	1,5
1300	325	30	25	1,5
1400	325	30	25	1,5
1500	350	30	30	1,5
1600	375	40	30	1,5
1750/1800	400	40	35	2
2000	425	50	35	2
2500/2700	450	50	35	2
3000	600	60	40	2



D: Flanş çapı
G: Basma yüzeyi
H: Flanş kalınlığı
J: Flanş fatura derinliği

*Tez çalışması ile ilgili deneylerde kullanılan tepsî testere

- Testere takılmadan önce mil üzerindeki yağ ve pislikler temizlenir. Uygun flanşın birinci parçası yerleştirilir. Testere mile takılarak ikinci flanş takılır. Sıkma somunu takılarak testere sıkıştırılır. Testereyi alırken makine milinin çapına uygun delik çapı olan testere alınmalıdır (Şekil 1.14).



Şekil 1.14. Flanşla testerenin bağlanması.

1.2.3.2. Tepsi Testereli Kesim Makineleri

Bir tepsi testereli kesme makinesi;

- a) Kesme düzeneği (testere sistemi) ve kesme motoru,
- b) Kesme motoru ve düzeneğinin ileri-geri ve aşağı-yukarı hareket ettiği çelik bir köprü düzeneği,
- c) Köprüyü taşıyan çelik ve/veya beton iki-dört ayaklar (kolon),
- d) Köprü altında yer alan hareketli veya hareketsiz tabla (tezgâh),
- e) Tabla üzerinde blok sabitleme ve taşıma arabası.

Tablo 1.9. Tepsi testerelerin sınıflandırılması (Özçelik vd., 2008).

1-Tepsi testere sayısı ve konumu	• Tek testereli kesim makineleri • Çok testereli kesim makineleri
2-Kesim makinesinin yapısı	• Klasik tezgâhlı kesim makineleri • Nümerik (sayısal) kontrollü kesim makineleri • PLC kontrollü kesim makineleri
3-Kesme amacı	• Köprülü plaka/levha kesim makineleri (ST) • Köprülü yarma/dilme makineleri • Köprülü boyutlama makineleri • Boyutlandırma (konsol yapılı) kesim makineleri ➤ Yan kesme makineleri ➤ Kafa (baş) kesme makineleri
4- Ayak veya konsol yapısı	• İki ayaklı ➤ Çelik yapı ➤ Beton yapı • Dört ayaklı ➤ Çelik yapı ➤ Beton yapı • Konsol tipi

Tepsi testereli kesim makineleri kullanım amacına ve kıstaslara göre yukarıda belirtilen beş ana eleman unsurları değişiklik gösterirler. Bu nedenle bu makinelerin sınıflamasında göz önüne alınan kıstaslar aşağıda verilmektedir:

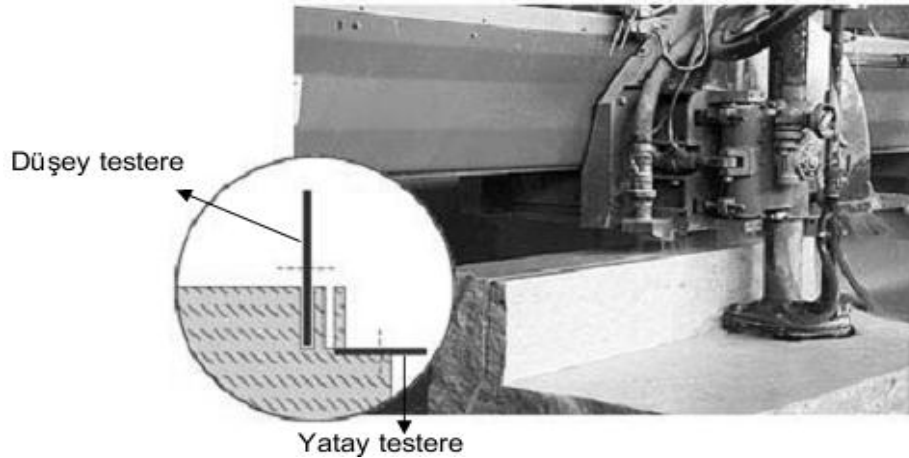
- Tepsi testere sayısı ve konumları
- Kesim makinesinin yapısı
- Kesim amacı
- Kesme birimini taşıyan ayak ve konsol yapısı

Bununla birlikte kesimin bloktan yarı mamul veya mamul ürün elde edilmesi ve ürünlerin boyutlandırılmasında kullanılması da kesim makinelerinin adlandırılmasında kullanılmaktadır. Bu sınıflamaları daha geliştirirsek (Tablo 1.9);

Tepsi testereli kesim makineleri, kullanılan tepsi testere sayısına göre iki gruba ayrılabilir:

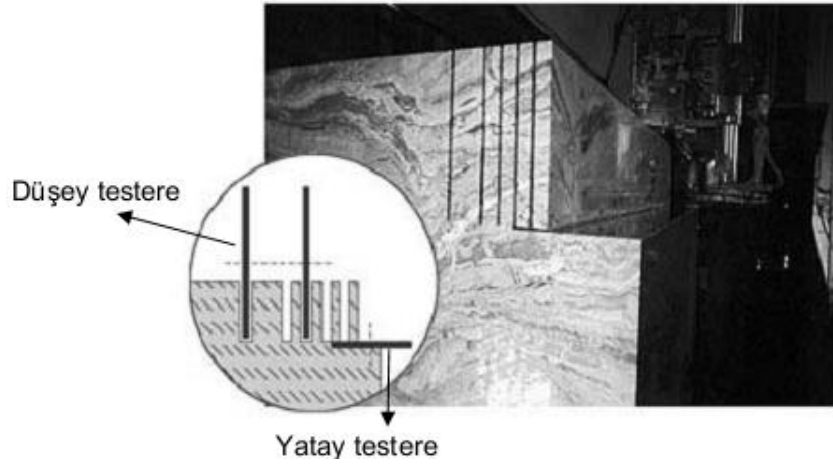
- Tek testereli kesim makineleri
- Çok testereli kesim makineleri

Tek testereli kesim makineleri doğal taş işleme tesislerinde yaygın olarak kullanılan blok kesicilerdir. Aynı bloktan değişik kalınlıklarda levha kesilmesine olanak sağlaması bu makinelerin kullanımının yaygınlaşmasında en önemli etkidir. Dikey tepsi testere bloğu levhalara ayırırken, yatay tepsi testere ise levhaların bloktan ayrılma işlemini gerçekleştirir. Tek testereli kesim makinesi görünümü Şekil 1.15’te verilmiştir.

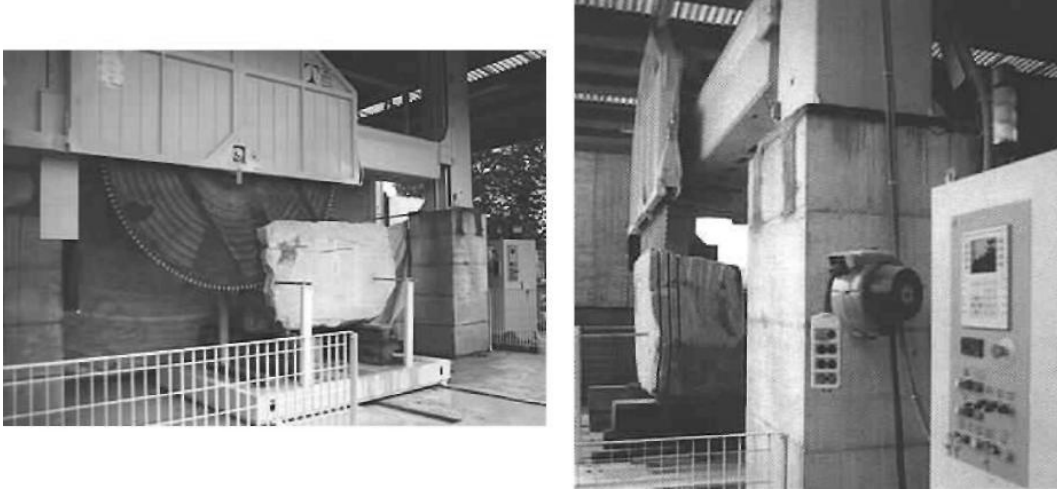


Şekil 1.15. Tek testereli dairesel blok kesim makinesi

Çok testereli kesim makineleri ise, tek testereli kesim makineleriyle aynı mantıkla çalışmaktadır. Sadece makinelerin motor güçleri ve devir sayıları düzenlenerek düşey yönde kesim yapan testere sayısı artırılmıştır (Eyüboğlu, 2000). Çok testereli kesim makinelerine örnek olarak iki testereli kesim makinesi görünümü Şekil 1.16’da verilmiştir. Bununla birlikte, tepsi testereli kesim makinesi olarak en büyük boyutta yaklaşık 1,5 m yüksekliğinde kalın levhalar kesebilen dev kesme makineleri kullanılmaktadır. Bu makinelerde de köprü yapısı mevcuttur. Kesme yönü tepsi testereyi taşıyan köprüye paralel doğrultudadır. Böylece, sırayla değişik kalınlıklarda kesimler yapılabilir. Bu makinelerde 4 m çaplı elmas tepsi testere kullanabilmektedir (Damiani, 1994). Dev tepsi testereli kesim makinesi görünümü Şekil 1.17’de verilmiştir.



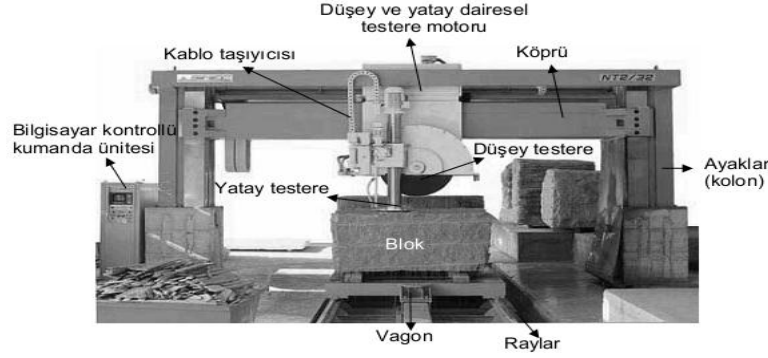
Şekil 1.16. İki testereli dairesel blok kesim makinesi



Şekil 1.17. Dev tepsi testere ile blok kesim makinesi

Beton ayaklı köprülü kesicilerde, köprünün hareketi beton ayaklar üstünde yer alan sarmal (ruloluk) kızaklar üzerinde yer alan kremayer dişli bağlantısı ile uyumludur. Ayarlama hareketi elektronik devreyle ve panelde bazı firmalarda 0,05 mm hassasiyete kadar kontrol edilebilmektedir. Ayar sistemi elektro-manyetik ve mekanik olumsuzluklardan etkilenmemektedir.

Tepsi testereli blok kesim makineleri, sabit bir motora bağlı 3-10 mm gövde kalınlığında, 100-180 cm çapında (400 cm çapa kadar çıkabilen) dikey tepsi testere ve 35-50 cm çaplı yatay tepsi testere olan, bloklarından plaka üretimi gerçekleştiren makinelerdir. Genel olarak tepsi testereli blok kesim makinesinin görünümü Şekil 1.18’de verilmiştir. Kesim yapan testereler özel alaşımlı çelikten imal edilmiş olup çevresine belirli aralıklarla elmas soketler yerleştirilmiştir.



Şekil 1.18. Tepsi testereli blok kesim makinesi

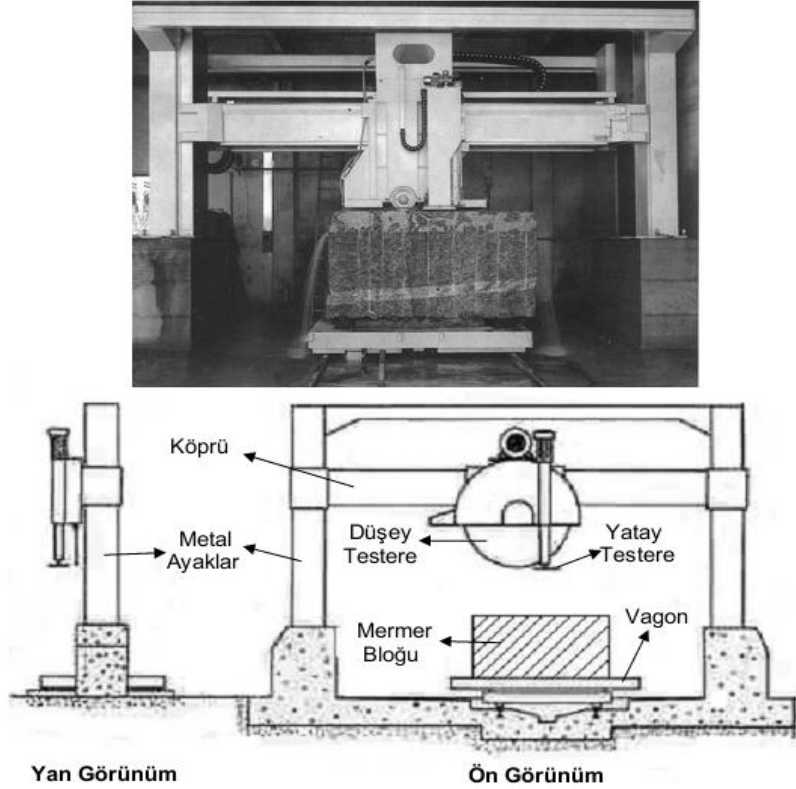
Tepsi testereli kesim makinelerinde elmaslı dikey testere, bloğun levhalar halinde dilimlere ayrılmasında kullanılır. Yatay testere ise dilimlere ayrılmış bloktan levhaların alt kenarlarının kesilerek tamamen levhanın serbest kalmasında kullanılır (Şentürk vd., 1995).

Büyük testere dikey hareketi iki yönde olabilmektedir. Kesme kafasının testere dikey hareketi paslanmaz çelikten yapılmış miller üzerinde koruma düzeneği içinde sağlanmaktadır. Testere kesim aralıkları durumu ayarlanabilir anahtarlar ile yapılır. Testere hareketi testere gövdesine doğrudan bağlı olan flanşlı elektrik motor birimi ile sağlanmaktadır. Elektronik hız kontrol ünitesi ile dönüş hızı, makine üretici firmalarca 600 dv/dk 'dan 2200 dv/dk 'ya kadar değişebilen ve ayarlanabilir olarak üretilmektedir. Dakikada devir sayısının değiştirilmesi, kayaç cinsine bağlı olarak kesme verimliliği ve değişik çapta tepsi testere kullanma olanağı sağlamaktadır. Testerelerin kesim konumuna göre su soğutma düzeneği ile uyumu söz konusu olmaktadır. Yatay kesim yapan tepsi testere birimi ana kesme birimine göre motor gücü ve testere çapı bakımından daha küçüktür.

Çift ayaklı tepsi testereli blok kesim makinelerinde, iki kolon ve bu kolonlara bağlı bir köprü mevcuttur. Kesici testere ünitesi, kolonlar arasında bulunan köprü tarafından taşınmaktadır. Tepsi testereleri taşıyan gövde, aşağı-yukarı hareket edebilen köprü üzerindedir ve hidrolik piston ile ileri-geri hareket ettirilmektedir. Çift ayaklı kesim makineleri, kesici testere ünitesinin pozisyonuna göre ikiye ayrılmaktadır:

Köprüye dik doğrultuda kesim yapan kesiciler ve köprüye paralel doğrultuda kesim yapan kesiciler. Köprüye dik doğrultuda kesim yapan kesim makineleri, bu yönde imal edilen ilk makinelerdir ve sadece mermer kesiminde kullanılırlar. Blok taşıyan vagon, kesim yapan testereye doğru hidrolik pistonlarla beslenir. Kesici testere, bloğa dik yönde iki kolon arasındaki taşıyıcı köprü üzerinde hareket eder. Kesilecek levhanın kalınlığı, bu tepsi testerinin sağa-sola doğru hareketi ile sağlanır (Şekil 1.19).

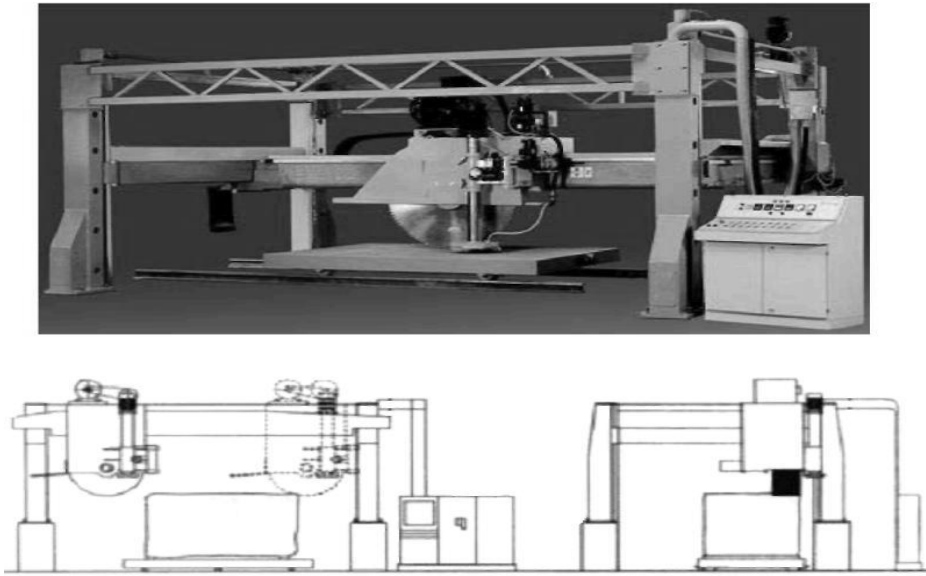
Köprüye paralel doğrultuda kesim yapan kesim makineleri, bu tip kesicilerin en son halidir ve daha sağlam bir yapıda imal edilmiştir. Blok, vagonun üzerine yerleştirilir ve yatay harekete uygun hale getirilir. Kesilecek levhanın kalınlığı, vagonun ileri-geri hareketiyle sağlanır ve kesim gerçekleştirilir (Damiani, 1994; Şentürk vd, 1995; Gündüz, 2000). Günümüz teknolojisinde beş eksenli kesim yapan tepsi testereli blok kesim makineleri geliştirilmiştir.



Şekil 1.19. Çift ayaklı tepsi testereli blok kesim makinesi

Dört ayaklı tepsi testereli kesim makinelerinde, dört adet kolon bulunmakta ve kolonlar ikişerli olarak köprülerle birbirlerine bağlanmaktadır. Bu iki köprü üzerinde diğer bir köprü daha mevcuttur. Bu tip makinelerde kesim esnasında blok sabittir. Kesim için ve tepsi testere hareketi için gerekli boyuna ve yatay hareketler, bu dört kolon arasına yerleşmiş köprülerle sağlanır. Bu tip kesim makineleri, en yaygın şekilde kullanılan blok kesicilerdir. Bu kesiciler seri ve hassas kesim yaparlar. Diğer tiplerde vagon hareketinin ortaya çıkardığı olumsuzluklar en aza indirilmiştir. Kesici tepsi testere sayısı tek olabileceği gibi çok sayıda tepsi testere bağlanabileceği ortak bir mil ile ayarlanabilir aralıkla yerleştirilir. Yatay testere tek olup dikey testerelelerden daha küçük çaplıdır. Kesim konumuna göre çift de olabilir (Damiani, 1994; Şentürk vd., 1995; Gündüz, 2000).

Dört ayaklı tepsi testereli kesim makinesi görünümü Şekil 1.20’de verilmiştir. Dört ayaklılarda hareket üç boyutlu olup testere yukarı-aşağı, sağa-sola ve ileri-geri hareket etmekte olup blok makine altında sabit kalmaktadır. Yatay testere bu belirtilen hareketlerin dışında levha genişliğine göre hidrolik olarak yukarı-aşağı hareket eder. Tepsi testere motorlara kayış-kasnak sistemiyle bağlı olup bunların çaplarının değiştirilmesiyle devirlerinin de değiştirilmesi mümkündür. Makinenin tüm hareketleri bir kumanda panosu yardımıyla hassas olarak kontrol altında tutulur ve yönlendirilir. Testere hortumlar aracılığıyla iletilen su testereyi iki tarafından eşit olarak verilir, böylece hem daha iyi soğutma hem de tozların daha çabuk ortamda uzaklaştırılması sağlanır.



Şekil 1.20. Dört ayaklı tepsi testere ile blok kesim makinesi

1.2.3.3. Üretime Yardımcı İşleme Makineleri

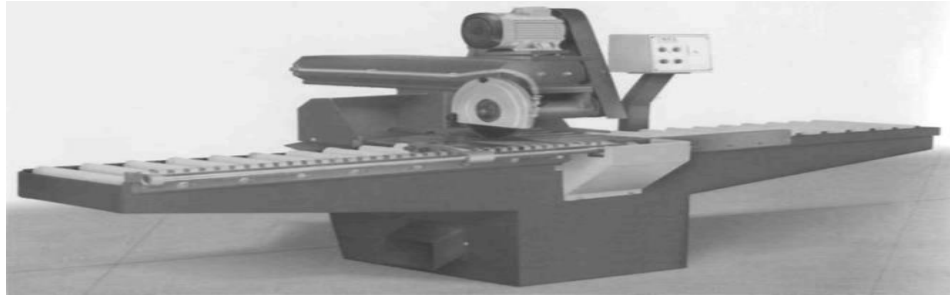
Düz testereli ve tepsi testereli blok kesim makinelerinden alınan ham levhaların kenarlarının ve baş kısımlarının düzeltilmesine ve istenilen boyutta parçalara ayrılması işlemine boyutlama ismi verilmektedir. Bu işlem için kullanılan makineler birer üretim makinesi değil üretime yardımcı olan işleme makineleridir.

Levha boyutlamada/boyutlandırmada kullanılan kesim makineleri dört grupta incelenebilir:

1. Kafa (baş) kesme makinesi
2. Yan kesme makinesi
3. Köprü kesme makinesi
4. Düşey-yatay yarma makinesi

1.2.3.3.1. Kafa (Baş) Kesme Makinesi

Bu makineler, genelde 2-3 cm kalınlığındaki levhaların baş kısımlarının düzleştirilmesinde ve boyutlandırılmasında kullanılmaktadır. Çapı 350-400 mm olan elmas soketli çelik tepsi testere, düşey konumda çalışmakta ve hidrolik ünite yardımıyla istenilen hızla ileri-geri hareket etmektedir. Bu tepsi testere bir metal şase üzerine monte edilmiştir. Levhaların yatay konumda kolayca hareket edebilmeleri için metal şase üzerinde, ya taşıyıcı tamburlar ya da plastik bant bulunmaktadır. Bunlar üzerinde levhalar kolaylıkla ilerletilmektedir. Ayrıca bu şase üzerinde belli aralıkta (5 cm ve katları) konulmuş ölçü boşlukları ve bir ölçü ayar elemanı yer almaktadır. Bu parçanın uç kısmında bulunan vidalı çubuk yardımıyla istenilen ölçüler kolayca boyutlanmaktadır. Tepsi testereli kesim makinelerinden bu makineye levha besleme elle veya hidrolik olarak hareket edebilen vakumlu kaptırmalarla yapılmaktadır. Ayrıca bu makinelerin şantiyelerde kullanılan, boyutlama ve açılı-şekilli kesim yapmak üzere tasarlanmış olan küçük tipleri de bulunmaktadır (Şentürk vd., 1995; Primavori, 2002). Baş kesme makinesi genel görünümü Şekil 1.21’de verilmiştir. Tez çalışması ile ilgili aşınma deneyinde kullanılmıştır.



Şekil 1.21. Kafa (Baş) kesme makinesi

1.2.3.3.2. Yan Kesme Makinesi

Bu makineler genellikle levhaların genişliklerinin ölçülendirilmesinde, denizlik-döner basamak gibi malzemelerin şablona uygun kesilmesinde, tarama-pah-kanal açma işlerinin yapılmasında vb. işlerde kullanılmaktadır. Bu makine üzerinde 450-600 mm çapında elmas soketli tepsi testere bulunmaktadır. Burada yukarı-aşağı ve ileri-geri hareket, mekanik olarak tepsi testerinin alt kısmında bulunan dökümden yapılmış, elle sağa-sola hareket ettirilebilen bir tabla ile sağlanmaktadır. Bu tezgâh raylar üzerine oturmakta olup, raylar da genelde betondan yapılmış ayaklar üzerine monte edilmiştir. Tezgâh yüzeyi üzerinde tepsi testereye paralel olacak şekilde 1-1,5 cm derinliğinde kanallar mevcuttur ve tepsi testere kesme işlemi sırasında bu kanallardan geçmektedir.

Kesim işlemi sırasında levha yaslama çubuklarına dayanmakta ve tepsi testerenin istenilen genişliğe uygun ölçüye getirilmesinden sonra sisteme su verilmektedir. Tezgâhın altında bulunan hareket kolunun döndürülmesi ile tezgâh ilerletilerek kesim tamamlanmaktadır. Son zamanlarda tezgâh yerine şase üzerine oturtulmuş bantların döndürülmesi ile hareket sağlanabilen tipler de üretilmeye başlanılmıştır (Şentürk vd., 1995; Primavori, 2002). Yan kesme makinesi görünümü Şekil 1.22’de verilmiştir. Tez çalışması ile ilgili aşınma deneyinde kullanılmıştır.



Şekil 1.22. Yan kesme (enine boyutlandırma) makinesi

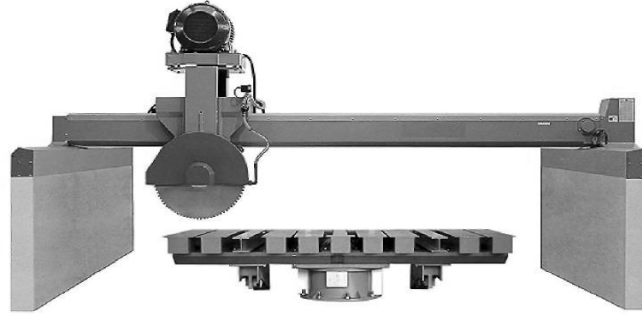
1.2.3.3.3. Köprü Kesme Makinesi

Doğal taş işleme tesislerinde, genellikle katraklardan sonra gelen makinelerdir. Bloklardan elde edilmiş, kenarları düzgün şekle sahip olmayan levhaların kenarlarının düzleştirilmesinde ve boyutlandırılmalarında kullanılmaktadır. Bu makinelerde çapı 650-1600 mm olan tepsi testere bulunmaktadır ve buna ait motor grubuyla birlikte bir köprü üzerine monte edilmiştir. Bu köprü ise betondan yapılmış perde kolonlar üzerinde bulunan kızak ve dişli grubu sayesinde ileri-geri hareket etmektedir. Tepsi testere ise köprü üzerinde sağa-sola hareket edebilmektedir. Makinenin alt kısmında hidrolik olarak indirilip kaldırılabilen bir tezgâh mevcuttur. Tezgâhın ön-yan ve bunların arasında bulunan üç adet dayama kolları bulunmaktadır. Tezgâh 360° döndürülebilmekte, istenilen konuma getirildikten sonra bu kollara sıkıştırılarak sabitlenmekte ve ayrıca tezgâh 90° kaldırılıp yatırılabilir.



Şekil 1.23. Köprü kesme makinesinin hareketlerini gösteren şematik görünüm

Köprü kesme makinesinin hareketlerini gösteren şematik görünüm Şekil 1.23'te verilmiştir. Levhalar katraktan kaptırmalar yardımıyla alınarak doğrudan veya taşıma arabaları kullanılarak tezgâha kadar getirilip yerleştirilmekte, daha sonra ise tezgâh yatay konuma getirilmekte ve bir lazer tabancası yardımıyla kesilecek doğrultu belirlenmektedir. Sisteme su verildikten sonra tepsi testere döndürülmekte ve kesim levha boyunca yapılmaktadır. Bir kenar kesildikten sonra köprü ikinci kenara kadar ötelenerek tekrar doğrultu belirlenmekte ve kesim yapılmaktadır. Daha sonra ise tezgâh 90° döndürülerek aynı işlemler tekrarlanarak levhaların dörtkenarının da düzleştirilmesi sağlanmaktadır. Bu makinelerle belirli genişliklerde levhaların boyutlandırılması da mümkün olmaktadır (Şentürk vd., 1995; Primavori, 2002). Köprü kesme makinesinin genel görünümü Şekil 1.24'te verilmiştir.



Şekil 1.24. Köprü kesme makinesi

1.2.3.3.4. Düşey-Yatay Yarma Makineleri

Yarma makineleri, üretim yöntemine bağlı olarak, üretimi artırmada yararlı olması nedeniyle kullanılmaktadırlar. Zira tepsi testereli kesim makinelerinde 1 cm'lik levha üretimi oldukça zaman kaybettirici ve üretim miktarı az olan bir yöntemdir. Ancak, tepsi testereli kesim makinelerinde, genişlikleri 30,6 cm, kalınlıkları 3-15 cm olan ve kütük olarak isimlendirilen parçalar üretilerek, düşey veya yatay yarma makinelerinde kesilerek 11 mm kalınlığında levhaların elde edilmesi hem zaman kazandırıcı hem de üretim artırıcı bir yöntem olmaktadır.

Düsey yarma makinelerinde 725 mm çapında 3-4 adet küçük tepsi testere ile 900 mm çapında 3-4 adet büyük tepsi testere bulunmakta olup kesilecek olan kütük kademeli bir şekilde levhalara ayrılmaktadır. Yatay yarma makinelerinde 600 mm çapında olan 4 adet tepsi testere bulunmaktadır. İkişerli olarak eksenleri birbirinden sapmış bir şekilde sıralanmışlardır. Kalınlığı 28-30 mm olan levha yatay olarak beslenilmekte ve kademeli kesim sonucunda iki adet yaklaşık 11 mm kalınlığında levha elde edilmektedir.

Doğal taş piyasasında en fazla 42 cm genişliğinde levha kesenler yaygın olmakla beraber, ihracat taleplerini karşılayabilmek için 63 cm gibi daha geniş levhaları kesebilen makineler de tercih edilmektedir (Şentürk vd., 1995; Primavori, 2002). Yatay yarma makinesi görünümü Şekil 1.25'te, düşey yarma makinesi görünümü Şekil 1.26'da verilmiştir.



Şekil 1.25. Yatay yarma makinesi



Şekil 1.26. Düşey yarma makinesi

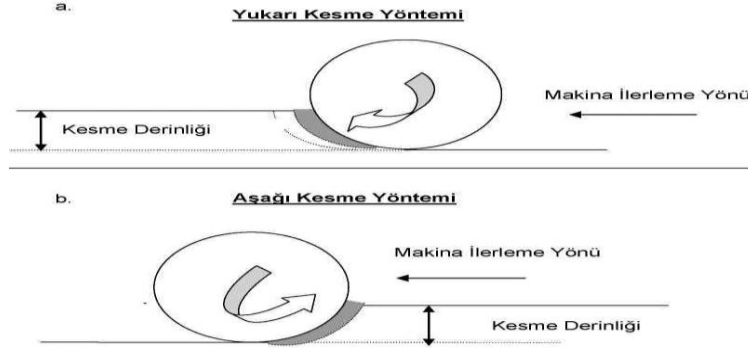
1.2.3.4. Tepsi Testereli Makinelerde Kesim İşlemi

1.2.3.4.1. Tepsi Testereli Makinelerde Kesme Yöntemleri

Yukarıda özellikleri anlatılan tepsi testereli kesicilerle kesme işlemleri iki temel yöntem esas alınarak yapılmaktadır. Bunlar;

- a) *Aşağı kesme yöntemi*
- b) *Yukarı kesme yöntemi*

Testere dönüş yönü ile makine ilerleme yönünün aynı olduğu durumlara *yukarı kesme* (Şekil 1.27.a), makine ilerleme yönü ile testerenin dönüş yönünün farklı olduğu durumlara ise *aşağı kesme* (Şekil 1.27.b) yöntemi denmektedir (Ertingshausen, 1985, Konstanty, 2007).



Şekil 1.27. Yukarı kesme (a) ve aşağı kesme (b) yöntemlerinin görünümü.

Aşağı ve yukarı kesme yöntemlerinin arasındaki farklar şunlardır (Ertingshausen, 1985):

➤ Aşağı kesme yönteminde tepsî testeredeki dik kuvvetler, yukarı kesme yöntemindeki dik kuvvetlere göre büyük, yatay kuvvetler ise küçüktür. Bu sebeple aşağı kesmede; testere kesilen parçayı tabana doğru bastırmaya çalışacak, yukarı kesme işleminde ise testere kesilen parçayı yukarı kaldırmaya çalışacaktır. Bu durumda yukarı kesmede malzeme yukarı kalkmak istediğinden çalışma koşulları bozulacak ve elmas soketlerde beklenenden daha fazla aşınmalar meydana gelecektir.

➤ 20–25mm'ye kadar kesme derinliklerinde yukarı kesmedeki enerji harcamasının, aşağı kesmedeki enerji harcamasına göre daha düşük, kesme derinliğinin artmasıyla ise aşağı kesmenin enerji harcamasının daha düşük olduğu belirlenmiştir.

➤ Aşağı kesme yöntemiyle çalışan tepsî testereledeki soketlerde, düzenli olmayan bir radyan aşınmanın meydana geldiği ayrıca testerede titreşime sebep olarak kesilen yüzeyin kalitesini azaltmakta olduğu görülmüştür. Bunun da testerenin zamanından önce körlenmesine ve sistem dışı kalmasına sebep olduğu anlaşılmıştır.

➤ Yukarı kesme yönteminde elmas tüketimi daha azdır. Bunun sebebi ise; elmas parçacığına kesme işlemi içinde etkiyen kuvvetlerin, 0'dan azami dereceli artmalarıdır. Aşağı kesme yönteminde her bir elmas tanesi, kesme işlemi içinde kendisini etkiyecek kesme kuvvetlerine, hemen kesme işlemi girişinde maruz kalmaktadır. Bu durum elmas tanesi içerisinde bir darbe etkisi yaratmakta, tanenin kırılmasına neden olmaktadır. Elmas tanenin kırılması nedeniyle kesmenin ilerleyen evrelerinde, kesme ve öğütmeden çok sürtünme söz konusu olacağından kesme verimliliği düşmektedir (Tiryaki, 1998).

1.2.3.4.2. Tepsi Testereli Blok Kesicilerinde Kesim Aşamaları

Tepsi testereli blok kesicilerde kesim aşamaları genel olarak şöyle sıralanabilir:

a) Öncelikle vagonun üzerine kalın ve geniş iki adet kalas kesilecek blok veya molozun ağırlık merkezi dengelenecek şekilde yerleştirilir. Daha sonra bloğun kenarları vagon kenarlarına paralel olacak şekilde dış vinç yardımıyla yerleştirilir ve alt kısımları alçı saman karışımıyla kalaslara yapıştırılır. Daha sonra vagon makinenin altına alınır. Bu anda testereler en üst ve ön kısımdadır.

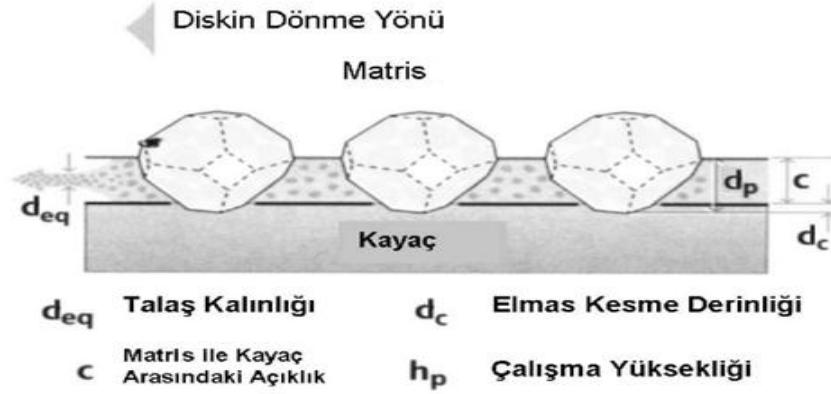
b) Daha sonra testereler elle kumanda ile blok seviyesine indirilerek blok kenarlarına paralelliği kontrol edilir. Uygun değilse mutlaka düzeltilmesi gereklidir. Kesme işlemine başlamadan önce sisteme su verilir. Testereler çalıştırılmaya başlanılarak üst kısımdan taranılarak atılacak olan 5-10 cm'lik kısmı kadar aşağı indirilir ve tarama işlemine başlanır. Tarama işleminde amaç, blok veya molozun üst kısmının tamamen düzgün hale getirilmesidir. Tarama işleminde genelde 5-10 cm kalınlığında parçalar kesilip alınmakta ve makinenin yanında bekletilen atık kazanlarına atılmaktadır. Tarama işlemi bitiminde dolan bu atık kazanları istif makineleriyle yardımıyla alınarak pasa döküm sahasına atılır.

c) Üst kısım taranılarak düzleştirildikten sonra düşey testere alınmak istenilen genişlik ve yatay testerenin soket kalınlığı kadar aşağı indirilir. Düşey testere bloğa giriş ve çıkış işlemleri sırasında düşük ilerleme hızlarıyla kesim yapılmalıdır. Çünkü testere bu esnada blok yüzeyleriyle daha az temas etmekte ve aşırı zorlanmalar ile titreşimler oluşmakta, bunun sonucu olarak da testere normal ekseninden kaçık, hatalı kesim yapmaktadır. Blok içerisinde ise normal kesim hızı ile ilerleme yapılmalıdır. Normal levha kesme işlemine geçilerek kesilen her levhanın ya işçi tarafından elle ya da vakumlu kaptırmalarla alınmasıyla tüm kademe boyunca devam edilir (ancak sert taşların kesiminde testereler bu mesafeyi 5-10 cm'lik adımlar halinde iner). İlk kademe kesimi bitiminde düşey testere ilk konumuna yani bloğun ön kısmına getirilerek tekrar alınacak genişlik kadar aşağı indirilir. Bu işlemler alınabilecek bütün kademelerin kesilmesi süresince tekrarlanır.

d) Bloktan alınabilecek tüm plakalar alındıktan sonra geriye kalan ve kapak olarak isimlendirilen kısım ile makinenin altında kalan kesim sırasında oluşmuş toz atıklar vagon üzerine alınarak dışarı çıkarılırlar. Dışarıda hazır olarak bekletilen ikinci vagon içeriye alınmadan önce makinenin alt kısmı tamamen temizlenir ve gerekli ise makine bakımı yapılır.

1.2.3.5. Tepsi Testere Sistemiyle Kesme Mekanizması

Tepsi testereleer ile kesme sırasında oluşan kesim alanı Konstanty tarafından incelenmiş, kesim alanının tanımlanmasında rol oynayan parametreler Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Bu kesim alanı böyle ifade edebilmek için kesici elmasların hepsinin aynı kesme yüksekliğinde yerleştirildiği ve matris ile kayaç arasındaki açıklığın kesim alanı boyunca aynı olduğu kabul edilmiştir(Konstanty, 2007).



Şekil 1.28. Kesim alanının şematik olarak görünümü (Konstanty, 2007, Özçelik vd., 2008).

Elmas kristali kayaçta kesme yaparken çentik kuvvetini uygulamaktadır. Tepsi testere ile kesmede, elmas ilerleme derinliği $\{d_c(\mu m)\}$ aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir (Özçelik vd., 2008).

$$d_c = \sqrt{\frac{\text{Kesme Oranı} \left(\frac{cm^2}{dak} \right)}{\text{Bıçağın Çevresel Hızı} \left(\frac{cm}{dak} \right) \times \text{Elmas Alanı} (cm^2) \times N_A}} \quad (1.1)$$

N_A : Elmasın birim yüzey alanında kesici köşe sayısıdır.

N_A genel olarak elmas tane boyutuna ve oranına bağlıdır fakat bunun yanında matrisin tutma kapasitesinden de etkilenmektedir.

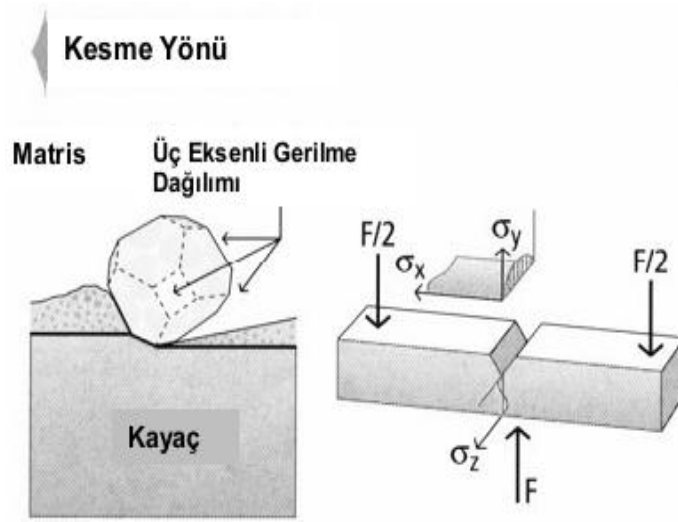
Bir başka önemli parametre ise d_p çalışma yüksekliğidir. Bu parametre, elmas tane boyutu, dayanımı ve oranının birleşimi sonucu oluşmaktadır. Elmas tane boyutu arttığında ve elmas oranı sabit tutulduğunda, elmas kristale gelen fazla yüke karşı koyabilmesi için çalışma yüksekliğinin de artması gerekmektedir.

Elmas çıkıntısı, kesme işlemi sırasında oluşan talaşın ortamı terk etmesi için gerekli açıklığı oluşturmaktan dolayı, kesme işleminin verimliliğine etki eden en önemli parametrelerden bir tanesidir.

Tepsi testerelerle yapılan kesme işleminde, ortamda oluşan kayaç ve matris artıkları, ortamı suyla terk etmektedir. Bunlar, talaş kalınlığının $\{d_{eq}(\mu m)\}$, matris ile kayaç arasındaki açıklık (c) oranına bağlıdır.

$$d_{eq} = \frac{\text{Kesme Oranı} \left(\frac{cm^2}{dak} \right)}{\text{Bıçağın Çevresel Hızı} \left(\frac{cm}{dak} \right)} \quad (1.2)$$

Kesme işleminde kübik-oktahedral şekilli elmas kristalleri, matriste yapay bir sırt oluşumuna sebep olmaktadır. Oluşan bu sırt, elmas kristal üzerinde üç eksenli bir gerilme dağılımı oluşturmaktadır (Şekil 1.29).



Şekil 1.29. Kesici elmastaki potansiyel gerilme dağılımı (Özçelik vd., 2008).

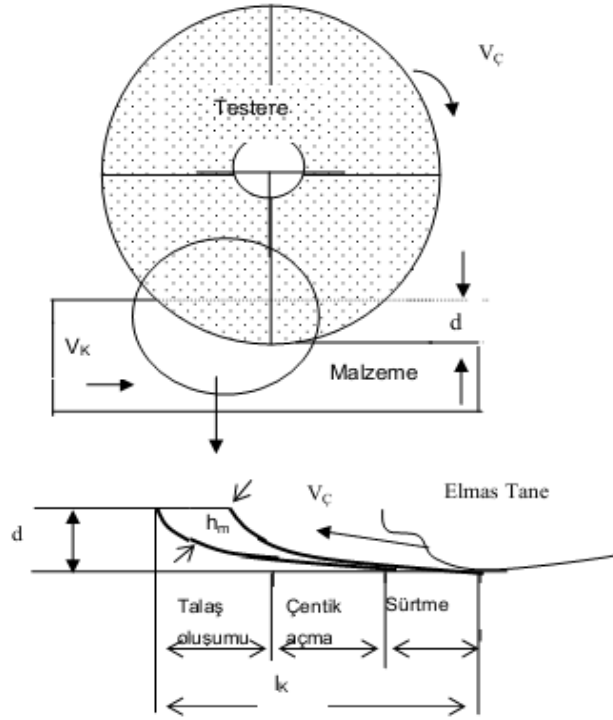
Tepsi testereler ile kesme işleminde, kesici ile kesilen malzeme arasındaki kinematik ilişki kesici yüzeydeki her bir elmas tanesi için geçerli olmaktadır. Kesme işlemi için önceden yapılan çalışmaların dayandığı ana temel; tepsi testere üzerindeki elmas tanesinin mekaniğidir. Bazı yaklaşımlar sonucunda, kesme işlemi sırasında kesilen malzeme ile elmas tane arasında geometrik bir ilişkinin ortaya çıktığı belirtilmektedir (Chen vd.,1996; Özçelik vd., 2008).

Tepsi testereler ile kesme işlemi üç aşamadan oluşmaktadır;

- Sürtme aşaması
- Çentik açma aşaması
- Kesme aşaması

Elmas tanesinin, kesilecek yüzey ile temas ettiği anda sistemin elastik deformasyonuna bağlı olarak kesme işlemi yapmadan kaydığı kısım sürtme aşamasıdır.

Elmas taneyle kesilecek malzeme arasındaki gerilme, elastik limitten sonra artış göstermekte ve bunun sonucunda plastik deformasyon oluşmaktadır. Bu aşama ise çentik açma aşamasıdır. Kesilen malzeme uygulanan kuvvetin etkisiyle öne doğru yığılma göstermekte ve elmas tanenin kenarları oluk açımına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda malzeme yırtılma gerilmesine dayanamayarak talaş oluşumu gerçekleşmektedir. Talaşın bu oluşma aşamasına kesme aşaması denmektedir. Talaş oluşumundaki üç aşama Şekil 1.30'da gösterilmiştir (Chen vd., 1996).



Şekil 1.30. Talaş oluşumu sırasında meydana gelen üç aşama (Özçelik vd.,2008).

Burada;

l_K : Deforme olmayan talaş yüzeyi (μm)

h_m : Deforme olmuş azami talaş kalınlığı (μm)

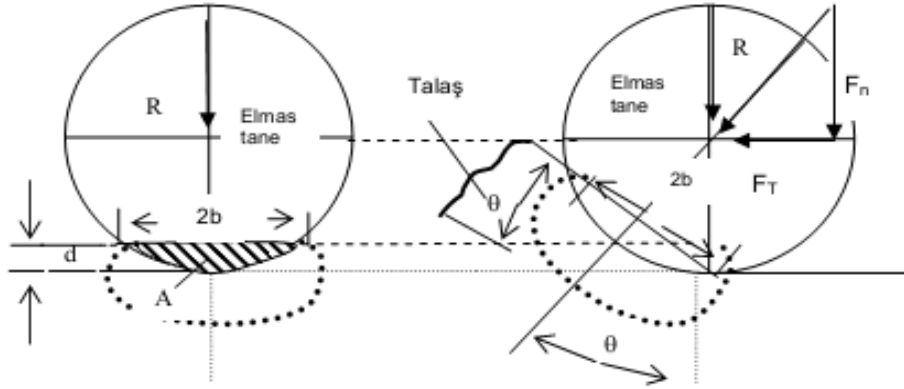
d : Kesme derinliği (cm)

$V_Ç$: Tepsi testerenin dönme hızı (cm/dk)

V_K : Malzemenin ilerleme hızı (m/sn) ile ifade edilmektedir.

Kesme işlemi sırasında makinenin harcamış olduğu enerji malzemeyi kesmek için gerekli olan enerjidir. Verimli bir kesme işlemi, çentik açma ve sürtünme aşamalarında tam olarak elde edilemez. Burada meydana gelen deformasyon ve sürtünme de bir enerji kaybı ortaya çıkmakta, bunun sonucunda ortamda oluşan yüksek sıcaklık diskin aşınma oranının artmasına ve beklenenden çok önce sistem dışı kalmasına sebep olmaktadır.

Kesicilerde kullanılan aşındırıcı elmas tane yüzeyleri düzensiz şekle sahip olduklarından kesicilerle ilgili benzetişim çalışmaları yapılamamaktadır. Buna karşın Shaw 1971 yılında yaptığı çalışmada elmas tane şeklini küre kabul ederek bir modelleme yapmıştır. 1971 yılında Shaw, 1996 yılında Chen vd. tarafından geliştirilen bu model üzerinde yapılan çalışmada; elmas taneye uygulanan normal kuvveti Brinnel sertlik testi ve Meyer sertlik testinde uygulanan kuvvetle benzer kabul etmişlerdir. Deformasyon işlemi sırasında elmas tane elastik – plastik sınırını zorlamakta ve bunun sonucunda elmas tane yatay olarak hareket ederek, plastik deforme alan yüzeyini eğimli hale getirmektedir. Bu işlem sırasında malzemenin yukarı doğru sıkıştırılarak talaş oluştuğu ve yüzeyden koptuğu saptanmıştır. Küre şeklinde kabul edilen elmas tanenin talaş oluşturma prensibi Şekil 1.31’de gösterilmiştir.



Şekil 1.31. Kesme sırasında küre şekilli elmas tanenin talaş oluşturma prensibi (Özçelik vd., 2008).

Burada;

- R : Çentik kuvveti (N)
- F_n : Normal kuvvet (N)
- F_t : Teğet kuvveti (N)
- e: : Çentik kuvveti sonucunda ortaya çıkan talaşın kopma açısı (derece)
- A : Deforme olmamış talaş alanı (mm^2)
- D : Kesme derinliği (mm) ile ifade edilmektedir.

Çentik kuvveti aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir;

$$R = \pi b^2 H \left(\frac{c'}{3} \right) \quad (1.3)$$

Burada;

- R : Çentik kuvveti (N)
- B : Kaldırılan alanın yarıçapı (mm)
- H : Bıçak çapı (mm)
- c' : Sınırlayıcı faktördür.

Yukarıdaki eşitlikte elmas tane ve malzeme arasındaki yüzeyde sürtünmenin yokluğunda uygulanan kuvvet sabittir. Burada oluşan çentiğin alanı da sabit kabul edilmektedir. Burada kullanılan sınırlayıcı faktör (C^f) temas edilen alanın ortalama basıncının (p) yerindeki gerilmeye (σ_b) oranı olarak tanımlanmakta ve çoğu kez $C^f \sim 3$ civarında olmaktadır.

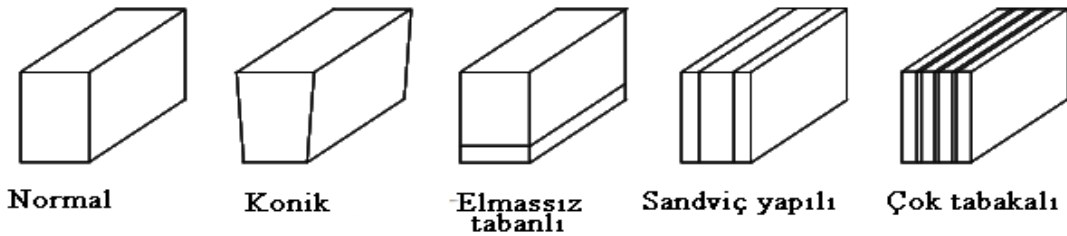
1.3. Mermer Kesici Takım Üretimi

Testere ağzı soketlerin imalatında kullanılan en yaygın üretim tekniği TM üretim yöntemidir. Bu yöntemde elmas parçacıkları toz metal ile karıştırılır. Bu yöntem sayesinde genellikle elmas taneleri ve metal tozları birlikte karıştırılarak MKT üretimi için kullanılırlar.

Sıcak presleme, çok yaygın bir üretim tekniği olmasına rağmen tozlar basınçsız sinterleme (Ucun, 2004; Konstanty, 1991), sıcak izostatik presleme (Özçelik vd., 2008) veya bu ikisinin kombinasyonu (Mannoni vd., 1984) ile ya da ekstrüzyon (Cappuzzi, 1989), lazer ergitme (Conti, 1986), sıcak presleme ve lazer kesimin kombinasyonu ve kişiye özel başka birçok teknikle üretilebilir (Özçelik, 1999; Demirdağ, 2001).

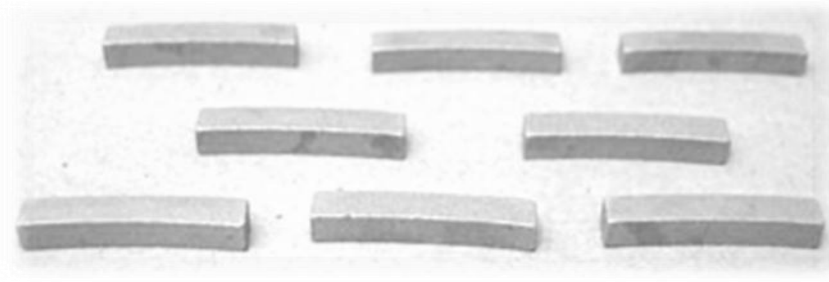
1.3.1. Mermer Kesici Takım Tasarımı ve Bileşimi

Elmaslı MKT veya soket olarak kullanılan MKT biçimleri Şekil 1.32’de görülmektedir. Bu tür soketler endüstride çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Soketin şekli ve bileşimi ne kadar karmaşık olursa üretim maliyetleri de o derecede artar. Bununla birlikte, testere ağzı, üretim gereksinimleri, kullanım özellikleri ve ekonomik nedenlerden dolayı genellikle karmaşık şekillerin seçilmesine neden olur.



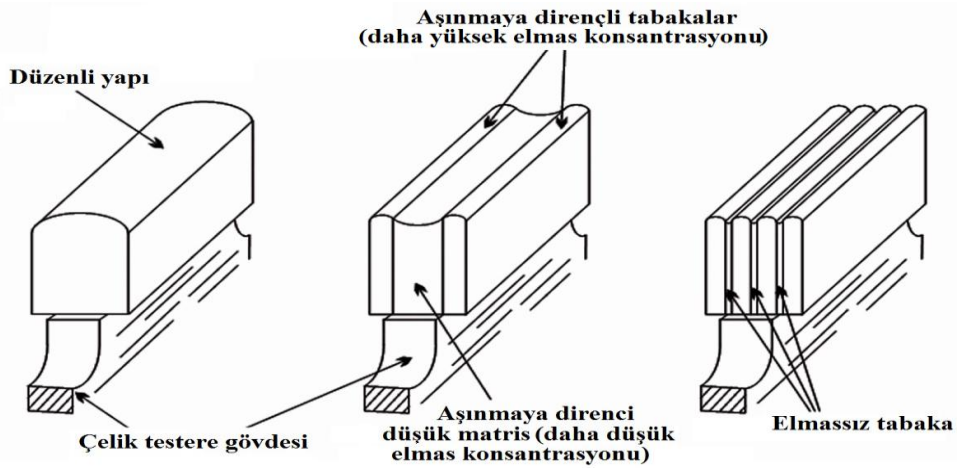
Şekil 1.32. Değişik amaçlarla kullanılan soket çeşitleri.

Eğimli soket uygulamaları, kesilen doğal taş ile takım yüzeyleri arasında daha az sürtünme oluşturması ve daha az tozla üretildiği için avantajlıdır. Şekil 1.33’te eğimli soket gösterilmiştir.



Şekil 1.33. Eğimli soketlerin görünüşü.

Doğal taş kesiminde kullanılan soketler testereye kaynak edilirken elmas tabanlı veya elmas içermeyen tabanlı olarak üretilir. Soketlerin elmas içermeyen tabanlı olarak kullanılmasının iki nedeni vardır. Bunlardan birincisi, soketler çelik testere desteğe kadar nadiren aşınır ve tabanda kullanılmayan elmas sebebi ile soketler daha düşük maliyetli olur. İkincisi ise, elmas içeren malzemenin kaynak edilemeyişi ya da elmassız malzemeye göre daha zor kaynak edildiği için tabakanın uygun ergime özelliği sayesinde lazer kaynağının daha kolay yapılabilmesidir (Urhan vd., 1993). Ön kısımda bulunan şok sönümleyici tabaka, yüksek kesim oranlarında soket davranışlarını kontrol edebilmek amacıyla kullanılmaktadır (Bozkurt, 1989).



Şekil 1.34. Normal, sandviç ve çok tabakalı soketin aşınma şekli

Sandviç olarak adlandırılan üç ya da daha fazla tabakadan meydana gelen takımlardaki dış tabakalar aşınmaya karşı daha duyarlı, sert ve iç tabakalardan farklı bir matris malzemesinden oluşur. Bu soketler aşınınca eyere benzer bir şekil alır. Şekil 1.34'te gösterildiği gibi, olması istenilen ve eyere benzeyen aşınma şekli kesim sırasında oluşur. Bu da MKT'ye kesme sırasında izleyeceği yolun ortaya çıkmasını sağlar. Bu durum kesim sırasında çoğu zaman düzensiz bir hal alan kesmenin düz bir eksen üzerinde yapılmasını sağlar.

1.3.2. Mermer Kesici Takım İçin Matris Seçimi

Metal esaslı matrisin iki temel işlevi vardır. Bunlardan birincisi elması sıkı tutmak ve ikincisi de elmas kaybı ile uyumlu olarak aşınmadır. Metal matrisin aşınma direnci işlenen malzemenin aşınması ile uyumlu seviyede olmalıdır. Yani elmas taneleri matrisin erken aşınması sonucunda desteksiz kalarak fazla miktarda yüzeyden dışarı çıkmamalı ve zamanından önce matristen kopmamalıdır.

Çok yumuşak bir matris elmastan daha hızlı aşınır ve bu da elmas kaybı ile sonuçlanır. Diğer taraftan aşırı derecede aşınma direncine sahip bir matris, elmas köreldikten sonra aşınarak soket yüzeyinin parlamasına ve MKT'nin görev yapmamasına sebep olacaktır. Bu olay genellikle cilalanma olarak bilinir.

Sert ve yoğun bir kaya testere ile kesilmeye başlandığı zaman, kayadan çok az miktardaki tortu parçası, çok ince bir toz halinde kayadan koparılır. Böyle koşullar altında matris aşınması yavaştır. Diğer taraftan, kesilen malzeme yumuşak, süngerimsi ve kumlu ise, iri taneli toz parçacıkları kaya parçasından kopar ve matrisin oldukça hızlı aşınmasına neden olur. Ancak, sadece kesilen malzeme değil kesici cinsi de (katrak, Tepsi Testere vb.) göz önüne alınmalıdır.

Katraklı kesim süresince kesimde oluşan taş parçacıklarının taşınması katrak lamasının ileri geri hareketiyle engellenir. Fakat tepsi testereli kesimde, testere tek yönde döndüğü zaman kaya parçacıklarının atılması artacağı için, katraklı kesimde metal matrisin aşınma oranı döner testereye kıyasla daha fazladır.

İkinci ve aynı derecede önemli olan durum ise matrisin elmasları sıkı bir biçimde tutabilmesidir. Kesme işlemleri boyunca, matris ile elmas arasındaki bağ, elmas parçacıklarının maruz kaldığı dönme momentine dayanacak kadar güçlü olmalıdır. Burada elmas tutunmasının anlamı, elmasın matris ile mekanik ya da kimyasal yoldan bir bağ oluşturmasıdır.

Matrisin potansiyel tutucu özelliği çoğu zaman aşınma özellikleri ve akma dayanımıyla belirlenir. Elmasın kırılıp matristen kopması için elmas tanecikleri üzerine gelen kuvvet matrisin akma dayanımını geçmek zorundadır (Akpar Makine, 1999).

Çekme kuvveti elmas etrafındaki elastik deformasyon ile ilgisi yoktur. Çekme kuvveti, gerilmeleri arttıran elmasın şekliyle ilgili bir durumdur. Malzemenin çentik hassasiyeti ve yumuşaklığı önemli parametrelerdir. Bilhassa ana aşınma mekanizmalarından elmasa çarpma hasarı matrisin darbe özelliklerini kritik bir seviyeye getirir. Örneğin, kuvars içeren sert bir malzemenin yüksek çevresel hızda kesilmesi (Bayram vd., 2003).

Matris bileşimlerinin birçoğu tutunma işlemini mekanik olarak yapmasına rağmen çok sayıdaki çalışma, ilave bileşenler vasıtasıyla matris ile elmas arasındaki kimyasal bağlanmayı geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bağlanma genellikle karbür oluşturan alaşımlar kullanılarak sağlanır. Bu alaşımlar elmas parçacıklarını ıslatmak ve çevresini sarmak için sıcak pres sinterleme sıcaklığında eriyebilir olması gerekmektedir (URL-11).

Elmas tanesi yüzeyindeki karbür çekirdeği ilk önce soğuyan elementten başlayarak ara yüzey tabakasının oluşması için devam eder. Bu noktadan sonra, ara tabaka büyümesi sertleşince, akış ya da gözenekliliğin gelişmesinden karbür kalınlığına bağlı olarak zayıflar. Ayrıca çoğu kez çok kalın karbür tabakalarının şekillenmesinden dolayı keskin elmas yüzeyinin bozulması meydana gelir. Karbür şekillendiricilerin normal konsantrasyonu ihtiyaç duyulan ıslatma kabiliyetinden çok daha az olduğundan matris malzemesi olarak kullanılan son derece güçlü birleştirici alaşımların kullanılmasında problemler ortaya çıkar. Bu sorunların üstesinden gelmek için sıvı faz sinterleme tekniği uygulanmaktadır.

Krom (Cr) içeren önceden mekanik olarak alaşımlandırılmış ya da önceden alaşımlandırılmış tozlar (Burgess, 1978) ve tungsten içeren karışımlar endüstriyel ortamda bütünüyle incelenmiştir (Thakur, 1985). Ancak her iki teknikte de uygulanamaz hale gelmiştir. Takım performansındaki artış, eklenen özelliklere karşı neredeyse karşılığını vermemektedir.

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. Örneğin Co esaslı bir matriste artan Cr miktarı Kirkendall etkisi nedeniyle gözenekli yapının artmasına veya istenmeyen σ fazının oluşmasına yol açar (Burgess, 1978).

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. Metalik inklüzyonların varlığından dolayı, bu zayıflama 1000°C'den sonra daha hızlı bir şekilde meydana gelir. Bu nedenle, elmas tanesinin termal kararlılığı matris tozlarının sıcak presleme işlemi 1100°C civarında yapılması gerektiğinde dikkate alınmalıdır. Elmas sertliğindeki azalmaya ek olarak, yüzey granülasyonu hem sentetik hem de doğal elmas tanelerinde görülür. Bu işlem yaklaşık 700°C civarında başlar (Dwan, 1998).

Açık bir şekilde grafit dönüşen elmasın yüzdesi minimum seviyeye indirilmelidir, bu yapılmadığı takdirde takımın ömrü azalır. Bu olay özellikle ince taneli elmas içeren uygulamalarda önemlidir.

Soket üretiminde elmas tanesi boyutu ne kadar küçük olursa, sıcaklık o denli yüksek ve daha uzun süre sıcak presleme zamanı gerekir. Bu da elmas yüzeyinde daha fazla granülasyon artışına sebep olur.

Fe, Co, Ni ve W gibi metaller fark edilir derecede karbon çözücü olduğu için elmas yüzeyini etkiler ve elmasın kullanılmadan yapıdan uzaklaşmasına neden olur (Hamar vd., 1999). 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. Bu tür sınıflandırma soket üretimi imalat şekline göre Tablo 1.10'da verilmiştir.

Tablo 1.10. Soket üretimi sınırlamaları

Sinterleme sıcaklığı	Elmas bozulma miktarı		Sıcak pres malzemelerinin tüketimi (Grafit kalıp ve elektrotlar, soket tutucu aparatlar, seramik izolator vb.)
	Sentetik Elmas (şekilsiz, aşırı sert ve yüksek oranda metalik inklüzyonlar içeren)	Sentetik ya da doğal Elmas (kübik şekilli, berrak ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı)	
900°C'ye kadar	Az	Az	Az
900-1000°C	Orta	Az	Orta*
1000 - 1100°C	Yüksek	Az ya da Orta	Yüksek *

*Koruyucu gaz altında yapılan vakumlu presleme grafit tüketimini azaltır.

En çok kullanılan matris malzemeleri, Co, Fe, Ni, Sn, bronz alaşımları, W ve WC oluşur. Elmaslı takımlarda doğru matris seçimi karmaşık bir işlemdir. 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 şartlarda temel matris malzemesi bile matrisi sertleştirmek için değiştirilebilir.

1.3.3. Mermer Kesici Takım için Elmas Tanecik Seçimi

MKT üretimi için seçilen herhangi bir yöntemde taşın cinsine göre elmas tanecik seçimi yapmak gerekir. Verimli bir mermer kesimi için elmas tanecik seçimi sırasında;

- *Elmas Tanecik Tipi,*
- *Tanecik Boyutu,*
- *Elmas Öz Kütlesi* gibi faktörlerin göz önüne alınması büyük önem arz eder.

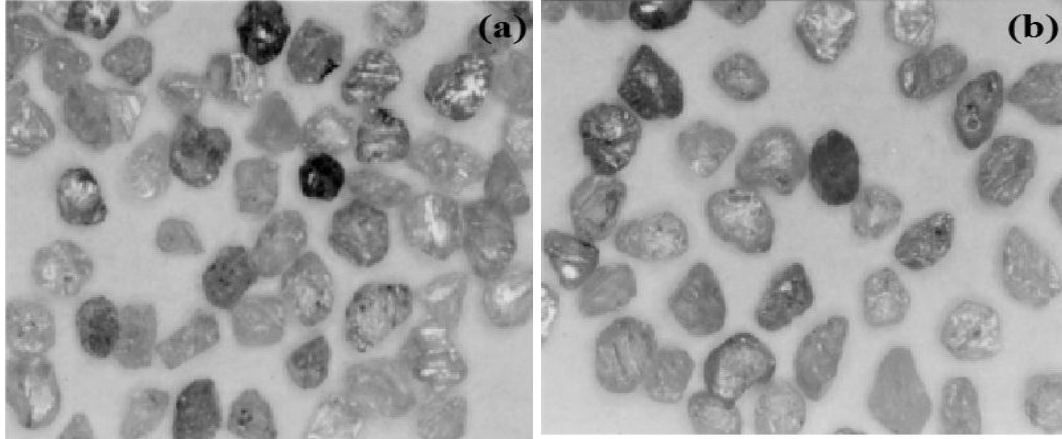
1.3.3.1. Elmas Tanecik Tipi

Sokette kullanılacak elmas aşındırıcı tipi işlenecek taşa göre belirlenir. Bundan dolayı en iyi kural kesilecek taş ne kadar sert ise, o kadar sert elmas seçilmesidir. Elmas üreticileri, takım imalatçıları için mekanik dayanım, ısıl kararlılık ve matrise tutunma karakteristiği gibi farklı özelliklerde ve çok geniş alanda doğal ve sentetik elmas seçme olanağı sağlarlar. Doğal elmas ile sentetik elmas arasındaki temel fark impürite (kirlilik, katkı) miktarıdır.

Doğal elmaslar, parçalanmış doğal elmas parçacıkları olduğu için metalik inklüzyonlar (kalıntılar) içermezler. Bundan dolayı, önemli derecede termal kararlılık gösterirler. Sentetik elmas tanecikleri 800°C’de sertliklerini kaybetmeye başlamasına rağmen, doğal elmas tanecikleri sertliklerini 1400°C’ye kadar korurlar (Gasik vd., 1999).

Doğal elmas tanecikleri matrise tutunan yüzlerinin gözenekli olması sebebiyle mükemmel derecede yapışma kabiliyetine sahiptirler. Bu sebepten dolayı doğal elmas tanecikleri mermer, kumtaşı ve düşük sertlikteki malzemelerin kesiminde avantajlıdır. Düzensiz olan elmas yüzeyi mekanik dayanımı azaltır. Daha sert taşların kesiminde bu engel yüksek şok kuvvetlerine dayanıklı olarak tasarlanan ovalleştirilmiş elmaslı MKT’lerin kullanımında başarılı olur (Cram, 1995).

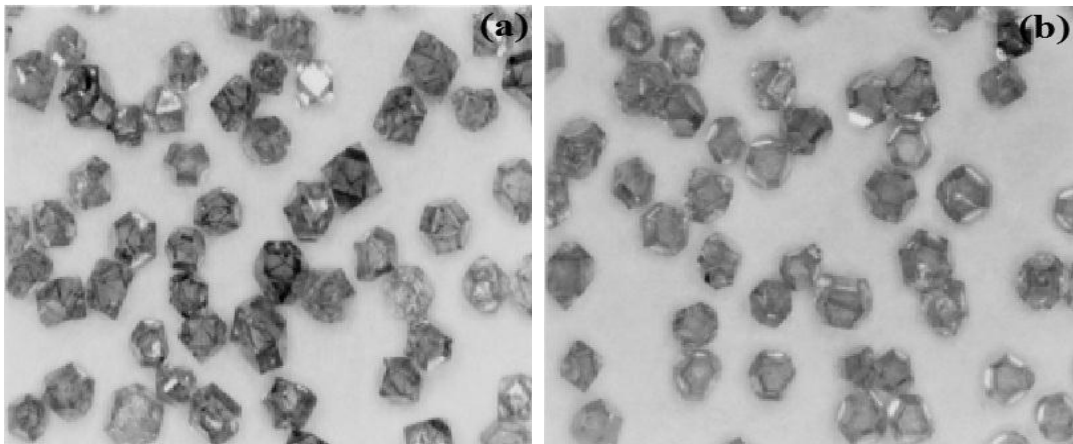
Ovalleştirilmiş şekil çok daha yüksek kesme kuvveti gerektirdiğinden sonuç olarak daha dayanıklı ve daha güçlü makineleri gerektirirler. Bütün bunlara rağmen ovalleştirilmiş doğal elmas taneciklerinin seçimi yüksek sinterleme sıcaklıklarına dayanabildikleri ve daha düşük fabrikasyon maliyeti gerektirdikleri için tercih edilmeleri bazı avantajlar sağlar(şekil 1.35).



şekil 1.35. Doğal elmas aşındırıcılar (a) ok tabakalı yüzey (b) ovalleştirilmiş yüzey

Sentetik elmas kullanılmasının temel avantajı, bu elmas türünün özel uygulama ihtiyaçlarına göre tasarlanması ve üretilmesidir (Wright vd., 1986). Üreticilerin çeşitli taleplerine göre farklı tane boyutlarında iki grup sentetik elmas vardır.

Sentetik elmas kristallerinin farklı içyapıları için Co esaslı veya Ni esaslı alaşımlar kullanılarak bu elmaslar yapılır. Kobalt esaslı elmaslarda kobalt ara tabakalar arasına girerek metalik kalıntı şeklinde görülür. Oysa Ni esaslı elmaslarda impüriteler elmas tanesi içinde düzenli olarak dağılır. Bunun sonucunda mkemmek berraklık ve dış görünüş, sıcak preslemeden sonra da iyi mekanik özellikler elde edilir (Ojeda vd., 1998, Samvelion vd., 1995). şekil 1.36’da iki farklı elmas türü görülmektedir.



şekil 1.36. Sentetik elmas aşındırıcılar (a) Co esaslı sentetik elmas (b) Ni esaslı sentetik elmas

Elmasın katalitik granülasyonuna VIII. grup metallerinin neden olduğu bilinmektedir (Gruneis, 1998). Elmasın grafitte dönüşümü %56 hacim artışı ile sonuçlanır. Granülasyon gerilimleri ve termal gerilmelerin oluşumu elmas-metal ara yüzeyinde ısı genleşme katsayısında zayıflamaya hatta elmas parçacıklarının ufalanmasına sebep olur (Cram, 1995). Sonuç olarak kalıntıların miktarı ve hareketi sıcak presleme işlemlerine göre elmasın aşınma karakteristiklerini değiştirerek her elmas taneciğinde görülmektedir.

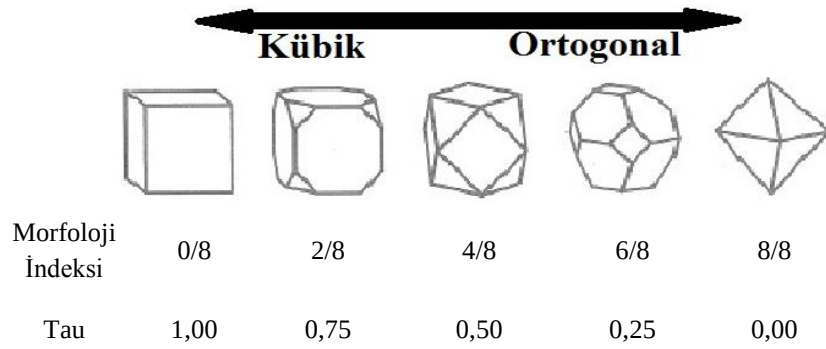
Kobalt esaslı alaşımdan üretilen elmas tanelerinde, kalıntıların geometrik olarak düzenli ve sıralı olduğu, nikel esaslı alaşımdan üretilen sentetiklere göre kıyaslandığında daha düzensiz ve çatlama eğilimi gösterdiği gözlenmiştir. Bu özellik düşük kesme hızlarında kesme işlemini kolaylaştırır. Fakat güç gerektiren uygulamalarda takım yetersiz kalır (Ojeda vd., 1998). Son kırk yıldan günümüze kadar, laboratuvar teknikleri elmas tanelerinin termal stabilizesi ve dayanıklılığını ölçmek için geliştirilmektedir. Günümüzdeki mevcut endüstrinin standart muayene işlemi darbe testidir. Bu işlemde, titreşen bir kapsül içinde bulunan elmas numuneleri ve deney bilyesi kapsül içindeki elmas parçacıklarına çarpar (Schmid, 1995).

Elmas ya ısıl işlem görmemiş halde ya da yüksek sıcaklıklarda ısıl işlem gördükten sonra kullanılır (Ojeda vd., 1998; Schmid, 1995). Bir başka yöntemde soketin sıcak preslerde üretilmesinin elmas dayanımı üzerindeki karmaşık etkilerinin önceden tahmin edilmesine yardımcı olur (Gasik vd., 1999). Matris ile elmas ara yüzeyinde meydana gelen kimyasal reaksiyonlardan matrisin kendisi elmas indirgenmesini hızlandırabilir (Hamar vd., 1999; Fiechter, 1995).

Elmas tanecikleri dayanımını belirlemek için iki yol vardır. Birincisi yarılanma süresi fikrine dayanır, yani eleğin altında kalan elmasın %50'nin altında olması için gerekli zamandır. İkincisi ise sabit bir sürede ufalanma zamanına bağlı olarak elek altında kalan elmasın yüzdesinin ölçülmesidir. Bu deney tokluk indeksi (TI) veya numune deneyden önce ısıl işlem görürse termal tokluk indeksi (TTI) olarak adlandırılır. Son yıllarda keşfedilen diğer bir teknik de baskılı kırılma dayanım deneyidir (Weber vd., 1999). Bu deneyde iki adet dönen merdane yaylı yük ölççere bağlıdır ve test örneğindeki birbirinden ayrı elmas parçacıkları bilgisayarlı yük ölçer ile dinamik olarak yüklenir ve kırılır. Her bir kristali kırmak için gerekli olan kuvvet ölçülür ve işlenir, sonuçta parçadaki kristal dayanım deformasyonu hakkında geniş kapsamlı bilgi ile ortalama bir değer elde edilir.

Hangi yöntem seçilirse seçilsin, bu yöntemlerle elde edilen bilgiler takım üreticilerinin soket bileşimini ve üretim tekniğini tasarımlarında yardımcı olur ve önceden yapılan uygulamalar taneciklerin nasıl bir aşınma davranışı göstereceğini bilmelerine yardımcı olur.

Elmas taneciği, dayanımının bilinmesinin yanında, elmas üreticileri elmasın şeklinin elmas kalitesiyle aynı derecede öneme sahip olduğunu belirtir. Şekil 1.37’de sentetik elmasların ideal kristal morfolojisi kübik yapıdan ortogonal yapıya kadar sıralanmıştır.



Şekil 1.37. Çeşitli sentetik elmas taneciklerinin gösterimi

Elmas taneciğinin şekli, kullanımda sağlamlığını ve kırılma karakteristiklerini kesinlikle etkiler. Bu nedenle düzgün şekle sahip olan kübük-ortogonal şekilli elmaslar, düzgün olmayan köşeleri keskin ve kaba yüzeyli elmaslara göre daha dayanıklıdır. Ancak daha az miktardaki elmas tanecikler uygulamalarda daha iyi sonuçlar verir ve matrise daha iyi tutunur. Matrise iyi tutunma özelliği olan daha güçsüz elmas kristalleri genellikle katra kesimi uygulamalarında gereklidir. Bu nedenle doğal elmas yerine uygun olarak seçilen sentetik elmaslarla soket karakteristiklerinin geliştirilmesinin çok büyük önemi vardır (Ucun, 2004).

Elmaslı takımlarda matrisin en önemli görevi mümkün olduğu kadar uzun süre elmas kristallerini tutmasıdır. Genellikle, matristen kopan elmas parçaları miktarı ile kesme işlemi yapan elmas parçacıkları karşılaştırdığında matris elmas parçacıklarının tümünü tutamadığından dolayı kesme işlemi yapan elmas parçacıklarının miktarı azdır. Kopma oranı 1/4’ten az ise bu durum normal sayılır (de Chalus, 1994). Çünkü metalik matrislerin büyük çoğunluğu sadece elmasın mekanik olarak tutunma ilkesine dayanır.

Özellikle çok güçlü blok şekilli ve oval yüzleri olan sentetik tanecikleri tutmak için matris geliştirmek kolay değildir. Bu nedenle elmasın kendisi kesme işlemi sırasında oluşan çekme kuvvetini minimize etmek için matris ile birlikte çalışmalıdır. Bu sorunun üstesinden gelmek için iki yöntem vardır. İlk yöntem; termal ya da kimyasal işlem uygulayarak elmas parçalarının yüzeylerini pürüzlü hale getirmektir (Konstanty, 1999; Scott vd., 1975). Ancak bilinen işlemler bazı dezavantajlara sahiptir. Matrise yapışma dayanımı artmadan önce oldukça fazla miktardaki malzeme elmas yüzeyinden kaldırılmalıdır. Yüzeydeki oyulmada elmasın sağlamlığını ve dayanımını azaltacak derecede risk vardır. Bu yüzden bu yöntem genel uygulamalarda kullanılmaz.

Matristeki elmas tutulumunu geliştirmek için en etkin yol kristalleri güçlü karbür yapıcı elementler titanyum (de Chàlus, 1994, Levin vd., 1990), krom ya da zirkonyum (The metallurgy of diamond tools, 1985) gibi malzemelerle ince bir film halinde kaplamaktır. Ek tabaka olarak (de Chàlus, 1994) veya iki kat tabaka olarak tercihen nikel karbür yapıcı tabakayı oksidasyondan korumak için kullanılır ve kristalin matris malzemesi ile tutunmasını sağlar.

Kaplanmış elmasların sağladığı avantajlar, artan takım ömrü, düşük testere çevresel hızlarında iyi kesim (de Chàlus, 1994), elması yüzey granülasyonundan (Levin vd., 1990) oksidasyon ve istenmeyen matris bileşimlerinden koruma (Young, 1999), matris özelliklerinde istenmeyen etkileri azaltmaktır. Kaplanmış elmasların kullanımları genelde granitin işlenmesi ile sınırlandırılmıştır. Fakat günümüzde kaplanmış elmaslarla kumtaşı ve mermer gibi taşlar kesilmektedir (Samvelion vd., 1995).

1.3.3.2. Elmas Tanecik Boyutu

Elmas taneciğinin büyüklüğü, matris yüzeyinden elmas çıkıntı yüksekliğini belirler ve kesicinin kesme yüzeyinden açıklığına etki eder. Etkili bir kesim için, elmas taneciğinin büyüklüğü ile kesilecek malzeme arasında yakın bir ilişki vardır. Pratikte tavsiye edilen elmas tane boyutları aşağıdaki gibidir (Tuzzeo vd., 1999; Zsolnay, 1977):

- 50/60 US mesh—çok sert ince taneli malzemeler için (çakmaktaşı),
- 40/50 US mesh—sert, ince taneli malzemeler için (granit, bazalt),
- 30/40 US mesh – orta sertlikteki malzemeler için (mermer),
- 20/30 US mesh – çok yumuşak malzemeler için (iri taneli kireçtaşı).

Mükemmel yüzey bitirme işlemleri ve pah kırma işlemleri için daha ince taneli elmasların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Herhangi bir türdeki elmasın daha küçük boyutlu olanı daha dayanıklı olduğundan özellikle daha sert taşların işlenmelerinde kullanılır.

İri taneli elmas kullanılmasının avantajı, yüksek kesim hızlarında daha verimli olmasıdır. Çünkü iri taneli elmaslar talaş boşluğunun fazla olması ve kesilen taş parçacıklarının testerenin her dönüşünde daha fazla miktarda kesim bölgesinden rahat çıkması sayesinde kesilen taş daha temiz yüzeyli olarak çıkar. Ancak çok iri taneli grit çok sert malzemelerin kesme işlemlerinde kullanılırsa hem matrizen elmaslar kopar hem de elmas yüzeyinde aşınmadan ötürü düzlükler oluşur. Bu da elmasın parlamasına ve kesim işleminin yapılamamasına neden olur (Dyer vd., 1972).

1.3.3.3. Elmas Öz Kütlesi

Soket içindeki elmas miktarı elmasın ağırlığına bağlıdır. Teorik hacmi 1 cm³ olan matrize 4,4 karat elmas taneciği bulunur (hacmin %25'i). Diğer konsantrasyonlar bununla orantılıdır. Elmas öz kütlesi elmas parçacık boyutu ile birlikte, soketin kesme yüzeyindeki her bir kesme noktası sayısı ile belirlenir. Tablo 1.11'de gösterildiği gibi elmasların toplam sayısı ve matrise bağlantı yeri, elmas öz kütlesi ile doğru ortalama parçacık boyutu ile ters orantılıdır.

Tablo 1.11. Aşınan soketin 1 cm² alanındaki yüzeye çıkmış elmasların toplam sayısı (Davis, 1996).

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

Soket yapımında hangi konsantrasyonun kullanılacağı çeşitli etkenlere bağlıdır. Öncelikle soket bileşimini belirlemek için kesilecek malzeme ve özellikleri dikkate alınmalıdır. Genel olarak, kesilecek malzemenin daha çok ufalanması ve aşınması isteniyorsa, elmas öz kütlesi daha yüksek olmalıdır. Elmas öz kütlesinin azalmasıyla, her elmas başına düşen kuvvet bununla orantılı olarak artar.

Her bir elmas parçasının kaldırdığı artan malzeme miktarıyla belirli bir kritik noktaya ulaşılır. Elmasın dayanım noktası ve tokluğu aşıldığı zaman parçalanmaya başlar ya da tam olarak kullanılmadan matristen kopar.

Takım ömrünü arttırmak için yüksek oranda elmas kullanıldığı için yüksek kesim gücüne de ihtiyaç duyulmaktadır. Bu güç kesici makine tarafından sağlanmadığı sürece her bir tane üzerine düşen kuvvet bununla orantılı olarak azalır. Bunun sonucunda elmas kesme derinliğine ulaşamaz, matris yüzeyinde kalır ve elmas parlamaya başlar. Böyle durumlarda kesmenin çok az ya da hiç olmadığı görülür ve testeredeki soketlerin yenilenmesi gerekir (Tuzzeo vd., 1999).

Bazı durumlarda ki bu uygun değer güç kontrolü iyi yapılmış makinelerde mevcuttur, hem soket aşınması hem de kesme maliyetleri elmas konsantrasyonu arttırıldığı zaman büyük oranlarda azaltılabilir. Bu durum farklı granit türlerinin kesimlerinde kanıtlanmıştır (Clifton vd., 1995). Yapılan kesme işlemleri ve deneylerin sonuçlarında matris yüzeyinden dışarı çıkan elmasların ancak az orandaki bir bölümünün (yaklaşık %26) her zaman doğru kesim yüksekliğinde olduğu görülmüştür (Belling vd., 1964).

1.3.4. Mermer Kesici Takım Soket İmalatı

Genellikle elmas içeren takımların üretiminde tipik fabrikasyon işlemleri aşağıdaki aşamalardan meydana gelir:

- *Matris toz karışımının hazırlanması,*
- *Matris-elmas karışımının hazırlanması,*
- *Soğuk presleme (isteğe göre),*
- *Sıcak presleme,*
- *Çapakların temizlenmesi,*
- *Soket kalite kontrolü,*

1.3.4.1. Metal Matris Toz Karışımının Hazırlanması

Matris tozu ilk olarak tane boyutu göz önüne alınarak seçilen metal tozların belirlenen kimyasal bileşime göre karıştırılır. Karıştırma işlemi genellikle köşegen, eksenden kaçık karıştırıcılar veya 3 boyutlu karıştırıcılarla yapılır. Metal tozlar birbirinden çok farklı yoğunluğa sahip olduğunda bile mükemmel karışım sonuçları elde edilir.

Bağlayıcı maddeler ve yağlayıcılar bu aşamada dökülen toz miktarını azaltmak, taşıma ve işleme sırasında segregasyonu engellemek için toza eklenir. Ayrıca sonraki soğuk ve sıcak pres işlemlerinde çelik kalıpların aşınmasını engellemek ve oksidasyonu önlemek için de yağlayıcılar kullanılır.

İkincil olarak, toz soğuk preste hacimsel olarak basılacaksa ilaveten ikincil granülasyon yapılır. Buradaki amaç tozun kalıp içine daha kolay konmasını sağlamak ve presleme karakteristiklerini iyileştirmektir. granülasyon farklı şekillerde yapılabilir (Bullen, 1975). Fakat pratikte elmaslı takım endüstrisinde iki farklı teknik çok sık kullanılır. Bunlardan spartan granulatörü olarak adlandırılan ve eski olanıdır ki yüksek hızlı karıştırma tekniğinden ibarettir (Brauninger, 1999). En son teknik ise mekanik olarak yuvarlama işlemidir. Bu işlemle elmas parçacıklarının de tek aşamada granüle olması sağlanır (Bailey vd., 1977).

İşlenme şekline bakmaksızın, organik bağlayıcılar toz parçacıklarını bir araya getirmek ve ayrıca granüllere mekanik bir dayanım vermek için kullanılır. Bağlayıcı, sıcak pres işlemleri süresince yapıdan tamamen çıkacak, uygun termal özelliklere sahip olmalıdır. Aksi takdirde soketlerin kalitelerini azaltan ve testereye lehimlenmesinde problemlere neden olan kalıcı bir gözenekli yapı oluşturur.

1.3.4.2. Metal Matris-Elmas Karışımının Hazırlanması

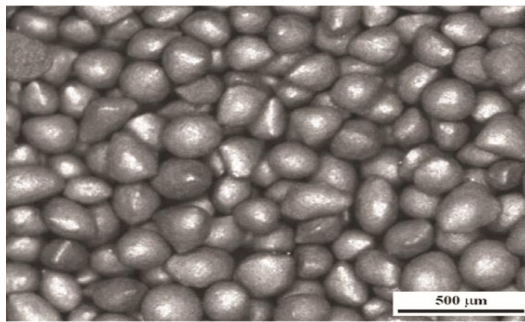
Önceden belirlenen karışım oranlarında tozların hazırlanması sarkaç hareketli karıştırıcılar yardımı ile yapılır. Bunun için hazırlanan toz karışımı içerisine topaklaşmayı ve segregasyonu önlemek amacıyla toplam toz miktarının %2'si kadar parafin yağı, mono etilen glikol ya da poli etilen glikol gibi bağlayıcı/yağlayıcı maddeler ilave edilir. Bu maddeler, soğuk ve sıcak presleme işlemleri sırasında çelik kalıpların aşınmasını ve oksitlenmesini önler. Sıcak presleme sırasında metal matriste bulunan bağlayıcıların matristen uzaklaşması gerekir. Bu bağlayıcılar matristen uzaklaşmadığı takdirde bu maddeler soketin testere gövdesine lehimlenmesini zorlaştıracak derecede yapıda gözenekler oluşur. Elmaslar matris tozlarıyla karıştırılmadan önce ya alındıkları gibi ya da yüzeyleri uygun malzemelerle kaplanarak kullanılır (Bailey vd., 1977; Brauninger, 1999).

Şüphesiz, karışım işlemi son ürünün kalitesi üzerinde büyük etkiye sahiptir. Hem matris tozlarının hem de elmas kristallerinin homojen olmayan dağılımı socketin zamanından önce aşınmasına neden olur.

Her bir elmas tanesi ayrı ayrı matris tozu ile kaplandığından, socket içindeki bölgesel elmas öz kütleleri (kluster) elimine edilir ve daha homojen elmas dağılımı garantilenmiş olur. Elmaslı granül kullanılmasının diğer bir avantajı ise çelik soğuk pres kalıplarının sert aşındırıcı parçalardan etkin bir şekilde ayrılmasından dolayı daha uzun ömürlü olmalarını sağlamasıdır.

1.3.4.2.1. Granülasyon (Tanecik) Haline Getirme

Matris tozlarının soğuk preste basılması sırasında sıkıştırma ve akıcılık özelliklerini arttırmak amacıyla gerekli hallerde granülasyon yapılır. Eskiden yüksek hızda karıştırma esasına göre yapılan bu işlem, günümüzde mekanik olarak yuvarlaklaştırma esasına dayanan ve tek aşamada elmasların granüle edildiği tekniktir (Burckhardt, 1997). Bu amaçla, uygun çözümlerde çözünebilen bütül mekatrilat, alkil mekatrilat, polivinil bütiral ve parafin gibi organik bağlayıcılar toz parçacıklarını bir araya getirmek ve ayrıca granüllere mekanik bir dayanım kazandırmak amacıyla kullanılır. Kullanılan organik bağlayıcının, sıcak presleme işlemi esnasında esas malzemeden uzaklaşması için bağlayıcının termal özellikleri oldukça önemlidir. Aksi takdirde, kalitesi düşük ve testereye lehimleme esnasında sorun çıkaran yüksek gerilimli gözeneklere sahip socketler üretilmiş olur.



Şekil 1.38. Granülasyon yapılmış matris tozu.

1.3.4.3. Sinterleme

Sinterleme, belli bir basınç altında elde edilmiş görünür yoğunluktaki parçacıkların belirli bir sıcaklıkta belirli bir sürede pişirilerek mukavemet ve yüksek yoğunluk kazandırma işlemidir.

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 ısı olarak aktive edilmiş malzeme taşınımı olarak da tanımlanabilir. Diğer bir ifade ile sinterleme, ön şekil verilmiş tozların belirli bir sıcaklıkta ve sürede birbirlerine bağlanması ve rijit bir kütleye dönüştürülmesi işlemidir. Ön şekil verilmiş ham numunelerdeki bağlanma, sabit bir basınç altında tozların belli bir kalıp içerisinde sıkıştırılması sonucunda oluşan mekanik bir tutunmadır. Bu bağlanma biçimi ilerleyen sinterleme sonrasındaki bağlanma biçimine göre çok daha zayıftır. Yeterli görecede dayanıma sahip preslenmiş ve ön sinterlenmiş numunelerin istenilen yoğunluğa ve mukavemete ulaşabilmeleri için sinterlenmeleri gerekir. Yoğunluktaki gerçek artış ve mikro yapısal gelişim bu aşamada gelişir ve ürünün sonuç özellikleri üzerinde bu aşamanın çok büyük etkisi vardır.

Sinterleme, preslenmiş parçaların mukavemet kazandığı bir ısı işlemidir. En yaygın sinterleme sıcaklığı aralığı demir esaslı alaşımlar için 1100-1150°C'dir. Bazı durumlar için 1250°C'ye kadar olan yüksek sinterleme sıcaklıklarına ihtiyaç duyulur. Uygulamaya bağlı olarak sıcaklıktaki bekleme zamanı 10 ile 60 dk arasında değişir.

Sinterleme aşaması, TM üretim süreçlerinde en fazla enerjinin harcandığı işlem basamağıdır. Tozların sinterleme öncesi preslenmesi ile oluşan basma yoğunlukları sinterleme süresine etki eder. Örneğin sinterleme öncesi basma ile yüksek yoğunluk verilmiş parçalar kısa sürede teorik yoğunluğa erişirler. Lakin sinterleme öncesi yapılan presleme her zaman görünür dayanım ve maliyet açısından pratik ve ekonomik olmayabilir. (URL-22).

Sinterleme aşamasında alaşım bileşimine bağlı olarak katı hal sinterlemesi, aktive edilmiş sinterleme veya sıvı faz sinterleme süreçlerinden bir tanesi tercih edilir. Tek metal tozlarda veya homojen alaşım tozlardan oluşan sistemlerde katı hal sinterlemesi söz konusudur ve numuneler tek metalin ergime sıcaklığının altında veya homojen katı ergiyik halindeki alaşımın katılaşma sıcaklığının altında bir sıcaklıkta uygun atmosferde sinterlenirler. Bu sinterleme sıcaklığı da yaklaşık olarak ergime sıcaklığının %80'ine karşılık gelen bir sıcaklıktır. Sinterleme esnasındaki homojenleşme tipik bir katı hal yayınmasıdır.

Sinterleme tiplerinden biri olan katı hal sinterlemesinde metal partiküllerinin aralarına metalürjik bağ oluşturmaları, değişik yollarla atomsal taşınım, kompaktın yoğunluk kazanması gibi temel safhalardan söz edilebilir.

Partiküller arasında sıkı bir metalürjik bağın oluşması, başlangıç toz özellikleri ve presleme basıncına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Esas mukavemet arttırıcı safha ise atomsal taşınım mekanizmalarıyla partiküller içi bölgelerden boyun bölgesine taşınan metal transferi ile gerçekleşir. Son aşama olarak ise yüksek seviyede taşınım ve mevcut gözeneklerin kısmen kaybolması veya küreselleşmesiyle gerçekleşmektedir.

Sıvı faz sinterlemesi ise sinterleme işleminde oluşan sıvı fazın varlığına bağlı iki farklı süreç halinde tanımlanır. Bunlardan ilki, sıvı fazın ısıtma aşamasında oluştuktan sonra iç yayınma ile katı ergiyiğe geçerek yok olduğu geçici sıvı faz sinterlemesi, ikincisi ise sıvı fazın sinterleme sıcaklığında sürekli olarak var olduğu sürekli sıvı faz sinterlemesidir.

Geçici sıvı faz sinterlemesinde sinterleme sıcaklığında oluşan sıvı faz iç yayınmayla katı ergiyiğe geçerek yok olur ve sonuçta homojen bir katı ergiyik veya iki veya daha fazla katı fazdan oluşan heterojen bir alaşım oluşur. Bu tip sinterleme pratiklerine örnek olarak 85Cu15Sn ana matrisli soketler ve değişik miktarlardaki Fe-Cu sistemleri verilebilir. Diğer bir sinterleme mekanizması olan sürekli sıvı faz sinterlemesinde ise sinterleme sıcaklığında oluşan sıvı faz tüm sinterleme süresi boyunca mevcudiyetini korur. Özellikle ergime sıcaklığı yüksek olan tungsten gibi refrakter metallerin saf halde sinterlenmelerinin zorunluluğu nedeniyle, ilk çalışmalar 1950'lerde gerçekleştirilmiştir. Tungstenin yanı sıra demir esaslı parçaların sinterlenmesi de sürekli sıvı faz sinterleme mekanizmasının kullanılması mümkündür. Sisteme katılan düşük miktardaki, düşük ergime sıcaklığına sahip metaller sinterleme esnasında sıvı faza geçerler. Oluşan sıvı faz içerisinde çözünen ufak katı parçacıklar daha büyük katı parçacıklar üzerinde çökelerek hızlı şekilde yoğunlaşma gerçekleşir. Buradaki sıvı faz bir nevi taşıyıcılık görevi üstlenir. Sıvı faz sinterleme mekanizmasının temel avantajları; düşük sinterleme sıcaklıkları, hızlı yoğunlaşma ve homojenleşme, yüksek sonuç yoğunlukları ve katı hal sinterlemesiyle, sinterlenmiş malzemelere göre daha üstün özellikler taşıyan mikro yapısal gelişim şeklinde sıralanabilir.

1.3.4.3.1. Katı Hal Sinterlemesi

Tek fazlı (saf metal) partiküllerden oluşan kompaktları sinterleyebilmek için sinterleme sıcaklığı olarak malzemenin ergime sıcaklığının yaklaşık olarak %80 civarındaki sıcaklıklar seçilir. Sinterleme sırasında mikro yapıdaki değişimler, boyutsal değişimlerle beraber parçanın fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişimler meydana getirir. Mikro yapıdaki bu değişimler önceden şekillenmiş ve mukavemetleri düşük olan ham parçalara mukavemet kazandırır.

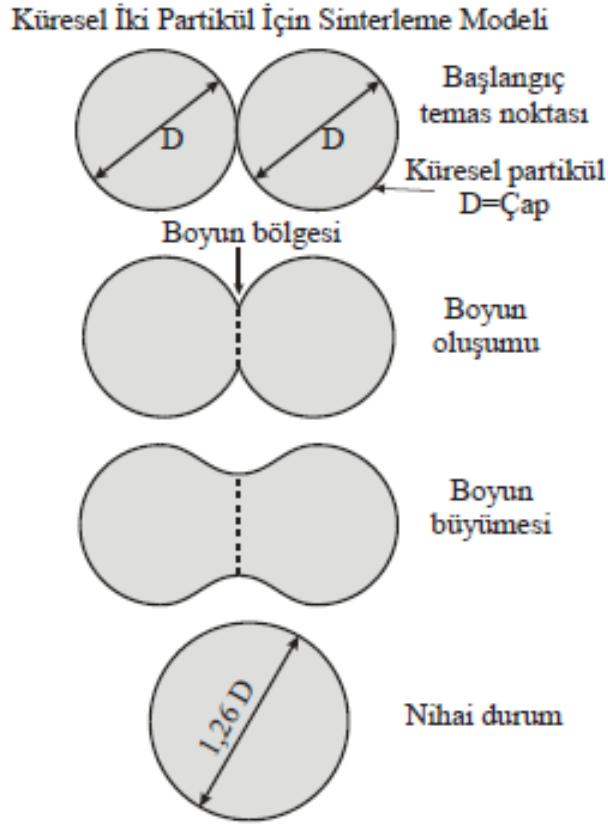
Sinterlemenin ilk aşamasında toz partikülleri arasındaki boş alanı artar, yapıdaki mevcut gözenekler küreselleşir, partiküllerin merkezleri arasındaki mesafe azalır ve bunun sonucu olarak parçada çekilme meydana gelerek yoğunluk artar. Daha sonraki aşamada partiküllerin birbirleriyle birleşmesi son bulur ve sonuçta izole gözenekler oluşur. Yapıda malzeme taşınımı ile gözeneklerin boyutları küçülür ve tane büyümesi meydana gelir. Bazı sinterleme oluşumları sırasında parçalarda genleşme görülebilir. Bu genleşme şekillendirme sırasında gözeneklerde kalan gazların sinterleme sıcaklığında basınç artışı sonucu görülür.

Yapıdaki gazın genleşmeye neden olabilmesi için sinterleme sırasında parça içerisinde yayınmaması veya metal ile reaksiyona girmemesi gerekir (örneğin, oksijen metallerle oksit oluşturabilir). Preslemenin atmosferik koşullar, altında yapılması halinde gözeneklerde sıkışıp kalan havadaki oksijen, hidrojen gazı altında yapılan sinterleme sırasında su buharı oluşumuna neden olabilir. Gözenek boyutu küçük olduğundan hacimsel bir genleşme meydana gelmez.

1.3.4.3.1.1. Katı Hal Sinterleme Aşamaları

Sinterleme için seçilen sıcaklıklarda mikro yapıda birçok değişiklik meydana gelir. Bu değişiklikler birbirlerini takip eden safhalar halinde meydana gelse de bu safhalar genellikle iç içe geçmiş durumdadırlar. Katı hal sinterlemesi boyunca mikro yapıda meydana gelen tüm bu safhalar kısaca; partiküller arası ilk bağın oluşması, boyun oluşumu ve büyümesi, gözenek kanallarının kapanması, gözeneklerin yuvarlaklaşması, yoğunlaşma ya da gözeneklerin küçülmesi, gözeneklerin birleşerek irileşmesi halinde sıralayabiliriz (Stosuy, A., 1970).

İki küresel partikül üzerine yapılan katı hal sinterleme modeli ve ilerleyen aşamaları Şekil 1.39’da verilmiştir.



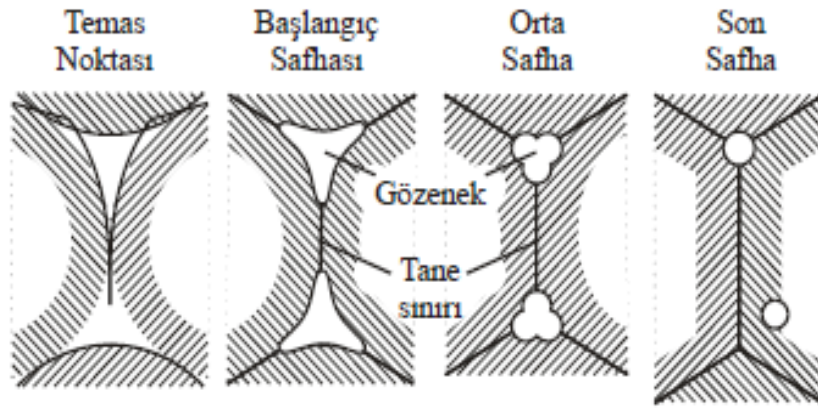
Şekil 1.39. Küresel partiküller için katıhal sinterleme aşamaları (Stosuy, A., 1970).

Sinterlemenin başlangıç aşaması partiküller arasında bağ oluşumu ile başlar. Önceden şekillendirilmiş partiküller birbirleri ile sürekli temas halindedir. Sıcaklığın artması ile birlikte atomlar arası taşınım mekanizmaları aktif hale gelerek bağ oluşumu (boyun oluşumu) gerçekleşir. Bağ oluşumu birbirleri ile sıkı temas halinde olan partikül temas noktalarında başlar. Bağ oluşumu sinterlemenin ilk aşamalarında tamamlanır ve bu aşamada malzemede boyutsal değişimler gözlenmez. Başlangıç aşamasında partiküller arasında oluşan bağlar malzemeye mukavemet kazandırır.

İlerleyen sinterleme süresince ilk aşamada oluşan bağlar büyür ve bu aşama boyun büyümesi olarak isimlendirilir. Bağların büyümesi ile malzeme daha fazla mukavemet kazanır; fakat yapı içerisindeki gözeneklerde herhangi bir azalma olmaz. Boyun büyümesi ile birlikte düzensiz gözenekler belirli bir düzene kavuşarak ön şekil verilmiş yapıdaki gözenek yapısına göre daha düzenli bir gözenek yapısı sergilerler.

Sinterlemenin ilk aşamalarında boyun büyümesi hızlı bir şekilde meydana gelir ve boyun büyümesi diğer aşamalar boyunca da devam eder. Bu durum özellikle yoğunlaşma ve gözeneklerin irileşme aşamaları için yeni bağların oluşmasına neden olur (Stosuy, A., 1970).

Gözenek kanallarının kapanması aşamasında mikro yapıda önemli değişiklikler olur. Malzeme taşınım mekanizmalarının aktif halde çalışması ve boyun büyümesi ile birlikte birbirleriyle bağlantılı gözeneklerin kapanması izole olmuş gözeneklerin oluşmasına neden olur. Gözenekleri kapanması Şekil 1.40'da şematik olarak görülmektedir. Yapı içerisindeki gözenek miktarı %10'dan daha fazla ise gözenekler birbiriyle temas halindedir. Eğer gözenek miktarı %5-10'dan daha fazla ise gözeneklerin çoğu kapalı veya birbirleriyle teması yoktur.



Şekil 1.40. Katı hal sinterlemesi sırasında gözeneklerin kapanması (Stosuy, A., 1970).

Boyun büyümesinin doğal sonucu olarak gözenekler yuvarlaklaşacaktır. Bu tamamen partikül yüzeylerinden boyun bölgesine malzeme taşınımı ile gerçekleşir ve diğer taşınım mekanizmaları pek aktif rol oynamazlar. Gözenek yuvarlaklaşması hem izole hem de birbirleriyle bağlantılı gözenekler için geçerli olmasına karşın genellikle kapalı gözenekler için düşünülür. Yüksek sıcaklık gözeneklerin yuvarlaklaşmasını artırır. Bu aşama malzemenin mukavemet artışı bakımından oldukça önemlidir.

Gözeneklerin küçülerek malzemenin yoğunlaşması sinterlemenin en önemli aşamasıdır. Bu aşamada yoğunluk artar ve mukavemette büyük artışlar gerçekleşir. Buna rağmen sinterleme bu aşama gerçekleşmeden de bitirilebilir. Malzeme taşınımı ile katının gözeneklere ve gözeneklerdeki havanın ise dışarı atılması ile önemli ölçüde küçülürken malzeme hacminde de büyük düşüşler gözlenir.

Malzeme yoğunluğunun artışı sinterlemenin ilerlemesini göstermesine karşın mikro yapıdaki değişimleri yansıtmaz. Yoğunluk artışı ile gözenek küçülmesinin önemi azalır. İdeal bir mikro yapı için tüm gözenekler giderilebilir fakat bunun için uzun sinterleme süre ve sıcaklıkları gereklidir.

Sinterlemenin son aşamasında izole olmuş küçük gözenekler büyük gözeneklere doğru hareket ederler ve birleşerek daha büyük gözenekler meydana getirirler. Toplam gözenek sayısı azalırken gözenek miktarı değişmez ve dolayısıyla da yoğunlukta belirli bir değişim gerçekleşmez. Mikro yapı içerisindeki büyük gözenekler çentik etkisi gösterebilmektedirler.

1.3.4.3.2. Sıvı Faz Sinterlemesi

Sıkıştırılan metal tozları, mutlak ergime sıcaklıklarının yarısı üzerindeki sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında sıkı bağ oluştururlar. Sinterleme şekillerinin hepsinde bulunan ortak bir özellik tane yüzey alanında meydana gelen bir azalma ve bunu takiben parça mukavemetinin artmasıdır. Bu durum sinterleme sıcaklığındaki atomik hareketlerin neden olduğu parçacıklar arası bağların oluşumu ile meydana gelir.

Sıvı faz sinterlemesi sırasında, sıvı bir faz sinterleme sıcaklığında katı bir toz kümesiyle aynı anda bulunur. Genellikle sıvı faz, sinterleme esnasında parçacıklar arası bağ oluşumunu artırır ve de en önemli avantajı, sinterleme hızına olan katkısıdır. Sıvı fazın oluşturduğu kılcal çekim kuvvetleri partikülleri birbirlerine doğru çeker ve dışarıdan bir basınç olmaksızın hızlı bir yoğunlaşma meydana getirir. Bunun dışında oluşan sıvı faz katı parçacıklar arasındaki sürtünmeyi azaltarak Yeniden düzenlenmeyi hızlandırır.

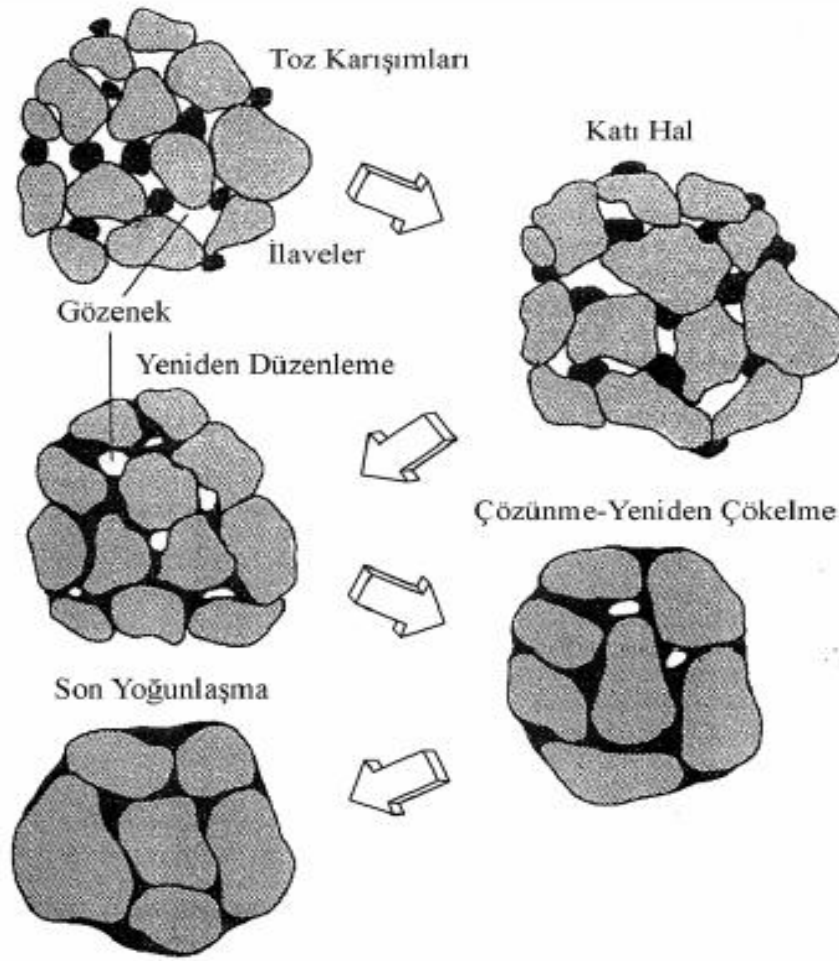
Katı partiküllerin kenarları ve köşeleri yüksek kimyasal potansiyele sahip oldukları için sıvı faz içerisinde çözünmekte ve böylelikle partiküller yeniden düzenlenmektedir. Parçacıklar arası bağlanmaya eşlik eden mukavemet, süneklik, iletkenlik, manyetik geçirgenlik ve korozyon direnci gibi faktörler gözenek yapısında ve parça özelliklerindeki önemli değişikliklerdendir. Sıvı faz sinterlemesi esnasında sıvı faz elde etmenin iki temel yolu vardır. Bunlardan ilki farklı kimyasal yapılarıdaki tozların kullanımıdır. İki tozun birbirleriyle etkileşimi sinterleme sırasında bir sıvının oluşumuna yol açar. Ayrıca daha öncede belirtildiği gibi oluşan bu sıvı faz çözünürlük ilişkilerine bağlı olarak sinterleme boyunca sürekli ya da geçici olabilmektedir.

Sıvı faz sinterlenmesinde karşılaşılan en önemli sorun gereğinden fazla sıvı fazın oluşumu ile birlikte ön şekil verilmiş yapının şeklini muhafaza edememesidir. Sıvı faz sinterlemesinde istenilen özelliklerin elde edilebilmesi için şu noktalara dikkat edilmelidir.

1. Faz diyagramına göre, sinterleme sıcaklığında katı ve sıvı fazın uzun süre bir arada bulunabileceği bir alaşım noktası, seçilmelidir.
2. Katı fazın sıvı faz içerisinde sınırlı bir çözünürlüğü olmalıdır.
3. Düşük ergime sıcaklığına sahip bir sıvı faz seçilmelidir.
4. Katı tanelerin sıvı faz tarafından iyi ıslatılabilmesi sağlanmalıdır.
5. Sıvı faz miktarı şekli koruyabilecek kadar az fakat istenilen yoğunluğa ulaşabilecek kadar fazla olmalıdır.
6. Sinterleme sırasında hızlı yoğunlaşmanın gerçekleşebilmesi için partikül boyutu göreceli olarak küçük seçilmelidir.
7. Partiküllerin ön şekillendirme basıncı düşük olmasına rağmen bu basınç pek önemli değildir fakat ön şekillendirme basıncı düştükçe boyutsal kontrol güçleşir. Bu durum sıvı faz sinterlemesini sınırlayan bir etken olmaktadır (Stosuy, A., 1970).

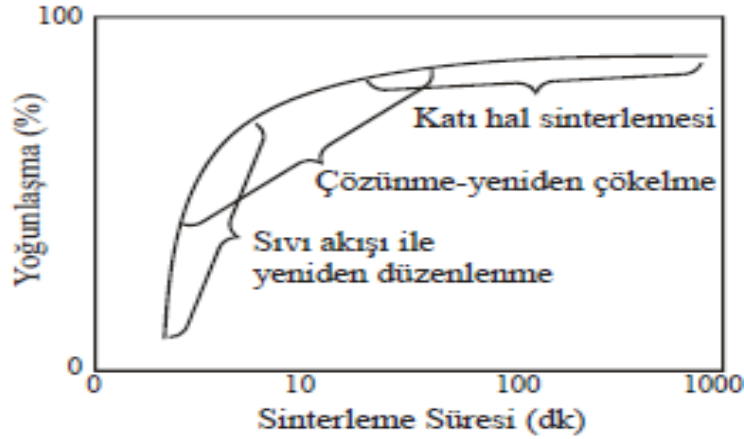
Yukarıda bahsedilen sıvı faz sinterlemesinin temel kıstaslar içerisinde malzeme özelliklerine bağlı olarak yer alan birkaç olası taşınım mekanizması söz konusudur. Örneğin katı, oluşan sıvı faz içerisinde çözünebilir veya çözünemez. Böyle bir farklılık sinterleme hızını ve mikro yapı değişimini büyük ölçüde etkiler. Diğer temel etkenler, sıvı ve katı fazlar arasındaki ara yüzey enerjileri (ıslatan sıvıya karşı, ıslatılmayan sıvılar) ve katı-katı tane sınırları boyunca sıvının nüfuz etme yeteneği ile ilgilidir. Parça büyüklüğü, sinterleme sıcaklığı, sinterleme süresi, sinterleme atmosferi ve yaş yoğunluk gibi değişkenler bir araya geldiklerinde; sıvı faz sinterlemesiyle oluşan malzeme tipi üzerinde daha geniş etkilere sahip olmaktadır. Bu etkenlerin hepsinin birbirleriyle çapraz etkileşimi, sıvı faz sinterlemesinin incelenmesindeki güçlüğü katkıda bulunmaktadır (Stosuy, A., 1970).

1.3.4.3.2.1. Sıvı Faz Sinterleme Aşamaları



Şekil 1.41. Geleneksel sıvı faz sinterlemesi ve bağıntılı mikro yapısal değişimler (Stosuy, A., 1970).

Geleneksel sıvı faz sinterleme süreçleri birbiri üzerine binen üç aşama ile açıklanabilir. Sıvı faz sinterlemesinin temel aşamaları ve mikro yapısal değişim Şekil 1.41’de şematik olarak verilmiştir. İlk aşamada toz karışımları bir sıvının olduğu sıcaklığa kadar ısıtılır. Sıvı oluşumu ile katı parçacıklar üzerinde sıvının ortaya koyduğu kuvvete bağlı olarak hızlı bir şekilde başlangıç yoğunlaşması söz konusudur. Sistem yüzey enerjisini en düşük duruma indirmeye çalışırken gözeneklerin giderilmesi gerçekleştirilir. Yeni düzenlenme boyunca mikro yapı kılcal hareketler doğrultusunda viskoz bir katı olarak davranır. Gözeneklerin giderilmesi sinterlenen kompaktın viskozitesi ile artar. Sonuç olarak yoğunlaşma hızı sürekli olarak azalır. Geleneksel sıvı faz sinterlemesinin üç temel kademesi ve zamana bağlı olarak yoğunlaşma değişimi Şekil 1.42’de gösterilmiştir.



Şekil 1.42. Sıvı faz sinterlemesinde aşamaların şematik olarak gelişimi (Stosuy, A., 1970).

Yeniden düzenlenme ile yoğunlaşma yavaşladıkça, çözünürlük ve yayınma etkileri baskın hale gelir. Geleneksel sıvı faz sinterlemesinin ikinci aşaması çözünmeyeniden çökme aşaması olarak bilinir. Çözünme-yeniden çökme aşamasının sinterlemeye genel katkısı mikro yapısal irileşmedir. Bir tane onu çevreleyen sıvı içerisindeki tane boyutu ile ters orantılıdır. Küçük taneler, büyük tanelere göre daha yüksek bir çözünürlüğe sahiptirler. Çözünürlükler arasındaki farklar konsantrasyon değişimini oluşturur. Malzeme yayınma yoluyla küçük tanelerden büyük tanelere iletilir. Bu süreç “İrileşme” veya “Ostwald irileşmesi” olarak isimlendirilir. Yayınma yoluyla değiştirilen tane şekli, tanelerin daha sıkı paketlenmesine izin verir (Stosuy, A., 1970).

Sıvı faz sinterlemesinin son aşaması katı hal kontrollü sinterlemedir. Katı iskelet yapının varlığı sebebiyle yoğunlaşma bu aşamada yavaştır. Bu aşamada baskın olan süreçler aslında, tüm sıvı faz sinterlemesi boyunca aktiftirler, fakat yavaş oluşumları sebebiyle katı hal sinterlemesi, sinterleme çevriminin son aşamasına kadar önem teşkil etmez. Mikro yapısal irileşme, yayınma yoluyla devam etmesine rağmen katı iskelet yapının direnci daha ileri seviyede yeniden düzenlenmeyi engeller. Gözenekler eğer hapsolmuş gaz içeriyorsa parçada şişme meydana gelecek şekilde genişleyecektir.

1.3.4.3.3. Sinterlemeye Etki Eden Faktörler

Sinterleme prosesini sinterleme sıcaklığı, sinterleme süresi, toz partiküllerinin boyutu, toz karışımının bileşimi, ham yoğunluk, sinterleme fırınındaki koruyucu atmosferin bileşimi ve alaşım elementleri etkilemektedir (Dowson, G., 1990; Şulan, T., 1993).

1.3.4.3.3.1. Sıcaklık ve Süre

Sinterleme sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, preslenen parçalar içerisindeki toz partiküllerinin difüzyon hızı artacağından sinterleme için gereken süre o kadar kısa olmaktadır. Ancak yüksek sinterleme sıcaklıkları, yüksek sinter fırını bakım maliyetlerinden ekonomik sayılmaz. Demir tozları için en yaygın sinterleme koşulları 1100–1150°C sıcaklıkta 10 – 60 dk arasındadır (Şulan, T., 1993).

1.3.4.3.3.2. Toz Partikül Boyutu

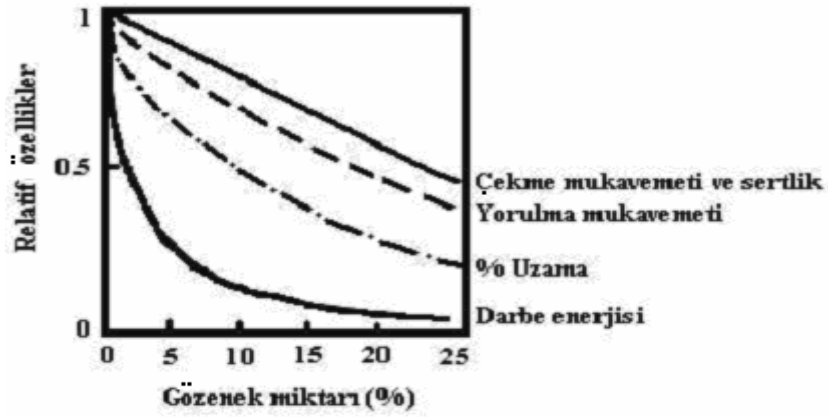
İnce ve gözenekli partiküller içeren tozların sinterlenmesi, iri partiküller içeren tozların sinterlenmesine göre daha hızlı gerçekleşmektedir. İnce taneli tozların sıkıştırılması iri taneli tozların sıkıştırılmasına göre daha zordur; ayrıca ince taneli tozlardan üretilen ham malzemeler iri taneli tozlardan üretilen malzemelere göre sinterleme esnasında daha az büzülürler. Toz metalurjisinde kullanılan ticari demir tozu partikülleri genellikle 100–200 µm arasındadır (Şulan, T., 1993).

1.3.4.3.3.3. Toz Karışımın Bileşimi

Toz karışımlarının bileşenleri istenilen fiziksel özellikleri verecek ve sinterleme sırasındaki boyutsal değişimleri kontrol edecek şekilde seçilir. İki ya da daha fazla metal tozu karışımları sinterlendiğinde partiküller arasındaki bağlanmayla aynı zamanda bileşenler arasında da bir alaşımlama oluşur. 1100–1150°C sinterleme sıcaklıklarında alaşımlama çok yavaştır (Fe ile C arasındaki hariç). Dolayısıyla tamamen alaşımlama gerçekleşmemektedir. Eğer toz karışımı sinterleme sıcaklığında sıvı faz oluşturan bir bileşene sahipse (örneğin demir tozu karışımları içerisindeki bakır tozları), partiküller arasındaki bağlanma mukavemetli olmakta ve alaşımlanma prosesi de hızlanmaktadır (Şulan, T., 1993).

1.3.4.3.3.4. Ham Öz Kütle

Ham öz kütle ne kadar yüksekse, toz partikülleri arasındaki temas noktalarının toplam alanı o kadar yüksek olur ve sinterleme sırasında daha mukavemetli bir bağlanma ve alaşımlanma gerçekleşir (Şulan, T., 1993). Sinterlenmiş malzemelerin mekanik özellikleri gözeneklerin varlığından dolayı düşer. Gözenek miktarının mekanik özelliklere etkisi ise, Şekil 1.43'te verilmektedir.



Şekil 1.43. Gözenek miktarının mekanik özelliklere etkisi (Höganäs, A.B., 1996)

Çekme mukavemeti ve sertlik, gözenek miktarı ile lineer olarak düşerken; % uzama ve darbe enerjisi parabolik olarak düşmektedir. Gözenek miktarı, en çok darbe enerjisini düşürmektedir (Kayış, V., 2005).

1.3.4.3.3.5. Koruyucu Atmosferin Bileşimi

Sinterleme atmosferlerinin doğru seçilmesi ve kontrolü önemli bir kriterdir. Koruyucu atmosfer sinterleme sırasında, hem sinterlenecek parçaları oksidasyondan koruması ve mevcut olan oksitleri indirgemesi; hem de karbon içeren malzemelerin dekarburizasyonunu, karbonsuz malzemelerin de karburizasyonunu önlemesi gereklidir. Bu da sinterlenecek parçalar için mümkün olan en uygun atmosferin seçilmesi gerekliliğini göstermektedir. (Lindkog, P. vd. 1986)

1.3.4.3.4. Alaşım Elementleri

1.3.4.3.4.1. Bakır

Bakır tozu, demir tozuna sinterlenmiş ürünün mukavemetini arttırmak için ilave edilmektedir. Fe-Cu kompaktlarının sinterlenmesi sırasında bakır yüzdesine bağlı olarak boyutsal değişimler meydana gelir. Saf Fe tozundan preslenen parçalar sinterleme sırasında büzülürler. Bakır tozu ilavesi ve bakırın ergime noktasının (1083°C) üzerinde sinterleme yaparak bu büzülme tersine çevrilir ve sonuç olarak genleşme gerçekleşir. Genleşme, % 8–10 Cu ilavesine kadar artan bakır miktarı ile artar. Bu da Cu'nun Fe içinde çözünebilme limitlerine bağlıdır ve bundan sonra azalır. Az miktarda Cu ilavesi (% 1–2,5) saf Fe tozlarının sinterlenmesi sırasındaki büzülmesini karşılamak için kullanılabilir.

Yüksek miktarda bakır ilavesi ile oluşan genleşme, parçayı dar toleranslarda tutmayı ve presleme sırasında aynı kalıpların kullanımını zorlaştırır. Cu ilavesinden kaynaklanan genleşmeleri elimine etmek için demir tozlarına dengeleyici element olarak C, P ya da W ilavesi yapılabilirken demir tozunun tane boyutu da küçültülebilir.

1.3.4.3.4.2. Bakır–Karbon

Demir tozuna hem bakır hem de karbon ilavesi ile bunların teker teker ilavesinden çok daha iyi mukavemet ve yüksek sertlik değerleri elde edilebilir. Aynı zamanda Fe-Cu ve Fe-C bileşimindeki kompaktların sinterlenmesi esnasında karşılaşılan güçlükler elimine edilebilir. Fe-Cu karışımlarına grafit ilavesi sinterleme sırasındaki bakır büyümesini azaltır. Fe-C karışımlarına bakır ilavesi, atmosfer kalitesine bağımlılığı azaltma eğilimi oluşturur. Diğer bir deyişle bu dekarbürleyici atmosferlerde dekarbürizasyonu önleme eğilimindedir. Fe-Cu-C karışımlarından üretilen parçaların sinterlenmesi dekarbürizasyonun gerçekleşmediği atmosferde yapılmalıdır ya da dekarbürizasyon, Fe-C karışımlarından üretilen parçalarda olduğu kadar kolay oluşmamalıdır. Çifte sinterleme yapılmadığı takdirde sinterleme bakırın ergime noktası üzerindeki sıcaklıklarda yapılmalıdır. Çifte sinterleme yapıldığı takdirde, ilk sinterleme bakırın ergime sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir.

1.3.4.3.4.3. Nikel

Fe-Ni karışımları, yüksek mukavemet ve uzama özellikleri istenen parçaların üretiminde kullanılır. Demir tozuna eklenen nikel miktarı genellikle % 2–5 arasında değişir. Ni, Fe içerisine çok yavaş yayılır. Bu sebeple Fe-Ni alaşımlarının sinterlenmesinde yüksek sinterleme sıcaklığına ve uzun bir sinterleme süresine ihtiyaç duyulur. Eğer Ni tozlarının tane boyutu çok küçükse alaşımlanma daha hızlı gerçekleşir. Bu sebeple genellikle 5 µm tane büyüklüğüne sahip Nikel karbonil (Ni(CO)_4) tozu kullanılır. Sinterleme sıcaklığı en az 1250–1350°C civarında olmalıdır ve 1–2 sa sinterleme yapılmalıdır. Parçalanmış amonyak bu işlem için en uygun sinterleme atmosferidir. Fe-Ni karışımından üretilmiş kompaktlar sinterleme sırasında büzülürler. Sinterleme sıcaklığında ya da süresinde yapılacak en ufak değişiklikler bile büzülme miktarı üzerinde çok önemli etkiler oluşturabilir. Bu nedenle sinterleme sırasındaki bütün değişkenler sabit tutulmalıdır. Aksi takdirde parçanın boyutları değişkenlik gösterebilir.

1.3.4.3.4.4. Nikel–Bakır

Fe–Ni karışımlarının büzülme problemi Cu ilavesi ile dengelenebilir. Ayrıca bu karışımlardan üretilen parçalarda çok iyi mekanik özellikler elde edildiği için Fe–Ni–Cu karışımları toz metalürjisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.3.4.3.4.5. Kobalt

Kobalt tozunun elmas tutma özelliği ve mümkün olan en geniş sinterleme aralığında kullanılabilmesi en önemli avantajıdır. Bu tozlar MKT üretiminde saf ya da son kullanıcının ihtiyacına göre diğer metallerle karıştırılıp kullanılabilir. Kobaltın çok iyi elmas tutma özelliği, geniş sinterleme aralığında sinterlenebilmesi, diğer metal tozlarına iyi uyum sağlaması ve cazip fiyatı sebebiyle kobalt MKT’lerde matris malzemesi olarak kullanılan en önemli metaldir.

Kobalt, MKT’lerde matris malzemesi olarak kullanılan diğer malzemelere göre daha üstündür. Diğer metal tozlardan farklı olarak değişik tane boyutu, şekil, kimyasal saflık vb. özellikleri ile çok fazla çeşidi bulunan kobalt, sıcak presleme işleminde düşük sıcaklık ve basınç altında, az enerji tüketimiyle yüksek öz kütleleri ulaşılabilir. Bu da düşük maliyet demektir.

Sıcak presleme işleminde kobalt; yüksek akma dayanımı ve tokluğu yüzünden, mükemmel derecede elmas tutuma kabiliyeti vardır. Abrasif aşınmaya karşı direncinden matrise farklı tozların eklenmesiyle matrisin yapısını değiştirebilir. Deneyler sonucu elde edilen bilgiler, sıcak preslenmiş Co’ın mikro yapı, faz bileşimi, sertlik, mekanik dayanımı, süneklik ve aşınma direnci özellikleri ve sıcak presleme işlem parametrelerine bağlı olarak önemli derecede değişiklik gösterir (Konstanty, 1991, 1996, 1997).

Elmas parçacıkları için matris olarak hangi tozun kullanılacağına karar verileceği zaman, dikkate alınması gereken en önemli etken ortalama toz tane büyüklüğüdür. Toz tane boyutu temel olarak yoğunlaşma sıcaklığını etkiler, bu da elmas indirgenme derecesine (tokluğun azalması, yüzey granülasyonu vb.) göre belirlenir. Sinterleme sıcaklığı 1000°C aşıldığında sıcak pres sarf malzemeleri olan grafit, yalıtım seramikleri vb. malzemelerin tüketimi artar. Eski teknoloji koruyucu gaz atmosferi olmayan sıcak preslerde bu kayıplardan işlem ekonomikliğini yitirmektedir.

Çok yüksek olmayan 30–35 Mpa değerlerinde, ticari olarak kullanılan çok ince taneli, ince taneli ve mesh (kaba taneli) tozlar, tam olarak yoğunlaşmaları için sırasıyla 700–800°C, 800–850°C ve 900–1000°C’de 2-3 dk tutulmalıdır (URL-15).

Kural olarak, toz ne kadar iri taneli ise, gözeneksiz bir yapı oluşturmak o kadar zordur. İri taneli tozlarda %4–5 oranında gözenekli yapı olur. Bu da çoğunlukla malzemenin mekanik özelliklerinin azalmasına yol açar.

Pratikte, takım imalatında kullanılan iri taneli tozlar, genellikle yoğunlaşmaya yardımcı, sinterleme sıcaklığını azaltan ve matrise daha az aşındırıcı doğal taş ve betonun kesilmesini sağlayan özellikleri vermek için, bronz ile karıştırılır.

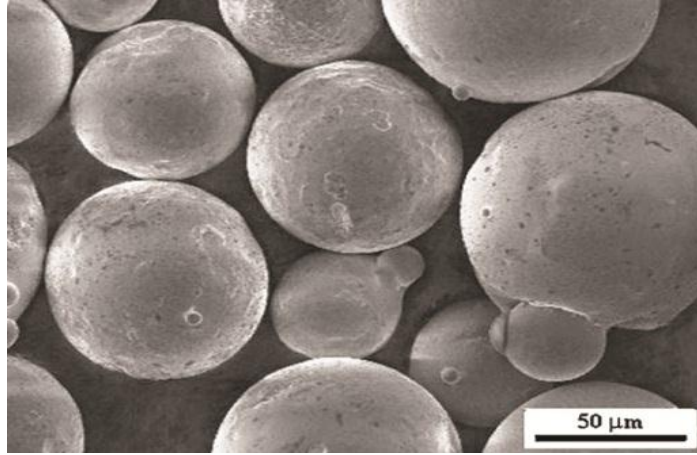
1.3.4.3.4.6. Kobalta Alternatif Tozlar

Kobaltın haricindeki tozlar, öz kütlesini arttırmak, matrisin aşınmasını iyileştirmek ve elması tutma özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılır. Co’a alternatif olarak Fe, Cu, Sn, bronz alaşımları, W, WC ve Ni alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tozlardan matris tozu içerisine Co ile birlikte ağırlıkça %11 Sn ilave edilmesi halinde matris sertliğini %35 arttırdığı tespit edilmiştir (Nitkiewicz vd., 2006).

Co, WC, Ni ve Fe gibi karbona karşı duyarlılığı yüksek olan metaller, elmalı takımlarda matris malzemesi olarak kullanılırlar; fakat Cu, Sn ve bronz gibi metal tozları, C’a karşı duyarlılığı düşük olduğu için matris malzemesi olarak daha fazla kullanılır. Çünkü elmas tanecikleri bu tozlardan etkilenmez (Liao vd., 1993).

MKT matrisinde Cu, Sn ve bronz alaşım tozlarının kullanılması halinde matrisin yoğunlaşma derecesi artar ve aşınma direnci düşer. Bu tip tozlarla üretilen takımlar çok düşük abrasif aşınma özelliğine sahip doğal taşların işlenmesinde kullanılır.

Matriste bronzun kullanılması halinde sıcak presleme sırasında matriste sıvı faz sinterlemesi meydana gelir. Oluşan bu faz, matriste dolgu işlevi görür ve matrissi oluşturan elemanlar arasında difüzyon alaşımlama derecesini güçlü bir şekilde etkiler. Bu etkinin kontrol edilmesi için ısıtma süresi, basınç ve sıcaklığın uygun seçilmesi gerekir. Bronz değişik oranlarda matrise ilave edilir. Her bir farklı ilave, değişik mikro yapı oluşmasına sebep olur.



Şekil 1.44. Ni-esaslı alaşım tozlarının SEM görüntüsü

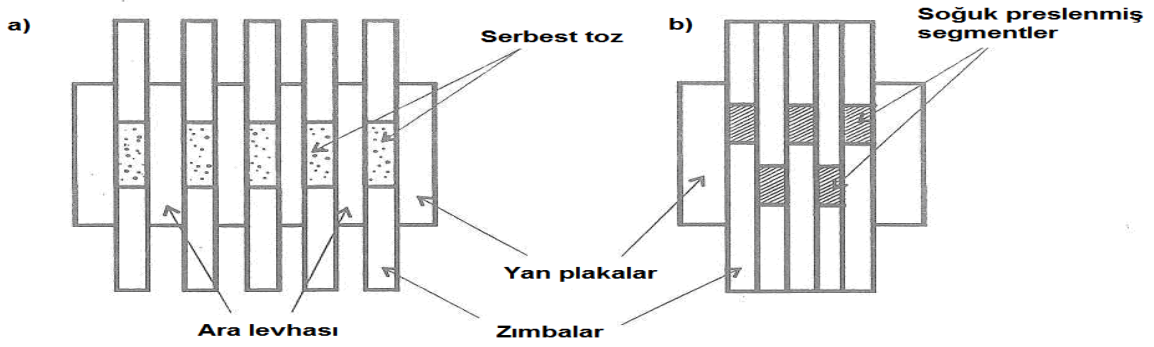
Matrisin abrasyon direncinin iyileştirmenin başka bir alternatif yolu nikel esaslı sert alaşımların matrise ilave edilmesidir. Gaz ile atomize edilmiş Ni-Cr-Si-Fe-B-C alaşım tozlarının bu amaçla ticari olarak kullanıldığı literatürde rapor edilmiştir (SCM Metal Products, 1984).

Ni-esaslı alaşım tozları küresel şekilli olup genellikle MKT’lerde 150 µm’nin altındaki tane boyutunda kullanılmaktadır. Nikel esaslı tozlar, matrisin aşınma direncini arttırmada tungsten karbürden daha az etkilidir. Fakat tungsten karbür takviyeli nikel esaslı kompozit tozlar ile daha ekonomik ve daha teknolojik matrisler elde edilebilir (Konstanty, 2005). Bu yüzden EVM kesiminde kullanılan soketlerde değişken olarak Ni metali kullanılıp bu metalin matris içerisindeki oranı oldukça düşük tutulmaya çalışılmıştır.

1.3.4.4. Presleme

1.3.4.4.1. Soğuk Presleme

Soğuk presleme, matris tozu-metal karışımının kalıplarda şekil verilerek sıcak presleme öncesi gerek duyulursa yapılan bir ön işlemdir. Bu işlem için ek bir donanım gerekmesine rağmen, önceden soğuk preslenmiş parçalar sıcak presleme işlemi süresince, grafit kalıbın aşınmasını azaltır ve üretim miktarını artırır. Şekil 1.44(b)’de görüldüğü gibi önceden soğuk preslenmiş parçalarla doldurulan kalıp, soğuk presleme yapılmadan toz ile doldurulan kalıptan daha fazla sayıda parça alır. Bununla birlikte, soğuk presleme işlemi çok tabakalı (multilayer) soketler üretileceği zaman yapılması zorunlu hale gelir.

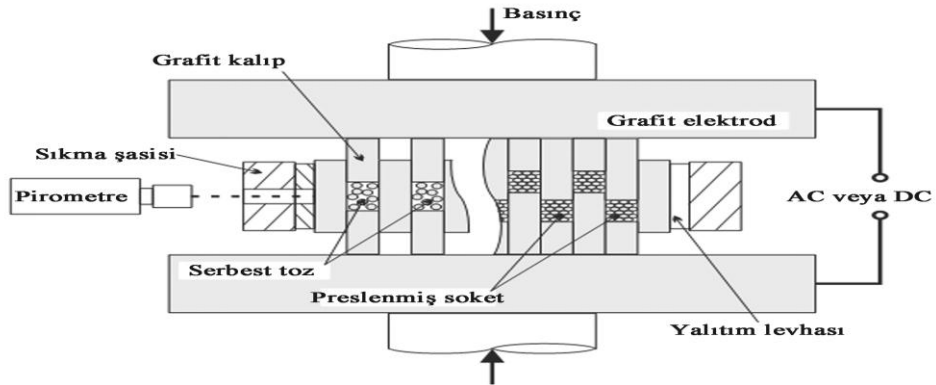


Şekil 1.45. Serbest haldeki ve (a) soğuk preslenmiş (b) toz karışımlarının grafit kalıba yerleşimi

Geleneksel soğuk presleme işlemleri düşük ya da orta düzeyde basınç seviyesinde çelik kalıplar ile yapılır. Elmaslı takım endüstrisinde soğuk presleme işlemleri için iki tip makine kullanılır. Geleneksel preslerde kalıbın doldurulması için titreşimli bir yol ile gelen matris-elmas karışımı hassas terazilerle tartılarak, doğru miktarda kalıba doldurulma prensibiyle çalışır. Geleneksel ağırlık hacim ilkesiyle çalışan presler, az oranda soket imalatının gerekli olduğu yerlerde daha fazla esneklik sağlarlar. Fakat oldukça yüksek olan işletme giderlerinden ve granüle edilmiş tozların kullanılması zorunluluğundan dolayı, soketlerin seri üretiminde hacim ilkesi ile çalışan (volumetrik) takım 3–4 kat daha hızlı çalışması, daha uzun ömürlü olması, çelik kalıpların daha ucuz olması ve diğer soğuk pres sarf malzemelerinin daha az olmasından dolayı tercih edilir (Tokura vd., 1989).

1.3.4.4.2. Sıcak Presleme

Sıcak presleme işlemi, ısı ve basıncın bir araya gelerek neredeyse tamamen iç gözeneklilikten arınmış bir ürün elde etme işlemidir. Geleneksel soğuk pres-sinterleme işlemleriyle karşılaştırıldığında sıcak presleme tekniği daha az güç, daha kısa süre, (genellikle 2–3 dk) ve daha düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyar. Ayrıca bu teknikte soğuk presleme-sinterleme işlemine göre, daha yüksek öz kütleleri ulaşılır.



Şekil 1.46. Sıcak presleme işleminin şematik resmi

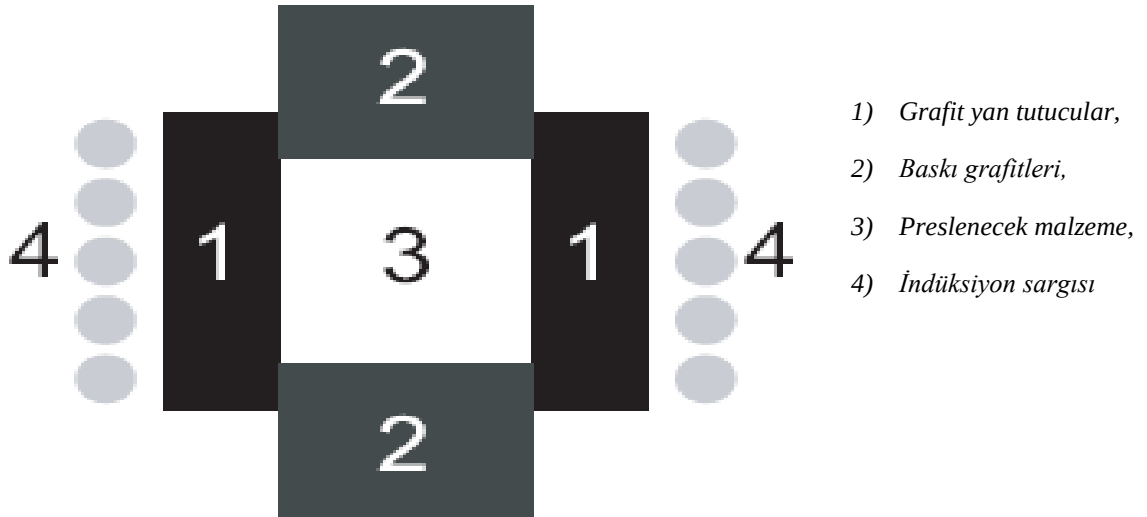
Ticari olarak satılan sentetik elmasların yüksek sıcaklıklara karşı olan dayanımı az olduğu için ve matrisin mükemmel mekanik özelliklerine karşı olan talebin artması nedeniyle, doğal olarak hızlı sıcak presleme tekniğinin elmaslı MKT'lerde çok geniş bir kullanım alanı vardır. Genel kullanımda ikinci olarak, yüksek sıcaklıklarda soket üretiminde daha etkin, hem metal tozunu hem de elmas tanesini oksidasyona karşı koruma yolu CO/CO₂ atmosferinin kullanılmasıyla elde edilir.

Sıcak presleme işleminde 3 ayrı ısıtma tekniği kullanılmaktadır. Bunlar;

-  *İndüksiyon ile ısıtma,*
-  *Endirekt dirençli ısıtma,*
-  *Direkt dirençli ısıtmadır.*

1.3.3.4.4.2.1. İndüksiyon ile Isıtma Yöntemi

Bu teknikte, yüksek frekanslı akım ile kalıp içerisindeki tozların ısıtılması esasına dayanır (Şekil 1.47). Metal ya da grafitten yapılan kalıplara basınç uygulanarak tozların sıkışması sağlanır. Kalıp indüksiyon sargısı içerisine bırakılır.



Şekil 1.47. İndüksiyon ile kalıbın ısıtılması

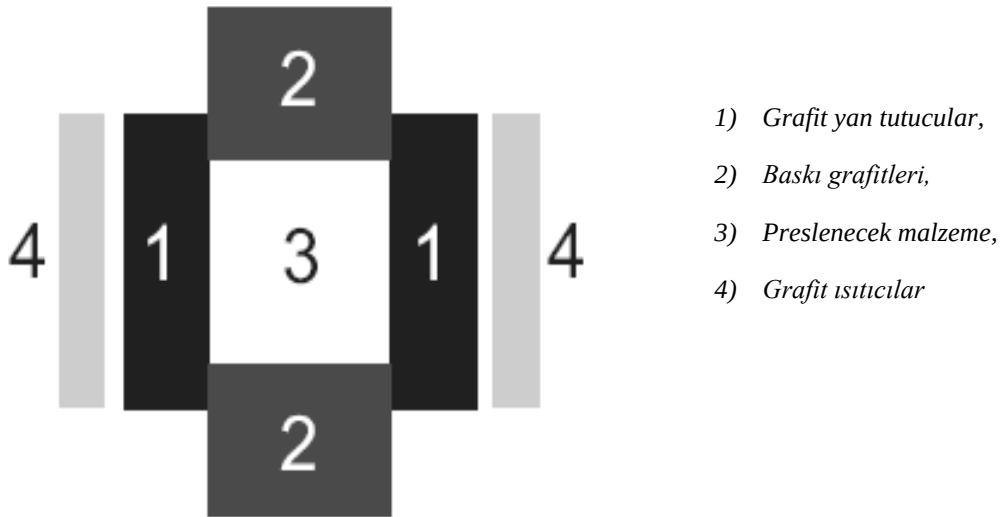
Sinterleme işlemi süresince yüksek frekans jeneratörü ve indüksiyon sargısı ile kalıbın ısıtılması sağlanır. Bu yöntemin avantajı basınç ve indükleme gücünün tamamen birbirinden bağımsız olmasıdır. Düşük basınçlarda sıvı faz sinterleme işlemini yapmak mümkündür.

Yöntemin dezavantajları yüksek frekans jeneratörünün pahalı ve kalıbın yerleşiminin çok düzenli olması gerekmektedir. Kalıp düzenli olarak yerleştirilemez ise ısı yayılımı düzgün olmaz. Bu sistemin temel dezavantajı, sıcaklığın tam olarak dağılımını sağlayabilmenin zor olmasıdır.

Manyetik alan kalıbın içerisine sadece 0,5 ila 3 mm nüfuz etmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi sıcaklık kalıbın ısı iletkenliği ile yayılır. Kalıbın merkezinin ısıtılması çok zordur. Bu sebepten başka bir potansiyel sorun ise çok yüksek ısıtma oranlarında yüksek sıcaklık farkları kalıbı tahrip edebilmektedir.

1.3.3.4.4.2. Endirekt Dirençle Isıtma Yöntemi

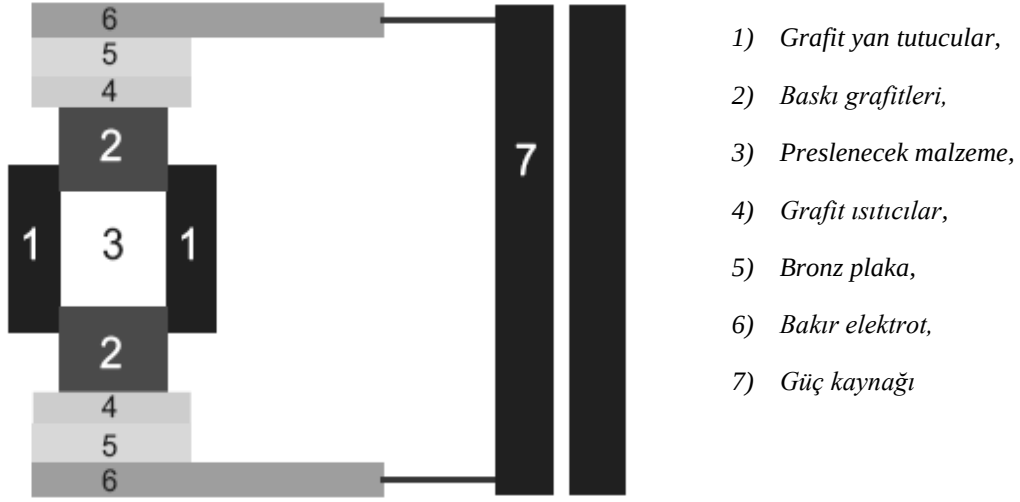
Bu teknikte, kalıp ısı bölmesine konumlandırılır. Isı bölmesi elektrik akımı ile ısıtılan grafit ısıtma elemanlarıyla ısıtılır (Şekil 1.48). Isınan grafit ısıtıcılar kalıp ile temas halinde olduğundan ikincil olarak kalıbı ısıtırlar bu nedenle işlem indirekt dirençle ısıtma olarak adlandırılır. Yöntemin avantajı yüksek sıcaklıklara çıkabilmesi, kalıp malzemesinin ısı iletkenliğinden bağımsız olması sıcaklık ve basıncın birbirinden bağımsız olarak kullanılabilmesidir. Yöntemin temel dezavantajı ise kalıbın ısıtılmasının çok zaman alması ve kalıbın dıştan içe doğru ısınması ile ısının eşit olarak dağılmasının uzun süre almasıdır.



Şekil 1.48. Endirekt ısıtma tekniği

1.3.3.4.2.3. Direkt Dirençli Isıtma Yöntemi

Bu teknikte, kalıp direkt olarak elektrik gücü ile ısıtılır. Kalıp ve toz parçanın direnci ile ısı tam olarak kalıpta oluşur (Şekil 1.49). Sonuç olarak ısıtma hızı çok yüksektir. Önceki iki teknik ısı iletimi ile ilişkili iken direkt dirençli ısıtma teknolojisinde ısı ihtiyaç duyulan yerde üretilmektedir.



Şekil 1.49. Direkt ısıtma tekniği

1.3.3.5. Bitirme İşlemleri

Presleme işleminden sonra soketlerin temizlenmesi ve köşelerindeki tortuların alınması gerekmektedir. Bu işlem pratikte taşlama makineleri ile alümina ya da SiC taneleri içeren kazanlarda soketlerin yüzeysel aşınma işlemine tabi tutularak yapılmasıdır. Temizleme işlemi soketin testereye daha iyi lehim edilmesini sağlar.

1.3.3.5.1. Çapakların Temizlenmesi

Üretilen soketlerin testereye daha iyi kaynatılabilmesi için üretim işleminden sonra temizlenmesi ve soketlerin köşelerindeki çapakların alınması gerekir. Bu işlem, önce taşlama makineleri ile kenarlardaki çapakların alınması ve devamında alümina ya da silisyum karbür taneleri içeren tamburlarda soketleri döndürmek suretiyle yapılır. Bu şekilde kaynak öncesi soket yüzeyinde kaynak bağlantısını zayıflatacak kalıntılar temizlenmiş olur.

1.3.3.5.2. Kalite Kontrol İşlemleri

Soketlerin kalite kontrolü, ağırlıklı olarak sertlik testi ile sınırlıdır. Üretilen soketlerin muhtevasında elmas olduğu için sertlik ölçümünde yaygın olarak Brinell Sertlik Ölçüm Yöntemi (BSD) kullanılır. Düzgün bir şekilde öz kütle kazanan matris-elmas karışımı ile dar bir sertlik aralığı elde edilir. Bu sertlik aralığı matris bileşiminden etkilenir. Soketin yapısı herhangi bir yönden zarar görür ya da yoğunlaşma tam olmaz ise sertlik değeri istenilen aralıkta olmaz.

Tam yoğunlaşma sağlanamayan malzemelerin tokluğu genellikle düşüktür. Bu durum matrisin elmas tanelerini tutma özelliklerini ve aşınma direncini zayıflatır. Bu nedenle sertlik değerlerinde en ufak bir şüphe var ise yapılan soketlerin öz kütlesinin ölçülmesi bir diğer önemli kalite kontrol işlemidir (Konstanty, 2003). Tam olarak öz kütle değerlerini garantilemek için suyun yer değiştirme özelliğinden faydalanılarak hassas terazi ile ölçüm yapılmalıdır.

1.3.3.5.3. Soketlerin Testere Gövdesi ile Birleştirilmesi

Üretilen soketlerin istenilen üretim faaliyetinde kullanılabilmesi için önceden kullanım amacına uygun olarak seçilen çelik sac gövdeler ile birleştirilmesi gerekir. Birleştirme işleminde sert lehim yöntemi kullanılır. Gelişen teknoloji ile lehimleme yerine lazer kaynağı gibi yöntemler de kullanılmaktadır (Weber, 2004).

Lehimleme yöntemi daha çok sulu olarak kesim yapan testerelerin üretilmesinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte; lazer kaynağı yöntemi özellikle kuru kesim yapan testerelerin seri olarak üretilmesinde tercih edilir. Özellikle kuru kesim yapan testerelerde oluşan ısı sonucunda lehim bağlantısının yumuşayarak ayrılmasına neden olabilir.

Lehimleme yöntemi olarak, piyasada yaygın olarak oksijen kaynağı yöntemi ile elde, sert lehimleme yapılır. Bunun dışında optik pirometre ile kontrol edilen yüksek frekanslı indüksiyon ısıtıcılı lehimleme makineleri de kullanılır (Davies, 1992).

İyi bir bağlantı olabilmesi için lehimleme öncesi soket ile çelik testere kaynak bölgesinin çok iyi bir şekilde temizliği yapılmalıdır.

Tez çalışmasında lehimleme işlemi yapılmadan önce soketlerin temizliği yapılmış olup ayrıca çelik gövde ile sokette olabilecek oksidin sökölüp lehimin metale yapışmasını sağlamak ve ısının yayılmasına yardımcı olmak amacıyla çelik gövde ile soket üzerine fluks sürüldü.

Tablo 1.12. Tepsi testerelerde lazer kaynağı ile lehimlemenin karşılaştırılması (Tonshoff vd., 1993).

<i>Lazer Kaynağının Avantajları</i>	<i>Lehimlemenin Avantajları</i>
Mekanik dayanımı yüksek	Büyük çaplı testere için uygun olması
Yüksek ısı dayanımı	Düşük maliyet
Küçük ısı etki bölgesi, çekme-büzülme yok	Tolerans aralığı yüksek değil
Yüksek kaynak hızı	Her türlü testere malzemesi için uygun
<i>Lazer Kaynağının Dezavantajları</i>	Her tür soket malzemesi için uygun
	Her türlü soket şekli için uygun
Küçük çaplı testere için uygun olması	Testereye daha fazla teknik yardım
Yüksek maliyet	<i>Lehimlemenin Dezavantajları</i>
Taşıyıcı bünyede tolerans aralığı yüksek	
Düşük karbonlu çelikten yapılan testere için ön gerilim tavlama gerekmesi	Kesme dayanımının düşük olması
Soket malzemesi özel olarak seçilmeli	Kesim esnasında soğutucu gerekli
Kaynak edilecek yerde elmas olmamalı	Testerede hafif çekme (büzülme var)
Daha az teknik yardım	Düşük kaynak hızı

Lehimleme ya da lazer kaynağının kolay ve başarılı olması açısından soketlerin taban kısımlarının elmasız olması daha uygundur (Weber, 1991).

Lehimleme sırasında meydana gelen ısının deformasyona neden olmaması için 700°C'nin üzerine çıkılmaması ve lehimleme süresinin mümkün mertebe çok kısa tutulması gerekir. Bu amaçla çelik gövdeyi aşırı ısınmadan koruyan su soğutma sistemli düzenek veya programlanabilir sayısal kontrollü (PLC) lehim makineleri kullanılır. Tablo 1.12'de lazer kaynağı ile lehimlemenin avantajları ve dezavantajları verilmiştir.

1.3.3.5.4. Testere Taşlanması

Testere taşlanmasının amacı, soketlerin testere düzlemi ile aynı olmasını sağlamak ve soket yüzeyinde bulunan matris ve temizleyerek testerenin kesim yapabilir hale gelmesini temin etmektir (Wright vd. 1982; Çelik, 2009). Ayrıca testere taşlanırken soket ve testere gövdesi üzerinde lehim kalıntısı kalmışsa bu kalıntılar da temizlenmiş olur. Böylelikle testerenin daha düzgün ve pürüzsüz kesim yapması sağlanmış olur.

1.3.3.5.5. Testerelelerin Balans Ayarının Yapılması

Testereleler taşlandıktan sonra taşlanan testerelelerin balans ayarının yapılması gerekir. Testerelelerin balans ayarı yapılmazsa testere kullanım esnasında salınım yapar ve çelik gövdenin vaktinden önce bozulmasına, soketlerin yerinden çıkmasına, kesme hızının düşmesine ve gürültülü bir kesim olmasına sebep olur. Balansı alınan testere kullanıcıya verilmeden önce mutlaka yeniden bilenmesi (taşlanması) gerekir. Bu esnada soketlenmiş kesici diskin rahat bir şekilde kestiğinden emin olunmalıdır (Weber, 2004). Çelik gövdelerde üretim esnasında her tarafta aynı olmayan ısı birikimleri meydana gelir.

1.4. Mermer Kesici Takımların Aşınmasını Etkileyen Faktörler

Testerelelerin aşınması, birçok karmaşık etken tarafından etkilenmektedir. Bu etkenler;

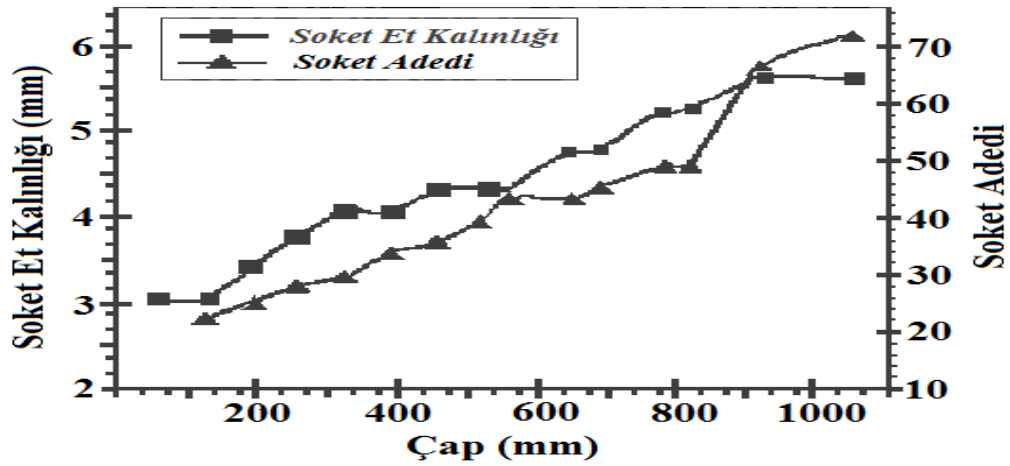
- *Kaya Özellikleri:* Dokusal, mekanik, yapısal, atmosferik,
- *Testere Parametreleri:* Çalışma ve tasarım,
- *Sıvı ve ısı özellikleri ve diğer parametreler* sayılabilir.

Abrasif aşınma, testerelelerin kaya kesimi sırasında, testerelelerin aşınmasından sorumlu ana mekanizmadır. Bu aşınma, testerelelerin tasarım ve çalışma, kesilen kaya özellikleri esas alınarak tespit edilmektedir. Literatürde, testerelelerin aşınma oranları ile kaya etkilerinin ilişkilerini içeren niceleyici veri bulunmamaktadır.

1.4.1. Mermer Kesici Takım Tasarım Özelliklerinin Aşınmaya Etkileri

Aşınmayı etkileyen testerelelerin tasarım özellikleri soket, elmas ve matris, çap, su kanalları ve flanş özellikleri olarak düşünülmüştür. Elmaslı tepsi testerelelerde taşı aktif olarak kesen bölüm, zaman ve basınç kontrolü altında kaynak edilmiş "soket" olarak adlandırılan elmaslı metal matrislerdir. Kaya kesmede en önemli etkenlerin başında soketlerin kesilecek olan taşın uygunluğu yer alır. Çünkü soketlerin taşı aşındırarak kesmesi kadar, taşın soketi aşındırması gerekir. Bu şekilde körelen elmasların yerine yeni elmaslar yüzeye çıkar ve kesme işlemi devam eder.

Testere çapı ile soket boyutu ve soket adedi arasındaki ilişki Şekil 1.50’de gösterilmiştir. Testere çapı arttıkça soket adedi ve soket boyutu artmaktadır. Disk çapı ile soket arasında hemen hemen lineer bir ilişki görülmektedir.



Şekil 1.50. Elmaslı tepsi testerelerde çap, soket et kalınlığı ve soket adedi arasındaki ilişki

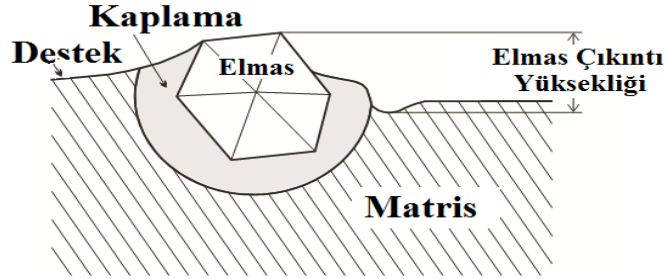
Disk çapının sabit olması, soket adedinin azaltılması veya artırılması testerenin aşındırarak kesim hızını düşürür ve testere gövdesinin eğilmesine sebep olur. Ayrıca, kesilen taş yüzeyi bozulur ve kesim maliyetini artırır.

Pratik olarak soketlerin testereden düşmesinin en büyük sebepleri; soketlerin gerektiği gibi sinterlenmediği, kesilen taşın tam yerine oturmadığı, yeterince soğutma suyunun gelmediği, testerenin kesim doğrultusunda olmadığı, testerenin kesilen taşla göre sert olduğu, flanşın hatalı olduğu ve testere gövdesinin bozulduğu gibi kıstaslar sayılabilir.

Soketin kalınlığı ile soketin kaynatıldığı gövdenin kalınlıkları farklıdır. Bunun sebebi soketin ön yüzden kesme işleminde, yanlardan da bu işleme yardımcı olmak ve testere gövdesinin hareket edeceği kanalı geniş tutarak, gövdenin mermer bloğu tarafından sıkıştırılmasını engellemektedir. Ancak, soket uçlardan aşınmakla birlikte, yan çeperlerden de aşınmaktadır. Bu aşınmayı önlemek için soket şekli dikdörtgen yerine, prizmatik şeklinde üretilmelidir. Bu durum soketlerin homojen ve dengeli olarak aşınmasını sağlayacaktır.

Matris sertliğinin, kesilen kaya sertliğine uygun olması gerekmektedir. Eğer matris kesilen malzemeden daha sert olursa, elmas kesme işlevini yaparken aşınacak, yani körelecektir. Matris yeterli seviyede aşınmadığı için körelen elmas hala matris tarafından tutulacak ve yeni elmas yüzeyleri kayaya temas edemediği için testerelerin kesim hızı düşerek, başarısız olacaktır. Bu nedenle, elmaslarla matris eş zamanlı aşınması gerekmektedir.

Testereler taş kesimi sırasında, sabit yönde dönmelidir. Bu nedenle, elmas ve matristeki aşınmada aynı yönde olmaktadır, bu durum Şekil 1.51’de gösterilmiştir. Taş kesimindeki gözlemlerden, sert mermer kesimi için testerelerde göreceli olarak yumuşak matris kullanılmalıdır.



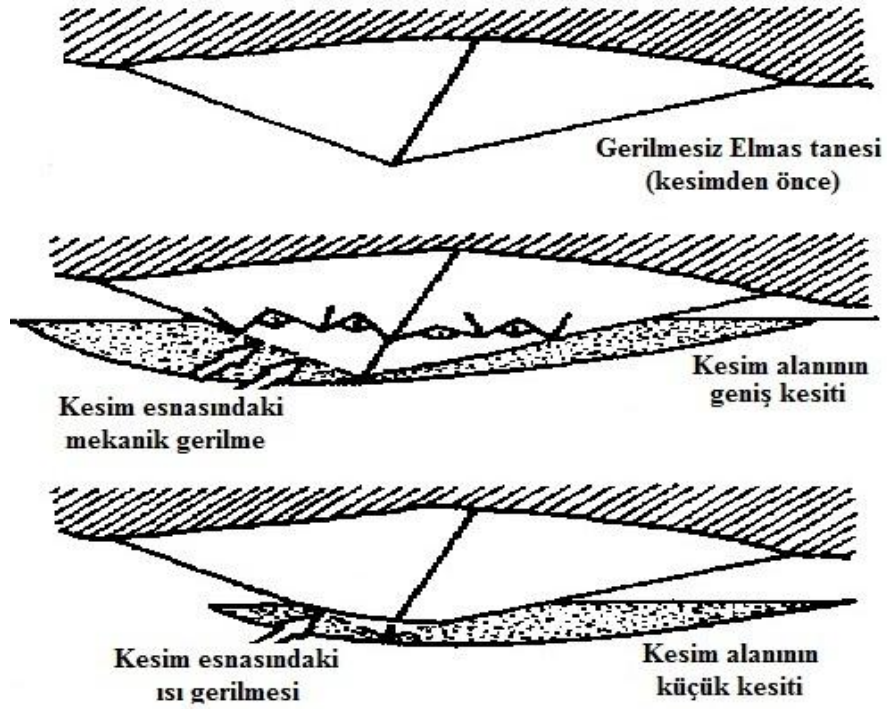
Şekil 1.51. Testerenin sabit yönde dönmesinde elmas tanesinin çıkıntısı matris desteği (Islak, S. 2012)

Testerelerde kullanılan elmasların tane boyutu kesilecek kayacın cinsine ve testerenin çapına göre değişmektedir. Elmas tane boyutu ile kesilecek malzeme arasındaki ilişki Şekil 1.12’de gösterilmiştir. Genellikle sert malzemeler için elmas tane boyutu küçük (tane sayısı fazla), yumuşak malzemeler için ise elmas tane boyutu büyük (tane sayısı az) olması istenmektedir.

Eğer iri taneli elmaslar, sert malzeme kesimi için kullanılırsa, elmasın kayada ilerleme hızı asgaride kalır. Normal olarak elmas tanesi ya yerinden düşecek ya da körelecektir. Soket imali için gerekli elmas miktarı 1 cm³ soket için 1 ile 6 karat arasında değişmektedir. 1 kg soket malzemesi içerisinde 25-120 gr sırasında elmas kullanılmaktadır.

Flaş'ın görevi testereyi makineye sıkı olarak sabitlemek ve testerenin yalpalı dönmesini önlemektir. Bu nedenle, flaşların alınları düzgün, temiz ve passız olması gerekmektedir. Flaşların durumu belli aralıklarla kontrol edilmelidir.

Kesici testerenin iki yanındaki flaşların eşit olması, bunların diske bastıran yüzeylerin pürüzsüz, temiz ve o diske göre uygun çapta olması gerekmektedir. Disk çapı ile flaş çapı arasında yaklaşık olarak doğrusal bir ilişki bulunmaktadır.



Şekil 1.52. Elmas tanesinin aşınma mekanizması (Ertingshausen , 1985)

1.4.2. Mermer Kesici Takım Çalışma Parametreleri

Testere çalışma parametreleri kesme hızı, güç, kesme yükleri, çevresel hız, kesme derinliği ve su ihtiyacı olarak belirlenmiştir. Kesme hızı, birim zamanda testerenin ilerleme hızı veya birim zamanda kesilen malzeme miktarı olarak tanımlanır. Birimi cm^2/dk veya m^2/s 'tir. Kesim hızı pratikte aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$V = \frac{L * H}{t} \quad (1.4)$$

Burada;

V : Kesim hızı (cm^2/dk)

L : Blok boyu (cm)

H : Blok yüksekliği (cm)

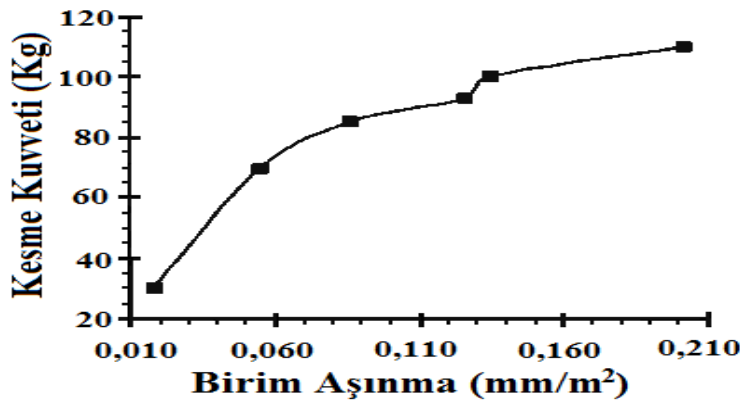
t : Kesim süresidir (dk)

Kesme hızının yüksek olması, testerenin çabuk bitmesine, düşük olması ise testerenin körelmesine neden olur. Genellikle, testere ömrü düşük kesme hızlarında daha uzun olmaktadır. Kesme hızı, kesme derinliği ve çevresel hız tarafından kontrol edilmektedir. Yüksek çevresel hız, sık kesme derinliğinin uygulanmasıyla, kesici üzerine gelen yükleri azalmaktadır.

Kesme hızının çevresel hız ile artırılması, kesme derinliğinin sabit tutulması ile kesici yüklerini çok az etkilemektedir. Ayrıca çevresel hızın sabit tutulması kesme derinliğinin artırılması, kesici yüklerini arttırmaktadır.

Testerinin üzerine bağlandığı makine yeterli motor gücüne sahip olmalı ve mil tam olarak merkezlenmelidir. Genelde, sert ve dayanımı yüksek olan mermerler daha fazla güç gerektirmektedir. Kesimleri zor olan kayalar testereleri daha fazla aşındırmaktadır.

Testerinin çevresel hızı, kesilecek taşın sertliği, dayanımı ve aşındırıcılık özelliği göz önüne alınarak seçilmelidir. Çevresel hız, testere ömrünü önemli ölçüde etkiler. Farklı materyallerin kesimi için farklı çevresel hızlar gerekir. Çevresel hız, kesici ömrünün ve kesme hızının uygun değer olmasını kontrol etmektedir. Yüksek kuvars içeren kesimi zor olan granitler düşük kesici devri (25 m/sn) gerektirirken, kumtaşı gibi kesimi kolay olan malzemeler daha yüksek devir (60 m/sn) gerektirmektedir. Testere kesici yüklerinin (yatay ve dikey), kesim sırasında oluşan kuvvetlerin yük algılayıcıları tarafından grafiksel veya sayısal olarak kaydedilmesi gerekmektedir. Kesme yükleri ile kesme hızı ve çevresel hız arasında bir ilişki mevcuttur. Kesme kuvvetleri, testere aşınmasını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu ilişki, Şekil 1.53'te verilmiştir. Genelde, kesme kuvvetleri arttıkça, aşınma artmaktadır. Sert ve dayanımı yüksek olan malzemeler yüksek kesme kuvveti gerektirmektedir.



Şekil 1.53. Çeşitli kayaların kesiminde tepsi testerelerin aşınması ve kesme yükleri ile ilişkisi

Mermer, traverten, alçıtaşı orta sertlikteki kayalar ile kumtaşı ve suni mermer gibi aşındırıcılık özelliğine sahip malzemelerin kesiminde kesme (bıçak) derinliği bir kesimde tamamen verilebilir. Ancak sert malzemelerin kesiminde (granit, diyabaz gibi) kesilecek parçalar 3 cm'den derin ise kademeli kesim yapılır.

Kesim sert taşlarda 8 ve 20 mm'lik derinlik kademeleriyle yapılması gerekir. En son kesim aşamasında yine testerenin malzemenin altında en az 25 mm taşmasına dikkat edilmelidir. Kesim derinliği, malzeme sertliği, dayanımı ve kullanılan testerenin tasarım özelliklerine bağlıdır.

1.5. Mermer Kesici Takımların Aşınma Karakteristiği

Elmasları yerinde tutan ve böylece kesme işini destekleyen matris, MKT'lerdeki elmasların randımanlı kullanımından sorumludur. Elmasların etrafındaki matrisin aşınarak; ancak elmasların kendi konumlarındaki yerlerinden çıkmasına izin vermeksizin, takımın azami hızda çalışması beklenir. Matrisin kesme işlemi sürecinde optimal bir hızla aşınması sonucu değişik yüzey altı elmas tanecikleri yüzeye gelerek kesme işleminin sürekliliği sağlamalıdır (Karagöz, Ş. vd., 2001).

MKT'lerin mikro yapısını belirleyen iki ana evre olan matris ile elmas ara yüzeyinde sinterleme koşullarında kimyasal bir reaksiyon oluşması istenir ve bu reaksiyon, MKT ömrünü büyük ölçüde belirler (Karagöz, Ş. vd., 2001). Bu bağ reaksiyonun oluşumu metal tozlarının bileşimine, parçacık boyutuna ve dağılımına, gaz ortamının koruyucu etkisine, sinterleme sıcaklığına, süresine ve basıncına bağlıdır. Bu şekilde mekanik bir bağın yanı sıra kimyasal bir bağ da oluşturulmaya çalışılır (Karagöz Ş., vd. 1999).

Elmaslı kesici takımın başarılı bir şekilde sinterlenmesini engelleyen en önemli etken yüzeysel oksitlerdir. Metal toz yüzeyindeki oksit filmleri temel sinterleme reaksiyonlarını önlemektedir (Wick, C., 1998). Bu tür uygun metaller ile sağlanan metalürjik ıslatmayla matrise kuvvetlice bağlanan elmaslar, sadece mekanik yolla tutunanlara nazaran matris içerisindeki oturma yüzeyinden koparak uzaklaşmaya (yerinden sökülme) karşı daha dirençlidir. Elmas takımlarda kullanılan matris toz karışımlarının elmasları sağlam bir şekilde tutması gerekir (Bailey M.W. vd. 1987).

Kesici takımın ömrü açısından elmaslar tamamen kaybolmadan veya elmaslarda hasar oluşturmadan metalik matris uygun değerinde bir hız ile aşınmalıdır. Aşınan matris yüzeyinde talaş akma kanallarının oluşması ve iş parçası talaşının bu kanallardan dışarı atılması gerekir (Diamond Boart, 1995).

Çok kolay bir şekilde aşınan matris, elmasların aşırı bir şekilde zayıflayarak kaybolmasına yol açabilmekte, çok sert bir matris ise yüzeydeki elmasların bir süre sonra kesme yüzeylerini yitirmelerine ve alttan da yeni kesici yüzeylerin çıkmaması neticesinde kesme işleminin kesintiye uğramasına yani halk dilinde körelmeye neden olabilmektedir. Bu gibi durumlarla karşılaşmamak için kesilecek doğal taşın öncelikle sertliği doğrultusunda matris bileşiminin ayarlanması gerekmektedir (Karagöz Ş., vd. 1997).

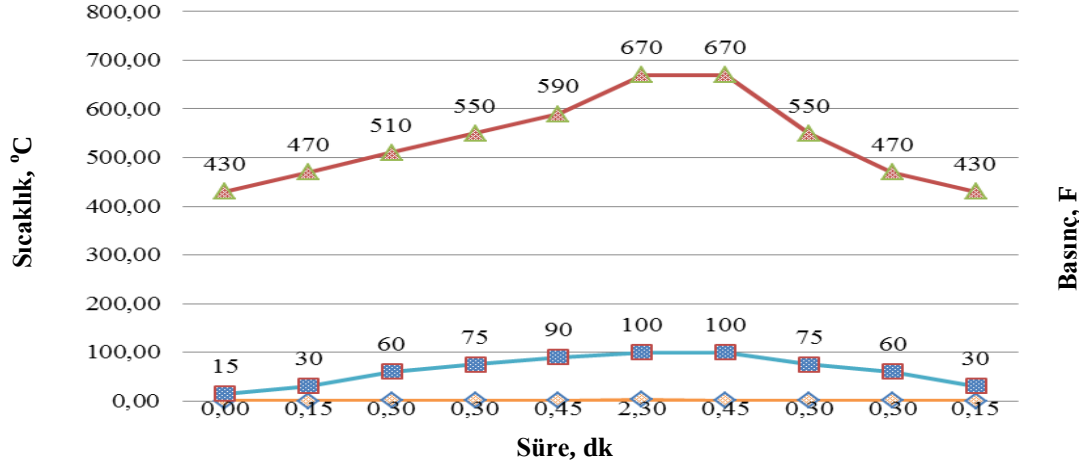
Bazı metaller elmasları efektif olarak bağlayarak optimum performansa ulaşmasını sağlayabilir (Karagöz Ş., vd. 1996). Matris tasarımında elmasları bir arada tutan bir bağlantı evresinden ve sinterleme koşullarında gözenekleri kapatmaya yarayan ve kesme koşullarında hızla aşınarak talaş akma kanallarını oluşturan bir dolgu evresinden yararlanılır. Bağlantı evresi için iyi ısıtılan kobalt ve nikel veya ucuz olması nedeniyle demir gibi elementler ve bu elementlerin birleşimlerinden faydalanılır. Dolgu evresi için genelde sinterleme koşullarında ergiyen bronz veya pirinç kullanılır (Starck H.C., 1993). Bu tür ergiyen bir faz ile yapılan sinterleme (sıvı faz sinterlemesi) sonucu hemen hemen gözeneksiz malzeme elde edilir. Değişik bakır alaşımları yüksek sertlik matrisinde yalnız dolgu evresi olarak kullanılırken, düşük sertlikteki bir matris tasarımı için miktar bakımından yüksek tutularak talaş kanallarının açılması kolaylaştırır (Kennametal, 1986). Doğal taş için standart matris tasarımı Co, Ni ve Cu-Sn tozları üzerinden yapılmaktadır (Fritsch K. G., 1996).

Yoğun matris aşınmasının arzulandığı durumlarda kullanılan Cu-Sn bileşiği miktarı % 70'e kadar artırılmakta, düşük aşınma arzulandığı zaman bronz miktarı yalnızca gözenekleri kapamak için gerekli dolgu evresi miktarına (<%5) düşürülmektedir. Co ve Ni tozları iyi ısıtma özellikleri doğrultusunda elmas bağlayıcı evre olarak Cu-Sn katkısına ters bir miktarda kullanılmaktadır. Cu-Sn katkısı Cu ve Sn tozlarının karışımı halinde veya saf bronz tozu halinde bulunabilmektedir. Üretici basınçlı sinterleme uygulama karakteristiğiyle kullanım şeklini belirlemektedir (G.E, 1991). Tek tek toz halindeki kullanımda Sn tozunun Ni/Co tozlarının da ara yüzeylerinde kalarak bu tozların sinterlenmesinde değişik ara yüzey efektleri oluşturduğu görülmüştür (Kalish. H, 1982).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Deney Numunelerinin Üretimi

Deney aşamasında yapılacak çalışmalarda işlem parametre sayısını azaltma düşüncesi ve işçilik maliyetlerini aşağıya çekmek amacıyla MKT'lerin üretimi, soğuk presleme yapmadan sabit basınç, sıcaklık ve zaman altında doğrudan sıcak presleme-sinterleme yöntemi ile yapılmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Sinterleme işleminde Sıcaklık-Zaman-Basınç değişimi

Sıcak preslemede her bir soket için basınç 270N basınç olmak üzere bir kalıpta bulunan 26 soket için toplam 100kN sabit basınç uygulanmıştır. Basınç, sıcaklık ve sinterleme süresi değişimini veren şekil 3. nolu diyagramdan anlaşıldığı gibi sinterleme işlemi, sinterleme süresine bağlı olarak sinterleme basıncı 15kN'dan 100kN'a kadar çıkarılmış ve sıcaklığa bağlı olarak basınç 30 kN'a kadar düşürülmüştür. Sinterleme sıcaklığı azami 670°C, sinterleme süresi ise 2,3 dk olarak belirlenmiştir.

2.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada öncelikle bir seri MKT üretimi yapılmıştır. MKT, esas itibarıyla matris ve kesici tanecikler olmak üzere iki kısımdan oluşturulmuştur. Matris malzemesinde 85Cu15Sn tozu, Co, Cu ve değişik oranlarda Ni, tanecik olarak da sentetik elmas kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak tüm deneylerde %99,9 saflıktaki ve 45-50 µm tane boyutuna sahip 85Cu15Sn tozu, 2,5 µm tane iriliğinde %99,7 saflıkta Ni tozu, 1,25 µm tane iriliğinde %99,7 saflıkta Co tozu ve 7,7 µm boyutunda, %99,9 saflıkta Cu tozu kullanılmıştır. Sentetik elmas ise 40/50 mesh tane boyutunda seçilmiştir.

Deneysel çalışmalar için soket üretiminde kullanılan matris grupları ve üretim parametreleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Soket üretiminde kullanılan matris grupları ve üretim parametreleri

Numune Adı	Matris bileşimi (% ağırlık)				40/50 Mesh Elmas* (%)	Sıcak presleme değişkenleri			Testere özellikleri	
	Co	Cu	Ni	85Cu15Sn		Sıcaklık (°C)	Süre (dk)	Basınç (N)	Testere Çapı (mm)	Soket Adedi
N _R	5	15	0	Geri kalan	27	670	4,5	270	350	25
N ₁	5	15	2	Geri kalan	27	670	4,5	270	350	25
N ₂	5	15	5	Geri kalan	27	670	4,5	270	300	25
N ₃	5	15	8	Geri kalan	27	670	4,5	270	300	25
N ₄	5	15	11	Geri kalan	27	670	4,5	270	350	25

* Elmas konsantrasyonu olarak 1 cm³ soket hacmi için 4,4 karat (0.88 gr) elmas %100 olarak kabul edilmistir.

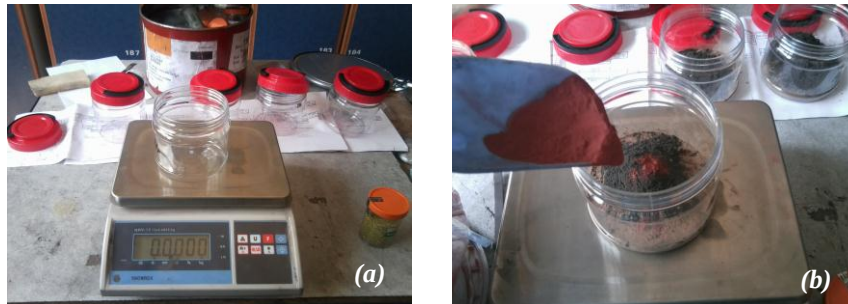
2.3. Toz Karışımının Hazırlanması

Soket üretiminin gerçekleşmesinde, seçilen tozların ve taneciklerin matriste istenilen performansı verebilmesi için çok iyi karıştırılması ve matris içinde homojen dağılımın sağlanması esas alınmıştır. Bu amaçla uygulamada Şekil 2.2’de verilen üç eksenli dönme prensibiyle çalışan karıştırıcı kullanılmıştır.



Şekil 2.2. Metal toz karıştırıcı

Hazır olarak tedarik edilen metal tozları, her bir numune için ağırlıkça yüzde oranları belirlendikten sonra her bir metal tozu % 0,1kg hassasiyetli terazide tartılarak karışıma hazırlanmıştır (Şekil 2.3).

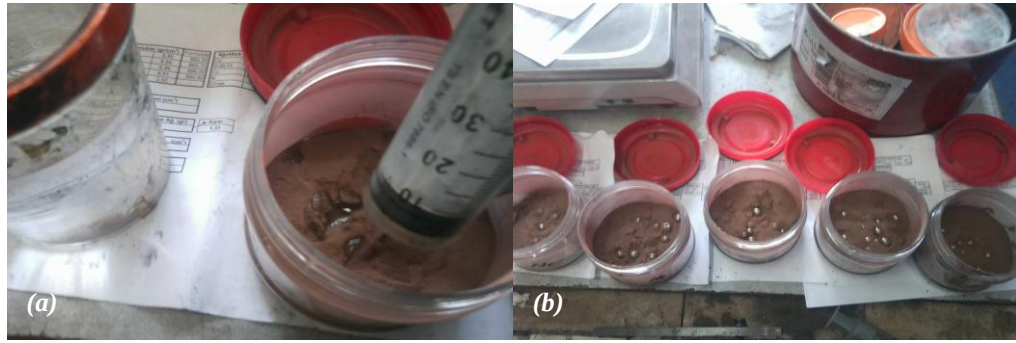


Şekil 2.3. Metal tozların tartılması; (a) dara alımı, (b) metal toz tartımı.

Tartımı yapılan metal tozlara % 2-5-8-11 oranlarında Ni tozu katılıp 15 dk süre ve 20 dv/dk hızda karıştırılarak ilk karışımlar hazırlanmıştır. Daha sonra bu ilk karışıma sentetik elmas tanecikleri ilave edilmiştir.

Elmas taneciklerin karışıma homojen olarak dağıldığı düşünüldüğünde matris toz karışımına dağılımın bozulmaması ve matris tozların grafit kalıplardan dökülmemesi için matris tozunun ağırlığının %1 oranında Polietilen Glikol Yağlayıcı (PEG) ilave edildi.

PEG eklenen matris toz karışımının içine Cr kaplı çelik bilyeler eklenip 20 dk daha karıştırma işlemi yapılmıştır (Şekil 2.4). Karışım işleminde Cr kaplı bilye kullanımının amacı karışıma katılan PEG'nin topak oluşturmalarını engellemektir.



Şekil 2.4. İlk karışımı tamamlanan tozlara (a) PEG ve (b) bilye katımı

Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra metal tozlar %100 gr hassasiyetli terazide her bir soket için 9,17 gr tartılarak ayrı ayrı plastik torbalara doldurulmuştur. Burada metal tozlarının plastik torbalara konulmasının sebebi metal tozunun hava ile temas edip oksitlenmemesi için bir tedbirdir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Karışımı tamamlanan tozların tartımı ve paketlenmesi

Karışımı tamamlanan metal tozlar soket ağırlığınca tartıldıktan (Şekil 2.5 a) sonra metal tozlar ağzı kilitli plastik torbaya konulmuştur (Şekil 2.5 b). Plastik torbaya konan metal tozlar (Şekil 2.5 c) sinterleme işlemi yapıłana kadar istiflenip bekletildi.

2.4. Grafit Kalıbın Hazırlanması ve Sinterleme İşlemi

Şekil 2.6’da grafit kalıbın hazırlanmasının ve tozların grafit kalıba yerleştirilmesi ile ilgili fotoğrafları görölmektedir.



Şekil 2.6. Kalıp hazırlanması ve tozların kalıba yerleştirilmesi.

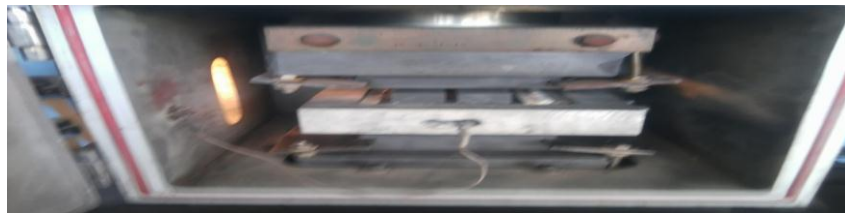
Sinterlemeye hazırlık işlemlerinde kalıbın hazırlanması için Şekil 2.6'da görüldüğü gibi aşağıdaki işlem aşamaları uygulanmıştır:

- Öncelikle grafit kalıpların dizimi yapılmıştır (Şekil 2.6.a-b-c)
- Daha sonra grafit kalıbın etrafına yalıtım malzemesi konulmuştur (Şekil 2.6.ç).
- Metal kalıp çerçevesi yerleştirildikten sonra (Şekil 2.6.d)
- Baskı grafitleri yardımı ile kalıp boşluğu alınmıştır (Şekil 2.6.e).
- Kalıp boşluğu alındıktan sonra metal tozlarının grafit kalıba yapışmaması ve kalıptan dökülmemesi için Bor Nitrür (BN) grafit yağlayıcı hazırlanıp (Şekil 2.6.f)
- Bir fırça yardımı ile BN ile grafit kalıplar yağlanmıştır (Şekil 2.6.g-ğ-h).
- BN yağlayıcı ile yağlanan grafit kalıplara metal tozlar bir huni ve maşa yardımı ile doldurulmuştur (Şekil 2.6.ı-i).
- Metal tozları doldurulan grafit kalıpların üstüne üst baskı grafitleri yerleştirilmiştir (Şekil 2.6.j-k)
- Son olarak metal kalıp çerçevesinden toz metaller ile grafit kalıpların dökülmemesi için kalıp çerçevesi sıkıştırılmıştır (Şekil 2.6.l)

Sonuç olarak hazırlanan grafit kalıp plakaları bir metal çerçeve içerisine belirli bir düzende yerleştirilmiş (Şekil 2.6.d) ve daha sonra metal tozlar hazırlanan grafit kalıp boşluğuna yerleştirilerek (Şekil 2.6.ı) kalıp kapatılmıştır (Şekil 2.6.k).

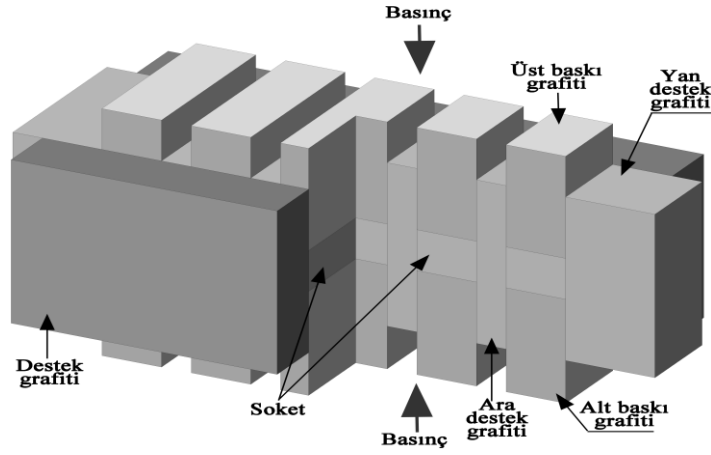
Plakaların kayarak kalıp düzeninin bozulmaması amacıyla bu plakalar, çerçeve üzerindeki vidalardan allen anahtarı yardımı ile sıkıştırılmıştır (Şekil 2.6.l). Bu arada ısı yalıtımını sağlamak amacıyla kalıp ile çerçeve arasına yalıtım malzemesi konulmuştur (Şekil 2.6.ç).

Metal tozlarını grafit kalıplara koymadan önce grafit kalıpların yapışmaması, soketler üzerinde gözenek oluşmaması ve soketlerin kalıptan kolay ayrışması için kalıplar bor nitrür ile yağlanmıştır (Şekil 2.6.g). Sıcaklığın doğru olarak ölçülmesi için kalıba termokupl yerleştirmek amacı ile kalıp merkezindeki grafit parçaya 3,5 mm çapında delik delinip termokuplun ucu kalıbın merkezine yerleştirilmiştir (Şekil 2.7).



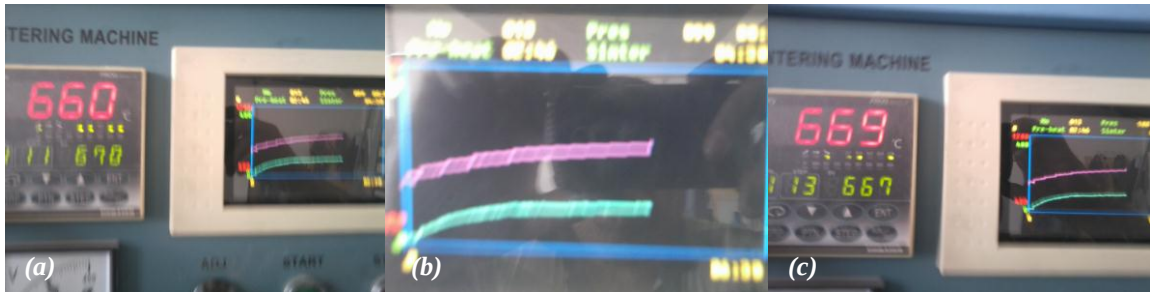
Şekil 2.7. Kalıbın sinterleme kabineye yerleştirilmesi ve termokuplun takılması

Grafit kalıp üst baskı grafiti, alt baskı grafiti, ara destek grafiti, yan destek grafiti ve destek grafiti elemanlarından oluşmaktadır (Şekil 2.8).



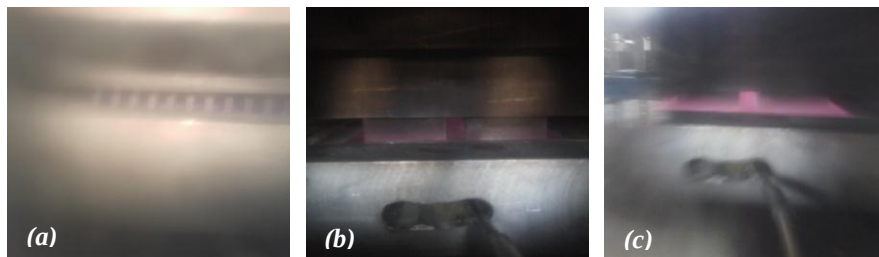
Şekil 2.8. Grafit kalıbın şematik görünüşü

Sinterlemeye hazır hale getirilen metal tozları ile dolu olan grafit kalıp, kalıp çerçevesi sıcak presin sinterleme kabineye yerleştirildi (Şekil 2.7). Bu işlemten sonra her bir soketin birim alanı üzerine 270 N toplamda bir kalıpta bulunan 26 sokete 100 kN basınç ile 670°C sıcaklık uygulanmıştır. Bu basınç ve sıcaklığa ulaşıncaya kadar 300V enerji ile ısı ve basınç uygulandı. Kalıp, 670°C sıcaklık ve 100 kN sabit basınç altında 2,5 dk bekletildi (Şekil 2.9).



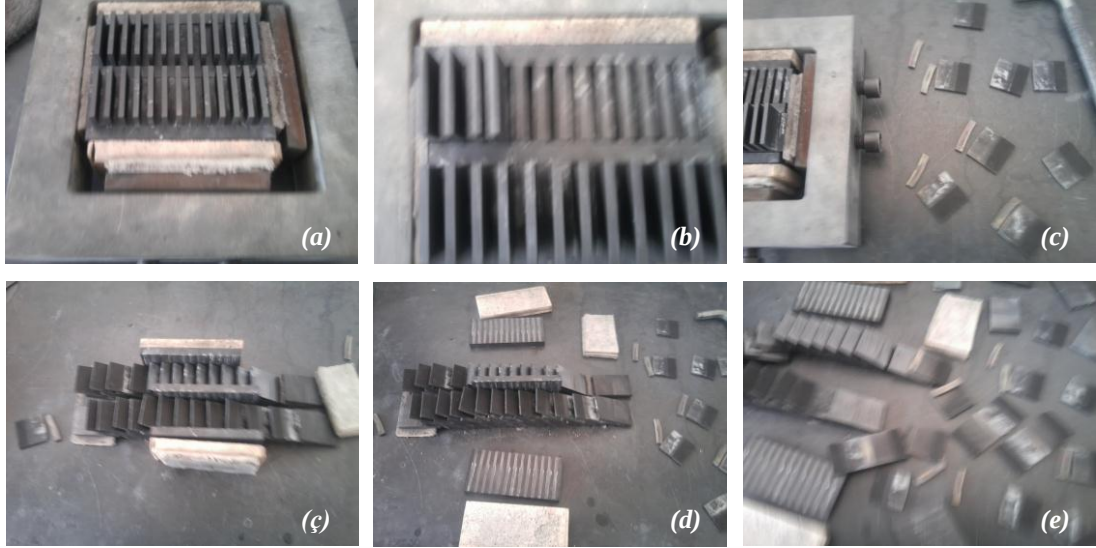
Şekil 2.9. Sıcak pres sinterleme makinesinin sıcaklık, zaman, basın göstergesi

Sinterleme işleminin başlangıcında düşük basınç değerinde (15 kN) ve yaklaşık 430°C’de açığa çıkan dumandan PEG’nin yandığı anlaşılmıştır (Şekil 2.10.a). Bu andan itibaren basınç seviyesi 30 kN’a yükselmiştir. Sıcaklığın 550, 590 ve 670°C olduğu grafit kalıbın kızarması ile anlaşılmaktadır (Şekil 2.10.b-c).



Şekil 2.10. Sinterleme anında kalıbın görünüşü, (a) PEG’in yandığı an, (b) ve (c) sinterleme anı

Sinterleme işlemi bittikten sonra ısıtma ünitesi devreden çıkarak numunelerin kalıp içerisinde 30 kN basınçta oda sıcaklığına kadar soğuması beklenildi ve kalıp soğuduktan sonra açılarak içindeki sinterlenmiş numuneler çıkarıldı (Şekil 2.11). Şekil 2.1’de sinterleme grafiği (sıcaklık-basınç-süre) görülmektedir.



Şekil 2.11. Sinterleme işleminin gerçekleştirildiği kalıbın açılması.

Soket grafit kalıplarının içine yerleştirildiği kalıp çerçevesi sinterleme ocağından çıkartıldı ve metal masa üzerine alınarak soğuması için bekletildi (Şekil 2.11 a). Kalıp çerçevesinden grafit kalıplar serbest hale getirildi ve grafit kalıbın üst baskı grafitleri kalıptan uzaklaştırıldı (Şekil 2.11 b). Daha sonra üretilen soketlerin bazıları açığa çıktı (Şekil 2.11 c) ve kalıp çerçevesi ile grafit kalıp ayrıldı (Şekil 2.11 ç). Grafit kalıp çevresindeki yalıtım malzemeleri kalıptan uzaklaştırıldı ve destek grafitleri ile yan destek grafitleri alındı (Şekil 2.11 d). Son olarak grafit kalıp elemanları çıkarılarak üretilen soketlerin açığa çıkması sağlandı (Şekil 2.11 e). Çıkarılan grafit kalıp elemanları tekrar kullanmak amacı ile bir düzen halinde beklemeye bırakıldı.

2.5. Soketlerin Testere Gövdesi ile Birleştirilmesi

Üretilen elmaslı soketler AISI 1070 çelikten üretilip sertleştirilmiş 340x2,2x60 mm ölçüsündeki çelik testere gövdelerine sert lehim yöntemi ile birleştirilmiştir. Lehimleme işleminde 40Ag19Cu21Zn20Cd kimyasal bileşime sahip 1,2 mm çaplı lehim teli kullanılmıştır. Lehim telinin özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Lehim telinin* özellikleri (URL-16, URL17)

Kodu	Çap (mm)	Muhtevası (%)				Ergime Aralığı (Katılma ve Erime sıcaklığı) (°C)	Lehimleme Sıcaklığı (°C)	Öz kütlesi (gr/cm ³)	Gerilme mukavemeti (kg/mm ²)
		Ag	Cu	Zn	Cd				
Ag40Cd	1,2	40	19	21	20	595-630	615-650	9,3	42

* Demir ve demir dışı esaslı geniş bir malzeme yelpazesi (çelik, bakır, pirinç, vb.) için uygun genel amaçlı sert lehim alaşımıdır.

* Ag40Cd çok düşük erime noktasına sahip kadmiyum, gümüş, pirinç alaşım ihtiva eden genel amaçlı mükemmel akış özelliğine sahip bir lehim telidir.

Soketlerin çelik gövdeye daha iyi bir kapiler etki yapması yani lehimin soket ile gövde ara yüzeyine tam nüfuz edebilmesi için lehimleme işleminden önce mekanik yöntemlerle soketler temizlenmiştir (Şekil2.12).

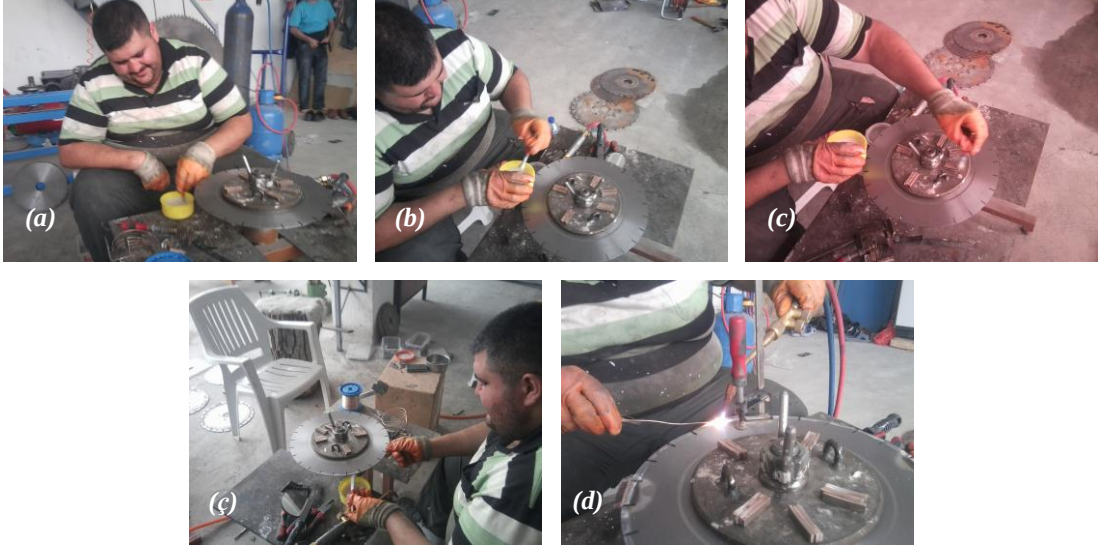


Şekil 2.12. Soketlerin temizlenmesi

Temizlenen soketler ve çelik testere gövdesi Şekil 2.14'deki kaynak aparatına yerleştirilip bunlara fluks boraksı sürülmüştür (Şekil 2.13). Öncelikle soket ve çelik gövde oksi-asetilen hamlacıyla ısıtılmıştır. Boraksın parlamaya başlamasından sonra lehim malzemesi ilavesi yapılarak hamlaçla yelpaze hareketi yapılarak lehimleme işlemi tamamlanmıştır. Çelik gövdede meydana gelen fazla ısı, sisteme açılmış olan su kanalları vasıtasıyla ortamdan uzaklaştırılmıştır. Ayrıca lehimleme işlemi esnasında, soketlerin yerleştirildiği kısımlarında ısı dengesini sağlamak için soketlerin testere gövdesine lehimleme işlemi karşılıklı olarak yapılmıştır. Lehimleme işlemi tamamlanmış testerelelerin fotoğrafı Şekil 2.15'te verilmiştir.



Şekil 2.13. Sert lehim yapılmış soketin detay görünümü.



Şekil 2.14. Soketlerin çelik gövdeye kaynak edilmesi

Soketlerin çelik gövdeye kaynak edilmeden önce çelik gövde kaynak aparatının üzerine bağlandı ve çelik diskin temizliği yapıldı (Şekil 2.14. a). Daha sonra soketlere fluks boraksı sürüldü (Şekil 2.14. b). Bu işlem tamamlandıktan sonra çelik diske de fluks boraksı sürüldü (Şekil 2.14. c-ç-d). Son olarak kaynak aparatı üzerindeki çelik diske küçük bir işkence bağlanarak soketin disk ile bir arada kalması sağlandı ve oksii-asetilen alevi sert lehime göre ayarlandıktan sonra soketler çelik diske lehim ile tutturuldu (Şekil 2.14.e)

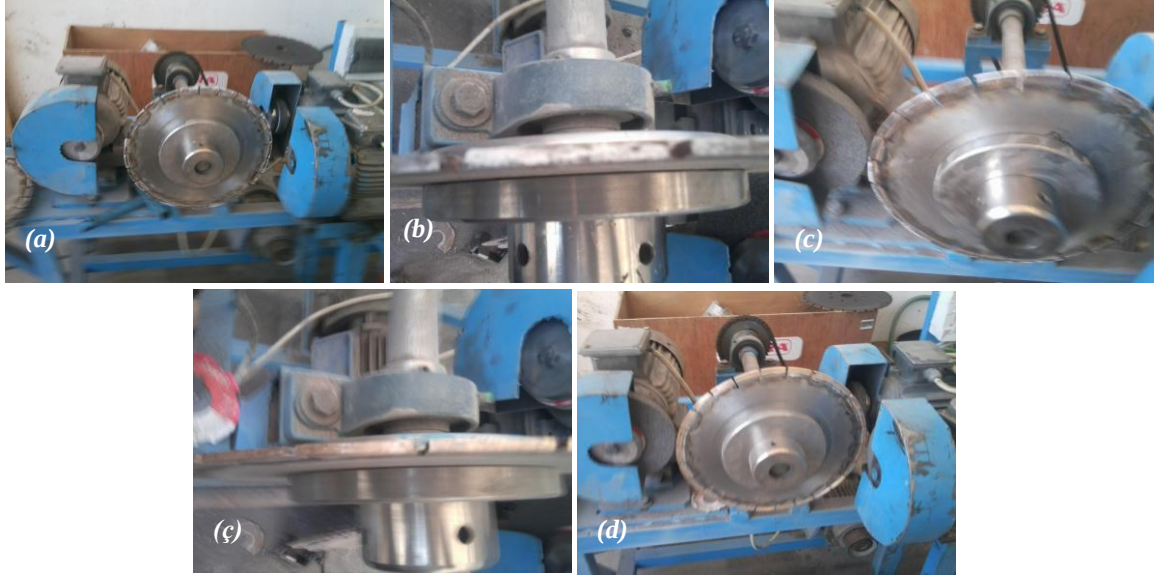


Şekil 2.15. Tamamlanmış elmaslı tepsi testereler.

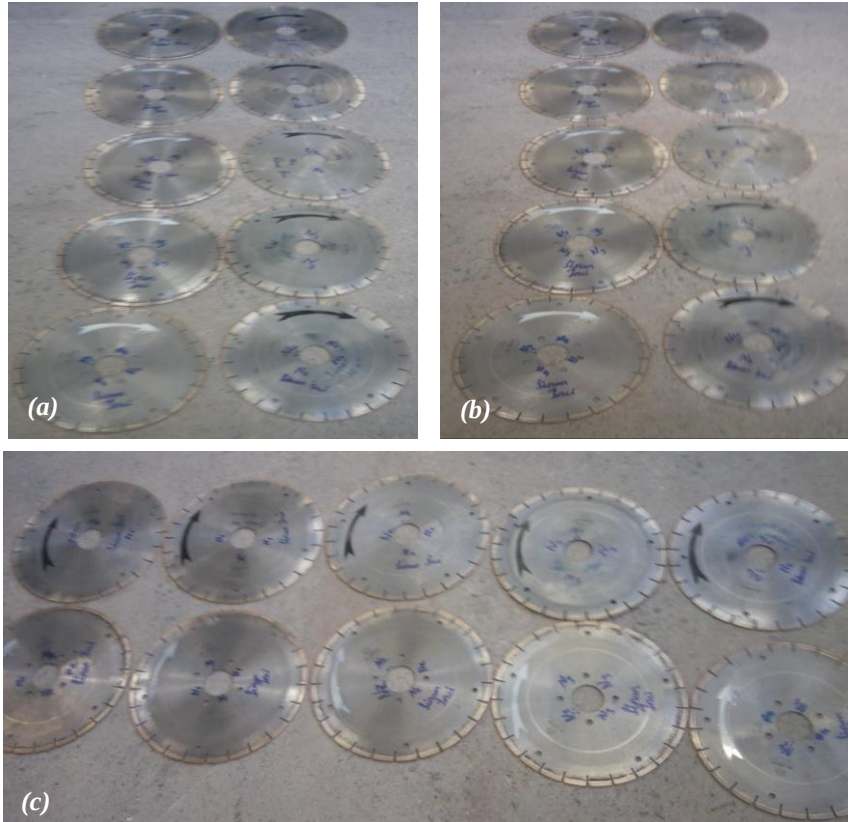
2.6. Mermer Kesici Testerelerin Taşlanması

Elmas tanelerinin kesme işlevini yerine getirmesi için soketlerin alın ve yanak taşlanması yapılmıştır. Alın taşlama işleminde 60 mesh tane boyutuna sahip 200 x 25 x 20 mm ölçülerindeki seramik taşlar kullanılmıştır. Yanak taşlama işleminde ise 80 mesh tane boyutundaki seramik taşlar (SCG) kullanılmıştır.

Taşlama işlemi için şekil 2.16.a'da fotoğrafı görünen özel taşlama makinesi kullanılmıştır. Bu makineye testere bağlandıktan sonra alın ve yanak taşlama işlemi tek seferde testere makineden çıkarılmadan yapılmıştır.



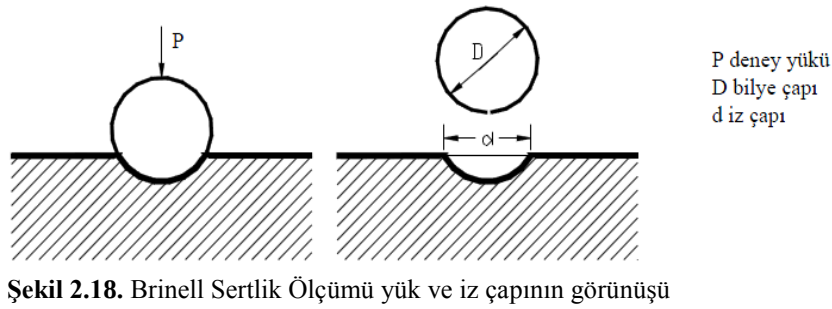
şekil 2.16. Testerenin taşlanması; (a),(b),(c) testerenin taşa bağlanması, () alın taşlama, (d) yanak taşlama



şekil 2.17. Taşlanmış ve balansı alınmış mermer kesme işlemine hazır hale getirilmış $\varnothing 350$ 'lik tepsi testerelele

2.7. Deney Numunelerinin Sertliğinin Ölçümü

Sıcak presleme yoluyla üretilen numunelerin sertliklerinin belirlenmesi amacıyla Brinell Sertlik Ölçme (BSD) yöntemi kullanıldı. BSD yöntemiyle sertlik ölçümünde, batıcı uç olarak **sert çelik bilye** veya sert metaller için sert **metal karbür** bilye kullanıldı. (D) çapındaki bilye, belirli bir (P) yüküyle, sertliği ölçülecek numunenin yüzeyine batırıldı. Bilye, numunenin üzerinden kaldırıldıktan sonra, oluşan izin küresel yüzey alanının (d) iz çapı ölçüldü. Sertlik değeri, yükün malzeme yüzeyinde elde edilen iz alanına bölünmesiyle elde edildi (Şekil 2.18)



Şekil 2.18. Brinell Sertlik Ölçümü yük ve iz çapının görünüşü

$$HB = \frac{P}{\pi \cdot (D/2) (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.1)$$

Burada;

P = Uygulanan yük (kgf veya kg),

D = Bilye çapı (mm),

d = İz çapıdır (mm)

Uygulanacak yükün tayini için şu formülünden yararlanılırdı.

$$P = C \times D^2 \quad (2.2)$$

Burada;

P=Uygulanacak Basınç (Kgf)

C=Numuneye göre değişen katsayı

D=Bilya Çapıdır (mm)

D=2,5 mm (Numune et kalınlığı 3-6 mm olduğu için)

C= 10 (Cu ve Al alaşımı malzemeler için)

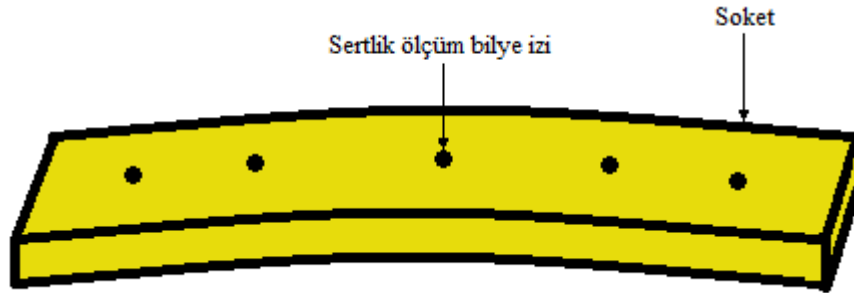
$P = C \times D^2 \Rightarrow P = 10 \times 2,5^2 = 62,5kgf$ olarak bulunur.

Uygulanacak basınç değeri hesaplandıktan sonra yük ayar kolu yardımıyla cihazın uygulayacağı basıncı 62,5 kgf'te getirildi. 2,5 mm çapındaki çelik bilye yerine takıldı. Numune de tabla üzerine koyulduktan sonra yükleme işlemine geçildi. (Şekil 2.19)



Şekil 2.19. (a) BSD Ölçüm Cihazı (b) ölçüm aparatı, tablası ve ölçüm anı (c) ölçüm ekranı

BSD sertlik değeri belirlerken iz çapının belirlenmesi gerekirdi. Lakin kullandığımız cihaz BSD değerini kendisi belirlediği için iz çapını ayrıca bulmaya gerek kalmamıştır. Bu cihazda 62,5 kg yük ve 2,5 mm çapında bilye ile numunelerin sertliği BSD değeri baz alınarak ölçülmüştür. Numunelerin objektif sertlik değerinin belirlenmesi amacıyla her bir numune içinde üç ayrı soketten sertlik değeri alındı.



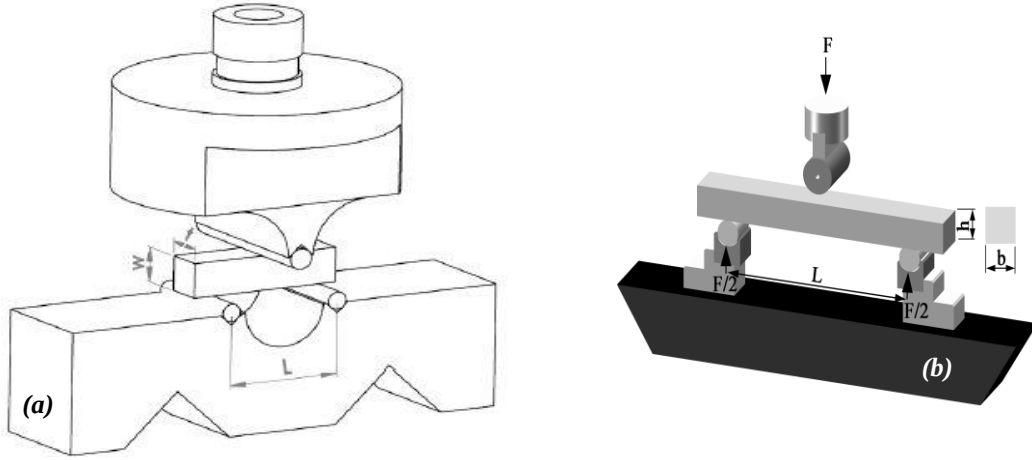
Şekil 2.20. Sertlik Ölçümü yapılan numune

Her bir soketin uç, orta ve ara bölgelerinden 5 sertlik ölçümü olmak üzere her bir soket numunesinden toplam 15 adet sertlik ölçümü yapıldı (Şekil 2.20). Ölçüm işlemi tamamlandıktan sonra en yüksek ve en düşük ölçümler çıkarıldıktan sonra kalan sertlik değerlerinin ortalaması alınarak numunelerin ortalama BSD sertlik değerleri bulunmuştur.

2.8. Üç Nokta Eğme Deneyi

Üretilen deney numunelerinin (mermer kesici soketlerin) mukavemeti, çekme deney numunesi şekil ve boyutlarında olmadığından üç noktalı eğme deneyi ile ölçülmüştür. Eğme deneyleri universal deney makinesi ile ASTM B 528-83a standardına göre gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2.21’de gösterilen özel bir aparat yapılarak numunelerin eğilme dayanımları ve kırılma tokluğunu belirlemek amacıyla yapılan üç noktalı eğme deneyi yapılmıştır.



Şekil 2.21. (a) Üç nokta eğme deneyi aparatının şematik görünümü (b) üç noktalı eğme testi düzeneği

Bu deney universal çekme cihazında 50 kN kapasite ve 1 mm/dk deney hızında yapılmıştır. Üç noktalı eğme deneyinde kullanılan numunelerin ölçüsü 3,5 x 7 x 40 mm’dir. Bu deneyde her bir numunenin üç nokta eğme deneyi sonucunu belirlemek için üç ayrı soketten ölçüm alınmıştır. Elde edilen bu değerlerin ortalaması alınarak numunelerin ortalama üç nokta eğme deneyi değeri bulunmuştur.

Eğilme mukavemetini belirlemek için aşağıda verilen formülünden faydalanılmıştır;

$$P = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (2.3)$$

Burada;

P= Eğme mukavemeti (MPa),

F= Kırılma anında numuneye uygulanan kuvvet (N),

L= Destek noktaları arasındaki mesafe (mm),

b= Numune genişliği (mm),

h= Numune yüksekliği (mm).

2.9. Öz kütle Ölçümü

Öz kütle, üretilen soketin mermer kesimi için uygun olup olmadığını gösteren kıstaslardan biridir. Soketler, kesim öncesi her üretici firma tarafından basit işlem ve hesaplamalarla öz kütle değerine göre ayrılmaktadır.

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen bu deneyde soketin öz kütlesi suyun kaldırma kuvveti kanunundan yararlanılarak hesaplanmıştır. Soketlerin öz kütlelerinin belirlenmesi amacıyla üretilen tüm numunelerin öz kütleleri 10^{-2} hassasiyetindeki bir terazi ile ASTM B 311-08 standardında belirtildiği gibi Arşimet prensibine göre ölçülmüştür.

Şekil 2.14'te öz kütle ölçümünde kullanılan hassas terazi görülmektedir. Bu yöntemle öncelikle numunelerin havada kuru ağırlıkları ölçülmüş daha sonra mezürün darası alındıktan sonra mezür ve 50 ml suyun ağırlığı birlikte ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilen formülde kullanılarak sıvının öz kütlesi bulunmuştur.

$$\rho = \frac{m_{sm} - m_m}{V_s} \quad (2.3)$$

Burada;

ρ :Sıvının öz kütlesi

m_{sm} :Sıvı+mezür ağırlığı

m_m :Mezür ağırlığı

V_s :Sıvı hacmidir.

Sıvının hacmi bulunduktan sonra 2.4'deki formülden yararlanılarak sıvının numuneyi kaldırma kuvveti bulunmuştur:

$$K_k = \frac{m_m + m_s - m_n}{m_{sm}} \quad (2.4)$$

Burada;

K_k :Kaldırma kuvveti

m_m :Mezür ağırlığı

m_s :Sıvı ağırlığı

m_n :Numune ağırlığı

m_{sm} :Mezür+sıvı ağırlığıdır.

Numuneyi sıvının ne kadarlık bir ağırlıkla kaldırdığı; yani kaldırma kuvveti bulunduğundan sonra numunenin hacmi şu formülden faydalanılarak bulundu:

$$V_n = \frac{K_k}{\rho} \quad (2.5)$$

Burada;

V_n : Numunenin Hacmi

K_k : Kaldırma Kuvveti

ρ : Sıvının öz kütlesidir.

Sıvı içerisine konulan numuneler sıvı ile birlikte tartıldıktan sonra soketlerin öz kütle değerleri Öz kütle= Ağırlık / Hacim formülünden yararlanılarak oluşturulan 2.6'daki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$d = \frac{(A) \times (d_s)}{A - B} \quad (2.6)$$

Bu denklemden;

d = Numunenin öz kütlesi(gr/cm^3),

A = Numunenin havadaki ağırlığı (gr),

B = Numunenin sıvı içerisindeki ağırlığı (gr),

d_s = Ölçümün yapıldığı sıcaklıktaki sıvının öz kütlesi(gr/cm^3).



Şekil 2.22. Öz kütle ölçme düzeneği mezür ve hassas terazi

Sinterleme yöntemi ile üretilen kesici takımların teorik yani hesaplanan öz kütlesi ile gerçek öz kütlesi bir başka ifade ile ölçülen öz kütlesi değerlerinin ne oranda birbirine yaklaştığını anlayabilmek amacıyla 2.6'daki formüle göre numunelerin bağlı öz kütleleri hesaplanmıştır.

$$\rho_b = \frac{\rho}{\rho_k} \times 100 \quad (2.7)$$

Burada;

ρ_b = Bağlı öz kütle (%),

ρ = Deneysel olarak ölçülmüş öz kütle (gr/cm^3),

ρ_k = Toz karışım oranları esas alınarak hesaplanan teorik öz kütlesi (gr/cm^3).

2.10. Mikro Yapı İncelemeleri

Metalografik incelemeler için numuneler yaklaşık 3,5 x 7 x 10 mm ölçülerinde kırılmıştır. Numunelerin muhtevasında elmas bulunduğundan dolayı metalografik muayene işlemleri için parlatma işlemi yapılamamıştır. Bu nedenle sadece kırık yüzeylerin mikro yapı incelemeleri yapılabilmektedir.

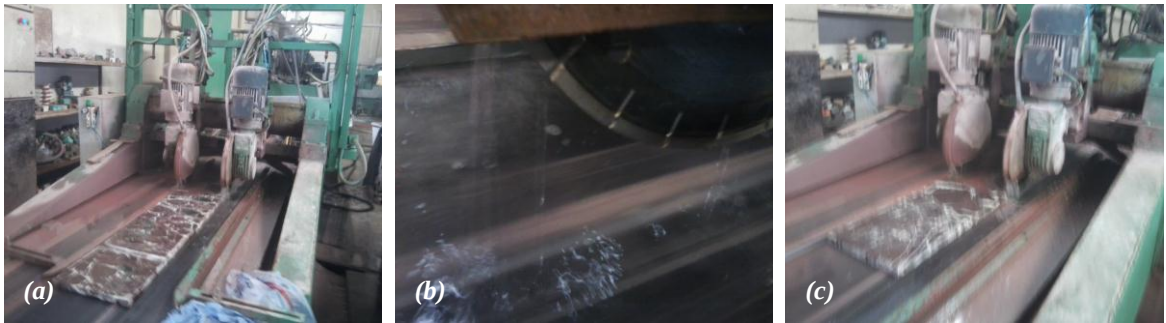
Elmaslı soketlerin mikro yapısının üretim şartlarına bağlı olarak nasıl değiştiğini, faz yapılarını tayin etmek, aşınma ve kırık yüzeylerini yorumlamak için Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM), Enerji Dispersive Spektrograph (EDX), X-Işını difraksiyonu (XRD) analizlerden yararlanılmıştır. XRD analizleri 30 kV ve 15 mA'de CuK_α radyasyonu kullanılarak elde edilmiştir. SEM ve EDX analizleri ise 15 kV enerji kullanılarak 100x ile 10000x arasında büyütmeyle yapılmıştır.

2.11. Elazığ Vişne Mermeri Kesme İşlemleri veya Aşınma Deneyi

Deneylerde kafa (baş) kesme makinesi (Şekil 1.21) ile devir ve ileri-geri hareketi kontrol edilebilir yan kesme yani enine boyutlandırma makinesi (Şekil 1.22) kullanılmıştır.

Testere, mile bağlı olan 5,5-7,7 kW/hp'lik bir motordan hareket almaktadır. Testere bandının öne-arkaya hareketi de 1,5-2 kW/hp gücüne sahip motor ile yapılmaktadır. Çalışanın ve makinenin güvenliği için testere başlığına endüktif sensör yerleştirilmiştir.

Kesme işlemi esnasında soğutma suyu devir daimi için 1,5-2 kW/hp güce sahip azami 40 l/dk pompalama kapasiteli ve 2900 dv/dk hız ile çalışan pompa kullanılmıştır. Şekil 2.19.te EVM'yi kesmek için kullanılan boyutlandırma makinesi ve kesme işlemi görülmektedir. Tablo 2.3'te kesme parametreleri verilmiştir.



Şekil 2.23. Üretilen testerele ile Elazığ Vişne Mermerinin kesilmesi.

Tablo 2.3. Doğal taş kesme parametreleri

İlerleme hızı	800 mm/dk
Kesme derinliği	20 mm
Çevresel hız	45 m/sn
Kesme oranı	76,8 cm ³ /dk
Soğutma sıvısı ve debisi	Şebeke suyu, 20 l/dk
Kesme modu	Eş yönlü kesme
Doğal taş türü	Elazığ Vişne Mermeri

Kesme işlemlerinde doğal taş olarak EVM kullanılmıştır. 500 x 150 x 20 mm ölçülerindeki EVM'nin kimyasal bileşimi Tablo 1.2'de, fiziki ve mekanik özellikleri Tablo 1.3'te ve kesme işleminde kullanılan EVM'nin fotoğrafı da Şekil 2.24'te verilmiştir. Kesilen EVM miktarı kesilen uzunluğun kesme derinliği ile çarpılarak hesaplanmıştır.

Kesme deneyinde toplam olarak 37312 cm² alana sahip EVM kesilmiştir. Kesme işleminden önce ölçüm için çelik disk üzerine özel delikler delinerek kesim işleminden önce ve sonra 0,01 mm hassasiyete sahip kumpas ile testerelerin kenarlarından soket yüksekliği ölçülmüştür. Her bir testere için beş ölçüm alınmıştır. Azami ve asgari değerler dikkate alınmaksızın diğer değerlerin ortalaması alınarak elde edilen sonuçlar değerlendirmede kullanılmıştır. Başka bir ifadeyle tepsi testere numunelerin aşınma miktarları boyutsal olarak ölçülüp tespit edilmiştir. Soketteki yükseklik kaybı (mm), kesilen EVM miktarına (m²), bölünerek soketlerin aşınma oranları (mm/m²) belirlenmiştir (Xu, 2001; Xu vd, 2005).

$$s = \frac{a}{r} \quad (2.8)$$

Burada;

s = Aşınma oranı (mm/m²) ,

a = Soketteki yükseklik kaybı (mm),

r = Kesilen EVM miktarı (m²)

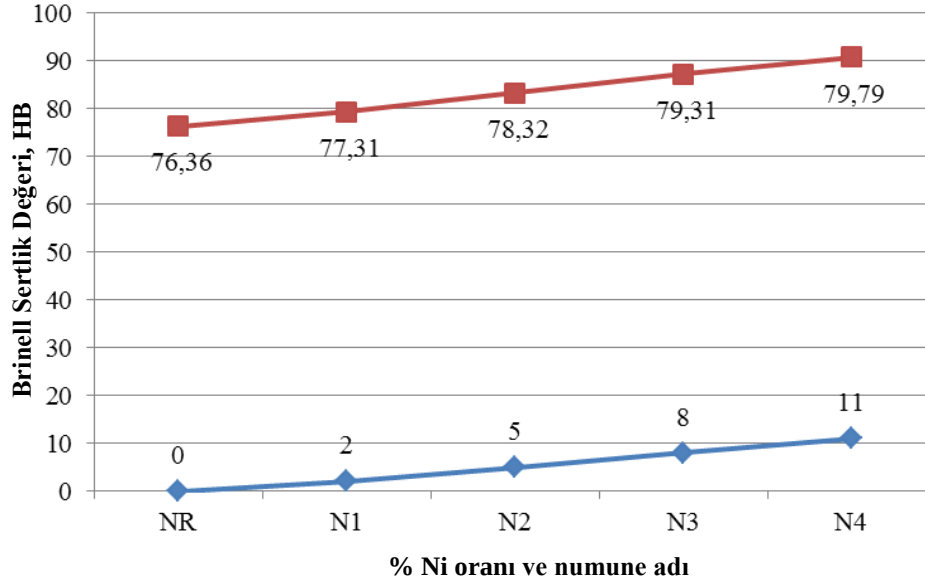


Şekil 2.24. Kesilen Elazığ Vişne Mermeri.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR

3.1. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Brinell Sertlik Ölçüm yöntemi (BSD) ile yapılan sertlik ölçüm sonuçları Şekil 3.1’de verilen diyagramda belirtilmiştir.



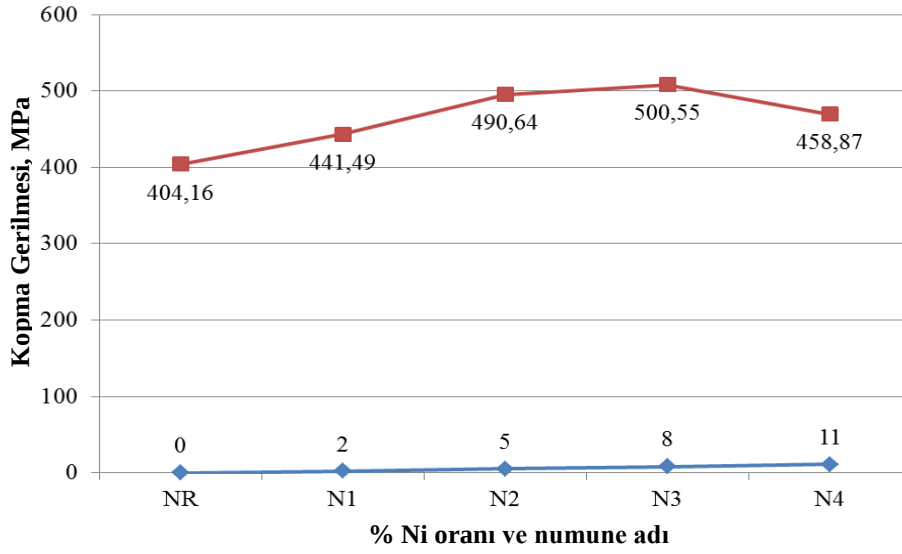
Şekil 3.1. Ni katkı oranına bağlı olarak BSD değerleri değişim grafiği

Diyagramdan anlaşıldığı gibi soket numunelerinin artan Ni miktarına bağlı olarak sertlik miktarlarının artarak değiştiği görülmektedir. Artan yüzde Ni ağırlık oranlarına bağlı olarak sertlik değerleri sırasıyla 76,36HB, 77,31HB, 78,32HB, 79,31HB ve 79,79HB olarak ölçülmüştür. Burada Ni oranının artışına bağlı olarak soketlerin sertliğinde de artış olduğu gözlenmektedir. Bu sertlik artışına Ni elementinin matris içerisinde bulunmasının sebep olabileceği düşünülmektedir (Min vd., 2007). Ayrıca bronz esaslı olarak üretilen soketlerin içerisinde olduğu tespit edilen kırılğan ve sert yapıya sahip olan eta (η) bronzunun da bu sertlik artışına sebep olduğu düşünülmektedir.

3.2. Üç Noktalı Eğme Deneyi Sonuçları

Bu deney, soket numunelerinin kırılma tokluğunu belirlemek amacıyla yapılmıştır. Ayrıca üç noktalı eğme deneyi sonuçlarının üretim parametrelerine etkisi de belirlenmeye çalışılmıştır.

Eğme mukavemeti üzerine Ni ilavesinin etkisi Şekil 3.2’deki diyagramda görülmektedir.

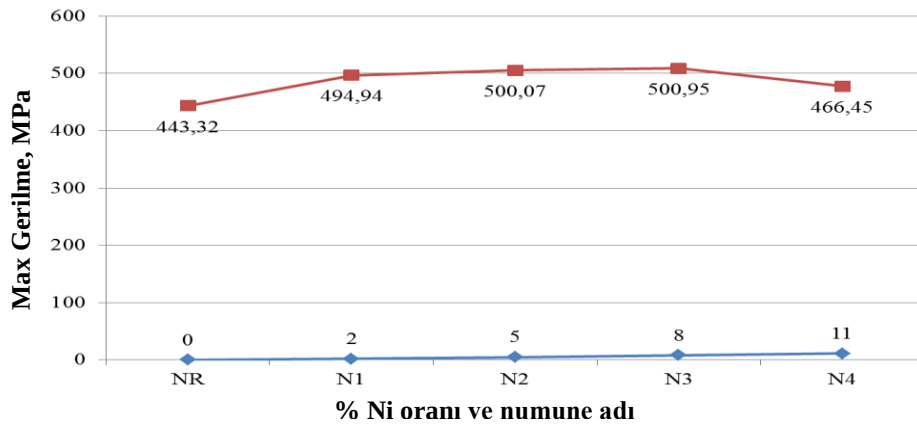


Şekil 3.2. Ni katkı oranına bağlı kopma gerilmesi diyagramı.

Şekil 3.2’de verilen diyagramda görüldüğü gibi Ni oranlarına bağlı olarak kopma gerilmeleri sırasıyla 404,16MPa, 441,49MPa, 490,64MPa, 500,55MPa ve 458,87MPa şeklinde değişmiştir. Yani kopma gerilmesi önce %8 Ni oranına kadar artmış, daha sonra azalmaya başlamıştır. Artan Ni oranı ile soket matrislerinin kopma dayanımlarında belli bir noktaya kadar artış olmuş ise de daha sonra azalmaya başlamıştır.

Numunelerin Şekil 3.3’te verilen diyagramda görüldüğü gibi maksimum gerilmeleri 443,32MPa, 494,94MPa, 500,07, 500,95 ve 466,45MPa şeklinde değişmiştir. Buna göre artan %Ni katkılarına bağlı olarak soket numunelerin maksimum çekme gerilmeleri de önce artmış sonra azalmıştır.

Numunelerin kopma ve maksimum gerilmelerindeki değişim XRD deneyinde Ni katkı oranına bağlı olarak ortaya çıkan ve kırılğan bir faz olan η -bronzuyla açıklanabilir.



Şekil 3.3. Ni katkı oranına bağlı max gerilme diyagramı.

3.3. Öz kütle Ölçüm Sonuçları

Nikel katkılarının öz kütle değişimine etkisini belirlemek amacıyla üretilen soket numunelerinin öz kütlesi ölçülmüştür. Ni katkılı ve katkısız numunelerin öz kütle değişimi Şekil 3.4'te görülmektedir. Ayrıca Tablo 3.1'de sıvının öz kütlesinin bulunuşu, Tablo 3.2'de ise numunelerin gerçek öz kütlelerinin bulunuşu ve Tablo 3.3'te ise üretilen soketlerin teorik ve gerçek öz kütlelerin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3.1. Sıvının öz kütlesinin bulunması

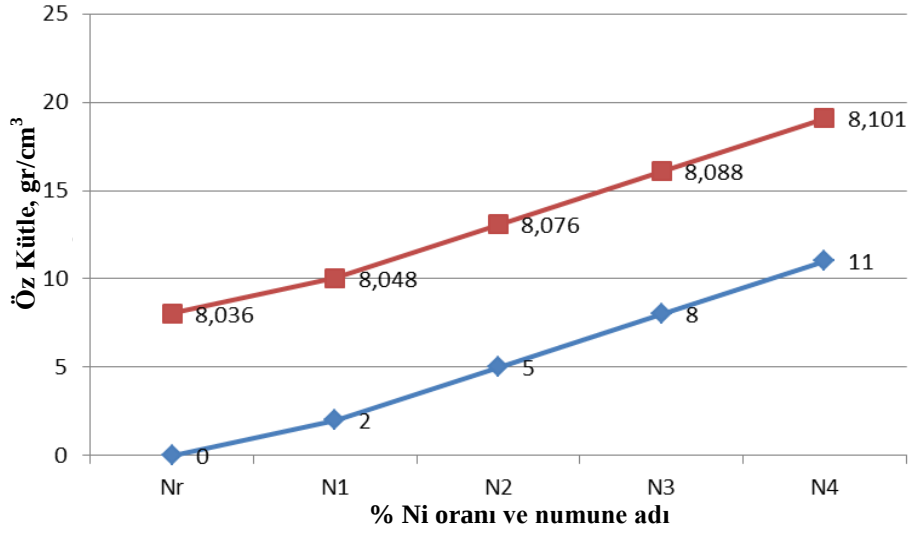
Sıvı ve Mezürün Ağırlığı (gr)	Mezürün ağırlığı (gr)	Sıvının Hacmi (ml)	Sıvının Öz Kütlesi (gr/cm ³)
98,63	49,71	50	0,9784

Tablo 3.2. Gerçek öz kütle sonuçlarını bulma.

% Nikel Oranı	Numune Adı	Numune Ağırlığı (gr)	Behar ve Su Ağırlığı (gr)	Behar, Su ve Numune Ağırlığı (gr)	Numunenin Kaldırma Kuvveti	Numunenin Hacmi (ml)	Numunenin Gerçek Öz Kütlesi (gr/cm ³)	Numunenin Ortalama Gerçek Öz Kütlesi (gr/cm ³)
0	NR-1	9,110	98,630	99,740	1,110	1,135	8,030	8,036
	NR-2	9,110	98,630	99,740	1,110	1,135	8,030	
	NR-3	9,130	98,630	99,740	1,110	1,135	8,048	
2	N1-1	9,110	98,630	99,740	1,110	1,135	8,030	8,048
	N1-2	9,150	98,630	99,740	1,110	1,135	8,065	
	N1-3	9,130	98,630	99,740	1,110	1,135	8,048	
5	N2-1	9,090	98,630	99,730	1,100	1,124	8,085	8,076
	N2-2	9,120	98,630	99,740	1,110	1,135	8,039	
	N2-3	9,110	98,630	99,730	1,100	1,124	8,103	
8	N3-1	9,010	98,630	99,720	1,090	1,114	8,088	8,088
	N3-2	9,100	98,630	99,730	1,100	1,124	8,094	
	N3-3	9,170	98,630	99,740	1,110	1,135	8,083	
11	N4-1	9,130	98,630	99,730	1,100	1,124	8,121	8,101
	N4-2	9,210	98,630	99,740	1,110	1,135	8,118	
	N4-3	9,150	98,630	99,740	1,110	1,135	8,065	

Tablo 3.3. % Nikele bağlı olarak numunelerin teorik ve gerçek öz kütleleri

Numune Adı	% Ni Oranı	Teorik öz kütle (gr/cm ³)	Gerçek öz kütle (gr/cm ³)	Fark (gr/cm ³)
NR	0	8,364	8,036	0,328
N1	2	8,369	8,048	0,321
N2	5	8,376	8,076	0,300
N3	8	8,383	8,088	0,295
N4	11	8,389	8,101	0,288



Şekil 3.4. Soketlerin % Ni içeriğine bağlı olarak gerçek öz kütle değişim grafiği.

Deneysel bulgular sonucu soketlerin % Ni içeriğine bağlı olarak gerçek öz kütlelerinin değişimi için Şekil 3.4'te verilen grafiğe göre artan Ni oranlarıyla doğal olarak öz kütle artışı olduğu gözlenmiştir.

Deney numunelerinin teorik öz kütlelerinin bulunması için aşağıda verilen formül kullanılmıştır:

$$\frac{1}{\rho_k} = \frac{w_t}{\rho_t} + \frac{w_m}{\rho_m} \quad (3.1)$$

Burada;

ρ_k : Toplam öz kütle,

ρ_t : Takviye elamanının öz kütlesi,

ρ_m : Matrisin öz kütlesi,

w_t : Takviyenin ağırlıkça oranı,

w_m : Matrisin ağırlıkça oranıdır.

Örneğin SnBz15 bronzunun (%85 Cu, %15 Sn) teorik öz kütlesi hesaplanırsa:

$$\rho_{Cu} = 8.933 \text{ gr/cm}^3 \quad w_{Cu} = 0.85$$

$$\rho_{Sn} = 7.287 \text{ gr/cm}^3 \quad w_{Sn} = 0.15 \quad \rho_{Bronz} = ?$$

$$\frac{1}{\rho_{Bronz}} = \frac{w_{Cu}}{\rho_{Cu}} + \frac{w_{Sn}}{\rho_{Sn}} \Rightarrow \frac{1}{\rho_{Bronz}} = \frac{0.85}{8.93} + \frac{0.15}{7.29} \text{ Buradan } \rho_{Bronz} = 8.6861 \text{ gr/cm}^3 \text{ bulunur.}$$

Bağıl öz kütle ise şu formül yardımı ile bulunmuştur:

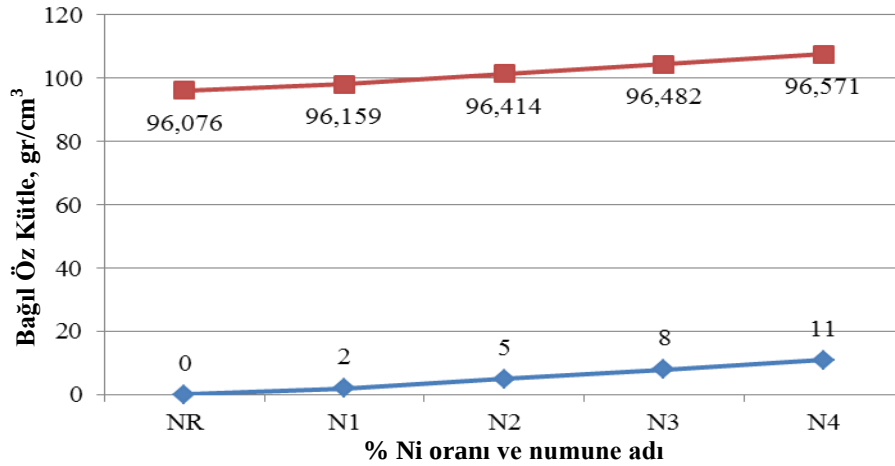
$$\rho_b = \frac{\rho}{\rho_k} \times 100 \quad (3.2)$$

Burada;

ρ_b : Bağıl öz kütle

ρ : Gerçek öz kütle

ρ_k : Teorik öz kütledir.



Şekil 3.5. % Nikel değişiminin bağıl öz kütleye etkisi.

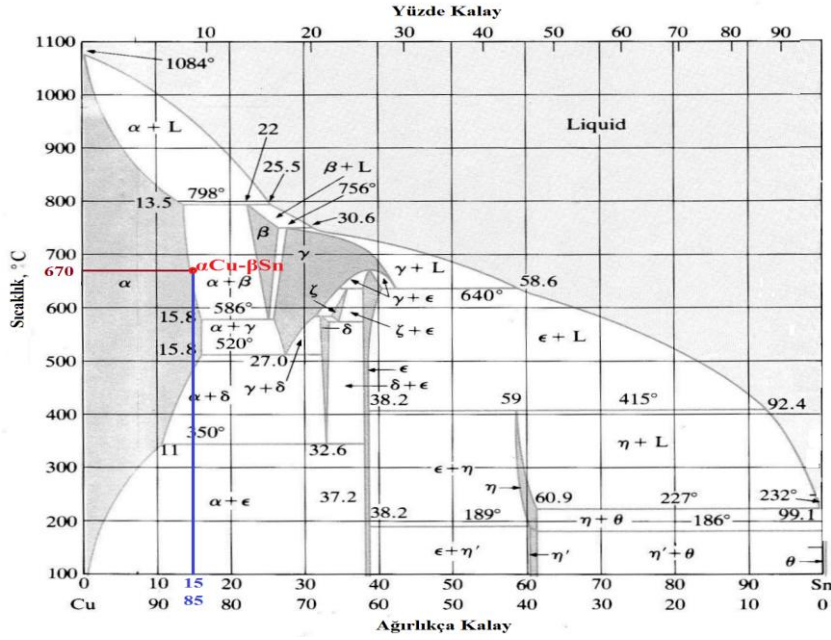
Deney sonuçları ışığında soketlerin % Ni içeriğine bağlı olarak bağıl öz kütlelerinin değişimi Şekil 3.5'te verilen grafiğe göre artan Ni oranı ile doğal olarak bağıl öz kütleye de artış olmuştur.

3.4. Mikro Yapı İnceleme Sonuçları

Metal matriste kullanılan metal tozlarına ağırlıkça % 2-5-8-11 oranlarında Ni ilave edilerek elmaslı kesici takım matrisi üretilmiştir. Bu metal, matrisin abrasif aşınma performansını geliştirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu amaçla bu bölümde sıcak presleme ile üretilen nikel katkılı ve katkısız soket matrislerin mikro yapı değişimleri incelenmiştir. Ayrıca nikel ve diğer matris bileşenlerinin yüzde miktarları da tespit edilmiştir.

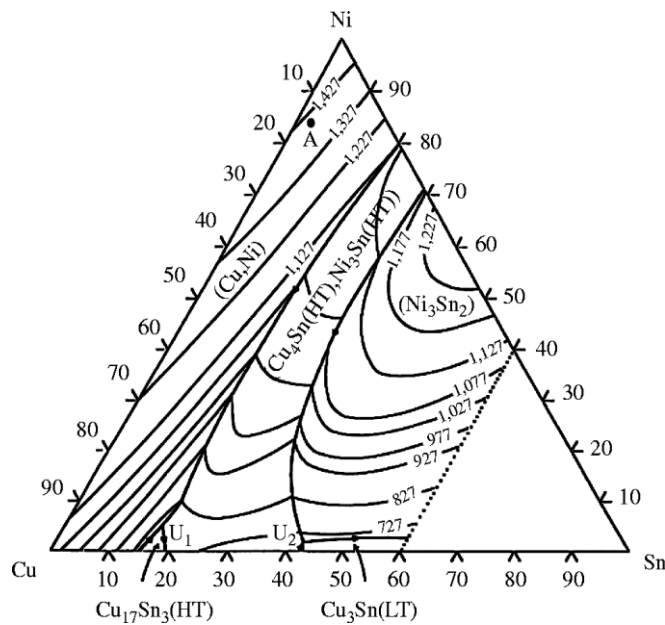
3.4.1. Matriste Oluşan Faz ve Bileşiklerin İkili ve Üçlü Denge Diyagramlarındaki Yerinin Belirtilmesi

Sinterleme sıcaklığı, Şekil 3.6'daki Cu-Sn ikili faz diyagramından da görüldüğü gibi 670°C olarak seçilmiştir. Bu sıcaklıktaki sinterlemeden sonra mikro yapıda α Cu- β Sn oluşmuştur. Bu durum Cu-Sn ikili faz diyagramı ve XRD grafiği ile de desteklenmektedir.

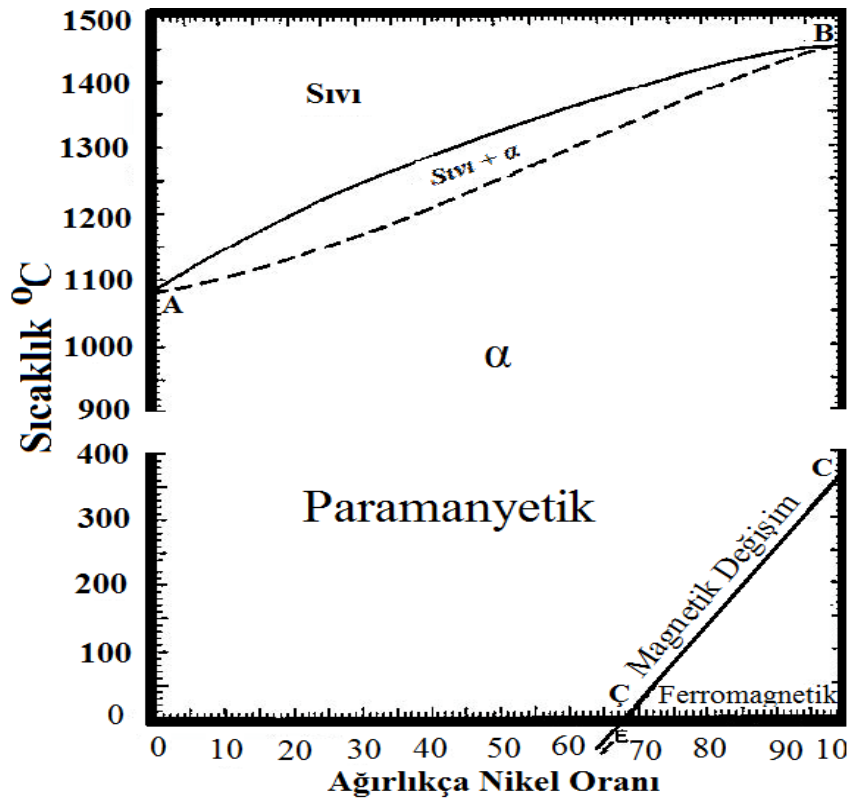


Şekil 3.6. Cu-Sn ikili faz diyagramı (Saunders ve Miodownik, 1990).

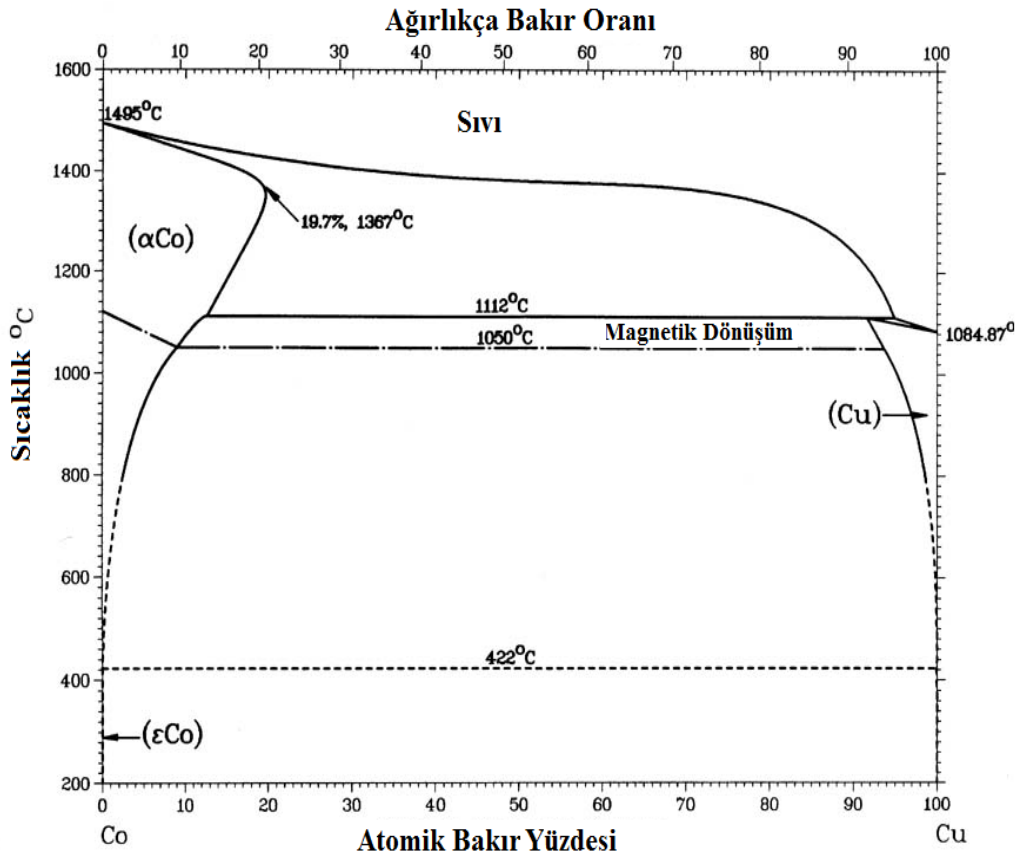
Şekil 3.7 Cu-Sn-Ni üçlü denge diyagramı, Şekil 3.8 Ni-Cu ve Şekil 3.9 Co-Cu ikili denge diyagramlarında çalışılan deney malzemesinin yeri ve fazları belirtilmiş olup bu fazlar daha detaylı bir şekilde XRD analizleri ile desteklenmeye çalışılmıştır.



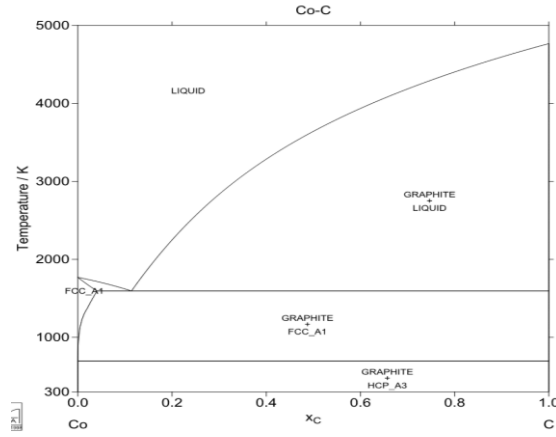
Şekil 3.7. Cu-Sn-Ni üçlü faz diyagramı (URL-19).



Şekil 3.8.Ni-Cu denge diyagramı (URL-20).



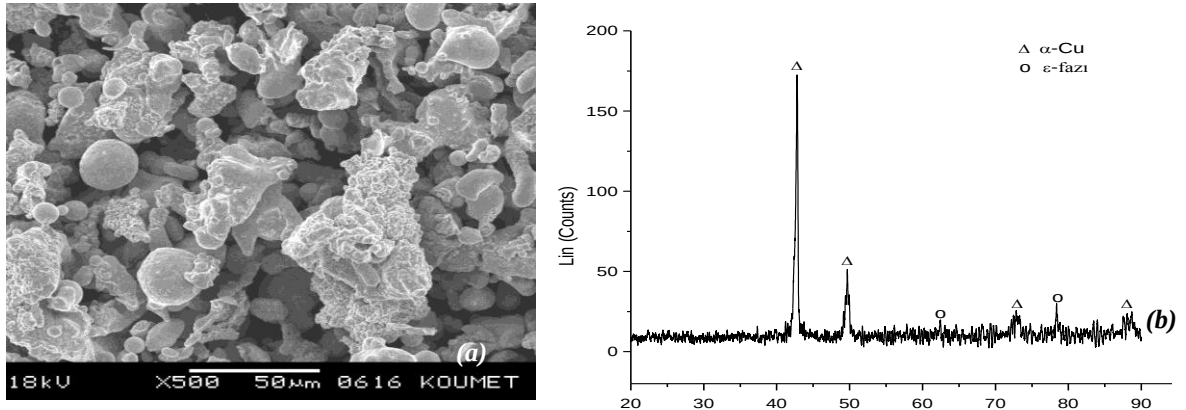
Şekil 3.9. Co-Cu Faz Diyagramı (URL-21)



Şekil 3.10. Co-C faz diyagramı(URL-23)

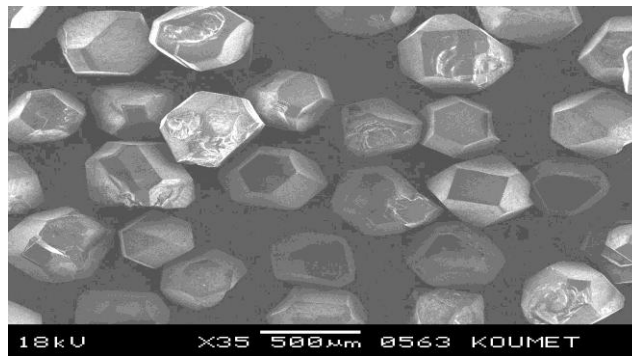
Şekil 3.11’de soket üretiminde kullanılan 85Cu15Sn alaşımının SEM fotoğrafı ve XRD grafiği verilmiştir. Bu fotoğraftan da anlaşıldığı gibi bronz tozu küresel şekillidir.

Şekil 3.11-b’de matris malzemesinde kullanılan 85Cu15Sn bronzunun XRD grafiği verilmiştir. Burada ana malzemenin esas itibarıyla α -Cu fazından oluştuğu eser miktarda ϵ -fazı içerdiği gözlenmektedir.



Şekil 3.11. Soket üretiminde kullanılan 85Cu15Sn bronz tozunun (a) SEM fotoğrafı ve (b) XRD grafikleri

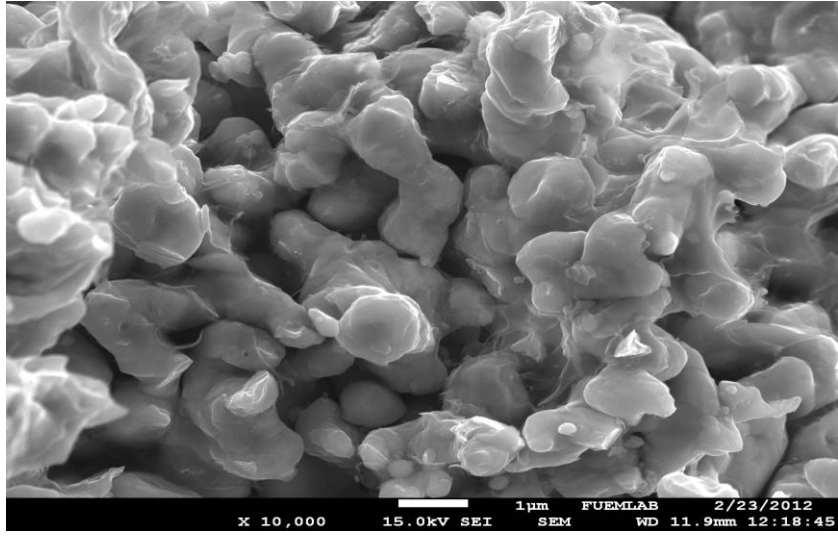
Şekil 3.12’de sentetik elmasın SEM fotoğrafı verilmiştir. Bu fotoğrafta da açıkça görüldüğü gibi elmas tanecikleri ise kübik ortogonal bir yapıya sahiptir.



Şekil 3.12. Soket üretiminde kullanılan sentetik elmasın SEM fotoğrafı

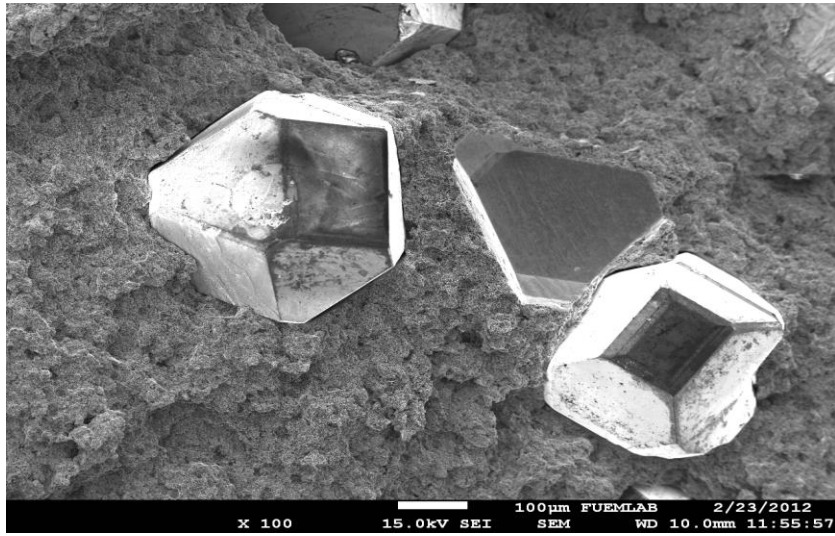
3.4.2. SEM ve EDX İncelemeleri

Şekil 3.13'te verilen SEM fotoğrafında, Ni katkısız numunede matrisi oluşturan metal tozlarının yaklaşık %95 sinterlendiği görülmektedir.



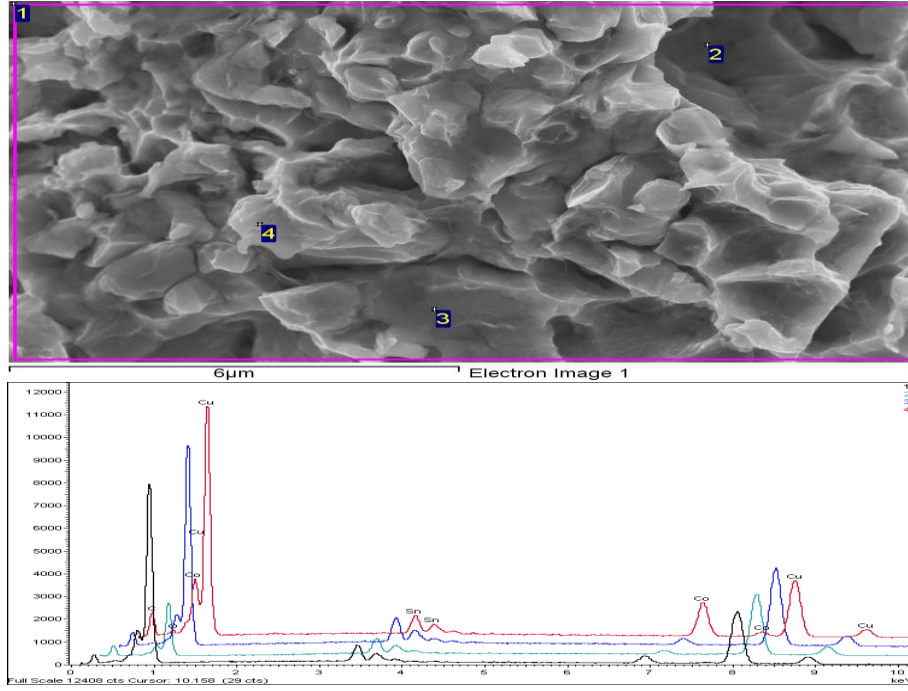
Şekil 3.13. Ni katkısız referans numunesinin 10000 büyütmeli SEM fotoğrafı

Şekil 3.14'te görülen Ni katkısız referans numunesinin (NR) 100 büyütmeli SEM fotoğrafında elmas parçacıklarının ana matrise tam olarak gömüldüğü, başka bir ifadeyle aşındırıcı elmas partiküllerin matris tarafından tam olarak desteklendiği ve elmas parçacıklar matriste iyi bir dağılım gösterdiği görülmektedir.



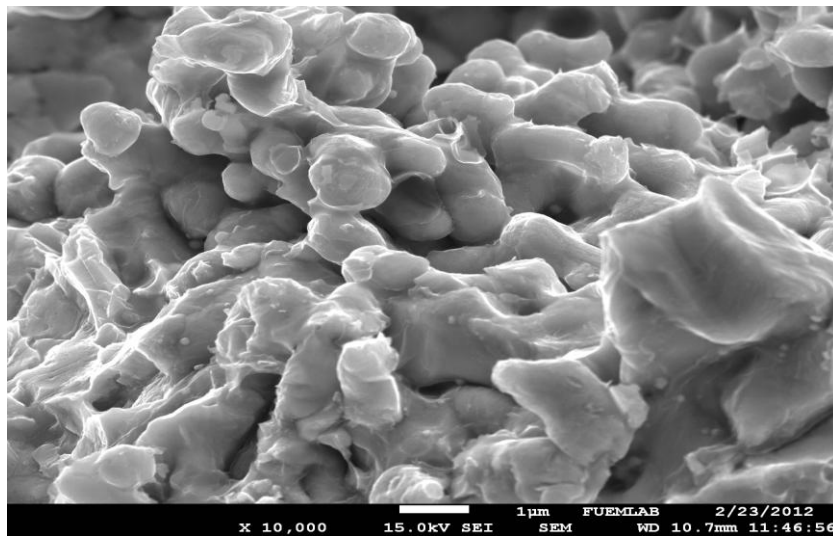
Şekil 3.14. Ni katkısız referans numunesinin 100 büyütmeli SEM fotoğrafı

Şekil 3.15'teki SEM fotoğrafından yararlanılarak elde edilen EDX grafiğinde görüldüğü gibi metal toz parçacıklarının matris içerisinde dengeli eşit oranda dağıldığı anlaşılmaktadır.



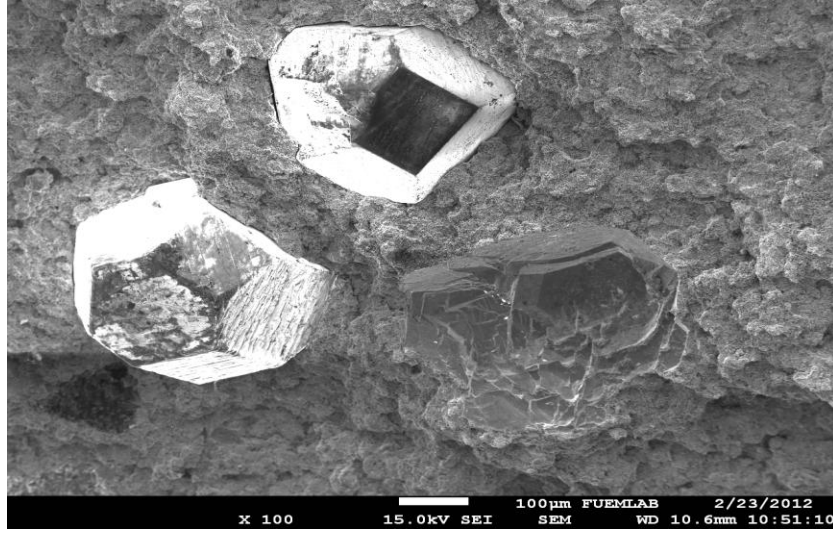
Şekil 3.15. Ni katkısız matrisin SEM ve EDX fotoğrafı

Üretilen %2 katkılı kesici takım matrisinde Ni parçacıklarının mikro yapıda nispeten homojen olarak dağıldığı Şekil 3.16'daki 10.000 büyütme SEM fotoğrafında görülmektedir. Bu fotoğrafta metal toz parçacıklarının %100 deneye kadar çok iyi sinterlendiği ve hemen hemen yüzeyde serbest partikül bulunmadığı görülmektedir.



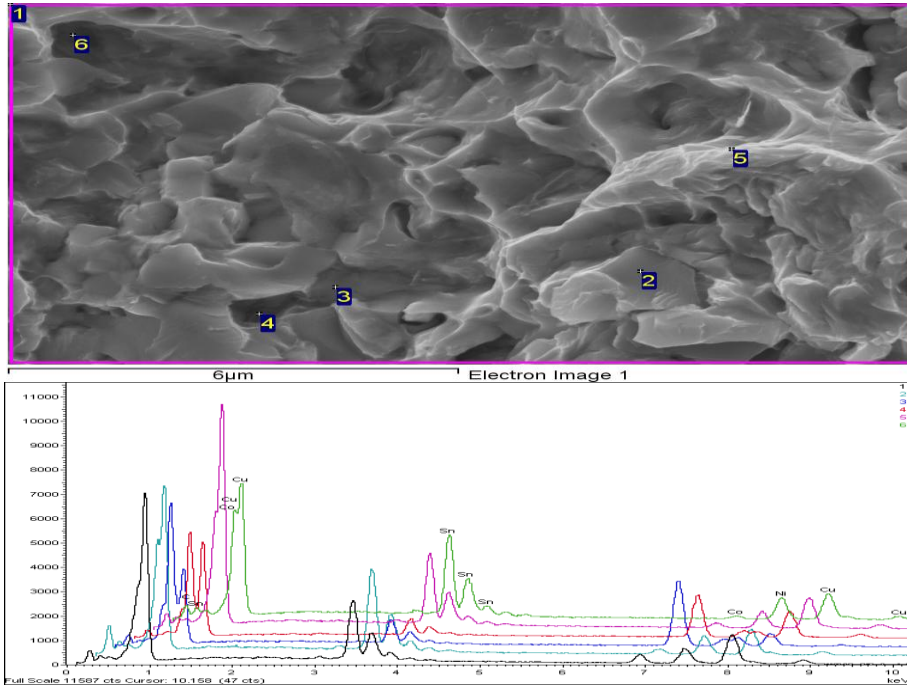
Şekil 3.16. %2 Ni katkılı matrisin 10.000 büyütme SEM fotoğrafı

Şekil 3.17'deki 100 büyötmeli SEM fotoğrafında göröldüğü gibi elmas parçacıklar matriste iyi bir dağılım göstermiş ve sinterleme etkisiyle elmas parçacıkları ile matris arasında boşluk yok denecek kadar az olduğı anlaşılmaktadır.



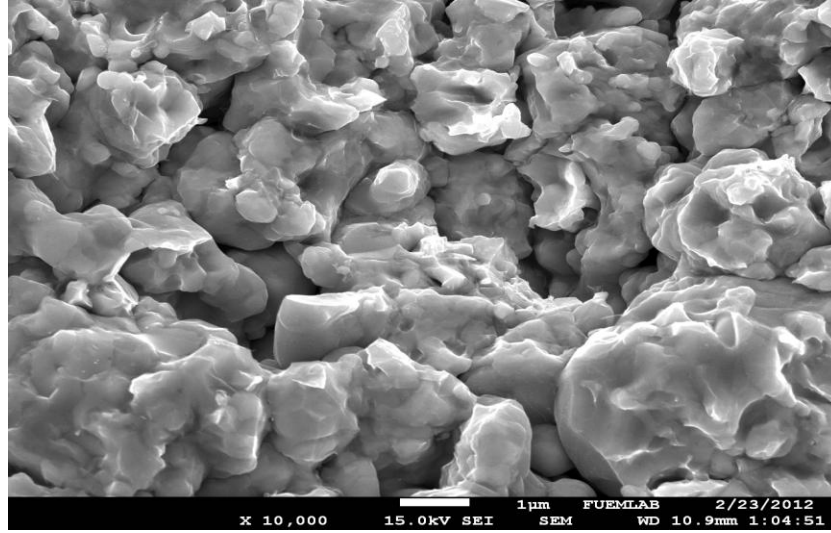
Şekil 3.17. %2 Ni katkılı matrisin 100 büyötmeli SEM fotoğrafı

Şekil 3.18'deki SEM fotoğrafının analiz edilmesi ile elde edilen EDX grafiğinde göröldüğü gibi matris içerisinde metaller dengeli ve eşit oranda dağılmıştır.



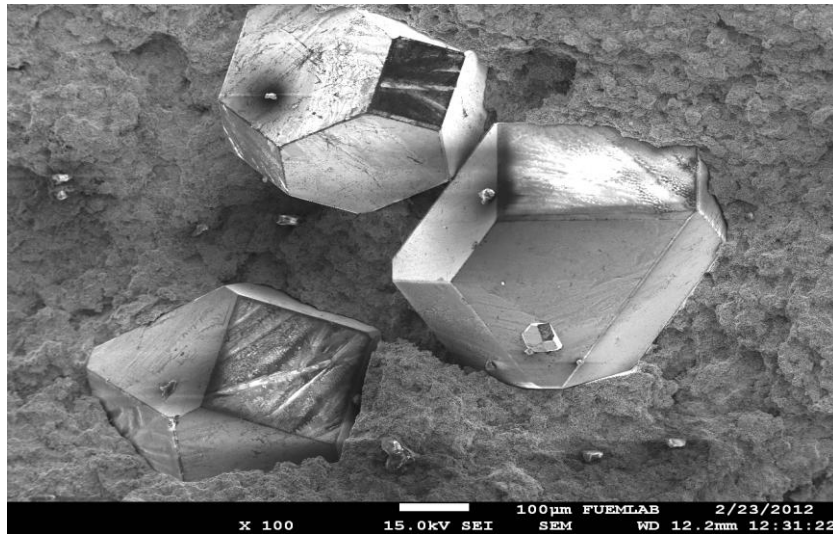
Şekil 3.18. % 2 Ni katkılı matrisin SEM ve EDX fotoğrafı

Şekil 3.19'daki 10.000 büyütmeli %5 Ni katkılı matrisin elmas ile matris ara bölgesinin SEM fotoğrafında Ni taneciklerinin çok iyi bir dağılım sağladığı, diğer metal toz parçacıklarının %100 denecek kadar çok iyi sinterlendiği ve partiküller birbiriyle çok iyi birleştiği ve arada boyun oluşturduğu gözlenmektedir. Bu bölge girintili çıkıntılı olmasına rağmen matris elmas partikülü çok iyi bir şekilde kuşatmış olduğu görülmektedir.



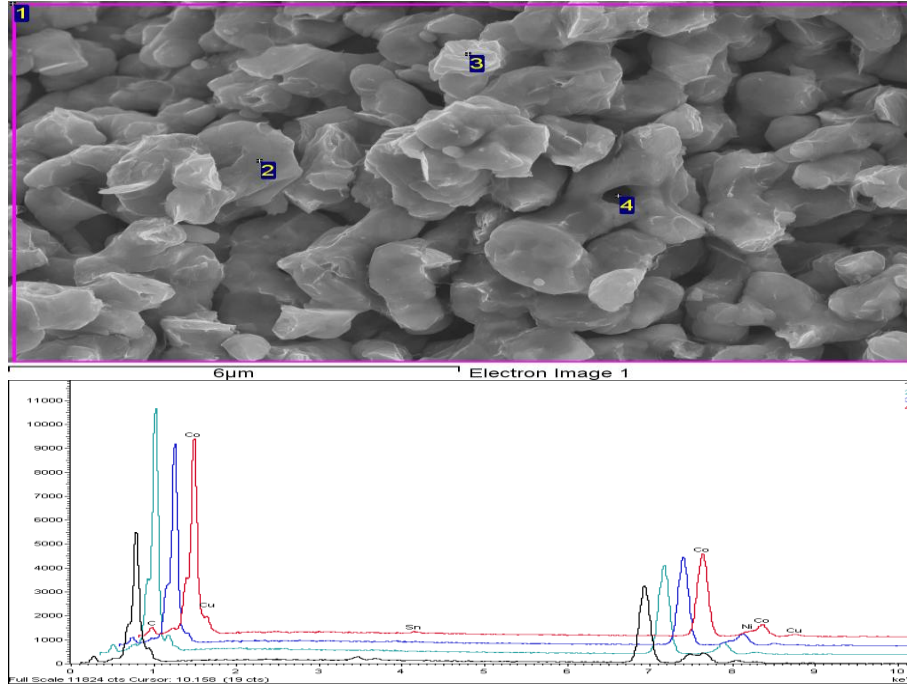
Şekil 3.19. %5 Ni katkılı matrisin SEM fotoğrafı ve EDX analizi

Şekil 3.20'deki 100 büyütmeli SEM fotoğrafında belirtilen %5 Ni katkılı N2 numunesinde, metal matris içerisinde elmas partikül dağılımı beklenildiği gibidir. Bu numunede de yine elmas partikül ile matris çok iyi bir kombinasyon yapıp boşluksuz birleşme sağlamıştır.



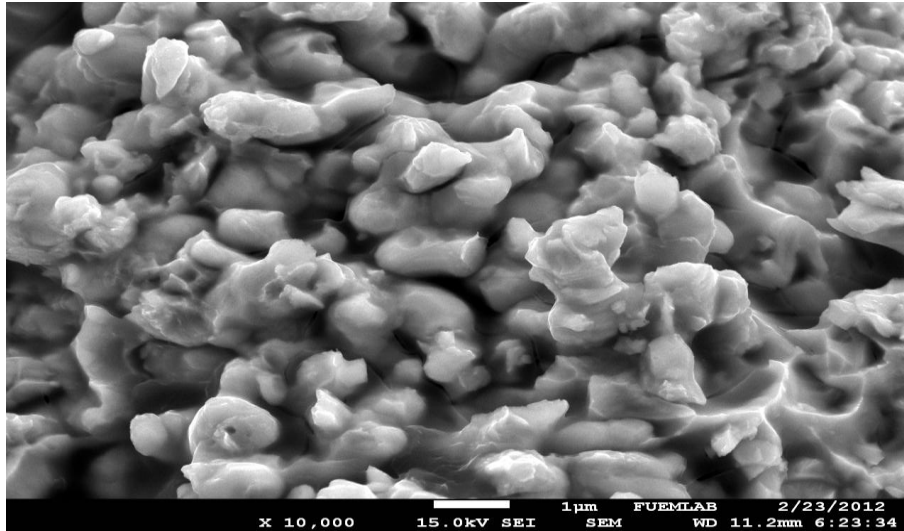
Şekil 3.20. %5 Ni katkılı matrisin 100 büyütmeli SEM fotoğrafı

Şekil 3.21'deki SEM fotoğrafının analiz edilmesi ile elde edilen EDX grafiğinde görüldüğü gibi matris içerisinde metaller dengeli ve eşit oranda dağılmıştır.



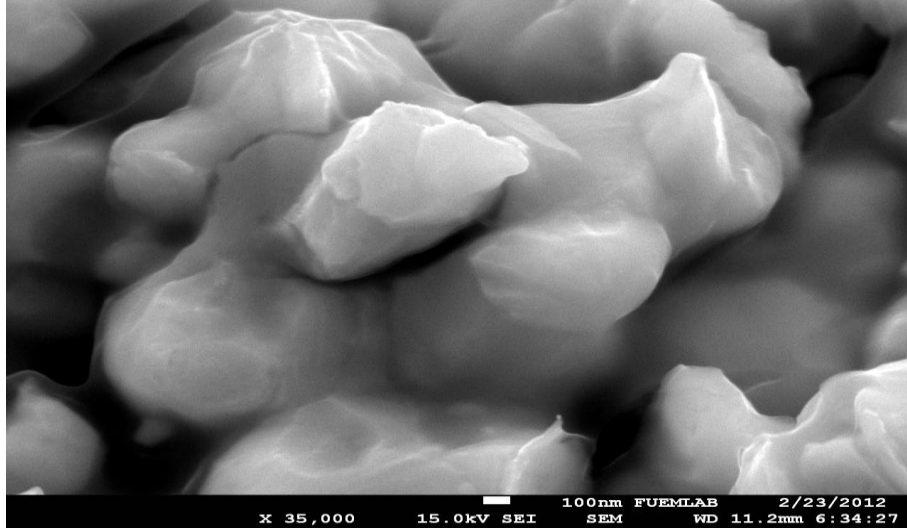
Şekil 3.21. % 5 Ni katkılı matrisin SEM ve EDX fotoğrafı

Şekil 3.22'de görülen %8 Ni ilave edilmiş matrisin 10.000 büyütmeli SEM fotoğrafında da matrisin elmas taneciklerinin iyi bir şekilde tutunduğu görülmektedir.



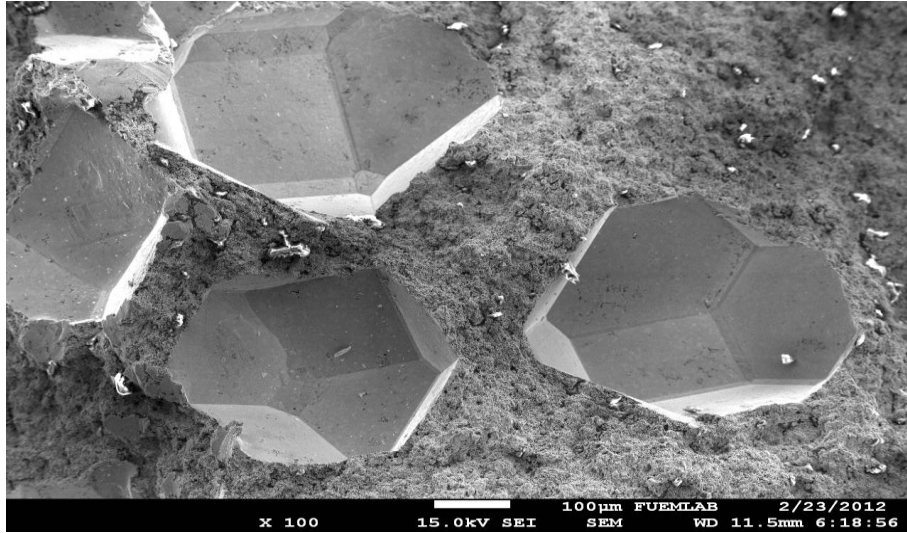
Şekil 3.22. %8 Ni katkılı matrisin 10.000 büyütmeli SEM fotoğrafı

Şekil 3.23'te %8 Ni ilaveli matrisin 35.000 büyütmeli SEM fotoğrafında partiküller arasındaki boşluklara daha yakından bakıldığında boşluğun devamında partiküllerin boyun verip birleştiği ve bu alanlarda boşluğun ortadan kalktığı anlaşılmaktadır.



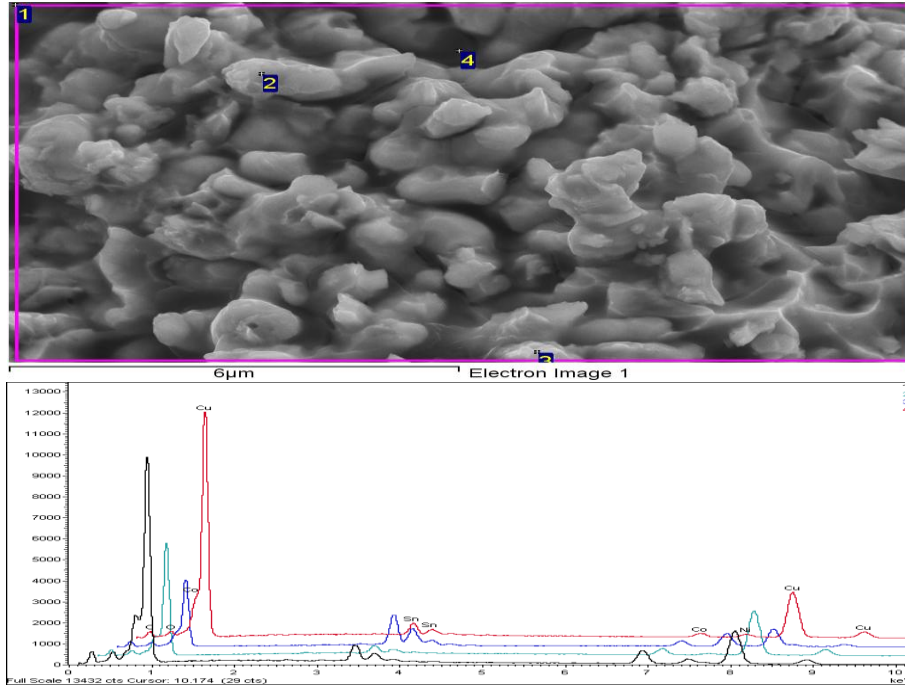
Şekil 3.23. %8 Ni katkılı matrisin 35.000 büyütmeli SEM fotoğrafı

Şekil 3.24'teki 100 büyütmeli %8 Ni katkılı numunenin SEM fotoğrafında görüldüğü gibi elmas parçacıkların matristeki dağılımının düzenli olduğu ve sinterleme etkisiyle elmas parça ile matris arasında boşluk yok denecek kadar az olduğu görülmektedir.



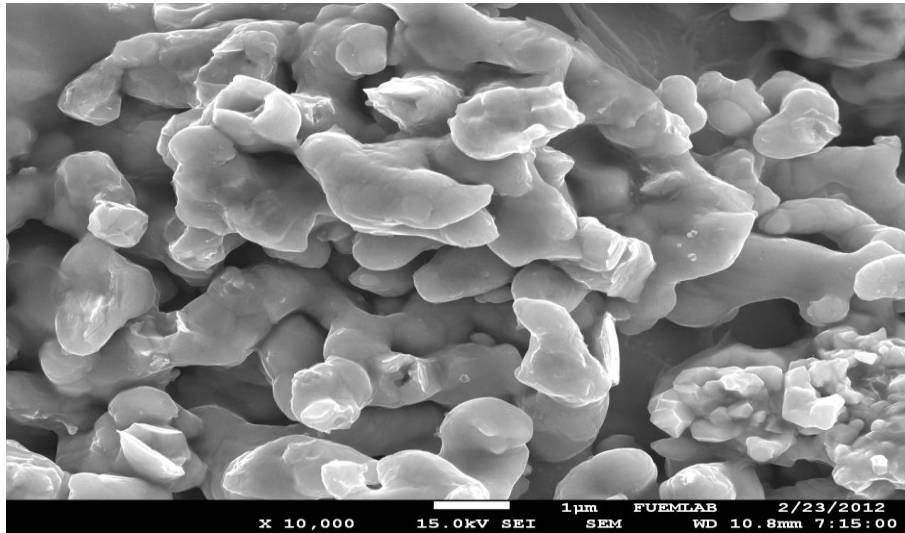
Şekil 3.24. %8 Ni katkılı matrisin 100 büyütmeli SEM fotoğrafı

Şekil 3.24'teki SEM fotoğrafının analiz edilmesi ile elde edilen EDX grafiğinde görüldüğü gibi matris içerisinde metaller dengeli ve eşit oranda dağılmıştır.



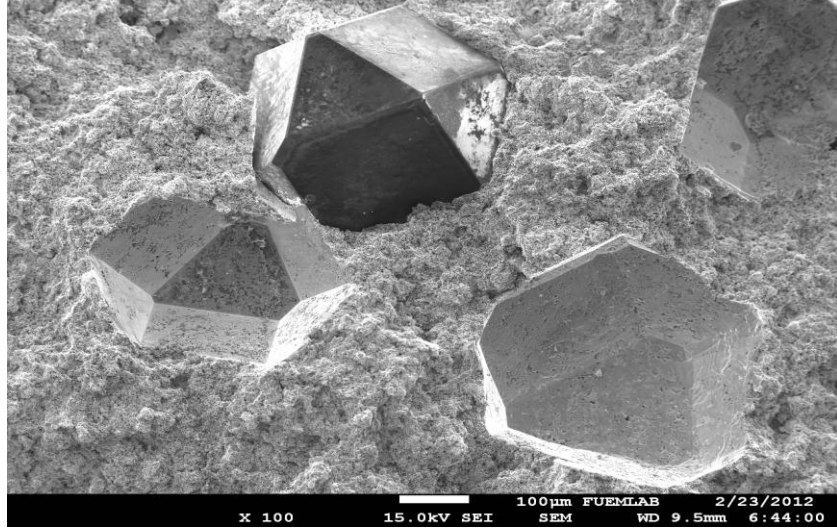
Şekil 3.25. % 8 Ni katkılı matrisin SEM ve EDX fotoğrafı

Şekil 3.26'daki 10.000 büyütmeli %11 Ni katkılı matrisin SEM fotoğrafında metal toz parçacıklarının çok iyi sinterlendiği ve aynı zamanda partiküllerin birleştiği ve çok iyi boyun verdiği görülmektedir.



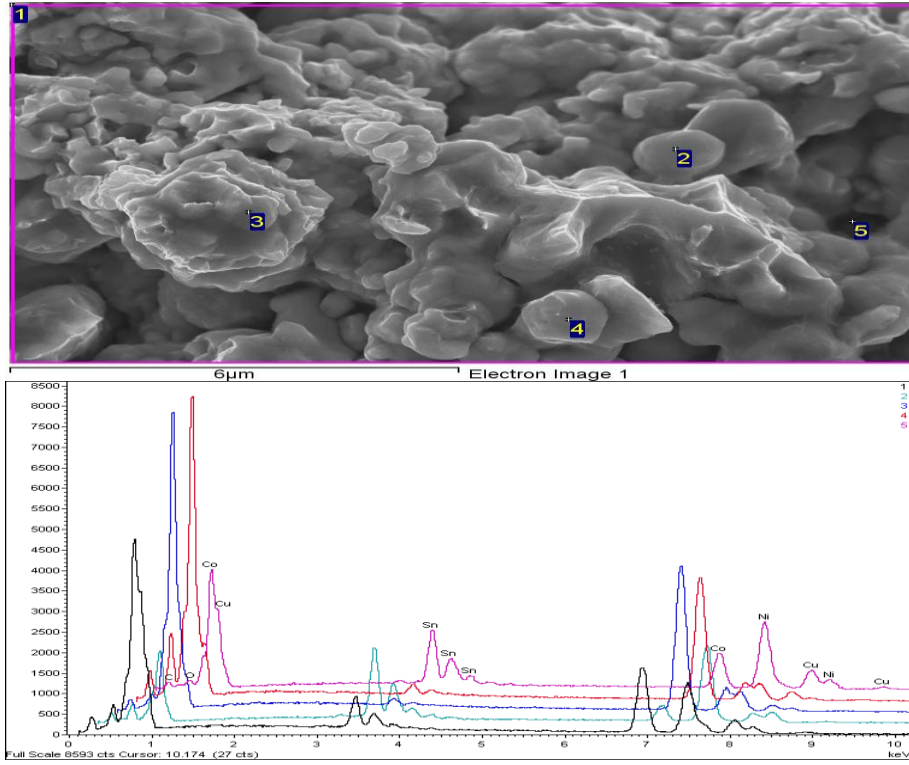
Şekil 3.26. %11 Ni katkılı matrisin SEM fotoğrafı

Şekil 3.27'deki 100 büyütme ile SEM fotoğrafı çekilmiş %11 Ni katkılı N4 numunesinde metal matris içerisinde elmas partikül dağılımı beklendiği gibidir. Diğer numunelerde olduğu gibi elmas parçacık ile matris çok iyi bir birleşim oluşturmuştur.



Şekil 3.27. %11 Ni katkılı matrisin 100 büyütmeli SEM fotoğrafı

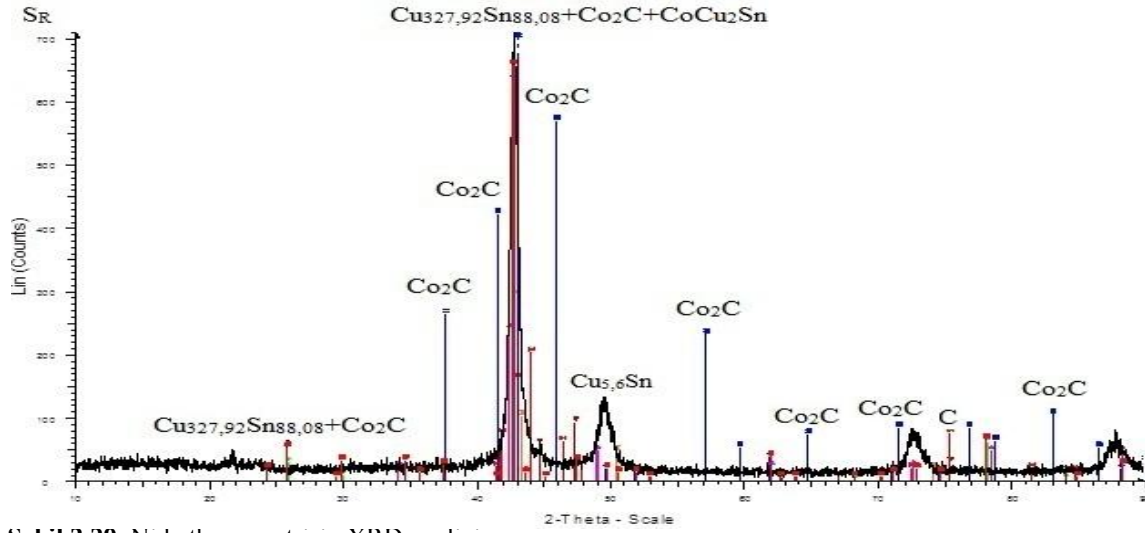
Şekil 3.28'deki SEM fotoğrafının analiz edilmesi ile elde edilen EDX grafiğinde görüldüğü gibi matris içerisinde metaller dengeli ve eşit oranda dağılmıştır.



Şekil 3.28. % 11 Ni katkılı matrisin SEM ve EDX fotoğrafı

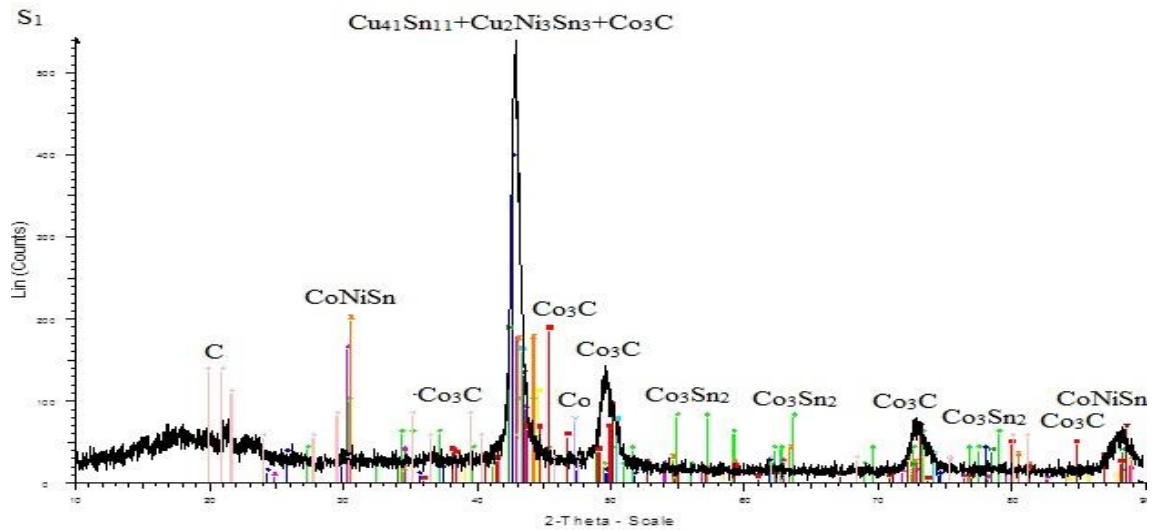
3.4.3. XRD İncelemeleri

Co, Cu, 85Cu15Sn ve değişik oranlarda Ni katkısının ve sinterleme etkilerinin soket matrisi ile elmas tanecikleri ara yüzeyinde bağlanmayı sağlayacak bir şekilde gelişmesini ve bir takım yeni faz ve bileşiklerin oluşup oluşmadığını tespit etmek amacıyla her bir kesici takım matrisi için XRD analizi yapılmıştır.



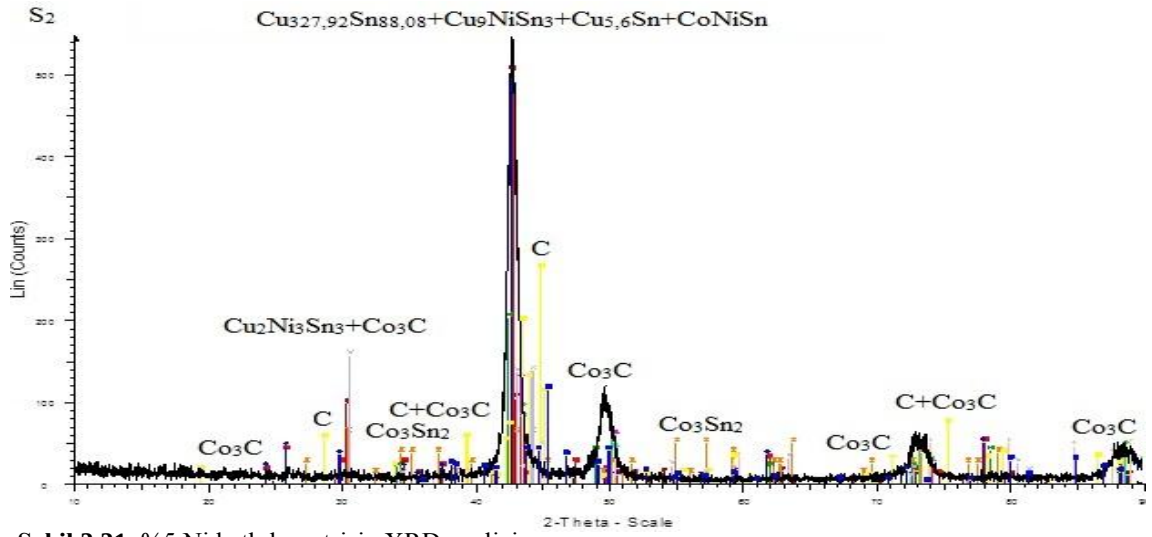
Şekil 3.29. Ni katkısız matrisin XRD analizi

Şekil 3.29’da XRD grafiği verilen Ni katkısız matrisin XRD grafiğinde de görüldüğü $\text{Cu}_{327,92}\text{Sn}_{88,08}$, Co_2C , CoCu_2Sn , C(Elmas) fazları oluşmuştur. Ayrıca bu fazların oluştuğu Şekil 3.6’daki Cu-Sn faz diyagramı ile de desteklenmektedir.



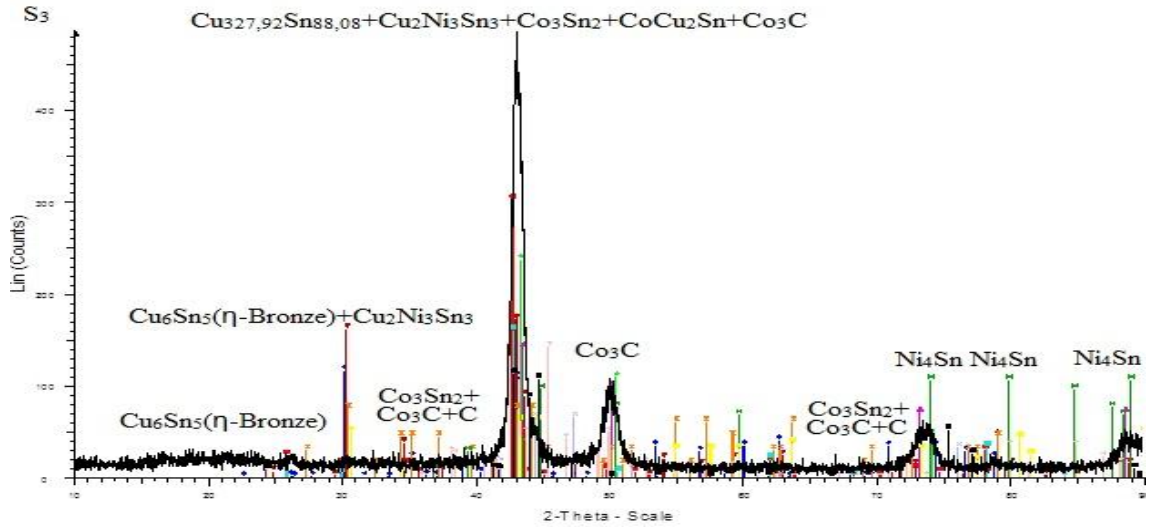
Şekil 3.30. %2 Ni katkılı matrisin XRD analizi

Ağırlıkça %2 Ni katkılı matrisin XRD grafiği Şekil 3.30’da verilmiştir. Grafikte $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$, Co_3Sn_2 , $\text{Cu}_2\text{Ni}_3\text{Sn}_3$, CoNiSn , Co_3C , C (elmas) fazlarının varlığı görülmektedir.



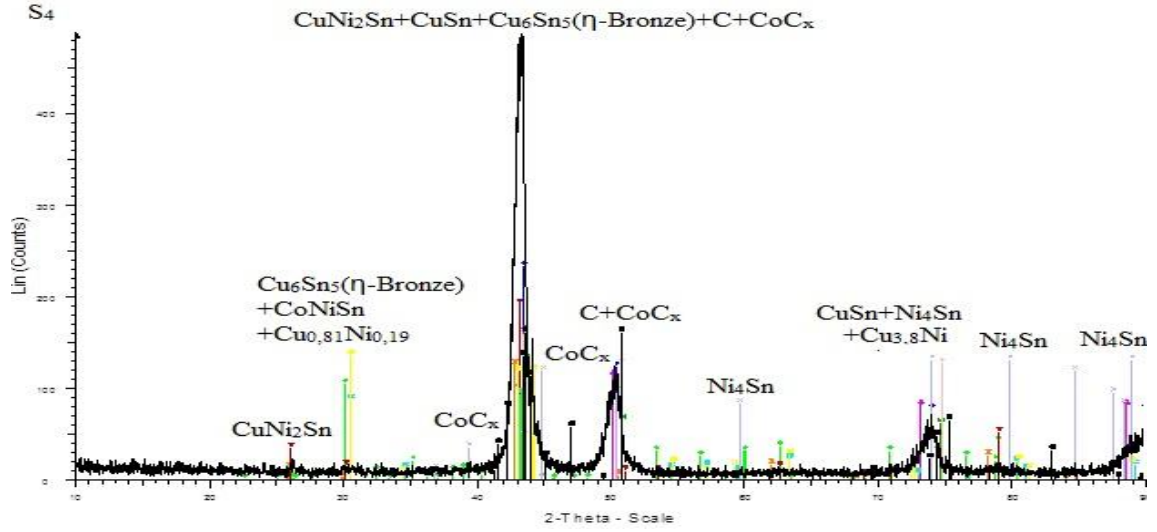
Şekil 3.31. %5 Ni katkılı matrisin XRD analizi

Ağırlıkça %5 Ni katkılı matrislerin XRD grafikleri Şekil 3.31’de verilmiştir. Bu grafikte ise $\text{Cu}_{327,92}\text{Sn}_{88,08}$, Cu_9NiSn_3 , $\text{Cu}_{5,6}\text{Sn}$, CoNiSn , $\text{Cu}_2\text{Ni}_3\text{Sn}_3$, Co_3C , Co_3Sn_2 , C(Elmas) fazlarının varlığı görülmektedir. Co_3C fazı ile Kobaltın Elması çok iyi bir şekilde tuttuğunu gösterir.



Şekil 3.32. %8 Ni katkılı matrisin XRD analizi

Ağırlıkça %8 Ni katkılı matrislerin XRD grafikleri Şekil 3.32’de verilmiştir. Bu grafikte $\text{Cu}_{327,92}\text{Sn}_{88,08}$, $\text{Cu}_2\text{Ni}_3\text{Sn}_3$, Co_3Sn_2 , CoCu_2Sn , Co_3C , Cu_6Sn_5 (Bronze-eta), C, Ni_4Sn fazları görülmektedir. Co_3Sn fazının malzeme içerisinde iyi yerleşmesinin yanında monoklonik kırılmalı bir yapı olan eta-bronzu da malzemenin sert ve kırılmalı olmasına sebebiyet verir.

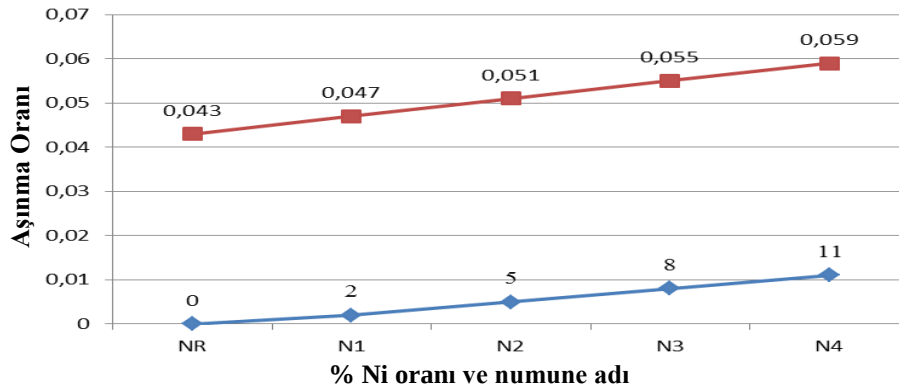


Şekil 3.33. %11 Ni katkılı matrisin XRD analizi

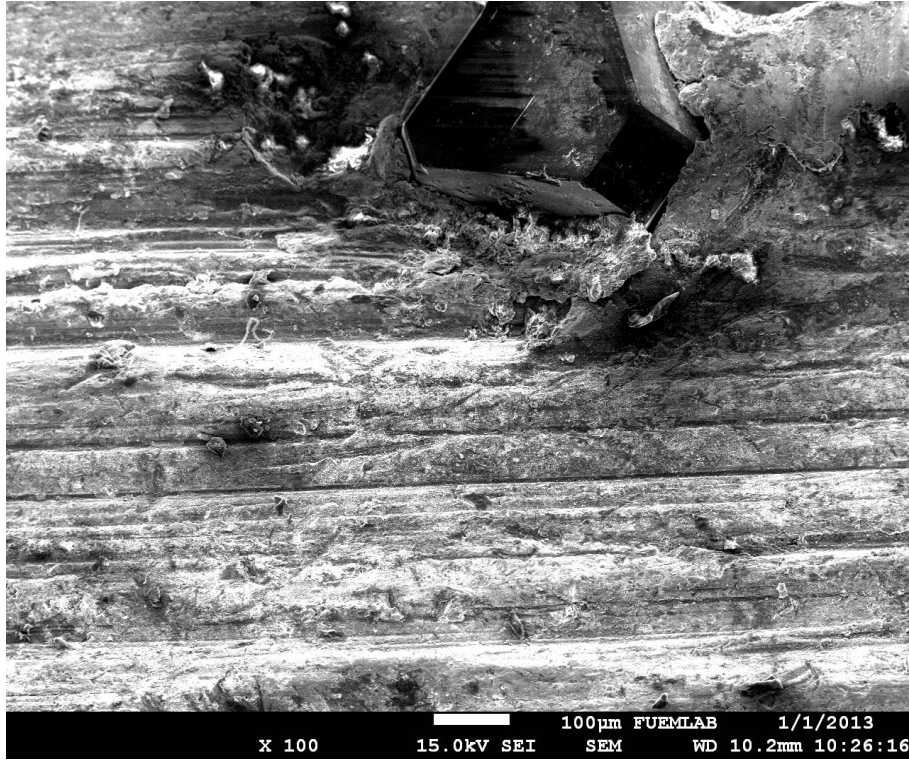
Ağırlıkça %11 Ni katkılı matrislerin XRD grafikleri Şekil 3.33'te verilmiştir. Bu grafikte CuNi_2Sn , CuSn , Cu_6Sn_5 (Bronze-eta), C , CoC_x , CoNiSn , $\text{Cu}_{0,81}\text{Ni}_{0,19}$, $\text{Cu}_{3,8}\text{Ni}$, Ni_4Sn fazları görülmektedir. CoC_x fazı ile Nikel oranının artması ile Kobaltın daha fazla elması bağladığını gösterir.

3.5. Aşınma Deneyi Sonuçları

Aşınma deneyleri matrise ağırlıkça %2-5-8-11 Ni katılması ve kesici tanecik olarak %27 konsantrasyon sentetik elmasın ilave edilmesiyle üretilen soketler üzerinde yapılmıştır. Deneyler Ø350 mm testere gövdeleri üzerine lehimlenmiş soketler ile 45 m/s kesme (çevresel), 800 mm/dk ilerleme hızında, 20 mm kesme derinliğinde, $76,8 \text{ cm}^3/\text{dk}$ kesme oranında ve 20 l/dk soğutma suyu şartlarında EVM kesilerek yapılmıştır. Doğal taş kesme işlemlerinde sokette meydana gelebilecek esas aşınma türü abrasif aşınmadır. Kesme işlemleri sırasında oluşan doğal taş talaşının dışarı atılması ve kesici takımın soğutulması amacıyla kesme esnasında soğutma suyu kullanılmıştır. Şekil 3.33'te Ni katkısız ve farklı oranlarda Ni katkılı kesici takımların aşınma oranları görülmektedir.

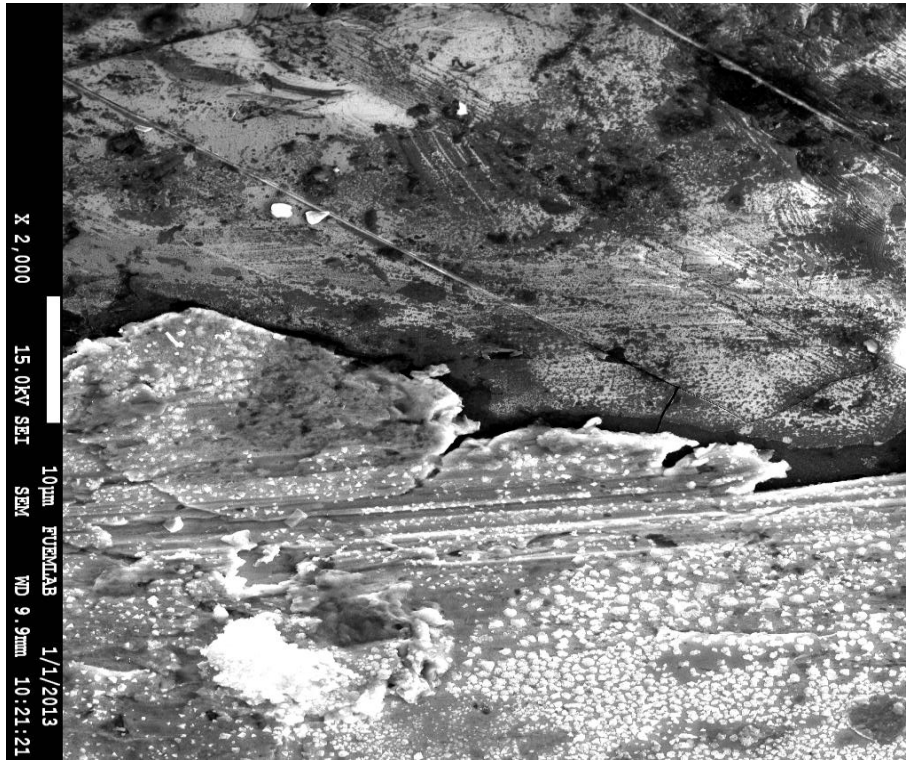


Şekil 3.34. Yüzde Nikel oranına bağlı numunelerin Aşınma Oranları

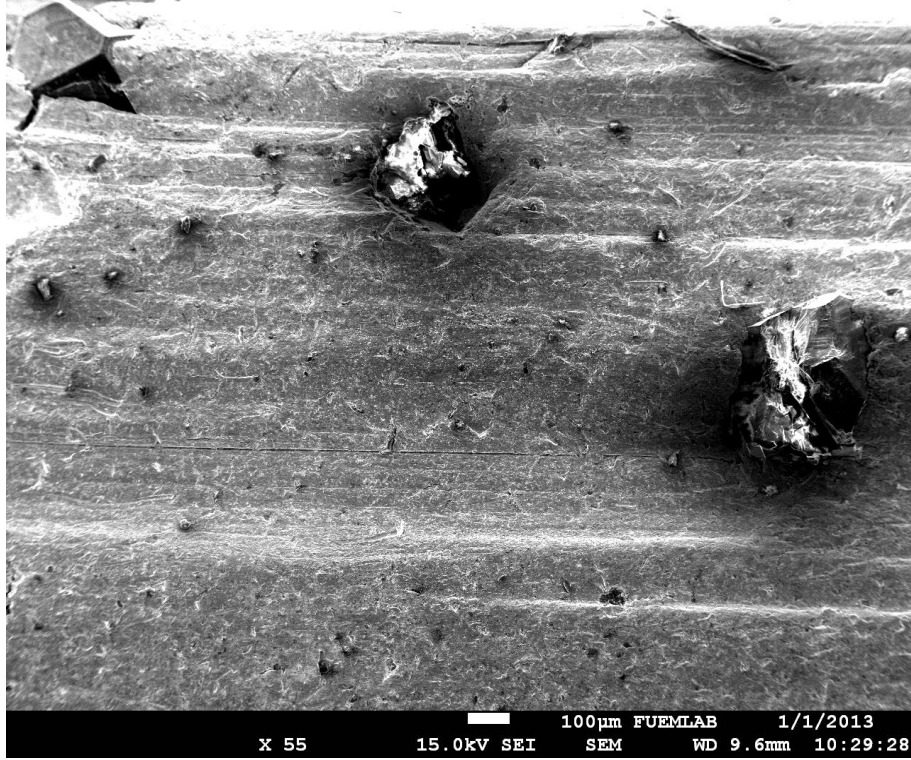


Şekil 3.35. Nikel Katkısız Nr numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı

Şekil 3.35 ve Şekil 3.36'daki SEM fotoğrafına baktığımızda Nikelsiz Nr numunesinde matris ile elmasın adeta birlikte aşındığı söylenebilir. Çünkü aşınma çizgileri elmasta da devam etmektedir.

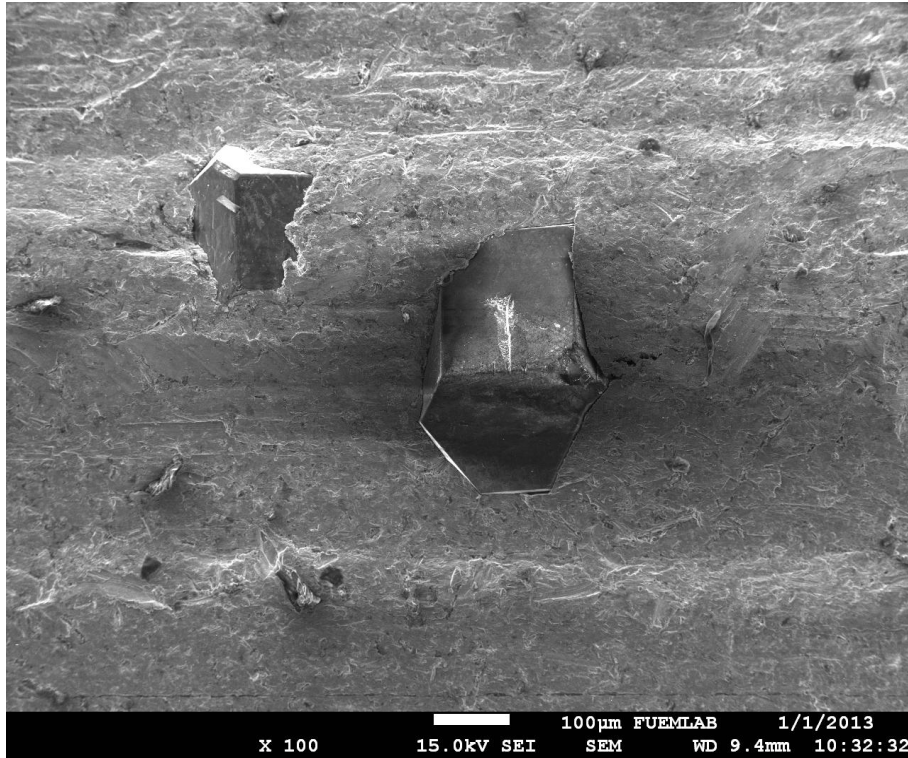


Şekil 3.36. Nikel Katkısız Nr numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı

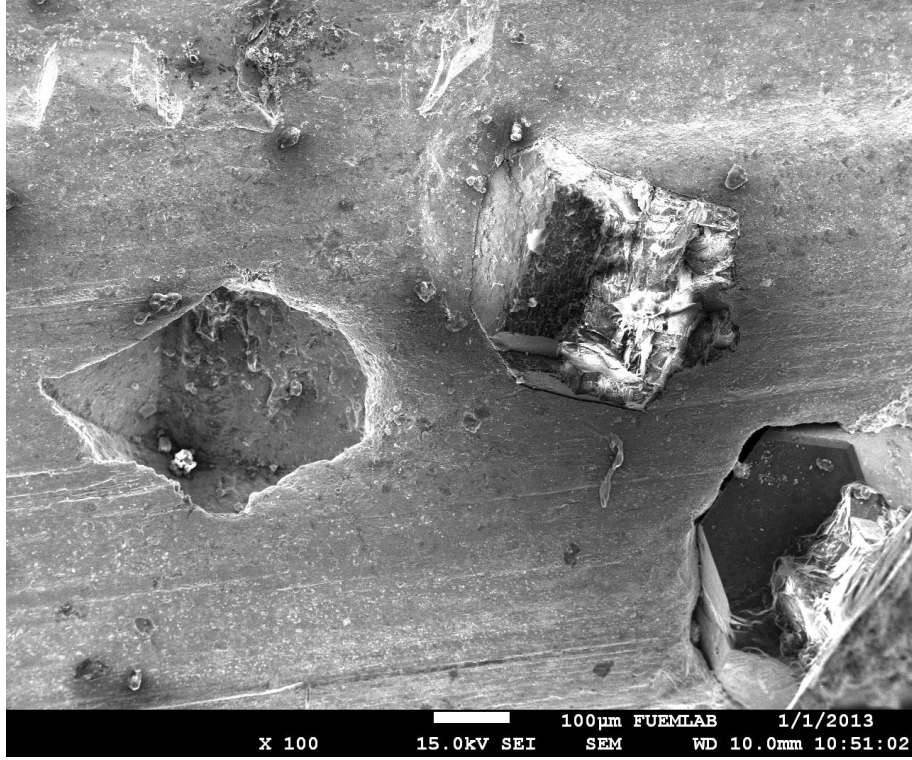


Şekil 3.37. % 2 Ni katkılı N1 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı

Şekil 3.37 ve Şekil 3.38'deki SEM fotoğrafına baktığımızda %2 Nikelli N1 numunesinin N_R numunesine göre aşınma çizgileri %80 azalmıştır. Bu da matrisin daha sertleştiği anlamına gelir.

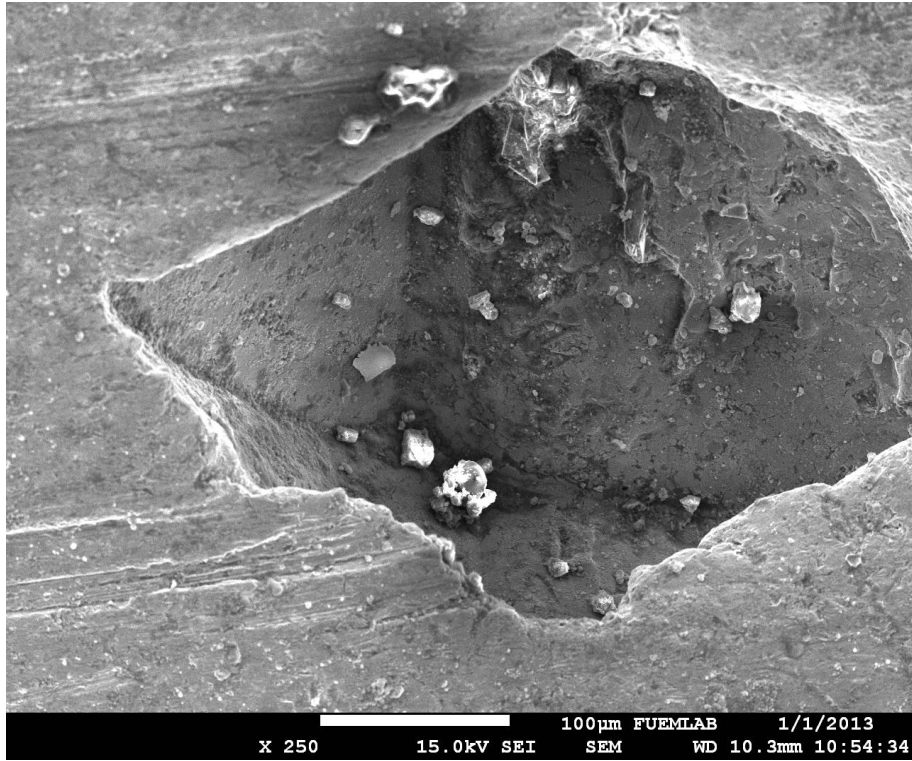


Şekil 3.38. % 2 Ni katkılı N1 numunenin aşınma sonrası SEM fotoğrafı

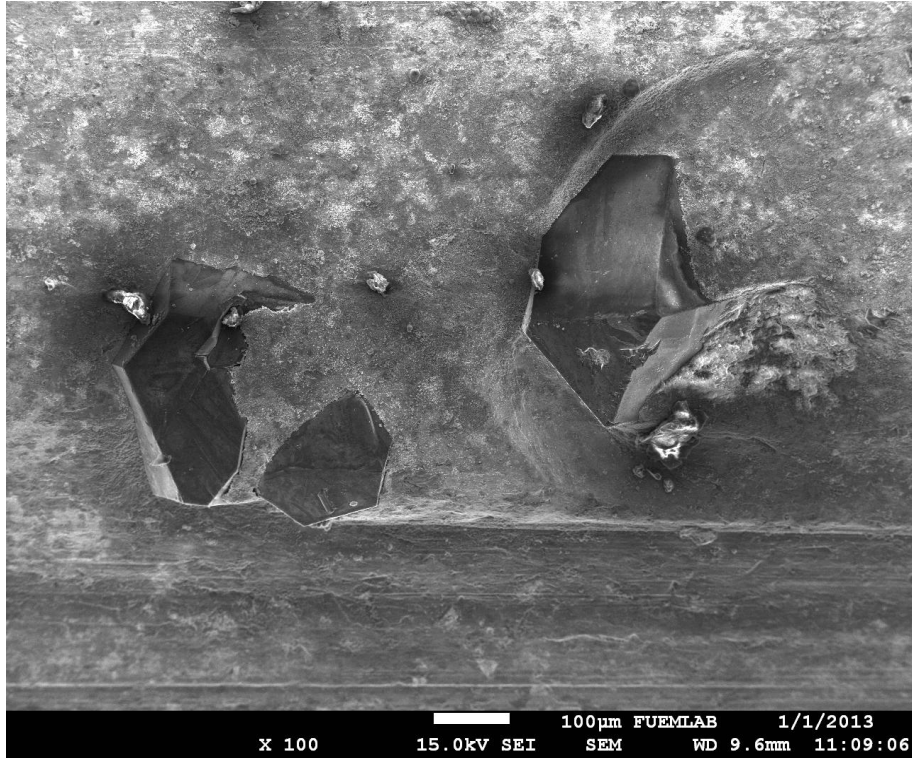


Şekil 3.39. % 5 Ni katkılı N2 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı

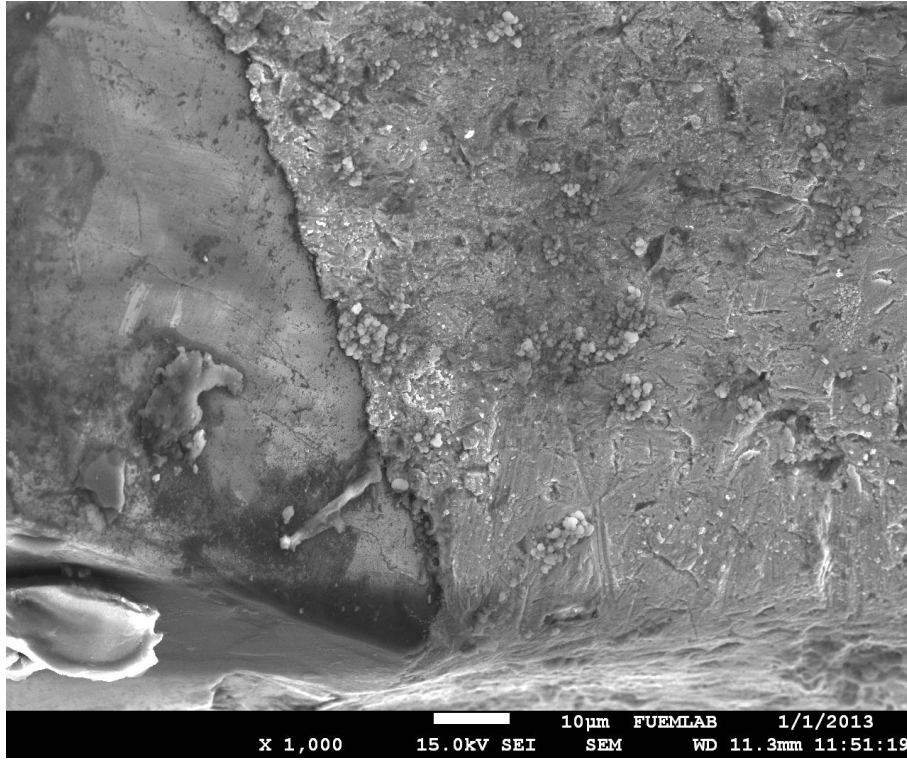
Şekil 3.39, Şekil 3.40 ve Şekil 3.41'deki SEM fotoğrafına baktığımızda %5 Ni katkılı N2 numunesinde matrisin aşınma izleri N1 numunesine göre daha da azalmıştır. Bu durum matrisin daha sertleştiği gösterir.



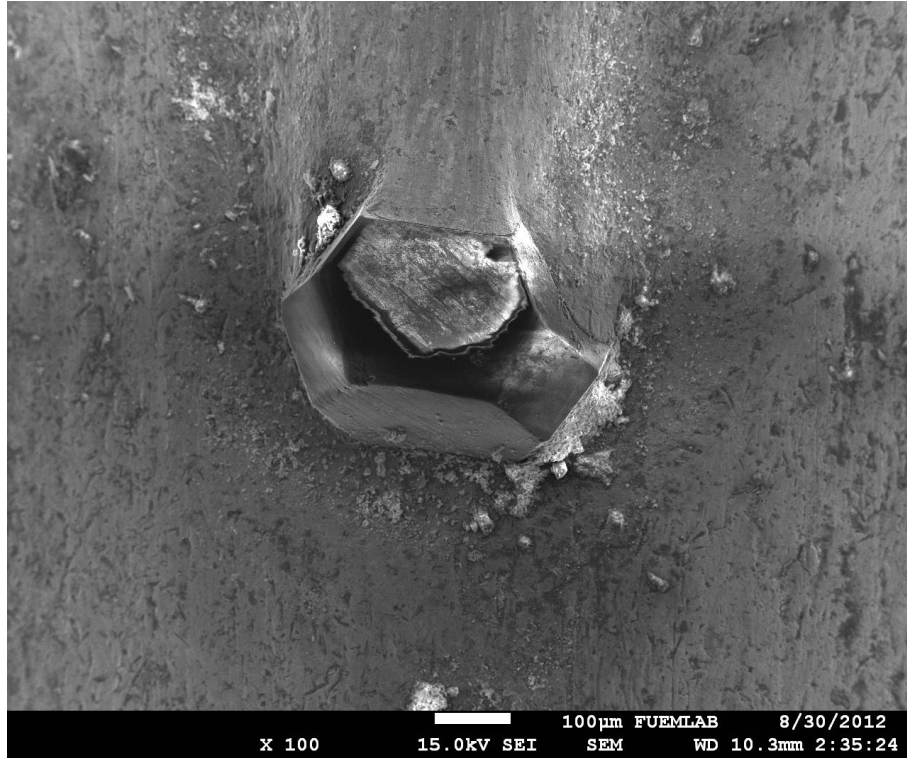
Şekil 3.40. % 5 Ni katkılı N2 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı



Şekil 3.41. % 5 Ni katkılı N2 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı

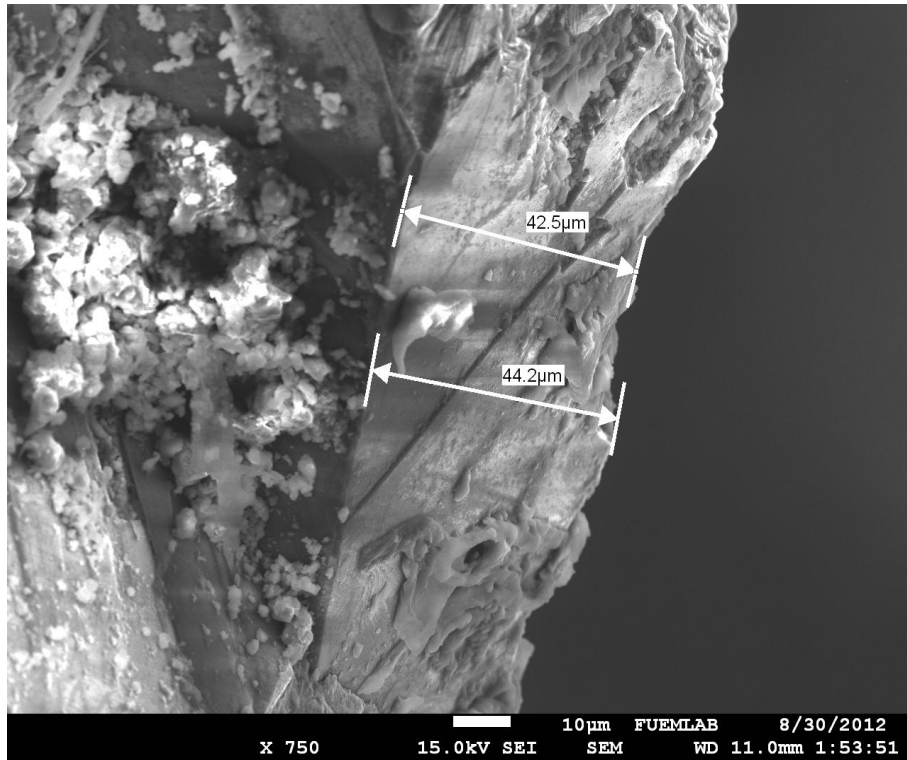


Şekil 3.42. % 8 Ni katkılı N3 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı

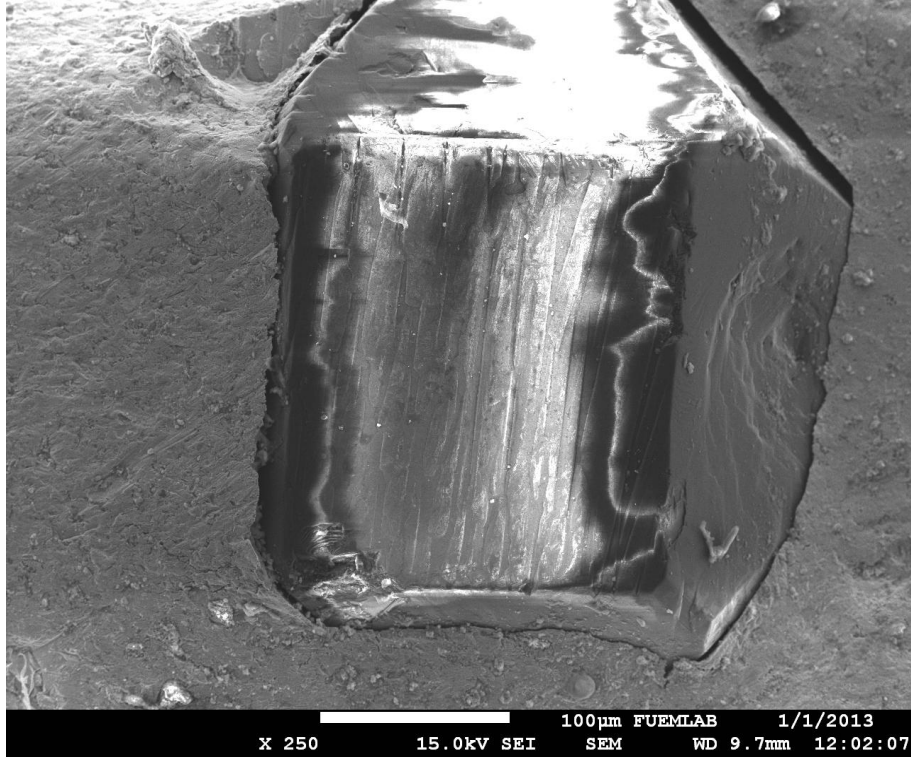


Şekil 3.43. % 8 Ni katkılı N3 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı

Şekil 3.43 ve Şekil 3.44'teki SEM fotoğrafına baktığımızda %8 Nikelli N3 numunesinin aşınmış yüzeyinin SEM fotoğrafında aşınma çizgileri olmadığı homojen bir aşınma yüzeyi olduğu görülmektedir.

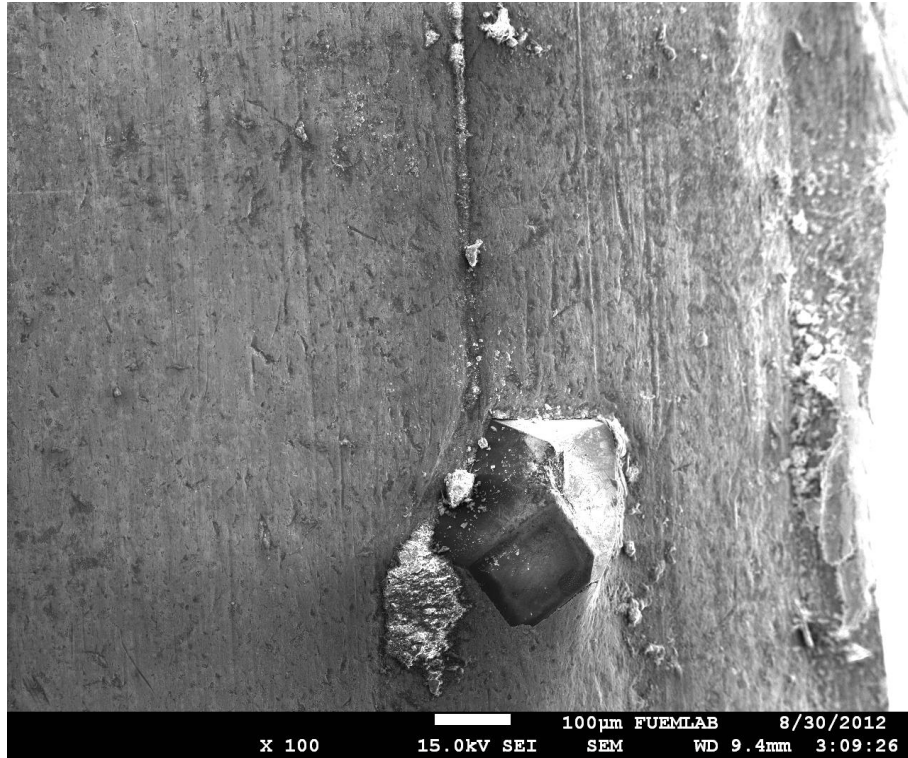


Şekil 3.44. % 8 Ni katkılı N3 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı



Şekil 3.45. % 11 Ni katkılı N4 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı

Aşınma çizgilerinin iyice azaldığı Şekil 3.45 ve Şekil 3.46'daki SEM fotoğraflarında görülen N4 numunesinde matris daha da sertleşmiştir.



Şekil 3.46. % 11 Ni katkılı N4 numunesinin aşınma sonrası SEM fotoğrafı

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

“Elazığ Vişne Mermerinin İşlenebilirliğine Kesici Takım Matris Bileşenlerinin Etkisi” konulu bu çalışmada; Mermer kesici takımların (MKT) kesme performansına ve Elazığ Vişne Mermerinin (EVM’nin) işlenebilirliğine Ni katkılarının ve sıcak presleme işleminin etkisinin araştırılması esas alınmıştır. Bu bağlamda aşağıdaki bilgi, bulgu ve sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Sıcak presleme ile üretilen Ni katkılı MKT soketlerinin SEM ve EDX incelemelerinde; Ni metali tozu ile Co, Cu ve bronz (SnBz15) gibi diğer metal tozlarının homojen bir soket matrisi oluşturduğu gözlenmiştir,
2. Artan Ni katkı oranına bağlı olarak mikro yapıda Co_3C , CoC_x gibi fazlarla Cu_6Sn_5 η -Bronzu ortaya çıkmıştır. Bu fazlar MKT soket matris sertliklerinin kısmen artışına sebep olmuştur,
3. MKT’lerin eğme mukavemetleri ve maksimum çekme gerilmeleri %2–8 Ni katkılarına kadar artmış daha sonra azalmıştır. Numunelerdeki bu değişim de yine XRD deneyi ile belirlenen ve kırılgan bir faz olan η -bronzunun oluşumuna bağlanabilir,
4. Numunelerin SEM fotoğrafında belirlenen genel yüzey alanı ile noktasal EDX analizlerinde tespit edilen elementler ve % oranları arasında önemli bir fark olmadığı, ilgili piklerin şiddetleri ve dağılımlarından anlaşılmaktadır,
5. MKT soketlerinin artan % Ni içeriğinden dolayı öz kütlerinde ve bağıl öz kütlelerinde artış olduğu gözlenmiştir. Bu artışa doğal olarak Ni öz kütlesinin ve basınç altında sıcak preslemenin neden olduğu düşünülmektedir,
6. Numunelerin aşınma dirençleri artan Ni katkısı ve basınç altında sıcak presleme işlemine bağlı olarak artmıştır. Aşınma direnci artışı, XRD analizleriyle ile belirlenen, monoklinik kristal yapılı, sert ve kırılgan η -Bronzu (Cu_6Sn_5), Co_3C ve CoC_x gibi yeni bileşiklerin oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir,
7. MKT matrisinin, sürekli aşınması sonucu yüzey altı elmas tanecikleri yüzeye gelerek kesme işlemini sürdürmektedir. Ancak elmas taneciklerinin kenar ve köşelerinin devamlı küçük parçacıklar halinde kırılması sonucu kesici takım körelmektedir. Ni bağlayıcılığı ile üretilen matris malzemesi, elmas-matris bağlantısında elmasın kolayca yerini terk etmemesini sağlamıştır,
8. SEM incelemelerinde, kompozit MKT soket matrisinin dağılımının düzenli olduğu görülmektedir.

9. Sıcak sinterleme işlemlerinde görülen gözenekli yapı Ni katkı oranının artmasıyla azalmış olup malzemenin sinterleme kalitesini artırmıştır. Taneciklerin boyunlaşarak birleşmesi ve gözenekli yapının azalması, sinterleme işleminin başarıyla gerçekleştiğini göstermektedir.
10. Kompozit MKT soket matrislerinde artan Ni oranı ile açığa çıkan CoC_x bileşiği matris içerisinde bulunan elmasın matriste tutunmasını etkileyip etkilemeyeceği araştırılmalıdır,
11. MKT tasarımında testere çapı, soket sayısı, soket matrisinin özellikleri, % elmas miktarı, soğuk ve sıcak sinterleme parametreleri gibi kesici takımın doğrudan performansında birinci derecede etkileyen etkenler dikkate alınmalıdır,
12. Geleneksel MKT soket üretim yönteminde kullanılan grafit kalıp dizip bozma ve sıcak pres sinterleme işlemi, MKT soketlerin üretiminde zaman kaybına sebep olmaktadır, bu zaman kaybı ise seri üretim hızını düşürmektedir. Toz metalürjisi işlem kademelerinin her birinin içerdiği parametreler önemlilik arz etmekte olup nihai parça şeklini grafit kalıp kullanmadan toz metalin soğuk preslenmesi ile sinterleme işlemi yapılması üretim aşamasındaki bu zaman kaybını elimine edeceği göz önüne alınıp bu üretim yöntemi ile soket üretimi yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Betteridge, W.**, 1982, *Cobalt and its Alloys*. Ellis Horwood, Chichester.
- Bozkurt, R.**, 1989. *Ocak işletmeciliğinde mermerin elmas telle kesim yöntemi*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, 75- 80s.
- Cappuzzi, Q.**, 1989. *Modern Technology and Machinery for Marble Quarrying*, Banetti Macchine Yayını, 95 s.
- Conway, J.J., Rizzo, F.J.**, 2004, *Hot isostatic pressing of metal powders*, *Powder Metal Technologies and Applications*, ASM Handbook, Vol. 7, 1424.
- German, R.M.**, 1996, *Sintering Theory and Practice*, Wiley, New York.
- German, R.M.**, 2005, *Powder metallurgy and particulate materials processing*, Metal Powder Industries Federation, USA.
- Ikeda, R., Ogi, H., Ogawa, T., Takemoto, M.**, 2009, *Mechanical properties of CVD synthesised polycrystalline diamond*, *Industrial Diamond Quarterly*, 1/09, 35-38.
- Kalish. H.**, 1982, "How Composition Affects The Properties and Performance of Cemented Carbide Cutting Tools", *Tools and Die Failure*, Source Book, American Society for Metals, 86-92.
- Kang, S.J.L.**, 2005, *Sintering*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Karagöz, Ş., Zeren, M.**, 2001, *The microstructural design of diamond cutting tools*, *Materials Characterization*, 47, 89-91.
- Karagöz Ş., Zeren, M.**, 1999, "The Property Optimization of Diamond Cutting Tools with the Help of Microstructural Characterisation", 3rd European Conference on Advances in Hard Materials Production, EUROPM, Turin-İtalya, 399-405.
- Konstanty, J., Bunsch, A.**, 1991, *Hot pressing of cobalt powders*, *Powder Metallurgy*, 34(3), 195- 198.
- Konstanty J.**, 1996, Hot compacting of extrafine cobalt. *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*, MPIF, Princeton, NJ, vol. 2, Part 5, 3-7
- Konstanty, J.**, 2003, *Production of Diamond Sawblades for Stone Sawing Applications*, *Key Engineering Materials*, 250, 1-12.
- Konstanty, J.**, 2003, *Cobalt as a Matrix in Diamond Impregnated Tools for Stone Sawing Applications*, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, 2nd Edition, Krakow.

- Konstanty, J.**, 2005, *Powder Metallurgy Diamond Tools*, Elsevier Ltd, The Metal Powders Technology Series.
- Liao, Y.S., Luo, S.Y.**, 1992, *Wear characteristics of sintered diamond composite during circular sawing*, *Wear*, 157, 325–337.
- Lundblad, H.**, 1990, *Swedish synthetic diamond scooped the world 37 years old*, *Indiqua*, 55/1, 17-23.
- Mannoni, L. and Mannoni, T.**, 1984. *Le Marbre*, Sagep Yayinevi, Cenova, İtalya, 270 s.
- Massalski, T.B.**, 1990, *Binary Alloy Phase Diagrams*, Vol. 2, ASM International, pp. 1232–1233, 1408–1410.
- Musu-Coman, M., Fecioru, M., Baluta, G., Arnici, N.**, 1998, *Surface processing of ultrahard materials used for embedding in resin or metallic matrices*, In *Proceedings of Powder Metallurgy World Congress & Exhibition*, Granada, Spain, October 18–22, Vol. 4, pp. 234–239.
- Naidich, Y.**, 2001, *Diamond grit bits of increasing working life with strong chemical fastening of cutting elements in matrix*, In *Proceedings of PM 2001 Congress and Exhibition*, Nice, France, October 22–24, pp. 434–438.
- Robino, C.V.**, 1996, *Representation of mixed reactive gases on free energy (Ellingham-Richardson) diagrams*, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 27B, 65–69.
- Saunders, N., Miodownik, A.P.**, 1990, *Bull. Alloy Phase Diagrams*, vol. 11, pp. 278-87.
- Spriano, S., Chen, Q., Settineri, S., Bugliosi, S.**, 2005, *Low content and free cobalt matrixes for diamond tools*, *Wear*, 259, 1190-1196.
- Weitang, L.**, 1992, *Diamond bit manufacturing technology*. In *Diamond Drilling Handbook*, edited by Guangzhi, L., Geological Publishing House, Beijing, China, pp. 272–328.
- Wick, C.**, 1998, *The Facts About Diamonds*, Manufacturing Engineering, 63.
- Xu, X.**, 2001, *Study on the thermal wear of diamond segmented tools in circular sawing of granites*, *Tribology Letters*, 10(4), 245-250.
- Atıcı, Ü.**, 1999, *Mermer Kesme Makinalarındaki Kesicilerin Aşınma Mekanizmaları, Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Atıcı, Ü.**, 2005, *Kaya Kesilebilirliğini Etkileyen Faktörler, Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Bayram, F.,** 2002. Elmas lamalı katraklarda kesme verimliliğinin incelenmesi, *Yüksek Mühendislik Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 131 s.
- Budak, S.,** 2010, Mermer Kesici Takımlarda Matris Kompozisyonunun Aşınma Performansına Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Büyüksağış, İ.S.,** 1998, Dairesel Testereli Blok Kesme Makinelerinde Mermerlerin Kesilebilirlik Analizleri, *Doktora Tezi*, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Demirdağ, S.,** 2001. Mermer işletmeciliğinde elmas telle kesim performansının araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 72s.
- Dinç, B.,** 1995, Mermer Makinalarında Elmas Soketlerin ve Silim Cila Abrasivlerinin Mermer Türlerine Göre Aşınmalarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Cumbul Altay, M.,** 2005, Karbon Katkılı Alaşımli Demir Tozu Peletlerinin Sinterleme Sonrası Özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelik, E.,** 2009, Elmaslı Kesici Takımlarda Alternatif Bağlayıcılar, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Eyüboğlu, A.S.,** 2000. Diskli Kesici Soketlerindeki Aşınmaların Ankara Andezitlerinde İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Islak, S.,** 2012, Karbür Katkılı Mermer Kesici Takımların Çalışma Performansına Sinterleme Parametrelerinin Etkisi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kayış, V.,** 2005, Kısmi ve Ön Alaşımli Demir Tozları İçerisine Katılan B ve Fe ilavelerin Sinterleme Davranışları Ve Mekanik Özelliklere Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kır, D.,** 2012, Doğal Taş Kesici Takımlarda Kübik Bor Nitrürün (Cbn) Alternatif Aşındırıcı Olarak Kullanılmasının Araştırılması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Özbek, O.,** 2008, Çankırı Kahverengi Mermerinin Kesilebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

- Özçelik, Y.**, 1999, Mermercilikte Elmas Tel Kesme Makinalarının Çalışma Koşullarının İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 242s.
- Şulan, T.**, 1993, Toz Metalürjisi Yöntemleriyle Geliştirilen 90W-7Ni-3Fe Ağır Alaşımlarının Sıvı Faz Sinterlemesi Süreçleriyle Üretilmesi ve Karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tiryaki, B.**, 1998. Tamburlu Kesicilerde Keski Dizilim Parametrelerinin Optimizasyonu, *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ucun İ.**, 2004. Mermer Kesici Disklerinin Sonlu Elemanlar Metodu ile Gerilme ve Titreşim Analizi, A. Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyonkarahisar, Ağustos 2004.
- Zeren, M.**, 1999, Elmaslı Kesici Takımlarda Mikroyapısal Karakterizasyon Üzerinden Özelliklerin Optimizasyonu, *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Anon.**, 2003, New high-performance cold press from Dr. Fritsch. *Industrial Diamond Review*, 63(4), 25.
- Bailey, M.**, W-Hedges, L.K., 1995. Crystal Morphgy Identification of Diamond and ABN, *Industrial Diamond Review*, 55, 11.
- Bolatashvili, N.**, 2008, Stone-cut diamond tool on a new binder, *Bulletin of the Georgian National Acedemy of Sciences*, 2(4), 54-57.
- Bonneau, M., Moltenni, M.**, 2002, Wire manufacturing and free sintering with NEXT. *Industrial Diamond Review*, 62(4), 263–265.
- Lindkog, P., Arbstedt, P.**, 1986, "Iron Powder Manufacturing Techniques: A Brief Review", *Powder Metallurgy*, Volume 29, .Number 1.
- Bullen, G.J.**, 1975. The effect of temperature and matrix on the strength of synthetic diamond, *Industrial Diamond Review*, 363-365.
- Burckhardt, S.**, 1997, New technique for granulating diamond and metal powders. *Industrial Diamond Review*, 57(4), 121–122.
- Büyüksağış, İ.S., Gökten, R.M.**, 2005, Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter, *Journal of Materials Processing Technology*, 169 (2005), 258–262.
- Büyüksağış, İ.S.**, 2007, Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond sawblade, *Journal of Materials Processing Technology*, 183 (2007), 399–406.

- Chao, J., Fei, L., Hua, L., Shao-liu, H., Bo, L., You-qing, W.,** 2005, Pulsed laser deposition of metallic films on the surface of diamond particles for diamond saw blades, *Applied Surface Science*, 246 (2005), 207–213.
- Clifton, P.H. and Evans, S.,** 1995. XPS studies of diamond/transition-metal interfaces, *Industrial Diamond Review*, **No. 1**, 26-31.
- Collin, W.D.,** 1977, The influence of slot geometry and segment spacing on diamond saw performance, *Industrial Diamond Review*, 37(1), 48–54.
- Davis, P.R., Fish, M.L., Peacock, S. and Wright, D.N.,** 1996. An indicator system for saw grit, *Industrial Diamond Review*, **No. 3**, 78-87.
- Davies, A.,** 1992, Induction brazing for diamond toolmakers. *Industrial Diamond Review*, 52(6), 325–327.
- de Chalus, P.A.,** 1994. Metal powders for optimum grain retention, *Industrial Diamond Review*, **No. 4**, 170-172.
- Dewidar, D., Abdel-Jaber, G.T., Bakrey, M., Badry, H.,** 2010, Effect of Processing Parameters and amount of additives on the Mechanical Properties and Wear Resistance of Copper-based Composite, *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, 10-3, 25-40.
- Dietel, K.,** 2002, Segmented cut-off blades with polygon technology, *Industrial Diamond Review*, 62(3), 173–176.
- Dowson, G.,** 1990, Powder Metallurgy The Process and Its Products, Adam Hilgen, Bristol and New York, USA.
- Dyer, H.B. and Conradi V.R.,** 1972. Properties of natural Debdust and its use in diamond sawblades, *Industrial Diamond Review*, August, 335-343.
- Dwan, J.D.,** 2003, Impact properties of diamond impregnated metal matrices, Diamond Technology, *Industrial Diamond Reivew*, 2/03, 50-56.
- Dwan, J.D.,** 2007, Fracture toughness determination of diamond impregnated PM cobalt, *Industrial Diamond Review*, 1, 33-36.
- Dwan, J.D., Blake, Y.,** 2008, Wear properties of diamond impregnated cobalt metal, Diamond Technology, *Industrial Diamond Reivew*, 3/08, 66-69.
- Ersoy, A., Atıcı, Ü.,** 2004, Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks, *Diamond and Related Materials*, 13, 22-37.
- Ersoy, A., Büyüksağış, S., Atıcı, U.,** 2005, Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard abrasive rocks, *Wear*, 258 (2005), 1422–1436.

- Ertingshausen, W.**, 1985. Wear Process in Sawing Hard Stone, *Industrial Diamond Review*, 5, 254-258.
- Fritsch K. G.**, 1996, "Sintermetallpulver für die Diamantwerkzeugfertigung", 2-108.
- Garrard, R.**, Peacock, S.R., Hori, M., Pearce, N.R., 2001, The future role of diamond in the construction industry, *Industrial Diamond Review*, 61(2), 121–129.
- Gruneis, H.&T.**, 1998. Sintering and brazing all in one, *Industrial Diamond Review*, **No. 25**, 45-47.
- Gündüz, L.**, 2000. Mermer Endüstrisinde ST Blok Kesim Performansı Üzerine Teknik Bir Analiz ve İrdeleme, *Mermer Dergisi*, **24**, 135-142.
- Höganäs, A.B.**, 1996, Production of Iron and Steel Powders, Höganäs PM School, Sweden
- Huelmann, E., Kohl, H.W.**, 1991, Optimum quality control of sawblade centres, *Industrial Diamond Review*, 51(6), 278–279.
- Jennings, M. and Wright, D.**, 1989. Guidelines for sawing stone, *Industrial Diamond Review*, 49(2), 70–75.
- Jiang, B.C., Chen, T.C.**, 2001, Machine vision inspection for the protrusion rate of a diamond tool, *Journal of Manufacturing Systems*, 20(5), pp. 357-362.
- Konstanty, J.**, 1991. The Materials science of stone sawing, *Industrial Diamond Review*, **1**, 27-31.
- Konstanty J.**, 1996, Diamond Tooling. Stone Cutting, *Cobalt News*, No. 4, 12-17.
- Konstanty, J.**, 2000, Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of Stone, *Industrial Diamond Review*, 60(1), 55–65.
- Konstanty, J.**, 2007. “Powder Metallurgy Diamond Tools - A Review of Manufacturing Routes”, Materials Science Forum, Vol 534-536, 1121-1124.
- Liao, Y.S., Luo, S.Y.**, 1993, Effects of matrix characteristics on diamond composites. *Journal of Materials Science*, 28, 1245–1251.
- Lima, W.M., Velasco, F.J., Abenojar, J., Torralba, J.M.**, 2003, Numerical approach for estimating the elastic modulus in MMCs as a function of sintering temperature, *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144, 698-702.
- Luo, S.Y.**, 1997, Investigation of the worn surfaces of diamond saw blades in sawing granite, *Journal of Materials Processing Technology*, 70, 1-8.

- Nitkiewicz, Z., Swierzy, M.,** 2006, Tin influence on diamond-metal matrix hot pressed tools for stone cutting, *Journal of Materials Processing Technology*, 175, 306-315.
- Oliveira, L.J., Bobrovnitchii, G.S., Filgueira, M.,** 2007, Processing and characterization of impregnated diamond cutting tools using a ferrous metal matrix, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 25, 328-335.
- Przyklenk, K.,** 1993. Diamond impregnated tools – uses and production, *Industrial Diamond Review*, 53(4), 192–195.
- Reinhardt, K.D.,** 2003, New shape of diamond segment for machining natural and artificial Stone, *Industrial Diamond Review*, 63(2), 16–18.
- Sheppard, N., Dolly, B.,** 1993, Hybrid bit success for SYNDAX3 pins, *Industrial Diamond Review*, 53(6), 309–311.
- Stosuy, A.,** 1970, Metallography of Sintering Steel, *Progress in Powder Metallurgy*, V 21.
- Taşgetiren, S., Uçun, İ.,** 2004, Mermer Kesme Diskinin Sonlu Elemanlar Metodu ile Doğal Frekansların Belirlenmesi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2004 (4), 9–16.
- Tillmann, W.,** 2000. Trends and market perspectives for diamond tools in the construction industry, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 18, 301–306.
- Tonshoff, A.K., Asche, J.,** 1997, Wear of metal-bond diamond tools in the machining of Stone, *Industrial Diamond Review*, 57(1), 7–13.
- Uçun, İ., Aslantaş, K., Büyüksağış, İ.S.,** 2008, Kayaç Kesme İşleminde Kullanılan Elmas Soketli Kesici Diskin Kesme Performansının İncelenmesi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2008 (3), 33-40.
- Urhan, S. ve Şişman, N.,** 1993. Blok mermer üretiminde elmaslı tel kesme kullanımı uygulaması ve kesme veriminin optimizasyonu, *Madencilik Dergisi*, Cilt: XXXII, No: 3-4, 23-30s.
- Wang, C.Y., Clausen, R.,** 2002, Marble cutting with single point cutting tool and diamond segments, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42 (2002), 1045–1054.
- Wang, C.Y., Clausen, R.,** 2003, Computer simulation of stone frame sawing process using diamond blades, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43 (2003), 559–572.
- Webb, W.S.,** 1999, Diamond retention in sintered cobalt bonds for stone cutting and drilling, *Diamond and Related Materials*, 8 (1999), 2043–2052.

- Weber, G.**, 1991, Laser welding of diamond tools, *Industrial Diamond Review*, 51(3), 126–128.
- Weber, G.**, 2004, New software for automatic tensioning of sawblades, *Industrial Diamond Review*, 64 (2), 55-56.
- Wright, D.N., Wilson, S.M., Brown, W.F., Ovens, U.**, 1990, Segment wear on diamond impregnated mining bits, *Industrial Diamond Review*, 50, 248–252.
- Weber, G. and Burckhardt, S.**, 1998. Economic production of diamond segments, *Industrial Diamond Review*, **58(4)**, 111–112.
- Weber, G. and Burckhardt, S.**, 1999. New laser welding machine for diamond sawblade manufacture, *Industrial Diamond Review*, **No. 2**, 88-89.
- Wright, D.N. and Cassapi, V.B.**, 1985. Factors influencing stone sawability, *Industrial Diamond Review*, **2**, 84-87.
- Wright, D.N.** , 1986. The prediction of diamond wear in the sawing of stone, *Industrial Diamond Review*, **5**, 213-216.
- Xu, X., Li, Y., Yu, Y.**, 2003 Force ratio in the circular sawing of granites with a diamond segmented blade, *Journal of Materials Processing Technology*, 139 (2003), 281–285.
- Zhao, J.-C.**, 1999, The fcc/hcp phase equilibria and phase transformation in cobalt-based binary systems, *Zeitschrift für Metallkunde*, 90(3), 223–232.
- Zsolnay, L.M.**, 1977. Selection of diamonds for segmental saws, *Industrial Diamond Review*, November, 382-384.
- Anon.**, The future of diamond characterization. GE Superabrasives, 1993. *Booklet GES* 93–1019.
- Anon.**, Diamond characterization. GE Superabrasives, 2000. *Booklet GES* 1278 E.
- Bailey, M.W. and Collin, W.D.**, 1977. Investigations into diamond sawing using Titanized grits, *Stone Industries*, 18-21.
- Bullen, G.J. and Wright, D.N.**, 1976. Aspects governing diamond grit selection for stone and concrete applications, *De Beers Industrial Diamond Division*.
- Belling N.G. and Dyer, H.**, 1964. Impact strength determination of diamond abrasive grit, London, *The Industrial Diamond Information Bureau (booklet)*.
- Brauninger, G. and Hayden, S.C.**, 1995. MBS-960Cr₂ and MBS-960Ti₂ chromium and titanium coated manufactured diamonds for sawing and drilling applications, General Electric Company.

- Chalkley, J.R. and Thomas, D.M.,** 1969. The tribological aspects of metal-bonded diamond grinding wheels, *Powder Metallurgy*, **vol. 12, No. 24**, 582-597.
- Conti, G.,** 1986. Marble in The World, Societa Editrice Apuana Srl., 1st Edition, Carrara, Italy, 247p.
- Chen, X. and Rowe, B. W.,** 1996. Analysis and Simulation of the Grinding Process. Part 2 Mechanics of Grinding, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **36**, 8, 883-896.
- Damiani, G.,** 1994. Stone Processing, Marmomacchine Directory, Associazione Italiana Marmomacchine, pp.105-191.
- Diamant Boart S.A.,** 1995. Diamond tools for the stone industry.
- Diamante Applicazioni & Tecnologia,** 1997. Old or new diamonds? **No. 9**, 63-68.
- Dwan J.D.,** 1998. Production of diamond impregnated cutting tools, *Powder Metallurgy*, **vol. 41, No. 2**, 84-86.
- Jennings, M. and Wright, D.,** 1991. Guidelines for sawing stone, Diamonds in Industry - Stone, De Beers Industrial Diamond Division,, 25-30.
- Kim, H.S.,** 2000, On the rule of mixtures for the hardness of particle reinforced composites, *Materials Science and Engineering A*, 289, 30-33.
- Kulaksız, S., Özçelik, Y., Bayram, F., Yaşıtlı, N.E. ve Atasoy, K.,** 2002. Elmas lamalı katraklarda kesme verimliliğinin incelenmesi, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi, Proje No: 01 01 602 024, 149 s.
- Levin, E. and Gutmanas E.Y.,** 1990. Solid-state bonding of diamond to Nichrome and Co-20 wt % W alloys, *Journal of Materials Science Letters*, **vol. 9, No. 6**, 726-730
- Özçelik, Y., Ünver, B., Bayram, F. ve Yaşıtlı, N.E.,** 2008. Bazı doğal taşların dairesel testere kesim yöntemiyle kesilebilirlik sınıflaması ve kesme mekanizmasının sayısal modellemesi, TUBİTAK 104M384, Sonuç Raporu, 135 s.
- Primavori, P.,** 2002. Technological developments and the state-of-the art in machinery and installations for extracting and processing stone materials, Marmomacchine Directory, Associazione Italiana Marmomacchine, pp.40-197.
- Scott, P.M., Nicholas, M. and Dewar, B.,** 1975. The wetting and bonding of diamonds by cop-per-base binary alloys, *Journal of Material Science*, **No. 10**, 1833-1840

- Shaw, M. C.**, 1971. A New Theory of Grinding, International Conf. Proc. Science in India, Monash University, Australia, pp. 1-16.
- Thakur UN.**, 1985. The role of metal powders in manufacturing diamond tools, *Proc. Superabrasives'85*, Chicago, Illinois, USAS April 22-25, MR85-307.
- Tokura, H. and Yoshikawa, M.**, 1989. Heat treatment of diamond grains for bonding strength improvement, *Journal of Materials Science*, **No. 24**, 2231-2238.
- Tonshoff, H.K., Wobker, H.-G., Cassel, C.**, 1994, Wear Characteristics of Cermet Cutting Tools, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 43, 89-92.
- Tuzzeo, J.J., Bovenkerk, H.P. and Ratterman, E.**, 1999. Effective utilization of synthetic diamond in high temperature metal bonds, General Electric Company.
- Walker, R.D. and Wood, M.G.**, 1973. Granite sawing techniques, *Diamonds In Industry - Stone*, De Beers Industrial Diamond Division, 43-46.
- Wright, D.N., Wapler, H.**, 1982, The truing and dressing of diamond sawblades, *Chemistry and Materials Sciences*, 2(2), 126-155.
- Wright, D.N. and Wapler, H.**, 1986. Investigations and prediction of diamond wear when sawing. *Annals of the CIRP*, **vol. 35, No. 1**, 239-244.
- Young, B.**, 1999. The graphitization of diamond during the manufacture of diamond tools, *Diamond Information L2*, De Beers Industrial Diamond Division.
- Akyüz, D.A. and Hofmann, H.**, 1998. Interface aspects in cobalt-based diamond cutting tool segments, *Proc. 1998 PM World Congress & Exhibition*, **vol. 4**, Granada, Spain, October 18-22, 158-163.
- Bullen, G.J. and Bailey, M.W.**, 1979. The selection of De Beers SDA diamond abrasives for the stone industry, *Proc. IDA Conference*, India.
- Çelik, E., Kaplan, M. ve İnci S.**, 2011, "Fe-Cu-Co-Sn Matrisli Elmaslı Kesici Takımlara Ti İlavesinin Etkisi", *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, 402-408.
- Çelik, E., İnci S., Kaplan, M. ve Çelik, H.**, 2011, "Bir Mermer Kesici Takım Üretimi ve Özellikleri", *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, 511-514.
- Gümüş, A., Kördemir, Y.**, 2010. Elazığ vişnenin oluşumu ve günümüze kadar gelen sürecinin değerlendirilmesi, *Kamu-Üniversite-Sanayi işbirliği sempozyumu ve mermercilik şurası (UDUSİS 2010)*, Diyarbakır, 142-145.

- Karagöz Ş., Zeren M.,** 1996, "Elmaslı Kesici Takımların Mikroyapısal Dizaynı Üzerine Araştırmalar", 1. Ulusal T/M Konf. Bildiriler Kitabı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 459-466.
- Karagöz Ş., Zeren M.** 1997, "Sürekti Disk Tipi Elmaslı Kesici Takımlarda Hata Karakterizasyonu", 9. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Konf. Bildiriler Kitabı, T.M.M.O.B. İstanbul, 517-525.
- Karagöz, Ş., Zeren, M.,** 2001, Mermer kesiminde kullanılan elmas kesici takımların aşınma karakteristiği, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Afyon, 452-461
- Karagöz, Ş., Zeren, M.,** 2002, Doğal Taş Kesiminde Kullanılan Elmas Kesici Takımların Aşınma Karakteristiği, Toz Metalürji Konferansı, Türk Toz Metalürjisi Derneği.
- Kaplan, M. ve Budak, S.,** 2010, "Mermer Kesici Takımlarda Matris Seçimi ve Önemi" 1. *Uluslararası Katılımlı Kamu-Üniversite-Sanayi İşbirliği Sempozyumu ve Mermercilik Şurası(UDUSİS 2010)*, Diyarbakır, 146-148.
- Kaplan, M. ve Budak, S.,** 2011, "Bir Mermer Kesici Takımında Co Katkısının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi", *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, 183-188.
- Konstanty, J.,** 1997, Cobalt and diamond tooling, *In Proceedings of the Cobalt Conference*, Hong Kong, No. 5, pp. 1–10.
- Nitkiewicz, Z., Swierzy, M.,** 2005, Tin influence on cutting behaviour of diamond sawblades for Stone cutting, *13th International Scientific Conference on Achievements in mechanical and materials Engineering*, 16-18 May 2005, Gliwice-Wista, Poland, 467-470.
- Ojeda, R.G., del Villar, M., Muro, P., Iturriza, L. and Castro, F.,** 1998. Densification of diamond tools with Co, Ni and Fe based metallic binders, *Proc. PM World Congress & Exhibition*, Granada, Spain, vol. **49**, 481–486.
- Musu-Coman, M., Fecoru, M., Baluta, G. and Amid, N.,** 1998. Surface processing of ultrahard materials used for embedding in resin or metallic matrices. *Proc. 1998 PM World Congress & Exhibition*, Granada, Spain, vol. **4**, 234-239.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ. ve Sarıışık, A.,** 1995. Mermer Teknolojisi, SDÜ Yayını, Isparta, 5-57, 237 s.
- Tillmann, W.,** 1999, Trends and market perspectives for diamond tools in the construction industry, *Proc. European Conference on Advances in Hard Materials Production*, Turin, Italy, Nov. 8-10, 3-14.

- Ucun, İ., Büyüksağış, İ.S.,** 2009, Elmas Soket Aşınmasının Belirlenmesinde Lazer Ölçüm Sisteminin Kullanılması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük.
- Akyüz, D., Hofmann, H.,** 1998, "Interface aspects in cobalt-based diamond cutting tool segments", *In Proceedings of Powder Metallurgy World Congress & Exhibition, Granada, Spain, October 18–22, Vol. 4, pp. 158–163.*
- 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.*
- Bayram, F., Kulaksız, S. ve Özçelik, Y.,** 2003. Katraklarda mermerlerin fiziki-mekanik özelliklerinin ve kesim hızının elmas soketlerdeki aşınmalara etkisi, *Türkiye ii Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık.*
- Baert, M.,** 1995. Coating of diamonds and granulation of metal powders, *Proc. Seminar on PM Diamond Toolss Lausanne, Switzerland, November 2-3.*
- Bailey M.W. and Bullen G.J.,** 1987, "The de Beers sda Series of Diamond Abrasives and its Stability for the Stone Industry", Eskenazi Semineri, 1-33, Istanbul.
- Bonneau, M.,** 1995, Tensile rupture on sintered cobalt specimens. *In Proceedings of Seminar on PM Diamond Tools, Lausanne, Switzerland, November 2–3, pp. 41–47.*
- Brauninger, G.,** 1999. Production and properties of synthetic diamond grit, *Proc. International Workshop on Diamond Tool Production, Turin, Italy, Nowember 8–10.*
- Buekenhout, L., Berghezan, A.,** 1981, A new approach to the problem of room temperature ductility of polycrystalline cobalt. *In Proceedings of 10th Plansee Seminar, Reutte, Austria, 1–5 June, Vol. 2, pp. 899–916.*
- Burgess R.R.,** 1978. Man-made diamond for stone processing, *Proc. 1st Technical Symposium, Bucharest, Romania, October 5–6.*
- Cram, A.S.D.,** 1995. Hot isostatic pressing, *Proc. Seminar on PM Diamond Tools, Lausanne, Switzerland, November 2–3.*
- Ersoy, A., Atıcı, Ü.,** 1999, Mermer kesicilerin aşınma mekanizmaları, *Türkiye 16. Madencilik Kongresi.*
- Fiechter, A.,** 1995. Schneiden und Schweissen mit gepulsten Nd:YAG Laser, *Proc. Seminar on PM Diamond Tools, Lausanne, Switzerland,, November, 2-39.*

- Gasik, M.M., Kervinen, Po., Kaskiala, M. and Graf, P.,** 1999. In situ sintering studies of cobalt powders for diamond tools, *Prac, International Workshop on Diamond Tool Production*, Turin, Italy, November 8-10, 107-112.
- Hamar-Thibault S., Allibert C.H. and Tillman W.,** 1999. Phase constitution of $\text{Cu}_{77}\text{Sn}_8\text{Ti}_{14}\text{Zr}_1$ as a binder for diamond tools, *Proc. International Workshop on Diamond Tool Production*, Turin, Italy, November 8-10, 57-64.
- Konstanty, J.,** 1999, Developing a better understanding of the bonding and wear mechanisms involved in using diamond impregnated tools, In *Proceedings of International Workshop on Diamond Tool Production*, Turin, Italy, November 8–10, pp. 97–106.
- Samvelion, R.V. and Manoukion, N.V.,** 1995. Extrusion for diamond tool production, *Proc. Seminar on PM Diamond Tools*, Lausanne, Switzerland, November 2–3.
- Schmid, H.G.,** 1995, Diamond tool production using the DIAPLATE process, *Proc. Seminar on PM Diamond Tools*, Lausanne, Switzerland,, November, 2-3.
- Starck H.C.,** 1993, "Powders For Diamond Tools And Hardfacing", (9), 1-10.
- Van Doorslaer, T.,** 1999. Coating of abrasive grains and the granulation of metal powders. *Proc. International Workshop on Diamond Tool Production*, Turin, Italy, 83-88.
- Weber, G.,** 1999. A new process for diamond tool producers, *Proc. international Workshop on Diamond Tool Production*, Turin, Italy, 73-82.
- 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.
- Borse, D.,** 1991, Process for treating diamond grains. *US*, Patent No. 5, 035,771.
- Chen, S.H. and Sung CM.,** 1991. Multiple metal coated superabrasives grit and methods for their manufacture, *US*, Patent No. 5, 024,680.
- Hail, j.j., Ojini, A.,** 2003, Method for cutting blocks of stone and frame cutting machine for carrying out said method. *US*, Patent No. 6, 598, 597.
- URL-1, http://www.mta.gov.tr/v1.0/daire_baskanliklari/metut/index.php?id=arsiv Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Elazığ-Alacakaya Mermer Sahası Maden Jeolojisi Raporu (Elazığ Vişne-İr No. 1496), 2008.
- URL-2, <http://www.golalan.com/analiz.aspx> Elazığ Vişne Mermeri Kimyasal Özellikleri, 2011

- URL-3, <http://www.myfikirler.com/elazigda-cikan-visne-curugu-mermer.html> Elazığ'da çıkan Vişneçürüğü Mermer, 5 Ekim 2011.
- URL-4, <http://www.mermerbank.com/MermerCesitleri/Elazig-Visne.php> Elazığ Vişnesi Teknik Özellikleri, 2010
- URL-5, http://tr.wikipedia.org/wiki/Mohs_sertlik_skalas%C4%B1 Mohs Sertlik Skalası, 21 Ocak 2012.
- URL-6, http://www.demmak.com/20/demmak%20sunum_dosyalar/slide0006_image013.gif
- URL-7, http://www.tummer.org.tr/images/urun/elmas_tel_kesme_makinasi091109044039.jpg
- URL-8, <http://www.mks.com.tr/assets/images/gallery/katrak/1.jpg>
- URL-9, <http://www.mks.com.tr/assets/images/gallery/katrak/2.jpg>
- URL-10, http://www.guclusoket.com/katrak_testereleri.htm
- URL-11, <http://www.immib.org.tr/arge-raporlar.aspx> İMMİB, Rapor, Dünya Pazarlarında Türk Doğaltaşları, 2010.
- URL-12, www.sermak.com.tr
- URL-13, http://www.mta.gov.tr/v1.0/daire_baskanliklari/metut/index.php?id=arsiv, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Elazığ-Alacakaya Mermer Sahası Maden Jeolojisi Raporu (Elazığ Vişne-İr No. 1496).
- URL-14, <http://www.dr-fritsch.de/index.php/cobalt-338.html>, Kobalt tozu, 3 Nisan 2012.
- URL-15, www.dr-fritsch.com
- URL-16, <http://www.stella-welding.com/index.php/portfolio/leghe-argento-cadmio/#more-81>, Ag40Cd lehim teli, 3 Nisan 2012.
- URL-17, <http://www.stella-welding.com/st/Ag40Cd.pdf>
- URL-18, <http://www.mks.com.tr/enebatlama.php>, En Ebatlama Makinesi, 3 Nisan 2012.
- URL-19, http://www.emeraldinsight.com/content_images/fig/1560150103003.png, Cu-Sn-Ni Üçlü faz diyagramı, 6 Nisan 2012.
- URL-20, <http://www.copperinfo.co.uk/publications-and-software/downloads/pub-94-equilibrium-diagrams.pdf>, Copper Development Association, Equilibrium Diagrams, 1992.
- URL-21, <http://www.mrl.ucsb.edu/~edkramer/LectureVGsMat100B/99Lecture14VGs/CuCoPhaseDiagramVG.html>, Copper-Cobalt Phase Diagram, 06 Nisan 2012.

URL-22, <http://web.sakarya.edu.tr/~aokurt/dersler/toz/dersnotu.pdf>, Toz üretim yöntemleri ve Sinterleme, 2004-2010.

URL-23, <http://resource.npl.co.uk/mtdata/phdiagrams/cco.htm>, C-Co Faz Diyagramı, 12 Kasım 2010.

Akpar Makine, 1999. Elmas Teller, *Akpar Makine Tanıtım Katalogu*, Ankara, 1-13s.

DPT, *Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1996-2000)*, Yayın Nu: 2434, Ankara, 1996.

Elazığ İli Maden Ve Enerji Kaynakları.

Diamond Boart, 1995, Diamond Tools for the Stone Industry.

G.E, 1991. "Diamond Products for Sawing and Drilling Applications", GE Superabrasives. General Electric Company Teknik Yayını. 1-44.

Hot press properties fine cobalt powders, 1996. The Westaim Corporation.

KENNAMETAL, 1986, Matnks Powders, Companies for Industrial Diamonds, Macro Division of Kennametal Inc.'in Teknik Yayını, 1-15.

MBS-960 diamond titanium and chromium coated products, 1995. General Electric Company (product sheet).

MBS diamond products for sawing and drilling applications, 1991, General Electric Company.

MEB, 2011, *Dairesel Testerelelele Kesme*, 521MMI344.

Metal Powder Report, May 2005.

MPIF-42 Standard, 1996, *Standard test methods for metal powders and powder metallurgy products*, Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ.

Properties of diamond, 1989. De Beers Industrial Diamond Division.

SCM Metal Products, 1984, *Nickel base diamond bonding powders*, Technical Data, Bulletin No. 95638.

The metallurgy of diamond tools, 1985. *Industrial Diamond Review*, **No. 5**, 248-250.

The future of diamond characterization, 1993. General Electric Company.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2005. *Doğal Taş ve Mermer Raporu*.

TSE, TS 699, 1987, *Tabii Yapı Taşları- Muayene ve Deney Metotları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

EKLER

“Elazığ Vişne Mermerinin İşlenebilirliğine Kesici Takım Matris Bileşenlerinin Etkisi” konulu tez çalışmasının deneysel çalışmalar kısmında belirtilen deneyler yapılırken çekilen fotoğraflar ile videoların listesi aşağıda çıkarılmış olup listedeki fotoğraflar ile videolar ekteki CD’de mevcuttur.

Fotoğraflar Listesi

- 1) **Fotoğraf.1.**Dara_Alımı.jpg
- 2) **Fotoğraf.2.**Sentetik_Elmas_Tartımı.jpg
- 3) **Fotoğraf.3.**Kobalt_Tartımı.jpg
- 4) **Fotoğraf.4.**Bronz_Tartımı.jpg
- 5) **Fotoğraf.5.**Nikel_Tartımı.jpg
- 6) **Fotoğraf.6.**Bakır_Tartımı.jpg
- 7) **Fotoğraf.7.**Karıştırıcı.jpg
- 8) **Fotoğraf.8.**Tartımı_Yapılan_Malzemenin_Karıştırıcıya_Bırakılması.jpg
- 9) **Fotoğraf.9.**İlk_Karışımı_Biten_Malzemenin_Karıştırıcıdan_Çıkarılması.jpg
- 10) **Fotoğraf.10.**İlk_Karışımı_Biten_Toza_Metal_Karışımının_Görünümü.jpg
- 11) **Fotoğraf.11.**PEG_Polietilen_Glikol_Yağlayıcı.jpg
- 12) **Fotoğraf.12.**İlk_Karışımından_Sonra_Metale_PEG_Katımı.jpg
- 13) **Fotoğraf.13.1.**PEG_Katılan_Karışıma_Çelik_Bilye_Katımı.jpg
- 14) **Fotoğraf.13.2.**PEG_Katılan_Karışıma_Çelik_Bilye_Katımı.jpg
- 15) **Fotoğraf.14.**Karışım_İşlemi_Biten_Metallerin_Karıştırıcıdan_Çıkarılması.jpg
- 16) **Fotoğraf.15.**Karışım_İşlemi_Bittikten_Sonra_Toza_Metallerin_Görünümü.jpg
- 17) **Fotoğraf.16.**Karışımı_Biten_Metallerin_Tartım_İçin_Hazırlanması.jpg
- 18) **Fotoğraf.17.**Karışımı_Biten_Metallerin_Soket_Hacmine_Göre_Hesaplanan_Ağırlıkça_Tartımı.jpg
- 19) **Fotoğraf.18.**Tartımı_Yapılan_Malzemenin_Paketlenmesi.jpg
- 20) **Fotoğraf.19.**Ayar_Izgarasına_Kalıp_Alt_Baskı_Grafit_Dizimi.jpg
- 21) **Fotoğraf.20.**Ayar_Izgarasına_Kalıp_Ara_Plakası_Grafit_Dizimi.jpg
- 22) **Fotoğraf.21.**Ayar_Izgarasına_Yan_Destek_Plaka_Grafit_Dizimi.jpg
- 23) **Fotoğraf.22.**Ayar_Izgarası_Ara_ve_Yan_Destek_Grafit_Plaka_Dizim_İşinin_Bitmesi.jpg
- 24) **Fotoğraf.23.**Dizim_Yapılan_Grafit_Kalıp_Çevresine_Yalıtım_Malzemesi_Bırakma.jpg
- 25) **Fotoğraf.24.**Grafit_Kalıbı_Alüminyum_Kalıp_Çerçevesine_Alma.jpg
- 26) **Fotoğraf.25.**Grafit_Kalıba_Alt_Baskı_Grafit_Dizimi.jpg
- 27) **Fotoğraf.26.1.**Bor_Nidrid_Süspansiyon.jpg

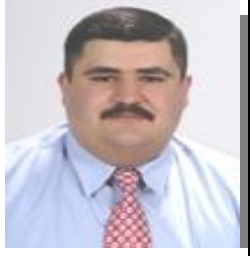
- 28) **Fotoğraf.26.2.**Grafit_Kalıba_Bor_Nitrid_Sürümü.jpg
- 29) **Fotoğraf.26.3.**Bor_Nitrid_Sürümünden_Sonra_Kalıbın_Görünümü.jpg
- 30) **Fotoğraf.26.4.**Bor_Nitrid_Sürümünden_sonra_Üst_Baskı_Grafitlerin_Görünümü.jpg
- 31) **Fotoğraf.27.1.**Toz_Metalin_Grafit_Kalıba_Doldurulması.jpg
- 32) **Fotoğraf.27.2.**Toz_Metalin_Grafit_Kalıba_Doldurulması.jpg
- 33) **Fotoğraf.28.1.**Üst_Baskı_Grafitlerin_Dizimi.jpg
- 34) **Fotoğraf.28.2.**Üst_Baskı_Grafitlerin_Dizimi.jpg
- 35) **Fotoğraf.28.3.**Üst_Baskı_Grafitlerin_Dizimi.jpg
- 36) **Fotoğraf.29.1.**Üst_Baskı_Grafit_Kalıp_Diziminden_Sonra_Kalıbın_Görünümü.jpg
- 37) **Fotoğraf.29.2.**Üst_Baskı_Grafit_Kalıp_Diziminden_Sonra_Kalıbın_Görünümü.jpg
- 38) **Fotoğraf.30.1.**Kalıbın_Kapatılması.jpg
- 39) **Fotoğraf.30.2.**Kalıbın_Kapatılması.jpg
- 40) **Fotoğraf.31.**Hazırlanmış_Kalıbın_Görünümü.jpg
- 41) **Fotoğraf.32.**Hazırlanmış_Kalıbın_Sinterleme_Fırınına_Alınması.jpg
- 42) **Fotoğraf.33.1.**Sinterleme_Fırını_PLC_Ünitesine_Sinterleme_Şartlarının_Yazılması.jpg
- 43) **Fotoğraf.33.2.**Sinterleme_Fırını_PLC_Ünitesinde_Sinterleme_Grafiğinin_Kontrolü.jpg
- 44) **Fotoğraf.34.1.**Sinterleme_Başlama_Anı.jpg
- 45) **Fotoğraf.34.2.**Sinterleme_Anı.jpg
- 46) **Fotoğraf.34.3.**Sinterleme_Anında_Kalıbın_Görünümü.jpg
- 47) **Fotoğraf.34.4.**Sinterleme_Anında_PLC_Kontrol_Ünitesi_Görünümü.jpg
- 48) **Fotoğraf.35.**Sinterleme_İşleminde_Sonra_Kalıbın_Sıcak_Sinterleme_Presinden_Çıkarılması.jpg
- 49) **Fotoğraf.36.1.**Sinterleme_İşleminde_Sonra_Kalıbı_Bozma.jpg
- 50) **Fotoğraf.36.2.**Sinterleme_İşleminde_Sonra_Kalıbı_Bozma.jpg
- 51) **Fotoğraf.36.3.**Sinterleme_İşleminde_Sonra_Kalıbı_Bozma.jpg
- 52) **Fotoğraf.36.4.**Sinterleme_İşleminde_Sonra_Kalıbı_Bozma.jpg
- 53) **Fotoğraf.36.5.**Sinterleme_İşleminde_Sonra_Kalıbı_Bozma.jpg
- 54) **Fotoğraf.37.**Sinterleme_Sonrası_Elde_Edilen_Soketlerin_Görünümü.jpg
- 55) **Fotoğraf.38.1.**Sinterlenen_Soketlerin_Temizlenmesi.jpg
- 56) **Fotoğraf.38.2.**Sinterlenen_Soketlerin_Temizlenmesi.jpg
- 57) **Fotoğraf.38.3.**Sinterlenen_Soketlerin_Temizlenmesi.jpg
- 58) **Fotoğraf.38.4.**Sinterlenen_Soketlerin_Temizlenmesi.jpg
- 59) **Fotoğraf.38.5.**Sinterlenen_Soketlerin_Temizlenmesi.jpg
- 60) **Fotoğraf.39.**Temizlenen_Soketlerin_Testereye_Lehimlemek_için_Hazırlık.jpg
- 61) **Fotoğraf.40.1.**Temizlenen_Soketlere_Fluks_Boraks_Sürülmesi.jpg

- 62) **Fotoğraf.40.2.**Temizlenen_Soketlere_Fluks_Boraks_Sürülmesi.jpg
- 63) **Fotoğraf.41.**Testerelere_Fluks_Boraks_Sürülmesi.jpg
- 64) **Fotoğraf.42.**Soketlerin_Testere_Gövdesine_Lehimlenmesi.jpg
- 65) **Fotoğraf.43.1.**Lehimleme_işlemi_Biten_Testerenenin_Temizleme_Makinesine_Bağlanması.jpg
- 66) **Fotoğraf.43.2.**Lehimleme_işlemi_Biten_Testerenenin_Temizleme_Makinesine_Bağlanması.jpg
- 67) **Fotoğraf.43.3.**Lehimleme_işlemi_Biten_Testerenenin_Temizleme_Makinesine_Bağlanması.jpg
- 68) **Fotoğraf.44.1.**Testerelerin_Yanal_Temizliği.jpg
- 69) **Fotoğraf.44.2.**Testerelerin_Aln_Temizliği.jpg
- 70) **Fotoğraf.45.1.**Temizliği_Yapılan_Testelerinin_Görünümü.jpg
- 71) **Fotoğraf.45.2.**Temizliği_Yapılan_Testelerinin_Görünümü.jpg
- 72) **Fotoğraf.45.3.**Temizliği_Yapılan_Testelerinin_Görünümü.jpg
- 73) **Fotoğraf.45.4.**Temizliği_Yapılan_Testelerinin_Görünümü.jpg
- 74) **Fotoğraf.46.1.**Üretilen_Mermer_Kesici_Takımlar_ile_Elazığ_Vişne_Mermeri_Keserek_Aşınma_Deneyi_Yapma.jpg
- 75) **Fotoğraf.46.2.**Üretilen_Mermer_Kesici_Takımlar_ile_Elazığ_Vişne_Mermeri_Keserek_Aşınma_Deneyi_Yapma.jpg
- 76) **Fotoğraf.46.3.**Üretilen_Mermer_Kesici_Takımlar_ile_Elazığ_Vişne_Mermeri_Keserek_Aşınma_Deneyi_Yapma.jpg
- 77) **Fotoğraf.47.**Elazığ_Vişne_Mermeri.jpg

Videolar Listesi

- 1) **Video.1.**Karıştırıcı_ile_Karıştırma.avi
- 2) **Video.2.1.**Karıştırılan_Tozun_Tartımı.avi
- 3) **Video.2.2.**Karıştırılan_Tozun_Tartımı.avi
- 4) **Video.3.1.**Grafit_Kalıp_Dizimi.avi
- 5) **Video.3.3.** Grafit_Kalıba_Toza_Doldurma.avi
- 6) **Video.4.1.**Sinterleme_Başlangıcı_PEG'in_Yanması.avi
- 7) **Video.4.2.**Sinterleme_Anı.avi
- 8) **Video. 4.3.**Sinterleme_Anı.avi
- 9) **Video.4.4.**Sinterleme_Anı_PLC_Görünümü.avi
- 10) **Video.5.**Sinterlenip_Kullanıma_Hazır_Hale_Getirilen_Soketlerin_Taşlanarak_Temizlenmesi.avi
- 11) **Video.6.1.**Taşlanarak_Temizlenen_Soketlerin_Testere_Gövdesine_Lehimlenmesi.avi
- 12) **Video.6.2.** Soketlerin_Testere_Gövdesine_Lehimlenmesi.avi
- 13) **Video.7.** Lehimlenen_Testereelerin_Taşlanarak_Temizlenmesi.avi
- 14) **Video.8.**Üretilen_Mermer_Kesici_Takımlar_ile_Elazığ_Vişne_Mermeri_Keserek_Aşınma_Deneyi_Yapma.avi

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Sinan İnci	
Doğum Yeri ve Tarihi	Elazığ, 23.05.1980	
Cinsiyet	Erkek	
Medeni Hali	Bekâr	
Görevi, görev yeri	Zabıt Kâtibi, Kovancılar Adliyesi	
Cep Telefonu	0535 580 48 63	
E-posta/ E-sayfa	bilgi@sinaninci.com.tr / www.sinaninci.com.tr	
Yazışma Adresi	Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji Mühendisliği Bölümü Elazığ	

EĞİTİM BİLGİLERİ

Okul/Üniversite	Fakülte/Enstitü	Öğrenim Alanı	Derece	Başlangıç-Bitiş Yılı
Fırat Üniversitesi	Fen Bilimleri Ens.	Döküm	Yüksek Lisans	2009-2013
Sakarya Üniversitesi	Adapazarı MYO	Mekatronik	Yüksek Okul	2006-2009
Fırat Üniversitesi	Teknik Eğitim Fak.	Metal Öğretmenliği	Lisans	2000-2004
Elazığ En. Meslek Lisesi	-	Metal İşleri	Meslek Lisesi	1994-1997

İŞ DENEYİMLERİ

GÖREV YERİ	GÖREVİ	Başlangıç-Bitiş Yılı	Ayrılış Nedeni
Kovancılar Adliyesi	Zabıt Kâtibi	2012-	Devam Ediyor
Hoş İlköğretim Okulu, Hoşköy, Elazığ	Müdür Yetkili Vekil Öğretmen	2006-2009	Sözleşme Bitimi
Sarıcan İlköğretim Okulu, Karakoçan, Elazığ	Ücretli Öğretmen	2000-2004	Sözleşme Bitimi
Durusoy Çelik Eşya, Elazığ	Teknisyen	1994-1997	Üniversiteye Başlama

YAYINLARI

1.	Mermer Kesici Takımlar, Yüksek Lisans Semineri, Elazığ, 2011.
2.	Çelik, E., Kaplan, M. ve İnci S., "Fe-Cu-Co-Sn Matrisli Elmaslı Kesici Takımlara Ti İlavesinin Etkisi", 6th International Advanced Technologies Symposium, 402-408, Elazığ, (2011).
3.	Çelik, E., İnci S., Kaplan, M. ve Çelik, H., "Bir Mermer Kesici Takım Üretimi ve Özellikleri", 6th International Advanced Technologies Symposium, 511-514, Elazığ, (2011).

PROJELER

1.	Elazığ Vişne Mermerinin İşlenebilirliğine Kesici Takım Matris Bileşenlerinin Etkisi, TEF.11.04, Araştırmacı, 2011
----	---

DİĞER BİLGİLER

Y.Lisans Tez konusu	Elazığ Vişne Mermerinin İşlenebilirliğine Kesici Takım Matris Bileşenlerinin Etkisi.		
Yabancı Dil Notu		ALES Notu	