

# DOĞALTAŞ KESİMİNDE KULLANILAN ELMAS KESİCİ TAKIMLARIN AŞINMA KARAKTERİSTİĞİ

Şadi KARAGÖZ, Muzaffer ZEREN \*

Kocaeli Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

4-8 Eylül 2002 tarihleri arasında Türk Toz Metalurjisi Derneği tarafından düzenlenen "Toz Metalurjisi Konferansı"nda bildiri olarak sunulmuştur.

Elmasları yerinde tutan ve böylece kesme işini destekleyen matriks, kesici takımlardaki elmasların randımanlı kullanımından sorumludur. Elmasların etrafındaki matriksin aşınarak, ancak elmasların kendi konumlarındaki yerlerinden çıkmasına izin vermeksizin, takımın maksimum hızda çalışması beklenir. Matriksin kesme işlemi sürecinde optimal bir hızla aşınması sonucu değişik yüzeyaltı elmas tanecikleri yüzeye gelerek kesme işleminin sürekliliğini sağlamalıdır. Bu çalışmada Co, Ni ve Cu+Sn toz tanelerinden oluşan matriks bileşimi sabit tutularak sinterleme koşulları değiştirilmiştir. Uygulanan sıcak preslemede basınç 350 MPa ve sinterleme sıcaklığı 730 °C olarak sabitlenmiş ve sinterleme süresi değiştirilmiştir. Yumuşak mermer türü doğaltaş kesiminde sabit aşınma hızı altında malzemenin aşınma tutumu belirlenmiştir. Bu doğrultuda doğaltaş kesme koşullarında yapılan aşınma testlerinde etken aşınma mekanizmaları saptanarak malzemenin aşınma karakteristiği ortaya konmuştur.

**Anahtar sözcükler :** Elmas kesici takımlar, doğal taş kesimi, aşınma

The matrix which holds the diamonds in their proper places and supports the cutting, is responsible for the efficient use of the diamonds in the cutting tools. It is expected that the cutting tool operates at maximum speed, while the matrix around the diamond wears without letting the diamonds move off their places. Various sub-surface diamond particles must come to the surface in order to provide the continuity of the cutting operation, as a result of the wearing of the matrix at an optimum speed during the operation. In this operation, the sintering conditions are changed keeping the matrix compound, composed of Co, Ni, Cu and +Sn powders, constant. During hot pressing, the pressure and sintering temperature are stabilized at 350 MPa and 730 °C respectively and the sintering time has been changed. The wearing properties of the material have been determined under the constant wearing speed in the soft marble type natural stone cutting operation. As a result, the active wearing mechanisms have been determined and the wear characterization of the material has been proposed.

**Keywords:** Diamond cutting tools, natural stone cutting, wearing

## GİRİŞ

Kesici takımlarının mikroyapısını belirleyen iki ana evre olan matriks ile elmas arayüzeyinde sinterleme koşullarında kimyasal bir reaksiyon oluşması istenir ve bu reaksiyon, elmaslı kesici takımın ömrünü büyük ölçüde belirler [1]. Bu bağ reaksiyonunun oluşumu metal tozlarının bileşimine, partikül 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 [2]. Elmaslı kesici takımın başarılı bir şekilde sinterlenmesini engelleyen en önemli etken yüzeysel oksitlerdir; toz yüzeyindeki oksit filmleri temel sinterleme reaksiyonlarını önlemektedir [3]. Bu tür uygun metaller ile sağlanan metalurjik ıslatmayla matrikse kuvvetlice bağlanan elmaslar, sadece mekanik yolla tutulanlara nazaran matriks içerisindeki oturma yüzeyinden koparak uzaklaşmaya (=yerinden sökülme) karşı daha dirençlidir. Elmas takımlarda kullanılan matriks toz karışımlarının elmasları

sağlam bir şekilde tutması gerekir [4]. Kesici takımın ömrü açısından elmaslar tamamen kaybolmadan veya elmaslarda hasar oluşturmadan metalik matriks optimum bir hız ile aşınmalıdır. Aşınan matriks yüzeyinde talaş akma kanallarının oluşması ve iş parçası malzemesi talaşının bu kanallardan dışarı atılması gerekir [5]. Çok kolay bir şekilde aşınan matriks, elmasların aşırı bir şekilde zayıflayarak kaybolmasına yol açabilmekte, çok sert bir matriks ise yüzeydeki elmasların bir süre sonra kesme yüzeylerini yitirmeleri ve alttan da yeni kesici yüzeylerin çıkmaması neticesinde kesme işleminin kesintiye uğramasına neden olabilmektedir. Kesilmesi amaçlanan doğaltaşın öncelikle sertliği doğrultusunda matriks bileşiminin ayarlanması gerekmektedir [6].

Bazı metaller elmasları efektif olarak bağlayarak optimum performansa ulaşmasını sağlayabilir [7]. Matriks dizaynında 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 yararlanır. Bağlantı evresi için iyi iletken kobalt ve nikel veya ucuz olması nedeniyle demir gibi elementler ve bu elementlerin kombinasyonlarından faydalanılır. Dolgu evresi için genelde sinterleme koşullarında ergiyen 'bronz' veya 'piring' kullanılır [8]. Bu tür ergiyen bir faz ile yapılan sinterlemede (Supersolidus sinterleme veya sıvı faz sinterlemesi) sonucu hemen hemen gözeneksiz malzeme elde edilir. Değişik bakır alaşımları yüksek sertlik matriksinde yalnız dolgu evresi olarak kullanılırken, düşük sertlikteki bir matriks dizaynı için miktersal olarak yüksek tutularak talaş kanallarının açılması kolaylaştırılır [9].

Doğaltaş için standart matriks dizaynı Co, Ni ve Cu-Sn tozları üzerinden yapılmaktadır [10]. Yoğun matriks 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 iletken özellikleri doğrultusunda- elmas bağlayıcı evre olarak Cu-Sn katkısına ters bir miktarda kullanılmaktadır. Cu-Sn katkısı hem Cu ve Sn tozlarının karışımı halinde veya saf bronz tozu halinde olabilmekte, üretici basınçlı sinterleme uygulama karakteristiğiyle kullanım şeklini belirlemektedir [11]. Tek tek toz halindeki kullanımda Sn tozunun Ni/Co tozlarının da arayüzeylerinde kalarak bu tozların sinterlenmesinde değişik arayüzey etkileri oluşturduğu görülmüştür [12].

## DENEYSEL ÇALIŞMA

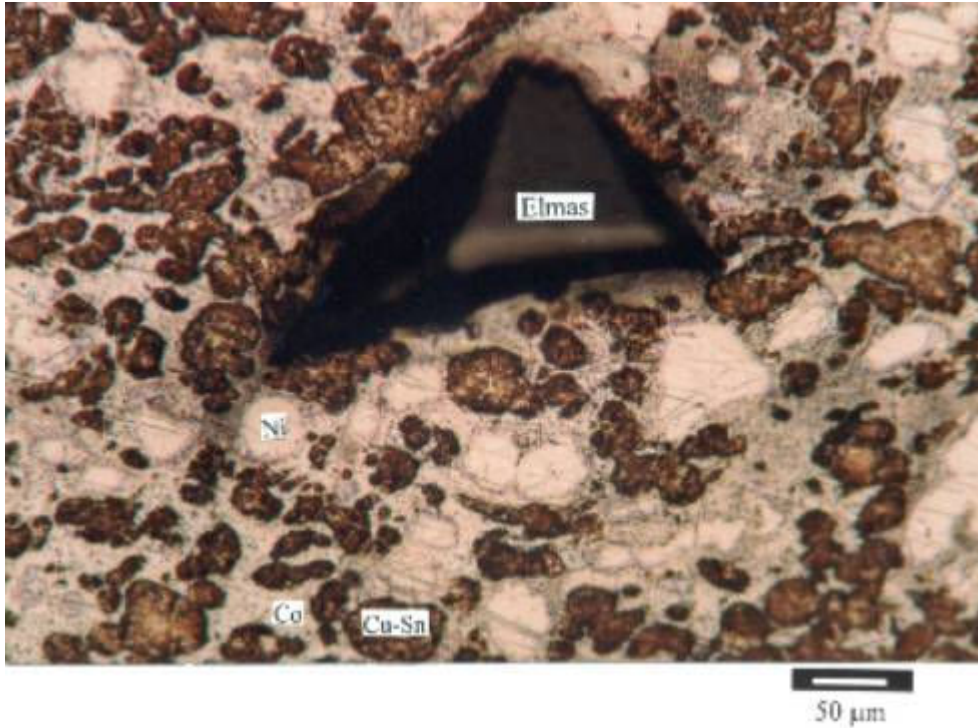
Deneyel çalışmalarda işlem parametre sayısını azaltma düşüncesi ve işçilik maliyetlerini aşağıya çekmek amacıyla kesici takımlara, soğuk presleme yapmadan sinterleme süresi değiştirilerek doğrudan sıcak presleme yapılmıştır. Uygulanan sıcak preslemede basınç 350 MPa olarak sabit tutulmuş ve sinterleme süresi 3-15 dak. arasında değiştirilmiştir. Deneyel çalışmalarda kullanılan elmaslı kesici takımların bileşimleri ve sinterleme koşulları Tablo 1'de verilmiştir [13].

**Tablo 1.** Elmaslı Kesici Takımların Bileşimleri, Sinterleme Koşulları ve Değişik Olasılıklarda Eğme Mukavemet Değerleri.

Bileşim (kütle %)				Sinterleme Koşulları		Eğme mukavemeti [MPa]		
Cu-Sn	Sn	Co	Ni	Sıcaklık (°C)	Süre (dak)	P= % 11	P= % 50	P= % 89
57	3	30	10	730	3	412	723	933
57	3	30	10	730	5	499	787	964
57	3	30	10	730	15	814	1084	1200

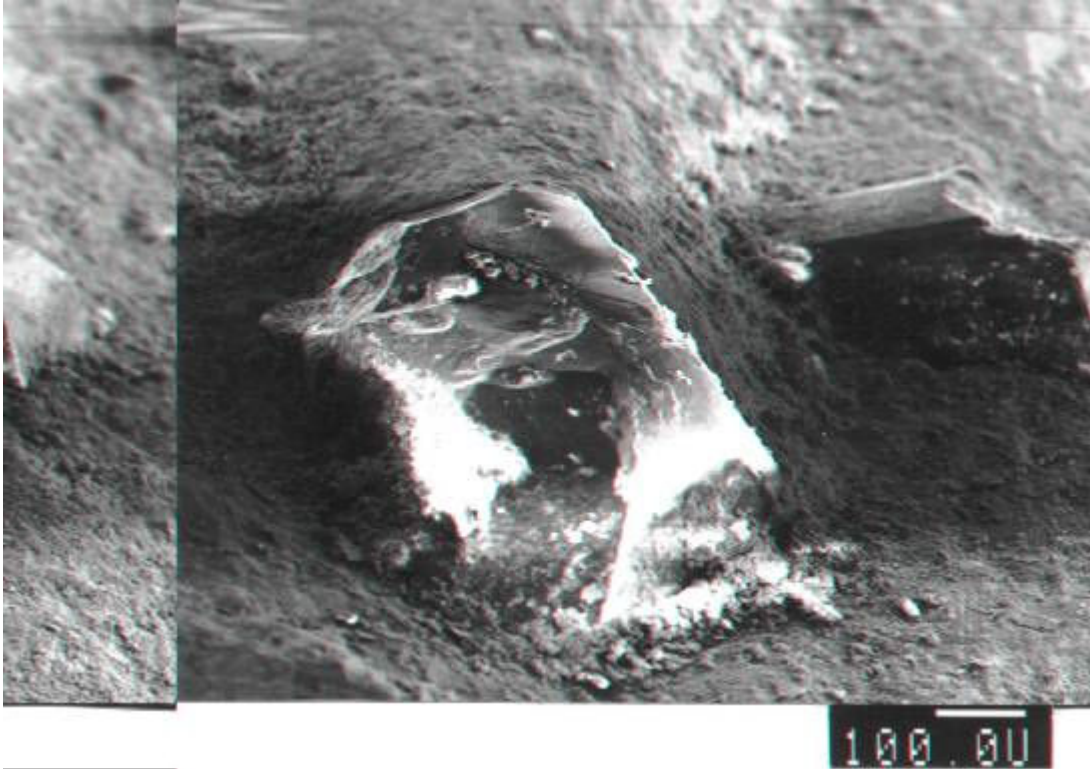
Aşınma testlerinde mermer malzeme iş parçası olarak kullanılmış ve elmas testere ile sabit bir hızda ( $v=40\text{m/s}$ ) nihai aşınmaya (soket malzemenin kesmeden mermer üzerinde kayarak ilerlemesi) kadar

kesme işlemi sürdürülmüştür. Doğaltaş kesme koşullarında etken aşınma mekanizmalarının belirlenmesi, takım performansı üzerinden mikroyapı dizaynının geliştirilmesini de sağlamaktadır. Sinterleme testleri sonrası aşınma deneyleri için yalnızca iyi bağ koşullarının olduğu 15 dakikalık sinterleme sürecinden oluşan elmas kesici takım devreye sokulmuştur. Direkt olarak elmas kesici takımlarda kesme işlemi sonucu oluşan aşınmanın karakterizasyonu hedef alındığı için sinterleme karakteristiği iyi olan, ancak zayıf bir elmas seçimi gösteren yabancı üreticilerin takımları da paralel olarak incelenmiştir. Hem elmas malzeme mikroyapısının, hem de aşınma yüzeyinin incelenmesinde tarama elektron mikroskobu (SEM) devreye sokulmuş, faz analizlerinde ise SEM atağlı enerji-dispersif X-ışın analizi (EDX) tekniğinden yararlanılmıştır. Kesici takım malzemesinin mikroyapısal karakterizasyonunda SEM de değişik fazların parlatılmış yüzeyde oluşturdukları materyal kontrastı (kimyasal kontrast) ile çalışılmıştır. Uygulanan elektronmetalografisi teknikleri ile efektif bir malzeme karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Aşınma yüzeylerinde SEM ile yapılan hasar analizinde de ikincil elektron topografi kontrastı devreye sokulmuştur. Yerli üretim elmaslı kesici takımlarda değişik hataların kırılma rolünün belirlenmesi açısından 3 nokta statik eğme mekanik testleri uygulanmıştır. Kırılma tokluğunu belirlemek için yapılan eğme test sonuçlarının değerlendirilmesi Weibull istatistiğine göre yapılmıştır [14-16]. Değişik kırılma olasılıklarında numunelerin tokluk değerleri %11, %50, %89 kırılma olasılığı üzerinden belirlenip yine Tablo 1'de özetlenmiştir. Eğme mukavemeti ve ilgili sonuçlar üzerine uygulanacak ekstrem değer istatistiği olarak da anılan Weibull istatistiği, elmas kesici takımların performansını tokluk üzerinden tanımlama imkanı vermiştir. Gerek saha sonuçları, gerekse eğme mukavemet değerleri açısından elmaslı kesici takım soketleri içerisinde en iyi neticeyi 730 °C'de 15 dakika sinterleme süresi ile alınmıştır. Sinterleme karakteristiğinin doğru belirlenmesi neticesinde çatlak başlangıcına duyarlı evreler büyük ölçüde giderilmiştir. Sinterleme işlemi sonucu tipik gözenekler kapanmış ve matriks-elmas arayüzündeki bağ kuvvetlendirilmiştir. Kullanılan kesici takım bileşiminin tipik bir sinterleme sonrası görünümü Şekil 1'de sunulmuştur. Şekilde görülen mikroyapıda dolgu evresi katkı tozu olarak kullanılan Sn tozları Ni tozlarının etrafını çevreleyerek Co tozlarının Ni tozlarını ıslatmasında katkıda bulunmuştur. Böylece matriksi oluşturan Co-Ni tozları arasında da iyi bir bağ elde edilmiş olur.



**Şekil 1.** Elmas Kesici Takım Mikroyapısının Işık Mikroskobu Görüntüsü (X 200 Klemm I).

Doğaltaş kesme ile gerçekleştirilen aşınma testlerinde belirlenen ana aşınma mekanizması abraziv aşınma olmuştur. Abraziv aşınmada esas, sert elmas ucun daha yumuşak mermeri mikro-sabanlama ile kesmesidir. Kesme işlemi sırasında oluşan talaşın (mermer tanecikleri) kesme operasyonu yöresinden çıkartılması gerekir; aksi takdirde bu partiküller nedeniyle kesici takımın yeniden aşınması söz konusu olabilir. Ayrıca bu parçacıklar yeni oluşturulan mermer yüzey kalitesine de olumsuz etki yapabilir. Bunun sonucu olarak kesme sıvısının da yeterli miktarda ve temiz olarak kullanımı gerekir. Kesici takım üzerindeki elmasların, abraziv aşınmadaki mikro-sabanlama sürecinde oluşan kayma gerilmelerine karşı koyması gerekmektedir. Binen yük altında elmasların kesici köşeleri mikro-kırılmalarla körleşebilir ve dolayısıyla kesici takımın performansı son derece düşük olabilir. Şekil 2'de kullanılan yabancı bir kesici takımındaki kesilecek malzemeye göre doğru elmasın seçilmemesi neticesinde ağır abraziv aşınma koşulları altında mikro-kırılmalarla körleşmiş bu nedenle kesme performansı düşük olan yabancı bir takımın aşınma yüzeyi görüntüsü verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi matriks aşınarak vadilerin oluşumuna izin vermiştir. Ancak elmas taneleri kenar/köşe kırılmaları yuvarlaklaşmıştır. Elmas tanesi kesme kenarının/köşesinin bu tür yanyana ince kırılmaları neticesinde elmas körleşir. Bu tür körleşmelerde doğal olarak aşınma hızlanır. Aşınma yüzeyinin görüntüsü verilmemesine rağmen bu takımında talaşın uygun akma yörelerinin (=aşınması beklenen matriksin oluşturacağı kanalların) oluşmadığı görülmektedir. Böylece matriksin optimum bir hız ile aşınmadığı ve bunun sonucu olarak kesme yüzeyinde küçük çıkıntı gösteren elmaslarda ağır hasar olduğu görülmüştür. Bu tip kesici takımlarda ağır aşınmadan ziyade kesmeme görülür.

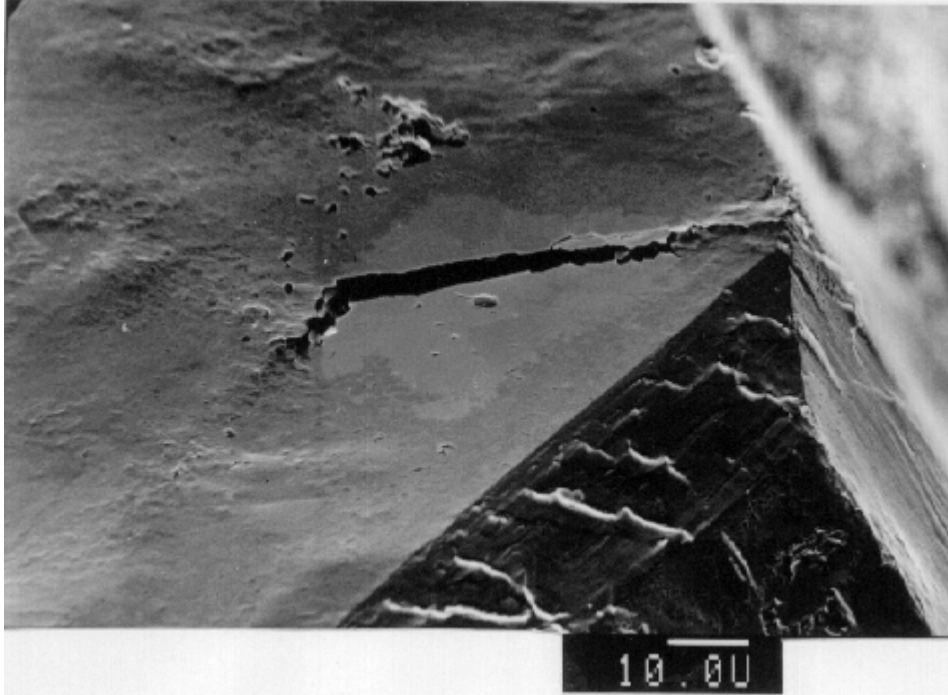


**Şekil 2.** Kısa Ömürlü Bir Elmas Kesici Takımın Aşınma Yüzeyinde Mikro-Kırılmalarla Kesme Köşelerini Kaybetmiş Elmas Tanesinin SEM Görüntüsü.

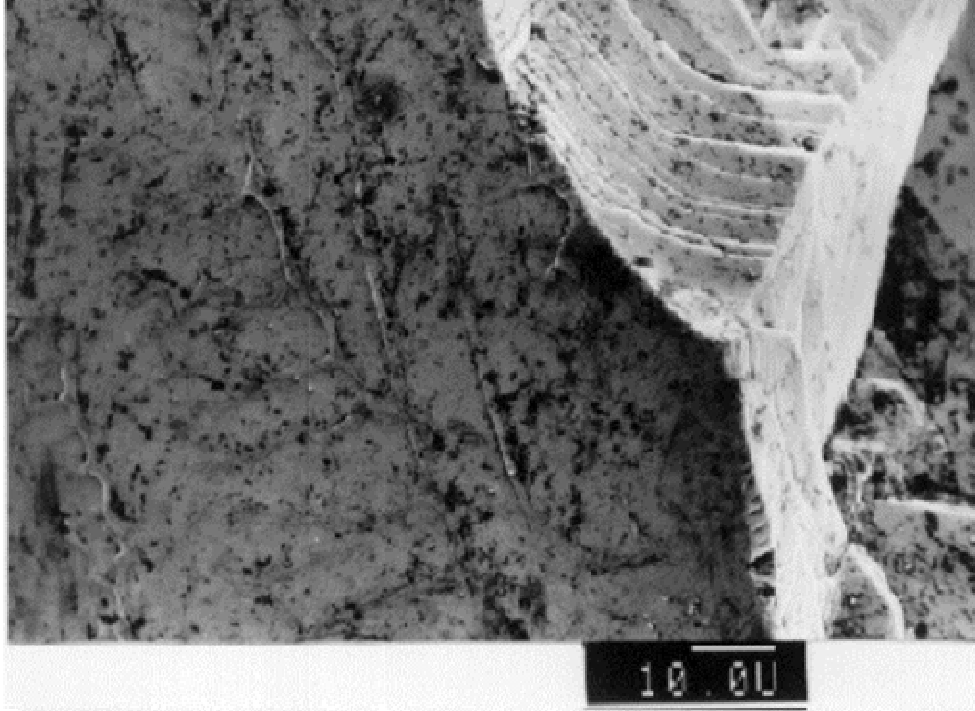
Sentetik elmas üretim koşullarından kaynaklanan elmas yüzey hataları olabilmektedir. Bunun başlıca nedeni katalizör olarak kullanılan metalin kristal içerisinde kalarak inkluzyonlar oluşturmasıdır. Bu tip



inkluzyonlar sentetik elmas büyütülmesi sırasında kapılmaktadır. Elmas ile metalik inkluzyonun termal genişleme katsayıları arasındaki belirgin fark yüzeysel gerilmelere yol açtığından elmas yüzeyinin bölgesel olarak kırılmasına neden olur. Şekil 3'de yine bir yabancı kesici takımındaki bu tip bir elmas tanesine ait yüzeysel çatlak, Şekil 4'te ise elmas kesme köşesinde büyüme hatası görülmektedir. Bu tip elmas hataları, kesme işlemini yapan kenarların mikro-kırılmalar ile hızla körleşmesine veya elmasın hızla yerinden atılmasına neden olacaktır.

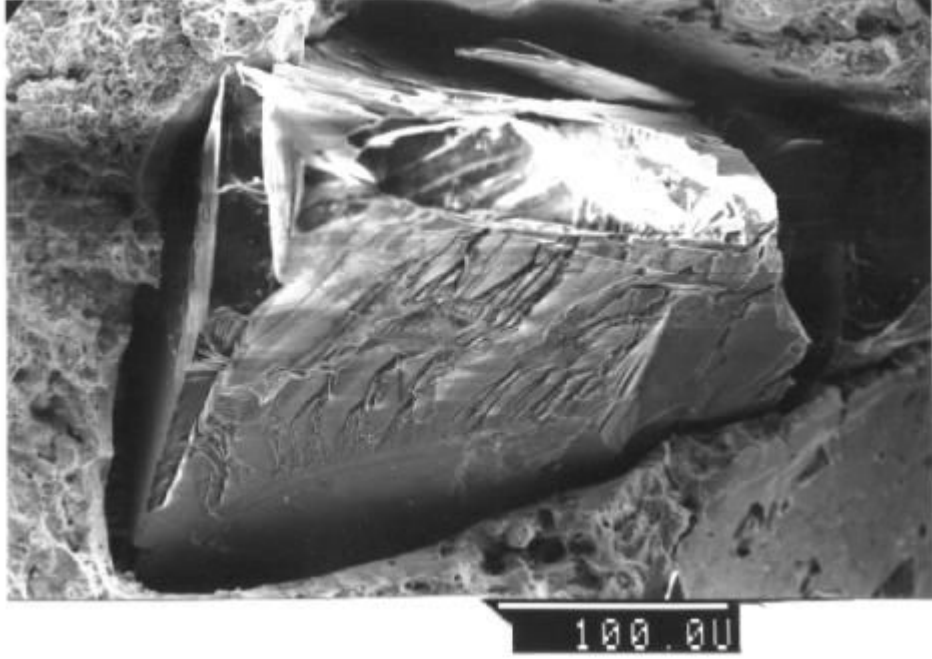


**Şekil 3.** Elmas Tanesinde Mikrosabanlamada Kayma Gerilmeleri Altında Muhtemelen İç Gerilme Nedenli Çatlak Oluşumu.

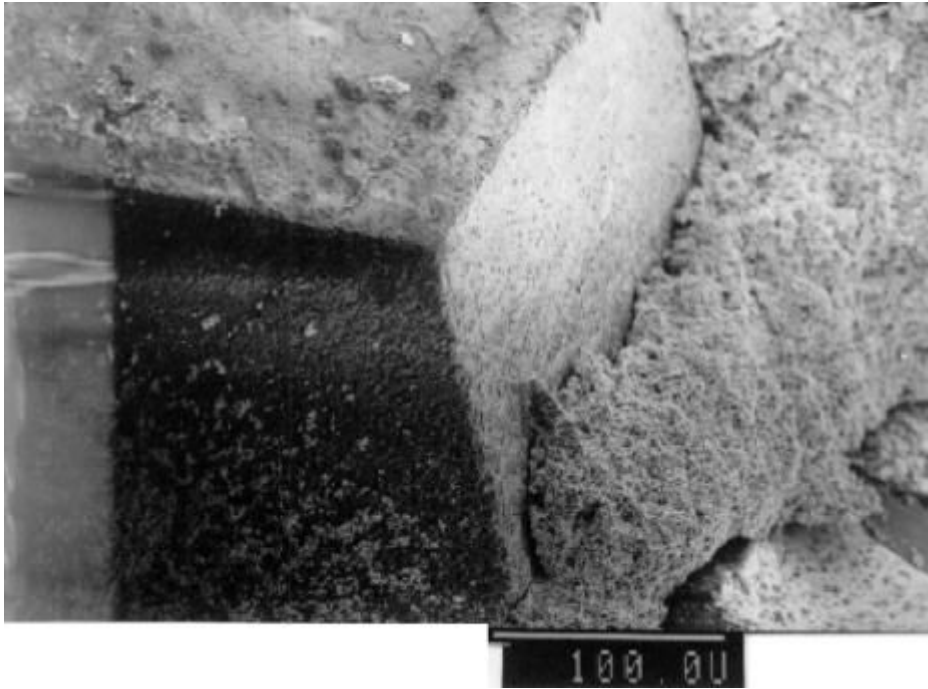


**Şekil 4.** Elmas Kesme Köşesinde Büyüme Hatası.

Şekil 5'de yine aşınma yüzeyinden alınan görüntüde, paralel olarak incelenen yabancı bir kesici takımındaki zayıf matriks-elmas arayüzeyi açıkça görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi elmas yüzeyinde paralel ve parça parça olmak üzere sürekli bir kırılma gelişmiştir. Bunun sonucu olarak performansı düşük olan bu kesici takımında elmas-matriks bağı böylece tamamen iptal edilmiştir. Şekil 6'da kuvvetli bir matriks-elmas arayüzey bağı görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi sinterleme karakteristiğinin iyi belirlenmesiyle elmas-matriks arasında çok kuvvetli bir reaksiyon olmuş ve kimyasal karakter taşıyan bu tepkime sonucu elmas taneleri matrikse sıkıca bağlanmıştır. Bu kesici takımın doğaltaş kesme performansı oldukça yüksek olmuştur.

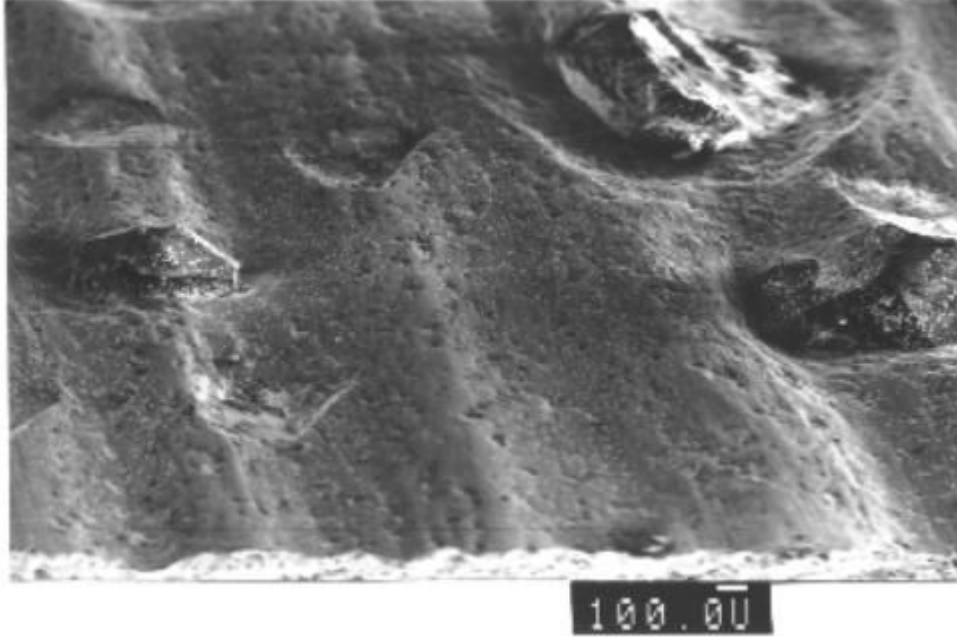


**Şekil 5.** Elmas Kesici Takımın Aşınma Yüzeyindeki Elmas Tane Yüzeyinin Sürekli Kırılması Sonucu Zayıflayan Matriks-Elmas Bağına Ait SEM Görüntüsü (Not: ağır darbe altında elmas yüzeyinde paralel küçük parçacıkların kopması nedeniyle oluşan pullanma görülmektedir).

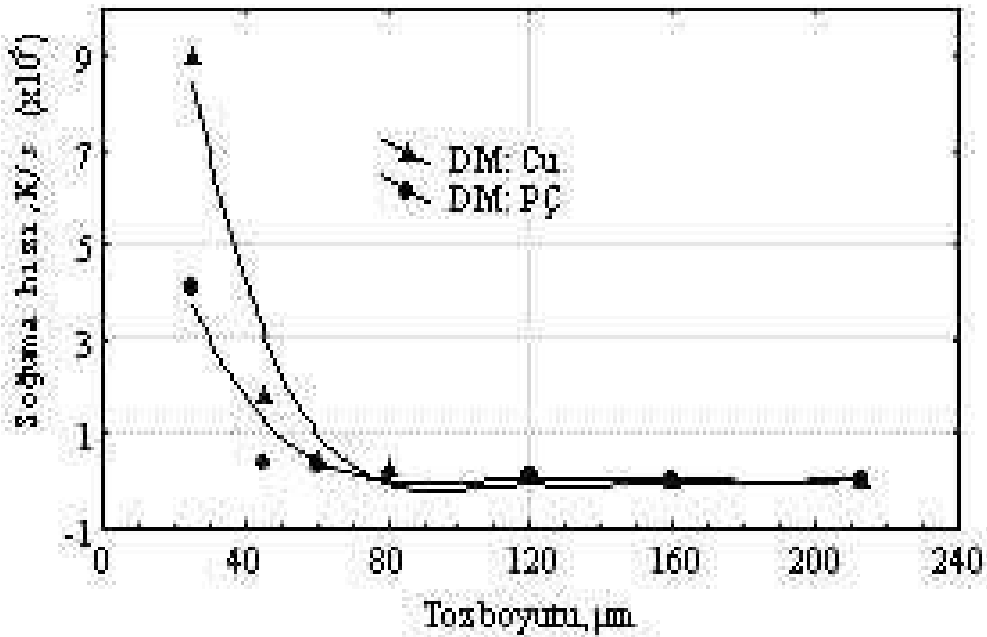


**Şekil 6.** Kesme Performansı Yüksek Olmuş Bir Elmas Kesici Takımın Kırılma Yüzeyinde Kuvvetli Elmas-Matriks Bağlantısının SEM Görüntüsü.

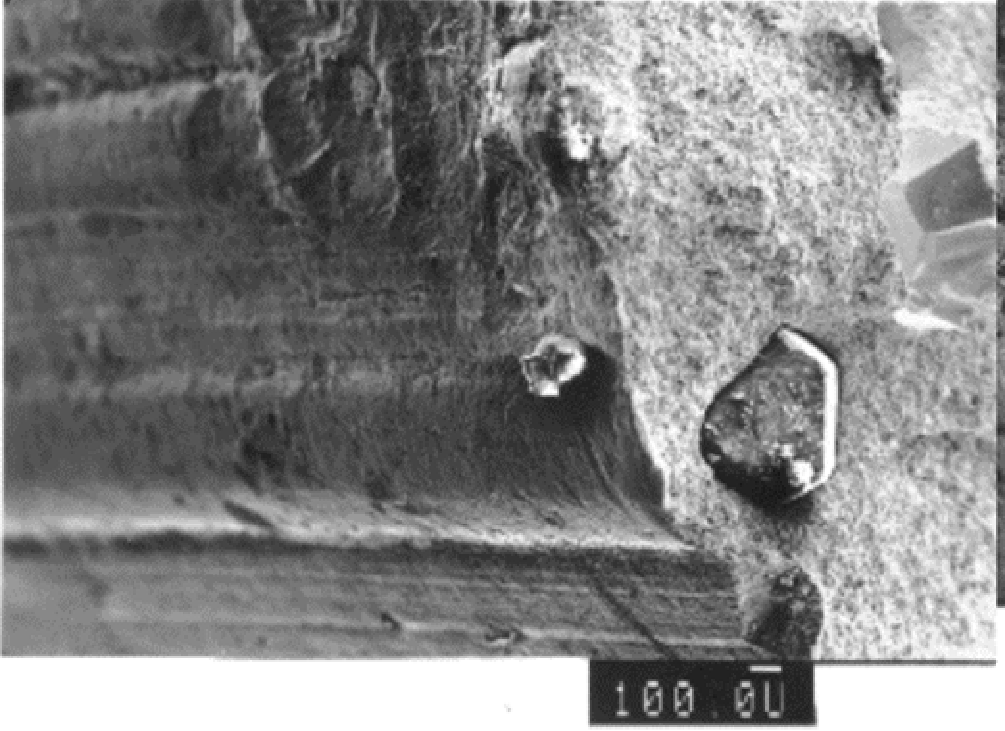
Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da 15 dakikalık sinterleme süreciyle oluşturulan takımın iki değişik açıyla aşınma yüzeyi sunulmuştur. Yüksek kaliteli matriks tozlarının kullanılması, elmasların uygun seçilmesi ve sinterleme karakteristiğinin doğru olması neticesinde kesme performansı yüksek olmuş elmaslı kesici takımın aşınma yüzeyi gösterilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi, matriks sürekli olarak aşınmış, alttan sağlam, yeni keskin elmas kesici yüzeyler çıkarak kesme işlemi kesintisiz sürmüştür ve uzun bir takım ömrü sağlamıştır. Ağır abrazyon aşınmanın kesici takım yüzeyinde bıraktığı vadiler (talaş akma kanalları) ve kesme işlemini yapan elmas sıradağları şekillerden açıkça görülmektedir [17].



**Şekil 7.** Elmas Kesici Takımın Aşınma Yüzeyi, SEM, Topografik Kontrast. (Not: Kesme performansı yüksek olmuş elmas kesici takımın aşınma yüzeyinde oluşan sıradağlar-vadi benzeri oluşumlar görülmektedir).



**Şekil 8.** Elmas Kesici Takımın Aşınma Yüzeyi, SEM, Topografik Kontrast (Not: Uzun ömürlü bir kesici takımda matriks optimal bir hızla aşınarak elmas uç dışarı çıkmış ve elmaslar kesme görevini sonuna kadar yürütmüştür).



**Şekil 9.** Elmas Kesici Takımın Aşınma Yüzeyi, SEM, Topografik Kontrast (Not: Uzun ömürlü bir kesici takımda ağır abraziv aşınmanın kesici takım yüzeyinde bıraktığı talaş akma kanalları görülmektedir).

## SONUÇ

Deneysel çalışmalardan elde edilen deneyimin ışığında, aşınma yüzeylerinin araştırılmasıyla kesici takımın performansı hakkındaki bilginin yoğun olarak saptanacağı görülmüştür. Doğaltaş kesme ile gerçekleştirilen aşınma testlerinde belirlenen ana aşınma mekanizması abraziv aşınmadır. Kesici takım üzerindeki elmasların, abraziv sürecinde oluşan kayma ve basma gerilmelerine karşı koyması beklenir. Matriksin kesme işlemi sürecinde sürekli olarak aşınması sonucu değişik yüzeyaltı elmas tanecikleri yüzeye gelerek kesme işlemi sürdürür. Friability testi sonucu belirlenen kırılma doğrultusunda elmasın avantajlı kristalografik düzlemler boyu kırılarak kesme işlemi sürdürmesi gerekir. Ancak kaliteli elmas taneleri bu gereksinim doğrultusunda kırılırken kalitesi düşük elmas tanelerinde kenar ve köşeler sürekli küçük boyutlu olarak kırılarak elması yuvarlaklaştırır ve körleştirir.

Elmas-matriks bağlantısının da elmasın rahatça yerini terketmemesi için iyi olması gerekir; elmasın hızlı bir şekilde oturduğu yeri terketmesi performansı düşürür. İdeal bir şekilde kesme işlemi yapan elmas kesici takımın matriks aynı zamanda optimal bir hızla aşınmalıdır. Alttan sağlam, yeni keskin elmas kesici yüzeylerin devreye girmesiyle kesme işleminin kesintisiz sürmesi gerekir. Aşınma koşullarında elmas, mikro-sabanlama şeklinde kesme işlevini yürütürken oluşan talaşın takım üzerinde uygun akma yörelerinden uzaklaşması beklenir. Talaşın aşınması beklenen matriksin kesme yönü doğrultusunda vadiler şeklinde oluşturacağı kanallardan akması sıhhatli bir kesimin gerçekleştiğini kanıtlar.

## TEŞEKKÜR



Bu çalışmada yazarlardan biri (Muzaffer Zeren) TÜBİTAK tarafından BDP programı çerçevesinde desteklenmiştir. Bu çalışmayı mümkün kılan destek nedeniyle yazarlar TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunar.

## KAYNAKÇA

- 1. Karagöz Ş, Zeren M.,** "Characterisation of Hot Pressing Behaviour of Diamond Cutting Tools", Int. PM Conf., Granada-İspanya, 4, 208-212, 1998.
- 2. Karagöz Ş, Zeren M.,**"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, 399-405,1999.
- 3. Wick C.,** "The Facts About Diamonds, Manufacturing Engineering, 63, 1988.
- 4. Bailey M.W. and Bullen G.J.,** "The de Beers sda Series of Diamond Abrasives and its Stability for the Stone Industry", Eskenazi Semineri, 1-33, İstanbul, 1987.
- 5. Diamond Boart,** Diamond Tools for the Stone Industry, 1995.
- 6. Karagöz Ş, Zeren M.,**"Sürekli Disk Tipi Elmaslı Kesici Takımlarda Hata Karakterizasyonu", 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Konf. Bildiriler Kitabı, T.M.M.O.B. İstanbul, 517-525, 1997.
- 7. Karagöz Ş, Zeren M.,** "Elmaslı Kesici Takımların Mikroyapısal Dizaynı Üzerine Araştırmalar", 1. Ulusal T/M Konf. Bildiriler Kitabı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 459-466, 1996.
- 8. Starck H.C.,** Powders For Diamond Tools And Hardfacing, (9), 1-10, 1993.
- 9. KENNAMETAL.,** "Matriks Powders, Companies for Industrial Diamonds", Macro Division of Kennametal Inc.'in Teknik Yayını, 1-15, 1986.
- 10. Fritsch K.G.,** "Sintermetallpulver für die Diamantwerkzeugfertigung", 2-108, 1996.
- 11. G.E,** "Diamond Products for Sawing and Drilling Applications", GE Superabrasives. General Electric Company Teknik Yayını. 1-44, 1991.
- 12. Kalish . H.,** "How Composition Affects The Properties and Performance of Cemented Carbide Cutting Tools", Tools and Die Failure, Source Book, American Society for Metals, 86-92, 1982.
- 13. Zeren M.,** "Elmas Kesici Takımların Mikroyapısal Karakterizasyonla Özelliklerinin Optimizasyonu", Doktora Tezi, KOÜ, 2000.
- 14. Karagöz Ş, Zeren M.,**"Elmas Kesici Takımların Performansının Weibull İstatistiği İle Değerlendirilmesi", T.C.Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü Başkanlığı, Araştırma Sempozyumu' 97" Bildiriler Kitabı, (1997), 145-149.
- 15. Karagöz Ş, Zeren M.,** "The Property Optimization of Diamond Cutting Tools with the Help of Microstructural Characterisation", Internatioanal Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 19/1, (2001), 23-26.

**16. Karagöz Ş, Zeren M.,** "The Microstructural Design of the Diamond Cutting Tools", Materials Characterization, 47/2, (2001), 89-91

**17. Karagöz Ş, Zeren M.,** "Mermer Kesiminde Kullanılan Elmas Kesici Takımlarda Aşınma Karakteristiği" Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 452-461, 2001.