

# ISIL İŞLEMSİZ VE KÜRESELLEŞTİRİLMİŞ Ç52100 RULMAN ÇELİĞİNİN FARKLI TAKIMLARLA İŞLENMESİNDE TAKIM ÖMRÜ VE AŞINMASININ İNCELENMESİ

**Ali Rıza MOTORCU**

Makine Programı, Çanakkale Meslek Yüksekokulu, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, 17100, Çanakkale  
[armotorcu@comu.edu.tr](mailto:armotorcu@comu.edu.tr)

(Geliş/Received: 03.02.2009 ; Kabul/Accepted: 21.10.2009)

## ÖZET

Bu çalışmada, ısıl işlemsiz ve küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin farklı takımlarla işlenmesinde ana kesme parametreleri ile iş parçası ve takım sertliklerinin, takım ömrü ve takım aşınması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Üç farklı kesici takım kullanılmıştır. Bunlar; %70 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %30 TiC matris esaslı kaplamasız karma alümina seramik, %70 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + %30 TiC matris esaslı ve PVD yöntemiyle TiN kaplı seramik ve CVD tekniğiyle Ti(C,N)+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Ti(C,N)+TiN kaplı karbürdür. İşlenebilirlik deneyleri kuru kesme şartları altında yapılmıştır. Taguchi deneysel tasarım tekniği kullanılmış ve probleme uygun ortogonal dizi L<sub>18</sub>(2<sup>1</sup>x3<sup>7</sup>) seçilmiştir. Kontrol faktörleri ve etkileşimlerinin takım ömrü üzerindeki etkileri üç boyutlu (3D) yüzey kontur grafikleri ile açıklanmıştır. Aşınmış uçların tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri incelenerek takım aşınma tipleri belirlenmiştir.

Isıl işlemsiz Ç52100 rulman çeliğinin işlenmesinde en iyi takım ömrü performansını kaplamalı seramik takımlar sağlamış bunu kaplamasız seramik ve kaplamalı karbür takımlar izlemiştir. Küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin işlenmesinde ise kaplamalı karbür takımlar daha iyi takım ömrü performansı sergilemiştir. Küreselleştirilmiş rulman çeliğinin işlenmesinde genel olarak tüm takımlarda düzenli yanak aşınması oluşmakta iken, ısıl işlemsiz rulman çeliğinin işlenmesinde yanak ve krater aşınması anlamlı bir şekilde artmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Takım ömrü, takım aşınması, Taguchi tekniği, seramik kesici takım, kaplamalı karbür takım.

## THE INVESTIGATION OF TOOL LIFE AND WEAR IN THE MACHINING OF NON-HEAT TREATED AND SPHEROIDIZED AISI52100 BEARING STEEL WITH DIFFERENT CUTTING TOOLS

### ABSTRACT

In this study, the effects of main cutting parameters and the effects of work piece hardness and tool hardness on tool life and tool wear have been investigated in the machining of non-heat treated and spheroidized AISI52100 bearing steel by different cutting tools. Three types of cutting tools were used for the present work. These were mixed alumina ceramic with an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (70%) +TiC (30%) matrix, PVD-TiN coated mixed ceramic with a matrix of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (70%) +TiC (30%) and CVD Ti(C, N) +Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Ti(C, N) +TiN coated carbide tools. Machining tests were carried out under dry condition. Taguchi experimental design technique was used and L<sub>18</sub> (2<sup>1</sup>x3<sup>7</sup>) orthogonal array was selected to problem conveniently. Effects of control factors and their interactions on tool life were explained by three dimensional (3D) surface contour graphs. Types of tool wear were determined by observation of shown worn surfaces with a scanning electron microscope (SEM).

Ceramic cutting tools showed the best tool life performance than the other tools in the machining of non-heat treated AISI52100 bearing steel and uncoated ceramic and coated carbide tools followed it, respectively. On the

other hand; coated carbide tools showed better tool life performance than others in the machining of spheroidized AISI52100 bearing steel. Whereas a uniform-regular flank wear was occurred in the machining of spheroidizing bearing steel with the all tools in general, flank wear and crater wear was increased significantly in the machining of non-heat treated bearing steel.

**Keywords:** Tool life, tool wear, Taguchi technique, ceramic cutting tool, coated carbide tool.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çelikler ısıtılarak işlemsiz olarak kullanıldığı gibi farklı ısıtma işlemleri uygulanarak mikroyapıları değiştirilir ve yüksek sertlik, yüksek işlenebilirlik oranları gibi özellikler kazandırılır. Isıtılarak işleme hazırlanmış çelikler otomotiv, dişi, rulman, takım, kalıp endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1-5]. Çeliklere uygulanan ısıtma işlemlerinden biri de küreselleştirme ısıtma işlemidir. Küreselleştirme ısıtma işlemi, çelikleri  $Ac_1$  sıcaklık çizgisine civarında uzun süre tuttukten ve bu bölgede salınımlı olarak tavladıktan sonra, yavaş soğutma ile karbürlerin küresel şekle dönüştürülmesi işlemidir. Tavlama işlemi, ötektoid üstü çelikler için sert ve gevrek sementit tanelerinin bulunması nedeniyle işlenmeye elverişli değildir. Bu tür çeliklerin işlenmesini kolaylaştırmak ve sünekliğini artırmak amacıyla da küreselleştirme ısıtma işlemi uygulanır. Küreselleştirme işlemi, daha çok yüksek karbonlu çeliklere uygulanır. AISI52100 rulman çeliği de hacimce % 0.98-1.10 C ve % 1.3-1.6 Cr içeren ve daha yüksek işlenebilirlik oranları için küreselleştirme ısıtma işlemi uygulanan yüksek karbonlu bir çeliktir. Küreselleştirme tavlama sırasında tavlama süresinin iyi ayarlanması gerekir. Eğer çelik, gereğinden daha uzun süre tavlansa sementit parçacıkları birleşerek uzama gösterirler ve bu durum çeliğin işleme kabiliyetini olumsuz etkiler [6].

Sertleştirilmiş çelikler geleneksel olarak taşlama işlemleriyle işlenirler. Fakat taşlama operasyonları oldukça fazla işleme süresi gerektirmekte ve üretilebilecek geometriler sınırlıdır. Son yıllarda gelişmiş kesici takım malzemelerindeki gelişmelerle birlikte taşlama işlemine gerek kalmadan sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde anlamlı artışlar olmuştur. Sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde en önemli problemlerden biri malzeme sertliğinin sebep olduğu takım aşınmalarıdır. Kaplamalı karbür, seramik ve kübik bor nitrür (CBN) takımlar sahip oldukları kendilerine ait özellikler nedeniyle bu aşınmalara karşı dayanım sağlamaktadırlar [1-5]. Kaplamalı karbürlerde özellikle kaplama; kesme kuvvetini, oluşan ısıyı ve aşınmayı büyük oranda azaltarak geçici bir yağlayıcı görevi yapmaktadır. Seramiklerin yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon direnci ve sıcak sertlik performansları dolayısıyla takım aşınması miktarı azalmakta ve özellikle işlenmesi zor olan malzemelerin 300 m/dak'dan daha büyük kesme hızlarında işlenmesi mümkün olmaktadır [7,8]. CBN' ler de yönlü olmayan bütün doğrultularda üniform sertlik ve abrasif direnç sağlayan yapısı ile çatlamaya, çitlamaya karşı mükemmel

özelliklere sahiptir. Bu nedenle tornalama ve frezelemede sıkça kullanılırlar [8].

Ç52100 (AISI52100, 100Cr6) rulman çeliği üzerinde karbür, seramik ve CBN takımların takım ömrü ve aşınma davranışları üzerinde yapılan çalışmalar önemini korumaktadır. Kaplamasız, kaplamalı ve CBN takımlarla sertleştirilmiş AISI52100 çeliğinin yüksek kesme hızlarında işlenmesinde TiN ve TiAlN seramiklerin kaplama katmanı üzerinde mikro boyutta çitlamalar oluşmaktadır. CBN takımlarda ise kaplama katmanı deforme olarak pürüzlü bir krater yüzeyi oluşmaktadır. CBN takımlarda oluşan bu aşınma ile kaplamasız seramik takımlarda oluşan aşınma desenleri birbirine benzemektedir [9]. Sertleştirilmiş aynı malzeme üzerinde CBN takımların kullanıldığı bir başka çalışmada takım geometrisi, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmuştur. Özellikle daha büyük şekilde honlanmış kenarlar daha yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değerleri vermiştir. Buna ek olarak daha büyük honlanmış kenarlar küçük honlanmış kenarlarına göre daha yüksek eksenel, radyal ve teğetsel kuvvetler oluşturmuşlardır [10]. Sertleştirilmiş 100Cr6 rulman çeliğinin (62-64 HRC) parçacık takviyeli alümina seramik ve CBN takımlarla sürekli olarak işlenmesinde en iyi takım ömrü ve yüzey pürüzlülük sonuçları CBN takımlarla elde edilmişken, karma alümina takımlarla düşük ilerleme miktarlarında, parçacık takviyeli alümina takımlarda ise ilerleme miktarı artırıldığında takım ömrü değerleri artmış ve yüzey pürüzlülükleri iyileşmiştir. Ayrıca, çalışmada elde edilen  $R_a$  yüzey pürüzlülük değerleri 0.25  $\mu m$ 'den küçük çıkmıştır [11]. Isıtılarak sertliği 54 HRC' ye çıkarılmış üç farklı çeliğin ve 100Cr6 çeliğinin CBN takımlarla işlenmesinde en büyük aşınma oranları 100Cr6 çeliğinin işlenmesinde oluşmuştur. Abrasyon aşınma mekanizmasının etkin aşınma mekanizması olduğu rapor edilmiştir. Çeliklerin içerisinde yer alan karbürler aşınmanın ana nedeni olarak bulunmuştur. Talaş çalışmalarında, bu çeliklerin işlenmesinde beyaz katmanın farklı miktarlarına da rastlandığı rapor edilmiştir [12]. Bu çalışmanın devamı olan ve aynı araştırmacılar tarafından yapılan bir başka çalışmada ise abrasyon aşınma mekanizması, karbürlerin yapısı, büyüklüğü ve sıklığıyla ilişkilendirilmiştir. Takım aşınması ve talaş oluşumları kesme hızı ve iş parçası sertliğinden etkilenmiştir. Kesme hızının artmasıyla takım ömrü düşmüştür. Yine, iş parçası malzemesine bağlı olarak CBN içeriği ve bağlayıcı seçiminin takım ömrü üzerinde etkili olacağı rapor edilmiştir. CBN içeriğinin artmasıyla takımın aşınma dayanımının artacağı savunulmuştur [13].

Farklı soğutma teknikleri ve soğutma sıvısı seçimleri de takım performansını etkilemektedir. TiN kaplı CBN takımların kullanıldığı çalışmada, hacimsel olarak farklı minimum yağ oranına sahip kesme sıvılarıyla, basınçlı hava ve kuru kesme şartlarında AISI52100 rulman çeliği işlenmiştir. Kuru kesme şartlarında ve farklı minimum yağ oranına sahip kesme sıvılarıyla yapılan işlemlerde benzer yanak aşınması değerleri elde edilmiş ve bu aşınma değerleri sulu işlemeden daha düşük çıkmıştır. Yine, kuru kesme ve farklı oranlarda yağ oranına sahip kesme sıvıları ile yapılan işlemlerde daha düşük değerlerde yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Araştırmada, en iyi soğutma ve yağlama etkisi basınçlı hava uygulanarak kuru kesme şartları altında sağlandığı rapor edilmiştir [14].

Ç52100 çeliğinin farklı kesici takımlarla işlenmesinde, sonlu elemanlar yöntemiyle malzeme yumuşama tahminsel modelleri [15], metal kesme modelleri [16], genetik algoritma ile takım geometrilerinin etkilerini de içeren eğik kesme talaş oluşum kuvvet modeli [17], talaş akışı ve oluşumu [18-23], takım ömrü, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması [19, 24] modelleri geliştirilmiştir. Yüksek hızlarda tornalanmış yüzey ve malzeme özelliklerinin aşınma performansları üzerine etkisini analiz etmek amacıyla süreç performans modeli ile yanak ve talaş yüzeyi üzerindeki kinematik, gerinim dağılımı ve sıcaklık değişimlerinin formülize edilmesi ise diğer modelleme çalışmalarındandır [1, 23]. Modellerin sunmuş olduğu tahminsel değerler ile deneysel sonuçlar oldukça yakın çıkmıştır.

Bu çalışmada, ısıl işlemsiz ve küreselleştirilmiş Ç52100 çeliğinin kaplamalı karbür, kaplamasız ve kaplamalı seramik takımlarla işlenmesinde ana kesme parametreleri ile iş parçası ve takım sertliklerinin, takım ömrü ve takım aşınması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, aşınmış uçların SEM görüntüleri incelenerek takım aşınma tipleri belirlenmiştir.

## 2. MALZEME VE METOD (MATERIALS AND METHOD)

### 2.1. Deneysel Numuneleri (Test Specimen)

İşlenebilirlik deneylerinde Ø45x250 mm boyutlarında ısıl işlemsiz Ç52100 ve küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çelikleri kullanılmıştır. Numunelere ait kimyasal bileşim Tablo 1'de verilmiştir. Deneysel iş parçaları TSE 10329 esas alınarak boy/çap oranı kriteri 10/1 olacak şekilde hazırlanmıştır [25].

Küreselleştirme ısıl işlemleri Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de atmosfer kontrollü sürekli tavlama fırınında yapılmıştır. Sürekli tavlama fırını sekiz bölgeden oluşmakta olup bir seferde 930 kg şarj yapılabilmekte ve bir sepetin geçiş süresi 70 dak'dır. Ç52100 çeliğine uygulanan küreselleştirme ısıl işleminin şematik özeti Şekil 1'de gösterilmiştir.

Sertlik ölçümlerinde Instron-Wolpert marka Diatestör 7551 model sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Isıl işlemsiz, haddelenmiş durumdaki Ç52100 çeliğinin sertlik değeri on farklı nokta üzerinden yapılan ölçüm sonucu ortalama 356 HV olarak belirlenmiştir. Küreselleştirilmiş Ç52100 çeliğinin sertlik ölçümü ortalama 196 HV olarak belirlenmiştir [8].

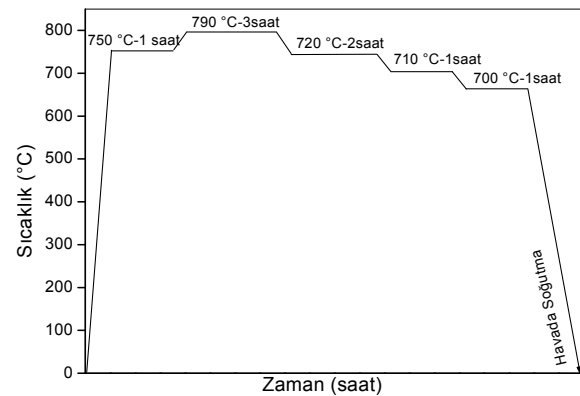
**Tablo 1.** Ç52100 rulman çeliğinin kimyasal bileşimi, % Ağırlık [8]. (Chemical composition of AISI52100 steel, Wt. %)

Element	% Ağırlık	Element	% Ağırlık
Karbon (C)	0.99	Silisyum (Si)	0.16
Mangan (Mn)	0.39	Krom (Cr)	1.40
Alüminyum (Al)	0.011	Kalay (Sn)	0.006
Fosfor (P)	0.014	Kükürt (S)	0.006
Molibden (Mo)	0.03	Nikel (Ni)	0.10
Titanyum (Ti) PPM	10	Bakır (Cu)	0.10
(N) (PPM)	82	O <sub>2</sub> (PPM)	6

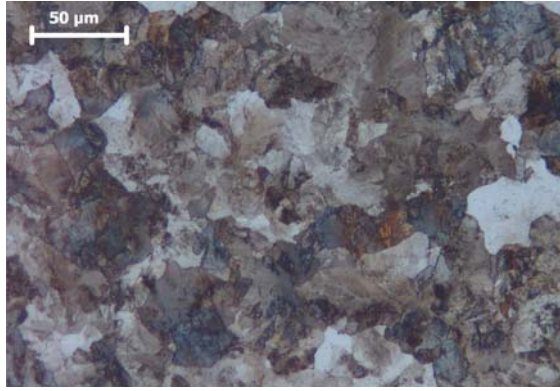
Numuneler standart metalografik yöntemlerle (Zımparalama + Polisaj) metalografik inceleme için hazırlanmıştır. Dağlayıcı olarak % 2'lik Nital çözeltisi kullanılmıştır. Bütün mikroyapıların görüntülenmesinde Leica DFC 320 dijital kamera bağlantılı Leica DM 4000 M marka optik mikroskop kullanılmıştır. Mikroyapı fotoğrafları Şekil 2'de verilmiştir. Haddelenmiş koşullardaki Ç52100 deney malzemesinin mikroyapısı ferrit ve perlitten oluşmaktadır (Şekil 2.a). Küreselleştirilmiş numunede ise ferrit matriste Fe<sub>3</sub>C'nin küreselleştiği ve değişik parçacık boyutlarında küresel sementitten meydana geldiği görülmektedir (Şekil 2.b).

### 2.2. Kesici Takımlar, Takım Tutucu ve CNC Takım Tezgâhı (Cutting Tools, Tool Holder and CNC Machine)

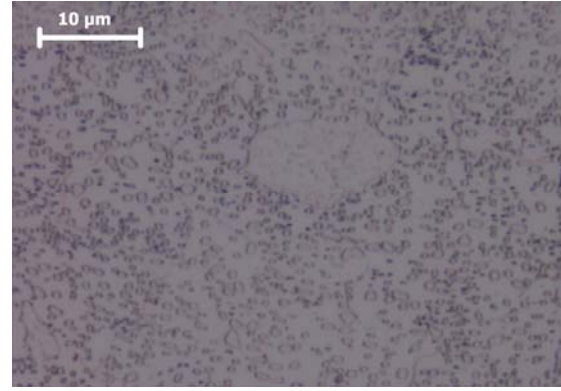
Seramik kesici takım olarak Kennametal ticari, kaplamasız seramik (KY1615) ve kaplamalı seramik (KY4400) uçlar kullanılmıştır. KY1615, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiC matris esaslı olup oldukça yüksek sertlik ve aşınma dayanımına sahiptir. KY4400, PVD tekniği ile üretilmekte ve matrisi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiCN (P01-05, K01-K10)



**Şekil 1.** Ç52100 çeliğine uygulanan küreselleştirme ısıl işleminin şematik özeti [8]. (Schematic summary of spheroidizing applied AISI52100 steel)



a) Isıl işlemsiz



b) Küreselleştirilmiş

**Şekil 2.** Isıl işlemsiz ve küreselleştirilmiş Ç52100 çeliğinin mikroyapısı a)Isıl işlemsiz (orta bölge), b) Küreselleştirilmiş (orta bölge) [8]. (Microstructures of non-heat treated and spheroidized AISI52100 steel. a) Non-heat treated (middle section), b) Spheroidized (middle section))

oluşturmaktadır. Seramik kesici uçlar TNGA 160408 takım geometrisine sahip olup talaş kırıcısızdır [26].

Sinterlenmiş kaplamalı karbür olarak ise SECO ticari firması tarafından üretilen TP1000 kalitesi tercih edilmiştir. TP1000 kalitesi, kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve azaltılmış sıcaklıkta kimyasal buharlaştırma (MTCVD) teknikleri ile üretilmiş olup; Ti(C,N) alt katman, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Ti(C,N) orta katmanları ve TiN üst katmanlarından oluşmuştur. Kuru işlemede ve yüksek kesme hızında talaş kaldırmada mükemmel performans sergilemektedir. Kaplamalı karbür kesici uçlar; TNMG 160408 takım ve MF2 talaş kırıcı geometrisine sahiptir [27].

İşlenebilirlik deneylerinde SECO-PTBNR2525 ticari takım tutucular tercih edilmiştir. Değiştirilebilir uçlar ISO 1832'ye uygun olup takım tutucu biçimi ise ISO 5608 referans alınarak seçilmiştir. Talaş kaldırma deneyleri Johnford TC35 (Tezgâh gücü 6 kW, devir sayısı maksimum 4000 dev/dak,) sanayi tipi CNC torna tezgâhında yapılmıştır.

### 2.3. Deneysel Prosedür (Experimental Procedure)

Bu çalışma, Ç52100 rulman çeliğinin kaplamalı karbür, kaplamasız ve kaplamalı seramik takımlarla işlenmesinde kesme parametrelerinin yanı sıra kesici takım ve iş parçası sertliğinin de takım ömrü üzerinde etkilerini analiz etmek ve oluşan aşınma tiplerini belirlemek üzerinedir. Bu çalışmanın planlanma aşamasında bir bütün olarak ayrıca tahminsel takım ömrü ve yüzey pürüzlülük denklemleri geliştirmek, talaş biçimlerini de incelemek hedeflenmiş ve gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla takım ömrü deneylerinde Taguchi tekniği, yüzey pürüzlülük deneylerinde ise Yanıt Yüzey Tekniği (Response Surface Method-RSM) kullanılmıştır. Taguchi tekniğinin kullanıldığı takım ömrü deneylerinde, kesme hızı (V), ilerleme miktarı (f), talaş derinliği (d), iş parçası malzemesi sertliği (İP) ve kesici takım sertliği (KT) kontrol faktörleri olarak seçilmiş ve seviyeleri belirlenmiştir (Tablo 2). KY1615, KY4400 ve TP1000 takımın sertlikleri sırasıyla 2145 HV, 2250 HV ve 1660 HV olarak ölçülmüş ve deneysel tasarımda tabloya yerleş-

**Tablo 2.** Kontrol faktörlerinin seviyeleri ve deneysel sonuçlar. (The levels of control factors and experimental results)

D. N.	Seviyeler					Kontrol Faktörlerinin Değerleri					T (dak)
	İP	V	f	d	KT	İP (HV)	V (m/dak)	f (mm/dev)	d (mm)	KT (HV)	
1	1	1	1	1	1	356	178	0.11	0.44	2145	68.54
2	1	1	2	2	2	356	178	0.166	0.66	2250	71.80
3	1	1	3	3	3	356	178	0.25	1.0	1660	6.12
4	1	2	1	1	2	356	267	0.11	0.44	2250	34.32
5	1	2	2	2	3	356	267	0.166	0.66	1660	4.98
6	1	2	3	3	1	356	267	0.25	1.0	2145	14.13
7	1	3	1	2	1	356	400	0.11	0.66	2145	5.71
8	1	3	2	3	2	356	400	0.166	1.0	2250	10.29
9	1	3	3	1	3	356	400	0.25	0.44	1660	1.16
10	2	1	1	3	3	196	178	0.11	1.0	1660	65.33
11	2	1	2	1	1	196	178	0.166	0.44	2145	18.42
12	2	1	3	2	2	196	178	0.25	0.66	2250	8.11
13	2	2	1	2	3	196	267	0.11	0.66	1660	33.46
14	2	2	2	3	1	196	267	0.166	1.0	2145	8.54
15	2	2	3	1	2	196	267	0.25	0.44	2250	4.26
16	2	3	1	3	2	196	400	0.11	1.0	2250	2.62
17	2	3	2	1	3	196	400	0.166	0.44	1660	8.03
18	2	3	3	2	1	196	400	0.25	0.66	2145	4.25

tirilmiştir. Probleme uygun ortogonal dizi  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  seçilmiştir [28]. İşlenebilirlik deneylerinde her deney öncesi yeni bir uç kullanılmıştır. Ortalama yanak aşınma kriteri,  $VB=0.3$  mm alınmıştır.

Geliştirilen takım ömrü ve yüzey pürüzlülük denklemleri ve talaş incelemeleri bu çalışmanın tamamlayıcısı olarak diğer çalışmalarda sunulacaktır.

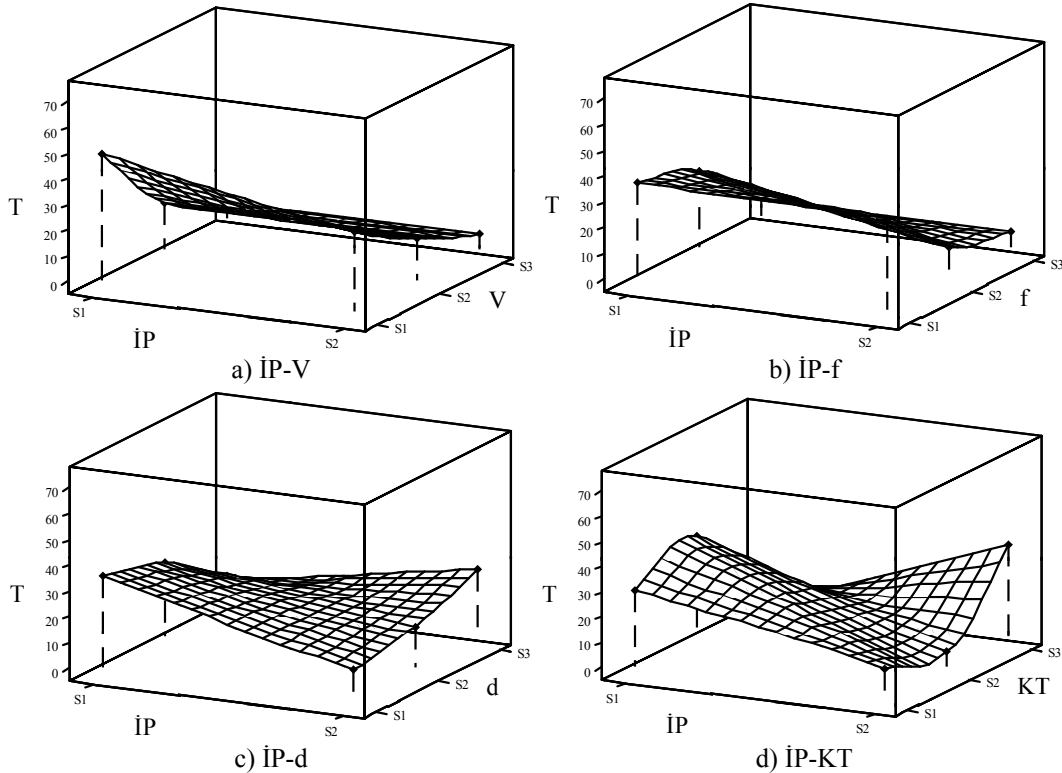
### 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

#### 3.1. Takım Ömrü Üzerinde Kontrol Faktörlerinin Etkileri (The Effects of Control Factors on Tool Life)

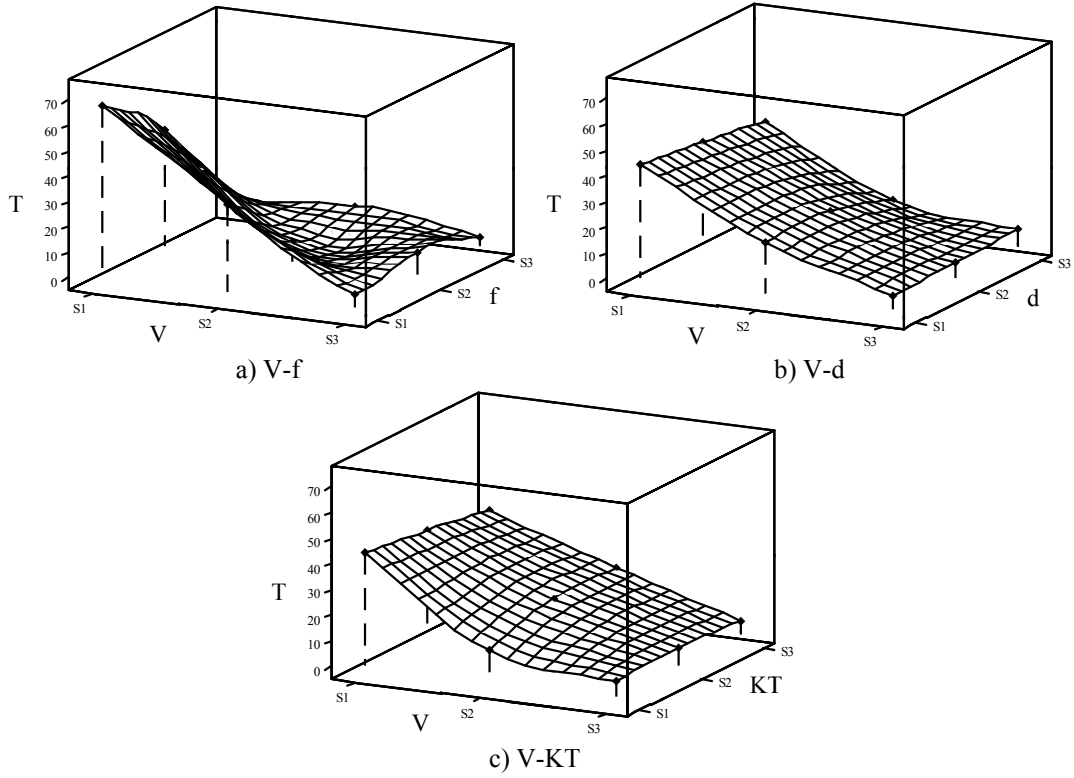
Takım ömrü üzerinde kontrol faktörlerinin etkileri değerlendirilirken sırasıyla tüm kontrol faktörlerinin birbiriyle etkileşimleri esas alınmıştır. Şekil 3'te iş parçası (İP) ana faktörü ile diğer faktörlerin etkileşimlerinin takım ömrü üzerindeki etkileri üç boyutlu yüzey grafikleri ile verilmiştir. Yüzey grafiklerinde her kontrol faktörünün seviyesi S1, S2, S3 gösterimleriyle belirtilmiş olup bu gösterimlerin sayısal değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Her iki iş parçasının işlenmesinde de kesme hızının artmasıyla takım ömrü azalmaktadır (Şekil 3.a). Küreselleştirilmiş Ç52100 çeliğinin işlenmesinde düşük ilerleme miktarlarında yüksek takım ömrü elde edilmekte iken orta değer ve yüksek değerlerde ilerleme miktarlarında takım ömrü düşmektedir [11] (Şekil 3.b).

Isıl işlemsiz Ç52100 çeliğinin işlenmesinde talaş derinliği (d, mm) arttıkça takım ömrü düşmekte iken

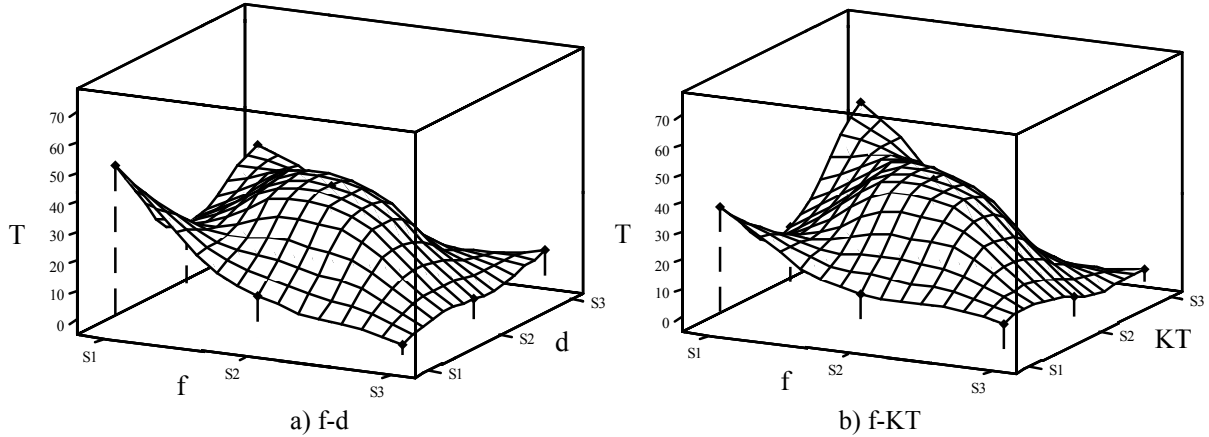
küreselleştirilmiş Ç52100 çeliğinin işlenmesinde bu durum tam tersi olmuştur (Şekil 3.c). İşlenen parçaların sertlik değerleri ve küreselleştirme sonrası işlenebilirliğin iyileştiği göz önünde bulundurulursa sonuç doğal karşılanabilir [29, 30]. Yüksek sertlikteki Ç52100 çeliğinin işlenmesinde en iyi kesici takım (KT) performansı KY4400 takımlarla elde edilmiş bunu sırasıyla KY1615 takımlar ve TP1000 takımlar izlemiştir (Şekil 3.d). Bu durum haddelenmiş durumdaki Ç52100 çeliğinin yüksek sertliği karşısında kesici takımların sertlikleri ve kaplama katmanları ile ilişkilendirilebilir [30]. Küreselleştirilmiş Ç52100 çeliğinin işlenmesinde ise TP1000 takımlar daha iyi takım ömrü performansı sergilemiştir (Şekil 3.d). Şekil 4.a'da kesme hızı-ilerleme miktarı etkileşimi incelendiğinde ilerleme miktarı ve kesme hızı değerlerinin birlikte artırılmasıyla takım ömrü anlamlı bir şekilde düşmüştür. Kesme hızı ve talaş derinliği etkileşimi incelendiğinde kesme hızının tüm seviyelerinde talaş derinliğinin etkili olmadığı görülmektedir (Şekil 4.b). Kesme hızının artmasıyla takım ömrü performansları düşmüştür [30] (Şekil 4.c). Talaş derinliğinin en düşük ve en yüksek değerinde ilerleme miktarının artmasıyla takım ömrü de artmıştır Orta değerlerdeki talaş derinliklerinde ise ilerleme miktarının da orta değerde seçilmesiyle takım ömrü değerleri yüksek çıkmıştır (Şekil 5.a). Kesici takımların ilerleme miktarına bağlı olarak takım ömrü performansları değerlendirildiğinde KY1615 takımların performansı, ilerleme miktarının artmasına bağlı olarak düşmüştür. TP1000 takımlarda benzer eğilimde performans sergilemektedirler. Fakat, KY4400 takımlarla özellikle orta



Şekil 3. İş parçası ile kontrol faktörleri arasındaki etkileşimler ve takım ömrü üzerindeki etkileri (Interactions between workpiece and control factors and their effects on tool life)



**Şekil 4.** Kesme hızı ile kontrol faktörleri arasındaki etkileşimler ve takım ömrü üzerindeki etkileri (Interactions between cutting speed and control factors and their effects on tool life)



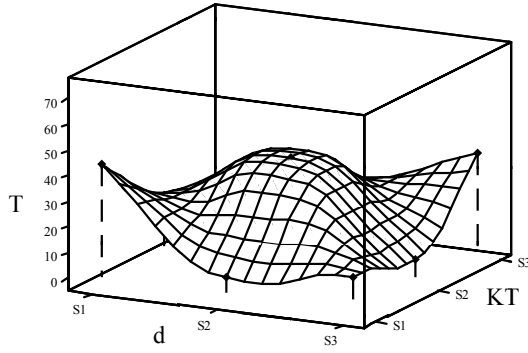
**Şekil 5.** İlerleme miktarı ile kontrol faktörleri arasındaki etkileşimler ve takım ömrü üzerindeki etkileri (Interactions between feed rate and control factors and their effects on tool life)

değerlerdeki ilerleme miktarlarında yüksek takım ömrü elde edilirken düşük ve yüksek ilerleme miktarlarında takım ömrü performansları düşmektedir [30] (Şekil 5.b).

Şekil 6'da talaş derinliği ile kesici takım etkileşiminin takım ömrü üzerinde yarattığı etki görülmektedir. KY1615 takımlar, düşük talaş derinliklerinde yüksek takım ömrü performansı sergilemektedirler. KY4400 takımlar ise orta değerlerdeki talaş derinliklerinde daha iyi takım ömrü performansı sağlamaktadırlar. Düşük talaş derinliklerinde takım ömrü düşük çıkmıştır. Çünkü çıkan sürekli talaş tipi kesici takıma dolanmakta ve özellikle yüksek kesme hızlarında kesme bölgesine zarar vermektedir [8].

### 3.2. Isıl İşlemsiz Ç52100 Çeliğinin İşlenmesinde Takım Aşınmalarının İncelenmesi (Observation of Tool Wear in The Machining of Non-Heat Treated AISI52100 Steel)

Şekil 7.a'da ısıtılmamış Ç52100 çeliğinin kaplamalı karbür TP1000 takımla düşük kesme hızı fakat yüksek ilerleme miktarı ve talaş derinliğinde işlenmesinde aşınmış takım yüzeyinin tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmektedir. Yanak aşınması (VB) düzgün olarak aşınmış ve belirgin bir krater aşınması oluşmamıştır [30]. Talaş akış yüzeyinde kaplama katmanının kırıldığı görülmektedir. Kopan katmanın boyutu yaklaşık olarak 100-140 µm genişliğinde ve 500-600 µm uzunluğundadır. Orta kesme şartlarında işlemede birden fazla aşınma tipinin



**Şekil 6.** Talaş derinliği ile kesici takım arasındaki etkileşim ve takım ömrü üzerindeki etkileri. (Interaction between dept of cut and cutting tool and its effects on tool life)

oluşturduğunu göstermektedir. Aşınmanın düzenli dağıldığı bir yanak aşınması, kaplama katmanının koptuğu ve aşınmanın ana katmana ulaşılmasıyla oluşan ve derinliği az olan yaklaşık 200 µm uzunluğunda krater aşınması başlangıcı ve kesme kenarının deformasyonu şeklinde oluşan aşınma tipleri görülmektedir (Şekil 7.b). Yine aynı şekilde kesme kenarında mikro boyutta çatlamların oluştuğu ve ergimiş iş parçası malzemesinin çok az miktarda kesme kenarında yapıştığı görülmektedir. Kaplamasız seramik KY1615 takımla orta kesme hızı fakat yüksek ilerleme miktarı ve talaş derinliğinde işlemede ise krater aşınması oluşmuştur [9, 14] (Şekil 7.c). Düzgün bir şekilde oluştuğu gözlemlenen bu krater aşınması ısılsız halde kötü işlenebilirliğe sahip Ç52100 çeliğinin sertliği (356 HV) ile de ilgilidir [6, 29]. Çünkü bu sertlikteki bir iş parçası malzemesi abrasif aşınma etkisi yaratmaktadır. Aynı zamanda bu krater aşınması oluşumu, kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesinin birbiri ile birleşme eğilimi şeklinde oluşan difüzyon aşınma mekanizmasına da atfedilebilir. Aynı kesici takım düşük ilerleme miktarlarında fakat yüksek kesme hızlarında kullanıldıklarında kesme hızının etkisiyle kesici takım uç yarıçapına yakın bölgede burun aşınması oluşmakta ve burun aşınması krater aşınması ve yanak aşınmasıyla birleşmektedir. Yaklaşık 700 µm boyuta ulaşmaktadır. Hatta, yüksek kesme hızından dolayı oluşan sıcaklığın etkisiyle plastik deformasyon meydana gelmektedir. Ayrıca, kesme hızının etkisiyle krater derinliği arttığı da gözlemlenmektedir (Şekil 7.d). Kaplamalı seramik KY4400 takımla orta kesme hızı fakat düşük ilerleme miktarı ve talaş derinliği değerlerinde işlendiğinde oluşan yanak aşınması kaplamasız seramik takımlarla benzerdir [14]. Oluşan krater aşınması derinliği ve boyu daha az olmakla birlikte krater boyu yaklaşık 400 µm civarındadır. Yine, krater aşınması ile yanak aşınması pahlı kesme kenarı bölgesinde birleşmiştir. Kesme kenarı bu kesme şartlarında plastik deformasyona uğramamıştır (Şekil 7.e). Aynı kesici takımda kesme hızı ve talaş derinliğinin artırılmasıyla özellikle talaş akış kontrolünün yeterince sağlanamaması nedeniyle kesme derinliğinin bittiği yanak aşınma bölgesinde kesme süresinin sonlarına doğru talaşların yarattığı

darbe etkisi ile kaplama katmanı kırılarak yan kesme kenarı formunu yitirmiştir. Yüksek kesme şartları sonucu krater derinliğinin arttığı da görülmektedir. Ayrıca, kesme kenarında ergiyen iş parçaları kaplama katmanına yapışmıştır (Şekil 7.f).

### 3.3. Küreselleştirilmiş Ç52100 Çeliğinin İşlenmesinde Takım Aşınmalarının İncelenmesi (Observation of Tool Wear in The Machining of Spheroidized AISI52100 Steel)

Şekil 8'de küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin farklı takımlarla işlenmesinde oluşan aşınma şekilleri görülmektedir. Talaş derinliğinin fazla olmasına rağmen düşük kesme hızı ve ilerleme miktarında kaplamalı karbür TP1000 takım mükemmel aşınma dayanımı sergilemiştir. Küreselleştirme sonrası artan işlenebilirlik oranı ve düşen sertlik nedeniyle doğal, düzenli yanak aşınması oluşmuştur [6, 29]. Yan kesme kenarında talaş derinliğinin bittiği bölge incelendiğinde kesme kenarının deforme olduğu kaplama katmanında mikro boyutta kırılmaların olduğu görülmektedir. Ayrıca yine uç yarıçapına yakın bölgede, ergimiş iş parçası kesme kenarına difüze olmuştur [9] (Şekil 8.a). Orta kesme hızlarında ise kesici takım burun yarıçapında ve yan kesme kenarında kopmalar olmuştur. Artan kesme hızına ( $V=267$  m/dak) ve orta hacimde talaş kaldırmaya bağlı olarak termal şoktan kaynaklanmış, yan kesme kenarının alt kısmında, kenara paralel olarak uzanmış kırılmaların oluştuğu görülmektedir (Şekil 8.b). Kaplamasız seramik takım KY1615 yine orta ve yüksek kesme hızlarında karbür takımlar gibi düzenli yanak aşınması sergilemiştir. Her iki kesme hızında da krater aşınması oluşmuş, kesme hızının artmasıyla krater derinliği artmıştır (Şekil 8. c ve d). Kaplamalı seramik takımla düşük ve orta kesme hızlarında işlemede diğer takımlarda olduğu gibi düzenli yanak aşınması ve kesme hızının artmasıyla artan krater aşınması oluşmuştur (Şekil 8.e ve f).

## 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Isıl işlemsiz ve küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin kaplamalı karbür, kaplamasız seramik ve kaplamalı seramiklerle işlenmesinde takım ömrü ve aşınması üzerinde kontrol faktörlerinin etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada;

- Her iki iş parçasının işlenmesinde de kesme hızı ve ilerleme miktarının artırılmasıyla takım ömrü düşmüştür.
- İlerleme miktarına göre kesici takımların performansı değerlendirildiğinde kaplamasız seramik takımların takım ömrü performansı artan ilerleme miktarlarıyla düşmüştür. Benzer eğilimi karbür takımlarda sergilemişlerdir. Kaplamalı seramik takımlar ise özellikle orta değerlerdeki ilerleme miktarlarında mükemmel performans sergilemişlerdir.



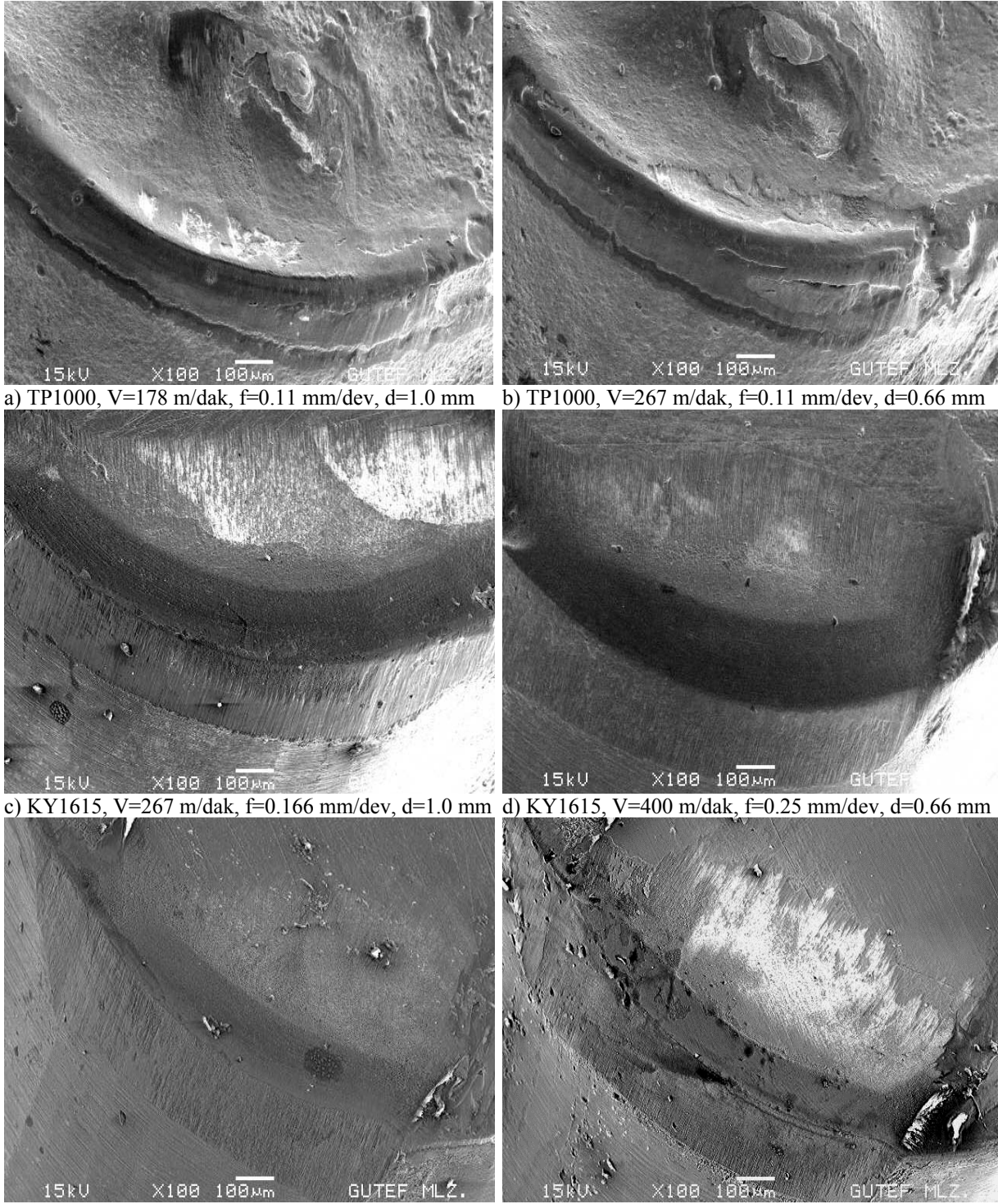
Isıl işlemsiz Ç52100 çeliğinin işlenmesinde talaş derinliği arttıkça takım ömrü düşmekte iken küreselleştirilmiş Ç52100 çeliğinin işlenmesinde ise talaş derinliğinin artırılmasıyla takım ömrü artmıştır. Çünkü artan talaş derinliklerinde sürekli talaş tipi kırıklı talaş tipine dönüşerek takım ömrü üzerindeki olumsuz etkisi ortadan kalkmıştır.

iii. Her iki malzemenin işlenmesinde de kaplamasız seramikler düşük talaş derinliklerinde; kaplamalı

seramikler ise orta değerdeki talaş derinliklerinde daha iyi takım ömrü performansı sağlamaktadırlar.

iv. Yüksek sertlikteki ısıl işlemsiz Ç52100 çeliğinin işlenmesinde en iyi takım performansını kaplamalı seramik takımlar sağlamış bunu kaplamasız seramik ve kaplamalı karbür takımlar izlemiştir.





**Şekil 8.** Küreselleştirilmiş Ç52100 çeliğinin işlenmesinde karbür ve seramik aşınmış takımların SEM görüntüleri (SEM pictures of carbide and ceramic worn tools in the machining of spheroidized AISI52100 steel)

Küreselleştirilmiş Ç52100 çeliğinin işlenmesinde ise kaplamalı karbür takımlar daha iyi takım ömrü performansı sergilemiştir.

- v. Isıl işlemsiz çeliğin kaplamalı karbürle işlenmesinde yanak aşınması, krater aşınması, çıtlama ve ergimmiş iş parçasının kesme kenarına yapıştığı görülmüştür. Kaplamasız seramik takımlarla işlemede burun, yanak, krater aşınması ve plastik deformasyon oluşmuştur. Artan kesme hızlarıyla

krater derinliği de artmıştır. Kaplamalı seramik takımla kesmede ise oluşan aşınma şekilleri kaplamasız seramiklere benzer fakat krater ve yanak aşınmasının boyutları daha az olmuştur.

- vi. Küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin kaplamalı karbürle işlenmesinde düzenli yanak aşınması oluşmuş, kaplama katmanında kırılmalar ve uç yarıçapına yakın bölgede difüzyon aşınma mekanizması oluşmuştur. Yüksek kesme

hızları ve büyük hacimde talaş kaldırılmasına bağlı olarak termal şoktan dolayı termal çatlaklar oluşmuştur. Seramik kesici takımlarda ise sadece yanak aşınması ile krater aşınması gözlenmiştir. Kesme hızının artırılmasıyla krater derinliği artmıştır.

Sadece kontrol faktörlerinin etkilerinin değerlendirildiği ve takım aşınmalarının incelendiği bu çalışmayı tamamlaması açısından bu çalışmanın bünyesinde ayrıca çalışmış olan takım ömrü, yüzey pürüzlülük denklemleri ve oluşan talaş biçimlerinin değerlendirilmesi diğer bir çalışmada sunulacaktır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu deneysel çalışmanın TEF-07/2003-38 nolu proje ile finansal desteğini sağlayan Gazi Üniversitesi Rektörlüğü'ne, deney numunelerini ve deney numunelerinin ısıtılmasını gerçekleştiren Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkür ederim.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Huang, Y. L. ve Steven Y. "CBN Tool Wear Modeling in Finish Hard Turning", **2003 ASME International Mechanical Engineering Congress**, Washington, DC., United States, Proceedings of the ASME Manufacturing Engineering Division, 193-200, 2003.
- Poulachon, G., Bandyopadhyay, B.P., Jawahir, I.S., Pheulpin, S. ve Seguin, E., "Wear Behavior of CBN Tools While Turning Various Hardened Steels", **Wear**, Cilt 256, 302-310, 2004.
- Tönshoff, H.K., Arendt, C. ve Amor, R. B., "Cutting of Hardened Steel", **CIRP Annals**, Cilt 49, No 2, 547-566, 2000.
- Byrne, G., Dornfeld, D. ve Denkena, B., "Advancing Cutting Technology", **CIRP Annals**, Cilt 52, No 2, 483-507, 2003.
- Klocke, F., Brinksmeier, E. ve Weinert, K., "Capability Profile of Hard Cutting and Grinding Processes", **CIRP Annals**, Cilt 54, No 2, 557-580, 2005.
- Smith, W.F. **Structure and Properties of Engineering Alloys**, Mc Graw-Hill, NewYork., 1993, Çev.: Dr. Mehmet Erdoğan, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2000.
- Komanduri, R. ve Samanta, S.K., **Ceramics, Metals Handbook-Machining-16. Ninth Edition**, ASM International, Materials Park, Ohio, 98-104, 1989.
- Motorcu, A.R., **Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 Çeliklerinin Farklı Takımlarla İşlenebilirliği ve Modeller Geliştirilmesi**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- Dawson, T.G. ve Kurfess, T.R., "Machining Hardened Steel with Ceramic-Coated and Uncoated CBN Cutting Tools", **Society of Manufacturing Engineers**, Cilt 156, 1-7, 2002.
- Thiele, J. D. ve Melkote, S.N., "Effect of Cutting Edge Geometry and Work Piece Hardness on Surface Generation in The Finish Hard Turning of AISI52100 Steel", **Journal of Processing Technology**, Cilt 94, 216-226, 1999.
- Benga, G.C. ve Abrao, A.M., "Turning of Hardened 100Cr6 Bearing Steel with Ceramic and PCBN Tools", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 143, 237-241, 2003.
- Poulachon, G., Bandyopadhyay, B.P., Jawahir, I.S., Pheulpin ve S., Seguin, E., "The Influence of The Microstructure of Hardened Tool Steel Workpiece on The Wear of PCBN Cutting Tools", **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Cilt 43, 139-144, 2003.
- Poulachon, G., Moisan, A. ve Jawahir, I.S., "Tool-Wear Mechanisms in Hard Turning with Polycrystalline Cubic Boron Nitride Tools", **Wear**, Cilt 250, 576-586, 2001.
- Diniz, A.E., Ferreira, J.R. ve Filho, F.T., "Influence of Refrigeration/Lubrication Condition on SAE 52100 Hardened Steel Turning at Several Cutting Speeds", **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Cilt 43, 317-326, 2003.
- Jing Liu, S. ve Richard, C., "On Predicting Softening Effects in Hard Turned Surfaces-Part I: Construction of Material Softening Model", **Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME**, Cilt 127, No 3, 476-483, 2005.
- Pavel, R. ve Marinescu, I. D. "Finite Element Modeling of Chip Formation in Hard Turning Using Marc Mentat", **Transactions of the North American Manufacturing Research Institute of SME**, Cilt 32, 375-382, 2004.
- Huang, Y. L. ve Steven Y. "Modeling of Cutting Forces under Hard Turning Conditions Considering Tool Wear Effect", **Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME**, Cilt 127, No 2, 262-270, 2005.
- Davies, M.A., Burns, T.J. ve Evans, C.J., "On The Dynamics of Chip Formation in Machining Hard Metals", **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, Cilt 46, No 1, 25-30, 1997.
- Zone, C.L. ve Din, Y. C., "A Study of Cutting with A CBN Tool", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 49, No 1-2, 149-164, 1995.
- Poulachon, G., Moisan, A. L. ve Jawahir, I.S., "Evaluation of Chip Morphology in Hard Turning Using Constitutive Models and Material Property Data", **American Society of Mechanical Engineers, Manufacturing Engineering Division, MED**, Cilt 12, 179-185, 2001.
- Hunkel, M., Lubben, T., Hoffmann, F. ve Mayr, P., "Simulation of Transformation Behavior of

- Steels During Quenching”, **Progress in Heat Treatment and Surface Engineering, Proceedings of the 5th ASM Heat Treatment and Surface Engineering Conference in Europe**, Gthenburg, Sweden, 43-54, 7-9 Haziran 2000.
22. Bartha, B.B., Zawadzki, J., Chandrasekar, S. ve Farris, T.N., “Wear of Hard-turned AISI52100 Steel”, **Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science**, Cilt 36, No 6,1417-1425, 2005.
23. Poulachon, G., Moisan, A. ve Jawahir, I.S., “On Modeling The Influence of Thermo-Mechanical Behavior in Chip Formation During Hard Turning of 100Cr6 Bearing Steel”, **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, Cilt 50, No 1, 31-36, 2001.
24. Kurt, A., Şeker, U., “The Effect of Chamfer Angle of Polycrystalline Cubic Boron Nitride Cutting Tool on The Cutting Forces and The Tool Stresses in Finishing Hard Turning of AISI 52100 Steel”, **Materials and Design**, Cilt 26, 351–356, 2005.
25. TS 10329, **Torna Kalemleri-Ömür Deneyi**, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 40-44, 1992.
26. Kennametal Hertel, **Lathe Tools-Master Catalogue 2001**, Kennametal Hertel AG, Fürth, 2001.
27. Seco Tools, **Turning-Catalogue and Technical Guide**, Seco Tools AB, Fagersta, 36-64, 2002.
28. Ranjit, K.R., **A Primer On The Taguchi Method**, Competitive Manufacturing Series, Van Nostrand Reinhold, New York, A.B.D., 1990.
29. Miroslav, N., “Turning of Roll Bearing Steel 100Cr6 of Bainite Structure”, **7th International Multidisciplinary Conference**, Baia Mare, Romania, 543-548, 17-18 Mayıs, 2007
30. Sahin, Y., “Comparison of Tool Life Between Ceramic and Cubic Boron Nitride (CBN) Cutting Tools when Machining Hardened Steels”, **Journal of Materials Processing Technology**, In Pres. Corrected Prof., 12 sf, 2008.

