

Ç1050 VE Ç4140 ÇELİKLERİNİN SERAMİK TAKIMLARLA İŞLENMESİNDE OPTİMUM TAKIM ÖMRÜNÜ SAĞLAYAN PARAMETRELERİN TAGUCHİ YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ VE TAKIM AŞINMALARININ İNCELENMESİ

Ali Rıza MOTORCU

Makine Programı, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Uludağ Üniversitesi, 16059, Nilüfer, Bursa
armotorcu@uludag.edu.tr

(Geliş/Received: 08.01.2009 ; Kabul/Accepted: 15.09.2009)

ÖZET

Bu çalışmada, Ç1050 ve Ç4140 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı seramik kesici takımlarla işlenmesinde, kesme parametreleri ile iş parçası ve takım sertliklerinin, takım ömrü ve takım aşınması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Taguchi Tekniği kullanılarak en yüksek takım ömrü değerlerini veren optimum kontrol faktörleri belirlenmiştir. Tahminsel takım ömrü denklemleri çıkarılmıştır. Ayrıca, aşınmış uçların SEM görüntüleri incelenerek takım aşınma tipleri belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, sırasıyla iş parçası sertliği, kesme hızı, kesme hızı-ilerleme miktarı etkileşimi, kesme hızı-iş parçası sertliği etkileşimi, talaş derinliği-kesici takım sertliği etkileşimi, ilerleme miktarı-iş parçası sertliği etkileşimi ve ilerleme miktarının takım ömrü üzerinde en etkili faktörler olduğunu göstermiştir. Faktör etkileşimlerinin yer aldığı ikinci dereceden tahminsel denklem daha güvenilir sonuçlar vermiştir. Ç1050 ve Ç4140 çeliklerinin seramik takımlarla işlenmesinde çentik, yan kenar ve krater aşınması gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İşlenebilirlik, takım ömrü, takım aşınması, Taguchi tekniği, seramik kesici takım.

DETERMINATION OF THE PARAMETERS PROVIDING OPTIMUM TOOL LIFE BY TAGUCHI TECHNIQUE AND OBSERVATION OF TOOL WEAR IN THE MACHINING OF AISI1050 AND AISI4140 STEELS WITH THE CERAMIC CUTTING TOOLS

ABSTRACT

In this study, the effects of cutting parameters and the effects of workpiece hardness and tool hardness on tool life and tool wear have been investigated in machining of AISI1050 and AISI4140 steels by uncoated and coated ceramic cutting tools. Optimum cutting conditions for maximum tool life were determined using the Taguchi technique. Predictive tool life equations were derived. In addition, types of tool wear were observed by shown worn surfaces with a scanning electron microscope (SEM). The results indicated that the workpiece hardness, cutting speed, cutting speed-feed rate interaction, cutting speed-workpiece hardness interaction, dept of cut-cutting tool hardness interaction, feed rate-workpiece hardness interaction and feed rate were found out to be the most effective factors among control factors on tool life. It is observed that the second order predictive equation provided more reliable results. In machining AISI1050 and AISI4140 steels, notch wear, flank wear and crater wear observed on ceramic tools.

Keywords: Machinability, tool life, tool wear, Taguchi technique, ceramic cutting tool.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstriyel gelişmeler nedeniyle talaş kaldırma işlemleri imalat endüstrisinin çekirdeğini oluşturmak-

tadır. Bunun için, iş parçalarının işlenebilirliğini anlamak ve buna göre verimli bir işlem planlaması yapmak imalat mühendisleri açısından oldukça önemlidir. Özellikle işleme maliyetlerini azaltma,

takım ömrünü arttırma ve daha iyi yüzey kalitesi elde etme isteği talaş kaldırma alanında araştırmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır [1, 2].

Seramik kesici takımlar, otomotiv endüstrisinde gri dökme demirin yüksek hızlarda işlenerek fren diski vb. parçaların imalatında ve çeliklerin işlenmesinde değiştirilebilir uç olarak % 4–6 oranında bir pazar payına sahiptirler. Bu takımlar ayrıca, süperalaşım-ların ve yüksek dayanımlı çeliklerin yüksek hızlarda işlenmesinde de kullanılmaktadır [3-6]. Ç1050 ve Ç4140 çelikleri talaşlı imalat sektöründe kullanılan, ihtiva ettiği alaşım elementleri ve farklı mikroyapıları nedeniyle değişik işlenebilirlik özelliklerine sahip çeliklerdir. Çünkü kesme bölgesindeki mikroyapının deformasyonu, kesme kuvvetleri, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü gibi işlenebilirlik parametrelerini önemli ölçüde etkilemektedir. İşleme maliyetlerini düşürmek amacıyla çeliklere değişik ısıl işlemler uygulanır ve daha sonra talaş kaldırılır. Diğer taraftan bazı durumlarda çelikler haddelenmiş halde talaşlı işlemlere tabii tutulurlar. Her iki durumda da, kesici takımdan en yüksek takım ömrü değeri elde etmek için optimum kesme parametrelerini seçmek gerekir. Optimum kesme şartlarını tanımlamak için tasarım teknikleri kullanılarak, iş parçası-kesici takım kombinasyonlarını içeren işlenebilirlik deneylerinin yapılması ve elde edilen verilerin matematiksel olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Matematiksel modelin elde edilmesinden sonra ise modelin test edilmesi ve geçerliliğinin belirlenmesi gereklidir. Deneysel tasarım ve modelleme tekniklerini içeren bir çalışma yapmakla, deneysel çalışma sonucu elde edilen verilerden faydalanılarak optimum parametreler belirlenecek ve maliyetler azaltacaktır [7-10].

Talaşlı imalatla takım ömrü doğrudan işleme maliyetleri ile ilgili olduğundan mutlaka araştırılması gereken bir konu olmuştur. Takım ömrünün uzun olması takım maliyetlerini azaltacaktır. Yine,

bilgisayarlı sayısal denetimli (CNC) tezgâhlar için mükemmel talaş kontrolüne ihtiyaç duyulduğundan talaş oluşumunu anlamak bir gerekliliktir [6, 11]. Bu konuda yapılan çalışmalar yeni malzeme ve kesici takım türleri geliştikçe devam etmektedir [12-14].

Bu çalışmada, Ç1050 ve Ç4140 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı seramik takımlarla işlenmesinde en yüksek takım ömrü değerini veren parametreleri, bu parametrelerin ve etkileşimlerinin etkilerini belirlemek amacıyla Taguchi Tekniği kullanılmıştır. Deneysel veriler kullanılarak tahminsel takım ömrü denklemleri çıkartılmıştır. Ayrıca, aşınmış takımlar tarama elektron mikroskopunda (SEM) incelenerek aşınma tipleri belirlenmiştir.

2. MALZEME VE METOD (MATERIALS AND METHOD)

Deneylerde Ø150x230 mm boyutlarında farklı işlenebilirlik oranlarına sahip Ç1050 ve Ç4140 düşük alaşımli karbon çelikleri kullanılmıştır. İş parçalarının kimyasal bileşimleri Tablo 1’de verilmiştir. Numuneler, TSE 10329 esas alınarak boy/çap oranı kriteri 10/1 olacak şekilde hazırlanmıştır [15].

Seramik kesici takım olarak KY1615 ve KY4400 kalitesindeki Kennametal ticari seramik kesici uçlar kullanılmıştır. KY1615 kaplamasız seramik kesici takımıdır. Al₂O₃+TiC matris esaslı olup oldukça yüksek sertlik ve aşınma dayanımına sahiptir. KY4400 kalitesindeki seramik uçlar ise kaplamalıdır, fiziksel buhar depolama (Physical Vapour Deposition-PVD) tekniği ile kaplanmakta ve matrisi Al₂O₃+TiCN (P01-05, K01-K10) oluşturmaktadır. Seramik kesici uçlar TNGA 160408 takım geometrisine sahip olup talaş kırıcısızdır [16]. İşlenebilirlik deneylerinde SECO-PTBNR2525 ticari takım tutucular tercih edilmiştir. Talaş kaldırma deneyleri, Johnford TC35 (Tezgâh gücü 10 kW, devir sayısı maksimum 4000

Tablo 1. Ç1050 ve Ç4140 çeliklerinin kimyasal bileşimleri, % Ağırlık. (Chemical compositions of AISI1050 and AISI4140 steels (% Ağırlık))

Element	% Ağırlık	Element	% Ağırlık	Element	% Ağırlık
Ç1050 Çeliği					
Karbon (C)	0.47	Silisyum (Si)	0.176	Mangan (Mn)	0.658
Fosfor (P)	0.0144	Kükürt (S)	0.0053	Krom (Cr)	0.0540
Molibden (Mo)	0.0250	Nikel (Ni)	0.133	Alüminyum (Al)	0.0201
Kobalt (Co)	0.0193	Bakır (Cu)	0.169	Niyobyum (Nb)	<0.002
Titanyum (Ti)	<0.001	(V)	<0.001	(W)	<0.005
(Pb)	<0.002	(Sn)	<0.0048	(Mg)	-
(Sb)	<0.002	Demir (Fe)	98.24	-	-
Ç4140 Çeliği					
Karbon (C)	0.416	Silisyum (Si)	0.236	Mangan (Mn)	0.817
Fosfor (P)	0.0158	Kükürt (S)	0.00725	Krom (Cr)	0.989
Molibden (Mo)	0.16	Nikel (Ni)	0.144	Alüminyum (Al)	0.0196
Kobalt (Co)	0.0271	Bakır (Cu)	0.180	Niyobyum (Nb)	<0.002
Titanyum (Ti)	<0.001	(V)	<0.001	(W)	<0.005
(Pb)	<0.002	(Sn)	0.00688	(Mg)	-
(Sb)	<0.002	Demir (Fe)	96.97	-	-

dev/dak,) sanayi tipi CNC torna tezgâhında yapılmıştır.

Takım ömrü deneylerine ait kesme parametreleri TS10329 ve tezgâh gücü dikkate alınarak yapılmıştır. Takım ömrü deneylerinde, kesme hızı (V), ilerleme miktarı (f), talaş derinliği (d), iş parçası malzemesi sertliği (İP) ve kesici takım sertliği (KK) kontrol faktörleri olarak seçilmiş ve seviyeleri belirlenmiştir (Tablo 2). En yüksek takım ömrü değerlerini verecek optimum kesme parametrelerini belirlemek ve bu parametrelerin ana etkilerinin yanı sıra etkileşimlerinin de etkilerini analiz etmek amacıyla Taguchi tekniği kullanılmıştır. Probleme uygun ortogonal dizin $L_{16}(2^{15})$ seçilmiştir [17]. Deneyset tasarımı ve modelleme çalışmaları, Minitab 13.2 ve JMP 5.0.1 paket programları ile Microsoft Excell programları kullanılarak analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir.

İşlenebilirlik deneylerinde her deney için yeni bir uç kullanılmıştır. Ortalama yan kenar aşınma kriteri, $VB=0,3$ mm alınmıştır. Aşınmış takım uçlarının Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) çalışmaları JEOL JSM-6300 ve JEOL JSM-6060 model SEM cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümlerinde Instron-Wolpert marka DIATESTOR 7551 tipi universal sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada, iş parçası ve kesici takımın sertlikleri de takım ömrü üzerinde etkili olduğundan kontrol faktörleri olarak; kesme hızı (V), ilerleme miktarı (f), talaş derinliğinin (d) yanı sıra iş parçasının Vickers ölçeğinde sertlik değeri (İP) ve kesici takımın Vickers ölçeğinde sertlik değeri (KK) seçilmiştir. Bunun için,

öncelikle iş parçalarının sertlikleri ile kesici takımların sertlikleri ölçülmüştür. Ç1050 çeliğinin Vickers cinsinden sertlik değeri (HV) ortalama 211 HV olarak belirlenmiştir. Ç4140 çeliğinin sertlik değeri ise ortalama 197.7 HV olarak belirlenmiştir [1]. Taguchi yöntemiyle takım ömrü değerlendirilmesinde Ç4140-H çeliğinin sertlik değeri 198 HV olarak alınmıştır. Kaplamasız seramik kesici takımın (KY1615) sertliği 2145 HV, kaplamalı seramik takımın (KY4400) sertliği ise 2250 HV olarak ölçülmüştür.

3.1. Taguchi Tekniğiyle Takım Ömrü

Değerlendirmeleri (Tool Life Evaluations by Taguchi Technique)

Kontrol faktörlerinin seviyeleri, yapılan işlenebilirlik deneyleri sonucu elde edilen takım ömrü (T, dak) sonuçları ve sinyal/gürültü (Signal to Noise ratio-S/N) oranları Tablo 2’de verilmiştir. Ortalama S/N oranı 20.163 desibel (dB) olarak hesaplanmıştır. Taguchi yönteminde performans belirlemede 3 farklı yaklaşım mevcuttur. Bu çalışmada takım ömrünün incelenmesinde “En yüksek en iyidir” kullanılmıştır. Takım ömrü üzerinde her bir kontrol faktörünün analizi S/N yanıt tablosu ile yapılmıştır (Tablo 3). Bu tablodan, takım ömrü üzerinde etkili olan faktör ve faktör etkileşimleri sırasıyla; iş parçası sertliği (7.055 dB), kesme hızı (4.697 dB), kesme hızı-ilerleme miktarı etkileşimi (2.731 dB), talaş derinliği-kesici takım sertliği etkileşimi (2.509 dB), ilerleme miktarı- iş parçası sertliği etkileşimi (2.404 dB), kesme hızı-talaş derinliği etkileşimi (2.266 dB), ilerleme miktarı (2.160 dB), kesme hızı-iş parçası sertliği etkileşimi (2.030 dB) ve ilerleme miktarı-talaş derinliği etkileşimi (1.090 dB) olarak belirlenirken diğer faktörlerin takım ömrü üzerindeki etkileri az

Tablo 2. Kontrol faktörlerinin seviyeleri, deneysel sonuçlar ve S/N oranları. (The levels of control factors, experimental results and S/N ratio.)

D. N.	Seviyeler					Kontrol Faktörlerinin Değerleri					T (dak)	S/N Oranları (dB)
	V	f	d	İP	KK	V (m/dak)	f (mm/dev)	d (mm)	İP (HV)	KK (HV)		
1	1	1	1	1	1	450	0.2	0.4	211	2145	56.226	34.999
2	1	1	1	2	2	450	0.2	0.4	198	2250	8.740	18.830
3	1	1	2	1	2	450	0.2	1.0	211	2250	27.905	28.914
4	1	1	2	2	1	450	0.2	1.0	198	2145	7.149	17.085
5	1	2	1	1	2	450	0.3	0.4	211	2250	13.968	22.903
6	1	2	1	2	1	450	0.3	0.4	198	2145	8.870	18.958
7	1	2	2	1	1	450	0.3	1.0	211	2145	11.750	21.401
8	1	2	2	2	2	450	0.3	1.0	198	2250	7.080	17.001
9	2	1	1	1	2	650	0.2	0.4	211	2250	9.780	19.807
10	2	1	1	2	1	650	0.2	0.4	198	2145	5.388	14.629
11	2	1	2	1	1	650	0.2	1.0	211	2145	10.199	20.171
12	2	1	2	2	2	650	0.2	1.0	198	2250	5.962	15.508
13	2	2	1	1	1	650	0.3	0.4	211	2145	9.460	19.518
14	2	2	1	2	2	650	0.3	0.4	198	2250	4.945	13.883
15	2	2	2	1	2	650	0.3	1.0	211	2250	12.318	21.811
16	2	2	2	2	1	650	0.3	1.0	198	2145	7.232	17.185
Ortalama S/N Oranı												20.163

Tablo 3. S/N yanıt tablosu. (Response table of S/N)

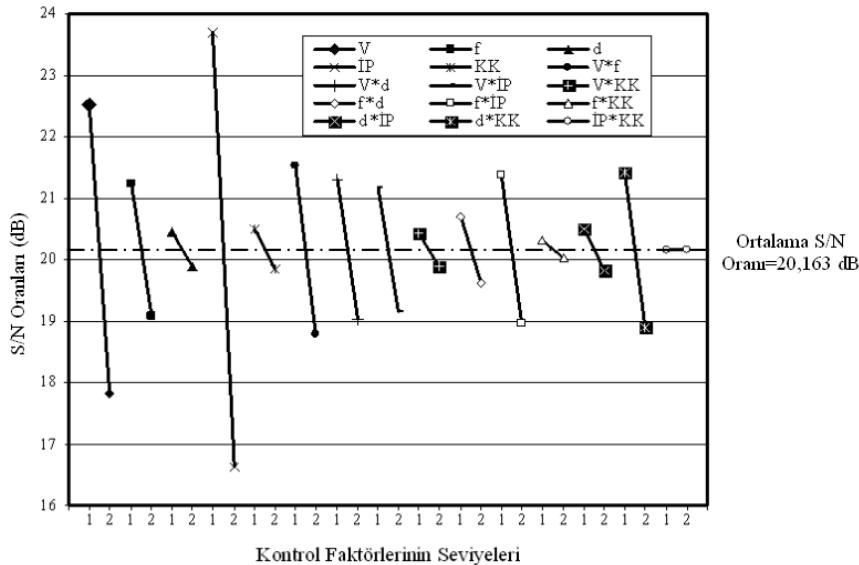
Sembol	Kontrol Faktörleri	Ortalama S/N Oranı (dB)		
		Seviye 1	Seviye 2	Fark
V	Kesme Hızı	22.511	17.814	4.697
f	İlerleme Miktarı	21.243	19.082	2.160
d	Talaş Derinliği	20.441	19.884	0.557
İP	İş Parçası Sertliği	23.690	16.635	7.055
KK	Kaplama Katmanı	20.493	19.832	0.661
V*f	Kesme Hızı*İlerleme Miktarı	21.528	18.797	2.731
V*d	Kesme Hızı*Talaş Derinliği	21.296	19.030	2.266
V*İP	Kesme Hızı*İş Parçası Sertliği	21.178	19.148	2.030
V*KK	Kesme Hızı*Kesici Takım Sertliği	20.431	19.894	0.538
f*d	İlerleme Miktarı*Talaş Derinliği	20.708	19.617	1.090
f*İP	İlerleme Miktarı*İş Parçası Sertliği	21.365	18.960	2.404
f*KK	İlerleme Miktarı*Kesici Takım Sertliği	20.310	20.015	0.295
d*İP	Talaş Derinliği*İş Parçası Sertliği	20.501	19.825	0.676
d*KK	Talaş Derinliği*Kesici Takım Sertliği	21.417	18.908	2.509
İP*KK	İş Parçası Sertliği*Kesici Takım Sertliği	20.164	20.161	0.003

olmuştur. Tablo 3'ten talaş kaldırma işleminin S/N oranları kullanılarak S/N grafikleri elde edilmiştir (Şekil 1).

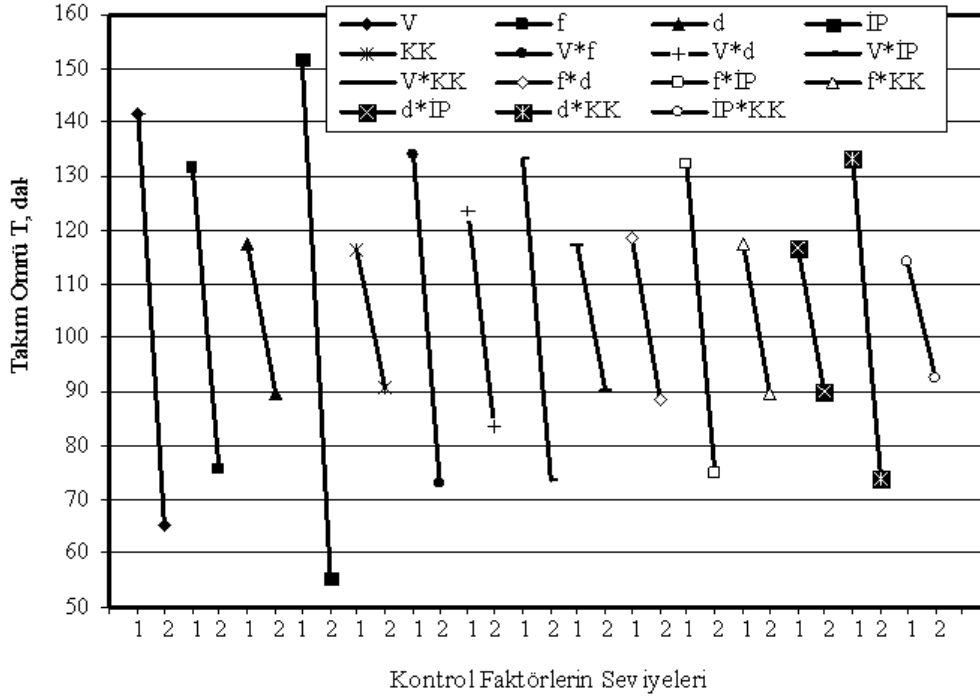
Şekil 2'de ise takım ömrü için kontrol faktörlerinin seviyelerine bağlı olarak faktör ve etkileşimlerinin etkisi görülmektedir. Şekil 1 ve 2'deki grafikler incelendiğinde iş parçası sertliği, kesme hızı, kesme hızı-ilerleme miktarı etkileşimi, talaş derinliği-kesici takım sertliği etkileşimi, ilerleme miktarı-iş parçası sertliği etkileşimi, kesme hızı-talaş derinliği etkileşimi, ilerleme miktarı, kesme hızı-iş parçası sertliği etkileşimi ve ilerleme miktarı-talaş derinliği etkileşiminin takım ömrünü anlamlı bir şekilde etkilediği buradan da görülmektedir.

Taguchi teknikleri ile Şekil 1 ve 2'den Tablo 4'te verilen kontrol parametrelerinin optimum seviyeleri belirlenmiştir. S/N değerinin büyük olduğu seviye, tüm faktörlerin seviyeleri arasında optimum seviyedir.

Tablo 4'te, seçilen kontrol faktörleri seviyelerinden; V=450 m/dak, f=0.20 mm/dev, d=0.4 mm ve iş parçası malzemesi Ç1050 olduğunda ve KY1615 takımla işlendiğinde en yüksek takım ömrü elde edileceği ifade edilmektedir. Tablo 4'ten yararlanılarak en yüksek takım ömürlerini veren optimum kontrol faktörleri kullanılarak doğrulama deneyi yapılmış ve bu deney sonucu bulunan takım ömrü değeri, $T_{Doğ}=53.387$ dakika olarak bulunmuştur (Tablo 5). Burada dikkat edilirse, optimum kontrol faktörlerinin seviyeleri (Tablo 4) ile daha önceden yapılmış olan işlenebilirlik deneylerinin (Tablo 2) 1 nolu deneyindeki seviyeler aynıdır. Yani, 1 nolu deney tekrar yapılmıştır. Daha sonra bulunan takım ömrü S/N oranına çevrilmiş ve S/N oranı 34.548 olarak hesaplanmıştır. Doğrulama deneyi sonucu ile 1 nolu deney sonucu elde edilen takım ömrü arasındaki fark, $T=2.839$ dak olarak bulunmuştur. S/N oranları farkı ise, S/N oranı=0.451 dB olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Kontrol faktörleri ve etkileşimlerinin S/N oranları grafikleri. (S/N ratio graphics of control factors and their interactions)



Şekil 2. Kontrol faktörleri ve etkileşimlerinin takım ömrü seviyelerinin grafiği. (The tool life levels graphic of control factors and their interactions.)

Tablo 4. Kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri.(Optimum levels of control factors)

Kontrol Faktörleri	Simge	Optimum Seviye	Optimum Değer
Kesme Hızı	V	1	450
İlerleme Miktarı	f	1	0.20
Talaş Derinliği	d	1	0.40
İş Parçası	İP	1	Ç1050
Kaplama Katmanı	KK	1	KY1615

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen deneysel sonuçların güvenilirliğini belirlemek için Tablo 2'de seviyeleri daha önceden belirlenen 2, 6, 7, 8, 12, 13, 14 nolu deneyler tekrar yapılmış ve yakın takım ömrü değerleri elde edilmiştir. Yapılan doğrulama deneyleri sonucu elde edilen sonuçlar ile daha önceden yapılan deneysel sonuçların (esas deneyler) karşılaştırılması Tablo 5'te verilmiştir. Daha sonra, kontrol faktörlerinden kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin esas deney seviyelerinin arasında yer alan değerler seçilerek ara değer doğrulama deneyleri yapılmıştır. İş parçası sertliği ve kesici takım sertliği kontrol faktörlerinin bu ara değer doğrulama deneylerinde seviyeleri değiştirilmemiştir. Ara değer doğrulama deneylerinin sonuçları da Tablo 6'da verilmektedir.

3.2. Tahminsel Takım Ömrü Denklemleri ve

Varyans Analizi (Predictive Tool Life Equations and Analysis of Variance)

Tahminsel takım ömrü denklemleri, deneysel takım ömrü değerlerinden kontrol faktörleri ve kontrol faktörlerinin etkileşimleri esas alınarak oluşturulmuştur. Sadece kontrol faktörlerinin ana etkileriyle oluşturulan birinci dereceden tahminsel denklem;

$$T = -62 - (0.0478 * V) - (69.7 * f) - (5.79 * d) + (0.925 * İP) - (0.0304 * KK) \quad (1)$$

olarak elde edilmiştir. Elde edilen birinci dereceden denklemin belirleme katsayısı $R^2 = 0.504$ olarak hesaplanmıştır. Faktör etkileşimlerinin de yer aldığı ikinci dereceden tahminsel denklem ise;

$$T = -125 + (0.172 * V) + (242 * f) - (426 * d) + (7.45 * İP) - (0.537 * KK) + (0.762 * V * f) + (0.0835 * V * d) - (0.00575 * V * İP) + (0.000322 * V * KK) + (125 * f * d) - (11.1 * f * İP) + (0.657 * f * KK) - (0.857 * d * İP) + (0.236 * d * KK) \quad (2)$$

olarak elde edilmiştir. Bu denklemin belirleme katsayısı ise, $R^2 = 0.988$ bulunmuştur. %95 güvenilirlik seviyesinde birinci dereceden ve ikinci dereceden denklemlerle elde edilen tahminsel takım ömrü değerleriyle yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen deneysel takım ömrü sonuçları ve artıklar Tablo 7'de verilmiştir. Bu tablodan, ikinci dereceden tahminsel takım ömrü denkleminde elde edilen takım ömrü değerleriyle deneysel takım ömrü değerleri arasındaki farkların (artıkların) daha az olduğu

Tablo 5. Doğrulama deneyleri sonuçlarının esas deney sonuçlarıyla karşılaştırılması (The comparison of confirmation tests with main test results)

D.N.	Kontrol Faktörleri					Esas Deneyler Takım Ömrü ve S/N oranı		Tekrar Deneyi Takım Ömrü ve S/N Oranı	
	V	f	d	İP	KK	T (dak)	S/N (dB)	T (dak)	S/N (dB)
2	1	1	1	2	2	8.740	18.830	9.242	19.315
6	1	2	1	2	1	8.870	18.958	7.982	18.042
7	1	2	2	1	1	11.750	21.401	12.24	21.755
8	1	2	2	2	2	7.080	17.001	8.364	18.448
12	2	1	2	2	2	5.962	15.508	6.14	15.763
13	2	2	1	1	1	9.460	19.518	10.8	20.668
14	2	2	1	2	2	4.945	13.883	5.604	14.969

Tablo 6. Ara değer doğrulama deneyleri (Confirmation tests with intermediate-value)

D.N.	Kontrol Faktörleri					Ara Değer Doğrulama Deneyleri Takım Ömrü (dak)	Birinci Dereceden Denklemin Tahminsel Takım Ömrü (dak)	Fark	Ana Etki ve Etkileşimleri Denklemin Tahminsel Takım Ömrü (dak)	Fark
	V	f	d	İP	KK					
1	450	0.20	0.80	Ç1050	KY1615	38.216	27.885	10.331	37.320	0.896
2	515	0.30	0.60	Ç4140	KY4400	4.786	3.749	1.037	1.173	3.613
3	580	0.266	0.40	Ç1050	KY4400	12.476	16.1948	3.718	9.475	3.001

görülmektedir. Belirleme katsayısı, R^2 1'e yakın ve artışların az olması nedeniyle ikinci dereceden denklem önerilmiştir.

Tablo 8'de takım ömrü için varyans analizi sonuçları verilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi takım ömrü üzerinde tüm kontrol faktörleri ve etkileşimlerinin % 1'den fazla etkiye sahip olduğu görülmektedir. Takım ömrü üzerinde % 5'ten fazla olarak sırasıyla iş parçası sertliği (% 23.779), kesme hızı (% 14.987), kesme

hızı-ilerleme miktarı etkileşimi (% 9.546), kesme hızı-iş parçası sertliği etkileşimi (% 9.175), talaş derinliği-kesici takım sertliği etkileşimi (% 9.073), ilerleme miktarı-iş parçası sertliği etkileşimi (% 8.489) ve ilerleme miktarı (% 7.973) etki yaratmıştır. Diğer kontrol faktörlerinin etkisi % 5'ten az olmuştur. Varyans analizi sonuçları da Taguchi değerlendirmelerini doğrulamaktadır.

Tablo 7. Deneysel ve tahminsel takım ömürlerinin karşılaştırılması. (Comparison of experimental and predictive tool life)

Deney No	Deneysel Takım Ömrü (dak)	Birinci Dereceden Denklem Tahminsel Takım Ömrü (dak)	Artık (dak)	İkinci Dereceden Denklem Tahminsel Takım Ömrü (dak)	Artık (dak)
1	56.226	30.544	25.682	54.8665	1.3595
2	8.740	15.317	-6.577	7.3805	1.3595
3	27.905	23.874	4.031	29.2645	-1.3595
4	7.149	15.041	-7.892	8.5085	-1.3595
5	13.968	20.381	-6.413	15.3275	-1.3595
6	8.870	11.548	-2.678	10.2295	-1.3595
7	11.750	20.105	-8.355	10.3905	1.3595
8	7.080	4.878	2.202	5.7205	1.3595
9	9.780	17.796	-8.016	11.1395	-1.3595
10	5.388	8.963	-3.575	6.7475	-1.3595
11	10.199	17.521	-7.322	8.8395	1.3595
12	5.962	2.294	3.668	4.6025	1.3595
13	9.460	14.028	-4.568	8.1005	1.3595
14	4.945	-1.199	6.144	3.5855	1.3595
15	12.318	7.358	4.960	13.6775	-1.3595
16	7.232	-1.475	8.707	8.5915	-1.3595

Tablo 8. Varyans analizi (Analysis of variance)

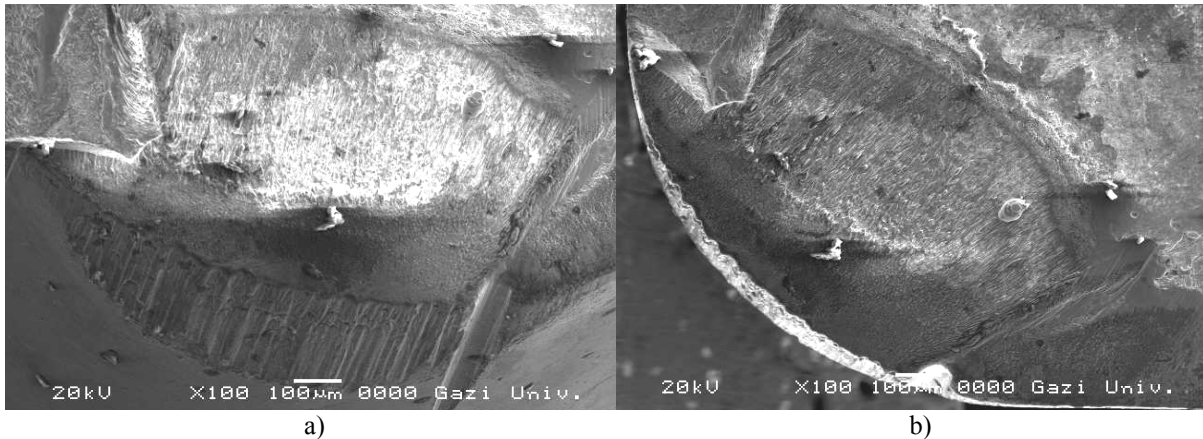
Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Varyans	F	P (%)
V	1	364.848	364.848	0.150	14.987
f	1	194.087	194.087	0.080	7.973
d	1	48.243	48.243	0.020	1.982
İP	1	578.879	578.879	0.238	23.779
KK	1	40.885	40.885	0.017	1.679
V*f	1	232.389	232.389	0.095	9.546
V*d	1	100.290	100.290	0.041	4.120
V*İP	1	223.356	223.356	0.092	9.175
V*KK	1	45.656	45.656	0.019	1.875
f*d	1	56.460	56.460	0.023	2.319
f*İP	1	206.658	206.658	0.085	8.489
f*KK	1	47.519	47.519	0.020	1.952
d*İP	1	44.697	44.697	0.018	1.836
d*KK	1	220.861	220.861	0.091	9.073
İP*KK	1	29.574	29.574	0.012	1.215
Hata	-	-	-	-	-
Toplam	15	2434.401			100

3.3. Takım Aşınmalarının İncelenmesi (Observation of Tool Wear)

Takım aşınması incelemelerinde, Taguchi değerlendirmeleri için yapılan işlenebilirlik deneylerinde kullanılan aşınmış uçlar kullanılmıştır. Şekil 3-8'de Ç1050 ve Ç4140 çeliklerinin, KY1615 ve KY4400 kesici takımlarla işlenmesinde (Tablo 2, 7 nolu deney, T=11.75 dak) oluşan aşınmaların SEM görüntüleri verilmektedir. Şekil 3'te Ç1050 çeliğinin KY1615 takımla düşük kesme hızında işlenmesinde oluşan aşınma tipinin krater aşınması [18-20] ve çentik aşınması olduğu görülmektedir. Şekil 3.a'da sertleştirilmiş iş parçalarının seramik takımlarla işlenmesinde tipik olarak görülen çentik oluşumu görülmektedir [19, 21]. Çentik uzunluğu VB kriterinden büyük olarak oluşmuş ve yaklaşık 0,4 mm boyutundadır (Şekil 3.a). Krater aşınması uç yarıçapına yakın bölgede oluşmuştur (Şekil 3.a ve b). Krater aşınmasının oluşumunda iş parçasının bünyesinde yer alan sert kalıntıların abrasyon etkisi

[22] ve kesici takım malzemesinin iş parçasıyla olan birleşme eğilimi etkili olmuştur. Şekil 3.b'deki krater aşınma bölgesi incelendiğinde, krater içerisinde iş parçasından kaldırılan talaşın bulunmadığı görülmektedir.

Şekil 4.a'da Ç1050 çeliğinin yüksek kesme hızı, düşük ilerleme miktarı ve düşük talaş derinliğinde KY4400 takımla işlenmesinde (Tablo 2, 9 nolu deney, T=9.78 dak) ise aşınma tiplerinin yanak aşınması ve krater aşınması olduğu görülmektedir [18, 23]. Talaş derinliğinin düşük olması nedeniyle yanak aşınması burun yarıçapında oluşmuştur. Şekilde ayrıca, yüksek kesme hızından dolayı çentik aşınmasının oluşmadığı görülmektedir. Kesme kenarında kaplama tabakasının neredeyse tamamen kalktığı görülmektedir. Fakat özellikle Al₂O₃ katmanının yüksek sertlik etkisiyle kesme kenarının keskinliği bozulmamıştır [18, 21, 24]. Ayrıca, talaş derinliğinin bittiği kesme kenarında, yüksek kesme hızından kaynaklanan kuvvetlerin etkisiyle yan kesme kenarına paralel uzanmış bir



Şekil 3. Ç1050 çeliğinin KY1615 takımla işlenmesinde aşınmış takım yüzeylerinin SEM görüntüleri, V=450 m/dak, f=0.30 mm/dev ve d=1.0 mm (SEM pictures of worn tool faces in the machining of AISI1050 steels with KY1615 tool, V=450 m/min, f=0.30 mm/rev and d=1.0 mm)

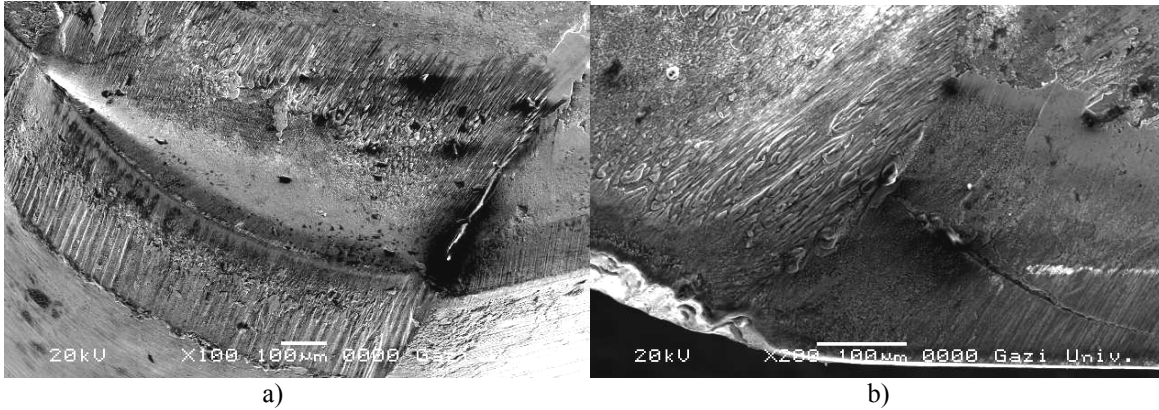
mekanik yorulma çatlaklarının oluştuğu görülmektedir (Şekil 4.b).

Ç4140 çeliğinin KY1615 takımı yüksek kesme hızında işlenmesinde (Tablo 2, 10 nolu deney, $T=5.388$ dak) Şekil 5.a'da görüldüğü gibi çentik aşınmasının oluşmadığı görülmüştür. Bunun sebebi kesme şartları ve iş parçası özellikleridir. Çünkü, çentik oluşumu düşük kesme hızında oluşur. İş parçası özellikleri açısından değerlendirilecek olursa, Ç4140 iş parçasının sertliği (198 HV) Ç1050 çeliğinin sertliğinden (211 HV) daha düşük olduğundan iş parçasının işlenebilirliği Ç1050 çeliğinden daha yüksektir. Şekil 3'te görüldüğü üzere seçilen kesme şartlarında, $T=11.750$ dak takım ömrü elde edilmiştir. Takım ömrü üzerinde kesme hızı en etkili parametrelerden biri olduğu için orada kesme hızının düşük seçilmesi nedeniyle daha yüksek takım ömrü elde edilmiştir. Burada ise $V=650$ m/dak'dır. Kesme hızının etkisiyle takım ömrü yaklaşık yarı yarıya düşmüştür ($T=5.388$ dak). Yani, bu daha kısa olan kesme süresinde çentik oluşmaya fırsat bulamamıştır. Çünkü, daha kısa sürede $VB=0.3$ mm kriterine ulaşılmıştır. Keza, yüksek kesme hızının yan kenar aşınması üzerindeki etkisi Şekil 5.b'de görülmektedir.

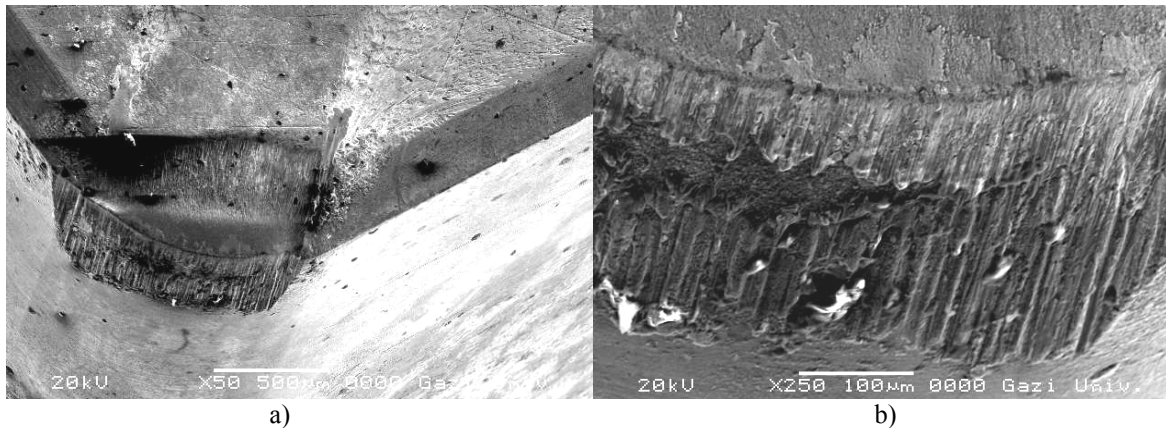
Bu kesme hızında yan kenar aşınması yüzeyinde iş parçasının içinde bulunan artıkların abrasif etkisi nedeniyle de dalgalı-taraklı aşınma oluşmuştur [22].

Düşük kesme hızında, Ç4140 çeliği KY4400 takım ile işlendiğinde (Tablo 2, 8 nolu deney, $T=17$ dak) kesme hızının yanı sıra kaplama katmanının takım ömrü üzerinde belirgin olumlu etkisi gözlemlenmiştir. Yanak aşınması düzenli bir şekilde oluşmuştur. Şekil 6.a ve b'de görüleceği üzere krater aşınması ilk göze çarpan aşınma tipidir [18, 23]. Şekil 6.b'deki krater yüzeyi incelendiğinde herhangi bir taraklanma etkisinin oluşmadığı görülmektedir. İş parçası bünyesinde bulunan sert kalıntılar, kullanılan kesici takımın yüksek sertliğinden ve kaplamalı olmasından dolayı abrasyon etkisi yaratamamıştır. Yine, bu durumun oluşmasına iş parçası malzemesinin yüksek işlenebilirlik oranına sahip olması da etkilidir. Son olarak, kaplamalı seramik takım ile işlemede çentik aşınması oluşmamıştır.

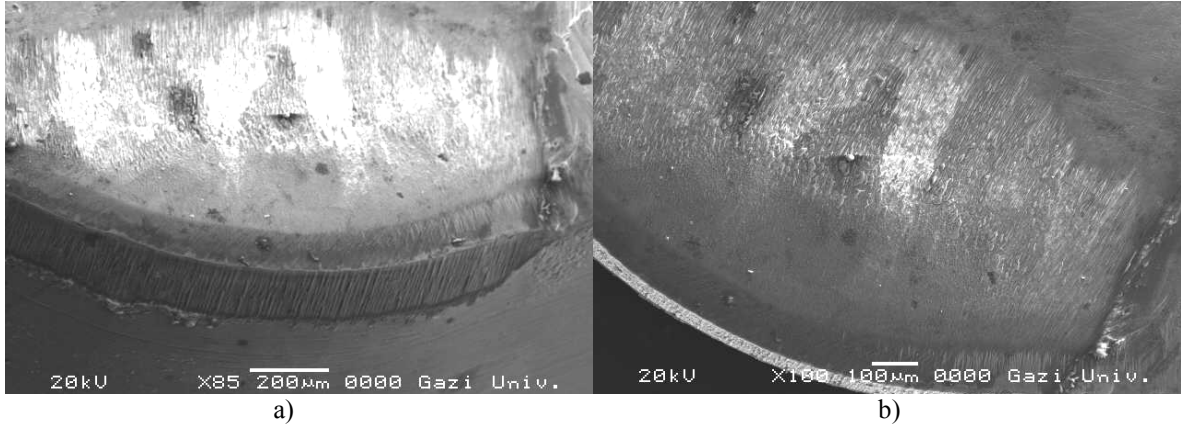
Aşınmaların değerlendirilmesi çalışmasında, Ç1050 ve Ç4140 çeliklerinin KY1615 ve KY4400 takım ile işlenmesinde sadece takım ömrü üzerinde en etkili parametre olan kesme hızı ile kesici takım ve iş parçası faktörlerinin etkileri ön planda tutulmuştur.



Şekil 4. Ç1050 çeliğinin KY4400 takım ile işlenmesinde aşınmış takım yüzeylerinin SEM görüntüleri, $V=650$ m/dak, $f=0.20$ mm/dev ve $d=0.40$ mm (SEM pictures of worn tool faces in the machining of AISI1050 steels with KY4400 tool, $V=650$ m/min, $f=0.20$ mm/rev and $d=0.40$ mm)



Şekil 5. Ç4140 çeliğinin KY1615 takım ile işlenmesinde aşınmış takım yüzeylerinin SEM görüntüleri - $V=650$ m/dak, $f=0.20$ mm/dev ve $d=0.40$ mm. (SEM pictures of worn tool faces in the machining of AISI4140 steels with KY1615 tool - $V=650$ m/min, $f=0.20$ mm/rev and $d=0.4$ mm)



Şekil 6. Ç4140 çeliğinin KY4400 takımla işlenmesinde aşınmış takım yüzeylerin SEM görüntüleri, $V=450$ m/dak, $f=0.30$ mm/dev ve $d=1.0$ mm. (SEM pictures of worn tool faces in the machining of AISI4140 steels with KY4400 tool, $V=450$ m/min, $f=0.30$ mm/rev and $d=1.0$ mm)

İlerleme miktarı ve talaş derinliğinin etkilerinin de değerlendirildiği SEM çalışmalarından elde edilen sonuçlar ise şöyledir [1]. Her iki çeliğin işlenmesinde de, yüksek ilerleme miktarının etkisiyle de iş parçası bünyesinde yer alan sert kalıntılar krater derinliğinin artmasına sebep olmakta fakat çentik aşınması oluşmamaktadır [1, 22]. Yüksek kesme şartları ve abrasif aşınma mekanizmasının etkisiyle krater derinliği artmış [1, 22, 23] ve krater aşınmasının bittiği yerde ergimiş iş parçalarının kesici takıma yapıştığı görülmüştür [1, 24]. Ergimiş iş parçalarının varlığı kesici takım malzemesinin iş parçası malzemesine birleşme eğiliminden kaynaklanmaktadır [21].

İş parçasının içerisinde yer alan kalıntıların etkisiyle de yan kenar aşınması taraklı şekilde oluşmuştur. Yine, yüksek kesme şartlarında kesme kenarında mikro düzeyde kırılmalar oluşmuştur [1].

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Ç1050 ve Ç4140 çeliklerinin kaplamasız ve kaplamalı seramik takımlarla işlenmesinde;

1. Takım ömrü üzerinde en etkili parametreler sırasıyla; iş parçası sertliği, kesme hızı, kesme hızı-ilerleme miktarı etkileşimi, kesme hızı-ş parçası sertliği etkileşimi, talaş derinliği-kesici takım sertliği etkileşimi, ilerleme miktarı-ş parçası sertliği etkileşimi ve ilerleme miktarı olmuştur. Diğer kontrol parametrelerinin etkisi % 5'den az olmuştur.
2. Kesme parametreleri; $V=450$ m/dak, $f=0.20$ mm/dak, $d=0.4$ mm olduğunda ve Ç1050 çeliği kaplamasız seramik takımla işlendiğinde en yüksek takım ömrü elde edilmiştir.
3. İkinci dereceden tahminsel takım ömrü denklemi geliştirilmiş ve % 95 güvenilirlik seviyesinde deneysel takım ömrü sonuçlarıyla karşılaştırıldıklarında kabul edilebilir tahminsel takım ömrü sonuçları elde edilmiştir.

4. Ç4140 çeliği daha yüksek işlenebilirlik oranına sahip olmasına rağmen her iki takımla Ç1050 çeliğinin işlenmesinde daha yüksek takım ömürleri elde edilmiştir. Buna ek olarak, düşük ilerleme miktarları ve kesme hızı seçildiğinde takım ömürleri oldukça artmaktadır.
5. Kaplamasız seramik kesici takımlarla düşük ilerleme miktarlarında daha yüksek takım ömürleri elde edilmekte iken yüksek ilerleme değerlerinde de bu sonucu destekler şekilde kaplama katmanının takım ömrü üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmemiştir.
6. Her iki iş parçasının işlenmesinde de talaş derinliğinin takım ömrü üzerinde belirgin bir etkisi olmamıştır. Fakat yinede, düşük talaş derinliklerinde kaplamasız seramik takımlarla, yüksek talaş derinliklerinde ise kaplamalı seramik takımlarla daha yüksek takım ömrü elde edilmiştir.
7. Ç1050 çeliğinin kaplamasız seramik takımla işlenmesinde krater aşınması ve çentik aşınması oluşmuş iken kaplamalı seramik takımla işlenmesinde düzenli yanak aşınması ve krater aşınması oluşmuştur. Kaplamalı takımında yüksek kesme hızlarında mekanik yorulma çatlakları oluşmuştur.
8. Ç4140 çeliğinin kaplamasız seramik takımla işlenmesinde krater aşınması oluşmuştur. Yüksek kesme hızında ergimiş iş parçası kalıntıları takım yan kenar yüzeyinde birikmiştir. Ç4140 çeliğinin kaplamalı seramik takımla işlenmesinde krater aşınması ve düzenli yapıda yanak aşınması oluşmuştur.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu deneysel çalışmanın TEF-07/2003-38 nolu proje ile finansal desteğini sağlayan Gazi Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Motorcu, A.R., **Ç1050, Ç4140 ve Ç52100 Çeliklerinin Farklı Takımlarla İşlenebilirliği ve Modeller Geliştirilmesi**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
2. Çakır, C., **Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları**, 140, Bursa, 1999.
3. Huang, C.Z., Wang, J. ve Ai, X., "Development of New Ceramic Cutting Tools with Alumina Coated Carbide Powders", **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Cilt 40, No 6, 823-832, 2000.
4. Kumar, A.S., Durai, A.R. ve Sornakumar, T., "Machinability of Hardened Steel Using Alumina Based Ceramic Cutting Tools", **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, Cilt 21, No 3-4, 109-117, 2003.
5. Chonghai, X, Xing, A. ve Chuazhen, H., "Fabrication and Performance of An Advanced Ceramic Tool Material", **Wear**, Cilt 349, 503-508, 2001.
6. Altintas, Y., "Manufacturing Automation- Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations and CNC Design", **Cambridge University Press**, Cambridge, 1-3, 2000.
7. Choudhury, I.A. ve Baradie, M.A., "Surface Roughness Prediction in The Turning of High-Strength Steel by Factorial Design of Experiments", **Journals of Processing Technology**, Cilt 67, 55-61, 1997.
8. Lee, B.Y., Tarn, Y.S. ve Lii, H.R., "An Investigation of Modeling of The Machining Database in Turning Operations", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 105, 1-6, 2000.
9. Lamond, B.F. ve Sodhi, M.S., "Using Tool Life Models to Minimize Processing Time on A Flexible Machine", **IIE Transactions**, Cilt 29, 611-621, 1997.
10. Lee, J. H. ve Lee, S. J., "One-Step-Ahead Prediction of Flank Wear Using Cutting Force", **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Cilt39, 1747-1760, 1999.
11. Sutter, G., "Chip Geometries During High-Speed Machining for Orthogonal Cutting Conditions", **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Cilt 45, 719-726, 2005.
12. Becze, C.E. ve Elbestawi, M.A., "A Chip Formation Based Analytic Force Model for Oblique Cutting", **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Cilt 42, 529-538, 2002.
13. Fang, N., "Tool-Chip Friction in Machining with A Large Negative Rake Angle Tool", **Wear**, Cilt 258, 890-897, 2005.
14. Lazoglu, İ. ve Altintas, Y., "Prediction of Tool and Chip Temperature in Continuous and Interrupted Machining", **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, 42, 1011-1022, 2002.
15. TS 10329, **Torna Kalemleri-Ömür Deneyi**, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1992.
16. Kennametal Hertel, **Lathe Tools-Master Catalogue 2001**, Kennametal Hertel AG, Fürth, 2001.
17. Ranjit, K.R., **A Primer On The Taguchi Method**, Competitive Manufacturing Series, Van Nostrand Reinhold, New York, A.B.D., 1990.
18. Rupp, S., Högrelius, B. ve Huhtiranta, M., "Wear characteristics of TiC, Ti(C,N), TiN and Al₂O₃ Coatings in The Turning of Conventional and Ca-Treated Steels", **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, Cilt 16, 353-368, 1998.
19. Jang, D.Y. ve Hsiao, Y.T., "Use of Ceramic Tools in Hard Turning of Hardened AISI M2 Steel", **Tribology Transactions**, Cilt 43, No 4, 641-646, 2000.
20. Wayne, S. F. ve Buljan S.T., "Role of Thermal Shock on Tool Life Selected Ceramic Cutting Tool Materials", **Journal of American Ceramic Society**, Cilt 72, 754-760, 1989.
21. D'Errico, G.E. ve Calzavarini, R., "Advanced Ceramic Tools: An Experimental Assessment in Turning Tests", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 54, 34-39, 1995.
22. Wada, T., Sakurai, M. ve Ogura, A., "Tool Wear in Cutting of Sintered Iron Materials", **Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy**, Cilt 48, No 5, 386-391, 2001.
23. Chakraborty, A., Ray, K.K. ve Bhaduri, S.B., "Comparative Wear of Behavior of Ceramic and Carbide Tools During High Speed Machining of Steel", **Materials and Manufacturing Processes**, Cilt 15, No 2, 269-300, 2000.
24. Bhattacharyya, S. K. ve Jawaid, A., "Tool Life and Wear Mechanism of Sialon Ceramic Tools when Machining Nickel Based Materials", **5th International Conference on Production Engineering**, Tokyo, Japonya, 203-208, 1989.