



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Farklı Geometriye Sahip Kesici Takımlarla Frezeleme İşleminde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Takım Aşınmasına Etkisinin Araştırılması

Emine ŞİRİN^a, Yakup TURGUT^b, İhsan KORKUT^b, Şenol ŞİRİN^{a,*}

^a Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Gümüşova Meslek Yüksekokulu, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: senolsirin@duzce.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğine ısıtılmış ve farklı sertliklere sahip (21-48-56 HRC) malzeme grupları CNC dik işleme merkezinde işlenerek; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülük değerleri ve takım aşınmaları incelenmiştir. Frezeleme işleminde PVD yöntemi ile TiAl+Al₂O₃+ZrN kaplanmış iki farklı geometriye sahip sementit karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Deneysel, dört farklı kesme hızında (70-90-110-130 m/dak), üç farklı ilerlemede (0,05-0,1-0,15 mm/diş), 0,5 mm sabit kesme derinliğinde ve kuru kesme şartları altında gerçekleştirilmiştir. En iyi ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra), M1 malzemesinde 0,05 mm/diş ilerleme değerinde, 90 m/dak kesme hızında elde edilmiştir (0,098 mm). En kötü yüzey pürüzlülük değerleri ise M2 ve M3 malzemelerinde, 0,15 mm/diş ilerleme değerinde, 130 m/dak kesme hızında elde edilmiştir (M2; 0,439 mm–M3; 0,952 mm).

Anahtar Kelimeler: Soğuk iş takım çeliği, AISI D2, İşlenebilirlik, Yüzey pürüzlülüğü, Takım aşınması

Investigation of the Effects of Cutting Parameters of AISI D2 Cold Work Tool Steel in Milling with Different Geometries Cutting Tools to Surface Roughness and Tool Wear

ABSTRACT

In this study; AISI D2 Cold Work Tool Steel has been heat treated and different hardness materials (21-48-56 HRC) machining with CNC vertical machine and cutting forces, surface roughness, tool wears was investigated. In the milling machining, cementite carbide tools with two different geometries coated with TiAl+Al₂O₃+ZrN by PVD method were used. Experiments were carried out at four different cutting speeds (70-90-110-130 m/min), three different feed rates (0,05-0,1-0,15 mm/tooth) and under dry conditions at a constant cutting depth of 0.5 mm. The best roughness surface was obtained at M1 material, 0,05 mm/tooth feed rate value and 90 m/min cutting speed (0,098 mm).

The lowest surface roughness was obtained at M2 and M3 materials, 0,15 mm/tooth feed rate value and 130 m/min cutting speed (0,439 mm – 0,952 mm respectively).

Keywords: Cold work tool steel, AISI D2, Machinability, Surface roughness, Tool wear

I. GİRİŞ

Talaşlı imalatta kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması vb. faktörler; kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, takım/talaş geometrisi, iş parçası malzemesi, takım/tezgâh çiftinin dinamik karakteristikleri, bağlama/sabitleme sistemi, takım aşınması oluşumu, sıcaklık ve titreşim gibi faktörlerden etkilenmektedirler [1-3].

Kesme hızının artmasıyla, kesme kuvvetinin düşmesi genel olarak bilinen bir olaydır. Kesme hızının artmasıyla, kesme bölgesinde sıcaklığın artışına bağlı plastik deformasyonun ve takım talaş ara yüzeyindeki sürtünmenin azalması sonucunda kesme kuvveti düşmektedir [2,3,4]. Ayrıca kesme özelliğini kaybeden kesici takımlarla kesme işlemine devam etmek, takımın zorlanarak kesme kuvvelerinde, yüzey pürüzlülüğünde ve takım aşınmasında artışlara neden olabilmektedir [1-3,5].

Literatür incelendiğinde; sertleştirilmiş soğuk iş takım çeliklerinin işlenmesiyle ilgili birçok çalışma görülmektedir. Isıl işlem sonucu yüksek sertliğe sahip AISI 52100 rulman çeliği ile ham haldeki ve ısıl işlem sonucu yüksek sertliğe sahip AISI D2 (21, 35, 48, 56, 58, 62, 63 HRC) soğuk iş takım çelikleri farklı özelliklerde kesici takımlarla işlenerek yüzey kalitesi, takım ömrü ve takım aşınması değerleri incelenmiştir. Deneyler sonucunda kesme derinliğindeki artışın, takım ömrünün kısalmasına ve yüzey kalitesinin düşüşüne neden olduğu belirtilmiştir [6-16]. 52 HRC sertliğe sahip AISI D2 ve 55 HRC sertliğe sahip AISI 4340 çelik malzeme, seramik kesici takımlarla tornalanması sonucunda elde edilen verilere bakıldığında, kesme hızının artmasıyla takım ömrünün azaldığı görülmüştür. Deneylerden elde ettikleri verileri matematiksel modelleme sonucunda elde ettikleri değerlerle kıyasladıklarında, benzer sonuçların ortaya çıktığı görülmüştür [17]. 62 HRC sertliğe sahip AISI D2 soğuk iş takım çeliğine seramik kesici takımlarla farklı kesme hızı ve ilerleme değerlerinde yapılan çalışmada, Taguchi optimizasyon metodu kullanılarak optimizasyon uygulamışlardır. Deney sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerine etki eden en önemli parametrenin ilerleme değeri olduğu tespit edilmiştir [18]. 66 HRC sertliğe sahip AISI D2 soğuk iş takım çeliği, Tungsten karbür kesici kullanarak farklı kesme hızlarında ve ilerleme değerlerinde tornalanması sonucu elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kesme sıvısına nano-karbon ilavesi ile kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın azaldığı görülmüştür. Azalan sıcaklık değerleriyle birlikte takım aşınmasını azaldığı ve yüzey kalitesini arttığı tespit edilmiştir [19]. Bu deneylerde kullanılan kesici takımlardan, kaplamalı takımların kaplamasız takımlara göre aşınma miktarı, takım ömrü ve yüzey kalitesi açısından daha iyi performans gösterdiği vurgulanmıştır [6-13]. Deneyler sonunda takım aşınmasında, sertlik ve mikro yapının etkili olduğu ve PCBN parmak freze takımların karbür parmak freze takımlarına göre daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir [10].

Gelişen teknolojiyle beraber, kesici takım üzerine yapılan kaplamalar, kesici takımın aşınma direncini arttırmasından ve takım talaş ara yüzeyinde oluşan sürtünmeyi azaltmasından dolayı modern imalatta yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [14,15]. Örneğin; Alüminyum Oksit (Al_2O_3) kaplamanın, yüksek sıcaklıklarda kimyasal olarak kararlı ve aşınmaya karşı dirençli olduğu ispatlanmıştır. Bunun

yanında, Titanyum Nitrür (TiN) kaplamalı kesici takımlarda, sürtünme katsayısının azalmasıyla, kesici takım/talaş yüzeyinde oluşan yapışma eğiliminin de azaldığı görülmüştür [16].

AISI D2 soğuk iş takım çeliği yüksek aşınma direnci, yüksek tokluğa ve sertleştirilebilme kabiliyetine sahip olduğu için imalatta genel olarak kalıplar, zımbalar, makas bıçakları, çapak alma kalıpları gibi kırılmaya maruz kalan makine elemanların imalatında sıklıkla kullanılan bir malzemedir [11]. Bu çalışmada, üç farklı sertlikteki AISI D2 soğuk iş takım çeliği (21-48-56 HRC) kullanılarak frezeleme yöntemi ile işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. İşleme sonucunda oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri ve takım aşınmaları araştırılmıştır.

II. MATERYAL METOD

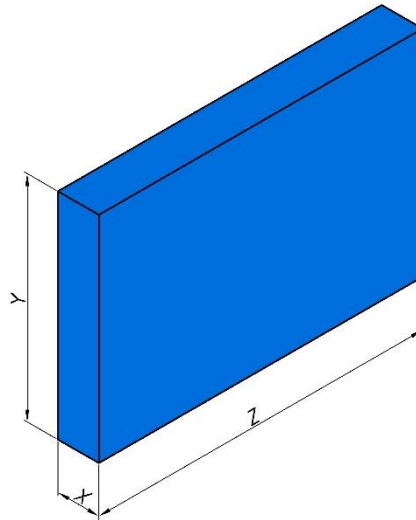
Deneyler, kaplamalı sementit karbür kesici takım kullanılarak, üç farklı sertliğe sahip malzeme (21-48-56 HRC), dört farklı kesme hızı (70-90-110-130 m/dak), üç farklı ilerleme miktarı (0,05-0,10-0,15 mm/diş) ve sabit kesme derinliğinde (0,5 mm), kuru işleme şartlarında yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan üç farklı sertlikteki AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal yapısı Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. AISI D2 deney malzemesinin kimyasal yapısı

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Mo	% V	% Fe
1.55	0.34	0.22	0.018	0.001	11.68	0.73	0.95	Diğer

Deneylerde kullanılmak üzere 70x50x15 mm boyutlarında deney numuneleri, üç grup halinde hazırlanmıştır (Şekil 1). Bu numunelerden birinci grupta olanlara (M1) herhangi bir ısıl işlem uygulanmamıştır (Ticari haliyle). İkinci grup numuneler (M2), önce sertleştirilmiş sonra 600°C’de temperlenmiştir. Üçüncü grup numuneler (M3) ise, önce sertleştirilmiş sonra 400°C’de temperlenmiştir. Bu ısıl işlemler sonrası malzemelerin sertlikleri sırasıyla M1 malzemesi 21 HRC, M2 malzemesi 48 HRC ve M3 malzemesi de 56 HRC sertlik değerlerine ulaşmıştır.



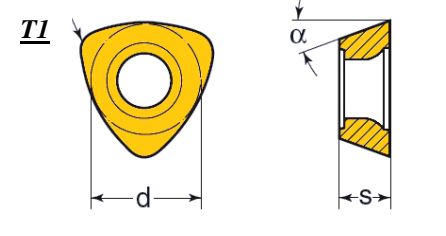
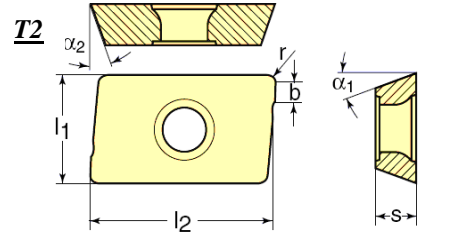
Şekil 1. Frezeleme işlemlerinde kullanılan parça boyutları (X: 15 mm, Y:50 mm, Z:70 mm)

Deneylerde Johnford VMC-550 marka Fanuc kontrol sistemli CNC dik işleme merkezi kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümleri için, MAHR-Perthometer-M1 yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır.

Deneyler esnasında oluşan kesme kuvveti verileri Dinamometre yardımı ile alınarak Amplifier'e (yükselteç) oradan da veri okuma kartı ve program sayesinde bilgisayara aktarılmıştır.

Deneylerde, WALTER firması tarafından üretilen P26339R10 kodlu (T1) ve ADMT 120408R-F56 kodlu (T2) kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Kesici takımlara ait geometrik boyut ve bilgiler Tablo 2 verilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan kesici takım geometrisi ve boyutları [20]

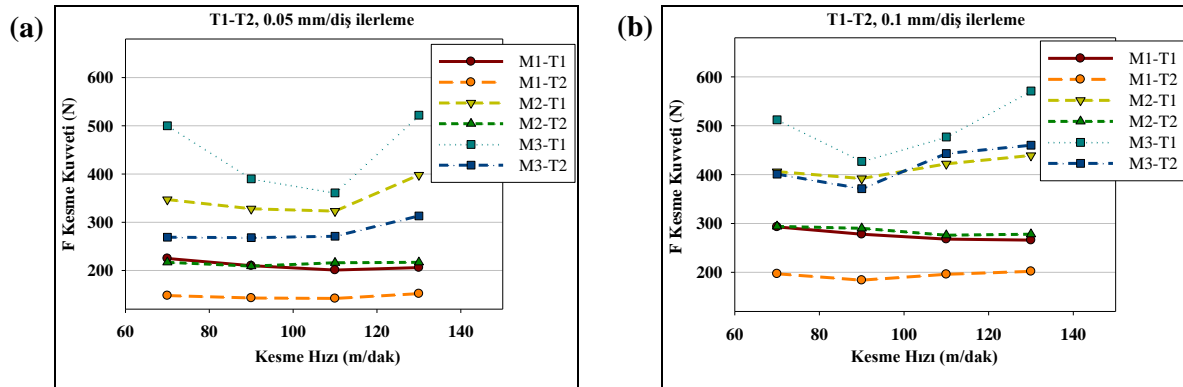
T1		T2	
			
Takım Kodu: P26339R10		Takım Kodu: ADMT 120408R-F56	
d (mm)	6,75	l₁ – l₂ (mm)	7,64 – 12
s (mm)	3,18	s (mm)	4,76
r (mm)	0,8	r – b (mm)	0,8 – 1,2
α (°)	140	α₁ – α₂ (°)	150 – 200

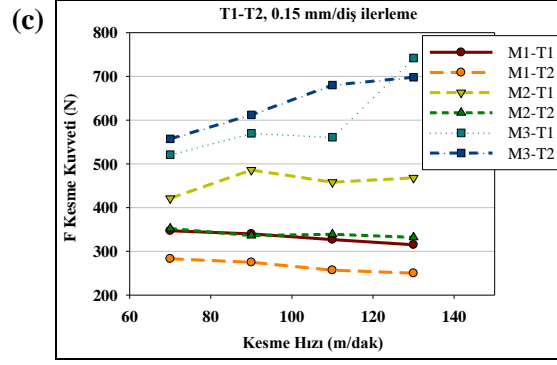
Kullanılan kesici takımlar, PVD tipi kaplama yöntemi ile 4-5 µm kalınlığında üç kat kaplama ile kaplanmıştır. Alt katman üzerine yanak aşınma direncini artırmak için TiAlN kaplama tabakası, üzerine plastik deformasyon direncini artırmak için γ-Al₂O₃ kaplama tabakası, en üst katman olarak da ZrN kaplaması yapılmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. KESME KUVVETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Her iki takım ile yapılan deneyler sonucu elde edilen kesme kuvveti verileri, üç ilerleme hızında kesme hızına bağlı grafikler Şekil 2’de verilmiştir.





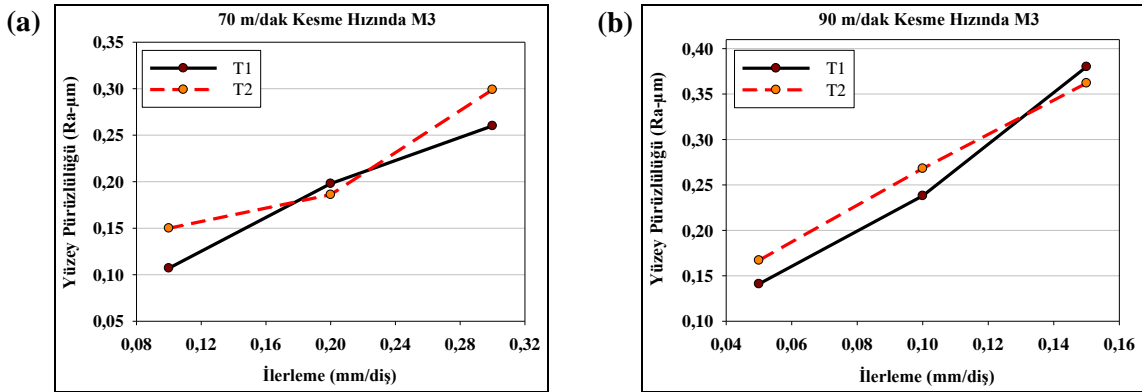
Şekil 2. T1-T2 takımlarının a) 0,05 mm/diş, b) 0,1 mm /diş, c) 0,15 mm/diş ilerlemede kesme kuvvetleri

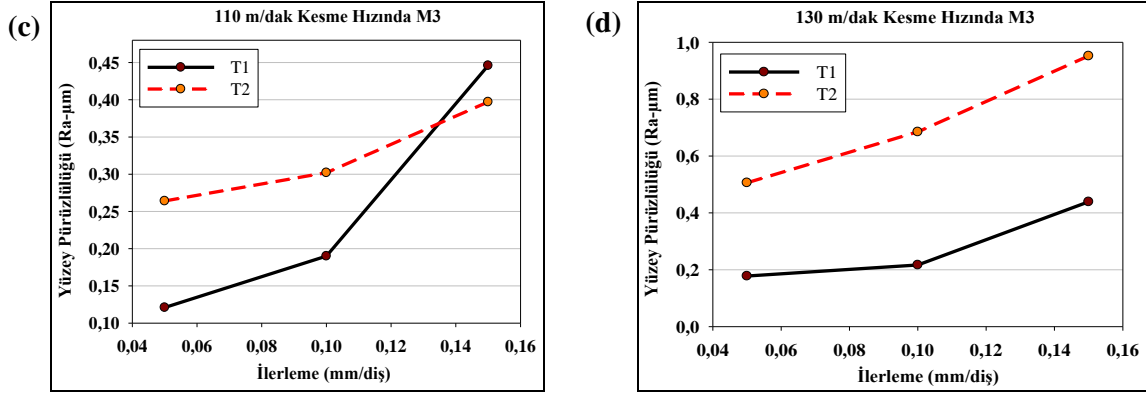
Şekil 2-a (0,05 mm/diş) ve 2-b (0,1 mm/diş) incelendiğinde T1 takımı için M3 malzemesi işlenirken, kesme hızının artışıyla belli mertebeye kadar kesme kuvvetinin düştüğü, kesme hızının artmasıyla tekrardan arttığı görülmektedir. Şekil 2-c (0,15 mm/diş) de ise T1 takımının M3 malzemesinde kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetinde sürekli artış göstermiştir. T2 takımının M3 malzemesini işlerken 0,05 mm/diş (Şekil 2-a) ilerlemede kesme hızının artmasıyla, kesme kuvvetleri sabit seyrederken, 0,1 mm/diş (Şekil 2-b) ilerlemede kesme hızının artmasıyla, kesme kuvveti önce düşüş sonrasında ise yükseliş eğilimi göstermektedir. 0,15 mm/diş ilerlemede ise kesme hızının artışıyla kesme kuvveti sürekli artmaktadır.

Sertlik değeri en yüksek (56 HRc) olan M3 malzemesi işlenirken, T2 takımının 0,15 mm/diş ilerleme hariç diğer ilerleme hızlarındaki kesme kuvvetlerinin T1 takımına göre daha düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. M3 malzemesiyle deneyler gerçekleştirilirken, T1 ve T2 takımlarının 0,05 ve 0,1 mm/diş ilerlemede kesme kuvvetlerinde nispeten azalma görülmektedir. Kuvvetlerdeki bu azalmanın, kısmen takım/talaş temas alanındaki azalmayla, kısmen de kesme hızındaki artışla birlikte birinci ve ikinci deformasyon bölgelerinde oluşan ısı enerjisinin artışıyla artan sıcaklığın, işlenen malzemenin akma mukavemetini düşürmesi sonucuyla oluştuğu açıklanmaktadır [4,21-27].

B. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şekil 3'te M3 malzemesinde elde edilen yüzey pürüzlülüklerin karşılaştırılması için her bir kesme hızında ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülük grafikleri verilmiştir.





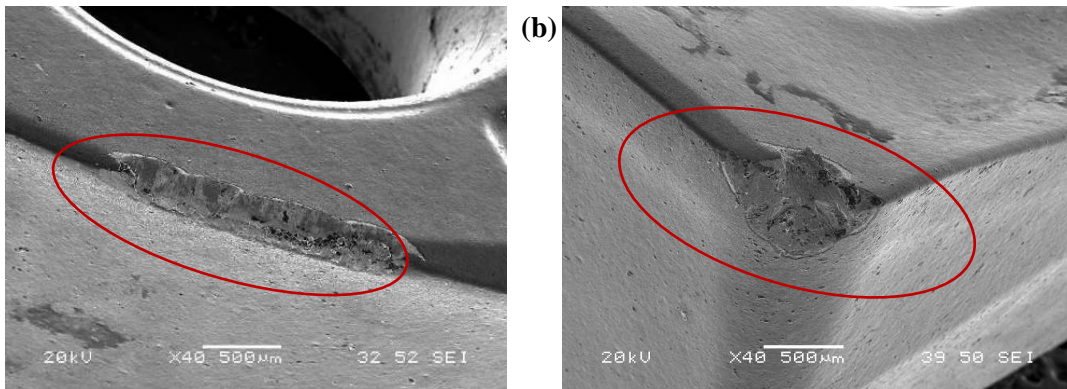
Şekil 3. M3 malzemesinde T1 ve T2 takımlarının ilerlemeye bağlı yüzey pürüzlülüğü
a) 70 m/dak, b) 90 m/dak, c) 110 m/dak, d) 130 m/dak

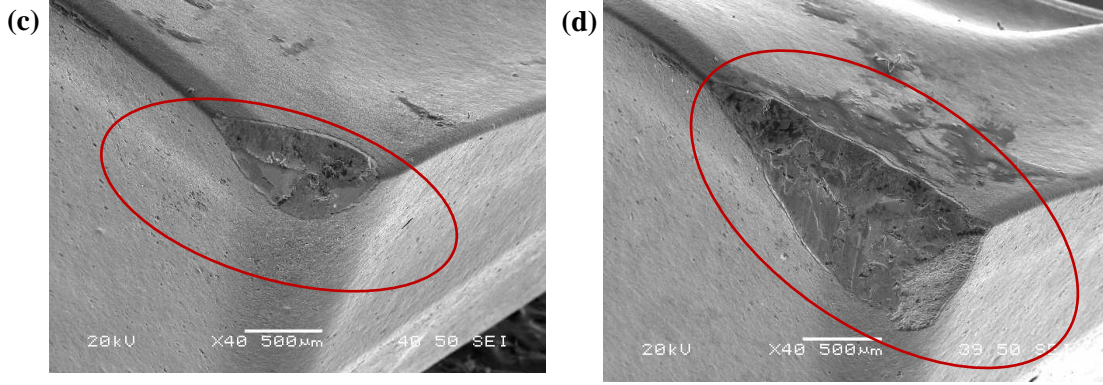
M3 malzemesinde 70 m/dak ve 90 m/dak kesme hızı değerlerinde her iki takım da yüzey pürüzlülükleri birbirine yakın çıkarken (Şekil 3 a-b), 110 m/dak ve 130 m/dak kesme hızında (Şekil 3 c-d) pürüzlülükler arasındaki fark oldukça büyük çıkmıştır. Bu fark kesici takımların aşınmasından özelliğini yitirdiği ve iş parçası üzerinden talaşı kazıyarak kaldırdığı için yüzey pürüzlülüğünün arttığı sonucuna varılmıştır [4,6,22,24].

Genel olarak T1 takımı ile T2 takımı yüzey pürüzlülüğü açısından karşılaştırıldığında, sertliği az olan M1 malzemesinde T1 takımı daha iyi performans gösterirken, M2 malzemesinde düşük ilerleme değerlerinde, T1 takımı, yüksek ilerleme değerlerinde T2 takımı daha iyi performans göstermiştir.

C. TAKIM AŞINMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ

T1 kesici takımının aşınma direnci konusunda oldukça iyi performans sergilediği görülmüştür. T1 takımındaki bu iyi performansın, takım geometrisindeki ve takım kaplamasındaki farklılığın başarısı olarak düşünülmektedir. Takım geometrisi sayesinde takıma gelen yükler daha geniş bir alana yayılmış ve takım yüzeyine gelen basıncın asgari düzeylerde oluşmasını sağlamıştır. M2 ve M3 malzemeleri için (sırasıyla 48 ve 56 HRC sertliğe sahip) yüksek işlenebilirlik değerleri olan, 130 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/diş ilerleme değerlerinde normal bir aşınma görülmemiş, sadece kesme kenarında ani kırılmalar oluştuğu görülmüştür (Resim 1-a).





Resim 1. T1 ve T2 kesici takımların kesme kenarlarının görüntüleri
*a) T1 kesici takımı ile $V=130$ m/dak, $f_z=0,15$ mm/diş, sertlik = 56 HRC,
 b) T2 kesici takımı ile $V=130$ m/dak, $f_z=0,15$ mm/diş, sertlik = 48 HRC,
 c) T2 kesici takımı ile $V=130$ m/dak, $f_z=0,05$ mm/diş, sertlik = 56 HRC,
 d) T2 kesici takımı ile $V=110$ m/dak, $f_z=0,1$ mm/diş, sertlik = 56 HRC.*

T2 takımı ile yapılan deneylerde; M1 malzemesi işlenirken herhangi bir aşınma olmamıştır. M2 malzemesi işlenirken en ağır kesme şartı olan 0,15 mm/diş ilerleme, 130 m/dak kesme hızında takım aşınmasının az miktarda olduğu görülmüştür (Resim 1-b). M3 malzemesi işlenirken 0,05 mm/diş ilerleme, 130 m/dak az miktarda aşınma görülmesine (Resim 1-c) karşın diğer işleme şartlarında takım aşınarak ömrünü tamamlamıştır (Resim 1 c-d).

T1 ve T2 takımları aşınma açısından karşılaştırılacak olursa, T1 takımıyla yapılan en sert olan M3 malzemesinde (56 HRC) kesme şartlarının en ağır olan 0,15 mm/diş ilerlemede, 130 m/dak kesme hızındaki işlenebilirlik deneylerinde bile takım aşınmasının olmadığı görülmüştür. T2 takımı ise en hafif şartlarda bile aşınmaya başlamış, en ağır şartlarda ise aşınarak ömrünü tamamlamıştır. T1 ve T2 takımları arasındaki bu aşınma durumlarını, T1 takımının geometrisi sayesinde kesme kenarının uzun olması ve kesme işleminde oluşan basıncın daha geniş bir alana yayılması ile daha başarılı olduğunu görmekteyiz. T2 takımında ise kesme kenarının daha kısa olması ve oluşan basıncın daha küçük alana yayılması ile takımın aşırı yüklerin takımı aşındırarak takım ömrünü tamamlamasıyla açıklanabilir [11,21].

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Kesme kuvvetlerinde en düşük değer, sertliği en az olan M1 malzemesinde ilerlemenin en düşük olduğu 0,05 mm/diş ve kesici takım için tavsiye edilen kesme hızının 100 m/dak değerinde elde edilmiştir. Aynı şekilde en büyük kesme kuvveti değeri de, en ağır kesme şartı olan 0,15 mm/diş ilerleme ve 130 m/dak kesme hızı değerinde elde edilmiştir.
- Her üç malzeme içinde, artan kesme hızı değerlerinde azalan kesme kuvvetleri oluşurken, artan ilerleme değerlerine paralel olarak artan kesme kuvvetleri elde edilmiştir.
- Kesici takımların geometrilerinden dolayı, T1 kesici takımdaki kesme kuvveti T2 kesici takımın kesme kuvvetinden daha büyük çıkmıştır.

- Oluşan kesme kuvvetleri malzeme bazında sıralandığında, en düşük kesme kuvvetleri, sertliği en az olan M1 malzemesinde oluşurken, en büyük kesme kuvvetleri en sert M3 malzemesinde oluşmuştur.
- 0,05 mm/diş ve 0,1 mm/diş ilerleme değerlerindeki yüzey pürüzlülük değerleri her üç malzemede birbirine çok yakın çıkmış iken 0,15 mm/diş ilerleme değerlerindeki pürüzlülük değerleri arasında fark olduğu görülmüştür.
- 0,05 mm/diş ilerleme değerinde tüm kesme hızlarında her üç malzeme için oldukça iyi yüzey kaliteleri (0,098-0,149 mm) oluşurken, en yüksek ilerleme değeri olan 0,15 mm/diş ilerlemede yüzey kalitesi orta değerlerde (0,196-0,473 mm) oluşmuştur.
- Takım aşınması yönünden T1 kesici takımları, oldukça iyi performans göstermiştir. Ancak; T2 kesici takımlarında ise M1 ve M2 malzemelerinde aşınma az gözlenmiş, en sert olan M3 malzemesinde ise, yüksek ilerleme ve yüksek kesme hızlarında işlemeye başlar başlamaz kesici takım aşınarak ömrünü tamamladığı gözlenmiştir. Kesici takımda oluşan aşınma mekanizmasının yanak aşınmasından çok, plastik deformasyon olduğu tespit edilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Demir, B. Özlü, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 25, no. 1-2, 2009. 262-271.
- [2] G. Uzun, İ. Çiftçi, *Politeknik Dergisi* vol. 15, no. 1, pp. 29-34, 2012.
- [3] M. Akkurt, *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları*, Birsen Yayınevi, 1992.
- [4] H. Demir, H. B. Ulaş, M. Zeyveli, *Stavax esr çeliğinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından değerlendirilmesi*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük-Türkiye, 2009, pp. 1270-1273.
- [5] M. Boy, H. Demir, İ. Korkut, *Vanadis 10 soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük-Türkiye, 2009, pp. 1280-1283.
- [6] İ. Ucun, K. Aslantaş, *Sertleştirilmiş 52100 takım çeliğinin tornalanmasında karbürü kesici takımın performansının araştırılması*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük-Türkiye, 2009, pp. 1256-1261.
- [7] Y.G Jeong, M.C. Kang, J.S. Kim, K.H. Kim, W.G. Kim, I.D. Park, Y.H. Jun, *Current Applied Physics*, 2009, pp. 272–275.
- [8] E. Aslan, *Materials and Design*, vol. 26, pp. 21–27, 2005.
- [9] P. Koshy, R.C. Dewes, D.K. Aspinwall, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 127, pp. 266–273, 2002.

- [10] N. Camuŕu, E. Aslan, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 170, pp. 121–126, 2005.
- [11] E. Ŗirin, Y. Turgut, İ. Korkut, *Politeknik Dergisi*, vol. 15, no. 1, pp. 9-14, 2005.
- [12] B. Bakır, M. Kurt, G. Basmacı, O. Girit, *Frezelemede kesici takım çapı, ağız sayısı ve talaş açısının yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım sehimlerine etkileri*, Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir-Türkiye, 2012, pp. 138-144.
- [13] F. Saba, S. Raygan, H. Abdizadeh, A. Dolatmoradi, *Powder Teknoloji*, vol. 246, pp. 229-234, 2003.
- [14] C. K. N. Oliveira, L. C. Casteletti, N. A. Lombardi, G. E. D Totten, S. C. Heck, *Vacuum*, vol. 84, pp. 792–796, 2004.
- [15] F.J. Da Silva, D.D. Franco, A.R. Machado, E.O. Ezugwu, A.M. Souza Jr, *Wear* 261 (2006) 674-685.
- [16] E. P. DeGarmo, J. T. Black, R. A Kohser, *Materials and Processes in Manufacturing*, Prentice-Hall Inc., 11. Baskı 1997.
- [17] K. Orra, S. K. Choudhury, *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 81, pp. 475–492, 2016.
- [18] M. Karabatak, F. Kara, *Journal of Polytechnic*, vol. 19, no. 3, pp. 349-355, 2016.
- [19] P. Sharma, B. S. Sidhu, J. Sharma, *Journal of Cleaner Production*, vol. 108, pp. 72-79, 2015.
- [20] Walter Kesici Takım katalođu, Ankara, 2010.
- [21] M.C. akır, Modern talaşlı imalat yöntemleri, Vipaş A.Ş, 2000.
- [22] M. Zeyveli, H. Demir, H. B. Ulaş, A. Güllü, *Orvar supreme sıcak iş takım çeliğinin işlenebilirliğinin incelenmesi*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük-Türkiye, 2009, pp. 1266-1269.
- [23] İ. Çiftçi, *Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğünün tayini ders notları*, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük, 2004, pp. 1-6.
- [24] Y. Özçatalbaş, *Politeknik Dergisi*, vol.4, pp. 47-52, 2002.
- [25] H. Dilipak, V. Yılmaz, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* vol. 27, no. 2, pp. 285-294, 2012.
- [26] G. Uzun, İ. Çiftçi, B. Demir, F. Hayat, *“5140 eliğinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin işlenebilirliğe etkisi*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük-Türkiye, 2009, pp. 1262-1265.
- [27] Trent EM., *Metal Cutting*, Butterworths Pres, London, 1989.