

1.2344 Sıcak İş Takım Çeliğinin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün Optimizasyonu

Barış Özlü¹, Mahir AKGÜN¹, Hasan Basri ULAŞ² ve Halil DEMİR³

¹Makine ve Metal Teknolojileri, TBMYO, Aksaray Üniversitesi, TÜRKİYE

²İmalat Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, TÜRKİYE

³İmalat Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Karabük Üniversitesi, TÜRKİYE

*(barisozlu@aksaray.edu.tr) Email of the corresponding author

Özet – Sunulan çalışmada, kalıp endüstrisinde kullanılan ve önemli bir yeri olan 1.2344 sıcak iş takım çeliği (155 HB) için optimum işleme şartlarının belirlenmesi amacıyla, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla işlenebilirlik deneyleri 1.2344 çeliği üzerinde kuru kesme şartlarında CNC torna tezgahında gerçekleştirildi. Tornalama deneyleri (140, 180 ve 220 m/dak) kesme hızı, (0,1, 0,15 ve 0,2 mm/dev) ilerleme miktarı ve (0,4, 0,8 ve 1,2 mm) talaş derinliği olarak üç farklı seviyede tanımlanarak Taguchi'nin L9 dikey dizini ile deney tasarımı yapılmıştır. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini belirlemek amacıyla varyans analizi (Anova) yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre yüzey pürüzlülük üzerine en etkin parametrenin %55,49 katkı oranı ile kesme hızı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Sıcak iş takım çeliği, yüzey pürüzlülüğü, Anova

Optimization of Surface Roughness in Turning of 1.2344 Hot Work Tool Steel

Abstract –In the present study, the effects of cutting parameters on surface roughness were investigated in order to determine the optimum machining conditions for the hot work tool steel (155 HB), which is an important part of the mold industry. For this purpose, the machining tests were conducted on 1.2344 steel using a CNC turning center under dry cutting conditions. The experimental design was performed according to Taguchi's L9 orthogonal array at three different levels which are cutting speeds (140, 180 and 220 m/min), feed rate (0.1, 0.15 and 0.2 mm/rev), and depth of cut (0.4, 0.8 and 1.2 mm). The effects of cutting parameters on surface roughness were determined through variance analysis (ANOVA). According to the obtained results, it was determined that the most effective parameter for the surface roughness is cutting speed (55.4%).

Keywords – Hot work tool steel, surface roughness, Anova

I. GİRİŞ

Talaş kaldırma yöntemiyle imal edilen parçaların kalitesini etkileyen en önemli ölçütlerden birisi yüzey pürüzlülüğüdür. Malzemelerin işlenebilirliğinin belirlenmesinde yüzey pürüzlülüğü en önemli etkenlerden birisidir. Endüstride üretilen parçaların çoğu tornalama operasyonu ile işlendiği için tornalanmış parçaların finiş yüzeylerinin ürün kalitesi üzerinde büyük etkisi vardır. İmal edilen parçaların çalışma fonksiyonları için istenen yüzey kalitesinin elde edilmesi önemli bir ihtiyaç oluşturmaktadır. Mühendislik parçalarında oluşan yorulma dayanımı yüzey kalitesinin azalması ile artmaktadır [1]. Çünkü aşınma, ısı iletimi, sürtünme, yorulma direnci ve yağlama gibi ürünün kalitesinin artırılması için gerekli olan fonksiyonel karakteristik özellikleri yüzey pürüzlülüğü etkilemektedir. Yüzey kalitesinin artırılması yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesi ile sağlanmaktadır [2 ve 3]. Farklı birçok etken yüzey kalitesini etkiler. Bunlar ilerleme

hızı, malzeme sertliği ve karakteristiği, kesme hızı, kesme derinliği, kesme zamanı, kesici takım uç radiusü, kesici takım kesme kenar açısı, takım tezgahın rijitliği ve iş parçasının bağlanması, titreşim ve kesme sıvısıdır [4].

Literatürde 1.2344 sıcak iş takım çeliği üzerine farklı çalışmalar dikkat çekmektedir. Ng ve ark., AISI H13 çeliğin, teorik olarak, dik kesmede oluşan sıcaklık ve kesme kuvvetleri ile kesme işlemi modellemiştir. Deneysel çalışmalarda FE analizi ve PCBN kesici takım kullanılarak, sıcaklığın, deneysel ve FE ile teorik modellemesinden elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğunu tespit etmişlerdir [5]. Shatla ve ark., talaş kaldırma esnasında oluşan gerilme dağılımının belirlenmesi için bir model geliştirmişlerdir. Bu model ile AISI H13 çeliğinin farklı işleme koşullarında oluşan kesme ve ilerleme kuvvetlerinin belirlenmesine ve bunların gerilme dağılımına, kesme kuvvetlerine ve sıcaklığa etkilerini araştırmışlardır. Geliştirilen modelin uygulanabilirliğinin

diğer metotlardan daha iyi olduğunu belirtmişlerdir [6]. Çiftçi, AISI 304 çeliğinin kaplanmış sementit karbürle işlenmesinde takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Bu çalışmada artan kesme hızı ile takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ancak belli bir değerden sonra ikisinin de arttığı görülmüştür [7]. Coldwell ve ark., sertleştirilmiş (48-52 HRC) AISI H13 çeliğinin ve AISI D2 çeliğinin karbür kesici takımla delme işleminde, takım ömrü, iş parçası kalitesi, maliyet ve verimlilik yönünden işleme şartlarını araştırmışlar. Takım ömründe AISI H13 çeliğinin AISI D2 çeliğinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [8]. Taktak, borlanmış AISI H13 ve AISI 304 çeliğinin göstermiş olduğu mekanik ve fiziksel davranışlarının incelendiği çalışmada, borlama ile yüzey pürüzlülüğünün arttığını göstermiştir [9]. Zeyveli ve ark. Orvar Supreme (1.2344 ESR, AISI H13 Premium) sıcak iş takım çeliğinin karbür uç ile işlenmesinde yüzey pürüzlülük değerleri ve kesme kuvvetleri ölçmüşlerdir. Bu çalışmada kesme hızının ve ilerleme miktarının kesme kuvvetlerini önemli miktarda etkilemiş ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerine önemli bir etkisinin olduğunu ortaya koymuşlardır [10]. Zeyveli ve Demir, yaptıkları bu çalışmada, endüstride kalıpcılıkta çok kullanılan, ısıl kararlılığı ve tokluğu yüksek AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde, kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyler çok katlı kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve talaş tipleri ile yüzey pürüzlülük değerleri arasında yakın bir ilişkinin olduğunu belirlemişlerdir [11].

Bu çalışmada kalıpcılık sektöründe yaygın olarak kullanılan 1.2344 sıcak iş takım çeliği kaplanmış sementit karbür kesici takımla işlenmesinde optimum işleme şartlarının belirlenmesi amacıyla, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

Deneysel çalışmada Assab Korkmaz ürünü olan 1.2344 ESR (Orvar Supreme, AISI H13 Premium) Ø50x300 mm boyutlarında sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan 1.2344 çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Sıcak iş takım çeliği (1.2344) kimyasal bileşimi

ISO-1.2344 / DIN- ESR					
C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,39	1	0,40	5,15	1,4	0,8

İşleme Deneyleri, FANUC kontrol ünitesine sahip “YTH 10700 CNC” sanayi tipi CNC torna tezgahında kuru kesme şartlarında yapılmıştır. Tezgahın gücü 10 KW olup, tezgah iş mili değişken kademesiz hıza sahiptir ve 3000 dev/dak’ya kadar çıkabilmektedir. Kesme parametresi olarak kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği ISO 3685 dikkate alınarak belirlenmiştir [12]. İşlenebilirlik deneyleri tornalama yöntemiyle karbür kesici takımlar kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan kesici takımlar Kennametal firması tarafından KC9110 kalite grubunda üretilmiştir. Kesici takımlar ISO’ya göre CNMG 120412MN geometrisinde olup PCBNR 2525M12 kodlu bir takım tutucuya rijit olarak bağlanmıştır. Mitutoyo Surfrest SJ-210 model yüzey pürüzlülük cihazı ile işlenmiş yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülüğü ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümleri, örnekleme

uzunluğu (λ) ve ölçme uzunluğunun (L) tespitinde ilgili ISO 4288’e uygun kurallara uyulmuştur [13]. Ölçümler iş parçası eksenine paralel olacak şekilde 120° döndürülerek işlenmiş yüzeyde üç farklı noktadan ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucu bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri hesaplanmıştır.

III. DENEY SONUÇLARI VE ANALİZ

A. Taguchi Deney Tasarımı

Deneysel çalışmalarda doğru sonuca ulaşabilmek için doğru deney tasarımının yapılması gerekmektedir. Deney tasarımı, kesme parametrelerinin deneysel süreç içerisindeki bilinmeyen özelliklerinin belirlenmesi ve değişkenler arasındaki etkileşimlerin analizi ve modellenmesi için güçlü bir istatistiksel yöntemdir [14]. Yapılan çalışmada, deney tasarım ve analiz yöntemi olarak Taguchi metodu kullanılmıştır. Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilen bu yaklaşımda, sonuçları analiz edebilmek için S/N oranı olarak bilinen bir istatistiksel performans ölçüsü kullanılır [16]. Bu çalışmada, 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) için kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Kesme hızı (V), ilerleme miktarı (f) ve talaş derinliği (a), değişken olarak seçilmiş olup, değişkenlerin her biri için üç farklı seviye belirlenmiştir. Deney tasarımında, Taguchi yönteminin L9 dikey dizisi kullanılmıştır. Değişkenler ve değişken seviyeleri Tablo 2’de deney dizini Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 2. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri ve seviyeleri

Sembol	Kontrol faktörleri	Seviye I	Seviye II	Seviye III
A	Kesme hızı – V (m/dk)	140	180	220
B	İlerleme hızı – f (mm/dev)	0,1	0,15	0,2
C	Talaş Derinliği – a (mm)	0,4	0,8	1,2

Tablo 3. Taguchi L9 deney tasarımı

Deney No	Kontrol Faktörleri		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

B. S/N Oranlarının Analizi

1.2344 sıcak iş takım üzerinde, Taguchi L9 deney tasarımına göre gerçekleştirilen tornalama deneyleri sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine göre S/N oranları en küçük en iyi eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 4’de işlenen malzemede elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve buna karşılık gelen S/N oranları verilmiştir. 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin tornalama sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin aritmetik ortalaması (TRa) 1,057 μ m olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte S/N oranı aritmetik ortalaması da 3,452 dB olarak hesaplanmıştır.

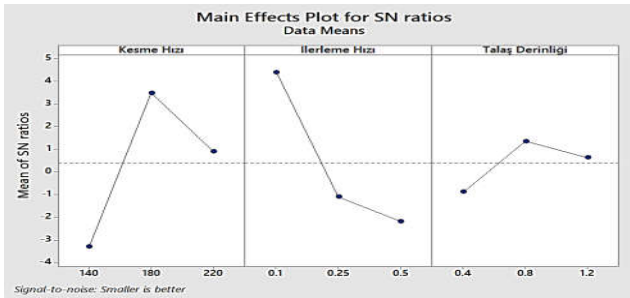
Tablo 5’de işlenen 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu görülmektedir. S/N yanıt tablosu kullanılarak kontrol faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin analiz yapılmıştır. 1.2344 sıcak iş takım çeliğine ait yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin seviye değerleri Şekil 1’de gösterilmiştir. Buna göre 1.2344 sıcak iş takım çeliğine ait yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin uygun değer seviyeleri A kesme hızı 180 m/dk (Seviye 2), B ilerleme hızı 0,1 mm/dev (Seviye 1) ve C talaş derinliği 0,8 mm (Seviye 2) olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. İşleme sonrası elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ve S/N oranları

KONTROL FAKTÖRLERİ					
Deney No	A Kesme Hızı (m/dak)	B İlerleme Hızı (mm/dev)	C Talaş Derinliği (mm)	Yüzey pürüzlülük değeri Ra (µm)	S/N Oranı (dB)
1	140	0,1	0,4	1,123	-1,007
2	140	0,15	0,8	1,524	-3,659
3	140	0,2	1,2	1,814	-5,172
4	180	0,1	0,8	0,359	8,898
5	180	0,15	1,2	0,814	1,787
6	180	0,2	0,4	1,022	-0,189
7	220	0,1	1,2	0,542	5,320
8	220	0,15	0,4	1,177	-1,415
9	220	0,2	0,8	1,14	-1,138

Tablo 5. Yüzey pürüzlülüğü için S/N yanıt tablosu

Seviyeler	Kontrol Faktörleri		
	A	B	C
1	-3,280	4,403	-0,870
2	3,498	-1,095	1,366
3	0,922	-2,166	0,644
Delta	6,778	6,570	2,237



Şekil 1. Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörlerinin seviye değerleri

C. Varyans Analizi

Deney tasarımında kullanılan tüm kontrol faktörlerinin birbiriyle olan etkileşimleri, performans karakteristiği üzerinde nasıl bir etki meydana getirdiği ve parametrelerin farklı seviyelerinin performans karakteristiğinde ne gibi değişimlere sebep olduğunun belirlenebilmesi için Anova yöntemi kullanılmıştır [16-17]. Tablo 6’da 1.2344 sıcak iş

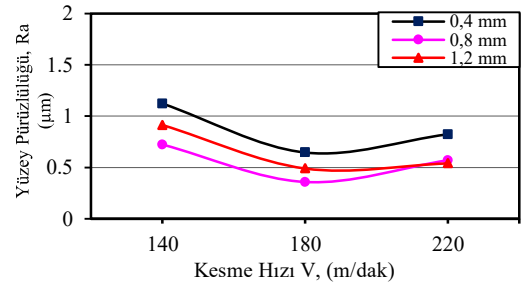
takım çeliği için yüzey pürüzlülüğü üzerine, kontrol faktörlerinin etki seviyelerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları verilmiştir. Yapılan bu analiz %95 güven seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü değeri üzerinden en fazla öneme sahip değişken %55,49 katkı oranı ile kesme hızı olduğu görülmüştür. İlerleme hızı ise %42,54’lük oranla kesme hızından sonra en etkili olan parametredir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en az etkiye sahip parametrenin %0,85’lik oranla kesme derinliği olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar literatürdeki takım çeliklerinin işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmalar ile paralellik göstermektedir. AISI D2 çeliğinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün taguchi metodu ile optimizasyonun araştırılması ile ilgili yapılan çalışmada, istatistiksel analiz sonuçlarında yüzey pürüzlülüğüne en etkili faktörün %55,66 katkı oranı ile kesme hızı olduğu, bunu sırasıyla ilerleme hızı %25,57’lik oran ve malzeme sertliği % 5,92 oranla takip ettiği görülmüştür [18]. İstatistiksel analiz sonuçları ile deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında birbirlerini doğrular niteliktedir.

Tablo 6. Yüzey pürüzlülüğü için Anova tablosu

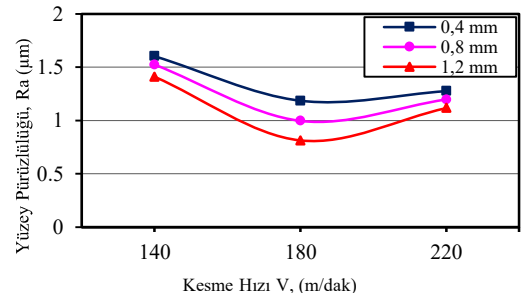
Kontrol Faktörleri	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Kareler Ortalaması (MS)	F	P	Katkı Oranı %
A	2	0,904	0,452	56,82	0,017	55,49
B	2	0,693	0,346	43,59	0,022	42,54
C	2	0,014	0,007	0,94	0,517	0,85
Hata	2	0,015	0,007			0,92
Toplam	8	1,629				100

IV. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

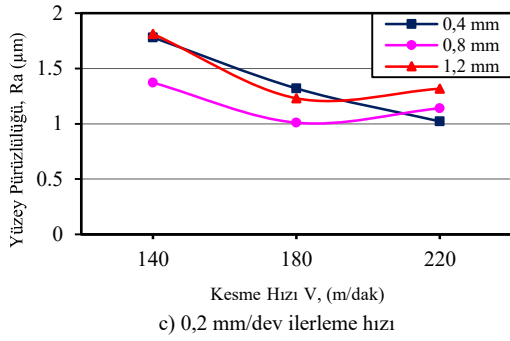
Yüzey pürüzlülüğü kesme hızı, ilerleme hızı, takım uç radüsü, yanak aşınması ve iş parçası-takım malzemesinin özellikleri gibi birçok faktöre bağlıdır. 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin işleme şartlarının belirlenmesi amacıyla, farklı kesme hızlarında (140, 180 ve 220 m/dak), ilerleme miktarlarında (0,1, 0,15 ve 0,2 mm/dev) ve talaş derinliklerinde (0,4, 0,8 ve 1,2 mm) işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir (Şekil 2 a, b ve c). Yapılan deneyler sonucunda en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri 140 m/dak kesme hızında oluşmuştur.



a) 0,1 mm/dev ilerleme hızı



b) 0,15 mm/dev ilerleme hızı



Şekil 2. İşleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi.

Şekil 2 a, b ve c'de grafikleri incelendiğinde kesme hızının 140 m/dak dan 180 m/dak kadar artması ile yüzey pürüzlülük değerleri azalmıştır. Genel olarak 180 m/dak kesme hızından sonra kesme hızının 220 m/dak çıkarılması ile yüzey pürüzlülük değerleri artış eğilimi sergilemiştir. Kesme hızının 180 m/dak kadar artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azalması yığıntı talaş oluşma eğiliminin azalmasıyla açıklanabilir. Düşük kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün yüksek çıkması BUE oluşumu ile açıklanabilir [19-20]. Ancak, kesme hızının 220 m/dak'ya çıkması ile yüzey pürüzlülüğünün artması, artan kesme hızıyla sıcaklığın artması ve devan eden kesme sürecinde kesici takımın üzerine gelen gerilmelerin takımında aşınmaya neden olmasına atfedilebilir. En iyi yüzey pürüzlülük değeri 180 m/dak kesme hızı, 0,1 mm/dev ilerleme hızı ve 0,8 mm talaş derinliğinde 0,359 µm ölçülmüştür.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin sementit karbür kesici takım kullanılarak işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır.

- ✓ Taguchi analizi sonucu, ortalama S/N oranlarının en büyük değerlerinin alınmasıyla elde edilen optimum değerler incelendiğinde; kesme hızının ikinci seviyesi olan 180 m/dak, ilerleme hızının birinci seviyesi olan 0,1 mm/dev ve kesme derinliğinin ikinci seviyesi olan 0,8 mm değerlerinde yüzey pürüzlülüğünün en iyi sonucu verdiği görülmüştür.
- ✓ ANOVA sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametrenin kesme hızı (%55,49), daha sonra sırasıyla ilerleme hızı (%42,54) ve kesme derinliği (%0,85) olduğu görülmüştür.
- ✓ 140 m/dak kesme hızından, 180 m/dak kesme hızına çıkması ve 0.1 mm, 0.15mm ve 0.2 mm talaş derinliğinde sırasıyla yüzey pürüzlülükleri yaklaşık %45, %34 ve %27 azalmıştır.
- ✓ Genel olarak Kesme hızının 180 m/dak'dan, 220 m/dak çıkması yüzey pürüzlülükleri artmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Arola, D., and Williams, C.L., "Estimating The Fatigue Stress Concentration Factor of Machined Surfaces", International Journal of Fatigue, Volume:24, pp:923-930, 2002.
- [2] Dagnal, H., "Exploring Surface Texture", Rank Taylor Habson Limited, England, 1986.
- [3] Wang, M.Y., and Chang H.Y., "Experimental Study of Surface Roughness in Slot End Milling", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Volume:44, pp:51-7, 2004.

- [4] Suresh, P.V.S., Venkateswara Rao P., and Deshmukh S.G., "A Genetic Algorithmic Approach For Optimization of Surface Roughness Prediction Model", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Volume:42, pp:675-680, 2002.
- [5] Ng E.G., Aspinwall D.K., Brazil D., Monaghan J., "Modelling of Temperature and Forces When Orthogonally Machining Hardened Steel", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Volume:39, pp:885-903, 1999.
- [6] Shatla M., Kerk C., Altan T., "Process Modeling in Machining. Part I: Determination of Flow Stress Data", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Volume:41, PP:1511-1534, 2001.
- [7] Çiftçi İ., "AISI 304 Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Kaplanmış Sementit Karbür Kesici Takımla İşlenmesi Esnasında Oluşan Takım Aşınması", Teknoloji, 7 (3), pp:489-495, 2004.
- [8] Coldwell H., Woods R., Paul M., Koshy P., Dewes R., Aspinwall D., "Rapid Machining of Hardened AISI H13 and D2 Moulds, Dies and Press Tools", Journal of Materials Processing Technology, Volume:135, pp:301-311, 2003.
- [9] Taktak S., "Some Mechanical Properties of Borided AISI H13 and 304 Steels", Materials and Design, Volume:28, pp:1836-1843, 2007.
- [10] Zeyveli M., Demir H., Ulaş H. B., Güllü A., "Orvar Supreme Sıcak İş Takım Çeliğinin İşlenebilirliğinin İncelenmesi", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 2009.
- [11] Zeyveli M., Demir H., "AISI H13 Sıcak İş Takım Çeliğinin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel İncelenmesi", Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı25 (1-2), Sayfa: 251-261, 2009.
- [12] ISO 3685, "Tool-life testing with single-point turning tools", Sayfa :1-12, 1993 .
- [13] ISO 4288, "Geometrical Product Specifications (GPS) -Surface texture: Profile method-Rules and procedures for the assessment of surface texture", Sayfa1-8, 1996.
- [14] Taguchi, G., Chowdhury, S., Wu, Y., "Taguchi's Quality Engineering Handbook", John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA, 2005.
- [15] Turgut E. and Dikici A., "Optimization of design parameters of Co-axial heat exchanger with Taguchi method", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), pp:278-281, 2011.
- [16] Mandal N., Doloi B., Mondal B., Das R., "Optimization of flank wear using Zirconia Toughened Alumina (ZTA) cutting tool: Taguchi method and Regression analysis", Measurement, volume:44, pp: 2149-2155, 2011.
- [17] Turgut E. and Dikici A., "Optimization of design parameters of Co-axial heat exchanger with Taguchi method", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), pp:278-281, 2011.
- [18] Şirin E., Şirin Ş., Turgut Y., Korkut İ., "AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Frezelenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Metodu İle Optimizasyonu", Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3, 132-144, 2015.
- [19] Zeyveli M., Demir H., Ulaş H.B., Güllü A., "Orvar Supreme Sıcak İş Takım Çeliğinin İşlenebilirliğinin İncelenmesi", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, 2009.
- [20] Demir H., Ulaş H.B., Zeyveli M., "STAVAX ESR Çeliğinin Yüzey Pürüzlülüğü Ve Kesme Kuvvetleri Açısından Değerlendirilmesi", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, 2009.