



AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde yüzey Pürüzlülüğünün araştırılması ve istatistiksel proses kontrol metodunun uygulanması

Metin ZEYVELİ

Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük Üniversitesi, 78050, Balıklarkayası, Karabük.

ÖZET

Bu çalışmada, endüstride kalıpcılıkta çok kullanılan, ısı kararlılığı ve tokluğu yüksek AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde, kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Altı farklı kesme hızı (70, 100, 130, 160, 190, 200 m/dak.) ile üç farklı ilerleme hızı değerinde (0,05, 0,1, 0,15 mm/dev) ve sabit bir kesme derinliğinde (1mm) deneyler yapılmıştır. Deneyler tornama yöntemiyle kaplanmış sementit karbür kesici takımlar kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan ilerleme hızının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Kesme hızının artması ise yüzey pürüzlülüğünde yine artışa neden olmuştur. Kesme hızına bağlı olan artış ilerleme hızına oranla daha düşük olmuştur. İşleme parametrelerine ve yüzey pürüzlülüğü değerlerine İstatistiksel Proses Kontrol (İPK) metodları uygulanmış ve analizleri yapılmıştır. İPK metoduna göre seçilen ilerleme hızı değerlerinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü için işlem kontrol dışındadır. Seçilen kesme hızlarına bağlı olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğünün ise dengeli ve prosesin kontrol altında olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

İşlenebilirlik, sıcak iş takım çeliği, yüzey pürüzlülüğü, kesme parametreleri, istatistiksel proses kontrol

Investigation of surface roughness when machining AISI H13 hot work tool steel and application of statistical process control

ABSTRACT

In this study, the influence of cutting speed and feed rate on workpiece surface roughness was investigated experimentally when machining AISI H13 hot work tool steel which is widely used in mould and die making and characterised by its good thermal stability and high toughness. The machining tests were carried out through turning at six different cutting speeds (70, 100, 130, 160, 190 and 200 m/min), three different feed rates (0.05, 0.1 and 0.15 mm/rev) and at a constant depth of cut (1 mm). Coated cemented carbides were used as cutting tool. The obtained results showed that increasing feed rate increased the workpiece surface roughness values. Increasing cutting speed also increased the surface roughness values. However, the rate of increase with increasing cutting speed was found to be lower than that with increasing feed rate. Statistical Process Control (SPC) was applied to the machining parameters and the surface roughness values and their results were analysed. The surface roughness values obtained for the feed rates selected based on the selected SPC method were out control. However, the surface roughness values for the selected cutting speeds were found to be stable and the process was found to be within the control.

Keywords

Machinability, hot work tool steel, surface roughness, cutting parameters, statistical process control

* Sorumlu yazar (Corresponding author) e-posta: m_zeyveli@hotmail.com

1. GİRİŞ

Yüzey kalitesi, mühendislik malzemelerinin önemli bir kalite kriteridir. İşlenmiş parçaların yüzey kalitesinin asıl göstergesi ise yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğü temelde takım geometrisi (uç radüsü, kesme kenar geometrisi, boşluk açısı vs.) ve kesme şartları (ilerleme hızı, kesme hızı, talaş derinliği vs.) gibi işleme parametrelerinin sonucuna bağlıdır [1]. Geliştirilmiş kalite veya işparçası yüzey tamlığı, daha uzun parça ömrüne yol açmaktadır [2].

Yüzey pürüzlülüğü, üretilen parçaların yüzey kalitelerinin geliştirilmesi ve belirlenmesinde, önemli bir rol oynar. Çünkü yüzey pürüzlülüğü, yorulma direnci, aşınma, ısı iletimi, sürtünme ve yağlama gibi ürünün kalitesinin artırılması için gerekli olan fonksiyonel karakteristik özellikleri etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğünün azalması yüzey kalitesinin artmasını sağlamaktadır [3,4]. İşlenmiş parça yüzeylerinin tribolojik özellikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi vb. farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür [5].

AISI H13 (DIN/ISO 1.2344) çeliği, yüksek sıcak sertlik, yüksek sıcak mukavemet, yüksek meneviş direnci, yüksek tokluk, iyi işlenebilirlik, ısıl işlemede mükemmel boyutsal kararlılık özelliklerine sahip olup yüzey işleminde uygun bir malzemedir. Bu nedenle başta alüminyum ve alaşımlarının şekillendirilmesi olmak üzere her tür sıcak şekillendirme kalıbı ve aparatında kullanılmaktadır. Uygulandığı farklı kalıp türlerine göre sertlikleri değişir. Sertlikleri ekstrüzyon kalıplarında 43-52 HRC, dökme kalıplamada 44-50 HRC, dövme kalıplamada ise 40-55 HRC'dir. Ayrıca, sıcak kütük kesme bıçakları ve kalın kesitli soğuk kesmelerde kullanılan sıcak iş takım çeliğidir [6].

AISI H13 çeliğinin işlenmesi ile ilgili literatürde bir kısım çalışmalar bulunmaktadır. Özel ve ark., sertleştirilmiş AISI H13 çeliğinin işlenmesinde, kesme kenarı geometrisi, malzeme sertliği, ilerleme ve kesme hızının, yüzey pürüzlülüğü ve kuvvetler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu araştırmada yuvarlatılmış kesici takım uç

geometrisinin ve düşük malzeme sertliğinin, sertleştirilmiş AISI H13 çeliğinin işlenebilirliğinde daha iyi yüzey pürüzlülüğü sonuçları verdiğini belirtmişlerdir [7]. Coldwell ve ark., sertleştirilmiş (48-52 HRC) AISI H13 çeliğinin, karbür kesici takımla delme işleminde, takım ömrü, iş parçası kalitesi, verimlilik ve maliyet yönünden işleme şartlarını incelemişlerdir. Takım ömründe AISI H13 çeliğinin AISI D2 çeliğinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [8]. Ng ve ark., AISI H13 çeliğinin, dik kesmede oluşan sıcaklık ve kesme kuvvetleri ile teorik olarak kesme işlemini modellemişlerdir. FE analizi ve PCBN kesici takım kullanılarak yapılan deneysel çalışmada, sıcaklığın, deneysel ve FE ile teorik modellemesinden elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğunu belirtmişlerdir [9]. Shatla ve ark., talaş kaldırmada oluşan gerilme dağılımının belirlenmesi için bir model geliştirmişlerdir. Bu model ile AISI H13 çeliğinin farklı işleme koşullarında oluşan kesme kuvveti ve ilerleme kuvvetlerinin belirlenmesine ve bunların gerilme dağılımına, kesme kuvvetlerine ve sıcaklığa etkilerini araştırmışlardır. Geliştirilen modelin uygulanabilirliğinin diğer metotlardan daha iyi olduğu belirtilmiştir [10]. Taktak, borlanmış AISI H13 ve 304 çeliğinin göstermiş olduğu mekanik ve fiziksel davranışlarının incelendiği çalışmada, borlama ile yüzey pürüzlülüğünün arttığını belirtmiştir [11]. Çiftçi, AISI 304 çeliğinin kaplanmış sementit karbürle işlenmesinde takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü araştırmıştır. Bu çalışmada artan kesme hızı ile takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ancak belli bir değerden sonra ikisinin de arttığı belirtilmiştir [12]. Yan ve ark., sertleştirilmiş AISI H13 çeliğinin işlenmesinde kesme hızının, kesme derinliğinin ve kesici takım uç tipinin etkilerini parametrik olarak nümerik simülasyon ile araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre işleme parametrelerinin optimize edilmesi ve kesici uç tasarımlarının geliştirilmesinde elde edilen sonuçların faydalı olduğu görülmüştür [13].

Bu çalışmada, kaplanmış sementit karbür kesici takımla, AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin değişik kesme şartlarında (kesme ve ilerleme hızlarında) işlenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Kesme hızı ve ilerleme hızı değerlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deney

sonuçlarına İPK yöntemleri uygulanmış ve sonuçların değişiminin işleme parametreleriyle (kesme hızı, ilerleme hızı) ilişkisi araştırılmıştır.

2. DENEYSEL UYGULAMA

Tablo 1. AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi
(Chemical composition of AISI H13 hot work steel)

Kimyasal kompozisyon (%)	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
	0.39	1.00	0.40	5.1	1.30	-	1.00	-

2.1. Takım Tezgahı, Kesici Takım Ve Kesme Parametreleri

İşlenebilirlik deneylerinde Taksan TMC 500V CNC torna tezgahı kullanılmıştır. Tezgahın gücü 10 kW, iş mili devri 6000 dev/dak, iş parçası maksimum boyu 550 mm, iş parçası çapı 400 mm, hassasiyet 0.001 mm, taret hane sayısı 12'dir.

Deneylerde kullanılan sementit karbür kesici takım Kennametal marka "WNMG 080404 FP" formunda ve KU10T kalitesindedir. Kesici takım yanaşma açısı 90° olacak şekilde tasarlanmış DWLN R/L 2020K08KC040 metrik formundaki takım tutucuya mekanik sıkı malzeme olarak tespit edilmiştir.

İşlenebilirlik deneyleri farklı kesme hızı ve farklı ilerleme hızı değerlerinde oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin araştırılması için yapılmıştır. Bu amaçla kesme hızları 70, 100, 130, 160, 190, 200 m/dak değerlerinde, ilerleme hızları da 0.05, 0.10, 0.15 m/min değerlerinde eşit aralıklı olarak seçilmiştir. İşleme parametreleri eşit aralıklı seçilerek, parametreler ile deney sonuçları arasındaki değişimin daha açık izlenebilmesi ve değerlendirilmesi sağlanmıştır. Tornalama yöntemi ile talaş kaldırmada talaş derinliği "1 mm" sabit değer alınmış ve yüzey pürüzlülüğü inceleneneğinden soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Deney parametreleri, mümkün olduğunca ISO 3685 standardına uygun olarak belirlenmiştir.

Mahr marka Marsurf PS1 tipi, masaüstü yüzey pürüzlülük ölçme cihazı kullanılmıştır [Tablo 2]. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri malzemenin 25 mm'lik uzunlukta tornalanması ile elde edilen

AISI H13 sıcak iş takım çeliğinden işlenebilirlik deneyleri için Ø 30x200 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Bu malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

kısımda yapılmıştır. Ölçümler işlenmiş yüzeylerde (25 mm.'lik kısım) başlangıç, orta ve bitiş kısmı olmak üzere üç farklı yerde, üç tekrar ile ölçülmüş ve bu değerlerin ortalamaları alınmıştır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kaplanmış sementit karbür takımla AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin, altı farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme hızı ile işlenmesi neticesinde malzemede oluşan yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'de verilen değerler incelendiğinde ilerleme hızının 0.05, 0.1 ve 0.15 şeklinde artarak değişmesi ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de ilerleme hızı ile orantılı olarak, bütün kesme hızı değerlerinde genel olarak arttığını söyleyebiliriz.

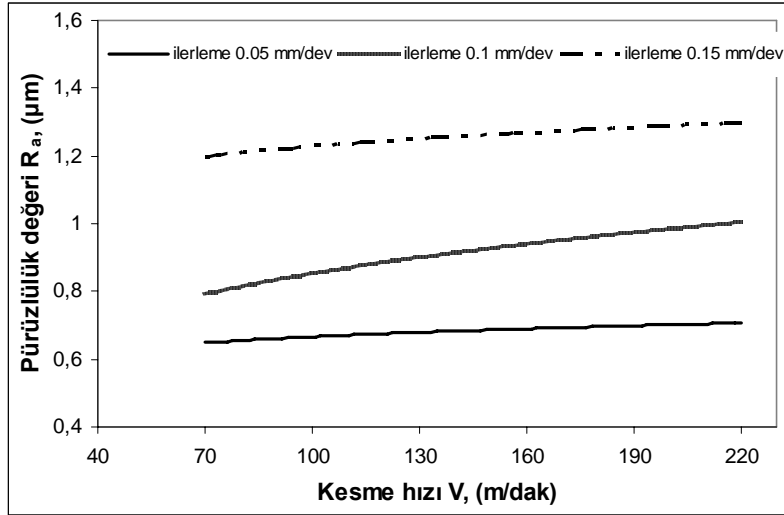
Kesme hızlarına bağlı olarak elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri değişiminin eğilim çizgileri grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Tablo 2'deki verilere bağlı olarak elde edilen grafikte, ilerleme hızı ve kesme hızı değerlerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişim daha net görülmektedir. Grafikte, kesme hızları için, düşük ilerleme hızı değerlerinde düşük yüzey pürüzlülüğü, yüksek ilerleme hızı değerlerinde ise büyük yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edildiği görülmektedir. İlerleme hızlarının değişimi açısından 0.05 ile 0.15 mm/dev'lik ilerleme hızı değerlerindeki yüzey pürüzlülük değerleri eğrileri arasındaki farklarda orantılıdır. Ancak 0.1 mm'lik ilerleme hızı değerinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü eğrisi, 160 m/dak'lık kesme hızına kadar, 0.05 mm/dev'lik ilerleme hızı eğrisine daha yakın yüzey pürüzlülüğü değerleri sergilemektedir.

Tablo 2. Yüzey Pürüzlülük ölçme cihazı özelliği
(Feature of surface roughness measuring equipment)

MODEL	Mahr (MarSurf PS1)
Ölçme Yöntemi	İzleyici Uçlu (Stylus) Cihazlar Yöntemi
Tarama Hızı	0,5 mm/sn (ölçme yaparken) 1 mm/sn (geri dönerken)
Ölçme Kuvveti	4 mN (0,4 gf)
Uç malzemesi	Elmas
Ölçme Sıcaklığı	20°C ± 1 °C
Numune Uzunluğu	0,8 mm
Değerlendirme Uzunluğu	4 mm
İzleyici Uç Yarıçapı	5µm
Ortalama yüzey pürüzlülüğü	$Ra = \frac{1}{\ln} \int_0^{\ln} f(x) dx$ (µm)
On nokta yüksekliği	$Rz = \frac{(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5) - (Z_6 + Z_7 + Z_8 + Z_9 + Z_{10})}{5}$ (µm)
Maksimum pürüzlülük	Ry (µm)

Tablo 3. Kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı yüzey pürüzlülüğü
(Surface roughness in the relationship between cutting speed and feed rate)

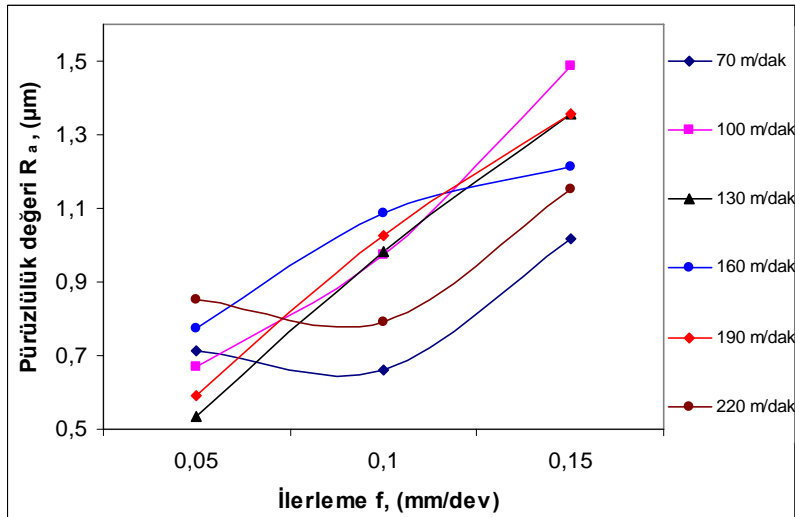
Malzeme	Kesici Takım	Kesme Hızı (m/dak)	Kesme Derinliği (mm)	İlerleme (mm/dev)		
				0,05	0,1	0,15
				Yüzey Pürüzlülüğü Ra (µm)		
AISI H13 (Sıcak iş takım çeliği)	Kaplanmış sementit karbür	70	1	0,713	0,663	1,017
		100	1	0,671	0,973	1,489
		130	1	0,535	0,982	1,357
		160	1	0,772	1,086	1,214
		190	1	0,593	1,027	1,357
		220	1	0,854	0,791	1,151



Şekil 1. Kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi
(The relationship between cutting speed and surface roughness)

İlerleme hızlarına bağlı olarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü değişimi Şekil 2’de görülmektedir. Pürüzlülük değerleri ilerleme hızlarında birbirine karışmış gibi görünmekle birlikte 0.05 mm/dev’ de 130 m/dak’lık kesme hızında, 0.1 mm/dev’ de 70 m/dak’lık kesme hızında, 0.15 mm/dev’ de

yine 70 m/dak’lık kesme hızında en düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Pürüzlülük değerleri 70 ve 220 m/dak’lık kesme hızı dışında ilerleme hızının artması ile artış göstermişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü, ilerleme hızı arttıkça, ilerlemenin karesi ile orantılı olarak artmaktadır [7].



Şekil 2. İlerleme hızı-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi
(The relationship between feed rate and surface roughness)

4. İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE UYGULANMASI

İstatistiksel Proses Kontrol (İPK), bir ürünün en ekonomik ve yararlı biçimde imal edilmesini sağlamak amacı ile istatistiksel yöntemlerin,

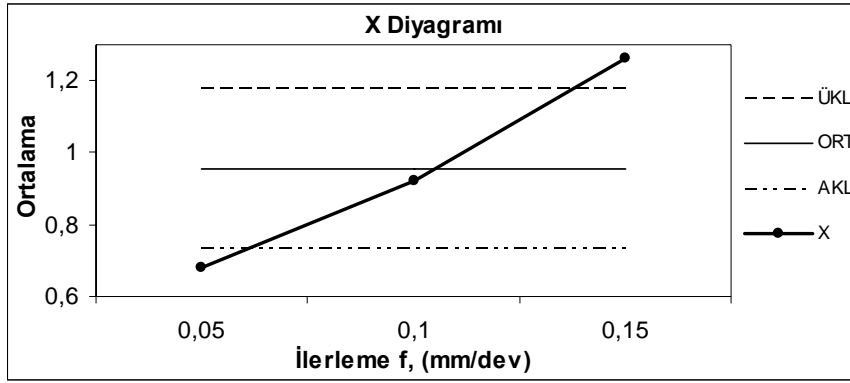
imalatın tüm aşamalarında uygulanması anlamına gelir. Dolayısıyla üretimin her aşamasında kaliteyi olumsuz yönde etkileyecek nedenleri bulup ortadan kaldırarak, üretimde istenilen kaliteyi elde etmek ve kaliteye etki eden etkenleri denetlemek üreticinin daima benimsediği bir yaklaşımdır. Üretici istediği kaliteye

olabildiğince kısa yoldan ulaşmayı arzu eder. Ayrıca, ilgilenilen olayda kaliteye etki eden tüm değişkenleri ele alıp sonucunu görmek ister. Bu da İPK yöntemleri ile mümkün olmaktadır [14].

4.1. İlerleme Hızı - Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi

İPK yöntemlerinden X-R kontrol grafikleri kullanılarak veriler değerlendirilmiştir. X Diyagramı ortalamadan sapmaları gösterir. R Diyagramı ise homojenlikten sapmaları gösterir. Ortalama (X) ve genişlik (R) kontrol diyagramında, örnek ortalamaları ve örnek genişlikleri kullanılmakta ve X kontrol diyagramının kontrol sınırları, R kontrol grafiğinin merkez çizgisi kullanılarak oluşturulur.

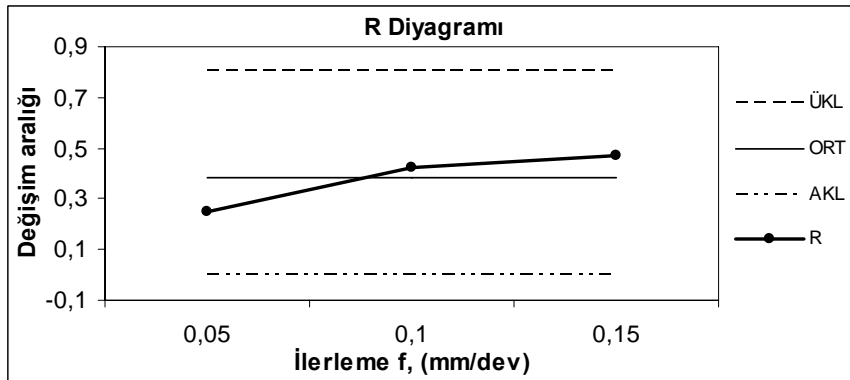
Buna göre X kontrol grafiğinde pürüzlülük değerlerini gösteren birinci ve üçüncü nokta kontrol sınırlarının dışına çıkmıştır (Şekil 4). Bu nedenle, prosesin kontrol dışında olduğu söylenebilir. Yani ilerleme hızı değerleri arttıkça, pürüzlülük değerleri de artmaktadır. Bu durumda prosese müdahale edilmeli ve özel nedenleri araştırılarak giderilmelidir. Özel nedenler; malzeme kalitesi, yanlış makine ayarı ve makine ayarındaki değişme, makine takımları, alet aşınması, bakım, gereksiz veya yanlış operatör müdahalesi, ölçümdeki eksiklikler, farklı operatör, operatör yorgunluğu, sürece gereksiz veya hatalı müdahale olabilir.



Şekil 3. İlerleme hızı - yüzey pürüzlülüğü için X kontrol diyagramı (X control diagram for feed rate and surface roughness)

R kontrol grafiğinde (Şekil 4), pürüzlülük değerlerini gösteren noktalar kontrol sınırları içinde ve ortalama çizgisi etrafında yükselen şeklindedir. Noktaların kendi içinde uyum gösterdiği söylenebilir. Ancak ilerleme hızı oranındaki artış ile beraber yüzey pürüzlülük değerleri de artmaktadır. Buradaki özel neden

araştırılmalı ve giderilmelidir. Noktaların ortalama çizgisi etrafında dengeli dağılması gerekmektedir. Bu noktalardaki değişme operatörden, kesiciden, talaş miktarından, ilerleme hızından, malzemeden ve makineden kaynaklanabilir.



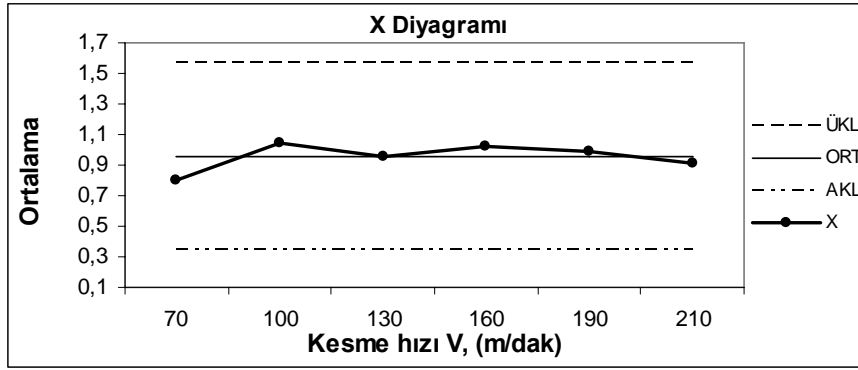
Şekil 4. İlerleme hızı - yüzey pürüzlülüğü için R kontrol diyagramı

(R control diagram for feed rate and surface roughness)

Sonuç olarak ilerleme hızı-yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan X-R kontrol grafiklerine bağlı olarak seçilen ilerleme hızı değerlerinde oluşan yüzey pürüzlülük değerleri dengeli değildir. Seçilen ilerleme hızı değerleri tekrar gözden geçirilmelidir. Proses kontrol dışındadır.

4.2. Kesme Hızı - Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi

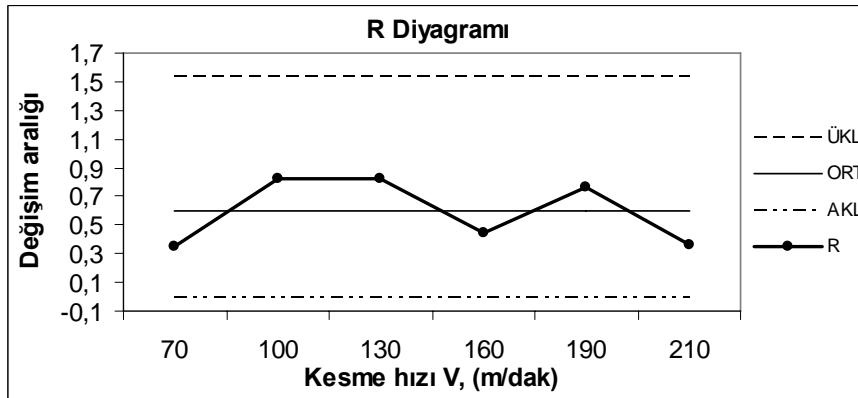
X kontrol grafiğinde pürüzlülük değerlerini gösteren noktalar kontrol sınırları içindedir. Bu nedenle, prosesin kontrolde olduğu söylenebilir (şekil 5).



Şekil 5. Kesme hızı - yüzey pürüzlülüğü için X kontrol diyagramı
(X control diagram for cutting speed and surface roughness)

R kontrol grafiğinde, pürüzlülük değerlerini gösteren noktalar kontrol sınırları içinde ve ortalama çizgisi etrafındadır. Noktalar kendi içinde uyum halindedir ve süreç kontrolindedir (Şekil 6).

Sonuç olarak kesme hızı yüzey pürüzlülüğü ilişkisi için Proses kontrol altındadır. Seçilen kesme hızlarından oluşan yüzey pürüzlülük değerleri dengelidir.



Şekil 6. Kesme hızı - yüzey pürüzlülüğü için R kontrol diyagramı
(R control diagram for cutting speed and surface roughness)

5. SONUÇ

Bu çalışmada sementit karbür kesici takımlar kullanılarak AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin farklı kesme hızı ve ilerleme hızlarında işlenmesi

ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) ölçümleri araştırılmıştır.

Deneysel çalışmada sabit ilerleme hızı için (0.05 mm/dev) iş parçasının dönüş hızı arttırıldığında yüzey pürüzlülüğünün genel olarak

azaldığı görülmüştür. Ancak 0.1 ve 0.15 mm/dev sabit ilerleme hızlarında, en düşük kesme hızında (70 m/dak) en düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Bu yüksek ilerleme hızı ile düşük kesme hızı ve düşük ilerleme hızı ile yüksek kesme hızlarının kullanılması yaklaşımını desteklemektedir. Kesme hızı yüzey pürüzlülüğü ilişkisinde, düşük kesme hızlarında düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. İlerleme değerleri arasındaki kıyaslamaya göre ise kesme hızı sabit kalmak şartıyla düşük ilerleme hızı değerlerinde düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir.

İPK metodu, işleme parametreleri ve 3 tekrarlı yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tümüne uygulanmıştır. Buna göre ilerleme hızı yüzey pürüzlülüğü ilişkisinde, ilerleme hızı değerlerinin ÜKL ve AKL sınırları dışına çıktığı, yani prosesin kontrol dışında olduğu görülmüştür. Kesme hızı yüzey pürüzlülüğü ilişkisinde ise değerlerin ortalama çizgisi çevresinde dağılım gösterdiği ve prosesin uygun olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Özel T., Karpat Y., "Predictive Modeling of Surface Roughness and Tool Wear in Hard Turning Using Regression and Neural Networks", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Cilt 45, 467-479, 2005.
2. Tonshoff H.K., Arendt C., Ben A.R., "Cutting of Hardened Steel", *Annals of CIRP.*, Cilt 49, No 2, 547-66, 2000.
3. Dagnal H., "Exploring Surface Texture", Rank Taylor Habson Limited, England, 1986.
4. Wang M.Y., Chang H.Y., "Experimental Study Of Surface Roughness In Slot End Milling", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2004; 44: 51-7.
5. Çoğun, C., Özses, B., "Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tazgahlarında Değişik İşleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi", *Gazi Üniv.Müh. Mim.Fak. Der.* 17(1), 59 - 75, 2002.
6. Shivpuri R, Lee Semiatin S., "Report", ERCNSM-88-05, Ohio State University; 1988.
7. Özel T., Hsu T.K., Zeren E., "Effects of Cutting Edge Geometry, Workpiece Hardness, Feed Rate and Cutting Speed on Surface Roughness and Forces in Finish Turning of Hardened AISI H13 Steel", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25, 262-269, 2005.
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*, 135, 301-311, 2003.
9. 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*, 39, 885-903, 1999.
10. Shatla M., Kerk C., Altan T., "Process Modeling in Machining. Part I: Determination of Flow Stress Data", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41, 1511-1534, 2001.
11. Taktak S., "Some Mechanical Properties of Borided AISI H13 and 304 Steels", *Materials and Design*, 28, 1836-1843, 2007.
12. Çiftçi İ., "AISI H13 Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Kaplanmış Sementit Karbür Kesici Takımla İşlenmesi Esnasında Oluşan Takım Aşınması", *Teknoloji*, 7 (3), 489-495, 2004.
13. Yan H., Hua J., Shivpuri R., "Numerical Simulation Of Finish Hard Turning For AISI H13 Die Steel", *Science and Technology of Advanced Materials*, 6, 540-547, 2005.
14. Montgomery, D.C., "Introduction To Statistical Quality Control", 4. Ed., John Willey Sons, New York, USA, 2001.