

AISI D6 İŞ PARÇASININ TORNALANMASINDA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İNCELENMESİ

Nihat PARLAK¹, Latif ÖZLER², Mehmet Erbil ÖZCAN³

¹ n.parlak@alparslan.edu.tr Muş Alparslan Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Muş
² lozler@firat.edu.tr Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ
³ me@firat.edu.tr Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Elazığ

ÖZET

Bu çalışmada AISI D6 soğuk iş takım çeliği CBN kesicilerle işlenerek yüzey pürüzlülüğü deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde kullanılan iş parçalarına sertleştirme ısıl işlemleri yapılmış olup ısıl işlem sonrası sertliği 62 HRC'dir. Deneyler faktöriyel deneysel tasarım kullanılarak farklı kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği altında yapılmıştır. Deneyler neticesinde, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ilerleme ve talaş derinliğinin artmasıyla beraber yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü üzerine kesme hızının ve talaş derinliğinin ilerlemeye göre etkisi çok az seviyede olmuştur. Ayrıca deneysel veriler doğrultusunda işleme parametrelerine göre yüzey pürüzlülüğünün matematiksel modeli elde edilmiş ve matematiksel modelle elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır

Anahtar Sözcükler: Tornalama, Yüzey pürüzlülüğü, AISI D6 çelik

ABSTRACT

In this study, AISI D6 steel work piece materials were machined with CBN cutters on the lathe machine and the surface roughness on the work piece material was investigated. The workpiece used in the experiments are hardened with heat treatments. The mean hardness of AISI D6 steel was 62 HRC. The factorial experimental design was used for the experiments and the experimental studies were conducted under different cutting conditions such as cutting speed, feed rate and cutting depth. It was seen from the experimental results that the surface roughness was decrease with the increasing cutting and was increase with cutting depth and feed rate. The effects on surface roughness of cutting speed and cutting depth were lower than the feed rate. In addition, the mathematical relation was determined between the surface roughness and cutting parameters and the results of the mathematical equation was compared with the results of experimental.

Keywords: Turning, Surface roughness, AISI D6 steel

1. GİRİŞ

Artan ihtiyaçlara bağlı olarak teknolojik malzemelerdeki gelişmeler bir takım yeni araştırmaların yapılmasına sebep olmaktadır. Bu araştırmalardan birisi de soğuk iş takım çeliklerinin işlenmesi ile ilgili yapılan çalışmalardır. Bu çeliklerin yüksek aşınma direncine sahip olmaları nedeniyle, kesme kalıpları, kağıt ve plastik bıçaklar, derin çekme kalıpları, sıvama kalıpları, aşındırıcı tozları presleme kalıpları, profil merdaneleri ve ovalama topları gibi yerlerde oldukça fazla kullanılmaktadır. Bu malzemelerin ısıl işlem görmemiş(yumuşak tavlı durumlarda) haldeki sertlikleri yaklaşık 250 HB

değerinde olup ısıtma işlemle sertleştirilmeleri halinde sertlikleri 65 HRC değerine kadar ulaşmaktadır [1]. Araştırmalarda 60-65 HRC sertliğine sahip olan bu tür malzemelerin işlenmesinde CBN uçların etkili bir şekilde kullanıldığı ifade edilmiştir [2-5]. Soğuk iş takım çeliği malzemeleri ile ilgili olarak takım aşınması, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü üzerine yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Lima vd.(2005), tarafından yapılan çalışmada düşük alaşımlı AISI 4340 ve AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin farklı kesme şartlarında işlemişler ve yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve takım aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Deneyler sonucunda kesme hızının artması ile yüzey kalitesi iyileşirken ilerleme miktarının artmasıyla kötüleştiği ifade edilmiştir. Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok az bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. En iyi yüzey pürüzlülük kalitesine daha geniş burun yarıçapına sahip PCBN kesici takımlarla elde edildiği ifade edilmiştir. Bouchelaghem vd.(2010), tarafından yapılan çalışmada AISI D3 (60 HRC) soğuk iş takım çeliğini torna tezgahında CBN kesici takım ile işlenmiş ve kesici takımında meydana gelen aşınma şekilleri incelenmiştir. Deneyler farklı kesme parametreleri altında yapılmıştır. Ayrıca kesme parametrelerini yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiş ve çalışma sonunda regresyon analiz metodu ile yüzey pürüzlülüğü denklemi elde edilmiştir. Kesme hızının artması ile işlenen malzemenin talaş hacmini azalttığı ve yüzey pürüzlülüğünün azda olsa düştüğü bildirilmiştir. CBN kesici takım ile yüksek kesme hızlarında işlemde kesici takım burun yarıçapında bozulmanın birkaç dakika içerisinde olduğu ifade edilmiştir. Thamizhmanii, vd.(2005), tarafından yapılan çalışmada SCM 440 (60-65 HRC) çeliği CBN kesici takım kullanılarak kuru kesme şartları altında tormalanmış ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Yüksek kesme hızları, düşük ilerleme miktarları ve düşük talaş derinliklerinde en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin elde edileceği belirtilmiştir. Yallesc vd.(2009), tarafından yapılan çalışmada sertleştirilmiş AISI 52100 (60 HRC) iş parçasının CBN kesici takım kullanarak tormalamasında kesme hızının takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklıkları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneyler sonucunda kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ve ilerleme miktarı, talaş derinliğinin artmasıyla da yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Deneylerde elde edilen verilerden faydalanılarak matematiksel bir model tasarlanmış ve yüzey aşınması ile yüzey pürüzlülüğü ilişkisinin analizini grafikler halinde sunmuşlardır. Gaitonde vd.(2009), tarafından yapılan çalışmada AISI D2 (59-61 HRC) soğuk iş takım çeliğini farklı seramik kesiciler (CC650, CC650WG ve GC6050WH) kullanarak tormalanmışlardır. Çalışmada kesme kuvveti, özgül kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması incelenmiş ve ikinci dereceden denklem yardımıyla matematiksel modelleri elde etmişlerdir. Işık ve Çakır (2001), tarafından yapılan çalışmada AISI H10, AISI O2, AISI 420 çelik malzemeler hız çeliği takımlarla torna tezgâhında işlenmiş, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda yüzey pürüzlülüğü üzerinden en büyük etkiyi ilerleme, sonra talaş derinliği ve en az etkiyi de kesme hızının yaptığını belirtilmiştir. İlerleme ve talaş derinliğinin artmasının yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilediğini, kesme hızının etkisinin hız çelikler için geçerli kesme hızı aralığında çalışması nedeniyle diğer parametrelere göre ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu ifade edilmiştir. Elde ettikleri matematiksel model sayesinde istenilen yüzey kalitesini sağlayacak optimum kesme parametrelerini önceden tahmin etmenin mümkün olduğu kanısına varılmıştır. Bouchelaghem vd.(2007), tarafından yapılan çalışmada sertleştirilmiş AISI D3 soğuk iş takım çeliği CBN kesici takım ile tormalanmış ve kesici takım aşınma davranışları incelenmiştir. Takım ömrünü ve yüzey pürüzlülüğünü veren matematiksel modeller kesme parametrelerine göre tahmin edilmiştir. Yüksek kesme hızlarındaki işlemlerde kesici takımın hızlı şekilde aşınması nedeniyle 240 m/dak'nın üstündeki kesme hızı ile işlemin uygun olmadığı ifade edilmiştir. Lima vd.(2005), tarafından yapılan çalışmada düşük alaşımlı AISI 4340 ve AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin farklı kesme şartlarında tormalanmıştır. Tormalama sonucu yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ile takım aşınma mekanizmaları araştırılmıştır. Ayrıca AISI D2 soğuk iş takım çeliği alüminyum içerikli seramik kesici takım ile da işlenmiştir. Deneyler sonucunda kesme hızının artması ile yüzey kalitesi iyileşirken ilerleme miktarının artmasıyla kötüleştiği ifade edilmiştir. Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok az bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Işık (2007) tarafından yapılan çalışmada AISI O2 (90MnCrV8) soğuk iş takım çeliği, AISI H10 (X32CrMo33) kalıp çeliği ve AISI 420 (X42Cr13) sıcak iş takım çeliğinin farklı (HSS, kaplamasız WC, TiAlN kaplamalı WC, TiC+TiCN+TiN kaplamalı WC (ISO P25)) kesici takımlarla kesme sıvısı kullanmadan torna tezgâhında işlenmiştir. Çalışmada kesme parametrelerinin takım ömrüne etkisi ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelenmiştir. Sonuç olarak ilerlemenin yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktör olduğunu, daha sonra kesme derinliğinin geldiğini

ve en düşük etkinin ise kesme hızı tarafından gerçekleştirildiği hatta ilerleme ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilecek seviyede olduğu ifade edilmiştir.

Yüksek aşınma direncine sahip takım çeliklerinin işlenmesi ile ilgili bir takım çalışmalar yapılmış olup AISI D6 soğuk iş takım çeliğinin tornalanması ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle CBN kesici uçlar kullanılarak AISI D6 soğuk iş takım çeliği torna tezgahında işlenmiş ve bu çalışmada kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu araştırmada iş parçası malzemesi olarak AISI D6 soğuk iş takım çeliği 70 mm çapında ve 700 mm boyunda Dizdar Metal Sanayi, İstanbul/Türkiye tarafından temin edilerek kullanılmıştır (Tablo 1). Temin edilen iş parçalarına sertleştirme ısıl işlemi yapılmış olup ısıl işlem sonrası sertliği 62HRC'dir. Deneylerde Fritz Warner lisansı ile Makine ve Kimya Endüstri Kurumu tarafından imal edilen torna tezgâhi kullanılmıştır. Tezgah 6.5 kW gücünde ve 12 kademeli devir sayısına sahip olup punta açıklığı 2000 mm'dir. Araba üzerinde işlenebilecek maksimum parça çapı 220 mm ve kızaklar üzerinde işlenebilecek parça çapı ise 400 mm'dir.

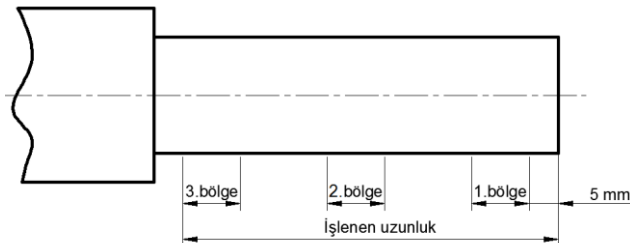
Tablo 1. AISI D6 Soğuk iş takım çeliğinin kompozisyonu

DIN Normu	AISI Normu	Kimyasal Bileşim (%)							
		C	Si	Mn	Cr	W	Ni	P	Fe
X210CrW12	AISI D6	2,24	0,33	0,34	12,21	0,60	0,17	0,017	84,37

Çalışmada CBN kesici uçlar literatür ışığında tercih edilerek kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan CBN kesici uçlar IB55 kalitesinde, tek lehimli kesme köşesine sahip olup ISCAR Kesici Takım Ticaret ve İmalat Ltd Şti'den temin edilmiştir. Deneylerde ISO 1832'e uygun olarak kullanılan CBN plakentinin ve kullanılan katerin sembolü aşağıda verilmiştir.

Kübik bor nitrür uçlar : WNGA 080404 T
Kater : MWLNR 2525M-08W

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde Mitutoyo SJ-201 marka yüzey pürüzlülük cihazı kullanılarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri (Ra) belirlenmiştir. Ölçümler, deney malzemelerinin 0.3 mm takım aşınmasına karşılık gelen işleme boyu esas alınarak üç farklı noktadan eksenleri boyunca yapılmıştır (Şekil 1). Ölçüm sonucunda aşırı sapma gösteren ya da hatalı olduğunu düşünülen değerler değerlendirmeye alınmayarak deneyler tekrar edilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümünde numune uzunluğu (the cut off length) $\lambda_c=0,8$ ve numune sayısı 5 (the sampling number) seçilmiştir.



Şekil 1. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü

AISI D6 soğuk iş takım çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü incelemek amacıyla yapılan bu çalışmada, torna tezgahının konstrüksiyonu ve literatüre çalışmaları dikkate alınarak kesme parametreleri belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Kesme şartları

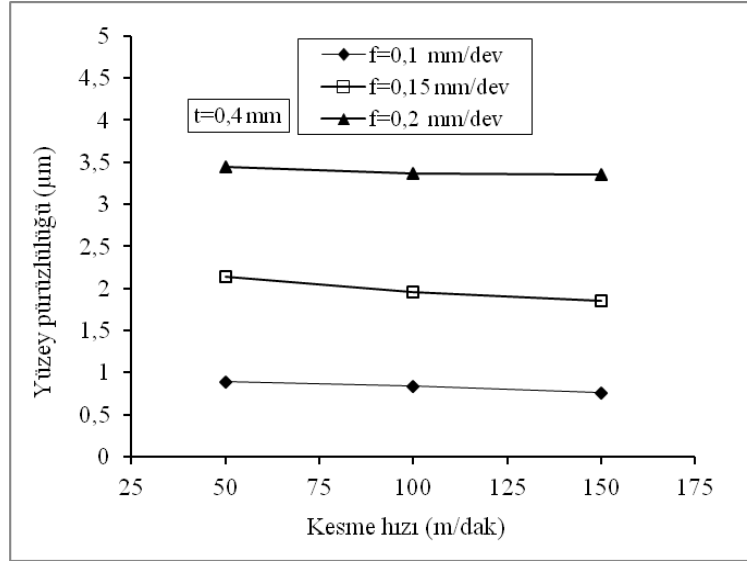
Kesme hızı (V) m/dak	İlerleme (f) mm/dev	Talaş derinliği (t) mm
50, 100, 150	0.1, 0.15, 0.2	0.2, 0.4, 0.6

2.1 Yüzey Pürüzlülük Sonuçları

Deneyler farklı kesme hızları, ilerleme ve talaş derinliği olmak üzere değişik işleme parametrelerinde yapılmış (Tablo 3) ve elde edilen değerler grafikler haline getirilmiştir.

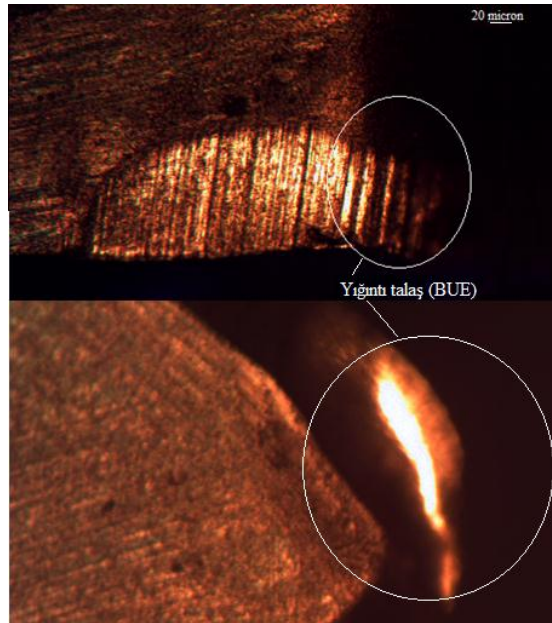
Tablo 3. Yüzey pürüzlülüğü deney tasarımları

Deney no	Kesme hızı (m/dak)	Talaş derinliği (mm)	İlerleme (mm/dev)
1	50	0.2	0.1
2	50	0.2	0.15
3	50	0.2	0.2
4	50	0.4	0.1
5	50	0.4	0.15
6	50	0.4	0.2
7	50	0.6	0.1
8	50	0.6	0.15
9	50	0.6	0.2
10	100	0.2	0.1
11	100	0.2	0.15
12	100	0.2	0.2
13	100	0.4	0.1
14	100	0.4	0.15
15	100	0.4	0.2
16	100	0.6	0.1
17	100	0.6	0.15
18	100	0.6	0.2
19	150	0.2	0.1
20	150	0.2	0.15
21	150	0.2	0.2
22	150	0.4	0.1
23	150	0.4	0.15
24	150	0.4	0.2
25	150	0.6	0.1
26	150	0.6	0.15
27	150	0.6	0.2

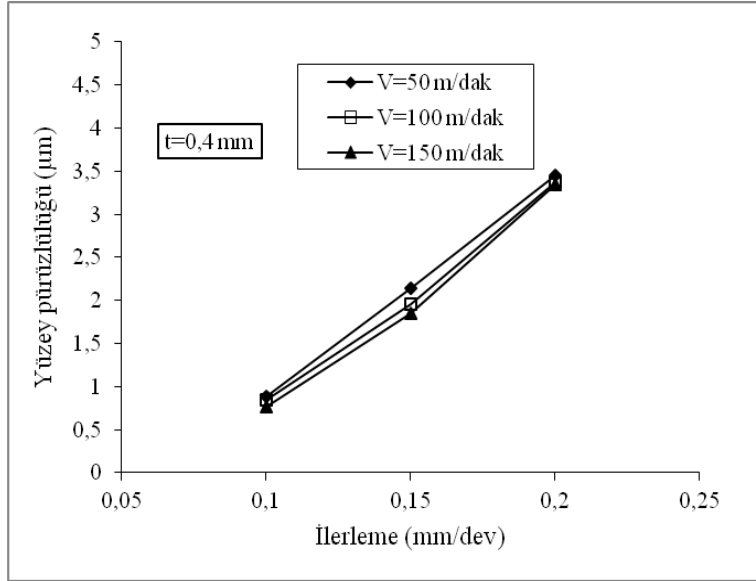


Şekil 2. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelendiğinde, kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı ancak, bu azalmanın önemli şekilde olmadığı görülmüştür (Şekil 2). En yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri 50 m/dak kesme hızında elde edilmiş olup, $f=0.1$ mm/dev için 50, 100 ve 150 m/dak kesme hızlarında sırasıyla $0.89 \mu\text{m}$, $0.84 \mu\text{m}$ ve $0.76 \mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir. Yüksek kesme hızlarında yüzey kalitesinde iyileşmenin olması beklenen bir sonuçtur. Yüksek sertliğe sahip malzemelerde kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi sınırlıdır. Bununla beraber düşük kesme hızlarında kesici takım üzerinde yığıntı talaşın (BUE) meydana gelmesi [6] yüzey pürüzlülüğünü artırarak işlenen parçanın yüzey kalitesini kötüleştirir (Şekil 3). Ayrıca artan kesme hızı kesici takım-ış parçası ara yüzey sıcaklığı artırmakta [5] ve kesme işlemi kolaylaşmaktadır. Bu durum takım titreşimlerini azaltarak yüzey pürüzlülük değeri düşürmektedir. Düşük kesme hızlarında ise, kesme işlemi esnasında iş parçasından talaş kaldırma zorlaşmakta ve dolayısıyla yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.

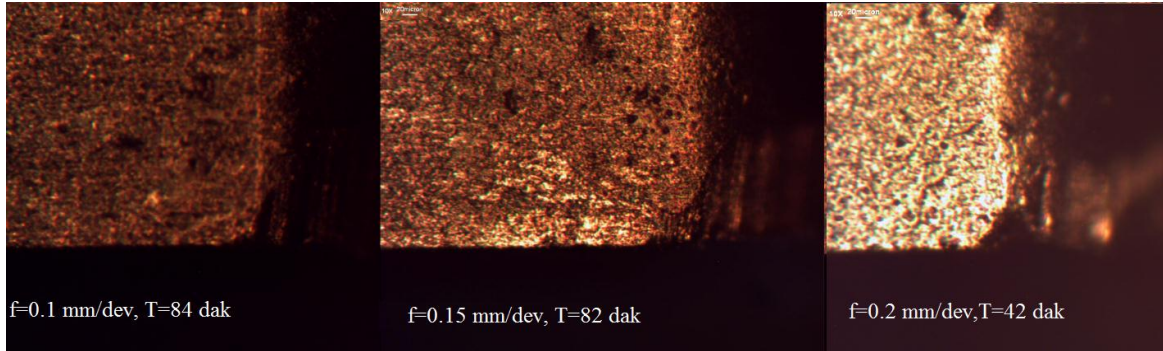


Şekil 3. Kesme kenara talaş yapışması
($V=50$ m/dak, $f=0.1$ mm/dev, $t=0.6$ mm, $T=36$ dak)

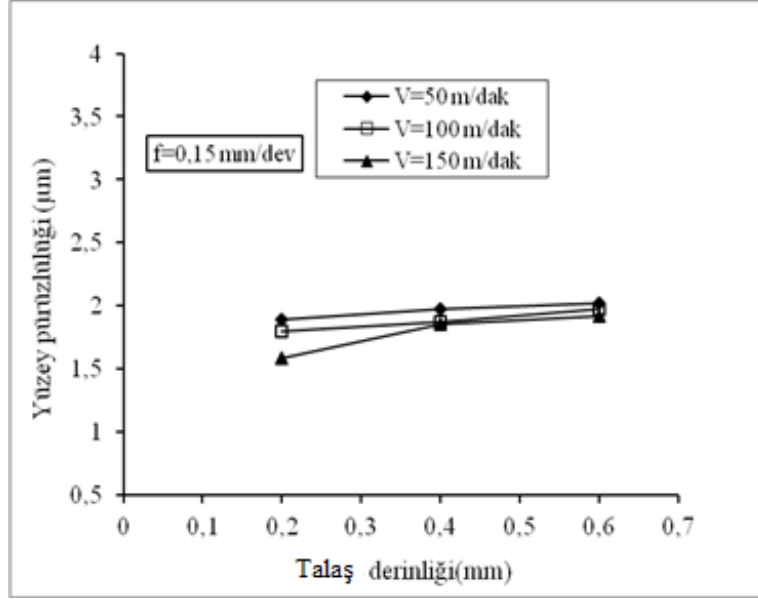


Şekil 4. İlerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 4'deki grafik incelendiğinde, ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün önemli bir şekilde arttığı gözlenmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri 0.1 mm/dev ilerleme değerlerinde elde edilmiş olup $V=150$ m/dak kesme hızı için 0.1, 0.15, 0.2 mm/dev ilerleme değerlerinde sırasıyla $0.76 \mu\text{m}$, $1.85 \mu\text{m}$ ve $3.35 \mu\text{m}$ olarak belirlenmiştir. İlerleme takım burun yarıçapından sonra yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olan en önemli parametredir[6]. Bu nedenle ilerleme miktarındaki artış yüzey pürüzlülüğünü hızlı bir şekilde artırarak yüzey kalitesini kötüleştirmiştir. İlerlemenin artırması iş parçası ile kesici arasında birim zamanda meydana gelen sürtünmeyi artırarak kesici takımın hızlı bir şekilde bozulmasına neden olmaktadır(Şekil 5). Bu durum yüzey kalitesi bozarak ve yüzey pürüzlülük miktarını artırmıştır.

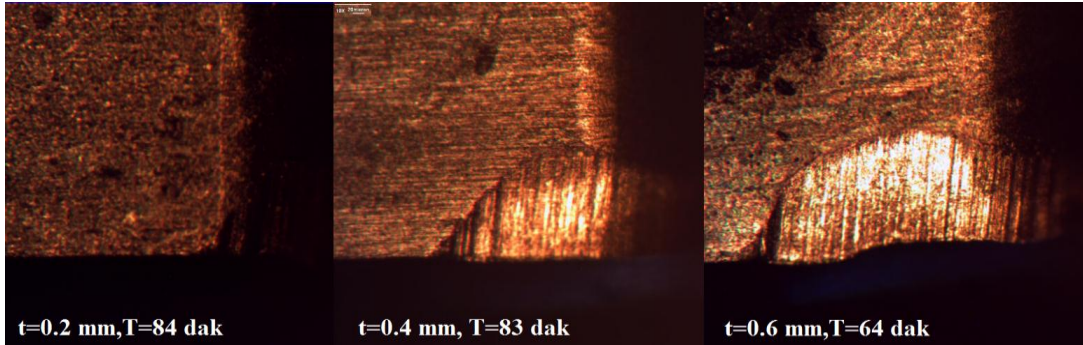


Şekil 5. 50 m/dak ve 0.2 mm kesme derinliğindeki takım aşınmaları



Şekil 6. Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi

Şekil 6'da talaş derinliği arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı, bu artışın ilerlemeye göre çok az olduğu görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülük değerleri 0,2 mm talaş derinliklerinde elde edilmiştir. 150 m/dak kesme hızı için 0,2, 0,4 ve 0,6 mm talaş derinliklerinde yüzey pürüzlülüğü değerleri sırasıyla 1,58 µm, 1,85 µm ve 1,92 µm olarak elde edilmiştir. Talaş derinliğinin artması takımın kesme kenarının çabuk bozulmasına neden olmaktadır (Şekil 7). Bu durum tornalama esnasında kesici takım titreşimi artırarak işlenen parçanın yüzey kalitesini kötüleştirilmiş ve yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır. Ayrıca talaş derinliğinin aşırı artması tezgah sisteminde kendiliğinden doğan titreşimleri ortaya çıkarır [7] ve yüzey pürüzlülüğünü kötüleştirir.



Şekil 7. 50 m/dak ve 0.1 mm/dev ilerlemedeki takım aşınmaları

2.2 Yüzey Pürüzlülük Denkleminin Belirlenmesi

Talaşlı imalatta kesme şartlarının önceden bilinmesi üretim hızı ve ekonomikliği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğünde etkili olan ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliğinin optimum değerlerinin belirlenmesi için yüzey pürüzlülük denkleminin elde edilmesi gerekir. Ortalama yüzey pürüzlülük denklemi takım-ış parçası çiftine, ilerlemeye, kesme hızına ve talaş derinliğine bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir [7].

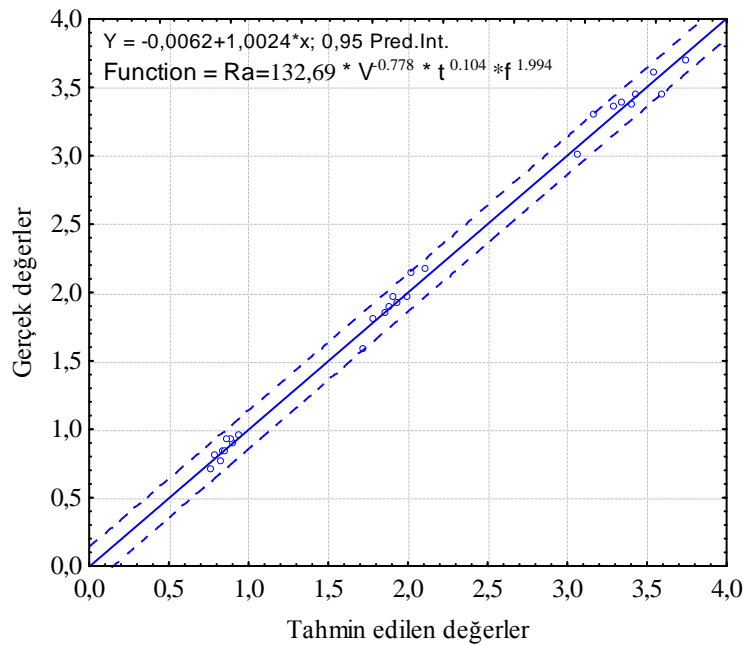
$$Ra = a_0 \cdot f^{a1} \cdot V^{a2} \cdot t^{a3}$$

Denklemden verilen a_0 , a_1 , a_2 ve a_3 katsayıları $2^3=27$ faktöriyel deney tasarımı sonucunda çoklu regresyonla belirlenmiştir. Elde edilen katsayılara denklemden yerine konularak ortalama yüzey pürüzlülüğü denklemi;

$$Ra = 132,69 \cdot V^{-0.778} \cdot t^{0.104} \cdot f^{1.994} \quad (R=0.98)$$

olarak elde edilir.

Regresyon modeli ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel çalışma sonucu elde edilen gözlenen değerler birbiri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 8). Tahmin edilen değerler ile gözlenen değerler arasındaki korelasyonun mükemmel olduğu zaman, noktalar grafik üzerindeki eğimi 1 olan düz çizgi üzerine düşer. Şekil 8'de gözlemlenen değerlerin tümü % 95 güvenilirlikteki regresyon bantları (tireli çizgi) içinde bulunmaktadır. Bu durum, modelin uygun olduğunu ve modelle elde edilen bütün değerlerin %95 güvenirlilik bandı içerisinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 8. Gerçek değerlerle tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması

Elde edilen modelin F istatistik değeri hesaplandığında;

$$F = 7631,18$$

şeklinde elde edilir. $\alpha = 0.01$ dağılım için istatistik tabloya bakıldığında,

$$F_{\alpha} = 5,53$$

olduğu görülmektedir. $7631,18 \geq 5,53$ olduğundan H_0 hipotezi reddedilerek karşı hipotez kabul edilir. Yani elde edilen modelin korelasyonlu olduğu ve hatalı bir karar verme ihtimalinin azaldığı söylenebilir.

3. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada AISI D6 (62 HRC) soğuk iş takım çeliği CBN kesici takımlar kullanılarak farklı kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinde işlenerek ortalama yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Deneysel inceleme sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Kesme hızının ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelendiğinde, kesme hızının artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı fakat bu azalmanın ilerlemeye göre çok düşük olduğu görülmüştür.

İlerleme miktarı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü hızlı bir şekilde artırarak yüzey kalitesini kötüleştirmiştir. İlerleme ortalama yüzey pürüzlülüğü açısından oldukça önemli parametredir.

Talaş derinliği arttıkça otlama yüzey pürüzlülüğünü artmıştır. Bu artış ilerlemeye göre oldukça düşük olup, ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim kesme hızına göre daha azdır.

Regresyon analiz metodu ile elde edilen matematiksel model yardımıyla istenilen yüzey kalitesini sağlayacak optimum kesme parametrelerini önceden tahmin etmek mümkündür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma F.Ü. Bilimsel Araştırmaları Koordinasyon Birimi(FUBAP- MF.11.08) tarafından desteklenmiştir.

4. KAYNAKLAR

- [1] ŞAHİN, Y., '**Talaş Kaldırma Prensipleri**, Nobel Yayın Dağıtım, Cilt 1, Ankara (2001).
- [2] ASLAN, E. ve CAMUŞCU, N., High Speed End Milling of Hardened AISI D3 Cold Work Tool Steel With CBN Cutting Tool, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 18(3), 453-458, (2005).
- [3] BOUCHELAGHEM, H., YALLESE, M. A., MABROUKI, T., AMIRAT, A., RIGAL, J. F., Experimental investigation and Performance Analyses of CBN Insert In Hard Turning of Cold Work Tool Steel (D3) , Machining Science and Technology , Volume 14(4), 471 – 501 (2010).
- [4] THAMIZHMANII, S., KAMARUDIN, K., BADRUL, SAPARUDIN, A., HASSAN, S., "Study of Surface Roughness on Induction Hardened Steel using CBN Cutting Tool, Proceedings of International Conference on Mechanical & Manufacturing Engineering (ICME2008), Johor Bahru, Malaysia. 21– 23 May (2008).
- [5] YALLESE M.A., CHAOUI, K., ZEGHIB, N., BOULANOUAR, L., RIGAL, Jean-F., Hard Machining of Hardened Bearing Steel using Cubic Boron Nitride Tool, Journal of Materials Processing Technology", Volume 209(2), 1092–1104, (2009).
- [6] WUYI, C., Cutting Forces and Surface Finish When Machining Medium Hardness Steel using CBN Tools, International Journal of Machine Tools & Manufacture 40 ,455–466,(2000).
- [7] ÖZLER, L., TOSUN, N., İnan,A.,"Östenitik Manganlı Çeliğin Sıcak Talaşlı İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi, Türk J. Engin.Envirion.Sci,24,287-296(2000).
- [8] GAITONDE, V.N., KARNIK, S.R., FIGUEIRA, L., DAVIM, SJ. P., Machinability Investigations in Hard Turning of AISI D2 Cold Work Tool Steel with Conventional and Wiper Ceramic Inserts,

International Journal of Refractory Metals Hard Materials, 27, 754-763, (2009).

- [9] IŞIK, Y., ÇAKIR, M.C., "Hız Çeliği Takımlar İçin Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlüğüne Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Teknoloji, Sayı 1-2, 111-118, (2001).
- [10] BOUCHELAGHEM, H., YALLESE, M. A., AMIRAT, A., BELHADI, S., Wear Behaviour of CBN Tool When Turning Hardened AISI D3 Steel, Mechanika, 3(65), 57-65,(2007).
- [11] LIMA, J.G., AVILA, R.F., ABRAO, A. M., FAUSTINO, M., DAVIM J. P., Hard Turning: AISI 4340 High Strength Low Alloy Steel and AISI D2 Cold Work Tool Steel, Journal of Materials Processing Technology, 169, 388–395, (2005).
- [12] IŞIK Y., Investigation the Machinability of Tool Steels in Turning Operations, Materials and Design, 28(5), 1417-1424. (2007).