

100Cr6 RULMAN ÇELİĞİNİN TORNALANMASINDA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN OPTİMİZASYONU

Sıtkı AKINCIOĞLU, *Şenol ŞİRİN, Gülşah AKINCIOĞLU, Emine ŞİRİN

Düzce Üniv, Gümüşova MYO, Makine ve Metal Tek. Bölümü, 81850, Düzce, TÜRKİYE
*senol.sirin61@gmail.com

Özet-Yüzey pürüzlülüğü, birbiriyle etkileşim içinde olan makine parçalarının iş verimini ve ömrünü önemli derecede etkilemektedir. İşlenen malzeme, kesici takım, kesme parametreleri gibi yüzey pürüzlülüğünü etkileyen birçok parametre vardır. Bu sebeple işleme parametrelerinin optimize edilerek, uygun işleme şartlarının ortaya konulması son derece önem arz etmektedir. Bu çalışmada, 100Cr6 rulman çeliğine kuru işleme şartlarında, tornalama işlemi uygulanmıştır. İşleme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülükleri araştırılarak, optimum işleme şartları tespit edilmiştir. Sonuçların kabul edilebilir değerde çıkmasına yardımcı olacağı ve optimal sonuçlara ulaşmada zaman ve maliyetten tasarruf için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Deneyler Taguchi L_9 dikey dizilimine göre yapılmış ve deney sonuçlarının değerlendirilmesinde sinyal/gürültü (S/N) oranları kullanılmıştır. Taguchi optimizasyonu ile optimum yüzey pürüzlülüğü değerleri belirlenmiştir. Doğrulama deneyleri yapılarak, 100Cr6 rulman çeliğinin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü optimizasyonunun başarıyla uygulandığı görülmüştür. 100Cr6 rulman çeliği için optimum işleme parametreleri, (T_2) talaş kırıcı formülü kesici takım, 0,3 mm/dev (f) ilerleme hızı ve 160 m/dak (V_c) kesme hızı olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- 100Cr6, Tornalama, Optimizasyon, Yüzey Pürüzlülüğü, Taguchi Yöntemi.

OPTIMIZATION OF SURFACE ROUGHNESS IN TURNING OF 100Cr6 BEARING STEEL

Abstract- Surface roughness significantly affect to efficient and life of working machine parts that are contacted one another. There are important factors affecting to surface roughness processed material, such as cutting tool, cutting parameters. For this reason, appropriate processing conditions determined and the processing parameters must be optimized. In this study, 100Cr6 bearing steel was applied in dry machining conditions with turning method. Optimum processing conditions were determined and surface roughness were investigated depending on the cutting parameters. Statically method of Taguchi was used in this work in order to obtain more reliable and optimum results. Experiments were carried out using Taguchi's L_9 orthogonal array and evaluation of experiment results have based on the signal/noise (S/N) rate. Optimal surface roughness values were determined using the Taguchi optimization. Verification experiments made and optimization have been identified application of successfully. Optimum machining parameter for 100Cr6 bearing steel was determined as cutting tool

with (T_2) chip breaker form, 0,3 mm/dev (f) feedrate speed and 160 m/dak (V_c) cutting speed.

Key Words- 100Cr6, Turning, Optimization, Surface Roughness, Taguchi method.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talaşlı imalat yıllar boyunca uygulanan geleneksel bir yöntem olup, önemini günümüzde de korumaktadır. Talaşlı imalatla yaygın olarak kullanılan tornalama proseslerinde, özellikle işleme parametrelerindeki değişkenler, ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir [1-2]. 100Cr6 rulman çeliği paslanmaz çelikten benzer özellik gösterip, daha ucuz maliyetli olduğundan rulman yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Kullanımının yaygın olmasına rağmen yüksek krom oranı nedeniyle işlenebilirlik özellikleri kötüdür. Rekabetin önemli olduğu çağımızda üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve ürün kalitesinin artırılması önem kazanmaktadır [4]. Bu nedenle rulman çeliğinin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü optimizasyonu işleme maliyetlerinin düşürülmesi ve ürün kalitesinin artırılması açısından önemlidir [5].

Taguchi deney tasarım yöntemi, en az sayıda deney ve az maliyetle işleme performansını artırarak optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Taguchi yönteminin en büyük avantajı, sonucu önceden tahmin edebilmesidir. Taguchi yöntemiyle gereksiz yapılacak deneylerden kaçınılmakta, zaman ve maliyet tasarrufu sağlanmaktadır [6].

Bu çalışmada; tornalama işleminde, zaman ve maliyetten tasarruf sağlanması adına, Taguchi L_9 dikey dizilimi kullanılarak 100Cr6 rulman çeliğinin tornalamasında yüzey pürüzlülüğü değerleri optimize edilmiştir. İşleme koşullarından seçilen kontrol faktörlerinin (kesici takım talaş kırıcı formu, ilerleme hızı, kesme hızı) yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri, doğrulama deney sonuçlarıyla karşılaştırılarak incelenmiştir.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. Deney Malzemesi (Material of Experiment)

Deneylerde kullanılan 100Cr6 malzeme, rulman imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. İçeriğinde bulunan Cr (krom) oranı sayesinde oksitlenmeye karşı dirençli bir çeliktir. 100Cr6 çeliği, sadece rulman imalat sektöründe rulman hammadresi olarak değil, aynı zamanda özel taşlama tezgahlarında sıkça değiştirilen ve aşınan takımların imalatında da kullanılmaktadır. Tornalama deneylerinde $\phi 60 \times 250$ mm boyutlarında, 100Cr6 rulman çeliği kullanılmıştır. Tablo 1'de 100Cr6 rulman çeliğinin kimyasal içeriği verilmiştir.

Tablo 1. 100Cr6 rulman çeliği kimyasal yapı % oranları (Percentage of chemical composition of 100Cr6 bearing steel)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Cu
0,93	0,15	0,25	max	max	1,35	max	max	max
1,05	0,35	0,45	0,025	0,015	1,60	0,10	0,050	0,30

2.2. Tornalama Deneyleri ve Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri (Turning Experiments and Surface Roughness Measurements)

Talaş kaldırma deneylerinde kullanılan CNC torna tezgahı özellikleri, Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Deneylerde kullanılan takım tezgahının özellikleri (Properties of the machine that used in the experiments)

Tezgahın Gücü	15 kW
En Yüksek Devir	2000dev/dak
Hızlı hareket aralığı	2m/min
İşletim Sistemi	Fanuc

Tornalama deneyleri Gildemeister NEF 560 CNC torna tezgahında, kuru kesme şartlarında ve 1 mm sabit kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Taegu Tec firmasından temin edilen, TNMG 130408 kodlu, TT8125 kalitesinde, PC-MT-FG farklı talaş kırıcı formulu, CVD kaplamalı kesici takımlar ve WTQNR 2020 K1304 kodlu takım tutucuyla gerçekleştirilmiştir.

Yüzey pürüzlülük değerlerin ölçülmesinde; Taylor Hobson marka, Talysurf PGI 830 model ve 0,8 nm (nanometre) hassasiyetli yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. İşlenebilirlik kriterlerinden birisi olan ortalama yüzey pürüzlülük Ra değerleri, ISO 4287 [7] standardına göre, işlenmiş yüzeyler üzerindeki pürüzlülük profilindeki sapmaların aritmetik ortalaması alınarak elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri, deney sonrasında işlenen her bir yüzeyden beş farklı ölçüm alınmış, en düşük ve en yüksek değerler dikkate alınmadan üç değer aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir.

3. TAGUCHI OPTİMİZASYONU (TAGUCHI OPTIMIZATION)

Taguchi optimizasyon yöntemi; deney sayısını azaltması, üretim ve test maliyetlerini düşürmesi sebebiyle mühendislikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Taguchi optimizasyon yöntemi, kayıp fonksiyonu S/N oranına dönüştürerek, istenilen verilerle deney verileri arasındaki sapmayı hesaplar.

S/N oranlarının hesaplanmasında; karakteristik tipine bağlı *nominal en iyidir, en büyük en iyidir, en küçük en iyidir* metotları kullanılır. Faktörlerin en optimum seviyelerini belirlerken, yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerinin en küçük olması gerekmektedir. Bu amaçla, S/N oranlarının hesaplanmasında performans karakteristiğinin *en küçük en iyidir* durumunda olan amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Eş.1'de en küçük en iyidir, amaç fonksiyonu verilmiştir.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

Eşitlikteki; n gözlem deney sayısını ve y gözlenen verileri ifade etmektedir [8].

3.1. Deney Tasarımı (Design of Experiment)

Çalışmada, 100Cr6 rulman çeliğinin tornalama işlemi sonrası oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) için kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Kesici takım (T), ilerleme hızı (f) ve kesme hızı (Vc) değişken olarak seçilmiş, bu faktörlerin her biri için üç farklı seviye belirlenmiştir. Kontrol faktörleri ve seviyeleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kontrol faktörleri ve seviyeleri (Control factors and their levels)

Sembol	Kontrol Faktörleri	Birim	Seviyeler		
			Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3

A	Kesici Takım	-	T	T1	T2	T3
B	İlerleme Hızı	mm/dev	f	0,1	0,3	0,5
C	Kesme Hızı	m/dak	Vc	160	270	380

Deney tasarımında, Taguchi yönteminin L₉ deney tasarımı kullanılmıştır. Deney dizileri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Taguchi L₉ deney tasarımı (Taguchi L₉ experimental design)

Deney Numarası	Kontrol Faktörü		
	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

Deney sonuçları, %95 ($\alpha=0,05$) güven düzeyinde gerçekleştirilmiştir. Taguchi deney tasarımında Minitab15 paket programı kullanılmıştır.

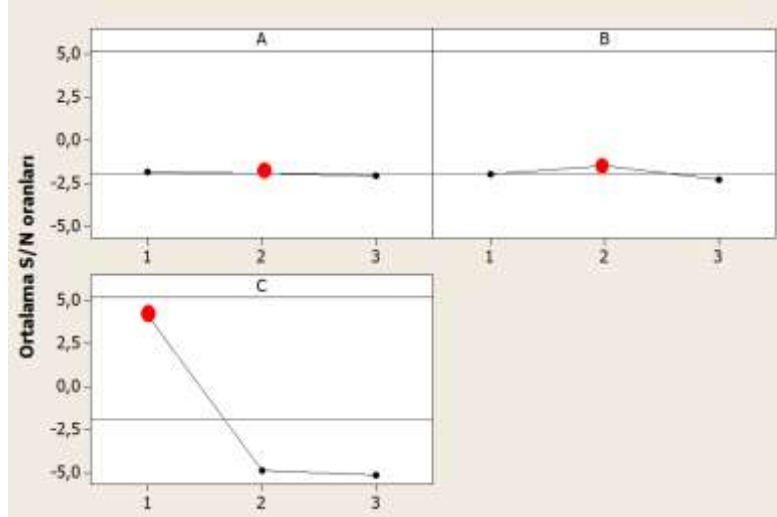
3.2. S/N Oranı Analizleri (Analysis of S/N Ratio)

100Cr6 rulman çeliği üzerinde, Taguchi'nin L₉ deney tasarımına göre gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, elde edilen Ra değerleri ile hesaplanan S/N oranları, Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5'e göre yüzey pürüzlülük aritmetik ortalaması (T_{Ra}) 1,396 μm olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5. Deney sonuçları ve S/N değerleri (Experimental results and S/N values)

Deney Numarası	Kontrol Faktörü			Yüzey Pürüzlülük Ra (μm)	Ra - S/N oranı (dB)
	A	B	C		
1	1	1	1	0,597	4,48051
2	1	2	2	1,752	-4,87068
3	1	3	3	1,807	-5,13916
4	2	1	2	1,712	-4,67008
5	2	2	3	1,673	-4,46992
6	2	3	1	0,679	3,36260
7	3	1	3	1,959	-5,84069
8	3	2	1	0,576	4,79155
9	3	3	2	1,812	-5,16316

Taguchi yöntemiyle elde edilen kontrol faktörlerinin etkilerini gösteren S/N ana etki grafiği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. S/N Oranları ana etki grafiği

3.3. Deney Sonuçları ve Optimum Yüzey Pürüzlülüğü (Experimental Result and Optimum Surface Roughness)

Taguchi optimizasyon yöntemiyle, doğrulama deneylerinin gerçekleştirilmesi için optimum koşullar belirlenir. Optimum yüzey pürüzlülüğü tahmini değerleri hesaplanmasında Eş.2 kullanılmıştır.

$$Rap = T_{Ra} + (A_2 - T_{Ra}) + (B_2 - T_{Ra}) + (C_1 - T_{Ra}) \quad (2)$$

Bu eşitlikte; $A_2B_2C_1$ optimum koşulu için yüzey pürüzlülük aritmetik ortalaması Ra_p Tablo 6'daki ve deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük aritmetik ortalaması T_{Ra} Tablo 5'teki veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörü ortalama tepki değerleri Tablo 6'da görülmektedir.

Tablo 6. Ortalama tepki tablosu (Response table for average)

Seviyeler	Kontrol Faktörü Yüzey Pürüzlülüğü $Ra (\mu m)$		
	A	B	C
Seviye 1	1,3853	1,4227	0,6173
Seviye 2	1,3547	1,3337	1,7587
Seviye 3	1,4490	1,4327	1,8130
Delta	0,0943	0,0990	1,1957

Yüzey pürüzlülüğü için kontrol faktörü optimal seviyeleri koyu ile gösterilmiştir

Eş.2'de, Tablo 5 ve Tablo 6'dan alınan değerler yerlerine konulduğunda $Ra_p = 0,5137 \mu m$ olarak hesaplanır.

Taguchi yönteminde, değişken seviyelerin optimal değerlerinin belirlenmesinden sonra yapılan doğrulama deneylerinde elde edilen sonuçlar, optimizasyon değerleri aralığında olmalıdır. Yüzey pürüzlülüğü Ra için belirlenen değişken seviyelerin optimum değerleri ($A_2B_2C_1$) ve gerçekleştirilen doğrulama deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde, Eş.3 ve Eş.4'ten hesaplanan Güven Aralığı (CI) sonuçları dikkate alınır [9].

$$CI = \sqrt{F_{\alpha;1;f_e} \times V_e \times \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \quad (3)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + [T_{dof}]} \quad (4)$$

$F_{0.05;1;2} = 18,5128$, $V_e = 0,01011$, $r = 3$, $n_{eff} = 3,857$. Eş.5'te değerler yerlerine konulduğunda Güven Aralığı (CI) $= \pm 0,333$ olarak bulunmuştur. %95 güvenirlikte tahmini ortalama optimal yüzey pürüzlülüğünün güven aralığı Eş.5'ten hesaplanmıştır.

$$[Ra_p] - [CI] < Ra_d < [Ra_p] + [CI] = [0,1807] < \mathbf{0,561} < [0,8467] \quad (5)$$

Doğrulama deney sonucunda ölçülen yüzey pürüzlülük değeri $R_{ad} = 0,561 \mu\text{m}$, güven aralığı değerleri içinde yer aldığından, Taguchi yöntemiyle 0,05 anlamlılık düzeyinde optimizasyonun başarılı olduğu görülmüştür.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Bu çalışmada 100Cr6 rulman çeliğine, kuru işleme şartlarında tornalama işlemi uygulanmıştır. Optimal işleme şartlarının belirlenmesinde Taguchi optimizasyon yöntemi başarılı olmuştur. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kontrol faktörlerinin optimum seviyelerinin S/N oranları ile belirlenen yüzey pürüzlülüğünün optimum değerleri $A_2B_2C_1$ olarak belirlenmiştir [TNMG 130408 –MT talaş kırıcı formulu T_2 kesici takımı (A_2), 0,3 mm/dev f ilerleme hızı (B_2) ve 160 m/dak V_c kesme hızı (C_1)].
- Doğrulama deneyi sonucunda elde edilen veriler, %95 güven aralığında yapılan doğrulama deneyleriyle optimizasyon başarıyla gerçekleştirilmiştir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Segonds, S., Cohen, G., Landon, Y., Monies, F., Lagarrigue, P., (2006). Characterising the behaviour of workpieces under the effect of tangential cutting force during NC turning. Application to machining of slender workpieces, *Journal of Material Processing Technology* 171, 471-479.
- [2]. Benardos, P.G., Mosialos, S., Vosniakos, G. C., (2006). Prediction of workpiece elastic deflection under cutting forces in turning, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 22, 505-514.
- [3]. Püttgen, W., Hallstedt, B., Bleck, W., Löffler, and J.F., Uggowitzer (2007). On the microstructure and properties of 100Cr6 steel processed in the semi-solid state. *Acta Materialia* 6553–6560.
- [4]. Şirin, Ş., (2012). *Al₂O₃ Seramik malzemenin talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirilmesinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5]. Motorcu, A.R., (2010). Isıl işlemsiz ve küreselleştirilmiş Ç52100 rulman çeliğinin farklı takımlarla işlenmesinde takım ömrü ve aşınmasının incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1), 65–75.

- [6]. Taylan, D., (2009). *Taguchi deney tasarımı uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta-Türkiye.
- [7]. ISO 4287:1997, *Geometrical Product Specifications (GPS)-Surface texture: profile method-terms, definitions and surface texture parameters*, International Organization for Standardization, Geneva, (1997).
- [8]. Akıncıoğlu, S., Gökkaya, H., and Uygur, İ., (2015). The effects of cryogenic-treated carbide tools on tool wear and surface roughness of turning of Hastelloy C22 based on Taguchi method, DOI 10.1007/s00170-015-7356-z.
- [9]. Şirin, E., Şirin, Ş., Turgut, Y., and Korkut, İ., (2015). AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün Taguchi metodu ile optimizasyonu, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, (3) 132-144.