

AISI 1040 Çeliğinin Tornalamasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu

Harun Yaka^{1*}, Harun Akkuş², Levent Uğur³

¹Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine Programı, Amasya, harun.yaka@amasya.edu.tr

²Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Otomotiv Teknolojisi Programı, Amasya

³Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği, Amasya

*İletişimden sorumlu yazar / Corresponding author

Geliş / Recieved: 11 Mart (March) 2016

Kabul / Accepted: 12 Ağustos (August) 2016

DOI: <http://dx.doi.org/10.18466/cbujos.26612>

Özet

Bu çalışmada, 46 HRC sertlikteki AISI 1040 çeliği tornalama işlemine tabi tutulmuştur. Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği parametrelerine göre Taguchi L₉ deney tasarımı ile deney listesi oluşturulmuştur. Tornalama deneyleri CNC tornada, KNUX 160405 R11 TT8125 TiCN-Al₂O₃-TiN kaplamalı karbür uç ile kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri ölçülmüştür. Taguchi tasarımında sinyal-gürültü oranı tespit edilmiş ve deneysel sonuçlara göre, üç faktör arasında Ra'ya en önemli etkiyi ilerlemenin yaptığı elde edilmiştir. ANOVA analizinde ilerlemenin Ra değerinde %95 güven düzeyinde etki ettiği bulunmuştur. Taguchi tahmininde seçilen parametreler için yapılan tekrar deneyinde Taguchi'nin %89 güvenilirlik ile sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler— AISI 1040, Optimizasyon, Taguchi Metodu, Tornalama, Yüzey Pürüzlülüğü.

Optimization the Effect of Surface Roughness of Cutting Parameters with Taguchi Method in Turning of AISI 1040 Steel

Abstract

In this study, the hardness of 46 HRC AISI 1040 steel was turning. Experiment list was created with Taguchi L₉ experimental design according to the parameters of cutting speed, feed and cutting depth. Turning experiments were performed in CNC lathe with KNUX 160405 R11 TT8125 TiCN-Al₂O₃-TiN coated carbid tool in dry cutting conditions. Surface roughness (Ra) values were measured as a result of experiments average. In Taguchi design, signal-to-noise ratio has been determined and according to the experiment results, feed rate was obtained as the most important effect to Ra among the three factors. In ANOVA analysis, feed rate was found the 95% confidence level in Ra value. Taguchi has been found to give results with 89% reliability in repeated experiments for selected parameters in Taguchi estimation.

Keywords— AISI 1040, Optimization, Surface Roghness, Taguchi Method, Turning.

1 Giriş

Günümüzde düşük insan gücü ile kısa sürede yüksek kaliteli ürünler elde etmek amaçlanmaktadır[1]. Bu amaçla esnek ve seri üretim yapabilmek için CNC tezgâhlarının kullanımı yaygınlaşarak imalat

sektöründe ciddi büyümeler meydana gelmiştir. İmalat sanayinde çok çeşitli talaş kaldırma yöntemleri mevcuttur. Tornalama işlemi diğer operasyonlara göre daha hızlı olması ve yüzey kalitesinde daha iyi sonuçlar vermesinden dolayı önemli bir talaş

kaldırma yöntemidir[2]. Tormalama işleminde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen çeşitli faktörler vardır. Bunlardan en önemlileri de kesme parametreleri olarak bilinen Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğidir[3]. Genellikle, istenilen kesme parametreleri tecrübeye bağlı olarak veya kesici takım üreticilerinin belirlemiş olduğu değerlerin bulunduğu kataloğlara göre belirlenir[4]. Fakat yüzey pürüzlülüğünde daha iyi bir sonuç elde etmek için kesme parametrelerinin optimizasyonu ve yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi gerekmektedir [5].

Gelişen teknoloji ve artan ürün çeşitliliği üreticileri daha kaliteli ve hızlı üretime zorlamaktadır. Bu nedenle de kesici takım teknolojisi sürekli olarak gelişmektedir. Son zamanlarda kesici takımların iyileştirilmesi sadece kaldırılan talaş oranını artırmamış aynı zamanda işleme maliyetlerini ve işleme süresini düşürdüğü gibi istenilen yüzeyin kalitesini de artırma imkânı sunmuştur [6].

Pürüzsüz bir yüzey elde etmek için kesme parametrelerinin optimizasyonu üzerine birçok deneysel ve istatistiksel çalışma yapılmıştır. Deney sayısını azaltarak optimum değeri bulabilmek için çalışmalarda genellikle Taguchi metodu kullanılmış ve gereksiz yapılacak deneylerden kaçınılmıştır [7]. Bensouilah ve arkadaşları Taguchi metodu kullanarak kaplamalı ve kaplamasız sert tormalama işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti analizi yapmışlardır. Deneylerde yüzey pürüzlülüğü, kaplamalı seramik uçlarda daha iyi çıkarken, kesme kuvvetinin ise kaplamasız seramik uçlarda daha düşük olduğunu belirlemişler [8]. Noordin ve arkadaşları çalışmalarında AISI 1040 çelik malzemeyi kaplamalı kesici uçla tormalama operasyonuna tabi tutmuşlar ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini araştırmışlar. Çalışmaları sonunda yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin ilerleme olduğunu bulmuşlardır [9]. Depnath ve arkadaşları da tormalama işlemi esnasında kesme parametrelerinin ve soğutma sıvısının yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Deneyleri sonunda yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametre 34.3% ile ilerleme olurken, soğutma sıvısının da yüzey pürüzlülüğüne bariz etkisi olduğunu (33.1%) belirlemişlerdir. Ancak kesme hızının ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde diğer faktörlere göre fazla bir etkilerinin olmadığını gömüşlerdir [10]. Ferreira ve arkadaşları

sert tormalama işleminde ilerlemenin ve kesici takım cinsinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak da deney sonuçlarını teorikteki verilerle kıyasladıklarında ilerleme ve kesici takım tipinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde kesme hızına göre daha etkili olduğunu belirlemişlerdir [11]. Talaş kaldırma esnasında kesici uç profilinin talaş uzaklaştırmaya, takım ömrüne ve kesme kuvvetlerine etkisi olduğu bilinmektedir. Bu etkenler de yüzey pürüzlülüğünde belirleyici rol oynamaktadır. Sung ve arkadaşları da finish tormalama işleminde kesici takım uç profilinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde büyük etkisi olduğunu belirlemişlerdir [12].

Yapılan çalışmalar genel olarak kesme hızının artışı ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığını, ilerleme ve talaş derinliğinin artışıyla da yüzey pürüzlülüğünün arttığını ortaya koymaktadır [13,14]. Fakat kesici takımların yüksek kesme hızlarında daha çabuk aşındığı ve zamanla elde edilen yüzey kalitesinin düştüğü görülmektedir [14,15]. Buda bazen kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirleyici bir etken olup olmadığı hakkında tartışmalara neden olmaktadır [16].

Bu çalışmada, tormalama işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisini araştırmak için Taguchi L₉ Ortogonal dizini kullanılarak kesme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmamızın sonunda tekrar deneyler yapılmış, Taguchi tahmini ve tekrar deneylerle elde ettiğimiz tahmin arasındaki sapmalar hesaplanmıştır. Elde ettiğimiz çıktılarının olumlu olduğu görülmüştür.

2 Deneysel Tasarım

Bu çalışmada motorlarda, makine ve aparat yapımında, orta zorlamalı parçalarda, dişlilerde, transmisyon millerinde ve kalıp setlerinde kullanılan AISI 1040 imalat çeliği iş parçası malzemesi olarak kullanılmıştır. AISI 1040 çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. AISI 1040 çeliğinin kimyasal bileşimi

Element	Yüzde (%)
Mn (Magnezyum)	0,6-0,9
C (Karbon)	0,37-0,44
Si (Silisyum)	0,15-0,35
S (Sülfür)	≤0,05

P (Fosfor)	≤0,04
------------	-------

Deney malzemesi ısıtılma işlemi sokulmadan önce yüzeyindeki tufaller alınmıştır. Isıl işlem olarak malzeme bir saat 950 °C'de ısıtılıp daha sonra havada soğutularak normalizasyon tavlama uygulanmıştır. Sertleştirme işlemi için 850 °C'ye ısıtılmış, sonrada yarım saat suda soğutulmuştur. Isıl işlem sonrasında malzemenin sertlik değeri BMS Digirock RSR sertlik ölçüm cihazı ile ortalama 46 HRC ölçülmüştür.

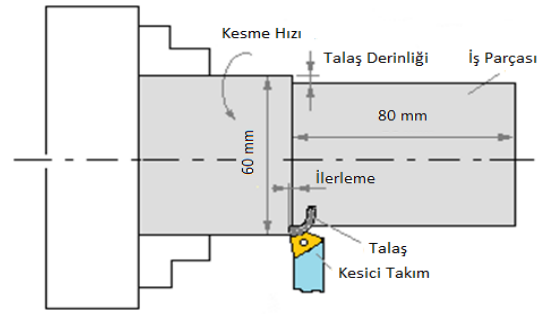
Deneylerde Ø60x200 mm ebatlarında olan çelik malzeme kullanılmıştır. İşleme boyu ise Şekil 2'de görüldüğü gibi 80 mm olarak belirlenmiştir. Isıl işlem sonrası oluşan boyut farklılıkları, tufallanmalar ve salınımlar CNC tornada giderilmiştir.

Deneylerde ACE Micromatic Designers LT-20C CNC torna tezgâhı kullanılmıştır. Deneylerde herhangi bir soğutucu (sıvı ya da gaz) kullanılmamış, kuru kesme şartlarında tornalama işlemi yapılmıştır. Deneylerde takım tutucu olarak R.D.W. CKJNR 2525M-16, kesici uç olarak TaeguTec marka KNUX 160405 R11 TT8125 TiCN-Al₂O₃-TiN kaplamalı karbür uç kullanılmıştır. İşleme boyu 80 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 1'de deneylerde kullanılan numunenin CNC torna tezgâhı üzerindeki bağlantısı, kesici uç ve takım tutucu görülmektedir.

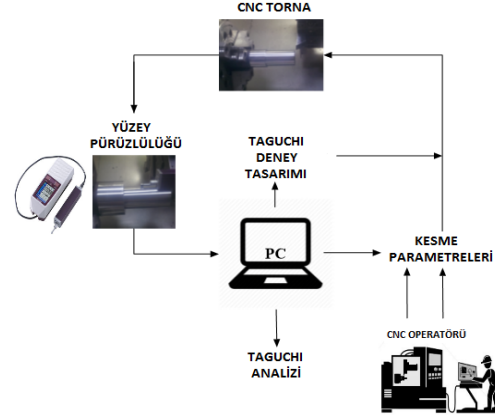


Şekil 1. CNC torna tezgâhı, kesici uç ve takım tutucu

Kesme parametreleri üretici firma kataloğuna uygun olarak üç farklı kesme hızı (V), üç farklı ilerleme (f) ve üç farklı talaş derinliği (a) olarak belirlenmiştir. Bu kesme parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Deney şeması da Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 2. Tornalama operasyonu şeması



Şekil 3. Deney şeması

Tam faktöriyel tasarım ile toplamda 27 deney yapmak maliyet ve zaman açısından kayıp oluşturacağından bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak adına Taguchi metodu ile L₉ Ortogonal dizilim oluşturulmuştur. Tablo 2'de verilen kesme parametreleri uygulandıktan sonra oluşan Ra değerleri Mitutoyo SurfTest SJ-210 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

Deneyler silindirik parça üzerinden 120°'lik açılar ile üç tekrar olarak gerçekleştirilmiş ve ölçümlerinin ortalaması alınmıştır. Bu çalışmada seçilen uç şekli itibari ile bir uç ile iki işlem gerçekleştirilmektedir. Her deney için farklı uç kenarı kullanılmıştır. Tablo 3'te deney listesi ve elde edilen ortalama Ra değerleri verilmiştir.

Tablo 2. Kesme parametreleri ve seviye değerleri

Sembol	Kesme parametreleri	Seviye		
		(1)	(2)	(3)
A	Kesme Hızı (m/dk.)	200	220	240
B	İlerleme (mm/dev)	0,25	0,30	0,35
C	Talaş Derinliği (mm)	1,5	2,5	3,5

Tablo 3. L₉ ortogonal dizilim kullanarak deney tasarımı ve

Deney No	A	B	C	Ra
1	1	1	1	3,83
2	1	2	2	5,69
3	1	3	2	8,29
4	2	1	2	4,00
5	2	2	2	6,89
6	2	3	1	7,41
7	3	1	3	4,19
8	3	2	1	5,61
9	3	3	2	7,70

3 Taguchi Yöntemi ile Sonuçların Değerlendirilmesi

Taguchi metodunda en iyi yüzey pürüzlülüğü için gerekli olan optimum kesme şartlarında, en küçük en iyi sinyal/gürültü oranı denklemi kullanılarak yapılmıştır. MINITAB 14 programında en küçük en iyi denklemi kullanılarak S/N oranları, seviye değerleri hesaplanmıştır. Bu denklemin sonucuna göre elde edilen S/N oranları Tablo 4'te verilmiştir. Denklemin

$$-10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \text{ en küçük en iyi durumu}$$

Tablo 4. L₉ Ortogonal diziliminde Ra için S/N oranları

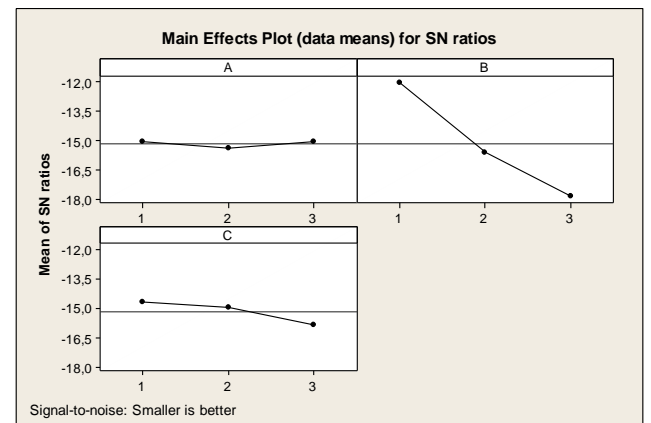
Deney No	A	B	C	Ra	S/N
1	1	1	1	3,83	-11,44
2	1	2	2	5,69	-15,29
3	1	3	2	8,29	-18,41
4	2	1	2	4,00	-12,08
5	2	2	2	6,89	-16,54
6	2	3	1	7,41	-17,58
7	3	1	3	4,19	-12,63
8	3	2	1	5,61	-15,01
9	3	3	2	7,70	-17,51

Taguchi metodunda deneysel verilerin analizleri için en temel kriter sinyal/gürültü (S/N) oranıdır. Bu çalışmada Taguchi metoduna göre optimum kesme

şartlarını elde etmek için S/N oranı maksimum değeri almalıdır. Bu duruma göre, L₉ ortogonal dizilimde Tablo 4'te en optimum kesme şartı Ra için -11,44 S/N oranı olarak bulunmuştur. 111 ortogonal dizilim, yani 200m/dk. kesme hızı, 0,25 mm/dev. ilerleme ve 1,5 mm talaş derinliğinde en iyi Ra değeri için optimum kesme şartları elde edilmiştir. Taguchi dizaynına göre Ra için MINITAB 14 programından elde edilen faktörlerin seviye değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Şekil 3'te, Tablo 5'te verilen seviye değerlerinin grafiği verilmiştir. Bundan sonra aynı şartlarda yapılacak deneylerin optimum kesme şartlarının belirlenmesinde Tablo 5'teki ve Şekil 3'te belirtilen A, B ve C faktörlerinin seviye değerlerine göre yorum yapılır. Bu durumda, A faktörünün (kesme hızı) birinci veya üçüncü seviyesi, B faktörünün (ilerleme) birinci seviyesi ve C faktörünün (talaş derinliğinin) birinci seviyesi yüksek olduğu Şekil 3 ve Tablo 5'te görülmektedir. Dolayısıyla yapılacak deneyler için aynı şartlarda belirlenen optimum kesme şartları kesme hızı için 200-240 m/dk, İlerleme 0,25 mm/dev. ve talaş derinliği 1,5 mm olacaktır. Tablo 5'te ayrıca kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki sırası ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızı olarak elde edilmiştir.

Tablo 5. Yüzey pürüzlülüğü faktörü Ra için S/N cevap tablosu

Level	A	B	C
1	-15,05	-12,05	-14,68
2	-15,4	-15,62	-14,96
3	-15,05	-17,83	-15,86
Delta	0,35	5,78	1,18
Rank	3	1	2



Şekil 3. Ra'nın en küçük en iyi S/N oranına göre A, B, C

Taguchi metodu ile elde edilen S/N oranından optimum kesme şartları belirlenirken, varyans analizi ile de kesme parametreleri arasındaki ilişki tespit edilmiştir. S/N'nın kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Yapılan S/N ANOVA analiz sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre $p < 0,01$ veya $p < 0,05$ anlamlılık düzeyinde olması gerekir. Bu sonuçlara göre en anlamlı değer sırası ile ilerleme, talaş derinliği ve kesme hızıdır. İlerleme % 95 güven düzeyinde etkinlik gösterirken, kesme hızı ve talaş derinliği % 95 güven düzeyinde etkinlik göstermemiştir. Bu sonuçlar Tablo 5'teki önem sırasını aynı zamanda doğrular niteliktedir.

Tablo 6. S/N-Kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği arasındaki ilişki

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0,2481	0,2481	0,1241	0,99	0,504
B	2	51,0668	51,0668	25,5334	202,83	0,005
C	2	2,2836	2,2836	1,1418	9,07	0,099
Residual Error	2	0,2518	0,2518	0,1259		
Total	8	53,8504				

Taguchi analizinin en son safhasında Tablo 7'de verilen seviyeler için tahminler gerçekleştirilmiştir. Tablo 7'de Taguchi tahmin sonucu, deney sonucu ve bu sonuçlar arasındaki hata yüzde olarak verilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda Taguchi tahmini yaklaşık %89 doğruluktur.

Tablo 7. Taguchi tahmin ve deney sonucu arasındaki hata

A	B	C	Deney Sonucu Ra	Taguchi Tahmini Ra	Mutlak Fark	% Mutlak Hata
1	2	3	5,93	6,54	0,61	10,32
3	3	3	8,07	8,17	0,11	1,30

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, tornalama işleminin optimizasyonu için Taguchi deney tasarımı kullanılarak kesme parametrelerine göre Ra değerleri analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçları aşağıda verilmiştir.

Kesme faktörleri olan kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin 3 farklı seviyesi için MINITAB 14 programında Taguchi metodu kullanılarak L_9 ortogonal dizilim elde edilmiştir. Bu sayede tam faktöriyel 27 deney yerine 9 deney yapılmıştır. L_9 ortogonal dizilimine göre yapılan deneyler neticesinde Ra'nın S/N oranları bulunmuştur. En küçük en iyi (the smaller-the better) S/N oranı denklemi kullanılarak, S/N oranında maksimum değer aranmıştır. Maksimum S/N oranı en optimum kesme parametrelerini vermektedir. Tornalama operasyonunda en düşük yüzey pürüzlülüğü için Ra değerinin maksimum -11,44 S/N değerine karşılık gelen optimum kesme şartları (111), 200 m/dk kesme hızı, 0,25 mm/dev. ilerleme ve 1,5 mm talaş derinliği olmuştur.

S/N oranlarına varyans analizi uygulanarak, kesme parametrelerinin Ra üzerindeki ilişki düzeyleri belirlenmiştir. ANOVA analizine göre Ra değerinde ilerleme %95 güven düzeyinde etki etmiştir. Kesme hızı ve talaş derinliği % 95 güven düzeyinde etkinlik (farklılık) göstermemiştir.

Taguchi tahmini ve deney sonucunun kıyaslanması ile Taguchi tahmininin yaklaşık %89 doğrulukta olduğu elde edilmiştir.

5 Referanslar

- [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 and Manufacture. 2005; 45, 467-479.
- [2] Gupta, M.K.; Sood, P.K. Optimizing Multi Characteristics in Machining of AISI 4340 Steel Using Taguchi's Approach and Utility Concept. Journal of The Institution of Engineers (India): Series C. 2016; 97, 63-69.
- [3] Kopac, J.; Bahor, M.; Soković, M. Optimal machining parameters for achieving the desired surface roughness in fine turning of cold pre-formed steel workpieces. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2002; 42, 707-716.
- [4] Sahoo, P. Optimization of turning parameters for surface roughness using RSM and GA. Advances in Production Engineering and Management. 2011; 6, 197-208.
- [5] Tzeng, C.J.; Lin, Y.H.; Yang, Y.K.; Jeng, M.C. Optimization of turning operations with multiple performance characteristics using the Taguchi method and

[6] Bhattacharya, A.; Das, S.; Majumder, P.; Batish, A. Estimating the effect of cutting parameters on surface finish and power consumption during high speed machining of AISI 1045 steel using Taguchi design and ANOVA. Production Engineering. 2009; 3, 31-40.

[16] Thamizhmanii, S.; Saparudin, S.; Hasan, S. Analyses of surface roughness by turning process using Taguchi method. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2007; 20, 503-506.

[7] Kurt, M.; Bagci, E.; Kaynak, Y. Application of Taguchi methods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2009; 40, 458-469.

[8] Bensouilah, H.; Aouici, H.; Meddour, I.; Yallese, M.A.; Mabrouki, T.; Girardin, F. Performance of coated and uncoated mixed ceramic tools in hard turning process. Measurement. 2016; 82, 1-18.

[9] Noordin, M.Y.; Venkatesh, V.C.; Sharif, S.; Elting, S.; Abdullah, A. Application of response surface methodology in describing the performance of coated carbide tools when turning AISI 1045 steel. Journal of Materials Processing Technology. 2004; 145, 46-58.

[10] Debnath, S.; Reddy, M.M.; Yi, Q.S. Influence of cutting fluid conditions and cutting parameters on surface roughness and tool wear in turning processusing Taguchi method. Measurement. 2016; 78, 111-119.

[11] Ferreira, R.; Carou, D.; Lauro, C.H.; Davim, J.P. Surface roughness investigation in the hard turning of steel using ceramic tools. Materialsand Manufacturing Processes. 2016; 31, 648-652.

[12] Sung, A.N.; Ratnam, M.M.; Loh, W.P. Effect of tool nose profile tolerance on surface roughness in finish turning. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015; 76, 2083-2098.

[13] Gupta, M.K.; Sood, P.K. Optimization of machining parameters for turning AISI 4340 steel using Taguchi based grey relation alanalysis. Indian Journal of Engineering & Materials Sciences. 2015; 22, 679-685.

[14] Sahu, S.; Choudhury, B.B. Optimization of Surface Roughness Using Taguchi Methodology & Prediction of Tool Wear in Hard Turning Tools. Materials Today: Proceedings. 2015; 2, 2615-2623.

[15] Palanikumar, K.; Karthikeyan, R. Optimal machining conditions for turning of particulate metal matrix composite susing Taguchi and response surface