

YÜKSEK ALAŞIMLI BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN (Ni-HARD) TORNALANMASINDA KESME KUVVETİNİN MODELLENMESİ

Emre Yücel^a, Mustafa Günay^b

^a Düzce Üniversitesi, emreyucel@duzce.edu.tr

^b Karabük Üniversitesi, mgunay@karabuk.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, yüksek alaşımlı beyaz dökme demirin (Ni-Hard) tornalanmasında oluşan esas kesme kuvvetinin (F_c) modellenmesi amaçlanmıştır. Öncelikle, Taguchi L_{18} deney tasarımına göre CNC torna tezgahında yapılan kesme deneyleri sonucunda kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Deneyler, seramik ve CBN (kübik boron nitrür) olmak üzere iki farklı kesici takım ile kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin üç farklı seviyesi seçilerek gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar kullanılarak yapılan varyans analizi ile değişkenlerin F_c üzerindeki etki seviyeleri belirlenmiştir. Son olarak, çoklu regresyon analizi uygulanarak esas kesme kuvvetinin (F_c) istatistiksel modeli geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kesme kuvveti, Ni-Hard, Taguchi yöntemi, Regresyon analizi.

1.Giriş

Yüksek alaşımlı dökme demirler, alaşım miktarı % 4'den fazla olan bir dökme demir grubudur. Alaşım oranı % 4'ün altında olanlar düşük alaşımlı dökme demirler (350-550 HB) olarak adlandırılmaktadır. Yüksek alaşımlı dökme demirlerin (450-850 HB) aşınma, ısı ve korozyon dirençleri gibi belirli özellikleri alaşımsız ve az alaşımlı diğer dökme demirlerden oldukça yüksektir. Yüksek alaşımlı dökme demirlerde kullanılan başlıca alaşım elementleri; Nikel, Krom, Molibden, Bakır ve Vanadyum'dur [1]. Bu malzemeler, içerdikleri alaşım elementine göre; Ni içerenler Ni-Hard, Cr içerenler Cr-Hard olarak adlandırılmaktadır. Ni-Hard, aşınmaya karşı çok yüksek dirence sahip (58-65 HRC), yüksek alaşımlı beyaz dökme demirlerin ticari adıdır [2]. ASTM A 532'ye göre bu malzemelerin Ni-Hard 1, Ni-Hard 2, Ni-Hard 3 ve Ni-Hard 4 olmak üzere dört grubu bulunmaktadır [3].

Ni-Hard malzemeler yüksek aşınma direnci ve sertliklerinden dolayı cevher kırıcılar, öğütücü değirmen merdaneleri, tarım makineleri, pistonlar, konveyörler, pompalar, dişliler ve madencilik sanayi gibi alanlarda kullanılmaktadır [4,5]. Ancak, yüksek aşınma direncine bağlı kötü işlenebilirlikleri nedeniyle, bu malzemeler genellikle döküm sonrası haliyle işlenilmeden kullanılmaktadır. Yüksek alaşımlı beyaz dökme demir gibi aşınma direnci yüksek malzemelerin işlenmesinde kullanılan sementit ve tungsten karbür kesici takımların ömrü oldukça kısa olmaktadır. Böyle malzemeler, sert tornalama olarak bilinen, sertliği 45 HRC'yi aşan parçaların kübik bor nitrür (CBN) takım ile yüksek kesme hızlarında işlenmesi, yöntem ile işlenebilmektedir [6]. Fakat CBN kesici takımların maliyetlerinin yüksek olması işleme maliyetlerini artırmakta olup, bu durum yüksek aşınma direncine sahip dökme demirlerin kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Diğer yandan, bitirme tornalama operasyonu yoluyla tornalama, ısıl işlem ve son olarak taşlama gibi bir dizi operasyon elimine edilmektedir. Sert tornalama vasıtasıyla kısa sürelerde, istenilen ölçü tamlığı ve yüzey pürüzlülüğü tek bir işleme operasyonu ile sağlanarak verimlilik artırılabilir. Ancak, sert tornalamada yanlış seçilen kesme parametreleri işleme zamanı ve maliyeti açısından negatif rol oynamaktadır [7]. Bu nedenle kesme parametrelerin seçimi önem arz etmektedir.

Kesme kuvvetleri, kesici takım, kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği ile yakından ilgilidir. Özellikle kesme derinliği ve ilerleme miktarı, kesme kuvvetini büyük oranda etkilemektedir. Bu konu pek çok araştırmacı çeşitli istatistiksel ve deneysel yaklaşımlarda bulunmaktadır [8,9]. Kesme kuvveti üzerine yapılan araştırmaların yoğunlaşmasının sebebi, kesme kuvvetinin, kesme esnasında oluşan ısıyı ve ısıya bağlı takım aşınmasını, iş parçasının yüzeyini ve işleme tamlığını doğrudan belirlemesidir [10]. Son yıllarda kesme parametrelerinin optimizasyonu ile kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü gibi işleme çıktıları için cevap yüzey metodu, Taguchi yöntemi, yapay sinir ağları gibi çeşitli yöntemler kullanılmaya başlanmıştır [11, 12]. Taguchi yönteminin en önemli avantajı, pek çok faktörü aynı anda doğrudan dikkate alabilmesidir. Ayrıca Taguchi yöntemi, az sayıda deney ile maliyeti olabildiğince düşürerek, minimum zaman aralığında bütün deney sürecini kapsamayı amaç edinmiştir [13].

Bu çalışmada, Ni-Hard 4 malzemenin sert tornalanması sırasında oluşan kesme kuvvetleri Taguchi yöntemi kullanılarak yapılan deneyler ile belirlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlara göre çoklu regresyon analizi yapılarak F_c için bir istatistiksel model geliştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kesme Şartları

Deneylerde kullanılan torna tezgahı Johnford TC 35 CNC marka olup motor gücü 20 HP' dir. İşleme deneylerinde, kesici takım olarak KYOCERA firmasından temin edilen TCR00002 SNGA120408T02025 A65 kodlu Seramik kesici takımlar ile TBV03657 SNGA120408S01225ME CBN510 kodlu CBN kesici takımlar kullanılmıştır. Kesici takımlar, PSBNL 2020K12T kodlu takım tutucu ile torna tezgahına rijit bir şekilde bağlanmıştır.

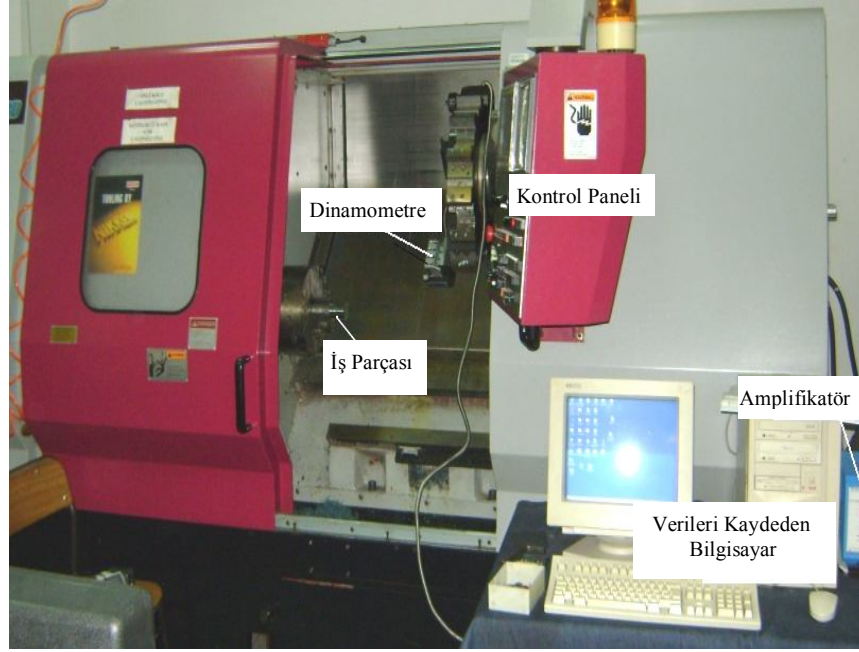
Deney numunesi olarak kullanılan Ni-Hard 4 malzeme kum kalıba döküm yöntemiyle üretilmiş olup, Derman Döküm Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi (Ankara)'nden hizmet alımı yapılarak temin edilmiştir.

Numuneler, 220x62 mm boyutlarında olup kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Döküm sonrası numunelerin sertliği, laboratuvar tip SHIMADZU marka sertlik ölçme cihazında yapılmıştır. Numune yüzeyinden yapılan beş adet sertlik ölçümü sonucunda sertlik değeri ortalama 50 HRC olarak bulunmuştur.

Tablo 1. Deney numunelerinin kimyasal bileşimi

| C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Al |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 3,00 | 0,71 | 0,91 | 0,016 | 0,013 | 9,73 | 0,57 | 4,63 | 0,002 |
| Co | Cu | Nb | Ti | V | W | Sn | Fe | |
| 0,037 | 0,162 | 0,007 | 0,009 | 0,044 | 0,010 | 0,001 | 78,803 | |

Talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetlerini ölçmek için KISTLER 9121 tipi dinamometre kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri ölçümü, her bir deney şartı için iş parçasının 20 mm'lik silindirik tornalanması süresince yapılmıştır.



Şekil 1. Kesme kuvvetlerinin ölçüldüğü deney düzeneği

Kesme işlemi sonunda kesme kuvvetlerinin kararlı olduğu bölgenin ortalaması alınarak kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Değerlendirmelerde, özellikle tornalama yönteminde enerji tüketimi açısından birincil derecede öneme sahip olan esas kesme kuvveti (F_c)'nin analizi yapılmıştır.

2.2. Deney Tasarımı

Kesme parametreleri, kesici takım (seramik ve CBN), kesme hızı (V), ilerleme miktarı (f) ve kesme derinliği (a) olarak seçilmiştir. Ni-Hard 4 malzemenin sert tornalanmasında kullanılan değişkenler ve seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Değişkenler ve seviyeleri

| Değişkenler | Seviye 1 | Seviye 2 | Seviye 3 |
|------------------------------|----------|----------|----------|
| A- Kesici takım | Seramik | CBN | |
| B- Kesme hızı (m/dak) | 50 | 100 | 150 |
| C- İlerleme miktarı (mm/dev) | 0,05 | 0,075 | 0,1 |
| D- Kesme derinliği (mm) | 0,25 | 0,50 | 0,75 |

Tablo 2'deki değişkenler göz önüne alınarak Taguchi'nin L_{18} dikey dizinine göre kesme deneyleri yapılmıştır. Deney tasarımı ve dinamometre yardımı ile ölçülen F_c değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Taguchi yöntemine göre yapılan deney tasarımı ve istatistiksel analizler Minitab 15 yazılımı ile yapılmıştır.

Tablo 3. Deney tasarımı ve F_c değerleri

| Deney No. | (A) Kesici takım | (B) Kesme hızı (m/dak) | (C) İlerleme miktarı (mm/dev) | (D) Kesme derinliği (mm) | F_c (N) |
|-----------|---------------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 39,52 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 87,89 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 213,76 |
| 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 46,35 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 2 | 127,68 |
| 6 | 1 | 2 | 3 | 3 | 243,1 |
| 7 | 1 | 3 | 1 | 2 | 87,05 |
| 8 | 1 | 3 | 2 | 3 | 181,38 |
| 9 | 1 | 3 | 3 | 1 | 80,58 |
| 10 | 2 | 1 | 1 | 3 | 107,23 |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 1 | 70,65 |
| 12 | 2 | 1 | 3 | 2 | 168,77 |
| 13 | 2 | 2 | 1 | 2 | 110,82 |
| 14 | 2 | 2 | 2 | 3 | 197,18 |
| 15 | 2 | 2 | 3 | 1 | 97,71 |
| 16 | 2 | 3 | 1 | 3 | 160,46 |
| 17 | 2 | 3 | 2 | 1 | 66,93 |
| 18 | 2 | 3 | 3 | 2 | 162,90 |

3. Deney Sonuçları ve Analiz

Deneyssel olarak elde edilen esas kesme kuvveti (F_c) değerlerinin istatistiksel analizi iki adımda gerçekleştirilmiştir. İlk olarak kesme parametrelerinin F_c değeri üzerindeki etkileri varyans analizi (Analysis of Variance_ANOVA) ile belirlenmiştir. İkinci adımda deneysel sonuçlara çoklu regresyon analizi uygulanarak F_c 'yi tahmin edici istatistiksel bir model geliştirilmiştir. İstatistiksel analiz çalışmaları %95 güven aralığı düzeyi esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Esas kesme kuvveti üzerinde, değişkenlerin etki seviyelerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Burada, her bir değişkenin önem seviyesini gösteren F değerleri ve yüzde etki oranları (Percentage Contribution Ratio_PCR) görülmektedir.

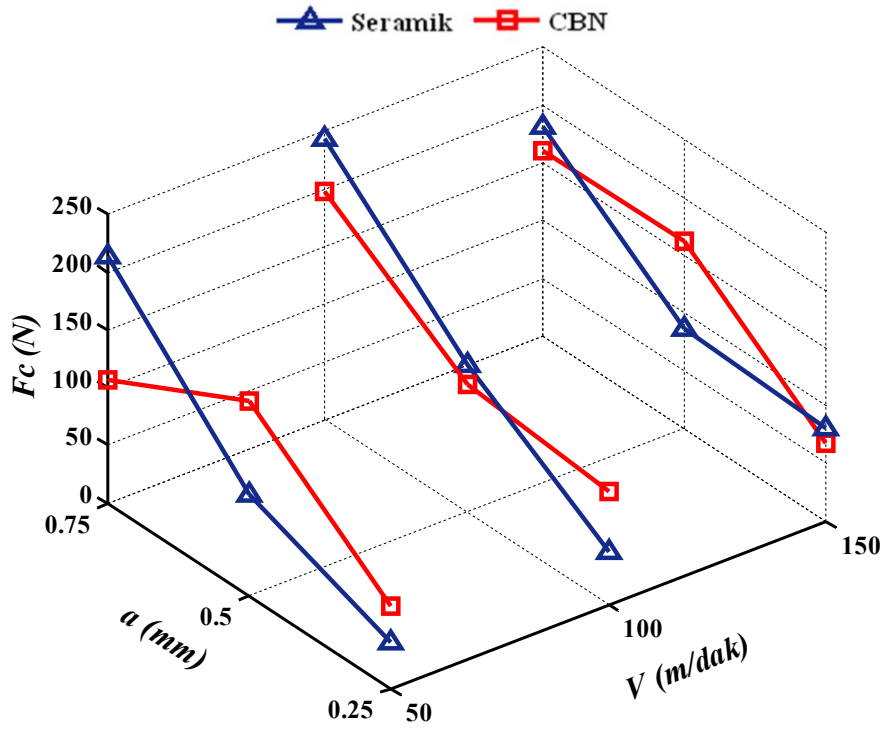
Tablo 4. Değişkenlerin varyans analizi

| Kaynak | Serbestlik Derecesi (SD) | Kareler Toplamı (KT) | Kareler Ortalaması (KO) | F | P | PCR (%) |
|--------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------|-------|------------|
| A | 1 | 6,621 | 6,621 | 7,81 | 0,019 | 1,91 |
| B | 2 | 9,258 | 4,629 | 5,46 | 0,025 | 2,65 |
| C | 2 | 81,976 | 40,988 | 48,35 | 0,000 | 23,54 |
| D | 2 | 241,940 | 120,970 | 142,69 | 0,000 | 69,47 |
| Hata | 10 | 8,478 | 0,848 | | | 2,43 |
| Toplam | 17 | 348,272 | | | | 100,00 |

Tablo 4'ten görülebileceği gibi esas kesme kuvveti üzerinde en fazla öneme sahip değişken % 69,47 etki oranı (PCR) ile kesme derinliği olarak bulunmuştur. F_c üzerinde ikinci derecede öneme sahip

değişken ise %23,54'lük PCR değeri ile ilerleme miktarıdır. Elde edilen bu sonuçlar literatürde yapılan çalışmalarla benzerlik göstermekte olup, sert tornalama işlemleri için kesme derinliğinin daha önemli bir kesme parametresi olduğuna işaret etmektedir.

ANOVA tablosuna göre Ni-Hard malzemenin sert tornalanmasında en etkili değişkenin kesme derinliği olduğu anlaşılmaktadır. Buradan yola çıkılarak, Şekil 2 yardımıyla esas kesme kuvvetinin kesme derinliği (a) ve kesme hızı (V) ile ilişkisi değerlendirilmiştir.



Şekil 2. Ni-Hard için (F_c)'nin (a) ve (V)'ye göre değişimi.

Şekil 2 incelendiğinde, malzemenin işlenmesi sırasında kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin azaldığı açıkça görülmektedir. Seramik ve CBN takımların her ikisinde de kesme derinliği artarken kesme kuvvetleri de artmıştır. Ancak, malzemenin 50 m/dak kesme hızı ve 0,75 mm kesme derinliğinde CBN takımla işlenmesinde kesme kuvveti daha düşük elde edilmiştir. Bunun sebebi, deney tasarımına bağlı olarak oluşan talaş-kesit alandaki değişimle açıklanabilir. Bu kesme şartında, CBN takımında 50 m/dak kesme hızı ve 0,75 kesme derinliğinde ilerleme miktarı 0,050 mm/dev iken, 100 m/dak kesme hızı 0,75 kesme derinliğinde ilerleme miktarı 0,075 mm/dev'dir (Şekil 2). Bu sonuç, ANOVA'ya göre elde edilen istatistiksel sonuçlarla paralellik arz etmekte olup, yapılan çalışmanın geçerliliğini göstermektedir.

Çoklu regresyon analizi, esas kesme kuvveti ile değişkenler arasındaki gösteren istatistiksel modelleme için yapılmıştır. Modelde kullanılan bağımsız değişkenler; kesici takım (A), kesme hızı (B), ilerleme miktarı (C), kesme derinliği (D) şeklinde gösterilmiştir. Esas kesme kuvveti (F_c) için %95 güven aralığında oluşturulan doğrusal çoklu regresyon modeli ve ilişki katsayısı aşağıda sunulmuştur.

$$F_c = - 75,6 + 3,93 A + 4,29 B + 34,6 C + 58,4 D \quad R^2=91,7 \quad (1)$$

ANOVA tablosu, tahmin edilen modelin güven aralığı ve hesaplanan R^2 değeri için anlamlı olduğunu göstermektedir. Modelde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenlerin ilişki oranına bağlı olarak R^2 'nin

en uygun değeri 1'e en yakın olan değerdir. R^2 değeri 1'e yaklaştıkça, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade eden regresyon modelinin, istatistiksel olarak gerçek ilişkiye yakınlığının arttığı kabul edilmektedir [14]. Bununla birlikte, Pearson katsayısına göre R^2 değerinin 0,80 ve üzeri olması değişkenler arasında kuvvetli ilişki olarak nitelendirilmektedir. Bu durumda, elde edilen F_c 'nin istatistiksel modelinin R^2 değerine göre modelin geçerliliğinin kabul edilebilir sınırlarda olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmada Nihard 4 malzemenin sert tornalanması işleminde oluşan kesme kuvvetleri incelenmiştir. Bu malzeme için daha sonra yapılacak çalışmalarda, işlenen malzemenin yüzey durumunu ve işleme maliyetlerini yakından ilgilendiren kesici takımların aşınma davranışı araştırılabilir.

4.Sonuçlar

- F_c esas kesme kuvvetini en fazla etkileyen parametre % 69,47 etki oranı ile kesme derinliğidir ve onu %23,54'lük etki oranı ilerleme miktarı izlemektedir.
- En düşük kesme kuvveti olan 39,52 N, seramik takım ile 50 m/dak kesme hızında, 0,05 mm/dev ilerleme miktarında ve 0,25 mm kesme derinliğinde elde edilmiştir.
- Deneysel çalışmaya gerek kalmaksızın tahmini değerlere ulaşmada kullanılacak F_c 'nin istatistiksel modeli oluşturulmuştur. Modelde değişkenler arasında %91,7'lik yüksek derecede bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Davis, J. R., "Classification and Basic Metallurgy of Cast Irons", Cast- Irons-ASM Speciality Handbook, ASM International Materials Park, OH, 3-15 (1996).
- [2] Liu, J., Li, S. and Man, Y., "Wear resistance of Ni-Hard 4 and high-chromium cast iron re-evaluated", Wear, 166 (1): 37-40 (1993).
- [3] Yao, M. and Page, N. W., "Friction measurement on Ni-Hard 4 during high pressure crushing of silica", Wear, 249 (1-2): 117-126 (2001).
- [4] Doğan, Ö. N., Hawk, J. A. and Rice, J., "Comparison of three Ni-Hard I Alloys", Albany Research Center, Albany, DOE/ARC 70 (2004).
- [5] Nieminen, R., Autio, J., Suomalainen, E., Husu, N., Kauppi, M., Vaananen, E., "Wear mechanism of Ni-Hard 4 rollers in chromite ore crushing", Wear, 179 (1-2): 95-100 (1994).
- [6] Masood S. H., Armitage K., Brandt M., "An experimental study of laser-assisted machining of hard-to-wear white cast iron", International Journal of Machine Tools & Manufacture 51, 450–456, (2011).
- [7] Oliveira A. J., Diniz A. E., Ursolino D. J., "Hard turning in continuous and interrupted cut with PCBN and whisker-reinforced cutting tools" Journal of Materials Processing Technology 209, 5262–5270, (2009).
- [8] Bouacha, K., Yallese, M. A., Mabrouki, T. and Rigal, J.F., "Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool", Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 28 (3): 349-361 (2010).
- [9] Gopalsamy, B. M., Mondal, B. and Ghosh, S., "Taguchi method and ANOVA: An approach for process parameters optimization of hard machining while machining hardened steel", Journal of Scientific & Industrial Research, 68 (8): 686-695 (2009).

- [10] Yıldız, S., Unsacar, F., Sağlam, H., "Comparison of Experimental Results Obtained by Designed Dynamometer to Fuzzy Model for Predicting Cutting Forces in Turning", *Materials and Design*, 27, 1139–1147, (2006).
- [11] Aslan, E., Camuscu, N., Birgören, B., "Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63 HRC) with Al₂O₃ + TiCN mixed ceramic tool", *Materials and Design*, 28, 1618–1622, (2007).
- [12] Günay, M., Kacal, A., Turgut, Y., "Optimization of machining parameters in milling of Ti-6Al-4V alloy using taguchi method", *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 6, 428-440, (2011).
- [13] Taguchi, G., Chowdhury, S. ve Wu, Y., *Taguchi's Quality Engineering Handbook*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA, (2005).
- [14] Montgomery, D. C., *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley & Sons, Inc., New York, (2001).