

Lama Testere ile AISI 1020 Malzemesinin Kesilmesi İşleminde Takım Performansının İncelenmesi

Tuncay YILMAZ¹, İsmail UCUN², İrfan UCUN²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar

e-posta: tuncay_yilmaz_61@hotmail.com, iucun@aku.edu.tr, irfanucun@aku.edu.tr

Geliş Tarihi: ; Kabul Tarihi:

Özet

Lamalı testere kesme performansı iyi bir imalat süreci için önemlidir. Kesme performansını kuvvetler, güç tüketimi, enerji ve hasarlar gibi bazı faktörler belirlemektedir. Bununla birlikte verimli bir kesme işlemi için kesme performansını belirleyen bu faktörlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, imalat endüstrisinde genişçe kullanılan lama testere ile AISI 1020 malzemesinin kesilmesi işleminde takım performansı incelenmiştir. Deneysel olarak bilgisayar kontrollü bir kesme makinesi kullanılmıştır. Lama testerenin kesme performansının belirlenmesi için ilerleme ve kesme hızı sabit parametreler olarak seçilmiştir. Bu parametrelerde toplam 80 deney yapılmıştır. Deneysel olarak soğutma sıvısı olarak bor yağ kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri üç yönlü dinamometre, güç tüketimi ise enerji analizörüyle ölçülmüştür. Kesme işleminde oluşan mikro kırıklar taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Çalışma sonucunda, güç tüketimi ve kesme kuvvetlerinin belirli bir deney sayısına kadar arttığı ve ondan sonra bir miktar azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuç dış kırılmaları sonuçları ile doğru orantılı olarak elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler

Lama Testere, Kesme Kuvvetleri, Güç Tüketimi, Dış Kırılması.

Investigation of Tool Performance in Cutting Process of AISI 1020 Material by Using Band Saw

Abstract

Cutting performance of band saws is very important to a good manufacturing process. Some factors such as forces, power consumption, energy and failures determines to the cutting performance. In addition, these factors in determination of the cutting performance must be known for an efficient cutting process. In this study, the tool performance in cutting process of AISI 1020 material with band blade variety used in manufacturing industry has been investigated. A computer controlled machine was used in the experiments. Constant parameters such as feed rate and cutting speed were preferred for determination of the performance of the band blade. Total 80 experiments were made in these parameters. Boron oil was utilized as coolant liquids in the experiments. The cutting forces were measured by using three dimensional dynamometer and the power consumption was also determined by energy analyzer. Micro fractures occurred the cutting process were analyzed scanning electron microscopy (SEM). In the study results, the power consumption and the cutting forces increase till a certain number of the experiments, then it decrease. This result obtain as consistent with the tooth fractures.

Key words

Band Saw, Cutting Forces, Power Consumption, Tooth Fracture.

1. Giriş

İmalat endüstrisinde değişik amaçlar için çok farklı kesici takımlar ve yöntemler kullanılmaktadır. Bir ürünün imalat aşamaları göz önüne alındığında testereler ile kesme işlemi genellikle başlangıç kademelerinde yer alır. Çeşitli malzemeleri kesmek için üzerlerinde küçük dişler bulunan lama, şerit veya dairesel testereler yaygın olarak kullanılmaktadır. İmalat endüstrisinde farklı tür ve boyutlardaki malzemelerin kesilmesinde bu testereler tercih edilmektedir. Kesici takımlar kesme parametrelerine bağlı olarak farklı kuvvetlere maruz kalır. Bu kuvvetler etkisinde kesici takım hasara maruz kalmakta ve belirli bir süre sonra ömrünü tamamlamaktadır. Bundan dolayı, takım ömrü, üretim maliyeti ve verim açısından talaşlı imalat endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Literatür incelendiğinde şimdiye kadar yapılan çalışmalar genellikle tornalama, delme ve frezeleme gibi yöntemler üzerine odaklanmıştır. Mekanik veya hidrolik testereler ile kesme işlemlerinde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu konuda, Ko ve Kim (1999) çok ağızlı şerit testere ile yapılan kesme işleminde kesme kuvvetlerinin tahmini için mekanik bir model geliştirmiştir. Geliştirilen bu modelde anlık deforme olmamış talaş kalınlığı ve spesifik kesme basıncı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, geliştirilen bu model ile kesme kuvvetleri tahmin edilmiştir. Bir başka çalışmada, Attanasio (2008) metal kesme operasyonlarında takım aşınmasını 3 boyutlu olarak belirlemeye çalışmıştır. Kaplanmamış WC takımla AISI 1045 çeliğin tornalanmasından elde edilen deneysel verilerle 3 boyutlu SEM sonuçlarını karşılaştırmış ve uyumlu olduğu görülmüştür. Diğer bir çalışmada, Jaharah ve arkadaşları (2009) sonlu elemanlar metoduyla AISI 1045 çeliğin tornalanmasında çeşitli talaş ve boşluk açlarına sahip kesici takımların gerilme ve sıcaklık artışına etkisini incelemişlerdir. Sarwar ve Hales (1984) testere performansını değerlendirmek için talaş kaldırma oranını esas alan ve tezgâh özelliklerinden bağımsız bilimsel bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemde, testerelerin performansını sayısal olarak ifade etmek için spesifik kesme enerjisine dayalı bir performans parametresi kullanılmıştır. Kesme

işleminde testere dışındaki kenar yarıçapındaki küçük bir artışın spesifik kesme enerjisinde artışa neden olmuştur. Duran ve Nalbant (2005) Castiglano teoreminden elde edilen eğilme değerleri ile sonlu elemanlar metodundan elde edilen değerleri karşılaştırmışlardır. Çalışmalarını Ç 1060 malzeme ve sabit kesme şartları altında 60°, 75° ve 90° kesici kenar açısına sahip HSS kesici takımlar kullanarak yapmışlardır. Farklı bir çalışmada ise, Chandrasekaran ve arkadaşları (1987) östenitik paslanmaz çeliğin testere ile kesilmesi işleminde diş kenarında oluşan mikro kopmaları incelemişlerdir. Çalışmada, diş kırılmalarının nedenini bulmak için sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizi uygulanmıştır. Diş ucundaki küçük kırılmaların genellikle strok sayısından, testere ilerlemesinden ve testere hızından kaynaklandığı görülmüştür. Bu çalışmada ise, belirli kesme parametrelerini (Kesme hızı ve ilerleme) kullanarak lama testere ile düşük karbonlu AISI 1020 çeliğinin kesilmesi işleminde kesme performansı deneysel olarak incelenmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak, bu çalışmada güç tüketimi, tepkisel kuvvetler ve diş kırılmaları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yapılan çok sayıda deney ile testerenin gerçek kesme performansı hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme Özellikleri

Bu çalışmada, deney malzemesi olarak AISI 1020 çeliği kullanılmıştır. Bu malzeme imalat endüstrisinde en çok kullanılan malzemelerden birisidir. AISI 1020 malzemesinin kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, malzeme düşük karbonlu ve düşük alaşımlıdır. Lama testere ile kesilecek malzeme boyutları 20x20 mm kütük kare profilli bir geometriye sahiptir.

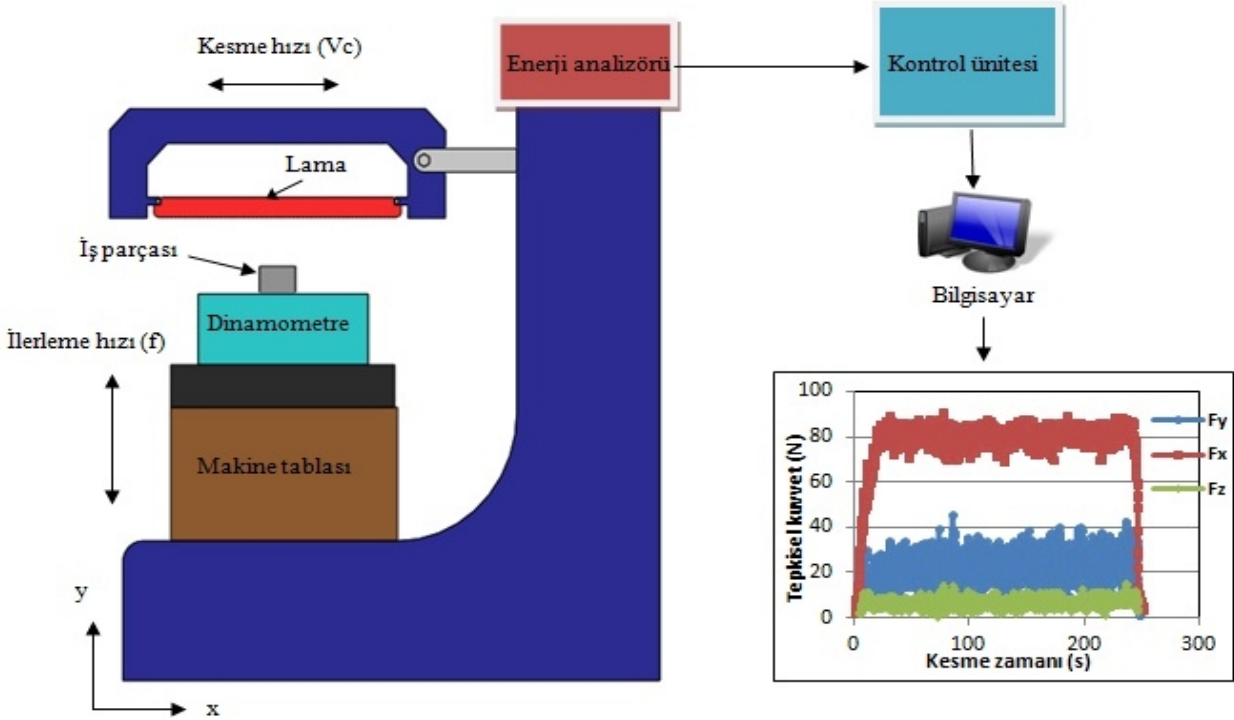
Tablo 1. AISI 1020 malzemesinin kimyasal kompozisyonu (Dülek et al. 2005).

Kimyasal Kompozisyon (% W)							
AISI	C	Mn	Si	Cr	S	P	Ni
1020	0,172	0,453	0,050	0,040	0,037	0,020	0,018

2.2. Deneysel Yöntem

Deneysel çalışmada bilgisayar kontrollü bir kesme makinesi kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan bilgisayar kontrollü kesme makinesinin şematik görünümü Şekil 1’de verilmiştir. Makine iki bölüme ayrılmıştır. Birinci bölümde, makinenin çalışma ve hareket mekanizması bulunmaktadır. İkinci bölümde ise, dinamometre ve bağlantı aparatının yerleştirildiği makine tablası yer almaktadır. Bilgisayar kontrollü kesme makinesinin birinci bölümünde kolun ileri geri hareketi için 0,75 kW gücünde bir AC motor kullanılmıştır. Bu kolun hareketinde redüktör ve eksantrik kızıktan yararlanılmıştır. Kesme işlemi sırasında ortaya çıkan talaş ortamdan uzaklaştırmak ve kesici takımın dişlerinde meydana gelen sıcaklığı önlemek için bor yağ kullanılmıştır. Bor yağı, bir tanktan pompa vasıtasıyla kesme ortamına gönderilmiş ve debisi 0,5 lt/dk’dır.

(ESİT) yerleştirilmiştir. Dinamometrenin üzerine yerleştirilen bağlama aparatı sayesinde iş parçaları sabitlenmiştir. Kolun alt kısmına ise 0,37 kW gücünde bir AC motor ve redüktör vardır ve bu sayede kolun yukarı aşağı (y eksenini) hareketi sağlanmıştır. Tablanın z eksenindeki hareketi ise manuel olarak yapılmaktadır (Eken, 2013). Kesme deneylerinde testere performansını görmek için kesme hızı (Vc) 30 cm/s ve ilerleme hızı (f) ise 8 m/dk olarak sabit parametreler olarak seçilmiştir. Deneylerde değişken olarak kesme sayısı ve toplam 80 kesme işlemi yapılmıştır. Bu parametre, endüstride kullanılan ve makinenin en yüksek çalışma kapasitesi olarak seçilmiştir. Tepkisel kuvvetler dinamometre ile güç tüketimi ise makine üzerine bağlanan enerji analizörü sayesinde ölçülmüştür. Bu cihazlardan okunan veriler elektronik bir kart vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır.

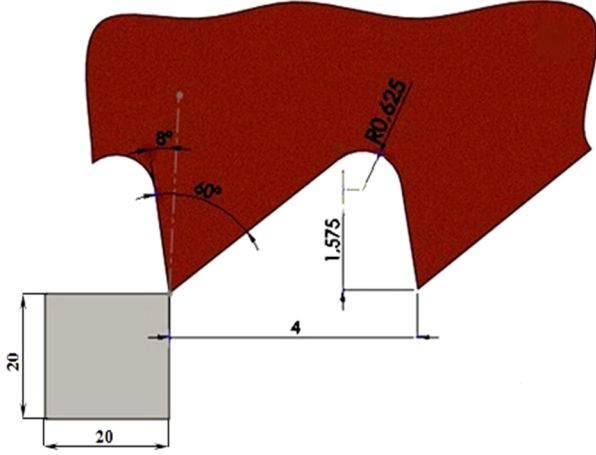


Şekil 1. Deneysel çalışmada kullanılan bilgisayar kontrollü kesme makinesinin şematik görünümü.

Makinenin ikinci bölümünde, bağlantı aparatı ile sabitleştirilmiş iş parçası (AISI 1020) ve dinamometrenin yerleştirildiği tabla yer almaktadır. Tablanın üzerine sağa-sola hareket edebilen bir kızak vardır. Bu kızığın üzerine ise, kesme esnasında oluşacak kuvvetleri (Fx, Fy, Fz) ölçmek için 200x100x80 mm boyutlarında bir dinamometre

Bilgisayarda hem bu verileri kayıt eden, hem de makinenin kontrolünü sağlayan bir program yer almaktadır. Lama testere boyu 600 mm ve kalınlığı ise 2,5 mm’dir. Lama testerenin malzemesi, HSS (yüksek hız çeliği) olarak kullanılmıştır (Dikenoğlu, 2005). Deneylerde kullanılan testere ve iş parçasının geometrik özellikleri Şekil 2’de

verilmiştir. Testere dişi burun uç yarıçapı 0,003 mm' dir. Kesme işleminde diş kırılmaları hassas dijital mikrometre ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile belirlenmiştir.



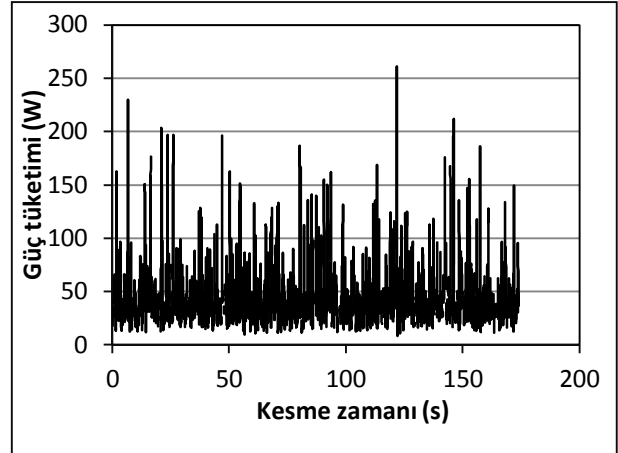
Şekil 2. Testerenin ve iş parçasının geometrik özellikleri (birim mm).

3. Bulgular

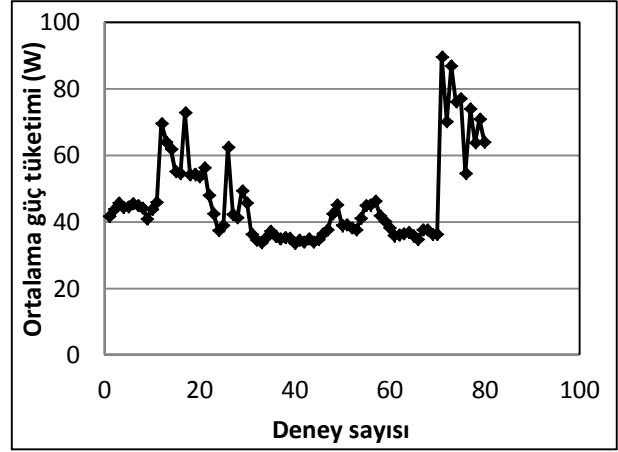
3.1. Güç Tüketiminin Belirlenmesi

Kesme esnasında testerenin güç tüketimi enerji analizörü ile belirlenmiştir. Kesme zamanına bağlı elde edilen güç tüketim değerleri Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3'deki kesme zamanına bağlı güç tüketim değerleri her bir kesme için elde edilmiş ve bu grafiklerin ortalamaları alınmıştır. Kesme zamanı boyunca güç tüketim değerlerinin ortalama bir seviyede kaldığı ve bununla birlikte bazı zamanlarda maksimum seviyelere çıktığı görülmektedir. Deney sayısına bağlı ortalama güç tüketim değerleri Şekil 4 'de gösterilmiştir. Deney sayısı arttıkça güç tüketim değerlerinde belirli miktar artış gözlenmiştir. Bu durumda testere dişleri önemli ölçüde körelendiği ve kesme yapmakta zorlandığı düşünülmektedir. Yaklaşık 30 deneyden sonra güç tüketim deneylerinde önemli bir azalma meydana gelmiş ve bazı deneylerde yükselmesine rağmen 70 deneye kadar aynı seviyede kalmıştır. 30 deneye kadar zorlanan testere dişlerinde mikro seviyede kırılmalar meydana gelmiş ve dişlerde yeni keskin köşeler oluşmuştur. Bu durum güç tüketim değerlerini önemli ölçüde azaltmıştır. 70 deneyden sonra kuvvet ve sürtünmenin etkisiyle yeni oluşan keskin köşeler tekrar körelmeye başlamış ve bunun

sonucu olarak güç tüketim değerleri önemli ölçüde artmıştır.



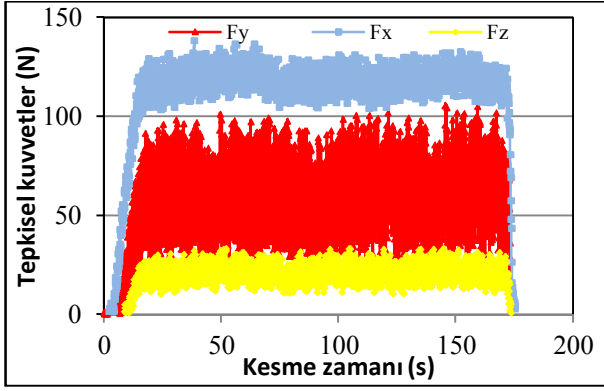
Şekil 3. Kesme zamanına bağlı güç tüketiminin değişimi.



Şekil 4. Lama testerenin deney sayısına bağlı güç tüketiminin değişimi.

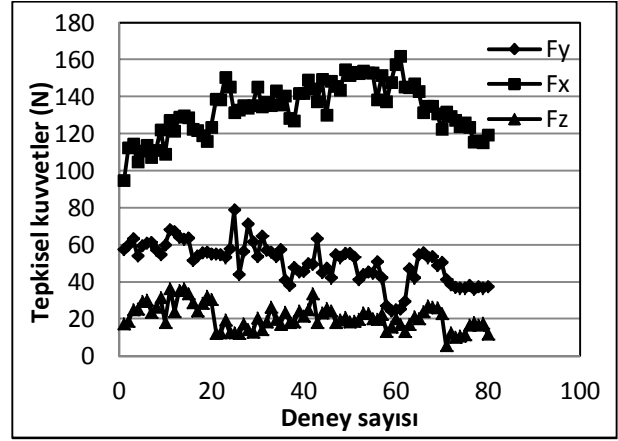
3.2. Tepkisel Kuvvetlerin Belirlenmesi

Kesme zamanına bağlı tepkisel kuvvetler Şekil 5'de verilmiştir. Burada, en büyük kuvvetler kesme yönündeki F_x kuvvetidir. En düşük kuvvetler ise F_z yanal kuvvetlerdir. Kesme esnasında testere kesmeye başladıktan sonra kuvvetler hızlı bir şekilde artmakta ve belirli bir süre sonra kuvvetlerin kararlı hale geldiği görülmektedir. Aynı şekilde, kesme işleminin bitmesine yakın zamanda kuvvetlerin hızlı bir şekilde azaldığı belirlenmiştir. Uçun ve arkadaşlarının (2011) yaptıkları benzer bir çalışmada, kesme işleminin başlamasıyla birlikte kuvvetler önemli ölçüde artarken, kesme işleminin bitmesiyle kuvvetler azalmıştır.



Şekil 5. Kesme zamanına bağlı tepkisel kuvvetlerin değişimi.

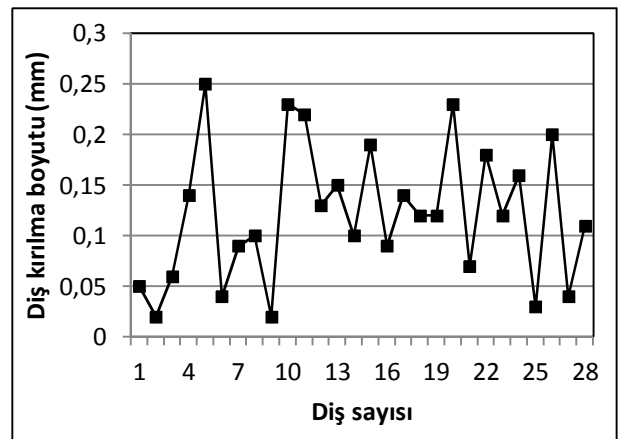
İmalat endüstrisinde yüksek verimlilik için, kesici takımların kesme performanslarına ve buna bağlı olarak iyi bir takım ömrüne gereksinim duyulmaktadır (Rao et. al 2012). Kesme deney sayısına bağlı F_x , F_y ve F_z kuvvetleri Şekil 6'da verilmiştir. En büyük kuvvetler kesme yönündeki F_x kuvvetleri olarak elde edilmiştir. Minimum kuvvetler ise F_z (yanal) kuvvetlerdir. F_x kuvvetleri belirli bir deney sayısına (60) kadar arttığı ve bu sayıdan sonra bu kuvvetler bir miktar azalmıştır. 60 deneyden sonra bu dişlerde meydana gelen kırılmalar artmış ve yeni keskin yüzeyler meydana gelmiştir. Bu keskin köşeler her ne kadar kesme kuvvetlerini belirli bir oranda azaltsa da, testere dişlerinin uç bölgesini önemli ölçüde zayıflatmaktadır. Diş uçlarının zayıflamasıyla kırılmalar artmakta ve belirli bir süre sonra testerenin kesme kabiliyeti azalmaktadır. Yeni keskin yüzeyler F_x kuvvetlerinin bir miktar azalmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, F_y kuvvetlerinde ise, kararlı bir seviyede olmasına rağmen deney sayısı arttıkça bu kuvvetler bir miktar azalmıştır. Bu azalmanın diş kırılmaları ile olduğu söylenebilir. F_z kuvvetlerinde ise, deney sayısına bağlı olarak dalgalı bir grafik elde edilse de, genellikle aynı seviyede kalmıştır (Thaler et. al 2014). Sonuçta, kesme işleminde dişlerde meydana gelen kırılma (özellikle mikro seviyedeki kırılmalar) tepkisel kuvvetlerin belirli bir seviyede azalmasına neden olmuştur.



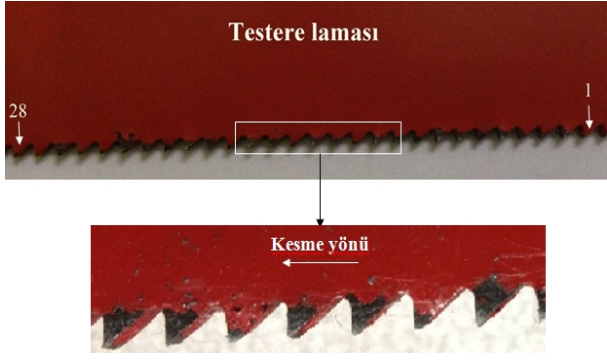
Şekil 6. Deney sayısına göre tepkisel kuvvetlerin değişimi.

3.3. Diş Hasarlarının Belirlenmesi

Lama testere ile yapılan kesme işleminde diş kırılmaları görülmüştür. Dişlerde meydana gelen kırılmalar mikro seviyede gerçekleşmiştir. Şekil 7'de lama testere üzerinde kesme yapan diş sayılarının kırılma boyutları verilmiştir. Bazı dişlerdeki kırılmaların yüksek bazılarının ise daha düşük kaldığı görülmektedir. Ayrıca, genellikle yüksek kırılma boyutu görülen bir dişin hemen arkasındaki dişte daha küçük boyutlarda kırılma meydana gelmiştir. Daha fazla kırılma görülen diş daha fazla kuvvete maruz kalırken, hemen arkasındaki diş ise daha çok zorlanmaya maruz kaldığı için kırılma küçük boyutta kalmıştır. Kesme işleminden sonra (5. deney sonrası) testeredeki diş hasarlarının görünümü Şekil 8'de verilmiştir. Lamanın kesme işlemine 28. diştten itibaren başlamaktadır. Benzer bir çalışmada, Dikenoğlu (2005) lama testere ile yapılan kesme işleminde dişlerdeki küçük kopmaların farklılık gösterdiğini belirlemiştir.

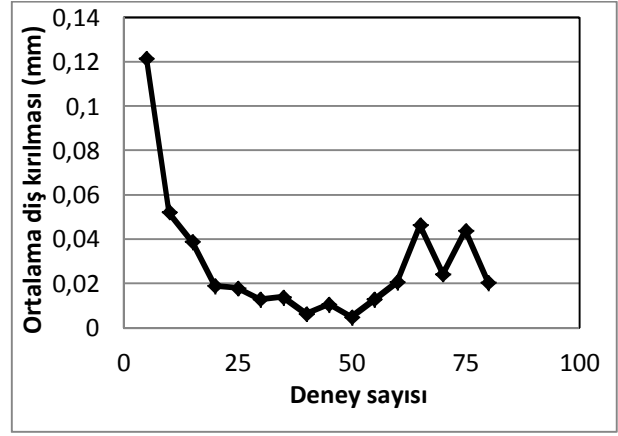


Şekil 7. Diş sayılarına bağlı kırılma boyutları (5. Deney).



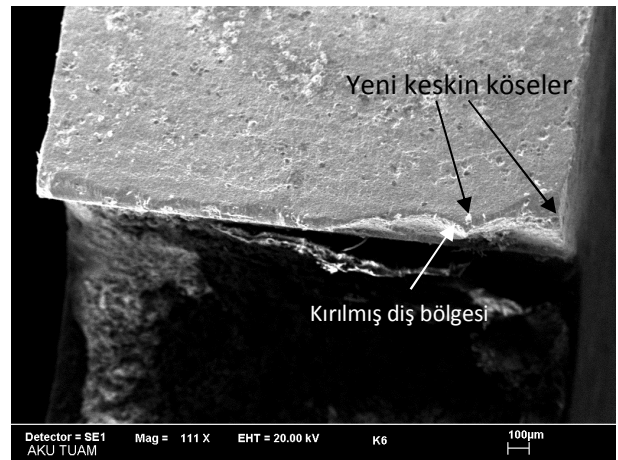
Şekil 8. Kesme işleminden sonra testerenin görünümü (5. deney sonrası).

Çalışmada toplam 80 deney yapılmış ve her 5 deney sonrasında diş kırılmaları ölçülmüştür. 80. deneyden sonra lama testere dişlerinde gözle görülür kırıklar meydana gelmiştir. 80. deneyden sonra kırıklarla birlikte keskin köşeler artmıştır. Bununla birlikte tepkisel kuvvetlerde azalma görünse de, belirli deney sayısı sonrası dişlerdeki körelmeler artmış ve testere zorlanmıştır. Bu yüzden deneyler 80 deney üzerinden değerlendirilmiştir. Kesme işlemi yapan toplam 28 diş olduğu için bu dişlerin kırılmaları ayrı olarak tespit edilmiştir. Bu işlemde sonra bu dişlerdeki kırılmaların ortalamaları alınmış ve deney sayısına bağlı olarak ortalama diş kırılma boyutları belirlenmiştir. Şekil 9'da deney sayısına bağlı olarak ortalama diş kırılma boyutları verilmiştir. Yeni testere ile ilk kesme işlemine başladıktan sonra diş kırılma boyutlarının çok yüksek olduğu görülmektedir. Deney sayısının artmasıyla birlikte kırılma boyutları önemli ölçüde azalmıştır. Bunun en önemli sebebi, büyük kırılma boyutundan sonra yeni keskin köşeler elde edilmiş ve kesme işlemi zorlanmamıştır. 60. deneyden sonra kırılma boyutları belirli bir miktar yine artmıştır. Bu artış ile birlikte yeni keskin köşelerin oluşmasına neden olmuş ve bunun sonucu olarak F_x ve F_y kuvvetlerinin bir miktar azalmasına neden olmuştur.

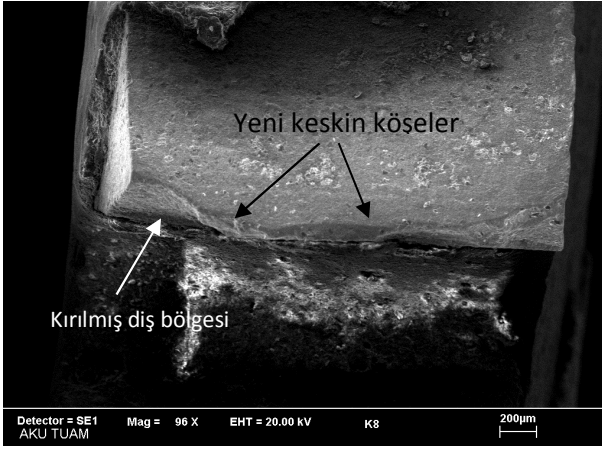


Şekil 9. Deney sayısına bağlı olarak diş kırılma boyutları.

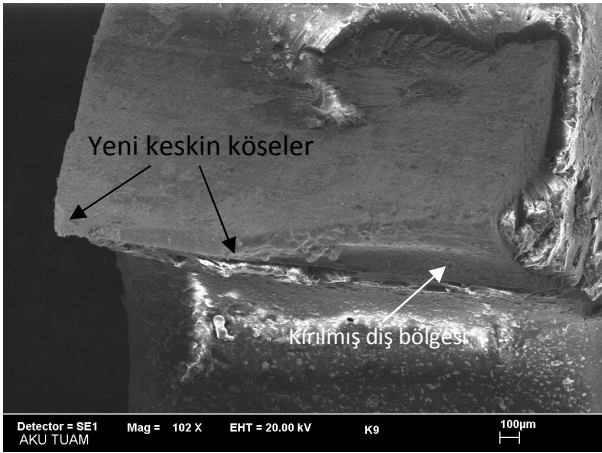
Kesme işlemlerinden sonra lama testerenin diş hasarlarının SEM görüntüsü Şekil 10'da verilmiştir. Kesme yapan diş sayısı 28 olup, sürekli kesmeye maruz kalan 14. diş Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Belirli deneylerden sonra alınan görüntülerde, en önemli sonuç diş kırılmalarının genellikle dişlerdeki köşe bölgelerinde meydana gelmiştir. Dişlerin orta bölgelerinde kırılmalar olmasına rağmen, köşe bölgelerinde ise daha fazladır. Bunun iki önemli sebebi bulunmaktadır. Birincisi, deneylerde kullanılan testerenin diş geometrileri çaprazlama şeklindedir. Bu şekilde olmasından dolayı ilk kesme yapan dişlerin uç bölgeleridir. İkinci olarak, kesme işleminde küçük boyutlarda olsada yanıl kuvvetler (F_z) meydana gelmektedir. Bu kuvvetler ilk olarak dişin uç bölgelerine etki etmektedir. Bundan dolayı daha fazla kırılma meydana geldiği görülmektedir.



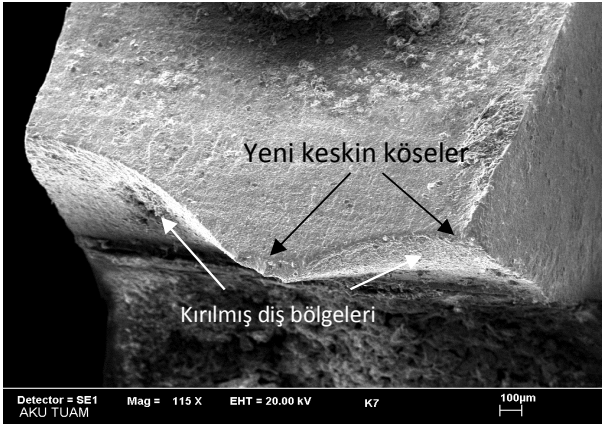
a)



b)



c)



d)

Şekil 10. Kesme işleminden sonra dişlerin SEM görüntüsü (14. Diş). a) 5. deney b) 30. deney c) 60. deney d) 80. deney.

4. Sonuç

Bu çalışmada, tek bir parametre ile lama testerenin kesme performansı deneysel olarak incelenmiştir. Kesme işleminin başlamasıyla birlikte kesme kuvvetleri hızlı bir şekilde yükselmiş ve belirli bir zamandan sonra kararlılığını korumuştur. En büyük

kuvvetler kesme yönündeki F_x kuvvetleridir. Yanal kuvvetler (F_z) ise daha az olmasına rağmen, özellikle dişlerin kırılmasında önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür. Deney sayısının artmasıyla birlikte, tepkisel kuvvetlerde bazı değişimler olmuş ve bu değişimler diş kırılmaları ile ilişkilendirilmiştir. Özellikle F_x kuvvetinin artmasıyla birlikte meydana gelen diş kırılma boyutları minimumdur. Diş kırılmalarının artışı kuvvetlerin bir miktar azalmasına neden olmuştur. Bunun en büyük sebebi kırılma ile birlikte yeni keskin köşelerin ortaya çıkması ve böylece kuvvetlerin azalmasıdır. Kesme işleminden sonra diş köşelerinde daha fazla kırılmaların olduğu görülmüştür. Diş geometrisinin farklı olması ve köşe bölgelerde daha fazla yanıl kuvvetlere maruz kalmasından dolayı kırılmalar daha fazla meydana gelmiştir.

Kaynaklar

- Ko T.J., Kim H.S., (1999). Mechanistic cutting force model in band sawing, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39, 1185-1197.
- Sarwar M., Hales W., (1984). The effect of tooth geometry on blade performance in power hacksawing, Sheffield City Polytechnic, Sheffield/England.
- Dülek, E., Orman Ş., Karataş Ç., Sarıtaş S., (2005). Bilyalı dövme parametrelerinin Ç1020 çeliğinin yorulma dayanımına etkisi ve oluşan kalıcı gerilmenin katman kaldırma yöntemi ile araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 20, No:3, 289-295.
- Chandrasekaran H., Svensson S., Nissle M., (1987). Tooth chipping during power hack sawing and the role of saw material characteristics, *Annals of CIRP* 36 (1), 27-31.
- Eken, M.S., (2013). Doğal taşlar için elmas lamalı model makine tasarımı, imalatı ve performans analizi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Dikenoğlu, E., (2005). Metal kesmede lama testere dişlerinin kesen ağızlarında oluşan küçük kopmaların incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Duran, A., Nalbant, M., (2005). Finite Element Analysis of Bending Occurring While Cutting With High Speed Steel Lathe Cutting Tools, *Materials and Design*, 26(6), 549-554.
- Duran, A., Nalbant, M., (2005). Finite element analysis of bending occurring while cutting with high speed steel lathe cutting tools, *Materials and Design*, 26(6), 549-554.
- Jaharah A.G., Wahid S.W., Che Hassan C.H., Nuawi M.Z., Mohd Nizam Ab Rahman., (2009). The Effect of

Uncoated Carbide Tool Geometries in Turning AISI 1045 Using Finite Element Analysis, *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216X Vol.2 pp.271-277.

Attanasio, A., Ceretti, E., Rizzuti, S., Umbrello, D., Micari, F., (2008), 3D Finite element analysis of tool wear in machining, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 57, 61-64.

Uçun, İ., Aslantaş, K., Büyüksağış, S., Taşgetiren, S., (2011). An investigation on the effect of diamond concentration and matrix material composition in the circular sawing process of granites. *Pro. Mec. Eng. Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 225: 17-27.

Thaler, T., Potocnik, P., Kopac, J., Govekar, E., (2014). Experimental chatter characterization in metal band sawing. *Strojniski vestnik Journal of Mechanical Engineering*, No 4, 60

Rao, B., R. Dandekar, C., C.Shin, Y., (2011). An experimental and numerical study on the face milling of Ti-6Al-4V alloy: Tool performance and surface integrity. *Journal of Materials Processing Technology*, 294-304.