

# ÖSTEMPERLENMİŞ FERRİTİK KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRDE YIĞINTI TALAŞ OLUŞUMUNUN KESME KUVVETLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Şakir YAZMAN<sup>a</sup>, Ahmet AKDEMİR<sup>b</sup>, Mesut UYANER<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Selçuk Üni. Ilgın M.Y.O Ilgın/Konya/TÜRKİYE  
Tel: (0332) 881 72 62 / 127 e-posta: syazman@selcuk.edu.tr

<sup>b</sup>Selçuk Üni. Müh. Mim. Fak. Makine Müh. Böl. Konya/TÜRKİYE  
Tel: (0332) 223 1908 e-posta: aakdemir@selcuk.edu.tr

<sup>c</sup>Selçuk Üni. Müh. Mim. Fak. Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Böl. Konya/TÜRKİYE  
Tel: 0 332 223 1931 e-posta: muyaner@selcuk.edu.tr

## Özet

Bu çalışmada, östemperlenmiş ferritik küresel grafitli dökme demirin tornalanması sırasındaki talaş oluşum mekanizması ve oluşan talaş morfolojisinin kesme kuvvetlerine etkisi araştırılmıştır. Küresel grafitli dökme demir numuneler ilk olarak 900 °C'de 90 dakika östenitlemeden sonra, tuz ergiyiğinde 380 °C'de 90 dakika östemperlenmiştir. Östemperlenmiş numunelerin farklı kesme hızlarında tornalanması sırasında bir anı durdurma aparatı kullanılarak talaş kökü numuneleri çıkartılmıştır. Bu numunelerin metalografik muayeneleri yapılmış ve talaş morfolojileri incelenmiştir. Kesme hızının artması yığıntı talaş oluşumunu azaltmıştır. Buna bağlı olarak yığıntı talaş boyutlarındaki değişimin kesme kuvvetlerini önemli derecede etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca farklı kesme hızlarında elde edilen talaş şekilleri incelenmiş ve oluşan talaşların işlenebilirlik açısından elverişli olduğu gözlenmiştir. Talaş kaldırma esnasında kesme kuvvetleri ve gerilimlerin etkisiyle, oluşan talaşta küresel grafitlerin kırılarak küreselliğini kaybettiği ve böylece talaşın kırılğan ve düzensiz olduğu, grafitlerin burada bir yağlayıcı özellik gösterdiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yığıntı talaş, Kesme kuvvetleri, Östemperleme, Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir.

## Giriş

Küresel grafitli dökme demirler (KGDD) diğer dökme demir türlerine göre daha yüksek dayanım, süneklik, tokluk özelliklerine sahiptir [1,2]. KGDD'lerin bu üstün özellikleri, uygulanan ısı işlemlerle daha da iyileştirilebilmektedir. KGDD'lere uygulanan ısı işlemler çok çeşitli olmakla beraber kazançlar bakımından ön plana çıkan ısı işlem, östemperleme ısı işlemi olmuştur.

Dökme demir ailesinin yeni bir sınıfı olan östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir (ÖKGDD) malzemenin özellikleri seçilen östemperleme parametrelerine bağlı olarak değişebilmektedir. ÖKGDD malzemelerinin cazip hale gelmesi, yüksek dayanımla birlikte iyi süneklik [3-5], iyi aşınma direnci [6-8] ve yüksek yorulma direnci [9-12] ve kırılma tokluğunun [13-15] mükemmel kombinasyonu gibi benzersiz özelliklere sahip olmasına atfedilmektedir. Çeliklerle karşılaştırıldığında ÖKGDD; düşük malzeme maliyetine, düşük üretim maliyetine, düşük yoğunluğa, iyi işlenebilirliğe ve yüksek titreşim söndürme kabiliyetine sahiptir ve bu nedenle, son yıllarda ısı işlem yapılmış çeliklerin kullanıldığı çoğu mühendislik uygulamalarında tercih edilebilir hale gelmiştir [14, 15]. ÖKGDD'ler, otomotiv, demiryolu ve ağır sanayi gibi geniş bir yelpazede değişen uygulamalar için uygun malzemedir. Bu malzeme

dişli, krank mili, kanat, lokomotif tekerleği, tarımsal ekipmanlar gibi aşınma direncinin iyi olması gereken yapısal elemanlarda kullanılmaktadır [13,15].

Bu üstün mekanik özellikleri ve geniş kullanım alanlarına rağmen ÖKGDD'lerin işlenebilirliği konusunda, literatürde akademik anlamda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. ÖKGDD'lerin sergilediği dayanım ve aşınma direncindeki önemli artış dikkate alındığında, bu malzemelerde bir takım işleme problemleri ile karşılaşılabilir.

Talaş oluşum mekanizması, birincil ve ikincil deformasyon bölgesindeki plastik deformasyon davranışı ve takım kesici kenarında yığıntı talaş (Built-Up Edge) oluşumu gibi kompleks davranışları içerir [16]. Kesme anındaki talaş oluşum mekanizması ve oluşan talaşın morfolojisi, işlenmiş yüzeyin kalitesi, kesme kuvvetleri ve takım ömrü gibi temel işlenebilirlik kıstaslarını etkiler [17]. Talaş morfolojisini etkileyen faktörler ise malzemenin kimyasal bileşimi, mikroyapısı ve talaş kaldırma parametreleriyle ilgilidir [18].

Bu çalışmada Östemperlenmiş ferritik küresel grafitli dökme demirin tornalanması sırasındaki talaş oluşum mekanizması ve oluşan talaş morfolojisinin, kesme kuvvetlerine etkisi araştırılmıştır.

## 2. Deneysel Çalışmalar

### 2.1. Malzeme

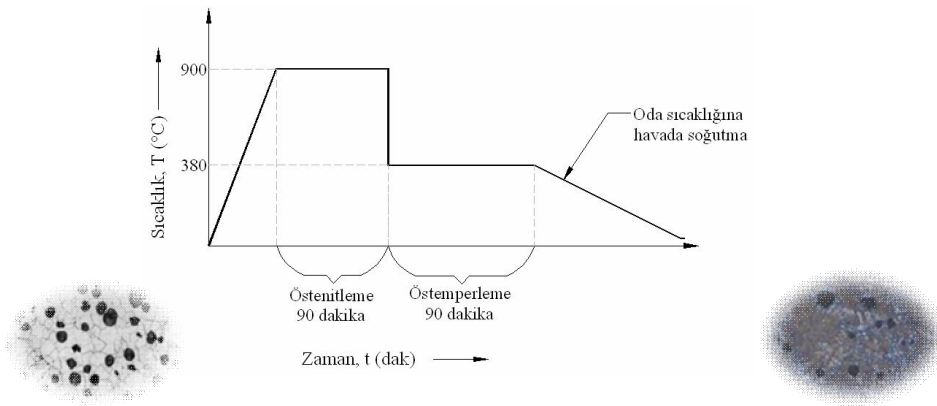
Ferritik küresel grafitli döküm çubuklar (GGG 40) United Cast Bar firmasının İspanya'daki tesislerinde yatay sürekli döküm yöntemiyle üretilmiştir. Deneysel çalışma için numuneler 38 mm çapında ve 254 mm uzunluğunda hazırlanmıştır. Tablo 1'de numunelerin kimyasal kompozisyonu verilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal kompozisyonu

Element	C	Si	P	S	Mn	Mg
%	3.80	2.87	0.030	0.010	0.18	0.054

### 2.2. Isıl İşlem

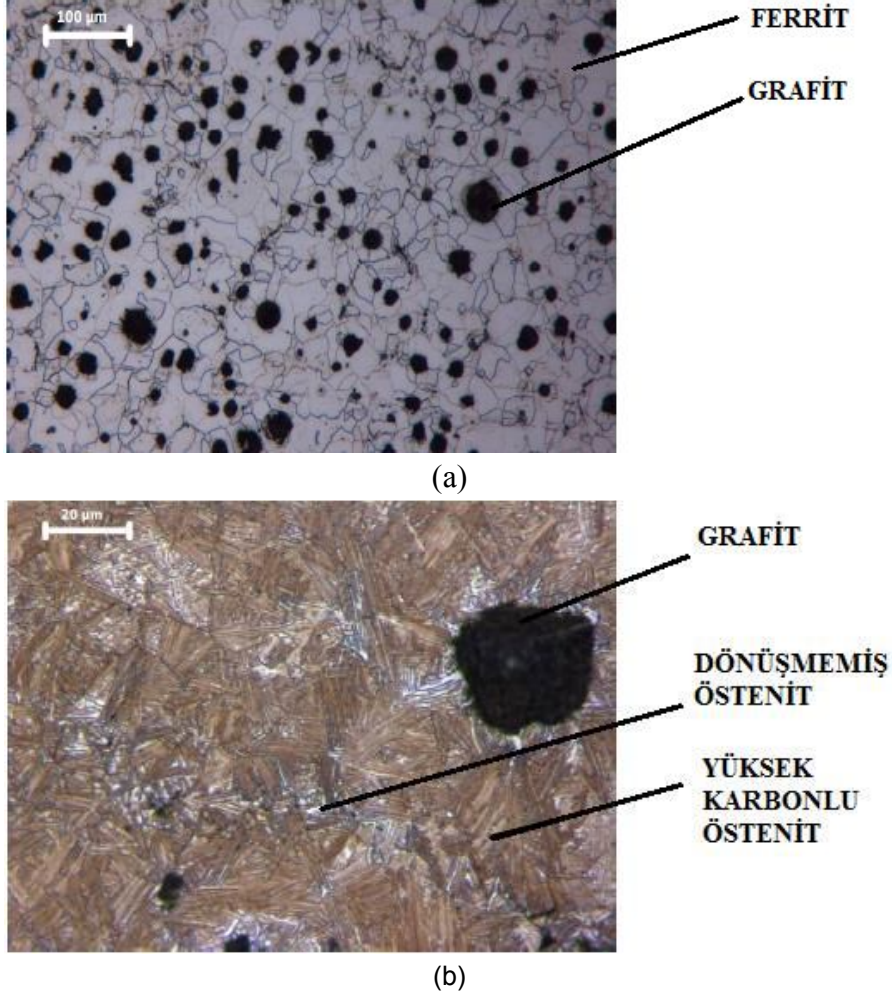
Numunelere uygulanan ısıl işlemin özeti Şekil 1'de verilmiştir. Numuneler ilk olarak 900 °C sıcaklıkta 90 dakika östenitlenmiş, daha sonra 380 °C'de 90 dakika östemperleme işlemine tabi tutulmuştur. 900 °C sıcaklıktaki östenitleme banyosunda BaCl<sub>2</sub> içerikli nötr tuz (Petrofer HS 550) kullanılmıştır. 380 °C sıcaklıktaki östemperleme banyosunda % 50 oranında sodyum nitrat ve % 50 oranında potasyum nitrat karışımından oluşan tuz (Petrofer AS 135) kullanılmıştır.



Şekil 1. Uygulanan östemperleme ısıl işlemin şematik özeti

### 2.3. Metalografi ve Mikroyapı

Isıl işlemden önce ve sonra numunelerin mikroyapı fotoğrafları Şekil 2'de, mikro yapıda ve mekanik özelliklerde meydana gelen değişiklikler Tablo 2'de verilmiştir. Östempelenmiş numunede mikro yapının ösferrit ( $\alpha$ +  $\gamma$ ) ve dönüşmemiş östenitten meydana geldiği tespit edilmiştir. Mekanik özelliklerde meydana gelen artış dikkat çekicidir.



Şekil 2. Dökülmüş şartlardaki (a) ve östempelenmiş (b), numunelerin mikroyapı fotoğrafları (Dağlama: % 2 nital)

Tablo 2. Numunelerin ısı işlem öncesi ve sonrası mikroyapı ve mekanik özelliklerdeki değişimler

Numune	Grafit (%)	Ferrit (%)	Yüksek karbonlu östenit (%)	Dönüşmemiş östenit (%)	Küre sayısı (küre/ $\text{mm}^2$ )	Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Sertlik (BHN)
KGDD	14.38	85.62	-	-	235	358	454	151
ÖKGDD	10.76	42.87	39.04	7.3	214	769	818	313

### 2.4. Kesme Şartları

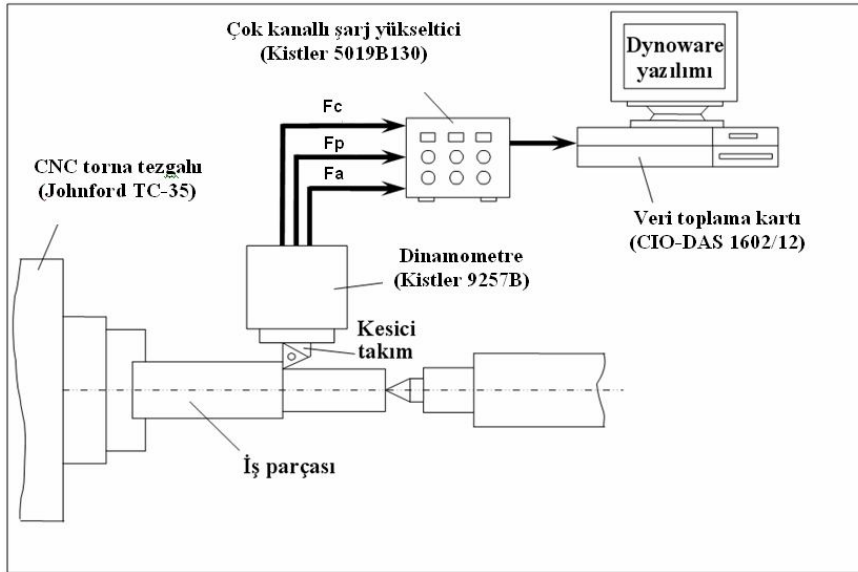
Deneyler ISO 3685 (TS 10329)'deki deney şartlarına uygun olarak CNC torna tezgahında (Johnford TC-35) ve universal torna tezgahında (Tezsan SN50) gerçekleştirilmiştir. Talaş kaldırma işlemlerinde

ISO 1832'ye uygun SCMT 120408-19 (ISCAR IC 20'ye eşdeğer K10, K10/20, K20) kaplamasız sementit karbür takımlar seçilmiş olup takım tutucu olarak SSBCR 2525M-12 kullanılmıştır (ISO 5608). Deneyler, farklı kesme hızlarında, sabit talaş derinliğinde ve ilerleme hızında yapılmıştır. Deneylerin tamamı kesme ve soğutma sıvısı kullanılmadan kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Ayna punta arasında tezgaha bağlanan numuneler üzerinden deney öncesi talaş alınarak silindirik bozukluklar ve dış katmanda homojen olmayan sertliğin olumsuz etkisi ortadan kaldırılmış ve kesme kuvvetleri ölçümü deneyi için gerekli homojen talaş kesiti sağlanmıştır. Bu durum kesme kuvvetlerinin kararlı bir davranış göstermesine yardımcı olmakla birlikte ilk anda takım aşınmasının olumsuz etkilenmesini önlemektedir. Deney şartlarının detayları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Talaş kaldırma deney detayları

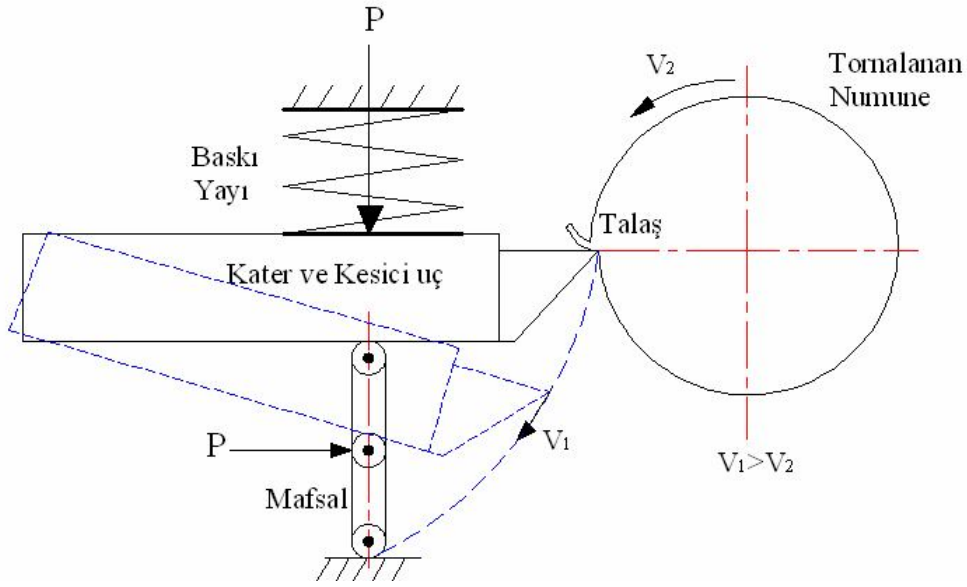
Takım Tezgahı	Johnford TC-35 CNC Torna- Tezsan SN50
Takım tutucu	SSBCR 2525M-12
Kesici takım	SCMT 120408-19 (K10, K10/20, K20)
Kesme Parametreleri	
Kesme hızı ( $v$ )	20-250 m/dak
İlerleme ( $f$ )	0.12 mm/devir (sabit)
Talaş derinliği ( $a$ )	1.0 mm (sabit)
Talaş açısı ( $\gamma$ )	6°
Yanaşma açısı ( $\kappa_r$ )	75°
Uç radüsü	0.4 mm
Kesme koşulu	Kuru

Talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetleri üç eksende kuvvet ölçümü yapabilen bir dinamometre (Kistler 9257B) ile ölçülerek sinyaller bir şarj yükselticiden (Kistler 5019B130) geçirilerek bir veri toplama kartı (CIO-DAS 1602/12) aracılığı ile bir paket yazılım (Dynoware) kullanılarak bilgisayara kaydedilmiştir. Tornalamada kesme kuvveti ölçme setinin şematik diyagramı Şekil 3'te görüldüğü gibidir.

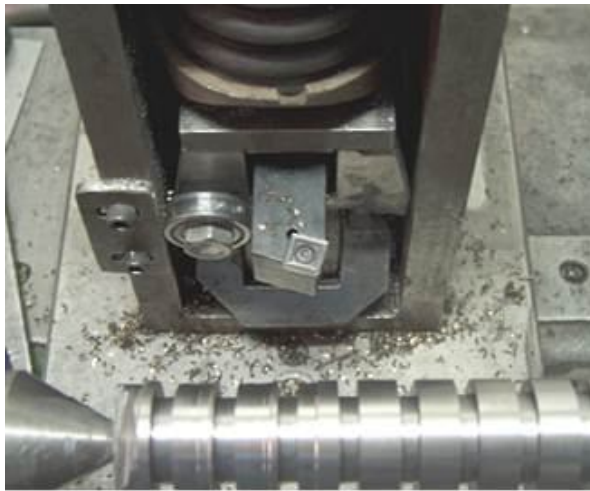


Şekil 3. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinin şematik olarak gösterilmesi

Talaş kaldırma anındaki kesme mekanizmasını ve oluşan talaş morfolojisini inceleyebilmek için, konvansiyonel torna tezgahına (TEZSAN SN 50) bağlı Şekil 4'te şematik çalışma prensibi gösterilen Ani Durdurma Aparatı (ADA) kullanılmıştır. Numuneler Tablo3'te belirtilen kesme şartlarında tornalanırken ADA kullanılarak talaş kökü numuneleri çıkartılmıştır. Şekil 5'a da deney düzeneğinin fotoğrafı görülmektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi takım mafsallarıyla alt taraftan desteklendikten sonra baskı yayıyla sıkıştırılır, talaş kaldırma işlemi sırasında takımı destekleyen mafsallarda bulunan bir vida yardımı ile düşürülür. Basınç yayının uyguladığı kuvvetle takım, iş parçasının çevresel kesme hızından daha yüksek bir hız ile aşağı düşer. Bu şekilde talaş kaldırma sırasında talaş kökündeki gerçek durumu yansıtan numuneler hazırlanmış olur. Daha sonra numune talaş kökleri, epoksi reçineye gömülüp parlatıldıktan sonra %2 nital ile dağlanmış (Şekil 5b), morfolojileri optik mikroskopta (LEICA DM 4000M) incelenmiş ve mikrofotografı çekilmiştir.



Şekil 4. ADA'nın şematik çalışma prensibi



(a)



(b)

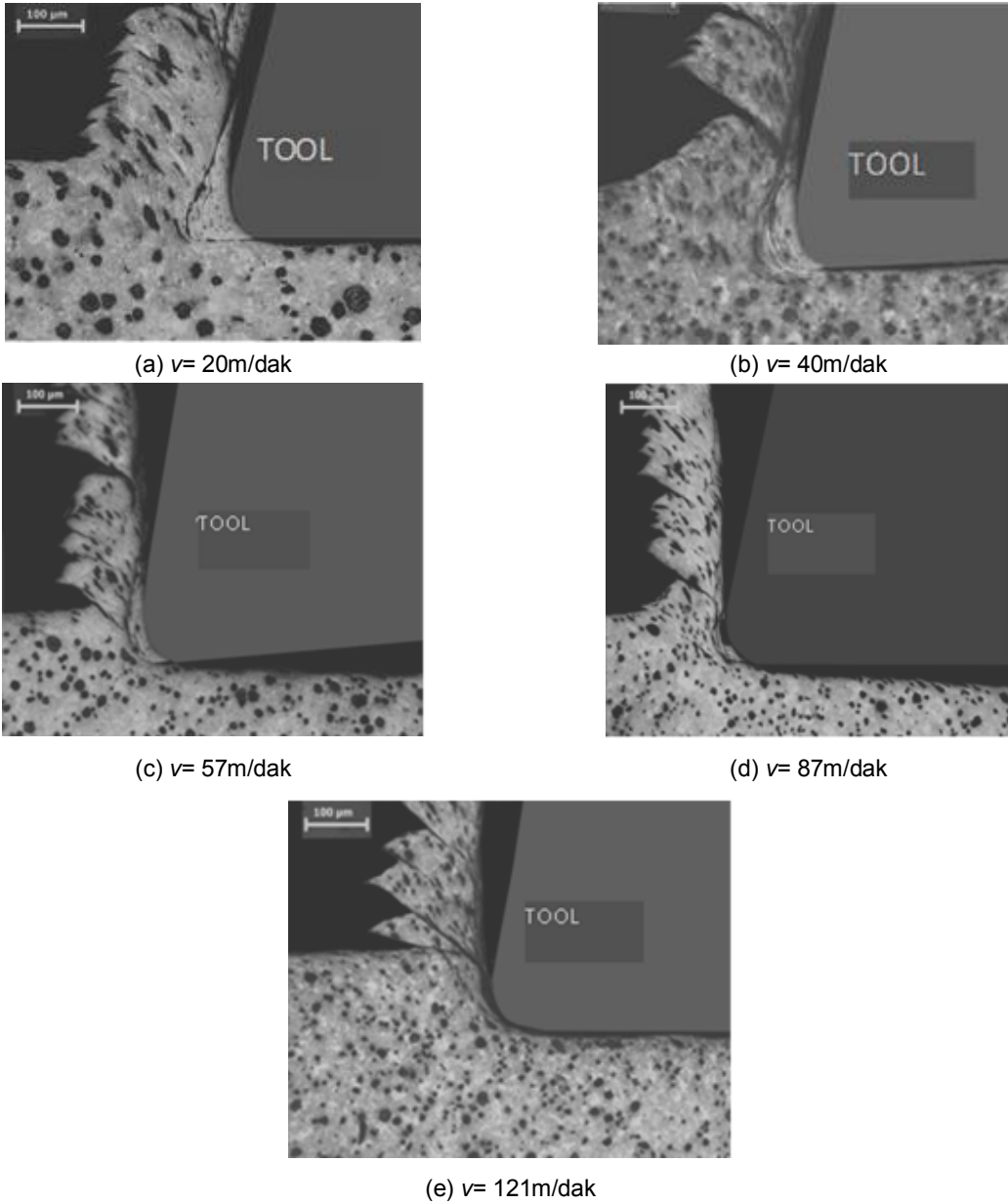
Şekil 5. a) ADA'nın kullanıldığı talaş morfolojisi inceleme deney düzeneği b) Epoksi reçineye alınmış talaş kökü numuneleri



### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

#### 3.1. Talaş Kökü Morfolojisi ve Yığıntı Talaş oluşumu

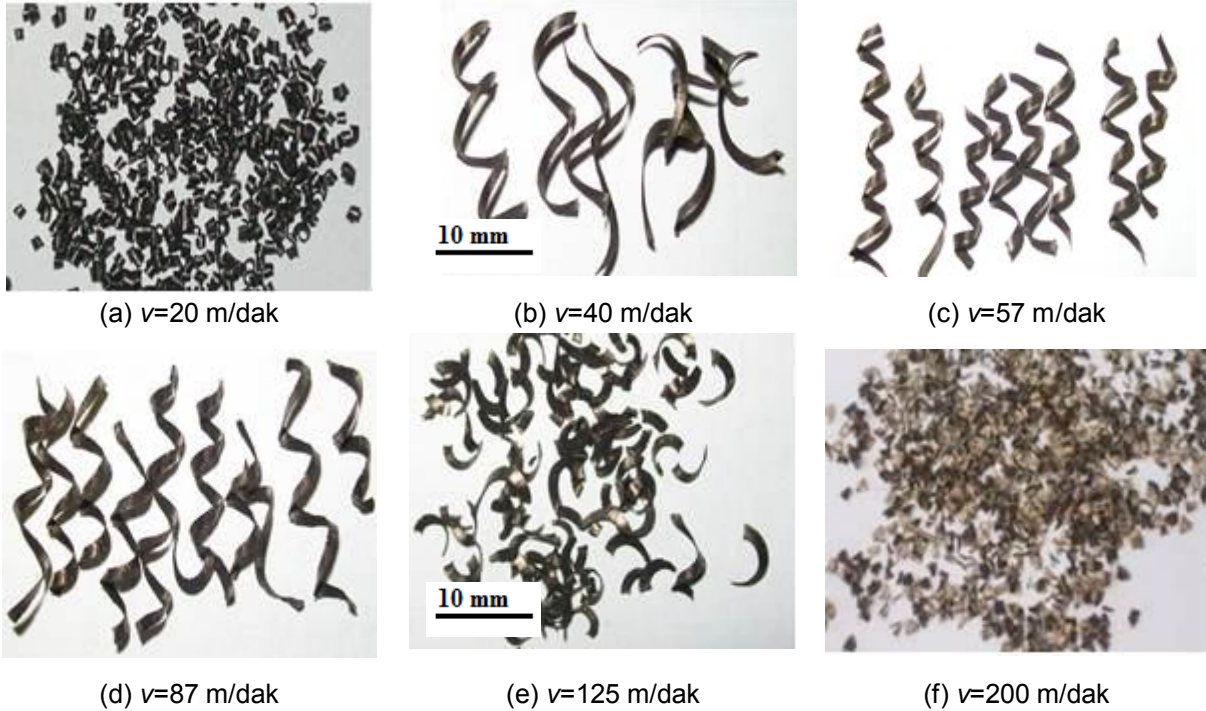
Numunelerin belirli kesme hızı aralıklarında tornalanırken oluşan talaşların morfolojileri ve kesme hızına bağlı olarak BUE kalınlığındaki değişim Şekil 6'da gösterilmiştir. Deneysel olarak kullanılan en düşük kesme hızı olan 20 m/dak de maksimum boyutta BUE mevcuttur (Şekil 6a). Artan kesme hızıyla BUE boyutu küçülmüştür ve yaklaşık 90 m/dak dan sonra BUE kaybolmak üzeredir (Şekil 6d and 6e). Düşük kesme hızlarında numunelerin işlenmiş yüzeylerindeki düzensizlik görülmektedir. Ayrıca düşük kesme hızlarında oluşan talaş düzensizdir ve kesme düzlemi açısı büyüktür, artan kesme hızıyla kesme düzlemi açısının küçüldüğü ve talaşın daha düzenli çıkması gerekirken yüksek kesme hızlarında da çıkan talaşın düzensiz olduğu dikkat çekicidir. Bunun sebebi ise muhtemel olarak Şekil 6'da da açıkça görüleceği gibi küresel grafitlerin kırılarak üst üste binmesi ve bir yağlayıcı özellik sergilemesi olarak açıklanabilir [19].



Şekil 6. Farklı kesme hızlarında talaş kökü morfolojisi [19]

### 3.2. Talaş Şekli

Talaşın şeklini etkileyen temel faktörler; iş parçasının malzemesi, kesici takım geometrisi, kesme sıvısı, takım tezgahının dinamik özellikleri ve kesme koşullarıdır [20]. Şekil 7’de kesme işlemi esnasında kesme hızlarına bağlı olarak oluşan talaş biçimleri görüntüsü verilmiştir. 20m/dak kesme hızında kısa helisel talaş (Şekil 7a), 40-57-87 m/dak kesme hızında sürekli yassı helis talaş (Şekil 7 b,c,d), 125 m/dak kısa yassı helis talaş (Şekil 7 e) ve 200m/dak kesme hızlarında da çok kısa kesikli talaş (Şekil 7 f) oluştuğu görülmektedir. Talaş kaldırma esnasında talaşın sürekli çıkması ve iş parçası ve kesici takım ile sürekli temas halinde olması kesici takımda oluşan ısının artmasına ve kesicinin daha kısa sürede hasara uğramasına neden olmaktadır. Ayrıca sürekli talaş işlenmiş iş parçası yüzeylerine de temas ederek yüzey kalitesinin bozulmasına neden olabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı kısa veya kırık talaş oluşması işlenebilirlik açısından daha elverişli bir durumdur.



Şekil 7. Kesme hızlarına bağlı olarak oluşan talaş biçimleri

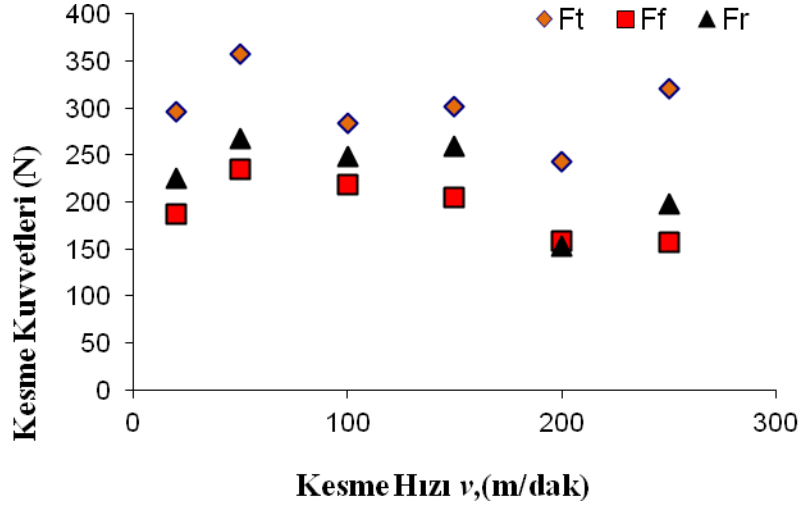
### 3.3. Kesme Kuvvetleri

Şekil 8’de numunelerin kesme hızına bağlı kesme kuvvetleri ( $F_t$ ,  $F_f$ ,  $F_r$ ) ilişkisi gösterilmiştir. 50 m/dak kesme hızında en yüksek, 200 m/dak kesme hızında ise en düşük kesme kuvvetleri ölçülmüş. Yaklaşık 100 m/dak kesme hızına kadar numunenin kesme kuvvetlerinde belirgin düşüş mevcuttur. 200 m/dak kesme hızından sonra kesme kuvvetleri artış eğilimine girmiştir.

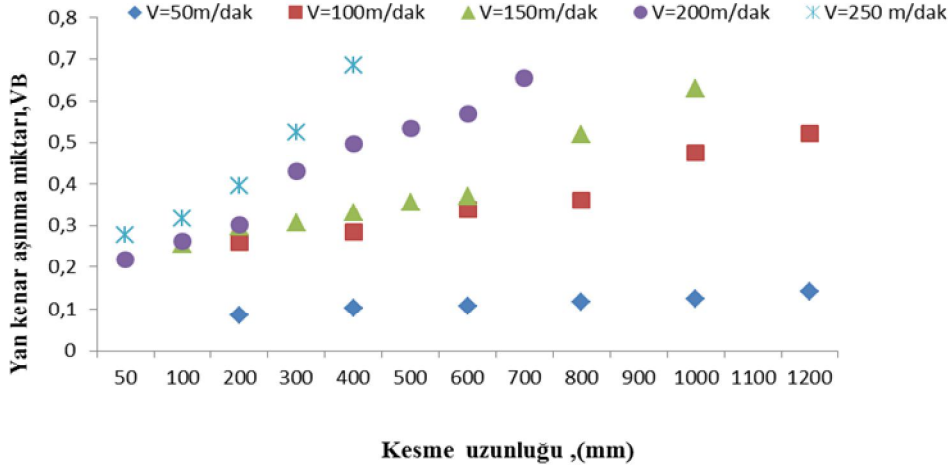
Takım/talaş ara yüzeyinde kararlı BUE’nin varlığı, kesici takımın etkin talaş açısını artırır. Artan talaş açısı ise kesme düzlemi açısını artırarak kesme düzlemi alanı ve dolayısıyla talaş kaldırma kuvvetlerini düşürür [21, 22]. Ayrıca takım talaş yüzeyinde BUE’nin varlığı takım/talaş temas alanını da kısaltmaktadır. Bu sebeple, azalan sürtünme kuvvetleri de esas kesme ( $F_t$ ) ve ilerleme kuvvetlerinin ( $F_f$ ) azalmasına sebep olur [21,22].

Kesme hızının artmasıyla birlikte kesme bölgesinde artan sıcaklık, talaş kaldırma anında malzemenin akma dayanımını düşürür [22,23]. Bu sebeple yaklaşık 150 m/dak kesme hızından sonra  $F_t$  ve  $F_f$ ’da hızlı bir düşüş belirlenmiştir. Kesme kuvvetlerinin 200 m/dak kesme hızından sonra artış eğilimine

girmesi, yüksek kesme hızlarında takım aşınmasının muhtemel artışı ve dolayısı ile aşınmış bir kesici takımın kesme kuvvetlerinde artışa neden olması ile açıklanabilir (Şekil 9) [24].



Şekil 8. Farklı kesme hızlarında Kesme kuvvetlerindeki değişim



Şekil 9. Kesme hızına bağlı olarak farklı kesme uzunluklarında, kesici takımların yan yüzey aşınma miktarı

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada farklı kesme hızlarında oluşan BUE'nin, ostemperlenmiş ferritik Küresel grafitli dökme demirin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğüne ve kesme kuvvetlerine etkisi incelenmiştir.

1. En büyük BUE kalınlığı 20m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Artan kesme hızıyla BUE boyutu küçülmüştür ve yaklaşık 90 m/dak dan sonra BUE kaybolmak üzeredir.
2. En düşük kesme kuvveti değerleri 200 m/dak'da elde edilmiştir.
3. En yüksek kesme kuvveti değerleri 50 m/dak kesme hızında elde edilmiştir.



4. Kesme hızının artmasıyla (250 m/dak) kesme kuvvetleri değerleri artan kesici kenar aşınması ile artış eğilimine girmiştir.

5. Yapılan deneylerde Östemperlenmiş ferritik küresel grafitli dökme demirlerin işlenmesinde küresel grafitlerin kırılarak üst üste binmesi ve bir yağlayıcı özellik sergileyerek talaşın kararsız halde oluşmasına sebep olduğu gözlemlenmiştir.

6. Deneylerde elde edilen talaş tiplerinin işlenebilirlik açısından elverişli olduğu görülmüştür.

## Kaynaklar

[1] Bosnjak, B., Radulovic, B., Pop-Toner, K., Asanovic, V., Influence of microalloying and heat treatment on the kinetics of bainitic reaction in austempered ductile iron, Journal of Materials Engineering and Performance, 10 (2), 2001, 203-211.

[2] Şeker, U., Hasirci, H., Evaluation of machinability of austempered ductile irons in terms of cutting force and surface quality, Journal of Materials Processing Technology, 173 (3), 2006, 260-268.

[3] Kori, S.A., Murty, B.S., Chakraborty, M., "Development 1J.F., Janowak and R.B., Gundlach, Development of a ductile iron for commercial austempering", AFS Transactions, 83-54,377-388,1983

[4] Harding R.A., and Gilbert, G.N.J., "Why the properties of austempered ductile irons should interest engineers, The British Foundryman", 79, 489- 496,1986

[5] Walton, C.F., "Mechanical properties of ductile iron, Iron Castings Handbook", Iron Castings Society Inc., 323-376,1981

[6] Schmidt, I., Schuchert A.Z., "Unlubricated sliding wear of austempered ductile iron", Metallkunde, 78, 871-875,1987

[7] Johansson, M., "Austenitic-Bainitic ductile iron", AFS Transactions, 77-73,117-122, 1977

[8] Lerner, Y.S., "Wear resistance of austempered ductile iron", Foundry Management & Technology, 74-80,1999

[9] Bartosiewicz, L., Krause, A.R., Kovacs, B., Putatunda, S.K., "Fatigue crack growth behavior of austempered ductile cast iron", AFS Transactions 92(135), 135-143,1992

[10] Bahmani, M., Elliott, R., Varahram, N., "The relationship between fatigue strength and microstructure in an austempered Cu-Ni-Mn-Mo alloyed ductile iron", Journal of Materials Science,32,5383-5388,1997

[11] Greno, G.L., Otegui, J.L., Boeri, R.E., "Mechanisms of fatigue crack growth in austempered ductile iron, International Journal of Fatigue", 21,35-43,1999

[12] Dommarco, R.C., Salvande, J.D., "Contact fatigue resistance of austempered and partially chilled ductile irons", Wear, 254, 230-236,2003

[13] Putatunda, S.K., Gadicherla, K., "Influence of austenitizing temperature on fracture toughness of a low manganese austempered ductile iron (ADI) with ferritic as cast structure", Materials Science and Engineering A 268 ,15-31,1999

- [14] Rao, P.P., Putatunda, S.K., "Investigations on the fracture toughness of austempered ductile irons austenitized at different temperatures", *Materials Science and Engineering A* 349, 136-149,2003
- [15] Jianghuai Yang, J., Putatunda, S.K., "Improvement in strength and toughness of austempered ductile cast iron by a novel two-step austempering process", *Materials and Design* 25, 219–230,2004
- [16] Oxley P.L.B., *Mechanics of Machining*, England, 1989.
- [17] Shaw M.C., *Metal Cutting Principles*, , Oxford University, New York, 1991.
- [18] Jawahir I.S., Oureshi N., Arsecularante A., On the Interrelationship of Some Machinability Parameters in Finish Turning With Cermet Chip Forming Tool Insert, *Int. Journ. Mach. Tools. Manufact.* 32, 5, 1992,709-723.
- [19] Akdemir, A., Yazman, Ş., Sağlam, H., Uyaner, M., The effects of cutting speed and depth of cut on machinability characteristics of austempered ductile iron, *Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of the ASME*, In Press, (2012) ISSN: 1087-1357.
- [20] Özçatalbaş, Y., Ercan, f., The Effects of Heat Treatment on the Machinability of Mild Steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 136, 227-238, (2003).
- [21] Aydın B., Özçatalbaş Y., AA2014 Alaşımının İşlenebilirliğine Yaşlanma Süresinin Etkisi, 11. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, 2002,syf. 405-412.
- [22] Liew W.Y.H., Hutchingsand I.M., Williams J.A., The Interaction Between Tool Material Environment and Process Conditions in the Machining of Aluminum Alloys, *Machining Technology*, 3 (2), 1999,pp. 286-373 UK.
- [23] Trent, E.M., *Metal Cutting*, Tanner Ltd. , London, 1984.
- [24] Özçatalbas Y., Kesici Takım Asınması ve İş Malzemesi Mekanik Özelliklerinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerine Etkisi, *G.Ü Politeknik Dergisi*, C:4 Özel Sayı, , 2002, s: 47-52.