

## Ferritik ve Perlitik Küresel Grafitli Dökme Demirin Üç-Gövdeli Abrasiv Aşınma Davranışı Üzerine Aşındırıcı Parçacık Boyutunun Etkisi

Ferhat Gül<sup>1</sup>, Lokman Şenel

<sup>1</sup>Gazi University, Technology Faculty, Metallurgical and Material Engineering Department, Ankara.  
[fgul@gazi.edu.tr](mailto:fgul@gazi.edu.tr)

### Anahtar Kelimeler

Üç gövdeli abrasiv aşınma, küresel grafitli dökme demir, sertlik, mikroyapı, küre sayısı ve boyutu.

### Özet

Bu çalışmada, ferritik ve perlitik küresel grafitli dökme demirin üç-gövdeli abrasiv aşınma davranışı üzerine aşındırıcı parçacık boyutunun etkisi araştırılmıştır. Abrasiv aşınma testleri 355 µm, 250 µm, 180 µm, 125 µm kromit parçacıklar ile, 10, 20 ve 30 N yükler altında, 0.1 m s<sup>-1</sup> kayma hızında modife edilmiş disk üzerinde pim aşınma cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dökülmüş halde ferritik ve perlitik küresel grafitli dökme demirin üç gövdeli abrasiv aşınması, aşındırıcı parçacık boyutu, uygulanan yük, matrix mikroyapısı, aşılama gibi tüm test parametrelerine bağımlılık göstermektedir. Abrasiv aşınma test sonuçları, dökülmüş halde perlitik küresel grafitli dökme demirin, ferritik küresel grafitli dökme demirden daha yüksek aşınma direncine sahip olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda FeSi aşılması küresel grafitli dökme demirin abrasiv aşınma direncini geliştirmektedir.

## Effect of Abrasive Particle Size on the Three-Body Abrasive Wear of As-Cast Ferritic and Pearlitic Ductile Iron

### Keywords

Three body abrasive wear, ductile iron, hardness, microstructure, nodule count and size.

### Abstract

In this study, effect of abrasive particle size on the three-body abrasive wear of as-cast ferritic and pearlitic ductile iron was investigated. Abrasive wear tests were carried out under the normal loads of 10, 20 and 30 N, 0.1 m/s sliding speed against to 355 µm, 250 µm, 180 µm, 125 µm abrasive chromite particles using a modified pin-on-disc type apparatus. It was found that the three-body abrasive wear of the as-cast ferritic and pearlitic ductile iron shows dependence on all the test parameters like abrasive particle size, applied load, matrix microstructure, inoculation. Abrasive wear test result showed that as-cast pearlitic ductile iron had higher wear resistance than ferritic ductile iron. FeSi inoculation also enhanced abrasive wear resistance of ductile iron.

## 1. Giriş

Gri dökme demirde grafit lamelleri, çatlakların başlamasına ve büyümesine sebep olarak malzemeyi zayıflatan gerilim yükselticiler olarak etki yapmaktadır. Grafitin küresel şekli, malzemenin çatlak oluşturma eğilimini önlemekte ve çatlak yayılmasına engel olmaktadır.[1]. Küresel grafitli dökme demirler (KGDD), iyi aşınma direnci ve sertleşebilirlik ile birlikte, önemli derecede iyi çekme mukavemeti, süneklik ve tokluk kombinasyonuna sahiptir [2]. Küresel grafitli dökme demirler, kimyasal bileşim, mikroyapı ve matrisde grafit kürelerinin şekil ve dağılımına bağlı olarak geniş mekanik özellik aralığı sergilemektedir.[3]. Mükemmel özellikleri ve düşük üretim maliyeti nedeniyle pazara sunulduğu tarihten bu yana küresel grafitli dökme demirin kullanımı sabit bir şekilde artma göstermektedir [4]. Dünyada mevcut ekonomik eğilim, malzeme ve enerji tasarrufunu giderek önemli hale getirmektedir. Dolayısıyla aşınma, endüstriyel manada önemli derecede dikkate alınmakta ve kontrol edilmesine dönük çalışmalar yürütülmektedir [5]. Abrasif parçacıkların neden olduğu mühendislik ve tarım makineleri parçalarının abrasif aşınması başlıca endüstriyel problemlerden bir tanesidir. Abrasif aşınma oranı üzerinde tüm sistem değişkenlerinin etkilerinin tam olarak anlaşılması, aşınmanın kontrol edilmesi ve azaltılması açısından malzeme seçimi ve makine tasarımında uygun aşamaların dikkate alınması için gerekli olmaktadır [6]. Küresel grafitli dökme demirin aşınma direncinin geliştirilmesi için bazı ısıtma işlem ve kaplama çalışmaları son dönemde yoğun olarak uygulanmaktadır [7-10] Ancak yine de geleneksel malzemelerde aşınma direncinin geliştirilmesi ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Özellikle gerçek uygulamalarda aşındırıcı partiküllerin bir yere yapışık olmaması nedeniyle üç gövdeli abrasif aşınma testleri çok büyük önem taşımaktadır. Küresel grafitli dökme demirde küre sayısının abrasif aşınma davranışına etkisi konusunda çalışmalar yapılmış [11,4], ancak bu çalışmalarda dökülen malzeme kesit kalınlığı değiştirilerek değişik küre sayısı değerleri elde edilmiş ve daha sonra kesit kalınlıklardan kaynaklanan problemleri gidermek için ferritleştirme işlemi yapılmıştır. Ancak sözkonusu çalışmalarda küre sayıları da aşırı derecede yüksek olduğundan, endüstriyel uygulamalar açısından geleneksel üretimi temsil eder nitelikte değildir. Abedi ve arkadaşları [12] tarafından yapılan çalışmada, 10- 50 mm kalınlığında numuneler dökülerek, 150- 450 küre/mm<sup>2</sup> arasında küre sayısı elde edilmiş, numunelerde ferritik-perlitik matrisi ayarlamak için ısıtma işlemi yapılmış ve adhasif aşınma testi uygulanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, düşük yük uygulamalarında yüksek küre sayısı, aşınma açısından yararlı bulunurken, yüksek yük uygulamalarında aşınma direncini düşürdüğü tespit

edilmiştir. Chang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [13] numunelerin küre sayısı malzemenin karbon içeriğinin artırılması yoluyla artırılmış, düşük ve yüksek küre sayılı numunelerde sırasıyla karbon içeriği % 2,11 – 3,97 arasında değişirken küre sayısı 384 – 725 küre/mm<sup>2</sup> arasında elde edilmiş ve bu numunelere erozif aşınma testi uygulanmıştır. Erozif aşınma oranının, ferrit gibi yumuşak matrislerde küre sayısındaki artış ile değişmediğini, alt bey nit ve martenzit gibi sert matris yapılarında aşınmayı arttırdığını göstermiştir. Endüstride gerek parça kalınlıklarının yüksek olması, gerekse teknik güçlükler ve büyük parçalarda döküm zamanının uzamasından dolayı çok yüksek küre sayısı elde edilmesi mümkün olmamakta, kaynaklarda [4,11-13] çalışılan küre sayılarına endüstriyel uygulamada ulaşılması mümkün olamamaktadır. Bu yüzden çok yüksek küre sayılarının yerine, bu çalışmada endüstriyel uygulamaya daha yakın küre sayısı ve malzeme bileşimi seçilmiştir. Böylece KGDD malzemelerde küre sayısının değişiminden ziyade, aşılama işleminin ve ayrıca ferrit ve perlit gibi matris fazlarının üç gövdeli aşınma üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu şekilde endüstriyel olarak aşınmanın azaltılması için, gerçekleştirilecek tasarımlarda malzeme seçimi ve malzeme üretiminde yapılacak işlemler açısından referans bir çalışmanın gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışmada Tablo 1’de kimyasal bileşimi verilen ferritik ve perlitik KGDD malzeme, indüksiyon ocağında ergitilerek, % 5 Mg içeren MgFeSi küreleştirici malzeme kullanılarak küreleştirme işlemi yapılmış ve Y-Blok kum kalıplara dökülmüştür. Ferritik ve perlitik KGDD’lere döküm işlemi sırasında sıvı metale öncelikle küreleştirme işlemi uygulandıktan sonra aşılama işlemi yapılmadan ve % 0,5 aşılama ilavesi yapılarak iki grup numune elde edilmiştir. Daha sonra Y-Bloktan kesilen parçalar tornalanarak 6.25 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda aşınma numuneleri elde edilmiştir.

Tablo 1. Bu çalışmada kullanılan perlitik ve ferritik matrisli numunelerin kimyasal bileşimi

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cu	Fe
KGDDF	3,6 7	2,65	0,7	0,03 5	0,01 1	0,01 7	0,2 4	0,00 3
KGDDFA	3,6 6	2,84	0,7	0,03 7	0,01 0	0,01 5	0,3 6	0,00 3
KGDDP	3,4 5	2,88	0,7	0,03 1	0,01 1	0,01 4	0,5 4	0,00 1
KGDDPA	3,4 9	3,10	0,7	0,03 1	0,01 2	0,01 4	0,6 1	0,00 2

KGDDF: Ferritik, KGDDFA: Aşınmış Ferritik, KGDDP: Perlitik, KGDDPA: Aşınmış Perlitik KGDD

У-БЛОК dokum parçadan kare kesitli numuneler kesilerek metalografik numunelerin hazırlanması için silindirik şekilde işlenmiştir. Hazırlanan numuneler soğuk gömme işleminden sonra, sırasıyla 250, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh SiC zımpara ile zımparalanmış, 1 µm elmas pasta ile parlatılmış ve % 2 nital ile dağlanmış. Numunelerin mikroyapıları Olympus marka optik mikroskop ile incelenmiş ve CCD kamera ve yazılım programı aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır.

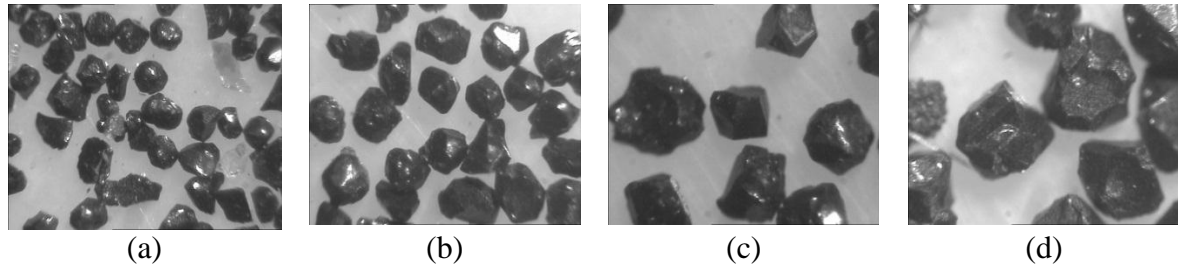
## 2.2. Sertlik Testi

Sertlik testleri, mikroyapı numuneleri üzerinde INSTRON WOLPERT marka sertlik cihazı ile 3000 kg yük ve 10 mm bilya kullanılarak yapılmıştır. Her

bir numune için 5 sertlik testi yapılmış ve değerlerin ortalamaları alınmıştır.

## 2.3. Aşınma Testi

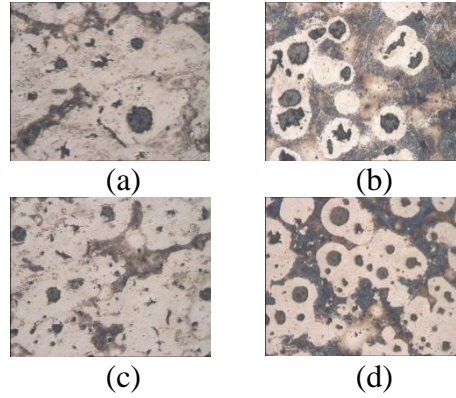
Daha önce hazırlanmış olan silindirik numuneler 6,25 mm çapa işlendikten sonra, modife edilmiş disk üzerinde pim tipi aşınma cihazında poliyamid hazne içerisine yerleştirilen 50 g abrasiv aşındırıcı malzeme kullanılarak üç gövdeli abrasiv aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Her deney için yeni olmak üzere 125, 180, 250 ve 355 µm kromit aşındırıcı kullanılarak, 10, 20 ve 30 N yük altında, 0,1 m/s kayma ve 60 m kayma mesafesinde aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Her numune için iki aşınma testi uygulanıp numuneler aşınma öncesi ve sonrası 0,1 mg hassasiyete sahip hassas terazide tartılarak bunların ortalaması alınmıştır. Aşınma testinde kullanılan kromit aşındırıcı parçacıklar Şekil 1'de gösterilmiştir. Aşınma testinde kullanılan aşındırıcı kromit parçacıklarında meydana gelen hasar ise stereo mikroskop ile incelenmiş ve bilgisayara aktarılmıştır. Abrasif aşınma testi neticesi elde edilen sonuçlar, SPSS 15 istatistik programı kullanılarak analiz edilmiştir.



Şekil 1. Üç gövdeli aşınma testinde kullanılan aşındırıcı kromit parçacıkları a) 125 µm, b) 180 µm, c) 250 µm, d) 355 µm X 4,5

### 3. Deneysel Sonuçlar

#### 3.1. Mikroyapı

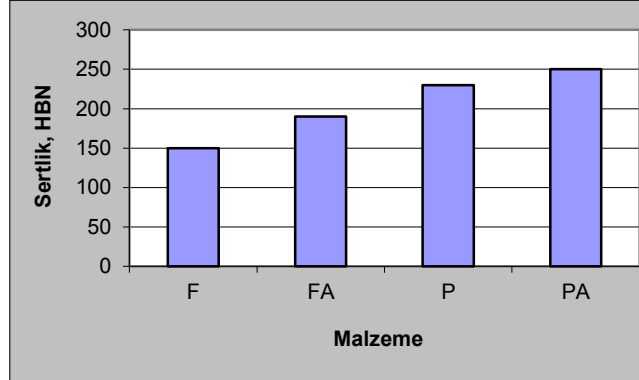


Şekil 2. Deneysel çalışmada kullanılan KGDD malzemelerin mikroyapısı, a) Ferritik KGDD, b)Perlitik KGDD, c) Aşılansız ferritik KGDD, d) Aşılansız perlitik KGDD, X 140

Şekil 2'den de görüldüğü gibi genel olarak sırasıyla ferritik küresel grafitli dökme demirde ferrit, perlitik küresel grafitli dökme demirde ise, ferrit ve perlit fazlarından meydana gelen dana gözü tipi mikroyapı

görüntüsü elde edilmiştir. KGDD'in aşılansız halde 25 küre/mm<sup>2</sup>, aşılama işleminden sonra yaklaşık 35 küre/mm<sup>2</sup> küre sayısı değerlerine ulaştığı belirlenmiştir.

#### 3.2. Sertlik Testi Sonuçları

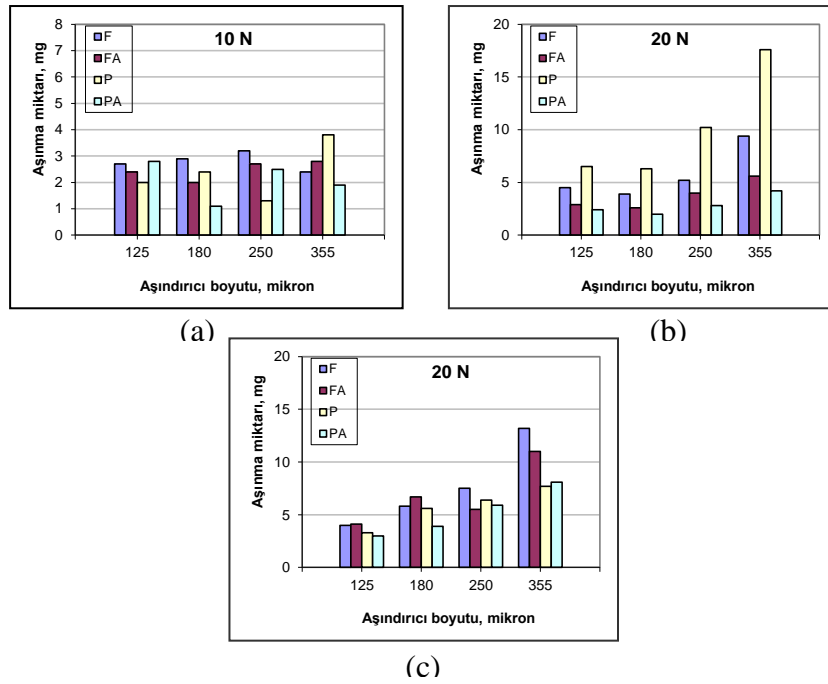


Şekil 3. Deneysel çalışmada kullanılan KGDD malzemelerin sertlik değerleri

Deneysel çalışmada kullanılan KGDD malzemelerin sertlik değerlerindeki değişim Şekil 3'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi ferritik matrisli KGDD 150 HBN sertliğe sahip iken, aşılama işlemi ile bu değer 190 HBN değerine yükselmiştir. Öte yandan perlitik

KGDD 230 HBN, aşılama ile bu değer 250 HBN değerine yükselmiştir. Gerek matris yapının perlit içeriğinin artması, gerekse malzemelerin aşılansız malzemede sertlik artışı sağlamıştır.

### 3.2. Aşınma Testi Sonuçları



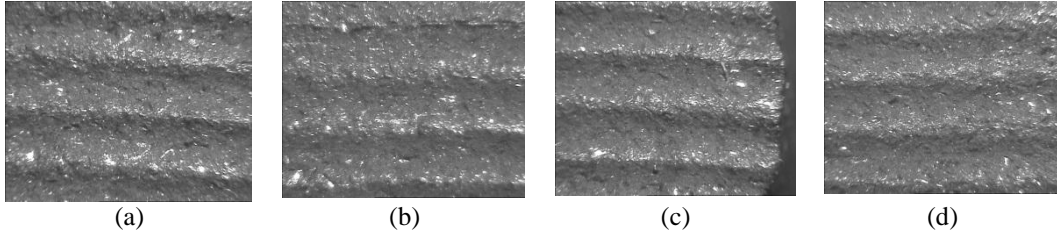
Şekil 4. a) 10 N, b) 20 N, c) 30 N yük ve 125 µm, 180 µm, 250 µm ve 355 µm aşındırıcı kromit parçacıkları kullanılarak gerçekleştirilmiş aşınma testi sonuçları (F: Ferritik, FA: Ferritik aşılmalı, P : Perlitik, PA: Perlitik aşılmalı)

Şekil 4’de aşınma testi sonuçları incelendiğinde, 10 N yük altında aşınmada belirli bir düzensizliğin olduğu göze çarpmaktadır. Bunun sebebi 10 N yük altında serbest abrasif partiküller ve yapılan deneylerde uygulanan yükün yetersiz gelmesi ve aşındırıcının malzemeye tam temas etmemesi nedeniyle aşınma numunesinin bağlı olduğu kolda meydana gelen titreme sonucu, aşınma değerlerinin malzeme ve aşındırıcıya göre tutarlı sonuç vermediği ve 2 numune dışında aşınma miktarının 3 mg’ın altında kaldığı görülmektedir. 250 µm aşındırıcı kullanımı durumunda, aşılınmamış ferritik numunenin, 355 µm aşındırıcı kullanımı durumunda aşılınmamış perlitik numunenin aşınma değerlerinin diğer numunelere göre nispeten yüksek olduğu belirlenmiştir. Söz konusu numunelerin sertlikleri ve aşındırıcı boyutlarına bağlı olarak, düşük yük nedeniyle aşındırıcının kayması veya kazınması neticesi istikrarlı aşınma şartlarının oluşmadığı ve aşınma miktarlarında farklar meydana geldiği düşünülmektedir. Öte yandan 20 ve 30 N yükler altında malzemelerin sahip oldukları matris yapı ve aşılama işlemine bağlı olarak aşınma kayıplarının belirgin bir değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Örneğin 20 N yük uygulamasında, her aşındırıcı boyutu için en yüksek aşınma kaybını aşılınmamış perlitik küresel grafitli dökme demir numuneler sergilemiştir. Aşındırıcı parçacık boyutunun artması

ile de genel olarak aşınma miktarında artma eğilimi görüldüğü tespit edilmiştir. Aşılınmamış ferritik numuneler de aynı eğilimi göstermekle beraber, aşınma miktarları nispeten daha düşük olmuştur. 30 N yük altında, artan aşındırıcı parçacık boyutu ile ferritik numunenin en yüksek, aşılınmış ferritik numunenin nispeten daha az aşınma sergilediği, özellikle iri aşındırıcı kullanımı durumunda perlitik ve aşılınmış perlitik numunenin en az aşınma sergilediği tespit edilmiştir. Bilindiği gibi perlitik küresel grafitli dökme demire göre sahip olduğu yüksek sertlik ve yüksek küre sayısı nedeniyle aşılınmış KGDD daha yüksek aşınma direnci sergilemektedir.

Aşılama işlemi ile aşınma miktarındaki en büyük değişim 20 N yük altında meydana gelmektedir. Bu yük altında perlitik küresel grafitli dökme demirin aşılınması, aşınma açısından önemli miktarda azalma meydana getirmektedir. 30 N yük altında ise ferritik matrisden ziyade perlitik matris kullanımının, aşınma miktarını önemli oranda azaltacağını ortaya koymaktadır. 30 N yük ve 355 µm kromit parçacıkları kullanılarak yapılan üç gövdeli abrasif aşınma testi neticesi numunelerde elde edilen aşınma yüzeyi görüntüleri Şekil 5’de gösterilmiştir. Ferritik ve perlitik malzemelerin aşılınmadığı durumda aşınma yüzeylerinde daha derin aşınma oyuklarının oluştuğu görülmektedir.

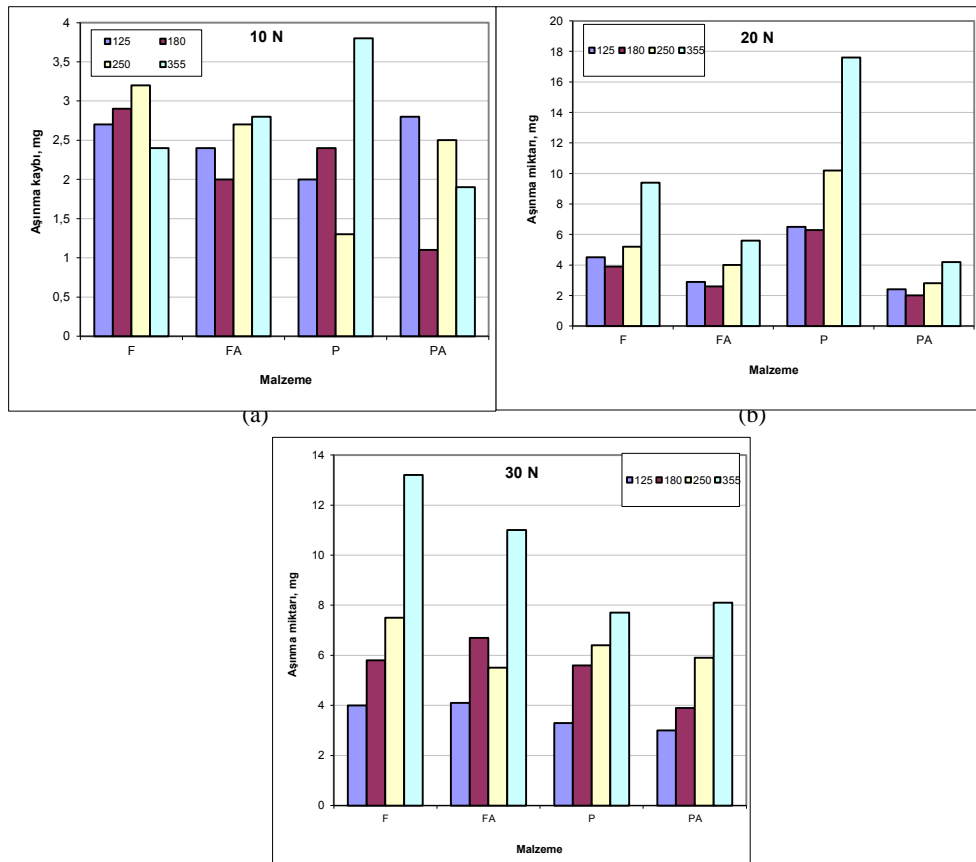


Şekil 5. 30 N yük ve 355 µm kromit parçacıkları kullanılarak gerçekleştirilmiş aşınma yüzeyleri a) Ferritik aşılmasız, b) Ferritik aşılmalı, c) Perlitik aşılmasız, d) Perlitik aşılmalı, X 4,5

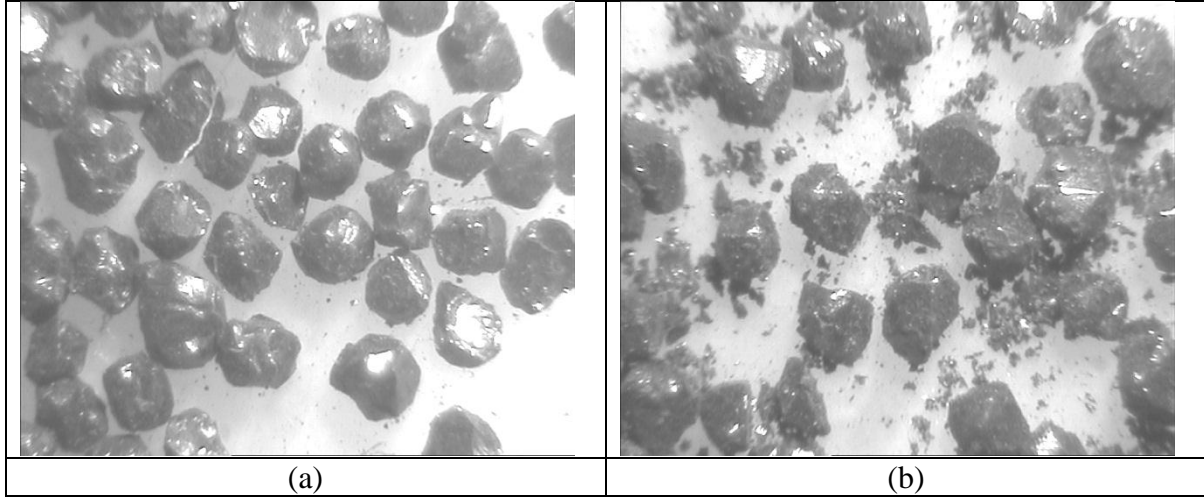
Şekil 6'da, malzeme türleri birlikte değerlendirildiğinde, 20 N yük altında, en düşük aşınma aşılmalı perlitik numunede elde edilirken, buna karşılık en yüksek aşınma, aşılama yapılmamış perlitik numunede olduğu açık bir şekilde görülmektedir. 30 N yük altında ise en yüksek aşınma ferritik numunede, en düşük aşınma perlitik numunelerde elde edilmiştir.

Aşınma sonuçları genel olarak değerlendirildiği zaman, nispeten düşük sertlik ve yüksek sünekliliğe sahip ferrit fazının düşük yük uygulamalarında, aşındırıcının batma ve kazıma etkilerine karşı sahip yüksek tokluğu nedeniyle dayanım gösterebilmektedir. 30 N yük ve 355 µm aşındırıcı kromit parçacıkları kullanılarak gerçekleştirilmiş

aşınma testi sonucu aşındırıcı parçacıkların test sonrası görünümü Şekil 7'de verilmiştir. Şekilde ferritik aşılmalı numunenin aşınması sonrası, aşındırıcı parçalarda bir değişim gözlenmezken, perlitik aşılmalı numunenin aşındırıldığı parçacıklarda yoğun kırılma ve ufalanmalar meydana geldiği görülmektedir. Bu da aynı yük ve aşındırıcı boyutunda perlitik numunelerin aşındırıcı parçacıkları parçalayabildiğini açıkça göstermektedir.



Şekil 6. a) 10 N, b) 20 N, c) 30 N yük ve 125 µm, 180 µm, 250 µm ve 355 µm aşındırıcı kromit parçacıkları kullanılarak gerçekleştirilmiş aşınma testi sonuçları (F: Ferritik, FA: Ferritik aşılmalı, P : Perlitik, PA: Perlitik aşılmalı)



Şekil 7. 30 N yük ve 355 µm aşındırıcı kromit parçacıkları kullanılarak gerçekleştirilmiş aşınma testi sonucu aşındırıcı parçacıkların test sonrası görünümü. Aşındırılan numune a) Ferritik aşılmalı b) Perlitik aşılmalı, X2

SPSS 15 veri analiz programı kullanılarak ferritik matrisli KGDD'in üç gövdeli aşınmasında abrasif partikül boyutunun % 8.4, yükün ise 8.7 olmak üzere her iki parametrenin toplam % 17.1 oranında etkili olduğu belirlenmiştir. Öte yandan aynı malzemenin aşınması neticesi abrasif partikül boyutunun % 3.8, yükün ise % 54 olmak üzere her iki parametrenin % 57.8 oranında etkili olduğu bulunmuştur. Perlitik matrisli numunelerde abrasif partikül boyutu % 0.1, yükün ise 43.1 olmak üzere her iki parametrenin % 43.2 oranında etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu malzemeye aşılama uygulaması ile abrasif partikül boyutunun % 4.1, yükün ise 44.4 olmak üzere her iki parametrenin % 48.5 oranında etkili olduğu belirlenmiştir.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

KGDD'in üç gövdeli abrasif aşınma testi neticesi aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Genel olarak aşılama uygulanmış numunelerin diğer numunelerden daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu belirlenmiştir.
- Daha ziyade düşük aşındırıcı boyutu ve yük uygulamalarında ferritik numunelerin daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu, artan yük ile aşınma miktarının önemli oranda arttığı belirlenmiştir.
- Yüksek yük ve kaba aşındırıcı boyutunda perlitik numunelerin daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu ve yüksek sertliği nedeniyle aşındırıcı parçacıkları kırdığı tespit edilmiştir.

- SPSS analiz sonuçlarına göre, aşınmamış ferritik malzemede yükün ve aşındırıcı boyutunun etkisi düşük elde edilirken, aşınmış numunede bu değerlerin % 60 yakın etkili olduğu bulunmuştur.
- Perlitik numunelerde aşınma üzerinde aşındırıcı parçacık boyunun düşük, yükün ise nispeten yüksek etkiye sahip olduğu bulunmuştur.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Neri, M.A., Carren, C. (2003). **Effect of Copper Content on the Microstructure and Mechanical Properties of a Modified Nodular Iron**, *Materials Characterization*, 51, s. 219-224.
- [2] Refaey A., Fatahalla N., (2003). **Effect of Microstructure on Properties of ADI and Low Alloyed Ductile Iron**, *Journal of Materials Science*, 38, s. 351-362.
- [3] Vélez J. M. A, D.K. Tanaka B, A. Sinatora B, Tschiptschin A.P., (2001). **Evaluation of Abrasive Wear of Ductile Cast Iron in a Single Pass Pendulum Device**, *Wear*, 251, s.1315-1319.
- [4] Rebase N., Dommarco R., Sikora J., (2002). **Wear Resistance of High Nodule Count Ductile Iron**, *Wear*, 253, s. 855-861.
- [5] Scott, D., (1983). **Wear Analysis**, *Phys. Technol*, Vol 14, Printed In Northern Ireland.

- [6] Stachowiak G.B., Stachowiak G.W., (2001). **The Effects of Particle Characteristics on Three-Body Abrasive Wear**, *Wear*, 249, s. 201-207.
- [7] Şenel L., Çetin, M., Gül, F., (2003). **Farklı Matriks Mikroyapılarına Sahip KGDD'in Kuru Kayma Aşınmasının Değerlendirilmesi**, *3<sup>rd</sup> International Advanced Technologies Symposium*, August 18-20, Ankara.
- [8] Yalçın Y., Alp A., (2003). **Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Hidroklorik Asit Çözeltisindeki Korozyon Davranışı**, *3<sup>rd</sup> International Advanced Technologies Symposium*, August 18-20, Ankara.
- [9] Hemanth J., (2000). **Wear Characteristics of Austempered Chilled Ductile Iron**, *Materials and Design*, 21, s. 139-148.
- [10] Haseeb, A.S.M.A., Islam, Md. A., Bepari, Md. M.A., (2000). **Tribological Behaviour of Quenched And Tempered, and Austempered Ductile Iron at the Same Hardness Level**, *Wear* 244, s. 15-19.
- [11] Dommarco R.C., Sousa M.E., Sikora, J.A., (2004). **Abrasion resistance of high nodule count ductile iron with different matrix microstructures**, *Wear*, 257, s. 1185-1192.
- [12] Abedi, H.R. Fareghi A., Saghafian H., Kheirandish, S.H., (2010). **Sliding Wear Behavior of a Ferritic-Pearlitic Ductile Cast Iron With Different Nodule Count**, *Wear*, 268, s. 622-628.