

**YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN
AŞINMA DAVRANIŞLARININ VE
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

**2015
DOKTORA TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

Ali KALYON

**YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA
DAVRANIŞLARININ VE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Ali KALYON

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

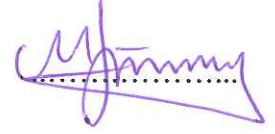
**KARABÜK
Haziran 2015**

Ali KALYON tarafından hazırlanan “YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ VE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Doç. Dr. Mustafa GÜNAY
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir. 24/06/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

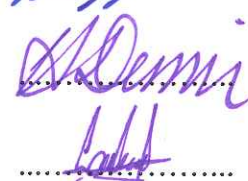
Başkan : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER (GÜ)



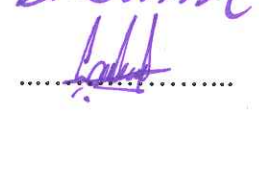
Üye : Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (KBÜ)



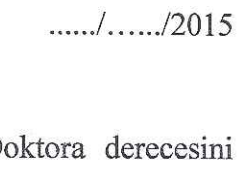
Üye : Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Halil DEMİR (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Recep ÇALIN (KKÜ)



...../...../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ali KALYON

ÖZET

Doktora Tezi

YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ VE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Ali KALYON

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanları:

Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK

Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

Haziran 2015, 105 sayfa

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe, valf ve supap bagalarının üretiminde kullanılan ve farklı oranlarda Cr içeren yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma davranışları ve işlenebilirliği incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında üç farklı krom oranına sahip (%10, %12, %14) yüksek kromlu beyaz dökme demirin, ağır çalışma şartları altında sergiledikleri aşınma performansları araştırılmıştır. Kalıpların hazırlanmasından sonra kimyasal bileşimlerine göre yüksek kromlu beyaz dökme demir alaşımlar ergitilerek, hazırlanan kalıplara dökülmüştür. Karakterizasyon çalışmaları için, üç farklı oranda Cr ilave edilerek üretilen bagalardan, 6 mm çapında numuneler hazırlanmıştır. Standart metalografik işlemler ile hazırlanan numuneler elektron mikroskobu (SEM+EDS/JEOL 6060), X-ışını kırınımı (XRD/ Rigaku), yoğunluk ölçümleri (Archimets) ve sertlik ölçümleri (AffriSystem VRSD-251/HV2)

yapılarak karakterize edilmiştir. Aşınma testlerinde pin-on-disk tipi standart deney cihazı kullanılmıştır. Yüzeyleri hazırlanan numuneler 60 N, 90 N ve 120 N yük, 6 farklı kayma mesafesi (500-1000-1500-2000-2500-3000 m) ve 1 ms^{-1} 'lik kayma hızında test edilmiştir. Aşındırıcı disk olarak aynı kimyasal bileşime sahip malzemelerden üretilen diskler kullanılmıştır.

İşlenebilirlik deneylerinde, iş parçaları seramik ve CBN kesici uçlar ile kuru ortamda bilgisayar sayısal denetimli torna tezgahında işlenmiştir. Kesici uç olarak seçilen seramik ve CBN kesiciler için ayrı ayrı Taguchi L_{27} dikey dizini deney seti uygulanmıştır. Tornalama esnasında dinamometre yardımıyla kesme kuvvetleri ölçülmüştür. İşleme sonrası parça yüzeylerinin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Taguchi tekniği kullanılarak ideal kesme şartlarını için kontrol faktörleri belirlenmiştir. Kontrol faktörlerinin sonuçlara etkisi varyans analizi (ANOVA) yardımıyla bulunmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda %10 ve %14 Cr içeren alaşımların matrisinde, eşksenel tane yapısının baskın olduğu gözlenirken, %12 Cr içeren alaşımın SEM görüntüsünde tanelerin uzama (sütunsal) eğilimi sergilediği anlaşılmıştır. XRD analiz sonuçlarında, %10 Cr içeren alaşımda M_7C_3 karbürlerin daha fazla olduğu, krom miktarının arttıkça alaşım içerisindeki $M_{23}C_6$ karbürlere dönüştüğü görülmüştür. Malzemelerin sertlik değerleri incelendiğinde, en yüksek sertlik değerlerinin 57 HRc ile %10 Cr ilave edilen yüksek kromlu beyaz dökme demir alaşımında elde edildiği görülmüştür. En düşük sertlik değeri ise 52 HRc ile %14 Cr ilave edilen alaşımda elde edilmiştir. %12 Cr içeren alaşımında ölçülen 55 HRc ile diğer iki alaşımın arasında bir sertlik gösterdiği bulunmuştur. Artan krom oranının malzemelerin yoğunluklarını arttırdığı gözlemlenmiştir.

Aşınma testleri sonucunda malzemede artan krom oranının, malzemenin sertliğini ve de aşınma dayanımını azalttığı belirlenmiştir. Malzemede artan krom oranına bağlı olarak meydana gelen M_7C_3 karbürlerinin $M_{23}C_6$ karbürlerine dönüşmesinin, ağırlık kaybının artmasına neden olduğu görülmüştür. Aşınma testleri sonucunda, yapısında $M_{23}C_6$ karbürlerini daha fazla bulunduran %14 Cr'lu beyaz dökme demirin daha fazla aşındığı belirlenmiştir.

Seramik ve CBN kesici uçlar ile yapılan talaşlı imalat deneylerinde elde edilen veriler incelendiğinde, düşük kesme parametrelerinin ve düşük krom oranının, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin işlenmesinde uygun parametreler olduğu bulunmuştur. Seramik ve CBN kesici uçlar ile yapılan tornalama deney sonuçlarının ANOVA analizi sonrası ilerleme miktarının, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametre olduğu belirlenmiştir. Kesme kuvveti üzerinde en etkili parametrelerin kesme derinliği ve ilerleme miktarı olduğu anlaşılmaktadır.

Anahtar Sözcükler : Yüksek kromlu beyaz dökme demirler, бага, aşınma, sert tornalama, işlenebilirlik, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti.

Bilim Kodu : 916.1.092

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF WEAR BEHAVIOUR AND MACHINABILITY OF HIGH CHROMIUM WHITE CAST IRONS

Ali KALYON

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisors:

Assoc. Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK

Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

June 2015, 105 pages

In this present study, wear behaviours and machining parameters of high chromium white cast irons contain in different rates of Cr which used in the production of valve seat inserts and tappets in the automotive sector were investigated. In the first stage of the studies wear behaviours of three different rates of high chromium white cast irons (10 %, 12 %, 14 %) were examined under heavy service conditions. After the preparation of moulds, the high chromium white cast iron alloys were melted and poured according to their chemical compositions. For the characterization studies, samples of 6 mm diameter were prepared from valve seat inserts containing three different rates of Cr. Samples were prepared with standard metallographic processes, samples were characterized through scanning electron microscopy (SEM+EDS/JEOL 6060), X-ray diffraction (XRD/ Rigaku), density measurements (Archimets) and hardness measurements (AffriSystem VRSD-251/HV2). A pin-on-disk-type standard

test apparatus was used for wear tests. Prepared samples surfaces were tested at 60 N, 90 N, and 120 N loads, 6 different sliding distances (500-3000 m) and 1 ms^{-1} sliding speed. The material of counter discs for wear tests were the same as that of the samples to be worn.

In machinability experiments, work pieces were machined dry with ceramic and CBN inserts in computer numerical controlled lathe. Taguhci's L_{27} orthongonal array was applied one by one for turning tests with selected ceramic and CBN cutting inserts. Cutting forces were measured during turning operation. Surface roughness of the work pieces were measured after the machining. The control factors which give the optimum cutting force and surface roughness values were determined using the Taguchi technique. The effect of control factors to results were determined with using analysis of variance (ANOVA). As a result of studies, it is observed that coaxial grain structure is dominant in the matrix of the alloys containing % 10 and % 14 Cr, whereas the SEM image of the alloy containing % 12 Cr shows that the grains are columnar. In XRD results, it observed that M_7C_3 carbides were much more in sample containing % 10 Cr, with the increasing of chrome carbides transformed into $M_{23}C_6$ carbides. When the hardness of the material examined it is seen that the highest hardness value is seen for the high chromium white iron alloy containing % 10 Cr with 57 HRc. The lowest hardness value is seen for the alloy containing % 14 Cr with 52 HRc. 55 HRc hardness value is seen for the alloy containing % 12 Cr among the two alloys. It was observed that the increasing chrome rate in alloys increased the density of alloys.

It was determined that as the rate of Cr increased in the alloys, their hardness and wear loss decreased. It was considered to be as the result of transformation of M_7C_3 carbides into $M_{23}C_6$ carbides in the structure increasing of weight loss. Thus, it was determined that the white iron with % 14 Cr (which had a greater amount of $M_{23}C_6$ carbides) was subjected to the highest wear.

It was found that, the datas were obtained from the experiments which carried out with ceramic and CBN inserts, low cutting parameters and low chrome rate were the proper parameters for the machining of high chromium cast irons. It was determined that, the ANOVA analysis of the experimental results which carried out ceramic and CBN

inserts, feed rate was the most effective parameter on surface roughness. It was understood that depth of cut and feed were the most effective parameters on cutting force.

Key Words : High-chromium white cast irons, valve seat, wear, hard turning, machinability, surface roughness, cutting force.

Science Code : 916.1.092

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının araştırılmasında, planlanmasında ve yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, bana vakitlerini ayırarak çok kıymetli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren; Doktora tez danışmanım çok değerli Hocam Sayın Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK'e sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tezimin her aşamasında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Öğretim Üyesi, kıymetli Hocam Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER ve Karabük Üniversitesi Öğretim Üyeleri, Hocalarım Sayın Doç. Dr. Halil Demir ve Doç. Dr. Mustafa GÜNAY'a teşekkür ederim. Döküm işlemlerinin gerçekleşmesinde her türlü imkanı sağlayan ve büyük emekleri geçen Sayın Hasan AZTEKİN'e (Özgayd Otomotiv Sanayi Dökümhane Müdürü) ve tüm Özgayd Otomotiv çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu tez KBÜ-BAP-13/1-DR-007 no.lu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında Karabük Üniversitesi tarafından desteklenmiştir, bu vesileyle Karabük Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| KABUL..... | ii |
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | vii |
| TEŞEKKÜR..... | x |
| İÇİNDEKİLER | xi |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | xvi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xviii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xix |
| | |
| BÖLÜM 1 | 1 |
| GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2 | 6 |
| YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLER..... | 6 |
| 2.1. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ | 6 |
| 2.2. FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ | 6 |
| 2.3. MEKANİK ÖZELLİKLERİ | 6 |
| 2.4. MİKROYAPI | 7 |
| 2.4.1. Ötektik Altı Beyaz Dökme Demirler | 8 |
| 2.4.2. Ötektik Beyaz Dökme Demirler | 9 |
| 2.4.3. Ötektik Üstü Beyaz Dökme Demirler..... | 9 |
| 2.5. KARBÜRLER..... | 9 |
| 2.6. MATRİS..... | 11 |
| 2.6.1. Alaşım Elementlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi..... | 11 |
| 2.6.1.1. Karbon..... | 11 |
| 2.6.1.2. Krom | 12 |
| 2.6.1.3. Molibden | 12 |

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.6.1.4. Silisyum | 13 |
| 2.6.1.5. Bakır..... | 13 |
| 2.6.1.6. Kükürt | 13 |
| 2.6.1.7. Fosfor | 14 |
| 2.6.1.8. Mangan | 14 |
| 2.6.1.9. Nikel..... | 14 |
| 2.6.1.10. Bor..... | 14 |
| 2.6.1.11. Niyobyum | 15 |
| 2.6.1.12. Vanadyum | 15 |
| 2.6.1.13. Titanyum | 15 |
| 2.7. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN UYGULAMA ALANLARI..... | 15 |
| 2.8. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE KATILAŞMA ... | 16 |
| 2.8.1. Fe-Cr-C Sistemi..... | 16 |
| 2.9. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE KATILAŞMA YAPISI..... | 18 |
| 2.10. M_7C_3 KARBÜRLERİNİN ÖZELLİKLERİ..... | 19 |
| 2.11. Fe-C-Cr ALAŞIMLARININ DÖKÜM MATRİS YAPISI..... | 19 |
| 2.11.1. Fe-C-Cr Alaşımlarının Katı Hal Reaksiyonları | 19 |
| 2.11.2. İkincil M_7C_3 Karbürlerin Oluşumu..... | 20 |
| BÖLÜM 3 | 21 |
| AŞINMA..... | 21 |
| 3.1. AŞINMANIN TANIMI..... | 21 |
| 3.2. AŞINMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER | 22 |
| 3.3. AŞINMA TÜRLERİ | 24 |
| 3.3.1. Adhesiv Aşınma..... | 24 |
| 3.3.2. Abrasiv Aşınma | 25 |
| 3.3.3. Yorulma Aşınması | 26 |
| 3.3.4. Korozyon Aşınması | 27 |
| 3.4. AŞINMA TESTİ İÇİN YÖNTEMLER | 27 |
| 3.5. AŞINMA TESTİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ..... | 29 |

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 3.5.1. Ağırlık Farkı Metodu | 29 |
| 3.5.2. Kalınlık Farkı Metodu | 30 |
| 3.5.3. İz Değişimi Metodu | 31 |
| 3.5.4. Radyoizotop Metodu | 31 |
| 3.6. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA DİRENCİ | 31 |
| 3.6.1. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Aşınma | 31 |
| 3.6.2. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Abrasiv Aşınmayı Etkileyen Faktörler..... | 33 |
| 3.6.2.1. Karbür Yapısının Abrasiv Aşınmaya Etkisi | 34 |
| 3.6.2.2. Matris Yapısının Aşınmaya Etkisi | 34 |
| BÖLÜM 4 | 35 |
| İŞLENEBİLİRLİK | 35 |
| 4.1. TALAŞLI İMALAT | 35 |
| 4.2. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ | 35 |
| 4.3. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ | 38 |
| 4.4. İŞ PARÇASI YÜZEY KALİTESİ (PÜRÜZLÜLÜK)..... | 39 |
| 4.5. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ | 42 |
| 4.5.1. Yüksek Hız Çeliği..... | 42 |
| 4.5.2. Sementit Karbürler..... | 42 |
| 4.5.3. Sermetler..... | 43 |
| 4.5.4. Seramikler..... | 43 |
| 4.5.3. Çok Sert Kesici Takımlar | 43 |
| 4.6. SERT TORNALAMA..... | 44 |
| BÖLÜM 5 | 45 |
| MALZEME METOD | 45 |
| 5.1. DENEYSEL MALZEMELER | 45 |
| 5.2. AĞIRLIK VE YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ | 46 |
| 5.3. METALOGRAFİK İŞLEMLER..... | 47 |

Sayfa

| | |
|--|----|
| 5.4. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) VE ENERJİ DAĞILIMLI X-IŞINI SPEKTROSKOPİSİ (EDS) İNCELEMELERİ..... | 47 |
| 5.5. X-IŞINI KIRINIMI (XRD) İNCELEMELERİ | 47 |
| 5.6. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ | 47 |
| 5.7. AŞINMA TESTLERİ..... | 48 |
| 5.8. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİNDE KULLANILAN MAKİNE VE TEÇHİZAT | 49 |
| 5.9. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ..... | 52 |
| | |
| BÖLÜM 6 | 53 |
| DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA | 53 |
| 6.1. MİKRO YAPI İNCELEMELERİ | 53 |
| 6.2. XRD İNCELEMELERİ | 56 |
| 6.3. SERTLİK İNCELEMELERİ | 58 |
| 6.4. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ | 59 |
| 6.5. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI | 59 |
| 6.6. FARKLI ORANLARDA CR İÇEREN ALAŞIMLARIN AŞINMA YÜZEYİ (SEM) İNCELEMELERİ | 62 |
| 6.7. SERAMİK KESİCİ UÇ KULLANILAN İŞLENEBİLİRLİK TESTİ SONUÇLARININ İNCELENMESİ | 65 |
| 6.7.1. Kesme kuvveti sonuçlarının incelenmesi | 65 |
| 6.7.2. Bileşke kesme kuvveti için ideal kesme şartları | 69 |
| 6.7.3. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları | 75 |
| 6.8. CBN KESİCİ UÇ KULLANILAN İŞLENEBİLİRLİK TESTİ SONUÇLARININ İNCELENMESİ | 79 |
| 6.8.1. Kesme kuvveti sonuçlarının incelenmesi | 79 |
| 6.8.2. Bileşke kesme kuvveti için ideal kesme şartları | 82 |
| 6.8.3. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları | 87 |
| | |
| BÖLÜM 7 | 93 |
| SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 93 |

| | <u>Sayfa</u> |
|-----------------|---------------------|
| KAYNAKLAR | 97 |
| ÖZGEÇMİŞ | 109 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| Şekil 2.1. YKBDD'in mikroyapısı | 8 |
| Şekil 2.2. Krom/Karbon oranı arasındaki ilişki..... | 10 |
| Şekil 2.3. Fe-Cr-C diyagramında katı-sıvı ara yüzeyi..... | 17 |
| Şekil 3.1. Tribolojik sistemin şematik olarak gösterilişi | 22 |
| Şekil 3.2. Bir ara yüzeyin kesilmesi sırasında kırılmanın (1 ve 2) olasılıklarının şematik gösterimi | 24 |
| Şekil 3.3. Abrasiv aşınmanın şematik gösterimi | 25 |
| Şekil 3.4. Kayma aşınması için kullanılan geometrik düzenekler | 28 |
| Şekil 3.5. Test cihazlarında temas biçimleri..... | 28 |
| Şekil 4.1. Dik (Orthogonal) kesme, Eğik (Oblique) kesme | 36 |
| Şekil 4.2. Dik kesme modeli | 36 |
| Şekil 4.3. Basitleştirilmiş kesme işlemi..... | 37 |
| Şekil 4.4. Merchant Modeli | 38 |
| Şekil 4.5. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri | 39 |
| Şekil 4.6. Yüzey pürüzlülük profili | 40 |
| Şekil 4.7. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri | 40 |
| Şekil 4.8. Uç yarıçapının yüzey kalitesine etkisi..... | 41 |
| Şekil 4.9. İlerleme oranının yüzey kalitesine etkisi..... | 42 |
| Şekil 5.1. Dökümden çıkmış iş parçası | 45 |
| Şekil 5.2. Aşınma diski..... | 46 |
| Şekil 5.3. Aşınma test cihazının şematik görünümü | 48 |
| Şekil 5.4. TDJNR 2525M15 kater..... | 50 |
| Şekil 5.5. DDJNR 2525M15 kater | 51 |
| Şekil 5.6. KYOCERA DNGA150604T02025 Seramik kesici uç | 51 |
| Şekil 5.7. KYOCERA DNGA150404S01225 CBN kesici uç | 51 |
| Şekil 6.1. Malzemelere ait mikroyapı SEM görüntüleri | 54 |
| Şekil 6.2. Krom oranı % 10 olan numunenin SEM ve EDS görüntüleri..... | 54 |
| Şekil 6.3. Krom oranı %14 olan numunenin SEM görüntüleri ve EDS sonuçları ... | 55 |

| | |
|---|----|
| Şekil 6.4. % 10 Cr'lu beyaz dökme demire ait XRD analiz sonucu | 57 |
| Şekil 6.5. % 12 Cr'lu beyaz dökme demire ait XRD analiz sonu | 57 |
| Şekil 6.6. % 14 Cr'lu beyaz dökme demire ait XRD analiz sonu | 58 |
| Şekil 6.7. Numunelere ait mikro sertlik değişimleri | 58 |
| Şekil 6.8. Uygulanan yüke bağlı olarak gerçekleşen aşınma kaybı ve aşınma oranı değerleri | 61 |
| Şekil 6.9. % 10 Cr'lu alaşımların aşınma yüzeyi SEM görüntüleri | 62 |
| Şekil 6.10. 120 N yük altında aşınmış numunenin SEM görüntüsü 1 ve 2 nolu bölgeden alınan EDS sonuçları | 63 |
| Şekil 6.11. %12 Cr'lu alaşımdan üretilen numunelerin aşınma yüzeyi SEM görüntüsü | 63 |
| Şekil 6.12. %14 Cr'lu alaşımın aşınma yüzeyi SEM görüntüleri | 64 |
| Şekil 6.13. Kistler 9257B tipi dinamometre ile zamana bağlı ölçülen kesme kuvvetleri | 66 |
| Şekil 6.14. Kesme kuvvetleri grafiği | 68 |
| Şekil 6.15. Krom oranı, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin bileşke kesme kuvvetine etkileri | 71 |
| Şekil 6.16. Bileşke kesme kuvveti için değişkenlerin S/N oranları | 73 |
| Şekil 6.17. Krom oranı, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri | 77 |
| Şekil 6.18. Yüzey pürüzlülüğü için değişkenlerin S/N oranları | 78 |
| Şekil 6.19. Kesme kuvvetleri grafiği | 81 |
| Şekil 6.20. Krom oranı, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin bileşke kesme kuvvetine etkileri | 84 |
| Şekil 6.21. Bileşke kesme kuvveti için değişkenlerin S/N oranları | 86 |
| Şekil 6.22. Krom oranı, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri | 89 |
| Şekil 6.23. Yüzey pürüzlülüğü için değişkenlerin S/N oranları | 91 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Çizelge 2.1. 25-32 mm kesitli yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirlerin çeşitli mekanik özellikleri | 7 |
| Çizelge 2.2. YKBDD'in yapısında oluşan fazlar ve kafes yapıları | 17 |
| Çizelge 2.3. Fe-C-Cr sisteminin sıvılaşıma yüzeyindeki kritik noktalarda oluşan reaksiyonlar | 18 |
| Çizelge 3.1. Çeşitli malzemelerin öğütme ve oyuk aşınma performansı..... | 32 |
| Çizelge 5.1. %10 Cr oranına sahip baganın kimyasal analizi | 45 |
| Çizelge 5.2. %12 Cr oranına sahip baganın kimyasal analizi | 46 |
| Çizelge 5.3. %14 Cr oranına sahip baganın kimyasal analizi | 46 |
| Çizelge 5.4. BSD torna tezgahının teknik özellikleri..... | 49 |
| Çizelge 5.5. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri..... | 49 |
| Çizelge 5.6. Mahr yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri | 50 |
| Çizelge 6.1. Numune yoğunluk Değerleri..... | 59 |
| Çizelge 6.2. Kesme kuvvetleri | 67 |
| Çizelge 6.3. F_R değerleri ve S/N oranları | 70 |
| Çizelge 6.4. Bileşke kesme kuvveti faktörleri için S/N oranları | 74 |
| Çizelge 6.5. Bileşke kesme kuvveti S/N oranları için ANOVA analizi..... | 74 |
| Çizelge 6.6. Yüzey pürüzlülüğü değerleri ve S/N oranları | 75 |
| Çizelge 6.7. Yüzey pürüzlülüğü faktörleri için S/N oranları | 79 |
| Çizelge 6.8. Yüzey pürüzlülüğü ANOVA analizi..... | 79 |
| Çizelge 6.9. Kesme kuvvetleri | 80 |
| Çizelge 6.10. F_R değerleri ve S/N oranları..... | 83 |
| Çizelge 6.11. Bileşke kesme kuvveti faktörler için S/N oranları..... | 86 |
| Çizelge 6.12. Bileşke kesme kuvveti S/N oranları için ANOVA analizi | 87 |
| Çizelge 6.13. Yüzey pürüzlülüğü değerleri ve S/N oranları | 88 |
| Çizelge 6.14. Yüzey pürüzlülüğü faktörleri için S/N oranları | 92 |
| Çizelge 6.15. Yüzey pürüzlülüğü ANOVA analizi..... | 92 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

| | |
|--------------------|---|
| g | : Gram |
| km | : Kilometre |
| m | : Metre |
| cm | : Santimetre |
| μm | : Mikron |
| Ω | : Ohm |
| $^{\circ}\text{C}$ | : Derece |
| N | : Newton |
| γ | : Östenit fazı |
| α | : Ferrit fazı |
| Wa | : Aşınma oranı |
| ΔG | : Ağırlık kaybı |
| M | : Yükleme ağırlığı |
| S | : Aşınma yolu |
| d | : Yoğunluk |
| Vs | : Bir km aşınma yoluna tekabül eden yükseklik kaybı |
| t ₁ | : Kesme derinliği |
| V | : Kesme hızı |
| α | : Takım talaş açısı |
| ϕ | : Kayma açısı |
| β | : Sürtünme kuvveti |
| F _c | : Esas kesme kuvveti |
| F _r | : Radyal kuvvet |
| F _f | : İlerleme kuvveti |
| F _R | : Bileşke kesme kuvveti |
| R _a | : Yüzey pürüzlülüğü |

KISALTMALAR

| | |
|-------|---|
| YKBDD | : Yüksek kromlu beyaz dökme demir |
| PC | : Primary carbides (Birincil karbürler) |
| EC | : Eutectic carbides (Ötektik karbürler) |
| HRc | : Hardness rockwell C (Rockwell C sertlik) |
| HV | : Vicker sertlik |
| ASTM | : American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu) |
| DIN | : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları) |
| SEM | : Scanning electron microscopy (Tarama elektron mikroskop) |
| EDS | : Energy dispersive X-ray spectroscopy (Enerji dağılımlı X ışını Spektroskopisi) |
| XRD | : X-Ray Diffraction (X-R Yayınımı) |
| CBN | : Cubic Boron Nitride (Kübik Bor Nitrür) |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Otomotiv sektöründe (özellikle motor kısmında), daha hafif ve dayanıklı malzemelerin kullanılmasıyla birlikte, motoru oluşturan parçaların üretiminde kullanılan malzemelerin seçimi de önemli hale gelmektedir. Bagalar, farklı motor seçeneklerine (örneğin; benzinli, dizel ve LPG'li motorlarda) bağlı olarak (maruz kaldıkları çalışma şartlarının), motor performansını ve kullanım ömrünü etkilemektedir. Baga malzemelerinin kimyasal kompozisyonları, motor performansının ve kullanım ömrünün artırılmasındaki en önemli faktörlerden biridir.

Valf ve бага üreticileri devamlı olarak motor üreticileriyle birlikte çalışarak, valf ve bagaların çalışma ömrünü arttırmayı amaçlamaktadırlar. Baga üretimde ve tasarımında kaydedilen ilerlemeler, motorun dayanıklılığını ve performansını büyük ölçüde arttırmıştır [1]. Bagalar, supap kapalı iken, supap için bir temas yüzeyi oluşturan ekipmanlardır. Motor silindirlerinin çalışması sırasında, supap-baga temas yüzeyleri arasında tam temas sağlanmaktadır. Böylece, yanma odasında sızdırmazlık sağlanarak, basınç kaybı önlenmektedir. Bu nedenle de, bagalarda meydana gelen aşınmalar, motor performansını olumsuz olarak etkilemektedir [2]. Valf kalitesinin ve ömrünün artırılması, buna bağlı olarak da motorlarda elde edilen performansın geliştirilmesi, valf ve motor üreticilerin birleştiği ortak hedeftir. Supaplar ve bagalar, motorlarda ağır çalışma şartlarında çalışan parçalardır. Basınç altında ve sürekli yüksek sıcaklık şartlarında çalışmaları için egzoz supaplarından, hiçbir bozunmaya uğramadan işlevlerini yerine getirmesi beklenmektedir. Bu nedenle de hem supapların, hem de bagaların kırılmaya, korozyona ve de özellikle aşınmaya karşı dayanımlarının yüksek olması gereklidir. Bu parçaların görevlerini tam olarak yapabilmesi için, sert metallere veya ısı ile sertleştirilmiş metal ve alaşımlarından üretilmektedir. Genellikle bu parçaların üretimleri, ısı ve aşınma direnci yüksek özel alaşımlı çelikler kullanılarak yapılmaktadır. Motorlar, güç şartları altında çalışmaları sebebiyle, özel

alaşımli çeliklerden üretilen bagaların bozunma ve aşınmaya uğramamaları için, soğutulmaları gerekir (eğer soğutma işlemi için uygun koşullar sağlanmazsa, mekanik dayanımlarını kaybederek, hızlı aşınır ve sızdırmazlık işlevini de kaybederler).

Bagalar, farklı üretim yöntemleri kullanılarak üretilmektedir. Bu parçalar, toz metalurjisi ve döküm yöntemi ile üretilmektedir [3]. Toz metalurjisi ile yapılan üretimlerde karşılaşılan en büyük problem, üretilen parçalarda tam yoğunluğa ulaşamamasıdır. Ayrıca, tam yoğunluğa (%100) ulaşılması için ilave işlemlere ihtiyaç duyulması, üretim maliyetlerini de arttırmaktadır. Bu nedenle, бага üretiminde en çok tercih edilen yöntem, döküm yöntemidir. Döküm yöntemiyle üretilen bagalar, motor içerisinde ağır şartlarda çalıştığı için, bu parçalarda aşınma tipi hasarlar oluşmaktadır. Meydana gelen aşınmayı azaltmak amacıyla bu parçalar, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerden (YKBDD) üretilmektedir. Bu malzemeler, aşınma ve korozyon direncinin yüksek olması istenen makine elemanlarının (sulu çamur pompaları, öğütücü ve kırıcı elemanlar ve de çimento boruları gibi) üretiminde kullanılmaktadır [4-7]. Döküm işlemi sırasında, YKBDD'lerin yapısında oluşan krom karbürlerin, malzemenin mekanik özelliklerini ve aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir [8]. Döküm sonrası mikroyapı, östenit ve M_7C_3 karbürlerden (ötektikten) oluşmaktadır [9]. Aşınma direnci genellikle, matrisin mikro yapısına, karbür türlerine ve boyutuna, morfolojisine, dağılımı ve yönlenmesi gibi, yapısal özelliklere bağlıdır. İlâveten, yapıda oluşan karbürlerin hacim oranı, kırılma tokluğunu, alaşımın sertliği de aşınma direncini etkilemektedir. Malzeme üzerine etkiyen yük koşulları, tribolojik çevre özellikleri, temas yüzeyindeki hareket, abrasiv yüzeylerin büyüklüğü ve türü de, bu malzemenin aşınmasını etkileyen çevresel etkenlerdendir [10].

YKBDD'lerin yapısında aşınmayı engelleyen en önemli faz, alaşımın katılaşması sırasında yapıda oluşan sert M_7C_3 türü karbürlerdir. Matriste aşınma meydana geldiğinde, gerilmeye maruz kalan sert karbürlerde de kırılmalar olmaktadır. Bazı durumlarda, kırılan karbürler yumuşak matris içine gömülerek sert bir yüzey tabakası oluşturmaktadır [10]. Motorlardan beklenen yüksek performans ve artan alternatif yakıt (örneğin LPG gibi) kullanımı nedeniyle, bagalarda ciddi aşınma hasarları meydana gelmektedir. Bagaların çalışması sırasında, mekanik olarak üç türlü ciddi

hasar oluşmu gerçekleşmektedir. Bunlar, adhesiv aşınma, abrasiv aşınma ve termal etkenlerden kaynaklanan plastik deformasyondur [11-13]. Bagalar, bileşiminde yüksek oranda Cr, Ni, Si ve diğer bazı elementlerin de bulunduğu çelik alaşımlarından ve stellite adı verilen yüksek ısıya dayanıklı özel alaşımlı çeliklerden üretilmektedir. Son yıllarda yüksek maliyetli özel alaşımlı çeliklerin yerine, bu malzemelere yakın özelliklere sahip YKBDD'ler baka üretiminde kullanılmaya başlamıştır.

Geleneksel üretim yöntemlerinden biri olan talaşlı imalat, geçerliliğini ve önemini korumaya devam etmektedir. Talaşlı imalatın en önemli ve yaygın uygulamalarından biri olan tornalama işlemi ile silindirik iş parçaları üzerinden talaş kaldırılarak, iş parçalarına istenilen geometrik ve boyutsal özellikler kazandırılabilir. Fakat, ürünlerin sadece istenilen geometrik biçimlere getirilmesi, talaşlı imalat sürecinden beklentileri karşılamamaktadır. Üretilecek üründe optimal yüzey kalitesinin sağlanması gerekmektedir. Bunun iki nedeni vardır. Birincisi, ürünün kullanımı sırasında yüzey kalitesinden dolayı, görsel ve biçimsel kusurunun oluşmamasıdır. İkincisi ise, yüzeyde hatalardan dolayı ürünün işlev kaybına sebebiyet vermemesidir. Yani, yüzeyde oluşabilecek izlerin çentik etkisi yapması sonucu, üründe deformasyon ve hatta zamanla yorulma adı verilen hasar mekanizmasının gerçekleşmesidir.

İmalat sektöründe üretimi yapılan sertleştirilmiş malzemeler, yüksek dayanımlarından dolayı, yoğun bir kullanım alanına sahiptir. Sertleştirilmiş malzemelerin tornalanması, yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahip kesici takımlar kullanılarak yapılmaktadır. Sert tornalama, sertlikleri 50-70 HRC arasında değişen iş malzemelerde düzgün bir yüzey elde edilmesi için uygulanan bir talaşlı imalat sürecidir. Elde edilen yüzey kalitesi ve kolay bir imalat metodu olması nedeniyle, taşlama işlemine göre avantajlıdır. Sert malzemeleri tornalama teknolojisi, taşlama işleminin maliyetinden dolayı endüstride rulmanların, hareket ileten millerin, aksların, kalıp malzemelerinin ve çeşitli motor ekipmanlarının imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır [14].

Sert tornalama işlemi ile taşlama işlemi ile kıyaslandığında, işlem süresinin kısa olması, kaldırılan talaş miktarının fazla olması, kesme sıvısının bazı durumlarda kullanılmaması, karmaşık geometriye sahip parçaların kolaylıkla işlenmesi ve işlenmiş parçalarda basma tipinde kalıcı gerilmeler oluşturması gibi üstünlüklere sahip olduğu

görülmektedir. Sert tornalama işlemi uygulanmış parçalarda oluşan yüksek seviyede ki basma türü, (kalıcı gerilmeler) yorulma ömrünü önemli oranda artırmaktadır. Fakat, kesici takım aşınmasında kaynaklanan iş parçası boyutlarındaki değişim ve aşınan kesici ucun işlenmiş yüzeyde oluşturduğu beyaz katman ve sıkı tolerans gereksinimleri, sert tornalama işleminin olumsuz yönleridir. Sert tornalam işleminin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için uygun kesici takım malzemelerinin, takım geometrisinin ve işleme parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Endüstride kullanılan malzemelerinin yüksek maliyetleri sebebiyle servis şartlarının uzun olması istenmektedir. Malzemelerin servis ömrünün uzun olması için, mekanik özelliklerinin ve aşınma dayanımlarının artırılması gerekmektedir. Özellikle otomotiv sektöründe kullanılan parçaların büyük bir kısmı, sürtünme ile çalışan parçalardan oluşmaktadır. Sürtünme ile çalışan parçaların temas yüzeylerinde görülen en yaygın hasar türü ise aşınmadır. Bu nedenle, aşınma problemini minimize etmek ve parçaların servis ömrünü arttırmak için aşınma dayanımlarının iyileştirilmesi, parça tasarımı ve üretiminde dikkate alınması gereken en önemli aşamadır. Aşınma hasarı nedeniyle meydana gelen maddi zararlara ve iş kayıplarına neden olan makine parçalarının üretiminde, YKBDD yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. YKBDD'in aşınma özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla alaşımın kimyasal bileşimine farklı alaşım elementleri ilave edilmekte veya ilave edilen alaşım elementlerinin miktarı değiştirilmektedir. Bazı durumlarda bu iyileştirme işlemleri, farklı (ısı) işlemler kullanılarak da yapılabilmektedir [15,16].

Son yıllarda yakıt tasarrufu amacıyla alüminyum motor bloklarının üretiminin yaygınlaşması, bazı parçalardan beklenen performansında artırılmasını da gerekli hale getirmektedir. Bu çalışmada otomotiv endüstrisinde kullanılan subap bagalarının mevcut imalatının iyileştirilebilmesi için alaşım içerisine ilave edilen Cr miktarının alaşımın aşınma davranışına ve işlenebilirlik parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Otomotiv sektöründe kullanılan (ihtiyaç duyulan) subaplarda, farklı motor seçenekleri söz konusu olduğunda meydana gelen aşınma durumları incelenmiştir.

Bu çalışma iki ana bölümden oluşmaktadır. Birinci kısımda farklı krom oranına (%10, %12, %14) sahip yüksek kromlu dökme demirlerin mikroyapısal özellikleri ve aşınma davranışları incelenmiştir. İkinci bölümde ise malzemenin işlenebilirlik davranışları incelenmiştir.

İki kısımdan oluşan bu tez toplam yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, giriş bölümüdür. Yapılan çalışmanın genel bir özetini içermektedir. İkinci bölüm YKBDD'in özelliklerini kapsamaktadır. Üçüncü bölümde aşınma, aşınma deney yöntemlerinden, aşınma ölçüm metotları ve YKBDD'in aşınma davranışları incelenmiştir. Dördüncü bölümde işlenebilirlik, talaşlı imalat mekaniği, yüzey pürüzlülüğü, kesici takımlar hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde deneysel çalışmaların yapımında kullanılan cihaz ve ekipmanlar, deney tasarımı ve materyal metottan bahsedilmiştir. Altıncı bölümde, çalışmada elde edilen deneysel verilerin tablo ve grafiklerle sunularak yorumlandığı ve ideal işleme şartlarının değerlendirildiği ve tartışıldığı kısımdır. Son bölümde tez çalışmasının sonuçlar ve daha sonra yapılacak olan çalışmalar için öneriler verilmiştir.

BÖLÜM 2

YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLER

2.1. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Yüksek aşınma direncine sahip beyaz dökme demirler, kararlı karbür yapısı oluşturmak için krom ile alaşımlandırılmaktadır. Krom, karbonla birlikte karbür yaparak, kararlı ve karbonca zengin ötektik fazı oluşturmaktadır. Genellikle yapıda Fe_3C ve Cr_7C_3 halinde bulunan karbürler, alaşımın kimyasal bileşiminde karbür yapıcı elementlerin bulunması ile daha karmaşık yapılar olan $(Cr, Fe)_7C_3$ ve $(Fe, Cr)_3C$ 'a dönüşebilmektedirler. Beyaz dökme demirde yüksek krom miktarı ($>10\%$) ile yapıda kararlı M_7C_3 karbürler oluşmaktadır [17-20]. Mikroyapıda yer alan M_7C_3 tipi ötektik karbürler alaşıma kırma ve öğütme gibi alanlar için gerekli yüksek sertliği ve aşınma direncini sağlamaktadır. Bu özelliği ile YKBDD'ler aşınmanın söz konusu olduğu uygulamalarda vazgeçilmez malzemeler olarak kabul edilmektedir [21].

2.2. FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Artan karbon miktarına bağlı olarak yoğunluklarında azalma görülen beyaz dökme demirlerde, yapıda kalıntı östenit artışıyla yoğunluk da artmaktadır. YKBDD'in yoğunluğu genellikle $7.5-7.8 \text{ g/cm}^3$ arasındadır. Isıl genleşme katsayıları $20-425 \text{ }^\circ\text{C}$ aralığı için, $13.5-18 \text{ } \mu\text{m/m.}^\circ\text{C}$ 'dir [22].

2.3. MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Çentikli veya çentiksiz darbe testleri YKBDD'in, düşük alaşımlı beyaz dökme demirlerden daha tok olduğunu göstermektedir. Karbon miktarı artışı ise, darbe direncini düşürmektedir [22]. Karbon miktarındaki artış ile, martenzitik beyaz dökme

demirlerde kırılma tokluğu azalmaktadır [22]. Çizelge 2.1’de 25-32 mm kesitli yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirlerin bazı mekanik özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2.1. 25-32 mm kesitli yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirlerin bazı mekanik özellikleri [22].

| Matris | %C | Sertlik (HRC) | Çekme Özellikleri Modül (N/mm ²) | Basma Özellikler Modül (N/mm ²) |
|------------------------------------|------|---------------|--|---|
| Su verilmiş ve Temperlenmiş (M, Ö) | 2.51 | 61.7 | 25.9 | 183 |
| (M, Ö) | 3.68 | 62.8 | 23.2 | 122 |
| | 3.32 | 64.6 | 23.7 | 226 |
| | 2.89 | 63.8 | 22.6 | 187 |
| Ö | 2.51 | 47.1 | 22 | 75 |
| %66 (M+Ö) %34 P | 3.6 | - | 23.4 | 68.9 |
| %71 (M+Ö) %29 P | 3.6 | 56.4 | 23 | 131 |
| %96 Ö %4 P | 3.32 | 46.3 | 22.5 | 70 |
| M+Ö | 2.89 | - | 23.8 | 83.4 |
| Fırında Soğutulmuş (P) | 3.6 | 41.8 | 24.3 | 48.2 |

2.4. MİKROYAPI

Beyaz dökme demirlerin sahip oldukları yüksek aşınma dirençleri, mikro yapıları ile ilişkilidir. Mikroskobik ölçekte birçok aşınma olayı, aşındırıcı tanelerden birinin, metalin yüzeyine batması, deformasyona uğraması ve aşınma çizikleri oluşturması ve yüzeyden parçalar koparmasıyla gerçekleşmektedir. Bunun kesme veya oyma gibi bir mekanik işleme, aşınma parçacıklarının ise talaşlı imalat ile oluşan işleme talaşlarına benzediği görülmektedir. Aşınma mekanizmasının gerçekleşebilmesi için aşındırıcı tanelerin metalden daha sert olması gereklidir [23,24].

Eğer aşındırıcı taneciklerin sertliği metal malzemeden daha düşük ise süreç, korozyon veya oksidasyona benzemektedir. YKBD’ın mikro yapısı, östenit veya onun

dönüşüm ürünlerinden oluşan, süreksiz ötektik demir-krom karbürler $(Cr, Fe)_7C_3$ ve kromca zengin ikincil karbürlerden oluşmaktadır [22]. Şekil 2.1’de YKBDD’in mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 2.1. YKBDD’in mikroyapısı; (PC: birincil karbürler, EC: ötektik karbürler, M: martenzit) [25].

YKBDD’de tipik mikro yapı, östenitten martenzite dönüşüm sonucunda sertleşme için yeterli karbon içeren (matrise dağılmış) yüksek sertlikteki krom karbürlerden meydana gelmektedir. Buna ilaveten, yapıda bir miktar östenit ve martenzit fazı da bulunmaktadır. Bu dönüşüm, su verme işlemi sonrasında meydana gelmektedir. Bu malzemeler temperleme işlemi sonrasında, oda sıcaklığı koşullarında ve ayrıca 500°C’nin altındaki sıcaklıklarda çalışabilmektedir [26]. Beyaz dökme demirler ötektik altı beyaz dökme demirler, ötektik beyaz dökme demirler ve ötektik üstü beyaz dökme demirler olarak üçe ayrılmaktadır.

2.4.1. Ötektik Altı Beyaz Dökme Demirler

Ötektik altı YKBDD’in döküm mikro yapısında, östenit, dentrit (martenzit, perlit ve beynite kısmı dönüşümle) ve dentritler arası ötektik karbürler ve kısmen dönüşmüş

östenit bulunmaktadır. Ötektik bileşime yakın alaşımlarda dentritik yapı azdır veya hiç görülmemektedir [27].

2.4.2. Ötektik Beyaz Dökme Demirler

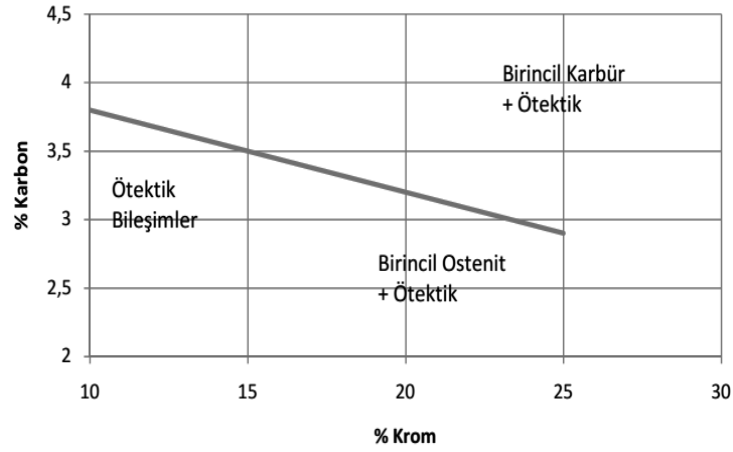
Krom, güçlü bir karbür yapıcı olduğundan dolayı, ötektik karbür yapısına fazlasıyla etki etmektedir. M_3C 'den M_7C_3 'e değişen ötektik karbür formunda krom içeriği, %10-12'nin üzerinde artmaktadır. Her iki türdeki ötektik karbür için, alaşımda artan krom içeriği karbür sertliğini artırırken, karbürleri elementler ve demir karbon oranını etkilemektedir [27].

2.4.3. Ötektik Üstü Beyaz Dökme Demirler

Ötektik üstü alaşımlarda genellikle katılaşma ilk olarak, birincil M_7C_3 bölgesinde gerçekleşmektedir. $\gamma+M_7C_3$ ötektik reaksiyonunu takiben, kaba ikincil karbürler oluşmaktadır. Ötektik üstü alaşımlarda, karbür hacminin artması nedeniyle, aşınma direnci azalmaktadır. Alaşımın yapısında artan karbür hacmi ile birlikte, bu karbürler ağır servis şartlarında kırılarak deformasyona neden olmaktadır. Parçalanmış bu karbürler de matrisi aşındırarak, alaşımın aşınma direncini azaltmaktadır [27].

2.5. KARBÜRLER

YKBDD yapıda bulunan krom karbürlerin etkisiyle, yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahiptirler. Mikroyapıda iki farklı karbür bulunmaktadır. Bunlar, süreksiz ötektik karbürler ve ikincil karbürlerdir. Karbürler mikroyapıda hacimce % 40-50 oranındadır. Şekil 2.2.'de krom/karbon oranının yapıdaki karbürlerle ilişkisi görülmektedir. Bunun dışında kalan kısım, matristir. Oluşan karbürler, matristeki krom/karbon oranı ile belirlenmektedir. Yapıdaki yüksek krom içeriği, karbürleri daha kararlı hale getirmektedir [28].



Şekil 2.2. Krom/Karbon oranındaki ilişki [31].

Alaşımli beyaz dökme demirler, aşınmaya karşı olan dirençlerini, mikroyapı içindeki sert ötektik karbürlerden almaktadırlar. Bu alaşımların aşınma dayanımı ve kırılma tokluğu sert karbürlerin, tipi, oranı ve morfolojisi ile dentritik ve ötektik matris yapısına bağlıdır. Aşınma direnci için tercih edilen dökme demirlerin çoğunluğu, ötektik altı ve birincil östenit fazın sahiptir. Katılma, birincil östenitin çekirdeklenmesi ve büyümesini takiben, östenit ve karbürlü ötektik yapıya dönüşmesiyle olmaktadır [29].

Krom miktarı % 6'nın altında olduğunda ötektik karbür, sürekli ledebürit ötektik olarak büyüyen M_3C 'den oluşmaktadır. Ötektik M_3C karbürlerin, sürekli olmaları nedeniyle, kırılma dayanımları da sınırlıdır. Bu yüzden sadece darbesiz ortamlarda, düşük kuvvetli mekanik aşınma şartlarında kullanılmaktadırlar. Krom miktarı % 8-10 arasındaki yüksek kromlu dökme demirlerde, daha düşük ve sürekli dubleks ötektik karbürler oluşmaktadır. Bu karbürler, M_3C karbür katmanları tarafından çevrelenmiş M_7C_3 karbürleridir. Bu sayede, alaşımın aşınma dayanımı da artmaktadır. Krom miktarı % 12'nin üstüne çıktığında, yapıda orta kabalıkta ve lifli M_7C_3 karbürleri oluşmaktadır. M_7C_3 karbürleri yüksek sertliğe ve süresiz olan yapısı nedeniyle, yüksek kromlu alaşımları daha fazla aşınma ve darbe direnci sağlamaktadır [30,31].

2.6. MATRİS

Aşınma direnci ve tokluğun yüksek olması, beyaz dökme demirin mikro yapısına bağlıdır. Matris için yapılabilecek en iyi seçim, ikincil karbürlerle sertleştirilmiş yüksek karbonlu sert martenzittir. Diğer bir alternatif ise ısıtma işlemleriyle yapıda oluşan kalıntı östenittir [22]. Karbon artışı ile birlikte martenzitin aşınma direnci de artmaktadır. Isıtma işlemi sonucu martenzitik matrisle dağılan ikincil karbürler, aşınma direncinde artışa sebep olmaktadır. Temperleme ile aşınma direnci de düşmektedir. Ayrıca YKBDD’de karbürler matris içinde dağılmaktadır. Matris sünek olduğunda (aşındığı için), sert karbürler matristen kopmaktadır. Bu durumda, karbürlerin aşınma direncine etkisi sınırlı olmaktadır. Yani, sünek matrisle karbürlerin kırılma eğilimi yüksek ve malzemenin aşınma direnci daha düşük olmaktadır. Ayrıca, matrisin akma noktası da düşmektedir. Sünek matris, sürtünme sırasında oluşan mekanik gerilmelere karşı karbürlere gerekli desteği sağlayamamaktadır. Sonuçta da karbürler kırılmaktadır. Bu nedenle mikro yapıdaki perlit miktarı önemlidir. Beyaz dökme demirlerde mikro yapıda bulunan perlit miktarı %10’u aştığında, malzemenin aşınma direnci de azalmaktadır [23].

Martenzitik yapı, mekanik gerilmeler veya sıcaklık artışlarının etkisiyle, östenitik veya kısmi östenitik matris tekrar kararsız hale gelmektedir. Bu faz dönüşümleri sonucu oluşan hacimsel değişiklikler, malzemenin kırılmasına veya yüzeyde mikro çatlakların oluşmasına yol açmaktadır.

2.6.1. Alaşım Elementlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi

2.6.1.1. Karbon

Yüksek kromlu demir alaşımlarında karbonun temel fonksiyonu, karbür oluşturmaktır. Karbon, ötektik karbon miktarını da etkilediği için, malzemenin sertliğini belirlemede önemli rol oynamaktadır. YKBDD’de karbon miktarı (% 15 Cr için) % 2.2-3.5, % 27 Cr için % 2.2-2.7 aralıklarındadır. Beyaz dökme demirde karbon artışı, kırılma direncinin artmasına ve mukavemetin düşmesine neden olmaktadır. Karbon artışı sertliği arttırdığı için, aşınma direnci de artmaktadır [23].

2.6.1.2. Krom

Aşınmaya dirençli YKBDD’de krom, kararlı karbür yapısı oluşturarak, sertlik ve aşınma direncinin artırılması için kullanılmaktadır. Aynı zamanda krom sertleştirilebilirlik açısından da önemlidir.

Beyaz dökme demirlerde krom miktarı %10’u geçtiğinde, M_7C_3 tipi ötektik karbürler oluşmaktadır. Krom miktarı %10’dan az olan alaşımlarda ise, M_3C karbürleri oluşmaktadır. Yapıda krom miktarının artmasıyla beraber martenzit oluşma eğilimi başlamakta ve martenzitin hacimce oranı da artmaktadır. Bununla beraber, yüksek krom miktarı karbonun (martenzite) düzensiz bir şekilde dağılmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda, düşük karbonlu bölgeler martenzite ve yüksek karbonlu bölgeler ise perlitte dönüşmektedir. Böylece yüksek karbonlu bölgelerde, $M_{23}(B,C)_6$ fazı çökelmektedir.

YKBDD’de krom tek başına kullanıldığında perlit oluşumunu önleyemediğinden dolayı, yeterli sertleşme sağlayabilmesi için Mn, Ni, Mo gibi elementler ilave edilmektedir [10,19].

2.6.1.3. Molibden

Alaşımın kimyasal bileşimine % 3.5’e kadar molibden ilave edilmesi, aşınma direncini artırmaktadır. Ayrıca molibden östenitleme sıcaklığını düşürerek, ısıl işlemi kolaylaştırmakta ve perlit oluşumunu önlemektedir. % 12-18 Cr’lu beyaz dökme demirlerde, % 1-4 Mo ilavesi, yavaş soğuyan kalın kesitlerde perlit oluşumunu engellemektedir. Molibden, aynı zamanda beyaz dökme demirin aşınma direncini de arttırmaktadır. Aynı Cr içeriğine sahip ve tek fazlı matriste, molibden miktarının artmasıyla sertlik artarken, aşınma kaybı azalmaktadır. Bunun nedeni, molibdenin matrisin perlitlik olmasını engellemesidir [10].

2.6.1.4. Silisyum

Silisyum, yüksek kromlu dökme demirlerde % 1-3 arasında değişen oranlarda ilave edilmektedir. İlave edilen silisyum miktarı, dökme demirin kullanım alanı ve silisyumun temel etkileri göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Silisyum, YKBDD'in sertleşebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, silisyum miktarı arttıkça, ısıt işlem görmüş beyaz dökme demirin aşınma direnci de azalmaktadır. Ayrıca silisyum, mikro yapıdaki karbür yapısını da etkilemektedir.

Silisyum, alaşımının yapısındaki karbürlerin artmasına ve bu karbürlerin daha ince yapıllı olmasına yardımcı olmaktadır. Silisyum miktarındaki artışla birlikte karbürler, süreksiz ince taneli bloklar veya çubuklar haline gelmektedir. Bunun sonucunda da karbürler arası mesafe azalmaktadır. Karbürler arası mesafenin azalması (karbürler matrisi aşınmadan korur), malzemenin aşınma direncini arttırmaktadır. Bunun yanında artan silisyum ilavesi ile perlit oluşma ihtimali artmaktadır [32].

2.6.1.5. Bakır

Bakır, YKBDD'de perlit oluşumunun önlenmesi için alaşımın kimyasal bileşimine ilave edilmektedir. Östenit fazında bakırın çözünürlüğünün sınırlı olmasından dolayı, ilave edilen bakır miktarı maksimum % 2.5'tir. Bakır, genellikle molibdenle beraber kullanılmaktadır. Maksimum % 1.2 veya daha az bakır, % 0.5-2 molibden ile birlikte ilave edildiğinde perlit oluşumunu önlemektedir [23]. YKBDD'de aynı oranda bakır ilave edilerek molibden miktarı artırıldığında, sertleştirilebilirlik azalmaktadır [10].

2.6.1.6. Kükürt

YKBDD'de kükürt miktarı çok düşük olmalıdır. Optimum aşınma direnci için maksimum kükürt miktarı %0.03'tür. Bu miktarın üzerinde yapıda kükürt bulunması, aşınma direncini olumsuz etkilemektedir [23].

2.6.1.7. Fosfor

Fosfor, YKBDD'in tokluğunu düşürmektedir. Ayrıca kalın kesitli dökümlerde, molibdenin sertleştirici etkisini de azaltmaktadır. Yüksek kromlu dökme demirlerde fosfor miktarı % 0.3'ün altında olmalıdır [23].

2.6.1.8. Mangan

Yüksek kromlu dökme demirlerde mangan perlit oluşumunu önlemek için ilave edilmektedir. Mangan miktarı % 0.7'nin altında olmalıdır. Beyaz dökme demirde mangan miktarı % 1.5'i üzerinde olduğunda alaşımın tokluğunu, mukavemetini ve aşınma direncini azaltmaktadır. Bu miktarın üzerindeki manganın kalıntı östenit oluşturma ve kırılma riski söz konusudur [23].

2.6.1.9. Nikel

YKBDD'de nikel, perlit oluşumunun önlenmesi için ilave edilmektedir. Genellikle nikel miktarı, % 0.2-1.5 arasındadır. Ayrıca nikel, sertleşebilirliği de arttırmaktadır. Aşınma dirençli demir alaşımlarında nikel östeniti kararlı hale getirici etkisinden dolayı, nikel miktarı minimuma indirilebilir. Fakat ısı dirençli dökme demirlerde tokluğu arttırmak için, nikelin miktarı arttırabilmektedir [23].

2.6.1.10. Bor

Bor ve silisyum gibi alaşım elementleri, alaşımın yapısında oluşan karbürleri etkilemektedir. Bor, alaşımın yapısındaki karbürleri inceltir ve sürekli iğnesel şekle getirerek, aşınma direncini arttırmaktadır. Bu durum, bor miktarı % 0.12-0.3 arasında olduğunda geçerlidir. Bu sınırlar arasında bor ilavesi, malzemenin darbe direncini % 20 arttırmaktadır [32]. Bor miktarının artmasıyla birincil karbürler oluşmaktadır. Bu sebeple, bor ilavesi % 0.57 oranıyla sınırlıdır. % 28 Cr'lu beyaz dökme demirlerde bor ilavesi, karbür miktarını arttırmakta ve daha sert karbürlerin oluşmasına neden olmaktadır. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda, bor ilavesinin % 29 Cr'lu beyaz dökme demirlerde tokluğu azalttığı da belirtilmektedir [33,34].

2.6.1.11. Niyobyum

Niyobyum karbür yapıcı bir elementtir. % 0.01-0.5 oranında niyobyum ilavesi, beyaz dökme demirlerin mekanik özelliklerini ve aşınma direncini arttırmaktadır. Ayrıca niyobyum ilavesi, alaşımın tane yapısını inceltmektedir. İnce taneli yapı da, alaşımın aşınma direncini arttırmaktadır. Denge diyagramında niyobyum ilavesiyle ötektik nokta, sağa doğru kaymaktadır. Böylece demir alaşımı gevrek, kaba taneli birincil karbür görülmeksizin, daha fazla karbon içerebilmektedir [35].

2.6. 1.12. Vanadyum

Vanadyum, beyaz dökme demirlerin yapısında karbür oluşturu element olarak yer almaktadır. YKBDD'de düşük miktarda vanadyum ilavesi, aşınma direncini düşürmektedir. Vanadyum ilavesi ile beraber, birincil östenit miktarı azalmaktadır. Karbür morfolojisi ağa benzer bir yapıdan (poligonal yapıdan), çok açılı izole edilmiş kolonsal bir yapıya dönüşmektedir. Ayrıca karbür boyutları da küçülerek, düzenli bir hal almaktadır. Buna ilaveten vanadyum ilavesi ile beraber aşınma direnci, sertlik ve toklukta da artış görülmektedir [34].

2.6.1.13. Titanyum

YKBDD % 0.03-0.3 oranlarında titanyum ilavesi, yapıdaki birincil ve ötektik karbürlerin küreselleşme eğilimi göstermesine neden olmaktadır. Ti miktarının artması ile, TiC miktarı da artmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda birincil ve ötektik karbürler olarak ince TiC fazı çökelmektedir. Ayrıca Ti miktarının artması ile ötektik karbür oranı azalmakta ve matrisin sertliği de artmaktadır. Titanyum ilavesindeki artışla beraber aşınma direnci, sertlik ve toklukta da artış olmaktadır [34-37].

2.7. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN UYGULAMA ALANLARI

YKBDD çimento değirmenlerinde astar malzemesi olarak başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, cevher öğütmek için bilyalı değirmenlerde kullanılmaktadır.

Birçok alanda, YKBDD, östenitik Mn çeliklerinin veya su verilip temperlenmiş düşük alaşımlı çeliklerin yerini almaktadır [38].

Aşınmaya dirençli pompa üretiminde, YKBDD tercih edilmektedir. Bu alanda YKBDD'in düşük alaşımlı beyaz dökme demirlere göre üstünlüğü, sadece daha yüksek tokluk ve aşınma direncine sahip olmalarından değil, aynı zamanda daha iyi işlenebilirliğinden de kaynaklanmaktadır [38].

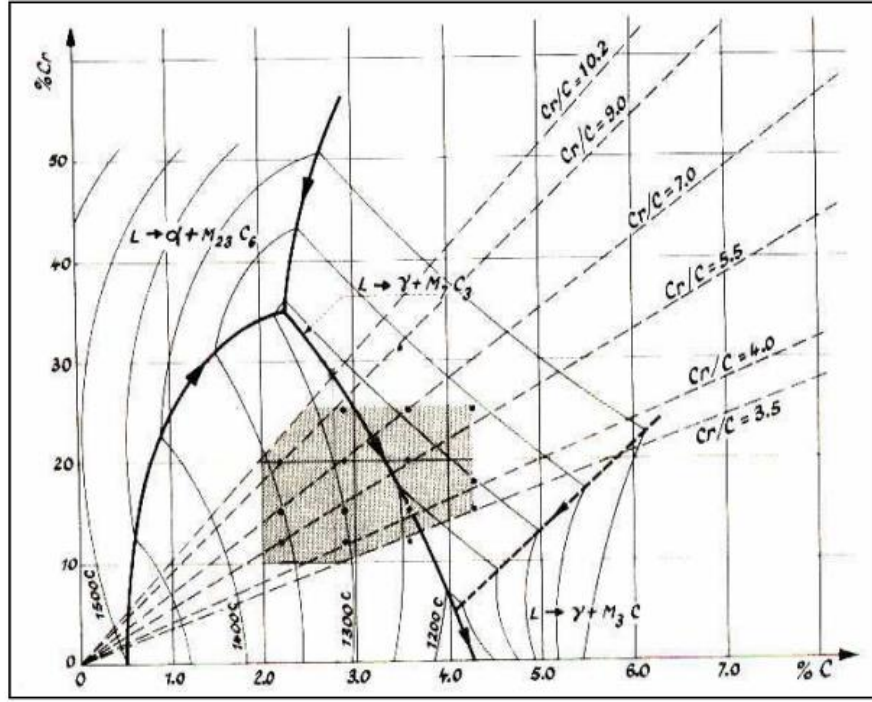
Yüksek krom-molibden içeren beyaz dökme demirlerdeki üstün aşınma direnci ve tokluk, bu malzemelerin aşınmaya maruz birçok uygulamada kullanılmasının nedeni olmaktadır. En başarılı uygulamalarından bazıları, darbe çubukları ve darbe kırıcıların dövücü bloklarıdır [38].

Maden ve mineral endüstri dışında yüksek krom ve molibdenli beyaz dökme demirler, merdaneli değirmenlerde önemli bir uygulama alanı bulmuştur. Şeritli değirmenler için işlem merdanelerinde, profil, çubuk ve tel üretiminde yüksek krom- molibdenli beyaz dökme demirler (artan oranda) kullanılmakta ve konvansiyonel merdane malzemelerinden daha iyi bir performans göstermektedir [23].

2.8. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE KATILAŞMA

2.8.1. Fe-Cr-C Sistemi

YKBDD'in üstün aşınma direnci ve mekanik özellikleri, mikro yapılarından kaynaklanmaktadır. Fe-Cr-C sistemine ait diyagram Şekil 2.3'te verilmiştir. Bu diyagram, γ (ostenit)- M_7C_3 bölgesini kapsayan şekilde ve iki peritektik çizgi ile sınırlanmış olarak verilmektedir. Diyagramda, Cr/C oranına bağlı olarak oluşan karbür tipleri görülmektedir. Ayrıca, diyagramda faz alanlarını gösteren eğrilerin durumu, soğuma hızına bağlıdır. Soğuma hızına bağlı olarak ötektik hücrelerin büyüklüğü değişmektedir. Düşük döküm sıcaklıkları ve hızlı soğuma koşullarında, ötektik hücreler küçülmektedir. Isıl işlemin ise ötektik hücrelerin morfolojine önemli etkisi olmamaktadır [39]. Şekil 2.3'te verilen denge diyagramında karbürler K_c , K_1 ve K_2 olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.3. Fe-Cr-C diyagramında katı-sıvı ara yüzeyi [39].

Bunlardan K_c karbürü; $M_3C(Fe, Cr)_3C$; K_1 karbürü: $M_{23}C_6 (Fe, Cr)_{23}C_6$ ve K_2 karbürü: $M_7C_3 (Fe, Cr)_7C_3$ karbürleridir [39,40]. Beyaz dökme demirler yüksek aşınma dayanımlarına karşın, içerdikleri yüksek karbür miktarı nedeni ile toklukları nispeten düşüktür. Alaşım elementleri seçimi ve miktarı, krom karbürün bileşimi, birincil ve ikincil karbür çökmesinin kontrolü, perlitik dönüşümün geciktirilmesi, martensit dönüşüm sıcaklığı üzerindeki etki gibi faktörler dikkate alınarak yapılmaktadır [41].

Ticari açıdan YKBDD'in çoğu, bileşim açısından östenit M_7C_3 bölgesinde bulunmaktadır. Aynı Cr/C oranına sahip bileşimindeki alaşımlar östenitleme sırasında benzer matris yapısı oluşturmaktadır. Karbür yapısı farklı olsa bile, aynı sıcaklıkta yapılan ısıtma işlemi benzer matris elde edilmektedir. Çizelge 2.2'de Fe-Cr-C sisteminden bulunan fazların kristal yapıları ve kafes parametreleri görülmektedir.

Çizelge 2.2. YKBDD'in yapısında oluşan fazlar ve kafes yapıları [42].

| Karbür | Yapı |
|--------------------------|------------|
| $K_c - (Cr, Fe)_3C$ | Ortorombik |
| $K_1 - (Cr, Fe)_{23}C_6$ | Kübik |
| $K_2 - (Cr, Fe)_7C_3$ | Hekzagonal |

Çizelge 2.3'te Fe-C-Cr sisteminin bazı kritik noktalarındaki reaksiyonları verilmektedir.

Çizelge 2.3. Fe-C-Cr sisteminin sıvılaşma yüzeyindeki kritik noktalarda oluşan reaksiyonlar [42].

| Sistem | %Cr | %C | Sıcaklık °C | Reaksiyon |
|---------|-----|-----|-------------|---------------------------------------|
| Fe-C-Cr | 34 | 2.4 | 1275 | $L+\alpha\rightarrow\gamma+M_{23}C_6$ |
| | 23 | 3.5 | 1255 | $L+M_{23}C_6\rightarrow\gamma+M_7C_3$ |
| | 8 | 3.8 | 1175 | $L+M_7C_3\rightarrow\gamma+M_3C$ |

Düşük Cr/C oranına sahip bileşimler, ısıl işlemlerde sıcaklık değişikliklerine, yüksek Cr/C oranına sahip alaşımlara göre daha hassastırlar. Ancak sıcaklık düşüşü ile beraber, bütün bileşimlerde östenitin Cr ve C oranı azalmaktadır [41].

2.9. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERDE KATILAŞMA YAPISI

YKBDD'de östenit ile M_7C_3 ötektiği arasındaki reaksiyon, katılaşma özellikleri, karbür morfolojisi ve bunun sonucunda malzemenin aşınma direncini ve ile tokluğunu etkilediği için, mekanik özellikler açısından önemlidir.

Ticari YKBDD, çoğunlukla ötektik altı bileşimdedir. Bu alaşımlar katılaşırken, ilk olarak östenit daha sonra M_7C_3 östenit ötektiği oluşmaktadır. Ötektik yapıdaki karbür dağılımı ve şekli, ötektiğin miktarı ve bileşimine bağlıdır [42, 43].

Ötektik karbürün mikro yapıdaki oranı düşük ise (% 20), ötektik karbürler östenit tane sınırlarında ayrışmaktadır. Bunlar, östenit tane sınırları boyunca uzanan levhalar ve tane içlerinde küçük çubuklar şeklinde oluşmaktadır. Ötektik karbür oranı arttıkça karbür lamelleri östenit tanelerinin içine doğru uzamaya başlamaktadır.

YKBDD'in diğer beyaz dökme demirlere göre daha iyi tokluk özelliği sergilemesi, M_7C_3 karbürlerinin, ötektik beyaz dökme demirlerdeki M_3C karbürleri gibi sürekli ağ yapısı oluşturmamasından kaynaklanmaktadır [44-46]. Bu nedenle ötektik yapının içindeki bu tür karbürlerin boyut ve dağılımı, YKBDD'in mekanik özellikleri

açısından önemlidir. Ötektik karbürlerin dağılımı ve şekli, metal döküm sıcaklığı, katılma hızı ve bileşim gibi parametrelere bağlıdır.

2.10. M₇C₃ KARBÜRLERİNİN ÖZELLİKLERİ

YKBDD'in kimyasal bileşimlerinde krom dışında molibden, titanyum, vanadyum gibi karbür yapıcı elementler de bulunmaktadır. Ancak, mikro yapıda genel olarak krom karbürler yer almaktadır. Karbürlerin yapısındaki krom miktarı, alaşımın Cr/C oranına bağlıdır. Alaşımın Cr/C oranı üç iken M₇C₃ tipi karbürler oluşmaktadır. Karbür yapıcı elementlerin bir kısmı M₇C₃ tipi karbürler oluştururken, kendi karbürlerini de oluşturmaktadır [41,46].

2.11. Fe-C-Cr ALAŞIMLARININ DÖKÜM MATRİS YAPISI

Yüksek karbonlu Fe-C-Cr alaşımlarında katılma sırasında (ötektik altı bileşimlerde), ilk olarak östenit dentritler oluşmaktadır. Daha sonra bu dentritler östenit M₇C₃ ötekiği tarafından çevrelenmektedir. Karbür oluşturan elementler, katılma sırasında ayrılmaktadır. Karbür yapıcı elementler karbür içinde yer alırken, silisyum gibi karbür yapısına girmeyen elementler ise ötektik çevresinde yer almaktadır. Fosfor ve kükür karbür yapısı içinde kısmen dağıldığında, karbür östenit ara yüzeyini zayıflatarak, çatlak oluşmasına ve ilerlemesine sebep olmaktadır [47].

2.11.1. Fe-C-Cr Alaşımlarının Katı Hal Reaksiyonları

M₇C₃ östenit bölgesindeki reaksiyonlar, YKBDD'lere uygulanan ısıl işlemler açısından çok önemlidir. Döküm sırasında oluşan östenit, oda sıcaklığında yarı kararlı durumdadır. Kalıntı östenit ise beyaz dökme demirin aşınma direncini olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden, kalıntı östenit içeren beyaz dökme demirlere östenitleme ısıl işlemi uygulanmaktadır. Bu işlemin amacı, kalıntı östenitdeki karbon ve krom miktarı azaltılarak oda sıcaklığına soğutulduğunda, martenzite dönüşümünün sağlanmasıdır [47].

2.11.2. İkincil M_7C_3 Karbürlerin Oluşumu

YKBDD'lerde 950-1030 °C arasındaki sıcaklıklarda, ikincil karbürler için çekirdeklenme süresi ortalama 20 sn'dir ve reaksiyon 4-6 saatte tamamlanmaktadır. Çökeltme sırasında çok az hacimsel daralma olmaktadır [47].

Sıcaklık, ikincil karbürlerin oluşum sürecinde en önemli etkidir. Karbürler etrafında meydana gelen rastgele çökeltme, 950 °C'nin altındaki sıcaklıklarda başlamaktadır. Daha sonra birçok östenit tanesinde görülmeye başlamaktadır. Sıcaklık yükselişiyile beraber rastgele oluşan çökelti bölgeleri azalarak kaybolmaktadır. İkincil karbür çökeltmesi sadece izotermal ısıl işleme değil, aynı zamanda sürekli soğuma sırasında da olabilmektedir. Bu yüzden, soğuma ne kadar yavaş olursa, karbür çökeltmesi o kadar fazla olmaktadır [47].

BÖLÜM 3

AŞINMA

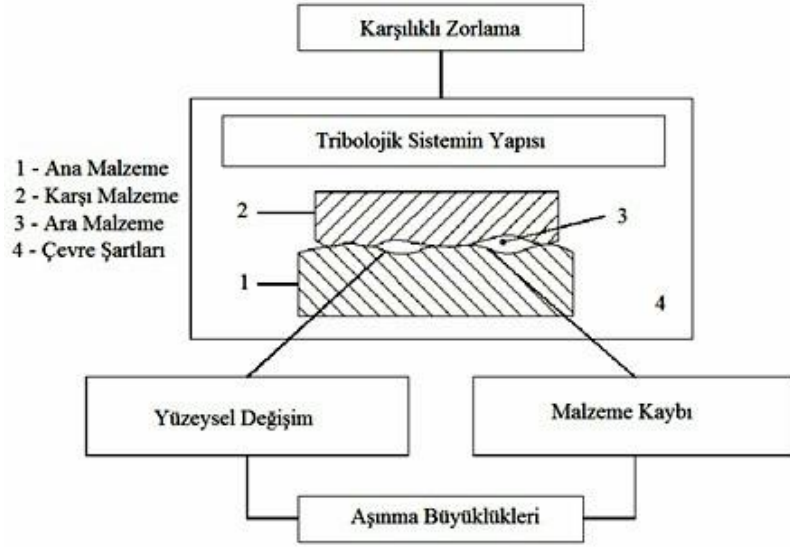
3.1. AŞINMANIN TANIMI

Aşınma, bir yüzeyden diğer bir yüzeye malzeme transferi veya aşınma parçalarının oluşması sonucunda ortaya çıkan malzeme kaybı olarak ifade edilmektedir. DIN 50320'de aşınma; "kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması suretiyle meydana gelen değişiklik" olarak tanımlanmaktadır [48]. Benzer şekilde bir aşınma tanımı da aşınma ve erozyonla ilgili terminolojiyi içeren ASTM G-40-93 standartlarında verilmektedir [49].

Bir aşınma sisteminde;

- Ana malzeme (aşınan),
- Karşı malzeme (aşındıran),
- Ara malzeme,
- Yük,
- Hareket,

bulunmaktadır. Aşınmanın temeli belirtilen bu beş temel unsurdan oluşmaktadır. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem tribolojik sistem olarak adlandırılmaktadır [50]. Tribolojik sistem Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Tribolojik sistemin şematik olarak gösterilişi [50].

Aşınma, çoğu kez önceden öngörülebilir bir hasar türüdür. Temas halinde olan malzeme yüzeyleri, oksit filmler veya yağlayıcılarla korunsalar da, maruz kaldıkları yükler koruyucu tabakaların bozularak, iki yüzeyin doğrudan birbirlerine temasına neden olmaktadır. Bu temas sonucunda oluşan sürtünme, malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını olumsuz etkilemektedir. Aşınma hasarları, uygun yağlama, filtreleme, malzeme seçimi ve tasarım gibi faktörlerle azaltılabilir. Fakat asla tamamen önlenememektedir [50].

3.2. AŞINMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Aşınmayı etkileyen birçok değişik faktör bulunmaktadır. Bu faktörler şu şekilde sıralanabilir;

- Malzeme seçimi
- Sürtünme
- Yüzeğe uygulanan yük
- Kayma mesafesi
- Yüzeğe sertliği
- Yüzeğe kalitesi
- Yağlama'dır.

Bu faktörler tek tek incelendiğinde,

Malzeme seçimi: Aşınma olayı malzeme seçimi ile yakından ilgilidir. Malzeme seçimi doğru yapılmadığında, beklenen performans elde edilemediği gibi, maddi kayıplara da sebep olmaktadır. Bu nedenle, tasarımı yapılan parçaların malzeme seçimi yapılırken, malzemelerin birbiri ile uyumluk sağlayıp sağlamadığı çok iyi bir şekilde belirlenmelidir.

Sürtünme: Bazı metallerde sürtünme katsayısı düşük olmasına rağmen, büyük oranlarda aşınma oluşabilmektedir. Bununla beraber, sürtünme katsayısının yüksek olduğu bazı durumlarda, aşınmanın çok az olduğu da görülebilmektedir.

Yüzeğe uygulanan yük: Yüzeğe uygulanan yük ile aşınma miktarı, çoğu zaman doğru orantılı olarak artmaktadır.

Kayma mesafesi: Kayma mesafesinin artması ile birlikte, aşınma miktarında zamana bağlı olarak artış olmaktadır.

Yüzeğe sertliği: Aşınmayı etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Yüzeğe sertliği arttırılarak aşınma azaltılabilmekte veya aşınmadan kaynaklanan yüzeğe deformasyonu sabit tutulabilmektedir.

Yüzeğe pürüzlülüğü: Yüzeğe pürüzlülüğünün aşınmaya etkisi çok önemlidir. Eğer yüzeğe çok temiz (pürüzsüz) ise, yüzeğeler arasındaki soğuk kaynaklanma artmaktadır. Yüzeğe kaba olarak işlenmiş ise, bu da aşınmanın daha fazla olmasına sebep olmaktadır.

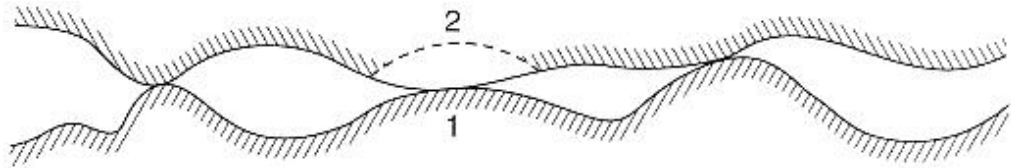
Yağlama: Aşınmaya karşı önleyici önlemlerden biri de yağlamadır. Sürtünen yüzeğeler arasındaki metal metal teması ve soğuk kaynaklanma yağlama ile önlenabilmektedir.

3.3. AŞINMA TÜRLERİ

3.3.1. Adhesiv Aşınma

Adhesiv aşınma, iki normal düzgün katı cismin kayması sırasında meydana gelmektedir. Ara yüzeydeki pürüzlerin temasında, adhezyon meydana gelmekte ve ara yüzeyler kayma etkisi ile kesilmektedir. Bir yüzeyden kopan parçalar diğer yüzeye yapışmaktadır. Kaymanın devam etmesi ile diğer yüzeye transfer olan parçacıklar, tekrar orijinal yüzeye transfer veya serbest halde olabilirler.

Malzemenin bir parçasının yüzeyden ayrılması, birkaç farklı mekanizma ile gerçekleşmektedir. Kayma işleminin ilk aşamasında, orijinal ara yüzeyde veya iki cisimden birinin en zayıf bölgesinde kesme oluşmaktadır. Bu durum Şekil 3.2’de görülmektedir. Birçok durumda, ara yüzey adhezyon mukavemetinin ve onu çevreleyen lokal alanların, kırılma mukavemetinden daha küçük olması beklenmektedir. Bu yüzden ara yüzeydeki temasların çoğunda kesme boyunca kırılmalar oluşmakta ve bu aşmada aşınma gerçekleşmektedir. Temasın küçük bir kesrinde, iki cisimden birinde kırılma meydana gelebilmektedir. Kırılmayı takriben küçük bir parça (şekildeki taralı bölge) diğer yüzeye birleşmektedir. Bu transfer parçaları düzensizdir ve bloklar içinde oluşmaktadır. Diğer bir mekanizmada ise, pürüzlerin temasının, birbirini izleyen tabakalarının plastik kesilmesi bir parçasının kopmasına neden olmaktadır. Bu teoriye göre, bağlantıda bir kesme çatlağının yayılması ile, kayma düzlemi bölgesinde birbirini izleyen tabakalar kopmaktadır. Bu işlemde, ince kama şekilli transfer parçaları (mikro talaşlar) oluşmaktadır. Bu parçacıklar bir yüzeyden ayrırarak adhezyon etkisiyle diğer yüzeye transfer olmaktadır.

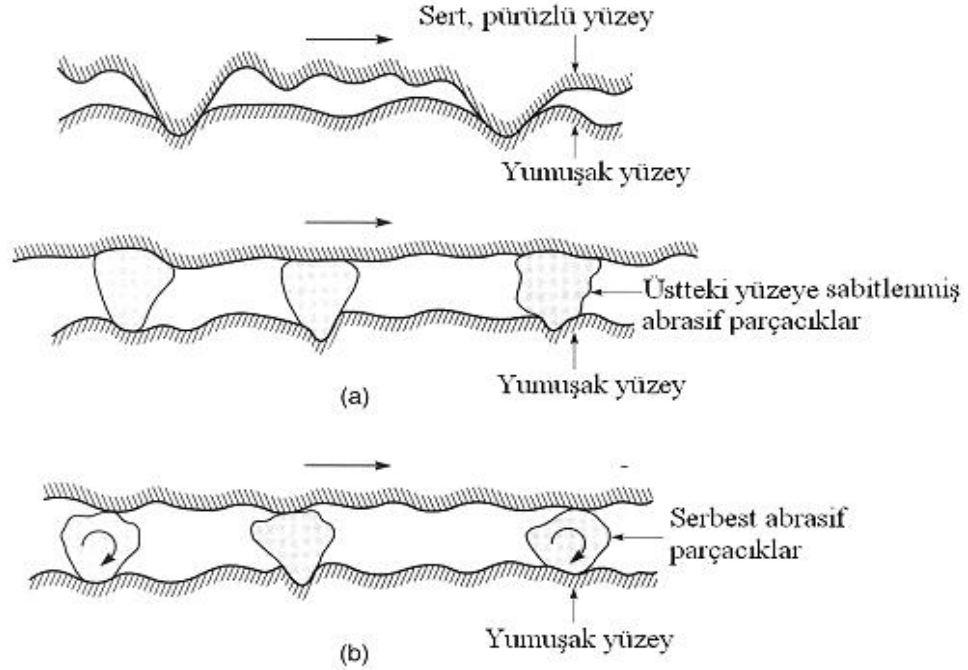


Şekil 3.2. Bir ara yüzeyin kesilmesi sırasında kırılmanın (1 ve 2) olasılıklarının şematik gösterimi [51].

Parçacıklar ve parçacıkların taşındığı yüzey arasında kuvvetli bir bağ olsa da son bağımsız parçacık oluşumu ile, parçacık ve taşındığı yüzey arasında zayıf bir bağ meydana gelmektedir. Bir bağımsız parçacığın oluşumu, parçacıktaki kimyasal değişimlerden de kaynaklanmaktadır. Parçacıkların yüzey alanı çok geniştir ve hızlı oksitlenme eğilim göstermektedir. Bu durum adhesiv mukavemeti azaltmakta ve bağımsız parçacığın kırılmasına neden olmaktadır. Bağımsız parçacıkların oluşumu ile ilişkili ikinci mekanizma ise, yapışan parçacıkların kalıntı elastik enerjileridir. İki yüzey arasında sıkışan parçacıklar, yüksek oranda gerilime maruz kalmaktadır. Diğer yüzey üzerinde hareket ettiğinde ise, sadece elastik gerilmeler kalmaktadır. Elastik enerji adhesiv enerjiden daha büyükse, bir parçacık aşınma ürünü olarak kırılarak ayrılmaktadır [51].

3.3.2. Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma pürüzlü (sert bir yüzeyin pürüzleri), sert parçacıkların sünek bir yüzey üzerinde kaymasıyla meydana gelmektedir. Şekil 3.3'te abrasiv aşınmanın şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 3.3. Abrasiv aşınmanın şematik gösterimi, a) İki elemanlı abrasiv aşınma b) Üç elemanlı abrasiv aşınma [51].

Ara yüzey, plastik deformasyon veya kırılma ile hasara uğramaktadır. Yüksek kırılma tokluğu olan (metal ve alaşımlar) sünek malzemelerde sert pürüzler veya sert parçacıklar, yumuşak malzemedeki plastik deformasyona neden olmaktadır. Birçok metalik ve seramik malzeme yüzeyi, kayma sırasında plastik akma davranışı göstermektedir. Metallerde temas eden pürüzler, en düşük yüklerde bile plastik deformasyona uğramaktadır. Düşük kırılma tokluğuna sahip kırılma malzemelerde aşınma, gevrek kırılma ile gerçekleşmektedir. Bu durumda, hasarlı bölgede büyük çatlaklar oluşmaktadır.

Abrasiv aşınma için iki genel yaklaşım söz konusudur (Şekil 3.3.). Bunlar, iki elemanlı (oymalı sürtünme) ve üç elemanlı (öğütme) abrasiv aşınmadır. Karşıt yüzeylerden birisinin üzerindeki mikroyüzeysel sert pürüzlerin neden olduğu iki elemanlı abrasiv aşınmada yüzeyin aşırı deformasyonu söz konusudur. Üç elemanlı abrasiv aşınmada ise ağır yükler altında aşınma parçalarının kırılarak küçük keskin köşeli parçacıklar oluşturup yüzeyi delerek ve çizerek malzeme kaybına neden olmaktadır. Sert malzemelerin kullanılması ile abrasiv aşınmanın azaltılabildiği bilinmektedir [51].

3.3.3. Yorulma Aşınması

Değişken yüklemelerin etkisi ile meydana gelen bir aşınma türüdür. İki yüzey arasında oluşan tekrarlı yükler sonucunda, yüzey ve yüzey altı çatlaklarının oluşması ile meydana gelmektedir. Yorulma aşınması çok sayıda yükleme periyodundan sonra meydana gelmektedir. Yüzey bölgesi, titreşimli ve değişken zorlanmaya maruz kaldığında, malzeme yüzeyinin hemen altında mikro çatlaklar oluşmaktadır. Bu çatlakların yüzeye ulaşması, pulcuk şeklinde kalkmalar ile meydana gelmektedir. Bunu takiben yüzeyden büyük parçacıklar koparak, çukur ve oyukların oluşmasına neden olmaktadır. Genellikle dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda, demiryolu raylarında, soğuk veya sıcak haddeleme işlemlerinde yorulma aşınması gözlenmektedir [51].

3.3.4. Korozyon Aşınması

Metalik malzemelerde, içerdikleri alaşım elementleri miktarına bağlı olarak yüzeylerinde 0.1 µm kalınlığında doğal oksit tabakası oluşmaktadır. Bu tabaka sayesinde, korozyon ortamlara karşı sergiledikleri direnç artmaktadır. Aşındırıcı ortam tarafından metal yüzeyine uygulanan tekrarlı darbelerin etkisiyle, yüzeyden malzeme ile beraber oksit tabakası da kırılarak yüzeyden ayrılmaktadır. Tekrarlı darbelerin sıklığından veya koruyucu tabakayı oluşturan elementin alaşım içinde zamanla tükenmesinden dolayı, oksit tabakası tekrar oluşmamaktadır. Korozyonla beraber geliştiği ve korozyonun aşınma hasarına katkıda bulunması nedeniyle bu olay, düşük sıcaklık korozyon aşınması olarak adlandırılmaktadır.

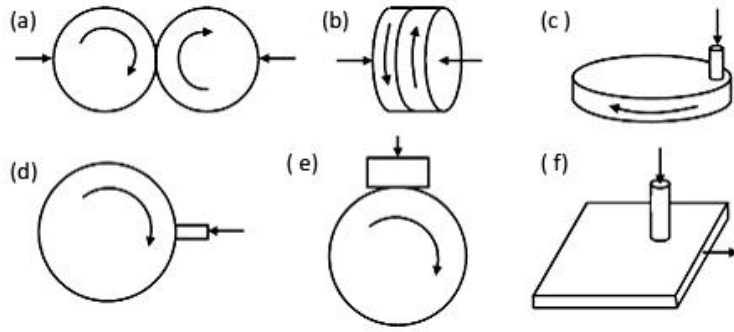
Yüksek korozyon aşınması kimya, maden ve metalurji sektörleri, nükleer reaktörler, dizel motorları ve birçok endüstriyel uygulamada görülebilmektedir. Metalik malzemeler, birçok uygulamada yüksek sıcaklıklarda korozyon ortamlara maruz kalmakta ve malzemenin korozyon direnci de bu ortamlardan etkilenmektedir.

En önemli yüksek korozyon aşınma türü, oksidasyondur. Metal ve alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda hava veya oksitleyici ortama maruz kaldıklarında, yüzeyde oksit tabakası meydana gelmektedir. Metalik malzeme ve üzerindeki oksit tabakası, farklı ısıl genişleme katsayısına sahiptir. Oksit tabakası, çalışma ortamındaki ısınma soğuma çevrimleriyle oluşan iç gerilmeler nedeni ile (metal tabaka ara yüzeyinde), zaman zaman kırıldıktan sonra kendini yenilemektedir. Koruyucu oksidin kendini tekrar yenileyemeyecek duruma gelmesi durumunda, metal hızla oksitlenmekte ve zamanla pul pul döküldüğü için, yüzeyde malzeme kaybı oluşmaktadır [51].

3.4. AŞINMA TESTİ İÇİN YÖNTEMLER

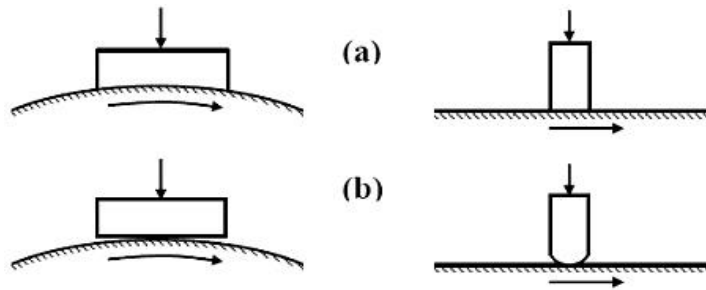
Malzemelerde meydana gelen aşınma oranlarını ve aşınmayı etkileyen değişkenlerin belirlenmesi için, birçok aşınma test düzeneği geliştirilmiştir. Laboratuvar ortamlarında yapılan bu testler, malzeme seçimine yardımcı olmaktadır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan birkaç aşınma testi metodu şematik olarak Şekil 3.4'te gösterilmektedir. Genel olarak bu metotlar ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi, aşınma oranının her iki kayma yüzeyindeki (aynı malzemeden olsa bile) aşınma oranlarının farklı olduğu asimetrik düzendir. Bu düzenek Şekil 3.4'te a ve b düzenleri örnek olarak gösterilmektedir. Çok yaygın olarak kullanılan asimetrik cihazlarda bir diske karşı bastırılan bir pim kullanılmaktadır. Bu pim, diskin ya düz yüzeyi üzerine (Şekil 3.4.c) veya kenarına (Şekil 3.4.e), düz bir şekilde bastırılmaktadır (Şekil 3.4.f).



Şekil 3.4. Kayma aşınması için kullanılan geometrik düzenekler [52].

Pim kullanılan test cihazlarında uygulanan temas, belirli bir alan teması, düz bir disk üzerine eğrisel uçlu bir pim veya bir, bilezik üzerine tam yerleşmiş bir blok (Şekil 3.5.a) veya bir nokta çizgi teması, düz bir disk üzerine eğrisel uçlu bir pim veya bir bilezik üzerine tam yerleşmemiş düz bir blok (Şekil 3.5.b) şeklindedir. Bu temas şekilleri Şekil 3.5 'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Test cihazlarında temas biçimleri a) belirli bir alan teması b) bir nokta ya da çizgi teması [52].

3. 5. AŞINMA TESTİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

3.5.1. Ağırlık Farkı Metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün, cihaz duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebi ile, en çok kullanılan yöntem ağırlık kaybı metodudur. Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-4} g hassasiyetinde oldukça duyarlı tartım araçları ile yapılmaktadır.

Bu metotta, aşınma miktarı gram veya miligram olarak ifade edildiğinde, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (g/km), (mg/m) ile ifade edilmektedir. Ağırlık kaybı (birim alan için), g/cm^2 olarak hesaplanmaktadır. Ağırlık kaybı, hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde (yine ağırlık kaybından hareketle) test edilen malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerinde etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılarak, birim yol ve yüke bağlı olarak, ağırlığa karşılık gelen hacim kaybı hesaplanmaktadır [53].

Ağırlık farkı ölçme yönteminde en çok kullanılan bağıntılar;

$$W_a = \frac{\Delta G}{d.M.S} \quad (3.1)$$

Burada;

W_a : Aşınma oranı ($mm^3/N.m$)

ΔG : Ağırlık kaybı (mg)

M : Yükleme ağırlığı (N)

S : Aşınma yolu (m)

d : Yoğunluk (g/cm^3) tür.

Aşınma oranının (W_a) ters değeri de aşınma direnci (W_r) ile ifade edilmektedir.

$$W_r = \frac{1}{W_a} \left[\frac{N.m}{mm^3} \right] \quad (3.2)$$

Başka bir bağıntı olarak da, bir kilometre kayma mesafesine karşılık gelen yükseklik kaybı bağıntısıdır. Bu yöntem iki elemanlı abrasiv aşınma hesaplanmasında kullanılmaktadır.

$$V_s = \frac{10^4 \cdot \Delta G}{F \cdot d \cdot S} \left[\frac{\mu m}{km} \right] \quad (3.3)$$

Burada;

V_s : Bir km aşınma yoluna tekabül eden yükseklik kaybı (μm)

ΔG : Ağırlık kaybı (g)

F : Aşınma yüzeyi (cm^2)

d : Yoğunluk (g/cm^3)

S : Kayma yolu (km) dur.

Test malzemesi, yükseklik kaybının, mukayese malzemesi yükseklik kaybına oranı, aşınma oranını sayısını (W_s) vermektedir.

$$W_s = \frac{V_s(\text{test numunesi})}{V_s(Fe37)} \quad (3.4)$$

Bu orantı sayısının ters değeri, bağıl aşınma direnci (R) olarak kullanılmaktadır.

$$R = \frac{1}{W_s} \quad (3.5)$$

Üç elemanlı abrasiv aşınmada ise, DIN 50320'de verilen boyutsuz aşınma oranı, bağıntısı yaygın olarak kullanılmaktadır [53].

3.5.2. Kalınlık Farkı Metodu

Aşınma sırasında meydana gelen boyut değişiminin ölçülmesi, başlangıç değeri ile karşılaştırılarak yapılmaktadır. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden hareket edilerek, hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanmaktadır. Kalınlık, hassas ölçüm cihazları kullanılarak $\pm 1\mu m$ hassasiyetle ölçülmektedir [53].

3.5.3. İz Değişimi Metodu

Sürtünme yüzeyinde meydana gelen plastik deformasyonun ölçülmesinde, geometrisi belirli bir iz kullanılmaktadır. Test süresince bu izin karakteristik boyutunun (çapının) değişimi ölçülmektedir. Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan, Vickers veya Brinell sertlik ölçüm ucudur. Elmas piramidin veya bilyenin bıraktığı izin boyutlarındaki değişim, mikroskop yardımıyla ölçülerek, aşınma miktarı belirlenmektedir [53].

3.5.4. Radyoizotop Metodu

Bu yöntem sürtünme yüzey bölgesi proton, nötron veya yüklü α parçacıklarıyla bombardıman edilerek, radyoaktif hale getirilmesi prensibine dayanmaktadır. Aşınmanın hassasiyetle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi, bu yöntemin en büyük avantajı olarak kabul edilmektedir. Fakat ekonomik olmaması nedeniyle ancak özel amaçlarla kullanılmaktadır. Özel problemlerin çözümü dışında, yaygın olarak kullanılan bir metot değildir [53].

3.6. YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA DİRENCİ

3.6.1. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Aşınma

YKBDD'lerin artan uygulama alanları ve pazar payı, üstün darbe direnci ile kombine edilmiş aşınma direncine dayanmaktadır. Ayrıca, bazen tavlandıktan sonraki işleme imkanı da diğer bir avantajdır. Çizelge 3.1' de çeşitli malzemelerin öğütme ve oyuk aşınması altındaki performansları, (tokluklarına bağlı olarak) verilmektedir.

Çizelge 3.1. Çeşitli malzemelerin öğütme ve oyuk aşınma performansı [22].

| Malzeme Adı | Tokluk Sırası | Bağlı Aşınma Kaybı | |
|--|---------------|--------------------|-----------------|
| | | Oyuk Aşınması | Öğütme Aşınması |
| Östenitik Mn Çeliği (%12 Mn) | 1 | 0.34-0.19 | 138-142 |
| Martenzitik Az Alaşımli Çelik (%0,3-0,6 C) | 2 | 0.28-0.15 | 126-114 |
| Östenitik Mn Çeliği (% Mn -%1 Mo) | 3 | 0.25-0.17 | 114-120 |
| Cr/Mo Çeliği (% 0,7 C), Su verilmiş + Temp | 4 | - | 126-130 |
| Martenzitik 6Cr/1Mo Çeliği (%1C) | 5 | 0.1 | 102-97 |
| Martenzitik Yüksek Cr/Mo'li Beyaz D.D. | 6 | 0.08-0.035 | 85-90 |
| Martenzitik 26Cr'lu Beyaz D.D. | 7 | 0.17-0.09 | 96-100 |
| Martenzitik Az Alaşımli Cr/Ni D.D. | 8 | - | 105-116 |
| Perlitik Çil Uygulanmış D.D. | 9 | ~0.4 | 185-200 |

Alaşımın yapısındaki karbürlerin hacim oranı ve morfolojisi çok önemlidir. Genellikle yapıdaki karbür oranı arttıkça, aşınma direnci de artmaktadır. Aynı zamanda matris, çatlayan ve deforme olan karbürleri yeterli kuvvetle muhafaza ettiğinde (karbürler), aşınma direncini de arttırmaktadır [54,55].

Beyaz dökme demirlerde farklı aşınma mekanizmaları etkindir. Bu mekanizmalar şu şekilde sıralanabilir;

- Sadece matris veya matrisle birlikte karbürlerin de kesme ile aşınması
- Matrisin yorulması sonucu meydana gelen aşınma
- Matrisin plastik deformasyon sonucunda aşınması
- Karbürlerde kesme veya plastik deformasyon sonucu mikro çatlaklar oluşması ve çatlayan karbürlerin kırılması
- Karbürlerin yorulma nedeniyle çatlayıp kırılması

YKBDD'in yüzeyindeki karbürlerin abrasiv aşınma şartlarına karşı davranışı (aşınma yüzeyi ve aşınma yönüne göre), karbürlerin dağılımına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Karbür çubukları uzun eksenli aşınma yüzeyine paralel olduğunda, karbürlerin uzun eksenli yüksek gerilmeli abrasiv aşınma şartlarında aşınma yüzeyine dik olduğu durumdakinden daha yüksek aşınma direncine sahip olmaktadır [4,56].

Yüksek krom-molibden'li beyaz dökme demirler bileşimindeki krom miktarı nedeniyle, iyi bir korozyon direnci sergilemektedir. Yapıdaki sert ötektik karbürler, mükemmel aşınma direnci sağlamaktadır. Molibden ise, perlit oluşumunu önleyerek ve sertleşebilirliği arttırarak, aşınma direncine katkıda bulunmaktadır.

Alaşımın yapısında son derece sert karbürler oluşturduğundan ve YKBDD'in (%15 Cr) matris sertliğini arttırmasından dolayı niyobiyum ilavesi, YKBDD'in aşınma direncini arttırmaktadır. Ayrıca bu alaşımlar, demir bazlı gevrek hiper-ötektik karbürler oluşturma riski olmadan, yüksek karbon miktarına sahip olabilmektedir. NbC'ün morfolojisi blok çengel şeklindedir. Böylece karbürler matris içinde sıkıca tutunabilmektedir [35].

YKBDD'lere (% 28 Cr) bor ilavesi ile, karbürlerin hacim oranını arttırmakta karbürleri daha sertleştirmekte, döküm halinde karbürleri kalınlaştırmakta ve martenzit oluşumunu hızlandırmaktadır [57].

YKBDD'lere % 0.3'e kadar titanyum ilavesi, yapıdaki VC ve NbC'lerin şeklini değiştirmektedir. Yüksek sıcaklıklarda birincil ve ötektik karbürler olarak çekirdeklenmiş birçok ince TiC parçacıkları çökelmektedir. Bu çekirdekleşme serbest dentritik, çubuksu veya taç yaprağı şeklinde karbür büyümesine neden olmaktadır [43].

YKBDD'lerde Ce, La ve Nd elementlerinin içeriği arttırıldığında, M_7C_3 karbürlerinin hacim oranı azalmasına rağmen, bu elementlerin miktarı % 0.26'yı aşmamak şartıyla), aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir [53].

3.6.2. Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Abrasiv Aşınmayı Etkileyen Faktörler

YKBDD'in abrasiv aşınma özelliklerini etkileyen iki önemli faktör vardır. Bunlar, beyaz dökme demirin matris yapısı ve bu matriste yer alan karbürlerin yapısıdır.

3.6.2.1. Karbür Yapısının Abrasiv Aşınmaya Etkisi

Karbür miktarı arttıkça, aşınma direnci de artmaktadır. % 30 karbür oranına kadar, sertlik arttıkça aşınma direnci de artmaktadır. % 30'un üzerinde karbür oranındaki artışlar aşınma direncini etkilememektedir. Bu oran ise ötektik bileşime yakındır [53].

Ötektik üstündeki karbür oranı artışı, aşınma direncini fazla etkilememektedir. Karbürler arası uzaklık aşınma direncinde önemli rol oynamaktadır. Karbürler arası uzaklık ne kadar düşük olursa, aşınma direnci o kadar yüksek olmaktadır [53].

3.6.2.2. Matris Yapısının Aşınmaya Etkisi

YKBDD'de matris, sert ötektik M_7C_3 tipi karbürleri yerinde tutmaktadır. Matris aşındığında desteksiz kalan karbürler, uygulanan gerilmeler altında kırılmaktadır. Kırılan karbürler bazı durumlarda yumuşak matrise gömülerek, sert bir yüzey tabakası oluşturmaktadır. Bu durum, özellikle ferritik matriste etkin olmaktadır [58].

Yüksek gerilmeli şartlarda beyaz dökme demirlerin aşınma direnci, matris tarafından ötektik karbürlerle verilen desteğin seviyesine bağlı olmaktadır. Martenzitik matrisli yapılar, östenitik veya perlitik matrisli yapılara göre daha yüksek aşınma direnci sağlamaktadır. Perlitik matris en düşük aşınma direncine sahip olduğu için, beyaz dökme demirlerde perlitik yapı istenmemektedir [59-62].

Matrisin aşınma direnci, aşınma sırasındaki gerilmelere bağlıdır. Matrisin bileşimindeki karbon arttıkça, sertlik ve buna bağlı olarak aşınma direnci artmaktadır. Ancak, düşük gerilmeli aşınma ortamlarında sertlik, belli bir değere geldikten sonra, sertlik artışı, aşınma direncini etkilememektedir.

Aşınmaya sebep olan gerilmeler yüksek olursa (martenzitik yapı östenitik yapıya göre), iki üç kat daha iyi aşınma direnci sağlamaktadır. Martenzitik yapı östenitleme işlemi ile elde edildiği için bu işlem sırasındaki reaksiyonlar, martenzitin yapısı açısından önemlidir [63].

BÖLÜM 4

İŞLENEBİLİRLİK

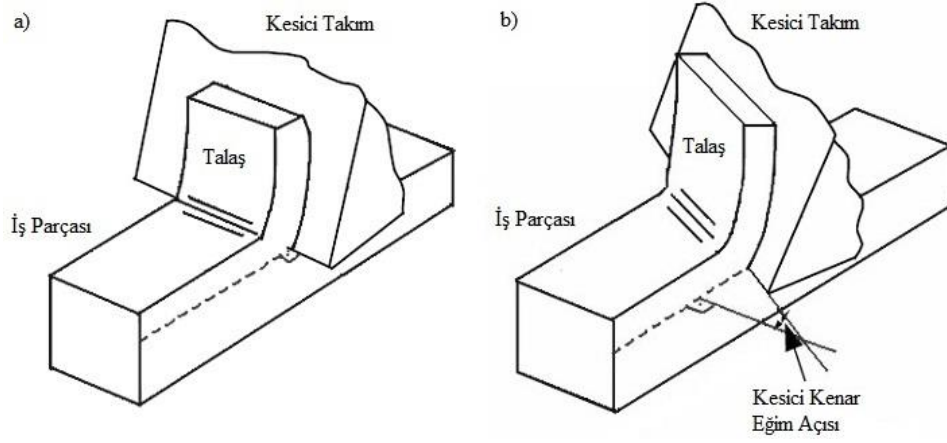
İşlenebilirlik, “bir malzemenin istenen yüzey formu ve toleransına getirilmesi için takım ve işleme parametreleriyle bağlantılı olarak, nasıl kolayca kesilebileceğidir” [64]. İşlenebilirlik, işleme yöntemine ve işleme parametrelerine bağlı olmaktadır [65]. Bu nedenle işleme sırasında uygun işleme parametrelerinin seçimi önemli hale gelmektedir. Sertlik, süneklik, ısı iletkenlik, pekleşme, malzeme içindeki inklüzyonlar ve kimyasal bileşimler malzemenin işlenebilirliklerini etkilemektedir [66].

4.1. TALAŞLI İMALAT

Talaşlı imalat işleminde istenen ölçülerde parça üretmesi için, iş parçası üzerindeki ölçüsel fazlalıklar uygun takım tezgahı ve kesici takım kullanılarak, talaş kaldırılmaktadır. Bu sayede, istenilen boyutlarda ve yüzey kalitesinde parçalar üretilebilmektedir. Döküm, dövme, haddeleme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale getirilmesi için, çoğunlukla talaşlı imalat işlemleri uygulanmaktadır [67].

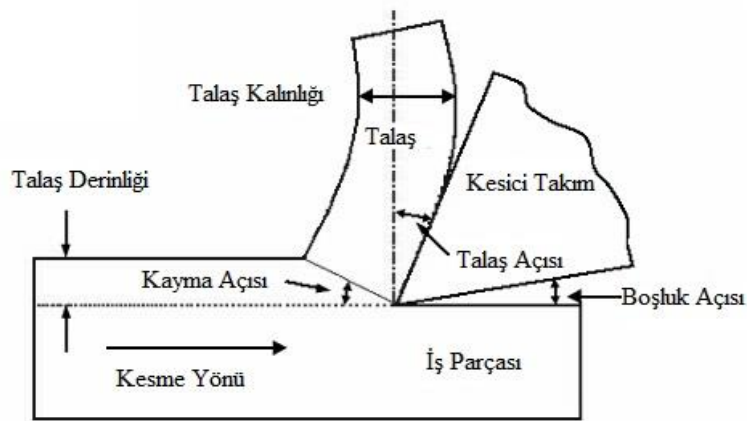
4.2. TALAŞ KALDIRMA MEKANİĞİ

İş parçası üzerinden tabakalar halinde talaş kaldırma işlemi, kesme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Bu kesme işlemi sırasında aşırı derecede ısı meydana geldiği için, işlenen parçada deformasyon oluşmaktadır. Talaşlı imalatta kesme işlemi, iki şekilde gerçekleşmektedir. Bunlardan birincisi dik (Orthogonal) kesme, ikincisi ise Eğik (Oblique) kesmedir (Şekil 4.1.a ve Şekil 4.1.b) [68].



Şekil 4.1 (a) Dik (Orthogonal) kesme (b) Eğik (Oblique) kesme [68].

Birçok talaşlı imalat yönteminde, kesme işleminde eğik kesme yöntemi kullanılmaktadır. Buna karşılık, analiz ve matematiksel hesaplamaların kolay olması sebebiyle, dik kesme işlemi tercih edilmekte ve hesaplamalar bu yönetime göre yapılmaktadır. Normal şartlarda hesaplaması ve değişkenler arası ilişkileri karmaşık olan talaş kaldırma işleminde, kesici kenarın kesmeyi belli bir eğimle yaptığı kabul edilmektedir. Bu durumda süreç daha karmaşık olmaktadır. Tornalama işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin hesaplanmasında, kesmenin dik olarak kabul edilmesi, hesaplamaları da kolaylaştırmaktadır. Şekil 4.2’de dik kesme modeli şematik olarak verilmektedir.

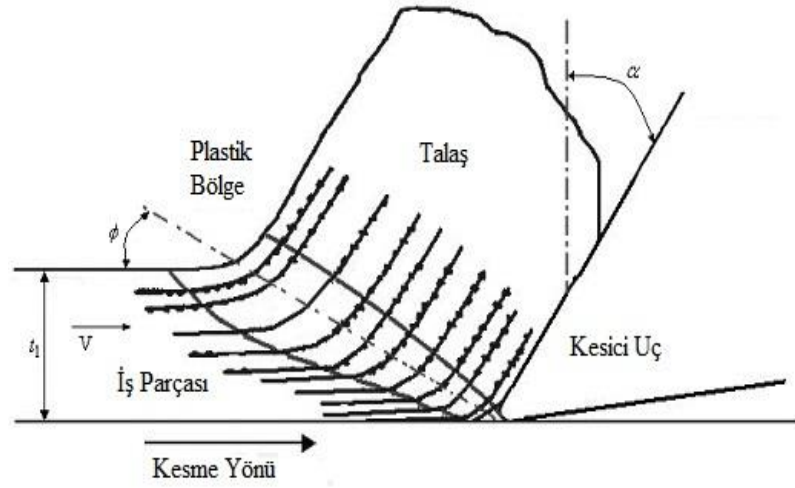


Şekil 4.2. Dik kesme modeli [68].

Dik kesme işleminde kesici takım kenarı, iş parçasının takım hareket yönüne dik olarak hareket etmektedir. Bu modele göre, iş parçasının kesici takımı zorlamasıyla

kayma düzleminde iş parçasının kayma gerilmesi değeri aşıldığı için, talaş oluşumu gerçekleşmektedir. Gerçekte, talaş oluşumu dar ve ince bir bölgede olmaktadır. Talaş oluşumu, iş parçasının kesici takım önündeki bölgesel deformasyonu ile gerçekleşmektedir [68,69].

1940'lı yıllarda Merchant yaptığı çalışmalarıyla talaşlı imalata bilimsel bir boyut kazandırmıştır. Bu çalışmalarda, kesme kuvvetini iki boyutlu olarak modellemeyi başarmıştır [68]. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, kesme işlemi basitleştirilmiş ve sadeleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Basitleştirilmiş kesme işlemi [68].

Burada;

t_1 : Kesme derinliği

V : Kesme hızı

α : Takım talaş açısı

ϕ : Kayma açısı

olarak ifade edilmektedir. Merchant, orthogonal kesme modelini;

F_c : Kesme kuvveti; kesme hızına paraleldir,

F_t : İtme kuvveti, işlenen yüzeye diktir,

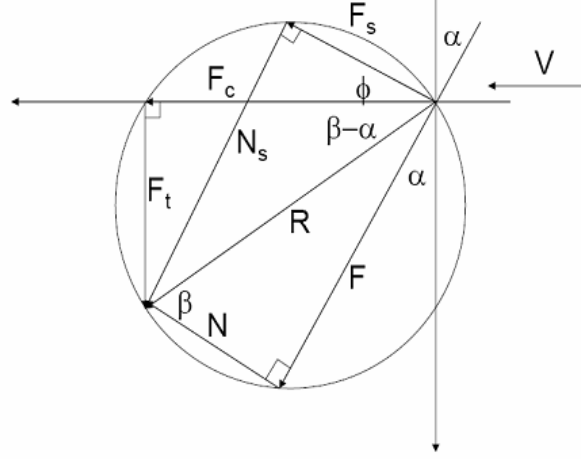
F : Takım talaş yüzeyindeki sürtünme kuvveti,

N : Takım talaş yüzeyindeki normal kuvvet

F_s : Kayma düzlemine paralel kayma kuvveti,

F_N : Kayma düzlemindeki normal kuvvet,
şeklinde ifade etmektedir.

Bu kuvvetlerden, F_c ve F_t kuvvetleri dinamometre yardımı ile ölçülebilmektedir. Ölçülen F_c ve F_t kuvvetleri kullanılarak F_s , F_N , ve φ hesaplanabilmektedir (Şekil 4.4) [67].



Şekil 4.4. Merchant modeli [68].

Sürtünme katsayısı μ , kesme kuvveti, itme kuvveti ve talaş açısı yardımı ile belirlenmektedir. Bu parametreler arasındaki ilişki Eşitlik 4.1 - 4.5'te verilmektedir.

$$F_s : F_c \cos \varphi - F_t \sin \varphi \quad (4.1)$$

$$F_N : F_c \sin \varphi + F_t \cos \varphi \quad (4.2)$$

$$N : F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha \quad (4.3)$$

$$N : F_c \cos \alpha + F_t \sin \alpha \quad (4.4)$$

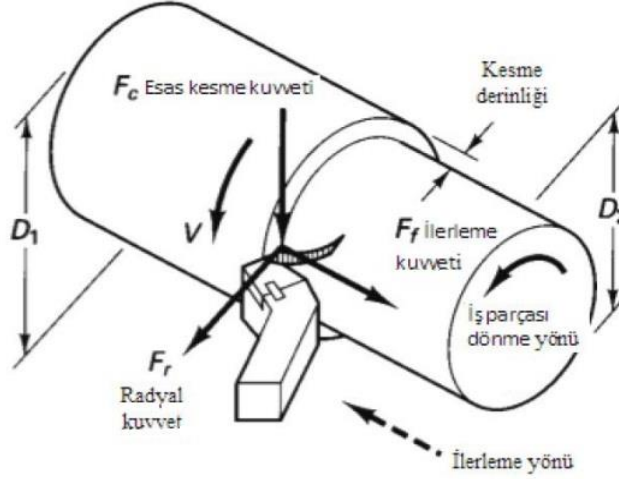
$$\mu : \tan \beta : \frac{F_t + F_c \tan \alpha}{F_c - F_t \tan \alpha} \quad (4.5)$$

Burada sürtünme açısı (β); normal kuvvet ile kuvvetlerin bileşkesi arasındaki açıdır.

4.3. TALAŞLI İMALAT İŞLEMİNDE KESME KUVVETLERİ

Kesme hareketinin oluşması için takım tarafından iş parçasına uygulanan bileşke kuvvet F_R , genellikle deneysel çalışma ile ölçülen ve biri kesme yönünde (esas kesme

kuvveti olarak bilinen F_c), diğeri ise kesme yönüne dik durumdaki (radyal ve ilerleme kuvveti olarak bilinen F_r, F_f) iki bileşenden hesaplanmaktadır [68]. Tornalama işlemi sırasında oluşan kuvvetler, Şekil 4.5'te şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [65].

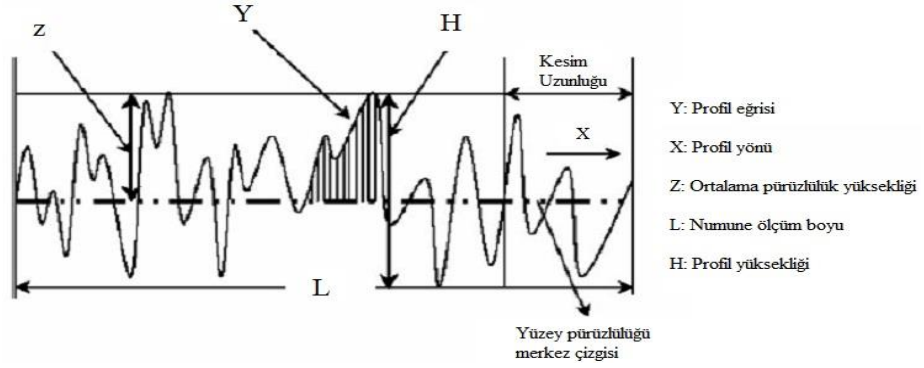
Bileşke kuvvet bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanması ile elde edilmekte ve Eşitlik 4.6 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$F_R: \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (4.6)$$

4.4. İŞ PARÇASI YÜZEY KALİTESİ (PÜRÜZLÜLÜK)

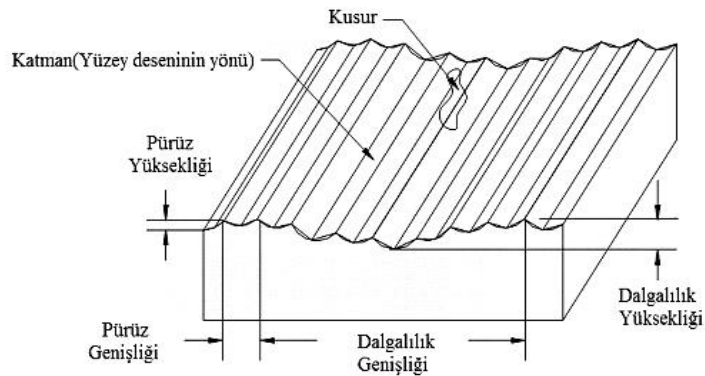
Talaşlı imalat sürecinde, üretim süresi ve maliyeti imalatın başarısını etkileyen önemli etkenlerdir. Kalite sınırları içinde değerlendirildiğinde ve üretilen ürünün kullanıldığı yer ve hassasiyeti dikkate alındığında, ürünün kalitesi de üretim maliyeti ve zamanı kadar önemlidir. Ürün kalitesinin belirlenmesindeki en önemli faktör, ürünün üretim öncesi belirlenen toleranslar dahilinde olmasıdır. Bu toleransların en önemlilerinden biri ise yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğü, ürünün fonksiyonunu yerine getirme sürecinde, hem görsel hem de boyutsal olarak istenilen özelliklerde olması açısından önemlidir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünden dolayı, malzemede oluşması muhtemel pürüzler ve çentikler, servis şartların yorulma hasarına neden

olabilmektedir. Bunlara ilaveten, yüzeyde oluşan bu pürüzler (temastan dolayı), sürtünmeyi, aşınmayı ve ısı transferini de etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğü, maksimum yüzey pürüzlülüğü R_t , Ortalama yüzey pürüzlülüğü R_a gibi farklı şekillerde ifade edilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü profili ise Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Yüzey pürüzlülük profili [70].

İşlenen yüzeylerin dalgalı ve pürüzlü olması, iki tip yüzey sapmasına neden olmaktadır. Dalgalılık yüzeyin geometrik şeklini ifade ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin etmektedir. Standartlara göre yüzey pürüzlülüğü yüzeye dik olan bir kesitte (belirli bir numune uzunluğu boyunca), bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre belirlenmektedir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınmaktadır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenmektedir [71-73]. Yüzey geometrileri, işleme metoduna bağlı olarak değişmektedir. Şekil 4.7'de işlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri verilmektedir.



Şekil 4.7. İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri [72].

Kesici takım uç yarıçapı ve kesici takımın uç mukavemeti, üretilen yüzey kalitesini etkilemektedir. Kesici takım uç yarıçapı büyüdükçe, buna bağlı olarak yüzey kalitesi ve kenar mukavemeti de artmaktadır. Uç yarıçapının büyümesiyle, serbest yüzeydeki ve talaş yüzeyindeki aşınma değerleri de azalmaktadır. Bu durum, işleme sürecine olumlu etki etmekle beraber, oluşan talaşın istenilen boyutsal ve geometrik özelliklerinden uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Kesici takım uç yarıçapı, ilerleme ve yüzey kalitesi arasındaki ilişki Eşitlik 4.8’de verilmektedir.

$$R_a : \frac{0.0321f^2}{r_\epsilon} \quad (4.8)$$

Burada,

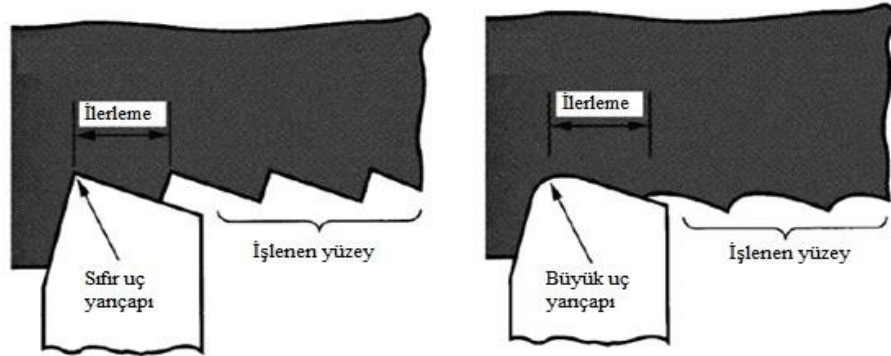
R_a : yüzey pürüzlülüğünü

f : ilerleme oranını

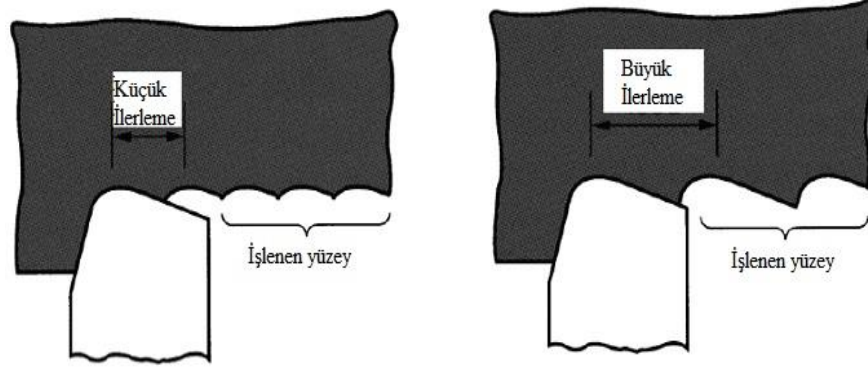
r_ϵ : uç yarıçapını

ifade etmektedir [70].

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, uç yarıçapı büyüdükçe elde edilen yüzeyin kalitesi de artmaktadır. Aynı şekilde ilerleme oranının düşük seçildiği durumlarda, yüzey kalitesinde iyileşme olduğu Şekil 4.9’da görülmektedir. Yüzey kalitesindeki iyileşme, daha önce belirtilen değişimlere paralel değildir. Hem uç yarıçapının, hem de ilerlemenin seçiminde dikkat edilmesi gereken başka faktörlerde söz konusudur. Bu faktörler, iş parçasının mekanik özellikleri, kesici uç malzemesinin özellikleri ve kesme şartlarıdır.



Şekil 4.8. Uç yarıçapının yüzey kalitesine etkisi [70].



Şekil 4.9. İlerleme oranını yüzey kalitesine etkisi [70].

4.5. KESİCİ TAKIM MALZEMELERİ

Endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmakta olan kesici takım malzemeleri yüksek hız çeliği, sementit karbür, kaplamalı sementit karbür, sermet, seramik ve çok sert kesicilerden oluşmaktadır.

4.5.1. Yüksek Hız Çeliği

Yüksek hız çeliği, karbon ve düşük alaşımlı çeliklere nazaran daha yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilen yüksek alaşımlı bir takım çeliğidir. Matkap, kılavuz, freze çakıları ve tığlar gibi karmaşık geometriye sahip kesici takımların üretiminde kullanılmaktadır [74].

4.5.2. Sementit Karbürler

Sementit karbür kesici takımlar, ilk olarak tungsten karbür (WC) ve kobalt (Co) parçacıklarından toz metalurjisi yöntemleriyle üretilmektedir. Sert WC parçacıklarından dolayı dökme demir ve çelik dışı metallerin işlenmesinde, yüksek hız çeliğinden daha yüksek kesme hızlarında etkin bir şekilde kullanılmaktadır [74].

4.5.3. Sermetler

Sermet kesici takımlar da sementit karbür gibi, toz metalurjisi yöntemiyle üretilmektedirler. Çelik, paslanmaz çelik ve dökme demirin bitirme ve yarı bitirme işlemlerinde, yüksek kesme hızlarında kullanılmaktadırlar. Bu kesiciler sementit karbür kesici takımlar gibi (diğer kesicilere göre), daha yüksek hızlarda kullanılmaktadırlar. Düşük ilerleme hızları kullanılarak iyi bir yüzey elde edildiği için, çoğunlukla taşlama işlemine gerek kalmamaktadır [65].

4.5.4. Seramikler

Seramik kesici takımlar genel olarak, alüminyum oksit (Al_2O_3) ve silisyum nitrür (Si_3N_4) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Al_2O_3 seramik kesici takımlar, dökme demir ve çelik dökümlerinin yüksek hızlarda işlenmesinde kullanılmaktadırlar. Üretim ve sinterlemedeki iyileştirmelerle ve tokluklarını artırıcı çeşitli elementlerin ilave edilmesiyle, seramik kesici takımlar daha iyi dayanım, ısıl şok direnci ve kırılma tokluğu gibi özelliklere sahip olmaktadır [74].

4.5.5. Çok Sert Kesici Takımlar

Çok kristalli elmas (ÇKE) kesici takımlar, yapay elmasın grafitik karbondan daha yüksek sıcaklık ve basınç altında üretilmektedir. Çeşitli boyut ve şekillerde üretilen elmas parçacıklar, bir metalik birleştiriciliği ile birlikte bir araya getirilerek, sıcak presleme yöntemiyle çok yüksek basınç altında üretilmektedir. Çoğunlukla 0.5-1 mm kalınlığındaki ÇKE, sementit karbür alt katman üzerinde kesici takım olarak kullanılmaktadır [65].

Yapay elmas üretiminde kullanılan aynı teknoloji ile kübik bor nitrürden (CBN) gerçekleştirilmektedir. Bor nitrür 3500-4500 HV sertliği ile elmastan sonra (sertlikte) ikinci sırada yer almaktadır. 1100 °C sıcaklıkta sertliği 1800-2000 HV'dir ve sementit karbürün oda sıcaklığındaki sertliğine tekabül etmektedir. Mükemmel aşınma direnci, iyi ısıl iletkenliği, düşük sürtünme özelliklerine sahiptir [74].

4.6. SERT TORNALAMA

Yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahip kesici takımlar kullanılarak, 50-70 HRC arasında sertliğe sahip iş parçalarının düşük kesme derinliğinde tornalama işlemi, sert tornalama olarak adlandırılmaktadır [75]. Sert malzemelerin tornalanması, son yıllarda pek çok endüstrinin ilgisini çekmektedir. Bu işleme, taşlama işleminin yüksek başlangıç maliyetinden dolayı rulmanların, hareket ileten millerin, aksların, kalıp malzemelerinin ve çeşitli motor ekipmanlarının üretiminde kullanılmaktadır [75-78].

Mevcut çalışma ortamlarında maruz kaldıkları yüke bağlı olarak, dayanımının ve sertliğinin yüksek olması gereken çelik malzemeler (50-70 HRC) geleneksel olarak yumuşak halde işlenerek, son şekle yakın geometriye getirilmektedir. Taşlama işlemi son şekile getirilmeden önce de sertleştirme ve temperleme ısıl işlemleri uygulanmaktadır. Son geometrileri ve yüzey topografyaları, taşlama ve gerektiğinde de süper bitirme işlemleriyle sağlanmaktadır. CBN kesici takımlar kullanılarak sertleştirilmiş çelikleri doğrudan işlemenin, taşlama ile şekillendirmeye göre bir çok avantajı vardır. Bunlar düşük üretim maliyeti, kısa üretim süresi [77,78], yüksek miktarda talaş kaldırma kapasitesi, farklı geometrilerin tek bir kesici takımla oluşturulabilmesi [76-79], kesme sıvısının kullanımına çoğunlukla ihtiyaç duyulmaması [80,81], yüksek parça kalitesi [82-84] ve üretilen parçaların yorulma dayanımlarının yüksek olmasıdır. Taşlama işleminde üretime başlamadan önce, ayarlama süresinin uzun olması ve özel profilleri oluşturmak için özel taş geometrilere ihtiyaç duyulması ve üretilen parça sayısının az olduğu durumlarda, sert tornalama işlemi tercih edilmektedir [84].

BÖLÜM 5

MALZEME METOT

5.1. DENEYSEL MALZEMELER

Farklı Cr (%10, %12, %14) oranlarına sahip YKBDD malzemeler Konya'da Özgayd Otomotiv Sanayi ve Tic. Ltd. Sti. firmasında dökülmüştür. Şekil 5.1.'de dökümden çıkmış kaba бага görüntüsü verilmektedir. İş parçasının iç çapı 31 mm, dış çapı 48 mm ve kalınlığı 12 mm'dir. Çizelge 5.1-5.3 'te bagalara ait kimyasal bileşim verilmektedir.



Şekil 5.1. Dökümden çıkmış iş parçası.

Çizelge 5.1. %10 Cr oranına sahip baganın kimyasal analizi.

| C % | Si% | Mn% | P% | S% | Cr% | Mo% |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2.184 | 1.274 | 0.783 | 0.028 | 0.030 | 9.955 | 0.242 |
| Ni% | Nb% | Al% | Cu% | Co% | B% | Ti% |
| 0.242 | 0.023 | 0.006 | 0.684 | 0.031 | 0.003 | 0.012 |
| V% | W% | Mg% | Pb% | Sn% | Zr% | Fe% |
| 0.269 | 0.056 | 0.001 | 0.033 | 0.019 | 0.012 | 83.028 |

Çizelge 5.2. %12 Cr oranına sahip baganın kimyasal analizi.

| C % | Si% | Mn% | P% | S% | Cr% | Mo% |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 2.367 | 1.402 | 0.776 | 0.029 | 0.030 | 11.992 | 1.291 |
| Ni% | Nb% | Al% | Cu% | Co% | B% | Ti% |
| 0.237 | 0.028 | 0.006 | 0.682 | 0.032 | 0.002 | 0.018 |
| V% | W% | Mg% | Pb% | Sn% | Zr% | Fe% |
| 0.260 | 0.050 | 0.001 | 0.029 | 0.022 | 0.014 | 80.731 |

Çizelge 5.3. %14 Cr oranına sahip baganın kimyasal analizi.

| C % | Si% | Mn% | P% | S% | Cr% | Mo% |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 2.215 | 1.408 | 0.732 | 0.028 | 0.027 | 14.021 | 1.243 |
| Ni% | Nb% | Al% | Cu% | Co% | B% | Ti% |
| 0.236 | 0.032 | 0.007 | 0.704 | 0.035 | 0.004 | 0.020 |
| V% | W% | Mg% | Pb% | Sn% | Zr% | Fe% |
| 0.261 | 0.055 | 0.002 | 0.000 | 0.019 | 0.014 | 79.035 |

Tüm aşınma ve karakterizasyon çalışmalarında kullanılan numuneler döküm parçalardan dalma erozyon yöntemiyle elde edilmiştir. Aşınma testlerinde, karşılık diski olarak aynı kimyasal bileşime sahip aşındırıcı diskler kullanılmıştır. Şekil 5.2.'de deneysel çalışmalarda kullanılan 230 mm çapında 20 mm kalınlığında karşılık diski (aşındırıcı) görülmektedir.



Şekil 5.2. Aşınma diski.

5.2. AĞIRLIK VE YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ

Numunelerin yoğunluk ve aşınma kaybı ölçümlerinde 1/10000 hassasiyetindeki Precisa XB200h marka hassas terazi kullanılmıştır.

5.3. METALOGRAFİK İŞLEMLER

Farklı bileşimler kullanılarak üretilen YKBDD bagalar metalografik incelemeler ve aşınma testleri için, dalma erozyon yöntemiyle 6.5x12.5 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Metalografik incelemeler için, numuneler soğuk (polyester) gömülmüştür. Metalografi deneyleri için hazırlanan numuneler 3 µm elmas solüsyon ile parlatıldıktan sonra, 1gr FeCl₃, 2ml HNO₃, 0.6 ml HCl ve 17 ml etanol ile 150 dakika dağlanmıştır [85].

5.4.TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) VE ENERJİ DAĞILIMLI X-IŞINI SPEKTROSKOPİSİ (EDS) İNCELEMELERİ

Standart metalografik işlemlerle hazırlanan numunelerin mikro yapıları, SEM ve EDS incelemeleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Malzeme ve Metalürji Mühendisliği bölümü laboratuvarında bulunan JEOL JSM 6060 taramalı elektron mikroskopunda gerçekleştirilmiştir.

5.5. X-IŞINI KIRINIMI (XRD) İNCELEMELERİ

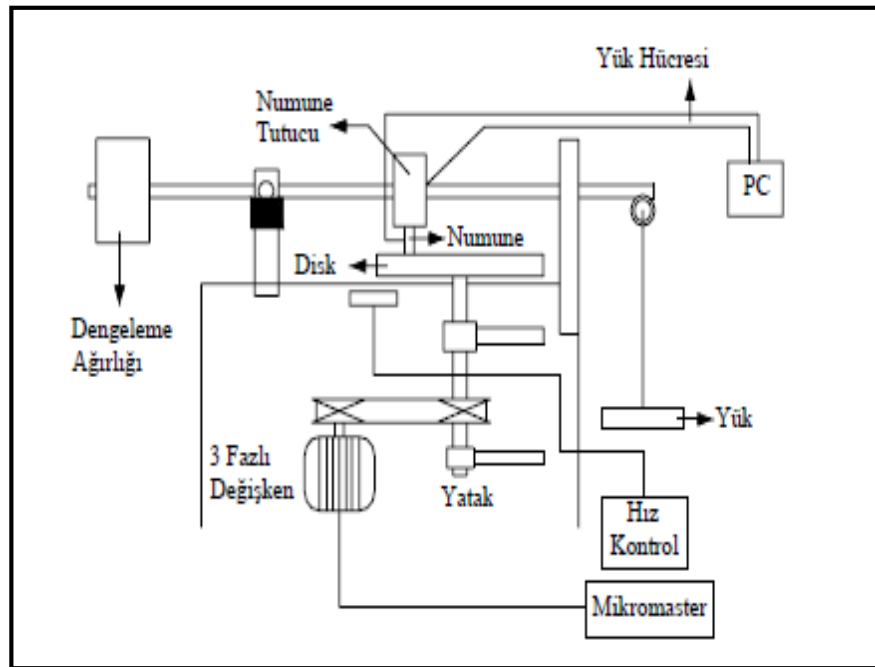
Farklı krom oranına sahip numunelerde oluşan fazların belirlenmesi amacıyla, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsünde bulunan Rigaku Ultima IV marka cihazla XRD analizleri yapılmıştır. Ölçümlerde bakır (Cu) K α ışınımı, 40 kV gerilim ve 30 mA akım, 1° / 102 sn ölçüm hızı ve 20° - 120° aralığı kullanılmıştır.

5.6. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

YKBDD numunelerinin sertlik ölçümleri, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği bölümü laboratuvarında bulunan mikro sertlik ölçüm cihazında (HMV 0.05 g) yapılmıştır. Numunelerin sertlik değerlerinin belirlenmesinde, 3 numuneden elde edilen sertlik ölçümlerinin ortalaması alınmıştır. Her bir numunenin sertlik değerlerinin belirlenmesinde ise, 5 farklı noktadan elde edilen ölçümlerin ortalamaları alınmıştır.

5.7. AŞINMA TESTLERİ

Aşınma testleri, ASTM: G99-05 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Aşınma testlerinde kullanılan pin-on-disk tipi standart aşınma test cihazı şematik görüntüsü Şekil 5.3'te verilmiştir. Bu cihaz, farklı yük ve kayma hızında çalışma kabiliyetine sahiptir. Aşınma testlerinde, numuneler 1 ms^{-1} kayma hızı, üç farklı yük (60 N, 90 N ve 120 N) ve altı farklı kayma mesafesi (500-1000-1500-2000-2500-3000 m) test edilmiştir.



Şekil 5.3. Aşınma test cihazının şematik görünümü.

Numunelerin aşınma öncesi ve sonrası ağırlıkları ölçülerek meydana gelen aşınma kayıpları belirlenmiştir. Elde edilen ağırlık kayıpları ve Eşitlik 5.1'de verilen bağıntı kullanılarak aşınma oranları hesaplanmıştır.

$$W_a = \frac{\Delta G (mg)}{d.P.S \left(\frac{g}{cm^3} \cdot N.m \right)} \quad (5.1)$$

Burada;

W_a : Aşınma oranı (mm^3/Nm)

ΔG : Ağırlık kaybı (mg)

P : Yükleme ağırlığı (N)

- S : Kayma yolu (m)
D : Yoğunluk (g/cm³) olarak verilmiştir.

5.8. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİNDE KULLANILAN MAKİNE VE TEÇHİZAT

İşlenebilirlik deneyleri Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Anabilim Dalı'nda yer alan Jonford TC35 marka, Bilgisayar Sayısal Denetimli (BSD) torna tezgahında yapılmıştır. Tezgahın teknik özellikleri Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. BSD torna tezgahının teknik özellikleri.

| | |
|--------------------------------|-----------------|
| Markası | Johnford TC35 |
| İş mili en fazla döndürme çapı | 450 mm |
| En fazla parça bağlama boyu | 1200 mm |
| Sürekli dönme devir sayıları | 10-3500 rev/min |
| Kesici bağlama hane sayısı | 12 Adet |
| İş mili gücü | 10 kW |
| İşletim sistemi | Fanuc OT |

İşleme deneylerinin ardından kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Çizelge 5.5'te kesme kuvvetlerinin ölçümünde kullanılan Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.5. Kistler 9257B dinamometrenin teknik özellikleri.

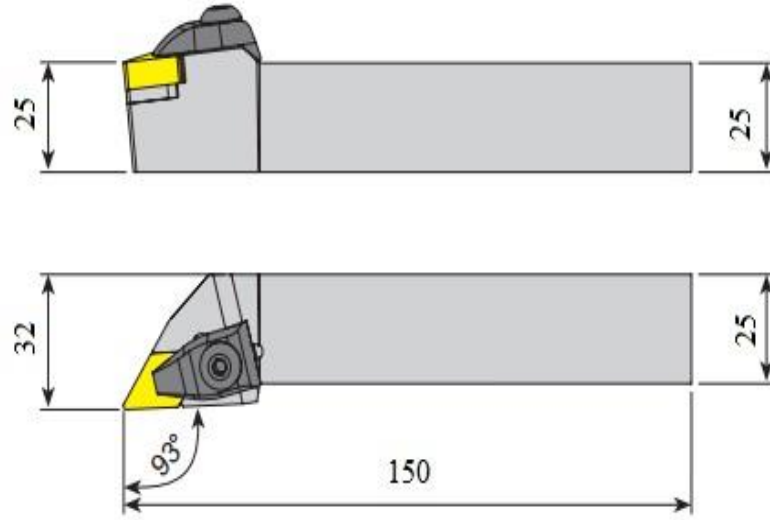
| | |
|--|----------|
| Kuvvet aralığı (kN) (Fx,Fy,Fz) | -5...10 |
| Tepki verme (N) | <0.01 |
| Hassasiyet (pC/N) Fx, Fy, Fz | -3.5 |
| Doğrusallık | %1 FSO |
| Histerezis | %0.5 FSO |
| Doğal frekans f ₀ (x,y,z) (kHz) | 3.5 |
| Çalışma sıcaklığı (°C) | 0...70 |
| Kapasitans (pF) | 220 |
| 20 °C'daki yalıtım direnci (Ω) | >1013 |
| Topraklama sınıfı (Ω) | >108 |
| Koruma sınıfı | IP 67 |
| Ağırlık (kg) | 7.3 |

İşlenen iş parçalarının yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümünde Çizelge 5.6' da verilen Mahr marka yüzey pürüzlülük cihazı kullanılmıştır.

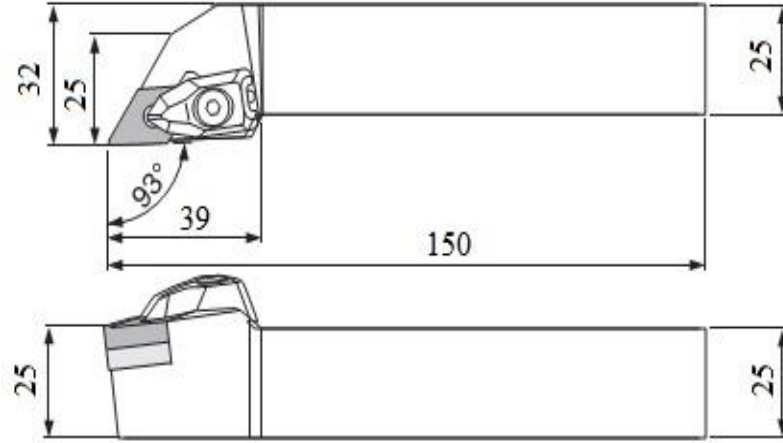
Çizelge 5.6. Mahr yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri.

| | |
|----------------------|---|
| Model | Mahr (Marsurf PS1) |
| Ölçme Yöntemi | İzleyici Uçlu (Stylus) |
| Tarama Hızı | 0.5 mm/sn (ölçme yaparken) 1 mm/sn (geri dönerken) |
| Ölçme kuvveti | 4 mN (0.4gf) |
| Uç malzemesi | Elmas |
| Ölçme sıcaklığı | 20 °C ±1 °C |
| Numune Uzunluğu | 0.8 mm |
| İzleyici Uç yarıçapı | 5µm |
| Tarama boyu | 1.75 – 5.6 – 17.5mm (ISO) |

İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan takım tutucu deneylerin yapılacağı BSD tezgahının kesici takım bağlama başlığı yuvasına ve dinamometre kesici takım bağlama yerine uygun olarak seçilmiştir. Seramik kesici uçları bağlamak için TDJNR2525M kater, CBN kesici uçları bağlamak için DDJNR2525M kater seçilmiştir. Katerlere ait ölçüler Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te gösterilmektedir.

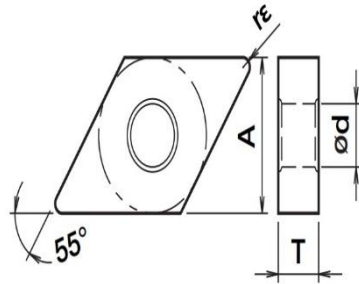


Şekil 5.4. TDJNR 2525M15 kater.



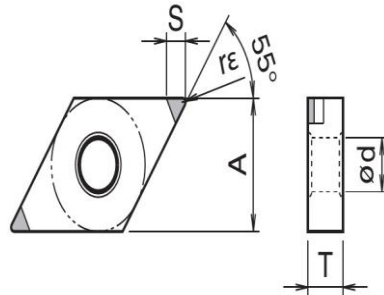
Şekil 5.5. DDJNR 2525M15 kater.

Deneylerde, sonuçları etkileyecek değişkenleri minimize edebilmek ve kullanımdaki pratikliği sebebi ile güncel takım malzemesi olarak sert metal uçlar tercih edilmiştir. Seramik uçlar DNGA150604 boyut ve toleransındadır. CBN uçlar DNGA150404 boyut ve toleransındadır. Uçlara ait özellikler Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de gösterilmektedir.



| | |
|----|------|
| A | 12.7 |
| T | 6.35 |
| Ø | 5.16 |
| rε | 0.4 |

Şekil 5.6. KYOCERA DNGA150604T02025 Seramik kesici uç.



| | |
|----|------|
| A | 12.7 |
| T | 4.76 |
| Ø | 5.16 |
| rε | 0.4 |
| S | 2.3 |

Şekil 5.7. KYOCERA DNGA150404S01225 CBN kesici uç.

5.9. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ

İşlenebilirlik deneylerinde sertlikleri sırasıyla 52, 55 ve 57 HRC olan malzemeler, iki farklı kesici uç ile kuru ortamda sert tormalanmıştır. Kesici uç olarak seçilen seramik ve CBN kesiciler için ayrı ayrı Taguchi L₂₇ dikey dizini deney seti uygulanmıştır.

İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan iş parçaları halka şeklindedir. İş parçalarının tormalama deneylerinin yapılmasında kesme kuvvetlerinin ölçülebilmesi için parçalar malafaya bağlanarak tormalanmıştır. Parçaları malafaya bağlamak için iş parçalarının iç çapları 31 mm'ye getirilmiştir. Ardından taşlama tezgahında her iki alın kısmı 12 mm kalınlığa taşlanmıştır. İş parçaları malafaya geçirilerek somun ile sıkıştırılmıştır. Malafa tezgah aynasına bağlanarak, punta ile karşıdan sabitlenmiştir.

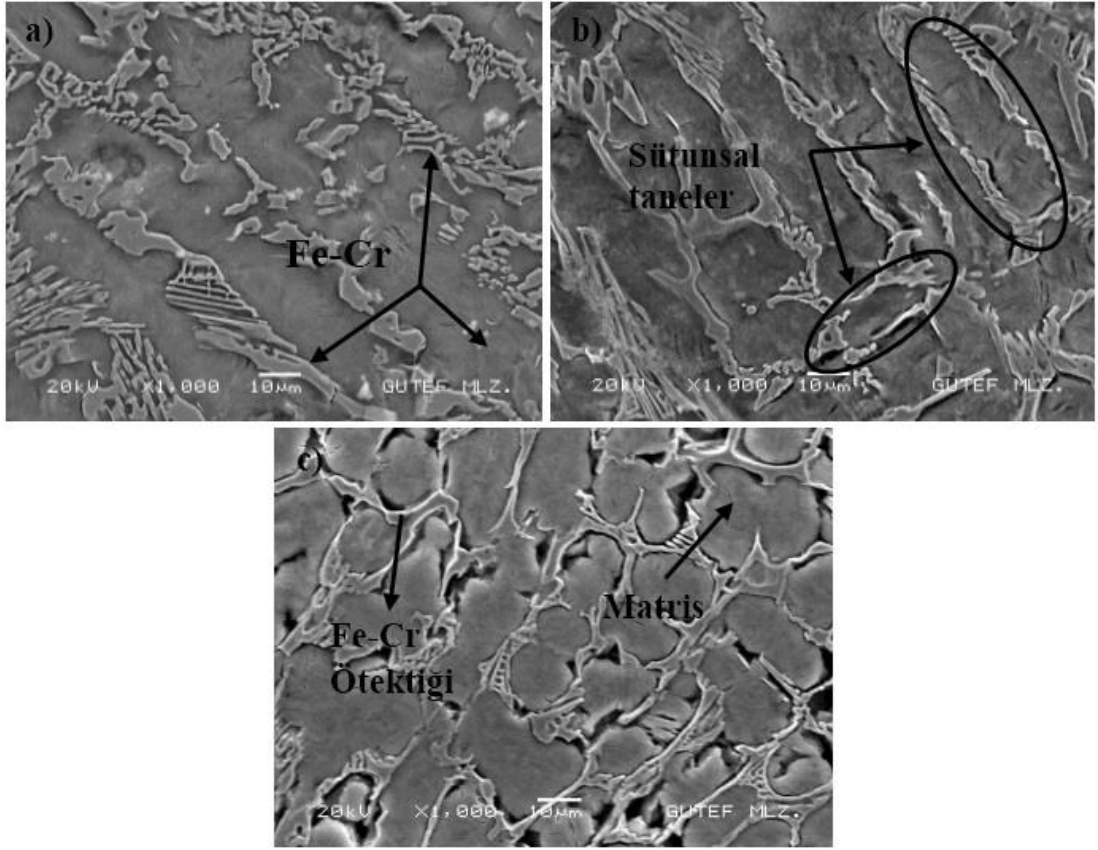
İşlenebilirlik deneylerinde, en önemli işlenebilirlik kriterleri arasında yer alan kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi, elde edilen veriler kullanılarak çizilen grafikler ve istatistiksel analizler yardımıyla yapılmıştır. Her iki kesici uç ile yapılan işleme sonrası ölçülen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde yapılan değerlendirmeler çizelgeler halinde verilmiştir.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

6.1. MİKRO YAPI İNCELEMELERİ

Bu çalışmada, farklı krom içeriğine sahip YKBDD'lerin aşınma davranışları ve işlenebilirlik parametreleri incelenmiştir. Farklı oranlarda Cr (% 10, % 12, % 14) ilave edilen YKBDD'lerin SEM, görüntüleri Şekil 6.1'de verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde, yapıda özellikle matris fazın tane sınırlarında Fe-Cr ötektik yapısı gözlemlenmektedir. Bu görüntülerde dikkate değer önemli bir nokta ise, matris fazın tane yapısında % 10 Cr ilave edilen YKBDD malzemedede, matris fazın tane şekli eş aksenal bir dağılım sergilerken , % 12 Cr'lu malzemedede sütunsal tanelerin oluştuğu anlaşılmaktadır. % 14 Cr'lu malzemenin SEM görüntüsü incelendiğinde ise, hem eş aksenal hem de sütunsal tanelerin olduğu görülmektedir. Krom oranının artması, malzeme yapısındaki tanelerin hem eş aksenal hem de sütunsal tane şekillerinin oluşmasına neden olmaktadır. Şekil 6.1'de % 12 krom içeren alaşımın mikro yapısı görülmektedir. YKBDD mikroyapısı, östenitten martenzite dönüşüm sonucunda sertleşme için yeterli karbon içeren, matrise dağılmış yüksek sertlikteki krom karbürlerden meydana gelmektedir.



Şekil 6.1. Malzemelere ait mikroyapı SEM görüntüleri % 10 Cr (a) % 12 Cr (b) Cr % 14 (c).

Krom oranı % 10 olan alaşımın SEM görüntüsü ve EDS sonuçları Şekil 6.2’de verilmiştir.

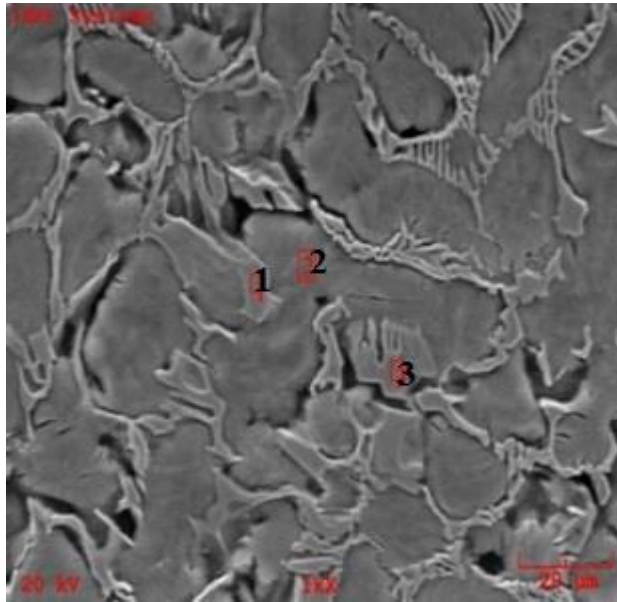


| Element | Ağırlık (%) |
|---------|-------------|
| Fe | 51.731 |
| Cr | 41.733 |
| Mn | 3.336 |
| S | 1.673 |
| Si | 1.205 |

Şekil 6.2. Krom oranı % 10 olan numunenin SEM ve EDS sonuçları.

1 nolu bölgeden alınan EDS sonuçlarında da görüldüğü gibi, açık renkli görünen kısım Fe-Cr ötektiklidir. EDS sonucunda bu bölgede Cr oranının % 41, Fe oranının % 51 olduğu görülmektedir. SEM görüntüsünde Fe-Cr ötektiklerinden daha koyu olarak görünen kısımlar matristir. Ayrıca yapıda küçük çatlaklar şeklinde oksit filmlerin oluştuğuda görülmektedir. Döküm işlemi sırasında mikro yapı ve mekanik özellikleri etkileyen parametrelerden birisi de, yapıda oluşan inklüzyonlardır. Bu inklüzyonlar döküm sırasında sıvının oksijenle teması sonucu (oksit), hidrür ve nitrür şekilde ergiyik içerisine karışmaktadır. Sıvıya karışan bu inklüzyonların döküm işlemi sırasında meydana gelen türbülansın dolaylı katlanması halinde bir birini ıslatmayan oksit film katmanlarının (bi-film) oluşumuna yol açmaktadır. Oluşan bi-film katmanlar katılma sırasında gözenekli yapı oluşumuna neden olmaktadır [86].

Krom oranı %14 olan alaşımın SEM görüntüsü ve EDS analiz sonuçları Şekil 6.3'te verilmiştir. SEM görüntüsünde Fe-Cr ötektiklerinin matris içerisinde hem eş aksenel hem de sütunsal tane yapısının oluştuğu görülmektedir. EDS sonuçlarında ise, Fe-Cr ötektiklerinin kromca daha zengin olduğu anlaşılmaktadır.



| Element | Ağırlık (%) | | |
|---------|-------------|---------|---------|
| | 1.bölge | 2.bölge | 3.bölge |
| Fe | 52.754 | 59.497 | 53.345 |
| Cr | 29.817 | 20.139 | 30.246 |
| Mn | 2.285 | 1.511 | 2.045 |
| S | 3.193 | 1.246 | 2.060 |
| Ni | 1.283 | 0.653 | 0.987 |

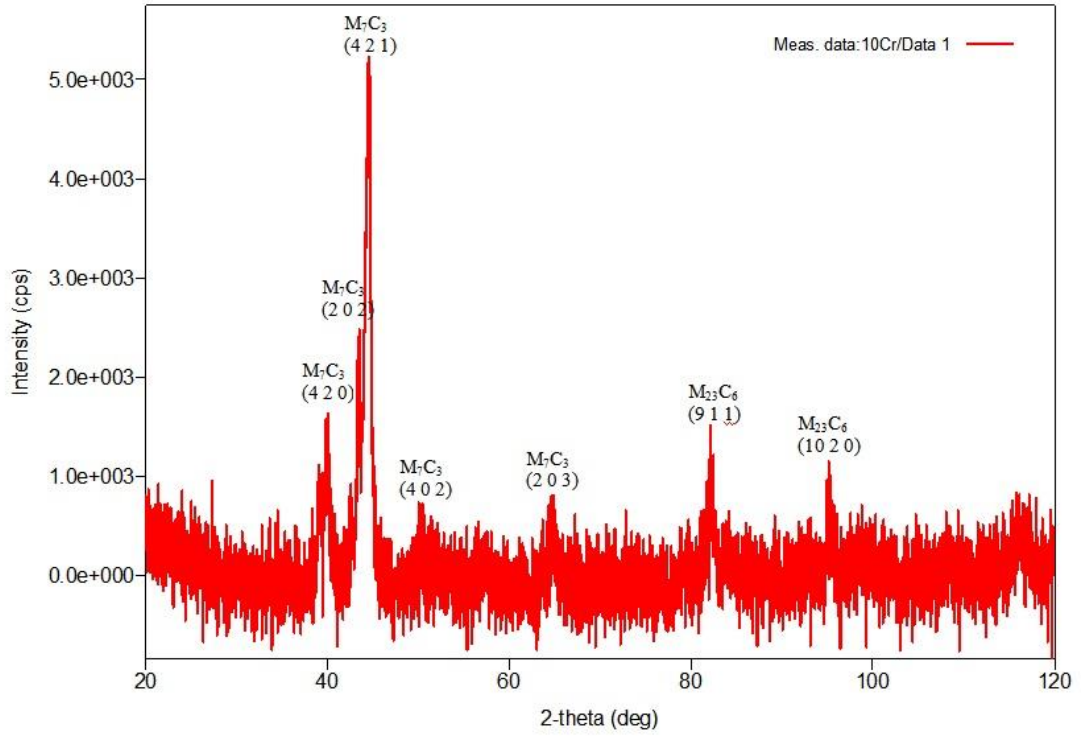
Şekil 6.3. Krom oranı %14 olan numunenin SEM görüntüleri ve EDS sonuçları.

6.2. XRD İNCELEMELERİ

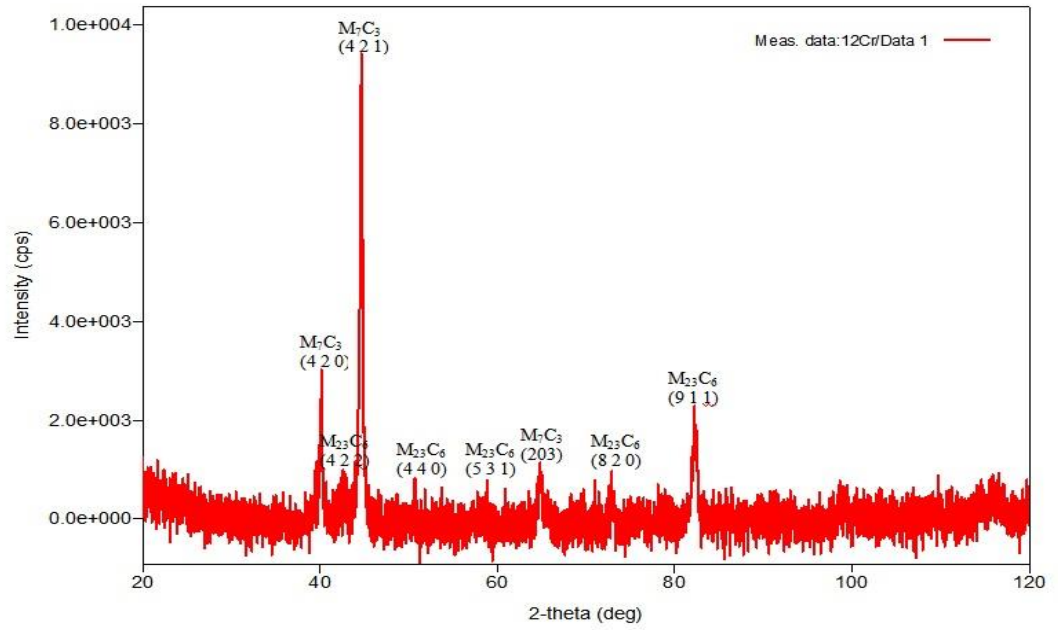
Farklı krom oranlarına sahip (% 10-12 ve 14) alaşımların X ışını kırınımı (XRD) sonuçları Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da sırasıyla verilmiştir. XRD sonuçlarında, Cr oranındaki değişmeye bağlı olarak malzemelerin yapısında M_7C_3 ve $M_{23}C_6$ karbürlerin olduğu anlaşılmaktadır. Döküm işlemleri sırasında yapıda oluşan bu karbürler (miktarlarına bağlı olarak) alaşımın, sertlikleri ve aşınma davranışları üzerinde etkili olan fazlardır.

Daha önce yapılan bir çalışmada, YKBDD'in aşınma davranışı üzerinde, yapıda oluşan karbürlerin hacimsel oranlarının önemli oranda etkili olduğu belirtilmektedir [85]. M_7C_3 karbür yapısı, $M_{23}C_6$ karbür yapısına oranla daha serttir. Bu nedenle yapıda artan $M_{23}C_6$ karbürler alaşımın sertliklerini ve aşınma dayanımlarının azalmasında etkilidir.

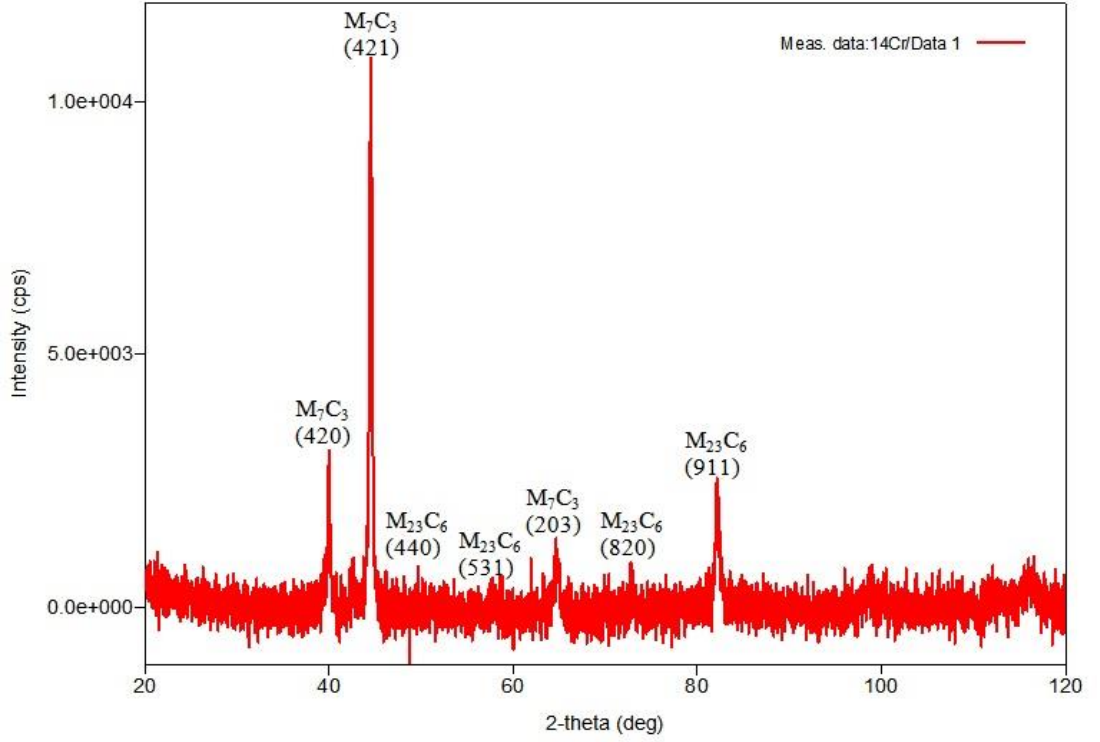
YKBDD bileşimlerinde krom dışında molibden, titanyum, vanadyum gibi karbür yapıcı başka elementler de bulunmaktadır. Ancak mikro yapıda genel olarak en önemli faktör, döküm işlemi sırasında yapıda oluşan krom karbürlerdir. Karbürler içerisindeki krom miktarı, alaşımın Cr/C oranı ile ilişkilidir. Örneğin; alaşımın Cr/C oranı üç iken M_7C_3 tipi karbür oluşumu artmaktadır [87].



Şekil 6.4. % 10 Cr'lu beyaz dökme demire ait XRD analiz sonucu.



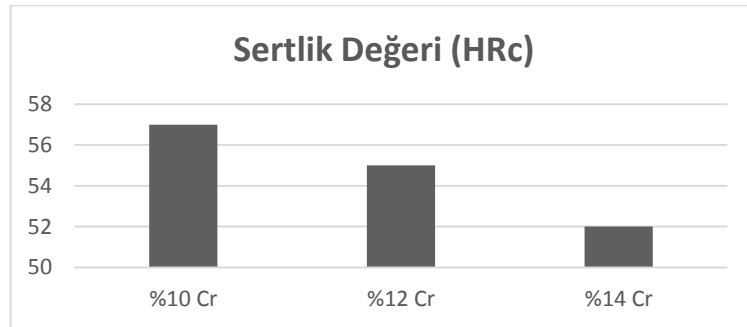
Şekil 6.5. % 12 Cr'lu beyaz dökme demire ait XRD analiz sonucu.



Şekil 6.6. % 14 Cr'lu beyaz dökme demire ait XRD analiz sonucu.

6.3. SERTLİK İNCELEMELERİ

Üç farklı oranda (% ağırlık) Cr içeren YKBDD'in sertlik değişimleri Şekil 6.7'de verilmektedir.



Şekil 6.7. Numunelere ait mikro sertlik değişimleri.

Sertlik ölçümleri sonucunda krom miktarı % 10 olan dökme demirin sertliği 57 HRC, krom miktarı % 12 olan dökme demirin sertliği 55 HRC ve krom miktarı % 14 olan dökme demirin sertliği ise 52 HRC olarak ölçülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar krom

miktarı arttıkça, malzemenin sertliğinin azaldığını göstermektedir. Yüksek kromlu dökme demirlerde malzemenin sertliğini M_7C_3 karbürleri arttırmaktadır [10]. Krom oranı arttıkça, % 10 Cr'lu olan malzemede ki M_7C_3 karbürlerin $M_{23}C_6$ karbürlerine dönüştüğü düşünülmektedir. Karbür miktarı arttıkça, aşınma direnci de artmaktadır. % 30 karbür oranına kadar, sertlik arttıkça aşınma direnci de artmaktadır. % 30'un üzerinde karbür oranındaki artışlar aşınma direncini etkilememektedir [53]. $M_{23}C_6$ karbürlerinin sertliği M_7C_3 karbürlerine göre daha düşüktür. M_7C_3 karbürlerin, krom miktarının daha fazla artması ile $M_{23}C_6$ karbürlere dönüşerek, malzemenin sertliğini düşürdüğü anlaşılmaktadır.

6.4. YOĞUNLUK SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Farklı krom oranlarına sahip alaşımların yoğunluk değişimleri Çizelge 6.1'de verilmektedir.

Çizelge 6.1. Numune yoğunluk değerleri.

| | % 10 Cr | % 12 Cr | % 14 Cr |
|------------------------------------|---------|---------|---------|
| Yoğunluk (g/cm³) | 7.675 | 7.732 | 7.741 |

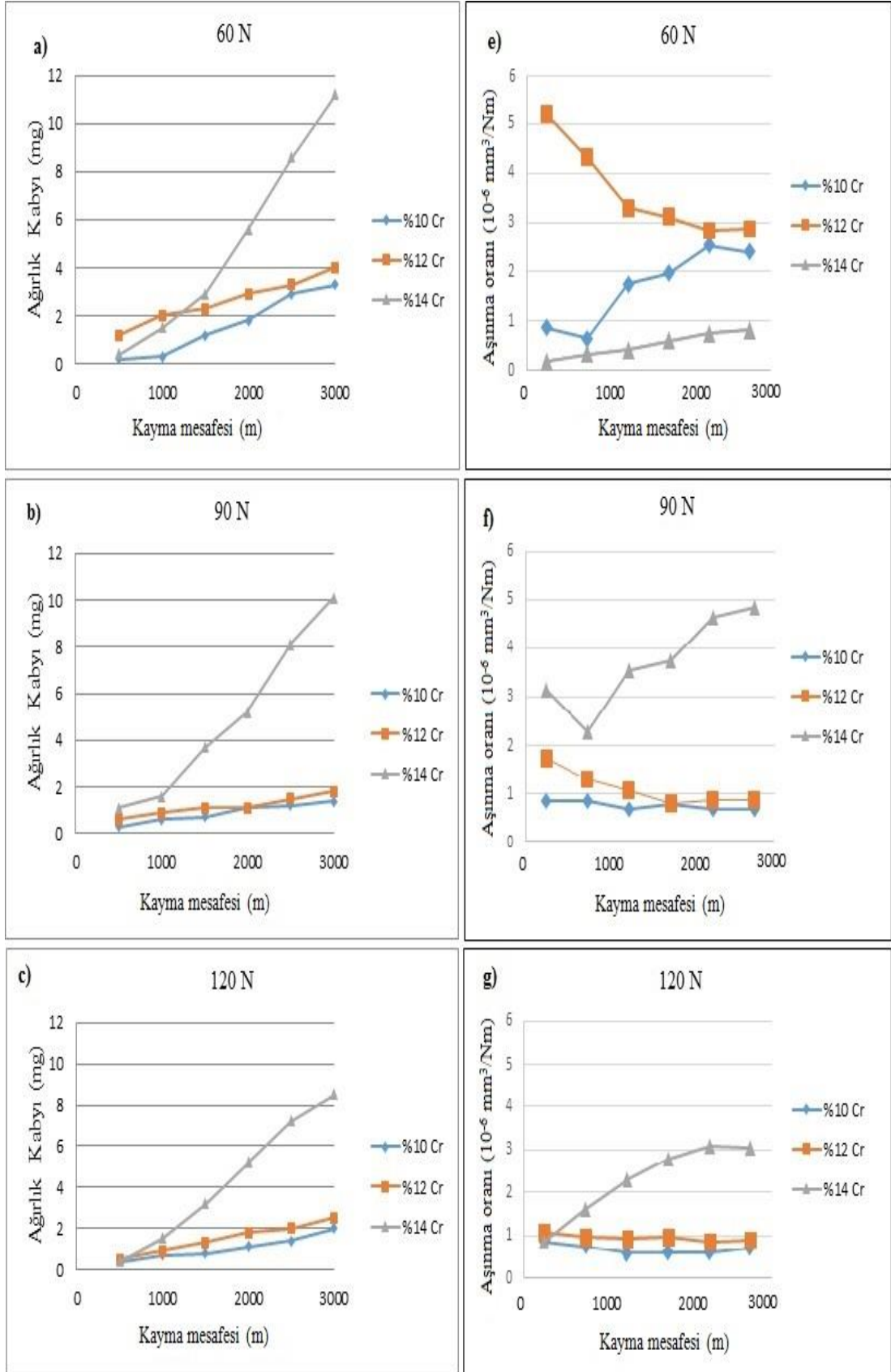
Yoğunluk değerinin belirlenmesinde, her bir farklı grupta 3 adet numunenin yoğunluk değerleri ölçülerek ortalama yoğunluk değerleri alınmıştır. Krom oranı % 10 olan dökme demirin yoğunluğu 7.675 g/cm³, krom oranı % 12 olan dökme demirin yoğunluğu 7.732 g/cm³ ve krom oranı % 14 olan dökme demirin yoğunluğu 7.741 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre artan krom oranları, malzemenin teorik yoğunluğunun arttığı belirlenmiştir.

6.5. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI

Şekil 6.8'de verilen ağırlık kaybı sonuçlarında, 60 N yük altında, 3000 m kayma mesafesi sonunda en fazla ağırlık kaybı % 14 Cr'lu alaşımda, en düşük ağırlık kaybı ise % 10 Cr'lu alaşımda elde edilmiştir. % 14 Cr'lu alaşımda 3000 m kayma mesafesi

sonunda ağırlık kaybı değerinin yüksek çıkmasının nedeni (mikroyapı kısmında incelen SEM görüntüleri ve XRD sonuçlarında), yapıda olduğu belirtilen $M_{23}C_6$ karbürlerdir. $M_{23}C_6$ karbürlerin aşınmaya karşı dayanımları M_7C_3 karbürlere göre daha düşüktür [8]. 90 N yük altında, 3000 m kayma mesafesi sonunda en fazla aşınan % 14 Cr'lu alaşımdır. 90 N yük altında 3000 m kayma mesafesi sonunda en az aşınan ise % 10 Cr'lu alaşımdır. 120 N yük altında, 3000 m kayma mesafesi sonunda en az aşınan % 10 Cr'lu alaşımdır. En fazla aşınan alaşım ise % 14 Cr'lu alaşımdır. 120 N yük altında, 3000 m kayma mesafesinde gerçekleştirilen aşınma testlerinde, aşınma kaybı değerinin daha fazla olması beklenirken, aşınma ürünü parçacıkların tekrar numune yüzeyine yapışması nedeniyle, beklenenden daha düşük ağırlık kaybı sonuçları elde edilmiştir. En yüksek sertlik değerine sahip olan % 10 Cr içeren alaşımın aşınma testleri sonunda, en düşük ağırlık kaybına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni % 10 Cr'lu alaşımda daha fazla bulunan aşınmaya karşı dirençli M_7C_3 karbürlerdir. Bu da malzemenin sertliğinin artmasına ve ağırlık kaybının azalmasına neden olmaktadır [8]. En düşük sertliğe sahip olan % 14 Cr'lu alaşımın ağırlık kaybının bütün yükler altında (60 N, 90 N, 120 N) daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

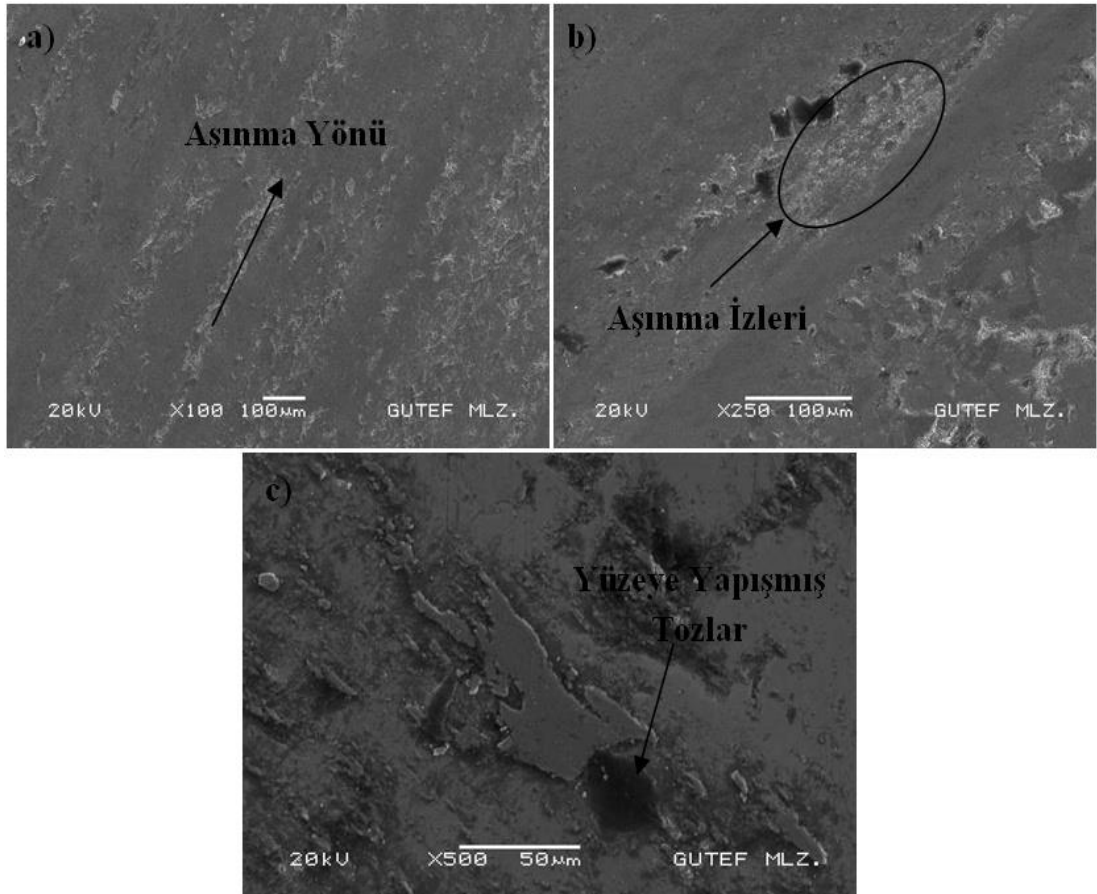
Aşınma testi uygulanan numunelerin aşınma oranları (mm^3/Nm) bölüm 3.5.1'de verilen Eşitlik 3.1. kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamaların sonucunda farklı krom oranlarına sahip YKBDD'lerin (60 N, 90 N ve 120 N) farklı yükler altında aşınma oranları, Şekil 6.8'de verilmiştir. 60 N yük altında gerçekleştirilen aşınma kaybı testlerinde % 12 Cr oranına sahip alaşımın aşınma oranının kayma mesafesi arttıkça giderek azaldığı görülmektedir. % 10 ve % 14 Cr oranına sahip alaşımın aşınma oranının kayma mesafesi arttıkça artmaktadır. Ayrıca aşınma testlerinde, uygulanan yük arttıkça (90 N – 120 N) % 14 Cr oranına sahip alaşımın aşınma oranının arttığı görülmektedir. % 10 ve % 12 Cr içeren alaşımların aşınma oranlarının ise azaldığı görülmektedir. % 14 Cr oranına sahip alaşım artan yük ile beraber içerisinde miktar olarak daha fazla bulunan $M_{23}C_6$ karbürlerden dolayı aşınma oranlarının arttığı anlaşılmaktadır [8]. M_7C_3 karbürler ağır çalışma şartları altında çalışma dayanımları yüksek olduğunda artan yükün, aşınma oranına etkisinin az olduğu görülmektedir. Artan yükle beraber yüzeye tekrar yapışan aşınma ürünü parçacıklar, aşınma oranlarının beklenenden düşük olmasına neden olmaktadır.



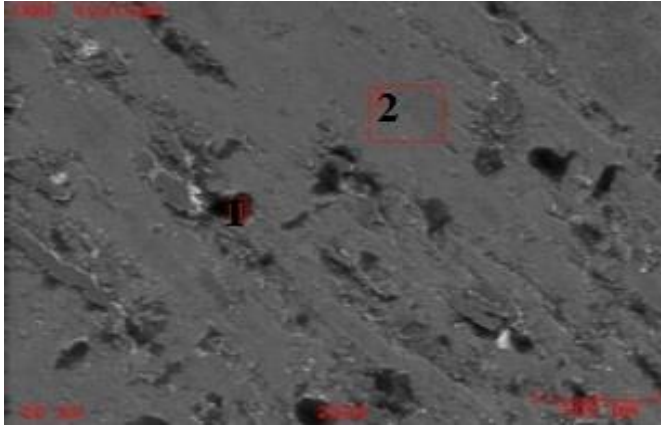
Şekil 6.8. Uygulanan yüke bağlı olarak gerçekleşen aşınma kaybı ve aşınma oranları.

6.6. FARKLI ORANLARDA CR İÇEREN ALAŞIMLARIN AŞINMA YÜZEYİ (SEM) İNCELEMELERİ

Şekil 6.9'da % 10 Cr'lu alaşımın 60 N, 90 N ve 120 N yük altında ve 3000 m kayma mesafesi sonunda elde edilen aşınma yüzeyi SEM görüntüleri verilmektedir. SEM görüntüler incelendiğinde, aşınma yönü belirgin olarak görülmektedir. Ayrıca aşınma yüzeyi SEM görüntülerinde, yapıda oluşan birincil karbürlerin kırılarak parçalar halinde koptuğu da anlaşılmaktadır. Bununla birlikte SEM görüntülerinde aşınma yüzeylerinde çeşitli boyutlarda parçacıkların tekrar yüzeye yapıştıkları görülmektedir. Şekil 6.10'da bu bölgelerden alınan EDS sonuçlarında bu parçacıkların, aşınma testlerinde kayma işlemi sırasında oksitlenerek tekrar yüzeye yapıştığı netlik kazanmaktadır.



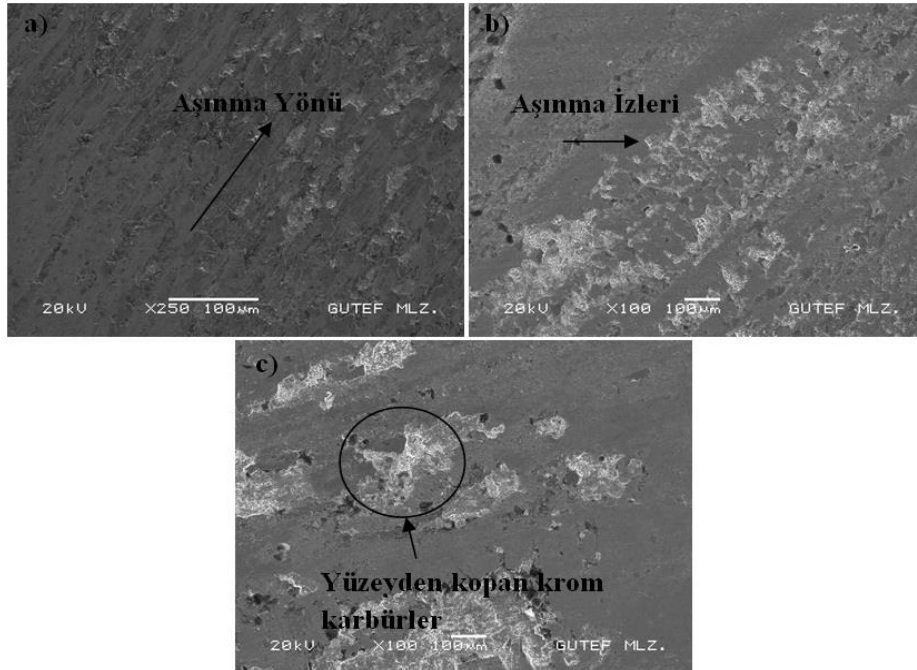
Şekil 6.9. % 10 Cr'lu alaşımların aşınma yüzeyi SEM görüntüleri a) 60 N b) 90 N c) 120 N yük altında.



| Element | 1.bölge | 2.bölge |
|---------|---------|---------|
| Fe | 31.967 | 78.522 |
| Cr | 4.777 | 12.818 |
| C | 48.669 | 1.337 |
| O | 12.128 | 3.523 |
| Ni | 0.525 | 1.083 |

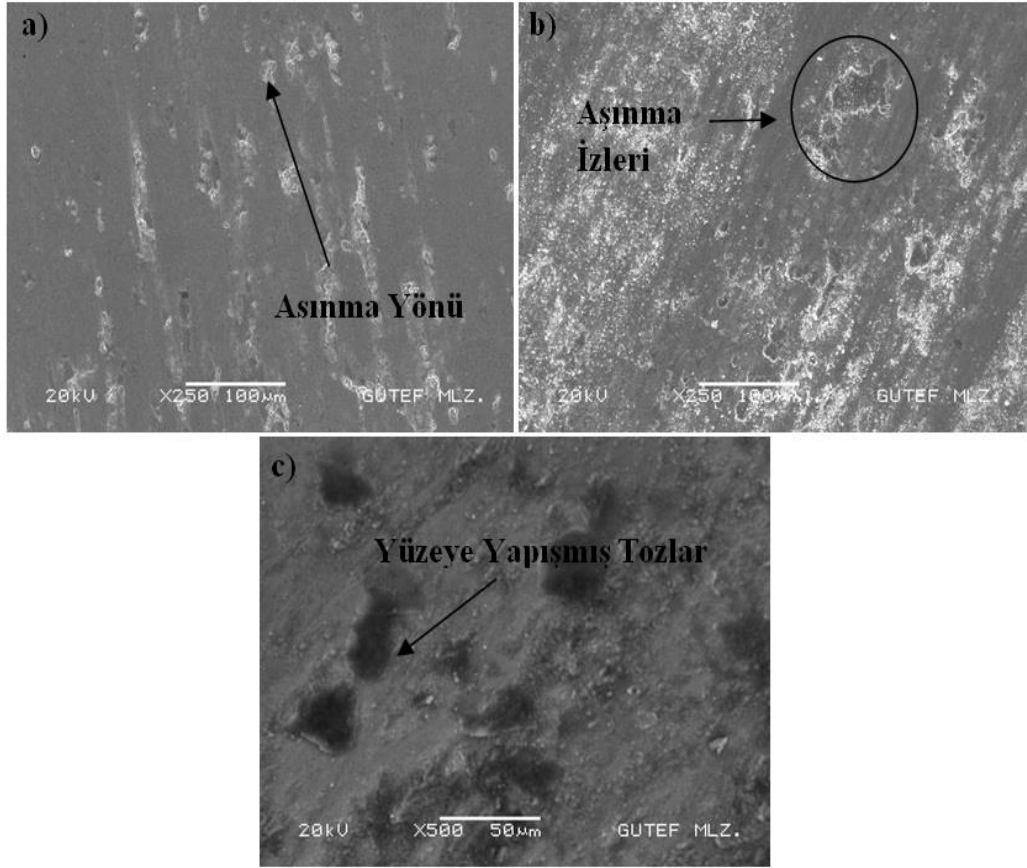
Şekil 6.10. 120 N yük altında aşınmış numunenin SEM görüntüsü 1 ve 2 nolu bölgeden alınan EDS sonuçları.

Aşınma ürünü parçacıkların tekrar yüzeye yapışması beklenenden daha düşük ağırlık kaybının elde edilmesine neden olmaktadır. Numune yüzeyine yapışan parçacıkların ağırlık kaybına etkisi, uygulanan yük ile ters orantılı olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 6.11’de % 12 Cr içeren alaşımın 60 N, 90 N ve 120 N yük altında ve 3000 m kayma mesafesi sonunda elde edilen aşınma yüzeyi SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.11. % 12 Cr’lu alaşımdan üretilen numunelerin aşınma yüzeyi SEM görüntüsü a) 60 N b) 90 N c) 120 N.

Şekil 6.11’de verilen aşınma yüzeyi SEM görüntüleri incelendiğinde, aşınma yönleri ve aşınma izleri net olarak görülebilmektedir. 120 N yük altında, aşınan yüzeyden alınan SEM görüntüsünde (c) numune yüzeyinden kopan krom karbürlerin izleri görülmektedir. Ağırlık kaybına neden olan bu alaşım % 10 Cr’lu alaşımdan üretilen numunelerde daha az, % 14 Cr’lu alaşımdan üretilen numunelerde daha fazla gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bunun nedeni, de alaşımda artan krom miktarıyla birlikte M_7C_3 karbürlerin $M_{23}C_6$ karbürlere dönüşmesi ile, malzemenin aşınmaya karşı olan direncinin azalması olarak açıklanması mümkündür. Şekil 6.12’de % 14 Cr içeren alaşımın 60 N, 90 N ve 120 N yük altında ve 3000 m kayma mesafesi sonunda elde edilen aşınma yüzeyi SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.12. % 14 Cr’lu alaşımın aşınma yüzeyi SEM görüntüleri a) 60 N b) 90 N c) 120 N.

Aşınma testleri uygulanan alaşımlar içerisinde sertliği en düşük olan alaşım, içerisinde % 14 Cr bulunan alaşımdır. Aşınma testleri sonunda belirlenen ağırlık kayıpları göz

önüne alındığında, Şekil 6.7’de verilen sertlik sonuçları ile uyumlu olarak, en yüksek ağırlık kaybı değerleri bu alaşımda elde edilmiştir. Aşınma yüzeyi SEM görüntülerinde (Şekil 6.12), aşınma testleri sırasında sürtünme yüzeyinden kopan parçacıklar (özellikle kırılan karbürler), alaşımın ağırlık kaybını da arttırmaktadır. Kimyasal bileşiminde % 14 Cr bulunan alaşımın ağırlık kaybının diğer iki alaşımdan daha yüksek olmasının nedenin belirtilen bu gerekçeden kaynaklandığı düşünülmektedir. $M_{23}C_6$ karbürlerin aşınma direncinin, % 10 Cr’lu ve de % 14 Cr’lu malzemelerin yapısında bulunan M_7C_3 karbürden daha az olması % 14 Cr’lu malzeme aşınmanın daha fazla olmasına neden olmuştur. Şekil 6.12.c’de verilen SEM görüntüsü incelendiğinde, adhezyon etkisi ile yüzeye tekrar yapışmış olan parçacıkların olduğu görülmektedir. Bu da ağırlık kaybının olduğundan bir miktar daha düşük çıkmasına sebep olmaktadır.

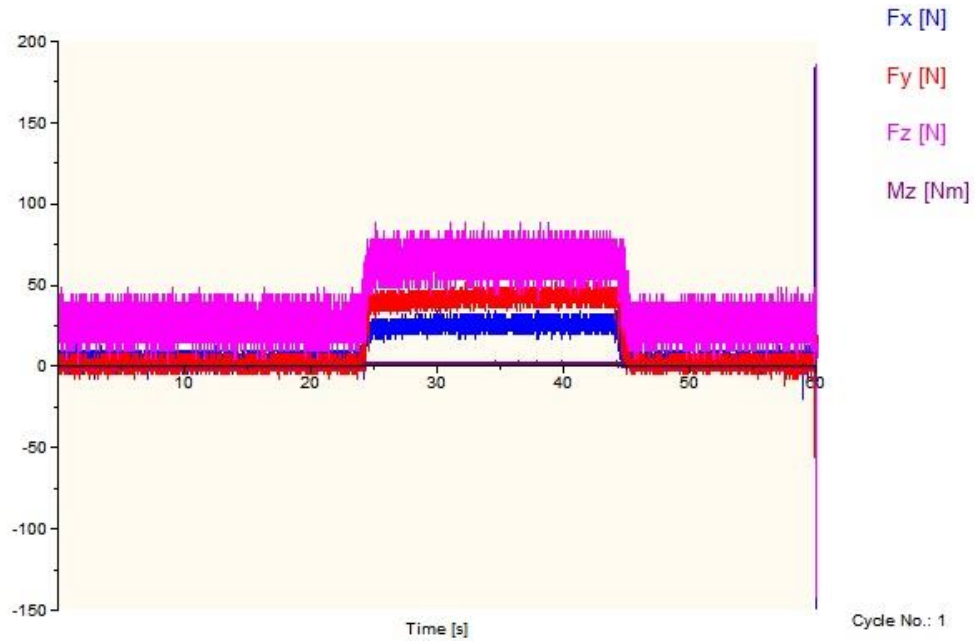
6.7. SERAMİK KESİCİ UÇ KULLANILAN İŞLENEBİLİRLİK TESTİ SONUÇLARININ İNCELENMESİ

6.7.1. Kesme kuvveti sonuçlarının incelenmesi

Kesme kuvvetleri, ölçümü için yapılan testler sonucunda DynoWare yazılımından elde edilen kuvvet bileşenleri sırasıyla ilerleme kuvveti (F_f), radyal (pasif) kuvvet (F_r), esas kesme kuvveti (F_c) olarak değerlendirilmiştir.

Şekil 6.13'deki örnek grafikte görüldüğü gibi, kesme işlemi sonunda kesme kuvvetlerinin kararlı olduğu bölgenin başlangıç ve bitiş değerler esas alınarak, ortalama F_c , F_r ve F_f kuvvetleri belirlenebilmektedir.

Dinamometre kartezyen kuvvet bileşenlerinde (F_x , F_y , F_z) ölçümler gerçekleştirilerek; $F_x:F_f$, $F_y:F_r$ ve $F_z:F_c$ 'ye karşılık gelen kuvvetler gösterilmektedir. Çizelge 6.2’de seramik kesici uç kullanılarak yapılan işlenebilirlik deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri verilmektedir.

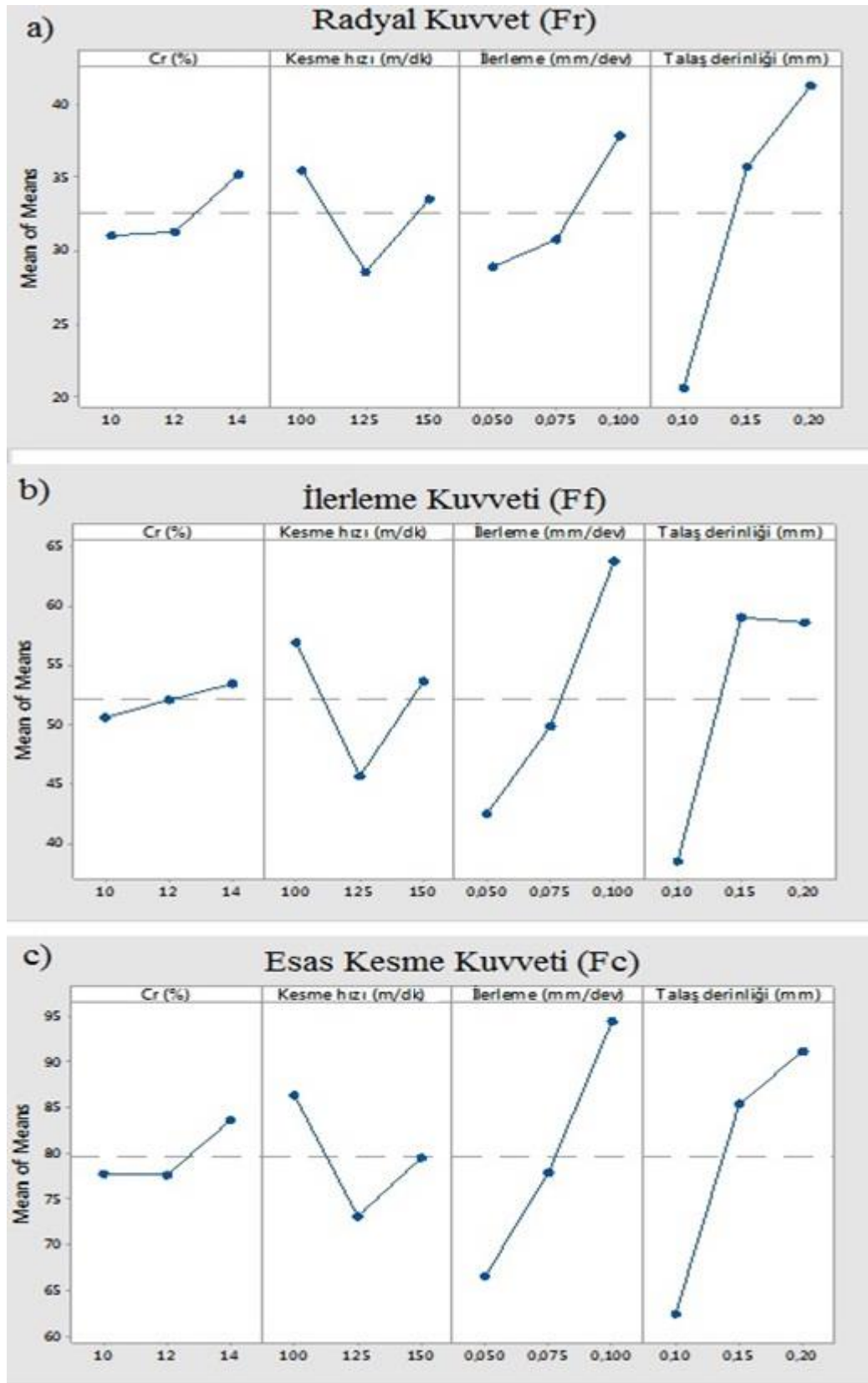


Şekil 6.13. Kistler 9257B tipi dinamometre ile zamana bağlı ölçülen kesme kuvvetleri.

Çizelge 6.2’de verilen kesme kuvvetleri incelendiğinde, malzemelerin işlenmesinde radyal kuvvetin (F_r), ilerleme kuvveti (F_f)’nden daha düşük, ilerleme kuvveti (F_f)’nin esas kesme kuvveti (F_c)’nden daha düşük olduğu görülmektedir. İlerleme kuvveti, radyal kuvvete kıyaslandığında ortalama 20 N daha fazla ölçülmüştür. Esas kesme kuvveti radyal kuvvete kıyaslandığında ise ortalama 27 N daha fazla ölçülmüştür. Bu bakımdan Çizelge 6.2’de verilen sonuçların literatürde verilen değerlerle aynı paralelde olduğu anlaşılmaktadır [65]. Şekil 6.14’te kesme kuvveti grafikleri verilmiştir.

Çizelge 6.2. Kesme kuvvetleri.

| Deney Sıra | Cr (%) | Kesme hızı (m/dk) | İlerleme (mm/dev) | Talaş derinliği (mm) | F _r | F _t | F _c |
|------------|--------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 10 | 100 | 0.05 | 0.1 | 25.53 | 42.27 | 65.61 |
| 2 | 10 | 100 | 0.075 | 0.15 | 33.65 | 63.87 | 86.36 |
| 3 | 10 | 100 | 0.1 | 0.2 | 54.27 | 82.85 | 121.7 |
| 4 | 10 | 125 | 0.05 | 0.15 | 28.83 | 43.73 | 68.84 |
| 5 | 10 | 125 | 0.075 | 0.2 | 39.78 | 57.65 | 90.36 |
| 6 | 10 | 125 | 0.1 | 0.1 | 15.07 | 31.33 | 54.69 |
| 7 | 10 | 150 | 0.05 | 0.2 | 24.47 | 35.07 | 60.61 |
| 8 | 10 | 150 | 0.075 | 0.1 | 15.17 | 27.17 | 50.76 |
| 9 | 10 | 150 | 0.1 | 0.15 | 42.63 | 71.71 | 100.7 |
| 10 | 12 | 100 | 0.05 | 0.1 | 19.99 | 35.08 | 56.85 |
| 11 | 12 | 100 | 0.075 | 0.15 | 36.02 | 56.95 | 86.43 |
| 12 | 12 | 100 | 0.1 | 0.2 | 35.98 | 60.23 | 91.36 |
| 13 | 12 | 125 | 0.05 | 0.15 | 31.37 | 46 | 69.33 |
| 14 | 12 | 125 | 0.075 | 0.2 | 28.49 | 42.78 | 70.85 |
| 15 | 12 | 125 | 0.1 | 0.1 | 24.32 | 51.2 | 76.43 |
| 16 | 12 | 150 | 0.05 | 0.2 | 37.04 | 48.71 | 77.49 |
| 17 | 12 | 150 | 0.075 | 0.1 | 23.86 | 43.58 | 68.96 |
| 18 | 12 | 150 | 0.1 | 0.15 | 44.69 | 84.47 | 101.6 |
| 19 | 14 | 100 | 0.05 | 0.1 | 17.02 | 31.79 | 51.62 |
| 20 | 14 | 100 | 0.075 | 0.15 | 36.36 | 57.65 | 87.26 |
| 21 | 14 | 100 | 0.1 | 0.2 | 60.63 | 81.43 | 130.6 |
| 22 | 14 | 125 | 0.05 | 0.15 | 26.2 | 38.48 | 64.63 |
| 23 | 14 | 125 | 0.075 | 0.2 | 41.43 | 57.48 | 92.97 |
| 24 | 14 | 125 | 0.1 | 0.1 | 21.64 | 42.46 | 69.83 |
| 25 | 14 | 150 | 0.05 | 0.2 | 49.58 | 61.45 | 84.71 |
| 26 | 14 | 150 | 0.075 | 0.1 | 22.71 | 42.07 | 67.7 |
| 27 | 14 | 150 | 0.1 | 0.15 | 41.65 | 68.55 | 103.7 |



Şekil 6.14. Kesme kuvvetleri grafiği a) Radyal Kuvvet b) İlerleme kuvveti c) Esas kesme kuvveti.

Şekil 6.14'te verilen grafikler incelendiğinde, malzeme içerisindeki krom oranının artışı ile kesme kuvvetlerinin de arttığı görülmektedir. Krom oranının artması malzemenin sertliğini azaltmaktadır. Bu durum, süneklik ve yapışma eğilimini artırarak kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır. Kesme hızının 100 m/dk'dan 125 m/dk'ya artmasıyla, kesme kuvvetlerinin azaldığını göstermektedir. Bunun nedeni artan kesme hızı ile birinci deformasyon bölgesinde artan sıcaklığın, talaş oluşumunu kolaylaştırmasıdır [88,74]. Kesme hızı 150 m/dk olduğunda ise kesme kuvvetleride artma eğiliminin olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, Taguchi deney tasarımına bağlı olarak değişen ilerleme miktarı ve talaş değişimi ile açıklanabilir (Çizelge 6.2). Kesme kuvveti bileşenlerinin (ilerleme kuvveti, radyal kuvvet ve esas kesme kuvveti) hepsinde benzer bir eğilim meydana gelmiş olup, talaş kesit alanının artması kesme kuvvetlerinin artışına sebep olmaktadır [74].

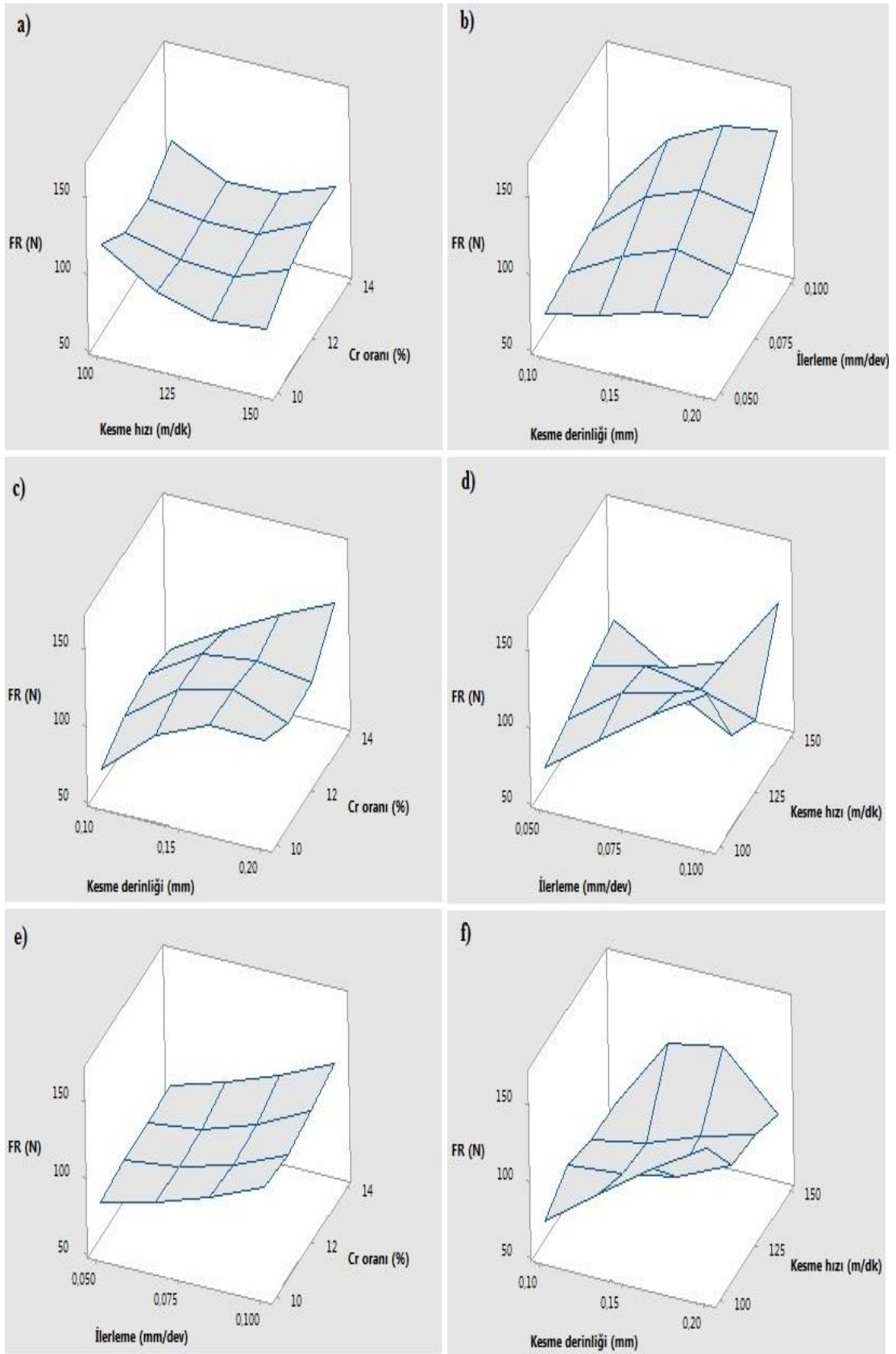
6.7.2. Bileşke kesme kuvveti için ideal kesme şartları

Deneyle sonuçunda ölçülen kesme kuvveti bileşenleri, Eşitlik 4.6 kullanılarak bileşke kesme kuvveti hesaplanmıştır. YKBDD için elde edilen bileşke kesme kuvveti (F_R) için Taguchi yöntemine göre kesme şartlarında iyileştirmeye gidilmiştir. Taguchi yaklaşımlarından “en küçük en iyi” prensibine göre hesaplanan S/N oranları, Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. F_R değerleri ve S/N oranları.

| Deney Sıra | Değişkenler | (A) (%) | (B) (m/dk) | (C) (mm/dev) | (D) (mm) | F_R (N) | S/N (dB) |
|------------|---|---------|------------|--------------|----------|-----------|----------|
| 1 | A ₁ B ₁ C ₁ D ₁ | 10 | 100 | 0.05 | 0.1 | 82.12 | -38.2890 |
| 2 | A ₁ B ₁ C ₂ D ₂ | 10 | 100 | 0.075 | 0.15 | 112.56 | -41.0277 |
| 3 | A ₁ B ₁ C ₃ D ₃ | 10 | 100 | 0.1 | 0.2 | 156.91 | -43.9130 |
| 4 | A ₁ B ₂ C ₁ D ₂ | 10 | 125 | 0.05 | 0.15 | 86.50 | -38.7403 |
| 5 | A ₁ B ₂ C ₂ D ₃ | 10 | 125 | 0.075 | 0.2 | 114.33 | -41.1632 |
| 6 | A ₁ B ₂ C ₃ D ₁ | 10 | 125 | 0.1 | 0.1 | 64.80 | -36.2315 |
| 7 | A ₁ B ₃ C ₁ D ₃ | 10 | 150 | 0.05 | 0.2 | 74.18 | -37.4057 |
| 8 | A ₁ B ₃ C ₂ D ₁ | 10 | 150 | 0.075 | 0.1 | 59.54 | -35.4962 |
| 9 | A ₁ B ₃ C ₃ D ₂ | 10 | 150 | 0.1 | 0.15 | 130.77 | -42.3302 |
| 10 | A ₂ B ₁ C ₁ D ₁ | 12 | 100 | 0.05 | 0.1 | 69.73 | -36.8684 |
| 11 | A ₂ B ₁ C ₂ D ₂ | 12 | 100 | 0.075 | 0.15 | 109.59 | -40.7954 |
| 12 | A ₂ B ₁ C ₃ D ₃ | 12 | 100 | 0.1 | 0.2 | 115.19 | -41.2283 |
| 13 | A ₂ B ₂ C ₁ D ₂ | 12 | 125 | 0.05 | 0.15 | 88.92 | -38.9800 |
| 14 | A ₂ B ₂ C ₂ D ₃ | 12 | 125 | 0.075 | 0.2 | 87.53 | -38.8431 |
| 15 | A ₂ B ₂ C ₃ D ₁ | 12 | 125 | 0.1 | 0.1 | 95.15 | -39.5682 |
| 16 | A ₂ B ₃ C ₁ D ₃ | 12 | 150 | 0.05 | 0.2 | 98.74 | -39.8899 |
| 17 | A ₂ B ₃ C ₂ D ₁ | 12 | 150 | 0.075 | 0.1 | 84.99 | -38.5874 |
| 18 | A ₂ B ₃ C ₃ D ₂ | 12 | 150 | 0.1 | 0.15 | 139.48 | -42.8902 |
| 19 | A ₃ B ₁ C ₁ D ₁ | 14 | 100 | 0.05 | 0.1 | 62.97 | -35.9827 |
| 20 | A ₃ B ₁ C ₂ D ₂ | 14 | 100 | 0.075 | 0.15 | 110.72 | -40.8845 |
| 21 | A ₃ B ₁ C ₃ D ₃ | 14 | 100 | 0.1 | 0.2 | 165.42 | -44.3718 |
| 22 | A ₃ B ₂ C ₁ D ₂ | 14 | 125 | 0.05 | 0.15 | 79.65 | -38.0237 |
| 23 | A ₃ B ₂ C ₂ D ₃ | 14 | 125 | 0.075 | 0.2 | 116.89 | -41.3555 |
| 24 | A ₃ B ₂ C ₃ D ₁ | 14 | 125 | 0.1 | 0.1 | 84.54 | -38.5412 |
| 25 | A ₃ B ₃ C ₁ D ₃ | 14 | 150 | 0.05 | 0.2 | 115.80 | -41.2742 |
| 26 | A ₃ B ₃ C ₂ D ₁ | 14 | 150 | 0.075 | 0.1 | 82.88 | -38.3690 |
| 27 | A ₃ B ₃ C ₃ D ₂ | 14 | 150 | 0.1 | 0.15 | 131.10 | -42.3521 |

Çizelge 6.3'te elde edilen veriler incelendiğinde en düşük bileşke kesme kuvveti A₁B₃C₂D₁ kodlu deneyde elde edilmiştir. Krom oranı % 10, kesme hızının 150 m/dk, ilerlemenin 0.075 mm/dev ve kesme derinliğinin 0.1 mm olduğu şartlarda bileşke kesme kuvveti 59.54 N ölçülmüştür. Bileşke kesme kuvvetinin en yüksek elde edildiği deney şartı A₃B₁C₃D₃ şeklindedir. Krom oranı % 14, kesme hızı 100 m/dk, ilerlemenin 0.1 mm/dev ve kesme derinliğinin 0.2 mm olduğu şartlarda bileşke kesme kuvveti 165.42 N olarak elde edilmiştir. Şekil 6.15'te farklı krom oranlarına sahip malzemelerin seramik kesici uçlarla sert tornalamasıyla elde edilen bileşke kesme kuvveti değerleri görülmektedir.



Şekil 6.15. Krom oranı, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin bileşke kesme kuvvetine etkileri.

Şekil 6.15'te verilen bileşke kesme kuvveti eğrileri incelendiğinde, YKBDD alaşımında krom miktarının artmasıyla bileşke, kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir. Krom miktarı daha yüksek olan malzemenin sertliği daha düşüktür. Düşük krom miktarına sahip malzemenin sertliğinin daha yüksek, yüksek krom oranına sahip malzemenin sertliğinin ise daha düşük olduğu, Şekil 6.7'de verilen sertlik sonuçlarında görülmektedir. % 10 krom miktarına sahip malzemede M_7C_3 krom karbür miktarının yüksek olması alaşımın sertliğini arttırmaktadır. % 14 krom oranına sahip malzemede yoğun olarak bulunan $M_{23}C_6$ krom karbürlerin sertliği M_7C_3 karbürlerden daha azdır [89]. Bu nedenle, işlenebilirlik deneyleri yapılan YKBDD alaşımında, Cr miktarı arttıkça alaşımın sertliği azalmakta ve kesme kuvveti ise artmaktadır (Şekil 6.15.a, Şekil 6.15.c).

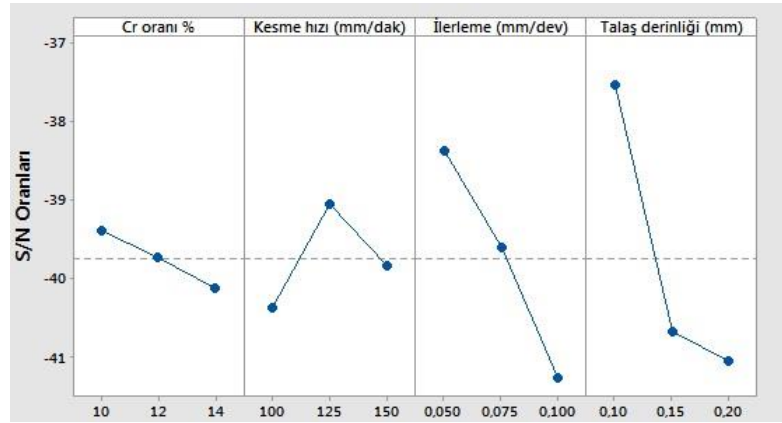
Kesme hızındaki artışla birlikte, kesme kuvvetlerinin genel olarak azalma eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 6.15.a). Bu azalmanın nedeni olarak, artan kesme hızı ile birinci deformasyon bölgesinde artan sıcaklığın talaş oluşumunu kolaylaştırmasını göstermek mümkündür. Bileşke kesme kuvvetinin, kesme hızının artışına bağlı olarak düşmesinin sebebi, akış bölgesindeki yüksek sıcaklık ve azalan temas yüzeyi alanıdır [88, 74]. En yüksek bileşke kesme kuvveti değerinin elde edildiği krom miktarı % 14 olan alaşımda, kesme hızının 100 m/dk, ilerlemenin 0.1 mm/dev ve talaş derinliğinin 0.2 mm seçildiğinde elde edilmiştir. Bunun sebebi ise, talaş kesitinin artmasıdır. Ayrıca bu sonuç, % 10 Cr miktarına sahip alaşımda oluşan karbürlerin M_7C_3 tipi karbürler olduğunun da bir göstergesidir.

İlerleme hızının artmasıyla bileşke kesme kuvvetinin arttığı, Şekil 6.15.b'de görülmektedir. Malzemenin içerisindeki Cr miktarının artışı ve ilerleme miktarının artması, kesme kuvvetlerinin daha yüksek çıkmasına neden olmaktadır. İlerlemenin artmasıyla, biçimlenmemiş talaş kesiti büyüdüğünden talaşın deforme edilmesi için gerekli olan güç artmakta ve böylece artan ilerleme miktarı bileşke kesme kuvvetinin de artmasına neden olmaktadır [90].

Sert tornalama deneylerinde kesme derinliği arttıkça bileşke kesme kuvvetinin, bu artışa paralel olarak arttığı görülmektedir (Şekil 6.15.f). Bunun nedeni, kesme derinliğinin artmasıyla birlikte artan talaş kesit alanını göstermek mümkündür [91,92].

İşleme parametreleri olan kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinde meydana gelen artışlar, bileşke kesme kuvvetinin de artmasına neden olmaktadır. Düşük kesme parametreleri ve düşük krom oranına sahip malzemenin kullanılması ile daha düşük bileşke kesme kuvveti değerleri elde edilmektedir.

Şekil 6.16'da, bileşke kesme kuvveti için kesme parametrelerinin (kontrol faktörleri) S/N oranları verilmektedir.



Şekil 6.16. Bileşke kesme kuvveti için değişkenlerin S/N oranları.

Taguchi metodu için seçilen “en küçük en iyi” prensibine göre tüm faktörlerin S/N değerinin en büyük olduğu seviye, ideal seviyeyi göstermektedir. Şekil 6.16'da verilen S/N oranları grafiği, YKBDĐ'in seramik kesici uç ile sert tornalanmasında elde edilen bileşke kesme kuvveti üzerinde en etkili faktörlerin sırasıyla kesme derinliği, ilerleme, kesme hızı ve krom miktarı olduğunu göstermektedir.

Faktörler ve seviyelerinin bileşke kesme kuvveti (F_R) üzerindeki etkilerinin daha net görülebilmesi için, Şekil 6.16'daki S/N oranı değerleri tablolştırılmıştır. Çizelge 6.4'te verilen değerler, faktörlerin her bir seviyesinin bileşke kesme kuvveti (F_R) üzerindeki değişim etkisini ortaya koymaktadır. Deneyler sonucunda bileşke kesme kuvveti (F_R) değerleri için en etkili faktörler ve seviyeler; krom oranı (1), kesme hızı (2), ilerleme (1) ve kesme derinliği (1) şeklindedir. Bu faktörlerin bileşke kesme kuvveti değişimi üzerindeki katkısının kesin olarak belirlenmesi, için varyans analizi (ANOVA) yapmak daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

Çizelge 6.4. Bileşke kesme kuvveti faktörleri için S/N oranları.

| Seviye | Cr oranı (%) | Kesme hızı (m/dk) | İlerleme (mm/dev) | Kesme derinliği (mm) |
|---------------------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1 | -39.40* | -40.37 | -38.38* | -37.55* |
| 2 | -39.74 | -39.05* | -39.61 | -40.67 |
| 3 | -40.13 | -39.84 | -41.27 | -41.05 |
| Delta | 0.73 | 1.32 | 2.89 | 3.5 |
| *Değişkenlerin ideal seviyeleri | | | | |

YKBBDD'in seramik kesici uç ile sert tornalanması işleminde elde edilen bileşke kesme kuvvetleri kullanılarak hesaplanan S/N oranları için % 95 güven düzeyinde yapılan varyans analizi (ANOVA), Çizelge 6.5'te verilmiştir. Çizelge 6.5'te verilen (herbir faktör için hesaplanan) P değerinin $P < 0,05$ olması durumunda, ilgili faktör F_R için önemli olduğu kabul edilmektedir. Çizelgede, bileşke kesme kuvvetine etki eden faktörlerin etki oranları (PCR) yüzde olarak verilmektedir. Bileşke kesme kuvveti üzerinde etkili olan faktörler, sırasıyla % 45.54 PCR değeri ile kesme derinliği, % 25.87 PCR ile ilerleme miktarıdır. Kesme hızı ve krom oranının P değerleri göz önünde bulundurulduğunda, bu faktörlerin F_R üzerinde $\alpha:0,05$ önem seviyesinde etkisiz olduklarını görmek mümkündür. Ayrıca S/N oranları için yapılan ANOVA analizinde belirleme katsayısı (R^2) % 78.54 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.5. Bileşke kesme kuvveti için S/N oranları için ANOVA analizi.

| Faktörler | SD | KT | KO | F Değeri | P Değeri | PCR (%) |
|----------------------|----|---------|--------|----------|----------|---------|
| Cr oranı (%) | 2 | 2.393 | 1.196 | 0.69 | 0.515 | 1.64 |
| Kesme hızı (m/dk) | 2 | 7.991 | 3.995 | 2.3 | 0.129 | 5.47 |
| İlerleme (mm/dev) | 2 | 37.749 | 18.874 | 10.86 | 0.001 | 25.87 |
| Kesme derinliği (mm) | 2 | 66.435 | 33.217 | 19.1 | 0.000 | 45.54 |
| Hata | 18 | 31.297 | 1.739 | | | 21.4 |
| Toplam | 26 | 145.864 | | | | |

6.7.3. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları

YKBDĐ'in seramik kesici takımla işlenmesinde oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ve bu değerlerin "en küçük en iyi" yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranları Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Yüzey pürüzlülüğü değerleri ve S/N oranları.

| Deney Sıra | Değişkenler | (A) (%) | (B) (m/dk) | (C) (mm/dev) | (D) (mm) | R_a (μm) | S/N (dB) |
|------------|---|---------|------------|--------------|----------|-------------------------|----------|
| 1 | A ₁ B ₁ C ₁ D ₁ | 10 | 100 | 0.05 | 0.1 | 0.300 | 10.4672 |
| 2 | A ₁ B ₁ C ₂ D ₂ | 10 | 100 | 0.075 | 0.15 | 0.512 | 5.8146 |
| 3 | A ₁ B ₁ C ₃ D ₃ | 10 | 100 | 0.1 | 0.2 | 0.880 | 1.1136 |
| 4 | A ₁ B ₂ C ₁ D ₂ | 10 | 125 | 0.05 | 0.15 | 0.259 | 11.7340 |
| 5 | A ₁ B ₂ C ₂ D ₃ | 10 | 125 | 0.075 | 0.2 | 0.492 | 6.1548 |
| 6 | A ₁ B ₂ C ₃ D ₁ | 10 | 125 | 0.1 | 0.1 | 0.837 | 1.5420 |
| 7 | A ₁ B ₃ C ₁ D ₃ | 10 | 150 | 0.05 | 0.2 | 0.310 | 10.1634 |
| 8 | A ₁ B ₃ C ₂ D ₁ | 10 | 150 | 0.075 | 0.1 | 0.509 | 5.8656 |
| 9 | A ₁ B ₃ C ₃ D ₂ | 10 | 150 | 0.1 | 0.15 | 0.824 | 1.6850 |
| 10 | A ₂ B ₁ C ₁ D ₁ | 12 | 100 | 0.05 | 0.1 | 0.265 | 11.5460 |
| 11 | A ₂ B ₁ C ₂ D ₂ | 12 | 100 | 0.075 | 0.15 | 0.414 | 7.6530 |
| 12 | A ₂ B ₁ C ₃ D ₃ | 12 | 100 | 0.1 | 0.2 | 0.770 | 2.2702 |
| 13 | A ₂ B ₂ C ₁ D ₂ | 12 | 125 | 0.05 | 0.15 | 0.309 | 10.2008 |
| 14 | A ₂ B ₂ C ₂ D ₃ | 12 | 125 | 0.075 | 0.2 | 0.582 | 4.7015 |
| 15 | A ₂ B ₂ C ₃ D ₁ | 12 | 125 | 0.1 | 0.1 | 0.838 | 1.5386 |
| 16 | A ₂ B ₃ C ₁ D ₃ | 12 | 150 | 0.05 | 0.2 | 0.347 | 9.2018 |
| 17 | A ₂ B ₃ C ₂ D ₁ | 12 | 150 | 0.075 | 0.1 | 0.526 | 5.5748 |
| 18 | A ₂ B ₃ C ₃ D ₂ | 12 | 150 | 0.1 | 0.15 | 0.862 | 1.2899 |
| 19 | A ₃ B ₁ C ₁ D ₁ | 14 | 100 | 0.05 | 0.1 | 0.348 | 9.1767 |
| 20 | A ₃ B ₁ C ₂ D ₂ | 14 | 100 | 0.075 | 0.15 | 0.598 | 4.4611 |
| 21 | A ₃ B ₁ C ₃ D ₃ | 14 | 100 | 0.1 | 0.2 | 0.857 | 1.3404 |
| 22 | A ₃ B ₂ C ₁ D ₂ | 14 | 125 | 0.05 | 0.15 | 0.334 | 9.5251 |
| 23 | A ₃ B ₂ C ₂ D ₃ | 14 | 125 | 0.075 | 0.2 | 0.474 | 6.4783 |
| 24 | A ₃ B ₂ C ₃ D ₁ | 14 | 125 | 0.1 | 0.1 | 0.829 | 1.6289 |
| 25 | A ₃ B ₃ C ₁ D ₃ | 14 | 150 | 0.05 | 0.2 | 0.275 | 11.2028 |
| 26 | A ₃ B ₃ C ₂ D ₁ | 14 | 150 | 0.075 | 0.1 | 0.612 | 4.2650 |
| 27 | A ₃ B ₃ C ₃ D ₂ | 14 | 150 | 0.1 | 0.15 | 0.949 | 0.4547 |

Çizelge 6.6'da elde edilen veriler incelendiğinde, en düşük yüzey pürüzlülüğü A₁B₂C₁D₂ kodlu deneyde elde edilmiştir. Krom oranı % 10, kesme hızının 125 m/dk, ilerlemenin 0.05 mm/dev ve kesme derinliğinin 0.15 mm olduğu şartlarda, yüzey

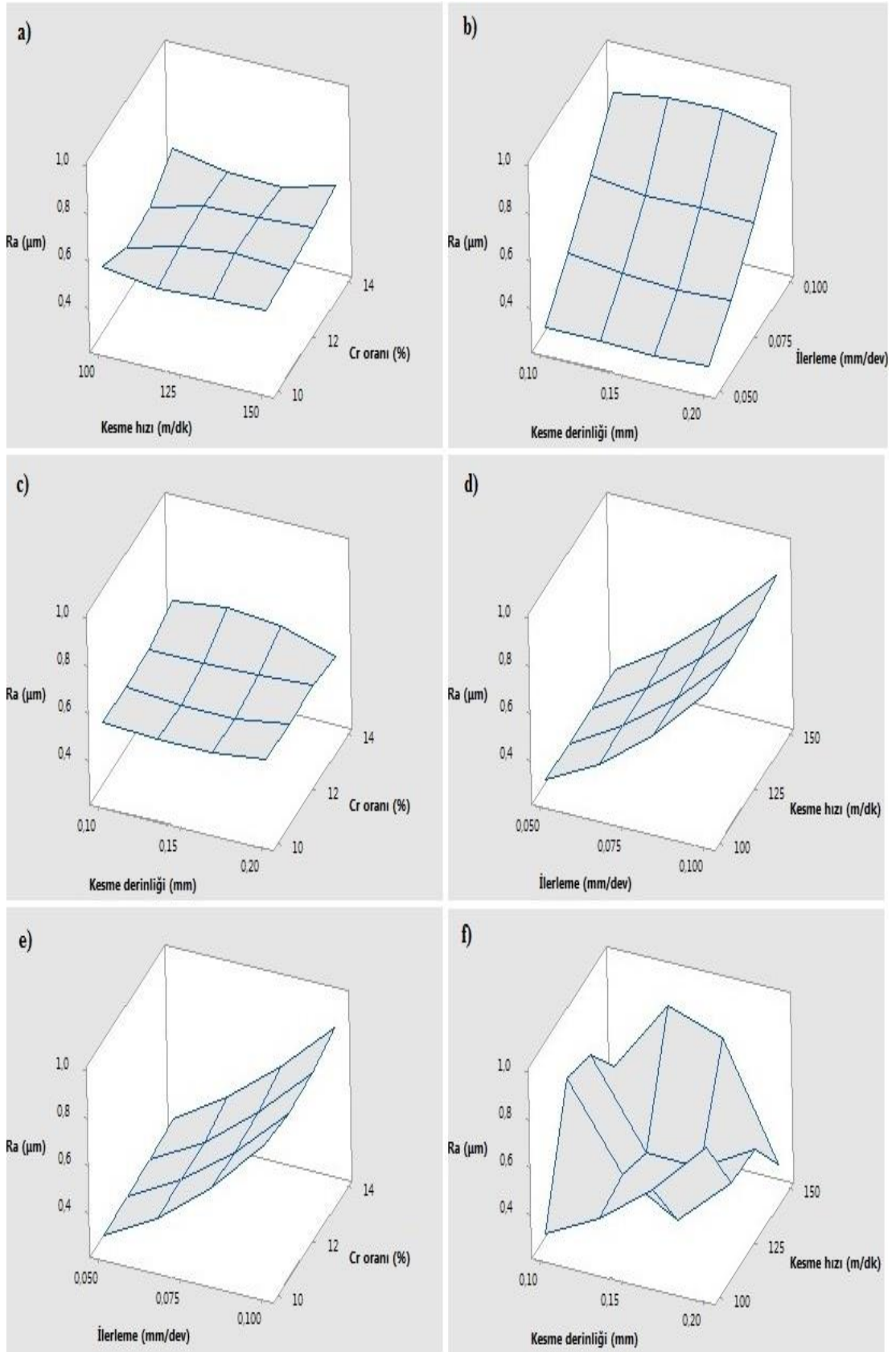
pürüzlülüğü 0.259 μm ölçülmüştür. En yüksek yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği deney şartı $A_3B_3C_3D_2$ 'dir. Krom oranı % 14, kesme hızı 150 m/dk, ilerlemenin 0.1 mm/dev ve kesme derinliğinin 0.15 mm olduğu şartlarda, yüzey pürüzlülüğü 0.949 μm olarak ölçülmüştür.

Şekil 6.17'de farklı krom oranlarına sahip malzemelerin seramik kesici uçlarla sert tormalanması işlemi ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kesme parametrelerine göre değişimi grafik olarak verilmektedir.

Şekil 6.17.a ve Şekil 6.17.c'de verilen grafik incelendiğinde, YKBDD'in seramik kesicilerle tormalanmasında krom oranındaki farklılığının tormalama sonrası parçaların yüzey pürüzlülüğüne etkisinin az olduğu anlaşılmaktadır. Artan krom oranı işlenmiş yüzeylerde pürüzlülüğünün yaklaşık % 7 artmasına neden olmaktadır.

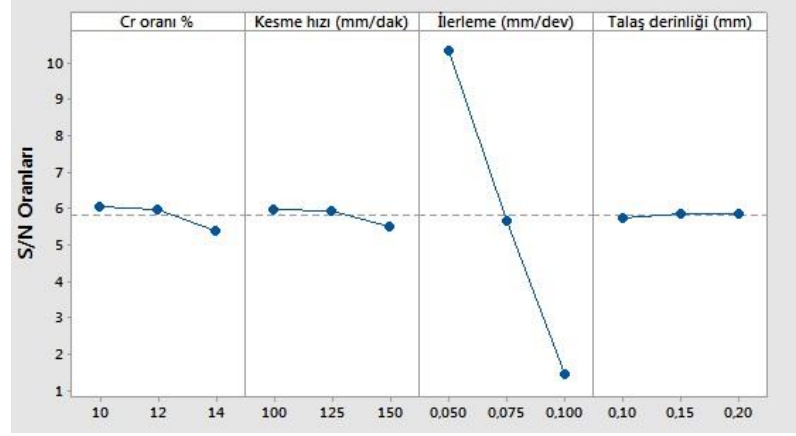
Şekil 6.17'de verilen sonuçlar incelendiğinde, kesme hızı ve kesme derinliğinin sert tormalama işlemi sonrası elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde, önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Sonuç olarak, seramik kesici uç ile YKBDD'in sert tormalanması işleminde krom oranı, kesme hızı ve kesme derinliğinin, yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu görülebilmektedir.

İlerleme miktarı, talaş kaldırma işlemi sonrasında işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğüne en çok etki eden parametredir [93,94]. Şekil 6.17'de verilen grafikler incelendiğinde yüzey pürüzlülüğünün en çok ilerleme miktarındaki artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. İlerleme miktarının artması ile artan yüzey pürüzlülüğü değerleri, aynı zamanda malzemenin sertlik değerlerindeki değişimin bir göstergesidir. Bu durum işlenmiş yüzeye yakın kısımlarda kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan dislokasyon yığılmalarından kaynaklanmaktadır. Oluşan bu dislokasyon yığılmaları, matrisin, dolayısıyla malzemenin sertleşmesine sebep olmaktadır. Bu da yüksek ilerleme miktarlarında, daha fazla yüzey pürüzlülüğüne neden olmaktadır [95,96].



Şekil 6.17. Krom oranı, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri.

Şekil 6.18’de, ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) için kesme parametrelerinin (kontrol faktörleri) S/N oranları verilmektedir.



Şekil 6.18. Yüzey pürüzlülüğü için değişkenlerin S/N oranları.

Taguchi metodu için seçilen “en küçük en iyi” prensibine göre tüm faktörlerin S/N değerinin en büyük olduğu seviye, ideal kesme şartlarını ifade etmektedir.

Şekil 6.18’de verilen S/N oranları, YKBDD’in seramik kesici uç ile sert tornalanmasında elde edilen yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili faktörlerin sırasıyla ilerleme, krom oranı, kesme hızı ve kesme derinliğinin olduğunu göstermektedir.

Bu faktörler ve seviyelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin daha iyi görebilmesi için, Şekil 6.18’deki S/N oranları Çizelge 6.7’de tablo olarak verilmiştir. Çizelge 6.7’de verilen bu değerler, faktörlerin her bir seviyesinin, yüzey pürüzlülüğü (R_a) değişimi üzerindeki etkisini göstermektedir. Taguchi metodu sonucunda, yüzey pürüzlülüğü (R_a) için bulunan en etkili faktörler ve seviyeler; krom oranı (1), kesme hızı (1), ilerleme (1) ve kesme derinliği (2) şeklinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu faktörlerin yüzey pürüzlülüğü değişimi üzerindeki etki seviyelerini istatistiksel olarak belirlenmesi amacıyla varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır (Çizelge 6.8).

Çizelge 6.7. Yüzey pürüzlülüğü faktörleri için S/N oranları.

| Seviye | Cr oranı (%) | Kesme hızı (m/dk) | İlerleme (mm/dev) | Kesme derinliği (mm) |
|---------------------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1 | 6.060* | 5.983* | 10.358* | 5.734 |
| 2 | 5.997 | 5.945 | 5.663 | 5.869* |
| 3 | 5.393 | 5.523 | 1.429 | 5.847 |
| Delta | 0.667 | 0.460 | 8.928 | 0.135 |
| *Değişkenlerin ideal seviyeleri | | | | |

Çizelge 6.8’de, YKBDD’in seramik kesici uç ile sert tornalanması işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğü S/N oranlarının ANOVA sonuçları verilmiştir. Çizelge 6.8’den, yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin etki oranları (%) net olarak anlaşılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde % 95 önem seviyesinde etkili olan faktör; % 95.5 PCR değeri ile ilerleme miktarıdır. Uygulanan deneysel şartlarda; krom oranı, kesme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisiz ($\alpha:0,05$) oldukları belirlenmiştir (Çizelge 6.8). S/N oranları için yapılan ANOVA analizinde belirleme katsayısı (R^2) % 96.03 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.8. Yüzey pürüzlülüğü ANOVA analizi.

| Faktörler | SD | KT | KO | F Değeri | P Değeri | PCR (%) |
|----------------------|----|---------|---------|----------|----------|---------|
| Cr oranı (%) | 2 | 2.446 | 1.223 | 1.47 | 0.256 | 0.64 |
| Kesme hızı (m/dk) | 2 | 1.174 | 0.587 | 0.71 | 0.507 | 0.31 |
| İlerleme (mm/dev) | 2 | 359.033 | 179.517 | 215.7 | 0.0 | 95.5 |
| Kesme derinliği (mm) | 2 | 0.095 | 0.047 | 0.06 | 0.945 | 0.02 |
| Hata | 18 | 14.980 | 0.832 | | | 3.96 |
| Toplam | 26 | 377.728 | | | | |

6.8. CBN KESİCİ UÇ KULLANILAN İŞLENEBİLİRLİK TESTİ SONUÇLARININ İNCELENMESİ

6.8.1. Kesme kuvveti sonuçlarının incelenmesi

Kesme kuvvetleri, deneyler sonucunda DynoWare yazılımından elde edilen kuvvet bileşenleri sırasıyla ilerleme kuvveti (F_f), radyal (pasif) kuvvet (F_r), esas kesme

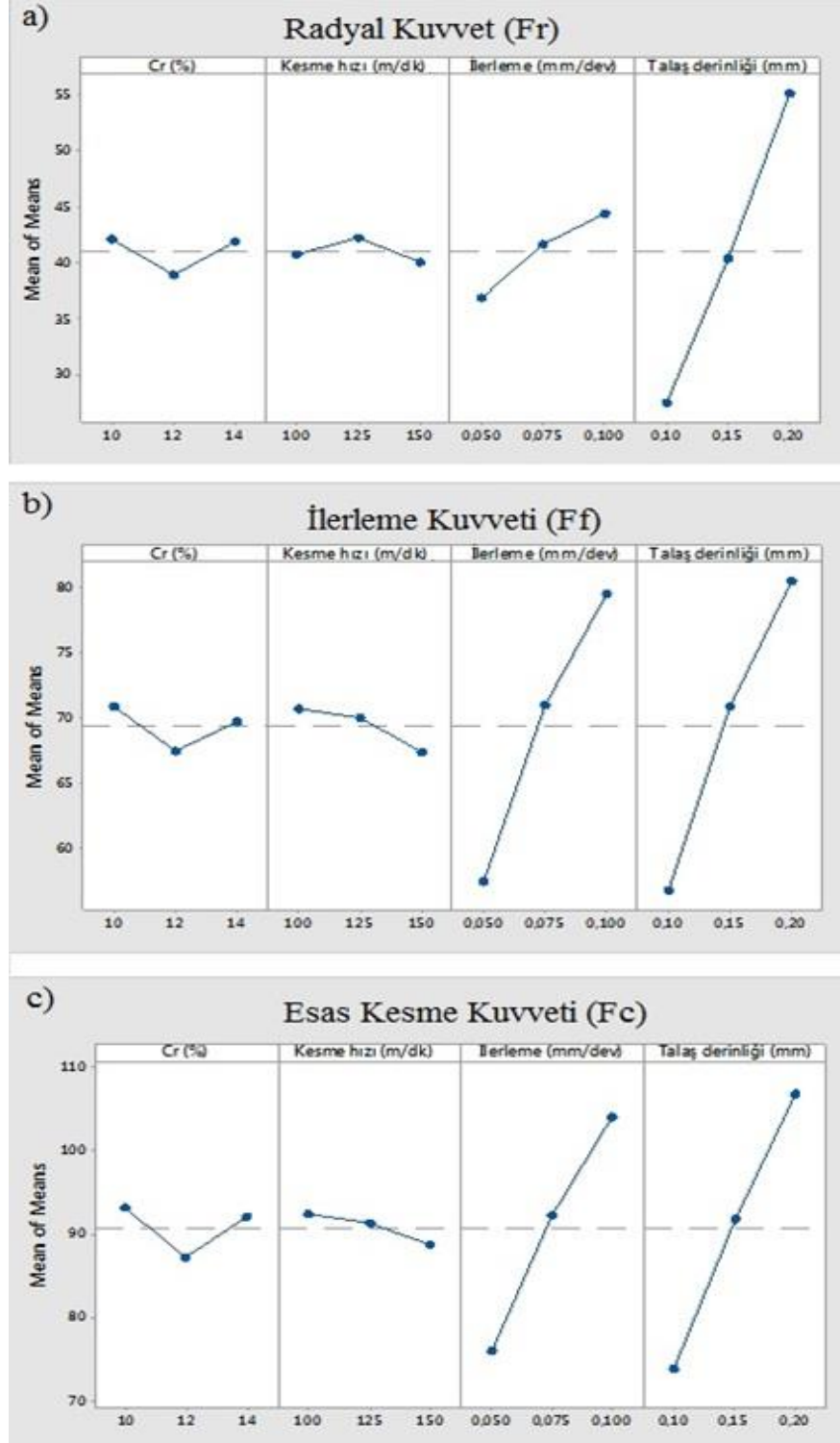
kuvveti (F_c) olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 6.9’da yazılımdan elde edilen kesme kuvveti sonuçları gösterilmektedir.

Çizelge 6.9. Kesme kuvvetleri.

| Deney Sıra | Cr (%) | Kesme hızı (m/dk) | İlerleme (mm/dev) | Talaş derinliği (mm) | F_r | F_f | F_c |
|------------|--------|-------------------|-------------------|----------------------|-------|-------|-------|
| 1 | 10 | 100 | 0.05 | 0.1 | 23.01 | 47.57 | 63.52 |
| 2 | 10 | 100 | 0.075 | 0.15 | 43.01 | 76.65 | 96.36 |
| 3 | 10 | 100 | 0.1 | 0.2 | 69.17 | 103.4 | 140 |
| 4 | 10 | 125 | 0.05 | 0.15 | 36.96 | 58.68 | 77.29 |
| 5 | 10 | 125 | 0.075 | 0.2 | 55.51 | 81.38 | 108.7 |
| 6 | 10 | 125 | 0.1 | 0.1 | 29.52 | 66.5 | 82.97 |
| 7 | 10 | 150 | 0.05 | 0.2 | 50.15 | 68 | 89.69 |
| 8 | 10 | 150 | 0.075 | 0.1 | 27.52 | 55.5 | 72.74 |
| 9 | 10 | 150 | 0.1 | 0.15 | 44.77 | 80.49 | 106.6 |
| 10 | 12 | 100 | 0.05 | 0.1 | 24.3 | 45.31 | 62.28 |
| 11 | 12 | 100 | 0.075 | 0.15 | 33.47 | 72.79 | 89.68 |
| 12 | 12 | 100 | 0.1 | 0.2 | 47.77 | 79.69 | 97.29 |
| 13 | 12 | 125 | 0.05 | 0.15 | 39.78 | 63.48 | 77.94 |
| 14 | 12 | 125 | 0.075 | 0.2 | 59.53 | 83.08 | 112.3 |
| 15 | 12 | 125 | 0.1 | 0.1 | 31.55 | 68.75 | 86.99 |
| 16 | 12 | 150 | 0.05 | 0.2 | 44.69 | 60.53 | 84.39 |
| 17 | 12 | 150 | 0.075 | 0.1 | 27.13 | 57.82 | 72.66 |
| 18 | 12 | 150 | 0.1 | 0.15 | 42.24 | 75.96 | 101.8 |
| 19 | 14 | 100 | 0.05 | 0.1 | 25.86 | 47.37 | 64.34 |
| 20 | 14 | 100 | 0.075 | 0.15 | 41.96 | 71.08 | 92.07 |
| 21 | 14 | 100 | 0.1 | 0.2 | 58.32 | 92.71 | 125.3 |
| 22 | 14 | 125 | 0.05 | 0.15 | 36.12 | 56.54 | 76.17 |
| 23 | 14 | 125 | 0.075 | 0.2 | 59.86 | 85.68 | 112.8 |
| 24 | 14 | 125 | 0.1 | 0.1 | 31.06 | 66.54 | 87.28 |
| 25 | 14 | 150 | 0.05 | 0.2 | 51.3 | 70.23 | 89.52 |
| 26 | 14 | 150 | 0.075 | 0.1 | 27.2 | 55.6 | 73.05 |
| 27 | 14 | 150 | 0.1 | 0.15 | 45.83 | 82.35 | 107.7 |

Çizelge 6.9’da CBN kesici uç ile farklı krom miktarı içeren YKBDD’lerin işlenmesi sırasında ölçülen kuvvet bileşenlerinin krom oranı, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğine bağlı değişimi verilmiştir. Çizelge 6.9’da verilen kesme kuvvetleri incelendiğinde, malzemelerin işlenmesinde radyal kuvvetin (F_r) ilerleme kuvveti (F_f)’nden daha düşük, ilerleme kuvveti (F_f)’nin ise esas kesme kuvveti (F_c)’nden daha düşük olduğu görülmektedir. İlerleme kuvveti, radyal kuvvete kıyasla ortalama 28 N

daha fazla ölçülürken, esas kesme kuvveti radyal kuvvete kıyasla ortalama 21 N daha fazla ölçülmüştür.



Şekil 6.19. Kesme kuvvetleri grafiği a) Radyal Kuvvet b) İlerleme kuvveti c) Esas kesme kuvveti.

Şekil 6.19’da krom oranı ve kesme parametrelerinin kuvvetler üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 6.19 incelendiğinde, % 10 ve % 14 kromlu malzemelerin işlenmesinde elde edilen kesme kuvvetleri, % 12 kromlu malzemenin işlenmesinde oluşan kuvvetlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. İlerleme miktarı ve kesme derinliğinin oransal artışına bağlı olarak, kesme kuvveti bileşenlerinde artış meydana gelmektedir. Bu sonucu, ilerleme ve kesme derinliğinin artmasıyla birlikte artan talaş kesit alanı ile açıklanabilir. Diğer yandan, kesme hızının artması ile, kesme kuvveti bileşenlerinde bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Artan kesme hızı ile birinci deformasyon bölgesinde artan sıcaklık, malzemenin kayma dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Böylece, talaş oluşumu kolaylaşmakta ve bunun sonucunda kesme kuvveti azalmaktadır [88,74].

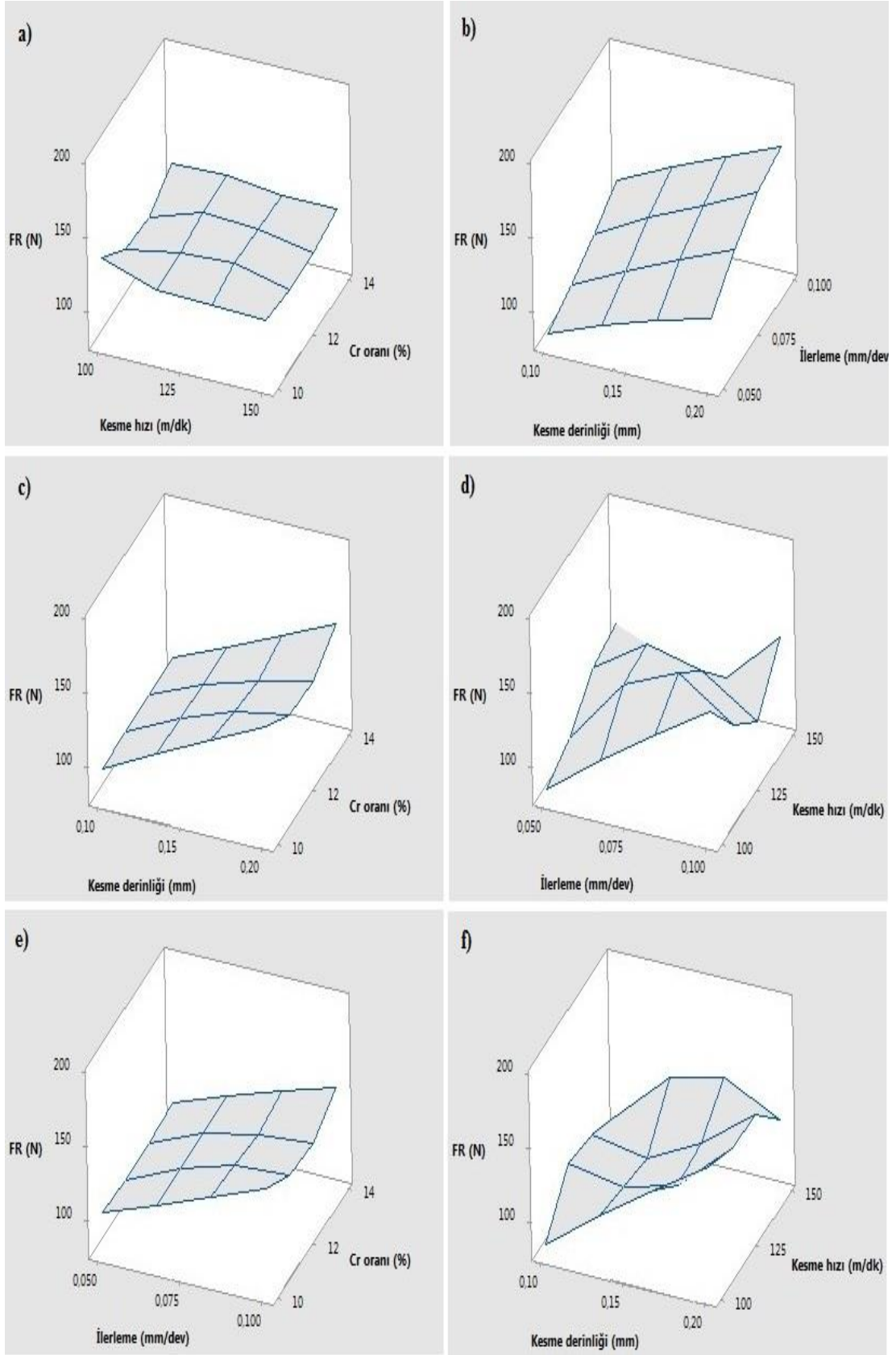
6.8.2. Bileşke kesme kuvveti için ideal kesme şartları

CBN kesici takımlar ile YKBDD’in işlenmesinde ideal kesme şartlarının belirlenmesinde, seramik kesici takım için uygulanan süreç aynen kullanılmıştır. Öncelikle ölçülen kesme kuvveti bileşenleri, Eşitlik 4.6’da verilen denklem kullanılarak, her kesme şartı için bileşke kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Daha sonra, Taguchi yöntemine göre ideal kesme şartları belirlenmiştir. CBN kesici takım için hesaplanan bileşke kesme kuvveti (F_R) değerleri ve bu değerlerin “en küçük en iyi” prensibine göre hesaplanan S/N oranları Çizelge 6.10’da verilmiştir.

Çizelge 6.10’da verilen sonuçlar incelendiğinde, en düşük bileşke kesme kuvveti $A_2B_1C_1D_1$ kodlu deneyde elde edilmiştir. Krom oranı % 12, kesme hızının 100 m/dk, ilerlemenin 0.05 mm/dev ve kesme derinliğinin 0.1 mm olduğu şartlarda, bileşke kesme kuvveti 80.76 N ölçülmüştür. Bileşke kesme kuvvetinin en yüksek elde edildiği deney şartı $A_3B_1C_3D_3$ ’dir. Krom oranı % 14, kesme hızı 100 m/dk, ilerlemenin 0.1 ve kesme derinliğinin 0.2 olduğu şartlarda, bileşke kesme kuvvetinin 166.42 N olduğu belirlenmiştir. Şekil 6.20’de farklı krom oranlarına sahip malzemelerin CBN kesici uçlarla sert tornalama işleminde elde edilen bileşke kesme kuvveti değerleri görülmektedir.

Çizelge 6.10. F_R değerleri ve S/N oranları.

| Deney Sıra | Değişkenler | (A) (%) | (B) (m/dk) | (C) (mm/dev) | (D) (mm) | F_R (N) | S/N (dB) |
|------------|---|---------|------------|--------------|----------|-----------|----------|
| 1 | A ₁ B ₁ C ₁ D ₁ | 10 | 100 | 0.05 | 0.1 | 82.63 | -38.3428 |
| 2 | A ₁ B ₁ C ₂ D ₂ | 10 | 100 | 0.075 | 0.15 | 130.42 | -42.3069 |
| 3 | A ₁ B ₁ C ₃ D ₃ | 10 | 100 | 0.1 | 0.2 | 187.29 | -45.4503 |
| 4 | A ₁ B ₂ C ₁ D ₂ | 10 | 125 | 0.05 | 0.15 | 103.84 | -40.3273 |
| 5 | A ₁ B ₂ C ₂ D ₃ | 10 | 125 | 0.075 | 0.2 | 146.70 | -43.3286 |
| 6 | A ₁ B ₂ C ₃ D ₁ | 10 | 125 | 0.1 | 0.1 | 110.35 | -40.8554 |
| 7 | A ₁ B ₃ C ₁ D ₃ | 10 | 150 | 0.05 | 0.2 | 123.22 | -41.8136 |
| 8 | A ₁ B ₃ C ₂ D ₁ | 10 | 150 | 0.075 | 0.1 | 95.54 | -39.6037 |
| 9 | A ₁ B ₃ C ₃ D ₂ | 10 | 150 | 0.1 | 0.15 | 140.88 | -42.9770 |
| 10 | A ₂ B ₁ C ₁ D ₁ | 12 | 100 | 0.05 | 0.1 | 80.76 | -38.1439 |
| 11 | A ₂ B ₁ C ₂ D ₂ | 12 | 100 | 0.075 | 0.15 | 120.25 | -41.6017 |
| 12 | A ₂ B ₁ C ₃ D ₃ | 12 | 100 | 0.1 | 0.2 | 134.53 | -42.5764 |
| 13 | A ₂ B ₂ C ₁ D ₂ | 12 | 125 | 0.05 | 0.15 | 108.11 | -40.6773 |
| 14 | A ₂ B ₂ C ₂ D ₃ | 12 | 125 | 0.075 | 0.2 | 151.85 | -43.6283 |
| 15 | A ₂ B ₂ C ₃ D ₁ | 12 | 125 | 0.1 | 0.1 | 115.28 | -41.2351 |
| 16 | A ₂ B ₃ C ₁ D ₃ | 12 | 150 | 0.05 | 0.2 | 113.06 | -41.0662 |
| 17 | A ₂ B ₃ C ₂ D ₁ | 12 | 150 | 0.075 | 0.1 | 96.74 | -39.7121 |
| 18 | A ₂ B ₃ C ₃ D ₂ | 12 | 150 | 0.1 | 0.15 | 133.86 | -42.5330 |
| 19 | A ₃ B ₁ C ₁ D ₁ | 14 | 100 | 0.05 | 0.1 | 83.98 | -38.4835 |
| 20 | A ₃ B ₁ C ₂ D ₂ | 14 | 100 | 0.075 | 0.15 | 123.65 | -41.8439 |
| 21 | A ₃ B ₁ C ₃ D ₃ | 14 | 100 | 0.1 | 0.2 | 166.42 | -44.4241 |
| 22 | A ₃ B ₂ C ₁ D ₂ | 14 | 125 | 0.05 | 0.15 | 101.51 | -40.1302 |
| 23 | A ₃ B ₂ C ₂ D ₃ | 14 | 125 | 0.075 | 0.2 | 153.78 | -43.7380 |
| 24 | A ₃ B ₂ C ₃ D ₁ | 14 | 125 | 0.1 | 0.1 | 114.06 | -41.1427 |
| 25 | A ₃ B ₃ C ₁ D ₃ | 14 | 150 | 0.05 | 0.2 | 124.81 | -41.9250 |
| 26 | A ₃ B ₃ C ₂ D ₁ | 14 | 150 | 0.075 | 0.1 | 95.75 | -39.6228 |
| 27 | A ₃ B ₃ C ₃ D ₂ | 14 | 150 | 0.1 | 0.15 | 143.11 | -43.1134 |



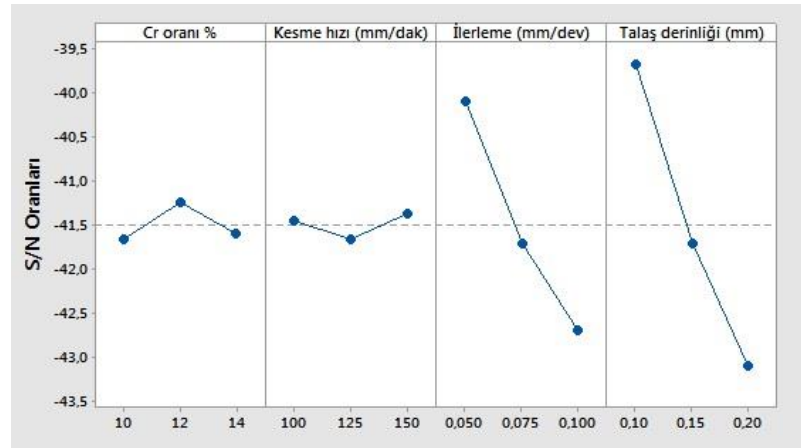
Şekil 6.20. Krom oranı, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin bileşke kesme kuvvetine etkileri.

Şekil 6.20.a incelendiğinde, krom oranındaki artışın bileşke kesme kuvvetini etkilemediği anlaşılmaktadır. YKBDD’de artan krom oranının alaşımın sertliğini azalttığı Şekil 6.7’de verilen sertlik sonuçlarında görülmektedir. Fakat bileşke kesme kuvvetinde gerçekleşen değişimin, kayda değer bir seviyede olmadığı Çizelge 6.10’da verilen oransal değerlerden de anlaşılmaktadır. % Cr oranına göre elde edilen bu sonuçlar, CBN kesici takımla sert tornalama işleminde iş parçası sertliğindeki artışın bileşke kesme kuvvetine etki etmediğinin bir göstergesidir.

Kesme hızındaki artışa paralel olarak, bileşke kuvvetinde bir azalmanın olmadığı görülmektedir (Şekil 6.20.a). Ancak, aynı kesme hızı için, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin değişimine göre F_R değerleri farklı eğilim sergilemektedir. 100 m/dk kesme hızı dikkate alındığında, ilerleme miktarının artışıyla beraber bileşke kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir. 125 m/dk kesme hızında kesme kuvvetlerinin genel olarak azalma eğilimindedir. Bu azalmanın nedeni, birinci deformasyon bölgesindeki sıcaklık artışına bağlı olarak oluşan talaş oluşumu ile açıklanabilir. Birinci deformasyon bölgesindeki sıcaklığın artmasıyla birlikte, iş parçasının kayma dayanımı azalmakta ve böylece talaş oluşumu için gerekli enerji azalarak kesme kuvvetlerinin azalmasına neden olmaktadır [96].

Seramik kesici uçlarla yapılan tornalama işlemlerinde elde edilen bileşke kesme kuvvetleri, CBN kesici uçlarla yapılan tornalama işlemlerinde elde edilen bileşke kesme kuvvetlerinden daha düşük elde edilmiştir. Bunun sebebi temelde, seramik kesici takımın yüksek ısı iletim katsayısı sayesinde, kesme bölgesinde oluşan ısının çoğunun talaş ile uzaklaştırılmasına bağlıdır [92].

Kesme derinliği ve ilerleme miktarı için genel bir değerlendirme yapıldığında, bu faktörler de uygulanan artışların, bileşke kesme kuvvetinin yükselmesine neden olduğu anlaşılmaktadır. Sert tornalama deneylerinde kesme derinliği arttıkça, bileşke kesme kuvvetinde artış olduğu görülmektedir (Şekil 6.20.b). Bileşke kesme kuvvetlerindeki bu artışın nedeni, kesme derinliğinin artmasıyla birlikte artan talaş kesit alanıdır. Şekil 6.21’te bileşke kesme kuvveti S/N oranları verilmektedir.



Şekil 6.21. Bileşke kesme kuvveti için değişkenlerin S/N oranları.

Şekil 6.21’de verilen S/N oranları incelendiğinde, F_R üzerinde faktörlerin etkilerinin daha iyi anlaşılması mümkündür. Şekil 6.21’de verilen S/N oranları grafiği, YKBD’de CBN kesici uç ile sert tornalanmasında elde edilen bileşke kesme kuvveti üzerindeki en etkili faktörlerin sırasıyla kesme derinliği, ilerleme miktarı, krom oranı ve kesme hızı olduğunu göstermektedir.

Faktörler ve seviyelerinin bileşke kesme kuvveti (F_R) üzerindeki etkilerinin daha net olarak görülebilmesi için, Şekil 6.21’deki S/N oranları Çizelge 6.11’de verilmektedir. Çizelge 6.11’de verilen bu değerler, faktörlerin her bir seviyesinin, bileşke kesme kuvveti (F_R) üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Deneyler sonucunda bileşke kesme kuvveti (F_R) değerleri için en etkili faktörler ve seviyeler; krom oranı (2), kesme hızı (3), ilerleme (1) ve kesme derinliği (1) şeklindedir. Bu faktörlerin bileşke kesme kuvveti üzerindeki etkilerinin kesin olarak belirlenmesi için, varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır.

Çizelge 6.11. Bileşke kesme kuvveti faktörler için S/N oranları.

| Seviye | Cr oranı (%) | Kesme hızı (m/dk) | İlerleme (mm/dev) | Kesme derinliği (mm) |
|---------------------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1 | -41.67 | -41.46 | -40.10* | -39.68* |
| 2 | -41.24* | -41.67 | -41.71 | -41.72 |
| 3 | -41.6 | -41.37* | -42.7 | -43.11 |
| Delta | 0.43 | 0.3 | 2.6 | 3.42 |
| *Değişkenlerin ideal seviyeleri | | | | |

Farklı krom oranına sahip YKBDD'lerin CBN kesici uç ile sert tornalanmasında elde edilen bileşke kesme kuvvetleri kullanılarak hesaplanan S/N oranları için, % 95 güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır (Çizelge 6.12). Buna göre; çizelgede verilen herbir faktör için hesaplanan P değerinin $P < 0.05$ olması durumunda, ilgili faktör F_R için önemli kabul edilmektedir. S/N oranları için yapılan ANOVA analizinde belirleme katsayısı (R^2) % 94.76 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Çizelge 6.12'de bileşke kesme kuvvetini etkileyen faktörlerin etki oranları (%) olarak görülmektedir. Bileşke kesme kuvveti üzerinde etkili olan faktörler, sırasıyla %58.99 PCR kesme derinliği, ve % 34.24 PCR ilerleme miktarıdır. Kesme hızı ve krom oranının P değerleri göz önünde bulundurulduğunda, bu faktörlerin F_R üzerinde $\alpha:0,05$ etkisiz olduklarını ifade etmek mümkündür.

Çizelge 6.12. Bileşke kesme kuvveti S/N oranları için ANOVA analizi.

| Faktörler | SD | KT | KO | F Değeri | P değeri | PCR (%) |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|----------------|
| Cr oranı (%) | 2 | 0.9474 | 0.4737 | 1.8 | 0.194 | 1.04 |
| Kesme hızı (m/dk) | 2 | 0.4255 | 0.2128 | 0.81 | 0.461 | 0.47 |
| İlerleme (mm/dev) | 2 | 30.9852 | 15.4926 | 58.8 | 0 | 34.24 |
| Kesme derinliği (mm) | 2 | 53.3822 | 26.6911 | 101.3 | 0 | 58.99 |
| Hata | 18 | 4.7425 | 0.2635 | | | 5.24 |
| Toplam | 26 | 90.4828 | | | | |

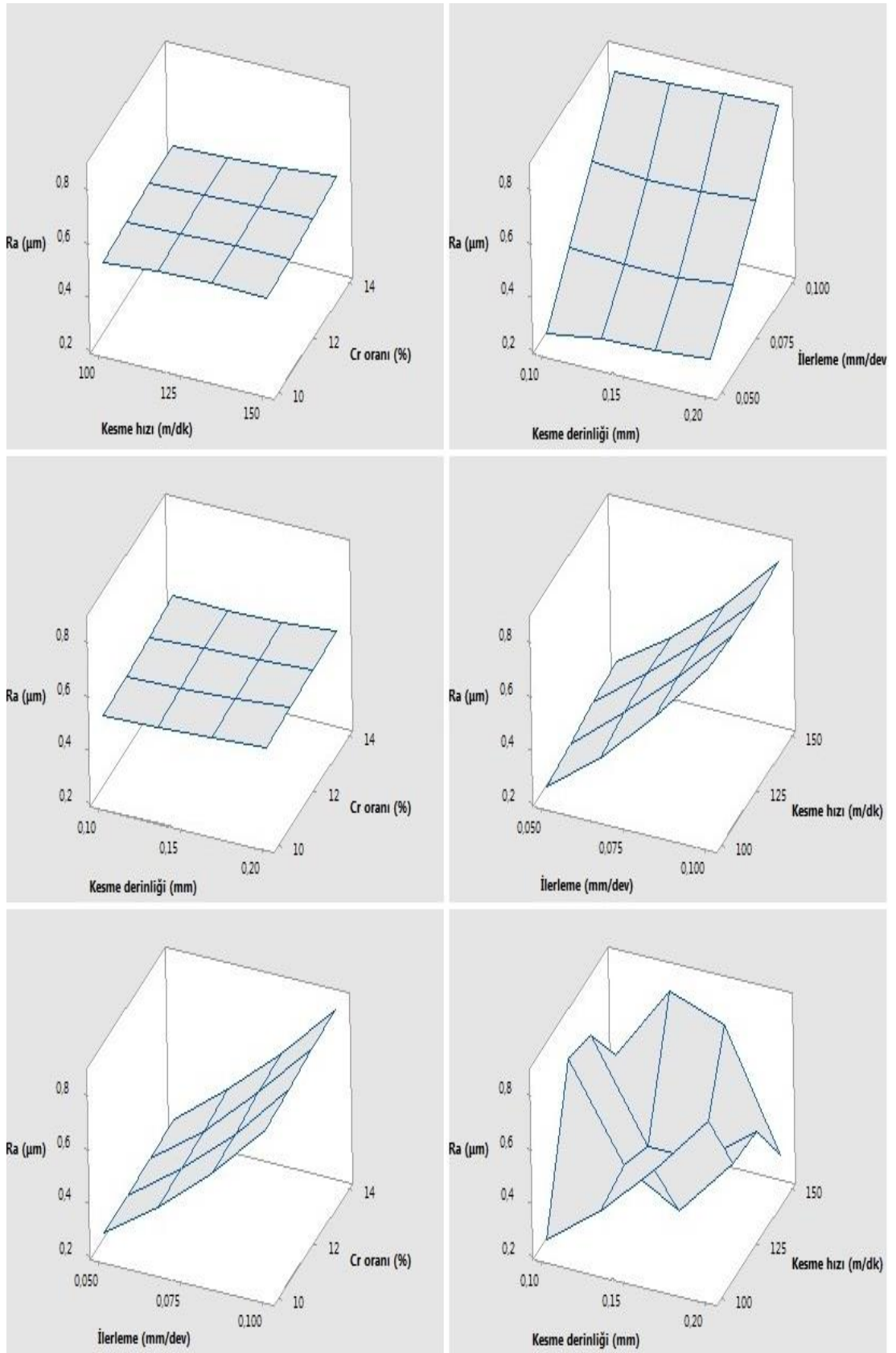
6.8.3. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları

YKBDD'in CBN kesici takımla işlenmesinde elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ve bu değerlerin “en küçük en iyi” prensibine göre hesaplanan S/N oranları, Çizelge 6.13'te verilmiştir.

Çizelge 6.13. Yüzey pürüzlülüğü değerleri ve S/N oranları.

| Deney Sıra | Değişkenler | (A) (%) | (B) (m/dk) | (C) (mm/dev) | (D) (mm) | R _a (µm) | S/N (dB) |
|------------|---|---------|------------|--------------|----------|---------------------|----------|
| 1 | A ₁ B ₁ C ₁ D ₁ | 10 | 100 | 0.05 | 0.1 | 0.238 | 12.4685 |
| 2 | A ₁ B ₁ C ₂ D ₂ | 10 | 100 | 0.075 | 0.15 | 0.486 | 6.2673 |
| 3 | A ₁ B ₁ C ₃ D ₃ | 10 | 100 | 0.1 | 0.2 | 0.817 | 1.7556 |
| 4 | A ₁ B ₂ C ₁ D ₂ | 10 | 125 | 0.05 | 0.15 | 0.277 | 11.1504 |
| 5 | A ₁ B ₂ C ₂ D ₃ | 10 | 125 | 0.075 | 0.2 | 0.523 | 5.6300 |
| 6 | A ₁ B ₂ C ₃ D ₁ | 10 | 125 | 0.1 | 0.1 | 0.802 | 1.9165 |
| 7 | A ₁ B ₃ C ₁ D ₃ | 10 | 150 | 0.05 | 0.2 | 0.300 | 10.4576 |
| 8 | A ₁ B ₃ C ₂ D ₁ | 10 | 150 | 0.075 | 0.1 | 0.499 | 6.0380 |
| 9 | A ₁ B ₃ C ₃ D ₂ | 10 | 150 | 0.1 | 0.15 | 0.809 | 1.8410 |
| 10 | A ₂ B ₁ C ₁ D ₁ | 12 | 100 | 0.05 | 0.1 | 0.245 | 12.2167 |
| 11 | A ₂ B ₁ C ₂ D ₂ | 12 | 100 | 0.075 | 0.15 | 0.508 | 5.8827 |
| 12 | A ₂ B ₁ C ₃ D ₃ | 12 | 100 | 0.1 | 0.2 | 0.853 | 1.3810 |
| 13 | A ₂ B ₂ C ₁ D ₂ | 12 | 125 | 0.05 | 0.15 | 0.284 | 10.9336 |
| 14 | A ₂ B ₂ C ₂ D ₃ | 12 | 125 | 0.075 | 0.2 | 0.528 | 5.5473 |
| 15 | A ₂ B ₂ C ₃ D ₁ | 12 | 125 | 0.1 | 0.1 | 0.820 | 1.7237 |
| 16 | A ₂ B ₃ C ₁ D ₃ | 12 | 150 | 0.05 | 0.2 | 0.308 | 10.2290 |
| 17 | A ₂ B ₃ C ₂ D ₁ | 12 | 150 | 0.075 | 0.1 | 0.512 | 5.8146 |
| 18 | A ₂ B ₃ C ₃ D ₂ | 12 | 150 | 0.1 | 0.15 | 0.834 | 1.5767 |
| 19 | A ₃ B ₁ C ₁ D ₁ | 14 | 100 | 0.05 | 0.1 | 0.256 | 11.8352 |
| 20 | A ₃ B ₁ C ₂ D ₂ | 14 | 100 | 0.075 | 0.15 | 0.512 | 5.8146 |
| 21 | A ₃ B ₁ C ₃ D ₃ | 14 | 100 | 0.1 | 0.2 | 0.861 | 1.2999 |
| 22 | A ₃ B ₂ C ₁ D ₂ | 14 | 125 | 0.05 | 0.15 | 0.289 | 10.7820 |
| 23 | A ₃ B ₂ C ₂ D ₃ | 14 | 125 | 0.075 | 0.2 | 0.542 | 5.3200 |
| 24 | A ₃ B ₂ C ₃ D ₁ | 14 | 125 | 0.1 | 0.1 | 0.833 | 1.5871 |
| 25 | A ₃ B ₃ C ₁ D ₃ | 14 | 150 | 0.05 | 0.2 | 0.317 | 9.9788 |
| 26 | A ₃ B ₃ C ₂ D ₁ | 14 | 150 | 0.075 | 0.1 | 0.565 | 4.9590 |
| 27 | A ₃ B ₃ C ₃ D ₂ | 14 | 150 | 0.1 | 0.15 | 0.852 | 1.3912 |

Çizelge 6.13. verilen sonuçlar incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülüğünün A₁B₁C₁D₁ kodlu deneyde elde edildiği görülmektedir. Krom oranı % 10, kesme hızınının 100 m/dk, ilerlemenin 0.05 mm/dev ve kesme derinliğinin 0.1 mm olduğu şartlarda yüzey pürüzlülüğü 0.238 µm ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünün en yüksek elde edildiği deney şartı ise A₃B₁C₃D₃'dür. Krom oranı % 14, kesme hızı 100 m/dk, ilerlemenin 0.1 mm/dev ve kesme derinliğinin 0.2 mm olduğu şartlarda yüzey pürüzlülüğü 0.861 µm olarak elde edilmiştir. Şekil 6.22'de, farklı krom oranlarına sahip malzemelerin CBN uçlarla sert tornalanmasında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kesme parametrelerine göre değişimleri görülmektedir.

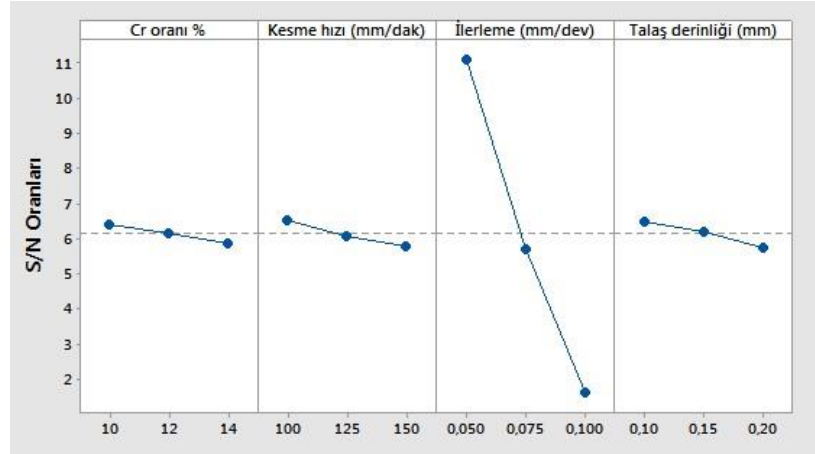


Şekil 6.22. Krom oranı, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri.

Şekil 6.22'de verilen yüzey pürüzlülüğü kesme parametrlarına etkisi incelendiğinde krom oranı ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki net olarak görülmektedir. % 10 Cr, % 12 Cr ve % 14 Cr'lu YKBDD alaşımlarının her birine uygulanan sert tormalama deneyleri kapsamında elde edilen sonuçlar, eşdeğer işlenebilirlik parametrelerinde yüzey pürüzlülüğünün birbirine yakın değerler olduğunu göstermektedir. YKBDD alaşımlarında krom oranının değişmesi ile, iş parçası sertliği de değişmektedir. Ancak % 10 Cr (57 HRC)'lu dökme demir ile % 14 Cr (53 HRC)'lu alaşım arasındaki sertlik farkının, tormalama sonrası yüzey pürüzlülüğü değerini kayda değer bir şekilde değiştirmedeği anlaşılmaktadır. Bu sonuca göre alaşımın krom oranının alaşımın yüzey pürüzlülüğüne etki etmediği ifade edilebilir. Bununla birlikte, CBN kesici uçların yüksek kesme sıcaklıkları ve kuvvetlerine daha dayanıklı oldukları bilinmektedir. Ayrıca, CBN geleneksel olarak kullanılan taşlama yöntemlerinin yerini alabilen, tek kesici takım malzemesidir. 45 HRC'nin altındaki daha sünek çelikler, CBN'nin aşınma direnci üzerine negatif bir etkisi olan daha yüksek ferrit oranı içermektedir [97]. Bu nedenle, malzemenin sert olması (45 HRC ve üzeri) CBN kesicilerin hem ömrü, hem de işlenen yüzeyin kalitesi açısından olumlu bir rol oynamaktadır.

Şekil 6.22.b'de verilen grafikler incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğünün en çok ilerleme miktarının artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Bu sonuç literatürle paralellik arz etmekte ve sert tormalama işleminde, ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla etkiye sahip olduğu parametre olduğunu göstermektedir [98, 99].

Şekil 6.22.f'de verilen grafik incelendiğinde, kesme hızı ve kesme derinliğinin sert tormalama işlemi sonrası elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülebilmektedir [100,101]. Her ne kadar kesme kuvveti ve kesme derinliğinin artışına bağlı olarak olarak yüzey pürüzlülüğü değerleri artsada bu artış göz ardı edilebilecek kadar azdır. Sonuç olarak, CBN kesici uç ile yüksek kromlu dökme demirlerin sert tormalanması işleminde krom oranı, kesme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde çok az, ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisinin oldukça fazla olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 6.23'te, CBN kesici takımla elde edilen R_a değerleri için kontrol faktörlerinin S/N oranları verilmektedir.



Şekil 6.23. Yüzey pürüzlülüğü için değişkenlerin S/N oranları.

S/N yanıt tablosu ile yüzey pürüzlülüğü üzerinde, her bir kontrol faktörünün analizi yapılmıştır. Şekil 6.23'te S/N yanıt tablosu YKBDĐ'in CBN kesici uç ile sert tormalanmasında, elde edilen yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili faktörlerin sırasıyla ilerleme, kesme derinliği, kesme hızı ve krom oranının olduğunu göstermektedir. S/N değerinin büyük olduğu seviye, tüm faktörlerin seviyeleri arasında ideal seviyedir.

Faktörler ve seviyelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin daha iyi görülebilmesi için, Şekil 6.23'teki S/N oranları, çizelge halinde verilmiştir (Çizelge 6.14). Elde edilen değerler, faktörlerin her bir seviyesinin yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerindeki değişim etkisini ortaya koymaktadır. Taguchi metodu sonucunda R_a üzerinde etkisi olan faktörler ve seviyeler; krom oranı (1), kesme hızı (1), ilerleme (1) ve kesme derinliği (1) şeklindedir. Bununla birlikte faktörlerin yüzey pürüzlülüğü değişimi üzerindeki etki düzeylerinin kesin olarak belirlenmesi için varyans analizi yapılmıştır (Çizelge 6.15).

Çizelge 6.14. Yüzey pürüzlülüğü faktörleri için S/N oranları.

| Seviye | Cr oranı (%) | Kesme hızı (m/dk) | İlerleme (mm/dev) | Kesme derinliği (mm) |
|---------------------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1 | 6.392* | 6.547* | 11.117* | 6.507* |
| 2 | 6.145 | 6.066 | 5.697 | 6.182 |
| 3 | 5.885 | 5.810 | 1.608 | 5.733 |
| Delta | 0.506 | 0.737 | 9.509 | 0.773 |
| *Değişkenlerin ideal seviyeleri | | | | |

Çizelge 6.15'te YKBDD'in CBN kesici uç ile sert tornalanması işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülüğüne ait S/N oranlarının ANOVA sonuçları verilmiştir. Verilen çizelgede, yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin etki oranları (%) olarak görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde % 95 önem seviyesinde birincil derecede önemli olan faktör; % 98.12 PCR ilerleme miktarıdır. Ayrıca, krom oranı, kesme hızı ve kesme derinliğinin R_a üzerinde $\alpha:0,05$ etkili oldukları belirlenmiştir. Bu faktörler sırasıyla, % 0.65 kesme derinliği, % 0,6 kesme hızı, % 0.27 krom oranıdır. S/N oranları için yapılan ANOVA analizinde belirleme katsayısı (R^2) % 99.66 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.15. Yüzey pürüzlülüğü ANOVA analizi.

| Faktörler | SD | KT | KO | F Değeri | P değeri | PCR (%) |
|----------------------|----|---------|---------|----------|----------|---------|
| Cr oranı (%) | 2 | 1.154 | 0.577 | 7.29 | 0.005 | 0.27 |
| Kesme hızı (m/dk) | 2 | 2.522 | 1.261 | 15.95 | 0.0 | 0.6 |
| İlerleme (mm/dev) | 2 | 409.533 | 204.766 | 2589.11 | 0.0 | 98.12 |
| Kesme derinliği (mm) | 2 | 2.715 | 1.357 | 17.16 | 0.0 | 0.65 |
| Hata | 18 | 1.424 | 0.079 | | | 0.34 |
| Toplam | 26 | 417.347 | | | | |

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, döküm yöntemiyle üç farklı (% 10 - % 12 - % 14) krom oranına sahip YKBDD'ler üretilmiştir. Otomotiv sektöründe бага malzemesi olarak kullanılan YKBDD'lerin sertlik, SEM, XRD, aşınma ve işlenebilirlik davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Aşınma davranışları üç farklı yük altında, beş farklı mesafe boyunca pin on disk aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir. YKBDD'lerin aşınma davranışlarının özellikleri araştırıldığı bu çalışma sonucunda;

- Bileşiminde % 10 Cr bulduran YKBDD'in, matris fazın tane şekli eş ekseneldir. Bileşiminde % 12 Cr bulduran malzemede sütunsal taneler oluşmaktadır. % 14 Cr'lu malzemede matris fazı tane şekli hem eş eksenel hem de sütunsaldır. Krom oranının artması malzeme yapısındaki tanelerin hem eş eksenel hem de sütunsal bir dağılım oluşturmaya neden olduğu belirlenmiştir.
- Aşınma test sonuçları % 10 Cr içeren yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin, aşınmaya karşı en dayanıklı alaşım olduğunu göstermektedir. % 10 Cr içeren beyaz dökme demirde aşınmaya karşı direncinin yüksek olması oluşan M_7C_3 karbürlerin oluşmasından kaynaklanmaktadır. XRD incelemeleri sonucunda yapı içerisinde artan Cr oranı, M_7C_3 karbürlerinin aşınmaya karşı daha düşük direnç sergileyen $M_{23}C_6$ karbürlere dönüştüğü belirlenmiştir.
- Krom içeriği % 10 olan dökme demirin sertliği 57 HR_C, krom içeriği % 12 olan dökme demirin sertliği 55 HR_C ve krom içeriği % 14 olan dökme demirin sertliği 52 HR_C olarak ölçülmüştür. Artan krom oranının, malzemenin sertliğini azalttığı belirlenmiştir. Malzemede artan krom miktarı, ile birlikte M_7C_3 karbürlerinin $M_{23}C_6$ karbürlere dönüştüğü gözlemlenmiştir.

- Aşınma testlerinde 60 N yük altında, 3000 m mesafede en fazla ağırlık kaybı % 14 Cr'lu alaşımda görülmüştür. En düşük ağırlık kaybı % 10 Cr içeren alaşımda gerçekleşmiştir. 90 N yük uygulandığında, 3000 m mesafe sonunda en fazla aşınan % 14 Cr'lu alaşımdır. 90 N yük altında 3000 m mesafe sonunda en az aşınan % 10 Cr'lu malzemedir. 120 N yük altında, 3000 m mesafe sonunda en az aşınan % 10 Cr'lu malzemedir. En fazla aşınanın ise % 14 Cr'lu alaşım olduğu gözlemlenmiştir.
- Uygulanan yükün fazla olduğu aşınma testlerinde ağırlık kaybı, tahmin edilenden daha düşük çıkmıştır. Ağır servis şartları altında yapılan aşınma testlerinde ağırlık kaybının beklenenden daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum özellikle kayma mesafesindeki artışa bağlı olarak sürtünmeyle beraber oluşan ısı etkisiyle tozların numune yüzeyine yapışmasından kaynaklandığı belirlenmiştir.

İşlenebilirlik deneyleri seramik ve CBN kesici uçlar kullanılarak CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. CNC Torna tezgahında işleme sonrası elde edilen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülükleri sonuçları için ideal kesme şartları belirlenmiştir. Ayrıca kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülük sonuçları ANOVA yardımıyla varyans analizi yapılarak, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti üzerinde kesme parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. YKBDD'lerin işlenebilirlik davranışlarının özellikleri araştırıldığı bu çalışma sonucunda;

- İlerleme değerinin artmasıyla biçimlenmemiş talaş kesiti büyüdüğünden dolayı talaşın deforme edilmesi için ihtiyaç duyulan güç artmıştır. Bu sebeple artan ilerleme miktarının bileşke kesme kuvvetinin arttığı gözlemlenmiştir.
- İlerleme hızının artmasıyla malzemelerin işleme sonrası yüzey pürüzlülüğü değerleri artmıştır. İlerleme hızları ile artan yüzey pürüzlülüğü değerleri aynı zamanda malzemenin sertlik değerlerindeki değişiminin olduğunu göstermektedir. İşlenmiş yüzeye yakın kısımlarda kesme parametrelerine bağlı olarak dislokasyon yığılmaları meydana gelmektedir. Oluşan yığılmalar,

matrisin dolayısıyla malzemenin sertleşmesine sebep olmaktadır. Bu durum yüksek ilerleme miktarlarında yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmesine sebep olduğu bulunmuştur.

- Seramik kesici uç ile Taguchi L_{27} ortogonal dizinine göre yapılan kesme kuvveti deneyleri sonucunda kesme kuvvetleri değerleri için ideal kesme şartları $A_1B_2C_1D_1$ deney seti olarak bulunmuştur.
- ANOVA analizleri sonuçlarına göre seramik kesici uç sert tormalama işleminde % 45,54 ile kesme derinliği ve % 25,87 ilerlemenin sert tormalama sırasında kesme kuvveti üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Diğer parametreler olan krom oranı ve kesme hızının toplam etkisi % 7,11 olmuştur.
- Seramik kesici uç ile Taguchi L_{27} ortogonal dizinine göre yapılan yüzey pürüzlülüğü deneyleri sonucunda, yüzey pürüzlülüğü değerleri için ideal kesme şartları $A_1B_1C_1D_2$ deney seti olarak bulunmuştur.
- ANOVA analizleri sonuçlarına göre, seramik kesici uç sert tormalama işleminde % 95,5 ilerlemenin sert tormalama sırasında yüzey pürüzlülüğü üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. Diğer parametre olan krom oranı ve kesme hızı ve kesme derinliğin yüzey pürüzlülüğüne toplam etkisi % 0,97 olmuştur.
- CBN kesici uç ile Taguchi L_{27} ortogonal dizinine göre yapılan kesme kuvveti deneyleri sonucunda kesme kuvvetleri değerleri için ideal kesme şartları $A_2B_3C_1D_1$ deney seti olarak bulunmuştur.
- ANOVA analizleri sonuçlarına göre seramik kesici uç sert tormalama işleminde %58,99 ile kesme derinliği ve %34,24 ilerlemenin sert tormalama sırasında kesme kuvveti üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Diğer parametre olan krom oranı ve kesme hızının toplam etkisi % 1,51 olmuştur.

- CBN kesici uç ile Taguchi L_{27} ortogonal dizinine göre yapılan yüzey pürüzlülüğü deneyleri sonucunda yüzey pürüzlülüğü değerleri ideal kesme şartları $A_1B_1C_1D_1$ deney seti olarak bulunmuştur.
- ANOVA analizleri sonuçlarına göre, seramik kesici uç sert tornalama işleminde %98,12 ilerlemenin sert tornalama sırasında yüzey pürüzlülüğüne etkisi vardır. Diğer parametre olan krom oranı ve kesme hızı ve kesme derinliğin yüzey pürüzlülüğüne toplam etkisi %1,52 olmuştur.

Bu çalışmanın daha ileriye taşınabilmesi için;

- Titanyum ve molibden katkısının malzemenin aşınma davranışı arttırdığı bilinmektedir. YKBDD'lerde titanyum ve molibden miktarları değiştirilerek, farklı kompozisyonlara sahip malzemeler üretilebilir. Üretilen bu malzemelerin aşınma ve işlenebilirlik davranışları incelenebilir.
- YKBDD'lerin tornalanmasında ideal kesme şartları kullanılarak işleme süreci için zaman ve maliyet analizi yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Wang, Y. S., Narasimhan, S., Larson, J. M., Larson, J. E. and Barber, G. C., The effect of operating conditions on heavy duty engine valve seat wear. *Wear*, 201 (1): 15-25 (1996).
2. Rocha, C. A., Sales, W. F., de Barcellos, C. S. and Abrão, A. M., "Evaluation of the wear mechanisms and surface parameters when machining internal combustion engine valve seats using PCBN tools." *Journal Of Materials Processing Technology*, 145(3): 397-406 (2004).
3. Wolicka, T. and Opiekun Z., "Valve seat insert materials for internal combustion engines" *Metal Proszkow*, (25): 19–27 (1994).
4. Chung, R.J., Tang, X., Li, D.Y., Hinckley, B. and Dolman K., "Microstructure refinement of hypereutectic high Cr cast irons using hard carbide forming elements for improved wear resistnace", *Wear*, (301): 695-706 (2013)
5. Carpenter, S.D., Carpenter, D. and Pearce, J.T.H., " XRD and electron microscope study of a heat treated 26,6 % chromium white iron microstructure", *Materials Chemistry and Physics*, (101): 49-55 (2007).
6. Yamamoto, K., Hashimoto, M., Sasaguri, N. and Matsubara, Y., "Solidification of High Chromium Cast Iron Substituted by 25 to 70 mass %Ni for Fe", *Materials Transactions*, (50): 2253-2258 (2009).
7. Berns, H., "Comparison of wear resistant MMC and white cast iron", *Wear*, (254): 47-54 (2003).
8. Çetinkaya, C., "An investigation of the wear behaviours of white cast irons under different compositions", *Materials Design*, 27 (6): 437-445 (2006).
9. Yang. H., Wang J., Shen. B., Liu H., Gao. S. and Huang S., "Effect of cryogenic treatment on the matrix structure and abrasion resistance of white cast iron subjected to destabilization treatment", *Wear*, (21): 1150-1154 (2006).
10. Scandian, C., Boher, C., Mello, J.D.B. and Rezai-Aria, F., "Effect of molybdenum and chromium contents in sliding wear of high chromium white cast iron: The relationship between microstructure and wear", *Wear*, (267): 401-408 (2009).

11. Wang, Y.S. and Narasimhan, S., "Engine valve and seat insert wear study with a simulator", *Science in China*, (44): 235-241 (2001).
12. Ootani T., Yahata N., Fujiki, A. and Ehira, A., "Impact wear characteristics of engine valve and valve seat insert materials at high Temperature (impact wear tests of austenitic heat-resistant steel SUH36 against Fe-base sintered alloy using plane specimens)", *Wear*, (188): 175-184 (1995).
13. Forsberg P., Hollman, P. and Jacobson, S., "Wear mechanism study of exhaust valve system in modern heavy duty combustion engines", *Wear*, (271): 2477-2484 (2011).
14. Al-Zkeri, I., A., "Finite element modelling of hard turning", *Doctoral Thesis*, The Ohio State University, 2-7 (2007).
15. Avner, S.H., "Introduction to Physical metallurgy", *Mc Graw Hill International Book Company*, New York, 1-536 (1983).
16. Sare, I.R., and Arnold, B.K., "Gauging Abrasion of Wear Resistant Alloy Cast Irons", *Wear*, (131): 15-38 (1989).
17. Liu, J. and Man, Y., "Development of abrasion-resistant Ni-hard 4 cast irons", *Wear*, 162-164 (2): 833-836 (1993).
18. Zhongli, L., Yanxiang, L., Xiang, C. and Kaihua, H., "Microstructure and mechanical properties of high boron white cast iron", *Materials Science and Engineering A*, (486): 112-116 (2008).
19. Zhongli, L., Xiang, C., Yanxiang, L. and Kaihua, H., "Effect of chromium on microstructure and properties of high boron white cast iron", *The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International*, (39): 636-637 (2008).
20. Haohuai, J.W., Baoluo, S., Hongshan, Y., Shengji, G. and Siju, H., "Influence of secondary carbide precipitation and transformation on abrasion resistance of 3Cr15Mo1V1.5 white iron", *Journal of Universtiy of Science and Technology Beijing, Mineral, Metallurgy, Material*, (14): 231-235 (2007).
21. Mello, J.D.B. and Durand-Charre, M., "Abrasion mechanism of white cast iron I: Influence of the metallurgical structure of molybdenum white cast irons", *Materials Science and Engineering*, (73): 203-213 (1985).
22. Fairhurst, W. and Röhrig, K., "Abrasion resistant high chromium white cast irons", *Foundry Trade Journal*, (136): 685-698 (1974).
23. Metals Handbook, 9th Edition, *ASM Casting*, 1-461 (1988).
24. Turenne, S., Lavallee, F. and Masounave, J., "Matrix microstructure effect on the abrasion wear resistance of high chromium white cast iron", *Journal of Materials Science*, (24): 3021-3028 (1989) .

25. G. M, Lucas. and E. P. Manilova, "Metallography and Microstructures of Heat-Resistant Alloys," *ASM Handbook Metallography and Microstructures*, (9): 1100–1104, (2004).
26. Fernandez, I. and Belzunce, F.J., "Wear and oxidation behaviour of high chromium white cast irons", *Materials Characterization*, (59): 669-674 (2008).
27. Tabrett, C.P. and Sare, I.R., "Effect of high Temperature and sub-ambient treatments on the matrix structure and abrasion resistance of a high-chromium white cast iron", *Scripta Materialia*, (12): 1747-1753 (1998).
28. Maldonado-Ruiz, S.I., Martinez, D.I., Velasco, A. and Colas, R., "Wear of white cast irons by impact of direct reduced iron pellets", *Wear*, (259): 361-366 (2005).
29. Chang, K.K, Sunghak, K. and Jae-Young, J., "Effects of heat treatment on wear resistance and fracture toughness of duo-cast materials composed of high chromium cast iron and low chromium steel", *Metallurgical and Materials Transactions*, (37): 633-643 (2006).
30. Pearce J.T. H. and Elwell D.W.L., "Duplex nature of eutectic carbides in heat treated 30% chromium cast iron", *Journal of Materials Science Letter*, (5): 1063-1064 (1986)
31. Da, L., Ligang, L., Yunkun, Z., Chunlei, Y., Xuejun, R., Yulin, Y. and Qingxiang, Y., "Phase diagram calculation of high chromium cast irons and influence of its chemical composition", *Materials and Design*, (30): 340-345 (2009).
32. Fusheng, H. and Chaochang, W., "Modifying High Cr-Mn cast iron with boron and rare earth-Si alloy", *Materials Science and Technology*, (5): 918-924 (1989).
33. Liu Z.L., Chen X., Li Y.X. and Hu, K.H., "High boron iron based alloy and its modification", *Journal of Iron and Steel Research International*, (16): 37-42 (2009).
34. Guo, E., Wang, L., Wang, L. and Huang, Y., "Effect of RE, V, T: and B composite modification on the microstructure and properties of high chromium cast iron containing 3% molybdenum", *Rare Metals*, 28 (6): 606-611 (2009).
35. Chen, H., Chang, Z., Lu, J. and Lin, H., "Effect of niobium on wear resistance of %15 Cr white cast iron", *Wear*, (166): 197-201 (1993).
36. Xiaohui, Z., Jiandong, X., Hanguang, F. and Yiming, G., "Effect of titanium on the as cast microstructure of hypereutectic high chromium cast iron", *Materials Characterization*, (59): 1221-1226 (2008).

37. Arıkan, M.M., Çimenoğlu, H. ve Kayalı, E.S., "The effect of titanium on the abrasion resistance of 15Cr-3Mo white cast iron", *Wear*, (247): 231-235 (2001).
38. Studnicki, A., Przybyl, M., Juchon, J. and Bartocha, D., "Wear resistance of chromium cast iron research and application", *Journal of Achievements In Materials And Manufacturing Engineering*, (18): 31-39 (2011).
39. Breyer, J.P. and Gisele, W., "Metallurgy of high chromium-molybdenum white iron and steel rolls", *Rolls For The Metalworking Industries*, Pittsburgh, 29-40 (2002).
40. Filipovic, M., Kamberovic, Z., Korac, M. and Gavrilovski, M., "Correlation of microstructure with the wear resistance and fracture toughness of white cast iron alloys", *Metals and Materials International*, 19 (3): 473-481 (2013).
41. Jackson, R.S., "The austenite liquidus surface and constituional diagram for the Fe-Cr-C metal stable system", *Journal of the Iron and Steel Institue*, (208): 163-167 (1970).
42. Minkoff, I., "The Physical Metallurgy of Cast Iron", A *Wiley Intersceince Publication*, 1-318 (1983).
43. Sawamoto, A., Ögi, K. and Matsuda, K., "Solidification structures of Fe-C-Cr (V-Nb-W) alloys", *AFS Transactions*, (86): 403-416 (1986).
44. Laird II, G., Nielsen, R.L. and Macmillan, N.H., "On the nature of eutectic carbides in Cr-Ni white cast irons", *Metallurgical Transactions*, (22): 1709 (1991).
45. Laird II. G. and Brown, R.R., "Nielsen, R.L, Factors effecting eutectic soldification of Cr-Ni (Si-Mn) white cast irons", *Materials Science and Technology*, (7): 631-643 (1991).
46. Powell, G.L.F. and Laird II, G., "Structure, nucleation, growth and morphology of secondary carbides in high chromium and Cr-Ni white cast irons", *Journal of Materials Science*, (27): 29-35 (1992).
47. Pero-Sanz, J.A, Plaza, D., Verdeja, J.I. and Aseniso, J., "Metallographic Characterization of Hypoeutectic Martensitic white Cast Iron: Fe-C-Cr system", *Materials Characterization*, (43): 33-39 (1999)
48. DIN 50320, Verschleiss (1979).
49. ASTM Stardarts, G 40-93, 163.

50. Gümüő, A., Baydođan, M., Çimenoğlu, H. ve Kayalı, E.S., “Yassı mamul üreten bir entegre demir çelik fabrikasında aşınma”, Makine Mühendisleri Odası, **II. Demir Çelik Sempozyumu**, 60-66 (2003).
51. Bharat Bhushan, Principles and Applications of Tribology, **John Wiley and Sons Inc**, New York, 198-429 (1999).
52. Hutching, I.M., Tribology: "Friction and wear of engineering materials", **Materials Science and Metallurgy University of Cambridge**, 76-82 (1992).
53. Abrasive Wear, **SAE Information Report Handbook Supplement**, , (1): 9-21 (1968).
54. Rabinowicz, E., “Friction Wear of Materials”, **John Wiley& Sons**; New York, 65 (1965).
55. Gürleyik, M., “Makine mühendisliğinde aşınma olayları”, **Mühendis ve Makina**, (27): 3-14 (1986).
56. Dođan, Ö.N. and Hawk, J.A., “Effect of carbide orientation on abrasion of high chromium white cast iron”, **Wear**, (189): 136-142 (1995).
57. Dođan, Ö.N., Laird II, G. and Hawk, J.A., “Abrasion resistance of the columnar zone in high Cr white cast irons”, **Wear**, (181-183): 342-349 (1995).
58. Ma, N., Rao, Q. and Zhou, Q., “Effect of boron on the structures and properties of 28% Cr white cast iron”, **AFS Transactions**, (90-18): 775-781 (1990).
59. Radulovic, M., Fiset, M. and Peev, K., “Effect of rare earth elements on microstructure and properties of high chromium white iron”, **Materials Science And Technology**, (10): 1057-1062 (1994).
60. Pearce, J.T.H., “Structure and wear performance of abrasion resistant chromium white cast irons”, **AFS Transactions**, (84-126): 599-622 (1984).
61. Pearce, J.T.H., “Abrasive wear behaviour of alloy cast irons”, **Foundryman**, (78): 13-23 (1985).
62. Diesburg, D.C. and Borik, F., “Optimizing abrasion resistance and toughness in steels and irons for the mining industry”, **Symposium on Materials for the Mining Industry**, Vail Colorado, 15-41 (1974).
63. Gundlach, R.B., “Properties and selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys, **ASM Handbook** , (1): 85-10 (1990).
64. Ezugwu, E. O., “Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys”, **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, (45-12): 1353-1367 (2005)

65. DeGarmo, E.P., Black, J.T. and Kohser, R.A., “ Materials and process in manufacturing”, *Prentice-Hall Inc*, New Jersey, 214-652 (1997).
66. Kopaci, J. and Bahor, M., “Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product”, *Journal of Materials Processing Technology*, (92): 381-387 (1999)
67. Shaw, M.C., “Metal cutting principles”, *Oxford University Press*, Oxford, 1-9 (1989).
68. Groover, M.P., “Fundamentals of modern Manufacturing - Materials, processes and systems”, *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 220-639 (1996).
69. Sundaram, S., Senthilkumar, P., Kumaravel, A. and Manoharan, N., “Study of flank wear in single point cutting tool using acoustic emission sensor techniques”, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3 (4): 32-36 (2008).
70. Akkurt, M., “Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 1-40 (1996).
71. Boothroyd, G. and Knight W.A.” Fundamentals of Machining and Machine Tools”, 2nd Edition, *Marcel Dekker*, INC, New York Basel, (1989)
72. Lou, B.M.S., J.C. Chen and C.M. Li, “Surface Roughness Prediction Technique For CNC End-Milling”, *Journal Of. Industrial Technology*, 15 (1): 1-6 (1999).
73. Davim, J.P., “Diamond tool performance in machining metal-matrix composites”, *Journal of Material Processing Technology*, (128): 100-105 (2002).
74. Trent, E.M., “Metal cutting”, *Butterworths Press*, London, 1-171 (1989).
75. Zhou, J.M., Walter, H., Andersson, M. and Stahl, J.E., “Effect of chamfer angle on wear of PCBN cutting tool”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, (43): 301-305 (2003).
76. Grzesik, W., Rech, J. And Wanat, T., “Surface finish on hardened bearing steel parts produced by superhard and abrasive tools”, *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, (47): 255-262 (2007).
77. Zhou, J.M., Andersson, M. and Stahl, J.E., “Identification of cutting errors in precision hard turning process”, *Journal of Materials Processing Technology*, (153-154): 746-750 (2004).
78. Tonshoff, H.K., Arendt, C. and Ben Amor, R., “Cutting of Hardened Steel”, *Annals of the CIRP* , (49): 547-566 (2000).

79. Huang, Y., Chou, Y.K. and Liang, S.Y., “CBN tool wear in hard turning: a survey on research progresses”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (35): 446-453 (2007).
80. Sood, R., Guo, C. and Malkin, S., “Turning of hardened steels”, *Journal of Manufacturing Processes*, (2): 187-193 (2000).
81. Klocke, F., Brinksmeier, E. and Weinert, K., “Capability profile of hard cutting and grinding processes”, *Annals of the CIRP*, (54): 22-45 (2005).
82. Abrao, A.M. and Aspinwall, D.K., “The surface integrity of turned and ground hardened bearing steel”, *Wear*, (196): 279-284 (1996).
83. Smith, S., Melkote, N., Lara-Curzio, E., Watkins, T.R., Allard, L. and Riester, L., “Effect of surface integrity of hard turned AISI 52100 steel on fatigue performance”, *Materials Science and Engineering A*, (459): 337-346 (2007).
84. Scheffer, C., Kratz, H., Heyns, P.S. and Klocke, F., “Development of a tool wear monitoring system for hard turning”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, (43): 973-985 (2003).
85. A.Bedolla-Jacuinde, R. Correa, J.G. and Quezada, C. Maldonado, “Effect of titanium on the as-cast microstructure of a 16 %chromium white iron”, *Materials Science and Engineering A*, (398): 397-308 (2005).
86. Bangyikhan, K., “ Effects of oxide film, fe-rich phase, porosity and their interactions on tensile properties of cast Al-Si-Mg alloys”, Phd Thesis, School of Metallurgy and Materials Faculty of Engineering, *University of Birmingham*, 11-12 (2005).
87. Powell, G.L.F. and Laird II, G., “Structure, nucleation, growth and morphology of secondary carbides in high chromium and Cr-Ni white cast irons”, *Journal of Materials Science*, (27): 29-35 (1992).
88. Sandvik Coromant, Modern metal cutting - A practical handbook, *Sandvik Coromant*, Sweden, I-III (1994).
89. Pellizzari, M., Cescato, D. and De Flora., “Hot friction and wear behaviour of high speed steel and high chromium iron for rolls”, *Wear*, 267 (1): 467-475 (2009).
90. Korkut, İ. ve Dönertaş, M.A., “Kesme parametrelerinin frezelemede oluşan kesme kuvvetleri üzerindeki etkileri”, *Politeknik Dergisi*, 6 (1): 385-389 (2003).
91. Çakıroğlu R. ve Acır A., “Al2014 malzemesinin delinmesinde takım talaş ara yüzey sıcaklıkları ve kesme kuvvetinin taguchi metodu ile optimizasyonu” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (10): 73- 86 (2013).

92. Suhail, A. H., Ismail, N., Wong, S. V. and Abdul Jalil, N. A., "Optimization of cutting parameters based on surface roughness and assistance of workpiece surface temperature in turning process", *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3 (1): 102-108 (2010).
93. Agrawal, A., Goel, S., Rashid, W. B. and Price, M., "Prediction of surface roughness during hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC)", *Applied Soft Computing*, (30): 279-286 (2015).
94. Hessainia, Z., Belbah, A., Yallese, M. A., Mabrouki, T. and Rigal, J. F., "On the prediction of surface roughness in the hard turning based on cutting parameters and tool vibrations", *Measurement*, 46 (5): 1671-1681 (2013).
95. El-Gallab, M. and Sklad, M., "Machining of Al/SiC particulate metal matrix composites part III: comprehensive tool wear models", *Journal of Materials Processing Technology*, 101 (1): 10-20 (2000).
96. Abukhshim, N., Mativenga, P. and Sheikh, M., "Heat generation and temperature Prediction in Metal Cutting: A Review and Implications for High Speed Machining", *International Machine Tools Manufacture*, (46): 782-800 (2006)
97. Sandvik Coromant, "CBN ile sert parça tornalama", *Sandvik Coromant*, 1-44 (2014).
98. Asiltürk, I. and Akkuş, H., "Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method", *Measurement*, 44 (9): 1697-1704 (2011).
99. Günay, M. and Yücel, E., "Application of Taguchi method for determining optimum surface roughness in turning of high-alloy white cast iron", *Measurement*, 46 (2): 913-919 (2013).
100. Yücel, E. and Günay, M., "Modelling and optimization of the cutting conditions in hard turning of high-alloy white cast iron (Ni-Hard)", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 227 (10): 2280-2290 (2013).
101. Günay, M., "AISI 316L çeliğinin işlenmesinde takım radyüsü ve kesme parametrelerinin taguchi yöntemiyle optimizasyonu". *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 28 (3): 437-444 (2013).

ÖZGEÇMİŞ

Ali KALYON 01.01.1983 tarihinde BURSA’da doğdu. İlkokul ve ortaokul öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Bursa Ali Osman Sönmez Anadolu Endüstri Meslek Lisesi Makine Bölümü’nden mezun oldu. 2002 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği bölümüne başlayarak 2006 yılında mezun oldu. 2007 yılında askerlik görevini tamamladı. 2007-2008 yılları arasında kalıpcılık sektöründe çalıştı. 2008 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Eğitimine başladı. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Yüksek Lisans öğrenimini 2010 yılında tamamladı. 2010 yılında başladığı doktora eğitimine Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliğinde devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi
İmalat Mühendisliği Bölümü
Demir Çelik Kampüsü 78050 / KARABÜK

Tel : 0 370 433 82 00

E-posta : alikalyon@karabuk.edu.tr