

**AŞINAN MAKİNE PARÇALARINA UYGULANAN SERT
DOLGU KAYNAĞININ AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

Mehtap HİDİROĞLU

**AŞINAN MAKİNE PARÇALARINA UYGULANAN SERT DOLGU
KAYNAĞININ AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mehtap HİDİRÖĞLÜ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2012**

Mehtap HİDİROĞLU tarafından hazırlanan “AŞINAN MAKİNE PARÇALARINA UYGULANAN SERT DOLGU KAYNAĞININ AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 18/01/2012

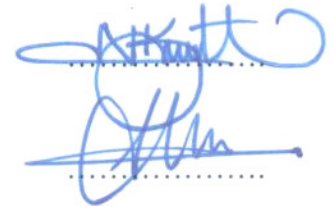
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mustafa BOZ (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Yavuz SUN (KBÜ)



...../...../2012

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

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
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.”

Mehtap HİDİROĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AŞINAN MAKİNE PARÇALARINA UYGULANAN SERT DOLGU KAYNAĞININ AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehtap HİDİROĞLU

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Ocak 2012, 101 sayfa

Bu çalışmada, Demir-Çelik endüstrisinde sıklıkla kullanılan ve birçok aşınma faktörü sonucu ölçüsünden küçülen, bu haliyle kullanılması durumunda da üretime zarar verebilecek doğrultma mastarları kullanılmıştır. Aşınmış mastar yüzeyleri elektrik ark kaynak yöntemi ile değişik tip ticari sert dolgu elektrotları kullanılarak doldurulmuştur. Kaynaklı numuneler öncelikle makroskobik olarak incelenmiş, ayrıca oluşabilecek hataların tespiti için tahribatsız muayenelerden sıvı penetrant ve radyografik testler uygulanmıştır. Kaynaklı numunelerin arayüzeylerinin karakterize edilebilmesi için, kaynak bölgesinden sertlik ölçümleri yapılmış, ayrıca tüm numunelere makro/mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Son olarak, sert dolgu kaynağı yapılmış numunelerin farklı yükler altındaki aşınma davranışları incelenmiştir.

Kaynaklı numunelere yapılan tahribatsız testler sonucunda (sıvı penetrant ve radyografik muayene) kaynak dikişlerinde kayda değer bir hataya rastlanılmamıştır. Yapılan sertlik testleri sonucunda kaynak dolgu sertliklerinin, ana malzemeden daha yüksek olduğu görülmüştür. Aşınma testleri sonucunda ise en verimli kaynak metalinin TS EN 14700 E Fe 8 elektrodu ile üretilmiş dolgu metalinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kaynaklı numunelerin aşınmaya karşı dirençlerinin, dolgu metali kimyasal bileşimine bağlı olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Aşınma, sert dolgu kaynağı, sertlik, tahribatsız muayene.

Bilim Kodu : 701.3.019

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

AN INVESTIGATION INTO WEAR PROPERTIES OF HARD FACING APPLIED TO THE WORN MACHINE PARTS

Mehtap HIDIROĞLU

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Metallurgy Education**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

January 2012, 101 pages

In this study, worn straightening gauges, often used in iron and steel industry and worn under so many wear factors, were used as the test samples. The worn surfaces of these straightening gauges were filled/coated using various commercially available hard filler materials through electric arc method. Initially, non-destructive tests (liquid penetration and radiographic tests) applied to the samples in order to observe any cracks, porosity and defects in weld seam and Heat Affected Zone (HAZ). Hardness tests, macro/microstructural analyses and Scanning Electron Microscopy (SEM) studies were performed in order to characterise weld metal interface. Finally, wear behaviour of the welded samples under various loads was examined.

As a results of non-destructive tests (liquid penetration and radiographic tests), no significant fault has been observed at weld seams. The welding filler hardness was found to be higher than that of the base metal. As the results of wear test, the most efficient weld metal was found the one produced with TS EN 14700 E Fe 8 electrode. In addition, wear behavior of the welded metals showed variations depending on the hard facing metal's chemical composition.

Key Words : Wear, hardfacing, hardness, non-destructive inspection.

Science Code : 701.3.019

TEŞEKKÜR

Yapılan tez çalışmasının planlanması, yürütülmesi ve oluşumu sırasında, ayrıca lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgilendirme ve yönlendirmeleriyle tarafıma daimi olarak katkı sağlayan, bu süre zarfında yaptığım çalışmalarda, hep daha iyiyi ve daha verimliyi bulmada kendisini örnek alarak kendimi yetiştirdiğim sayın danışman hocam Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aşınma özellikleri incelenen numunelerin temin edildiği, 'Asil Çelik' Demir-Çelik Fabrikasına, Tahribatsız testlerin deneylerinde yardımcı olan 'Deka' Test Merkezi'ne, Ayrıca sert dolgu elektrodlarının temin edildiği Gedik Kaynak A.Ş.'ne ve Öğr. Gör. Ertuğrul BULUT'a (Gedik Meslek Yüksekokulu) teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her anında yanımda olup beni destekleyen yüksek lisans arkadaşlarım, Bünyamin ÇİÇEK, Zafer ÖZTÜRK ve Arş. Gör. Yakup KAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, bu Yüksek Lisans Tez çalışmasını KBÜ-BAP-C-11-Y-004 numaralı proje ile destekleyen, KBÜ Rektörlüğüne ve BAP komisyonuna teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca beni yetiştirmek için çaba gösteren, hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan aileme sevgilerimle.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	4
SÜRTÜNME VE AŞINMA	4
2.1. AŞINMANIN ÖNEMİ	4
2.2. SÜRTÜNME	4
2.2.1. Sürtünme Katsayısı	5
2.3. AŞINMA	6
2.3.1. Aşınmanın Temel Unsurları	7
2.3.1.1. Esas Sürtünme Elemanına Bağlı Faktörler	8
2.3.1.2. Karşı Elemana Bağlı Faktörler	14
2.3.1.3. Ortama Bağlı Faktörler	14
2.3.1.4. İşletmeye Bağlı Faktörler	15
2.3.2. Aşınma Mekanizmaları	16
2.3.2.1. Yapışkan Aşınma	16
2.3.2.2. Kazıma Aşınma	18
2.3.2.3. Erozyon Aşınma	19
2.3.2.4. Yorulma Aşınması	20
2.3.2.5. Fretaj Aşınması	21

2.4. AŞINMA DENEYLERİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	21
2.4.1. Ağırlık Farkı Metodu	23
2.4.2. Kalınlık Farkı Metodu	23
2.4.3. İz Değişimi Metodu	24
2.4.4. Radyoizotop Metodu	24
BÖLÜM 3.	25
SERT DOLGU KAYNAK YÖNTEMİ	25
3.1. SERT DOLGU KAYNAĞI VE UYGULAMA ALANLARI	25
3.2. SERT DOLGU ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI	26
3.3. ÖSTENİTİK SERT DOLGU ALAŞIMLARI	27
3.4. MARTENSİTİK SERT DOLGU ALAŞIMLARI	28
3.5. KARBÜRLÜ SERT DOLGU ALAŞIMLARI	29
3.6. DEMİR DIŞI SERT DOLGU ALAŞIMLARI	29
BÖLÜM 4.	30
ELEKTRİK ARK KAYNAĞI	30
4.1. KAYNAĞIN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI	30
4.2. KAYNAK ARKI	31
4.2.1. Arkta Yayılan Işıklar	31
4.2.2. Ark Üfleme, Nedenleri ve Giderilmesi	32
4.2.2.1. Paralel İki İletkendir Akım Yönü	32
4.2.2.2. Akım Geçen Bir İletkenin Eğimi	32
4.2.2.3. Parçadaki Akım Yönü	32
4.2.2.4. Manyetik İletkenlerin Etkisi	32
4.2.2.5. Birden Fazla Kaynağının Aynı Parça Üzerinde Çalışması Durumu	33
4.2.2.6. Hava Akımının Etkisi	33
4.3. KAYNAK MAKİNALARI	33
4.3.1. Akım Üreteçlerinin Amacı	33
4.3.2. Kaynak Makinalarının Sınıflandırılması	34
4.3.2.1. Doğru Akım Kaynak Makinaları	34
4.3.2.2. Alternatif Akım Kaynak Makinaları	35

4.4. KAYNAK ELEKTRODLARI	35
4.4.1. Kaynak Elektrodlarının Sınıflandırılması	35
4.4.1.1. Rutil Elektrodlar	35
4.4.1.2. Asit Elektrodlar	36
4.4.1.3. Oksit Elektrodlar	36
4.4.1.4. Bazik Elektrodlar	36
4.4.1.5. Selülozik Elektrodlar	37
4.4.1.6. Demir Tozlu Elektrodlar	38
4.4.2. Elektrod Seçimi	38
4.5. KAYNAK HATALARI	39
4.5.1. Nufuziyet Azlığı	39
4.5.2. Yetersiz Ergime	39
4.5.3. Yanma Olukları veya Çentikler	39
4.5.4. Kaynak dikişinin taşması	40
4.5.5. Cüruf Kalıntıları	40
4.5.6. Gaz Boşlukları	40
4.5.7. Fıskırma	41
4.5.8. Çatlaklar	41
4.5.9. Dış Yüzey Hataları	42
4.5.10. Sıçramalar	42
4.5.11. Kaynak Dikişlerindeki Distorsiyonlar	42
BÖLÜM 5.	43
SERT DOLGU KAYNAĞI İLE ÖNCEDEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	43
BÖLÜM 6.	49
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	49
6.1. MALZEME	49
6.2. KAYNAK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ	50
6.3. MALZEMELERİN KAYNAĞA HAZIRLANMASI	51
6.4. KAYNAK İŞLEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	52
6.5. MAKRO/MİKRO YAPI İNCELEMELERİ	53
6.6. TAHRİBATSIZ TESTLER	54

6.6.1 Sıvı Emdirme (Penetrant) Testi	55
6.6.2 Radyografik Muayene	55
6.7. TAHRİBATLI MUAYENE	56
6.7.1. Mikrosertlik Testi	56
6.8. AŞINMA DENEYİ	57
BÖLÜM 7.	60
DENEYSSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	60
7.1.MAKRO/MİKRO YAPI SONUÇLARI	60
7.1.1. Makroyapı Sonuçları	60
7.1.2 Mikroyapı (Optik Mikroskop) İncelemeleri	63
7.1.3 Mikroyapı SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) İncelemeleri	71
7.2. SIVI PENETRANT TESTİ SONUÇLARI.....	75
7.3. RADYOGRAFİ TEST SONUÇLARI.....	77
7.4. MİKROSERTLİK SONUÇLARI.....	79
7.5. SERT DOLGU ALAŞIMLARININ AŞINMA DENEY SONUÇLARI	84
BÖLÜM 8.	94
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Statik ve dinamik sürtünme katsayıları	5
Şekil 2.2. Adhesiv aşınmanın şematik gösterimi	17
Şekil 2.3. Adhesiv aşınmada aşınma bölgeleri.....	18
Şekil 2.4. Abrasiv aşınma.....	19
Şekil 2.5. Tribo oksidasyon aşınması.....	20
Şekil 2.6. Yorulma aşınması.....	21
Şekil 2.7. Doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınmanın belirlenmesi.....	22
Şekil 3.1. Fe bazlı sert dolgu alaşımlarının mikro yapılarına göre uygulama alanları	27
Şekil 6.1. Aşınmış bir doğrultma mastarı görüntüsü.....	49
Şekil 6.2. Dolgu yapılacak doğrultma mastarı numune ebatları	51
Şekil 6.3. Dolgu kaynağı yapılmış numune görüntüsü	53
Şekil 6.4. Mikroyapı incelemelerinde kullanılan taramalı elektron mikroskobu.....	54
Şekil 6.5. Numune yüzeyinde oluşan Vickers sertlik izinin görüntüsü	57
Şekil 6.6. Aşınma deneyi uygulanacak yüzeylerin hazırlanışı.....	58
Şekil 6.7. Aşınma deneylerinde kullanılan aşınma cihazı.....	58
Şekil 7.1. Numunelerin makroskobik görüntüleri	61
Şekil 7.2. Makroskobik test raporu	62
Şekil 7.3. A numunesinin optik mikroskop mikroyapı görüntüleri	63
Şekil 7.4. B numunesinin optik mikroskop mikroyapı görüntüleri	64
Şekil 7.5. C numunesinin optik mikroskop mikroyapı görüntüleri	65
Şekil 7.6. D numunesinin optik mikroskop mikroyapı görüntüleri	66
Şekil 7.7. E numunesinin optik mikroskop mikroyapı görüntüleri.....	67
Şekil 7.8. F numunesinin optik mikroskop mikroyapı görüntüleri.....	68
Şekil 7.9. A numunesinin SEM mikroyapı görüntüleri	71
Şekil 7.10. B numunesinin SEM mikroyapı görüntüleri.....	72
Şekil 7.11. C numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü	72
Şekil 7.12. D numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü	73

Sayfa

Şekil 7.13. E numunesinin SEM mikroyapı görüntüleri	73
Şekil 7.14. F numunesinin SEM mikroyapı görüntüleri	74
Şekil 7.15. Penetrant testi uygulanan numunelerden görüntüler	75
Şekil 7.16. Sıvı penetrant test raporu	76
Şekil 7.17. Radyografik muayene sonucu elde edilen pozlar	77
Şekil 7.18. Radyografik muayene şartları ve muayene raporu.....	78
Şekil 7.19. Numunelerin 2 ve 3 boyutlu Vickers sertlik iz görüntüleri	79
Şekil 7.20. A numunesinin mikrosertlik sonuçları	80
Şekil 7.21. B numunesinin mikrosertlik sonuçları	80
Şekil 7.22. C numunesinin mikrosertlik sonuçları	80
Şekil 7.23. D numunesinin mikrosertlik sonuçları.....	81
Şekil 7.24. E numunesinin mikrosertlik sonuçları	81
Şekil 7.25. F numunesinin mikrosertlik sonuçları	81
Şekil 7.26. A, B, C, D, E, F numunelerinin farklı yük ve kayma mesafeleri altındaki ağırlık kaybı grafikleri.....	84
Şekil 7.27. Kaynaklı numunelerin farklı yükler alındaki aşınma hızları	85
Şekil 7.28. Kaynaklı numunelerin 5N ve 40N yük altındaki aşınma hızları.....	85
Şekil 7.29. Numunelerin farklı yükler alındaki sürtünme katsayısı grafikleri.....	89
Şekil 7.30. A numunesine ait sert dolgulu aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri	90
Şekil 7.31. B numunesine ait sert dolgulu aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri	91
Şekil 7.32. C numunesine ait sert dolgulu aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri	91
Şekil 7.33. D numunesine ait sert dolgulu aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri	92
Şekil 7.34. E numunesine ait sert dolgulu aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri.....	92
Şekil 7.35. F numunesine ait sert dolgulu aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri.....	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Metallerin yapışmasını etkileyen faktörler.	17
Çizelge 6.1. Ana malzemenin kimyasal bileşim (ağırlıkça %) ve $C_{eş}$ değeri	49
Çizelge 6.2. Çalışmada kullanılan sert dolgu elektrodlarının analiz ve standartları..	50
Çizelge 6.3. Kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri.....	51
Çizelge 6.4. Aşınma test parametreleri	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- F_s : Sürtünme kuvveti
F_k : Sürtünme katsayısı
F_n : Normal kuvvet
HSP : Hekzogonal sıkı paket
 σ_A : Akma gerilmesi
 $\Delta\epsilon$: Şekil değiştirme

KISALTMALAR

- ASLE : American Society of Lubrication Engineers
SEM : Scanning Electron Microscopy
DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
C_{eş} : Karbon eşdeğeri
ITAB : Isı tesiri altında kalan bölge
PT : Penetrant testi
NDT : Tahribatsız muayene (Non-destructive test)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Birbirleri ile temas halinde olan ve izafi hareket halinde bulunan iki elamanın temas yüzeyleri arasında sürtünme meydana gelir. Sürtünmeden dolayı meydana gelen aşınma, makine elemanları ve mühendislik malzemelerinin ömürlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Dünya çapında yapılan istatistiklere göre makine elemanlarının yaklaşık % 70'inin ise yaramaz hale gelmesinin en büyük nedeni aşınmadır. Ayrıca sürtünme sonucunda meydana gelen enerji kayıplarının maddi tutarı milyarlarca lira tutmaktadır. Bu nedenle günümüzde teknik sistemlerdeki araştırmalar, sürtünme ve aşınmayı azaltma ve kontrol etme çalışmaları şeklinde yoğunlaştırılmıştır. Aşınma ve sürtünmenin azaltılmasıyla malzeme kaybı önlenerek, boyut hassasiyeti sağlanırken enerji israfı da önlenmiş olur [1].

Maddi imkânlar sonuna kadar kullanılarak hazırlanan konstrüksiyonlarda herhangi bir parçanın kırılması veya aşınması işletmenin günlerce veya haftalarca atıl kalmasına neden olabilir. Bu durumu engellemek amacıyla çeşitli aşınma türleri ve zorlanma şartlarıyla karşılaşan parçalar kullanılmaz hale gelmeden önce aşınan kısmının uygun kaynak yöntemiyle doldurulması sonucu hem ilk fonksiyonunu yerine getirecek hem de aşınmalara karşı daha dirençli bir hal alacaktır. Bu gibi durumlarda iş parçasını yenilemek yerine tamir ederek tekrar kullanıma hazır hale getirmek hem maliyeti azaltacak hem de iş parçasına istenilen aşınma özellikleri kazandırılarak iş parçasının çalışma ömrü uzatılacaktır. Böylece mali yönden ve çok değerli olan zamandan kazanç sağlanacaktır. Hatta bazı makine parçalarının yenisinin veya yedeğinin ülke dışından getirilmesi durumlarından kurtularak işletme büyük ölçüde iş ve zaman kaybından korunacaktır [2].

Dolgu kaynağı, uygulamada ve tamir işlemlerinde imalatın bir safhası olarak görülmektedir. İşlem, metalik bir parçanın yüzeyini, aşınma ve korozyon gibi dış etkilerin neden olduğu hasarlara karşı korumak için yapılmaktadır.

Dolgu kaynağı, aşınan parçaların yeniden servise verilmesinde, geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Bunları şöyle sıralamak mümkündür; kırıcı (konkasör) makaraları, çamur karıştırıcıları, vagon tekerleri, ray-teker sistemi, kok itici pabuçları, hafriyat makineleri, döner konkasör çekiçleri, aşınma plakaları, sinter tesisi karıştırıcıları, maden kırıcıları, konveyör vidaları hadde merdaneleri ve iş makinelerinin yürüyüş takımlarıdır.

Dolgu kaynağı genellikle elektrik ark kaynağı yöntemlerinden herhangi biri ile yapılabilmektedir. Kaynak yönteminin seçiminde, parçanın şekli, malzeme ve işletme koşulları etkili olmaktadır.

Sonuç olarak; aşınmayı uzun ömürlü ve ekonomik olarak önleme yöntemlerinden en önemlisi uygun elektrodla yapılan ucuz dolgu işlemidir. Dolgu işleminin başarıya ulaşması uygun malzeme, uygun elektrod, uygun çalışma koşulları ve uygun kaynak yöntemi seçimi ile aşınma türünün bilinmesine bağlıdır.

Dolgu kaynağı yapılan parçanın ömrü uzar, bundan dolayı verim artar, bakım için geçecek toplam süre azalır. Montaj için harcanan toplam işçilik ve maliyet düşer. Daha az yedek parça stoku ile çalışılabildiğinden yedek parça temin ve stoklama maliyeti düşer. Parçanın tümü daha pahalı malzeme üzerinde dolgu yapılarak parça daha ucuza mal edilir. Sünek ve darbeye dayanıklı bir malzeme üzerine aşınmaya dayanıklı bir dolgu yaparak, hem darbe hem de aşınma şartlarının birlikte olduğu iyi bir çalışma alanı elde edilir [3].

Sürekli aşınma tesiri altında çalışma sonucu aşınmaya maruz kalarak çalışma toleransı dışına çıkan ve görev yapamaz duruma gelen mekanik sistemlerden biride demir-çelik sanayisinde üretilen çelik profillerin şekillerini düzeltmek amacıyla sıklıkla kullanılan sık ve oldukça aşınan doğrultma masterlarıdır. Bu çalışmada, birçok aşınma faktörü sonucu ölçüsünden küçülen ve bu haliyle kullanılması

durumunda üretime zarar verebilecek doğrultma masterlarından alınan numunelerin aşınan yüzeyleri elektrik ark kaynak yöntemi ile değişik tip ticari sert dolgu elektrotları kullanılarak doldurulmuş ve kaynaklı numunelerin farklı yükler altındaki aşınma davranışları incelenmiştir. Bunun yanında sert dolgu ile kaplanmış ana metal-kaynak metali ara yüzey arasındaki bağ kalitesinin karakterize edilebilmesi amacıyla, kaynaklı numunelere, sertlik testi ile mikro yapı ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri yapılmış, kaynak dikişi ve ısı tesiri altında kalan bölgede (ITAB) meydana gelebilecek çatlak, gözenek vb hatalar içinse, kaynaklı numunelere sıvı penetrant ve radyografik testler uygulanmıştır.

Hazırlanan bu çalışma, genel olarak literatür ve yapılan deneysel çalışmalar olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. Burada, literatür beş ve deneysel çalışmalar ise üç bölüm olmak üzere toplam sekiz bölüm olarak yer almıştır. Konu başlıklarından birinci bölüm “Giriş” olup burada çalışmanın kısa özeti verilmiştir. İkinci bölümde sürtünme-aşınma, üçüncü bölümde sert dolgu kaynağı, dördüncü bölümde elektrik ark kaynağı hakkında literatür bilgileri sunulmuştur. Beşinci bölümde ise sert dolgu kaynağı ile Ulusal ve Uluslararası boyutta yapılan çalışmalardan önemli olanlardan bazıları özetlenmiştir.

Deneysel çalışmaların anlatıldığı altıncı bölümde, deney numunelerinin özellikleri, dolgu işlemlerinin yapılışı ve kaynaklı numunelerin karakterizasyonu hakkında bilgiler verilmiştir. Sonuç ve tartışmaların yorumlandığı yedinci bölümde, elde edilen bilimsel veri ve bulgular, deneysel çalışmanın amacına uygun bir biçimde yorumlanarak sonuçlandırılmıştır. Son bölümde ise çalışma sonucu elde edilen önemli noktalar kısaca özetlenmiştir.

BÖLÜM 2

SÜRTÜNME VE AŞINMA

2.1. AŞINMANIN ÖNEMİ

Günümüzde yaygın olarak kullanılan tribolojik sistemlerde korozyon ve yorulma sorunlarıyla birlikte görülen üçüncü bir problemde aşınmadır. Birbiriyle temas halindeki iki cismin arasında meydana gelen bağıl hareket ile cisimlerin yüzeylerinin birbirini etkilemesi sonucu aşınma meydana gelir [4]. Aşınma bilim adamlarına göre değişik şekillerde tanımlanmaktadır. Bunlardan en çok kabul göreni, DIN 50320'ye göre "cisimlerin yüzeylerinden mekanik etkenlerle mikro taneciklerin koparak ayrılması nedeni ile istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesidir" şeklinde ifade etmektedir [3].

Aşınma, çeşitli makine ve teçhizatın kullanımı esnasında kırılma kadar tehlikeli bir problem olmasa bile, çok büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Sanayileşmiş ülkelerde aşınma nedeniyle gayri safi milli hâsılanın % 7'sine eşdeğer bir harcamanın yapıldığı tahmin edilmektedir [5].

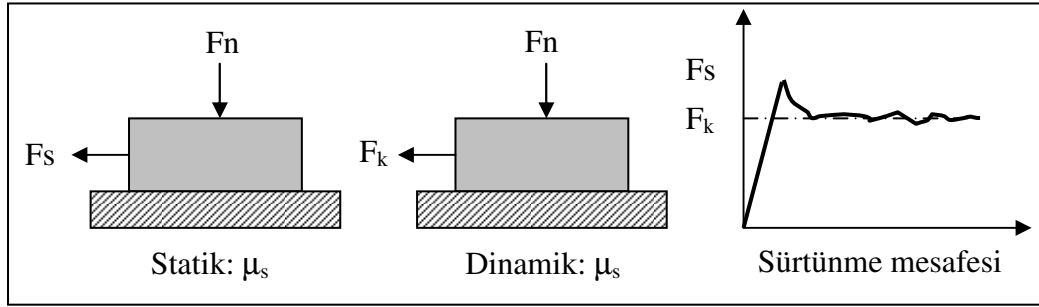
2.2. SÜRTÜNME

Genel anlamda sürtünme; temas halindeki yüzeylerin ve birbiri üzerinde hareket eden ya da, hareket ihtimaline karşı gösterilen direnç olarak tanımlanır [5,6]. Sürtünmenin sebebi; bir yüzeydeki atomların diğer yüzeydeki atomlar üzerinde hareket ettiği zaman katı yüzeyin kayması esnasında meydana gelen kafes hareketidir. Çünkü bir yüzeyin diğer bir yüzey üzerinde hareketi sonucunda mekanik enerjinin bir bölümü ses dalgaları ve ısıya dönüşür. Birbirleri ile temastaki her katı malzemenin kristal kafesi atomik düzeyde denge durumundadır. Sürtünen çiftlerden birine kayma gerilmesi uygulandığında her kafes elastik olarak deforme olur [7].

Eğer kayma daha da artarsa ve kararsız duruma gelirse atomlar yeni bir denge durumuna geri dönerler [8].

2.2.1. Sürtünme Katsayısı

Bilindiği gibi iki malzeme birbiri ile temas edecek şekilde yerleştirilirse, malzemelerin birbiri üzerinde kaymasını sağlamak için uygulanan kuvvete dik yönde olacak şekilde bir sürtünme kuvveti oluşur. Kaymayı başlatan kuvvet (F_s) ile temas yüzeyine etki eden normal kuvvet (F_n) arasında; $F_s = \mu_s \times F_n$ bağıntısı mevcuttur. Burada, μ_s statik sürtünme katsayısıdır. Kayma başladıktan sonra, sürtünme kuvvetinde bir azalma olur (F_k). Bu durumda; $F_k = \mu_k \times F_n$ ilişkisi geçerlidir. Burada $\mu_k < \mu_s$ kinetik sürtünme katsayısıdır. Şekil 2.1’de statik ve dinamik sürtünme katsayıları görülmektedir [5,6,9].



Şekil 2.1. Statik ve dinamik sürtünme katsayıları [9].

Şekil 2.1’de gösterildiği gibi, sürtünme statik veya dinamik olarak tanımlanabilir. Statik sürtünme katsayısı, sıfır hızındaki iki yüzeyin sürtünme değeridir. Dinamik sürtünme katsayısı ise, sıfırdan büyük hızlarda ölçülen sürtünme değeridir. Sürtünme katsayısı; sürtünme hızı, basınç ve sıcaklık gibi değişkenlere bağlıdır [9]. İki yüzey arasındaki sürtünme hızının artmasıyla sürtünme katsayısı düşmektedir. Uygulanan basınçta sürtünme katsayısı üzerinde benzer bir etki gösterir. Pratikte sürtünme denilince akla gelen kinetik sürtünmedir. Aşınmada, enerji kaybı ve sıcaklık artışı gibi olaylar sürtünme sebebiyle oluşmaktadır. Bu duruma göre, uygulama alanlarını göz önünde bulundurarak sürtünmenin hem istenen, hem de istenmeyen bir olay olduğu söylenebilir. Fren, kavrama ve sürtünmeli çarklar gibi makine elemanlarında

istenilen bir olay olduğu için, sürtünme artırılmaya çalışılır. Oysa, diğer izafi hareket yapan bütün sistemlerde sürtünme istenmeyen bir olaydır ve azaltılması istenilir [5]. Buna göre sürtünme katsayısı (μ), sürtünme kuvvetinin değerini belirler. Sürtünme katsayısı, $0.001 < \mu \leq 1.0$ değerleri arasında değişir. Vakumda çok temiz yüzeyli metallerin birbirleri üzerinde kaydırılması sırasında sürtünme katsayısı $\mu > 1.0$ değerindedir. Çok hafif yüklü bir rulmanda ise $\mu = 0.001$ değerindedir. Birçok malzemenin havada birbiri üzerinde kayması durumunda sürtünme katsayısı ($0.1 < \mu < 1$) arasındaki değerlerde, yani daha dar bir aralıktaki değerlerdedir [9].

2.3. AŞINMA

Birbirine göre bağıl hareket yapan ve aynı zamanda temasta olan iki yüzeyden küçük parçacıklar kalkar. Kalkan bu parçacıkların gitmesi ile aşınma meydana gelir. Mühendislik malzemelerinin ve makine elemanlarının ömürlerine bu aşınmanın büyük etkisi vardır [10]. Aşınma mekanik, kimyasal veya elektro-kimyasal etkenlerin tribo-sistem içinde etkileşimleri ile meydana gelir. Aşınma, iş sertleşmesi, oksitlenme, metal transferi, faz değişikliği, yağ ve kir filmleri gibi çok sayıda olaya bağlıdır. Pek çok malzeme çiftinin sürtünme katsayısı 0.1 ile 1 (μ) arasında değiştiği halde aşınma hızları çok farklı değerlerde olmaktadır. Mühendislik malzemelerindeki yıpranmanın aşınma sayılması için;

- Mekanik bir etkinin olması,
- Sürtünmenin olması,
- Yavaş fakat devamlı olması,
- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
- İsteğimiz dışında meydana gelmesi gerekir.

Bu şartlardan biri sağlanmıyorsa meydana gelen yıpranma aşınma değildir [11]. Tribolojik sistem, karşılıklı etkileşen elemanlarda hız, ısıl şartlar ve yükün etkisi ile sonuçlanan aşınma olayını inceler ve ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme yük, hareket (çevre ortamı) elemanlarından meydana gelir [9,12,13].

Aşınmanın incelendiği eleman esas sürtünme elemanıdır. Karşı eleman katı, sıvı veya gaz halinde olabilir. Eğer ortam vakumlu ise iyi temizlenmeyen yüzeylerde yağlayıcı özellik gösteren ara maddeler olabilir. Bu haldeki sürtünmeye, teknik kuru sürtünme denir. Vakumsuz ortamda ise çevre devreye girer ve sistem elemanları sayısı üç tanedir. Eğer yağlama da var ise eleman sayısı dördür [10].

2.3.1. Aşınmanın Temel Unsurları

Aşınmanın başlaması ve devam etmesi için sürtünmenin olması gerekir. Sürtünen iki yüzeyin temas alanına, mekanik etkileşim alanı denir. Bu alanın aşınmaya etkisi büyüktür. Yüzeylerin gerçek temas alanı görünen temas alanından çok küçüktür. Çok hassas işlenen yüzeylerde dahi yüzeylerde pürüzler bulunur. Yüzeylerin etkileşimi bu pürüzlerde olur. Pürüzler arası girintilerde ise etkileşim yoktur ve temas alanı dışında kalır. Yüklemenin şekli ve değeri temas alanını, dolayısıyla aşınmayı etkileyen iki önemli faktördür. Yükün değeri arttıkça gerçek temas alanı artar. İki cisim birbirine göre kayma, yuvarlanma ve kaymalı-yuvarlanma hareketi veya çarpma hareketi yapabilir. Hareketin yönü ve hareketin miktarı aşınma miktarına ve aşınma cinsine tesir eder. Ayrıca sıcaklığın da aşınma üzerinde büyük etkisi vardır [14,15]. Ne zaman iki yüzey temas etse aşınma oluşur. Özellikle endüstride sık sık karşılaşılan yüzeylerdeki aşınmaya bağlı malzeme kaybı ekonomik olarak önemli bir güç ve maddi kayba neden olmaktadır [16]. Katı yüzeyler oksit filmleriyle ve sınır tabaka yağlayıcıları ile korunsun bile oksit filmlerinin mekanik yük altında parçalandığı yerlerde ve aktif sınır tabaka yağlayıcısının absorpsiyonunun zayıf olduğu yerlerde, yer yer katı ile katı arasında temaslar olur. Bu temaslar aşınmaya neden olur [17]. Aşınmayı meydana getiren faktörleri bir bütün içinde incelemek gerekir. Bu faktörlerin tek başına etkilerini incelemek bizim gerçek sonuçtan uzaklaşmamızı sağlar. Bu yüzden faktörleri bir bütün içinde incelemek gerekir. Aşınma faktörlerinin sınıflandırılmasını tribolojik sistem göz önünde bulundurularak yapmak mümkündür. Aşağıda yapılan sınıflandırma, abrasiv aşınma göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Tribolojik sistemin elemanlarına bağlı faktörler ;

- Esas sürtünme elemanlarına bağlı faktörler;
 - Malzemenin cinsi
 - Kimyasal terkibi
 - Mikro yapısı
 - Hacimsel ve yüzey sertliği
 - Elastiklik modülü
 - Akma ve kırılma özellikleri
 - Yüzeyin pürüzlük durumu
 - Şekli ve boyutları
 - Soğuk şekillendirme durumu
 - Isıl işlem
- Karşı elemana bağlı faktörler;
 - Aşındırıcı tane büyüklüğü
 - Tane şekli
 - Tane dağılımı
- Ortama bağlı faktörler;
 - Nem
 - Sıcaklık
- İşletmeye bağlı faktörler;
 - Yük
 - Hareket [1,18].

2.3.1.1. Esas Sürtünme Elemanına Bağlı Faktörler

Malzemenin Cinsi

Bir iş parçasının yapımında kullanılacak malzeme seçiminin hesaplamalarında bütün faktörleri tam olarak göz önünde bulundurmak ve ilmi kararlar vermek uzun bir zaman kaybına yol açar ve maliyeti artırır. Mühendislikte acele kararların alınması genellikle problemler meydana getirir. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte makinelerin daha güçlü ve daha hızlı çalıştırmak sureti ile üretimin daha arttırılması gerekir. Bu

hızlı ve güçlü çalışmanın sonucu olarak malzeme seçimi ve tasarımı oldukça önemli hale gelmiştir.

Bir malzeme belli şartlarda yüksek aşınma direnci gösterirken, bir başka şartlarda düşük aşınma direnci gösterebilir. Bu nedenle aşınmanın meydana geldiği koşullar göz önünde bulundurularak aşınmaya dayanıklı malzeme seçimi yapmak gerekir. Malzeme seçimine örnek olarak, bronzların korozyona karşı dayanıklılığı, aşınma mukavemetleri ve kayma özellikleri pirinçlerden daha iyidir [1].

Kimyasal Terkibi

Malzemenin kimyasal terkibi, mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerin başında gelir. Alaşım elemanları genel olarak malzemelerin sertliğini ve mukavemetlerini arttırdıkları için aşınmaya karşı dirençlerinin daha iyi olduğu görülmektedir. Karbon, mangan, krom ve nikel gibi metaller içerisine katıldığı metal alaşımlarının aşınma direncini artırır [19-21].

Çeliklerde karbon miktarı, çeliğin mekanik özelliklerini etkileyen en önemli alaşım elementidir. Karbonlu ve az alaşımlı çeliklerde bağımsız karbon elementinin artması ile aşınma dirençlerinin olumlu yönde geliştiği görülür. Bunun nedeni alaşımsız çeliklerde karbon miktarının artması sonucunda perlit miktarının artması ve alaşımlı çeliklerde ise ince perlitik yapının martenzit-östenit yapıya dönüşmesi ile aşınmaya karşı direnci artar. Çelik içerisindeki alaşım elemanlarının aşınma direncine etkisi karbona göre daha düşüktür.

Malzemenin Mikroyapısı

Malzemenin mikroyapısının aşınmayı ne kadar etkilediği tam olarak belli değildir. Fakat, mikroyapının aşınmayı etkilediği bir gerçektir. Mikroyapıda bulunan fazlar ve tane boyutu, mekanik özellikleri önemli derecede etkileyen bir faktördür [1]. Jeong ve arkadaşlarının belirttiğine göre, Taber'in aşındırıcı testi şunu göstermiştir ki aşınma oranı direkt olarak sertlikle ilgili değildir. Moore'nin abrasiv aşınma

çalışmalarına göre de aşınma direnci martenzitik ve perlitik yapıya sahip çeliklerde sertlikle orantılı iken ferritik yapıya sahip çeliklerde ise böyle değildir [22].

Mikroyapıya kristal kafes sistemleri olarak baktığımızda HSP yapıya sahip olan malzemelerin diğer kristal kafes sistemlerine göre aşınma dirençleri daha yüksektir. Örnek olarak oda sıcaklığında HSP yapıya sahip kobaltın aşınma direnci oldukça yüksektir [1].

Hacimsel ve Yüzey Sertliği

Aşınma direncini etkileyen en önemli faktörlerin başında hacimsel ve yüzey sertliği gelir. Aşınma direncini belli bir noktaya kadar yükselten bu iki özellik daha sonra artan sertlikle aşınmaya karşı yeterli direnci göstermez. Ticari saf malzemelerde aşınma direnci, hacimsel sertliğin lineer bir fonksiyonudur. Bazı metallerde ise sertlikle aşınma direnci arasında direkt ilişki yoktur [1]. Özellikle ferritik malzemelerde aşınma direncine, sertliğin direkt etkisi görülmemektedir [22]. Korkut'un çalışmasında belirttiğine göre [3] Mutson ve Watson, yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda;

- Aynı sertliğe sahip olan ısıtılmış çeliklerin saf metallere göre, aşınma dirençlerinin daha az olduğu,
- Aynı çelik ısıtılıp farklı sertlik seviyelerine getirildiğinde sertlik ile aşınma direnci arasında lineer bir ilişki olmadığı sonucuna varmışlardır.

Sertliğin artması ile birlikte, aşındırıcı aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir. Aşındırıcı aşınma direncinin, sertliğe büyük oranda bağlı olduğu veya sertliğin artması ile aşındırıcı aşınma direncinin düzeldiği kabul edilmektedir [1].

Yüzey sertliğinin artması aşınma direncini olumlu yönde etkiler. Metallerde yüzey sertliğinin artırılması için ısıtılıp veya yüzeye daha sert bir tabakanın kaplanması ile yüzey sertliği artırılabilir [23]. Bu işlemlerde sadece yüzey sertliği arttığı için, malzemenin çekirdeği sünek kalır. Böylece hem aşınmaya karşı direnç artar, hem de darbeli zorlamalara karşı malzemenin mukavemeti artar [1]. Çeliklerde; yüzeyi az

yada orta karbonlu olan çelikler nitrürlenebilir veya karbürlenebilir. Karbürlenmede modern gelişmelerle iyon şekillenmesi sayesinde ısıtılmadan parçanın yüzeyi üretilmiştir. Daha geleneksel davranışlarda üretilen alaşım elementleri, yüksek sıcaklıklarda difüzyon ile yüzeye verilirler. Sadece karbon ve azot ile değil, borlama, vanadyumlama, kromlama ile de yüksek derecede sertlik elde edilebilir [24].

Elastiklik Modülü

Malzemelerin elastiklik modülü arttıkça malzemenin aşınmaya karşı direnci daha fazla olur. Bunun nedeni elastiklik ve akma sınırı yüksek olan malzemelerde gerçek temas alanı azalır. Elastik modülü, farklı iki malzemenin aşınmasında, düşük elastik modülüne sahip malzemenin, gerçek temas alanı biraz daha fazla olduğu için izafi hareket sırasında bu malzemede soğuk kaynak olma ihtimali artar ve neticede biraz daha çabuk aşınır.

Çelik malzemelerde elastikiyet modülü sabit kalmasına rağmen, sertliklerinin artması sonucu aşınma direnci de daha olumlu sonuçlar verir. Saf metallerde aşınma direnci ile elastiklik modülü arasında bağıntı;

$$\epsilon = C_1 \times E^{1,3} \text{ olarak verilmiştir.}$$

Burada (ϵ) aşınma direnci, (C_1) sabit ve (E) ise elastiklik modülüdür [18,25].

Akma ve Kırılma Özellikleri

Malzemelerin plastik şekil değiştirme kabiliyeti o malzemenin akma ve kopma noktası ile doğrudan ilişkilidir. Yapılan araştırmalarda saf metallere için gerilme şekil değiştirme bağıntısı;

$$\sigma_A = C \cdot \Delta\epsilon^n \text{ olarak verilmiştir.}$$

Burada (σ_A) akma gerilmesi, (C) sabit, $\Delta\epsilon$ şekil değiştirme, (n) ise şekil değiştirme üssüdür. Aşınma süresince, şekil değiştirme sertleşmesi özelliğine bağlı olarak yüzey sertliği ile akma gerilmesi bağıntısı;

$H = C \cdot \sigma_A$ olarak verilmiştir.

Burada C sabiti metaller için 2-3 arasındadır [18]. Sonuç olarak şekil değiştirme sertleşme kabiliyeti iyi olan yani akma gerilmesi yüksek olan malzemenin aşınma dirençlerinin daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

Yüzeyin pürüzlük durumu

Malzeme yüzeyinin pürüzlülüğü, gerçek temas alanını dolayısıyla sürtünme ve aşınma olaylarını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Malzemelerin yüzeylerinin kaba işlenmesi sonucunda gerçek temas alanı azalır. Yüzeyde temas alanının azalmasıyla tek bir pürüze gelen yükün artmasıyla bu noktalarda gerilme yığılmaları meydana gelerek temas noktaları şekil değiştirerek aşınmanın artmasına sebep olur [25].

Sürtünerek çalışan makine parçalarının yüzey işleme kalitelerinin aşınma yönünden büyük bir önemi vardır. Sürtünme esnasında yüzeyden kopan küçük partiküllerin büyük bir kısmını, yüzeyde bulunan pürüzler meydana getirir. Sürtünme durumunda yüzey pürüzlerine gelen teğetsel gerilmenin akma sınırını aşması durumunda, bölgede plastik deformasyonun meydana gelmesi sonucu yüzey pürüzleri tepelerinden koparak aşınmayı hızlandırır [18,25].

Malzeme Şekli ve Boyutları

Malzemenin şekli ve boyutları gerçek temas alanını etkilediğinden dolayı aşınmayı da etkiler. Araştırmalarda, toprak işleme aletlerindeki kesici ağızların zamanla parabolik bir şekil aldığını ve bu parabolik şeklin aşınmaya karşı daha dirençli olduğu belirtilmiştir. Bir başka araştırmada, geometrik kesiti daireye yakın olan numunelerin aşınmaya karşı daha dirençli olduğunu ve aşınma sonucunda ideal daireye yaklaştığı tespit edilmiştir [2].

Soğuk Şekil Vermenin Etkisi

Soğuk şekil değiştirme sırasında meydana gelen pekleşme, malzemenin sertliğinin artmasına neden olur. Artan sertliğe bağlı olarak malzemenin aşınmaya karşı direnci artar. Metallerde meydana gelen şekil değiştirme sertleşmesi;

$$\sigma = B.\epsilon^n \text{ şeklinde ifade edilir.}$$

Burada (σ) efektif gerilme, (B) mukavemet katsayısı, (ϵ) şekil değiştirme miktarı ve (n) ise şekil değiştirme üssüdür.

İşlem sertleşmesinin mümkün olduğu Fe, Al ve Cu gibi yumuşak metallerin, haddelenme sonucu sertlikleri üç katına kadar çıkabilir. Sert bir yüzey ile sürtünmeden dolayı oluşan yüzey sertliği üç katından beş katına kadar yükselebilir. % 12 Mn bulunduran çeliğin haddelenmesi sonucu, sertliğinin yaklaşık olarak üç kat arttığı görülmüştür.

Sürtünme esnasında verilen enerjinin bir miktarı devamlı olarak soğuk deformasyon meydana getirdiğinden, malzeme yüzeyinin pekleşmesine neden olur. Bu pekleşme, malzemenin sertleşmesine ve dolayısıyla aşınmaya karşı dirençlerinin artmasına sebep olur [1].

Isıl İşlem

Mekanik özellikleri etkileyen ısıl işlem, aşınmayı etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Özellikle çeliklerde ısıl işlem sonucu sertlik artarak aşınmaya karşı direnci yükseltir. Fakat sertleştirme işleminden sonra malzemenin içyapısında, gerilme yığılmaları meydana gelir. Bu gerilme yığılmalarını gidermek için temperleme işlemi yapılmalıdır.

Çeliklerde aşınmaya karşı en etkili yöntem yüzeyin sertleştirilmesidir. Böylece malzemenin içyapısındaki süneklik korunarak, hem darbeli çalışmalara karşı iyi

mukavemet gösterecek, hem de yüzeyin sertleşmesinden dolayı aşınmaya karşı direnci artacaktır [26].

2.3.1.2. Karşı Elemana Bağlı Faktörler (Tane büyüklüğü, şekli ve dağılımı)

Yapılan araştırmalar sonucunda tane büyüklüğü arttıkça, malzemenin aşınmaya karşı direncinin azaldığı ve aşındırıcı tanenin parabolik şekilli olması, keskin köşeli tanelere göre aşınmayı azalttığı görülmüştür. Tane büyüklüğü arttıkça, tanenin malzemeyi çizme genişliği büyür ve dolayısıyla aşınma hacmi de artar [1].

2.3.1.3. Ortama Bağlı Faktörler (Basınç, sıcaklık ve nem)

Aşınmayı etkileyen önemli faktörlerden biride aşınma ortamının basıncı, sıcaklığı ve nemidir. Sürtünmeden dolayı temas halinde bulunan yüzeylerde bölgesel olarak sıcaklık artar. Yüzeylerde meydana gelen sıcaklık artışı, malzemenin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirerek malzemenin aşınmaya karşı direncini etkiler [18].

Yapılan araştırmalar sonucunda artan sıcaklıkla aşınmanın arttığı tespit edilmiştir. Sıcaklık artışı ile metal - metal sürtünmesinde kaynak bağı oluşma ihtimali artar ve dolayısıyla aşınma fazlalaşır. Bunun için ergime dereceleri yüksek metallerin aşınmaya karşı direnci de fazladır. Demir ve nikel esaslı iki alaşımın, yüksek sıcaklıklardaki aşınma dirençleri incelenmiş ve 100 °C'nin altında Fe esaslı alaşım, 100 °C üstünde ise Ni esaslı alaşımın aşınmaya karşı direncinin daha fazla olduğu görülmüştür [1].

Ortamda bulunan yüksek nem oranının aşınma hızını % 15 arttırdığını ve su buharının diğer yağlayıcılara benzeyerek aşınmayı azalttığını belirlenmiştir. Ayrıca kış ve yaz şartlarında yapılan aşınma deneylerinde yaz şartlarında daha fazla aşınma meydana geldiği tespit edilmiştir [26]. Bunun sebebi ise yazın ortam neminin daha fazla olmasına bağlanmıştır.

2.3.1.4. İşletmeye Bağlı Faktörler

Yapılan çalışmalar sonucunda, işletmeye bağlı faktörlerin yük, hız, kayma ve kayma mesafesi olarak sıralandığı görülmektedir.

Yük

Modi ve arkadaşları yapmış oldukları çalışma sonucunda “Yüke bağlı olarak aşınma oranında değişmelerin olduğunu, aşınma oranının yükün artması ile arttığını, azalması ile azaldığını” belirtmişlerdir [27].

Kayma aşınmasında, yükteki çok az bir değişimin bile aşınmayı çok fazla etkilediği görülmüştür. Çelik-çelik sürtünmesi sonucunda, yükün artışı ile birlikte aşınmanın doğrusal olarak arttığı belirtilmiştir [18].

Ayrıca aşınma çiftlerine uygulanan yükün, uygulama şeklinin aşınmayı etkilediği belirlenmiştir. Statik yükleme, aşınmayı sabit bir şekilde etkilerken, dinamik yüklemenin aşınmaya değişik etkide bulunduğu tespit edilmiştir. Malzemenin yüzeyine gelen normal basınç, akma mukavemetini aştığı zaman adhesiv aşınma katsayısı yükselir. Adhesiv aşınma katsayısının yükselmesi malzemedeki aşınma miktarının artmasına sebep olur [26].

Hız

Kayma hızı, sürtünmeyi dolayısıyla aşınmayı etkileyen önemli bir faktördür. Çünkü sürtünen malzemelerin yüzeylerinde meydana gelen ısı, kayma hızına bağlıdır. Düşük basınçlarda hız arttığı zaman aşınma da artar [28,29].

Kayma ve Kayma Mesafesi

Temas halinde bulunan malzemelerin aşınması, kuru ve yağlama şartlarına göre kayma mesafesi arttıkça, aşınma miktarı da artar. Kayma mesafesinin artmasıyla aşınmanın orantılı olarak arttığı belirlenmiştir [1].

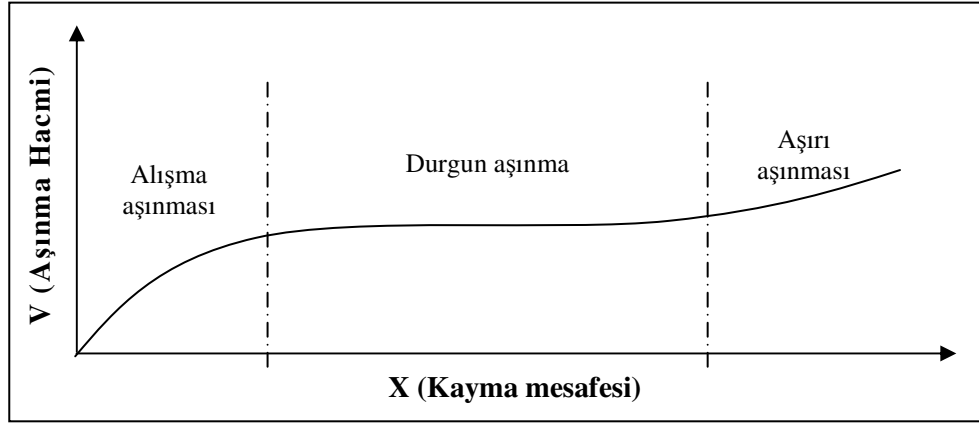
2.3.2. Aşınma Mekanizmaları

Bir tribolojik sistemin elemanları arasındaki karşılıklı zorlamalar neticesinde meydana gelen aşınmanın değişik türleri ve bundan dolayı da farklı sınıflandırılmaları gerekmektedir [9,13]. Aşınma yağlayıcı tipi, sıcaklık, yük, hız, malzeme, ürünün yüzey bitirme işlemi ve sertlik gibi özelliklerin değiştirilmesinden etkilenmektedir [5]. Genelde üç tür aşınma vardır. Bunlar; adhesiv, abrasiv ve tribo oksidasyon aşınma olarak bilinen erozif aşınma türleridir. Bunlardan başka fretaj aşınması ve yorulma aşınması da aşınma türü olarak söylenebilir [10].

2.3.2.1. Yapışkan Aşınma (Adhesiv)

Yapışma aşınma olarak ta bilinen adhesiv aşınma en yaygın olarak rastlanan aşınma türü olmasına rağmen, genellikle adhesiv aşınma hasarlarının hazırlayıcı etkisi bulunmaz [5]. Bu aşınma çok düşük hızlarda da meydana gelmekte olup, uygulamada daha çok yüksek hız ve yüklerde görülen bir aşınma tipidir. Temasta olan yüzeyler birbirlerini pürüzlü noktalarda etkilerler. Gerçek temas alanı çok küçük olduğundan yüzeylere uygulanan yükün etkisi ile temas eden yüzeylerde temas artar. Temastaki pürüzler basıncı taşıyamayacak duruma geldiğinde akma sınırı aşılar ve plastik deformasyon meydana gelir [14]. Eğer malzemenin plastik olma kabiliyeti yüksek ise mikro adhezyon alanları hızlı bir şekilde temas yüzeyine tamamen yayılır. Malzeme molekülleri birbiri ile temasa geçerek temas noktalarında kaynak bağları meydana gelir. Yatay bir kuvvet ile yüzeyler birbirine göre hareket ettirilmek istenirse kaynak olan noktalar kesilebilir. Eğer kesilme tam ara yüzeyde gerçekleşir ise aşınma meydana gelmez. Eğer kopma yüzeylerden birinde gerçekleşir ise diğer yüzeye malzeme transferi olur. Sürtünmenin devam etmesi halinde transfer olan malzeme kopmak sureti ile aşınma ürününü meydana getirir [15].

Şekil 2. 2'de görüldüğü gibi A ve B atomları arasındaki yapışma yeteri kadar iyi ise, yumuşak olan A metalinden kopan parçacıklar taşınacaktır. Eğer, A ve B malzemeleri aynı ise, aşınma her iki yüzeyde de meydana gelecektir. Çizelge 2.1'de metallerin yapışmasını (adhezyonu) etkileyen faktörler gösterilmektedir [6].



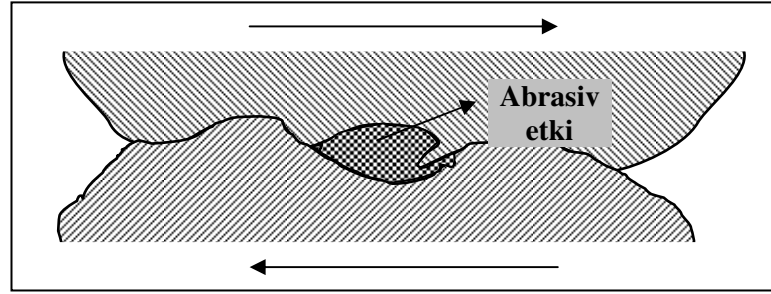
Şekil 2.3. Adhesiv aşınmada aşınma bölgeleri.

Yüzeyler hareket ettirildiğinde başlangıçta yüzeylerin teması sivri tepeciklerde olduğundan yüksek gerilmeler meydana gelir ve aşınma hızla artar. Sivri noktaların düzleşmesi ile ve kopan partiküllerin yağlar tarafından uzaklaştırılması ile yüzey teması çok geniş bir alana yayılır. Dolayısıyla gerilme düşer ve aşınma miktarı azalır. Aşınmanın başlangıcına alışma aşınması (rodaj) denir. Bu aşınma halinde yüklerin yüksek olması tehlikelidir. Tüm yağlamalı sistemlerde alışma aşınması uygun şartlarda gerçekleşir ise faydalıdır. Alışma aşınması ile aşınma miktarı atılarak yüzeyler düzgünleşir. Dolayısıyla temas alanı artarak yük düşer. İkinci bölgedeki aşınmaya durgun aşınma denir ve uzun süre önemli bir aşınma meydana gelmez. Tezgah ve makinelerin ömrünü bu aşınma tayin eder. Durgun aşınma sonunda aşırı aşınma meydana gelir. Bu aşınma durumunda malzeme çiftleri birbirine tamamen yapışabilir [14].

2.3.2.2. Kazıma Aşınma (Abrasiv)

Sürtünen iki yüzey arasına dışarıdan giren ya da iki yüzey arasında oksitlenmeden dolayı meydana gelen daha sert bir maddenin yüzeylerde yaptığı hasar olarak tanımlanır. Bu sert maddeler, yüzeylerde taşlama işleminde olduğu gibi bir malzemeden parça kopartılması olayı ile benzer işlem gösterirler [6]. Yüzeylere baskı kuvveti uygulandığı zaman sert yüzey üzerindeki asperitiler (pürüz uçları) yumuşak yüzeye gömülür. Dolayısıyla yüzeyleri hareket ettirmek için bir kuvvet uygulandığı zaman asperitiler yumuşak yüzeyi kazırlar. Aşınma yumuşak ve sert iki yüzey arasında olduğu gibi, sert taneciklerin yüzey üzerinde akması ile de

gerçekleşir. Şekil 2.4’de tipik bir abrasiv aşınma görülmektedir. Üç cisimli aşınmada yüzeyler arasındaki sert tanecikler tam bir kayma hareketi yapmaz, bazen de yuvarlanırlar. Bu nedenle aşınma daha yavaş olur. Metalin (aşınan malzeme) sertliği (H_m) ve aşındırıcının sertliği (H_a) olmak üzere H_m/H_a bir kriter olarak kullanılır. $H_m/H_a < 0.8$ ise metalde çok aşırı kazıma aşınması meydana gelir. Talaşlı imalatta istenen durum budur. $H_m/H_a > 0.8$ ise kazıma aşınması düşüktür. $H_m/H_a \geq 1$ ise metalde kazıma aşınması meydana gelmediği kabul edilir [10].

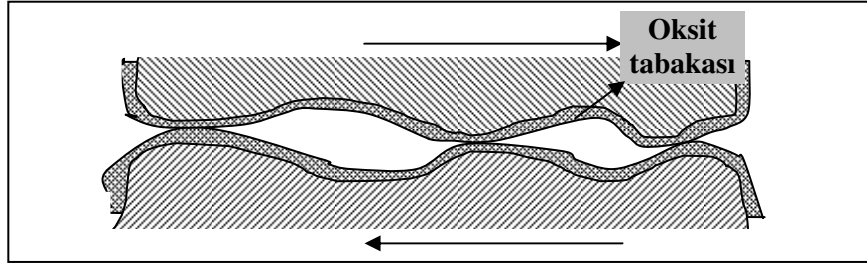


Şekil 2.4. Abrasiv aşınma

Kayma ve abrasiv aşınma arasındaki fark çok belirgin değildir. Her ikisi de temiz yüzeylerde partikül (talaş) oluşmadan önce, meydana gelen deformasyona bağlı olarak bir aşınma alanı halkasının parçalarıdır. Kayma aşınmasının ilerlemesine bağlı olarak abrasiv duruma göre değişik bir aşınma boyutuna geçebilir. Örneğin, kaymanın ilk aşamalarında oluşan partiküller her iki kayma bileşenini de aşındırabilir. Sert partiküllerin boyutunun kritik bir değerin altına düşmesine göre abrasiv aşınmadan kayma aşınmasına bir geçiş olduğu belirtilmiştir [15].

2.3.2.3. Erozyon Aşınma (Erozif) veya Tribo Oksidasyon

Temas yüzeylerinden en az birinin çalışma ortamında korozyona uğraması ve izafi hareket sebebiyle meydana gelen korozyon tabakasının silinerek alınması ve bunun devamlı olarak tekrarı ile meydana gelen aşınmadır. Sert olan ve koparak sürtünme yüzeyleri arasına giren parçacıklar abrasiv bir tesir yaparak aşınmayı artırıcı rol oynarlar [14]. Şekil 2.5’de tribo oksidasyon aşınma görülmektedir.

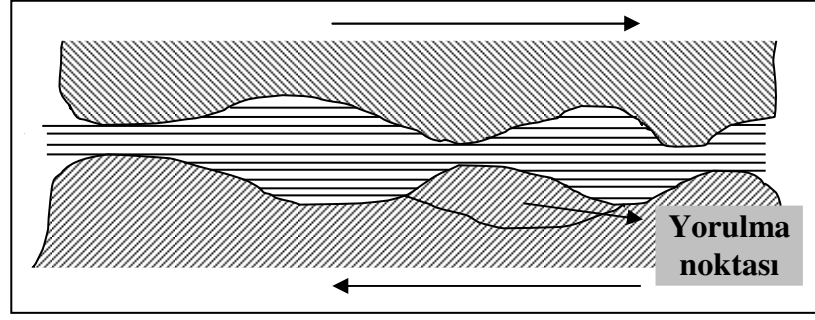


Şekil 2.5. Tribo oksidasyon aşınması [15].

Katı tanecik erozyonunda; katı bir cisim bir yüzeye dik olarak çarparsa ikinci yüzeyde plastik deformasyon veya kırılma meydana gelir. Çarpılan yüzey sünek ve çarpan cisim çok set ise yüzeyde çukur oluşur. Malzeme kaybı meydana gelmeyebilir. Darbeler devam ettiği taktirde yorulmadan dolayı malzeme kaybı başlar. Erozyon aşınması tanecik darbe hızı arttıkça aşınmada lineer bir değişim gösterir. Sıvı tanecik erozyonunda ise; basınçlı sıvı jetleri katı cisim gibi davranır. Sıvı jetleri yüzeye çarptığı zaman ses dalgaları oluşur ve bunlar çekme-basma şeklinde yüzeyde yayılır. Sonuçta yüzeylerde plastik deformasyon ve pürüzler oluşur [14].

2.3.2.4. Yorulma Aşınması

Yorulma aşınması, temas yüzeylerinde oluşan küçük çukurcuklar halinde kendini gösterir. Genellikle dişli çarklar, kamlar, rulmanlar gibi makine elemanlarında yuvarlanma hareketi yapan parçaların yüzeylerinde oluşur ve zamanla yorulma sonucu zararlı hale gelirler [14]. Bu elastik ve plastik olayların devam etmesi sonucu mikro çatlaklar oluşur, çatlak büyümesi olur ve aşınma parçacıkları kopar. Burada harcanan enerji, malzemede belirli ölçüde tahribat yapar. Şekil 2.6'da yorulma aşınması görülmektedir.



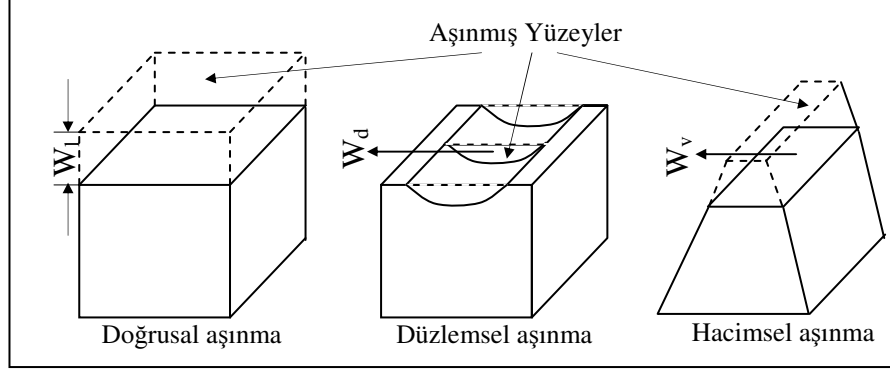
Şekil 2.6. Yorulma aşınması [8].

2.3.2.5. Fretaj Aşınması

Fretaj aşınması, küçük genlikli izafi hareket yapan iki yüzey arasında meydana gelen aşınmadır. İzafi hareket, gel-git şeklinde olup genliği 20-400 µm olmalıdır. Fretaj aşınma kaybı çok azdır. Fakat yorulma çatlaklarının başlangıç yerlerini oluşturur. Hareket etmeyen makinelerde (kamyon ile taşınan otomobil), bilyeli yataklarda titreşim var ise fretaj meydana gelir. Titreşim çok sert kuvvetler oluşturursa yüzeylerden birinde izler meydana gelir [14].

2.4. AŞINMA DENEYLERİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Malzeme kaybı olarak tanımlanan aşınmanın ölçümü, temas eden parçalardan birinde veya her ikisindeki hacim veya ağırlık kaybı esas alınarak yapılır. Aşınma doğrudan veya dolaylı ölçümlerle verilebilir. Aşınma deneyinde kullanılan deney sistemine bağlı olarak Şekil 2.7’de doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınma söz konusudur [10].



Şekil 2.7. Doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınmanın belirlenmesi [16].

Endüstride kullanılan alet ve ekipmanlarda aranan özelliklerden biri de servis ömürleridir. Makine parçalarının çabuk aşınması makinenin ömrünü kısaltarak maliyeti artırdığı gibi, onarım için geçen sürede üretimin önemli ölçüde azalmasına neden olmaktadır. Bu sebeple makine imalatında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Laboratuvar şartlarında yapılan deneylerde, ana malzemenin bir modeli ile çalışılır. Bu model, basit geometrik şekle sahip olup, fazla bir masrafa gerek kalmadan üretilebilir ve daha sonra bir deney cihazına takılarak her türlü aşınma ölçme işlemleri bunun üzerinde yapılabilir [5]. Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür.

- Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karşı malzemenin adhesiv (metal-metal) aşınmanın değerlerinin ölçüldüğü deneylerdir.
- Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma deneylerinin ölçüldüğü deneyler.

ASLE (American Society of Lubrication Engineers) tarafından yüz kadar deney sistemi belirtilmiştir. Ölçüm yöntemlerinden; ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişim ve radyo izotop metotları aşağıda sırayla açıklanmıştır.

2.4.1. Ağırlık Farkı Metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Deney numunelerinin her ölçümü için numunenin yerinden çıkartılıp ölçüm yapılması, yani numune yerindeyken üzerinden ölçü alınmaması, bu yöntemin dezavantajıdır. Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-3} veya 10^{-4} g hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazi ile yapılır. Aşınma miktarı gram veya miligram cinsinden ifade edilirse, metre veya kilometre olarak tespit edilen sürtünme yoluna göre, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı, (g/km), (mg/m) ile ifade gibi bir birim alan için hesap edilecekse, hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybından hareketle, kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından gidilerek de bulunabilir. Bu tanımlara göre, en çok kullanılan ağırlık kaybı ölçme metodunda kullanılan bağıntı şudur [5].

$$W_a = \frac{\Delta G}{d.M.S} \text{ (mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \text{ m}^{-1}\text{)} \quad \text{Burada; } W_a = \text{aşınma oranı (mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \text{ m}^{-1}\text{),}$$

ΔG = ağırlık kaybı (mg),
S = kayma mesafesi (m),
M = yükleme ağırlığı (N)
d = aşınan malzemenin yoğunluğu (g/cm³)

Aşınma oranının (W_a) ters değeri de aşınma direnci (W_r) olarak gösterilir.

$$W_r = \frac{1}{W_a} \text{ (N.m/mm}^{-3}\text{)}$$

2.4.2. Kalınlık Farkı Metodu

Aşınma esnasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeri ile karşılaştırması suretiyle elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden gidilerek, hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık, hassas ölçme aletleri yardımı ile $\pm \mu\text{m}$ duyarlılıkta ölçülmelidir [5].

2.4.3. İz Değişimi Metodu

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile, geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun (Çapının) değişimi ölçülür. Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet vickers veya brinel sertlik ölçme ucudur. Elmas pramit veya bilyanın bıraktığı iz boyutundaki değişme mikroskop vasıtasıyla ölçülerek belirlenir [5].

2.4.4. Radyoizotop Metodu

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya α -parçacıklarıyla bombardıman edilerek, radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetlerle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi yöntemin avantajıdır. Fakat ekonomik olmaması nedeni ile ancak özel amaçlarda kullanılabilir. Özel problemlerin çözümü dışında yaygın olarak kullanılan bir metod değildir [5].

BÖLÜM 3

SERT DOLGU KAYNAK YÖNTEMİ

3.1. SERT DOLGU KAYNAĞI VE UYGULAMA ALANLARI

Sert dolgu kaynağı, bir parçanın yüzeyine, farklı özellikte bir malzemeyi bir kaynak tabakası şeklinde uygulama işlemidir. Parçanın tümünün pahalı malzemelerden oluşması yerine, yüzeyini aşınmaya, korozyona veya kimyasal etkilere karşı daha dayanıklı bir malzemeyle kaplamak daha ekonomik bir çözümdür. Sert dolgu kaynağı aşınma, korozyon ve diğer tür yüzey bozulmaları yaşandığı durumlarda metal parçalarının ekonomik şekilde yenilenmesine olanak verir [30]. Sert dolgu kaynağı yalnız parçaların yenilenmesi için değil, aynı zamanda yeni parçaların ve takımların üretilmesinde de yoğun olarak uygulanır. Bu üretim işleminde, taşıyıcı olarak kullanılan alaşımsız veya düşük alaşımlı çelik malzemelerin yüzeyleri istenen özelliklere sahip bir kaynak metali verecek kaynak malzemesi ile kaplanır. Sert dolgu kaynaklarında karar vermekte en önemli faktör aşınma şartlarıdır. Bu aşınmanın metal, mineral, korozyon, kavitasyon, erozyon veya yüksek sıcaklık tarafından mı oluştuğudur. Kullanılacak kaynak malzemesinin seçimi bu şartlara bağlıdır. Bunun yanında, ana metalin kimyasal kompozisyonunu bilmek, ön tav ve son tav sıcaklıklarının belirlenmesi için çok önemlidir. Sert dolgu yapılacak iş parçasının kullanıldığı yerdeki aşınma şartlarına göre, kaynak metali uygun özelliklere sahip olmalıdır.

Bu özellikler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Kaynak sonrası sertlik
- Yüksek sıcaklıktaki sertlik
- Metal-metal aşınmasına direnç
- Abrasyon ve öğütme aşınmasına direnç

- Darbe direnci
- Korozyon direnci
- Paslanmaya ve tufalleşmeye direnç

Bazı durumlarda bu aşındırma faktörlerinden birkaçı aynı anda var olabilir. Bu şartlarda kaynak metali ilgili özelliklerin hepsine sahip olmalı veya bütün özellikleri sağlayacak şekilde birden fazla kaynak metali seçilmelidir. Sert dolgu kaynak malzemeleri DIN 8555 standardında sınıflandırılmıştır. Bu standart kaynak malzemelerini alaşım türüne ve sertlik düzeylerine göre sınıflandırmıştır. Endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılan lokomotif tekerleği, kepçe dişleri, kırıcı çeneler, sondaj burgusu gibi parçaların en önemli problemlerinden biri aşınmadır. Krank mili gibi maliyeti yüksek parçaların sadece aşınan kısımlarının sert dolgu ile kaplanması hem ekonomiktir hem de zaman tasarrufu sağlar. Taş kırma çenelerinde olduğu gibi bir parçanın yüzeylerinin aşınmaya dayanıklı, iç bölgelerinin ise sünek olması gerekir. Sünek malzemelerin yüzeylerinin aşınmaya dayanıklı sert dolgu malzemeleri ile kaplanmaları daha ekonomik olmaktadır. Aşınmaya dayanıklı pahalı malzemelerin endüstride kullanılması yerine, daha ucuz olan sünek malzemelerin yüzeyleri sert ilave dolgu malzemeler ile kaplanabilmektedir, Böylece pahalı malzemelere alternatif olarak ekonomik ve aşınmaya dayanıklı malzemeler elde edilebilir. Haddeler, vinç tekerlekleri, miller, raylar, ekskavatör kepeçleri, taşıyıcı helezonlar, kepçe dişleri, konkasör çeneleri sert dolgu kaynağının uygulandığı diğer bazı örneklerdir [31].

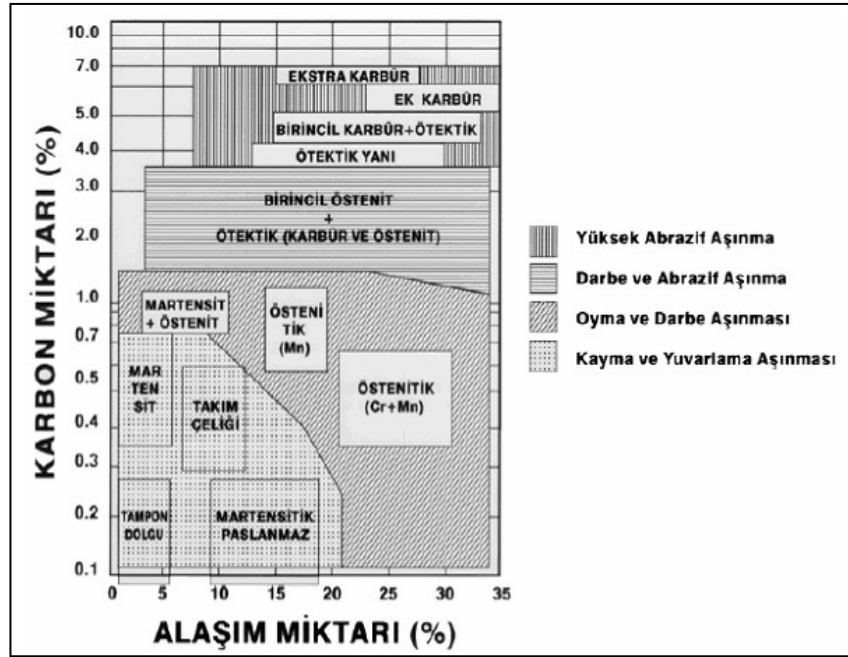
3.2. SERT DOLGU ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI

Demir bazlı sert dolgu alaşımları metalürjik fazlarına veya mikro yapılarına göre alt gruplara bölünebilir ve her biri belli bir aşınma türüne, diğerlerine göre daha fazla direnç gösterir [30]. Bu alaşımlar üç ana grupta toplanırlar [32]. 1) Östenitik alaşımlar, 2) Martensitik alaşımlar ve 3) Karbürlü alaşımlar.

Elektrotlardaki gelişmeler, karşılaşılan spesifik aşınma türüne göre, en yüksek direnç gösterecek malzemenin seçimine olanak sağlamaktadır. Bazı uygulamalarda aşınma türlerinin kombinasyonu etkilidir. Örnek olarak tek bir örtülü elektroda, birincil

östenit ile ötektik karbürleri birleştirerek, darbe ve aşınma direnci özelliği kazandırılabilir. Alternatif olarak, manganlı çelik veya manganlı dolgu üzerine bir paso krom-karbür kaynak metali yığılarak darbe ve aşınma direnci birleştirilebilir.

Bileşik elektrot, darbe direncinin daha önemli olduğu yerde tercih edilebilirken, östenitik manganlı çelik üzerine krom-karbür malzemede aşınmanın daha önemli olduğu yerde tercih edilebilir. Çeşitli elektrotların mikro yapılarına göre uygulama alanları Şekil 3.1'de Kotecki diyagramında verilmiştir [32]. Diyagramda karbon miktarı dikey eksen ve alaşım miktarı da yatay eksenle gösterilmiş ve diyagram mikroyapı ve alaşım türüne göre bölünmüştür. Sert dolgu ürünün, mikroyapısal özelliği ve direnç göstereceği aşınma türü diyagramdan bulunabilir. Birçok ürün burada birbiri ile kıyaslanabilir ve uygulama için en iyi ürün seçilebilir.



Şekil 3.1. Fe bazlı sert dolgu alaşımlarının mikro yapılarına göre uygulama alanları (Kotecki diyagramı) [32].

3.3. ÖSTENİTİK SERT DOLGU ALAŞIMLARI

Bu alaşımlar mikro yapılarının oda sıcaklığında dahi östenit olması sebebiyle böyle adlandırılırlar. % 0.5–1 karbon ve % 13–20 alaşımlı çelikler manganlı östenitik çelikler veya Hadfield çelikler olarak adlandırılırlar [32]. Bu alaşımlar genellikle

temiz bir yüzey elde edilmesi istenen dolgular da ve karbür lü alaşımlarla doldurulacak manganlı östenitik çeliklerde tampon tabaka olarak kullanılırlar. Östenitik alaşımların % 0.7 karbon ve % 20–30 alaşım elementi içerenleri, düşük alaşımlı ve karbonlu çelikler üzerine yapılan ve ana metalden fazla karışma olan durumlarda dahi tam östenitiklerdir. Bu durum bu tip sert dolgu alaşımları karbonlu ya da düşük alaşımlı çeliklerin manganlı çeliklerle birleştirmelerinde ya da karbonlu çeliklerin sert dolgusunda manganlı östenitik çeliklerden daha avantajlı kılar.

Östenitik sert dolgu alaşımları oldukça tokurlar ve soğuk sertleşme gösterirler. Aynı zamanda mükemmel darbe, orta abrazyon dayanımı ve gerilim çatlakları oluşturmama özellikleri vardır. Bu tip alaşımlar 50 HRC'ye kadar darbe ile sertleşirler, bu durum onlara darbe dayanımı yanında iyi bir abrazyon dayanımı da sağlar. Östenitik sert dolgu alaşımları aynı manganlı östenitik manganlı ana malzeme gibi 250 °C'nin üzerine çıkmamalıdır aksi halde gevrekleşir ve kırılır [33].

3.4. MARTENSİTİK SERT DOLGU ALAŞIMLARI

Martensit, çeliklerin hızlı soğuması sonucu oluşan bir fazdır. Martensitik alaşımlar havada sertleşebildiklerinden soğuma hızı sonuçta oluşacak sertliği etkiler. Çatlaksız bir kaynak metali için 100–350 °C arasında bir ön tav uygulanmalı ve bu işlem yapılırken ana malzemede göz önüne alınmalıdır [32,33]. Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı martensitik alaşımlar çeliklerin sert dolgu kaynaklarında kullanılır. Bu tür alaşımların tokluk, sıkışabilme dayanımı ve metal metale sürtünme dayanımları iyi olduğundan sert dolgu kaynaklarında ve daha sert malzemelerde tampon tabaka olarak kullanılırlar. Biraz daha yüksek karbonlu ve daha yüksek alaşımlı martensitik alaşımlar, oldukça yüksek kaynak sonrası sertliğe sahiptirler. Bu sertlik, bunlara daha iyi metal-metale sürtünme ile abrazyon dayanımı sağlar, fakat tokluk düşer. Bunların toklukları temperleme ile yükseltilebilir. Sert dolguda daha çok tampon olarak kullanılırlar. Diğer bir grup martensitik alaşımlar da martensitik paslanmaz çeliklerdir. % 0.25'e kadar karbon, % 18 alaşım elementi ihtiva ederler.

Bu grup alaşımlar ısı şoklarına karşı çok iyi dayanım gösterirler. Bu alaşımlar iyi metal-metale sürtünme ve orta seviyede korozyon direncine sahiptirler. Doğru

kaynak prosedürü ile merdanelerin sert dolgu kaynaklarında başarıyla kullanılırlar. Martensitik sert dolgu alaşımları darbe ve adhezyon dirençleri yanında, uygun karbon ve krom miktarı seçimi ile iyi abrazyon, darbe ve adhezyon direncine de sahip olabilirler. Bu daha iyi çalışma koşulları sağlar. Bu alaşım grubu birleştirme kaynaklarında ve östenitik ana metallerde kullanılamaz.

3.5. KARBÜRLÜ SERT DOLGU ALAŞIMLARI

Aşınma faktörünün yalnızca abrazyon olduğu hallerde başlıca krom ve diğer karbürleri en az % 12 oranında içeren dolgu alaşımları kullanılır. Karbürler kendilerini çevreleyen matristen daha serttir ve mükemmel abrazyon dayanımı sağlar. Abrazyon ve darbenin birlikte olduğu hallerde karbon oranı düşük seviyelerde (% 3' ten az) olmalıdır, karbürler matris içinde az miktarda dağılmıştır ve bunlar iyi tokluk değerinin yanında iyi bir abrasif direnç de sağlarlar [32,33]. Abrazyon ve yüksek sıcaklığın birlikte olduğu hallerde karbür alaşım içinde karbon oranı (% 7 gibi) arttığında abrazyon direnci yükselir, fakat tokluk düşer. Bütün yüksek karbürü sert dolgu alaşımları gerilim nedeniyle oluşan çatlakları ihtiva ederler. Bu tür alaşımlar birleştirme kaynaklarında kullanılmamalıdır. Karbonlu düşük alaşım, manganlı östenitik çeliklerle ve dökme demirlerde özel kaynak prosedürleri ile uygulanabilir. Ana metal hatasız ve tok olmalıdır. Kaynak dikişinin pullanıp dökülmesini önlemek için karbürü sert dolgu alaşımları 2-4 paso ile sınırlandırılmalıdır. Çatlaklar ince malzemeye sirayet edebilir. Önce malzemeler üzerine sert dolgu yaparken gerilim çatlaklarının oluşmaması için özel dikkat sarf edilmelidir. Bu tür alaşımlar 650 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda da abrazyon direncine sahiptirler ve mekanik yöntemlerle işlenemezler [32].

3.6. DEMİR DIŞI SERT DOLGU ALAŞIMLARI

Östenitik, martensitik ve karbürü sert dolgu alaşımları demir dışı sert dolgu alaşımlarına göre çok daha fazla kullanılırlar. Demir dışı sert dolgu alaşımları genel olarak servis sıcaklığının karbürü alaşımların kullanım sınırlarının üzerine çıktığı durumlarda kullanılırlar. Ni ve Co bazlı olan bu alaşımlar tüm aşınma türlerine iyi direnç gösterirler, ancak yüksek maliyetleri nedeniyle çok özel durumlarda kullanılırlar.

BÖLÜM 4

ELEKTRİK ARK KAYNAĞI

4.1. KAYNAĞIN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Kaynak, birbirinin aynı veya ergime dereceleri birbirine yakın iki veya daha fazla metalik veya termoplastik parçayı ısı, basınç veya her ikisini birden kullanarak aynı türden bir malzeme katarak veya katmayarak birleştirmektir. Kaynak aynı zamanda bir dolgu işlemidir. Metal kaynağı yöntemleri uygulanan enerjinin şiddeti ve türüne göre eritme kaynağı, basınç kaynağı, soğuk basınç kaynağı olmak üzere sınıflandırılabilirdiği gibi işlemin amacına göre de birleştirme ve doldurma kaynağı olmak üzere iki grup altında incelenir.

Ergitme kaynağı, metalik malzemeyi yalnız sıcaklığın etkisi ile yerel olarak esas kaynak metali ile birlikte eritip birleştirmektir.

Basınç kaynağı, metalik malzemeyi ek kaynak metali kullanmadan ve ısıtmadan yalnız basınç altında birleştirmektir. Eritme kaynağında, kaynak sıcaklığı birleştirilen malzemenin ergime sıcaklığından daha yüksektir; buna karşın basınç kaynağında metal ergimedenden kaynak gerçekleştirilir.

Birleştirme kaynağı, iki veya daha fazla parçayı çözülemez bir bütün haline getirmektir.

Doldurma kaynağı ise, bir iş parçasının hacmindeki eksikliği tamamlamak veya hacmini büyütmek, ayrıca korozif veya aşındırıcı etkilere karşı korumak amacıyla, üzerine sınırlı olarak belirli özelliklere sahip malzeme yığmaktır. Kaynaklı konstrüksiyonlar, perçin kullanarak veya döküm yöntemi ile gerçekleştirilen konstrüksiyonlara nazaran büyük üstünlükler göstermektedir [34].

4.2. KAYNAK ARKI

Modern fiziğe göre ark, kızgın bir katottan yayılan elektronların, yüksek bir hızla anodu bombardıman etmesi sonucunda oluşmaktadır. Bu bombardıman, nötr moleküllerin, iyonize olmasına neden olduğundan, kuvvetli bir sıcaklık yükselmesi ortaya çıkar ve böylece elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüşür. Son yapılan araştırmalara göre arktaki toplam enerjinin % 85'i ısı, % 15'i de ışık enerjisine dönüştürmektedir. Elektrik ark kaynağından genellikle elektrod negatif (katot), iş parçası pozitif (anod) kutubu oluşturur. Bu durum elektrodun ergimesi ve ark sütunu boyunca damlacıklar halinde hareket ederek iş parçasına geçmesi katodik leke tarafından üretilen ısı ile, iş parçasının ısınması ise anodik krater tarafından sağlanır. Çalışma esnasında etrafa yayılan ve kaynak işlemi için kullanılan ısı ile ark hüzmeleri tarafından üretilen ısı denge halindedir [35].

4.2.1. Arktan Yayılan Işıklar

Yapılan araştırmalara göre ark enerjisinin yaklaşık % 15'i ışın halinde etrafa yayılmaktadır. Bir kaynak arkından yayılan ışınlar şunlardır:

- Parlak (görülen) ışınlar
- Ultraviyole ışınlar
- Enfraruj ışınlar

Arktan çevreye yayılan enerjinin % 10'u ultraviyole, % 30'u parlak, % 60'ı da enfraruj ışınlar halindedir.

Parlak ışınlar görünen ışınlardır, gözleri kamaştırır, retina ve göz sinirlerinin yorulmasına neden olur; bu bakımdan gözlerin bu ışınlarla karşı muhakkak korunması gereklidir. Uygulamada bu koruma maske camları ile yeterli bir derecede sağlanabilmektedir. Elektrik ark kaynağında, arktan yayılan ışınların en tehlikelisi, insan gözünün görme alanı dışında olan ultraviyole ve enfraruj (mor ötesi ve kırmızı öncesi) ışınlarıdır. Bu ışınlar kaynakçının derisinin korunmamış kısımlarında yanıklar ve tahrişler oluşturur fakat bunların en tehlikeli etkileri gözlerdir [35].

4.2.2. Ark Üfleme, Nedenleri ve Giderilmesi

Bir telden elektrik akımı geçtiği zaman içinde manyetik bir kuvvet alanı oluşur ve kuvvet hatları da iletkenin uzaklaştıkça seyreler. Bir elektrik arkı da hareket halinde bulunan bir iletkenin ve dolayısıyla ile arkın etrafında da bir manyetik alan oluşur. İşte bu alan, kaynak anında, arkta bir oynama meydana getirir ve bu olaya da kaynakçılıkta ark üfleme adı verilir. Ark üfleme yalnız doğru akımla yapılan kaynakta ortaya çıkar; alternatif akım kaynağında pratik olarak ark üfleme yoktur. Manyetik alan ferromanyetik malzemelerde çok kuvvetli olduğundan özellikle çeliğin kaynağından ark üfleme daha fazla kendini gösterir. Ark üfleme neden olan başlıca etmenleri şöyle sıralayabiliriz:

4.2.2.1. Paralel İki İletkenin Akım Yönü

Yan yana duran iki iletkenin akım geçtiği zaman, akım yönü aynı olursa oluşan kuvvet alanları birleşir; akım yönü ters olursa ayrılır. Kaynakta özellikle bu ikinci durum oluşur; zira elektrik akımı, kaynak makinesinin pozitif kutbundan toprak kablosu ile parçaya, oradan da ark, elektrod ve kaynak kablosuyla tekrar kaynak makinesinin negatif kutbuna döner.

4.2.2.2. Akım Geçen Bir İletkenin Eğimi

Akım geçen bir iletkenin eğik olması halinde, kuvvet hatları arkın yönünü değiştirir.

4.2.2.3. Parçadaki Akım Yönü

Arkın yön değiştirmesine etkiyen önemli etmenlerden bir tanesi de kaynak yapılan parçadaki akımın yönüdür. Bu konuda kaynak makinesinin pozitif kutbunun (kablosunun) parçaya bağlandığı yerin pozisyonu arkın sapma yönünü belirler.

4.2.2.4. Manyetik İletkenlerin Etkisi

Demir, manyetik alan çizgilerini havadan çok daha iyi iletir. Bir parçada kaynağa başlarken, uçta kuvvet çizgileri daha sıktır, parçanın ortasına doğru seyreleşir. Parçanın ortasında çizgiler, normal bir dağılım gösterir; parçanın sonunda ise

çizgiler, yine parçaya doğru seyrek ve son uçta sıktır. Bu olaylar arkın, kaynatılan parçanın başında, ortasında ve sonunda çeşitli yönlerden üflemesine neden olur.

4.2.2.5. Birden Fazla Kaynakçının Aynı Parça Üzerinde Çalışması Durumu

Birçok kaynakçının aynı parça üzerinde birbirine yakın olarak çalışması da arkların yön değiştirmesine neden olur

4.2.2.6. Hava Akımının Etkisi

Kaynak esnasında arkın yön değiştirmesine hava akımının da etkisi vardır. Kaynak yaparken sürekli olarak bir hava akımı oluşur, arkın sıcaklığı ile ısınan hava yukarı çıkar ve bunun yerini aşağıdan yukarıda açıklanmış çeşitli nedenler beraberce, çeşitli şiddetlerde etkileyerek neden olmaktadır [36].

4.3. KAYNAK MAKİNALARI

4.3.1. Akım Üreteçlerinin Amacı

Kaynak makinalarının veya akım üreteçlerinin amacı kaynak arkını sürekli oluşturacak gerilim ve şiddette kaynak akımını sağlamaktır. Elektrik ark kaynağında kullanılan akım üreteçlerinin işlevleri kaynak arkı için gerekli elektrik enerjisini sağlamanın yanısıra, her akım üreticinin uygulanan kaynak yöntemine göre, aşağıda belirtilmiş olan önemli koşulları da yerine getirmesi gerekir.

- Şebeke gerilimini, sınırlandırılmış boşa çalışma gerilimine çevirmek (Şebeke tarafından beslenen kaynak makinaları).
- Kaynak akım şiddeti ayar donanımına sahip olmak ve çalışma anında ayarlanmış kaynak akım şiddetini sabit tutmak.
- Boşa çalışma gerilimi ayarına sahip olmak.
- Çalışma anında kararlı bir ark oluşunca boşa çalışma gerilimini, olabildiğince kısa bir zaman biriminde ark gerilimine düşürmek.

Bu özellikler, kaynak akım üreticinin statik ve dinamik karakteristikleri sayesinde gerçekleşir. Bir kaynak makinesinin statik ve dinamik karakteristikleri tamamen elektrik karakteristikleridir ve makinenin seçilmiş bir kaynak yöntemi için uygun olup olmadığını belirler. Statik karakteristik, makinenin akım şiddeti ile gerilimi arasındaki bağıntıyı gösterir. Elektrik ark kaynağında düşen tip karakteristikli makine kullanılır.

Elektrik ark kaynağı makinaları genel olarak yüksek gerilim ve düşük akım şiddetinde bulunan şebeke akımını, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetindeki kaynak akımına çeviren cihazlardır. El ile yapılan normal ark kaynağında, ark gerilimi 25-55 volt ve akım şiddeti de 10-600 amperdir; tüm kaynak makinaları kullanılan elektrodun çapına uygun bir akım şiddetini sağlayan bir ayar düzeni ile donatılmışlardır. Örtülü elektrod ile ark kaynağı gerek doğru akım ile gerekse de alternatif akım ile yapılabilir; doğru akım kullanılması halinde elektrod negatif kutuba (doğru kutuplama) veya pozitif kutuba (ters kutuplama) bağlanabilir. Her iki akım türünün de kendine has bir takım avantajları vardır. Bununla beraber genelde akım türü seçimini, elde var olan donanım ile kullanılan elektrodun türü belirler [33].

4.3.2. Kaynak Makinalarının Sınıflandırılması

Elektrik ark kaynağını hem doğru, hem de alternatif akımda yapmak olasılığı bulunduğundan, kaynak makinaları da iki ana gruba ayrılır:

- Doğru akım kaynak makinaları: Kaynak jeneratörleri ve kaynak redresörleri.
- Alternatif akım kaynak makinaları: Kaynak transformatörleri [35].

4.3.2.1. Doğru Akım Kaynak Makinaları

Günümüz endüstrisinde kullanılan başlıca doğru akım kaynak makinaları, jeneratörler ve redresörlerdir. Kaynak jeneratörleri guruba giren kaynak makinaları, bir kuvvet makinası tarafından tahrik ettirilerek, kaynak için gerekli elektrik akımını üretirler.

4.3.2.2. Alternatif Akım Kaynak Makinaları

Alternatif akım kaynak makinaları transformatörlerdir. Endüstride kısaca kaynak trafosu diye adlandırılırlar. Kaynak transformatörleri alternatif akımın gerilimini değiştirdiğinden gerilim değıştirici de denir. Bunlar kaynak jeneratörleri gibi yeni bir akım üretmemektedirler. Kaynak transformatörleri saclardan oluşmuş bir demir çekirdek ile bu çekirdeğe sarılı iki sargıdan meydana gelir. İnce tel sargıya şebekeden akım gelir ve kalın tel sargıdan da kaynak akımı çıkar. Kaynak transformatörlerinin boşta çalışma gerilimi en çok 70 Volttur [34].

4.4. KAYNAK ELEKTRODLARI

4.4.1. Kaynak Elektrodlarının Sınıflandırılması

Elektrik ark kaynağında kullanılan elektrodlar, kaynağın amacına göre birleştirme ve dolgu kaynağı elektrodları olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler. Birleştirme kaynağında kullanılan elektrodların oluşturduğu kaynak metalinin yüksek dayanım değerine sahip, tok ve sünek olması istenir; buna karşın dolgu kaynağında kaynak metalinin sert ve aşınmaya dayanıklı olması arzu edilir [34].

4.4.1.1. Rutil Elektrodlar

Bu tür elektrodlarda, örtü ağırlığının yaklaşık % 35'ini titandioksit oluşturur. Örtü titandioksitin yanısıra feldspat, kuvarz, az miktarda selüloz, gene az miktarda ferromangan; bağlayıcı olarak da sodyum ve potasyum silikat içerir. Değişik örtü kalınlıklarında üretilen rutil elektrodlarda ergiyen kaynak metali, örtü kalınlığı arttıkça incelen damlalar halinde geçer ve aynı zamanda artan örtü kalınlığı dikişin mekanik özelliklerine de olumlu yönde etkir. Bu tür örtüler, dikişi tamamen örten, oldukça kalın, rengi kahverengiden siyaha kadar değışen, çabuk katılaşılan bir curuf oluştururlar. Curufun özellikleri, örtüyü meydana getiren maddelerin miktar ve türüne bağlıdır. Örtüye katılan feldspal ve asbest gibi silisli maddeler çok akıcı curuf veren titandioksit ile karışarak curufun uygun bir akıcılıkta kalmasını sağlar. Bu tür elektrodlar ile hem doğru hem de alternatif akımda kaynak yapılabilir [36].

4.4.1.2. Asit Elektrodlar

Bu tür elektrodların örtüsü fazla miktarda ferromangan, demiroksit, kuartz ve diğer dezoksidan maddeler içermektedir. Bu elektrodlar genelde kalın örtülü olarak üretilir ve kaynak sırasında, kaynak metalinin geçişi, örtü kalınlığı arttıkça inceler. Curufların katılma aralığı geniştir; çabuk akan ve düz dikişler veren bir elektroddur. Düşey kaynak hariç (yukarıdan aşağıya doğru) bütün diğer pozisyonlarda kullanılabilir [35].

4.4.1.3. Oksit Elektrodlar

Bu tür elektrodlarda örtünün önemli bir bölümü demiroksittir, kaynak sırasında metal geçisi bir akış halindedir. Yüksek akım yüklenme özeliğine sahiptirler; kaynak yaparken yüksek sıcaklık nedeni ile curuf ve metal, çok akıcı hale geldiğinden ancak yatay ve oluk pozisyonlarda kullanılırlar. Kaynak sırasında şiddetli karbon ve mangan yanması olduğundan az karbonlu çeliklerin kaynağı için çok elverişlidirler. Ancak, kaynak metali ve curuf çok akıcı olduğundan bu tür elektrodların, aralık doldurma yeteneği iyi değildir. Ark sıcaklığı çok yüksek olup, sıcak çatlama eğilimi fazladır. Güzel görünüşlü ve düzgün dikiş elde edilmek istendiğinde oksit tür elektrodlar kullanılmalıdır [36].

4.4.1.4. Bazik Elektrodlar

Genellikle kalın örtülü olarak üretilen bazik karakterli elektrodların örtüsü, kalsiyum ve diğer toprak alkali metallerin karbonatları ile bir miktar kalsiyum fluorür içermektedir. Bu örtünün bileşiminde karbonatlar yalnız başlarına kullanılmazlar, aksi halde meydana gelen curuf kaynak metalini örtemez, kalsiyum fluorür curufa, kaynak metalini iyi ıslatma ve banyoyu oksidasyondan ve gaz emişinden diğer curuf yapıcı minerallere oranla daha iyi korur. Bu tür curuflar sıvı iken çok akışkan olduklarından, akışkanlığı azaltmak amacı ile örtüye, az miktarda silikat veya rutil katılmaktadır; örtüye katılmış olan ferrosilisyum ise kaynak metalinde karbon oksitlerinin neden olabileceği gözeneklerin oluşmasını önlemektedir. Bazik elektrodların örtülerinde hidrojen oluşturacak maddeler bulunmadığından kaynak

sırasında, dikişin hidrojen kapma olasılığı çok azdır. Hidrojen'in, geçis bölgesinde ince dikiş çatlaklarına neden olduğu göz önüne alınırsa, bazik elektrodların kullanılmasının önemi kendini gösterir. Kaynakta hidrojen oluşturan ve bağlayıcı olarak kullanılan sodyum veya potasyum silikatın içindeki nemi tamamen yok edebilmek için bu elektrodlar 400 -500 C'lık kurutma işlemine tabi tutulurlar. Bazik elektrodlar çok higroskopik olduklarından kuru yerlerde depolanmalı ve rutubet kapmış elektrodlar ise kullanılmadan önce mutlaka 250 C'de en az 30 dakika kurutulmalıdırlar.

Bazik elektrodlar genel olarak doğru akımda pozitif kutba bağlanarak kaynak yapılır; bazı türleri alternatif akımla da kullanılabilir, ancak bunların rtlerinde potasyum bileşiklerinin bulunması gereklidir; bunu sağlamak için de genellikle bağlayıcı olarak potasyum silikat kullanılır. Bazik elektrodlar bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilirler. Aralık doldurma yetenekleri çok iyidir. Bu elektrodlarla yapılmış olan kaynak dikişleri gayet iyi mekanik özelliklere sahiptir. Bazik elektrodlar, 0 C'nin altında dahi gayet iyi olan dikişler verirler [35].

4.4.1.5. Selülozik Elektrodlar

Bu tür elektrodların örtüsünde, yandığı zaman gaz haline geçen organik maddeler bulunur. Örtü ağırlığının % 30'unu selüloz oluşturur. Genellikle, orta ve kalın örtülü olarak üretilirler. Kaynak sırasında metalin geçişi damlalar halindedir. İnce rtl olarak üretildikleri zaman curuf, transfer halindeki damlacıklara çok az bir koruma etkisi yapar. Bu tür elektrodlar ile yapılan kaynak dikişi üzerine oluşan curuf çok azdır ve sıçrama kaybı yüksektir. Buna karşın, bu elektrodlar ile yapılan kaynak dikişlerinin aralık doldurma yeteneği ve nüfuziyeti oldukça iyidir. Her pozisyonda kaynak için (zellikle yukarıdan aşağıya düşey) uygundurlar. Kaynak işlemi sırasında yanan selüloz gayet iyi bir koruyucu gaz atmosferi oluşturur, fakat dikiş az da olsa bir miktar hidrojen kapar; bu ise bazı tür çeliklerin kaynağı için sakıncalı olabilir [33]. Selülozik elektrodların uygulamada; petrol ürünleri, doğalgaz ve su gibi sıvı ve gazların naklinde kullanılan büyük çaplı boru hatlarının yapımında, gemi tank, kazan, elik konstrüksiyonlarda kök ve dolgu pasoları için kullanılır [36].

4.4.1.6. Demir Tozlu Elektrodlar

Demir tozu, örtü bileşeni olarak büyük çapta kullanılmaktadır. Demir tozu miktarı, bazı hallerde toplam örtü ağırlığının yarısı kadar çıkmaktadır. Elektrod örtüsüne iyi karakteristikler kazandıran demir tozu, değişik oranlarda olmak üzere her örtüye katılmaktadır. Demir tozu, örtüyü iletken hale getirmekle ve elektroda kontak elektrodu olarak kullanılabilme özeliğini kazandırarak, arkın stabilizasyonunu arttırmakla, aynı zamanda dikişe geçerek ergime verimini yükseltmektedir. Kaynaktan sonra erimiş metal tartıldığında, ağırlığının elektrodun çekirdek telinin ağırlığından daha fazla olduğu görülür; zira, örtünün içeriğindeki demir tozu da ergiyerek dikişe karışmakta ve bu fazla ağırlığı oluşturmaktadır, Demir tozlu elektrodların ergime verimi % 120'nin üzerinde olduğundan bu elektrodlara yüksek verimli elektrodlar da denilmektedir [36].

4.4.2. Elektrod Seçimi

Kaynak metalinin mekanik özelliklerini gösteren mukavemet değerleri esas metalinkilere eşit veya biraz daha büyük olmalı ve bileşimi ile fiziksel özellikleri de esas metalinkinin aynı veya ona çok yakın olmalıdır. Bu bakımdan uygun elektrod seçimi için esas metalin özelliklerinin bilinmesi gereklidir; Bilinen bir esas metal ve tanımlanmış bir kaynak işlemi için elektrod seçiminde şu hususlar göz önünde bulundurulur.

- Esas metalin mukavemet özellikleri
- Esas metalin kimyasal bileşimi
- Kaynak pozisyonu
- Kaynak akımı
- Kaynak ağzı dizaynı
- Kaynaklanan parçanın kalınlığı ve biçimi
- İşletme koşulları
- Çalışma koşulları ve üretkenlik
- Elektrod çapının saptanması

4.5. KAYNAK HATALARI

Bir kaynak bağlantısının güvenilir olabilmesi için dikişte hiçbir kaynak hatası bulunmamalıdır; bu bakımdan kaynaklı konstrüksiyonlarda kaynak dikişlerinin kontrolü çok önemlidir.

4.5.1. Nüfuziyet Azlığı

Kaynak sırasında kök pasonun tam nüfuz ettirilmemesi veya yine bu pasoda oluşan oyuk ve çentikler yetersiz nüfuziyet olarak adlandırılırlar. Nüfuziyet azlığının neden olduğu hataların giderilmemeleri halinde; özellikle dikişin yorulma dayanımı ciddi bir şekilde düşer ve dikiş bükülmeye zorlandığında dipteki oyuk ve çentikler kırılma eğilimini artırır ve birleştirme bu kısımdan çatlayarak kolayca kırılır [36].

4.5.2. Yetersiz Ergime

Kaynak metali ile esas metal veya üst üste yığılan kaynak metaline ait pasolar arasında birleşmeyen kısımların bulunması sonucunda bu hata ortaya çıkar. Birleşme azlığına genellikle cüruf, oksit, kav veya diğer demir olmayan yabancı maddelerin varlığı neden olur. Bu maddeler, esas metal veya ilave metalin tamamen ergimesine engel olduğundan yetersiz bir birleşme ortaya çıkar. Kaynak kesitindeki birleşme azlığı, hem statik hem de dinamik zorlamalarda bağlantının dayanımını düşürür [35].

4.5.3. Yanma Olukları veya Çentikler

Bu hata, kaynaktan sonra esas malzemede ve dikişin kenarındaki oyuk veya çentik şeklinde gözükür; oluklar dikiş boyunca sürekli veya kesintili olarak devam eder. Bütün ark kaynak yöntemlerinde karşılaşılan yanma oluklarının esas nedenleri kaynak parametrelerinin uygun seçilmemesi ve hatalı uygulanmasıdır. Yanma olukları kaynak dikiş kesitini zayıflattıklarından ve çentik etkisi yaptıklarından özellikle dinamik zorlamalara maruz bağlantılarda varlıkları arzu edilmez [37].

4.5.4. Kaynak Dikişinin Taşması

Kaynak metalinin, esas metal üzerine birleşme olmadan, taşması halidir. Bu taşma ya tektek noktalar halinde, ya da bütün dikiş boyunca ortaya çıkmaktadır. Taşmalar özellikle dinamik zorlamalarda tehlikelidir. Çünkü bu noktalarda bir gerilme yığılması oluşmaktadır. Kaynak kesitinde bir daralma yoksa, taşmalar statik yüklemelerde önemli bir hata olarak görülmez [37].

4.5.5. Cüruf Kalıntıları

Cüruf, kaynak işlemi sırasında arkın etkisi ile erimiş banyonun içine dağılabilir. Bu durumda dikiş boyunca yayılmış bir cüruf kalıntısı göze çarpar; ayrıca düzgün çekilmeyen kök pasolarının neden oldukları yanma oluklarında da cüruf toplanabilir. Bu nedenle cüruf kalıntısı, devamlı veya kesik hatlar biçiminde kendini gösterir. Çok pasolu kaynakta, bir pasodan diğerine geçerken kaynakçı, cürufu iyice temizlemezse iki paso arasında cüruf kalır. Bir sonraki paso çekilmeden önce dikişteki cüruf çekiç, keski veya tel fırça de tamamen temizlenerek hata önlenir.

4.5.6. Gaz Boşlukları

Kaynak sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucuna çevreden kaynak banyosuna giren gazların ergimiş metalin katılaşması sırasında metali terk etmeye fırsat bulamayıp kaynak metalinin içinde sıkışıp kalması sonucu oluşur. Gaz boşlukları lokal, toplu halde sıralı veya kurt delikleri şeklinde olabilir. Bir kaynak dikişinin içerisinde bulunan gözenekler, dikişin taşıyıcı kesitini azalttığından dayanım değerini düşürür ve aynı zamanda yerel gerilme birikmelerine neden olur. Bu durum bağlantının mekanik özelliklerini kötüleştirir. Gözenekler özellikle yorulma dayanımını azaltan bir etki yaparlar. Ancak, dağılmış gayet küçük gözenekler, birleşmenin statik dayanım değerini fazla etkilemezler [35].

4.5.7. Fıskırma

Fıskırma, katılaşmadan sonra, kaynak dikişinin arka tarafında krater biçiminde oluşan bir hatadır. Bu hataya ergimiş metalin katılaşma sürecinde çıkardığı gazlar neden olmaktadır. Kaynak dikişlerinin katılaşmaları sırasında genellikle aşağıdaki durumlar ile karşılaşmaktadır: Gazların miktarı oldukça fazla ve katılaşma süreci de biraz kısa ise, gazlar katılaşan banyonun içerisinde kalarak önemli miktarlarda gaz kabarcıkları oluştururlar. Gazların miktarı oldukça fazla ve katılaşma süreci de uzunca ise, gazlar fıskırma yaparak dışarı çıkarlar.

4.5.8. Çatlaklar

Kaynak esnasında verilen ısı, kaynak bölgesinin soğuma hızını ve dolayısıyla ana metal ve ilave metalin bileşimine bağlı olarak dönüşümü belirler. Bu ise kaynak bölgesinin sertleşme eğilimi ve buna göre çatlama riski üzerinde mühim rol oynar.

Ana metalin yapısı sertleşme ve dolayısıyla çatlama eğilimi üzerine tesir eden en önemli unsurdur. Havada su alabilen çelikler kaynak bölgesinde çatlama karşı çok hassastır. Yani sertleşme eğilimi fazla olan malzemenin çatlama riski fazladır. Bir çeliğin sertleşme eğilimi kimyasal analizinden hareketle tespit edilebilir. Çeliklerde sertleşmeye neden olan yapı martenzittir. Dolayısıyla martenzit oluşumuna müsait bir metalürjik dönüşüm kaynak işleminde istenmeyen bir hadisedir.

Çelikte karbon miktarı arttıkça, sürekli soğuma diyagramlarında perlit burnu sağa kaymakta yani martenzitin teşekkül ihtimali fazlalaşmaktadır. Diğer alaşım elemanları da, başta Mn olmak üzere bu hadiseye azalan nispette iştirak etmektedir. Bu noktadan hareketle alaşım elemanlarının belirli bir nispet dâhilinde çeliğin bileşimindeki karbon miktarına ilave edilmesiyle bulunan değere karbon eşdeğeri denilmiştir. Karbon eşdeğeri sertleşme meylinde göz önüne alınan başlıca ölçüt olup, bu değer büyüdükçe çeliğin kaynak kabiliyeti de o oranda azalmaktadır. Dolayısıyla karbon eşdeğeri minimize edilmeye çalışılarak kaynak kabiliyeti artırılır ve çatlak oluşma riski azaltılmış olur. Bu hata, diğerlerine oranla en tehlikeli olanıdır. Ergitme

kaynağında, çatlamaya; kaynak metalinde, esas metalde, ITAB'de ve birleşme yerinde rastlanır [37].

4.5.9. Dış Yüzey Hataları

Dikişin şekil ve ebadı istenen ölçüler dahilinde bulunmadığı takdirde, bu dikişe hatalı gözle bakılır. Mesela, fazla iç veya dış bükey dikişler, yüzey bozukluğu, kalınlık azlığı ve eşit olmayan dikiş uzunluğu gibi. Hatalı kaynak ebadı ve şekillerinin başlıca sebebi, yanlış bir kaynak tekniğinin uygulanmasıdır. Elektrik ark kaynağında kullanılan elektrodların tipleri köşe birleştirmelerinde iç veya dış bükeyliğe sebep olabilir. Genellikle düşük akım şiddeti dış bükeylik ve fazla bir akım şiddeti de iç bükeylik meydana getirir [35].

4.5.10. Sıçramalar

İstenmeden kaynak dikişinin veya esas metalin üzerinde küresel metal parçacıklarının dağılmasına sıçrama denir. Bu parçacıklar bazen düştüğü yerlere kuvvetle yapışır. Genellikle ark kaynağında meydana gelen sıçramaya, elektrodun kendi kaynak özellikleri veya örtüsünün rutubetli olması sebep olur. Fakat sıçramanın esas sorumlusu yüksek akım şiddetidir [37].

4.5.11. Kaynak Dikişlerindeki Distorsiyonlar

Her metalsel parçaya bir ısı verildiği zaman, soğumayı müteakip parça kendini çeker veya çarpılır. Neticede de parçada bir takım iç gerilmeler meydana gelir. Isınma parçanın uzamasına ve soğumada kendini çekmesine sebep olur. Genel olarak 1 metre boyundaki demir bir çubuk 100 °C ısıtılırsa boyu 1.2 ilâ 1.3 mm uzar. Kaynak işlemi sırasında da parçanın bir kısmı tavlanmakta ve sonra da çabuk soğumaktadır. Bu da kaynak dikişinde çeşitli kendini çekme ve çarpılmaların meydana gelmesine sebep olmaktadır [37].

BÖLÜM 5

SERT DOLGU KAYNAĞI İLE ÖNCEDEDEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Sert dolgu kaynağı ile Ulusal ve Uluslararası boyutta yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Çalık, AISI 422 martenzitik paslanmaz çelikten yapılmış millere, paslanmaz çelik elektrod kullanarak elektrik ark kaynak yöntemi ile dolgu kaynağı yapmıştır. Kaynak sonrasında kaynaklı numunelere çekme ve yorulma testleri uygulamış, metalografik muayene ile sertlik ölçümleri gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerinin ön tavlama ve temperleme ile geliştirilebileceğini rapor etmiştir [38].

Karataşoğlu, Demiryollarında çalışan monoblok tekerleklerin çalışmaları esnasında aşınan kısımlarının Mig-Mag kaynağı ile değişik elektrod kompozisyonlarında yapılan dolgu kaynağının aşınma özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, birbiri ile temas konumunda olan yüzeyler hareket ettiklerinde oluşan aşınma, gittikçe artan malzeme kaybını da içererek her iki yüzey için hasar oluşturduğunu, aşınma, parçalar arasındaki açıklığın artışına, istenmeyen hareket serbestliğine, hassasiyet kaybına ve bununla beraber çok daha hızlı aşınmaya ve bazen de yorulma kırılmasına neden olduğu sonuçlarına ulaşmıştır [1].

Chatterjee vd, yaptığı çalışmada üzeri dökme demir olan bir kömür kırma ünitesindeki mil yatağını farklı sert dolgu elektrotlarıyla doldurmuş ve aşınma testleri uygulamıştır. Sonuç olarak farklı veya çeşitli benzer elektrotların dolgularının düşük stres abrasyon direnci üzerine etkilerinin büyük olduğu saptanmıştır. Bu etkilerin ana sebebininse dolgudaki kimyasal yapının ve mikro yapının neden olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca abresiv aşınma direncinin sadece dolgunun sertliği ile ilgili olmadığı, buna dolgudaki karbürler ve matris yapının da etkili olduğu rapor edilmiştir [39].

Varol, raylı taşıtlarda çalışan kayma plakalarının aşınma davranışlarını incelemiştir. Çalışmasında, aşınma sonucu formunu kaybeden plakalara, elle elektrik ark kaynak yöntemiyle sert dolgu işlemi uygulamış ve hasarlı plakaların bu işlem ile eski formuna getirilmesi ve aşınmaya daha dayanıklı dolgu yüzeyleri elde edilmesini amaçlamıştır. Çekme deney sonucunda kaynaklı plakaların ortalama mukavemet değerlerinin kaynaklı plakaların ortalama mukavemet değerlerinden daha yüksek olduğunu ve aşınan plaka malzemelerin kullanılan sert dolgu elektrotu ile onarılması halinde tekrar yerinde kullanılabileceği ve çok yakın değerlerde mekanik özelliklere ve aşınma dayanımına sahip olacağını belirtmiştir [40].

Kim vd, yaptıkları çalışmada, kompleks karbürlerle güçlendirilmiş sert dolgu alaşımlarının mikro yapısı, yüksek sıcaklık aşınma direnci ve yüzey pürüzsüzlüğü arasında bir ilişki kurmuşlardır. Sert dolgu alaşımları düşük karbonlu çelik yüzey üzerine tozaltı kaynak yöntemi ile uygulanmışlardır. Kompleks karbürlerin etkilerini araştırmak amacıyla FeWTiC ve WTiC Karbür tozlarının farklı fraksiyonları sert dolgu elektrotlarına dahil edilerek kullanılmıştır. Sıcak haddeleme simülasyon testi yüksek sıcaklık aşınma test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kübik ve çubuk tipi kompleks karbürlerin matris içine homojen olarak dağıldığı mikro yapısal analiz sonucu belirlenmiştir. Kompleks karbürlerin hacim dağılımı arttığı gibi sertlik ve aşınma dayanımı da artmıştır. FeWTiC takviyeli bu alaşım sert matris içerisinde WTiC takviyeli karbürden daha kompleks karbürler içerdiği belirlenmiştir. Bundan dolayı da sert dolgu sırasındaki verimli ergime ve katılaşma nedeniyle en iyi aşınma direnci ve mükemmel yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir [41].

Aydın, Kütahya Seyitömer linyit işletmelerinde kullanılan kepçe dişlerine değişik elektrotlarla sert dolgu kaynağı yapılarak aşınmalarını incelediği çalışmasında, değişik çalışma ortamlarının ve seçilen elektrotların sertliklerinin aşınma üzerinde birinci derecede etkili olduğu ayrıca, kaynak işlemi esnasında belirtilen şartlarda kaynak yapılmasının aşınmayı etkilediğini rapor etmiştir [42].

Atabey, sıcak dövme kalıbında dolgu kaynak yöntemi kullanılarak kalıp ömrü iyileştirilmeye ve kalıp tashih işlemlerini azaltılmaya çalışılmıştır. Mekanik özellikler, çekme deneyi, aşınma testi, sertlik ölçümü ile tespit edilmiştir. Aşınma

deneyleri sonucunda aşınmaya karşı en dirençli malzemenin sertliği en yüksek olan kaynak malzemesi olduğu ve elde edilen aşınma değerleri malzemelerin sertlikleriyle doğru orantılı çıktığı belirtilmiştir [31].

Wang vd, çalışmalarında, H08 çıplak elektrodu, ferrotitanyum, rutil, grafit, kalsiyum karbonat ve kalsiyum florür gibi değişik tozlar ekleyerek kaplamıştır. Ardından sert dolgu kaplamaların mikro yapı ve aşınma özellikleri incelenmiş, kaynak sürecinde ferrotitanyum ve grafit arasında doğrudan bir metalürjik bağ ile TiC parçacıklarının oluştuğu sonucuna varılmıştır. TiC parçacıkları matristeki martenzit kafes içerisinde eşit oranda dağılmış ve östenit parçacık boyutları 3-5 mikron oranında korunmuştur. Sonuç olarak TiC parçacıklarıyla güçlendirilmiş Fe-bazlı sert dolgu kaplamaların AISI 1045 çeliğinden daha iyi aşınma direncine ve daha düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu bulunmuştur [43].

Özsaraç, Raylı taşıtlarda teker bandajı-ray sisteminde dolgu kaynağı ve sabo parçalarının aşınma ve yorulma davranışlarının belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışması sonucunda, yuvarlanmalı/kaymalı hareket sırasında aşınmaya maruz kalacak bileşenlere bakım ve tamir amaçlı dolgu kaynağı uygulaması sırasında, kaynak yapılacak doğrultunun, bileşenlerin aşınma performanslarını ve kullanım ömürlerini önemli derecede etkilediği belirtilmiştir [44].

Reddy vd, yaptıkları çalışmada, balistik kabiliyeti geliştirmek için bir girişimde bulunmuşlardır. Balistik etki altında sert dolguyla kaynaklı bölgenin komple paramparça olduğunu gözlemlemişlerdir. Sert dolgu alaşım, östenitik kaynaklı bu kaplamanın geniş sert dolgu tabakasının çatlama nedeniyle parçalandığını belirlemişlerdir. Östenitik kaynaklar arasına alaşımlandırılmış sert dolgu kaynağı uygulayarak, sert dolgu alaşımının yüksek sertliğinden, kaynak bütünlüğü ve balistik kabiliyet elde etmişlerdir. Sonuç olarak mikro yapı özellikleri ve çatlama davranışlarının temelinde sert dolgu alaşımının olduğu saptanmıştır [45].

Sağbaşı, 40CrMnNiMo8-6-4 plastik enjeksiyon kalıp malzemesine TIG ve elle örtülü elektrotlarla ark kaynağı, X210Cr12 seramik kalıp malzemesine ise elle MIG, robotla MIG, TIG ve pülverize metal püskürtme yöntemleri uygulamıştır. Elde edilen sonuçlar sertlik ve ITAB genişliği yönünden değerlendirilerek, karşılaştırmalar yapılmıştır. Uygulama sonuçlarına bakıldığında, plastik enjeksiyon kalıp malzemesinde uygulanan yöntemlerden, örtülü elektrodla yapılan dolgu kaynak dikişinin özelliklerinin TIG kaynak yöntemine nazaran daha iyi olduğu ve seramik kalıp malzemesi için ise birim dikiş enerjisi, ITAB genişlikleri ve sertlik değerlerine bakıldığında robotla uygulanan MIG kaynak yönteminin daha sağlıklı sonuçlar verdiği belirtilmiştir [46].

Gülenç ve Kahraman, yaptıkları çalışmalarında, servis şartlarında aşınmış iş makineleri palet makaralarını, değişik tel ve tozlar kullanılarak tozaltı kaynak yöntemi ile dolgu kaynağı yapılmışlardır. Yapılan dolgu kaynaklarının değişik yükler altındaki aşınma davranışları, sertlik değişimleri ve mikro yapıları incelenmiştir. Aşınma deneyleri Pin-on disk yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. İncelemeler sonucunda, en yüksek sertliğe sahip kaynak metali en yüksek aşınma direnci gösterirken, en düşük sertliğe sahip kaynak metali en düşük aşınma direnci göstermiştir. Elde edilen kaynak metalinin sertliğinin ve aşınma direncinin kaynak esnasında kullanılan kaynak teli ve tozunun kimyasal bileşimine bağlı olarak değiştiği rapor edilmiştir [19].

Kıratlı, çalışmasında, bor madeninin işlenmesinde kullanılan kırıcı çenelerden alınan numuneler, farklı elektrotlar ile sert dolgu kaynağı yapmıştır. Farklı elektrotlarla yapılan dolgu kaynaklarının değişik yükler altındaki aşınma davranışları, sertlik değişimleri ve mikro yapıları incelenmiştir. Değerlendirmeler sonucunda artan yük ve mesafeye bağlı olarak aşınma miktarının arttığı, aşınma miktarının sertliğe bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir [47].

Kıratlı, çalışmasında, alümit cevherinin işlenmesi esnasında aşınmaya maruz kalmış konkasör çenelerinin gazaltı kaynak yöntemi ile dolgu yaparak tekrar kullanılabilir hale getirilmesini amaçlamıştır. Değişik tel ve özlü teller kullanılarak yapılan dolgu kaynaklarının değişik yükler altındaki aşınma davranışları, sertlik değişimleri ve

mikro yapıları incelenmiştir. Çalışması sonucunda; aşınma testlerinde artan yükün ve mesafenin etkisiyle aşınma miktarının da önemli derecede arttığı, en yüksek sertliğe sahip numunenin en yüksek aşınma direnci gösterdiği ve ince taneli yapının aşınmaya karşı direncinin iri taneli yapının aşınmaya karşı direncinden daha iyi olduğunu rapor etmiştir [48].

Öztürk, çalışmasında, aşınan krank milli muylularının toz altı kaynak yöntemi ile değişik kompozisyonlarda kaynak telleri ve tozları kullanılarak dolgu kaynağını yaparak, kaynak bölgesinin aşınma direnci ile sertlik ve mikro yapı değişimlerini incelemiştir. Deneyler, 4 kg yük altında yağlı ve yağsız aşınma olarak gerçekleştirilmiş ve aşınma miktarları ağırlık kaybı olarak ölçülmüştür. Çalışmalar sonucunda, sertliğin belirli noktaya kadar artışıyla; aşınma miktarının azaldığını, ince taneli yapının daha iyi aşınma direnci oluşturduğunu ve yağlama ile aşınmanın azaldığını rapor etmiştir [49].

Yıldızlı ve arkadaşları düşük karbonlu çelik plakaların yüzeylerini yüksek manganez içeren elektrodlar kullanılarak metal ark kaynak tekniği ile tek, çift, üçlü paso şeklinde kaplamış, ardından mikro yapı, sertlik ve erozif aşınma davranışlarını incelemiştir. Erozyon testleri açısız erodent kullanılarak 30 m/s parçacık hızıyla 30, 60 ve 90° açı etkisi altında yapılmıştır. Mikro yapısal ve sertlik ölçüm sonuçları için her katman aynı cins elektrodla işlenmiş, mikro yapı değişimi sonucu kalıntı östenitle martenzitin östenite dönüştüğü saptanmıştır. Katman numarası artarken sertlik değeri düşmüş, yüksek Mn ve C içerikleri yükselen katman numarasının bir sonucu olarak ilişkilendirilmiştir. Bütün katmanlarda en yüksek erozif aşınma 90°'de olmuştur. Erozif aşınma direnci dikkate alındığında düşük hızlı testi için tek paso birikimlerin daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir [50].

Boz, aşınan tren raylarını elektrik ark kaynak yöntemi ile dolgu kaynağı yaparak sürtünme-aşınma, sertlik ve mikroyapı özelliklerini incelemiştir. Çalışması sonucunda, artan aşınma mesafesi ve uygulanan yüklerle aşınma miktarının arttığını, tane ebatı ve sertliğin aşınma üzerinde etkili olduklarını rapor etmiştir [51].

Gualco vd, son yıllarda sert dolgudaki aşınma direnci uygulamalarıyla ilgili yoğun gelişmeler doğrultusunda yaptıkları bir araştırma sonucunda yeni sert dolgu alaşımlarının farklı servis koşulları altında davranışlarını inceleyen sistematik çalışmaların oldukça sınırlı olduğunu fark etmişler, yarı otomatik gaz korumalı ark kaynak yöntemiyle özlü tel kullanarak AISI H13 martenzitik takım çeliğini doldurmuşlar, ısı girdisinin, kaynak sonrası ısıl işlemin mikroyapısal gelişim ve aşınma direnci üzerine etkilerini araştırmışlardır. Koruyucu gaz olarak Ar-2% CO₂ ve Ar-20% CO₂ karışımı. Isı girdisi olarak 2 and 3 kJ/mm kullanmışlardır. Numunelerin ısıl işlem koşulları 550 °C ve 2 saat olarak belirlenmiştir. Metal-metal aşınma testleri net kayma durumu 500 N olan yük altında yapılmıştır. Numunelerin kimyasal bileşimleri, mikroyapı ve mikrosertlik değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak kaynaklı numuneler ısıl işlem numunelerinden daha yüksek aşınma direnci göstermiştir. Bu test koşulları altında uygulanan ısıl işlem, aşınma direncinde azalmaya yol açmıştır. En iyi aşınma davranışları kaynak süresince düşük ısı girdisi altında oksijen potansiyeli düşük olan koruyucu gaz kullanılarak kaynatılan numunelerden elde edilmiştir. Sonuçlar farklı kaynak süreçlerinden doğan oksidasyon direnci ile ilgili şartlar içinde açıklanmıştır [52].

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. MALZEME

Bu çalışmada özellikle demir-çelik işletmelerinde kullanılan ve belirli bir süre kullanımdan dolayı aşınıp ölçüsünden küçülen profil doğrultma mastarları Asil Çelik (Orhangazi-Bursa) fabrikasından temin edilmiştir. Temin edilen aşınmış doğrultma mastarının görüntüsü Şekil 6.1’de ve spektral analiz sonuçları ile Karbon eşdeğeri ($C_{eş}$) ise Çizelge 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Aşınmış bir doğrultma mastarı görüntüsü.

Çizelge 6.1. Ana malzemenin kimyasal bileşim (ağırlıkça %) ve $C_{eş}$ değeri.

C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Mo	Ni	Al	V	N	Fe	$C_{eş}$
0.248	0.237	0.321	0.011	0.011	0.085	0.279	0.032	0.041	0.071	0.002	0.016	98.6	0.35

Kaynak işlemlerinde kullanılacak ilave metal ve altlık malzeme ile uyum sağlayabilecek nitelikte ve mümkün olduğunca geniş bir yelpazede seçilmesine özen gösterilmiştir. Kaynak ile metal yüzey dolguları/kaplamaları o kadar özel uygulamalardır ki, biri için uygun olan bir dolgu malzemesi, diğer bir malzemede hiçbir işe yaramayabilir. Tüm bu hususlar dikkate alınarak öncelikle, çizelge 6.2’de verilen kaynak işlemlerinde kullanılacak elektrodlar (ilave metaller) piyasadan temin edilmiştir.

Çizelge 6.2. Çalışmada kullanılan sert dolgu elektrodlarının analiz ve standartları.

Elektrod Türü	Elektrod Standartları	Kimyasal Bileşim (Ağırlıkça %)										Kaynak metali sertliği
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Nb	Fe		
ELHARD 300	TS EN 14700 E Fe 1 DIN 8555 E1-UM-300	0.15	1.3	0.5	1.5	-	-	-	-	-	Kalan	300-350 HV
ELHARD 500	TS EN 14700 E Fe 1 DIN 8555 E1-UM-50	0.3	1.13	1.2	5.5	-	-	-	-	-	Kalan	500 HV
ELHARD 600	TS EN 14700 E Fe 8 DIN 8555 E6-UM-60P	0.5	0,3	1.1	7,0	-	1.0	1.0	-	-	Kalan	630-675 HV
ELHARD 650R	TS EN 14700 E Fe 6 DIN 8555 E1-UM-60	0.55	1,35	0.75	6.8	-	1.2	-	0,6	-	Kalan	615 HV
FAZER 17MnCr	TS EN 14700 E Fe 9 DIN 8555 E7 UM 250K	1.15	17,7	1,01	13,5	0,280	0.03	0.07	-	-	Kalan	265 HV*
CITOMANGAN	TS EN 14700 EZ Fe 9 DIN 8555 E UM200K	0.7	12	-	-	3	-	-	-	-	Kalan	188-230 HV**
SÜPERCİTO	TS EN 499 E42 3B42H10	0.08	1.2	0.6	-	-	-	-	-	-	Kalan	-

* Çalışma sonrası : 600 HV

** Çalışma sonrası : 450-500 HV

6.2. KAYNAK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Öncelikle, optimum kaynak parametrelerini belirlemek amacıyla aynı ebatlardaki aşınmış numuneler üzerinde pilot çalışmalar yapılmış ve çalışmalar sonucunda kaynak parametre aralıkları belirlenmiştir. Yapılan ön çalışmalar sonucunda kaynak parametreleri, Çizelge 6.3’de verildiği gibi seçilmiştir.

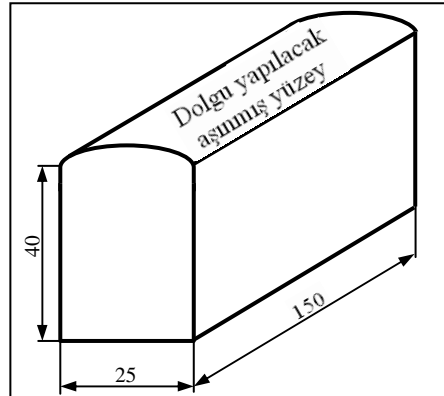
Çizelge 6.3. Kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri.

Kaynak Kodu	Elektrod	Elektrod çapı (mm)	Akım (A)	Kaynak hızı (mm/dk)	
A	Oerlikon Süpercito	2.5	120	1.Paso*	42
	Elhard 300	4.00	180	2. Paso	38
B	Oerlikon Süpercito	2.5	120	1.Paso*	42
	Elhard 500	4.00	180	2. Paso	38
C	Oerlikon Süpercito	2.5	120	1.Paso*	42
	Elhard 600 R	3.25	120	2.Paso	48
D	Oerlikon Süpercito	2.5	120	1.Paso*	42
	Elhard 650	3.25	120	2. Paso	48
E	Oerlikon Süpercito	2.5	120	1.Paso*	42
	Fazer 17MnCr	3.25	120	2. Paso	58
F	Oerlikon Süpercito	2.5	120	1.Paso*	42
	Oerlikon Citomangan	3.25	120	2. Paso	48

**Tampon tabaka*: Genellikle zor kaynak edilebilen ve darbeli aşınmaya maruz olan parçaların dolgusunda sert dolgu metalinin ana malzemeye uyum göstermesi ve darbeli çalışmada, darbe etkisi ana malzemeye geçmeyecek şekilde ana malzeme ile sert dolgu tabakası arasına çekilen tabakadır [3].

6.3. MALZEMELERİN KAYNAĞA HAZIRLANMASI

Öncelikle, kullanım sonucu aşınıp ölçüsünden küçülmüş profil doğrultma masterlarından, su soğutmalı şerit testere makinesi yardımıyla, 150x40x25 mm ebatlarında Şekil 6.2’de görüldüğü gibi altı adet numune kesilmiştir.



Şekil 6.2. Dolgu yapılacak doğrultma mastarı numune ebatları.

Bir dolgu kaynağının çalışma sırasında iyi netice vermesi, büyük ölçüde hazırlığa gösterilen itinaya bağlıdır. Dolgu yapılacak yüzeyler ilk önce yağ, pas, boya vs. den iyice temizlenmelidir. Bu işlemin ardından parçada herhangi bir çatlak olup olmadığı incelenmelidir. Eğer çatlak varsa bu parçalara dolgu yapılmasının hiçbir değeri yoktur. Çünkü bu durumda çatlaklar dolgu malzemesinin içinde ilerleyecektir. Dolgu yapılacak parçaların, darbe etkisiyle çatlaklar meydana gelebilecek keskin ve kapalı açılı yüzeylerden kaçınılması gerekmektedir.

Kaynak işlemleri öncesinde kaynak yapılacak yüzeylerin mekanik ve kimyasal olarak temizlenmesine azami özen gösterilmiş ve dolgu işlemi temiz yüzeylere uygulanmıştır. Numunelerin yüzeyleri 240 mesh'lik SiC zımpara ile oksitlerinden arındırılmış ve yüzeyler % 99 saflıkta aseton ile temizlenmiştir. Ardından dolgu yapılacak numunelerin üzeri kodlanmış ve numuneler kaynak işlemine hazır hale getirilmiştir.

Kaynak işlemi öncesinde dolgu işleminde kullanılacak elektrodlar, 3 saat süreyle 300 °C'de ısıtılarak fırınında kurutulmuştur. Ana malzemenin karbon eşdeğeri (Ceş) 0,45'ten küçük olduğu için (Çizelge 6.1) numuneleri ön tavlama işlemine tutmaya gerek duyulmamıştır.

6.4. KAYNAK İŞLEMİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Kaynak işlemleri, Asil-Çelik (Orhangazi-Bursa) fabrikalarının tamir-bakım atölyesinde mevcut redresör türü kaynak makinesi ile atmosfer şartlarında hava sirkülasyonunun olmadığı yerde gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemleri öncesinde, dolgu yapılacak yüzeylere uyum sağlayabilmesi için birer paso tampon kaynak dikişi çekilmiş, daha sonra numunelere farklı özellikteki 6 ayrı sert dolgu elektrodu kullanılarak elektrik ark kaynağı yöntemiyle tamir-onarım kaynağı gerçekleştirilmiştir. Kaynak sonrası oda şartlarındaki soğuma ortamında kaynaklı numuneler oda sıcaklığına kadar havada soğutulmuştur. Kaynak işlemi gerçekleştirilmiş numunelerden bir tanesinin örnek makro görüntüsü Şekil 6.3'de görülmektedir.



Şekil 6.3. Dolgu kaynağı yapılmış numune görüntüsü.

6.5. MAKRO/MİKRO YAPI İNCELEMELERİ

Kaynaklı numunelerin karakterizasyonu için, kaynaklı numunelerin başlangıç ve bitiş kısmından 20 mm'lik kaynaklı bölge kesilerek ıskartaya çıkarılmıştır. Mikrosertlik ve makro/mikroyapı çalışmaları için, ana malzeme, ITAB ve kaynak metalinin de içinde bulunduğu kısımları kapsayacak şekilde 25x20x10 mm ebatlarında her bir numuneden ikişer adet numune kesilmiştir. Kesme işlemleri, Metkon Meta Cut 250 abrasiv kesme makinasıyla gerçekleştirilmiş ve kaynak bölgesinde istenmeyen dönüşümlerin meydana gelmemesi için bor yağlı soğutma sıvısı kullanılmıştır. Makro/mikroyapı numuneleri, standart metalografik numune hazırlama işlemlerine (zımparalama ve parlatma) tabi tutulmuşlardır. Metalografik prosedür; numuneleri sırasıyla ve her seferinde 90° döndürerek, 400, 600, 1000, 1500 ve 2000 mesh zımparalarla zımparalama ve ardından elmas solüsyonla (6 µm ve 1 µm) parlatma ve dağlama işlemini içermektedir. Kaynaklı numunelerin kaynak bölgesinin dağlama işlemleri % 2 Nital dağlayıcısı ile ve 5 saniye süre ile gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyi sonrası numunelerin yüzey topografyasını incelemek amacıyla ZEISS marka EVO LS10 cihazından SEM görüntüleri alınmıştır. Mikroyapı resimleri, OLYMPUS model optik ışık mikroskobundan ve JEOL JSM 6335F marka taramalı elektron mikroskobundan dağlanmamış numuneler üzerinden University of Defence'da (Çek Cumhuriyeti, Brno) çekilmiştir. Görüntülerin, birleştirilmiş numunelerin ve ara yüzeylerinin karakteristik özelliklerini tam olarak yansıtan bölgeden yapılmasına özen gösterilmiştir. Hazırlanan mikroyapı numuneleri aynı zamanda mikro sertlik ölçümü içinde kullanılmıştır. Şekil 6.4'de mikroyapı incelemelerinde kullanılan taramalı elektron mikroskobun (SEM) görüntüsü verilmiştir.

Makro deney numuneleri ise öncelikle 320 ve 600 mesh zımparalarla yüzeyi iyice düzleşene kadar zımparalanmıştır. Su ve ardından alkol ile yıkanıp iyice kurutulduktan sonra numuneler % 5 Nital makro dağılayıcı çözeltisine daldırılıp dağılanmış ve yüzeydeki değişimler gözle incelenmiştir. Numunelerin makro testleri Deka Test Merkezi'nde (İstanbul) yapılmıştır.



Şekil 6.4. Mikroyapı incelemelerinde kullanılan taramalı elektron mikroskobu.

6.6. TAHRİBATSIZ TESTLER

Tahribatsız muayeneler, kalite kontrolün en önemli bölümü olup, üretimin tamamlayıcı son kısmıdır. Tahribatsız muayeneler, incelenen malzemelere herhangi bir zarar vermeden muayene edilerek, dinamik ve statik yapıları hakkında bilgi edinilen muayene yöntemlerinin tümüne verilen addır.

Kaynak işlemi sırasında, kaynak dikişinde ve ısıdan etkilenen bölgede hataların oluşmaması veya kabul edilebilir sınırlar içinde kalması istenmektedir. Aksi takdirde, malzemenin servis şartlarında dayanımı olumsuz olarak etkilenecek ve beklenmeyen hasarlara neden olabilecektir. Kaynaklı birleştirmelerde oluşan hataları tespit edebilmek için, istenilen kaynak kalitesine, malzemeye, kaynak dikişinin kalınlığına, kaynak yöntemine, kullanım yerine ve beklenen hatanın tipi ve konumuna bağlı olarak en uygun tahribatsız muayene yöntemi/yöntemleri seçilmesinin çok önemli olduğu bilinmektedir. Tüm bu bilgiler dikkate alındığında, deneysel çalışmalar

sonucu dolgu kaynağı yapılan kaynaklı numunelere göz ile muayenenin yanında sıvı emdirme ve radyografik testlerinin uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

6.6.1. Sıvı Emdirme (Penetrant) Testi

Penetrant testi (PT), malzeme yüzeyinde yüzeye açık çatlak, curuf, gözenek, ergime noksanlığı, yanma oluşu gibi süreksizliklerin saptanması için kullanılan bir tahribatsız test yöntemidir. Bu yöntem yüksek girici özelliğe sahip bir penetrant sıvısının muayene yüzeyindeki süreksizliklere nüfuz ettirilip daha sonra geliştirici tarafından yüzeye tekrar çekilerek görünür hale gelmesini sağlamak esasına dayanır.

Penetrant olarak kullanılan sıvılar ya çoğunlukla kırmızı renkli boya, ya da florasant esaslı olabilir. Geliştirici ise beyaz renklidir ve süreksizlik içine nüfuz etmiş penetrantın dışarı emilmesini sağlamanın yanı sıra süreksizliğin daha kolay görülebilir olması için zemin kontrastı oluşturur.

Kaynaklı numunelere uygulanacak penetrant testinde, ilk olarak test edilecek numunelerin yüzeyi (eğer numunede mevcutsa çatlağın içinin) kimyasal olarak temizlenip oksit, yağ, kir vb. yabancı maddelerden arındırılmıştır. Daha sonra penetrant test numunelerinin yüzeyine uygulanmış ve penetrantın yüzeye açık süreksizliklere kılcallık olayı ile girmesi için yaklaşık 15 dakika kadar bekletilmiştir. Numunelerin PT testleri Deka Test Merkezi'nde (İstanbul) yapılmıştır. Teste tabi tutulan numuneler, konu hakkında gerekli belgeye sahip (NDT Level 2) PT muayene uzmanı tarafından değerlendirilmiştir.

6.6.2. Radyografik Muayene

Radyografik muayene yöntemi, oldukça hassas bir muayene yöntemi olması ve muayene sonuçlarının kalıcı olarak kaydedilebilir olmasından dolayı sanayide en yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinden biridir. Yöntem, şeffaf olmayan malzemelerde, içerisindeki gizli hataların belirlenmesinde kullanılır. Radyografik muayene, X ve Gama ışınları gibi çok kısa dalga boylu ışınların malzeme içinden geçerek, bir film ya da ekran (Radyoskopi) üzerinde 2 boyutlu

görüntü oluşturmaları prensibine dayanır. Bu yöntemle malzeme içindeki süreksizlikler (gözenek, cüruf, kalıntı ya da gaz boşlukları) tespit edilebilir.

Tüm bu bilgiler ışığında bütün numunelerin radyografik muayeneye tabi tutulmasına karar verilmiştir. Öncelikle kaynaklı numuneler radyografik muayene için uygun ebatlarda olmadığından, dolgu dikişinin ters yüzünden 20 mm kalınlıktaki kısım kesilerek atılmış ve muayene edilecek yüzey 20 mm'ye düşürülerek ışınların geçebileceği uygun boyutlara getirilmiştir. Muayene, D5 kalite film üzerine Selenyum ile gerçekleştirilmiş ve enerji aralığı olarak 2,6 mA, 230 kV ve 320 sn pozlama süresi seçilmiştir. Radyografik muayene sonucu elde edilen pozlar fotoğraflanarak görüntüler bilgisayara aktarılmıştır.

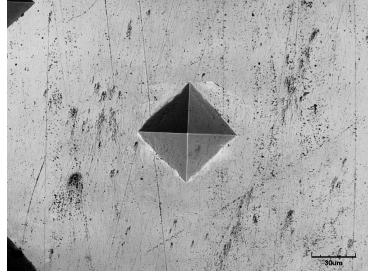
6.7. TAHRİBATLI MUAYENE

Tahribatlı deneyler, kaynaklanmış parçalar üzerine, kaynak dikişi, ısıdan etkilenen bölge ve ana metal ile kaynak bağlantısının mekanik özelliklerini saptamak, malzemelerin kaynak yapılabirlik derecelerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Ayrıca, tahribatlı muayeneler, kaynak metodlarının veya proses değişkenlerinin kaynak özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla da yapılmaktadır. Tüm bu bilgiler dikkate alındığında, deneysel çalışma sonucu üretilen kaynaklı numuneler üzerine, sertlik testi ile aşınma testinin uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

6.7.1. Mikrosertlik Testi

Bir malzemenin kendisinden daha sert başka bir malzemenin batmasına, çizmesine (kalıcı olarak şekil değiştirmesine vb) gösterdiği dirence sertlik denir. Malzemeler üzerinde yapılan en genel deney, sertliğinin ölçülmesidir. Bunun başlıca sebebi, deneyin basit oluşu ve diğerlerine oranla numuneyi daha az tahrip etmesidir. Diğer avantajı ise, bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında paralel bir ilişkinin bulunmasıdır. Örneğin çeliklerde, çekme mukavemeti sertlik ile doğru orantılıdır; dolayısıyla, yapılan basit sertlik ölçmesi neticesinde malzemenin mukavemeti hakkında bir fikir edinmek mümkündür. Deneysel çalışmalarda kullanılan dolgu kaynaklı numunelerin sertlik ölçümleri LECO marka AHM43

model tam otomatik mikrosertlik cihazında HV cinsinden ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri kaynaklı numunelerin kaynak bölgelerinden (dolgu metali, tampon paso ve geçiş bölgeleri) 500 gr yük altında aynı doğrultuda sabit aralıklarla alınmıştır. Şekil 6.5’de sertlik ölçümü yapılan bir numunenin yüzeyinde oluşan Vickers sertlik izinin görüntüsü verilmiştir.



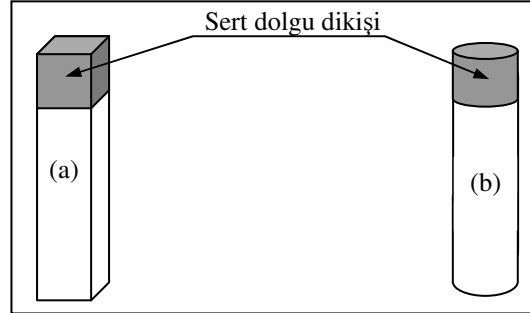
Şekil 6.5. Numune yüzeyinde oluşan Vickers sertlik izinin görüntüsü.

6.8. AŞINMA DENEYİ

Temas eden yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına, aşınma ise işleme toleranslarının kötüleşmesine sebep olmaktadır. Bazı malzemelerde sürtünme sağlanabilecek özellik istenmesine rağmen, aşınma istenmeyen bir olaydır. Buna karşılık talaşlı imalat işlemlerinde ise sürtünme için minimum enerji harcayarak maksimum aşınmanın yapılması istenir. Sert dolgu kaynağı yapılmış numunelerden aşınma testi için numuneler hazırlanmıştır. Numuneler öncelikle kesme diski ile 40x10x10 mm ebatlarında (Şekil 6.6 a) kesilmiş, daha sonra bu numuneler torna ile \varnothing 6 mm çapında olacak şekilde (Şekil 6.6 b) işlenmiş ve son olarak kaynak dikiş yüzeyi düzlenmiştir. Aşınma testi öncesi, numunelerin aşınma yüzeylerinin disk yüzeyine tam temasını sağlayabilmek amacıyla, aşınma diskinin üzerine 1500 mesh zımpara yerleştirilmiş ve 10 m yol aldırılmıştır. Böylece aşınma başlangıcında oluşabilecek rodaj farkının minimize edilmesi amaçlanmıştır.

İncelenen numunelerin aşınma deneyleri sırasında karşı malzeme olarak (aşındırıcı disk) 4140 çeliğinden imal edilmiş ve ısıtım sonrası sertliği 64 Rc olan aşındırma diskleri kullanılmıştır. Sürtünme-aşınma deneylerinde kullanılan disklerin yüzey

pürüzlülük değerleri ortalama 1,04 μm olarak ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerleri Marh (Marsurf PS1) marka pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür.



Şekil 6.6. Aşınma deneyi uygulanacak numunelerin şematik gösterimi.

Kaynaklı numunelere sürtünme-aşınma deneyleri bölümümüz (Karabük üniversitesi, Metal Eğitimi Bölümü) laboratuvarlarında mevcut masa tipi pin-on disk aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.7). Dolgu malzemelerinin sürtünme-aşınma davranışları, farklı yükler altında ve sabit kayma hızında kuru sürtünmeli olarak incelenmiştir. Her bir numune; 5, 10, 20 ve 40 N yük altında ve 0.5m/sn sabit kayma hızında 500, 1000, 2000 ve 4000 m aralıklarla test edilmiştir. Çalışmada kullanılan aşınma parametreleri Çizelge 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.7. Aşınma deneylerinde kullanılan aşınma cihazı.

Çizelge 6.4. Aşınma test parametreleri.

Numune	Kayma mesafesi (m)	Yük (N)			
		5	10	20	40
A,B,C,D,E,F	500	5	10	20	40
	1000	5	10	20	40
	2000	5	10	20	40
	4000	5	10	20	40

Deney öncesi ve sonrası numuneler 0,0001 gr hassasiyetine sahip elektronik terazide ağırlıkları ölçülmüş ve deney sonuçları ağırlık kaybına göre değerlendirilmiştir. Aşınma deneyleri sonrasında aşınma mekanizmalarının belirlenmesi için numune yüzeyleri taramalı elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir.

BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1. MAKRO/MİKROYAPI SONUÇLARI

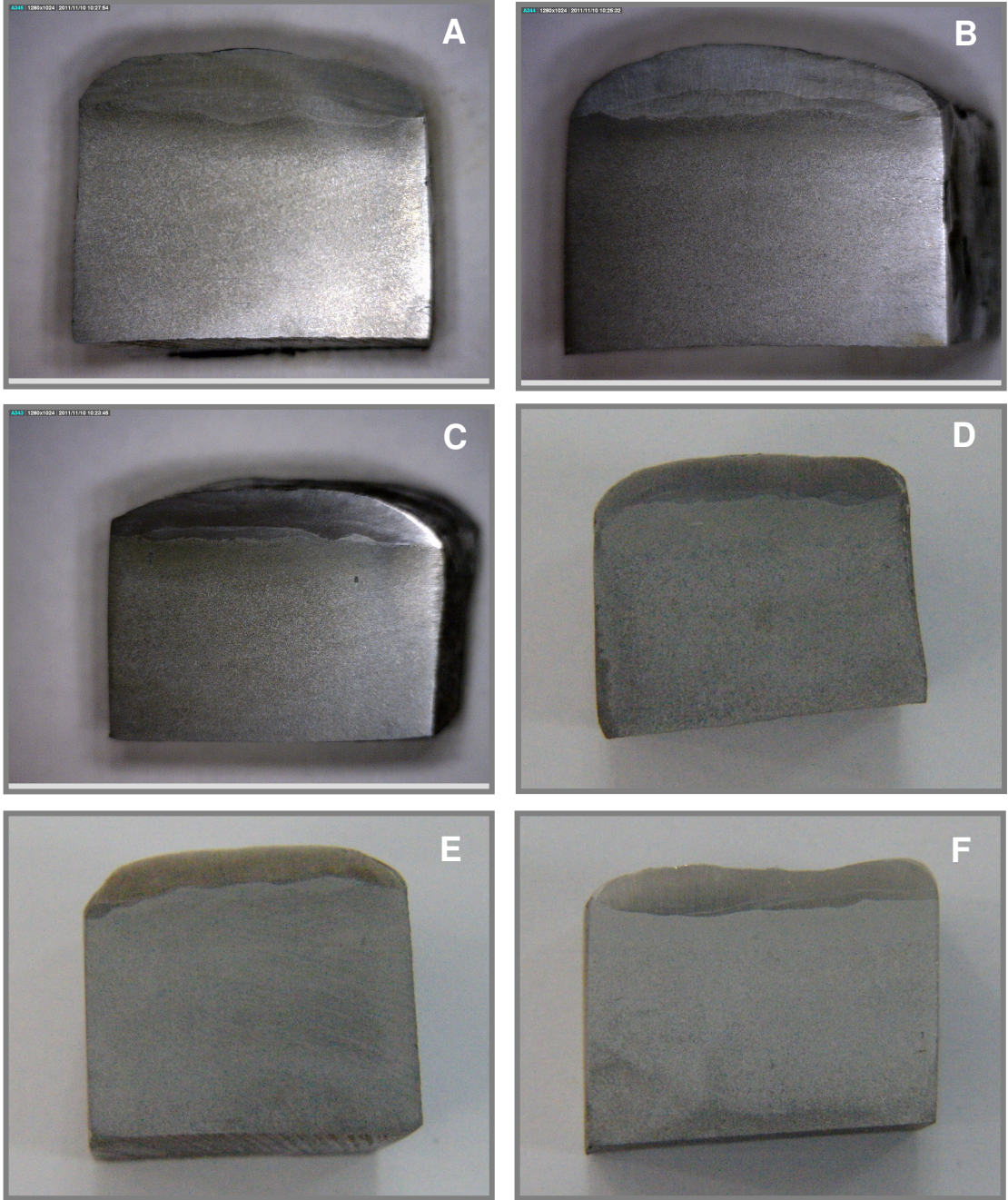
7.1.1. Makroyapı Sonuçları

Sert dolgu kaynağı ile dolgu/kaplama yapılmış numuneler öncelikle, kesit yüzeylerinden makro olarak görüntülenmiş ve elde edilen fotoğraflar Şekil 7.1’de verilmiştir. Makroyapı görüntüleri genel olarak değerlendirildiğinde, sert dolgu tabakası (kaynak metali), geçiş pasosu (tampon paso) ve ana malzeme geçişlerinin uyum içinde olduğu görülmektedir.

Özellikle birleştirme kaynaklarında, kaynak nüfuziyetinin yüksek olması gerektiği bir gerçektir. Bu nedenle elektrik ark kaynak işlemlerinde, çoğu zaman elektrodun negatif kutupta olduğu durumlar tercih edilmektedir. Çeliklerin kaynağında, her iki kutuplama kullanılabilse de, daha derin nüfuziyet sağlandığından uygulamada genellikle negatif kutuplama tercih edilir. pozitif kutuplama çok nadir olarak, nüfuziyetin çok az olmasının gerekli olduğu hallerde tercih edilir.

Sert dolgu işlemlerinde, kaynaklı birleştirmelerde tercih edilen negatif kutuplamamın aksine pozitif kutuplama tercih edilmesinin nedeni; ana malzeme-sert dolgu ara yüzeyindeki nüfuziyeti sınırlandırmaktır. Dolayısıyla sert dolgu metalinde oluşması beklenen kimyasal kompozisyonun, ana malzeme ve geçiş pasoları ile gereğinden fazla seyrelmesini (daha fazla ilave metal-ana malzeme karışımını) önlemektir. Bu arada, nüfuziyetin az olması istenirken birleşme arayüzeyinde soğuk kaynak oluşumuna meydan verilmemelidir. Tüm bu bilgiler makro görüntüler üzerinde değerlendirildiğinde, tüm numunelerde kaynak bölgesinde istenilen yeterli metalurjik homojenlik ve nüfuziyetin sağlandığı görülmektedir.

NDT uzmanı tarafından oluşturulup Şekil 7.2’de görülen makroskobik rapora göre, kaynaklı bölgelerde herhangi bir kaynak hatasına (pasolar arası curuf kalıntısı, yetersiz birleşme vb.) rastlanmadığı belirtilmiştir. Ayrıca, raporda görsel ve fotoğraf üzerinden yapılan incelemede, sonuçların memnuniyet verici olduğu rapor edilmiştir.



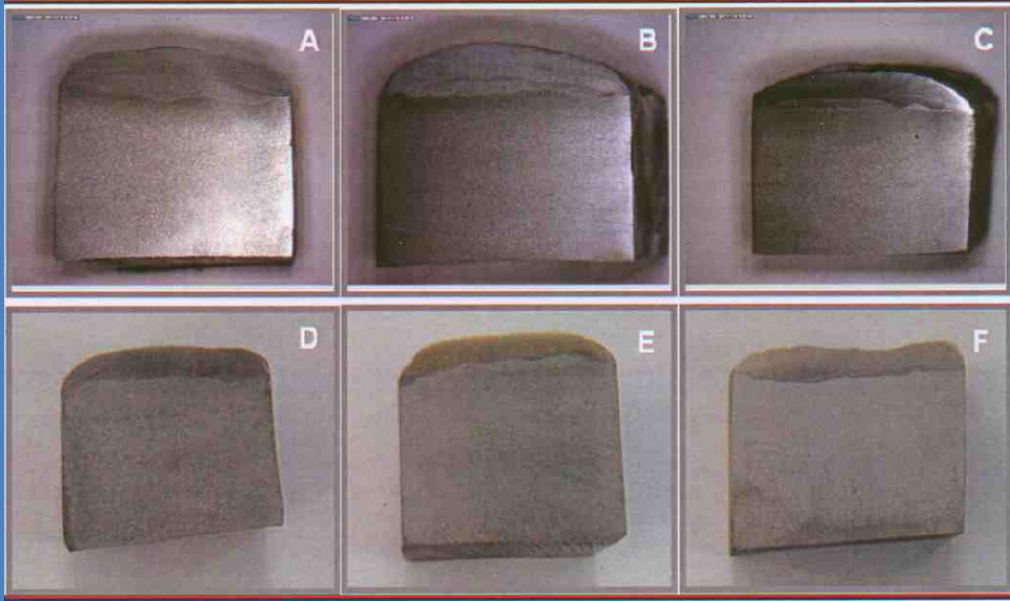
Şekil 7.1. Numunelerin makroskobik görüntüleri.



MAKROSKOBİK MUAYENE RAPORU MACROSCOPIC INSPECTION REPORT

Ankara Cad. No: 81 34890 Pendik-İSTANBUL
Tel : 0216 390 87 57 - 390 82 94 Fax : 354 16 17

Firma Adı / Company	KARABÜK ÜNİVERSİTESİ-INSPECCO	Standart / Standard	: TS EN 1321
Rapor No / Report No	2011-6943 JOB NO: 01.803 A	Malzeme / Material	: S 235JR
Parça Adı / Description	: A,B,C,D,E,F	Dağlama / Etching	: % 10 H N O3
Amaç / Aim	: Welding Run, Form, Penetration, Weld, Crack Inspection		



NUMUNE TANIMI SAMPLE IDENTIFICATION	KONTROL YÖNTEMİ CONTROL METHOD		SONUÇ
	GÖRSEL VISUAL	FOTOĞRAF PHOTO	RESULT
A,B,C,D,E,F	Yes	Yes	Satisfactory

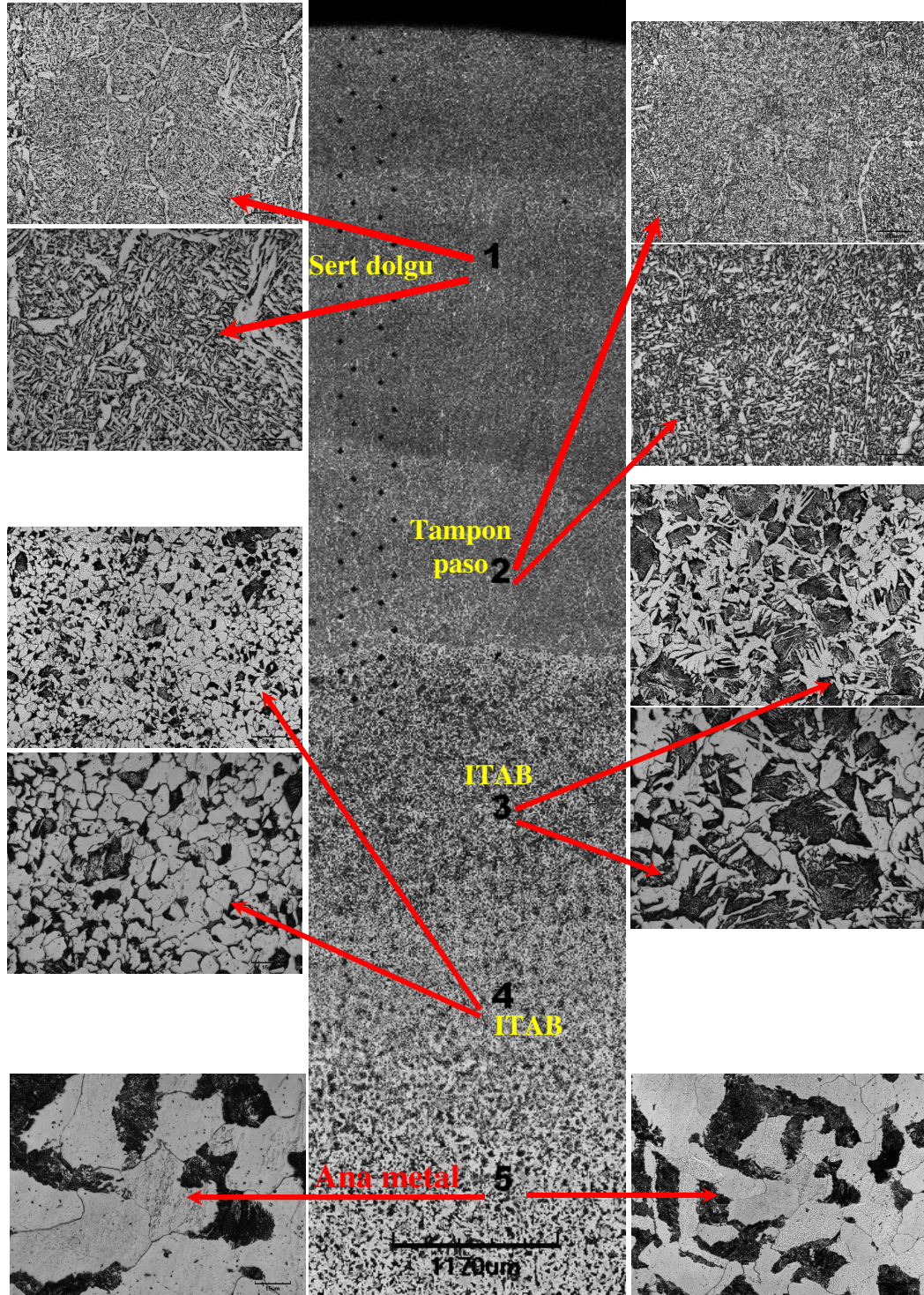
	Operatör / Operator	Değerlendiren / Supervisor	Kalite Güv.Müd./QA Manager	Onay / Approval
İsim / Name	Çağatay AYDÖNER	Çağatay AYDÖNER	Harun DÜNDAR	İbrahim EREN
Tarih / Date	24.12.2011	24.12.2011	24.12.2011	24.12.2011
Seviye / Level	Level 2	Level 2		IWE-Bölüm Müdürü
İmza / Sign				

DK.FORM/009

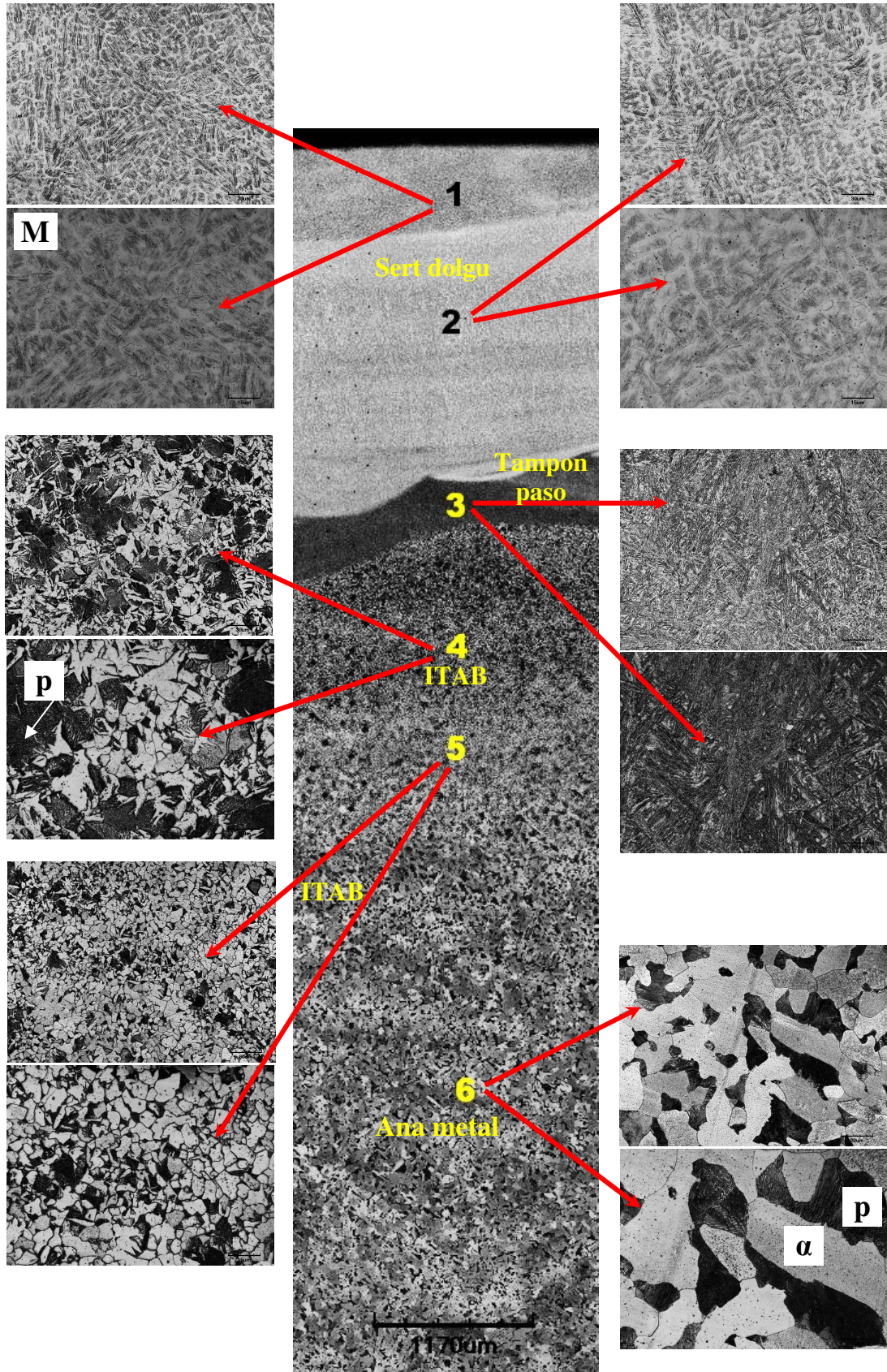
Şekil 7.2. Makroskobik test raporu.

7.1.2. Mikroyapı (Optik Mikroskop) İncelemeleri

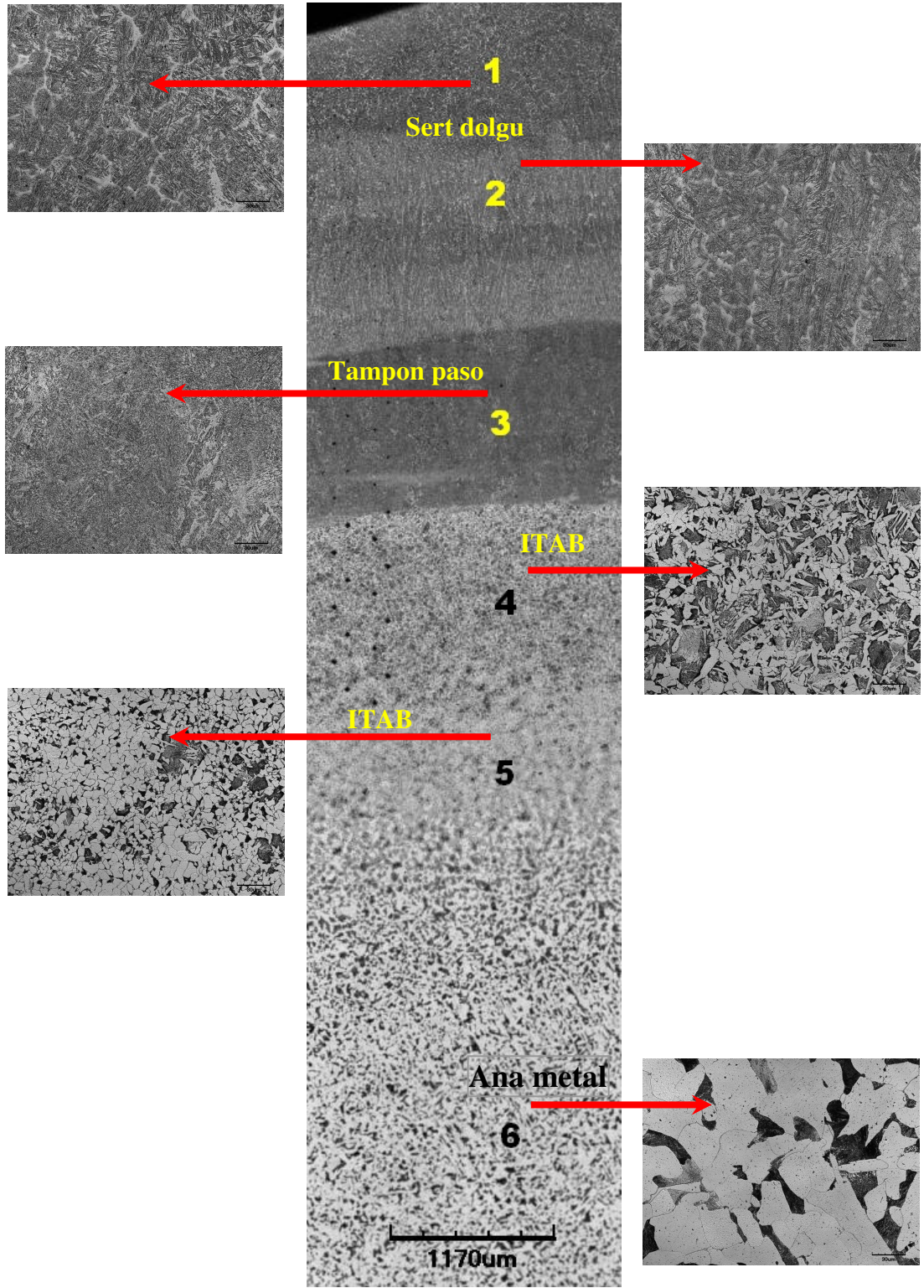
Mikroyapı numunelerinden, kaynak metalinin, ısı tesiri altında kalan bölgenin ve ana malzemenin yer aldığı değişik bölgelerden farklı büyütmelerde fotoğraflar alınmıştır.



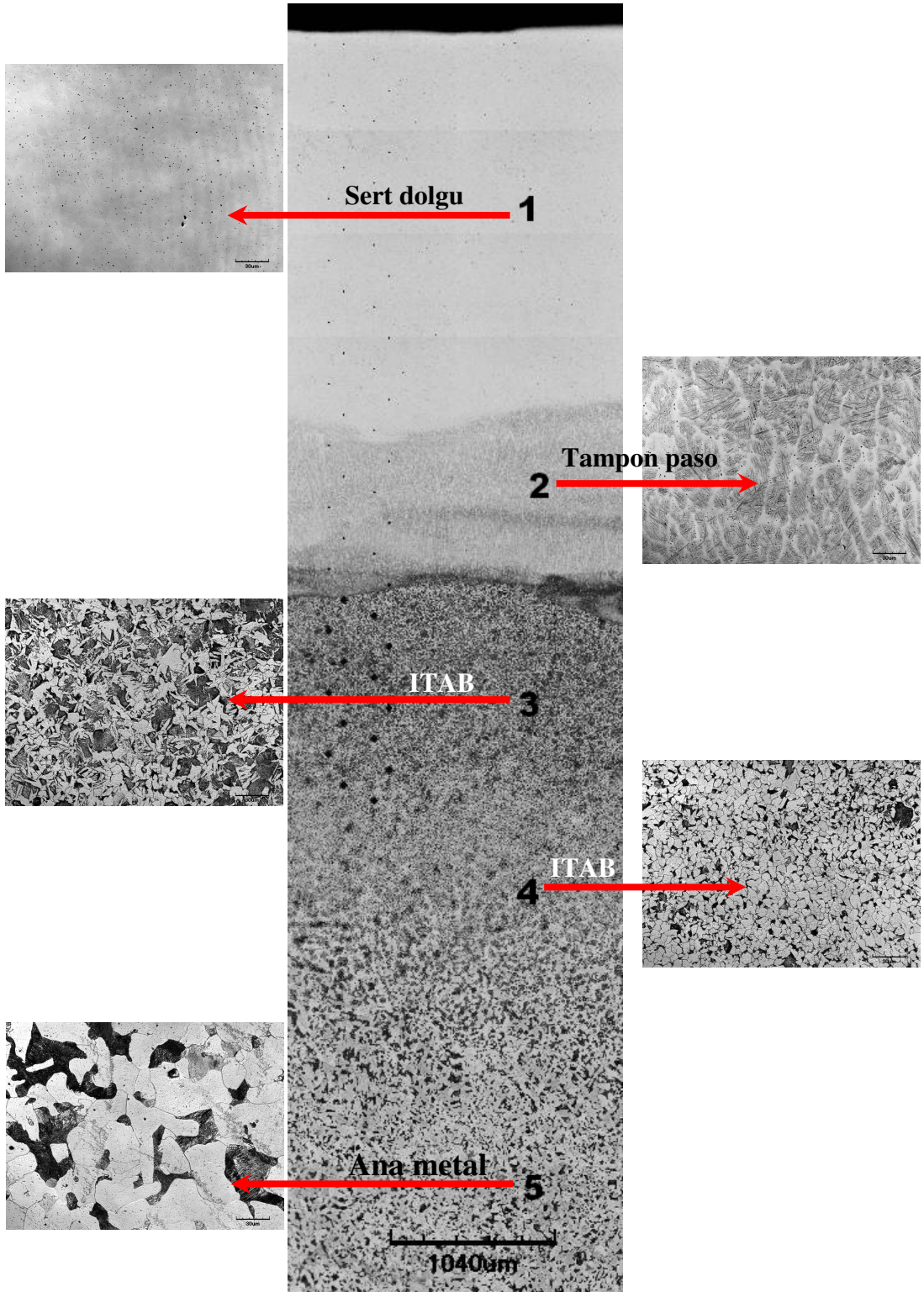
Şekil 7.3. A numunesinin optik mikroskop mikroyapı görüntüleri.



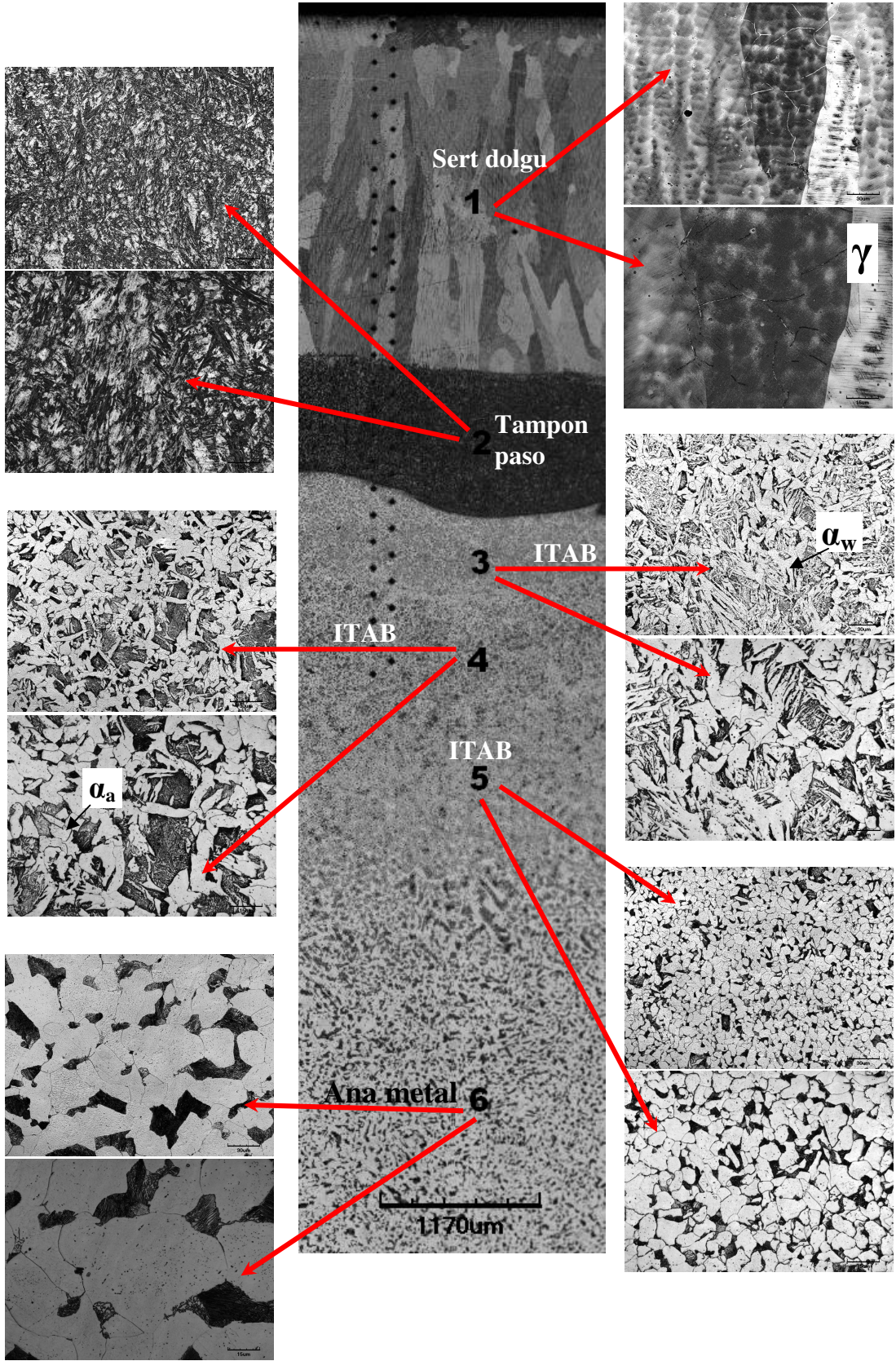
Şekil 7.4. B numunesinin optik mikroskop mikroyapı görüntüleri.



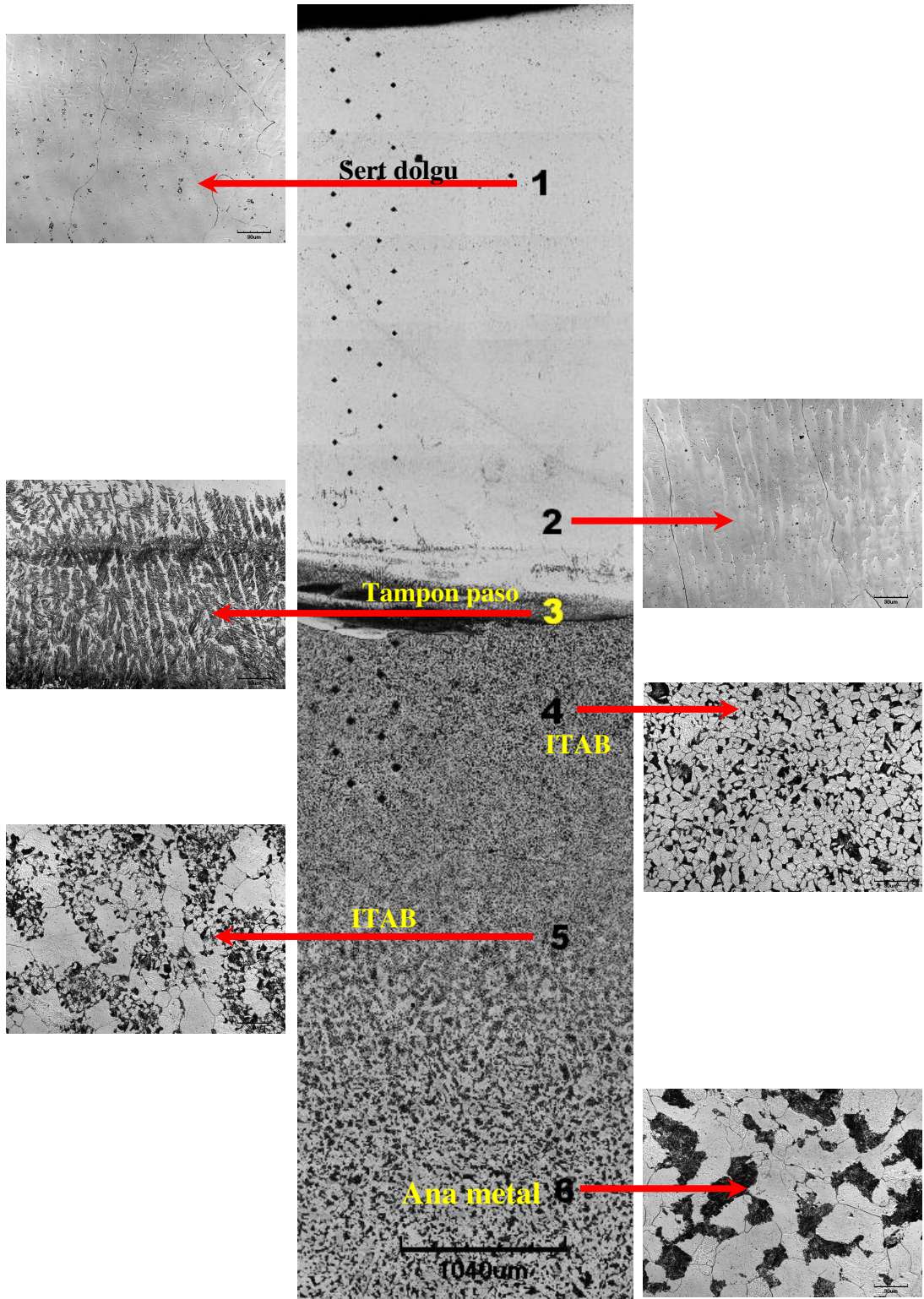
Şekil 7.5. C numunesinin optik mikroskop mikroyapı görüntüleri.



Şekil 7.6. D numunesinin optik mikroskop mikroyapı görüntüleri.



Şekil 7.7. E numunesinin optik mikroskop mikroyapı görüntüleri.



Şekil 7.8. F numunesinin optik mikroskop mikroyapı görüntüleri.

Mikroyapı görüntüleri genel olarak değerlendirildiğinde, ana malzeme ve ITAB'dan elde edilen görüntüler benzerlik gösterirken, kaynak metalinden (tampon ve sert dolgu pasosu) alınan görüntülerin farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Tüm görüntülerde ana malzemenin eş aksenal ferritik-perlitik yapıya sahip olduğu görülmektedir. Kaynak metallere ise A, B ve C numunelerinin tipik, widmanstatten kaynak metal yapılarında olduğu görülmektedir. E numunesinde ise kaynak metal yapısının A, B, C den farklı olduğu bu farkın ilave metal içerisindeki % 17 Mn ve % 13 Cr dan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek manganlı ve kromlu alaşımların mikroyapısal karakteristikleri Fe-Cr-C faz diyagramları ile açıklanabilir [53]. Ayrıca Fe bazlı sert dolgu elektrodlarının mikro yapılarını ve bu yapıya göre uygulama alanlarını tayin edebilmek için Şekil 3.1'deki Kotecki diyagramından yararlanılabilir. D ve F numunelerinde ise kaynak metal mikroyapısı tam olarak görüntülenememiştir. Bunun sebebi, numunelerin dolgusunda kullanılan elektrodların bileşiminde var olan Cr, Mn ve Ni olabileceği düşünülmektedir.

Numunelerin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, Şekil 7.3'de 3-4-5 numaralı bölgelerde, Şekil 7.4'te 4-5-6 numaralı bölgelerde, Şekil 7.5'te 4-5-6 numaralı bölgelerde, Şekil 7.6'da 3-4-5 numaralı bölgelerde, Şekil 7.7'de 3-4-5-6 numaralı bölgelerde ve Şekil 7.8'de ise 4-5-6 numaralı bölgelerde kaynak metalinden hemen sonra tane boyutu büyüyüp, ana metale doğru ilerledikçe küçülüp ardından da ana metalin sahip olduğu boyutlara ulaşmıştır.

Metallurjik incelemede A numunesinin sert dolgu metalinde perlitik ve ferritik yapılar görülürken, B ve C numunelerinin sert dolgulu kaynak metalinde, (Şekil 7.4-7.5'in 1-2 numaralı bölgeleri) farklı orandaki martenzitik yapılar görülmektedir. Fe-C-Cr alaşımları faz diyagramına göre A numunesinin sert dolgu metal yapılarında $\alpha+(Cr,Fe)_3C$, B ve C numunelerinin sert dolgu metalinde ise $\alpha+(Cr,Fe)_7C_3$ bulunduğu düşünülmektedir [54]. D ve F numunelerinde ise kaynak metal mikroyapısı (Şekil 7.6'nın, 1 numaralı, Şekil 7.8'in 1-2 numaralı bölgeleri) tam olarak görüntülenememiştir. Bunun sebebinin, numunelerin dolgusunda kullanılan elektrodların bileşiminde var olan Cr, Mn ve Ni olabileceği düşünülmektedir. E numunesinin kaynak metalinde ise yapı HMK olup ana faz östenittir. Yapı, östenit içerisinde dağılmış M_7C_3 (M=Cr, Fe) krom karbür, östenitik dentritler ve östenitik

hücreler içermektedir. Fe, Cr ve C'lu alaşımlarda M_7C_3 karbürlerin oluşumu tipik fazlardan biridir [55].

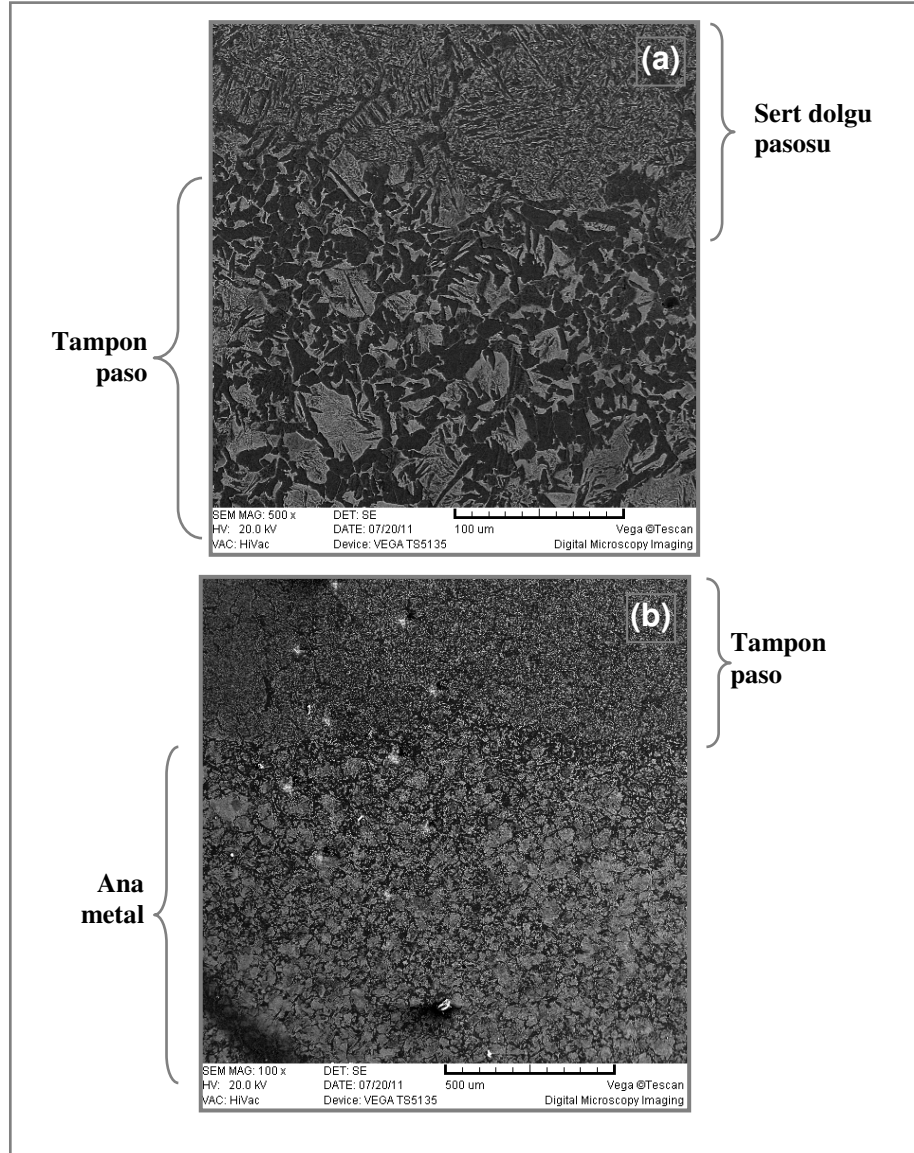
Şekil 7.3.'ün 2 numaralı, Şekil 7.4'ün 3 numaralı, Şekil 7.5'in 3 numaralı, Şekil 7.6'nın 2 numaralı, Şekil 7.7'nin 2 numaralı ve Şekil 7.8'in 3 numaralı bölgeleri tampon bölge görevi gören elektrodla doldurulan kaynak pasosunu göstermektedir. Bu bölgelerdeki dolgu metalinin mikroyapısında ince taneli perlitik yapılar görülmekte olup sert dolgu metallerinin kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmektedir.

Şekil 7.3.'ün 3-4-5 numaralı, Şekil 7.4'ün 4-5-6 numaralı, Şekil 7.5'in 4-5-6 numaralı, Şekil 7.6'nın 3-4-5 numaralı, Şekil 7.7'nin 3-4-5-6 numaralı ve Şekil 7.8'in 4-5-6 numaralı bölgeleri tampon pasonun ana metalle olan ITAB'ını ve ana metali göstermektedir. Tampon pasonun hemen altındaki, Şekil 7.3'ün 3 numaralı, Şekil 7.4'ün 4 numaralı, Şekil 7.5'in 4 numaralı, Şekil 7.6'nın 3 numaralı ve Şekil 7.7'nin 3-4 numaralı yapılar incelendiğinde; yapılarda widmanstatten ferrit, asiküler ferrit ve perlit görülmektedir. A numunesinin 4 ve 5, B numunesinin 5 ve 6, C numunesinin 5 ve 6, D numunesinin 4 ve 5, E numunesinin 5 ve 6, F numunesinin 4, 5 ve 6 numaralı ana metale yaklaşan ve ana metal bölgelerinde ise tanelerin giderek büyüdüğü, ana metalin sahip olduğu tane ebadına ulaştığı ve yapının perlit ve ferritten oluştuğu görülmektedir.

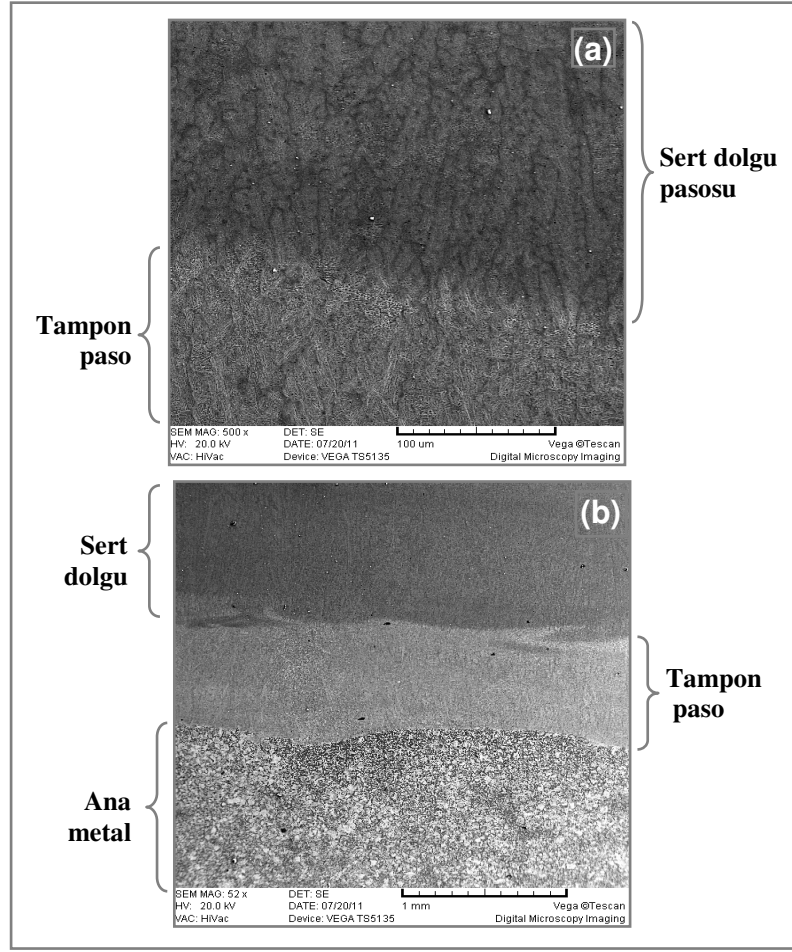
Sert dolgunun kimyasal bileşimindeki farklılıklar ve tampon paso ile kaynak işlemi sırasında meydana gelen seyrelme, oluşan sert dolgu metalinde farklı mikro yapıların ortaya çıkmasına neden olmuştur.

7.1.3. Mikroyapı SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) İncelemeleri

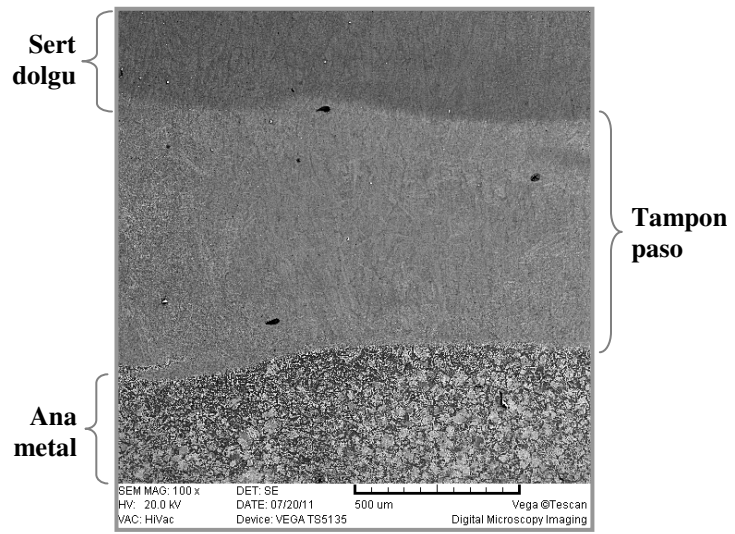
Farklı kimyasal bileşime sahip altı farklı sert dolgu elektrodu ile yüzeyleri dolgu kaynağı yağılmış doğrultma masterlarının kesitlerinden, sert dolgu pasosu-tampon paso-ana metal geçiş bölgelerinden farklı büyütmelerde SEM görüntüleri alınmıştır. Alınan görüntüler Şekil 7.9-7.14 de görülmektedir.



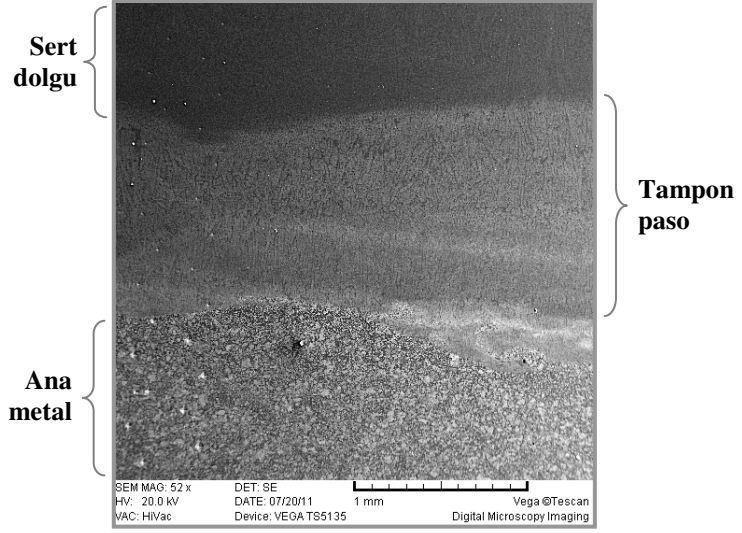
Şekil 7.9. A numunesinin SEM mikroyapı görüntüleri. (a) sert dolgu-tampon paso geçiş bölgesi ve (b) tampon paso-ana metal geçiş bölgesi.



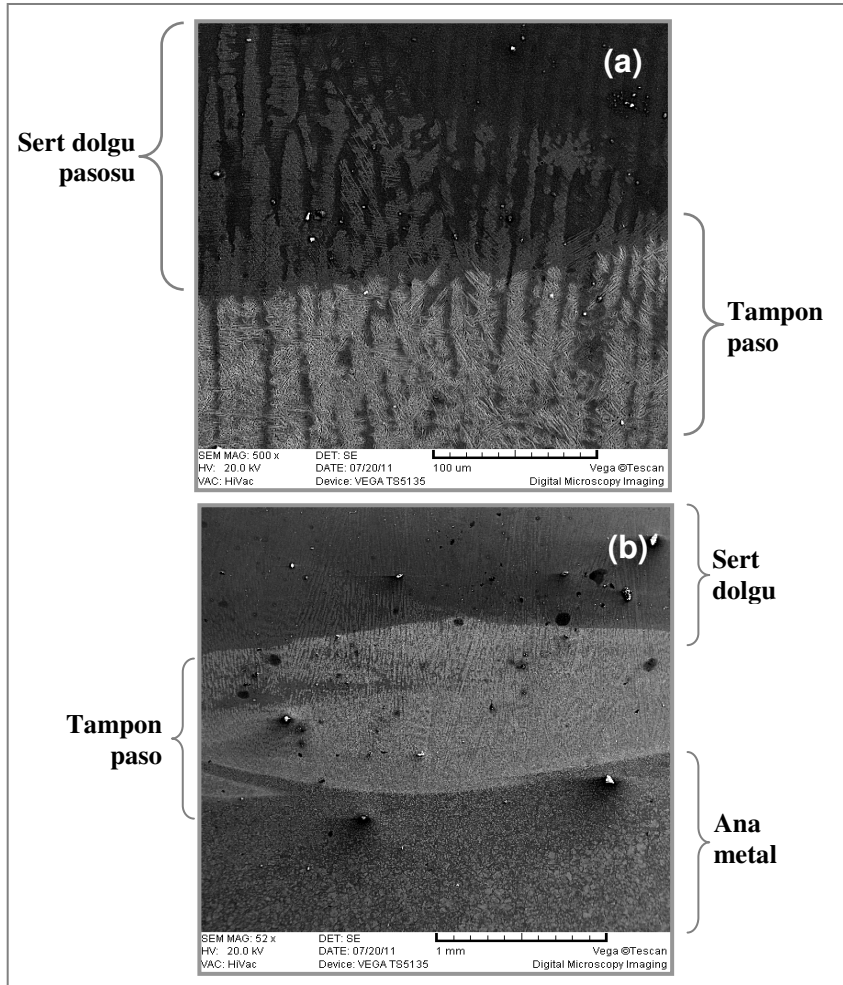
Şekil 7.10. B numunesinin SEM mikroyapı görüntüleri. (a) sert dolgu-tampon paso geçiş bölgesi ve (b) tabakalar arası geçiş bölgeleri.



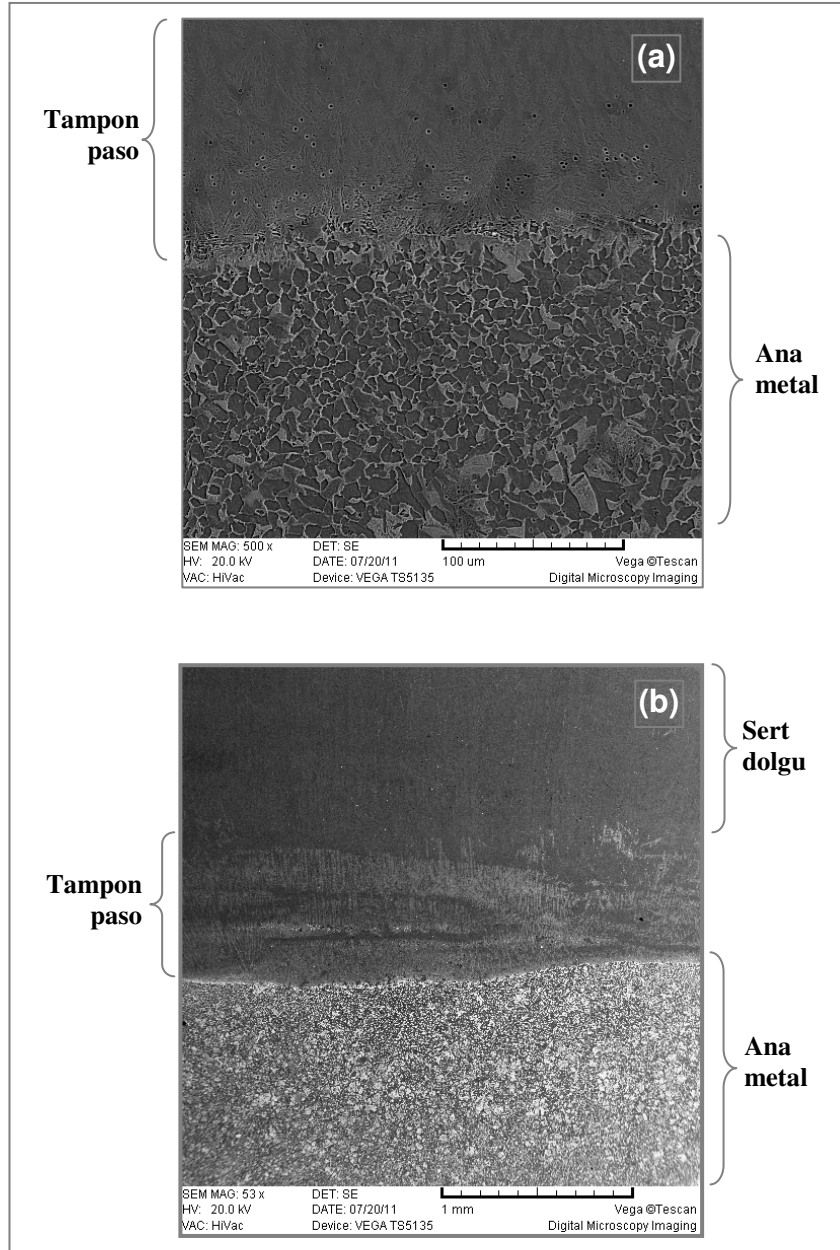
Şekil 7.11. C numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü.



Şekil 7.12. D numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü.



Şekil 7.13. E numunesinin SEM mikroyapı görüntüleri. (a) sert dolgu-tampon paso geçiş bölgesi ve (b) tabakalar arası geçiş bölgesi.

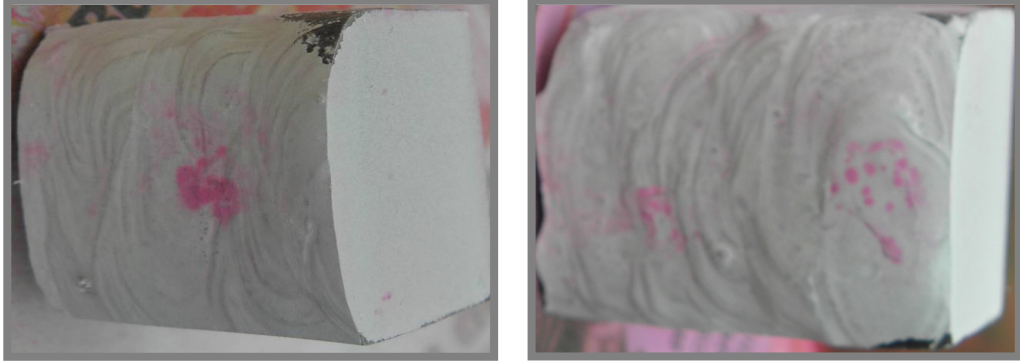


Şekil 7.14. F numunesinin SEM mikroyapı görüntüleri. (a) tampon paso-ana metal geçiş bölgesi ve (b) tabakalar arası geçiş bölgeleri.

Şekil 7.9-7.14’de farklı büyütmelerde alınan SEM görüntülerinden görüldüğü üzere ana metal, tampon paso ve sert dolgu pasosunda, tabakalar arası düzenli bir geçişin olduğu görülmüştür. Dolgulu bölgelerin ince dokulu, ana malzeme kısımlarının ise biraz daha iri taneli olduğu görülmektedir.

7.2. SIVI PENETRANT TESTİ SONUÇLARI

Sıvı penetrant testi tüm kaynaklı numunelere uygulanmış ve örnek olması açısından sadece iki adedinin makro görüntüsü Şekil 7.15’de verilmiştir. Ayrıca, kaynaklı numunelere NDT uzmanınca hazırlanan PT raporu Şekil 7.16’da görülmektedir.



Şekil 7.15. Penetrant testi uygulanan numunelerden görüntüler.

NDT uzmanının yazmış olduğu rapora göre, deney numunelerine uygulanan penetrant testi sonucunda numune yüzeylerine açılan herhangi bir çatlak hatasına (normal, kılcal çatlak) rastlanmamıştır. Rapor sonucundan anlaşılmaktadır ki, dolgu kaynağı yapılan uygulamalarda kaynak/kaplama faaliyeti sırasında kurallara (elektrod açısı, elektrod-iş parçası mesafesi, kaynak hızı vb.) riayet edilmiştir. Ayrıca, hem kaynak işlemlerinde kullanılan sert dolgu elektrodlarının, hem de kaynak parametrelerinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Tüm bunların yanında, kaynak yapılan ortamın bu işlem için uygun olduğu, sert dolgu elektrodu ile ana malzemenin dolgu işlemi için uyumlu olduğu, sert dolgu işlemini yapan kaynakçının kalifiye ve sertifikalı olduğu, sıvı penetrant test sonucu herhangi bir problem olmamasından anlaşılmaktadır.



Tarih/Date:	24.11.2011
İş/Job No:	120.01.884 A
Rapor/Report No:	2011-4540
Sayfa / Page:	1/1

Ankara Cad. No: 81 34890 Pendik-İSTANBUL
Tel : 0216 390 87 57 - 390 82 94 Fax : 354 16 17

SIVI PENETRANT TEST RAPORU LIQUID PENETRANT EXAMINATION REPORT

Siparişi veren: Customer	INSPECCO	Resim No : Drawing No	SERT DOLGU
Test Yeri : Test Location	PENDİK-İST.	Sertifika No : Certificate No	
İşin Tanımı Job Definition	Sert Dolgu PT test	Klas Kuruluşu Class	INSPECCO
Malzeme Standartı: Material Standart	S 235JR	Gövde: Shell	Bombe: Head
Kaynak Yöntemi : Welding Process	Elek.Ark <input checked="" type="checkbox"/> SMAW	Tozaltı <input type="checkbox"/> SAW	Gazaltı <input type="checkbox"/> GTAW
Kaynak Birleşmesi : Weld joint type	Alın Kaynağı : Butt Weld	V X U K 60° <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Köşe Kaynağı : Corner Weld
Isıl İşlem: Heat treatment	evet <input type="checkbox"/> yes	hayır <input checked="" type="checkbox"/> no	Yüzey Durumu : Surface Condition
Test Standartı : Examination Standart	DIN 54152 <input type="checkbox"/> Teil 1	EN 571-1 <input checked="" type="checkbox"/>	ASME <input type="checkbox"/> Sec. V
Ön Temizleyici : Pre-cleaner	MR 85	Penetrant : Penetrant	MR 68 C
Penetrant Tipi : Type of penetrant	Solventle temizlenen <input checked="" type="checkbox"/> Solvent remover	Su ile tem. <input type="checkbox"/> Water washable	Emülsiyonla tem. <input type="checkbox"/> Post emulsifiable
Penetrant Metodu : Penetrant method	Görülebilir <input checked="" type="checkbox"/> Visible dye	Floresanla görülen <input type="checkbox"/> Fluorescent dye	Üretici firma : Manufacturer
Penetrant Süresi : Penetration time	15 Min.	Belirginleştirici bekleme süresi : Developer time	15 Min.
Belirginleştirici : Developer	Kuru tozlu <input type="checkbox"/> Dry powder	Sulu eriyik <input checked="" type="checkbox"/> Suspension in water	Üretici firma : Manufacturer
Değerlendirme Standartı : Evaluation Standart	TS EN <input checked="" type="checkbox"/> 23277	ASME Sec. <input type="checkbox"/> VIII Div. I-II	ADM-HP <input type="checkbox"/> 5/3
Test Uygulanan Yerler : Extent of Examination	Malzeme No:1 Malzeme No:2 Malzeme No:3 Malzeme No:4 Malzeme No:5 Malzeme No:6		
Sonuç ve Açıklama : Result and Remarks	YUKARIDA BELİRTİLEN TEST PARÇALARINA % 100 PENETRANT TESTİ YAPILDI. KAYDA DEĞER BİR HATAYA RASTLANILMADI.		
*THE ABOVE MENTIONED JOINT WELDS OF HAVE BEEN TESTED 100 % BY PT METHOD NO DISCONTINUITY HAS BEEN FOUND.			

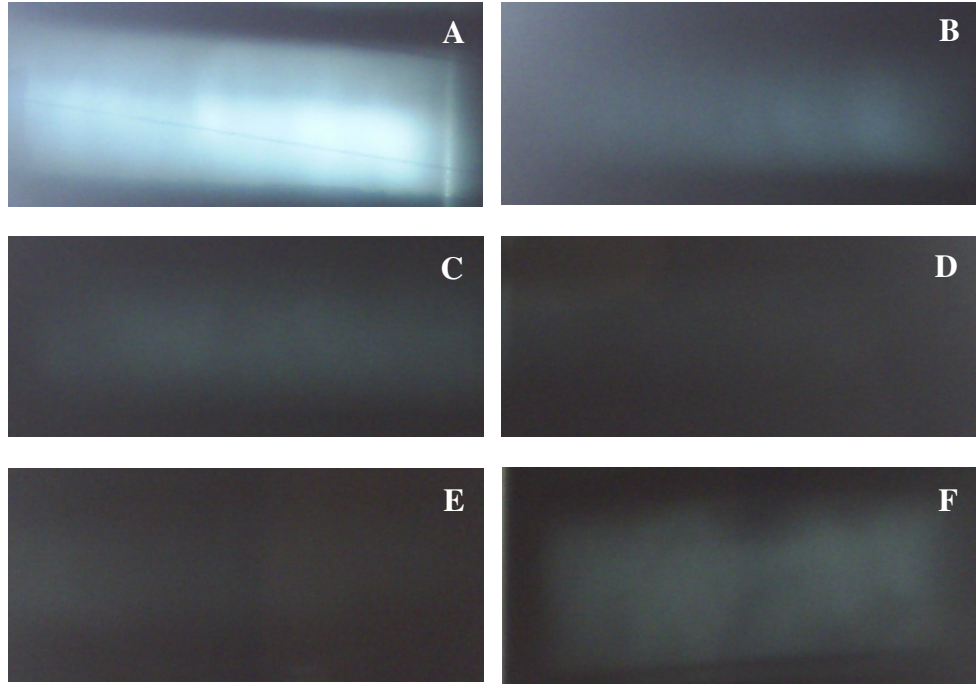
Operator / Operator	Değerlendiren / Supervisor	Kalite Güv.Müd. / QA Manager	Onay / Approval
İsim / Name	Çağatay AYDÖNER	Çağatay AYDÖNER	Harun DÜNDAR
Tarih / Date	24.11.2011	24.11.2011	26.11.2011
Seviye / Level	Level 2	Level 2	INSPECCO IWE/EWE
İmza / Sign			

INSPECCO
BELGELENDİRME VE GÖZETİM
HİZMETLERİ A.Ş.

Şekil 7.16. Sıvı penetrant test raporu.

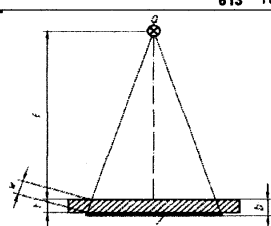
7.3. RADYOGRAFİ TEST SONUÇLARI

Deney numunelerinin alındığı doğrultma mastarlarında, aşınma hasarının yanı sıra, elemanın (mastarın) değişken periyodik zorlanmalar altında kalmasından dolayı, aşınma ve zorlanmalara maruz kalan yüzeylerinde yorulma çatlakları ve/veya kırılmalar da görülebilmektedir. Numunelere kaynak işlemi uygulanmadan önce malzemede herhangi bir çatlak olup olmadığı araştırılmıştır. Eğer çatlak varsa bu çatlaklar dolgu malzemesinin içinde ilerleyecektir. Malzemenin yüzeyinin sert dolgu metali ile kaplanmasının da hiçbir değeri kalmayacaktır. Yapılan radyografik testler sonucunda numunelerdeki sert dolgu tabakasının sağlıklı olduğu kanıtlanmıştır. Kaynaklı birleştirmelerin en sağlıklı kontrolü olan Radyografi yöntemi test sonuçları incelendiğinde; kaynak metalinde, esas metalde, ITAB’de ve birleşme yerinde hacimsel veya yüzeysel herhangi bir kaynak hatasına (kaynak dikiş tekniğinden ve/veya malzemenin kötü kesilmesinden kaynaklanan curuf kalıntısı hatalarına, gaz boşluğu ve porozite hatalarına, boyuna-enine ve iç-dış çatlak hatalarına) rastlanmamıştır. Şekil 7.17’de kaynaklı numunelerin radyografik görüntüleri, Şekil 7.18’de radyografik muayene parametreleri ile NDT uzman raporu verilmiştir.



Şekil 7.17. Radyografik muayene sonucu elde edilen pozlar.

Tarih / Date : 05.12.2011
İş / Job No : RT-SES-01
Rapor / Report No : 01
Sayfa / Page : 1/2

RADYOGRAFİK TEST RAPORU RADIOGRAPHIC TEST REPORT			
Siparişi Veren	: İBRAHİM EREN	Proje No	: —
Customer		Project No	
İşin Tanımı	: dolgu kaynağı yapılmış parçanın	Sipariş No	: RT-ERN-01-01
Job Matter	: Radyografik muayenesi	Order No	
Test Yeri	: GEDİK TEST MERKEZİ	Resim No	: Resim 1
Test Location	: RADYOGRAFI LABORATUVARI	Drawing No	
Test Kapsamı	: 100%	Malzeme Kalınlığı	: —
Test Scope		Material Thickness	
Malzeme Standartı	: S235 (ST37)	Material Standart	
Kaynak Yöntemi	: Elek. Ark <input checked="" type="checkbox"/> Tozaltı <input type="checkbox"/> Gazaltı <input checked="" type="checkbox"/> Gazaltı <input type="checkbox"/> Isıl İşlem <input type="checkbox"/>	Welding Process	
Welding Process	: SMAW SAW GTAW GMAW Heat Treatment		
Kaynak Birleştirilmesi	: Alın Kaynağı <input checked="" type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> K Köşe Kaynağı <input type="checkbox"/> Bindirme Kaynağı <input type="checkbox"/>	Weld Joint Type	
Weld Joint Type	: Butt Weld Corner Weld Fillet Weld		
Test Standartı	: EN 1435 <input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec. V. <input type="checkbox"/> ASTM Vol. <input type="checkbox"/> AWS D.1.1 <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>	Examination Standart	
Examination Standart	: EN 1435 ASME Sec. V. ASTM Vol. AWS D.1.1 Diğer		
Değerlendirme Standartı	: EN 12517-1 <input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec. <input type="checkbox"/> AD_MARK <input type="checkbox"/> AWS D.1.1 <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>	Evaluation Standart	
Evaluation Standart	: EN 12517-1 ASME Sec. AD_MARK AWS D.1.1 Diğer		
X-Ray Cihazı	: Eresco	Voltaj / Amper	: 200kV
X-Ray Gauges	: 52 MF4 CL	Voltage / Ampere	: 3.7 mA
Gamma-Ray Cihazı		Odak Büyüklüğü	: 0,5 x 5,5 mm
Gamma-Ray Gauges		Focus Size	
Film Tipi	: C4	İzotop Tipi / Type / Source	
Film Type	: Kodak T200	Se 75 <input type="checkbox"/> IR <input type="checkbox"/> Co <input type="checkbox"/>	
Çekim Mesafesi	: 750mm	Film Ölçüsü	: 10x24cm
FFD		Film Size	
		Penetrametre Tipi	: 10 FE EN
		Type Of Penetrameter	
		Film Ekran Tipi	: 0,15 mm Pb
		Type Of Screen	
HATA TIPLERİ VE KISALTMALAR / TYPE OF DEFECT AND ABBREVIATIONS			
Boşluk / Porosity Group	Kalıntı / Inclusion Group	Çatlak Etkili Hatalar / Crack Type Defect Group	
201 Gaz Boşluğu / Gas Cavity	301 Curuf Kalıntısı / Slag Inclusion	101 Boyuna Çatlak / Long Crack	
2011 Gözenek / Porosity	302 Toz Kalıntısı / Flux Inclusion	102 Enine Çatlak / Transverse Crack	
2013 Toplu Gözenek / Clustered Porosity	304 Metal Kalıntılar / Metallic Inclusion	104 Krater Çatlak / Crater Crack	
2015 Gözenek Kanalı / Elongated Cavity		401 Yetersiz Ergime / Lack Of Fusion	
2016 Kurtçuk / Worm-Hole		402 Nüfuziyet Azlığı / Lack Of Penetration	
	Yüzey Hataları / Surface Defect Group		
	501 Yanma Oluşu / Undercut		
	510 Yanma Patlaması / Burn Through		
	613 Yüzey Tufalı / Scaled Surface		
			
<p>Q Radyasyon Kaynağı t Malzeme Anma Kalınlığı b Malzeme-Film Mesafesi f Kaynak-Cisim Mesafesi w Radyasyon Demeti Yönündeki Malzeme Anma Kalınlığı F Film</p>			

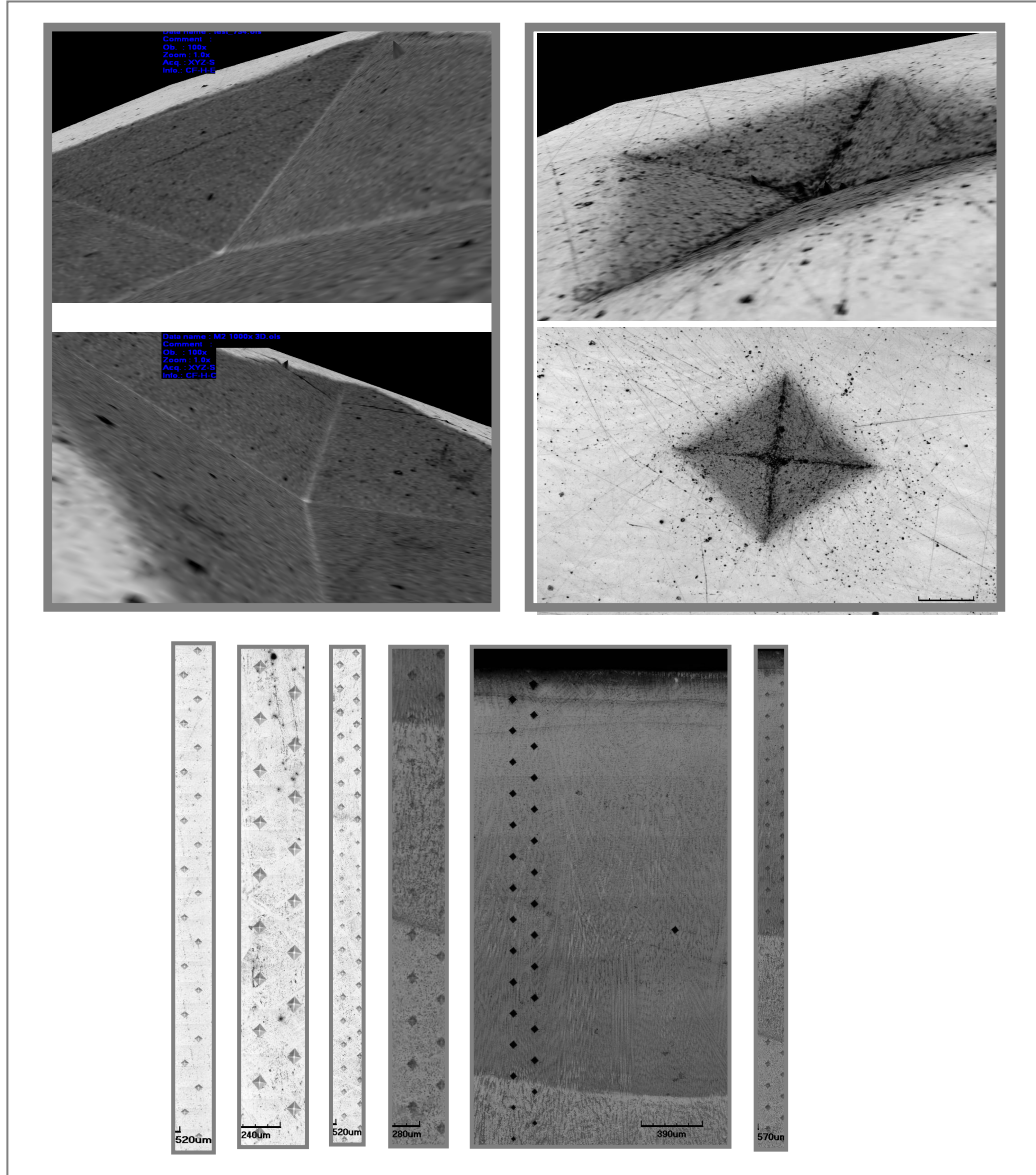
Kaynak Dikişi / Parça Weld Seam / Part	Film No Film No	Kaynakçı No Welder No	2011	2013	2015	2016	301	302	304	501	510	613	100	101	102	104	401	402	Sonuç / Notlar Result / Remarks
1 MUARALI PARÇA																			OK
2 MUARALI PARÇA																			OK
3 MUARALI PARÇA																			OK
4 MUARALI PARÇA																			OK
5 MUARALI PARÇA																			OK
6 MUARALI PARÇA																			OK
TESLİM EDİLEN FİLM ADEDİ																			
7																			

<p>Muayeneyi Yapan - Değerlendiren</p> <p>Operator: <i>[Signature]</i> Barış AYDOĞAR</p> <p>NDT Seviyesi (UT, RT, MT, PT, VT)</p> <p>Sertifika No : 07-502-12586</p>	<p>Onay</p> <p>Approved By</p> <p>Gedik Eğitim ve Sosyal Yardımları Vakfı İktisadi İşletmesi</p> <p>Anıkarı Cad. No 306 Şeyhi - Pendik / İST</p> <p>Pendik V.D.: 390 050 8036</p>
--	---

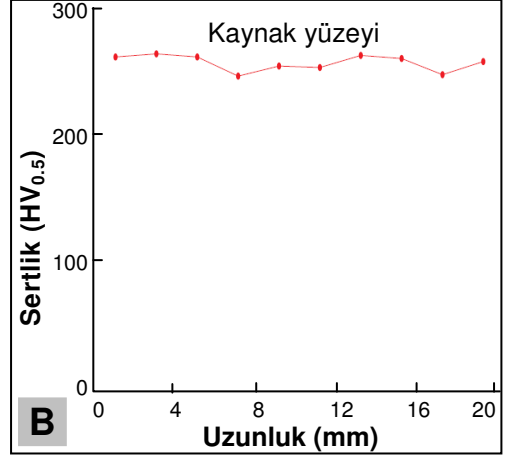
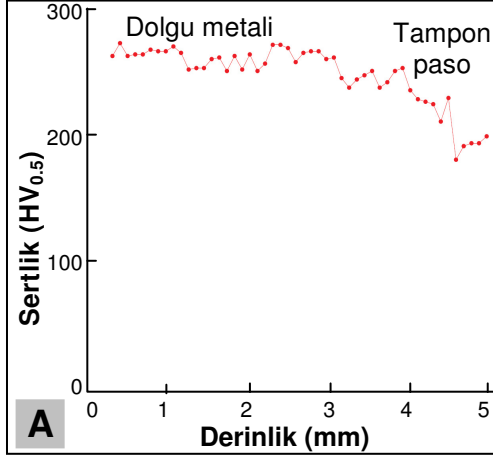
Şekil 7.18. Radyografik muayene şartları ve muayene raporu.

7.4. MİKROSERTLİK DENEY SONUÇLARI

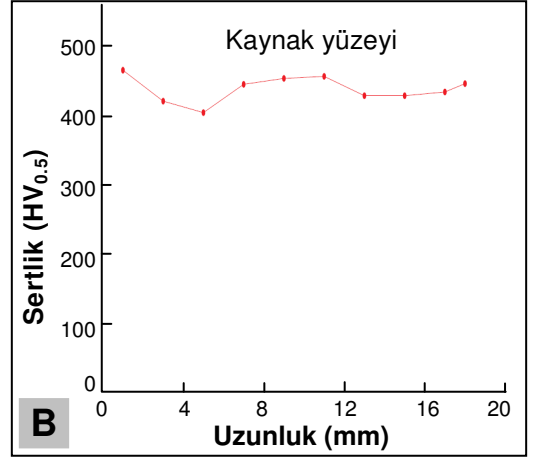
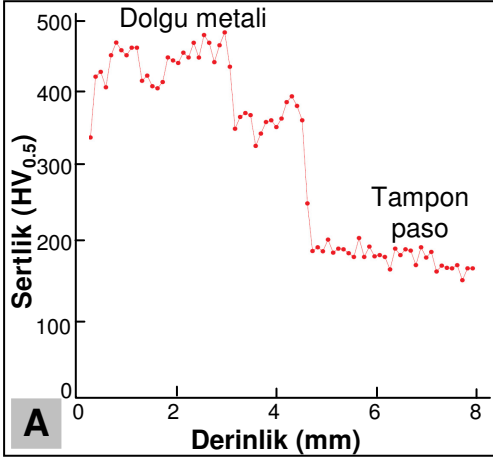
Kaynaklı numune sertlikleri, kaynaklı numuneler üzerinden iki sıra halinde Şekil 7.19'da görüldüğü gibi alınmıştır. Batıcı ucun yüzeye bıraktığı sertlik izlerinden rahatlıkla fark edileceği gibi sert dolgu pasosu, tampon tabaka ve ana metal arası sertlik değerleri değişim göstermiştir. Şekil 7.20-25'te ise kaynaklı numunelerden ölçülen sertlik değerleri grafik olarak verilmiştir. Burada sol taraftaki grafikler (A) kesitten alınan sertlik değerlerini gösterirken, sağ taraftaki grafikler (B) kaynaklı numunelerin dolgu paso yüzey sertliğini göstermektedir.



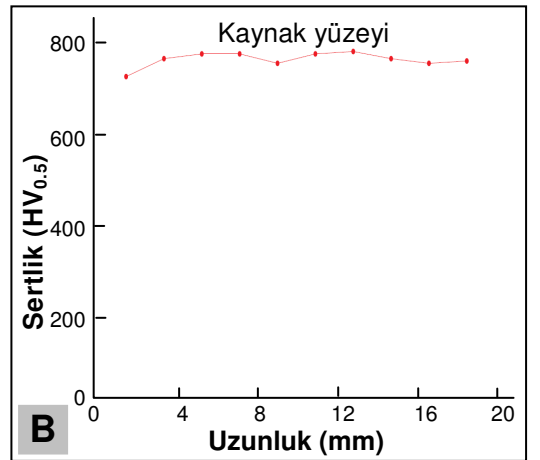
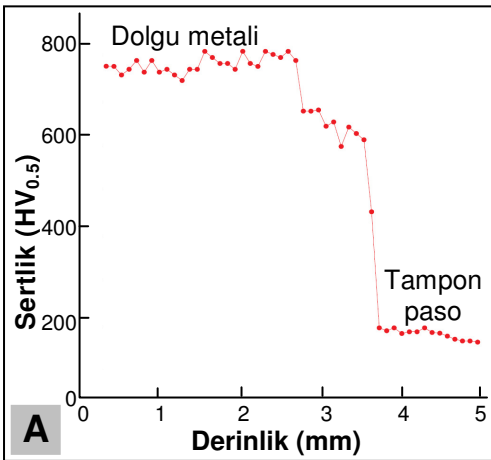
Şekil 7.19. Numunelerin 2 ve 3 boyutlu HV sertlik iz görüntüleri.



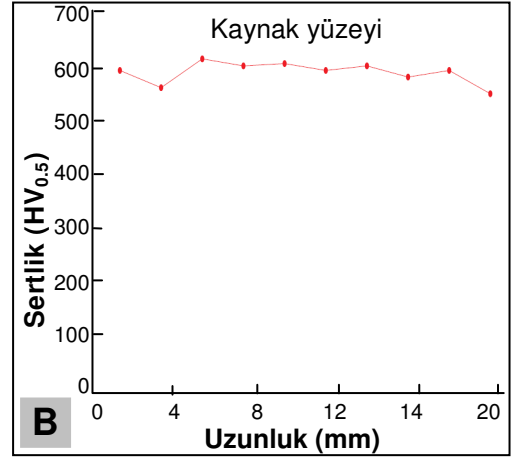
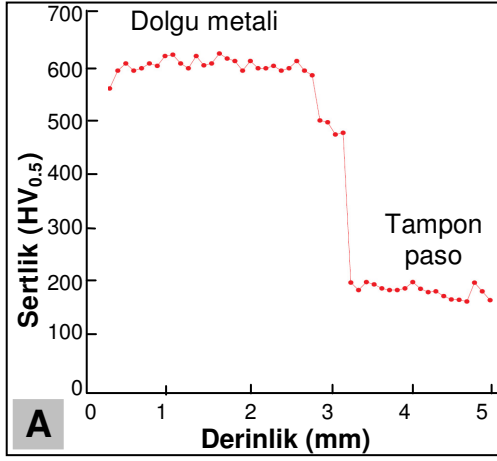
Şekil 7.20. A numunesinin mikrosertlik sonuçları.



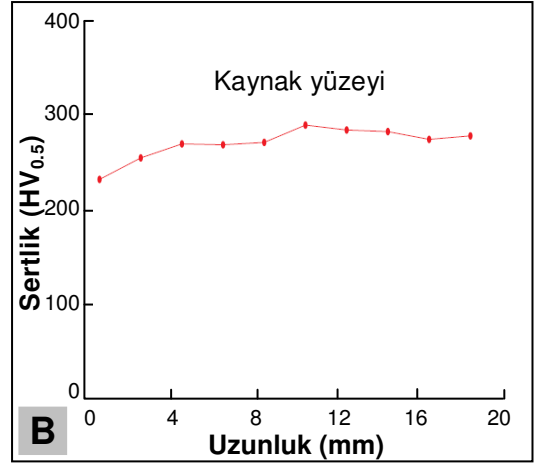
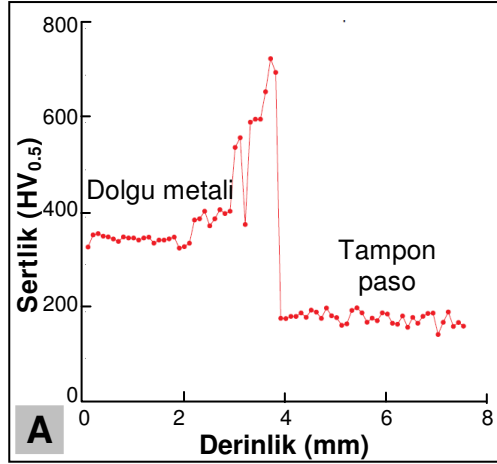
Şekil 7.21. B numunesinin mikrosertlik sonuçları.



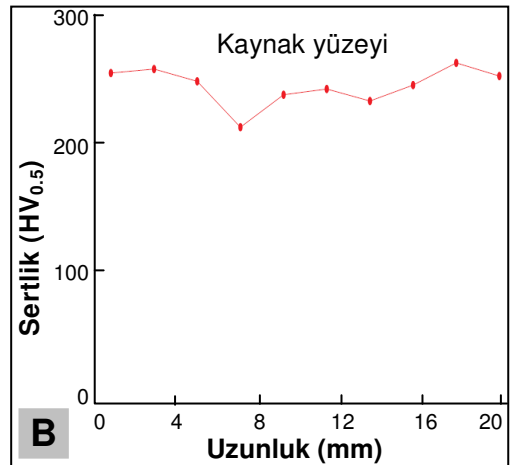
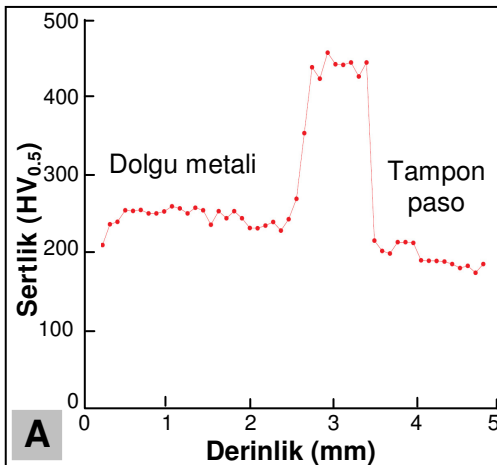
Şekil 7.22. C numunesinin mikrosertlik sonuçları.



Şekil 7.23. D numunesinin mikrosertlik sonuçları.



Şekil 7.24. E numunesinin mikrosertlik sonuçları.



Şekil 7.25. F numunesinin mikrosertlik sonuçları.

Her ne kadar aşınma üzerinde birçok parametre etkili ise de, bunların içinde aşınmayı birincil derecede etkileyen parametre, hem aşınan, hemde aşındırıcının sertliğidir. Dolayısıyla kaynaklı numunelerin ana metal, ITAB ve kaynaklı bölgelerinden sabit aralıklarla ve sabit yükte aldığımız değerler kaynak metalinin aşınma davranışlarını belirlememizde yardımcı olmuştur.

Numunelerin ana malzemedan alınan sertlik değeri sonuçları ortalama 150 HV olarak ölçülmüş, ancak bu değer grafikler üzerinde gösterilmemiştir. Sertlik grafikleri genel olarak incelendiğinde tüm numunelerde tampon malzeme sertliğinin birbirine yakın olduğu (yaklaşık 200 HV) belirlenmiştir. Kaynak metali sertlikleri incelendiğinde, tüm numunelerden farklı sertlik değerlerinin ölçüldüğü görülmektedir. B, C ve D numunelerinden elde edilen sertlik grafiklerinin birbirleriyle benzeştiği, ancak A, E ve F numunelerinden elde edilen grafiklerin diğerlerinden farklı olduğu göze çarpmaktadır. E ve F numunelerinde en yüksek sertlik değerleri ITAB'dan ölçülürken diğer bütün numunelerde en yüksek sertlik kaynak metalinden ölçülmüştür. Kaynak yüzey sertlikleri değerlendirildiğinde en yüksek sertlik C numunesinden ölçülür iken, onu sırasıyla D, B, E, A ve F numunelerinin takip ettiği tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda sertliğin artması ile aşınma direncinin arttığı ve aşınma direncinin büyük oranda sertliğe bağlı olduğu veya sertliğin artması ile aşınma direncinin düzeldiği kabul edilmiştir [1]. Bir başka çalışmada, sert malzemeler kullanılarak abrasiv aşınmanın azaltılabileceği belirtilmektedir [56].

Özellikle, bu çalışmada kullanılan elektrotların bileşiminde, Cr miktarı % olarak daha fazla olduğundan, krom karbür oluşmasına neden olabilir. Bundan dolayı yüksek Cr'lu elektrotların kullanıldığı numunelerde, karbürlerin kaynak bölgesinde sertlik artışına neden olabileceği belirtilmektedir [53].

Elektrodlarda kullanılan kompleks karbürler, özellikle Cr'ca zengin elektrotlar, düşük maliyetli olup yaygın olarak kullanılırken, daha maliyetli olan tungsten ve vanadyumca zengin alaşımlar, sertlik ve tokluk açısından abrasif aşınmaya etki eden aşınma mekanizmalarında iyi bir kombinasyon oluşturur.

Mikroyapıdaki hacimce büyük orandaki M_7C_3 karbürlerin (1300-1800 HV) varlığından dolayı, yüksek kromlu demirlerde, mükemmel bir abrasiv aşınma direnci elde edilebilir. Yüksek kromlu kaynak dolgusunda ve beyaz demirlerin dökümünde olduğu gibi abrazyon direnci literatürde net olarak belgelenmiştir [53].

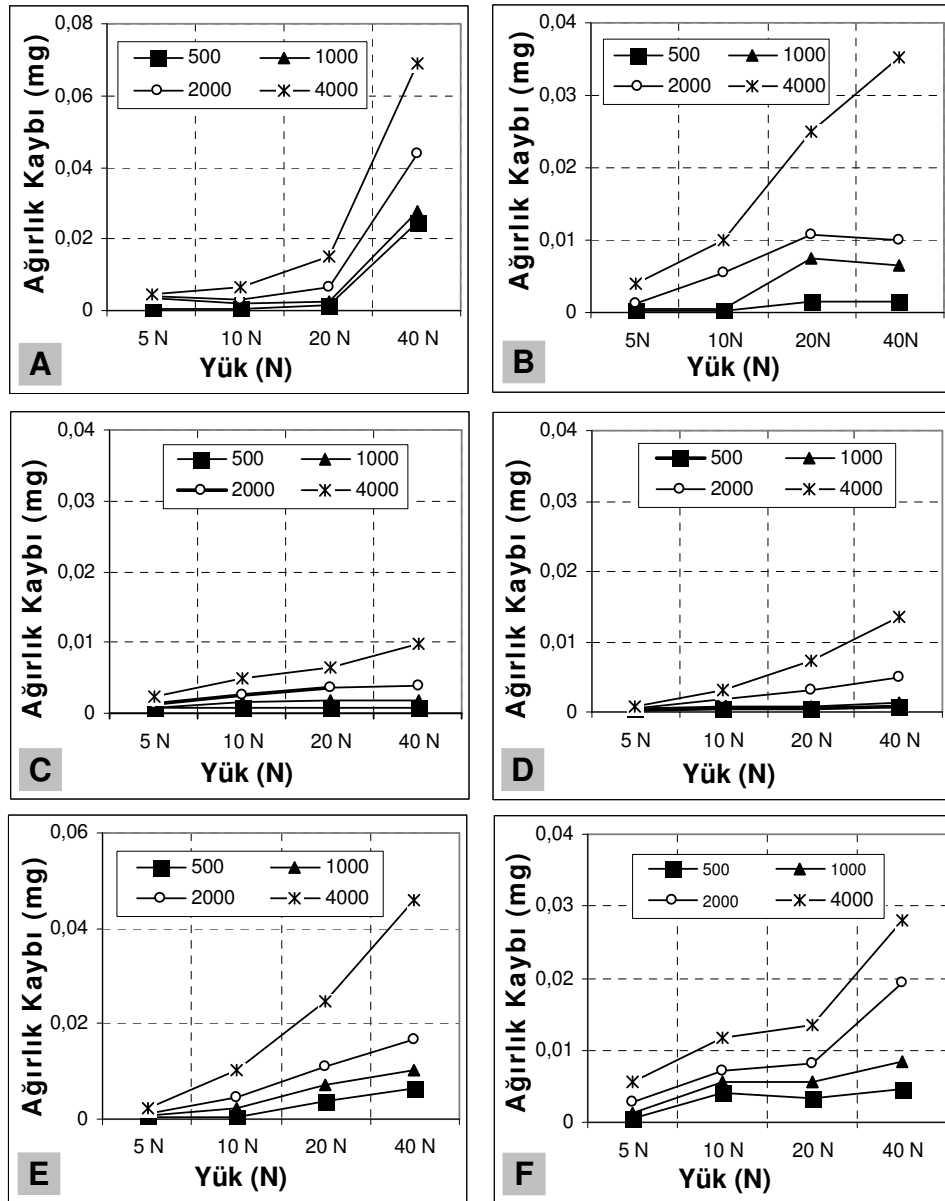
Malzemelerde soğuk şekil verme sırasında meydana gelen pekleşme, malzemenin sertliğinin artmasına neden olacağından bu sertlik artışı da malzemenin aşınmaya karşı direncini arttıracaktır [57].

E ve F numuneleri kimyasal kompozisyonlarında bulunan elementlerin konsantrasyonuna bağlı olarak çalışma sertleşmesi göstermektedir. Bu numunelerin kaynak işlemi sonrasında sertlik değerleri 250-300 HV civarında ölçülmüştür. Çalışma sertleşmesi gösteren bu kaynak metallerinin sertlik değerleri servis şartlarında çalışma sonrası 450-600 HV civarında yükselebildiği bilinmektedir. Bu numuneler, sert dolgulu kaynak metali yapısında bulunan Mangan konsantrasyonundan dolayı oldukça toktur. F numunesinin kimyasal konsantrasyonunda bulunan % 3 Ni'de düşük sıcaklıklarda tokluk sağlar. Dolayısıyla E ve F numunelerinin darbeli aşınmaya karşı oldukça dirençli olduğu söylenebilir. Şekil 3.1'deki diyagram bu durumu desteklemektedir. Ancak yine kimyasal kompozisyondan dolayı çalışma öncesi E numunesinin kaynak metali sertlik değerleri F numunesine göre yüksek çıkmıştır. Bu duruma sebep, F numunesine göre E numunesinin kimyasal konsantrasyonunda daha yüksek C ve Mn elementlerinin yanı sıra, F numunesinden farklı olarak % 13,5 gibi bir değerde Cr içermesidir.

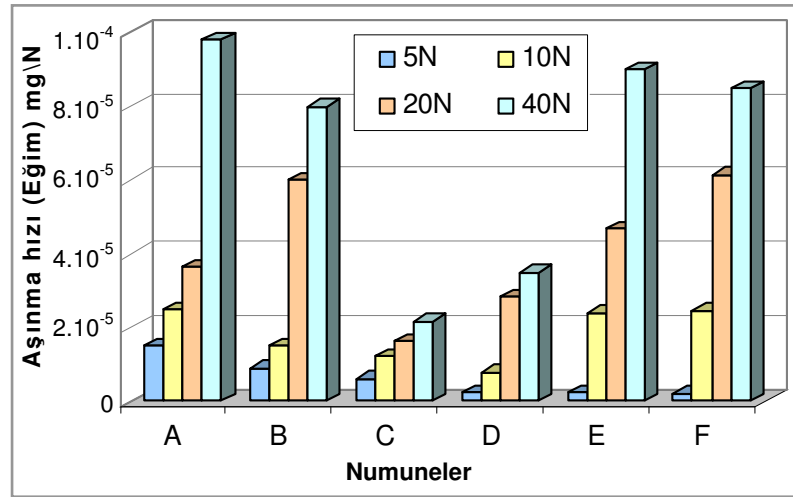
Sonuç olarak E numunesinin F numunesine göre daha yüksek darbeli aşınma direnci gösterebileceği düşünülebilir. Deney numunelerinin alındığı profil doğrultma masterları oldukça darbeli aşınmaya maruz kalmaktadır. Çelik profiller, hareketli band üzerine monte edilmiş doğrultma masterları arasından hızla geçerken, masterlar profillerin darbelerinden dolayı değişken periyodik zorlamalar altında, en başta darbeli olmak üzere kazıma, kayma gibi çeşitli aşınma türlerine maruz kalmaktadır. 'Pin-on disk' aşınma cihazıyla yapılan aşınma deneyleri, numunelerin darbeli aşınma davranışlarını inceleyebilmek için yeterli olmadığından, E ve F numunelerde oluşabilecek çalışma sertleşmesinin oluşmadığı söylenebilir.

7.5. SERT DOLGU ALAŞIMLARININ AŞINMA DENEY SONUÇLARI

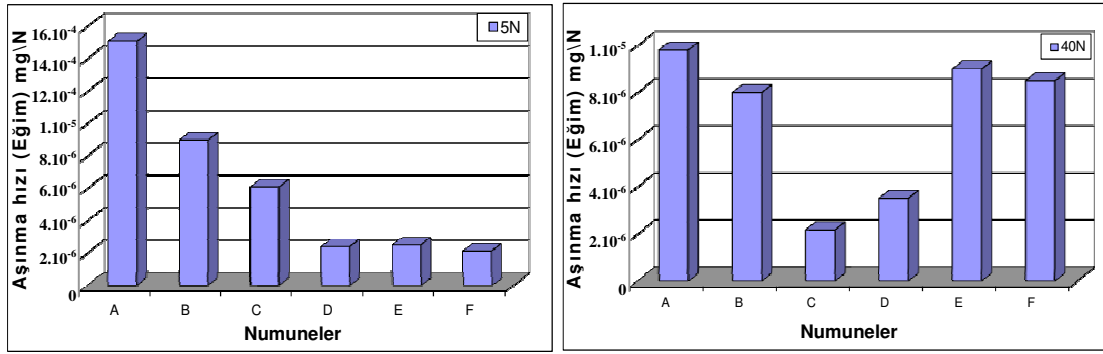
Tez çalışmasında kullanılan altı farklı kimyasal kompozisyona sahip elektrodla oluşturulan sert dolgu metali tabakalarının 5, 10, 20 ve 40 N yük altında ve 500, 1000, 2000 ve 4000 m kayma mesafesindeki aşınma deneyi sonucu elde edilen veriler doğrultusunda ağırlık kaybı-aşınma hızı ve sürtünme katsayısı grafikleri çizilmiştir. Şekil 7. 26’da A, B, C, D, E ve F numunelerinin ağırlık kaybı, Şekil 7.27 ile 7.28’de aşınma hızı ve Şekil 7.29’da ise sürtünme katsayısı grafikleri verilmiştir.



Şekil 7. 26. A, B, C, D, E, F numunelerinin farklı yük ve kayma mesafeleri altındaki ağırlık kaybı grafikleri.



Şekil 7.27. Kaynaklı numunelerin farklı yükler alındaki aşınma hızları.



Şekil 7.28. Kaynaklı numunelerin 5 N ve 40 N yük alındaki aşınma hızları.

Sert dolgu kaynağı ile üretilmiş kaynaklı numunelerin aşınma hızı grafikleri, aşınan sert dolgu malzemelerinin çeşitli yük ve kayma mesafesindeki ağırlık kaybı grafiğinde görülen eğrilerin eğiminin hesaplanması ile bulunmuştur. Numunelerin ağırlık kaybı ve aşınma hızı grafikleri incelendiğinde, yapılan deney parametrelerine göre en verimli ve kararlı sert dolgu metalinin C numunesine ait olduğunu, bu durumu; D, B, F, E ve A numunelerinin takip ettiği görülmektedir. Ağırlık kaybı grafikleri incelendiğinde, ağırlık kaybı değerlerinin, uygulanan yük miktarlarının artması ile arttığı gözlenmekte olup aynı numuneye uygulanan yük ve kayma mesafesinin artışıyla beraber değişen yük ve kayma mesafesi arasındaki ağırlık kaybı oranı farkı da artış göstermektedir. Özellikle yüksek yüklerde (20 ve 40 N), düşük yüklere göre (5 ve 10 N) bu fark daha belirgin olarak görülmektedir.

Kaynaklı numunelerin farklı yükler altındaki aşınma hızları grafiğinde (Şekil 7. 27), numunelerin 5 N yük altında gösterdiği aşınma hızı değerleri net olarak görülemediğinden bu değerlerin net olarak anlaşılabilirdiği grafik (Şekil 7. 28) çizilmiştir. Numunelerin 5 N yük altındaki aşınma hızlarını gösteren grafik incelendiğinde, 5 N yük altında en verimli sert dolgu metali F numunesine ait olup bu durumu sırasıyla D, E, C, B ve A numuneleri takip etmektedir.

Yapılan sert dolgu kaynakları sonucunda, ortaya çıkan kaynak metali sertlik değerlerine göre A, B, E ve F numunelerine göre en yüksek değer C ve D numunelerinde görülmüştür. Sertlik değeri ile aşınma direncinin doğru orantısı baz alındığında ağırlık kaybı ve aşınma hızı grafiklerinden de görüldüğü üzere aşınma direnci en yüksek malzemeler C ve D numunelerindedir. Yapılan araştırmalarda, genellikle sertliğin artması ile birlikte aşınma direncinin arttığı belirtilmiştir [19,41,42,45,47,48]. Ayrıca abrasiv aşınma direncinin, sertliğe büyük oranda bağlı olduğu veya sertliğin artması ile abrasiv aşınma direncinin arttığı bazı araştırmacılar tarafından kabul edilir [57]. Bu sonuçlardan yola çıkarak, her zaman doğru olmamakla birlikte genellikle malzemenin mikroyapı özelliklerine de bağlı olarak malzemenin sertliğinin artması, aşınma dayanımını artırır denilebilir.

40 N yük altında, en iyi aşınma direnci uygulanan diğer yüklerde olduğu gibi yine C numunesinde görülürken en kötü aşınma direncini ise A numunesi göstermiştir. Bunun sebebi olarak A numunesinin sert dolgu kaynak metalinin sertliğinin diğer numunelere göre düşük olmasını, alaşım elementlerinin azlığını ve kaynak metalinde bulunan ferritik yapının çoğunlukta olmasını gösterebiliriz. Malzemenin mikroyapısının aşınmayı ne derecede etkilediği net olarak açıklanamamıştır. Ancak, mikroyapının aşınmayı etkilediği de bir gerçektir. Mikroyapıda bulunan fazlar ve tane boyutu mekanik özellikleri yüksek derecede etkileyen önemli bir faktördür [1].

Buytoz ve Yılmaz [55] yaptıkları incelemelerde, kaplamaların mekaniksel ve tribolojiksel özelliklerin alaşımlama elementlerinin konsantrasyonuna, sert karbürlerin dağılımına, tane boyutuna ve katılaştıran fazların türüne bağlıdır sonucuna varmışlardır.

B numunesinin A numunesinden daha yüksek aşınma direnci göstermesinin sebeplerinden biri A numunesinin alaşım elementlerinin azlığıdır. (Çizelge 6.2.'de çalışmada kullanılan sert dolgu elektrodları kimyasal analiz ve standartları görülmektedir.) Özellikle B numunesinin Karbon oranı A numunesinin iki katı olup aynı zamanda B numunesi daha yüksek oranda, sertleşebilirliği artıran alaşım elementlerinden Cr içermektedir. Karbon oranının artırılması kaynak metali mikroyapısında değişikliğe yol açmaktadır. Karbon oranı ile asiküler ferrit ve mikrofaz hacim oranı artarken, primer ferrit oranı azalmaktadır. Karbon, çeliklerde sertleşme kabiliyetini arttırdığı için mikroyapı değişmektedir. Karbon ayrıca östenit tanelerinde küçülmeye yol açar. Mikroyapıdaki değişim ve tane küçültmesi kaynak metalinde sertlik ve mukavemet artışı sağlar [58].

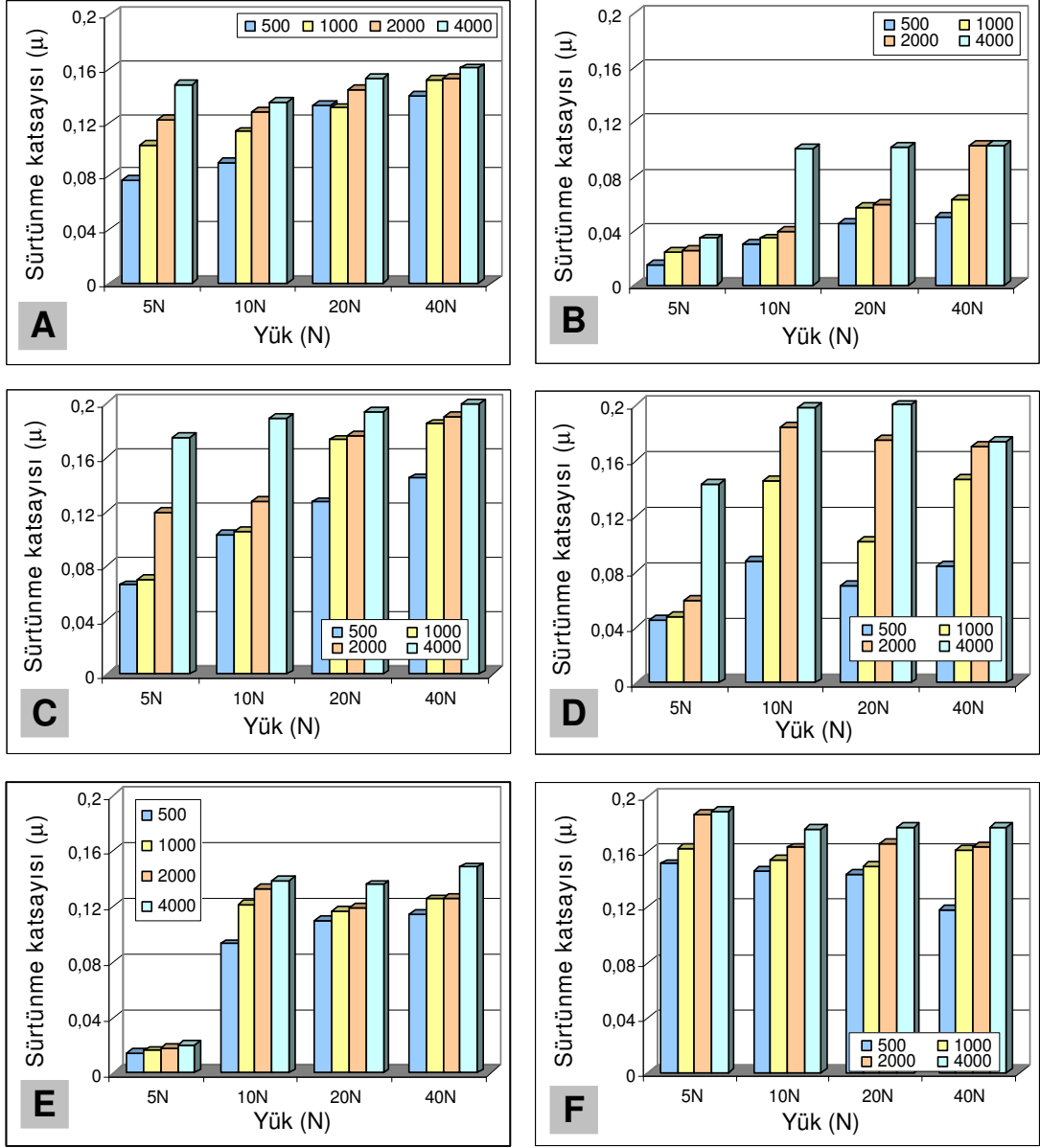
C numunesi hem A ve B, hem de diğer numunelere göre daha kararlı ve yüksek aşınma direnci göstermiştir. C numunesinin kimyasal kompozisyonundaki karbon değeri A ve B ye göre yüksek olup kompozisyon, sertleşebilirliği artıran Cr, Mo ve V içermektedir. Ayrıca, C numunesinin içerdiği Cr miktarı A ve B numunelerine göre yüksektir. D numunesi, diğer numunelerden yüksek ancak C numunesinin altında aşınma direnci sergilemiştir. Bu durum C ve D numunelerinin sertlik değerleri ve içerdikleri kimyasal kompozisyon ile açıklanabilir. Numunelerin kimyasal kompozisyonundaki C, Cr ve Mo oranları birbirlerine çok yakinken, C numunesinin kimyasal kompozisyonunda bulunan Mn oranı, D numunesine göre oldukça düşüktür. Ayrıca C numunesinin kimyasal kompozisyonu % 1 oranında V içerirken, D numunesi % 0.6 oranında Nb (niobyum) içermektedir. Vanadyum oranı arttıkça kaynak metali sertliği ve mukavemeti artar ve toklukta düşme görülür. Vanadyum kaynak edilmiş halde bile karbür (V_4C_3) veya nitrür çökeltisi yaparak tokluğu düşürür. Niobyum'sa sertleşme kabiliyeti yüksek (Mn-Mo-TiB alaşım elementli) kaynak metalinde tane sınır ferriti oluşumunu önler. Ancak karbon ile birleşerek NbC halinde çöker. Çökelen NbC taneleri matris sertliğini artırır ve gevrek-sünek geçiş sıcaklığını yükseltir. C numunesinin kimyasal bileşiminde % 0,3 oranında Mn bulunurken D numunesinde bu oran % 1.35'tir. Toz altı kaynak metalinde tokluğun yüksek olması için Mangan oranının % 1.2'den fazla olması gerektiği önerilmektedir. Bu oranın üzerine çıkıldığında asiküler ferrit hacim oranı arttığından tokluk artmaktadır. Tokluktaki artış Mn'in optimum değerine ulaşmasına

kadar devam etmektedir. Mangana artışı ile çelik sertleşme kabiliyeti ve dolayısıyla martenzit oluşumu artmaktadır. Bu durum asiküler ferritin tersine tesir yapmaktadır. Mangana belli değerinden sonra martenzit oluşumu toklukta düşmeye yol açmaktadır [58].

Metalik malzemelerde tokluğun çok yüksek olmasının sertliği düşürdüğü bilinmektedir. C ve D numunelerinden alınan sertlik sonuçlarıyla numunelerin aşınma davranışları bu durumu desteklemektedir.

Numunelere uygulanan aşınma deneyi parametreleri (kayma mesafesi ve yük) E ve F numunesinin sert dolgu malzemesinde çalışma sertleşmesi meydana getirecek kadar büyüklükte olmadığından dolayı E ve F numunesinin aşınma hızları yüksek çıkmıştır. Yaklaşık % 12 Mn ve % 1,2 C içeren östenitik mangana çeliklerin soğuk iş çalışma sertleşmesi gösterdiklerinden aşınmaya karşı yüksek direnç gösterdikleri bilinmektedir [51]. E ve F numunelerin kimyasal kompozisyonundaki Mn oranlarına, ve Fe bazlı sert dolgu alaşımlarının mikro yapılarına göre uygulama alanları (Kotecki diyagramı [31]) incelendiğinde, bu numunelerin oyma ve darbe aşınmasına diğer numunelere göre çok daha dirençli olduğu söylenebilir.

Numunelerdeki ağırlık kaybı oranlarına bakılacak olursa, genel aşınma prensiplerine göre artan kayma mesafesi ve artan basma yükü sonucunda ağırlık kaybı da artış göstermiştir. Burwell ve Strang çelik-çelik sürtünmesi sonucunda artan yükün etkisiyle birlikte aşınmanın da arttığını belirlemişlerdir [1].

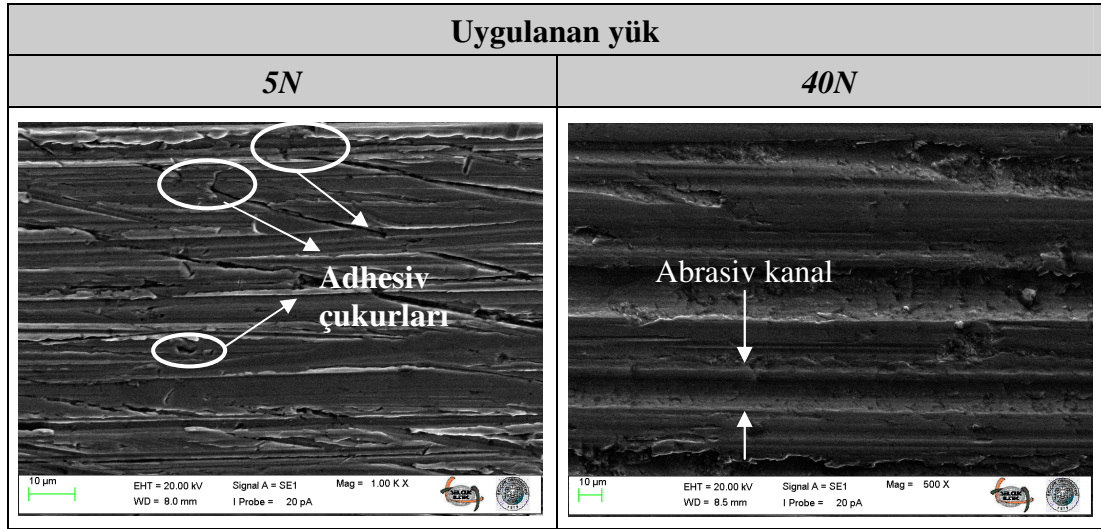


Şekil 7.29. Numunelerin farklı yükler alındaki sürtünme katsayısı grafikleri.

Sürtünme katsayısı-yük grafiklerini incelediğimizde yüke bağlı olarak sürtünme katsayısı artışı gözlenmektedir. Aşınma deneyleri sonrasında ortaya çıkan SEM görüntüleri incelendiğinde B numunesinin aşınma yüzeyinin pürüzlülük değerinin düşük olduğu fark edilmektedir. Bu sebeple B numunesinde adhesiv yapışma sonucu ağırlıklı olarak kaymaya aşınması meydana gelmiş ve B numunesinin sürtünme katsayısı değerleri düşük olarak ölçülmüştür. Ancak aşınma sonucu alınan SEM görüntülerinde, pürüzlülük değerinin yüksek olduğu görülen A numunesinde sürtünme katsayısı abresiv kanallarında etkisiyle yüksek çıkmıştır. Malzeme yüzeyinin pürüzlülüğü, gerçek temas alanını dolayısıyla sürtünme ve aşınma

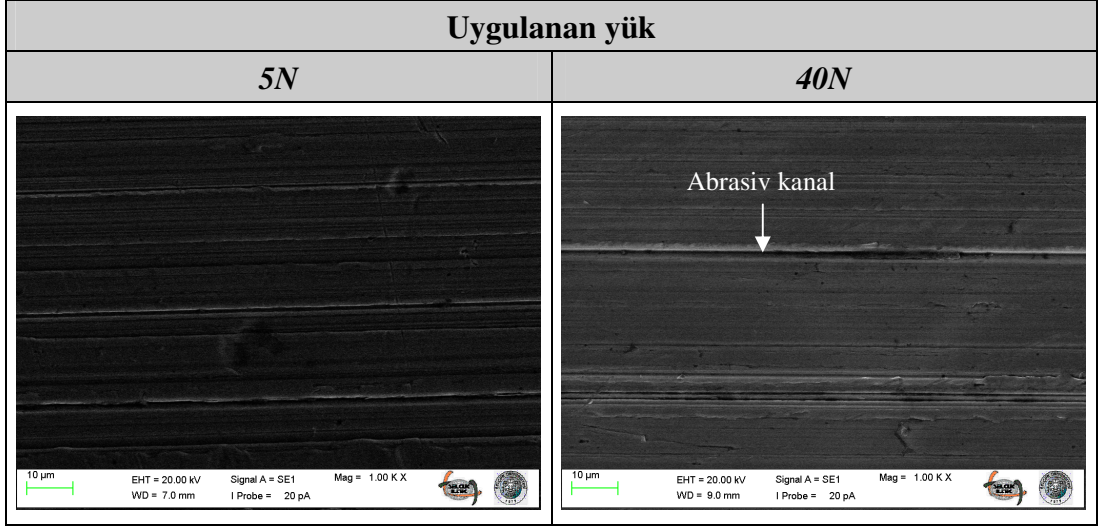
olaylarını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Malzemelerin yüzeylerinin kaba işlenmesi sonucunda gerçek temas alanı azalır. Yüzey temas alanının azalmasıyla tek bir pürüze gelen yükün artmasıyla bu noktalarda gerilme yığılmaları meydana gelerek temas noktaları şekil değiştirerek aşınmanın artmasına sebep olur [1,59].

Aşınma deneyine tabi tutulmuş sert dolgu malzemelerinin deney sonrası yüzey topografyalarının SEM görüntüleri Şekil 7.30-7.35’de verilmiştir. Çalışmalarda işlemleri net okuyabilmek amacıyla, yük açısından en düşük (5 N) ve en yüksek (40 N) yüklerin analizleri yapılmıştır.



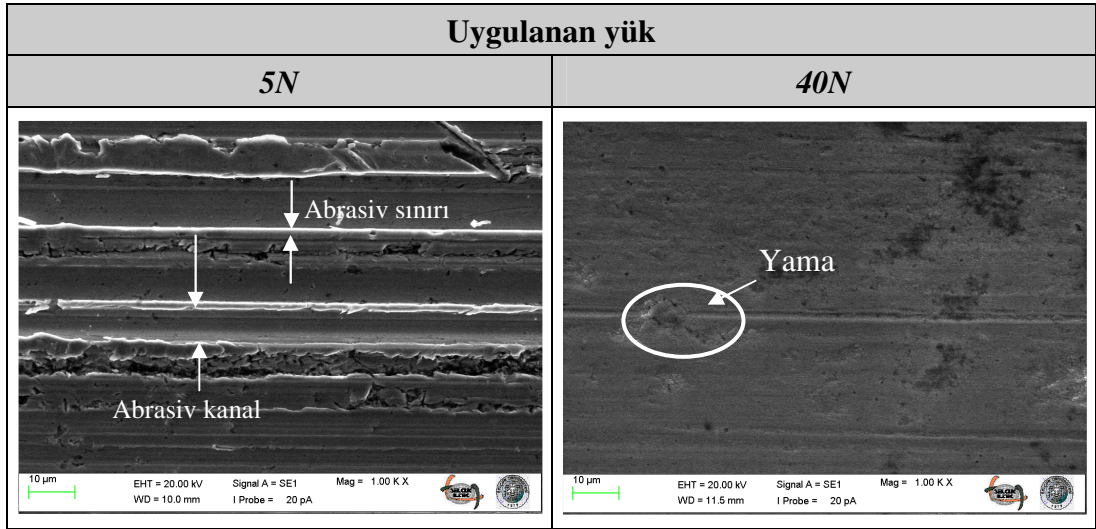
Şekil 7.30. A numunesine ait sert dolgulu aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri.

A numunesinin 5 N ve 40 N yük altında yüzeyleri incelendiğinde 40 N yük altında 5 N’ a göre abrasiv kanallarının oldukça geniş ve derin olduğu görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi 40 N yük altında ortaya çıkan aşınma oranı diğer yüklerle oranla aşırı bir artış göstermiştir.(Şekil 7.26. A) Bunun yanı sıra 40 N yük altındaki SEM görüntüsünde de oluşan abrasiv aşınma çukurları da bunu desteklemektedir. 5 N basma yükünde hafif aşınma mekanizması olan adhesiv aşınma izi ve çok ince oyuklar oluşmuştur. 40 N yükte ise şiddetli aşınma mekanizması olan yüzey çatlaklarının oluşumu ve çatlakların ilerlemesi sonucu gerçekleşen parça kopmalarının belirtisi olan boşluklar ve iri oyuklar meydana gelmiştir.

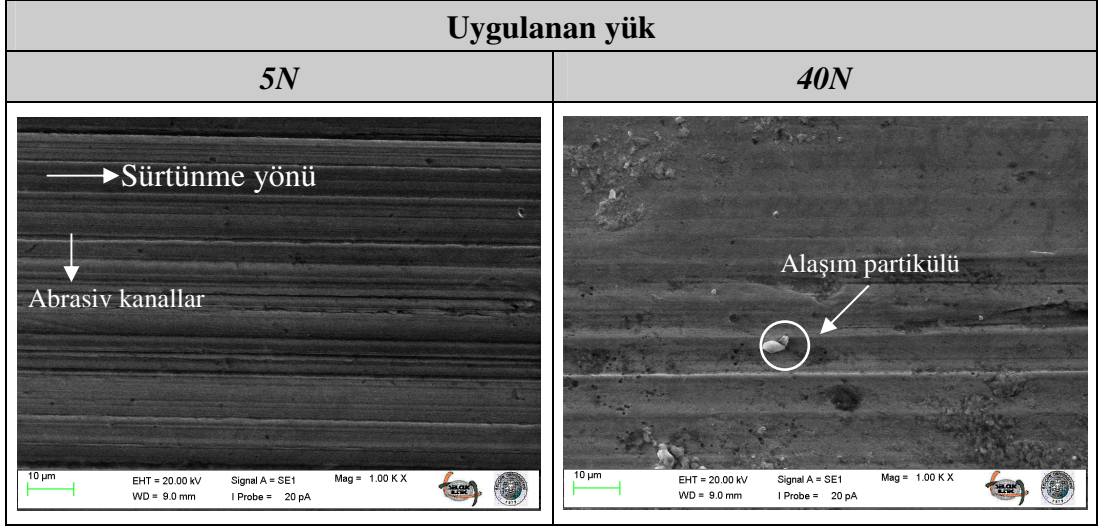


Şekil 7.31. B numunesine ait sert dolgulu aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri.

B numunesinde kaymaya bağlı bir aşınmanın yanı sıra, yer yer farklı derinliklerde abrasiv kanallar görülmektedir. 5 N yük altında 40 N yüke göre abrasif kanallar fazla görülmektedir. Düşük yükte adhesiv aşınma görülmezken, yüksek yükte abrasiv kanalların çevresinde kısmen adhesiv yapışması sonucu yükseltiiler gözükmemektedir.

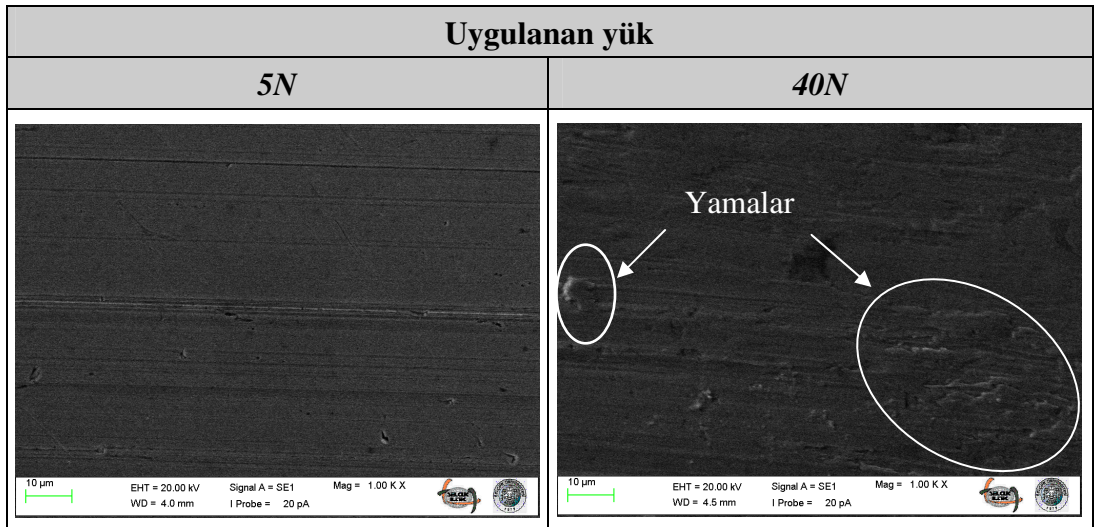


Şekil 7.32. C numunesine ait sert dolgulu aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri.



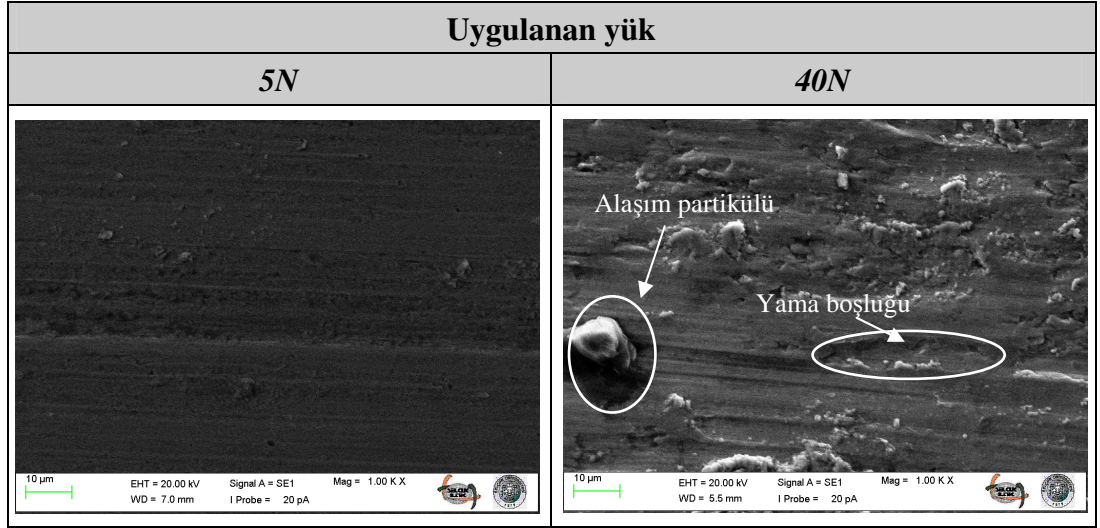
Şekil 7.33. D numunesine ait sert dolgulu aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri.

C ve D numunesinin SEM görüntülerinde 5 N yük altında abrasiv aşınma mekanizması ve abrasif kanallar görülürken, 40 N yük altında abrasiv etki yerini adhesiv mekanizmaya bırakmıştır. C ve D numunelerinin aşınma yüzeyinde bulunan nano asperitler, düşük yük altında koparak yüzeyde abrasiv kanallar oluştururken yüksek yük altında adhesiv yapışmaya sebep olmuştur. Adhesiv aşınma altındaki numuneden kopan parçaların, kayma yönü boyunca taşınarak aşınma bölgesinin sonundaki uç kısımlara doğru metal birikintisine sebep olduğu ve bu birikintilerin meydana gelen ısının da yardımıyla kısmen de olsa yüzeye yapıştığı söylenebilir.



Şekil 7.34. E numunesine ait sert dolgulu aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri.

E numunesinde 5 N yük altında çok ince abrasiv kanalların yanı sıra kaymaya bağlı bir aşınma gözlenirken, 40 N yük altında oluşan abrasiv kanalların yükün etkisiyle kopan parçacıklar tarafından doldurulduğu ve bu sebeple adhesiv yapışma yamalarının yer yer yüzeye gömüldükleri görülmektedir.



Şekil 7.35. F numunesine ait sert dolgulu aşınmış yüzeylerin SEM görüntüleri.

F numunesinde 5 N yük altında küçük aşım partikülleri görülmektedir ve bu partiküller ince abrasiv kanallar oluşturmuştur. Ancak 40 N yük altında kopan bu partiküller görüldüğü gibi dışarı atılmaya fırsat kalmadan numunenin yüzeyine yapışıp adhesiv yamaları meydana getirmiştir. Numune yüzeyinde 40 N yük altında sık sık yapışma aşınmasına rastlanmıştır. Adhesiv aşınma mekanizması gösteren sürtünme malzemelerinin sürtünme katsayısı genelde, diğerlerine göre daha yüksektir. Numunelerin sürtünme katsayısı grafikleri incelendiğinde, en yüksek sürtünme katsayısı değerine sahip numunenin F numunesi olduğu görülmektedir. Bu sonuç F numunesinin Şekil 7.35’de görülen SEM görüntüleriyle doğrulanmaktadır.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Aşınan bir parçanın yenisi ile değiştirilmesi, genellikle ekonomik olmadığından, aşınan kısmın, seçilecek uygun dolgu kaynak yöntemlerinden birisi ile doldurulması sonucu, malzemenin ilk formuna ulaşması, aynı zamanda aşınmalara karşı daha dirençli bir hal alması sağlanır. Ülkemiz endüstrisinde sert dolgu kaynağı, birçok alanda uygulanan bir yöntemdir. Bunlardan bir tanesi de aşınmış doğrultma masterlarının dolgu kaynağı ile yeniden kullanılabilir hale getirilmesidir. Bu çalışmada, aşınmış doğrultma master yüzeyleri, farklı kimyasal bileşimdeki sert dolgu elektrodları ile elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak doldurulmuş ve deneysel çalışmalardan elde edilen verilerin değerlendirilmesi neticesinde aşağıda belirlenen sonuçlar elde edilmiştir.

- Kaynaklı numunelerin, makroskobik, sıvı penetrant ve radyografik test raporları sonuçlarına göre, dolgulu yüzeylerde ve geçiş bölgelerinde herhangi bir kaynak hatasına rastlanmamıştır.
- Kaynak esnasında kullanılan sarf malzemenin kimyasal bileşimindeki farklılıklar ile tampon paso ile kaynak işlemi sırasında meydana gelen seyrelme, elde edilen sert dolgu metalinde farklı mikroyapıların ortaya çıkmasına neden olmuştur.
- Dolgu kaynağı yapılan numunelerin kaynak metalinden ölçülen sertlik değerlerinin, kaynak esnasında kullanılan sert dolgu ilave metalinin bileşimine son derece bağlı olduğu tespit edilmiştir.
- Sert dolgu kaynağı sonrası kaynaklı numuneler üzerinde yapılan sertlik testleri sonucunda, dolgu pasosu en sert numuneler C ve D numuneleri olarak belirlenmiştir.

- Numunelerin ağırlık kaybı ve aşınma hızları incelendiğinde, uygulanan aşınma deney parametrelerine göre; en verimli sert dolgu metalinin C numunesine ait olduğu ve bu durumu; D, B, F, E ve A numunelerinin takip ettiği görülmüştür.
- Aşınma parametrelerinden yük, kayma mesafesi ve aşınma süresi arttıkça aşınma miktarının arttığı, aşınmadaki artışla parça yüzeyinde kopan parçaların birikerek aşınmayı daha da hızlandırdığı belirlenmiştir.
- Sert dolgulu numunelerin yüzey topografyası incelendiğinde aşınan bölgede büyük oranda adhesiv (kayma-yuvarlanma ve yapışma) aşınma ile birlikte, abresiv (kazıma) aşınma etkilerinin de meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Kaynaklı numunelerdeki aşınma direnci oranları değerlendirildiğinde, genel aşınma prensiplerine göre artan kayma mesafesi ve artan basma yükü sonucunda ağırlık kaybının da artış gösterdiği tespit edilmiştir.
- Sert dolgu işleminde kullanılan B, C, D ve E kodlu elektrodların bileşiminde % Cr miktarının diğerlerinden daha fazla olması, kaynak sonrası bu kaynak metali yapılarında, krom karbür oluşumunu desteklediği tespit edilmiştir.
- Aşınma bölgesi SEM fotoğraflarına bakıldığında aşınma yüzeylerinde yoğun bir plastik deformasyon meydana geldiği ve aşınma türünün genellikle adhesiv türde olduğu belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler doğrultusunda, gelecekte bu konuda bilimsel çalışma yapacak olanlara şu önerilerde bulunabilir.

- Bu çalışma sonucu, elde edilen uygulamalı laboratuvar deney sonuçlarının uygulamaya aktarılabilmesi için, aşınma deneylerinin kullanılacak yerde ve çalışma şartlarında yapılmasında fayda görülmektedir. Ayrıca, bu işlem bazı sert dolgu işlemlerinde çalışma sertleşmesi gerekli olduğundan, aşınma deneylerinin servis şartlarında yapılması son derece önemlidir.
- Kaynak işlemlerinde kullanılan paso sayısı arttırılarak, bir sonraki pasonun önceki pasoyu ısıtma işlemiyle daha verimli hale getirmesi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Karataşoğlu, F., “Demiryollarında çalışan monoblok tekerleklerin çalışmaları esnasında aşınan kısımlarının MIG-MAG kaynağı ile değişik elektrod kompozisyonlarında yapılan dolgu kaynağının aşınma özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-34 (1997).
2. Apay, S., “Tozaltı sert dolgu kaynağına bor tozu ilavesinin aşınma özellikleri üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-25 (2007).
3. Korkut, M. H., “Sürtünmeye maruz, metalik disklerin aşınma bölgelerinde dolgu kaynak işleminden sonra aşınma özelliklerinin değişiminin deneysel araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 1-23 (1991).
4. Selçuk, B., “Borlanmış AISI 1020 ve 5115 çeliklerin sürtünme ve aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 3-32 (1994).
5. Yılmaz, F., “Sürtünme ve aşınma”, *9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, 229-247 (1997).
6. Ashby, M. F. and Jones, D. R. H., “Engineering materials 1, 2nd edition”, *Butterworth*, Heineman, 1(1-2): 295-350 (1996).
7. Persson, B. N. J., “Theory of friction”, *The American Physical Society*, 47-71 (1994).
8. Tabor, D., “Friction as a dissipated process. Friction of organic polymers in fundamentals of friction”, *Macroscopic and Microscopic Processes*, 220: 3 (1996).
9. Kayalı, E. S., “Aşınma ve kaplı takımların aşınması”, *Nato-TU PVD Kaplamaları Projesi*, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, 5-18 (1996).
10. Boz, M., “Toz metalurjisi ile üretilmiş bronz esaslı fren balata malzemelerinin sürtünme aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4-38 (1999).
11. Boz, M., “Tribology”, Basılmamış Yüksek Lisans Ders Notları, *Karabük Üniversitesi*, Karabük, 1-36 (2009).

12. Kjeldsteen, P., and Trilk, N., “Wear map production on P/M materials and the definition of transition”, *The Danish for Powder Metallurgy*, Nordborg, Denmark, 50-110 (1995).
13. Trilk, N. C., and Eyre T. S.,”Tribology methodology”, *Brunel University*, Kingston Lane,Uxbridge, U.K., 114-145 (1993).
14. Boz, M., “Seramik takviyeli bronz esaslı toz metal fren balata üretimi ve sürtünme-aşınma özelliklerinin araştırılması”, Doktora tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 14-29 (2003).
15. Çiçek, B., “Mg₂Si Partikül takviyeli Mg alaşımlarının aşınma ve korozyon özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 9-30 (2011).
16. Joseph, H., Tylczak., and Oregon, A., “Abrasive wear”, *ASM*, 181-189, (1992).
17. Eryürek, İ. B., “Hasar analizi”, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, *Birsen Yayın Evi*, İstanbul, 160-164 (1993).
18. Odabaş, D., “Ötöktoid altı çeliklerin kayma sürtünme aşınmasında adhesiv aşınma katsayısının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 1-55 (1987).
19. Gülenç, B., and Kahraman, N., “Wear behaviour of bulldozer rollers welded using a submerged arc welding process”, *Materials and Design*, 24 (7): 537-542 (2003).
20. Çetinkaya, C., “Yüksek kromlu beyaz dökme demir malzemelerin Al₂O₃ ile aşınma davranışlarının incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, Ankara, 6 (3): 559-567 (2003).
21. Çetinkaya, C., “Yüksek kromlu beyaz dökme demir malzemelerin SiC aşındırıcı karşısındaki aşınma davranışlarının incelenmesi”, *Politeknik Dergisi* Ankara, 6 (4): 661-669 (2003).
22. Jeong, D. H., Erb, U., Aust, K. T and Palunbo, G., “The relationship between hardness and abrasive wear resistance of electrodeposited nanocrystalline Ni-P coatings”, *Scripta Materialia*, 8 (48): 1067-1072 (2003).
23. Gülenç, B., Kahraman, N., “Abrasive wear behaviour of powder flame sprayed coatings on steel substrates”, *Materials and Design*, 23 (8): 721-725 (2002).
24. Fındık, F.,“Malzeme seçimi”, *Sakarya Üniversitesi Basım Evi*, Sakarya, 89-105 (1998).
25. Kılınç, Y., “Yağlı sürtünme şartlarında çelik ince zırh yataklarında üretim tekniklerinin aşınmaya etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 3-55 (1993).

26. Tabur, M., “Farklı ısıl işlemlerdeki 8620 sementasyon çeliğinin abrasiv aşınma davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 30-34 (2003).
27. Modi, O. P., Mondal, D. P., Prasad, B. K., Singh, M., and Khaira, H. K., “Abrasive wear behaviour of a high carbon steel: effects of microstructure and experimental parameters and correlation with mechanical properties”, **Materials Science and Engineering A**, 343 (1-2): 235-242 (2003).
28. Şahin, Y., and Murphy, S., “The effect of sliding speed and microstructure on the dry wear, properties of metal-matrix composites”, **An international journal on the science and technology of friction, lubrication and wear**. Birmingham, UK, 98-101 (1998).
29. Oğuz, B., “Aşınma sorunları ve dolgu kaynakları”, **Oerlikon Yayınları**, İstanbul, 88–400 (1993).
30. Buchely, M. F., Gutierrez, J. C., Leon, L. M. and Toro, A., “The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys”, **Wear**, 259 (1-6): 52-61 (2005).
31. Atabey, M., “Sıcak dövme kalıplarında sert dolgu kaynağı uygulaması ile iyileştirmeler”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 37-51 (2006).
32. Cavcar, M., “Demir bazlı sert dolgu malzemelerin metalurjik seçimi”, **Oerlikon Yayınları**, İstanbul, 3-16 (1996).
33. Cavcar, M., “Sert dolgu malzemelerine genel bir bakış–Bölüm 1”, **Oerlikon Yayınları**, İstanbul, 3-9 (1996).
34. Kahraman, N., “Elektrik ark kaynak teknolojisi”, **Basılmamış Ders Notları, Karabük Üniversitesi**, Karabük, 2-18 (2009).
35. Anık, S., ve Tülbentçi, K., “Elektrik ark kaynağı”, Kaynak Teknolojisi I, **Gedik Holding Yayını**, İstanbul, 17-44 (1991).
36. Anık, S., Tülbentçi, K., ve Kaluç, E., “Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı”, **Gedik Holding Yayını**, İstanbul, 35-40, 81-94 (1991).
37. Kahraman, N., “Kaynaklı bağlantılara uygulanan ısıl işlemler ve muayene yöntemleri”, **Yüksek Lisans Ders Notları**, Karabük Üniversitesi, Karabük, 4-27 (2009).
38. Çalık, A., “Dolgu kaynağı yapılmış millerin yorulma ömrünün deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 37-49 (1997).

39. Chatterjee, S., and Pal, T. K., “Wear behaviour of hardfacing deposits on cast iron”, *Wear*, 255 (1-6): 417–425 (2003).
40. Varol, F., “Trenlerde kayma plakalarına uygulanan dolgu kaynağı uygulamalarının mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 58- 101 (2006).
41. Kim C. K., Lee, S., Jung J. Y., and Ahn S., “Effects of complex carbide fraction on high-temperature wear properties of hardfacing alloys reinforced with complex carbides”, *Materials Science and Engineering A*, 349 (1-2): 1-11 (2003).
42. Aydın, M., “Kütahya Seyitömer linyit işletmelerinde kullanılan kepçe dişlerine sert dolgu kaynağı yapılarak aşınmalarının incelenmesi”, Yüksek Lisans tezi, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 68-80 (1996).
43. Wang, X. H., Zou Z. D., Qu S. Y., and Song S. L., “Microstructure and wear properties of Fe-based hardfacing coating reinforced by TiC particles”, *Journal of Materials Processing Technology*, 168 (1): 89–94 (2005).
44. Öz Saraç, U., “Raylı taşıtlarda teker bandajı-ray sisteminde dolgu kaynağı ve sabo parçalarının aşınma ve yorulma davranışlarının incelenmesi”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 118-197 (2005).
45. Reddy, G. M., Mohandas T., and Papukutty K., “Enhancement of ballistic capabilities of soft welds through hardfacing”, *International Journal of Impact Engineering*, 22 (8): 775–791 (1999).
46. Sağbaş, B., “Bakım ve onarım amaçlı dolgu kaynağının plastik enjeksiyon ve seramik kalıpcılığındaki uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 149-152 (2007).
47. Kıratlı, N., “Farklı tip dolgu elektrotları ile dolguları yapılan bor kırıcı çenelerinin aşınma davranışlarının incelenmesi”, *D.P.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 117-126 (2006).
48. Kıratlı, N., “Abrasive wear behaviour of concussor jaws welded using a gas metal arc welding process”, *Industrial Lubrication and Tribology*, 57 (4): 150-154 (2005).
49. Öztürk, A. A., “Motor krank mili muylularına dolgu kaynağı yapılması ve aşınma karakteristiklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 73-77 (2004).
50. Yıldızlı, K., Eroğlu, M., and Karamış M. B., “Microstructure and erosive wear behavior of weld deposits of high manganese electrode”, *Surface and Coatings Technology*, 201 (16-17): 7166-7173 (2007).

51. Boz, M., “Dry sliding wear behaviours of filled welded train rail”, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 29 (1): 105-114 (2007).
52. Gualco, A., Svoboda H. G., Surian S. S., and Vedia L. A., “Effect of welding procedure on wear behaviour of a modified martensitic tool steel hardfacing deposit”, *Materials and Design* 31 (9): 4165-4173 (2010).
53. Karamış, M. B. Yıldızlı, and K. Eroğlu, M., “Erosion behaviour of hardfaced AISI 1020 steel”, *International Conferance on Tribolog.* Parma, Italy, 1-8 (2006).
54. Nedeljković, B., Aleksandrović S., Krstić B., Mutavdžić M., Milosavljević D., and Đorđević M., “Influence of the carbide type on tribological properties of the hard faced layers”, *Association of Metallurgical Engineers of Serbia AMES*, 16 (2): 77-90 (2010).
55. Buytoz, S., Yılmaz, O., “GTA yöntemi kullanılarak FeCrC ve WC kaplanmış sade karbonlu SAE 1020 malzemesinin aşınma davranışının araştırılması”, *Mühendis ve Makine*, 44 (519): 36-40 (2003).
56. Habig, K. H., “Wear behaviour of surface coatings on steels”, *Tribology International*, 22 (2): 65-73 (1989).
57. Angus, H. T., “The significance of hardness”, *Wear*, 54 (1): 33-78 (1979).
58. Yükler, İ., ‘Kaynak Metali’, *Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası*, İstanbul, 12-68 (1994).
59. Khrushchov, M. M., ‘Principle of abrasive wear’, *Wear*, 28 (1): 69-88 (1974).

ÖZGEÇMİŞ

Mehtap Hıdıroğlu 1985'te Bursa'da doğmuştur. İlköğrenimini C. Çağlar İlköğretim okulunda ve lise öğrenimini de M. Kemal Çoşkunöz Anadolu Teknik Lisesi, (Bilgisayar–Yazılım) bölümünde tamamlamıştır.

2005 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Metal Öğretmenliği programına girmiş ve 2009'da iyi derece ile mezun olmuştur. 2009 yılında Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi anabilim dalında yüksek lisans programına başlamıştır. Programın 2009-2010 Eğitim Öğretim yılı bahar dönemi için Erasmus Öğrenci Değişimi Programı kapsamında, Çek Cumhuriyeti'ndeki University of Defence Brno 'da Faculty of Military Technology öğrencisi olmuştur. Mehtap Hıdıroğlu, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans programına halen devam etmektedir.

İLETİŞİM BİLGİLERİ

Adres : Esentepe Mah.
Dinlendi Sok.
No:20
NİLÜFER/BURSA

Tel : 05325279842
E-posta : mehtaphidiroglu@hotmail.com