

ORTA KARBONLU ALAŞIMSIZ BİR ÇELİĞE  
YÜKSEK KROM İÇERİKLİ BİR ELEKTROTLA  
YAPILACAK KAPLAMANIN MİKROYAPI  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Aytekin KARAKAPLAN

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık - 2011

ORTA KARBONLU ALAŞIMSIZ BİR ÇELİĞE YÜKSEK KROM İÇERİKLİ  
BİR ELEKTROTLA YAPILACAK KAPLAMANIN MİKROYAPI  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Aytekin KARAKAPLAN

Dumlupınar Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca  
Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM

Aralık – 2011

**KABUL ve ONAY SAYFASI**

Aytekin KARAKAPLAN' ın Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığı “Orta Karbonlu Alaşımız Bir Çeliğe Yüksek Krom İçerikli Bir Elektrotla Yapılacak Kaplamanın Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

19/12/2011

(Sınav tarihi)

Üye : Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM

Üye : Doç. Dr. Rahmi ÜNAL

Üye : Doç. Dr. Remzi GÖREN

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

# ORTA KARBONLU ALAŞIMSIZ BİR ÇELİĞİN YÜKSEK KROM İÇERİKLİ BİR ELEKTROTLA YAPILACAK KAPLAMANIN MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Aytekin KARAKAPLAN

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2011

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM

## ÖZET

Orta karbonlu alaşımsız AISI 1030 çeliği makine parçaları üretiminde sıkça kullanılan, yeterli mukavemet ve süneklığe sahip çeliklerdendir. Ucuz olan bu çelikten, ısıt işlemlerle çok değerli makine elemanları üretmek mümkündür. Ancak ısıt işlem görmeyen AISI 1030 çeliğinin aşınma ve korozyon dayanımı oldukça düşük ve yetersizdir.

Kullanım ömrünü artırabilmek, korozyon ve özellikle aşınma dayanımını yükseltebilmek için böyle çeliklere; yüzey sertleştirme ya da yüzey kaplama işlemleri uygulamak gerekmektedir.

Yapılan bu deneysel çalışmada; AISI 1030 çelik malzemedan hazırlanmış parçalara, elektrik ark kaynak tekniğiyle krom içerikli bir elektrot kullanılarak, yüzey kaplama işlemi yapılmıştır. Daha sonra SEM ve EDS analiz teknikleriyle, kaplanan malzemelerin mikroyapıları ve bu yapılarla bağlı olarak; sertlik ve aşınma özelliklerinin değişimi deneysel olarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AISI 1030 Çeliği, Abrasiv Aşınma, Adhesiv Aşınma, Elektrik Ark Kaynağı, Kaplama.

**INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURAL CHARACTERISTICS OF A MEDIUM  
CARBON STEEL COATED BY ELECTRIC ARC WELDING METHOD WITH USE  
OF A HIGH CHROMIUM CONTENT ELECTRODE**

Aytekin KARAKAPLAN

Mechanical Engineering, M.S. Thesis, 2011

Thesis Supervisor: Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM

**SUMMARY**

AISI 1030 medium carbon steels which have a sufficient strength and ductility used in the production of machine parts. This steel is cheap and it's possible to produce very valuable machine elements of them with appropriate heat treatment processes.

The wear and corrosion resistance of an unalloyed AISI 1030 steel is very low and insufficient. Increase the useful life and upgrade corrosion and especially its abrasion resistance of such steels, surface hardening or surface coating operations must apply.

In this study; the surfaces of work pieces which prepared from AISI 1030 steel were coated by electric arc welding technique by use an electrode containing chromium. Then, the microstructure, and also hardness and wear properties of these coated materials depending on the occurred structure were investigated experimentally by SEM and EDS analysis techniques.

**Keywords:** AISI 1030 Steel, Abrasive Wear, Adhesive Wear, Coating, Electric Arc Welding.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana yardımcı olan başta danışman hocam, Dumlupınar Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Prof.Dr. M. Mustafa YILDIRIM' a, deneylerin yapımında her türlü imkanı sağlayan ve deney sonuçlarımı yorumlamamda bana yardımcı olan değerli hocalarım, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Öğretim Üyeleri Sayın Yrd.Doç.Dr. Mustafa ULUTAN ve Yrd.Doç.Dr. Osman Nuri ÇELİK'e ve çalışmada emeği geçen herkese ayrı ayrı teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. ELEKTRİK ARK KAYNAĞI .....	3
2.1. Genel .....	3
2.2. Elektrik Ark Kaynağı Avantaj ve Dezavantajları .....	4
2.3. Örtülü Elektrotlar .....	5
2.4. Citodur 600 Elektrotu Uygulama Alanları ve Özellikleri .....	5
2.5. Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti .....	6
2.6. Kaynak Metali Bölgesi .....	7
2.6.1. Ergime bölgesi .....	7
2.6.2. Isının tesiri altında kalan bölge .....	7
3. YÜZEY KAPLAMA İŞLEMLERİ .....	8
3.1. Ergitme Esaslı Kaplama Yöntemleri .....	8
3.1.1. Elektrik ark kaynağı ile yüzey kaplama yöntemi .....	9
4. ALAŞIMSIZ KARBON ÇELİKLERİ .....	11
5. AŞINMA .....	13
5.1. Abrasiv Aşınma .....	14
5.2. Adhesiv Aşınma .....	14
5.3. Aşınma Sisteminde Temel Unsurlar .....	15
5.4. Aşınmayı Etkileyen Faktörler .....	17
5.5. Aşınma Direncine Karbürlerin Etkisi .....	17

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	18
6.1. Numunelerin Hazırlanması İşlemleri .....	18
6.2. Elektrik Ark Kaynağı İle Yüzey Kaplama İşlemlerinin Yapılması .....	19
6.3. Mikroyapı ve Sertlik İncelemeleri .....	21
6.4. Aşınma Deneyleri .....	24
6.4.1. Abrasiv aşınma deneyleri .....	24
6.4.2. Adhesiv (kayma) aşınma deneyleri .....	26
7. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ .....	28
7.1. Spektral Analiz Sonuçları .....	28
7.2. Sertlik Deney Sonuçları İnceleme .....	28
7.3. Metalografik (Mikroyapı) İnceleme Sonuçları ve İrdelenmesi .....	30
7.4. Aşınma Deney Sonuçları İnceleme .....	42
7.4.1. Adhesiv aşınma deney sonuçları inceleme .....	42
7.4.2. Abrasiv aşınma deney sonuçları inceleme .....	50
8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	57
8.1. Sonuçlar .....	57
8.2. Öneriler .....	59
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	60

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. Elektrik ark kaynağının uygulandığının şematik gösterimi .....	4
2.2. AISI 1034 çeliğinin T-T-T diyagramı.....	8
5.1. Bir tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi .....	16
6.1. Kaynak işleminde kullanılacak numunenin boyutları .....	19
6.2. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak Citodur 600 elektrotla kaplanan orta karbonlu alaşımsız AISI 1030 çelik numune .....	20
6.3. Elektrik ark kaynak yöntemiyle Citodur 600 elektrotla kaplanan orta karbonlu alaşımsız AISI 1030 çelik numuneden kesit alınması işlemi .....	20
6.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı .....	22
6.5. Deneysel çalışmada kullanılan cihazlar: a) Görüntü analiz sistemi. b) Hassas terazi. c) Struers Discotom-5 kesme cihazı. d) Sertlik ölçüm cihazı. e) Struers Tegrapol-21 zımpara ve parlatma cihazı. f) Struers bakalite alma cihazı .....	23
6.6. Aşınma testinde kullanılan cihazın elemanlarının gösterilmesi .....	25
6.7. Aşınma testinde numune ve karşı malzemenin yerleştirilmesi .....	25
6.8. Adhesive aşınma deney cihazı CSM Tribometer (numune yerleştirilmiş ve çalışır halde) şematik gösterimi .....	27
7.1. Sertlik ölçüm deneylerinin üst yüzeyden derinliğini gösteren grafik .....	28
7.2. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X100) .....	30
7.3. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X200) .....	31
7.4. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X500) .....	31
7.5. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X50) .....	32
7.6. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X50) .....	32
7.7. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X100) .....	33
7.8. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X200) .....	33
7.9. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X200) .....	34
7.10. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X200) .....	34

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.11. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X200) .....	35
7.12. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X200) .....	35
7.13. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X200) .....	36
7.14. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X500) .....	36
7.15. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X500) .....	37
7.16. İşlemsiz AISI 1030 çeliğinin mikroyapısı ve EDS analizi .....	38
7.17. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin SEM görüntüsü ve EDS analizleri .....	39
7.18. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin SEM görüntüsü ve EDS analizleri .....	40
7.19. Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin SEM görüntüsü ve EDS analizleri .....	41
7.20. Kaplama yapılan ve ana malzeme numunelerinin Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve 100Cr6 küre ile yapılan adhesiv aşınma deneylerinde sürtünme katsayısı değerinin zamana bağlı değişimi...	42
7.21. Kaplama yapılan numunenin-100Cr6 küre ile adhesiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri .....	43
7.22. Ana malzemenin-100Cr6 küre ile yapılan adhesiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri .....	44
7.23. Kaplama yapılan numunenin-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> küre ile yapılan adhesiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri (1000x) .....	46
7.24. Kaplama yapılan numunenin-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> küre ile yapılan adhesiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri (2000x) .....	48
7.25. Ana malzemenin- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> küre ile yapılan adhesiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri .....	49
7.26. Ana malzeme ve kaplama yapılan numunelerin 42 N yükte SiC ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> aşındırıcı karşısındaki ağırlık kayıpları .....	50
7.27. Ana malzeme ve kaplama yapılan numunelerin 42 N yükte SiC aşındırıcı karşısındaki ağırlık kayıpları .....	50
7.28. Ana malzeme ve kaplama yapılan numunelerin 42 N yükte Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> aşındırıcı karşısındaki ağırlık kayıpları .....	51

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
7.29. Kaplama yapılan numunenin- $Al_2O_3$ zımpara kağıdı ile yapılan abrasiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri .....	52
7.30. Ana malzemenin- $Al_2O_3$ zımpara kağıdı ile yapılan abrasiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri .....	53
7.31. Kaplama yapılan numunenin- SiC zımpara kağıdı ile yapılan abrasiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri .....	55
7.32. Ana malzemenin-SiC zımpara kağıdı ile yapılan abrasiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri .....	56

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b><u>Cizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. Örtülü rutil tip elektrotların özellikleri .....	6
5.1. SiC ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> aşındırıcıların mikrosertlikleri ve dayanabildikleri sıcaklık aralıkları .....	14
6.1. AISI 1030 çeliği (ana malzeme) kimyasal analizi.....	18
6.2. Kaplama işleminde kullanılan kaynak parametreleri ve Citodur 600 elektrotun özellikleri .....	20
7.1. Kaplama malzemesi kimyasal analizi .....	28
7.2. Sertlik deney sonuçları üst yüzeyden uzaklık .....	29
7.3. Kaplama bölgesinde ölçülen sertlik değerlerinin istatistik sonuçları .....	30
7.4. Adhesiv aşınma deney sonuçları .....	42

**SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ**

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alüminyum oksit
C	Karbon
Cr	Krom
Fe	Demir
HRc	Rockwell sertlik değeri
HV	Vickers sertlik değeri
I	Akım
mm	Milimetre
N	Newton
Ra	Ortalama pürüz yüksekliği (µm)
Rz	Maksimum pürüz yüksekliği (µm)
SiC	Silisyum karbür
µ	Sürtünme katsayısı
µm	Mikrometre
gr	Gram

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
AISI	Amerikan Demir Ve Çelik Enstitüsü
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
EDS	Enerji dağılımlı spektroskopi
TIG	Gaz tungsten ark kaynağı
SAE	Society for Automotive Engineers

## 1. GİRİŞ

Endüstride makine elemanlarının kullanım dışı kalmasının ve hurdaya ayrılmasının başlıca nedenleri; aşınma, yorulma ve korozyondur. Endüstrileşmiş toplumlarda sürtünme ve aşınmanın kontrol altında tutulması veya azaltılması gittikçe artan bir ihtiyaç durumuna gelmiştir. Çünkü makinenin servis ömrünü uzatmak, çevre kirliliğine yol açmamak, daha etkili makine ve aletler yapmak, gittikçe azalan malzeme kaynaklarını korumak, enerjiden tasarruf etmek ve daha emniyetli alet ve makineler geliştirmek, büyük ölçüde sürtünme ve aşınmanın önlenmesine bağlıdır. Önceleri sadece sıvı veya katı yağlayıcı kullanmakla önlenmeye çalışılan bu probleme aşınma konusunda çalışan araştırmacıların (tribolojistlerin) yaklaşımı, yüzey işlemleri uygulanarak ve yüzeye kaplama yapılarak aşınmanın önlenmesi yönündedir [1].

Sert dolgu kaynağı; konstrüksiyonların çalışması sırasında elemanlarda oluşan çatlakları, kırıkları veya korozyon hasarlarını gidermek üzere birleştirilen veya yerel olarak aşınan kısımların doldurulmasında kullanılan yöntemdir. Az veya çok, küçük veya büyük hasarların meydana gelmesi, üretim sürecinde verim düşüklüğünden başlayıp sistemin devreden çıkmasıyla sonuçlanabilecek olaylar yaratabilir. Bu nedenle hasar sebebiyle ortaya çıkan işletme dışı zamanın mümkün olduğunca kısa tutulması ve tamirattan sonra da sisteme hasardan önceki performansını kazandırıp kullanım süresinin uzatılması, işletmeye önemli ölçüde ekonomi sağlanması demektir [3].

Endüstrideki kullanım alanlarına göre, metalik malzemelerde oluşan korozyon, aşınma ve sürünme gibi mekanik ya da kimyasal olayların zararlı etkilerini azaltıp en alt düzeye indirmek amacı ile bu etkilere maruz alaşımların yüzeylerinin kaplanması gerekmektedir. Çeşitli işlemlerle elde edilen yüzey tabakaları; yüzeyin mekanik özelliklerini geliştirirken, onların kullanılacakları ortama karşı daha dayanıklı olmalarını ve istenmeyen bazı olumsuz etkilerin ortadan kalkmasını sağlarlar. Yüzey kaplamacılığı uygulamaları metallerin sadece mekanik ve kimyasal özelliklerini geliştirmekle kalmaz, çoğu kez aynı zamanda kaplanan malzemelere dekoratif açıdan güzel bir görünüm kazandırır.

Malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla, 1970'li yıllardan beri iyon implantasyonu üzerinde çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalardan önemli ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Söz konusu çalışmalar daha çok çeliklerin sertlik ve aşınma dayanımı (tribolojik performans) gibi yüzey özelliklerinin iyon implantasyonu yoluyla geliştirilebilirliği üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Son 30 yıl içerisinde, iyon-çelik kombinasyonu ile ilgili birçok araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu alanda göze çarpan işlemlerden en önemlileri azot elementiyle, krom ve titanyum elementlerinin implantasyonudur [4, 5].

Yüzeyin mekanik özelliklerinin değiştirilip geliştirilmesinde en basit ve ekonomik yol, yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirmeden yapılan yüzey sertleştirme işlemleridir [6]. Bu yolla; metal yüzeyinin sert ve aşınmaya dayanıklı, iç kısmınınsa yeterli dayanımda ve enerji absorbe edecek şekilde tok olması gerekir. Diğer yandan difüzyon esaslı yöntemlerle, yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirmek de mümkündür. Bu tekniklerde; C, N ve B gibi küçük atom çaplı elementler yüzeye yayılım yolu ile geçirilir [6].

Yukarıda sözü edilen klasik yöntemler dışında; lazer ve plazma yardımıyla yüzey kaplama, plazma nitrüleme, fiziksel ve kimyasal yolla buhar depolama ve metal toz püskürtme yoluyla; yüzeyleri aşınmaya, korozyona ve yorulmaya dayanıklı malzemeler haline getirmek mümkündür [4, 5, 7].

Son yıllarda kullanılmaya başlanan plazma transfer ark (PTA) ve gaz tungsten ark (GTA) yöntemleri, lazer ve termal sprej yöntemleriyle kıyaslandığında; onlara karşı maliyetlerinin düşük olması, kullanım kolaylığı ve yeni bir kullanım alanı olmalarından dolayı tercih edilmektedir. GTA yöntemiyle yapılan yüzey modifikasyonları, bu alanda hızlı katılaşabilen ince taneli mikroyapılara sahip kaplamaların üretilmesine neden olmuştur [8, 9]. Ancak GTA yöntemine alternatif olarak PTA yöntemiyle de yüzey modifikasyonu yapılabilmektedir [10].

Yeni bir yöntem olan PTA yöntemi, GTA yöntemiyle kıyaslandığında; maliyeti ondan daha yüksek bir sistem olmasına karşın, sürekli enerji girdisi, ergime bölgesinde oluşan lokal yüksek ısı, kaplanan numunelerde çarpılmaların görülmemesi ve genellikle otomatik sistemlerle çalışılıyor olması ve bu nedenle insan faktörünü ortadan kaldırması ve oluşabilecek hataları minimuma indirmesinden dolayı tercih edilmektedir [5].

Bu çalışmada sade karbonlu AISI 1030 çeliğinin yüzeyine krom içerikli Citodur 600 kaynak elektrotu kullanılarak elektrik ark kaynağı ile yüzey alaşımlandırma (kaplama) işlemi uygulanmıştır. Çalışmanın amacı; öncelikle kaplanan çelik malzemedeki kaplama işlemi sonrası oluşan mikroyapılarla fazların belirlenmesi, daha sonra da bu mikroyapı ve fazların malzemenin aşınma davranışlarına olan etkilerinin araştırılmasıdır. Numunelere ayrı ayrı adhesiv ve abrasiv aşınma testleri uygulanmıştır.

## 2. ELEKTRİK ARK KAYNAĞI

### 2.1 Genel

Kaynak; birbirinin aynı veya ergime aralıkları birbirine yakın iki veya daha fazla metalik veya termoplastik parçayı ısı, basınç veya her ikisini bir arada kullanarak aynı türden bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmektir, şeklinde tarif edilebilir [11].

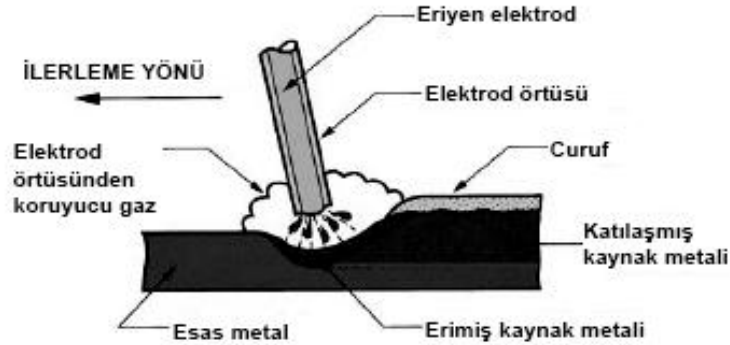
Elektrik ark kaynağının tarihçesine göz atıldığında başlangıçta üç ayrı yöntemin varlığı dikkat çekmektedir. Kaynak teknolojisinde en eski yöntem (1885) Benardos kaynak yöntemidir. Benardos karbon bir elektrot ile iş parçası arasında ark oluşturmuş ve oksijen-asetilen kaynağında olduğu gibi bir tel elektrot kullanarak kaynak yapmayı başarmıştır.

Daha sonraları 1889 yılında Zener, geliştirdiği yöntemde, elektrik arkını iki karbon elektrot arasında oluşturmuş ve iki elektrot arasında bulunan manyetik bir bobin yardımı ile de arkın parçaya doğru üflenmesini sağlamıştır. Bu yöntemde de ayrıca bir kaynak teline gerek vardır.

1889 yılında da Slavianoff bugünkü elektrik ark kaynağının özünü oluşturan yöntemi geliştirmiştir. Slavianoff yönteminde karbon elektrot yerine, çıplak metal bir elektrot ile iş parçası arasında ark oluşturulmakta ve bu arkın oluşturduğu sıcaklıkta, ergiyen elektrot kaynak ağzını doldurmaktadır.

Ancak, bu yöntemlerle elde edilen kaynak dikişleri, havadaki oksijen ve azotun olumsuz etkilerinden korunmadığı için, düşük mekanik özelliklere sahip olmaktadır.

Kaynak banyosunu havanın olumsuz etkilerinden korumak; ancak İsveçli Oscar Kjellberg'in 1904 yılında ilk örtülü elektrotu geliştirmesiyle mümkün olabilmektedir. Bu büyük buluş, kaliteli ve güvenceli kaynak bağlantılarının yapılabilmesine olanak sağladığından Birinci Dünya Savaşı'ndan sonra, kaynak tekniği ilerlemesine katkı sağlamış ve tamir yöntemi olmasının yanında, üretim aracı haline de getirmiştir [12].



**Şekil 2.1** Elektrik ark kaynağının uygulanışının şematik gösterimi [13].

Örtülü elektrot kullanılarak yapılan elektrik ark kaynağında ark, iş parçası ile eriyen elektrot arasında oluşur ve böylece eriyen elektrot kaynak metali haline geçer. Ark ile birlikte elektrot örtüsü de ısıdan dolayı yanarak ergir ve ergime esnasında açığa çıkan gaz, ark bölgesini atmosferden korur. Ergime sırasında oluşan cüruf da kaynak dikişini örterek kaynak metalinin çevre etkilerinden korunmasını sağlar (Şekil 2.1). Diğer yandan elektrotun örtü maddesine katılan alaşım elementleri sayesinde, kaynak dikişini alaşımlandırmak ve istenilen özelliklerde kaynaklı bağlantı elde etmek mümkün olmaktadır [14].

Elektrik ark, TIG ve lazer gibi yüksek enerji yoğunluklu ergitme kaynakları; yüzey sertleştirmede, korozyon ve aşınma direncini yükseltmede kullanılırlar [6, 15].

## 2.2 Elektrik Ark Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

Örtülü elektrot ile ark kaynağı donanımının ucuzluğu, basitliği ve endüstride kullanılan metalik malzemelerin büyük bir bölümüne kolaylıkla uygulanabilirliği nedenleri ile; günümüzde en yaygın biçimde kullanılan kaynak yöntemlerinden birisidir. Üretimin yanı sıra tamir ve bakım işlerinde kırılmış parçaların birleştirilmesi, aşınmış parçaların çeşitli özellikteki kaynak metalleri ile doldurulması işlemlerinde de çok yaygın bir uygulama alanına sahiptir.

Diğer otomatik veya yarı otomatik yöntemlerle kaynatılacak parçaların puntalanma yoluyla tutturulmasında bu yöntem tercih edilir. Bu yöntemin önemli özelliklerinden biri de kaynak yapılacak yere, akım üreticinin taşınmasına gerek olmamasıdır. Uygun çaptaki kablolar yardımı ile kaynak akımı iletilebilmektedir. Bunun yanı sıra uygun elektrot ile her pozisyonda kaynak yapabilmek olanağı özellikle şantiyelerde, montaj işlerinde ve gemi yapım endüstrisinde büyük kolaylık sağlamaktadır. Yerinde inşa edilen sıvı depolama tankları, köprü, çatılar, gökdelen gibi çelik konstrüksiyonların montajında, gemilerde özellikle uygun olmayan

pozisyonlardaki kaynaklarda, boru hatlarının döşenmesinde, basınçlı kaplara bağlantıların kaynatılmasında, özellikle ağır teçhizat endüstrisinde, diğer yöntemler ile ulaşılamayan yerlerde örtülü elektrot ile ark kaynağı yapılması rakipsizdir [13].

Ucuz donanım maliyeti ve her işe uygunluk, elle ark kaynağını çok yaygın hale getirmiştir.

Elektrik ark kaynağının dezavantajları ise aşağıda sıralanmıştır;

1. Örtülü elektrot ark kaynağının metal yığıma hızı ve verimliliği, pek çok ark kaynak yönteminden düşüktür.
2. Elektrotlar belli boylarda kesik çubuklar şeklindedir, bu nedenle her elektrot tükendiğinde kaynağı durdurmak gerekir.
3. Her kaynak pasosu sonrasında kaynak metali üzerinde oluşan cürufu temizlemek gerekir.

### 2.3 Örtülü Elektrotlar

Örtülü elektrot, çekirdek ve örtü olmak üzere iki kısımdan oluşur. Çekirdek, kaynak metalinin oluşmasını ve akımın geçişini sağlar. Örtü tabakası ise, kaynak metalini havanın olumsuz etkilerinden koruyarak alaşım elementleri sayesinde kaynak dikişini alaşımlandırır ve kaynak dikişinin geç soğumasını ve düzenli görünümünü sağlar [16].

Örtünün bileşiminde genellikle bulunan sodyum ve potasyum tuzları, metalik oksitler, karbonatlar vs. gibi maddelerin iyonlaştırıcı etkisi elektrot ucu ile kaynak edilecek parça arasında, yani anotla katot arasında, alternatif akım geçişini hayli kolaylaştırır [17].

Piyasada çeşitli örtü tiplerinde elektrotlar satışa sunulmaktadır. Bunların kimyasal bileşimleri ark kararlılığına, nüfuziyet derinliğine, kaynak malzemesi miktarına ve kaynak banyosu kalitesine etki eder [17, 18].

Son yıllarda geliştirilmiş özel aşınmaya dayanıklı dolgu alaşımları ile aşınan parçaların doldurulmasında örtülü elektrotlar çok geniş bir kullanım alanına sahip olmuşlardır [18].

### 2.4 Citodur 600 Elektrotu Uygulama Alanları ve Özellikleri

Yüksek aşınma direncine ve iyi bir tokluğa sahip kaynak metali veren, kalın örtülü rutil tip bir sert dolgu elektrotudur. Örtülü rutil tip elektrotların özellikleri Çizelge 2.1' de verilmiştir. Darbelere, metal-metal sürtünmesine, orta abrasiv aşınmaya karşı dirençlidir. Yüksek sertlik aranan yerlerde kullanılır. Yüksek sertliğin arandığı yerlerde kullanılır. Kaynak metali 600 °C' ye kadar yeterli sertliğe sahiptir. Kaynak metali gözeneksizdir, çatlak riski oldukça düşüktür ve

ancak taşlanarak işlenebilir. Citodur-600 elektrotuyla üst üste fazla paso çekmek çatlamalara yol açacağından, fazla aşınmış parçaları orijinal duruma getirmede, alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerde “univers” ve yüksek manganlı çeliklerde “citochromax” elektrotlarıyla tampon tabaka çekilerek kaynak işleminin yapılmasını gerektirir. Sert dolgu pasoları ise Citodur-600 ile tamamlanır [19].

Kaynak sonrası 59 HRc olan sertlik, bir veya iki kez temperleme sonrası 60-65 HRc' ye kadar yükseltilebilir. Yüksek sıcaklıklarda aşınmaya maruz sıcak kesme bıçakları, giyotin makasları, basınçlı döküm kalıpları, merdaneler, haddeler, konkasör çekiçlerinde ve kırıcılarında kullanıma uygundur. Hem AC hem de DC' de kaynak yapmak mümkündür [19].

**Çizelge 2.1** Örtülü rutil tip elektrotların özellikleri [9].

ÇEŞİT	AVANTAJI	DEZAVANTAJI	UYGULAMA
Rutil Elektrot	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Düşük maliyet</li> <li>* Kararlı ark</li> <li>* AC ve DC' de kullanım</li> <li>* Güzel görünümlü kaynak dikişleri</li> <li>* Kolay tutuşma</li> <li>* Kolay depolama</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Akışkan kaynak</li> <li>* Zayıf temizleme özelliği</li> <li>* Yüksek hidrojen gazı çıkışı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Yatay kaynak</li> <li>* Düşük karbonlu çeliklerde</li> <li>* Uygun mekanik özelliklerde güzel görünümlü kaynaklar (çatlak oluşma riskli kaynaklar)</li> </ul>

## 2.5 Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Kaynakta çeliğin maruz kaldığı ısının etkisi sonucu, malzemede çoğu zaman devamlı değişimler meydana gelir. Bir çelik, geniş önlemler almayı gerektirmeden ve bu değişimler kaynaklı konstrüksiyonda sakıncalar yaratmadan kaynak edilebiliyorsa, böyle çelikler iyi kaynak kabiliyetli olarak tanımlanır. Buna karşılık normal bir kaynak işlemi malzemede, konstrüksiyondan beklenenleri ciddi tehlikeye sokacak şekilde değişimlere yol açar ya da kaynak işlemi sırasında veya bu işlemde hemen sonra, çatlama ve yırtılma gibi malzeme kusurları meydana getirirse; özel önlemlerin alınmasını veya bazı kaynak öncesi ve/veya bazı kaynak sonrası işlemleri gerektirir. Böyle çeliklere sınırlı kaynak kabiliyetli çelikler denir [20].

Kaynak kabiliyeti yalnız malzemeye ait bir özelliğe değil, aynı zamanda kaynak usulüne ve konstrüksiyona da bağlıdır. Bir metal, bir kaynak usulünde gayet iyi derecede kaynak kabiliyeti göstermesine rağmen, diğer bir usulde çok zayıf bir kaynak kabiliyetine sahip olabilir [20].

## 2.6 Kaynak Metali Bölgesi

Kaynaklı birleştirmelerde, kaynak sırasında ortaya çıkan sıcaklıktan dolayı, esas metalin kaynak metaline sınır bölgesinde ana metalden farklı bir yapı ve özellikte olan bölge meydana gelir. Bu bölgeye kaynak bölgesi adı verilir. Kaynak bölgesi, ergime bölgesi ve ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) olmak üzere iki ayrı bölgeden oluşur [21].

### 2.6.1 Ergime bölgesi

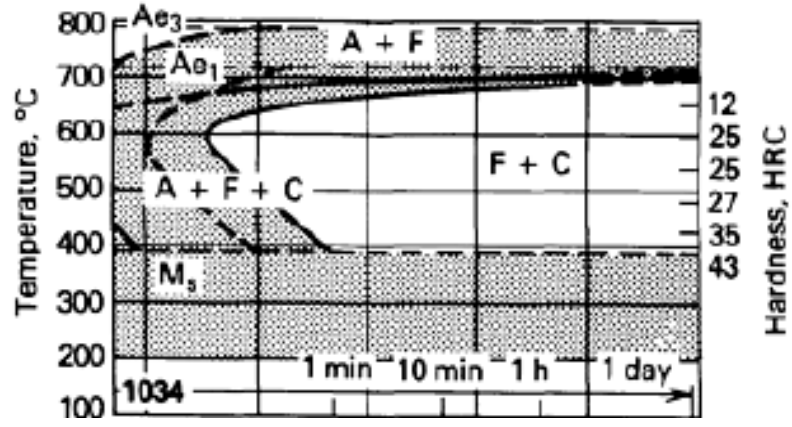
Ergime bölgesi, kaynak sırasında yüksek ısının etkisi ile ergiyen ve daha sonra tekrar katılaştıran bölgedir. Ergime bölgesi, ısının tesiri altında kalan bölgeden ergime çizgisi adı verilen ergimemiş ve ergimemiş kısımlar arasındaki sınırla ayrılır. Bu sınır, bir kaynaklı bağlantıdan çıkartılarak metalografik yöntemlerle parlatılan ve dağlanan kesit üzerinde çıplak gözle dahi kolayca seçilebilir. Kaynak metali, ana metal ve ilave metalin karışımından meydana gelir. Tek pasoda çekilen kaynak dikişlerindeki ergime bölgesinde esas metal ve ilave metal, kaynak havuzundaki şiddetli türbülansın dolayısıyla iyice karışmış olup homojen bir bileşime sahiptir. Buna karşılık çok pasolu kaynaklarda, her pasonun esas metalle karışma oranı farklılık gösterir. Kalın kesitli parçaların çok pasolu kaynak dikişlerinde, dikişin orta kısımlarında esas metale rastlanılmayabilir [22].

### 2.6.2 Isının tesiri altında kalan bölge

Isının tesiri altında kalan bölge; kaynak metali ile esas metalin birleştiği sınırdan başlayarak, kaynak işlemi esnasında sıcaklığın içyapıyı, dolayısıyla esas metalin özelliklerini etkilediği mesafeye kadar devam eder. Çelik malzemelerin kaynağında, bu bölgedeki sıcaklık değerleri 1450 °C ile 700 °C arasında değişmektedir.

Bu bölgede ulaşılan maksimum sıcaklığa bağlı olarak içyapıda çeşitli değişiklikler ve özellikler gösteren bölgeler ortaya çıkar. Metalurjik reaksiyonlar bu bölgelerde meydana gelir. Kaynak bölgesinde sıcaklığın artması ile değişen mikroyapı, mekanik özellikleri etkileyerek çentik darbe ve çekme mukavemetinin azalmasına, sertlik artışına veya çatlak oluşumuna neden olur [23].

Isının tesiri altındaki bölgede oluşan mikroyapı değişikliklerinin, aşağıdaki diyagram kullanılarak hangi yapının hangi sıcaklık aralığında oluşacağı görülür.



Şekil 2.2 AISI 1034 çeliğinin T-T-T diyagramı [34].

### 3. YÜZEY KAPLAMA İŞLEMLERİ

Yüzey kaplama, malzemelerin yüzeylerinde; buhar biriktirme, sol-jel, elektrolitik yöntemler ve çeşitli ergitme işlemleri kullanılarak değişiklikler yapılmasıdır. Kaplama sonrası malzeme yüzeyinde aşınma direnci, sertlik artışı ve korozyon direnci gibi tribolojik olaylara karşı daha dayanıklı bir tabaka elde edilir. Kaplamalar malzeme özelliklerini geliştirmek amacıyla yapılır. Kaplama yöntemleri diğer yüzey işlemlerinin malzemelerin özelliklerini geliştirmede yetersiz kalmaları nedeniyle geliştirilmiştir. Kaplama yöntemleri ile elde edilen yüzeyler aşınma direncine daha dayanıklı bir yüzey sağlarken aynı anda diğer mühendislik özelliklerine de büyük oranda etki edebilmektedir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

1. Buhar fazı yöntemleri,
2. Sol-jel yöntemi,
3. Kaplama ve anodik oksidasyon yöntemleri (elektrolitik kaplama),
4. Ergitme esaslı kaplama yöntemleridir [24, 25].

#### 3.1 Ergitme Esaslı Kaplama Yöntemleri

Kaynak, yukarıda da belirtildiği gibi, aynı veya benzer türden iki malzemeyi ısı, basınç veya her ikisini birden kullanmak suretiyle, ilave bir malzeme katarak veya katmadan yapılan birleştirme işlemidir ve özelliği itibarı ile bölgesel bir döküm işlemi olarak da düşünülebilir.

Bir iş parçasının genel olarak dış yüzeyinin sert ve iç kısmının ise yeterince mukavemetli ve sünek bir yapıda olması istenir. Böylece dış tabakanın aşınma ve korozyon gibi etkilere dayanıklı olması sağlanırken, parçanın iç kısmı gelen yüklere karşı mukavemetli olmaktadır. Malzeme yüzeyinde böyle bir tabakanın elde edilmesi için pek çok yüzey sertleştirme yöntemi geliştirilmiştir [6, 26]. Yukarıda sıralanan bu amaç için kullanılan yöntemlerden çoğu, istenen özelliklere uygun kaplama yapılmasına imkan vermemektedir. Bu yöntemlerle oluşan yüzey tabakaları bazen çok ince olmakta ve aşırı sertlikleri nedeniyle çalışma şartlarında gelen darbelere, çarpma ve vurma etkilerine karşı dayanıksızlık göstermektedir. Diğer yandan yöntemlerden bazılarının ilk yatırım veya uygulama maliyetleri oldukça yüksektir. Bazı yöntemlerin büyük boyutlu parçalar için yetersiz kalmaları da ayrı bir dezavantaj oluşturabilir. Kaplamaların yapılmasında en önemli etkenler, ısı kaynağı ve kaplama malzemesi olarak düşünülebilir. Bu nedenle geleneksel olarak kullanılan kaynak yöntemlerinin kaplama işleminde bir ısı kaynağı olarak kullanılması, ilave metal ve alaşımlarla malzeme yüzeyinin kaplanması fikri ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerle malzeme yüzeyine ilave

sert tabakalar yapılabilmekte, mevcut yüzey değiştirilerek özellikleri geliştirilmekte ve aşınmış bir bölgenin tamiri yapılırken daha da güçlendirilmesi söz konusu olabilmektedir. Malzeme yüzeyinde bu şekilde ilaveler yapılması için klasik kaynak tekniklerinden olan elektrik ark; modern kaynak tekniklerinden de tozaltı, gazaltı ve plazma ark kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. İlk yatırım maliyetleri ve uygulamaları pahalı olmasına karşın, lazer ışını ve elektron ışını kaynak teknikleri de kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle uygulanan kaplamalarda genel olarak malzemede bozulma ve çarpılmalar, yüzey hassasiyetlerinin düzeltilmesi için talaşlı imalat ihtiyacının oluşması gibi dezavantajlar mevcuttur. Her şeye rağmen bu yöntemlerle diğer ergitme yöntemlerine göre daha kullanışlı mikroyapı ve mekanik özelliklere sahip bir kaplama tabakası (aşınma, korozyon ve erozyon direnci gösteren bir kompozit yapılı tabaka) oluşturulabilmektedir. Bu alanlarda birçok başka çalışmalar da yapılmış olup, bu yöntemlerin yüzey modifikasyonunda verimli olduğu ve başarılı bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür [26].

Elektrik ark kaynak yönteminin kullanılmasıyla oluşturulan kaplama yüzeyi; diğer gaz tungsten ark kaynağı (GTAW) ve tozaltı kaynak yöntemlerine göre seramik matris karışımı şeklinde, aşınmaya dirençli, sertliği yüksek ve mikroyapısı daha ince taneli olmaktadır [2, 5].

Ergitme esaslı kaplama yöntemleri lazerle yüzey kaplama, elektron ışını ile kaplama, tozaltı kaynağı ile kaplama, plazma transferli ark kaynağı ile kaplama, gaz tungsten ark (GTA veya TIG) kaynağı ile kaplama ve elektrik ark kaynağı ile kaplama olmak üzere altı farklı şekilde yapılmaktadır.

### **3.1.1 Elektrik ark ile yüzey kaplama yöntemi**

Tamir ve yenileme açısından en uygun kaynak yöntemi konusunda evrensel bir yanıt bulmak mümkün değildir. Bu nedenle avantaj ve sakıncalar, her özel durum için farklılıklar arz eder. Kaynak teknolojisine ek olarak, kaplama metallerinin özellikleri, mekanizasyon ihtiyacı vb. faktörler de rol oynar. Genel olarak bakıldığında kaynakla kaplama işlemi, makine parçalarının ömrünü önemli ölçüde artırma imkanı vermektedir.

Aşınan makine parçalarının aşınmadan önceki ölçülerine getirilmesi için tek sıra veya üst üste bindirerek kaynak dikişi çekilmesine dolgu kaynağı adı verilir [18].

Yapılacak dolgular çeliğin ya da demir dışı metallerin bileşimindeki birbirinden farklı alaşım elemanlarının birbiriyle homojen olarak karışması açısından güçlükler çıkarmaktadır. Yine de doğru elektrot ve doğru dolgu metali seçilmesi durumunda mükemmel özellikli dolgular elde edilebilmektedir [27].

Yüzey dolgu kaynağı, parçaların aşınan yüzeylerini onarmak veya yeni bir özelliğe kavuşturmak için yapılır. Yüzey dolgu kaynağında dikiş sıralarının ve dikiş tırtıllarının düzgün olması gereklidir. Dolgu kaynağında amacına uygun elektrot seçimi önemlidir. Elektrot seçimi doğru yapılmadığı takdirde yapılan dolgu amacına ulaşmaz [28].

Makine elemanları; miller, dişli çarklar, ziraat aletlerinin toprakla temas eden yüzeyleri, toprak hafriyat makinelerinin ağızları, makas bıçakları, değirmen kırıcıları ve sürtünerek çalışan diskler, sert yüzeylerden meydana gelirler. Bu yüzeyler sürekli aşınma ile karşı karşıya kalan şartlarda çalışır ve zamanla aşınır. Aşınan kırılan ve çatlayan bu elemanları yeniden almak veya yaptırmak bazen mümkün olmadığı gibi ekonomik de olmaz. Bu nedenle dolgu kaynağı yapılarak tamir edilir [28].

Dönerek çalışan ve zamanla aşınan disk ve mil yüzeyleri, dolgu kaynağı ile onarılabilir. Kaynakla doldurulan yüzeyler işlenip temizlenerek, yeniden kullanımı sağlanır. Kırılan ve aşınan dişliler, toprak hafriyat makinelerinin ağızları her zaman dolgu kaynağı ile onarılabilir [18, 28].

#### 4. ALAŞIMSIZ KARBON ÇELİKLERİ

Metaller ve alaşımlar faydalı birçok mühendislik özelliğine sahip olduklarından mühendislik tasarımlarında yaygın bir uygulama alanı bulur. Özellikle iyi dayanım, tokluk ve süneklik, nispeten düşük maliyet gibi özellikleri bir arada bulundurdıkları için demir asıllı alaşımlar (çoğunlukla çelikler) dünya metal üretiminin yüzde doksanını oluşturur. Her bir metal, mühendislik tasarımlarında yararlanılabilecek farklı bir özelliğe sahiptir ve maliyetleri de göz önüne alınarak diğer metal ve malzemelerle birlikte kullanılır.

% 0,03 gibi çok düşük miktarlardan yaklaşık % 1,2'ye kadar karbon ve % 0,25'ten % 1,00'e kadar mangan ve önemsiz miktarlarda diğer bazı elementleri (silisyum, fosfor, kükürt ve diğer bazı katışkılar) içeren demir-karbon alaşımlarına alaşımsız karbon çeliği denir.

Alaşımsız karbon çelikleri ABD standartlarında "plain-carbon steels" diye geçer, yaygın olarak dört rakamlı AISI-SAE (AISI, American Iron and Steel Institute'un, SAE ise Society for Automotive Engineers'in kısaltılmışıdır.) işaretiyle tanımlanır. İlk iki rakam 10'dur ve çeliğin alaşımsız karbon çeliği olduğunu gösterir. Son iki rakam çeliğin yüzde olarak anma karbon miktarını vermektedir. Örneğin, çeliğin AISI-SAE sayısının 1030 olması, çeliğin alaşımsız karbon çeliği olduğunu ve anma % 0,30 karbonu bulunduğunu göstermektedir. Bütün alaşımsız karbon çelikleri dayanımı artırmak için alaşım elementi olarak mangan içerir. Alaşımsız karbon çeliklerinin çoğunda mangan miktarı % 0,30 ile 0,95 arasında değişir. Alaşımsız karbon çelikleri kirletici olarak kükürt, fosfor, silisyum ve diğer bazı elementlerde içerebilir.

Çok düşük karbonlu alaşımsız karbon çelikleri, nispeten düşük dayanıma fakat yüksek sünekliğe sahiptir. Bu çelikler otomobil kaportasında olduğu gibi şekil verilen sac ve şerit malzeme olarak kullanılır. Alaşımsız karbon çeliğinin karbonu arttıkça çelikler daha dayanımlı fakat daha az sünek olmaktadır. Orta karbonlu çelikler (AISI 1020-1040) miller ve dişliler için kullanılır. Yüksek karbonlu çelikler (AISI 1060- 1095) yaylarda, dövme kalıplarında, bıçak ve makasların kesici ağızlarında kullanılırlar [1].

Ham demirin içerisinde bulunan %4 ağırlıktaki karbonun çeşitli yöntemlerle %2'nin altına düşürülmesiyle çelikler elde edilir. Çelikler içerisinde % 0.1 < C < % 2 oranında karbon içerirler. Çelikler içerisindeki karbon bileşimine göre farklı özellikler gösterirler. Az karbonlu çelikler genel amaçlar için kullanılan en ucuz çelik türüdür. Sünekliği yüksektir, kolay işlenir ve su verme ile sertleşmez. Orta karbonlu çelikler genellikle daha yüksek mukavemetli olup su verme ile sertleşebilirler. Yüksek karbonlu çelikler çok sert olup işlenmesi zordur. Genellikle takım ve kalıp üretimine elverişlidir. Çeliğin bünyesinde karbonun haricinde çeşitli alaşım

elementlerinden belirli oranlarda katarak daha yüksek dayanımlara, sıcağa, soğuğa ve korozyona daha dayanıklı yapılar elde edilebilir. Örneğin belirli bir karbon bileşiminde çelik göz önüne alındığında katılan alaşım elementlerinden kromun çeliğe sertlik, nikel ve manganezin ise tokluk kazandırdığı bilinmektedir [3].

Alaşım elementleri çeliğin farklı bir iç yapıya ulaşmasını sağlayarak pratikte istenilen çekme mukavemeti, akma sınırı, çentik darbe sünekliği, gibi mekanik özellikler ile kaynak edilebilme kabiliyeti, sertleşme kabiliyeti gibi işlenebilme özelliklerinin iyileştirilmesinde etkili olur [3].

Alaşımli çelikler, sade karbonlu çeliklere alaşım elemanlarının ilavesi ile elde edilen çeliklerdir. Alaşımli çeliklerin üretilmesiyle, sade karbonlu çeliklerde bulunan bazı dezavantajlar azaltılarak, çeliğin kullanım alanı genişletilmiştir. Çeliklere alaşım elemanı ilavesinin yararları şöyle sıralanabilir:

- Kalın kesitli parçaları derinliğine sertleştirilme olanağı sağlar.
- Sade karbonlu çeliklerde tüm kesit boyunca martenzitik bir yapı elde etmek için çeliklerin çok hızlı soğutulması gerekmektedir. Bu durum çarpılma ve çatlama riskini artırmaktadır. Halbuki alaşımli çeliklerde, yağda hatta havada yapılan soğutmalarla bile kolaylıkla martenzitik yapı elde edilebilmektedir.
- Alaşımlama ile bazı çeliklerin darbe dayanımları önemli ölçüde yükseltilebilir.
- Sade karbonlu çeliklerin korozyon direnci oldukça zayıftır. Yüksek sıcaklıklarda kolayca oksitlenir ve yüksek sıcaklık korozyonuna maruz kalırlar. Alaşımlama yolu ile çeliklerde korozyon dayanımı büyük oranda artırılır.
- Alaşımli çeliklerde yüksek gerilme ve süneklik değerleri korunurken, temperlemede daha yüksek temperleme sıcaklıklarının kullanılmasına olanak sağlanır.
- Alaşımli çelikler, hem düşük ve hem de yüksek sıcaklıklarda çalışma durumlarında, büyük ölçüde mekanik özelliklerini korurlar.
- Alaşımli çeliklerin abrasiv aşınma direnci ve yorulma davranışı, bazı alaşım elemanlarının katkısıyla büyük oranda artma gösterir. Alaşımli çelikler; alaşımsız çeliklerle elde edilemeyen, yüksek sertlik ve mukavemetin bir arada istendiği durumlarda kullanılmaktadır. Bu nedenle alaşımsız çeliklere; nikel, krom, molibden, mangan, silisyum, volfram, vanadyum ve bazen de kobalt, bakır ve kurşun alaşım elementleri eklenerek alaşımli çelikler üretilir [10].

## 5. AŞINMA

Genel anlamda aşınma, katı yüzeylerden mekanik yolla istenmeyen bir şekilde malzeme kaybının ortaya çıkması olayıdır. Üretilmiş parçaların değiştirilmesine neden olan kusurların başında gelmektedir. Aşınmaya harcanan maliyet, tamir ve değiştirme sürelerinin yol açtığı kayıpların tüm ülkeler için ne kadar büyük olacağı kolaylıkla anlaşılabilir [29].

Bir yüzey başka bir yüzey üzerinde hareket ettiğinde oluşacak olan aşınma, genelde gittikçe artan malzeme kaybı şeklinde, bir yüzeyde veya her iki yüzeyde hasar meydana getirecektir. Pek çok durum için aşınma; hareketli parçalar arasındaki açıklığın artmasına, istenmeyen hareket serbestliğine, hassasiyet kaybına, sıklıkla titreşime, artan mekanik yüklenmeye ve en sonunda daha hızlı aşınmaya ve bazen de yorulma kırılmasına neden olduğundan istenmeyen bir durumdur [1, 29].

En genel anlamı ile aşınma, mekanik etkenler sonucu yüzeyden arzu edilmeyen bir şekilde malzemenin akışıdır, şeklinde tanımlanabilir. Mekanik etkenlerden başka kimyasal ve elektro kimyasal yani korozyon etkenler de malzeme akışına neden olabilmektedirler. Mühendislik malzemelerinde meydana gelen yıpranma olayının aşınma olarak adlandırılabilmesi için şu gerek ve yeter şartları sağlaması zorunludur [1, 25].

- 1- Mekanik bir etkinin olması,
- 2- İzafi hareket ve sürtünmenin olması,
- 3- Yavaş fakat sürekli olması,
- 4- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
- 5-İstenilmediği halde (isteğimiz dışında) meydana gelmesidir.

DIN 50320 ve ASTM G4093 standartlarına göre aşınma, “kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması sonucu mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılmasıyla meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması” şeklinde tanımlanmaktadır [25].

Genel olarak aşınma; yataklarda, pistonlarda, supaplarda, disklerde, kesici uç ve ağızlarında, dişlilerde, kırma ve öğütme değirmenlerinde; yol, toprak ve ziraat makinelerinde, türbin kanatlarında, maden cevheri üretim cihazlarında vb. tüm karşılıklı sürtünmeli çalışan elemanların bulunduğu yerlerde meydana gelmektedir [25].

Alüminyum oksit ( $Al_2O_3$  aşındırıcı taneleri) sert ve köşelidirler. Silisyum karbür (SiC) aşındırıcı taneleri ise daha sert ve köşeli olmalarına karşın, alüminyum oksit aşındırıcılara göre

kırıldıkları(Çizelge 5.1). Yüksek sıcaklıklarda bazı alümina ve silisyum karbür aşındırıcıların sürtünme katsayıları incelenmiş, sonuçta silisyum karbürün sürtünme katsayısının sıcaklığın yükselmesiyle azaldığı tespit edilmiştir [27].

**Çizelge 5.1** SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aşındırıcıların mikrosertlikleri ve dayanabildikleri sıcaklık aralıkları.

Aşındırıcı cinsi	Mikrosertlik HV [kg/mm <sup>2</sup> ]	Dayanabildiği sıcaklık aralığı [°C]
Silisyum karbür SiC	2300–2600	1300–1400
Alüminyum oksit Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2000–2300	1700–1800

### 5.1 Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma, tüm aşınma türleri içerisinde maliyetin yaklaşık % 63'ünü oluşturur. Abrasiv aşınma, sert partiküllerinin veya sert çıkıntılarının katı bir yüzey boyunca hareket etmesi ve karşı koymasından dolayı oluşur [2, 25].

Aşındırıcı sert partiküller ya abrasiv aşınmaya ya da erozif aşınmaya neden olurlar. Endüstriyel uygulamalarda en sık karşılaşılan mekanik hasarlara genelde abrasiv aşınmalar sebep olmaktadır. Bu tip aşınma; toprak kazıma aletlerinde, madencilik uygulamalarında, minerallerin işlenmesinde, tarım aletlerinde ve diğer pek çok uygulamalarda oluşmaktadır [1].

Genel olarak bir metal yüzeyin abrasiv aşınması o yüzeyin aşındırıcı sert partiküllerle veya kendisinden daha sert pürüzlü bir karşı metal yüzeyle bir yük etkisi altında ve birbirlerine göre zıt yönlerde yüzey boyunca kayma temasında bulunmaları halinde yüzeyinden malzeme parçacıklarının kaldırılması veya yer değiştirmesi şeklinde tanımlanır [1, 25].

Makine parçalarında çeşitli hasarlara yol açan; üretimin durması, iş kalitesinin düşmesi, büyük miktarlarda bakım-onarım, parça değiştirme ve işçilik masraflarına neden olan abrasiv aşınmayla; aşınma dirençli malzemeler veya kaplamalar kullanarak, tasarım değişikliği yaparak, sisteme istenmeyen sert partiküllerin girmesinin sızdırmazlık elemanları ile önleyerek ve sistemdeki hava ve yağlayıcıların filtreden geçirerek mücadele etmek mümkündür [1].

### 5.2 Adhesiv Aşınma

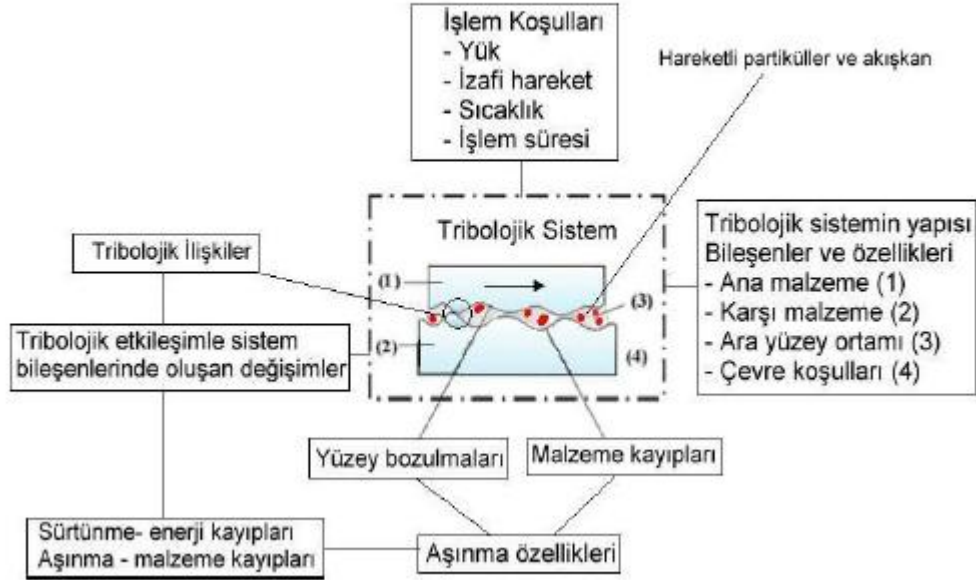
Adhesiv aşınma, moleküler kuvvetlerin etkisi altındaki temas yüzeylerinde oluşan bölgesel kaynak bağlarının kırılması sonucuyla oluşan malzeme kaybıdır [1].

Metal malzemenin kendi ağırlığından veya herhangi bir dış kuvvet etkisiyle çok küçük olan pürüz tepeciklerine gelecek olan basınç veya gerçek gerilme, geometrik temas yüzeyine göre hesaplanan ortalama gerilmelere göre çok büyük olacaktır. Bunun sonucunda temas noktalarında malzemenin akma sınırı aşılabacak, yani bu kuvveti taşıyamayan pürüzler plastik deformasyona uğrayacaklardır. Yüzeyde absorbe edilmiş olan sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları bu basınç altında parçalanır ve malzemelerin moleküllerinin direkt temas haline geçmelerine imkân verilmiş olunur. Böylelikle soğuk kaynama denilen bölgesel kaynak bağları meydana gelir. Bu sırada eğer izafi hareket de varsa yüzeydeki sıcaklık yükselir hatta ergime noktasına kadar çıkabilir ve böylece kaynama yerinden veya metal yüzeyinden bir miktar parçacık kopar. Bu metalik parçacıklar, ara yüzeyde serbest halde kalabilecekleri gibi metallere birisine de bağlanabilirler. Her iki durumda da malzeme kaybı yani aşınma meydana gelmekte, ikinci durumda malzemelerin birinden diğerine malzeme transferi söz konusu olabilmektedir [1].

Özellikle birbiriyle kayma sürtünmesi yapan, metal-metal aşınma çiftinde meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucudur. Birbiriyle temasta bulunan benzer kafes yapılı iki metalik yüzey arasında adhezyon kuvveti dediğimiz bir çekim söz konusudur. Bu kuvvetin meydana gelebilmesi için malzemelerin moleküllerinin birbirine çok yaklaşması gerekir. Temas halindeki iki metal, zaten birbiriyle yüzeylerindeki pürüzler vasıtasıyla etkileşirler. Malzeme ağırlığından veya bir dış kuvvet etkisiyle, çok küçük olan pürüz tepelerine gelecek olan basınç veya gerilme çok büyük olur. Bu kuvveti taşıyamayan pürüzler plastik deformasyona uğrarlar. Eğer malzemenin deforme olma kabiliyeti yüksekse, mikro adhezyon alanları şiddetle temas yüzeyine tamamen yayılır. Böylece yüzeyde emilmiş bulunan sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanır.

### **5.3 Aşınma Sisteminde Temel Unsurlar**

Bir aşınma sisteminde temel elemanlar; ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük (temas kuvveti), izafi hareket ve çevredir. Bütün bu elemanların oluşturduğu sistem, teknikte “tribolojik sistem” olarak adlandırılır. Bir tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi Şekil 5.1.’de görülmektedir.



**Şekil 5.1** Bir tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi [30].

a) Ana Malzeme (Aşınan): Fiziksel ve kimyasal özellikleri, yüzey yapısı, şekil durumu tamamen belirli olan ve aşınma özelliği incelenen katı cisim şeklinde tanımlanabilir.

b) Karşı Malzeme (Aşındıran): Aşınmanın oluşumunda başlıca öneme sahip olan karşı sürtünme elemanı, katı bir cisim, sıvı veya gaz olabilir. Bu eleman temel sürtünme elemanı ile birlikte bir aşınma çiftini oluşturmaktadır.

c) Ara Malzeme: Esas sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasında katı, sıvı, gaz, buhar yada bunların karışımı şeklinde bulunan maddedir. Örneğin bu ara maddeyi, yüzeyler arasında herhangi bir nedenle girmiş kum taneleri oluşturabileceği gibi, aşınma esnasında kopan parçacıklar da ara madde görevini üstlenebilir.

d) Yük: Etki eden kuvvetin büyüklüğü, turu (statik, dinamik, darbeli veya titreşimli olup olmadığı), doğrultusu ve zamana göre değişimi yüklemenin şiddetini belirleyen etmenleri oluşturur.

e) İzafi Hareket: Temel sürtünme elemanının karşı sürtünme elemanına göre izafi hareketinin cinsi (kayma yuvarlanma veya çarpma etkilerinden hangisinin ağırlıkta olduğu), büyüklüğü ve doğrultusu ile belirlenir.

f) Çevre: Sistemi içine alan ve genellikle sıvı veya gaz halinde bulunan ortamdır. Su, hava ve gazlar teknikte en sık rastlanılan çevre ortamlarıdır [29, 30].

#### **5.4 Aşınmayı Etkileyen Faktörler**

Aşınmayı etkileyen faktörler birçok farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu faktörler, aşağıda dört grup halinde verilmiştir.

1- Ana malzemeye bağlı faktörler:

Malzemenin kristal yapısı, sertliği, elastisite (Young) modülü, deformasyon davranışı, yüzey pürüzlüğü ve malzemenin boyutu ana malzemeye bağlı faktörlerdir.

2- Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi: Ana malzemede belirtilen faktörlerle aynı faktörlerdir.

3- Ortamın etkisi:

Sıcaklık, nem ve atmosfer aşınmayı etkiler.

4- Çalışma koşulları:

Basınç, hız ve kayma yolu aşınmada etkilidir.

#### **5.5 Aşınma Direncine Karbürlerin Etkisi**

Alaşımın mikro yapılarında bulunan karbürler alaşımın aşınma direncini arttırmada önemli bir rol oynamaktadırlar [31]. Mikro yapıda bulunan karbür miktarının artması ve karbürlerin irileşmesi abrasiv aşınma direncini arttırmaktadır. Matris/karbür ara yüzeyinin mukavemeti, karbürler arası mesafe ve abrasiv aşındırıcı ile farklı sertlikteki karbürlerin varlığı da alaşımların abrasiv aşınma direncini etkilemektedir. Karbürlerin çok küçük ve sık dağılımı malzemenin sertliğini artırarak aşınma hızını azaltabilir. Aşındırıcı parçacıkların karbürlerden daha sert olması, aşınma esnasında karbürlerin kesilmesine ve çatlamasına neden olabilir. Bu durumda aşınma direncinde bir azalma görülür.

## 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

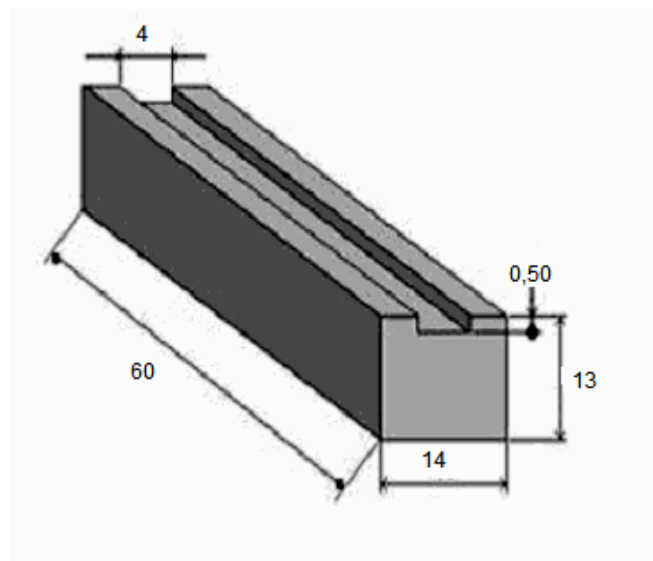
Bu çalışmada AISI 1030 çeliğinin yüzeyine krom içerikli bir elektrot olan Citodur 600 kullanılarak elektrik ark kaynağı teknikleriyle yüzey kaplama işlemi yapılmıştır. Çalışmanın amacı; öncelikle kaplanan çelik malzemede oluşan mikroyapılarla fazların belirlenmesi, daha sonra bu mikroyapı ve fazların malzemenin aşınma davranışına olan etkilerinin araştırılmasıdır.

AISI 1030 çeliğinden hazırlanan numunelere aşağıdaki sıraya göre belirtilen işlemler uygulanmıştır. Bunlar;

1. Numunenin hazırlanması işlemleri,
2. Elektrik ark kaynağı ile yüzey kaplama işlemi,
3. Mikroyapı incelemeleri, sertlik ölçüm deneyleri, taramalı elektron mikroskobu ile SEM, EDS analizleri yapılması,
4. Aşınma deneylerinin yapılması,
5. Aşınma deneyleri sonrasında yüzeylere SEM ve EDS analizleri uygulanmasıdır.

### 6.1 Numunelerin Hazırlanması İşlemleri

Numuneler, AISI 1030 çeliğinden 14x13x60 mm boyutlarında dikdörtgenler prizması şeklinde kesilerek oluşturulmuştur. Daha sonra numunelerin üzerine 4 mm genişliğinde ve 0,5 mm derinliğinde bir kanal açılmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Kaynak işleminde kullanılacak numunenin boyutları.

## 6.2 Elektrik Ark Kaynağı İle Yüzey Kaplama İşlemlerinin Yapılması

14 mm kalınlık ve 60x13 mm ebatlara sahip AISI 1030 çelik numunelerin yüzeyine Citodur 600 elektrotla tek paso halinde kaplama amaçlı kaynak çekilmiştir (Şekil 6.2).

Çizelge 6.1.'de kullanılan çeliğin kimyasal analizi verilmiştir. Kaplama öncesinde çelik malzemenin yüzeyleri kir ve pas gibi yüzeydeki zararlı atıklardan temizlenmiştir.

**Çizelge 6.1** AISI 1030 çeliğinin (ana malzemenin) kimyasal analizi.

Element Adı	Yüzdesi (%) ağırlık)	Element Adı	Yüzdesi (%) ağırlık)
Karbon (C)	0,301	Kobalt (Co)	0,006
Silisyum (Si)	0,209	Bakır (Cu)	0,236
Manganez (Mn)	0,564	Kalay (Sn)	0,002
Fosfor (P)	0,030	Alüminyum (Al)	0,001
Kükürt (S)	0,027	Titanyum (Ti)	0,002
Krom (Cr)	0,120	Kurşun (Pb)	0,019
Nikel (Ni)	0,120	Çinko (Zn)	0,001
Molibden (Mo)	0,027	Seryum (Ce)	0,002
Vanadyum (V)	0,010	Demir (Fe)	98,3
Volfram (W)	0,006		

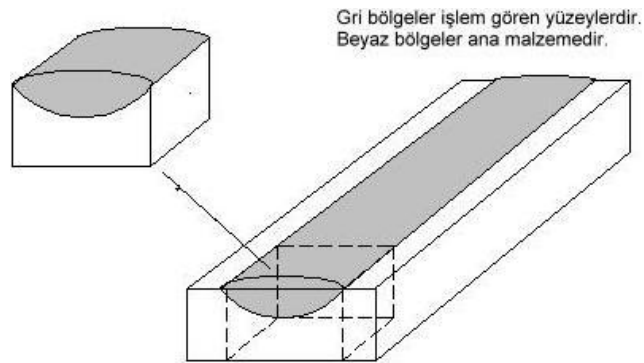
Kaplama işleminde örtülü elektrot elektrik ark kaynak yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan kaynak parametreleri ve Citodur 600 elektrotun özellikleri Çizelge 6.2' de verilmiştir.

**Çizelge 6.2** Kaplama işleminde kullanılan kaynak parametreleri ve Citodur 600 elektrotun özellikleri [19].

Akım (I)	125					
Elektrot Çapı (mm)	3,25					
İlerleme Hızı (numune boyunca)	32 sn					
Elektrot	Citodur 600 (Oerlikon)					
Elektrot kimyasal bileşim (% ağı.)	% C	% Mn	% Si	% Cr	% Mo	% V
	0.4	0.3	0.4	7.0	0.5	0.5
Sertlik Değerleri	52-55 HRC					
	560-610 HV					



**Şekil 6.2** Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak Citodur 600 elektrotla kaplanan orta karbonlu alaşımsız AISI 1030 çelik numune.



**Şekil 6.3** Elektrik ark kaynak yöntemiyle Citodur 600 elektrotla kaplanan orta karbonlu alaşımsız AISI 1030 çelik numuneden kesit alınması işlemi.

### 6.3 Mikroyapı ve Sertlik İncelemeleri

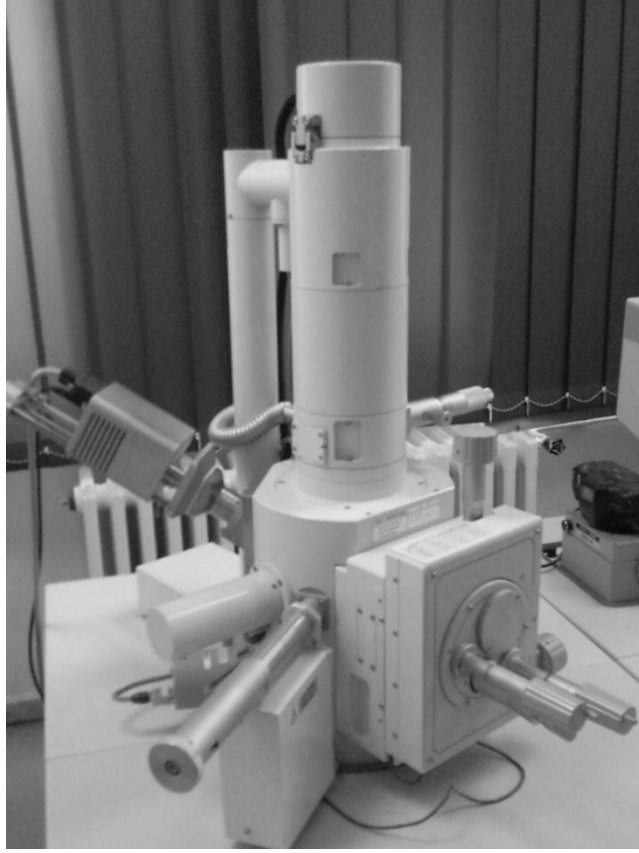
Metalografi incelemeleri için numunelerin kaplama veya işlem yönlerine dik bölgelerinden ölçüleri 14 mm x 13 mm x 13 mm olacak şekilde Struers Discotom-5 kesme cihazı (Şekil 6.5c) kullanılarak kesitler alınmıştır. Kesit alınma işleminin şematik gösterimi Şekil 6.3'de verilmiştir. Bu parça numuneler Struers marka kalıp cihazı kullanılarak (Şekil 6.5f) kalıplanmıştır.

Bu numuneler yüzey pürüzlülüğü açısından, MD Piano 220 Struers marka 400-1200 gritlik zımparalar kullanılarak yüzeyleri temizlenip, yaklaşık 10dk Struers Tegrapol-21 marka cihazı (Şekil 6.5e) ile zımparalanarak parlatılmıştır. Sonrasında MD DAC çuha ile 6 mikron ve 3 mikronluk elmas pasta kullanılarak kesit yüzeyleri parlatılmıştır. Parlatma işlemi yüzey pürüzlülük değeri  $\sim Ra = 0,25 \mu$  olana kadar sürdürülmüştür.

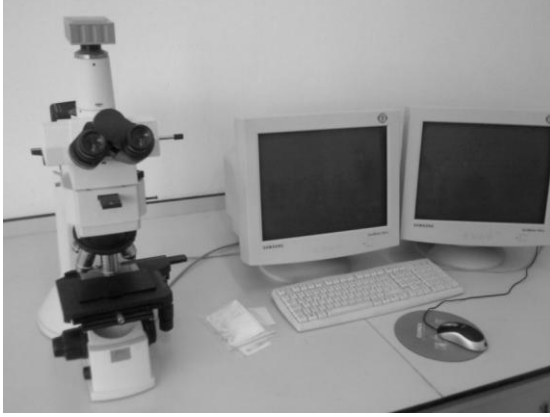
Mekanik parlatma işlemi sonrasında numuneler % 5'lik nital çözeltisi (% 5 HNO<sub>3</sub> + % 95 etil alkol) ve demir klorür esaslı (10 gr FeCl<sub>3</sub> + 30 ml HCl + 100 ml H<sub>2</sub>O) dağlayıcılar kullanılarak 3-5 s kadar dağlanmıştır. Dağlama işleminden önce ve sonra numuneler saf alkolle silinerek temizlenmişlerdir. Numunelerden yeterli ve uygun mikroyapı görüntüleri elde edilinceye dek parlatma ve dağlama işlemleri tekrar edilmiştir.

Numuneler Nikon-Eclipse L150 marka görüntü alma sisteminde (Şekil 6.5a) optik mikroskopla incelenmiştir. Elektrik ark kaynağıyla alaşımlandırılan numunelerin mikroyapı ve element analizleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM- ZEISS SUPRATM 50 VP) (Şekil 6.4), elektron dağılımlı spektroskopi (EDS) ve spektral analizle gerçekleştirilmiştir.

Mikrosertlik ölçümleri Future-tech FM-700 marka mikrosertlik cihazında (Şekil 6.5d), Vickers tekniğiyle elmas uç kullanılarak 50 gr yük altında 10 s sürede gerçekleştirilmiştir. Tüm numunelerde yüzeyden ana malzemeye doğru bir çizgi boyunca sertlik ölçümü yapılmıştır.



**Şekil 6.4** Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)



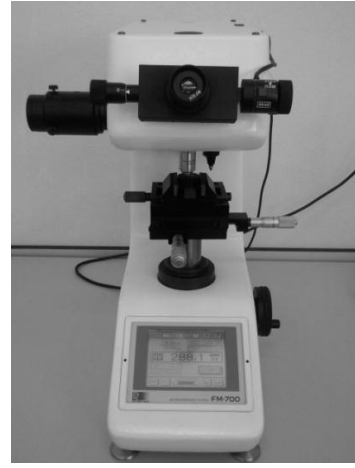
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

**Şekil 6.5** Deneysel çalışmada kullanılan cihazlar: a) Görüntü analiz sistemi, b) Hassas terazi, c) Struers Discotom-5 kesme cihazı, d) Sertlik ölçüm cihazı, e) Struers Tegrapol-21 zımpara ve parlatma cihazı, f) Struers bakalite alma cihazı.

## 6.4 Aşınma Deneyleri

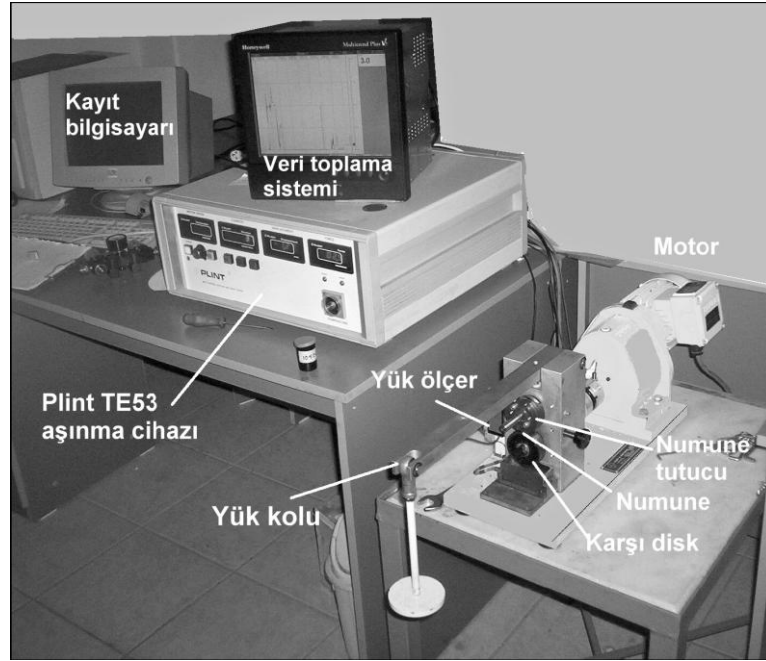
### 6.4.1 Abrasiv aşınma deneyleri

Numunelerin abrasiv aşınma deneyleri, fotoğrafları Şekil 6.6' da gösterilen Plint TE53 marka sürtünme ve aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılacak kaplama yapılmış numuneler cihazın yuvasına oturacak şekilde kesme ve talaşlı imalatla 12,7x12,7x12,7 mm<sup>3</sup> boyutlarında küp şekline getirilmiştir. Tüm numuneler aşınma deneyi öncesi yüzeyinde herhangi bir kalıntı olmaması ve yüzeyin karşı malzemeyle tam temas gerçekleştirmesi için 1200 grit zımparaya tutularak, yüzeyleri alkolle silinmiştir. Aşındırıcı karşıt cisim olarak iki çeşit zımpara kağıdı kullanılmıştır. Birincisi silisyum karbürü (SiC) 400 gritlik 3M marka zımpara kağıdı, ikincisi ise 400 gritlik Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımpara kağıdıdır. Cihazın aşındırıcı metal diski, çift taraflı 3M yapışkan bant kullanılarak zımpara kağıtları ile kaplanmış ve her numune için yeni bir zımpara kağıdı kullanılmıştır. Üzeri zımpara kağıdı kaplı aşındırıcı diskin çapı 60 mm' dir. Aşındırma işleminden önce numunelerin ilk ağırlıklarının ölçümü 10<sup>-4</sup> g duyarlılıktaki hassas terazi ile yapılmıştır (Şekil 6.5b). Aşındırma işlemi sonrası numunelerin ağırlıklarında meydana gelen değişimler yine aynı terazi ile ölçülmüştür.

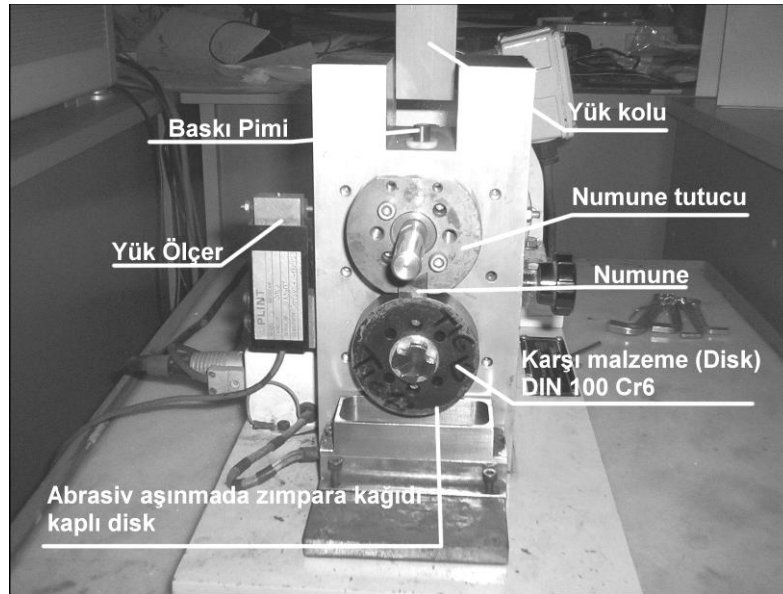
Numune abrasiv aşındırıcı cihazın diskinin alt tarafındaki bölmeye Şekil 6.7' de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Yan tarafındaki vida ile sıkıştırılarak numunenin hareket etmesi önlenmiştir. Aşınma deneylerinde aşındırıcı zımpara kağıdı kaplı disk ile numune yüzeyi arasındaki temas 42 N sabit yük ile sağlanmıştır. Tüm aşınma deneylerinde diskin dönme hızı 200 devir/dk seçilmiş ve aşınma hızı  $V = 0.628$  m/s olarak alınmıştır. Deneyler sırasında 100, 200, 300 ve deney sonu olan 400 m aşınma mesafelerinde deney durdurularak tartım işlemi yapılmıştır. Aynı işlemler SiC zımpara ile yapılan deneyde de tekrarlanmıştır.

Aşınma deneyleri aynı numunelerin farklı yüzeyleri üzerinde üçer kez tekrarlanmış ve aritmetik ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. Toplam ağırlık kayıpları, deney başlangıcındaki ilk ağırlıktan son ağırlığın çıkarılması sureti ile tanımlanmıştır.

Tüm aşınma testleri sonrasında elde edilen ağırlık kayıpları tartılıp tespit edilerek numunelerin aşınma oranları hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler yardımıyla ağırlık kayıplarının aşınma mesafesine bağlı grafikleri çizilmiştir. Deney parçalarının aşınma sonrası taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile aşınma yüzeylerinin fotoğrafları alınmış ve element analizleri (EDS) yapılmıştır.



Şekil 6.6 Aşınma testinde kullanılan cihazın elemanlarının gösterilmesi.



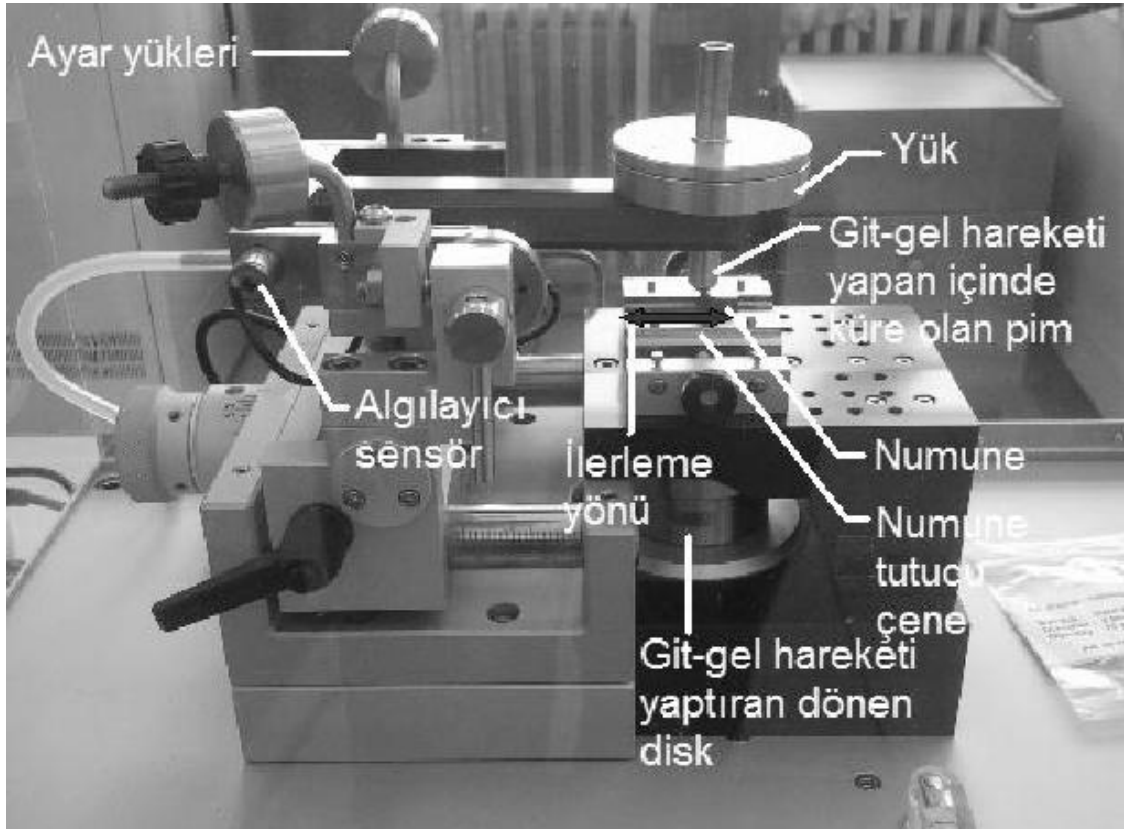
Şekil 6.7 Aşınma testinde numune ve karşı malzemenin yerleştirilmesi.

#### 6.4.2 Adhesiv (kayma) aşınma deneyleri

Adhesiv aşınma deneyi CSM Tribometer marka aşınma cihazı ve pim-disk düzeneği ile yapılmıştır (Şekil 6.8). Aşınma hareketi olarak lineer doğrusal hareket kullanılmıştır. Ana malzemeden kesilen numuneler cihazın çeneleri arasına sıkıca yerleştirilmiştir.

Deneylerde karşı malzeme olarak Redhill marka  $\varnothing$  3mm alümina ( $Al_2O_3$ ) ve çelik (100Cr6-AISI 52100) malzemelerden küreler kullanılmıştır. Küreler numunenin üzerine tek noktadan temas uygulayan bir pimin içine yerleştirilmiştir. Cihazın kolu teraziye alınarak numunenin üzerine ek kuvvet binmesi önlenmiştir. Pim üzerine sabit 5 N yük uygulanmıştır. Cihaz numune üzerinde 4 mm toplam gidiş geliş hareketi yaparak 40 m yol alacak şekilde ayarlanmıştır. Deneyler 20 °C oda sıcaklığında ve izafi nem % 30-35 değerlerinde iken yapılmıştır. Tüm deneyler de aynı şartlar kullanılmıştır.

Her iki farklı cisimle yapılan deneylerde kaplamanın farklı yüzeyleri kullanılmıştır. Aşınma deneyleri aynı numunelerin farklı yüzeyleri üzerinde üçer kez tekrarlanmış ve aritmetik ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir. CSM tribometer cihazına bağlı olan bilgisayar aracılığıyla yüzeyden alınan değerler anında kaydedilmiş ve grafik haline dönüştürülmüştür. Her adhesiv aşınma deneyi için ayrı bir küre kullanılmıştır. Numunelerin yüzey pürüzlülüğü deney öncesinde ve sonrasında ölçülerek not edilmiştir. Numunelerin aşınma sonrası taramalı elektron mikroskobu (SEM ) ile aşınma yüzeylerinin fotoğrafları alınmış ve element analizleri (EDS) yapılmıştır.



**Şekil 6.8** Adhesive aşınma deney cihazı CSM Tribometer (numune yerleştirilmiş ve çalışır halde) şematik gösterimi.

Şekilde görülen CSM tribometer marka adhesiv aşınma cihazındaki bölümler gösterilmiştir. Görüldüğü gibi numune tutucu çenelerin arasına yerleştirilmiştir. Ayar yükleri numune üzerine gelen kuvvetin terazide olması için ayarlanmıştır. İçinde küre olan ve üzerine 5N yük yerleştirilen pim numune üzerine bırakılmıştır. Cihazın alt kısmındaki dönen disk, pimi şekilde görülen ok yönünde numune üzerinde ileri geri hareket ettirmektedir. Numune üzerindeki bu hareketi algılayan sensör, bu bilgiyi bilgisayara iletir. Bilgisayara gelen bu bilgiler grafik halinde bilgisayar ekranında gösterilmektedir.

## 7. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME

### 7.1 Spektral Analiz Sonuçları

Çizelge 7.1 Kaplama malzemesinin kimyasal analizi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W
0,694	0,485	0,316	0,0004	0,0003	6,75	0,110	0,219	0,0916	0,0206
Co	Cu	Sn	Al	Ti	Fe				
0,00931	0,0858	0,0109	0,00378	0,0396	91,2				

Çizelge 7.1 incelendiğinde kaplama işlemi sonrasında alaşım elemanlarında görülen değişim, işlemin başarılı olduğunu göstermektedir. Özellikle C, Si, Cr elementlerinde görülen artış kullanılan elektrot malzemesinden kaplanan metale transfer gerçekleştiğini göstermektedir.

### 7.2 Sertlik Deney Sonuçları İnceleme



Şekil 7.1 Sertlik ölçüm deneylerinin üst yüzeyden derinliğini gösteren grafik.

**Çizelge 7.2** Sertlik deney sonuçları üst yüzeyden uzaklık.

Uzaklık $\mu$	50	150	250	350	450	550	650	750	850	950
HV	1214	1141	1067	959	1070	1158	954	1049	778	921
Uzaklık $\mu$	1050	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750	1850	1950
HV	1004	883	926	1043	783	847	826	915	1006	1086
Uzaklık $\mu$	2050	2150	2250	2350	2450	2550	2650	<b>2750</b>	<b>2850</b>	2950
HV	1116	793	883	907	878	897	882	<b>1024</b>	<b>313</b>	319
Uzaklık $\mu$	3050	3150	3250	3350	3450	3550	3650	3750	3850	
HV	351	291	307	295	321	326	285	310	300	
Kaplanan AISI 1030 malzemesinin orijinal sertliği 275 HV'dir.										

*Kaplama bölgesinin kalınlığının sertlik ölçümleri sonucunda yaklaşık olarak 2.75 mm olduğu tespit edilmiştir. Bu derinlikte kaplama bölgesinde ölçülen son sertlik değeri 1024 HV iken 100  $\mu$ m sonrasında ana malzemeye geçişte değer keskin bir şekilde düşerek 313 HV'ye ana malzemenin sertlik değerine yakın değerlere kadar düşmektedir. Bu durum işlem sonrasında herhangi bir geçiş bölgesi oluşmadığını göstermektedir. Yüzeyden içeriye doğru 100  $\mu$ m aralıklarla yapılan mikrosertlik ölçümleri sonucunda kaplama işlemi sonrasında yüzeyden 3 mm içeriye doğru bir bölgede minimum 778 HV ile maksimum 1214 HV arasında değişen sertlik değerleri ölçülmüştür. Sertlikte meydana gelen bu dalgalanmalar, ölçümün oluşan sert krom karbürler ya da martenzit fazı üzerinden alınmış olmasından ileri gelmektedir. Genel olarak işlem gören bölgede sertlik ortalamasının yaklaşık olarak 965 HV olduğu söylenebilir.*

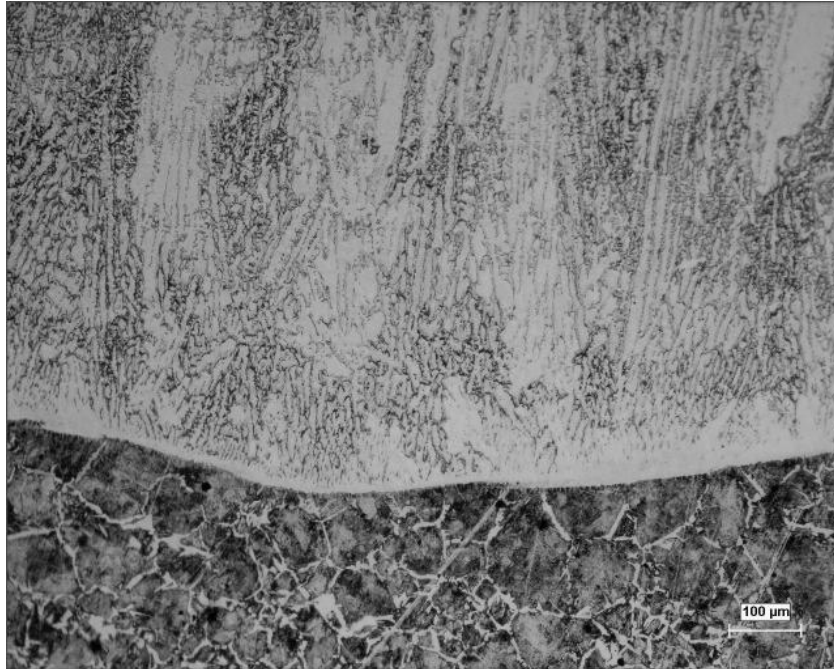
Ana malzemenin sertlik değeri 275 HV olarak belirlenmiştir İşlem sonrasında elde edilen sertlik değerleri dikkate alındığında yaklaşık olarak 4 kata kadar ulaşan artışlar tespit edilmiştir.

**Çizelge 7.3** Kaplama bölgesinde ölçülen sertlik değerlerinin istatistik sonuçları.

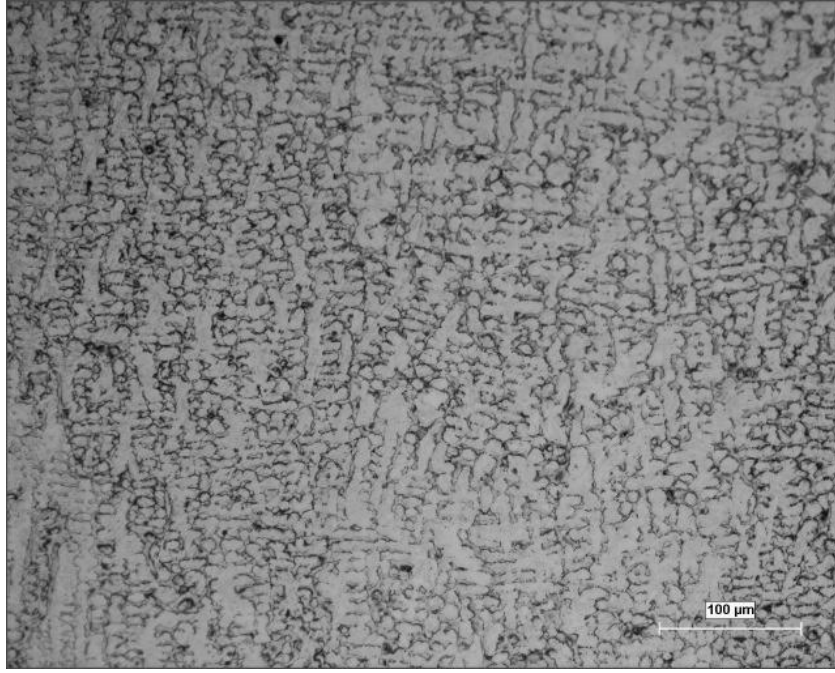
<b>Ortalama Sertlik HV</b>	964,6
<b>Standart Sapma HV</b>	118,9
<b>Minimum Sertlik HV</b>	778
<b>Maksimum Sertlik HV</b>	1214

### 7.3 Metalografik (Mikroyapı) İnceleme Sonuçları ve İrdelenmesi

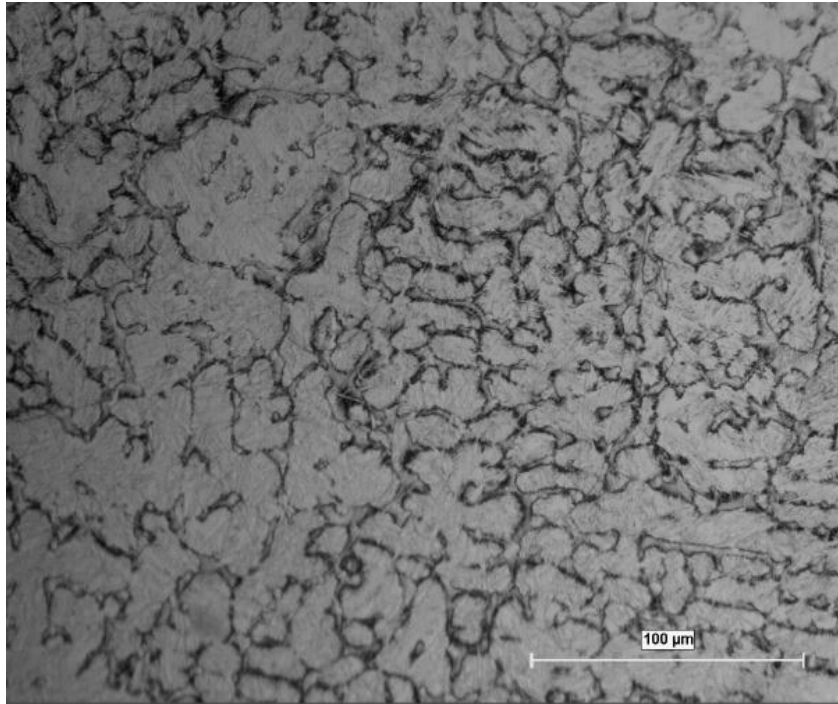
Şekil 7.2 – 7.15 ‘de elektrik ark kaynağı ile yüzey özellikleri geliştirilmiş AISI 1030 çeliğinin işlem sonrasında oluşan mikroyapıları verilmiştir.



**Şekil 7.2** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X100) büyütmede.



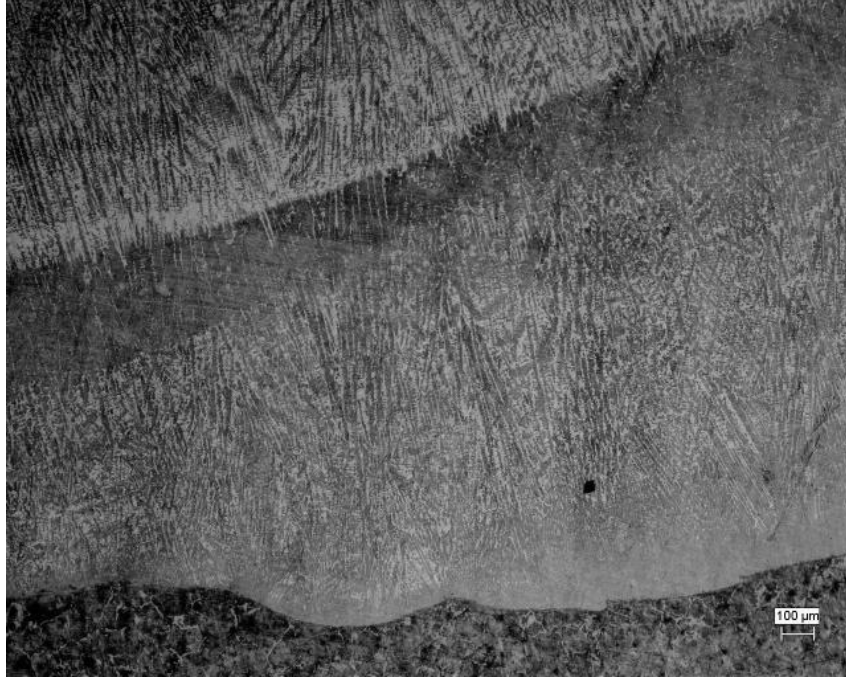
**Şekil 7.3** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X200) büyütmede.



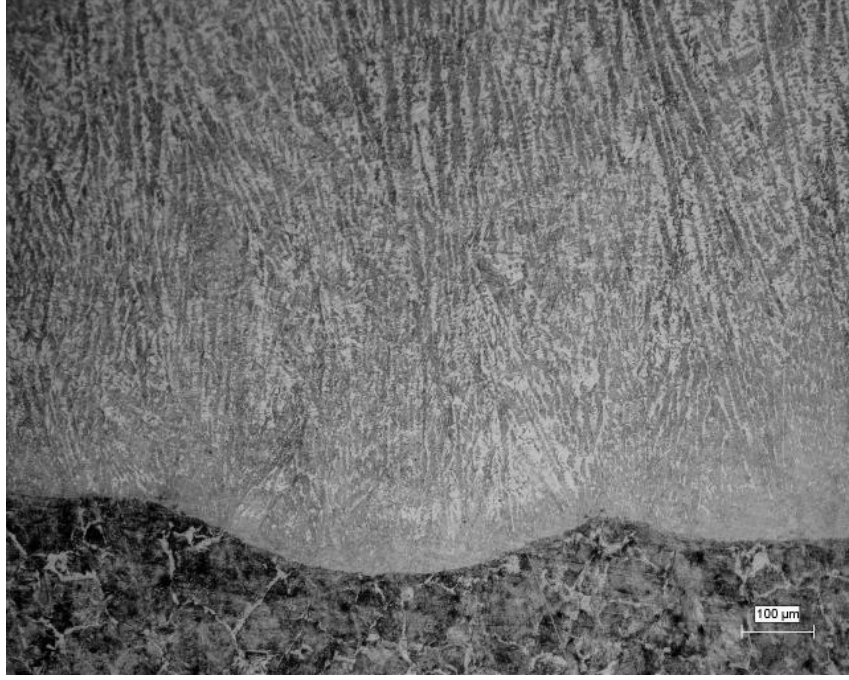
**Şekil 7.4** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X500) büyütmede.



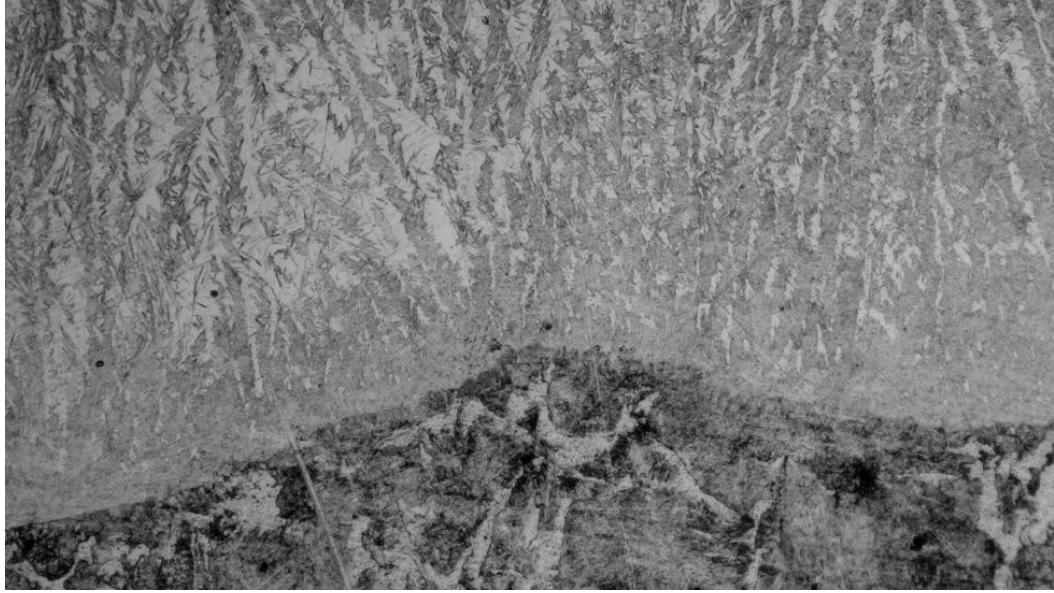
**Şekil 7.5** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X50) büyütmede.



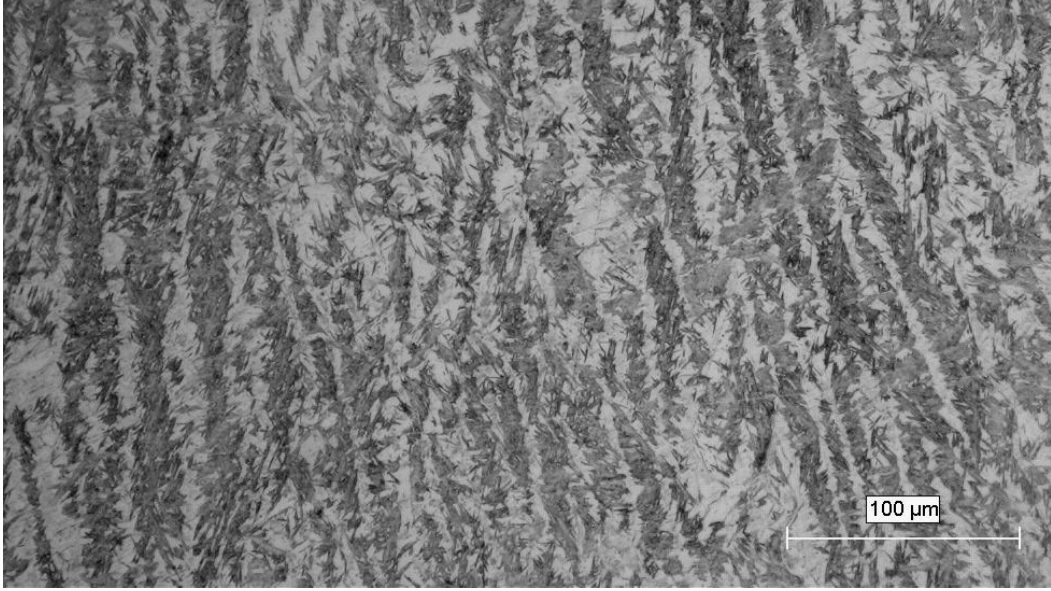
**Şekil 7.6** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X50) büyütmede.



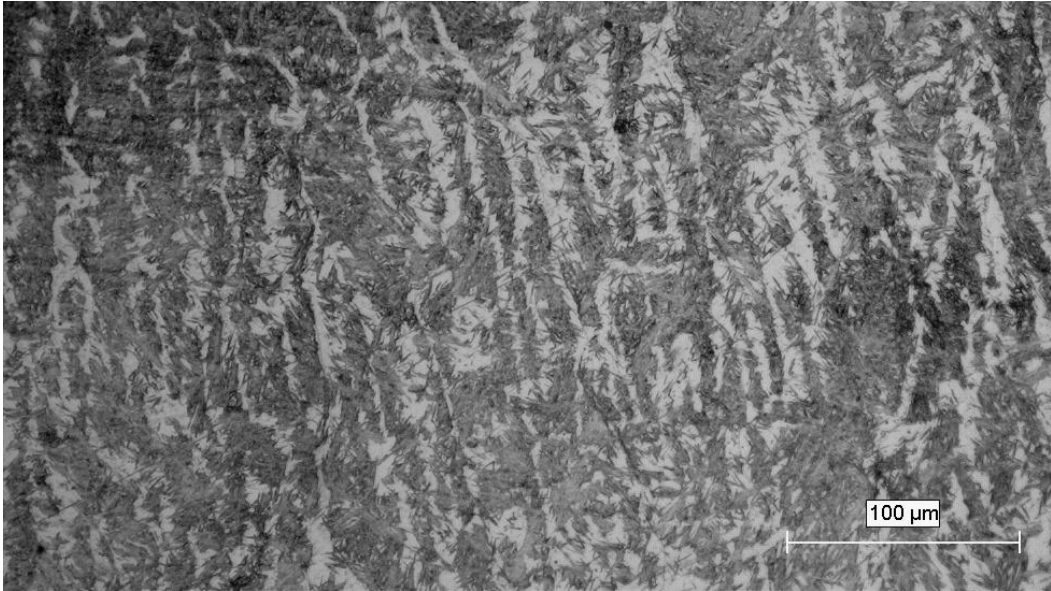
**Şekil 7.7** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X100) büyütmede.



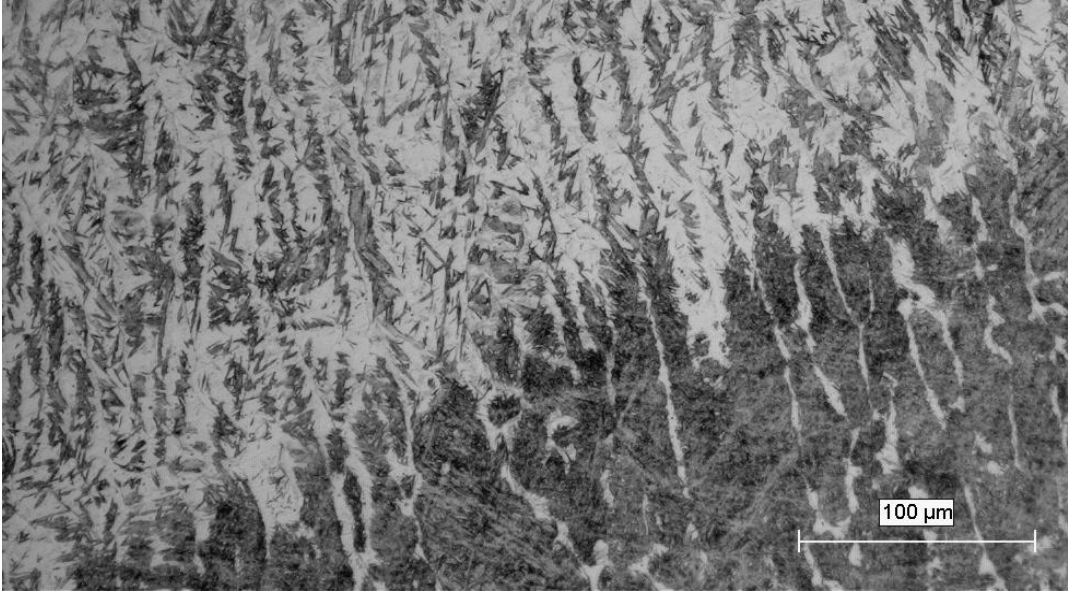
**Şekil 7.8** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X200) büyütmede.



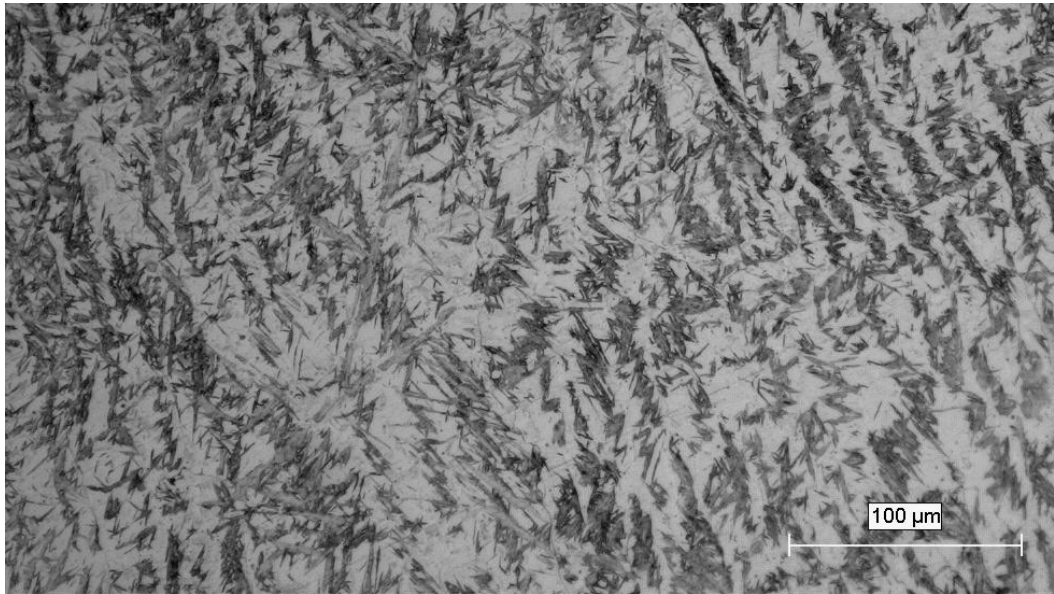
**Şekil 7.9** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X200) büyütmede.



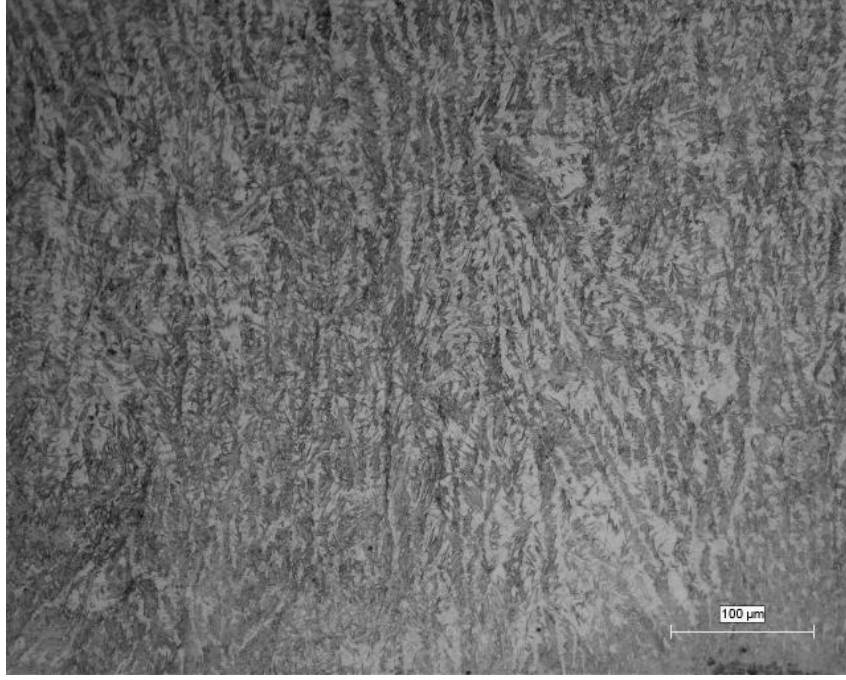
**Şekil 7.10** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X200) büyütmede.



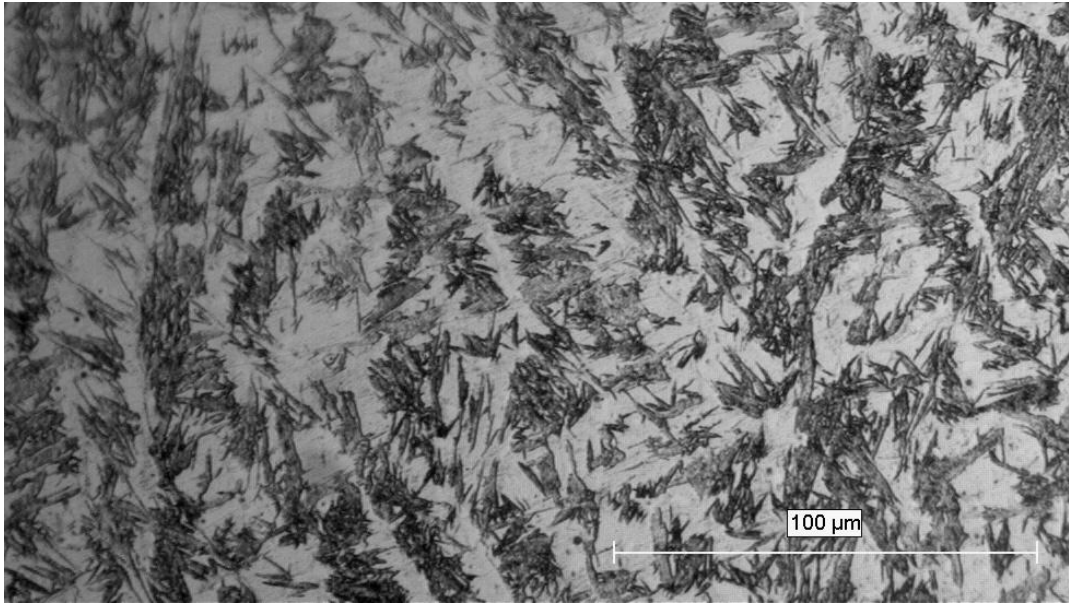
**Şekil 7.11** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X200) büyütmede.



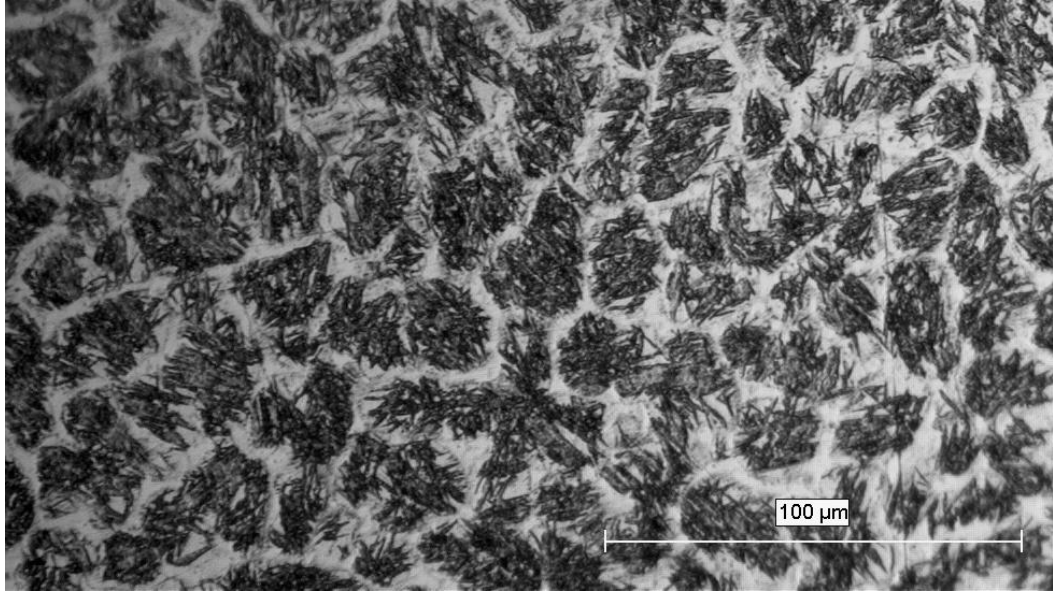
**Şekil 7.12** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X200) büyütmede.



**Şekil 7.13** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X200) büyütmede.



**Şekil 7.14** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X500) büyütmede.



**Şekil 7.15** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin mikroyapı görüntüsü (X500) büyütmede.

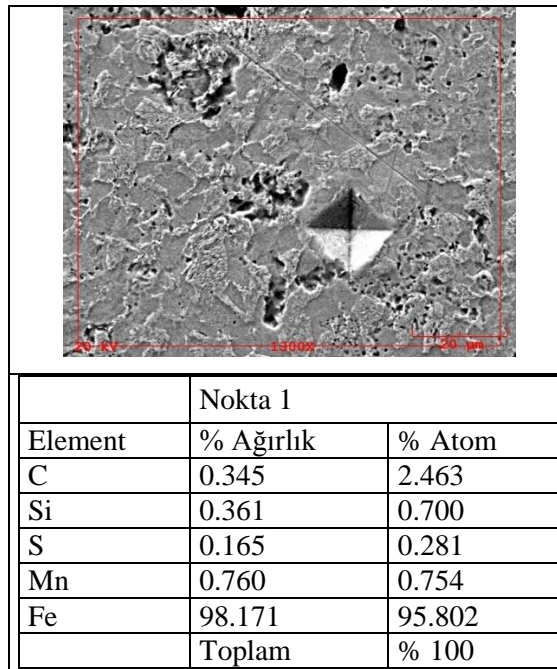
Şekil 7.2 ve 7.15' deki mikroyapı fotoğrafları genel olarak incelendiğinde kaplama bölgesinin ana malzemeye metalurjik açıdan sıkı bir şekilde bağlandığı söylenebilir. Şekil 7.2, 7.5 ve 7.6' da görüldüğü gibi; kaynak tabakasının ana metale birleştiği ara bölgede, dar ve ince bir geçiş katının oluştuğu tespit edilmiştir.

Şekil 7.6 ve 7.7' ye bakıldığında yapıda ara bölgeden kaynak bölgesinin yüzeyine doğru ısının çevreye doğru yayınma yönünde belirgin bir yönlenmenin olduğu görülmektedir. İşlem sonrasında kaplama yapılan bölgede herhangi bir çatlak oluşmamış, ancak kaynak bölgesinde yer yer çok küçük gözenekler meydana gelmiştir.

Şekil 7.2, 7.3 ve 7.4' de % 5' lik nital çözeltisini takiben ferriklorür esaslı dağlayıcı ile yapılan dağlama sonrasında oluşan mikroyapı verilmektedir. Burada kaynak bölgesinde oluşan ağ şeklinde birincil karbürler ve ince taneli ikincil karbürler açıkça görülmektedir. Yapı tüm kaynak bölgesinde oluşumunu kısmen tamamlamış oldukça homojen dağılmış dendritlerden meydana gelmektedir. Yine aynı şekilde kaynak bölgesinden ana metale doğru da özellikle, krom ve karbon elementlerinin difüzyonu gerçekleşmiştir. Şekil 7.2 ve 7.8' de de görüleceği gibi, kaynak metalinin, kısmen karbon elementi ve çok az oranlarda da diğer alaşım elementlerinin, kaplanan ana metal içerisindeki difüzyonu, oldukça derin bir nüfuziyet göstermiştir.

Şekil 7.15’ de demir ve kromun birlikte oluşturdukları kromca zengin homojen  $\alpha$  ferritin oluşturduğu matris içerisinde yuvalanmış yüksek karbonlu ince iğneli martenzit adacıklarının meydana geldiği belirlenmiştir. Hem demir-krom metallerinin oluşturduğu ferrit fazının varlığı, hem krom karbürlerin oluşması ve hem de sert martenzit fazının yapıda bulunması nedenleriyle; kaplama katında ulaşılan sertlik değerleri yaklaşık 1200 HV’ ye kadar ulaşmıştır. Katılma sırasında hem ana metal içerisinde ve hem de kaynak bölgesinde demir ve krom elementleri  $M_3C$ ,  $M_7C_3$  ve  $M_{23}C_6$  karbürlerini oluşturmuşlardır. Bu da daha önce gerçekleştirilen ve yayımlanan bilimsel araştırmalarda verilen sonuçlarla iyi bir uyum göstermektedir [8, 9, 15, 31].

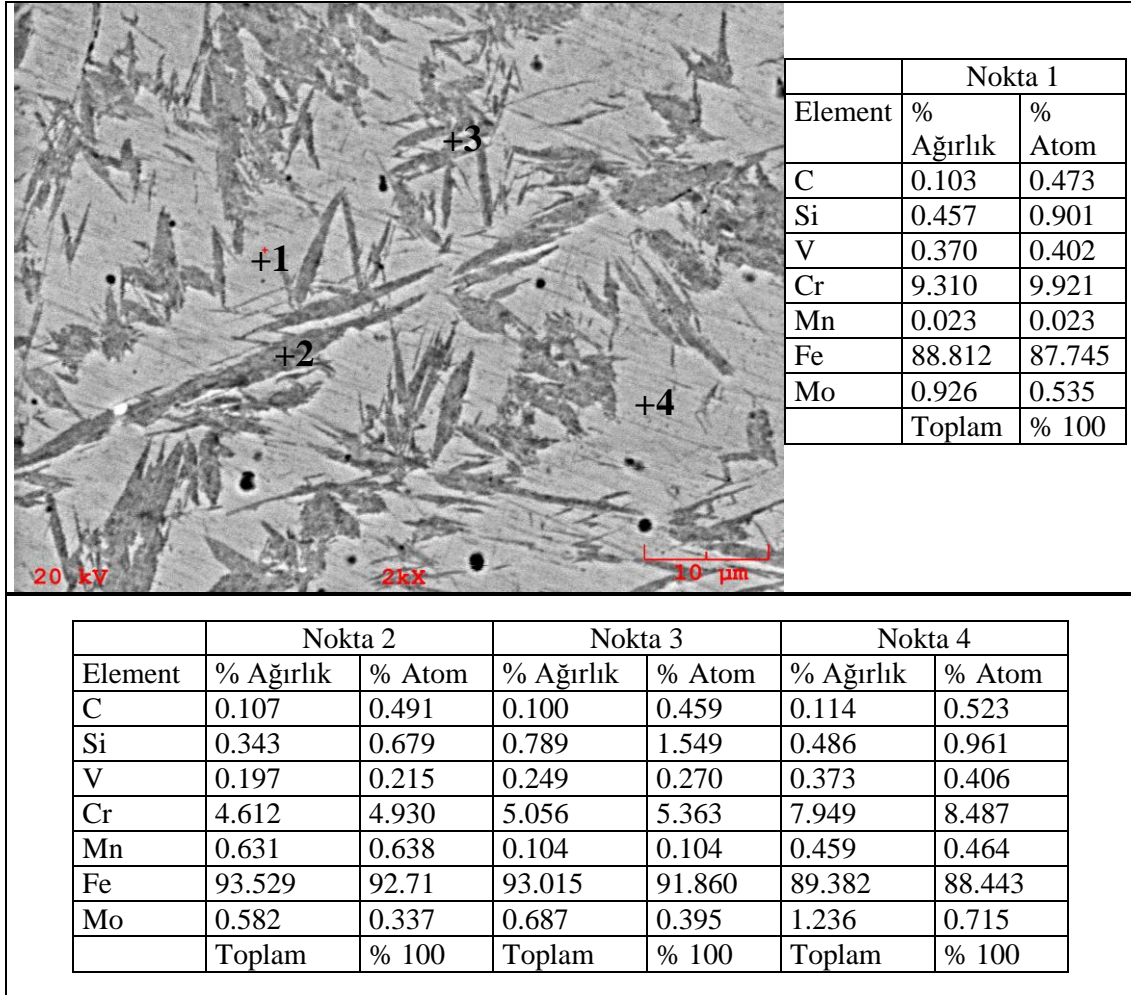
Şekil 7.16’ da işlemsiz ana malzeme yüzeyinin SEM fotoğrafı ve fotoğraf yüzeyinden alınan genel EDS analizi değerleri verilmiştir.



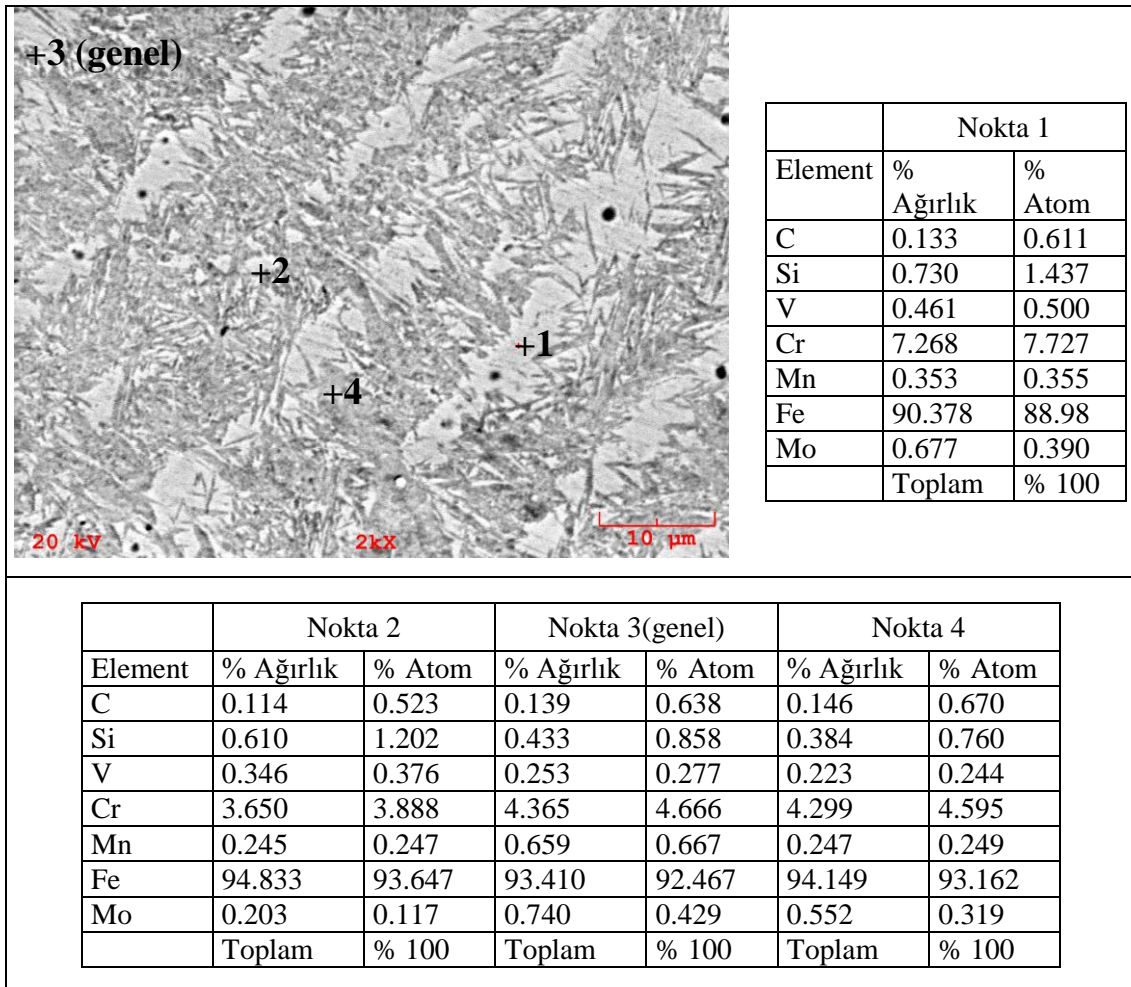
**Şekil 7.16** İşlemsiz AISI 1030 çeliğinin mikroyapısı ve EDS analizi.

Şekil 7.17 ve 7.19’ da elektrik ark kaynağı ile yüzey modifikasyonu sonrası elde edilen kaplama bölgesinden alınan SEM fotoğrafları ve EDS analizleri görülmektedir. Şekil 7.17 özellikle kaplamanın üst bölgesinde yapılan analizleri göstermektedir. Bu analizler incelediğinde; demir ve kromun birlikte oluşturduğu kromca zengin, karbonca fakir  $\alpha$  ferritik faz yapısına sahip matris içerisinde, metal karbürlerin, martenzitik ve bainitik yapının oluştuğu görülmektedir. Yine burada oluşan metal karbürler, demir ve kromun oluşturdukları  $M_3C$ ,  $M_7C_3$

ve  $M_{23}C_6$  türü karbürlerdir. Martenzit ise, sıvı kaynak bölgesinin 1600 °C' ye ulaşan sıcaklıklardan aniden oda sıcaklığına kadar soğuması sonucunda meydana gelmiştir [32].



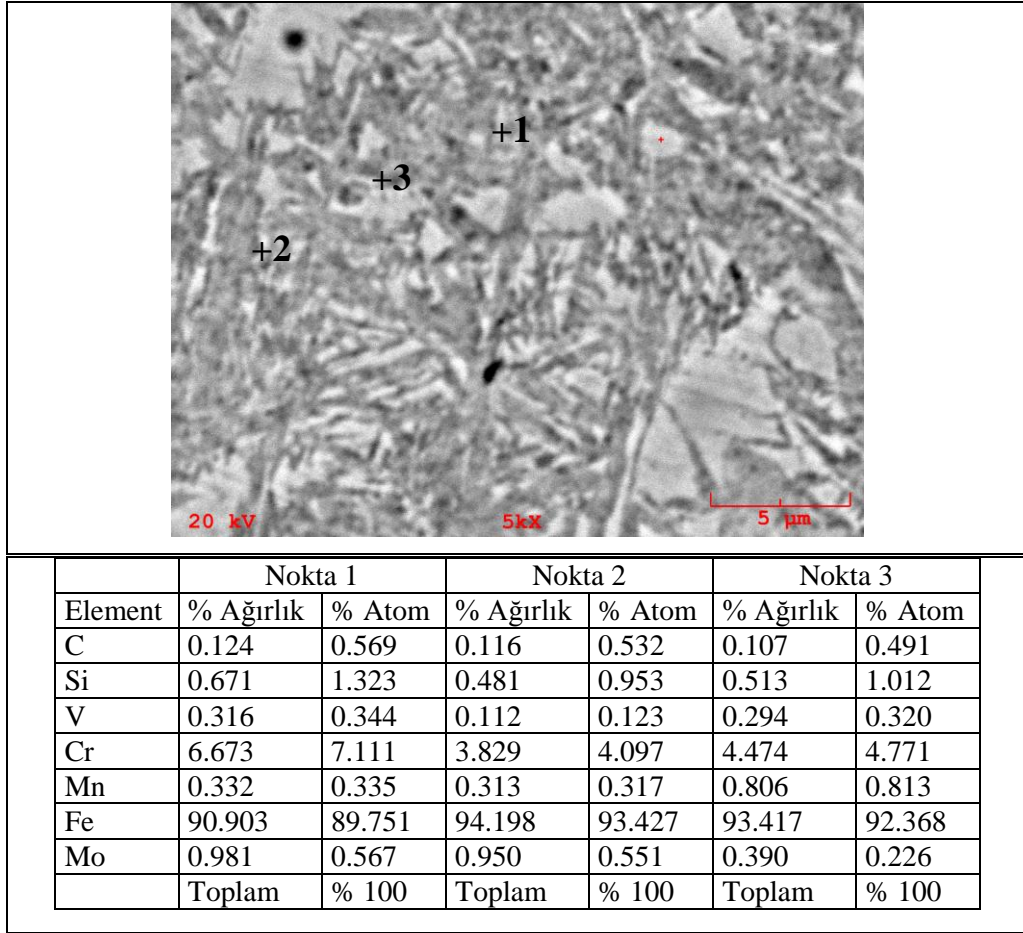
**Şekil 7.17** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin SEM görüntüsü ve EDS analizleri.



**Şekil 7.18** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin SEM görüntüsü ve EDS analizleri.

Şekil 7.18' de kaplamanın ana malzemeye daha yakın olan bir bölgesinden alınan SEM fotoğrafı ve EDS analizi görülmektedir. Burada yapı daha incelmekte ve dendritik katılaşma yavaşça azalmakta ve kaybolmaktadır. Bu bölgede krom elementinin miktarca azalması ve buna bağlı olarak krom karbürlerin oluşumunun da azalmasıyla, sertlik değerlerinde hissedilir ölçüde düşüşler meydana gelmiştir.

Şekil 7.19 incelendiğinde özellikle yapı içerisinde krom içeriğinin büyük oranlarda değiştiği, küçük ve ince taneli küremsi karbürlerin matris içerisinde dağıldığı ve soğutma hızının azalması nedeniyle martenzit oluşumunun gerçekleşmediği, ama bunun yerine bainitik yapıya geçişin hızlandığı tespit edilmiştir.



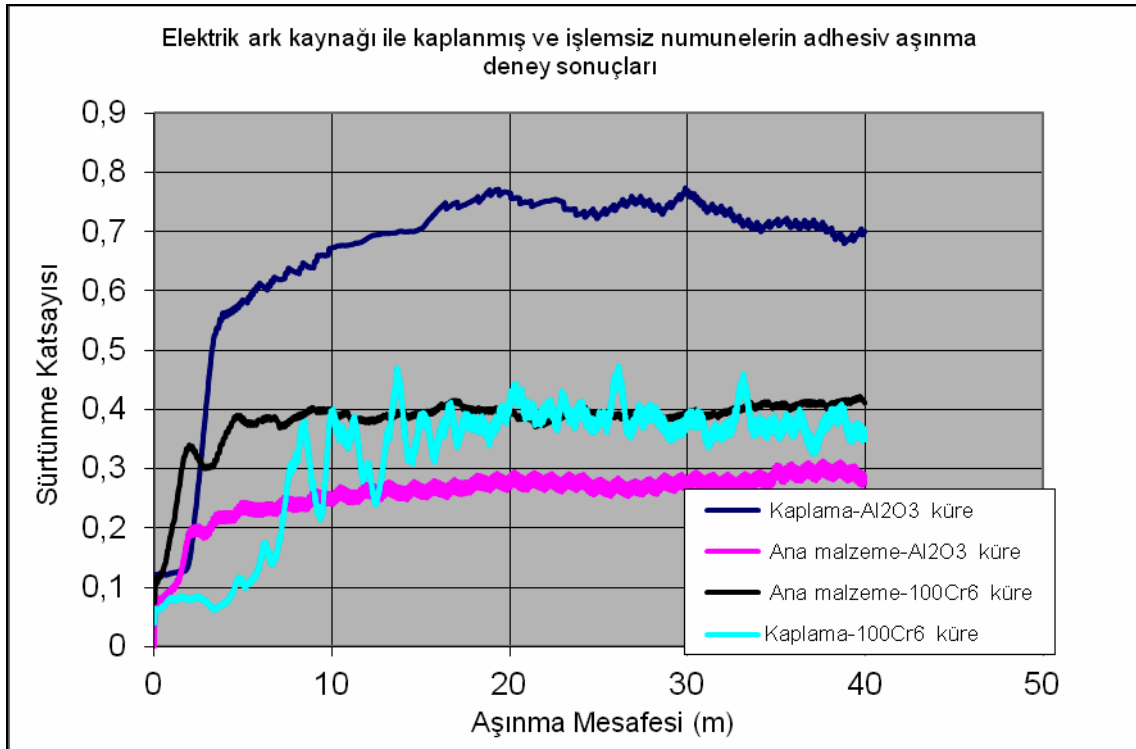
**Şekil 7.19** Elektrik ark kaynağı kullanılarak Citodur 600 elektrotuyla kaplanan AISI 1030 çeliğinin SEM görüntüsü ve EDS analizleri.

## 7.4 Aşınma DeneY Sonuçları İnceleme

### 7.4.1 Adhesiv aşınma deney sonuçları inceleme

Çizelge 7.4 Adhesiv aşınma deney sonuçları.

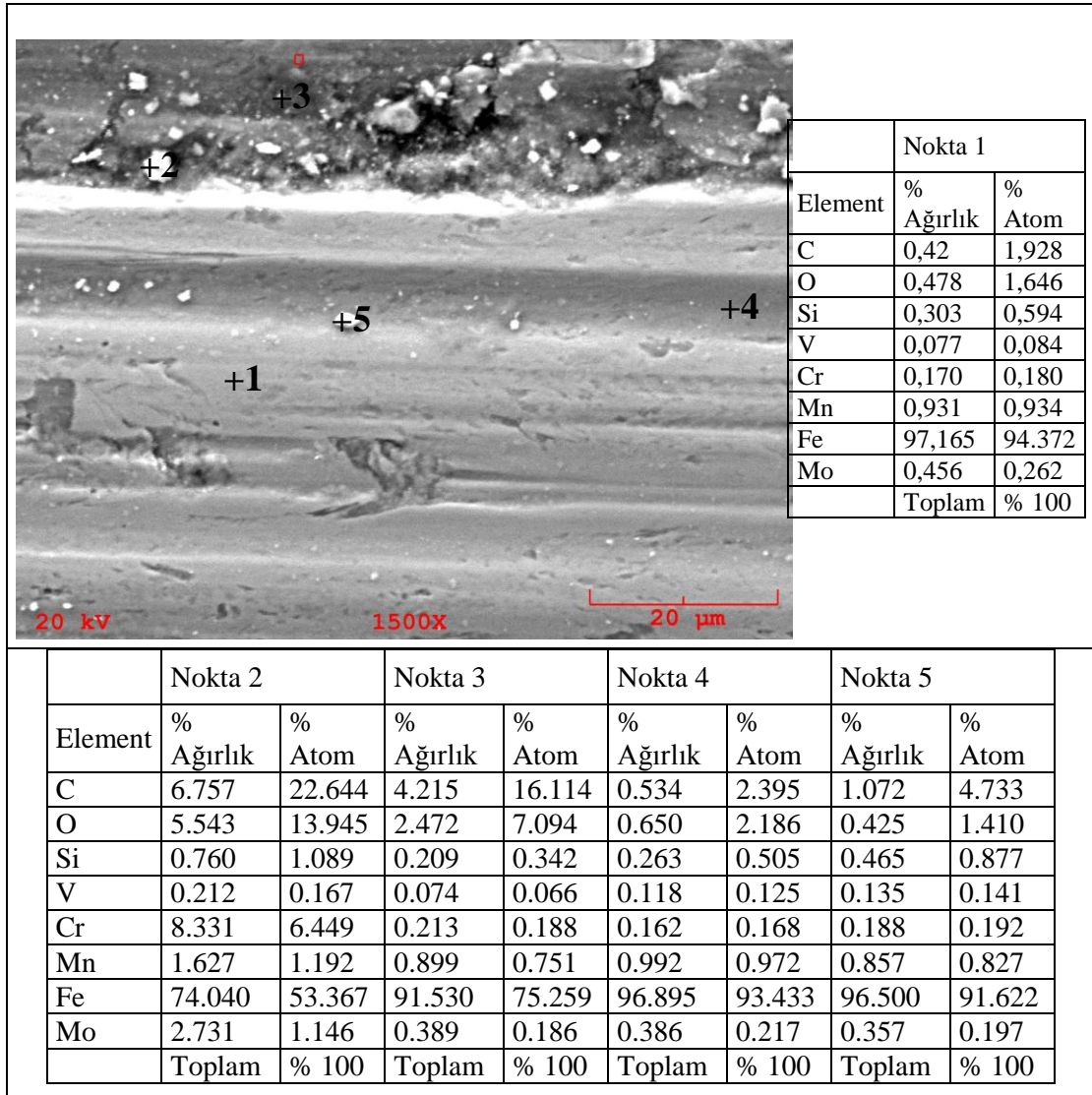
Numune Adı	Sürtünme Katsayıları		
	Maks.	Ortalama	Standart Sapma
100Cr6 Ana malzeme	0,42215	0,38150	0,04772
100Cr6 Kaplama	0,47331	0,31977	0,11140
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Ana malzeme	0,31398	0,25847	0,04199
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kaplama	0,77279	0,66341	0,15074



Şekil 7.20 Kaplama yapılan ve ana malzeme numunelerinin, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve 100Cr6 küre ile yapılan adhesiv aşınma deneylerinde sürtünme katsayısı değerinin zamana bağlı değişimi.

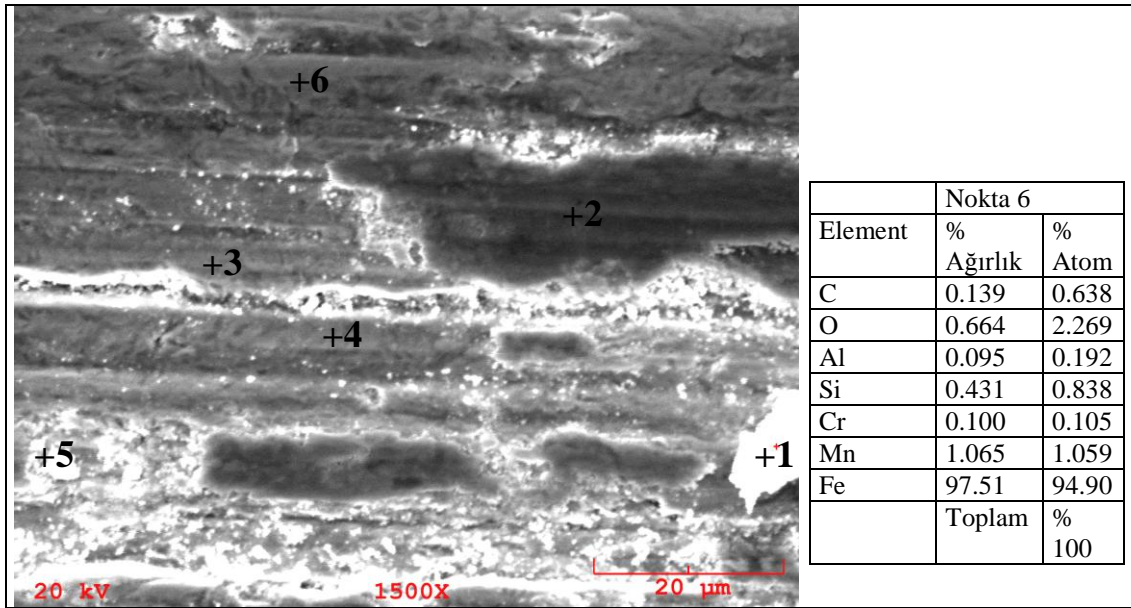
Şekil 7.20’ de kaplama sonrasında  $Al_2O_3$  ve 100Cr6 kürelere karşı yapılan adhesiv aşınma deneyleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinden oluşan grafikler görülmektedir.

Şekilden görüleceği üzere çelik küre (100Cr6)’ ye karşı yapılan deneyde; ilk 7-8 m aşınma yoluna kadar, sürtünme katsayısında hızla bir yükselme olmuş, ancak 20 m’ lik aşınma yolundan itibaren sürtünme katsayısı değişmeyerek oldukça kararlı değerler almış ve sabit kalmıştır. Genel olarak incelendiğinde kaplama yapılan numunenin 100Cr6 çelik küreye karşı sürtünme katsayısı yaklaşık  $\sim 0.32$  olarak elde edilmiştir.



**Şekil 7.21** Kaplama yapılan numunenin-100Cr6 küre ile adhesiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri.

Şekil 7.21’ de kaplama yapılan numunenin, 100Cr6 küre karşısındaki adhesiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri görülmektedir. Şeklin incelenmesinden; kuru metal-metal sürtünmesi sonucu oluşan aşınma oluklarının geniş olduğu, aradaki çıkıntılıların fazla yüksek olmadığı, aşınmanın sınırlı ölçülerde gerçekleştiği, malzemeden sürtünme esnasında kopan parçacıkların sayıca az olduğu dolayısı ile kopup oksitlendikten sonra yüzeyde tekrar kazıma etkisi gösteren partiküllerin sayıca az olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Tüm bu bulgular kaplama katının sert olmasının yanı sıra, yeterli bir tokluk ve süneklığe de sahip olduğunu göstermektedir. Oluşan oksitlerin abrasiv etkisi, numunenin yüksek sertliği nedeniyle çok etkili olamamıştır. Ancak deneyin ilerleyen safhalarında yüzeyden kopan sert krom karbürler, kısmen abrasiv etki yaratmışlardır. Kopan taneleri krom karbürlerin oluşturduğu, yapılan EDS analiziyle gösterilmiştir (Şekil 7.21, nokta 2).



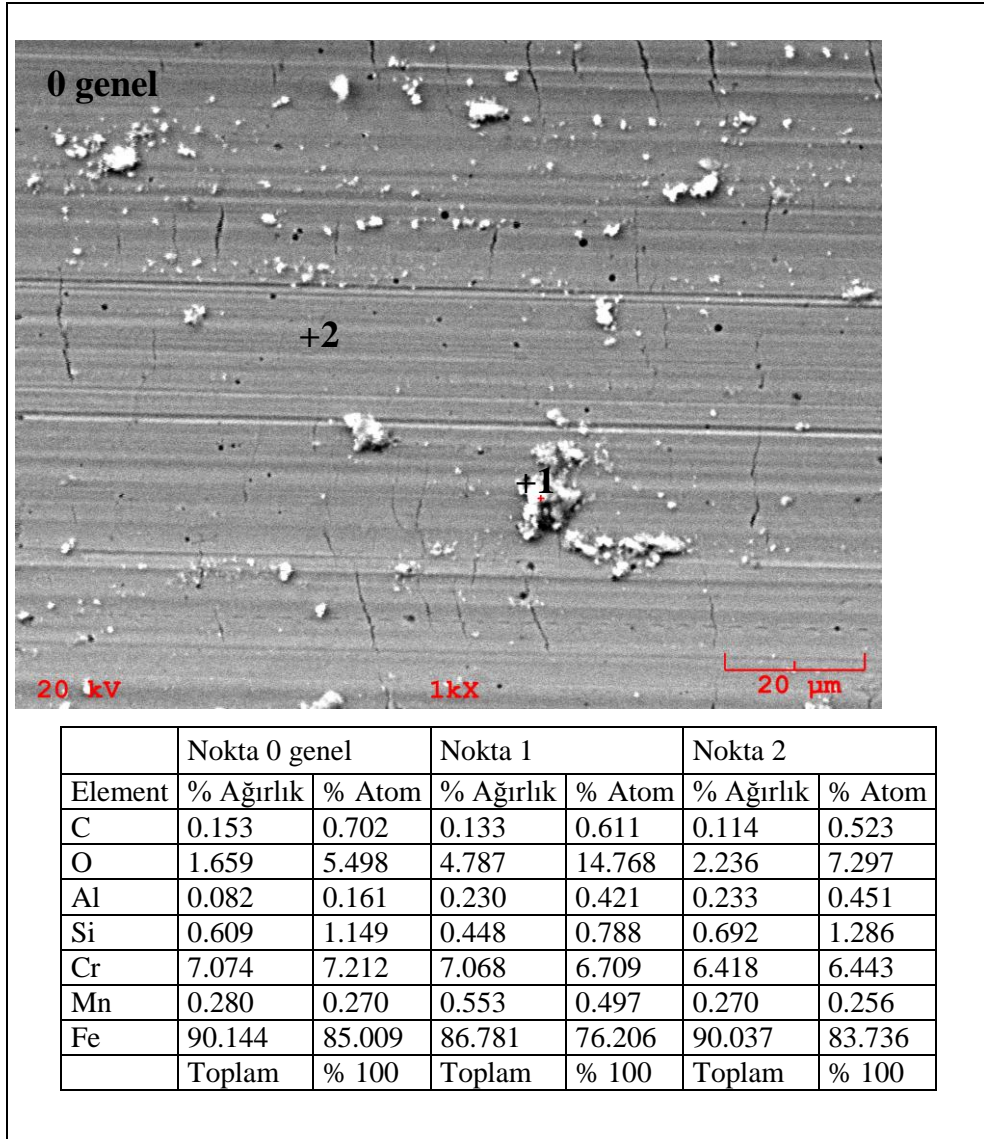
Element	Nokta 1		Nokta 2		Nokta 3		Nokta 4		Nokta 5	
	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom
C	0.122	0.454	0.105	0.391	0.108	0.402	0.133	0.611	0.124	0.462
O	12.259	32.61	13.272	34.69	2.160	7.125	3.385	10.86	9.283	26.09
Al	0.237	0.374	0.100	0.155	0.061	0.119	0.121	0.231	0.145	0.242
Si	0.396	0.600	0.323	0.480	0.350	0.657	0.180	0.329	0.416	0.667
Cr	0.218	0.178	0.600	0.483	0.151	0.154	0.277	0.273	0.281	0.243
Mn	1.008	0.781	0.751	0.572	0.903	0.867	1.028	0.961	1.104	0.904
Fe	85.761	65.07	84.85	63.23	96.27	90,68	94.88	86.74	88.646	71.39
	Toplam	% 100	Toplam	% 100	Toplam	% 100	Toplam	% 100	Toplam	% 100

Şekil 7.22 Ana malzemenin-100Cr6 küre ile yapılan adhesiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri .

Şekil 7.20' de ana malzemenin, 100Cr6 çelik küre kullanılarak yapılan aşınma deneyinde sürtünme katsayısının yaklaşık  $\sim 0.38$  ortalama değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sürtünme katsayısı değeri 5 m' lik aşınma mesafesinden sonra kısmen sabit kalmıştır. Bu değerin oluşumunda, iki çelik malzemenin birbirine yüksek basınçta temasına bağlı sürtünme ve sıcaklık artışı sonucunda, temas yüzeyinde oksitlenmenin olması ve gevrek oksit tanelerinin daha sonra abrasiv etki göstererek sürtünme ve aşınmayı artırması etkili olmuştur. Deneyin ilerleyen safhalarında kopan ve oksitlenen tanelerde kırılmalar da olmuş ve kırılan tanelerin kırıntıları kısmen sünek olan ana kütleyle gömülmüşlerdir.

Şekil 7.22' de ana malzemenin, 100Cr6 çelik küre karşısındaki adhesiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde, yüzeye bağlanmış olan güçlü oksit tabaka (nokta 2), parçalanmış oksit partikülü (nokta 1) ve diğer noktalarda da oksit oluşumları görülmektedir.

Güçlü oksit yapısının deneyin ilerleyen aşamalarında parçalanmaması kaymanın sadece bu yüzeyler üzerinden gerçekleşmesine sebep olmuştur. Ayrıca kırılıp koparak ayrılan sert oksit ve karbür taneleri aşınma oluşunun üzerinde toplanmış ve kısmen ana malzemeye gömülmüşlerdir (nokta 5).



**Şekil 7.23** Kaplama yapılan numunenin- $Al_2O_3$  küre ile yapılan adhesiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri (1000X).

Şekil 7.20' de kaplama yapılan numunenin,  $Al_2O_3$  küre kullanılarak yapılan adhesiv aşınma deneyinde sürtünme katsayısının yaklaşık  $\sim 0.66$  ortalama değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sürtünme katsayısı değerinin ilk 15 m' lik aşınma mesafesinde hızla artıp daha sonra kısmen sabit kaldığı görülmektedir.

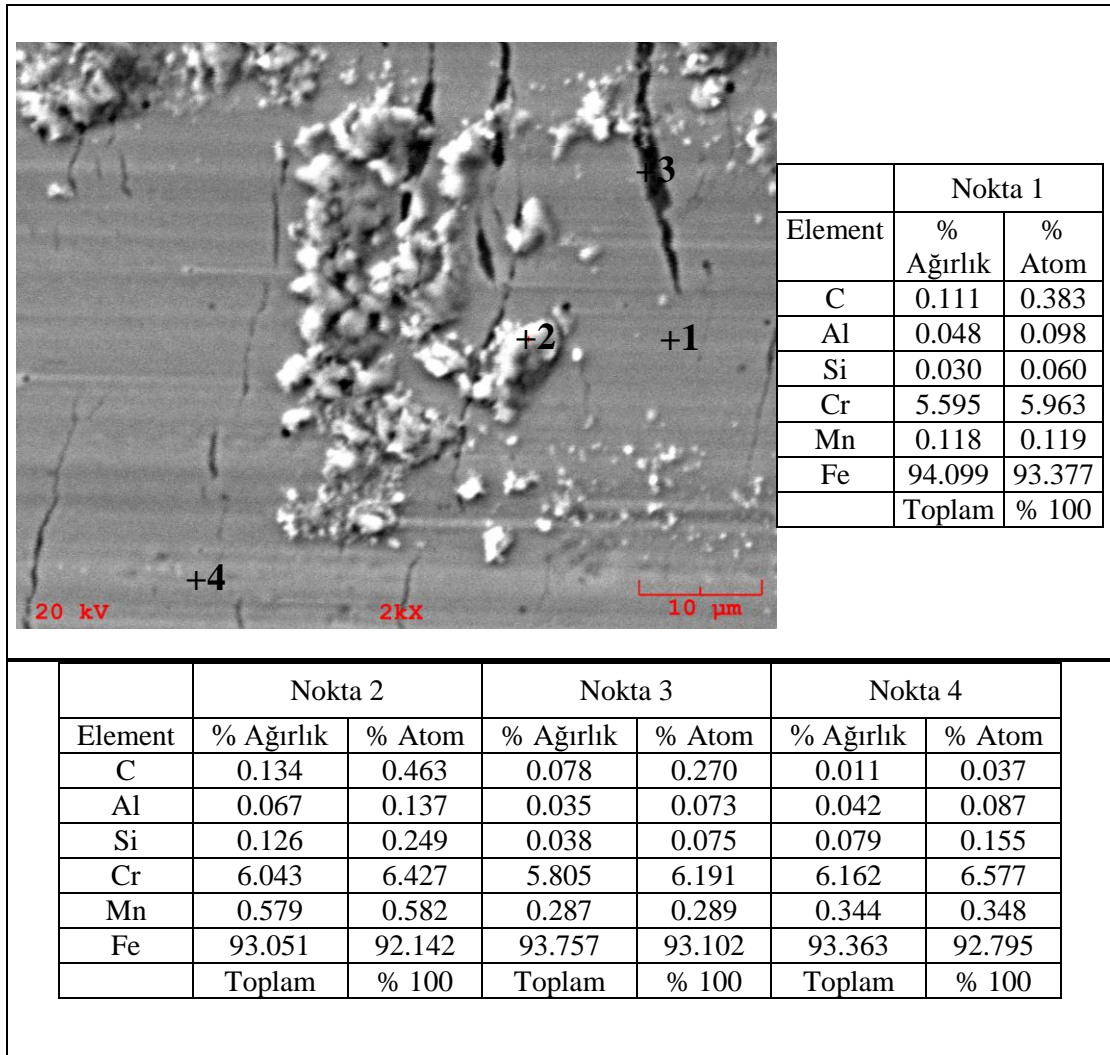
Şekil 7.23' te kaplama yapılan numunenin,  $Al_2O_3$  küre karşısındaki adhesiv aşınma deneyi sonrası elde edilen SEM fotoğrafı ve EDS analizleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde EDS analizlerinde demir-krom metallerinin oluşturduğu  $\alpha$  ferrit katı eriyik fazı içerisinde kısmen

batarak gömülmüş durumda düşük oranda, özellikle aşındırıcı olarak kullanılan  $Al_2O_3$ 'ten gelen oksit kalıntıları ve aşınan demir-krom metallerinin oluşturduğu az miktarda oksit taneleri görülmektedir (nokta 1).

Yine demir-krom alaşımından oluşan  $\alpha$  ferrit matrisinin yüzeyinde de aşındırıcı ve kaplama katı arasındaki yüksek sürtünme katsayısı ve oluşan yüksek sıcaklıklar nedeniyle, matris yüzeyinde koruma özelliği az, çok ince bir krom oksit tabakasının meydana geldiği görülmektedir (nokta 2).

$Al_2O_3$  ile yapılan aşınma deneyi sırasında aşındırıcıdan kopan taneler aşınma yönüne dik sayılabilecek şekilde yüzey üzerinde kayarak yüzeyi çizmiş ve yüzeyde birbirine paralele yakın düzende sıralanmış çizgiler meydana getirmiştir. Bazı noktalarda elektrik ark kaynağının oluşturduğu termal gerilmelerin ve değişen yüklerden ileri gelen yorulma etkileriyle ayrıca mikro çatlaklar da oluşmuştur.

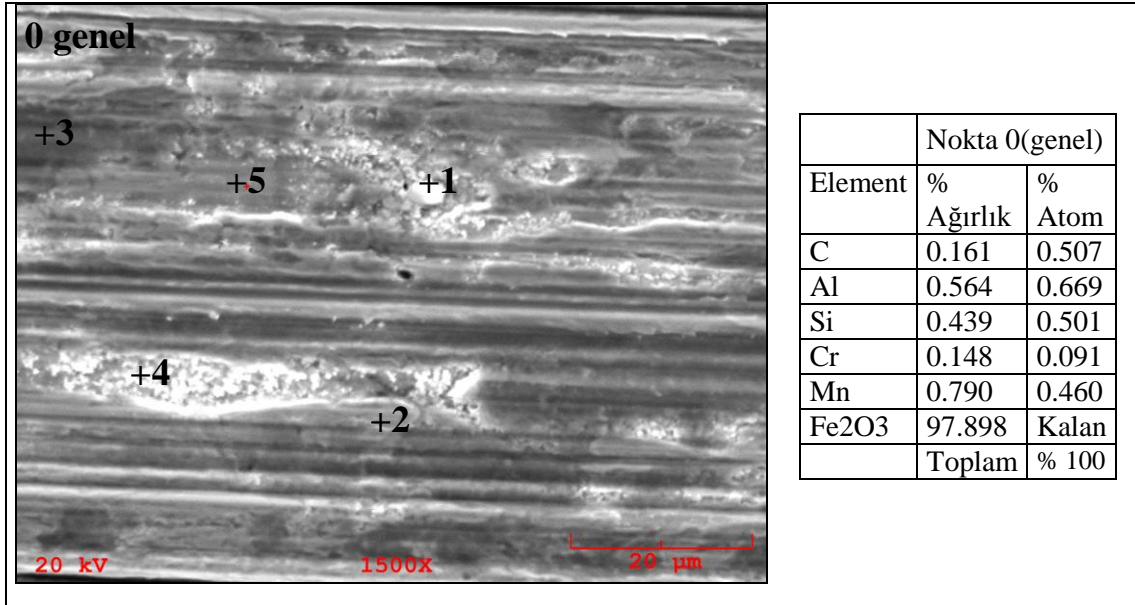
Kaplama sonrası oluşan fazların ve bunlara bağlı olarak artan yüksek sertliğin ve gevrekleşmenin etkisiyle, numunenin yük taşıma kapasitesi düşmektedir.



**Şekil 7.24** Kaplama yapılan numunenin- $Al_2O_3$  küre ile yapılan adhesiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri (2000X).

Şekil 7.24’ te kaplama yapılan numunenin,  $Al_2O_3$  küre karşısındaki adhesiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde nokta 3’ teki gibi, aşınma yüzeyine dik, yüzeye doğru oluşan çatlaklar net olarak görülmektedir. Bu çatlaklarla başlayan partikül halindeki malzeme kaybına ilave olarak sert krom karbür içerikli partiküllerin de destekleyici abrasiv etkisiyle sürtünme katsayısı beklenmedik şekilde artmıştır.

O’Donnell yaptığı çalışmada (2010), alümina-çelik malzeme çifti ile yaptıkları aşınma deneyinde benzer hız ve yük koşullarında işlemsiz numunenin sürtünme katsayısını karbürlenmiş numuneye göre oldukça düşük bulmuştur. Bu çalışmadaki sonuçlar da benzer şekilde bu bulguyu ortaya koymuştur [33].



Element	Nokta 1		Nokta 2		Nokta 3		Nokta 4		Nokta 5	
	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom
C	0.656	2.071	0.116	0.365	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.133
O	17.690	41.93	0.831	2.823	21.874	49.09	0.483	1.658	5.713	17.34
Al	0.338	0.475	0.231	0.466	0.568	0.756	0.148	0.302	0.177	0.318
Si	0.432	0.583	0.470	0.910	0.441	0.564	0.211	0.412	0.439	0.758
Cr	0.135	0.099	0.131	0.137	0.138	0.095	0.149	0.158	0.144	0.135
Mn	1.043	0.720	0.973	0.962	0.763	0.499	0.877	0.878	1.171	1.035
Fe	79.706	54.12	97.247	94.335	76.215	48.99	98.132	96.59	92.322	80.28
	Toplam	% 100	Toplam	% 100	Toplam	% 100	Toplam	% 100	Toplam	% 100

**Şekil 7.25** Ana malzemenin- $Al_2O_3$  küre ile yapılan adhesiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri.

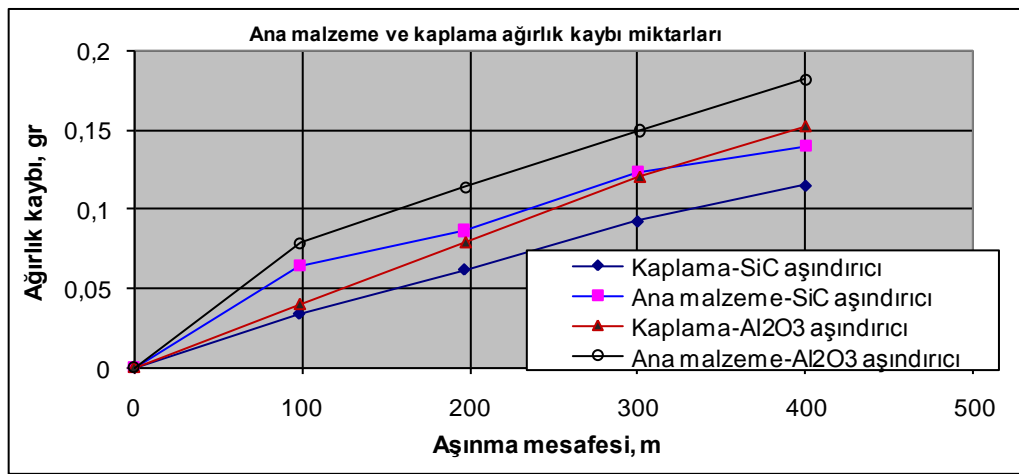
Şekil 7.20' de görüleceği üzere ana malzemenin,  $Al_2O_3$  küre kullanılarak yapılan adhesiv aşınma deneyinde sürtünme katsayısı yaklaşık  $\sim 0.26$  ortalama değerlerinde oluşmuştur. Bu değer tüm deneyler içerisinde en düşük sürtünme katsayısı değeridir. Deney sonrasında aşınma yüzeyinden alınan EDS analizinde çok büyük oranda oksitlenme olduğu görülmektedir. Deneyin hemen başında oluşan yüksek sürtünme ısısının tamamı,  $Al_2O_3$  (alümina) kürenin ısı iletkenliğinin çok düşük olmasından dolayı, ortama ve ana malzemeye geçmiştir. Bu nedenle yüzeyde oldukça güçlü oksitler oluşmuştur.

Şekil 7.25' de ana malzemenin,  $Al_2O_3$  küre karşısındaki adhesiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde, nokta 3' te; demir oksit

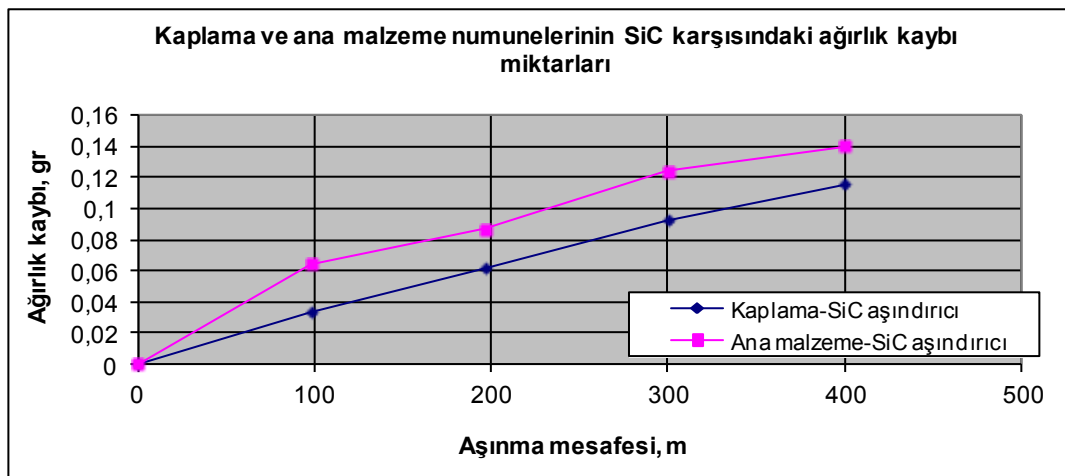
( $Fe_2O_3$ ) ve sementitin ( $Fe_3C$ ) oluştuğunu göstermektedir. Yani yüzeyde geniş bir alanda bu oksidin ve perlitik yapı içerisindeki sementitin bulunduğu kolaylıkla söylenebilir.

Bu yeterince yumuşak ve sünek ana metalle, karşısında onu aşındıran sert alüminanın ( $Al_2O_3$ ) sürtünmesi sonucunda, dar ve derin aşınma olukları ve düşük bir sürtünme katsayısı değeri elde edilmiştir.

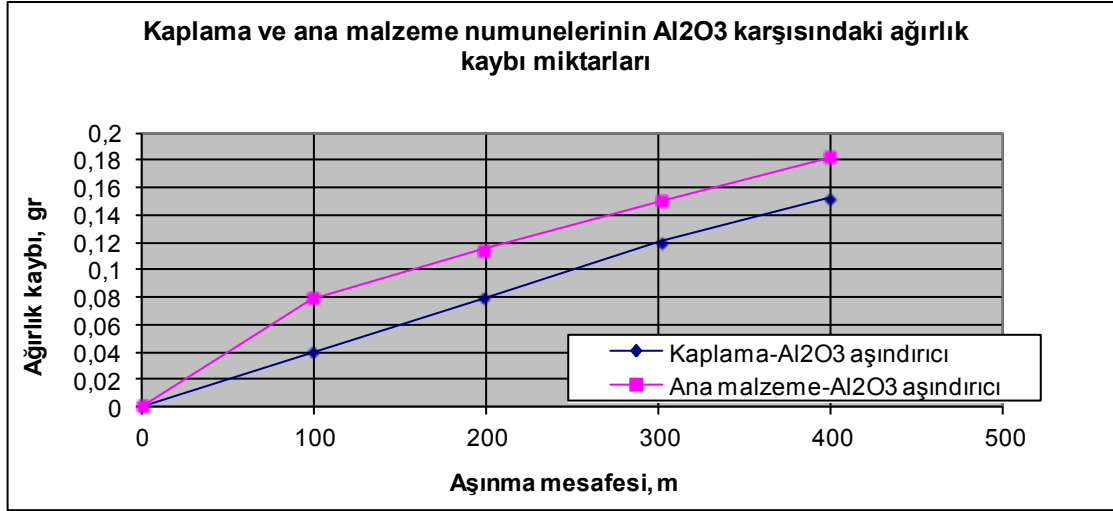
#### 7.4.2 Abrasiv aşınma deney sonuçları inceleme



Şekil 7.26 Ana malzeme ve kaplama yapılan numunelerin 42 N yükte SiC ve  $Al_2O_3$  aşındırıcı karşısındaki ağırlık kayıpları.



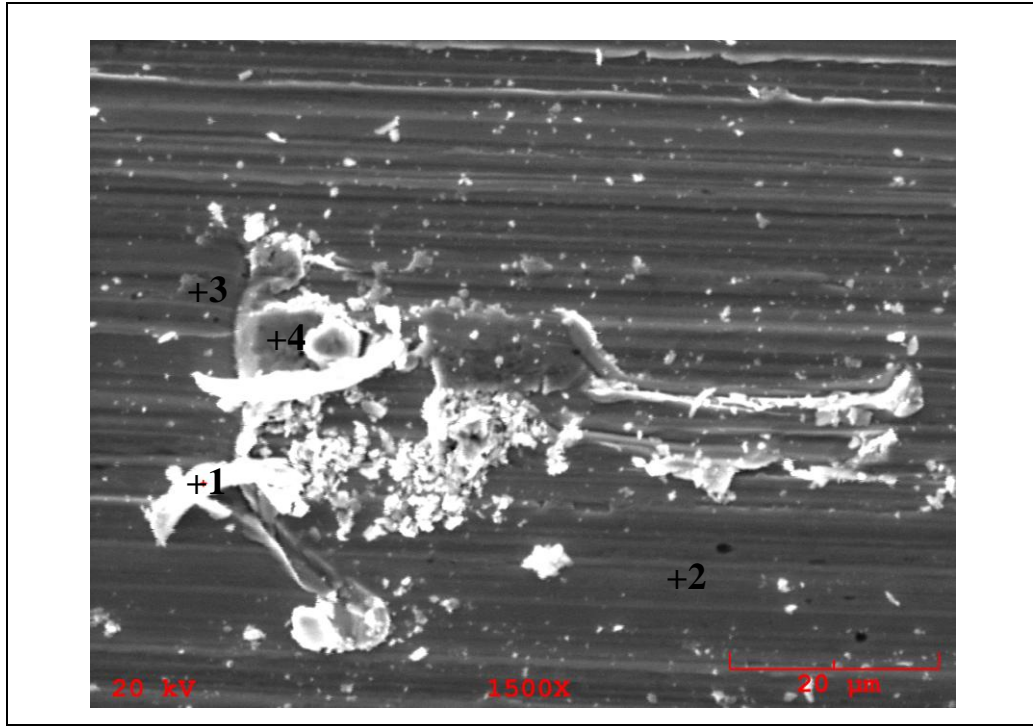
Şekil 7.27 Ana malzeme ve kaplama yapılan numunelerin 42 N yükte SiC aşındırıcı karşısındaki ağırlık kayıpları.



**Şekil 7.28** Ana malzeme ve kaplama yapılan numunelerin 42 N yükte Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aşındırıcı karşısındaki ağırlık kayıpları.

Elektrik ark kaynak yöntemi ve Citodur 600 elektrot ile yapılan kaplama sonucunda elde edilen numunelerin abrasiv aşınma direncinin tespiti için iki farklı deney tasarlanmıştır. Bu deneylerde 400 gritlik SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımpara kağıtları kullanılmıştır. Şekil 7.26' da yapılan tüm deneyler sonucunda kaplanan malzemede elde edilen ağırlık kayıpları görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en yüksek kütle kaybı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>' e karşı aşındırılan ana malzemede görülmüştür. Beklenildiği gibi; yine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımpara kağıdına karşı kaplamanın aşınma deneyinde, kaplama katında ana malzemeye göre oldukça düşük aşınma değerleri elde edilmiştir. Bu deneyler içerisinde SiC aşındırıcı-kaplama sistemi en düşük ağırlık kayıplarını ortaya koymuştur. Bu değer yaklaşık olarak 0.1155 gr çıkarken, SiC aşındırıcı- ana malzemede ise 0.1401 gr değerine ulaşmıştır.

SiC zımpara kağıdına karşı yapılan deneylerde, deney başlangıcından aşınmasının çok hızlı gerçekleştiği bu şiddetin daha sonra giderek düştüğü söylenebilir. Şekil 7.26' da görüleceği üzere Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımpara kağıdına karşı yapılan deneylerde aşınmanın çok daha şiddetli olduğu görülmektedir. Sertlik değerlerine bakıldığında çok daha düşük ağırlık kayıpları olması beklenen, kaplama yapılan numune-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aşındırıcı deneyinde, ana malzeme-SiC aşındırıcı deneyinde elde edilen değerlere yakın sonuçlara ulaşılmıştır.



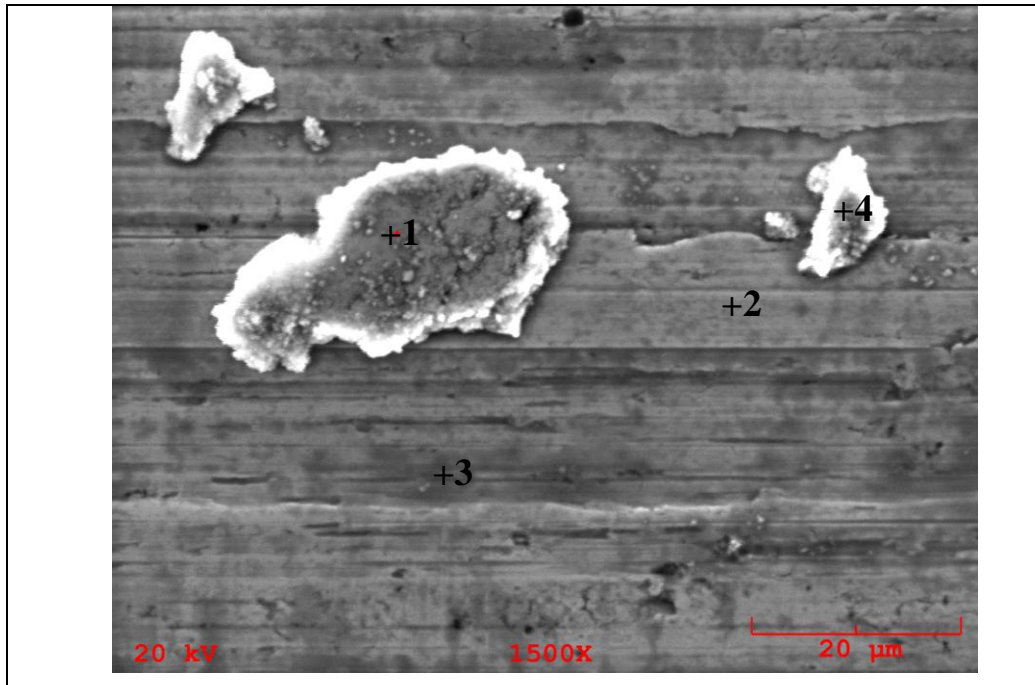
Element	Nokta 1		Nokta 2		Nokta 3		Nokta 4	
	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom
C	0.128	0.588	0.103	0.473	0.146	0.670	0.133	0.613
O	0.000	0.000	1.296	4.341	0.000	0.000	1.545	5.138
Al	0.390	0.796	0.188	0.373	0.179	0.367	0.108	0.214
Si	0.833	1.632	0.408	0.778	0.628	1.238	0.868	1.643
V	0.369	0.399	0.928	0.976	1.301	1.414	0.269	0.281
Cr	6.974	7.383	13.769	14.189	11.657	12.414	6.086	6.227
Mn	0.281	0.282	0.552	0.539	0.403	0.406	0.269	0.261
Fe	90.199	88.447	81.009	77.356	83.405	82.174	89.93	85.19
Mo	0.826	0.474	1.748	0.976	2.281	1.317	0.791	0.439
	Toplam	% 100	Toplam	% 100	Toplam	% 100	Toplam	% 100

**Şekil 7.29** Kaplama yapılan numunenin- $Al_2O_3$  zımpara kağıdı ile yapılan abrasiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri.

Şekil 7.29’ da kaplama yapılan malzemenin  $Al_2O_3$  zımpara kağıdı ile yapılan abrasiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri verilmiştir. Genel olarak aşınma yönüne paralel, düzgün, ince abrasiv aşınma izleri görülmektedir. Bu düzgün aşınan kısımların (örneğin nokta 2) yüksek krom içerikli karbürlerin bulunduğu dendritlere denk geldiği söylenebilir. Daha düşük sertlikte olan dendritler arası bölgeden kopan ve kısmen oksitlenen partiküller abrasiv aşınmayı oldukça artırmıştır.

Nokta 1 ve nokta 4’ te görülen düşük krom içerikli topaklanmalar, bu aşınma partiküllerinin dendritler arası bölgeden geldiğini göstermektedir. Aşınma mekanizması incelendiğinde yüzeyde çizilme ve mikro kesilme görülmektedir.

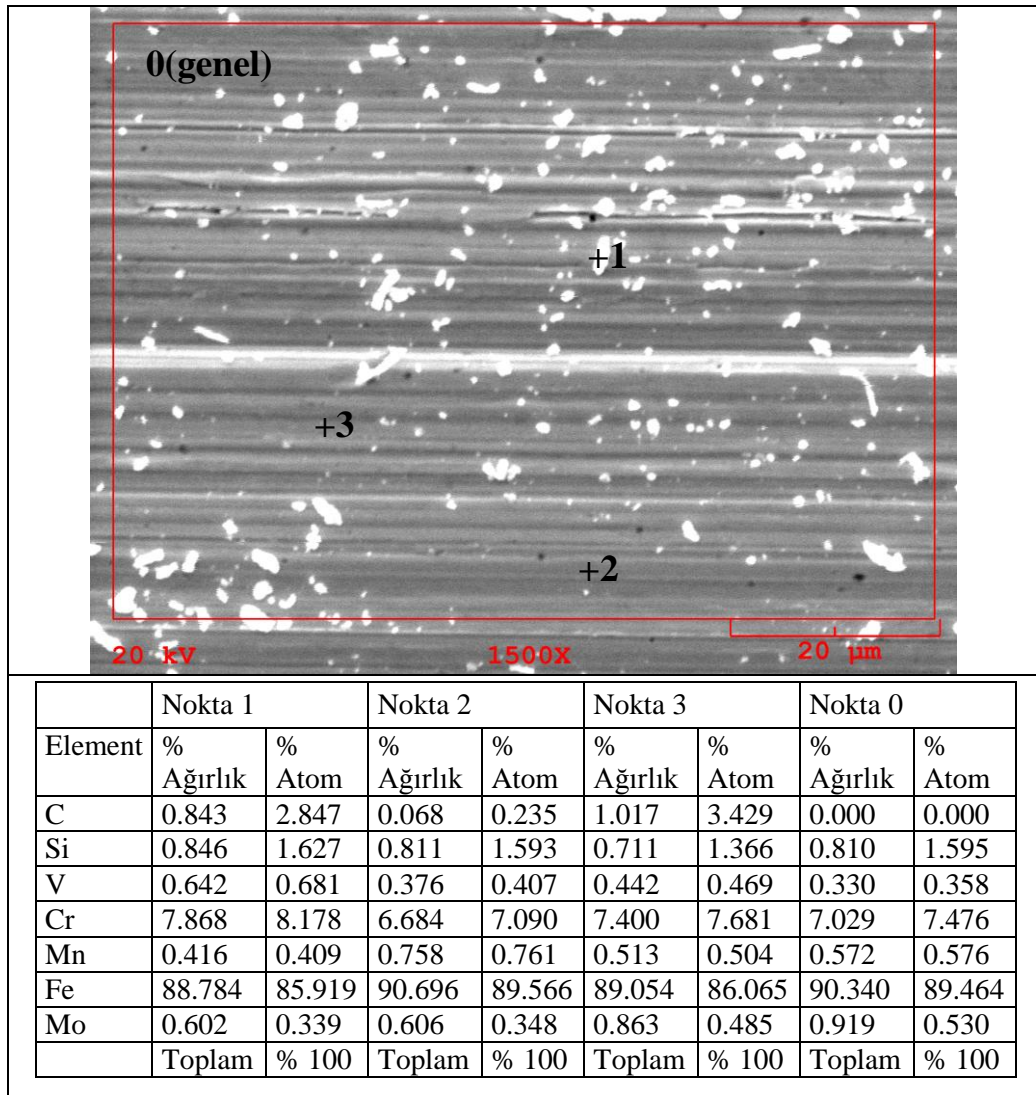
Yine bu numuneyle kısmen aynı ağırlık kayıplarını veren ana malzeme-SiC zımpara kağıdı ile yapılan abrasiv aşınma deneyi karşılaştırılırsa, kaplama yapılan malzeme- $Al_2O_3$  zımpara kağıdı ile yapılan abrasiv aşınma deneyi sırasında oluşan partiküllerin ortamdan uzaklaştığı ve bu durumunda ağırlık kayıplarını artırdığı söylenebilir.



Element	Nokta 1		Nokta 2		Nokta 3		Nokta 4	
	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom	% Ağırlık	% Atom
C	3.061	9.704	0.000	0.000	0.672	2.891	0.000	0.000
O	13.825	32.899	2.096	6.904	2.039	6.580	1.518	5.063
Al	0.153	0.216	0.206	0.403	0.091	0.175	0.336	0.664
Si	0.853	1.157	0.511	0.959	0.486	0.894	0.476	0.905
V	0.483	0.361	0.157	0.162	0.125	0.127	0.148	0.156
Mn	1.214	0.841	1.084	1.040	1.094	1.028	1.050	1.020
Fe	80.411	54.822	95.945	90.532	95.493	88.305	96.472	92.193
	Toplam	% 100	Toplam	% 100	Toplam	% 100	Toplam	% 100

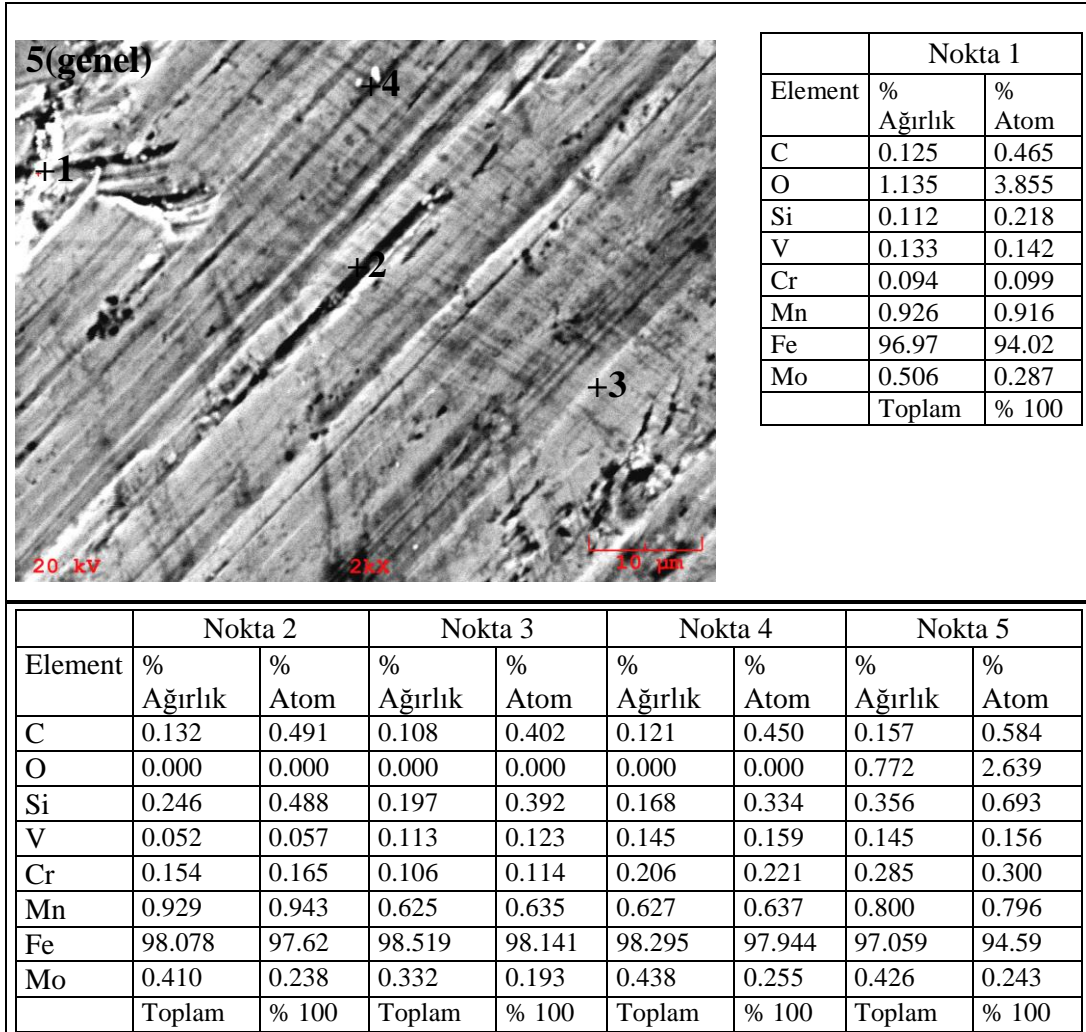
**Şekil 7.30** Ana malzemenin- $Al_2O_3$  zımpara kağıdı ile yapılan abrasiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri.

Şekil 7.30 incelendiğinde ana malzemenin  $Al_2O_3$  zımpara kağıdı ile yapılan abrasiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri görülmektedir. Abrasiv aşınma deneyi sonrasında en fazla ağırlık kayıpları elde edilmiştir. SEM fotoğrafında kısmen derin oldukça geniş aşınma izleri görülmektedir.  $Al_2O_3$  zımpara kağıdına karşı yapılan bu deneyde, ana malzemedan kopup büyük oranda oksitlenen iri aşınma partikülleri fotoğrafta görülmektedir. Bu partiküller deney esnasında abrasiv aşınma mekanizmasını oldukça hızlandırmıştır. Bu partiküllerin yüzeyde oluştuğu ve daha sonra koptuğu 2 ve 3 noktalarının EDS analizlerine bakılarak söylenebilir.



**Şekil 7.31** Kaplama yapılan numunenin-SiC zımpara kağıdı ile yapılan abrasiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri.

Şekil 7.31’ de kaplamanın-SiC zımpara kağıdına karşı yapılan abrasiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri görülmektedir. Deney sonrasında aşınma doğrultusuna paralel, düzgün, ince aşınma izleri görülmektedir. Kaplanmış malzemenin yüzeyinin 1200 HV’ ye varan yüksek sertliği nedeniyle abrasiv aşınma oldukça düşük çıkmıştır. İşlem sonrasında yüzeyden kopan ve oksitlenen aşınma partikülleri açıkça görülmektedir. Genellikle 2-3 mikron büyüklüğünde olan bu aşınma partikülleri sistemde ilave bir abrasiv etki yaratmamıştır. EDS analizlerine bakıldığında yüksek krom ve yer yer bölgesel olarak değişen oksit miktarları bu sonuçları desteklemektedir. Oluşan küçük oksit partikülleri ince aşınma çizgilerinin arasında kalarak ağırlık kayıplarını azaltmıştır.



**Şekil 7.32** Ana malzemenin-SiC zımpara kağıdı ile yapılan abrasiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri.

Şekil 7.32’de ana malzeme-SiC zımpara kağıdı ile yapılan abrasiv aşınma deneyi sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizleri görülmektedir. Genel olarak beklenildiği gibi düzgün bir abrasiv aşınma yüzeyi elde edilmiştir. Ferritik ve perlitik yapıya sahip düşük sertlikteki ana malzeme, sert SiC tanelerine karşı herhangi bir aşınma direnci göstermemiştir. EDS analizlerinin sonuçlarına bakıldığında küçük oksit partiküllerinin varlığı tespit edilmiştir.

## 8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 8.1 Sonuçlar

% 0,3 karbon içeren orta karbonlu bir yapı çeliğinin yüzeyine, bileşimlerinde % 0,4 C, % 7 Cr, % 0,5 Mo ve V bulduran rutil örtülü Citodur kaynak elektrotu kullanılarak, elektrik ark kaynağıyla yapılan kaplama işleminde; mikroyapı ve fiziksel özellikler açısından aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Kaplama bölgesi ana malzemeye metalurjik açıdan sıkı bir şekilde bağlanmıştır. Bağ kuvveti kaplama tabakasının ana malzemedan ayrılmasına ve kalkmasına olanak tanımayacak şekilde güçlüdür.
2. Kaynak tabakasının ana metale birleştiği ara yerde, iki kısım arasındaki bağı güçlendiren dar ve ince bir geçiş tabakası oluşmuştur.
3. Yapıda ara bölgeden kaynak bölgesinin yüzeyine doğru, ısının çevreye doğru yayınma yönünde belirgin bir yönelmenin olduğu; işlem sonrasında kaplama yapılan bölgede herhangi bir çatlak oluşmadığı, ancak kaynak bölgesinde yer yer küçük gözeneklerin bulunduğu tespit edilmiştir.
4. Kaynak bölgesinde ağ şeklinde birincil karbürler ve ince taneli ikincil karbürler oluşmuştur. Yapı tüm kaynak bölgesinde oluşumunu kısmen tamamlamış, oldukça homojen dağılmış dendritlerden meydana gelmektedir. Yine aynı şekilde kaynak bölgesinden ana metale doğru özellikle krom, karbon elementlerinin az oranda da molibden ve vanadyum elementlerinin difüzyonu gerçekleşmiştir.
5. Kaplama tabakasının hızlı soğuyan üst kısmında; demir ve kromun birlikte oluşturdukları kromca zengin homojen  $\alpha$  ferrit fazının oluşturduğu matris içerisinde yuvalanmış, yüksek karbonlu ince iğneli martenzit adacıklarının bulunduğu belirlenmiştir. Hem demir-krom metallerinin oluşturduğu ferrit fazının varlığı, hem sert krom karbürlerin oluşması, hem de sert martenzit ve bainit fazlarının yapıda bulunması nedenleriyle; kaplama katında ulaşılan sertlik değerleri yaklaşık 1200 HV' ye kadar ulaşmaktadır.
6. Katılma sırasında hem ana metal içerisinde ve hem de kaynak bölgesinde demir ve krom elementleri  $M_3C$ ,  $M_7C_3$  ve  $M_{23}C_6$  metal karbürlerini oluşturmuşlardır. Bu da daha önce gerçekleştirilen ve yayımlanan birçok bilimsel araştırmalarda ulaşılan sonuçlarla iyi bir uyum göstermektedir [8, 9, 15, 31].

7. Kaplamanın ana malzemeye daha yakın olan kısmında, yapı daha incelmekte ve dendritik katılaşma yavaş yavaş azalıp kaybolmaktadır. Bu bölgede krom elementinin ve buna bağlı olarak krom karbürlerin oluşumunun miktarca azalmasıyla, sertlik değerlerinde hissedilir ölçüde düşüşler meydana gelmektedir.
8. Kaplamanın ana malzemeye yakın olduğu bölgede; özellikle yapı içerisinde krom oranının büyük oranlarda değiştiği, küçük ve ince taneli küremsi karbürlerin matris içerisinde dağıldığı ve soğutma hızının azalması nedeniyle, martenzit oluşumunun gerçekleşmediği; ama bunun yerine bainitik yapıya geçişin hızlandığı tespit edilmiştir.
9. Sürtünme katsayısı testinde, en büyük sürtünme katsayısı değeri kaplama tabakasıyla  $Al_2O_3$  küre arasında 0,76 ve en küçük sürtünme değeri de ana malzemeyle  $Al_2O_3$  küre arasında 0,32 olarak bulunmuştur. Hem ana metalin ve hem de kaplama katının DIN 100Cr6 çeliğiyle yapılan sürtünme katsayısı olarak 0,3-0,35 aralığında bulunan, birbirine yakın değerler elde edilmiştir.
10. Kaplanan parçanın, DIN 100Cr6 çelik küre karşısındaki adhesiv aşınmasında SEM fotoğrafı ve EDS analizlerinin incelenmesinden; kuru metal-metal sürtünmesi sonucu oluşan aşınma oluklarının geniş olduğu, aradaki çıkıntıların fazla yüksek olmadığı, aşınmanın sınırlı ölçülerde gerçekleştiği, malzemedeki sürtünme esnasında kopan parçacıkların sayıca az olduğu; dolayısı ile kopup oksitlendikten sonra yüzeyde tekrar kazıma etkisi gösteren partiküllerin sayıca azaldığı tespit edilmiştir.
11. Kaplama katının adhesiv aşınma deneyinde elde edilen bulgular; elde edilen tabakanın yeterli bir tokluk ve sünekliğe de sahip olduğunu, oluşan oksitlerin abrasiv etki gösterdiklerini; ancak numunenin yüksek sertliği nedeniyle abrasiv etkinin azaldığını, deneyin ilerleyen safhalarında yüzeyden kopan sert krom karbürlerin kısmen abrasiv etki yarattıklarını, kopan tanelerin krom karbürler olduğunu; yapılan EDS analizleri açıkça göstermiştir.
12. Kaplama tabakasının ve ana malzemenin SiC ve  $Al_2O_3$ 'le yapılan abrasiv aşınma testlerinde; aynı yük altında artan aşınma mesafesiyle ağırlık kaybının arttığı; ana malzeme ve kaplama katının  $Al_2O_3$  aşındırıcıyla aynı aşınma mesafesinde ve yükte daha fazla aşındıkları; kaplama katının her iki aşındırıcıya karşı da ana malzemeye oranla daha az aşındığı bulunmuştur.

13. Kaplama katından kopup ayrılan ve oksitlenen partiküllerle, kaplama katında mevcut ve abrasiv aşınma esnasında yüzeyden kopan gevrek metal karbürler de yine abrasiv aşınmayı hızlandırıcı etki göstermişlerdir. Söz konusu bu sert partiküller aşınma izleri oluşturma dışında, aşınan yüzeye batıp kısmen gömülmüşlerdir.

## **8.2 Öneriler**

1. Sade karbonlu ya da alaşımlı çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi başka bileşimlere sahip endüstriyel elektrotlarla da kaplanıp incelenebilir.
2. Kaynak yöntemi değiştirilerek bu tür kaynak işlerinde mikroyapı ve mekanik özelliklerin değişimi incelenebilir.
3. Farklı örtü türüne sahip elektrotlar seçilerek mikroyapı ve mekanik özellik farkları araştırılabilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Akbayır, Ö., 2005, “Katı ortamda borlanmış AISI 1030 çeliğinde işlem parametrelerinin yüzey ve aşınma özelliklerine etkisi”, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- [2] Yıldız, T., Koç, A., Gür, A.K., 2007, “AISI 4142 Çeliğinin Elektrik Ark Kaynağı İle Yüzey Modifikasyonu Sonrası Aşınma Davranışının İncelenmesi”, Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:19 (3), 417–423. ISSN:1300–2708.
- [3] Dikicioğlu, A., Vural, M., 1993, “Sert dolgu kaynağı ile tamir bakım”, İ.T.Ü., Makine Fakültesi, Ders Notları, İstanbul.
- [4] Islak, S., 2005, “45Mn5 çeliğinin ısıtılma işlem ve ergitme yöntemleri ile yüzey modifikasyonu işlemleri sonrası mekaniksel davranışlarının incelenmesi”, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- [5] Gür, A.K., 2009, “Plazma (PTA) yöntemiyle düşük karbonlu çeliğin yüzey modifikasyonuna koruyucu gazların etkisi”, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Elazığ.
- [6] Yıldırım, M.M., Çakan, A., 2011, “Mühendislik Malzemeleri -I-“, Kampüs Yayıncılık, Hazar Reklam Mat. Ltd. Şti., ISBN: 978-605-61590-4-6, Kütahya.
- [7] Orhan, A., 2008, “Gaz tungsten ark kaynak yöntemiyle üretilen Fe esaslı kaplama tabakalarının aşınma ve mikroyapı karakteristiklerinin araştırılması”, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Elazığ.
- [8] Ulutan, M., Yıldırım, M.M., Buytoz, S., Çelik, O.N., 2011, “Microstructure and wear behavior of TIG surface-alloyed AISI 4140 steel”, Tribology Transactions, 54, 67-79.
- [9] Buytoz, S., Yıldırım, M.M., 2010, “Microstructure and abrasive wear properties of M(Cr,Fe)7C3 carbides reinforced high-chromium carbon coating produced by gas tungsten arc welding (GTAW) process”, Archives and Foundry Engineering, 10, 279-286.
- [10] Yıldız, T., Gür, A.K., 2010, “The Effect Of Nitrogen Shielded Gases at Welded Metal Surface AISI 1030” , e-Journal of New World Sciences Academy, Vol: 5(2), 339-347 ISSN:1306-3111.
- [11] Oğuz, B., “Ark Kaynağı”, Oerlikon, İstanbul, 1989.
- [12] Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E., 1991, “Örtülü Elektrod ile Elektrik Ark Kaynağı”, GEV Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü Yayınları, İstanbul.

### KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- [13] Vural, M., 2010, İ.T.Ü., “Üretim yöntemleri ders notları”, internet adresi: <http://web.itu.edu.tr/vuralmu/eut31-1.pdf>
- [14] Ekici, M., “MIG/MAG ve elektrik ark kaynağı ile birleştirilmiş mikroalaşımli çeliklerin mekanik özellikleri”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [15] Buytoz, S., Yıldırım, M.M., "Microstructural and Abrasive Wear Properties of Tungsten Inert Gas Deposited FeCrC and WC Coating on AISI 4340 Steel"; *Prakt. Metallogr.* 44 (2007), 6, 273-289.
- [16] Oğuz, B., 1985, “Karbonlu ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı”, Oerlikon Yayınları, 1. Baskı, Oerlikon Kütüphanesi, İstanbul.
- [17] Anık, S., “1991, Kaynak Tekniği El Kitabı”, Gedik Eğitim Vakfı (GEV), Kaynak Teknoloji Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul.
- [18] Korkut, M.H., Yıldırım, M.M., 2000, Endüstride çok kullanılan dolgu elektrodlarının kaynak sonrası aşınma davranışları, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Ulusal Kaynak Teknolojisi Kongresi, 1-2 Eylül 2000, Bildiri Kitabı, 55-64.
- [19] Emrehan İnş. San. Tic. ve Sig. Acenteliği Ltd. Şti. , 2011, “Oerlikon Örtülü Elektodları”, Citodur 600 Elektrot, İzmir. <http://hirdavatnalburiyeuzmani.com/Products/99-citodur-600-elektrod.aspx>.
- [20] Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E., 1991, “Örtülü Elektrod ile Elektrik Ark Kaynağı”, GEV Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü Yayınları, İstanbul.
- [21] Ateş, H., 1996, “MIG/MAG Kaynağında argon gazına karbondioksit ve oksijen ilavesinin kaynak metali tokluğu ve mikroyapısına etkisinin araştırılması”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [22] Sabo, R.S., 1995, *The Procedure Handbook of Arc Welding*, “Welding carbon and low alloy steel”, published by The Lincoln Electric Company, 13. Ed., Sec. 6.2.1., Cleveland, Ohio.
- [23] Bussu, G., Irving, P.E., 2003, “The role of residual stress and heat affected zone properties on fatigue crack propagation in friction stir welded 2024-T351 aluminium joints”, *International Journal of Fatigue*, 25 (1), 77-88.

### KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)

- [24] Avnir, D., Kaufman, V.R., Reisfeld, R., 1985, "Organic fluorescent dyes trapped in silica and silica-titania thin films by the sol-gel method. Photophysical, film and cage properties", Journal of Non-Crystalline Solids, 74, (2-3), 395-406.
- [25] Bach, Fr.-W., Duda, T., 1980, "Moderne Beschichtungsverfahren", Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim.
- [26] Buytoz, S., 2004, "AISI 4340 çeliğinin nitrürasyon ve GTA kaynak yöntemi ile yüzey modifikasyonu işlemleri sonrası mekaniksel davranışlarının araştırılması", Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- [27] Kisecik, İ., İ., 2010, "Sertleştirilmiş ve Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış AISI 1050 Çeliğinin Aşınma Direncinin Araştırılması", Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [28] MEGEP Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, 2006, Metal Teknolojisi, Dolgu Kaynağı, Ankara. [Mhttp://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/dolgu\\_kaynagi.pdf](http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/dolgu_kaynagi.pdf)
- [29] Korkut, M.H., 1997, "Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı ve aşınması üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması", Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ.
- [30] Mustafa Ulutan, 2007, "AISI 4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kostrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı, Doktora Tezi, Eskişehir.
- [31] Yıldırım, M.M., Buytoz, S., Ulutan, M., 2007, "Microstructural Changes to SiC Coated Metallic Surfaces Produced by the TIG Welding Process on a 45Mn5 Steel" Prakt. Metallogr. 44, 2, 59-69.
- [32] Yıldırım, M.M., Doğan, Z.S., Çakan, A., Pakdil, M., 2001, Mühendislik Malzemeleri -III-, Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Yayın No: 11/5, Mustafa Kemal Üniversitesi Basımevi, İskenderun, 2001 (ISBN 975-7989-16-9).
- [33] O'Donnell, I.J., 2010, Tribology of 316L austenitic stainless steel carburized at low temperature, Case Western Reserve University, School of Graduate Studies, Department of Materials Science Engineering, master thesis, 122 p.
- [34] ASM Handbook, 1991, Fig. 5 Time-temperature transformation diagrams for 1034 and 1090 steels-Vol:4-Heat treating, Volumes 1-20, 2173 p.