

**T.C**  
**FIRAT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GTA YÖNTEMİ KULLANILARAK AISI 304 ÇELİK YÜZEYİNİN FeTi, FeB, FeW  
KATKILI STELLİTE 6 İLE ALAŞIMLANDIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Mahmut KARATAŞ**

**Anabilim Dalı: Metalurji Eğitimi**

**Bilim Dalı: Malzeme**

**Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin TURHAN**

**OCAK-2011**

**T.C**  
**FIRAT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GTA YÖNTEMİ KULLANILARAK AISI 304 ÇELİK YÜZEYİNİN FeTi, FeB, FeW  
KATKILI STELLİTE 6 İLE ALAŞIMLANDIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mahmut KARATAŞ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18 OCAK 2011**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 2 ŞUBAT 2011**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin TURHAN (F.Ü)**

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nuri ORAHN (F.Ü)**

**Doç. Dr. Ahmet HASÇALIK (F.Ü)**

**OCAK-2011**

## ÖNSÖZ

Tez çalışmamda kıymetli fikirleriyle çalışmalarımı yönlendiren ve her konuda beni destekleyip yardımlarını esirgemeyerek yol gösteren sayın hocam Doç. Dr. Hüseyin TURHAN' a en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. SEM analizlerinin yapılması sırasındaki yardımlardan dolayı FÜEMLAB personeline, XRD analizleri sırasında desteklerinden dolayı Sayın Prof. Dr. Mustafa AKSOY'a ve XRD analizlerimi yapan Sayın Uzm. Selçuk KARATAŞ'a çalışmalarım esnasında desteklerini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet YAZ' a ve arkadaşlarım Dr. Tanju TEKER' e ve Niyazi Yılmaz ÇOLAK' a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Eğitim süresi boyunca hem maddi ve hem de manevi desteğini benden esirgemeyen canım aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm yüksek lisans eğitimim boyunca bana çeşitli yardımlarda bulunan ve destek olan adlarını yazamadığım diğer tüm arkadaşlarım ve dostlarıma teşekkür ederim.

**Mahmut KARATAŞ**

**ELAZIĞ – 2011**

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

ÖNSÖZ	
İÇİNDEKİLER.....	I
ÖZET .....	III
SUMMARY .....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	V
TABLolar LİSTESİ .....	VII
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2.PASLANMAZ ÇELİKLER.....</b>	<b>3</b>
2.1. Paslanmaz Çelikler Fiziksel ve Mekanik Özellikleri .....	6
2.2. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	6
2.3. Ferritik Paslanmaz Çelikler .....	10
2.4. Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	12
2.5. Dupleks Paslanmaz Çelikler.....	14
2.6. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler.....	15
<b>3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİKLERİN YAPI VE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ.....</b>	<b>16</b>
3.1 Alaşımlamanın Amacı .....	16
3.2. Çelikte Karbon.....	16
3.3. Çelikte Krom .....	17
3.4. Çelikte Nikel.....	17
3.5. Çelikte Molibden .....	17
3.6. Çelikte Tungsten.....	17
3.7. Çelikte Titanyum .....	18
3.8. Çelikte Bor.....	18
3.9. Çelikte Kobalt.....	18
3.10. Alaşım Elementlerinin Karbürlere Etkisi .....	18
<b>4. AŞINMAYA DİRENÇLİ MALZEMELER.....</b>	<b>19</b>
4.1. Kobalt Esaslı Alaşımalar .....	20
4.2. Kobalt Esaslı Alaşımarda Abrasif Aşınma Direncine Etki Eden Faktörler .....	23
4.2.1. Abrasif aşınma direncine karbürlerin etkisi.....	24
4.2.2. Matrisin etkisi .....	27
<b>5. YÜZEY KAPLAMA İŞLEMLERİ.....</b>	<b>29</b>
5.1. Sert Yüzey Kaplama İşlemi .....	29
5.2. Yüzey Kaplama Malzemeleri .....	30
5.3. Yüzey Kaplama Alaşımalarının Sınıflandırılması .....	31
5.3.1. Kobalt esaslı sert yüzey kaplama alaşımları.....	32
5.3.2. Kobalt esaslı alaşımların içerdiği karbürler .....	33
<b>6. YÜZEY KAPLAMA KRİTERLERİ VE YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>34</b>
6.1 Yüzey Kaplama Alaşımı Seçimi.....	34
6.2. Yüzey Kaplamada İşlem Seçimi .....	35
6.3. Özellik ve Kalite Gereksinimleri .....	36
6.4. Ana Malzemenin Fiziksel Özellikleri.....	37

6.5. Ana Metalin Metalürjik Özellikleri .....	37
6.6. Yüzey Kaplama Ürün Şekilleri.....	38
6.7. Yüzey Kaplama Yöntemleri.....	39
6.7.1. Elektrik ark kaynağı .....	39
6.7.2. Tozaltı kaynağı .....	41
6.7.3. TIG kaynağı.....	43
6.7.3.1. TIG kaynak donanımı.....	44
6.7.3.2. TIG Kaynak Elektrotları.....	46
6.7.3.3. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar .....	46
6.7.4. Toz ilaveli oksî-gaz kaynağı.....	47
6.7.5. Plazma ark kaynağı.....	48
6.7.6. Lazer kaynağı .....	50
<b>7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>52</b>
7.1. Çalışmanın Amacı .....	52
7.2. Deneyde kullanılan Malzemeler .....	52
7.3. Kaplama Alaşımının Hazırlanması .....	54
7.4. Optik mikroskop, (SEM) ve Noktasal Analiz (EDS) analizleri .....	54
7.5. Makro ve Mikrosertlik Deneyi .....	54
<b>8. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ .....</b>	<b>56</b>
8.1. Deney Numunelerinin Makroyapı Analizleri .....	56
8.2. Deney Numunelerinin Optik Mikroskop ve SEM Analizleri .....	56
8.3. Deney Numunelerinin EDS Sonuçları.....	68
8.4. Makro ve Mikrosertlik Sonuçları .....	83
8.5. X-RD Analiz Sonuçları .....	85
<b>9. GENEL SONUÇLAR.....</b>	<b>86</b>
<b>10. KAYNAKÇA.....</b>	<b>88</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	

## ÖZET

Yüzey kaplama işlemlerinden biriside sert yüzey kaplama işlemidir. Sert yüzey kaplama işlemi genellikle abrasyon, erozyon, darbe, oksidasyon, kaviteasyon vb. sebeplerle malzemelerde meydana gelen aşınma kaybını azaltmak için uygulanır. Aynı zamanda aşınmış malzemelerin kullanım ömürlerini uzatmak ve yeniden ekonomiye kazandırmak için de kullanılır. Co esaslı süper alaşımlı malzemeler bu işlem için uygun malzemelerdir.

Bu çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliği ana malzemenin yüzeyi Stellite-6 + FeTi, FeB, FeW, FeMo alaşımlı malzemeler ile GTA kaynak yöntemi ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi tek kat olarak yapılmıştır. Kaplama işleminden önce ana ve kaplama malzemelerinin kimyasal analizleri yapılmıştır. Yapılan bu kaplamalardan uygun şekilde hazırlanan numuneler metalografik incelemelere hazır hale getirilmiş ve incelenmiştir. Kaplanan tabaka ve geçiş bölgesi mikroyapı, mikro ve makrosertlik, SEM ve X-RD analizleri ile incelenmiştir. Gerçekleştirilen kaplamalar sertlik ve mikroyapı yönünden incelenmiş, bu incelemeler sonucunda yapılan alaşımlamaların etkileri belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Stellite-6, FeTi, FeB, FeW, FeMo, Yüzey kaplama.

## SUMMARY

### **Surface Modification with Stellite 6 + FeTi, FeB, FeW, FeMo addition of AISI 304 Steel By Using GTA Process**

Hardfacing is applied to reduce the wear losses of material by abrasion, impact, erosion, oxidation, cavitation. It can be also used to increase the life of abraded parts. Generally Co-based alloys, commercial name is stellites, are used for hardfacing.

In this study AISI 304 stainless steel were coated with stellite 6 + FeTi, FeB, FeW, FeMo superalloys hardfacing materials by using tungsten inert gas welding (GTA) techniques. One layer of a cobalt base alloy was hardfaced on to the steel plates. Appropriate samples were taken from the hardfaced materials and then the structures of samples were investigated experimentally. Hardfaced samples were investigated by optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM), EDS, X-ray analyses (XRD), microhardness and macrohardness measurements. It was seen that the microstructures and the microhardness of the deposited layer and the main materials were affected from the coating process.

**Keywords:** Stellite-6, FeB, FeW, FeTi, FeMo, surface coating.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 2.1. Paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr miktarları.....	5
Şekil 2.2. Fe-Cr-C alaşımları faz diyagramı.....	10
Şekil 2.3. Bazı tip paslanmaz çeliklerin çentik darbe özellikleri ve temperleme sıcaklığın etkisi.....	13
Şekil 4.1. Stellite alaşımlarının abrasif aşınma karakteristikleri.....	23
Şekil 5.1. Karbür içerikli kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının çift tabaka plazma ark kaplama mikroyapı görünümleri (a) ERCoCr-C , (b) ERCoCr-A, (c) ERCoCr-E.425X..	33
Şekil 6.1. Tozaltı kaynağının şematik görünüşü.....	42
Şekil 6.2. Gaz altı kaynak yönteminin şematik gösterimi.....	44
Şekil 6.3. TIG kaynak donanım şeması.....	45
Şekil 6.4. Plazma ark yüzey kaplama işleminin şematik gösterimi.....	49
Şekil 7.1. Gaz tungsten ark kaynak yöntemiyle yapılan kaplama işleminin şematik görünümü.....	53
Şekil 7.2. Makrosertlik ölçüm numunesi.....	55
Şekil 7.3. Mikrosertlik ölçüm numunesi.....	55
Şekil 8.1. S1-S5 Numunelerine ait makroyüzey görüntüsü.....	56
Şekil 8.2. S1 numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey optik fotoğrafı.....	58
Şekil 8.3. S2 numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey optik fotoğrafı.....	59
Şekil 8.4. S3 numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey optik fotoğrafı.....	61
Şekil 8.5. S4 numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey optik fotoğrafı.....	62
Şekil 8.6. S5 numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey optik fotoğrafı.....	63
Şekil 8.7. S1 Numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey SEM fotoğrafı.....	64
Şekil 8.8. S2 Numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey SEM fotoğrafı.....	65
Şekil 8.9. S3 Numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey SEM fotoğrafı.....	66
Şekil 8.10. S4 Numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey SEM fotoğrafı.....	67
Şekil 8.11. S5 Numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey SEM fotoğrafı.....	68
Şekil 8.12. S1 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	69
Şekil 8.13. S1 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	70

Şekil 8.14. S1 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	70
Şekil 8.15. S1 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	70
Şekil 8.16. S1 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	71
Şekil 8.17. S2 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	72
Şekil 8.18. S2 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	72
Şekil 8.19. S2 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	73
Şekil 8.20. S2 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	73
Şekil 8.21. S2 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	74
Şekil 8.22. S3 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	75
Şekil 8.23. S3 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	75
Şekil 8.24. S3 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	76
Şekil 8.25. S3 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	77
Şekil 8.26. S3 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	77
Şekil 8.27. S4 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	78
Şekil 8.28. S4 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	79
Şekil 8.29. S4 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	79
Şekil 8.30. S4 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.....	80
Şekil 8.31. S5 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.....	81
Şekil 8.32. S5 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	81
Şekil 8.33. S5 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	82
Şekil 8.34. S5 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	82
Şekil 8.35. S5 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.....	83
Şekil 8.36. S1-S5 Numunelerinin mikrosertlik grafiği.....	85
Şekil 8.37. S1 numunesine ait X-RD analiz grafiği.....	85

## TABLolar LİSTESİ

### Sayfa No

<b>Tablo 2.1.</b> Alaşım sız çelik ile paslanmaz çeliklerin fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması.	6
<b>Tablo 2.2.</b> Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları.	7
<b>Tablo 4.1.</b> Bazı stellite alaşımlarının bileşimleri.	21
<b>Tablo 5.1.</b> Çeşitli kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının kimyasal bileşimi.	32
<b>Tablo 6.1.</b> Kaynak türlerine göre elektrotlar.	34
<b>Tablo 6.2.</b> Tungsten elektrotların kimyasal bileşikleri ve tanım renkleri (DIN 32528).	46
<b>Tablo 7.1.</b> Dene ylerde kullanılan alt malzeme ve ilave metalin kimyasal bileşimi (% Ağırlık).	53
<b>Tablo 7.2.</b> Takviye malzemesinin kimyasal bileşimi (%Ağırlık).	53
<b>Tablo 7.3.</b> Yüzey alaşımlama için üretim parametreleri.	53
<b>Tablo 8.1.</b> S1 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	69
<b>Tablo 8.2.</b> S1 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	70
<b>Tablo 8.3.</b> S1 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	70
<b>Tablo 8.4.</b> S1 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	71
<b>Tablo 8.5.</b> S2 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	72
<b>Tablo 8.6.</b> S2 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	73
<b>Tablo 8.7.</b> S2 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	74
<b>Tablo 8.8.</b> S2 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	74
<b>Tablo 8.9.</b> S3 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	76
<b>Tablo 8.10.</b> S3 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	76
<b>Tablo 8.11.</b> S3 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	77
<b>Tablo 8.12.</b> S3 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	78
<b>Tablo 8.13.</b> S4 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	79
<b>Tablo 8.14.</b> S4 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	79
<b>Tablo 8.15.</b> S4 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	80
<b>Tablo 8.16.</b> S5 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	81
<b>Tablo 8.17.</b> S5 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	82
<b>Tablo 8.18.</b> S5 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	83
<b>Tablo 8.19.</b> S5 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.	83
<b>Tablo 8.20.</b> S1-S9 Numunelerine ait makrosertlik değerleri.	84



## 1. GİRİŞ

Malzeme teknolojisinde; geleneksel malzemelere oranla daha kullanışlı, pratik, ucuz ve özellikleri iyileştirilebilen yeni malzemelerin geliştirilmesi her zaman araştırmacıların temel hedefleri arasında yer almıştır.

Hareketli makine parçalarının yüzeylerinin aşınmaya karşı dirençli olması istendiği için aşınma sorunlarının çözümünde uzun yıllar süren araştırmalar sonucunda aşınma etkilerine karşı daha dayanıklı olan kobalt esaslı alaşımlar geliştirilmiştir. Makine parçalarında aşınmaya dirençli bir yüzey elde edilmesinde kullanılan bu alaşımlar, adhesif, abrasif, darbe, erozyon ve korozyon aşınması ile birlikte sıcaklığın yüksek olduğu ortamlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1]. Bu alaşımlar genellikle yüksek oranda krom ve diğer alaşım elementleri ihtiva eden "Stellite" türündendir. İlk Stellite alaşımı Co-28Cr-4U-1,1C (ağırlıkça %) bileşimiyle geliştirilmiştir ve bu alaşım günümüzde "Stellite 6" olarak bilinmektedir [2].

Yüksek sıcaklıklarda bile sertliklerini muhafaza edebilen Co esaslı alaşımlar, aşınmaya maruz malzeme yüzeylerine aşınmadan önce veya aşınmadan sonra, elektrik ark kaynağı, lazer, gazaltı, tozaltı kaynağı ve pulverizasyon metotlarıyla kaplanır [3].

Yüzey kaplama ise, yeni bir yüzey tabakası elde etmek amacıyla çeşitli kaynak yöntemleri, ısı püskürtme veya lazer kaynak yöntemi kullanılarak ana metalden farklı özellikte ve kimyasal bileşimi bilinen bir metal veya alaşımın ana malzeme yüzeyine kaplanması işlemidir [4]. Yüzey kaplama aşınmayı, yıpranmayı, darbeyi, erozyonu ve oyulmayı azaltmak için orijinal parçalara uygulandığı gibi bozulan parçaların tamiri amacıyla da uygulanır.

Sert yüzey kaplama işlemi uygulamalarında çeşitli metal ve alaşımlar kullanılır. Bu kaplama malzemelerinden birisi de "Stellite" olarak bilinen Kobalt esaslı süper alaşımlardır [5]. Kobalt esaslı sert yüzey kaplama alaşımları yüksek sıcaklıklarda, iyi derecede aşınma, oksidasyon ve korozyon direnç özellikleri gerektiren uygulamaların tümünde kullanılmaktadır [6]. Bu alaşımlar aynı zamanda jet motorlarında, rotor, türbin kanatları, valfler, dişçilik ve cerrahi takımlar, egzoz çıkış boruları ve benzeri yerlerde kullanılırlar [7].

Bu çalışmada; endüstride birçok alanda kullanılan AISI 304 kodlu çeliklerin yüzeyleri, yüksek aşınma dirençleri özelliğinden dolayı yaygın olarak kullanılan kobalt esaslı Stellite 6 süper alaşımı + FeTi, FeB, FeW, FeMo alaşım malzemesi kullanılarak TIG

kaynak yöntemiyle kaplanarak mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar mikroyapı fotoğrafları optik mikroskop (OM), Scanning Electron Microscopy (SEM),EDS analizleri, mikrosertlik ve yardımıyla birlikte değerlendirilerek kaplamaların karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler; bileşimlerinde en az % 11 oranında krom içeren çeliklerdir. Sahip oldukları üstün mekanik özellikleri ve korozyon dirençlerinden dolayı günümüz endüstrisinin en önemli malzemelerinden biri olup, 170' ten fazla farklı paslanmaz çelik türü bulunmaktadır [8-10]. Bu malzemeler günümüzde gıda endüstrisinde, depolama tankı olarak, basınçlı kaplar yapımında, fırın parçalarında, çeşitli dekoratif işlemlerde kullanılmakta olup, kullanma alanları da her geçen gün biraz daha artmaktadır [8, 9, 11-13].

Paslanmaz çelik 540 °C' ye kadar oksidasyona dayanım gösterir. Östenitik paslanmaz çelikler en çok kullanılan paslanmaz çelik türleri olup, bu çeliklerden en çok AISI 304 ve AISI 316 tipi paslanmaz çelikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Paslanmaz çeliklerin uygulanma alanları yukarıda bahsedilmiş olup, bunlara ilave olarak paslanmaz çelikler ev eşyalarından başlayarak, kimya, petro-kimya, gıda, fırın parçaları, yanma odaları, ısıl işlem ekipmanları, ısıtıcılar, çeşitli taşıtların kasalarının imalatı ve pompa milleri gibi birçok alanda yaygın kullanıma sahiptirler [8-10,12,13]. Esasında, paslanmaz çelikler her geçen gün biraz daha önem kazanan ve uzay endüstrisinden tıp alanlarına kadar geniş bir kullanım alanlarına sahip olup, her türde ve biçimde bulunabilen ve kolaylıkla şekillendirilebilen bu çeliklerin geliştirilmiş kaynak yöntemleri ile başarılı bir şekilde birleştirildiklerinden uygulama alanları her geçen gün daha da genişlemektedir [14].

Mekanik özellikler açısından ekonomik olarak üretilebilen düşük alaşımlı çeliklerle benzer mekanik özellikler gösteren paslanmaz çeliklerin, yüksek maliyetlerine rağmen yaygın kullanılmalarının esas nedeni yüksek korozyon direncine sahip olmalarıdır. Korozyona ve oksidasyona karşı direncin arttırılabilmesi çelik içerisindeki krom miktarının % 12' den fazla olmasına bağlıdır. Krom çeliği ince taneli yapmakta kritik soğuma hızını azaltmakta ve dolayısıyla çelik üzerinde sertleştirici etki yapmaktadır [15]. Esasında çeliğin içerisindeki krom miktarının artışı yüzeyde sıkı ve ince krom oksit tabakası oluşturmakta oluşan bu tabaka ile yüzey pasif hale getirilerek yüzeyi dış tesirlere karşı korumaktadır. Bu yüzey tabakası çeliğe atmosferin olumsuz etkilerinden koruduğu gibi, nitrik asit gibi oksitleyici asitlere karşı da korumaktadır. Günümüz endüstrisinde redükleyici asitlere karşı direncin arttırılması için paslanmaz çeliklerin içerisinde nikel ve molibden gibi alaşım elementleri bulunmaktadır [14].

Esasında yukarıda belirtildiği gibi paslanmaz çelikler diğer çeliklere oranla fiyat bakımından pahalı olmalarına karşın bakım ve işlenmesinin ucuz ve kolay ömürlü olmaları, geri kazanımın mümkün olması ve çevre dostu bir malzeme olması nedenlerinden dolayı birçok uygulamada büyük avantajlar sağlamaktadır. Günümüzde ve gelecekte üretim teknolojisinde kaydedilen gelişmeler sayesinde diğer malzemelerle arasında olan fiyat farkları azalacağı düşünülmektedir. Günümüzde değişik amaçlarla kullanılan çeşitli paslanmaz çelik türleri vardır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Östenitik paslanmaz çelikler,
- Ferritik paslanmaz çelikler,
- Martenzitik paslanmaz çelikler,
- Dupleks paslanmaz çelikler,
- Çökme sertleşmeli paslanmaz çeliklerdir.

Östenitik paslanmaz çeliklerde iç yapıyı belirleyen en önemli elementler krom, nikel, molibden ve mangandır. Özellikle krom ve nikel mikroyapının ferritik veya östenitik olmasını sağlayan önemli elementlerdir. Östenitik ve ferritik çelikler tüm paslanmaz çelikler içerisinde kullanım alanları % 95 değerlerine ulaşmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde farklı kaynak yöntemleri kullanılmasına rağmen ince ve orta kesitli parçalar birleştirilmesinde gazaltı kaynak yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [8, 15-18]. TIG kaynak yöntemi el ile ve otomatik olarak 6,5 mm' ye kadar kalınlıktaki saçların birleştirilmesinde başarılı olarak uygulanmaktadır [8, 18, 19].

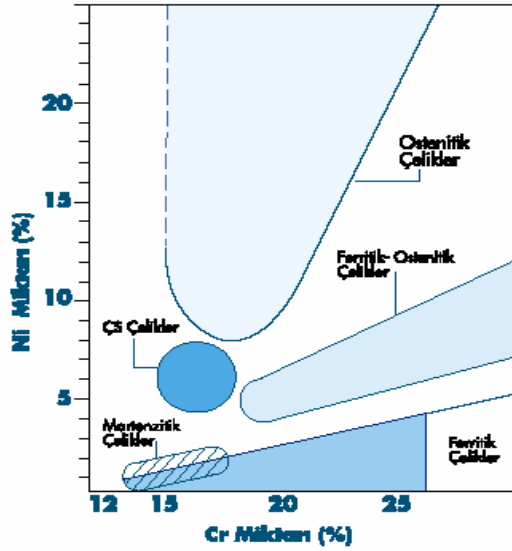
Gazaltı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen östenitik paslanmaz çelik konstrüksiyonların mekanik özelliklerin belirlenmesi imalatı yapılan konstrüksiyonun daha güvenli kullanılması açısından önemlidir. Gazaltı kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilen paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinin sertlik dağılımı, çentik darbe deneyleri, çekme mukavemeti ve yorulma özelliklerinin bilinmesi gereken önemli özellikler olup, kaynak bölgesinin mikroyapısının bu özelliklere etkisi oldukça önemlidir.

Paslanmaz çeliklere paslanmazlık özelliği kazandıran alaşım elementi olan krom; yunanca bir kelime olup, renk kelimesinden türetilmiştir ve bu alaşımlar metalografik dağlama araçlarına karşı dirençli olduklarından bu malzemelere paslanmaz çelik adı verilmiştir. Bu çelikleri tarih içerisindeki geliştirme çalışmalarında asitlere dayanıklılığı keşfedilmiştir.

Aynı zamanda krom karbürleri çözelti haline getirerek bu alaşımı daha sünek hale getirilmiş ve 1914 yılında Krupp tarafından endüstriyel çapta ilk paslanmaz çelik üretimi

gerçekleştirilmiştir. Daha sonraları ferritik ve östenitik tipler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. II. Dünya savaşı sonrasında östenitik paslanmaz çelik için nikel bulunmakta zorluk çekildiğinden bu element yerine mangan ve azot kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda farklı ihtiyaçların karşılanması amacıyla dubleks ve çökeltme sertleşmeli çelik türleri de, geliştirilerek üretilmeye başlanmıştır [14]. Günümüzde değişik amaçlarla kullanılan farklı paslanmaz çelik türleri vardır ve bu çelik türleri Şekil 2.1’ de belirtildiği gibi nikel ve krom miktarına göre değişmektedir.

Paslanmaz çelik malzemelerin içerisindeki alaşım elementleri ferrit ve östenit oluşturucu olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Ferrit oluşturucu elementlerin mikroyapı içerisindeki işlevleri aşağıda sıralanmaktadır:



Şekil 2.1. Paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr miktarları [12].

**Krom:** Ferrit oluşumunda etkili olup malzemenin korozyon ve oksidasyon direncini arttırmaktadır.

**Molibden:** Ferrit oluşumuna katkıda bulunmakla beraber malzemenin yüksek sıcaklıklardaki direncini artırmakla beraber indirgeyici ortamlarda malzemenin korozyona karşı direncini de arttırmaktadır.

**Niyobyum ve titanyum:** Malzeme içerisinde taneler arası korozyon hassasiyetinin azaltılması amacıyla malzeme içerisine ilave edilmekte olup, malzeme içerisindeki karbonla birleşerek krom karbür çökmesini önler. Çünkü, bu elementler özellikle niyobyum kuvvetli karbür yapıcıdır. Ayrıca, bu elementlerin tane küçültücü etkisi olup, ferrit oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Bu elementler aynı zamanda martenzitik paslanmaz çelik türlerinde karbonu bağlayarak çeliğin sertleşme eğilimini azaltmaktadır.

Fosfor, kükürt ve selenyum: Paslanmaz çeliklerin işlenebilme kabiliyetini arttırmakta olup, kaynak esnasında sıcak çatlak oluşumuna neden olduğundan paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetini sınırlamaktadır. Bu elementler paslanmaz çeliklerin kaynağında nüfuziyetin artmasına katkı sağlamaktadır [8].

## 2.1. Paslanmaz Çelikler Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Paslanmaz çeliklerin sahip olduğu bazı fiziksel özellikler Tablo 3.1’ de verilmiştir. Tablodan anlaşıldığına göre paslanmaz çelikler ile adi karbonlu çeliklerin sahip olduğu bazı fiziksel özellikler farklılık göstermektedir. Östenitik paslanmaz çeliğin sahip olduğu ısı iletkenliği adi karbonlu çeliklerin 1/3’ ü kadar olmasına rağmen ısıl genleşme katsayıları % 50 kadar daha fazladır. Bu durum bu tür malzemelerin kaynak esnasında ısının bir yerde yoğunlaşması ve malzemelerin distorsiyon oluşturması gibi bazı problemlerin oluşmasına neden olmaktadır [15]. Paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri az alaşımlı çeliklerden farklılık göstermektedir. Bu tür çeliklerin sertleşme kabiliyetleri malzemenin içerdiği karbon miktarına bağlı olarak artmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi paslanmaz çeliklerin tercih edilmesindeki en büyük sebep mekanik özelliklerinden daha ziyade oksidasyon ve korozyona karşı dirence sahip olmalarıdır.

**Tablo 2.1.** Alaşımsız çelik ile paslanmaz çeliklerin fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması [15].

Özelliği	Birimi	Alaşımsız Çelik (St 37-3)	Ferritik Paslanmaz Çelik	Östenitik Paslanmaz Çelik
Isı iletkenliği	1 (cm.sK)	0.50	0.25	0.15
Isıl Genleşme Katsayısı	K <sup>-1</sup>	12.10 <sup>-6</sup>	11.10 <sup>-6</sup>	16.10 <sup>-6</sup>
Elektrik iletme direnci	Ωmm <sup>2</sup> /m	0.107	0.475	0.769

## 2.2. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelik malzemelerin içerisinde yeterli miktarlarda nikel bulunduğu mikroyapı oda sıcaklığında da östenitik yapı şeklindedir. Östenitik paslanmaz çelikler içerisinde % 16–25 krom, % 10–24 nikel + mangan, % 0,4’ e kadar karbon ve çok az miktarlarda molibden, titanyum, niyobyum gibi alaşım elementleri içermektedir.

Paslanmaz çelik içerisinde krom ve nikel+mangan oranları ayarlandığında mikroyapı östenit yapıdan oluşmakta ve geniş bir sıcaklık aralığında yüksek tokluk ve mukavemet değerleri göstermektedir. Aynı zamanda bu malzemeler 540 °C' ye kadar oksidasyona karşı dirençlidir. Tablo 2.2' de bazı östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve endüstrideki kullanım alanları verilmektedir.

**Tablo 2.2.** Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları

Paslanmaz Çelikler											
AISI	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	Kullanım Yerleri
302	0.05 0.15	2.00	2.00	0.015	0.045	16.00 19.00	6.00 9.50	0.80	-	-	Soğuk çekilmiş durumda hafif manyetik östenitik çelik olup yaylarda, antenlerde, çatal- kaşık- bıçaklarda, vidalarda kullanılır
304	0.07	2.00	1.00	0.030	0.045	17.00 19.50	8.00 10.50	-	-	-	Soğuk çekilmiş durumda hafif mıknatıslanma gösterir, kaynak yapılabilir. Kimyasal direnci yüksek, derin sıvamaya uygun bir çeliktir. Özellikle taşlanma veya parlatma sonrasında mükemmel bir çeliktir ve 300 C'e kadar rahatlıkla kullanılır. Özellikle yiyecek, kimya endüstrilerinde, inşaatlarda. otomotivde. beyaz eşyalarda, çatal- kaşık- bıçaklarda, rendelerde kesici olmayan cerrahi aletlerde kullanılır.
304L	0.030	2.00	1.00	0.030	0.045	18.00 20.00	10.00 12.00	-	-	-	304'e benzer, ancak daha düşük karbonu sayesinde tane arası korozyon direnci artırılmıştır. Kaynak edilebilme ve soğuk dövülebilme özellikleri oldukça iyidir.

316	0.07	2.00	1.00	0.030	0.045	16.50 18.50	10.00 13.00	2.00 2.50	-	-	Sülfürik asitli, fosforik asitli ve klorik asitli ortamlara dirençlidir. Molibden ilavesi sayesinde 300 C'ye kadar taneler arasında korozyona da direnir. Genellikle kağıt lastik, kimya, ilaç endüstrileri ile birlikte özellikle tekstil ve boya endüstrilerinde kullanılır
-----	------	------	------	-------	-------	----------------	----------------	--------------	---	---	---

Östenit paslanmaz çelikler soğuma esnasında östenit→ferrit dönüşümü gerçekleşmediğinden su verme ile sertleştirilemezler ve aynı zamanda manyetik değildirlir. Bu çelikler AISI 3XX serisi içerisinde gruplandırılırlar. Aynı zamanda DIN 17440, EU 88, EU 95 ve TS 2535' e göre yüksek alaşımli çelikler gibi simgelen dirilirler. TS 2535 östenitik paslanmaz çeliklerin bileşiminde korozyona karşı krom ve östenitik bir yapı sağlamak amacıyla nikel bulunan, oda sıcaklığında manyetik olmayan ısıl işlem ile sertleştirilemeyen soğuk şekillendirmeye elverişli paslanmaz çelikler şeklinde tanımlanmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon direnci martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. Yapının östenitik olması ferritik paslanmaz çeliklerde karşılaşılan çok önemli sorun olan geçiş sıcaklığı altında gerçekleşen gevrekleşme bu çeliklerde görülmez. Gerek 0,6 (-270' e kadar) ve gerekse yüksek sıcaklıklardaki korozyon dirençleri, mekanik özelliklerin üstünlüğü bu çelik grubunun birçok alanda rakipsiz bir yapı çeliği olarak kullanılmasını sağlamıştır. Bu nedenle östenitik paslanmaz çelikler ABD' de (Amerika Birleşik Devletleri) paslanmaz çelik üretiminin % 70' ini oluşturmaktadır. Bu malzemeler yüksek korozyon direncinden ve şekillendirilebilme kabiliyetlerinden dolayı bir çok mühendislik uygulamaları için arzu edilen özelliklere sahiptir [9].

Östenitik paslanmaz çelikler yüzey merkezli kübik yapıya sahip olup bu çeliklerde mukavemet, yoğun katı eriyik mukavemetlenmesi ile elde edilir. Bazen soğuk deformasyon sonucu pekleşmeye uğrayan östenitik paslanmaz çeliklerin mukavemetleri ferritik paslanmaz çeliklerden fazla olabilir. Bu çeliklerde içerisinde nikel ve krom miktarının artması maliyetin artmasına neden olabilir [9]. Östenitik paslanmaz çeliklerde X5CrNi1810 (304) östenitik paslanamaz çelik korozyon direnci ve şekillendirilebilme kabiliyeti gibi üstünlüklerinden dolayı en çok bilinen ve en yaygın kullanılan östenitik

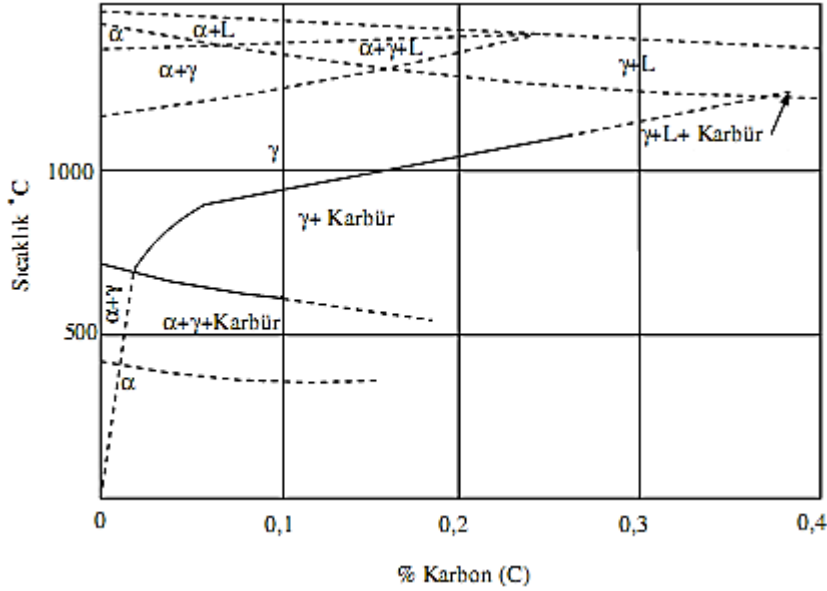
paslanmaz çelik olup plastik şekil değiştirme sertleşmesi ile mukavemet arttırılabildiğinden yüksek mukavemet gerektiren makine parçalarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. AISI 304 paslanmaz çeliğin içerisinde karbon miktarı azaltıldığında elde edilen ürün AISI 304L olmaktadır. Bu tür çok düşük karbonlu östenitik paslanmaz çeliklerin geliştirilmesinin amacı kaynak esnasında ısı tesiri altında kalan bölgede oluşan ve taneler arası korozyona neden olan karbür çökmesinin önlenmesidir. % 2 molibden içeren AISI 316 tipi östenitik paslanmaz çelik yüksek korozyon direncine ve iyileştirilmiş yüksek korozyon direncine sahiptir. Paslanmaz çelik içerisindeki krom miktarı % 23–25 arttırılmış olan AISI 309 ve AISI 310 tipi östenitik paslanmaz çelikler yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadır. AISI 316L tipi düşük karbon içeren östenitik paslanmaz çelikler taneler arası korozyonu önlemek amacıyla üretilmiştir.

Östenitik paslanmaz çelikler genellikle nemli ortamlarda kullanılmakta olup artan krom ve molibden miktarları agresif çözeltilere karşı korozyon dirençlerinin arttırılmasını sağlamaktadır. Özellikle östenitik paslanmaz çeliklerin birleşimindeki nikel miktarı gerilmeli korozyon çatlamasına karşı riski azaltmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerin birleşiminde bulunan alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak genel korozyona çukurcuk ve aralık korozyonuna karşı dirençleri arttırmaktadır. Bu durum östenitik paslanmaz çeliğin krom içeren ortamlarda kullanılması durumunda daha da önem kazanmaktadır. Östenitik paslanmaz çeliklerde bileşimdeki molibden ve krom miktarının artışına paralel olarak çukurcuk ve aralık korozyonuna karşı dirençleri de artmaktadır [20].

Daha öncede belirtildiği gibi östenitik paslanmaz çeliklerde en yaygın olarak kullanılan AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelikler olup bu çelikler aşağıda sıralanan özelliklere sahiptir.

- Mükemmel korozyon dayanımına,
- Mükemmel kaynak edilebilme kabiliyetlerine,
- Sünek olduklarından kolay şekillendirilebilmeye,
- Hijyeniktirler, temizliği ve bakımı kolaylığı,
- Yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özelliklere sahip olması,
- Düşük sıcaklıklarda mükemmel mekanik özellikleri mükemmeldir.
- Manyetik değildirler. (tavlanmış halde)
- Dayanımları sadece pekleşme ile arttırılabilmeye gibi özelliklere sahiptir.

En yaygın olarak kullanılan AISI 304 tipi paslanmaz çelikler % 0,06 karbon içermekte olup bu tip çeliklerde karbon eriyebilirliği sıcaklığa paralel olarak düştüğü için bu tip alaşımlar yavaş soğutulduklarında krom karbür çökeltme olmaktadır. Şekil 3.2' de Fe-Cr-Ni alaşımları için faz diyagramı verilmektedir.



Şekil 2.2. Fe-Cr-C alaşımları faz diyagramı [9].

Krom karbür çökmesiyle ilgili husus bir sonraki bölümde daha detaylı olarak bahsedilecek olup, bu kısımda özet olarak bahsedilmektedir. Örnek olarak verilirse, AISI 304 tipi östenitik paslanmaz çelik 1050 °C sıcaklığında oda sıcaklığına yavaş bir şekilde soğutulursa 850-450°C sıcaklıkları arasında krom karbür tane sınırlarına çökelecektir. Tane sınırlarına yakın bölgelerde korozyon direnci için gerek olan %12'den daha az krom içermesi sonucu malzeme korozyona karşı hassas hale gelmektedir.

### 2.3. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler endüstride oldukça yaygın olarak kullanılmakta olup bileşiminde alaşım elementlerinin özellikleri ile karbon miktarına bağlı olarak % 16-30 krom içermektedirler, manyetikler, soğuk veya sıcak haddelenebilirler. Bu tür malzemelerin sahip olduğu tokluk süneklik değerleri ve korozyon direnci normalizasyon ve ısıtma işlem yapıldığında maksimum değerler elde edilmektedir. Bu malzemelerin talaşlı işlenebilme kabiliyetleri ve korozyon dirençleri martenzitik paslanmaz çeliklerden daha üstündür [21]. Bu tip paslanmaz çelikler her sıcaklıkta Ferritik yapıya sahip olduklarından

ve aynı zamanda östenitik oluşturulmadığından ısı işlem ile sertleştirilemezler. Ferritik paslanmaz çeliklerin bazıları AISI 405, 409, 430, 442 ve 446' dır.

Ferritik paslanmaz çeliklerin diğer paslanmaz çeliklerden ayıran en önemli özelliği kaynak esnasında ve ısı etkisi altında kalan bölgede oluşan ve kaynak dikişinin tokluğuna önemli derecede düşüşe neden olan tane büyümesidir. Ferritik paslanmaz çelikler pahalı ve stratejik bir element olan nikel içermediğinden diğer çeliklere göre daha ekonomiktir. Ferritik paslanmaz çelikler birleşimlerinde korozyon direncini sağlayacak miktarda krom veya kroma ilave olarak yüksek sıcaklıklarda östenitik oluşumunu dengeleyici alüminyum, niyobyum, molibden ve titanyum gibi ferrit dengeleyici elementler katılmaktadır. Bu tip paslanmaz çelikler sahip olduğu başlıca özellikler aşağıda sıralanmaktadır.

- Korozyon dayanımı orta ile iyi derece arasında olup, krom miktarının artması ile iyileşmektedir.
- Isıl işlemle dayanım artırılabilir. Bu nedenle ve sadece durumda olan paslanmaz çelikler tavllanmış durumda kullanılmaktadır.
- Manyetikler.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür.
- Östenitik çelikler kadar kolay şekillendirilemezler.
- Bu tip çelikler parlak ve dekoratif görünüşüne sahip olduğundan östenitik paslanmaz çeliklerden sonra en çok kullanılan paslanmaz çeliklerdir.

Genel olarak bu tip paslanmaz çelikler aşağıda sıralanan yerlerde kullanılmaktadır.

- Cihaz yapımı,
- Otomotiv endüstrisi,
- Mutfak ve ev aletleri,
- Kimya ve petro-kimya endüstrisi,
- Kaynar su kapları ve boruları,
- İç ve dış mimari,
- Buhar iletim ve donanımlarıdır.

Bu tür çeliklerin ısı genleşme katsayıları düşük alaşımli çeliklerinkine yakın olup ısı iletkenlik katsayıları normal çeliklerin yarısı kadardır [22].

## 2.4. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler % 11,5' dan fazla krom içermekte olup, yüksek sıcaklıklarda ostenitik yapıya sahip olan ve uygun bir ısıtma işlemi ve soğutma ile oda sıcaklığında martenzitik yapı elde edilebilen paslanmaz çeliklerdir. Bu tür paslanmaz çeliklerde krom miktarı dönüşümün gerçekleştirilebilmesi için kompozisyonda yüksek sıcaklıklarda östenit alanı içerisinde olabilmesi için krom miktarı belli sınırlar içerisinde olması gerekmektedir. Paslanmaz çelik içerisinde bulunan karbon östenit halkasını genişlettiğinden karbon yardımıyla paslanmaz çelik içerisinde krom miktarının minimum %11,5 maksimumda %18 olması gerekmektedir. Burada bahsedilen krom miktarının alt sınırı korozyon direnci, üst sınırı ise çeliğin yüksek sıcaklıkta tamamen östenitik yapıya dönüşebilme özelliğini belirlemektedir [20].

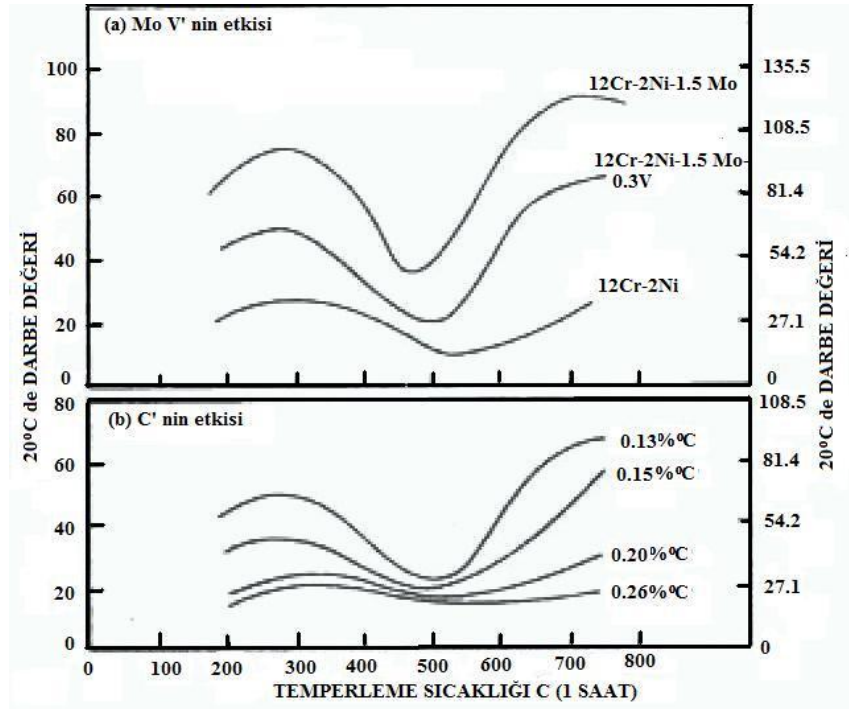
Martenzitik paslanmaz çeliklerin birleşiminde krom miktarı % 12–17 karbon miktarı % 0,1' den fazla olduğunda yüksek sıcaklıklarda ostenitik yapıya sahip olmaktadır. Östenitleşme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950–1050 °C arasındadır. Bu sıcaklıklarda belirli bir süre tutularak östenitik yapı elde edilebilen çelik soğutulduğunda martenzitik yapı elde edilmekte olup, yüksek sıcaklık ve mukavemet değerleri elde edilmektedir. Bahsedilen bu mekanik özellikler paslanmaz çelik içerisindeki karbon miktarı ile birlikte paralel olarak artmaktadır.

Martenzitik paslanmaz çelikler genellikle su verilmiş ve menevişlenmiş veya tavllanmış olarak kullanılırlar. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kritik soğuma hızlarının çok yavaş olması nedeniyle havada bile soğutulduğunda Martenzitik yapı elde edilir. Martenzitik durumda korozyon dirençleri iyi olup 815 °C' ye kadar paslanmazlık özelliklerini korurlar. Uzun süreler yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında korozyona uğrayabilirler. Bu nedenle bu tip paslanmaz çelikler endüstriyel uygulamalarda 700°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmazlar. Martenzitik paslanmaz çelikler aşınma dirençlerinin yanında korozyon dirençlerine sahip olmaları nedeniyle çatal-bıçak takımı, rulmanlı yatak, pompa ve valflarda kullanılır [23]. Bu tür çeliklerin dayanım ve sertliğini arttırmak amacıyla ısıtma işlemleri uygulamakta ve daha sonra temperleme işlemi yapılmaktadır [9]. Bu tür çeliklerin sahip olduğu özellikler aşağıda sıralanmaktadır.

- Orta derecede korozyon dayanımı.
- Bu tür çeliklere ısıtım işlem uygulanabilmekte olup, yüksek dayanım ve sertlik elde edilebilmesi.
- Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüklüğü.
- Manyetik olmaları gibi özelliklerdir.

Bu çeliklerin dayanım ve sertliğini arttırmak için çeşitli ısıtım işlemler uygulanmaktadır. Esas olarak az karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklere uygulanan işlemlerle aynı olup bu işlemlerde alaşım östenitlenir ve yeterli soğutma hızı ile hızlı soğutulur bu malzemelerin tokluğunu arttırmak için temperlenir [9].

Bazı tip paslanmaz çeliklerin çentik darbe özellikleri ve temperleme sıcaklığının etkisi Şekil 2.3' de gösterilmektedir. En yüksek darbe değerleri 450–550 °C sıcaklık arasında gerçekleşmektedir. Esasında martenzitik paslanmaz çelikler toklukları zayıftır.



Şekil 2.3. Bazı tip paslanmaz çeliklerin çentik darbe özellikleri ve temperleme sıcaklığının etkisi

## 2.5. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dupleks çift fazlı iç yapıya sahiptir. Ferrit taneleri içerisinde östenit veya östenit taneleri içerisinde ferrit içeren paslanmaz çelikler olup, östenitik paslanmaz çeliklere karşılaştırıldığında en önemli üstünlükleri akma mukavemetleri iki kat daha büyük ve çok daha iyi korozyon dirençlerine sahip olmalarıdır. Endüstriyel uygulamalarda klor içeren sıvıların kullanılması, kullanılacak malzemelerin bilinen önemli paslanmaz çelik türlerine göre örneği AISI 316L arttırılmış mukavemet ve geliştirilmiş korozyon dirençlerine sahip olmaları gerektirir. Bu tür çeliklerin tane büyüklükleri 3–10 µm' ye kadar küçülebildiğinde 950 °C civarında %500 gibi bir uzama göstererek 950 °C civarında yapılan çekme deneyinde %500 gibi uzama göstererek plastik hale gelirler [24].

Dupleks paslanmaz çelikler yüksek oranda krom ( %18–28 ) ve orta oranlarda nikel (%4,5–8 ) içermektedir. Nikel miktarı maksimum olarak %8 civarındadır. Bu oran içyapının östenitik olması için yeterli değildir. Dupleks paslanmaz çeliklerde çift fazlı mikro yapı çeliğin 1000 1050 °C sıcaklıkta tavlandıktan sonra hızlı bir şekilde soğutulması ile elde edilmektedir. Dupleks paslanmaz çelikler ferritik-östenitik veya östenitik-ferritik paslanmaz çelikler olarak bilinmekte olup genel olarak ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin en iyi ortak özelliklerini taşırlar. Ferritik yapıyla mukavemet gerilmeli korozyon çatlamaına karşı direnç, östenitik yapıyla ise tokluk ve genel korozyon direnci sağlanır. Böylece iki fazlı ince taneli, yüksek mukavemetli ve iyi korozyon direncine sahip paslanmaz çelikler üretilmektedir. Bu çeliklerin en önemli dezavantajları ise  $\alpha$  fazlarının gevrekleşmeye meyilli olmaları, sıcak şekillendirmede karşılaşılan zorluklar ve üretimlerinin zor olmasıdır.

Modern dupleks paslanmaz çelikler ısıl işlem gördüğünde -50 °C'nin altında tokluk değerlerinde düşme görülür. Bunun nedeni bu tür çeliklerin içerisinde ferrit fazının bulunması sonucunda çentik darbe eğrisinde, düşen sıcaklığa paralel olarak sünek-gevrek geçiş sıcaklığı da düşmektedir. Bu tip çelikler 475 °C gevrekliği ile kullanım sıcaklığında sınırlamalar olmaktadır. Bu nedenle dupleks paslanmaz çelikler -50-280 °C sıcaklıklar arasında mekanik özelliklerini korumaktadır.

Dupleks paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu % 2,5–4 oranlarında molibden içerdiklerinden iyi mukavemet ve süreklilik özelliklerine sahiptir. Korozif ortamlarda bile iyi yorulma dayanımları elde edilmektedir. Verilen tavsiyelere dikkat edildiğinde daha kolay elde edilebilmekte olup, genellikle kimyasal aparatların imalatlarında, arıtma

tesislerinde, deniz veya off shore teknolojisinde kullanılmaktadır. Bu tür çeliklerin özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Bu tür çelikler gerilmeli korozyona karşı yüksek dayanıklılığa sahiptir.
- Klor iyonunun bulunmadığı ortamlarda daha yüksek korozyon dayanım göstermektedir.
- Diğer paslanmaz çelikler olan östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerden daha yüksek mekaniksel dayanım sağlamaktadır.
- İyi kaynak edilebilirlik ve şekil alma kabiliyeti vardır.

## 2.6. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler bakır, molibden, niyobyum, titanyum gibi alaşım elementleri içeren bu elementlerin bir veya bir kaçının etkisiyle çökeltme sertleşmesi yapılabilen demir, krom, nikel içeren paslanmaz çeliklerdir [9]. Bu paslanmaz çeliklerin içyapıları östenitik, yarı östenitik veya martenzitik olabilir. Çökeltme işleminin gerçekleştirilebilmesi için bazen önceden soğuk şekil verilmesi gerekebilir. Çökeltme oluşabilmesi alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama yapılmaktadır. Böylece 1700 MPa çıkan mukavemet değerleri elde edilebilir. Genellikle bu çelikler piyasaya çözüme tavı görmüş şekilde sunulup çeşitli imalat işlemleri yapıldıktan sonra tek kademeli bir düşük sıcaklık yaşlandırmasıyla sertleştirilebilmektedir. Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir:

- Bu tür paslanmaz çelikler orta ile iyi derecede korozyon dayanımına sahiptir.
- Çok yüksek mekanik dayanım göstermektedir.
- Oldukça iyi kaynak kabiliyetine sahiptir.
- Mıknatıslanma özelliğine sahiptir.

Günümüzde üretilen çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler, hızlı uçakların dış yüzeylerinde, füze gövdelerinde, deniz taşıtlarında yakıt tanklarında, uçakların iniş takımlarında, pompalarda, millerde, somun, civata, kesici aletler ve kavramalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [20].

Bu çeliklerin en önemli özelliklerinden birisi kolay üretilmeleri ve aynı zamanda yüksek dayanım süneklik ve korozyon direncine sahip olmalarıdır. Bu tip paslanmaz çelikler, çözeltiye alma sonrası oluşan fazların oluşturulması işlemlerine göre çelikte oluşan yapısal değişme ve özelliklere bağlı olarak üç farklı tipte gruplanmaktadır.

### **3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİKLERİN YAPI VE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

İçerisine karbon dışında istenilerek başka elementlerin, özellikle metallerin katıldığı çeliklere alaşımlı çelikler adı verilir. İçerisine katılan elementin miktarına göre de düşük, orta ve yüksek alaşımlı çelikler olarak üç guruba ayrılır. Yüksek mukavemet, yüksek aşınma dayanımı, yüksek korozyon direnci ve yüksek sertlik gerektirmeyen uygulamalar için karbon çelikleri veya alaşımsız çelikler yaygın olarak kullanılır. Fakat alaşımsız çeliklerin serleşme kabiliyeti yeterli olmadığından istenilen mukavemet özelliklerine her zaman cevap vermeyebilirler. Diğer taraftan sertleştirilen çeliklerde iç gerilmelerin giderilmesi ve tokluğun artırılması amacıyla menevise tabi tutulurlar[25].

Bu da çeliğin sertlik özelliğini yükselen sıcaklıkla etkiler. Bu ve buna benzer sebeplerden dolayı alaşımsız çeliklerin yüksek mukavemet ve sertlik gerektiren yerlerde kullanılması mümkün olmaz. Alaşımsız çeliklerin kullanımını kısıtlayan etkenler alaşım elementi katkılarıyla büyük ölçüde ortadan kaldırılabılır.

#### **3.1 Alaşımlamanın Amacı**

Çeliklere alaşım elementi katılmasının başlıca amaçları;

1. Sertleşme kabiliyetini iyileştirmek,
2. Sertlik ve mukavemetini artırmak,
3. Mekanik özelliklerini iyileştirmek,
4. Tokluğu artırmak,
5. Aşınma direncini artırmak,
6. Korozyon direncini artırmak,
7. Manyetik özellikleri iyileştirmek, şeklinde sıralanabilir [26].

#### **3.2. Çelikte Karbon**

Artan karbon oranı ile çelikte çekme dayanımı, akma sınırı, mukavemet özellikleri ve sertlik artma gösterirken incelme, uzama ve çentik darbe dayanımı (süneklik ve tokluk) azalır. Artan karbon oranı ile çelik bünyesindeki perlit artar. Buna karşılık malzeme sertleştiğinden talaş kaldırma, tornada kesme, plastik şekil verme; yani soğuk ve sıcak şekillendirme güçleşir. Kaynak ve oksî-gaz'la kesme işlemleri de yine sertlik nedeni ile iyice güçleşir[25].

### **3.3. Çelikte Krom**

Asil çelik sanayi kolunun temel metalik elementidir. Krom, kritik soğuma hızını düşürür. Yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımı veren, ayrıca hidrojen gazına karşı dayanıklılık sağlayan karbürler oluşturur, sertleştirici ve tane küçültücü etkileri vardır. Krom içeriği % 17 'yi aşan çelikler, ısıya ve yüksek çalışma sıcaklıklarına dayanıklıdır ve yapıları tamamen ferrittir. Kromlu çelikler ısı işlemlerden geçirildikten sonra kullanılır soğuk ve sıcak çalışan işlerde, kesme işlerinde kullanılan makinelerde krom vazgeçilmez bir elementtir. Krom oranı artıkça kaynak edilebilme yeteneği azalır. Her % 1 krom artısında malzemenin çekme dayanımı 80 -100 (N/mm<sup>2</sup>) artma gösterir[25].

### **3.4. Çelikte Nikel**

Nikelin darbe tokluğunu ve tavlı çeliklerde dayanımı artırır. Nikel östenitik paslanmaz çeliklerin kromdan sonra ikinci en önemli alaşım elementidir. Östenitik paslanmaz çeliklerde ki nikel miktarı %7-20 arasındadır. Nikel östenit kararlaştırıcı bir elementtir ve östenitik paslanmaz çeliklerin, adından da anlaşılacağı gibi oda sıcaklığında bile kafes yapısı KYM dir. KYM kafes yapısı östenitik paslanmaz çeliklere yüksek şekillendirilebilme özelliği kazandırır.

### **3.5. Çelikte Molibden**

Karbür oluşumunda yatkın bir alaşım elamanıdır. Aşınma dayanıklılığı, derinliğine sertleştirme, kaynak edilebilme, ısı ve tavlama ortamına dayanıklılık, temper gevrekliğini giderme, kesme yeteneğini düzeltme gibi özellikleri arandığı yerlerde önemli bir alaşım elamanıdır[25].

### **3.6. Çelikte Tungsten**

Aşınma direncini artıran, sıcakta sertliğin muhafazasını sağlayan bir alaşım elementidir. Özellikle hız çeliklerinde olmak üzere alaşımli takım çeliklerinde yaygın olarak kullanılan bir alaşım elementidir.

### **3.7. Çelikte Titanyum**

Vanadyum gibi tane küçültücü etkisi vardır. Ancak bu etkisi vanadyumun etkisinden daha yüksektir. Mikro alaşımlı çeliklerde mikro alaşım elementi olarak kullanılır. Ayrıca paslanmaz çeliklerde krom karbürün olumsuz etkisini giderebilmek için karbür oluşturuca alaşım elementi olarak kullanılır[25].

### **3.8. Çelikte Bor**

Ayrışma sertleşmesi söz konusu olan yerlerde ve diğer özel durumlarda kullanılır. Özellikle östenitik çeliklerde alaşım elemanı olarak görülür

### **3.9. Çelikte Kobalt**

Diğer ana maddelerin aksine kobalt iç yapıya fazla bir etki yapmaz. Kobalt çeliğin kritik soğuma hızını yükseltir, yani sertleşme derinliğini azaltır. Kobalt çeliklerin manyetik özelliklerini iyi şekilde etkiler. İçerisinde %5-40 kobalt bulunan çelikler daimi mıknatıs yapımında kullanılırlar. Kobalt çelikleri iri tane yapımına karşı koyar. Bundan dolayı kobalt çelikleri aşırı ısınmaya karşı hassas değildir.

### **3.10. Alaşım Elementlerinin Karbürlere Etkisi**

Çelik içerisinde bulunan bütün karbürlerin çeliğin oda sıcaklığındaki mukavemetine etkileri hemen hemen aynı olup, bu etkiler çeliğin kimyasal bileşimine bağlı değildir. Yani karbürler kimyasal bileşime bağlı kalmadan, çeliğin oda sıcaklığındaki mukavemetini benzer biçimde etkiler.

Karbür yapıcı elementler, çeliğin östenitleştirme sıcaklığı ve tavlama süresini önemli ölçüde etkiler. Karmaşık karbürlerden bazıları, östenit fazı içerisinde çözünmezler. Bu tür karbürler östenitin karbon ve alaşım elementi oranlarını, çeliğin kimyasal bileşimindeki oranların altına düşürürler. Çözülmeyen karbürler, tane büyümesini de engeller. Bu sebepten karbürler çeliklerin sertleşme yeteneğini olumsuz yönde etkiler. Karbürlerin östenit içerisinde çözünmesi durumunda karbür yapıcı elementler çeliğin sertleşme yeteneğini sağlarlar[25].

#### 4. AŞINMAYA DİRENÇLİ MALZEMELER

Aşınmaya dayanıklı malzemeleri üç ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar demir - çelik malzemeler, demir dışı malzemeler ve sert yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılan kobalt esaslı (Co-Cr-Mo-U) alaşımlardır [1]. Çalışma konusu kobalt esaslı alaşımlar olduğu için diğer iki malzemedan kısaca bahsedildikten sonra kobalt esaslı malzemeler ayrı bir başlık altında incelenmiştir.

Demir ve çelik malzemelere örnek olarak martensitik çelikler, perlitik çelikler ve östenitik (Hadfield çeliği) çelikler gösterilebilir [27]. Yapılarında buldukları sert karbürler martensitik çeliklerin aşınma direncini artırırken, sahip oldukları yüksek sertlik değerleri de iyi derecede aşınma direnci kazandırır. Martensitik çelikler yüksek oranda C, Cr, Mo, Mn gibi alaşım elementleri içerirler. Temperleme işlemleriyle sertliklerinde bir miktar düşme olmasına rağmen aşınma dirençlerinde önemli bir değişiklik olmaz. Yüksek karbonlu martensitik çeliklerde 427 °C'nin üzerinde temperleme işlemi uygulandığı zaman tokluklarında önemli artış olmasına karşılık, aşınma dirençlerinde azalmalar meydana gelir [28].

Perlitik çelikler, alaşım elementlerinin de etkisiyle ve basit ısı işlemler neticesinde yüksek tokluk değerleri elde edilebilen, perlitik mikroyapıya sahip olan aşınmaya dayanıklı ideal malzemelerdendir. Ağırlıkça % 0,5–1,4 C, % 3,0 Cr, % 0,3–0,5 Mn içeren ince taneli perlitik yapının sertliği 35–42 Rc'ye kadar çıkabilmektedir. Perlitik çeliklerde karbon içeriği % 1,0'e kadar olduğu zaman aşınma direnci yükselmektedir. Eğer karbon içeriği % 1,0 dan 1,4'e kadar arttırılırsa, fazla karbonun karbürler halinde tane sınırlarında çökelmesinden dolayı aşınma direncinde bir artış sağlanamayacağı gibi, bu durum çeliğin tokluğunun düşmesine de sebep olur [29].

Östenitik çeliklerin kimyasal bileşimleri % 1,0–1,4 karbon, % 10–14 manganez, % 0,1 fosfor, % 0–0,5 kükürt, % 0,3–1,0 silisyumdan ibarettir. Aşınma dirençleri yüksek olup östenitik bir yapı elde edebilmek amacıyla bileşimlerinde yeterli miktarda manganez, nikel, krom, molibden ve karbonun eriyikte bulundurulması gerekir. Bu çeliklerin en önemli özelliklerinden bir tanesi, mekanik etkenlerle yapısının martensite dönüşerek sertleşmesi ve böylece yüksek bir aşınma direncine sahip olmasıdır. İyi derecede aşınma direnci, orta derecede süneklik ve mukavemetin arandığı yerlerde hadfield çelikleri başarıyla kullanılmaktadırlar. Yüksek oranda manganez içeren, dökümden sonraki uygun soğuma şartlarında yapısı tamamıyla östenitik kalabilen çeliklere östenitik manganez (hadfield)

çeliği denilmektedir. Östenitik çeliklerin aşınma dirençlerinin yükseltilebilmesi matriste sert karbürlerin homojen bir şekilde dağılmasıyla mümkündür. Bu çelik türleri, yer altı çalışmalarında kullanılan teçhizatlar, greyderler, öğütücü değirmen astarları gibi ileri derecede aşınmaya maruz kalabilen yerlerde kullanılırlar [30].

Demir dışı malzemelere en belirgin örnek, metal-metal aşınmasına karşı, yataklarda kullanılan beyaz metaller (Cu-Sb-Sn alaşımları) ve bronzlardır. Bu malzemeler özellikle abrasif ve adhesif aşınmanın mevcut olduğu Şartlarda tercih edilirler. Darbeli aşınmaya karşı dirençleri iyi değildir. Daha ziyade ana malzeme aşınmasının önlenmesi için gerekli olan yerlerde ya da sonsuz vida dişlisi, kaymalı yatak burcu gibi yerlerde kullanılırlar. Bronzlar genelde bakır-kalay alaşımlarıdır. Birçok çeşitleri olmakla birlikte standart dökme kalay bronzları % 13'e kadar kalay içerirler. Bileşimlerinde alaşım elementi olarak çinko ve gerektiğinde kursun da ihtiva eden çok bileşenli kalay bronzları "kızıl döküm" diye anılırlar. Alüminyum bronzları ise oksidasyona dayanıklı olduklarından daha ziyade tribooksidasyon aşınmasına maruz deniz suyu, sülfürik asit ve tuz çökeltilerine karşı kullanılırlar [1].

#### **4.1. Kobalt Esaslı Alaşımlar**

Kobalt esaslı alaşımlar, adhesif aşınma olarak adlandırılan metal-metal aşınması, brasif aşınma, yorulma aşınması, erozyon ve tribo oksidasyon aşınması gibi yüksek sıcaklık uygulamaları için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kobalt esaslı alaşımlar aşınmaya dirençli oldukları için aşınmaya maruz parçaların yüzeylerinin kapılanılmasında da kullanılırlar. Bu alaşımlar elle yapılan metal ark (MMA), tungsten inert gaz (TIG) ve oksii-asetilen gibi değişik kaynak tekniklerine uygundur. Son yıllarda lazer kaynağı ile de yüzey kaplaması yapılmaktadır [31].

Kobalt esaslı alaşımların çeşitli uygulamalar için tercih edilmesini sağlayan en önemli özellikler;

1. Yüksek sıcaklıklarda sertliklerini muhafaza edebilmeleri,
2. Katı eriyik sertleşmesine uygun olmaları,
3. Düzenli dağılan bir karbür yapısına sahip olmaları şeklinde sıralanabilir [32].

Bu alaşımlar genellikle yüksek oranda krom ve diğer alaşım elementleri ihtiva eden "Stellite" türündendir. İlk stellite alaşımı 1900 yılında "Co-28 Cr-4W-1.1C (ağırlık %)" nominal bileşimiyle geliştirilmiştir ve bu alaşım şimdi "Stellite 6" olarak bilinmektedir.

O zamandan beri alaşımlar geliştirilmiştir ve şimdi kullanım halinde olan çok sayıda stellite alaşımı vardır (Tablo 4.1).

**Tablo4.1.** Bazı stellite alaşımlarının bileşimleri [33]

Alaşım	Cr	Ti	C	Ni	Mo	Fe	Si	S Diğer
Co-Cr-U-C Tipi								
No.4	33	14	1,0					
No.6	28	4	1,1					
No,12	29	S	1,3					
No.156	28	4	1,6					
No.506	35	7,5	1,6					2,5Mn
No.1	30	12	2,5					
No. 20	32	17	2,5					
No.190	26	14	3,2					
Co-Cr-U/Mo-Ni/Fe.								
No.238	26	0,1		3	20			
No.21	27	0,2	2,8	5				
No. 31	26	7	0,5	10				
No.306	25	1,5	0,5	6		5	1	5Nb,1Mn
No.694	28	19	0,9	5				1V
No.2006	31		1,3	8	8	18	1	
No.2012	33		1,7	8	1	15	1,5	
No.F	25	12	2,0	22				
B/Si Modifikasyonu								
No.157	22	4,5	0,1				1,6	2,6
No.SF-6	19	7,5	0,7	14,5			2,5	1,4
No.158	26	5,5	0,8				1,2	0,7
No.SF-12	19	9	0,9				3	2,5
No.SF-1	19	13	1,3	13			3	2,5
No.SF-2D	19	15	1,5	13			3	2

Kobalt esaslı alaşımlar iki temel grupta sınıflandırılabilir [33].

1.Yüksek sıcaklık aşınma uygulamaları için yaygın şekilde kullanılan orijinal Co- Cr-C-U alaşımları.

2.Yüksek darbe aşınması şartları dâhil yüksek sıcaklık uygulamaları için içerisinde Co, Cr ve U'ca zengin matrisin ya Mo ve Ni veya Fe, C, Si ve B ilavesiyle düzenlendiği alaşımlar.

Stellite alaşımlarında karbon % 0,1 'den 3,2'ye kadar değişir ve bu alaşımların çoğu % 1,0'den fazla karbon içerirler. % 0,1'in altında karbon içeren alaşımlarda "karbon+bor" miktarı % 1,0'ı bulur. Bir kural olarak stellite alaşımlarında "karbon+bor" miktarı tungsten oranına da bağlı olarak yaklaşık % 1,3'den daha azdır. Stellite alaşımları döküm veya plastik şekillendirme metotlarıyla üretilebildikleri gibi "karbon+bor" miktarı % 1,3'den fazla ise döküm olarak üretilirler [32].

Tüm stellite alaşımları mikro yapılarında, nispeten yumuşak kobaltça zengin matris katı eriyiği içinde sert karbür veya borür partikülleri içerirler. Kobalt alaşımlarının mikroyapısında bulunan karbür türleri alaşımın bileşimine bağlıdır. Ancak stellite alaşımlarında genellikle  $MC_3$  ve  $MgC$  tipi karbürlere rastlanmaktadır. Örneğin stellite 1'de ağırlıkça % 12,6  $M_7C_3$ , Stellite 6'da ise % 27  $M_7C_3$  ve % 1,5  $MgC$  oranlarında karbürler mevcuttur. Burada  $MgC$  karbürleri olarak  $W_6C$ ,  $M_7C_3$  karbürleri olarak da  $Cr$  olmasına rağmen diğer alaşım elementleri de karbür içinde yer almaktadır [34].

Yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik (YMK) ve düşük sıcaklıklarda sıkı paket hegzagonal (SPH) olmak üzere iki allotropu olan saf kobaltın ergime sıcaklığı  $1495^\circ C$ 'dir. Kobalta alaşım elementi ilavesi ile saf kobaltta  $417^\circ C$ 'de gerçeklesen YMK > SPH martensitik dönüşüm sıcaklığını değiştirmektedir. Kobalt esaslı süper alaşımların geliştirilmesinde de faydalanılan Ni, Mn ve Fe, YMK yapının, Mo ve Cr ise SPH yapının kararlılığını artırmaktadır [35].

Kobalta ilave edilen alaşım elementleri hem sahip oldukları saf kobalt içindeki çözünürlükleri hem de atom yarıçapları arasındaki farka bağlı olarak, belirli oranlarda matris içinde eriyerek katı eriyik sertleşmesine katkıda bulunurlar. Ancak alaşım elementlerinin çözünürlüklerinin saf kobaltta ve stellite alaşımında bir miktar farklı olduğu bilinmektedir [35].

Kobalt alaşımlarında çözünen alaşım elementlerinin SPH veya YMK yapılarının kararlılıklarını artırmaları alaşımın istif hatası enerjilerini (İHE) etkilemelerinden kaynaklanmaktadır. Genel bir kural olarak yüksek İHE, alaşımın deformasyona karşı direncinin artmasına, düşük İHE ise alaşımın deformasyon etkisiyle  $YMK \Rightarrow SPH$  dönüşümü göstermesine neden olmaktadır. Diğer bir deyişle, düşük İHE'li katı eriyiklerde deformasyon sertleşmesi hızı ve kırılıncaaya kadarki toplam deformasyon miktarı genelde yüksek olmaktadır [36].

Kobalt esaslı alaşımların mikroyapılarında matris içine çökelmiş karbürlerin yanı sıra, intermetalik bileşikler de bulunabilir. Bu intermetalik bileşiklerin kararlılığı alaşımın

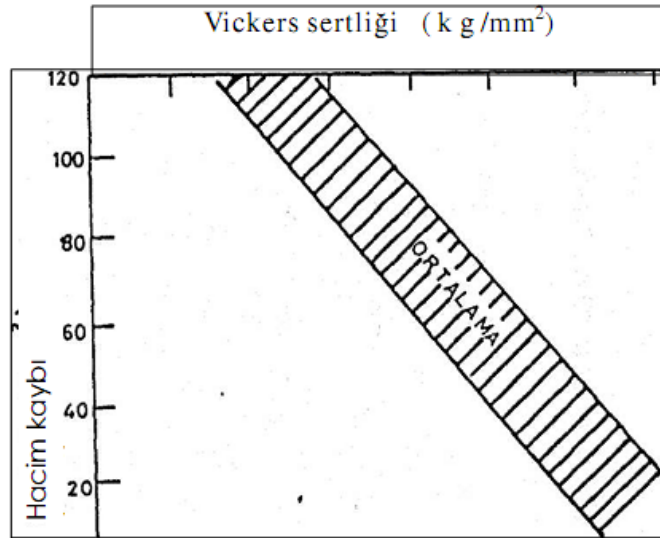
bileşimine bağlıdır, Örneğin % 20 Cr'lu Co-Cr-Ni sisteminde 1200°C'nin üstünde intermetalik sigma fazı kararlı olmasına rağmen, % 30Cr'lu Co-Cr-Mo sisteminde bu faz ancak yüksek Mo içerikleri için düşük sıcaklıklarda kararlı olmaktadır. Bu da Mo'nin Ni'e kıyasla sigma fazını daha düşük sıcaklıklarda kararlı hale getirdiğini göstermektedir [37].

Kobalt esaslı alaşımlarda intermetalik bileşiklerin kararlılığını artıran en önemli iki element ise Si ve Mn'dır [37].

#### 4.2. Kobalt Esaslı Alaşımlarda Abrasif Aşınma Direncine Etki Eden Faktörler

Sertlik malzemelerin aşınma direncine etki eden önemli bir parametredir. Genelde artan sertlikle malzemelerin aşınma direnci de artmaktadır. Sertlik ile aşınma direnci arasındaki bu ilişki Stellite alaşımları için de geçerli olup, artan sertlik ile Şekil 4.1'de görüldüğü gibi hacim kaybı azalmakta aşınma direnci artmaktadır [33].

Stellite alaşımları yüksek sıcaklıklarda da aşınmaya karşı dirençlidirler. Stellite alaşımlarının önemli bir özelliği de sertliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyabilmeleridir. Bu açıdan stellite alaşımlarının düşük sıcaklıklardaki sertliği, bileşimde bulunan karbür veya bor miktarına, yüksek sıcaklıklarda ise tungsten veya molibden miktarına bağlıdır [1].



Şekil 4.1. Stellite alaşımlarının abrasif aşınma karakteristikleri [1]

Alaşım elementleri, kobalt esaslı alaşımların mikroyapılarında bulunan fazların miktarlarını ve özelliklerini değiştirdikleri için abrasif aşınmada etkindirler. Mikroyapısal açıdan, kobalt esaslı alaşımlarda abrasif aşınma direnci, yapıdaki karbürlere ve bu karbürlerin etrafını çepeçevre sararak onların kırılıp dökülmelerini engelleyen matris fazına bağlıdır [38].

#### 4.2.1. Abrasif Aşınma direncine Karbürlerin Etkisi

Çok fazlı alaşımlarda abrasif aşınma direnci ile sertlik arasında basit bir doğrusal orantı yoktur. Kobalt esaslı alaşımlardaki karbürler yüksek sertliklerinden dolayı aşınmaya dayanım gösterirler. Ayrıca karbürlerin hacim oranı, şekli ve karbür/matris ara yüzeyinin mukavemeti de aşınmada önemli bir rol oynamaktadır [1].

Karbon ötektik altından ötektik üstü bir değişime sebep olmaktadır. Stellite alaşımlarının mikroyapıları ya ötektik karbürlerle çevrili kobaltça zengin katı eriyikprimer dendritlerinden oluşan ötektik altı, ya da yüksek oranda kromca zengin primer karbürler ve bir ötektik içeren ötektik üstü yapıda olabilirler [39].

Cr, Mo, U gibi alaşım elementleri hem karbür hem de matris fazlarında bulunabilirler. Bu alaşım elementleri katı eriyik sertleşmesini önemli ölçüde arttırarak malzemenin abrasif aşınma direncini arttırır. Volfram gibi karbür oluşturuç elementler ise ötektik bileşime ulaşmak için gerekli karbon miktarını azaltabilir [40].

Sinterleme tekniğinin avantajı sadece sinterleme sıcaklığının değiştirilmesiyle değişik boyutlarda karbürlerin elde edilmesinin mümkün olmasıdır [41]. Shetty ve arkadaşları yaptıkları çalışmada oldukça yüksek oranlarda karbür içeren alaşımlardaki tek pasolu elmas uçla çizme deneyleri sonucunda,  $M_7C_3$  karbürlerindeki çizik genişliğinin, karbürün yüksek sertliğinden (1500 HV) dolayı, matristekinden daha az olduğunu, ayrıca büyük  $M_7C_3$  karbürlerinde, çizik yönüne paralel olan çatlaklara rastlandığını görmüşlerdir [42].

Karbürlerin birbirlerine yakın olması, matrisin desteklenmesi ve matrisin plastik deformasyon kabiliyetinin azaltılması bakımından abrasif aşınma direnci üzerine faydalı bir etkiye sahiptir. Örneğin karbürlerin abrasiflere direnç gösterecek kadar sert olduğu ve abrasiflerin, komsu iki karbür arasındaki matris fazına batacak kadar küçük, sert ve keskince olduğu kabul edilirse malzemenin aşınma mekanizması, büyük oranda matris fazıyla kontrol edilecektir. Eğer matris fazı kolayca abrasif aşınmaya maruz kalıyorsa ve karbür/matris ara yüzeyindeki bağ zayıf ise karbürlere destek azalacaktır. Diğer bir deyişle karbür/matris bağları zayıfsa ve ara yüzeyde yerel gerilmeler çatlak başlangıcına sebep olursa, partikül kopması kaçınılmaz olur. Öte yandan eğer abrasif partiküller komsu iki karbürün arasındaki matris fazına batacak kadar küçük değilse, aşınma hızı karbürlerin kopma hızına bağlı olacaktır. Böyle bir durumda karbür ve abrasifin sertliği, karbür boyutu, karbür hacim oranı, abrasif tipi, abrasifin köseli olması daha az önemlidir [33].

Shetty ve arkadaşlarının çalışmasında karbür çatlaması hem elmas hem kuartz takımlarla yapılan deneylerde görülmesine rağmen çatlama elmas takımlarda daha fazla olmuştur. Bu sonuç abrasifler karbürlerden daha sert olduğu takdirde, daha yumuşak abrasiflere göre daha büyük miktarda hasar bekleneceğini göstermektedir. Abrasif partiküllerin daha çok köseli olması durumunda düşük bir abrasif aşınma direnci ortaya çıkar [42].

Yapılan çalışmalarda karbür boyutunun etkili olduğu bulunmuştur. Kaba karbür içeren alaşımlarda mikro düzeyde talaşlı işlem sonucu oluşan talaşların ince karbür içeren alaşımlardakinden daha kısa ve dar olduğu, karbürlerin büyük olduğu durumda bazı karbür çatlamaları görülmesine rağmen aşınma direncinin daha büyük olduğu bulunmuştur [43].  $Al_2O_3$  abrasif partiküllerine vickers elmas piramit uç ile çizme deneyi yapılarak karbür büyüklüğünün abrasif aşınma direncine etkisinin incelendiği çalışmada, ince karbürler içeren bir yapı içerisindeki küçük karbürlerin tamamen koptuğu gözlenmiştir. Kaba karbürü mikro yapıda ise çizme izi boyutları karbür boyutlarından daha küçük olduğundan abrasif parçacıkların karbürleri yerinden koparabilmesi için karbür fazını kesmeleri gerekmektedir. Bu talaş oluşumunun ince karbür içeren malzemelerde daha kolay olduğu gerçeğinin başka bir deneysel ispatıdır [42].

Benzer sonuçlar Desei ve diğerleri tarafından  $Al_2O_3$  abrasifleri ve düşük gerilmeli abrasif aşınma deneyleri ile de elde edilmiştir [44]. Kösel ve diğerleri ise YMK yapıdaki matris içinde  $M_7C_3$  ve  $MgC$  karbürleri içeren kobalt esaslı alaşımların abrasif aşınma direncini hem  $Al_2O_3$  hem de  $SiO_2$  abrasifleri kullanarak incelemişler ve yine benzer sonuçlar elde etmişlerdir [45].

İncelenen kobalt esaslı alaşımlar içinde en yüksek sertlik ve karbür hacim oranına sahip alaşımda diğer alaşımlara göre oldukça düşük Abrasif aşınma direnci elde edilmiştir. Bu alaşım da aşınmış yüzeyin incelenmesi neticesinde matris içindeki çok küçük  $MgC$  karbürlerinin aşınma sırasında koptuğu ve bunların ilave abrasif partiküller oluşturarak aşınma hızını artırdığı anlaşılmıştır [45].

Kaynak teknikleri bakımından inceleme yapıldığında, oksii-asetilen ile kaynak edilen alaşımların diğer tekniklerle kaynak edilenlere göre daha yüksek abrasif aşınma direnci gösterdikleri, oksii-asetilen ile yapılan kaynak dikişlerinde abrasif aşınmanın TIG kaynağındakilerden birkaç defa daha az olduğu tespit edilmiştir [1]. Antony ise, "Stellite 6" ya benzer bileşimdeki bir dövme alaşımında karbürlerin sıcak işlem sırasında birleşerek büyüdüğünü ve oksii-asetilenle kaynak edilen alaşıma göre daha yüksek aşınma direnci

verdiğini belirtmiştir [46]. Benzer sonuçlar oksii-asetilen ve TIG teknikleriyle kaynak edilen iki tane "Stellite 6'nın abrasif aşınma dirençlerini karşılaştıran başka birçok araştırmada da oksii-asetilen kaynak dikişlerindeki abrasif aşınmanın, TIG kaynağı dikişindekinden en az iki defa daha az olduğu bulunmuştur [33].

Matrisinde daha yüksek hacim oranlarında sert karbürler içeren malzemelerde daha yüksek aşınma direnci elde edilmesi beklenebilir. Fakat karbürlerin kırılıp dökülmesi durumunda aşırı ağırlık kaybından dolayı aşınma direncinde bir azalma olur. Bazı araştırmacılar ağırlık kaybının karbür hacim oranıyla doğrusal olarak azaldığını ve % 50'lik karbür hacim oranına sahip bir malzemede SiO<sub>2</sub>abrasifi ile yapılan aşınma deneylerinde ağırlık kaybındaki azalmanın sertlik ve karbür boyutu arasındaki ilişkilerden kaynaklandığını öne sürmüşlerdir [33]. Fakat yüksek karbür hacim oranına ve yüksek sertliğe sahip alaşımda en düşük aşınma direnci elde edilmesinden dolayı yorum yapmak zorlaşmaktadır. Aşınmış yüzeylerin analizleri neticesinde çok küçük MgC karbürlerinin matristen düştüğü ve bunun abrasif partiküllere katılarak aşınma direncini azalttığı anlaşılmıştır. Artan karbür hacim oranıyla birlikte ağırlık kaybındaki azalmanın, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasiflerinin köseli olmasına, matris mukavemetine ve karbürlerin Abrasif aşınma direncine bağılı olduğu öne sürülmüştür [33].

Kosel ve diğeri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Abrasiflerinin SiC abrasiflerinden daha keskin köseli olmasından dolayı matris fazına daha etkili bir şekilde tesir edeceğini ileri sürmüştür [45]. Öte yandan karbürlerin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>partikülleriyle etkili bir şekilde kesilmesi neticesinde karbürler matrisi daha az korurlar. Bu aynı zamanda matris mukavemetinin önemini de belirtmektedir. Karbürlerin kesilmiş olmasına rağmen, karbür hacim oranıyla abrasif aşınma direncindeki artış matrise göre karbürlerin daha yüksek sertliğinden kaynaklanmaktadır [1].

Sonuç olarak abrasif aşınmada karbürlerle ilgili olarak, karbür/matris ara yüzeyi mukavemeti, karbürler arasındaki uzaklık, karbür şekli ve karbürün sertliği gibi faktörler etkindir. Bu tartışmalardan en iyi abrasif aşınma direncinin yüksek mukavemetli bir matris içinde kaba karbürlerin yüksek hacim oranlarıyla elde edilebileceği sonucu çıkmaktadır [1].

#### 4.2.2. Matrisin Etkisi

Karbürler matris içerisinde süresiz olduğundan matris tarafından yeterli desteğin sağlanmasıyla abrasif aşınma sırasında karbürlerin dökülmesini önleyebileceği gösterilmiştir [29]. Demir esaslı sert alaşımlarda abrasif aşınma direncinin, çatlama ve sonraki malzeme aşınmasını önlemek için ötektik ve primer karbürler matrisle iyi desteklendiği zaman önemli oranda arttığı belirlenmiştir [33]. Çoğu durumlarda bilhassa ağır abrasif aşınma şartları altında çatlaklar önce karbür/matris ara yüzeylerindeki yüksek gerilme konsantrasyonlarından dolayı bu bölgelerde başlamaktadır. Daha iyi abrasif aşınma direncinin matris fazının artan mikro sertliği ile elde edilebileceği düşünülebilir. Gerçi saf metallerdeki sertlik ve aşınma direnci arasındaki ilişki doğrusal olmasına rağmen çok bileşenli alaşımlar için hiç bir basit kural bulunmamaktadır. Abrasif aşınmada ise aşınmış yüzeylerde deformasyon sertleşmesi daima vardır [33]. Abrasif aşınma matrisin deformasyon sertleşmesi ile aşınmış yüzeyin de sertliğini arttıracak ve aşınma direnci aşınan yüzeyin sertliğiyle daha iyi belirlenecektir. Gerçekten aşınma direncinin deformasyon ile sertleşmiş yüzeylerin maksimum sertliğiyle bağlantılı olduğu görülmüştür [29].

Shetty ve diğerleri deformasyon sertleşmesinin aşınma direncine etkisini belirten iyi bir örnek vermiştir [42]. Kobalt esaslı alaşımlarda elmas uç ile iki çeşit aşındırma deneyi yapılmıştır. Bunlardan birincisinde doğrudan çizme aşınma deneyi yapılmış, ikincisinde ise aynı çizme deneyi  $Al_2O_3$  abrasif ile aşındırılmış yüzeyde tekrarlanmıştır. Her iki deney sonrası çiziklerin genişlikleri ölçüldüğünde çizik genişliğinin aşındırılmış yüzeyde deformasyon sertleşmesinden dolayı iki kat daha az olduğu görülmüştür [42]. Matris mukavemeti katı eriyik sertleşmesiyle de artabilir. Bazı araştırmacılar aynı zamanda yüksek mukavemetli bir matrisin, karbürlere daha iyi bir destek sağlayabileceğini ve ince partiküllerin daha erken dökülmesini önleyebileceğini ileri sürmüşlerdir [47].

Aşınmada daha köseli aşındırıcılar kullanıldığı zaman matris mukavemetinin dayanımı daha önemli rol oynamaktadır. Daha çok kesici köseli abrasifler, karbürler arasındaki matrisle yuvarlak partiküllerden daha etkili bir şekilde batabilirler. Bu durum mikroyapıya bağlı olarak matrisin daha az korunmasına ve kırılmaya daha meyilli olan bir karbür/matris ara yüzeyinin oluşmasına imkân verebilir. Döküm veya kaynakla elde edilen matrislerde primer dendrit kolları arası mesafenin azalmasının mekanik özelliklere bilinen faydalı etkisi yanında abrasif aşınma direncine de etkisinin daha iyi olduğu

bulunmuştur[29]. Aynı zamanda lazerle eritilerek kaplanmış kobalt esaslı stellite alaşımlarında sertliğin ve aşınma direncinin geleneksel yüzey sertleştirme kaplamalarına göre daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Bu sonucun lazerle kaplamada hızlı katılaşmadan dolayı oluşan ince ötektik karbür mikroyapısından kaynaklandığı tespit edilmiştir [48]. Matris fazında katı eriyik sertleşmesi yaparak abrasif aşınma direncini artıran alaşım elementlerinin etkisi, bu elementlerin malzemenin İHE'ne etkilerine göre açıklanmaktadır [48]. Co esaslı alaşımlarda matris, kimyasal bileşim, sıcaklık ve uygulanan gerilmeye bağlı olarak ya YMK veya SPH kristal yapısında olabilir. YMK ve SPH yapılarının aşınma karakteristiklerinin oldukça farklı olduğu, SPH yapının aşınmaya daha dirençli olduğu belirlenmiştir. Herhangi bir kristal yapısındaki bir malzemedeki kristalografik anizotropi de aşınma davranışını etkilemektedir. Malzemenin aşınma yüzeyinde düzlemsel atom yoğunluğunun yüksek olduğu bir kristalografik tekstür yapısının bulunması aşınma direncini arttıracaktır [49].

## 5. YÜZEY KAPLAMA İŞLEMLERİ

Yüzey kaplama, yeni bir yüzey tabakası elde etmek amacıyla, kaynak veya diğer kaplama yöntemlerini kullanarak ana metalden farklı herhangi bir dolgu malzemesiyle ana malzeme yüzeyinin kaplanması işlemidir. Yüzey kaplamanın çeşitli türleri vardır. Bunlar; sert yüzey kaplama, dolgu kaplama, koruyucu kaplama ve kademeli kaplama işlemleridir [50].

Yüzey kaplama alaşımları, oksijen-gaz kaynağı, çeşitli ark kaynak metotları, lazer kaynağı ve püskürtme işlemleri ile yüzeye kaplanabilirler. Sert yüzey kaplama, aşınma, çizilme, çarpma, erozyon ve oyulmayı azaltmak amacıyla uygulanan bir yüzey kaplama işlemidir [33]. Dolgu kaplama, yöntemi parçanın istenilen boyuta geri getirilmesi için ilave kaynak metalinin ana metal üzerine kaynak yöntemi ile kaplanmasıdır. Bu alaşımlar genellikle aşınmaya karşı direnç için değil, aşınmış parçaları yeniden kullanılabilir hale getirmek veya orijinal boyutlarına geri getirmek veya en son sert yüzey tabakalarına uygun destek sağlamak için kullanılırlar [50].

Koruyucu kaplama normal olarak ark kaynağı ile yapılabildiği gibi aynı zamanda katı hal kaynak işlemleri ile de düşük alaşımlı veya düşük karbonlu çelik malzemeye korozyona karşı dirençli yüzey tabakası sağlamak amacıyla uygulanabilir. Bu yöntemde genellikle 3 mm'den daha kalın korozyon dirençli yüzey tabakası oluşturmak amacıyla malzeme yüzeyine işlem uygulanır. Yüzey kaplama, dolgu kaplama işlemine göre daha ince bir yüzey tabakası oluşturur ve normalde onarımın ve aşınma direncinin gerekli olduğu durumlar için uygundur. Kademeli kaplama, asıl yüzeye veya bağlantı yüzeyine bir veya daha fazla kaynak metal tabakasının kaplanmasıdır. Bu yöntemin koruyucu kaplama yönteminden farkı bazı metalürjik gereksinimlere ulaşılabilir. Bu yöntem aslında farklı metal-ana metal birleştirmesi için kullanılır [33].

### 5.1. Sert Yüzey Kaplama İşlemi

Sert yüzey kaplama karşılıklı çalışan dövme çekiçleri, kazıcı aletler, helisel sıkıştırıcılar, kesici takımlar, toprak kazma makineleri, değirmen çarkları ve ezici araçlarda meydana gelen abrasif aşınmanın tamirinde kullanılır [33].

Kaynak ve termal püskürtme ile kaplanmış yüzeye alevle sertleştirme, nitrürasyon, sementasyon, ısı işlemi gibi yüzey sertleştirme işlemleri uygulanamaz. Yüzey kaplama

yukarıda da ifade edildiği gibi sert, aşınmaya dirençli malzemenin başka bir cismin yüzeyine abrasyon, erozyon kavitasyon ve çarpma ile oluşan malzeme kaybını azaltmak için kaynak ve termal püskürtme işlemleri ile kaplanmasıdır. Korozyon ve yüksek sıcaklık, aşınma direnci üzerinde büyük etkiye sahip olabilir. Bu yüzden böylesi durumlarda uygun yüzey kaplama malzeme seçimi önem kazanır. Aşınmanın önlenmesi için yapılan yüzey kaplama işlemleri, çok büyük oranda aşınmanın meydana geldiği kayaların kırılmasından, metal-metal aşınmasının ortaya çıktığı en küçük düzeydeki aşınma durumlarında bile uygulanır. Birçok durumda yüzey kaplama işlemi uygulanan ana malzeme ya sade karbonlu çelik ya da paslanmaz çelikten yapılmıştır. Malzemeler tek basına etkili aşınma direnci sağlayamazlar. Yüzey kaplama alaşımları aşınan parçaların kritik aşınma bölgelerine de uygulanabilir [50].

## **5.2. Yüzey Kaplama Malzemeleri**

Yüzey kaplama malzemeleri çok çeşitli alaşımlar, karbürler ve bu malzemelerin birleşimlerinden oluşmuştur. Bu malzemeler, çelikler veya düşük alaşımlı demir esaslı malzemeler, yüksek kromlu beyaz dökme demir veya yüksek alaşımlı demir esaslı malzemeler, karbürler, nikel esaslı alaşımlar veya kobalt esaslı alaşımlar olarak sınıflandırılabilirler. Bazen az miktarda bakır esaslı alaşımlar yüzey kaplama işlemlerinde kullanılır, fakat birçok parçada yüzey kaplama alaşımları demir, nikel veya kobalt esaslıdır [46].

Mikroyapısal olarak yüzey kaplama alaşımları genellikle borürler, karbürler gibi sert çökelti fazlarının daha yumuşak demir, nikel veya kobalt esaslı alaşımlardan oluşan bir matris içinde yer aldığı bir kombinasyondur. Karbürler, demir ve kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarında sert faz olarak bulunurlar. Demir ve kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarında karbon içeriği ağırlıkça % 4 civarındadır. Borürler dekarbürler gibi nikel esaslı yüzey kaplama alaşımı içinde en çok rastlanan sert fazdır[51].

Alaşımlarda karbon ve bor elementleri birlikte bulunuyorsa bunların toplamı ağırlıkça % 5 civarındadır. Birçok kobalt, nikel ve yüksek oranda demir esaslı yüzey kaplama alaşımlarındaki matris kompozisyonu genellikle % 35 üzerinde Cr, % 30 üzerinde Mo ve % 13 üzerinde W ve az miktarda silisyum ve mangan içerir [48].

### 5.3. Yüzey Kaplama Alaşımlarının Sınıflandırılması

Yüzey kaplama malzemeleri beş kategoride sınıflandırılırlar

1. Dolgu kaplama alaşımları,
2. Metal-metal aşınmasında kullanılan alaşımlar,
3. Metal-toprak abrasif aşınmasında kullanılan alaşımlar,
4. Tungsten karbür (aşırı derecede aşınmanın olduğu yerlerde kullanılan) alaşımları,
5. Demir dışı alaşımlar [33].

Dolgu kaplama alaşımları, aşınmaya karşı direnç için değil, aşınmış bir parçayı geri kazanmak veya orijinal boyutlarına yakın hale getirmek ve gerçek yüzey kaplama malzemelerinin sonraki katlarına uygun destek sağlamak amacıyla üretilmiş düşük alaşımlı perlitik çelikler ve yüksek alaşımlı östenitik manganlı çeliklerdir. Bununla beraber östenitik manganlı çelikler az zorlanmalı aşınma ortamlarında aşınma dirençli malzemeler olarak kullanılırlar. Dolgu kaplama alaşımlarının kullanıldığı tipik örnekler demiryolları, demiryolları ray basları, çelik paletler, düşük hızlı ve büyük kesitli dişli çarklardır [49].

Adhesif aşınma alaşımları, makine parçalarının aşınmış bölgelerine çatlaksız şekilde uygulanabilen martensitik hava çelikleridirler. Bu yüzden bu malzemeler genellikle makine elemanları için sert yüzey kaplama alaşımları olarak bilinirler. Bu alaşım ailesinin tipik uygulama alanları, traktörlerin taşıma mekanizmaları, çelik merdaneler ve vinç tekerlekleridir [33].

Metal-toprak abrasif aşınma alaşımları, alaşımın katılaşması esnasında krom karbürlerin olduğu yüksek krom içerikli beyaz dökme demirlerdir. Metal-toprak işlemlerinde kullanılan alaşımlar yüksek oranda sürtünme ve kazıma direncine (yani düşük ve yüksek gerilmeli abrasyon) sahiptirler. Bu malzemelerin tipik uygulama alanları kepçe dişleri, kaya kırma aletleri ve sondaj matkaplarıdır [52].

Tungsten karbürler gerçekte kompozit malzemelerdir, farklı tungsten karbür partikülleri kaynak arkı ile ergitilmiş haldeki kaynak banyosuna transfer edilir ve matris içinde yer alırlar. Tungsten karbürler aşırı derecede sertlik ve kesme durumlarındaki kullanımlar için tasarlanırlar. Tungsten karbürlerin tipik uygulama alanları kesici takımlar, kaya delgi matkap uçları, kazı ve sondaj aletleridir [53].

Demir dışı yüzey kaplama alaşımları, demir esaslı yüzey kaplama alaşımlarının kullanımının uygun olmadığı korozif ortamlarda veya çok özel bir aşınmaya karşı yüksek

direncin gerekli olduğu yerlerde kullanılırlar. Bu alaşımlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar [54].

- Karbür ve laves fazı içeren kobalt esaslı alaşımlar,
- Karbür, laves fazı ve bor içerikli nikel esaslı alaşımlar,
- Bakır esaslı alaşımlar.

Demir esaslı yüzey kaplama alaşımları ve tungsten karbür kompozitler tarımsal uygulamalarda, kazı işlerinde, inşaat alanında ve çelik endüstrisinde geniş kullanım alanına sahiptirler. Demir dışı alaşımlar kimyasal reaksiyonların olduğu alanlarda, güç, otomotiv ve yağ endüstrisinde kullanılırlar ve bunların hepsinin aşınma direncine ilaveten şiddetli çevre şartlarına karşı dirençli olmaları gerekir. Kobalt esaslı alaşımlar deformasyona ve yüksek sıcaklıklardaki ( $500\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) kimyasal olaylara karşı dirençlidir ve çelik endüstrisindeki kılavuz merdanelerinin kaplanması da kullanılırlar. Demir dışı yüzey kaplama alaşımlarının diğer uygulama alanları valf oturma yüzeyleri (hem kontrol valfleri hem de dizel egzoz valfleri) pompa parçaları, ekstrüzyon vidaları, kaya delgi matkapları, gemi yatakları ve cam ergitme mekanizmalarıdır [55].

### 5.3.1. Kobalt Esaslı Sert Yüzey Kaplama Alaşımları

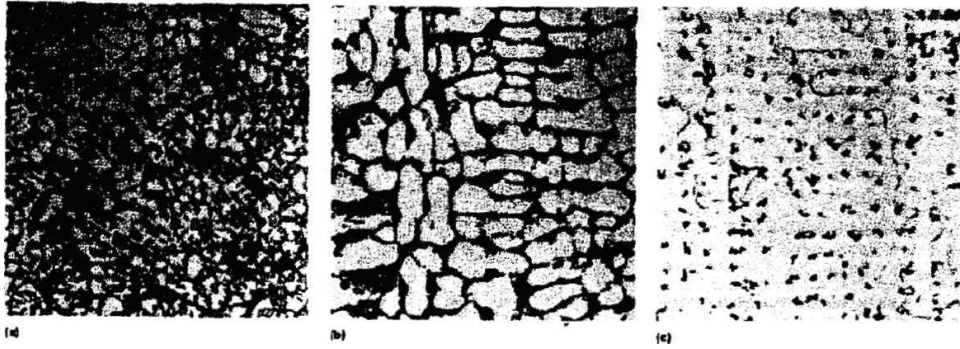
Kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımların ticari olarak iki türü vardır; karbür içerikli alaşımlar ve laves fazı içerikli alaşımlar. Kobalt esaslı alaşımların bileşimleri ve özellikleri Tablo5.1’de verilmiştir.

**Tablo5.1.**Çeşitli kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının kimyasal bileşimi [33]

Alaşım	Bileşim (% Ağırlık)					
	Co	Cr	Mo	W	Si	C
Karbür içerik alaşımlar						
ERCoCr-A	Kalan	28	...	5	...	1.2
ERCoCr-B	Kalan	29	...	8	...	1.5
ERCoCr-C	Kalan	31	...	13	...	2.5
ERCoCr-E	Kalan	27	6	...	...	0.2
Laves fazlı alaşımlar						
T-400	...	9	29	...	2.5	...
T-800	...	18	29	...	3.5	...

### 5.3.2. Kobalt Esaslı Alaşımların İçerdiği Karbürler

Karbür içerikli kobalt esaslı alaşımlardan ilk olarak geliştirilen ve Co-28Cr-4W-L.C bileşimi ile bilinen alaşım, 1900'lerden beri kullanılmaktadır [56]. Çeşitli karbür içerikli kobalt esaslı alaşımlar arasındaki temel fark karbon içeriğidir (yani karbür hacim oranı, oda sıcaklığındaki sertlik ve abrasif aşınma direnci). Yüksek tungsten içerikli bu alaşımlarda tungstence zengin MC'nin bulunmasına rağmen kromca zengin  $M_7C_3$  karbürü vardır ve düşük karbonlu alaşımlarda kromca zengin  $M_{23}C_6$  daha çok bulunur. Resim 5.1 karbür içerikli kobalt esaslı alaşımların (ERCoCr-A,- B,-C,-E) karbon içeriği ile düşük gerilmeli abrasif aşınma direnci arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Buradaki düşük gerilmeli abrasif veriler ASTM G65 kuru kum/kauçuk tekerlekli abrasif test yöntemi kullanılarak elde edilmiştir[51].



Şekil 5.1. Karbür içerikli kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının çift tabaka plazma ark kaplama mikroyapı görünüşleri (a) ERCoCr-C , (b) ERCoCr-A, (c) ERCoCr-E.425X [33]

Kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının karbür içerikli alaşımlar ve Laves fazı içerikli alaşımlar olmak üzere farklı karbürler içeren ticari iki türü vardır. Bu alaşımlardan ilk geliştirileni kobalt esaslı Co-28Cr-4W-1.1C alaşımı olup, bu alaşımın içinde farklı karbürler bulunur. Karbür içeren kobalt esaslı alaşımlar arasındaki temel fark bunların karbon oranlarının farklı olmasıdır. Laves fazı, metallere arası bir faz olmasından dolayı bu alaşımlarda çok fazladır ve laves fazı bütün malzeme özelliklerini etkiler. Bundan dolayı bu alaşımlardaki matris bileşiminin etkisi, karbür içerikli kobalt esaslı alaşımların durumlarından daha az belirgindir. Laves fazı özellikle önemli ölçüde abrasif aşınma direnci sağlar, fakat malzeme sünekliğini ve kırılma mukavemetini sınırlı hale getirir. Bu alaşımlar ile ön tav uygulanmış küçük parçalar hariç tamamen çatlaksız bir kaplama yapmak çok zordur. Bundan dolayı termal püskürtme malzemeleri olarak daha başarılı bir şekilde kullanılmışlardır [57].

## 6. YÜZEY KAPLAMA KRİTERLERİ VE YÖNTEMLERİ

### 6.1 Yüzey Kaplama Alaşımı Seçimi

Yüzey kaplamada alaşım seçimi, önce aşınma ve maliyet göz önünde bulundurulurken belirlenir. Bununla beraber ana metal, kaplama işlemi, çarpma, korozyon, oksidasyon ve termal şartlar gibi diğer çevresel ve üretim faktörleri de göz önüne alınmalıdır. Genellikle kaplama işlemine göre, yüzey kaplama veya dolgu metal ürün formu belirlenir [47].

Yüzey kaplama alaşımları genellikle örtüsüz çubuk, örtülü çubuk, uzun teller, toz özlü tel (örtülü, örtüsüz) veya tozlar şeklinde mevcuttur. Kaynak türlerine göre kullanım şöyledir:

**Tablo 6.1.** Kaynak türlerine göre elektrotlar[51].

Yüzey kaplama işlemleri	Kullanılan formlar
Oksi-gaz / oksi-asetilen	Örtüsüz veya toz özlü tel
Elektrik ark kaynağı	Örtülü veya toz özlü çubuk (elektrot)
TIG kaynağı	Örtüsüz veya toz özlü çubuk
MIG/MAG kaynağı	Toz özlü veya sürekli tel
Toz özlü açık ark	Toz özlü tel
Tozaltı ark kaynağı	Toz özlü veya sürekli çubuk
Plazma ark kaynağı	Toz
Lazer ısın kaynağı	Toz

Genel olarak yüzey kaplama alaşımlarının karbür içeriği artarken sünekliği azalır. Sonuç olarak çarpma ve abrasif aşınma direncinin birlikte istendiği durumlarda ikisi arasında denge sağlanmalıdır. Kırılabilirliğin çok önemli olduğu durumlarda östenitik manganlı çelikler aşınan parçaları tamir için kullanılabilir. Kimyasal işlemler, petrol endüstrisi ve egzoz gazı bacalarında karşılaşılan asitli ve alkali ortamlarda demir esaslı yüzey kaplama alaşımlarının çok azı yeterli korozyon direncine sahiptir. Nikel veya kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımları, korozyon ve aşınma direncinin birlikte istendiği durumlarda tavsiye edilir. Örneğin; bıçağın ağzı kobalt esaslı alaşımdan yapılsaydı domates kesmede kullanılan bıçak çelikten yapılmış olan bıçaktan daha uzun süre dayanırdı [47].

Demir esaslı alaşımlara oksidasyon ve sıcak korozyon direnci de genellikle zayıftır. Genellikle bor içerikli nikel esaslı alaşımlar matriste oksidasyona karşı direnç için yeterli

miktarda krom içermezler. Bu yüzden aşınma direnci ile beraber oksidasyon veya sıcak korozyon direncinin gerekli olduğu durumlarda Laves fazı veya karbür içerikli nikel veya kobalt esaslı alaşımlar tavsiye edilir. Bir alaşımın yüksek sıcaklıklarda mukavemetini kaybetmemesi, sıcak dövme kalıpları veya valflerin 870 °C'de kullanımı ve kömürden gaz elde edilmesi veya sıvı hale konması işlemlerinde olduğu gibi aşınmanın meydana geldiği yerlerde önemlidir. Martensitik yapılu demir esaslı alaşımlar yüksek sıcaklıklarda sertliklerini kaybederler. Genellikle yüzey kaplama alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruması molibden ve tungsten içeriği ile artar. Yüksek sıcaklık mukavemeti ve aşınma direnci gerektiren uygulamalarda, kobalt esaslı veya Laves fazı içerikli alaşımlar tavsiye edilir [58].

Aşınma dirençli malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması genellikle alaşım içeriği ve çeşidine göre yapılır. Bu alaşımlar, istenilen alaşım özelliklerine bağlı olarak belirli bir düzeye kadar sertleştirilmiş matris içinde sert faz(karbürler, borürler, Laves fazları) bulunduran yapılara sahiptir. Ayrıca bunun gibi yüzey kaplama üreticileri tarafından yapılan tavsiyeler de vardır. Yüzey kaplama alaşımının seçiminde aşağıdaki basamaklar izlenmelidir;

- Çevresel aşınma şartları ve aşınma tipini belirlemek için çalışma şartlarının analizi.
- Çeşitli ve olabilecek birkaç yüzey kaplama alaşımının seçimi.
- Termal gerilme ve muhtemel çatlama göz önünde bulundurularak yüzey kaplama alaşımı ile ana metal uyumunu analizi.
- Yüzey kaplama işlemi görmüş parçaların uygulama alan testi.
- Maliyet ve aşınma ömrüne göre uygun değer bir yüzey kaplama alaşımının seçimi.

Aşınmış parçanın üretimi için yüzey kaplama işleminin seçimi, kaplama oranı, dilatasyon, kaplama, verimlilik ve bütün maliyetin göz önünde bulundurulması gerekir [58].

## **6.2. Yüzey Kaplamada İşlem Seçimi**

Yüzey kaplama işlem seçimi, mühendislik uygulamasına bağlı olarak yüzey kaplama alaşım seçimi kadar önemli olabilir. Yüzey kaplama işlem seçimi ile ilgili olan diğer teknik faktörler, yüzey kaplama özelliği ve kalite gereksinimleri, iş parçasının fiziksel özellikleri, ana metalin metalürjik özellikleri, yüzey kaplama alaşımının şekli ve

bileşimi ve kaynakçı becerisidir. Ekonomik faktörler de önemlidir. Yüzey kaplama terimi bazen hem dolgu malzemeleri hem de az miktarda ana malzemenin eritildiği ve metalürjik esaslar çerçevesinde birleştirildiği hallerde gerçek kaynak işlemlerini tanımlamada kullanılır [59].

### 6.3. Özellik ve Kalite Gereksinimleri

Kaynak yöntemi ile yapılmış yüzey kaplama tabakası aslında değişebilir kompozisyonu ve mikro yapıdaki katılaşma kinetiği ile tanımlanan mini bir dökümdür. Bu tarif abartılı değildir ve bu yüzden kaynakla yapılmış kaplama tabakası özellikleri ve kalitesi alaşım seçimine bağlı olduğu gibi kaynak işlem ve tekniğine de bağlıdır[51].

Oksi-gaz kaynak işlemlerinde karbonun açığa çıkması ve ark kaynak işlemleri sırasında eriyen maddenin buharlaşması ilave faktörler olmasına rağmen kaynak sırasında bileşimin değişmesi de ana metal sıvılaşmasından bağımsız değildir. Sıvı çözelti (dilatasyon), yüzey kaplama alaşımı ve ana metalin ara alaşımıdır ve genellikle ana metalin yüzey kaplama kaplaması içindeki yüzdesi olarak ifade edilir. % 10'luk dilatasyon, kaplamanın % 10 ana metal ve % 90 yüzey kaplama alaşımı içerdiğini ifade eder. Yüzey kaplama alaşımının aşınma direnci ve diğer üstün özelliklerinin genellikle dilatasyon artarken azaldığı düşünülür. Kabul edilebilir maksimum çözelti miktarı ise özel kullanım gereksinimlerine bağlıdır. Aynı zamanda kaynak işlem ve tekniği, en sert tabaka için dilatasyon miktarı % 20'den daha az olacak şekilde seçilmelidir. Uygulamada dolgu kaplama tabakası için daha fazla dilatasyon oranı kabul edilir [50].

Dilatasyon termal püskürtme işlemlerinde bulunmaz ve geleneksel oksigaz kaynak işlemlerinde az miktarda var olduğu kabul edilir. Dilatasyon tabakası genellikle ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde büyük bir problemdir. Plazma ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde yaklaşık % 5 ve toz altı ark kaynağında yaklaşık % 50 gibi büyük bir değere ulaşır. Lazerle yüzey kaplama işlemlerinde dilatasyon azdır, genellikle % 1-10 arasındadır. Çok katlı tabakalar şeklinde uygulanabilen ve ince yüzey kaplama tabakası gerektiren uygulamalarda, yüksek dilatasyonlu kaynak işlemlerinin yapılmasına müsaade edilir [48].

Dökümde olduğu gibi yüzey kaplama tabakalarının mikro yapı ve mekanik özellikleri, dilatasyon tabakasının katılaşma kinetiğine bağlı olarak değişir. Bazı termal püskürtme işlemlerinde hemen hemen amorf yapılara meydana gelmesine rağmen termal

püskürtmede katılma genellikle hızlıdır. Katılma kinetiği geleneksel kaynak yöntemleriyle yüzey kaplama işlemlerinde biraz yavaşlama eğilimi gösterir. Kural olarak oksijen-gaz kaynak işlemleri ile oluşturulan yüzey kaplama tabakalarının katılma eğilimi ark kaynak işlemleri ile oluşturulanlara göre çok daha yavaştır. Katılma oranındaki bu farklılık, dilatasyon oranı ne olursa olsun, mikro yapıda ve özelliklerde büyük farklılık meydana getirir [49].

#### **6.4. Ana Malzemenin Fiziksel Özellikleri**

Ana malzemenin büyüklüğü, şekli ve ağırlığı yüzey kaplama işlem seçimini büyük oranda etkiler. Taşınması zor, geniş ve ağır iş parçaları, yüzey kaplama donanımı iş parçasının bulunduğu yere götürülerek elle veya yarı otomatik işlemler ile rahat bir şekilde kaplanır. Portatif araç-gereçleri hazır olarak bulunan MIG ve elektrik ark kaynak işlemleri, erişilmesi zor yüzeylerin ve taşınması zor iş parçalarının açık alan uygulamaları için çok uygundur. Termal püskürtme işlemleri ve araç-gereçleri de özellikle işyerindeki yüzey kaplama işlemleri için uygundur. Yüzey kaplama işlem seçimi daha çok ana malzemenin yeterince küçük olduğu varsayılarak yapılır ve bu yüzden ana malzeme, kaynak araç-gereçlerinin olduğu yere kolaylıkla taşınabilir[51].

Termal püskürtme işlemleri ve oksijen-gaz kaynağı, topaltı kaynağı, TIG kaynağı, plazma ark kaynağı atölyedeki küçük iş parçalarının yüzey kaplama işlemleri için uygundur. Çok miktarda küçük malzemeler genellikle özel olarak üretilmiş tam otomatik yüzey kaplama araç-gereç ve ekipmanlar ile ekonomik olarak kaplanabilir [57].

#### **6.5. Ana Metalin Metalurjik Özellikleri**

Termal püskürtmeli yüzey kaplama işlemlerinde ana metal yüzeyinin hazırlanması önemlidir. Kaynak işlem seçiminde ana metal bileşimi, ergime sıcaklık aralığı, termal genleşme ve küçülme özelliklerinin önemli etkisi vardır. Çelikler yüzey kaplama için genellikle uygun ana metallerdir. Düşük alaşımlı ve % 0,4'ün üzerinde karbon içeren orta karbonlu çeliklere bütün kaynak işlemleri ile mükemmel bir şekilde yüzey kaplama işlemi uygulanabilir. Yüksek karbonlu çelikler, benzer şekilde, sorunsuz olarak yüzey kaplama işlemine tabi tutulabilirler, fakat ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) zararlı martensitik reaksiyonu en aza indirmek için ön tav gerekir. Östenitik paslanmaz çeliklere ve birçok

nikel esaslı alaşımlara, işlem hatası olmadığı takdirde, bütün kaynak işlemleri ile kolaylıkla mükemmel sonuç verecek şekilde yüzey kaplama işlemi uygulanabilir. Martensitik paslanmaz çelikler, takım çelikleri, kalıp çelikleri ve dökme demirlere de kolaylıkla yüzey kaplama uygulanabilir. Fakat ön tav, geçiş sıcaklığı ve kaynak sonrası gerekli ısıl işleme çok dikkat edilmelidir. Yaslandırma sertleşmesi işlemine tabi tutulmuş ana metaller bazı yüzey kaplama problemleri çıkarabilir ve ön tav, geçiş sıcaklığı ve son tav İşlemlerine dikkat edilmesi gerekir [58].

Yüzey kaplama kaynak işlemleri, ana metalin erime sıcaklık aralığının yüzey kaplama alaşımınıninkinden daha yüksek veya en az eşit olmasını gerektirir. Diğer taraftan termal püskürtme işlemleri ana metal ergime sıcaklığının yüksek olmasını gerektirmez. Ana metalin termal genleşme ve büzülme özellikleri katılma sonrası boyutlarını etkiler. Yüzey kaplama alaşım kaplama tabakasının çatlamasını önlemek için, iş parçası kaynak sırasında genellikle yüksek sıcaklıklara kadar düzenli bir şekilde ısıtılır. Kaynak işlem seçimi burada önemlidir. Çünkü bu seçim ısı girdisini ve ön tav koşullarını direkt olarak etkiler [58].

Yüzey kaplama alaşımı ve ana metal arasındaki genleşme ve büzülme farklılıkları termal çevrim koşullarını içeren uygulamalarda önemlidir. Büyük farklılıklar kaynak yapılan bölgede, termal püskürtme tabakasında kesme hatası veya kaynakla kaplanmış tabakada termal yorulma hatasına sebep olabilir. Ara kaplama tabakaları termal genleşme ve büzülme özelliklerindeki büyük farklılıkları önlemek için genellikle ana metal ve yüzey kaplama alaşımı arasına uygulanır. Genellikle zararlı olarak kabul edilen dilatasyon oranı kendi alanındaki ara tabakaları şekillendirmek ve termal yorulma hatasını en aza indirmek için iyi bir avantaj olarak kullanılabilir. Bu husus yüzey kaplama işlem seçiminde önemli bir yere sahiptir [59].

## **6.6. Yüzey Kaplama Ürün Şekilleri**

Yüzey kaplama işlem seçimi genellikle ürünün şekli ile sınırlıdır. Yüzey kaplama alaşımları normal olarak örtüsüz çubuk, örtülü elektrot, tel ve toz şeklinde bulunurlar. Fakat bütün alaşımlar bütün ürün şekillerinde mevcut değildir. Hemen hemen bütün yüzey kaplama alaşımları toz şeklinde ve birçoğu da çubuk şeklinde üretilir. Çubuklar genellikle örtüsüz çubuk veya tüp (toz dolgulu metal boru) şeklinde bulunurlar. Örtüsüz çubuk çapları, alaşım özellikleri ve döküm şartlarına göre 3,2–8 mm arasında

sınırlandırılır. Örtüsüz çubuk uzunlukları genellikle 250– 700 mm arasındadır, fakat bazı yüzey kaplama alaşımları 3,2 mm çapında daha uzun veya sonsuz uzunlukta olabilir. Tüp şekilli çubuklar düşük alaşımlı kılıflar içine doldurulmuş, yüksek seviyede alaşımlandırılmış toz tanelerinden oluşur. Bu çubuklar farklı uzunlukta veya sürekli sargılı bobinler şeklinde üretilirler. Farklı uzunlukta boru şeklindeki çubuklar örtüsüz çubuk şeklinde olduğu gibi genellikle aynı çapta olurlar. Uzun boru şeklindeki çubuklar veya boru şeklindeki tel normal olarak 1,6 – 4 mm çaplarında bulunurlar. Daha sünek yüzey kaplama alaşımları tel çekme yöntemi ile üretilebilirler. Bir kısım gevrek yüzey kaplama alaşımları özel ekstrüzyon teknikleri kullanılarak üretildiğinden oldukça pahalıdırlar [60].

## **6.7. Yüzey Kaplama Yöntemleri**

Ark kaynağı ile yüzey kaplama işleminde, elektrik arkından elde edilen ısı yüzey kaplama malzemesini is parçası yüzeyinde eritmek için kullanılır. Elektrik arkı, elektrot ile is parçası arasındaki gerilim farkından meydana gelir. Gerilim, elektrot ve iş parçası arasındaki mesafeye ve ark kaynak işlemlerine bağlı olarak ark değişimini muhafaza eder. Dolgu malzemesi, arkı oluşturmak için kullanılan elektrotlardan sağlanır veya dışarıdan arkın içine konulabilir. Eriyen elektrot kullanıldığında, ark kaynak işleminde dolgu malzemesi olarak direkt elektrottan yararlanır. Erimeyen elektrot kullanıldığında ise ark kaynak işleminde dolgu malzemesi olarak dışarıdan malzeme ilave edilir. Bir kural olarak; erimeyen elektrot kullanımı daha az tabaka kalınlığı ve daha az sıvılaşma oluşturduğu için eriyen elektrot işlemlerinden daha az güç kullanımı gereklidir. Hem eriyen hem de erimeyen elektrot ile yüzey kaplama işlemlerinde dolgu malzemeleri eriyip is parçası yüzeyine kaplanırken oksidiyondan korunması gerekir [59]. Eriyen elektrotlarla yüzey kaplama işlemlerinde kaynak banyosu bazen toz ile (elektrik ark kaynağı ve tozaltı kaynağında olduğu gibi), bazen de inert gazlarla (TIG ve MIG kaynağında olduğu gibi) korunur [61].

### **6.7.1. Elektrik ark kaynağı**

Elektrik ark kaynak yöntemi ve eriyen elektrotlarla yapılan yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan elektrotlar özel bileşimdeki bir örtü tabakası ile kaplanmış farklı boyutlardaki örtülü çubuklardan oluşurlar. Dolgu malzemesi çubuk çapları genellikle 3.2-8mm'dir ve çubuk tel veya tüp şeklinde (toz dolgulu metal boru) bir yapıdadır. Elektrot

örtü tabakası, dolgu malzemesini kaynak sırasında elektrot eridiğinde dışortam ile olabilecek kimyasal reaksiyonlardan korur. Ancak örtü tabakası erimiş metalin korumasını sağladığı gibi koruyucu tabaka içerisindeki bazı elementler ergime esnasında kaynak banyosuna karışarak alaşımın içeriğinin değiştirilmesinde de kullanılabilir. Örtü tabakası bileşimindeki maddeler, kaynak formunu, nüfuziyet miktarını, kaynağın soğuma hızını, arkın kararlılığını, yüzey kaplama tabakası saflığını da etkiler [61].

Eriyen elektrotlarla yapılan elektrik ark kaynağında jeneratörler, doğru akım kaynakları ve alternatif akım transformatörleri kullanılabilir. Doğru akım pozitif kutup, normalde yüzey kaplama işlemleri için tavsiye edilir. Doğru akım negatif kutup, tabaka kalınlığını az miktarda arttırmak için kullanılabilir, fakat kaynak pasosunun dar ve yüksek olma ihtimali vardır. Doğru akımın tavsiye edilmesine rağmen alternatif akımla yapılan işlerde oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ark kararlılığı ve tam erime özelliği bu metotta iyi değildir [62].

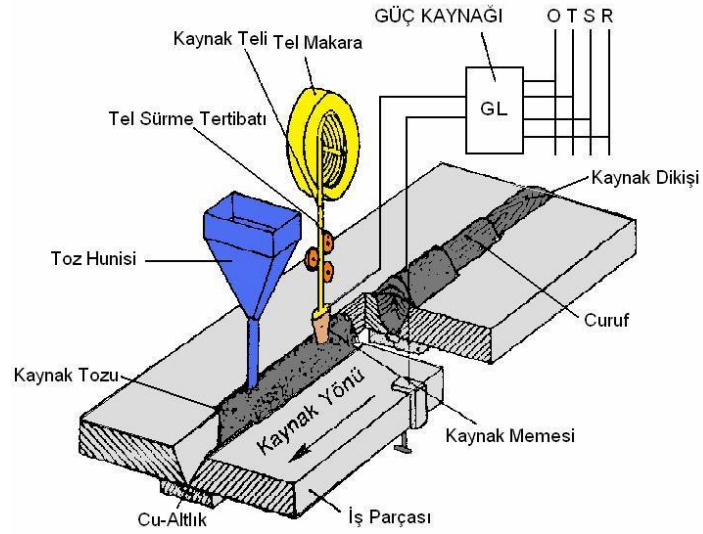
Kaynak hızı, kaynak banyosuna göre elektrotun pozisyonu, ark gerilimi ve akım şiddeti, nüfuziyet ve kaplama tabakası dilatasyon oranını en aza indirmek için biraz değiştirilebilir. Eriyen elektrotlarla yapılan metal ark kaynağının pek çok avantajları vardır. Arkın şiddetli ısı büyük parçalarda yüzey kaplama işlemini ön tav uygulanmadan mümkün kılar. Makinede ya da fabrikada küçük toleranslarla Üretilmiş parçaların küçük bölgelerine, bütün parça değiştirilmeden yüzey kaplama işlemi uygulanabilir. Kaplama işleminde, kaplanacak malzeme miktarı sarfiyatı kaynak yöntemine göre değişir. Normal olarak ark zaman saat başına 1,4'ten 1,8 kg'a kadar dolgu malzemesi kaynak bölgesine uygulanabilir. Kullanılan kaplama alaşımı çubuk kaybı hariç tutulduğunda genellikle elektrot ağırlığının % 65-75'i kadardır. Ortalama çubuk kaybı yaklaşık olarak 75 mm'dir ve bu 350 mm'lik bir elektrotun yaklaşık % 20'sidir. Ulaşılması zor bölgeler örtülü elektrotlarla en iyi şekilde kaplanabilir. Bütün işlemler nispeten hızlıdır, çünkü ön tav ve yüksek geçiş sıcaklığının korunması gerekli değildir. Bu işlemin bir diğer cazip özelliği de araç gereçlerinin taşınabilirliğidir. Benzin motor jeneratörleri herhangi bir yere taşınabilir[63].

Eriyen elektrotlarla metal ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinin bazı sakıncalarının da olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Nüfuziyet yüksektir ve dilatasyon oranı % 20 veya daha fazla olabilir. Bu durum sertliğin, aşınma direncinin azalmasına sebep olur. Kaynak metalinin iki veya üç tabakasının normal olarak maksimum aşınma özelliklerine sahip olması gerekir. Örtülü elektrotlar kaynak kaplama tabakası yüzeyini

örtlen bir cüruf bırakırlar ve bu cüruf her kaynak pasosundan sonra mutlaka temizlenmelidir. Örtülü elektrotlar genellikle ön tav işlemine gerek duyulmaksızın kullanılırlar. Bu durumda da özellikle sert kaplama tabakası oluşturan yüksek alaşımli elektrotlarla yapılan kaplama işlemlerinde çatlaklar veya çapraz çatlaklar meydana gelebilir. Yüzey kaplama malzemeleri kaplama yapıldığı zaman maksimum sıcaklık ve maksimum termal yayılma gösterirler. Bunun tersine is parçası kaynak sırasında çevre sıcaklığında olabilir ve bu durumda yüzey kaplama malzemesinden daha az yayılma gösterebilir. Yüzey kaplama tabakasında kaynak sonrası hızlı soğuma olduğundan dolayı şiddetli gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmeler sünek yüzey kaplama malzemelerinin kullanıldığı durumlarda deformasyonla, gevrek yüzey kaplama malzemelerinin kullanıldığı durumlarda çatlak veya çapraz çatlak ile yok edilir. Çatlaklar birçok uygulamada üst tabakanın aşınma direncini etkilemezler [64].

### **6.7.2. Tozaltı Kaynağı**

Bu yöntemle yapılan yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan mineral bileşimli tozlar, fazla miktarda gaz üretmeyen, erimiş dolgu metalini korumak için özellikle oluşturulmuşlardır. Yüzey kaplama işlemi, dolgu malzemeleri birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilen kaynak akımı, gerilimi ve kaynak hızının geniş bir aralığında yapılabilir. Bununla birlikte genellikle akım, gerilim ve is parçası hareket hızı yüzey kaplama işlemlerinde yaklaşık olarak 15 mm genişlikte az miktarda dışbükey yüzeyli ve kenarları ana metale doğru gittikçe incelen bir ark hattı oluşturmak için ayarlanabilir. Birçok tozaltı kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde akım genellikle 300-500 A'dır. Eğer istenirse kaplama oranını yükseltmek için akımı 900 A gibi bir değere çıkartmak mümkündür. Tozaltı kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde eriyen elektrotlar kullanılır ve bu yöntemde kaynak banyosu taneciklerden oluşan ve eritilebilir tozlar ile korunur. Tozaltı kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde elektrotlar sürekli tel, bobin veya toz özlü tel şeklindeki dolgu malzemelerinden oluşur. Burada kullanılan tozlar genellikle küçük parçalar halindedir ve katı halde serbest akabilir, elektrotun içinden kaplanan yüzey boyunca kaynak bölgesi üzerine kaplanır [33]. Bazı özellikler tozaltı yüzey kaplama işlemini avantajlı hale getirir. Çünkü bu yöntem otomasyona uygundur ve az beceri gerektirir.



Şekil 6.1. Tozaltı kaynağının şematik görünüşü

Yüksek kaplama oranlarının oluşması mümkündür, bu oran ise bağlı olarak 4,5-9,0kg/sa kadar yükselebilir. Bu yöntem ile yüzeyde pürüzsüz, düzenli ve boşluksuz kaplama yapılabilir ve hatta hem çok düzgün yüzey elde edilir hem de taslama ve temizleme işlemleri en az düzeyde olabilir. Dolgu metali atmosfere karşı başka bir koruyucu gerektirmeden, arkı tamamıyla çevreleyen toz ile korunur. Tozaltı kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işleminin en büyük dezavantajlarından birisi; bu yöntemde yüzey kaplama işlemi basit silindirik veya düzgün yüzeyli iş parçaları için sınırlıdır[51].

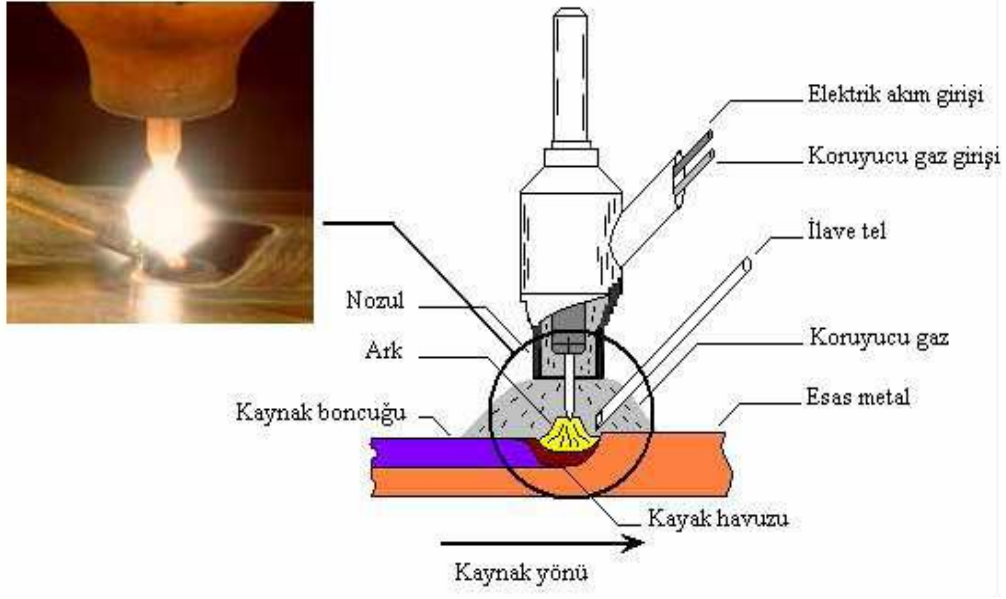
Diğer dezavantaj da yönteminin küçük parçaların yüzey kaplaması için uygun olmayışıdır. Bazı silindirik parçalar yüzey kaplama işlemleri esnasında özel toz koruyucu yöntemler gerektirir. İş parçasına 315 °C'den daha yüksek bir sıcaklıkta ön tav uygulandığında cüruf sıcak iken kaldırılmalıdır. Aksi takdirde cürufun kaldırılması aşırı derecede zorlaşır. Bazen küçük portatif üniteler kullanılır. Fakat normalde toz altı kaynak üniteleri oldukça büyüktür ve sabit raylar üzerine monte edilmiştir ve bu nedenle saha uygulamaları için kullanımı sınırlıdır. Tozun kurutulması zorunludur, bu yüzden depolama problem olabilir. Kaynak esnasında dilatasyon oranı yüksektir. % 30'a varan veya daha yüksek düzeyde ana metal ile alaşım yapması mümkündür [33,65].

### 6.7.3. TIG Kaynağı

TIG kaynağı erimeyen elektrotlarla yapılır. Toryumlu tungsten, erimeyen elektrot malzemesi olarak kullanılır. Güç ayarları, damlama durumuna göre gerilim – akım değerleri yüzey kaplama işlemlerinde belirlenebilir. Bu yöntemde iş parçasının ısınmış bölgesi, erimiş yüzey kaplama alaşımı ve erimeyen elektrot torç içinden beslenen koruyucu gaz akışı ile atmosferin zararlı etkilerinden korunur [33].

Koruyucu gaz olarak genellikle argon kullanılır, fakat helyum da kullanılabilir. Özellikle geniş parçalar veya ana metaller söz konusu olduğu zaman oksî-gaz ile yapılan yüzey kaplama işleminden daha iyi neticeler verir. Motorlu jeneratörler, sürekli yüksek frekans akımı üretmek için alternatif akım transformatörleri gibi kullanılabilirler. Doğru akımda elektrotun negatif kutba bağlanması tungstenin yüzey kaplama tabakasına geçişini en aza indirmek için kullanılır. TIG kaynağı titanyum katkılı paslanmaz çelikler veya alüminyum içerikli nikel esaslı alaşımlar gibi reaktif ana metale yüzey kaplama uygulamasında tercih edilir. TIG kaynağı karbon varlığının kabul edilemez olduğu yüzey kaplama işlemlerinde veya dolgu malzemesi kullanılarak yapılan ve bu dolgu malzemesinin oksî-asetilen alevi etkisi altında kaynama eğiliminde olduğu işlemlerde de oksî-gaz ile yapılan yüzey kaplama işlemlerine tercih edilir. Ana metal dilatasyonu torç hareketi ile gereğinden fazla akım kullanılmayarak ve arkı iş parçasından ziyade yüzey kaplama tabakası üzerine yoğunlaştırarak en aza indirilebilir. Yüzey kaplama tabaka oranları, ana metal dilatasyon oranındaki farklılığa rağmen, elle yapılan TIG ve oksî-gaz kaynağı ile karşılaştırılabilir [33,65].

TIG kaynak yöntemiyle yüksek kaliteli ve tekrarlı yüzey kaplama tabakaları oluşturmak için dolgu metali erime oranı ve torç hareket hızı kontrol edilmelidir. Akım gecikme kumanda cihazları yüzey kaplama tabakası içindeki son katılaşmayı kontrol etmek, fireyi ve krater çatlağını en aza indirmek için kullanılır. TIG de arkın durumu, diğer eriyen elektrotlarla ark kaynak işlemlerinden daha düzgün ve daha sakindir, kaynak sıçraması daha azdır. TIG kaynağı küçük ve karmaşık şekilli parçaların yüzey kaplama işlemleri için daha uygundur ve genellikle diğer yüzey kaplama işlemlerinden daha kaliteli sonuçlar verir [66].

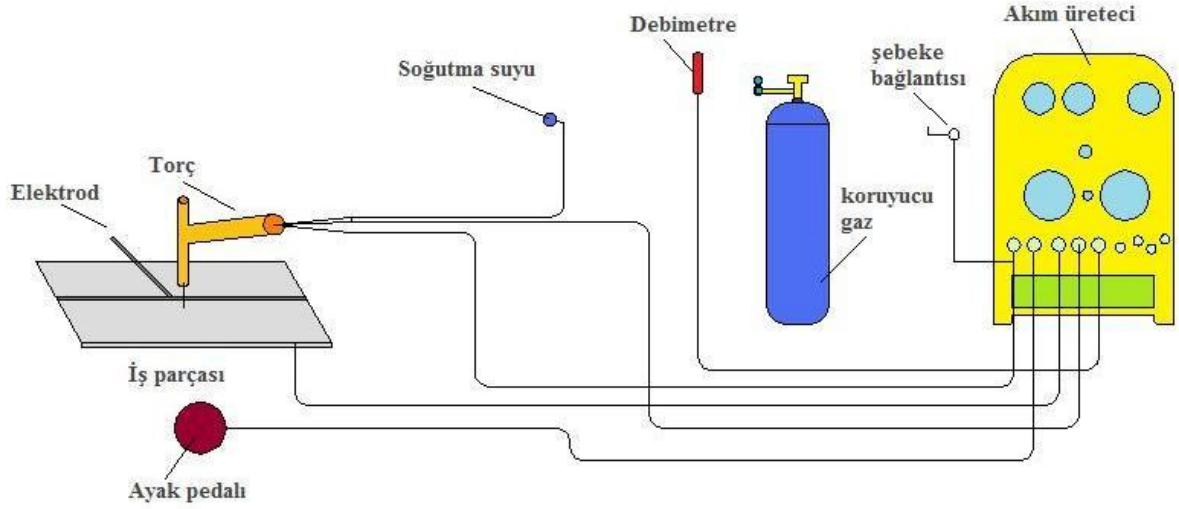


Şekil 6.2. Gaz altı kaynak yönteminin şematik gösterimi [67].

Endüstride bu kaynak yöntemi daha çok kök pasoların çekilmesinde ve tamir işlerinde kaynakçıya büyük kolaylık sağladığından kullanım alanı genişlemektedir. TIG kaynak yöntemini ile prensip olarak her kalınlık ve her pozisyondaki parçalara uygulanabilmekte olup, daha kalın parçalar için uzun süreli işlemler gerektiğinden ekonomik olmamakta ve tercih edilmektedir. Bundan dolayı 7 mm' den daha kalın parçaların birleştirilmesinde önerilmemekle beraber bu kaynak yöntemi ile çok kaliteli, daha güvenli ve dikkate değer birleştirmeler sağlanabilmektedir. Bu nedenle uçak ve uzay endüstrisinde çok geniş kullanım alanı bulmaktadır. Akım şiddeti azaltılarak diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi imkansız olan çok ince saçlar bu yöntemle kaliteli bir şekilde birleştirilebilmektedir. Hatta 0.1mm kalınlığına sahip parçalar bile kaynak edilebilmektedir [68].

### 6.7.3.1. TIG Kaynak Donanımı

Şekil 6.3' de TIG kaynak donanımının şeması verilmektedir. Şekil'den de görüldüğü gibi bu donanım; akım üretici, koruyucu gaz tüpü, gaz basınç debi ayar donanımı, torç ve kontrol panelinden oluşmaktadır. Yüksek akım şiddetleri durumlarında torcu soğutmak için soğutma suyu devresi kullanılmaktadır. TIG kaynak yönteminde el ile kaynak yapıldığı gibi yarı otomatik, otomatik kaynak yöntemlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 6.3. TIG kaynak donanım şeması .

TIG kaynağı östenitik paslanmaz çelik ince saclara tüm kaynak pozisyonlarında uygulanabilir ancak erime gücü dolayısı ile dolgu oranı düşük olmaktadır. Yöntem doğru akımda tel negatif kutuba bağlanarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde argon, helyum veya bu gazların karışımı kullanılır. Argon genellikle yarı otomatik kaynak işlemleri için uygundur, çünkü bu yöntemde arkın başlaması ve kaynak banyosunun kontrolü kolay olup, banyo üzerinde iyi ve etkili bir örtü sağlamaktadır. Argon özellikle östenitik ince sacların kaynağı için akım şiddeti için ısı girdisi He ile birleştirmeden daha düşük olduğundan uygundur. Yüksek kaynak hızlarında özellikle otomatik olarak yapılan kaynak birleştirmeler daha iyi kaynak dikiş biçimi ve nüfuziyet elde etmek için helyum kullanılır. Ancak, helyum kullanılması durumunda arkın tutuşturulması daha zor olmaktadır [69].

Bu kaynak yönteminde koruyucu gaz debisinin yetersiz olması halinde kaynak metaline azot difüzyonu olmakta ve oluşan ferrit miktarı üzerinde etkili olmaktadır. TIG kaynak yöntemi, özellikle çeşitli bağlantıları kok pasolarının yapılmasında vazgeçilemez bir yöntemdir. Her zaman gerekli olmamasına karşın, kaynak ağzının kök kısmı özel olarak hazırlanabilir. Kaynağın bitiminde oluşacak krater hatası mutlaka oyularak çıkarılmalı ve bu kısım yeniden kaynak edilerek tamir edilmelidir [69].

### 6.7.3. 2. TIG Kaynak Elektrotları

TIG kaynak yöntemi ile diğer kaynak yöntemleri arasında en önemli fark ek ilave elektrotun kullanılması ve elektrotun sadece ark oluşturma işlemi gerçekleştirilmesidir. Bundan dolayı erime sıcaklığı 3350 °C olan tungsten elektrot kullanılmaktadır. Bu elektrotlar yüksek ergime sıcaklığına sahip olmakla beraber çok önemli bir elektrot yayıcı olup yayınan elektrotlar ark sütunu içinde elektrik akımı oluşturmakta ve ark sütunundaki atomları iyonize ederek arkın kararlılığı sağlamaktadır. TIG kaynak elektrotları AWS (Amerikan Kaynak Derneği), DIN (Alman Standart Enstitüsü) göre sınıflandırılmış ve bunların birbirinden kolayca ayırt edilebilmesi için uç kısımları çeşitli renklere boyanarak belirlenmesinde farklı renk kodları kullanılmıştır. Bu renk ve kodlar aşağıdaki Tablo 6.2’de verilmektedir.

**Tablo 6.2.** Tungsten elektrotların kimyasal bileşikleri ve tanım renkleri (DIN 32528) [69].

İşareti	Malzeme No.	Oksit içeriği %	Katkılar %	Renk Kodu
W	2.6005	-	<0.20	Yeşil
WT 10	2.6002	0.90 - 1.20 ThO <sub>2</sub>	<0.20	Sarı
WT 20	2.6026	1.80 - 2.20 ThO <sub>2</sub>	<0.20	Kırmızı
WT 30	2.6030	2.80 - 3.20 ThO <sub>2</sub>	<0.20	Leylak
WT40	2.6036	3.80 - 4.20 ThO <sub>2</sub>	<0.20	Portakal
WZ 4	2.6050	0.30 - 0.50 ThO <sub>2</sub>	<0.20	Kahverengi
WZ 8	2.6062	0.70 - 0.90 ThO <sub>2</sub>	<0.20	Beyaz
WL 10	2.6010	0.90 – 1.20ThO <sub>2</sub>	<0.20	Siyah

### 6.7.3. 3. TIG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar

Gazaltı kaynak yöntemlerinde elektrik enerjisi, ilave metal ve koruyucu gaz kullanılan sarf malzemeleridir. İlave telin kimyasal bileşimi ve koruyucu gaz türü ve kompozisyonu kaynak metalinin birleşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerdir.

Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan koruyucu gazlar ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden korunması gerekmektedir. Böylece, koruyucu gaz ergimiş kaynak banyosu içerisindeki alaşım elementlerinin atmosferdeki oksijen ile reaksiyona girmesini önlemek azot ve hidrojen gibi diğer zararlı gazların kaynak metalinin

banyosunda çözümlenerek girmesini önler. Ergimiş halde hemen hemen bütün metaller havadan oksijen ve azot absorbe ederek katılaşma esnasında kaynak metalindeki elementler ile birleşerek yeni birleşikler oluştururlar. Böylece, kaynak metalinin kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkiler gözenek oluşumuna ve gevrekleşmeye neden olmaktadır.

TIG kaynağında soy gazlar ve bunların çeşitli oranlarda karışımları kullanılır. Kaynak işlemi için gaz seçiminde göz önünde bulundurulacak hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kaynatılan metal veya alaşımın türü,
- Ark karakteristiği ve metal damla geçiş biçimi,
- Kaynak hızı,
- Parça kalınlığı,
- Nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi,
- Kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikleri,
- Kaynak banyosunda oluşan oksitlerin temizlenmesi,
- Tedarik edilebilirlik ve gazın maliyetidir.

#### **6.7.4. Toz İlaveli Oksi-Gaz Kaynağı**

0.75 mm'den 3 mm'ye kadar olan tabaka kalınlığı paso başına 1,3 mm olarak uygulanabilir. Yüzey kaplama esnasında ana metalin ergimesi, yüzey kaplama alaşımı ile erimeyle birleşme şeklinde bir bağ oluşturur. Kaynak alevi içinde toz akısının sıkı kontrolü nedeniyle uygulamada malzemenin kaplanabilirliği daha düzenli hale gelir. Yüzey kaplama işlemi için gerekli olan aşırı asetilen miktarı alaşım bileşimine bağlı olarak değişir ve oksiasetilen yelpaze uzunluğu ile iç koni uzunluğu arasındaki oran ile alev sekline bakılarak kolaylıkla anlaşılabilir [70].

Toz kaynağı olarak da adlandırılan elle yapılan toz ilaveli oksi-gaz kaynağı, özel bir oksiasetilen torcu kullanılarak toz transferinin ve erimenin tek işlemde meydana geldiği oksigaz kaynak işleminin biraz değiştirilmiş seklidir. Toz, gaz kaynak torcu üzerine monte edilmiş küçük bir haznedan beslenir ve alev içinden is parçası üzerine gönderilir. Bu işlemden sonra uygulanan genel oksiasetilen yüzey kaplama işlemi ile düz, ince, yoğun tabakalar elde edilir. Tabaka kalınlığı, toz akış oranı ve torç hareketi ile kontrol edilir. Bu işlemden dolayı tabaka içinde % 1-5 oranında dilatasyon meydana gelir [71].

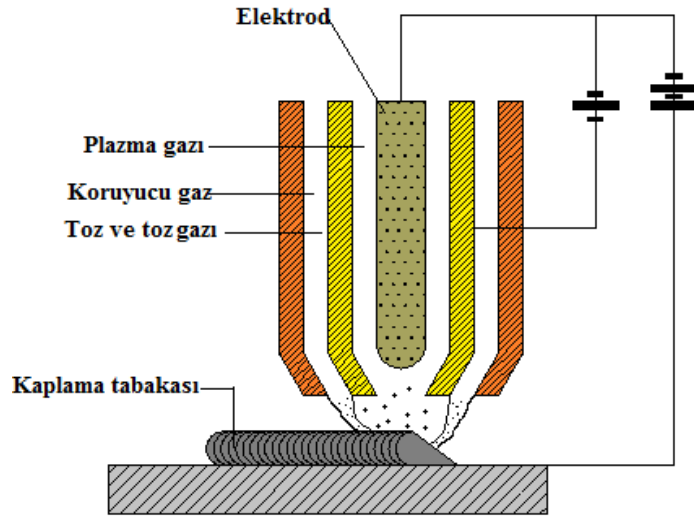
Tungsten karbür içerikli kompozit tozlar 1,5X alevi kullanılarak kaplanır. Nikel esaslı tozlar ise nötr veya az oksitleyici alev ile kaynatılır. Çünkü toz püskürtüldüğü zaman alevin özellikleri biraz değişir. Toz besleme kulpu bastırılmalıdır ve toz püskürtülürken son alev formu oluşur. Çoğu alaşımlar bor ve silisyum içeren bu yöntem ile kaplanır ve burada kolayca kaldırılan cüruf oluşturmak ve temiz kaynak banyosu elde etmek için geçici bir oksit tabakası oluşur [72].

Oksi-asetilen yelpaze uzunluğu, torcun tepe noktasından ara bölgenin en uç noktasına kadar ölçülür ve genellikle iç koni uzunluk katsayısı şeklinde tarif edilir. Böylece bu nötr alev IX olarak sınıflandırılır. Kobalt esaslı tozlar genellikle 2X, 3X alev formu kullanılarak uygulanır. Oksi-asetilen yelpazesi, iç konininkinden iki veya üç defa daha uzundur [73].

Toz ilave torç kaynağı küçük tamirler ve sertliğin geniş bir aralığının (yaklaşık 20-60 HRC) gerektiği küçük bölgelerin yüzey kaplama işlemi için çok uygundur. Toz ilaveli torç kaynağı genellikle cam kalıplar, tuğla biçimlendirme gereçleri, tuğla endüstrisi elemanları, dökme demir parçalar, besleme vidaları, çekiç tamirleri ve pompa parçalarına uygulanır [74].

#### **6.7.5. Plazma Ark Kaynağı**

Plazma ark kaynağı plazmanın ikincil ısı kaynağı gibi kullanımının etkili olmasıyla TIG yönteminden ayrılır. Plazma, elektrotu çevreleyen nozuldan çıkan gazın iyonlaşması ile oluşur. Plazma ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemi TIG ile yapılan yüzey kaplama işlemine benzer ve her ikisinde de erimeyen tungsten elektrot ve is parçası arasındaki ark, yüzey kaplama için asıl ısı kaynağı olarak kullanılır. Plazma ark kaynağında, yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan eriyen elektrotlar gibi örtüsüz çubuk veya tel ile beraber toz da kullanılabilir [81]. Sekil 6.4'deşematik olarak gösterilen plazma ark yüzey kaplama işlemi, tozun is parçası üzerinde ergimiş bir kaynak banyosu oluşturmak için, birleştirilmiş ark/plazma akımının içine gönderildiği bir kaynak işlemidir [33].



Şekil 6.4. Plazma ark yüzey kaplama işleminin şematik gösterimi

Alaşım toz besleyiciden plazma torcuna bir argon gaz akımı içinde gelir ve bu plazmayı oluşturur ve torçtan ark çıkışına yönelir, burada alaşım erir ve ana metal ile birleşir. Oluşan kaplama tabakası homojendir ve ana metal ile mükemmel bir metalürjik bağ oluşturur. Tungsten elektrot ile is parçasına bağlı olan doğru akım güç kaynağı transfer edilen ark için enerji sağlar. Daraltılmış ark ağzı ve tungsten elektroda bağlı ikinci bir doğru akım güç kaynağı transfer edilmeyen arkı destekler.

Transfer edilmeyen ark transfer edilen arkın ısısına destek sağlar ve transfer edilen arkı başlatmak için pilot ark görevi üstlenir. Argon, ark bölgesinin içinde ve çevresinde koruyucu gaz görevi sağlamak için bir gaz yayıcı içinden geçirilir [73]. Plazma arkı ile yapılan yüzey kaplama işleminde tek pasoda 0,64–3,2 mm kalınlığında kaplama tabakası oluşturulabilir. Kaplama tabakasında % 5-20 dilatasyon oranı normaldir. Plazma ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işleminin dezavantajları ise araç-gereçleri pahalıdır ve özel takımların sağlandığı durumlar hariç kullanımı düz veya silindirik parçalar ile sınırlı olmasıdır. torç, sürekli tertibatın gerektiği bir taşıyıcı ray üzerine monte edilmiştir. Bu işlemde kullanılan iki devre vardır; bu yüzden ya özel güç sağlanır ya da iki tane ayrı geleneksel güç ünitesi gerekir. Argon tüketimi bazen TIG kaynağından daha fazladır. Argon, elektrotu korumak için torç un merkezinden temin edilir. Koruyucu gaz kaynak metalini korumak için gereklidir ve argon gazı toz için taşıyıcı olarak da kullanılır. Sert alaşımlarla kaplanan geniş parçalar normalde ön tav ister. Eğer aşırı ön tav ve uzatılmış yüzey kaplama süresi torcun aşırı ısınmasına sebep olursa, bu durum plazma ark kaynağında büyük bir problem oluşturur [74].

### 6.7.6. Lazer Kaynağı

Lazerli kaplama ark veya gaz alevinin aksine yüksek enerjili lazer ısın ısı kaynağının kullanılması ile geleneksel yüzey kaplama işlemlerinden farklıdır. Lazer ısınları ile ince kaplama tabakaları oluşturulabilir veya yüzey kaplama işlemi görmüş yüzeye lazer ile kaplama işlemi torç veya elektrot kullanılarak yapılan işlemlerden daha iyi sonuç verir [75].

Yüzey kaplama malzeme seçimi, malzemenin ana malzeme ile metalürjik uyumuna bağlıdır. Ana malzeme ile gevrek intermetalik faz oluşturan alaşımların kullanımı sakıncalıdır. Geleneksel yüzey kaplama yöntemlerinde, malzemeler metal-metal teması, çarpma, erozyon ve abrasif aşınma direnci içeren uygulamalarda kullanılır.

Kobalt, nikel ve tungsten karbür esaslı yüzey kaplama alaşımında, lazer yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan genel kaplama malzemeleridir. Diğer lazer yüzey kaplama malzemeleri titanyum karbür, Fe-Cr-Ni-B alaşımından, alüminyum bronzları ve seramiklerdir. Kaplanacak malzeme karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel esaslı alaşımlar, alüminyum, dökme demir ve takım çelikleridir. Kobalt, titanyum ile zararlı intermetalik faz oluşturur ve kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının titanyum ana malzeme olduğu durumlarda kullanımı uygun değildir [76]. Lazer ile yüzey kaplama uygulamalarında yüzey kaplama alaşımı bir lazer ısını ile eritilir ve ana malzeme üzerinde serbestçe yayılır ve donar. Isın aynı zamanda çok ince bir tabaka şeklinde ana malzemeyi de ergitir ve bu sıvı kaynak metali ile en az düzeyde birleşir ve güçlü bir metalürjik bağ oluşturmak için katılır [77]. İyi bir ergime bağı 10-20 um kalınlığında bir dilatasyon tabakası ile oluşur. Yüzey kaplama alaşımı birkaç şekilde bulunur. Örneğin; numune yüzeyine bağlayıcı kullanarak veya kullanmaksızın uygulanan ön alaşımlı tozu, alevle püskürtmede kullanılan toz karışımı, plazma püskürtmede kullanılan yüzey kaplama alaşımı gibi. Tabakaların lazerle takviye edilmesi yoğunluğa, düzleşmeye, olukların ana malzemedan uzaklaştırılmasına, kaplama ve ana malzeme arasındaki bağı düzeltilmesine, boşlukların azalmasına sebep olur ve bunların hepsi yüzey kaplama tabakasının mukavemet ve bütünlüğüne katkıda bulunur. Lazer kaplama işlem parametreleri 10-1000 MW/m<sup>2</sup> güç yoğunluğu ve 0,1'den 1sn'ye kadar zaman değerlerine sahiptir. Koruyucu gaz olarak herhangi bir ağır gaz veya He/Ar ve H<sub>2</sub>/Ar gibi gaz karışımlar kullanılabilir [78].

Lazerle yüzey kaplama işleminde, özel olarak üretilmiş toz besleme düzeneğinde toz ve yardımcı gaz bir seramik hortum ağzından kaynak bölgesine gönderilir, helyum ve argon koruyucu gazı hortum ağzından ayrılırken toz-gaz karışımını çevreler. Toz dağıtım ağzı kaynak banyosuna tozun akacağı bir şekilde konumlanmıştır. Yatay besleme açısı genellikle 35-45° ve genellikle 3 mm çapındaki besleme tüpü ana malzemeden 10-12 mm mesafelik konumda yerleşmiştir. Toz akış miktarı 0,005-0,1 cm<sup>3</sup>/sn, partikül hızı 1-2 m/sn ve gaz akış hızı 3-7m/sn.dir. Uygun dilatasyon miktarı % 3-8'dir. Kaplama tabaka kalınlığı 0,15-4 mm arasındadır. Tozun düzenli verilmesi kaplama tabakasının uniform olmasını sağlar. Plazma püskürtmeli kaplamanın aksine porozite ve erimemiş toz partikülleri bir lazer yüzey kaplama tabakası içinde hemen hemen hiç bulunmaz [79].

Lazer ile iyi özelliklere sahip bir kaplama tabakası oluşturmak isteniyorsa genellikle geniş yelpaze şeklindeki ısın ile veya salınan odaklanmış ışınlar ile yapılmalıdır. Yüzey kaplama malzemeleri çubuk, tel veya levha şeklinde olabilir fakat kullanım problemlerinden dolayı bazı özel yöntemler gerekir. Uygun ön tav işlemi ile kaynak metalinde oluşabilecek olan termal gerilmeler zararlı çatlak oluşumlarına engel olunabilir. Düşük güç yoğunlukları, geniş ısın çapları ve yavaş geçiş oranları çatlaksız kaplama tabakası oluşumunu sağlar [80].

## **7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **7.1. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmada; AISI 304 paslanmaz çeliğinin yüzeyi kaplama malzemesi olarak seçilen Stellite-6 süper alaşımına ilave edilen FeTi, FeB, FeW ve FeMo kaplama malzemesiyle Gaz Tungsten Ark (GTA) kaynak yöntemi ile yüzey modifikasyonu (alaşımlama) yapılarak, elde edilen kaplama tabakasının mikroyapı değişimleri incelenmiştir. Stellite-6 süper alaşımının kaplama alaşım malzemesi olarak seçilmesinin sebebi; Stellite-6 süper alaşımının, kullanılan diğer süper alaşımlardan farklı olarak elde edilen kaynak metalinin sertliği yanında, sahip olduğu tokluk özelliği sebebiyle de ağır mekanik darbelere ve ısıl şoklara dayanabilen bir süper alaşım dolgu malzemesidir. İşlenebilirlikleri iyidir. Normal alaşımsız ve az alaşımlı çelikler korozif etkilere karşı dayanıklı olmadıklarından, bu tür uygulamalar için genellikle paslanmaz çeliklerin kullanılması gerekir. Paslanmaz çelikler korozyon dayanımları yanında, değişik mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmeleri, şekil verme kolaylığı, estetik görünümleri gibi özelliklere sahiptirler. Paslanmaz çelikler diğer çeliklere oranla fiyat bakımından daha pahalıdır, ancak bakımlarının ucuz ve kolay olması, uzun ömürlü olmaları, tümüyle geri kazanılabilmeleri ve çevre dostu bir malzeme olmaları çok büyük avantajlar sağlar. Gelişmekte olan ülkemiz endüstrisinin paslanmaz çeliklere olan gereksinimi her geçen gün artmaktadır. Bu amaçla, endüstriyel uygulamalarda önemli bir kullanım alanına sahip olan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin GTA kaynak tekniği kullanılarak Stellite-6 + FeTi, FeW, FeB, FeMo kaplanmasının, kaplamalı malzemelerin karakteristiği ve yapısal özellikleri üzerine literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

### **7.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler**

Bu çalışmada, 100 x 20 x 10 mm boyutlarında ve 1.5 mm derinlikli kanala sahip Tablo 7.1' de kimyasal bileşimi verilen AISI 304 çeliği GTA yöntemiyle yüzey modifikasyonu işleminde alt malzeme olarak, kaplama malzemesi olarak da Tablo 7.2' de kimyasal bileşimleri verilen; Stellite-6 + FeB, FeW, FeMo, FeTi tozları kullanılmıştır. Gaz tungsten ark kaynak yöntemiyle yapılan kaplama işleminin şematik görünümü Şekil 7.1' de verilmiştir.

**Tablo 7.1.** Deneyleerde kullanılan alt malzeme ve ilave metalin kimyasal bileşimi (% Ağırlık).

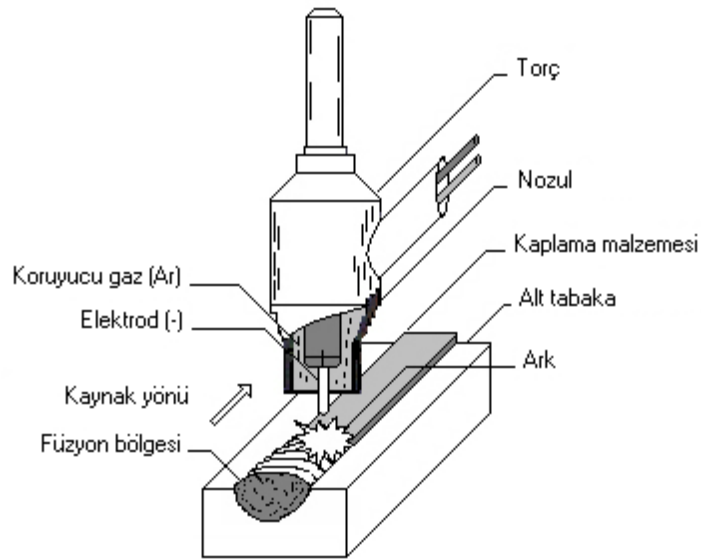
Malzeme	Fe	C	Cr	Ni	Si	Mn	Co	W
AISI 304	Kalan	0.08	18.03	8.22	1.00	2.00	-	-
Stellite-6	2.50	1.44	30.46	2.92	-	-	34.15	15.71

**Tablo 7.2.** Takviye malzemesinin kimyasal bileşimi (% Ağırlık).

	W	Ti	Si	S	Fe	B	C	P	Mo
FeTi	-	75	0.5	0.03	Bal.	-	-	0.03	-
FeB	-	-	1.5	0.04	Bal.	80	7	0.04	-
FeW	80	-	0.5	-	Bal.	-	-	0.04	-
FeMo	-	-	0.5	0.03	Bal.	-	-	0.03	80

**Tablo7.3.**Yüzey alaşımlama için üretim parametreleri.

Numunenin	S1 Stellite-6	S2 Stellite 6 +FeTi	S3 Stellite6 +FeB	S4 Stellite 6 +FeW	S5 Stellite6 +FeMo
Toz Miktarı	-	1.346	1.377	1.418	1.408
İlave tel çapı	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
İlave tel	Stellite-6				
Kaplama Boyu	85	85	85	85	85
Akım (A)	140	140	140	140	140
Isı Girdisi (J)	20.208	20.208	20.208	20.208	20.208
Elektrod	%2 toryumlu tungsten elektrod				
Koruyucu Gaz	% 99.9 Saf Argon				
Gaz Akış (lt/dak.)	12				
Elektrod (mm)	2.4				



**Şekil 7.1.** Gaz tungsten ark kaynak yöntemiyle yapılan kaplama işleminin şematik görünümü.

### 7.3. Kaplama Alaşımlarının Hazırlanması

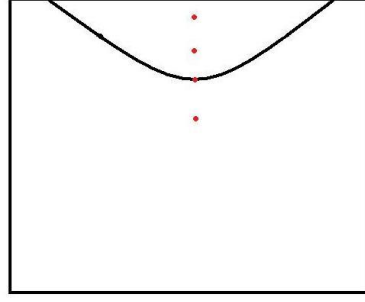
Kaplama işleminden önce ticari olarak temin edilen 100 x 500 x 10 mm boyutlarındaki AISI 304 östenitik paslanmaz çelik plaka, şerit testere cihazında 100 x 20 x 10 mm' lik boyutlara getirilmiş ve 1.5 mm derinlikde ve 5 mm genişliğinde kanallar açılmıştır. Kesilen numunelerin dörtkenar yüzeyleri kir, pas ve oksit tabakasından arındırılmıştır. Bu işlemden sonra, bütün plakalar dahil olduğu parametre numarasına göre markalanmıştır. Kaynak ilave metali olarak kullanılacak olan Stellite-6 süper alaşımları FeTi, FeB, FeW, ve FeMo tozları ile kaplanmıştır.

### 7.4. Optik mikroskop, (SEM) ve Noktasal Analiz (EDS) analizleri

Metalografik incelemeler için; Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü laboratuvarlarında bulunan Struers Accutom marka hassas kesme cihazında numuneler kesilerek, sırasıyla 200-1200 mesh' lik zımparada zımparalandıktan sonra 2 µ' luk elmas pasta kullanılarak çuhada yapılmıştır. Dağlama işlemi 5 ml HNO<sub>3</sub> + 5 ml C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub> + 20 ml HCl + 5 ml H<sub>2</sub>O çözeltisi 5-10 V ve DC akım elektrolitik dağlayıcıda 15-20 sn dağlanmıştır. Daha sonra dağlanan numunelerin mikroyapı fotoğrafları için; NIKON marka optik mikroskop ve Fırat Üniversitesi, Fen Edebiyat fakültesi, Fizik Bölümü, laboratuvarında bulunan JEOL JSM 7001F FE-SEM marka Scanning Electron Microscope (SEM) cihazı ve buna bağlı Enerji Dispersive spektocraph (EDS) yüzey analiz cihazı kullanılmıştır. Kaplamalarda oluşan faz ve bileşikleri tespit etmek amacıyla SHIMADSU marka XRD-6000 cihazıyla Cu tüp / K $\alpha$  X-Işını tüpü, dalga boyu ( $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$ ), 40 kV, 40 mA kullanılarak X-ray diffraction (XRD) analizleri yapılmıştır.

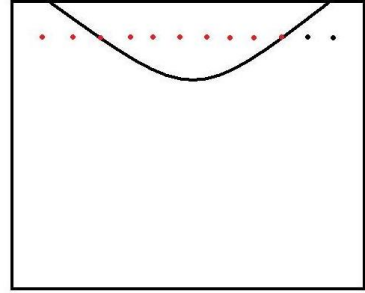
### 7.5. Makro ve Mikrosertlik Deneyi

Sertlik ölçümleri Fırat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü' nde bulunan INSTRON WOLPERT marka sertlik ölçme cihazında yapıldı. Numunelerin makrosertlik değerlerinin ölçüldüğu noktalar Şekil 7.2' de şematik olarak gösterilmiştir. Ölçümler 40 g' lık yük uygulanarak 3 mm' lik mesafelerde her bir numune için dört farklı bölgeden Vickers sertlik değeri cinsinden yapıldı.



**Şekil 7.2.** Makrosertlik ölçüm numunesi.

Numunelerin birleşme bölgesinde meydana gelen sertlik değişimini belirlemek için mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri; Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metalurji Malzeme Mühendisliği' nde bulunan LEICA MHF-10 marka mikrosertlik cihazında 30 gr yük altında 5 sn. beklenerek Şekil 7.3' deki düzende 0.5 mm aralıklarla Vickers (HV) skalasında 12 ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu değerler, bilgisayar ortamına aktarılarak mikrosertlik grafikleri çizilmiştir.



**Şekil 7.3.** Mikrosertlik ölçüm numunesi.

## 8. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

### 8.1. Deney Numunelerinin Makroyapı Analizleri

Stellite-6 süper alaşımına FeTi, FeB, FeW ve Fe Mo ilave edilerek elde edilen kaplama alaşım malzemesinin, AISI 304 paslanmaz çeliğinin yüzeyine 140 A akım şiddeti ve Argon koruyucu gaz atmosferinde GTA yöntemi kullanılarak yapılan yüzey modifikasyonu işleminde elde edilen kaplama malzemelerinin makro yüzey görüntüleri Şekil 8.1’ de verilmiştir. S1, S2, S3, S4 ve S5 kaplama numunelerine ait makroyüzey fotoğrafları incelendiğinde; ergimenin oldukça iyi gerçekleştiği, kaplama katının düzenli bir görünüme sahip olduğu, kaplama tabakasında hızlı soğuma sonucu herhangi bir gözenek, çatlak oluşmadığı ve dikiş yapısının düzgün bir krater yapısına sahip olduğu tespit edilmiştir.



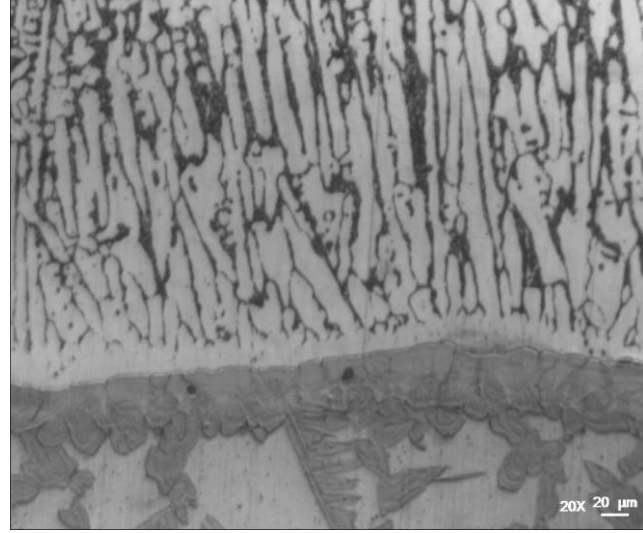
Şekil 8.1. S1-S5 Numunelerine ait makroyüzey görüntüsü.

### 8.2. Deney Numunelerinin Optik Mikroskop ve SEM Analizleri

Kaplamalarda referans numune olarak kabul edilen Stellite-6 süper alaşımı 140 A akım şiddeti kullanılarak AISI 304 alt malzemeye GTA kaynak yöntemi kullanılarak alaşımlandırıldı. Bu alaşım malzemesinin arayüzeyinden alınan optik yüzey fotoğrafı Şekil 8.2.’ de verilmiştir. S1 numunesine ait optik yüzey fotoğrafı incelendiğinde; alaşımın dendritik yapıya benzeyen uzun hat şeklinde ve yer yer bölgesel olan açık renkli ikinci faz bölgelerine sahip olduğu görülmüştür. Dendritlerin tarak şeklinde olduğu ve açık renkli bölgeler boyunca çok sık bir şekilde dizildiği ve ikincil dendrit kolları arasındaki mesafenin çok az olduğu görülmüştür. Tüm Stellite alaşımları mikroyapılarında, nispeten

yumuşak kobaltça zengin matris katı eriyiği içinde sert karbür veya borür partikülleri içerirler. Kobalt alaşımlarının mikroyapısında bulunan karbür türleri alaşımın bileşimine bağlıdır. Ancak; stellite alaşımlarında genellikle  $MC_3$  ve  $MC$  tipi karbürlere rastlanmaktadır. Örneğin; Stellite 6'da ise %27  $M_7C_3$  ve %1.5  $MC$  oranlarında karbürler mevcuttur. Burada  $MgC$  karbürleri olarak  $WC$ ,  $M_7C_3$  karbürleri olarak da  $Cr$  olmasına rağmen diğer alaşım elementleri de karbür içinde yer almaktadır [81].

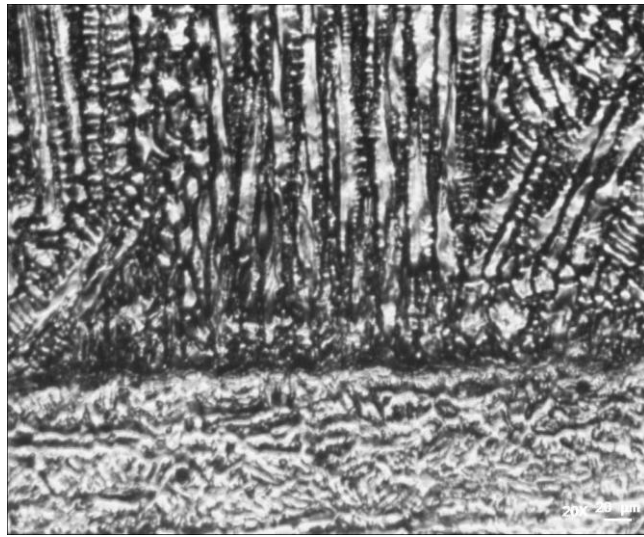
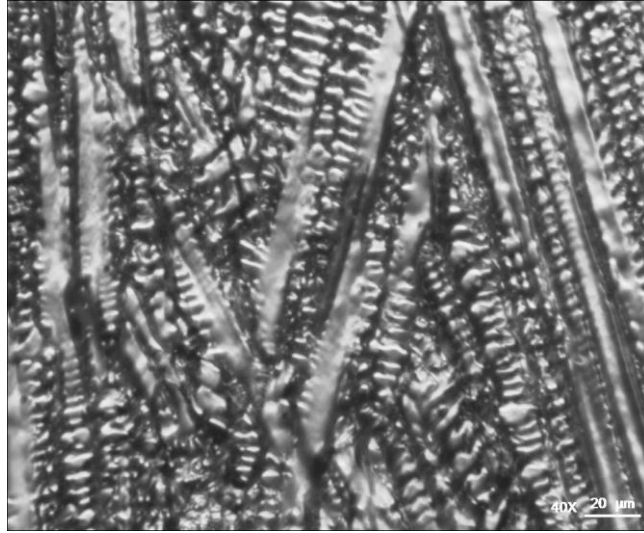
Genel olarak kaplama malzemelerinin mikro yapısı dendiritik bir yapı olup, dentrit kolları arasındaki matris fazı kobalt ve karbürlerden oluşmaktadır. Kobalt, normal şartlarda hegzagonal sıkı paket kafes sistemine sahiptir.  $417\text{ }^{\circ}C$ 'den sonra yüzey merkezli kübik kristal kafes sistemine dönüşürler. Dentrit kolları arasında ise mikroyapı fotoğrafı yaklaşık olarak benzer bir görünüm sergilemiştir. Kaplama bölgesi yine dendiritik bir yapıda olup ana malzemenin yapısı ferrit+ perlit görünümündedir. Dentrit kolları arasında ise çökelmiş karbür tipinin  $Cr_7C_3$  olup, bu durum X ışınları analizleriyle de belirlenmiştir.



Şekil 8.2.S1 numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey optik fotoğrafı.

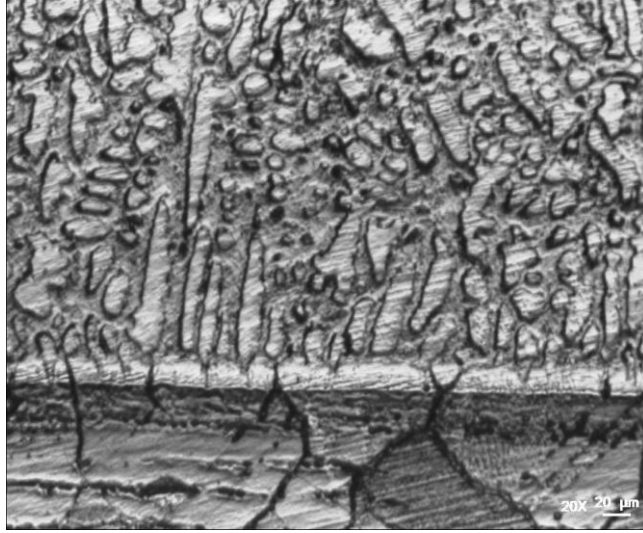
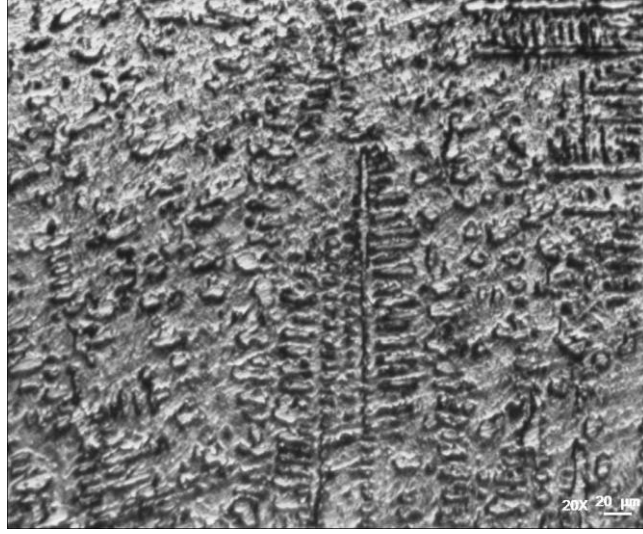
Kaplama referans numunesi olarak kabul edilen Stellite-6 süper alaşımına % 20 oranında Ti ilave edilerek elde edilen S2 alaşım malzemesi, 140 A akım şiddeti kullanılarak AISI 304 alt malzemeye GTA yöntemi kullanılarak alaşımlandırıldı. Bu alaşım malzemesinin arayüzeyinden alınan optik yüzey fotoğrafı Şekil 8.3' de verilmiştir. S2 numunesine ait optik yüzey fotoğrafı incelendiğinde; alaşım dendritik yapıya benzeyen uzun hat şeklinde ve yer yer bölgesel olan açık renkli ikinci faz bölgelerine sahiptir. İkinci faz bölgesi olarak adlandırdığımız bu açık renkli kısımlar numune boyunca dizilmiştir. FeTi ilavesi bu bölgelerin daha ince yapıları bir hal almasına sebep olmuştur. Yapıda tanelerin eksenli olarak yönlendiği ve net olarak izlendiği ve uzunluklarının aynı boyutlarda olduğu görülmektedir. Titanyumca zengin ana bölgeye dikey yönde gelişmiş tanelerin bulunduğu geniş bir geçiş bölgesinin varlığı da dikkat çekmektedir. Ferrotitanyum elementinin demir ve nikel karşı gösterdiği yüksek afinite ve bileşik

oluşturma eğilimi nedeniyle; hem ana metale doğru, hem de kaplama tabakası içerisinde ferrotitanyum ve nikel-titanyum bileşikleri oluşturarak ferrotitanyum, bu elementlere bağlanmış ve sınır tabakası yönüne doğru hızla yayılım göstermiştir. Ayrıca, dendrit kollarının iç içe girmiş simetrik bir görünüm arz ettiği, kaplama esasındaki üretim hızıyla kaynak akımının uygunluğu nedeniyle, yetersiz bir ısınma yaşanmadığından herhangi bir topaklaşma meydana gelmediği ve yapı bozunmadan oluşabilmektedir. Kobalta ilave edilen alaşım elementleri hem sahip oldukları saf kobalt içindeki çözünürlükleri, hem de atom yarıçapları arasındaki farka bağlı olarak, belirli oranlarda matris içinde eriyerek katı eriyik sertleşmesine katkıda bulunurlar. Ancak, alaşım elementlerinin çözünürlüklerinin saf kobaltda ve Stellite alaşımında bir miktar farklı olduğu bilinmektedir [82].



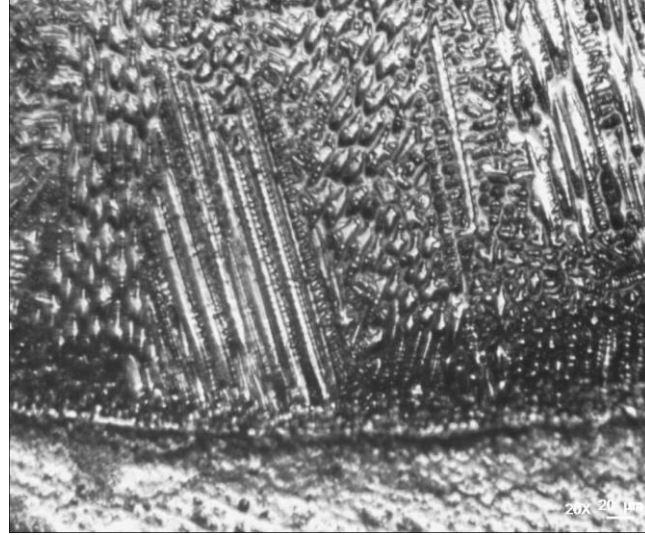
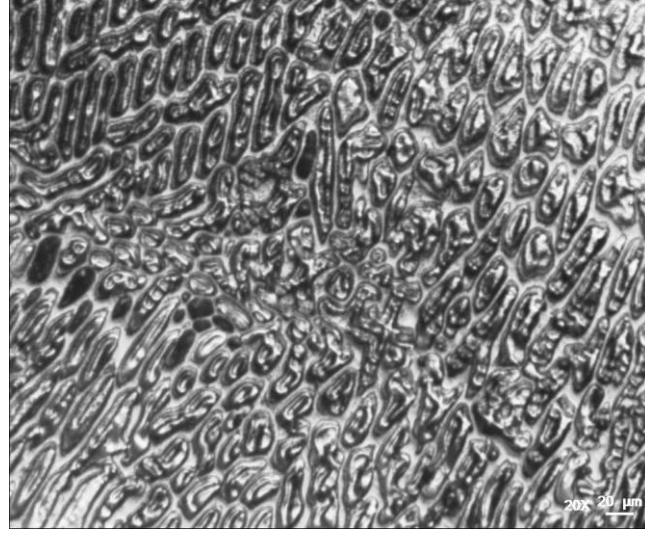
Şekil 8.3.S2 numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey optik fotoğrafı.

Kaplama referans numunesi olarak kabul edilen Stellite-6 süper alaşımına % 20 oranında B ilave edilerek elde edilen S3 alaşım malzemesi, 140 A akım şiddeti kullanılarak AISI 304 alt malzemeye GTA yöntemi kullanılarak alaşımlandırıldı. Bu alaşım malzemesinin arayüzeyinden alınan optik yüzey fotoğrafı Şekil 8.4' de verilmiştir. S3 numunesine ait optik yüzey fotoğrafı incelendiğinde, Stellite-6 + FeB, kaplamadaki ara tabaka kalınlığının oldukça ince taneli olduğu ferrobor süper alaşım alaşım malzemesinin kaplanan paslanmaz çelik alaşımındaki östenit tanelerinin tane sınırlarından alaşıma girdiği ve kaplama içerisinde ince taneli küçük adacıklardan oluşan bir yapının meydana geldiği görülmektedir. Kaplamanın üst kısımlarına doğru ise borlanmış yüzeylerde ortaya çıkan karakteristik testere dişi görünümlü borlama yapısı oluşmuştur. Ayrıca, kaplana metal içerisine yayına bor ve karbon elementleri, demir ve kromla birleşerek demir borür ve metal karbür bileşikleri oluşturdukları kaydedilmiştir.



**Şekil 8.4.**S3 numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey optik fotoğrafı.

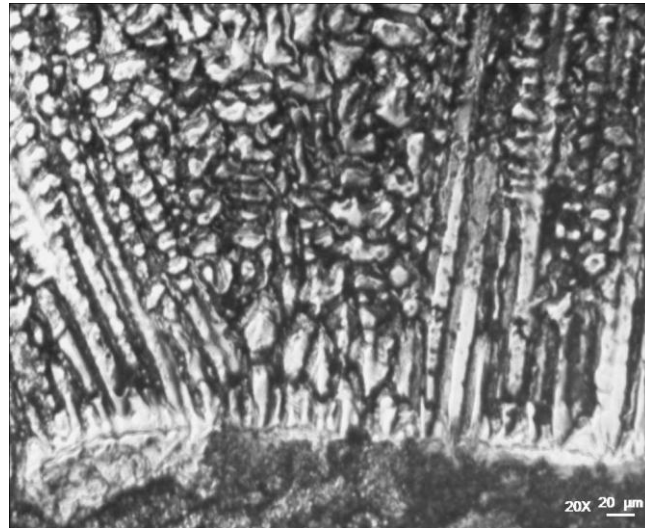
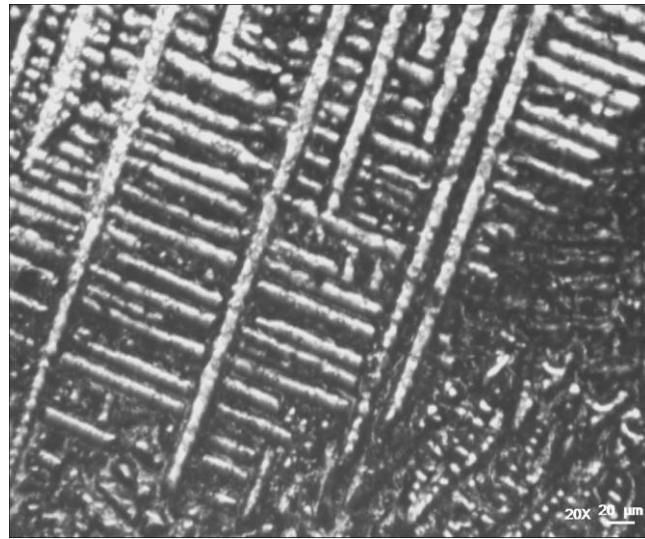
Referans numune olarak kabul edilen Stellite-6 süper alaşımına % 20 oranında W ilave edilerek elde edilen S4 alaşım malzemesi, 140 A akım şiddeti kullanılarak AISI 304 alt malzemeye GTA yöntemi kullanılarak alaşımlandırıldı. Bu alaşım malzemesinin arayüzeyinden alınan optik yüzey fotoğrafı Şekil 8.5’ de verilmiştir. S4 numunesine ait optik yüzey fotoğrafı incelendiğinde; daha çok bir hat boyunca çizgi şeklinde uzanan açık renkli yapı W ilavesiyle, bu çizgisel şeklini kaybederek küçük taneler halinde yapıya dağılmıştır. Ancak, açık renkli bölgeler yine yer yer dendritik bir yapı sergilemektedir. %10 Bor ilave edilerek yeni alaşımın yapısında tarak şeklinde dendritik bir yapının oluşmadığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 8.5.S4 numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey optik fotoğrafı.

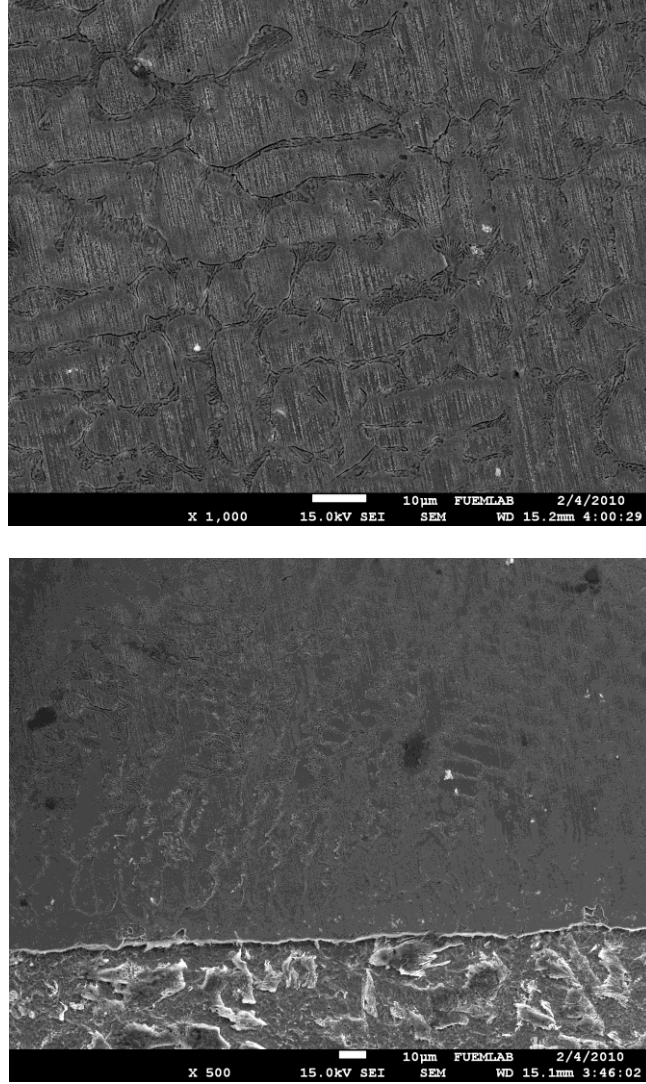
Referans numune olarak kabul edilen Stellite-6 süper alaşımına % 20 oranında Mo ilave edilerek elde edilen S5 alaşım malzemesi, 140 A akım şiddeti kullanılarak AISI 304 alt malzemeye GTA yöntemi kullanılarak alaşımlandırıldı. Bu alaşım malzemesinin arayüzeyinden alınan optik yüzey fotoğrafı Şekil 8.6.' de verilmiştir. S5 numunesine ait optik yüzey fotoğrafı incelendiğinde; kısmen kaplama katından kaplanan malzemeye krom ve karbon geçişi olurken, kısımda kaplanan malzemedan kaplama katına demir ve nikel elementlerinin geçişi söz konusu olmuştur. İlave metalin miktarının az oluşu nedeniyle, birim ağırlığa isabet eden enerji miktarı artmış, kaplama katında ergime ve çözünme daha üst düzeyde gerçekleşmiştir. Dendritlerin birincil kolları oluşumlarını tam olarak sağlarken, kaplama ana metalin soğuk olması, dendritlerin ikincil kollarının belirgin bir şekilde oluşumlarını engellemiş ve hızlı soğuma sonucunda tabakalar arasında metal

atomları geçişi sınırlı kalmıştır. Bu kaplamada ara tabaka belirgin bir şekilde seçilebilmektedir. Diğer yandan da ara geçiş bölgesi sınırları da belirginliğini kaybetmiş, dendrit kolları çoğalmış ve kalınlaşmıştır. Kobalt esaslı alaşımların mikroyapılarında matris içine okelmiş karbürlerin yanı sıra, intermetalik bileşikler de bulunabilir. Bu intermetalik bileşiklerin kararlılığı alaşımın bileşimine bağlıdır, rneğin; % 20 Cr'lu Co-Cr-Ni sisteminde 1200°C'nin üstünde intermetalik sigma fazı kararlı olmasına rağmen, % 30 Cr'lu Co-Cr-Mo sisteminde bu faz ancak yüksek Mo içerikleri için düşük sıcaklıklarda kararlı olmaktadır. Bu da Mo'nin Ni'e kıyasla sigma fazını daha düşük sıcaklıklarda kararlı hale getirdiğini göstermektedir [83].

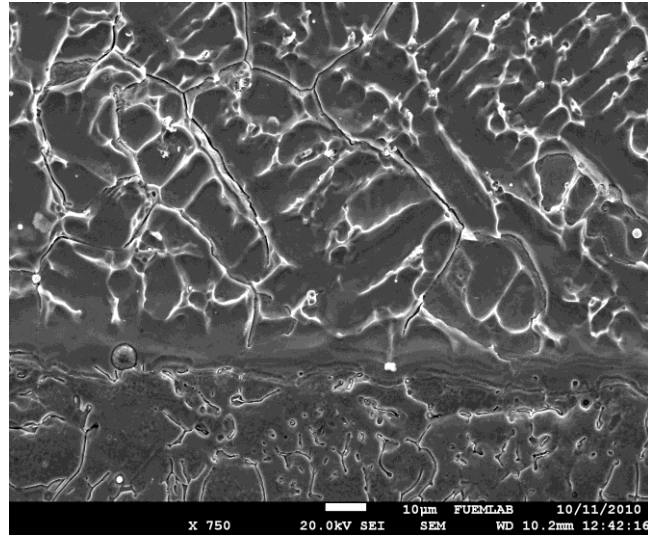
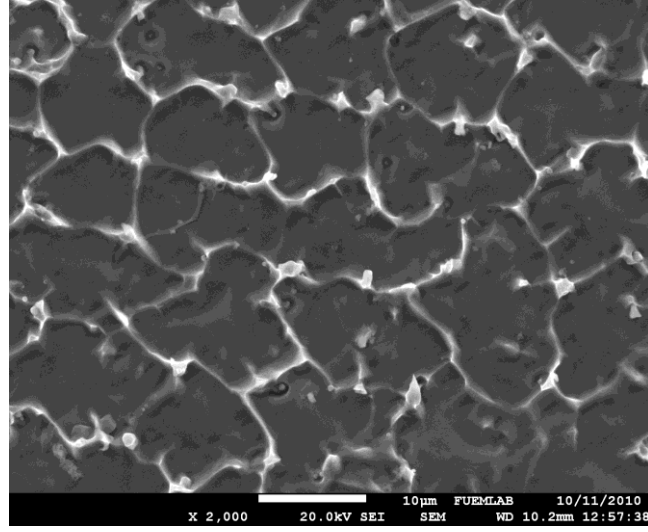


şekil 8.6.S5 numunesinin a) Yzey b) Arayüzey optik fotoğrafı.

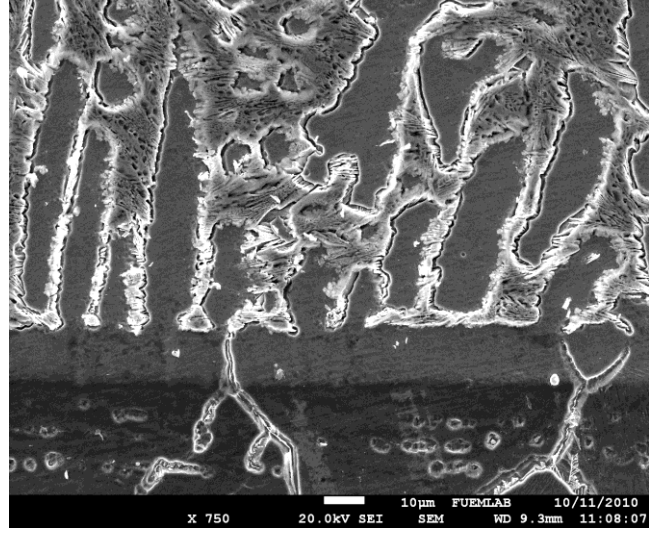
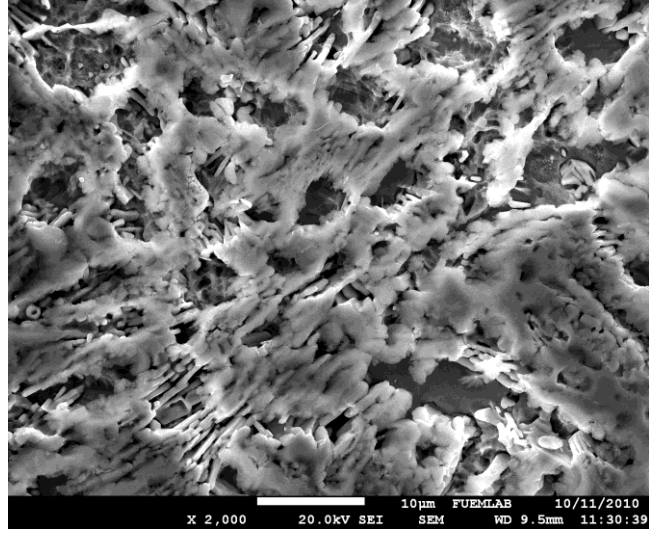
Stellite-6 süper alaşımına; FeTi, FeB, FeW ve FeMo ilave edilerek elde edilen deney numunelerinin yüzey ve arayüzey SEM görüntüleri Şekil 8.7' da sırasıyla verilmiştir.



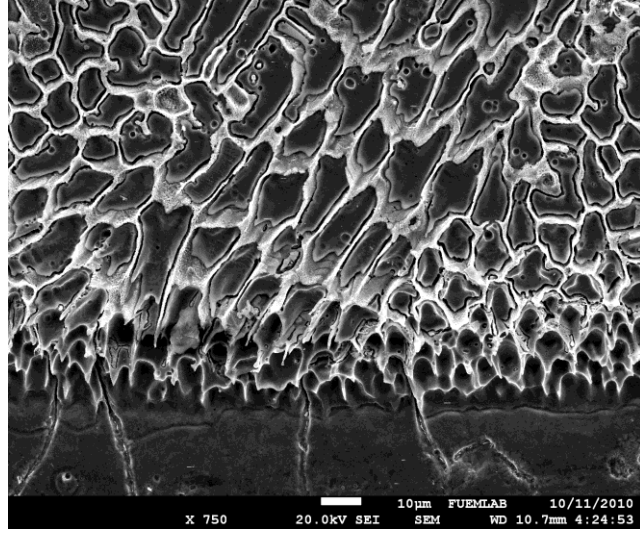
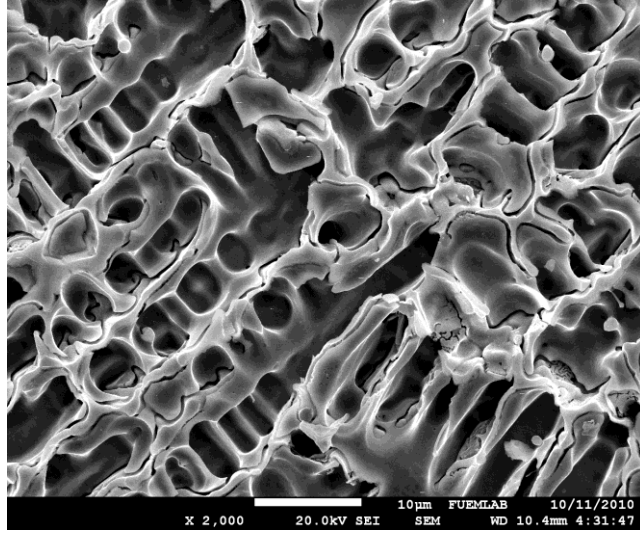
Şekil 8.7.S1 Numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey SEM fotoğrafı.



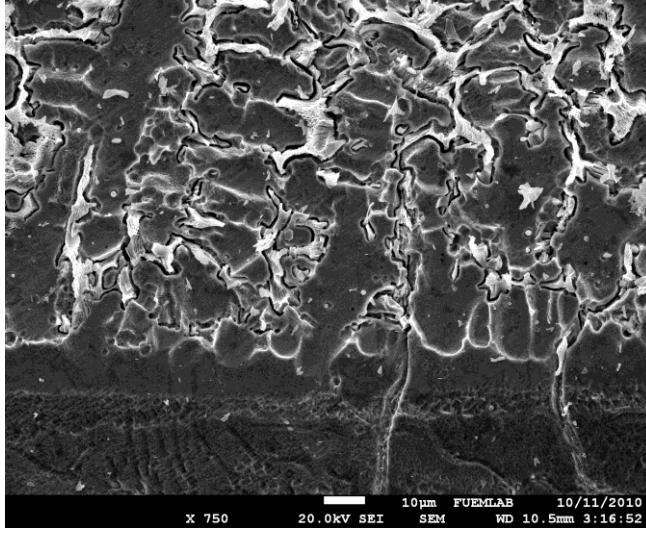
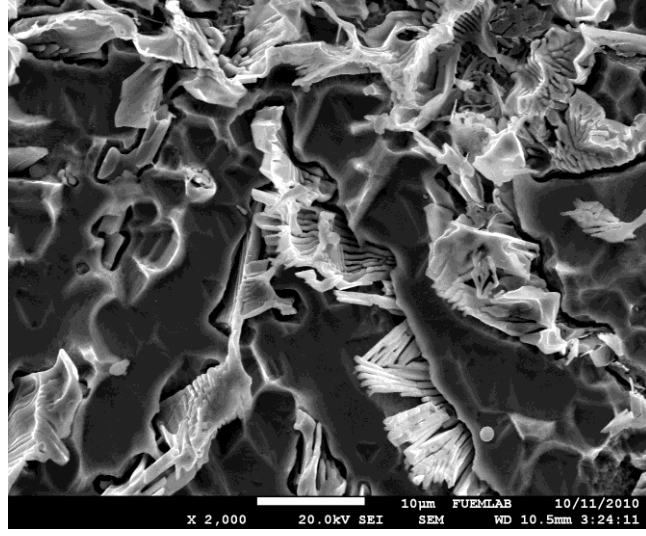
Şekil 8.8.S2 Numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey SEM fotoğrafı.



Şekil 8.9.S3 Numunesinin a) Yüzey b) Arayüzey SEM fotoğrafı.



Şekil 8.10. S4 Numunesinin a)Yüzey b) Arayüzey SEM fotoğrafı.

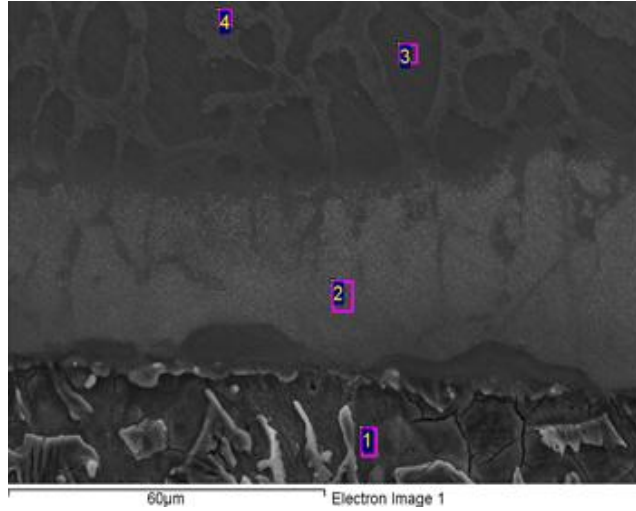


Şekil8.11. S5 Numunesinin a)Yüzey b) Arayüzey SEM fotoğrafı.

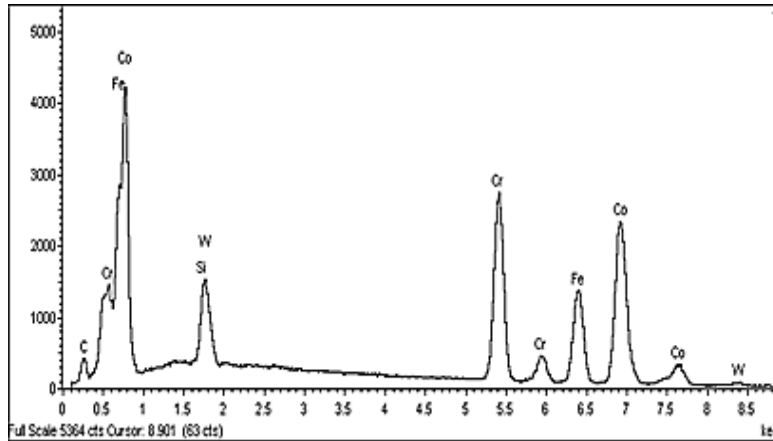
### 8.3. Deney Numunelerinin EDS Sonuçları

S1 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 8.12’ de verilmiştir. EDS analizleri kaplama üzerindeki dört farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. S1 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 8.13-8.16’ da ve sonuçları Tablo 8.1-8.4’ verilmiştir. Bu alışıma ait EDS analiz sonuçları incelendiğinde; 1. bölgede %4.07 C, %1.49 Si, %23.68 Cr, %20.21 Fe, %44.90 Co, 5.65 W, 2.bölgede, %3.23 C, %1.11 Si, %18.06 Cr, %30.04 Fe, %39.78 Co, %3.01 W, 3. bölgede, %4.41 C, %1.45 Si, %22.78 Cr, %19.96 Fe, %47.10 Co, %4.30 W, 4. bölgede, %5.76 C, %1.45 Si, %26.06 Cr, %17.52 Fe, %43.63 Co, %5.58 W elementleri saptanmıştır. EDS analiz sonuçları değerlendirildiğinde kaplama malzemesinden, kaplanan altlık malzeme AISI 304 tarafına Co, Cr ve W, altlık malzemedenden de kaplama

malzemesine doğru Fe, Cr, C elementlerinin difüzyon yoluyla geçtiğini söyleyebiliriz. Ayrıca, 3 ve 4. bölgeler ise kaplama malzemesinin elementleri olan Co, W, Si, C, Fe ve Cr' den oluşmuştur.



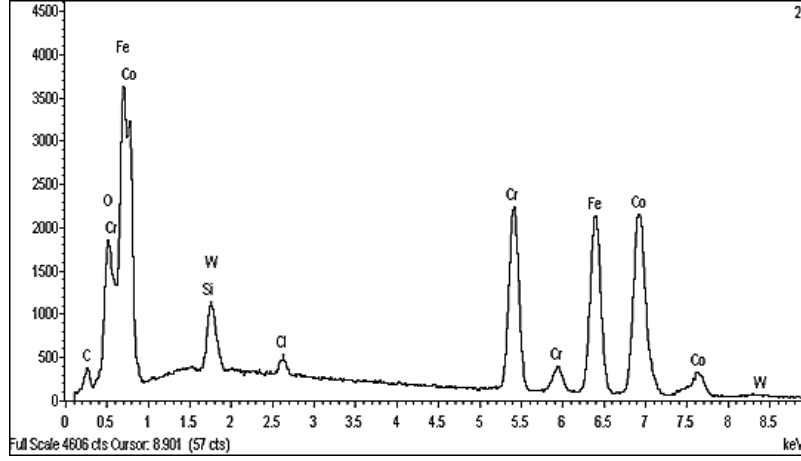
Şekil8.12.S1 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 8.13. S1 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo8.1. S1 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

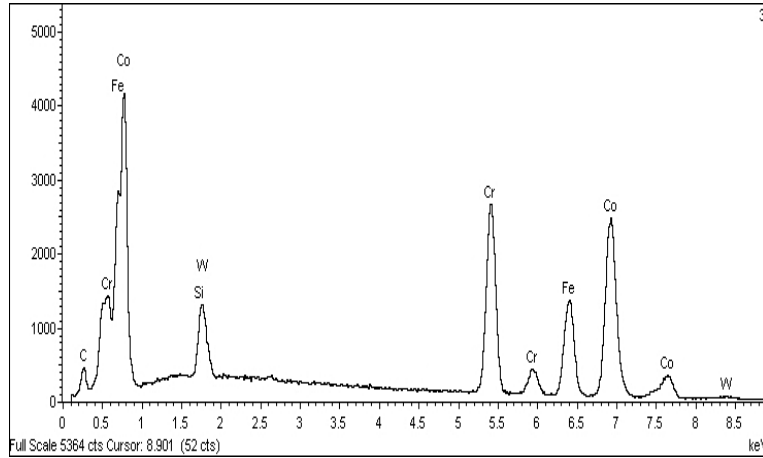
Element	App	Intensity	Weight %	Weight %	Atomic %
C	4.02	0.56	4.07	0.17	16.93
Si	2.28	0.88	1.49	0.06	2.64
Cr	44.36	1.07	23.68	0.16	22.75
Fe	34.39	0.97	20.21	0.17	18.08
Co	75.30	0.96	44.90	0.23	38.06
W	6.27	0.63	5.65	0.17	1.54
Totals			100.00		



Şekil8.14.S1 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

**Tablo 8.2.** S1 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

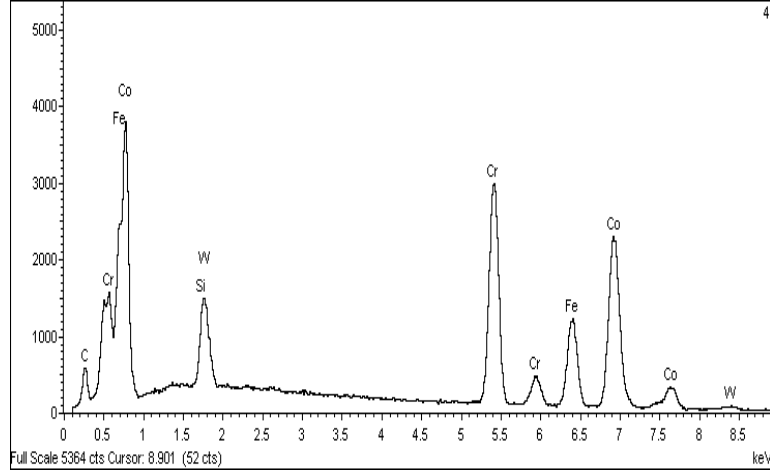
Element	App	Intensity	Weight %	Weight %	Atomic %
C	3.32	0.55	3.23	0.18	12.44
Si	1.78	0.86	1.11	0.05	1.83
Cr	36.14	1.08	18.06	0.14	16.07
Fe	53.73	0.96	30.04	0.20	24.89
Co	69.99	0.95	39.78	0.23	31.24
W	3.49	0.62	3.01	0.15	0.76
Totals			100.00		



Şekil 8.15. S1 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

**Tablo8.3.**S1 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

Element	App	Intensity	Weight %	Weight %	Atomic %
C	4.37	0.56	4.41	0.17	18.02
Si	2.22	0.87	1.45	0.05	2.53
Cr	43.16	1.07	22.78	0.15	21.51
Fe	34.20	0.97	19.96	0.17	17.55
Co	79.50	0.96	47.10	0.23	39.24
W	4.78	0.63	4.30	0.16	1.15
Totals			100.00		

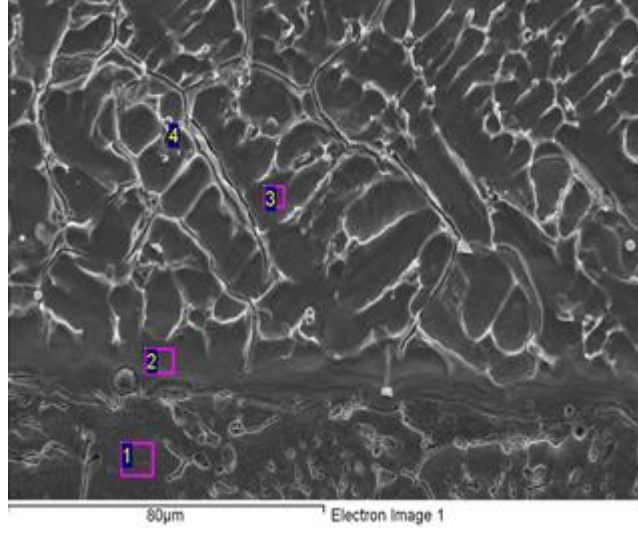


Şekil 8.16.S1 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

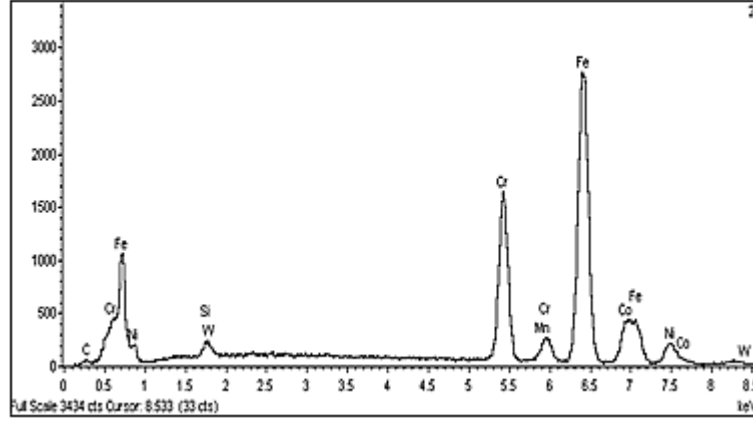
Tablo8.4. S1 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

Element	App	Intensity	Weight %	Weight %	Atomic %
C	5.92	0.57	5.76	0.18	22.65
Si	2.28	0.88	1.45	0.05	2.44
Cr	49.23	1.06	26.06	0.16	23.68
Fe	30.17	0.97	17.52	0.16	14.82
Co	74.07	0.95	43.63	0.23	34.98
W	6.35	0.64	5.58	0.16	1.43
Totals			100.00		

S2 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 8.17' de verilmiştir. EDS analizleri kaplama üzerindeki dört farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. S2 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 8.18-8.21' de ve sonuçları Tablo 8.5-8.8' verilmiştir. Bu alaşıma ait EDS analiz sonuçları incelendiğinde; 1. bölgede %2.73 C, %0.45 Si, %18.87 Cr, % 1.55 Mn, %68.55 Fe ve %7.85 Ni, 2. bölgede; %2.37 C, %0.74 Si, %20.30 Cr, %0.52 Mn, %59.2 Fe, %9.41 Co, %6.66 Ni ve %0.97 W, 3. bölgede;%1.97 C, %0.67 Si, %0.19 Ti, %23.06 Cr, %1.50 Mn, %55.93 Fe, %9.64 Co, %6.33 Ni ve % 0.71 W, 4. bölgede; %2.55 C, %0.48 Si, %1.4 Ti, %24.19 Cr, 51.41 Mn, %55.91 Fe, %8.94 Co, %6 Ni ve % 0.48 W tespit edilmiştir. Bu değerlere göre Co esaslı yapı içerisinde Cr ve W karbürlerinden oluşmuş bir yapının meydana geldiği görülmüştür. Yapılan EDS analizleri ve daha önceki çalışmalar ışığında Co matrisli yapıda bu noktaların karbür olduğu düşünülmektedir. Ancak, 1 ve 2 no' lu bölgelerin EDS analizlerine göre FeTi elementinin altlık malzemeye difüze olamadığını, kaplama malzemesi içerisinde kaldığını görmekteyiz. Altlık malzemeden kaplama alaşımına sıcaklığın kaynak enerjisinin girdisine bağlı olarak Cr, C, Ni, Mn elementlerinin difüze olduğunu görmekteyiz.



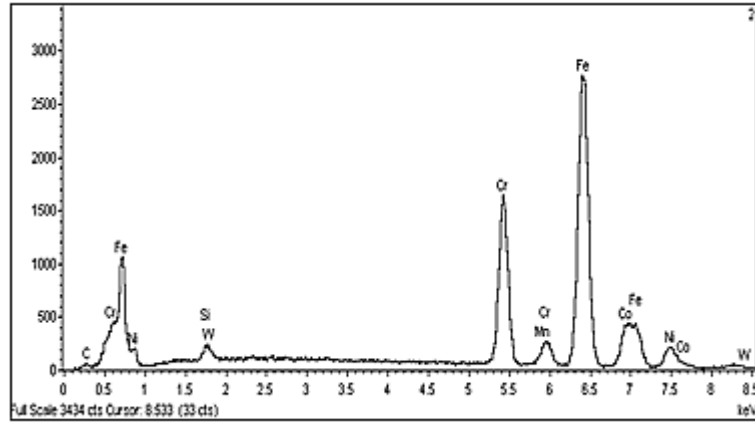
Şekil8.17.S2 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil8.18.S2 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo8.5. S2 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

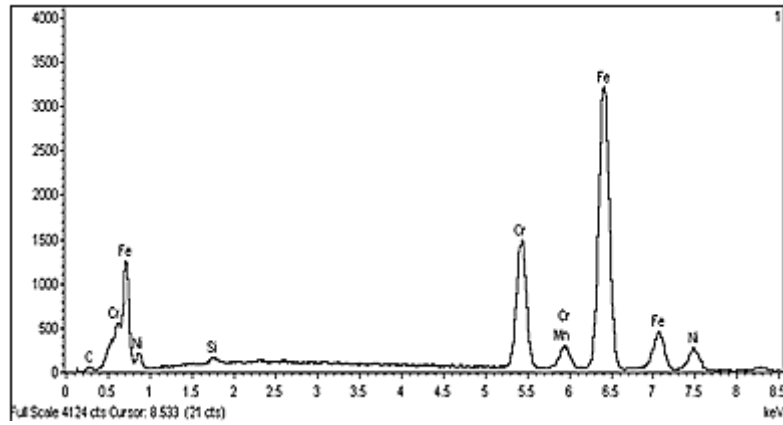
Element	App	Intensity	Weight%	Weight %	Atomic%
C	1.23	0.43	2.73	0.42	11.41
Si	0.30	0.64	0.45	0.08	0.81
Cr	22.01	1.12	18.87	0.23	18.18
Mn	1.57	0.97	1.55	0.16	1.41
Fe	68.60	0.96	68.55	0.43	61.49
Ni	7.26	0.89	7.85	0.25	6.70
Totals			100.00		



Şekil8.19.S2 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo8.6. S2 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

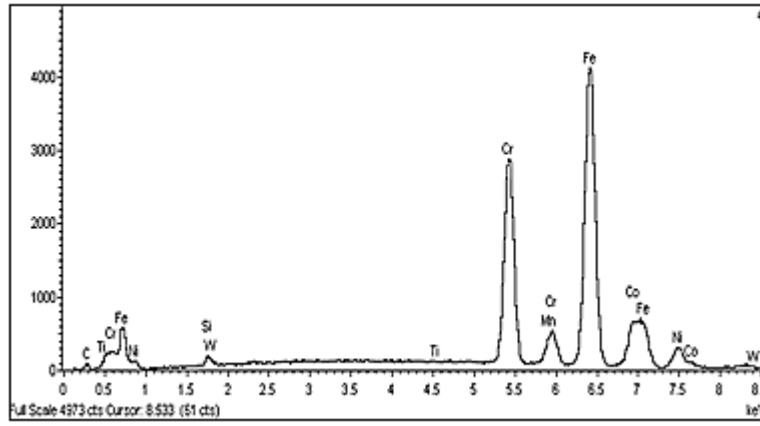
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic %
C	1.05	0.43	2.37	0.42	10.08
Si	0.50	0.64	0.74	0.09	1.34
Cr	23.35	1.11	20.30	0.25	19.93
Mn	0.54	0.99	0.52	0.16	0.48
Fe	58.71	0.96	59.02	0.46	53.95
Co	9.19	0.94	9.41	0.28	8.15
Ni	6.23	0.90	6.66	0.24	5.79
W	0.56	0.56	0.97	0.28	0.27
Totals			100.00		



Şekil 8.20. S2 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

**Tablo8.7.** S2 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	1.02	0.43	1.97	0.32	8.46
Si	0.52	0.65	0.67	0.07	1.24
Ti	0.24	1.06	1.19	0.07	0.20
Cr	30.41	1.10	23.06	0.24	22.86
Mn	1.78	0.99	1.50	0.16	1.40
Fe	64.05	0.95	55.93	0.39	51.64
Co	10.83	0.94	9.64	0.26	8.43
Ni	6.85	0.90	6.33	0.22	5.56
W	0.48	0.56	0.71	0.22	0.20
Totals			100.00		



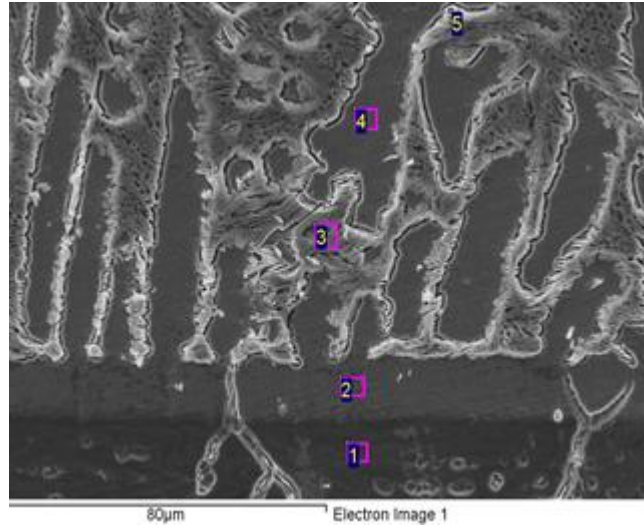
**Şekil 8.21.** S2 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

**Tablo 8.8.** S2 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

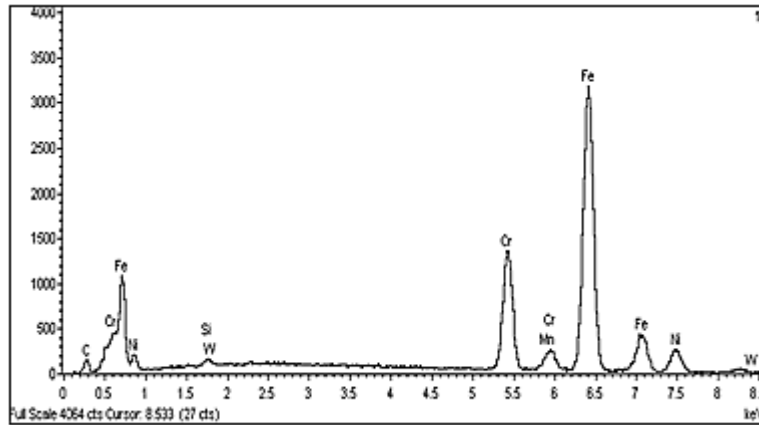
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	1.80	0.43	2.55	0.27	10.73
Si	0.51	0.65	0.48	0.05	0.87
Ti	0.07	1.06	1.04	0.06	0.04
Cr	43.09	1.10	24.19	0.21	23.51
Mn	2.27	0.99	1.41	0.14	1.30
Fe	86.33	0.95	55.91	0.33	50.60
Co	13.56	0.93	8.94	0.22	7.67
Ni	8.76	0.90	6.00	0.19	5.16
W	0.44	0.56	0.48	0.16	0.13
Totals			100.00		

S3 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 8.22' de verilmiştir. EDS analizleri kaplama üzerindeki dört farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. S3 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 8.23-8.26' de ve sonuçları Tablo 8.9-8.12' verilmiştir. Bu alışıma ait EDS analiz sonuçları incelendiğinde; 1. bölgede %7.49 C, %0.49 Si, %16.83 Cr, %1.35 Mn,

%65.56 Fe, %8.11 Ni, %0.16 W, 2. Bölgede, %3.54 C, %1.21 Si, %18.28 Cr, %0.96 Mn, %47.99 Fe, %6.16 Ni, %20.60 Co, 3. Bölgede, %1.24 B, %6.14 C, % 0.05 Si, %46.91 Cr, %1.02 Mn, %26.89 Fe, % 11.15 Co, %1.48 Ni, %6.23 W, 4. bölgede, %2.13 C, %1.08 Si, %18.62 Cr, %0.66 Mn, %45.48 Fe, %23.76 Co, %6.20 Ni, %2.07 W elementleri tespit edilmiştir. EDS analizleri değerlendirildiğinde sıcaklığın etkisiyle altlık malzemeye difüze olan Co Cr, C, W oranlarında artış görülmüştür. Aynı şekilde altlık malzemeden kaplama malzemesine Fe, Mn , Cr difüze olarak CrC, CoC, FeB ve WC karbürlerinin oluştuğu düşünülebilir. FeB' un geçiş bölgesine yakın bölgelere geçtiğini görmekteyiz.



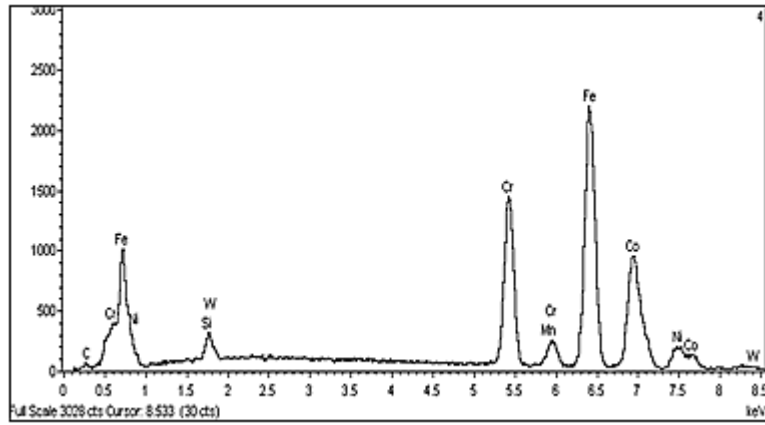
Şekil8.22.S3 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 8.23. S3 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

**Tablo8.9.** S3 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

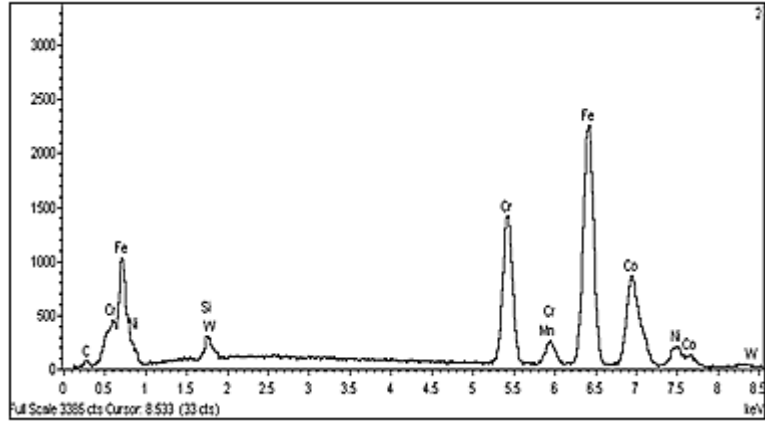
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	3.58	0.44	7.49	0.51	27.10
Si	0.34	0.64	0.49	0.08	0.76
Cr	20.21	1.10	16.83	0.23	14.06
Mn	1.41	0.96	1.35	0.16	1.07
Fe	67.75	0.95	65.56	0.50	50.98
Ni	7.74	0.88	8.11	0.25	6.00
W	0.10	0.56	0.16	0.25	0.04
Totals			100.00		



**Şekil 8.24.** S3 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

**Tablo8.10.** S3 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

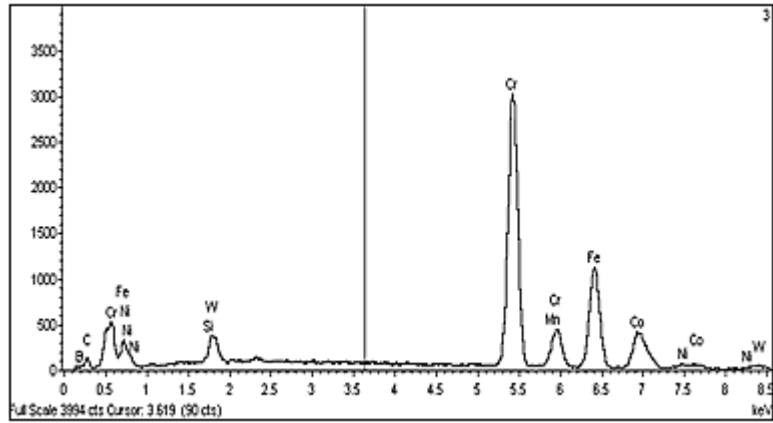
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	1.55	0.41	3.54	0.48	14.54
Si	0.81	0.63	1.21	0.10	2.13
Cr	21.27	1.10	18.28	0.25	17.34
Mn	1.02	1.02	0.96	0.15	0.86
Fe	48.59	0.96	47.99	0.45	42.38
Co	20.44	0.94	20.60	0.34	17.24
Ni	5.93	0.91	6.16	0.25	5.17
W	0.74	0.55	1.26	0.31	0.34
Totals			100.00		



Şekil8.25.S3 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 8.11.S3 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
B	0.04	0.15	1.24	4.02	1.00
C	2.88	0.48	6.14	0.63	23.44
Si	0.03	0.70	0.05	0.11	0.08
Cr	46.50	1.02	46.91	1.95	41.35
Mn	0.97	0.98	1.02	0.21	0.85
Fe	23.54	0.90	26.89	1.14	22.06
Co	9.73	0.90	11.15	0.54	8.67
Ni	1.30	0.91	1.48	0.20	1.15
W	3.69	0.61	6.23	0.41	1.55
Totals			100.00		

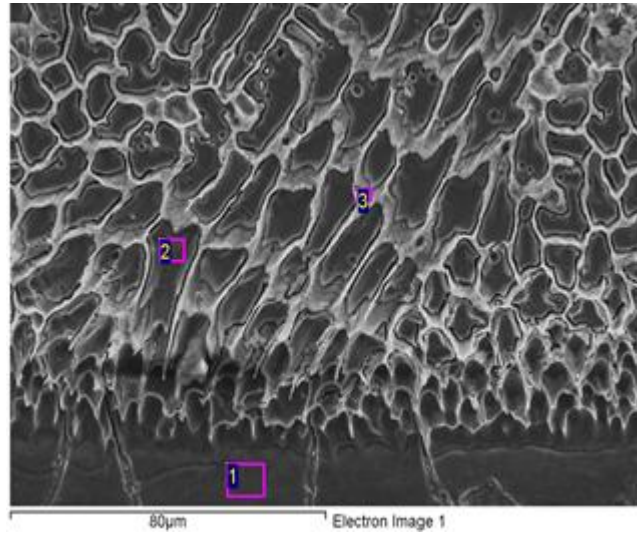


Şekil 8.26. S3 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

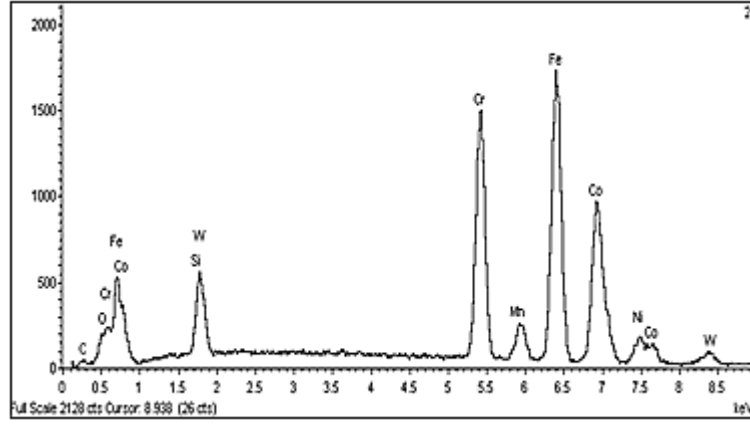
**Tablo8.12.**S3 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları

Element	App	Intensity	Weight%	Weigh %	Atomic %
C	0.93	0.41	2.13	0.45	9.24
Si	0.72	0.63	1.08	0.10	2.00
Cr	21.65	1.11	18.62	0.25	18.64
Mn	0.72	1.03	0.66	0.15	0.63
Fe	46.18	0.96	45.48	0.42	42.40
Co	23.66	0.95	23.76	0.35	20.99
Ni	6.03	0.92	6.20	0.25	5.50
W	1.21	0.55	2.07	0.31	0.59
Totals			100.00		

S4 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 8.27' de verilmiştir. EDS analizleri kaplama üzerindeki üç farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. S4 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 8.28-8.30' da ve sonuçları Tablo 8.13-8.15' verilmiştir. Bu alışıma ait EDS analiz sonuçları incelendiğinde; 1. bölgede, %0.92 Si, %19.06 Cr, %1.26 Mn, %65.61 Fe, %5.57 Co, %7.59 Ni, 2. bölgede, %2.02 C, %0.80 Si, %20.46 Cr, %0.96 Mn, %37.65 Fe, %24.24 Co, %4.82 Ni, %8.23 W, 3. bölgede, %5 C, %30.08 Cr, %20.08 Fe, %14.46 Co, %2.51 Ni, %27.67 W elementleri saptanmıştır. EDS analizleri değerlendirildiğinde ana malzemeye Co, W, Cr' nin geçtiği ve kaplama malzemesi içerisinde ise Fe ve W' nin miktarında artış görülmüştür.



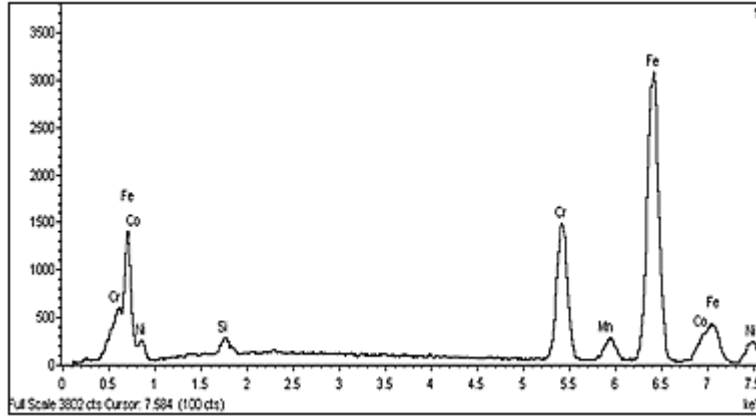
**Şekil8.27.**S4 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 8.28. S4 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo8.13.S4 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

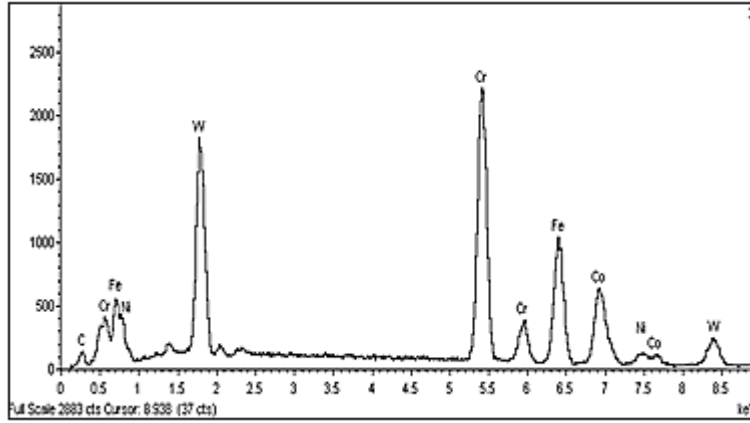
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
Si	0.59	0.62	0.92	0.10	1.80
Cr	21.95	1.12	19.06	0.23	20.13
Mn	1.28	0.99	1.26	0.16	1.26
Fe	64.93	0.97	65.61	0.36	64.52
Co	5.39	0.95	5.57	0.26	5.19
Ni	6.96	0.89	7.59	0.25	7.10
Totals			100.00		



Şekil8.29.S4 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo8.14. S4 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	0.84	0.42	2.02	0.41	8.99
Si	0.52	0.66	0.80	0.13	1.53
Cr	21.63	1.08	20.46	0.27	21.04
Mn	0.97	1.02	0.96	0.16	0.94
Fe	35.63	0.97	37.65	0.41	36.04
Co	22.58	0.95	24.24	0.36	21.99
Ni	4.44	0.94	4.82	0.24	4.39
W	4.68	0.58	8.23	0.37	2.39
Totals			100.00		

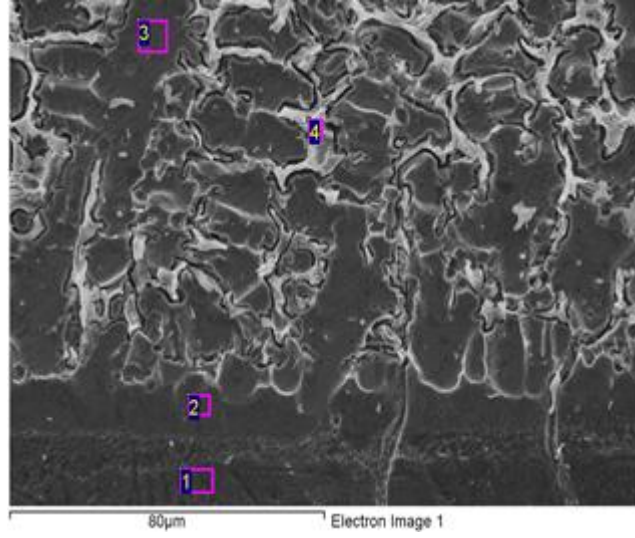


**Şekil 8.30.** S4 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

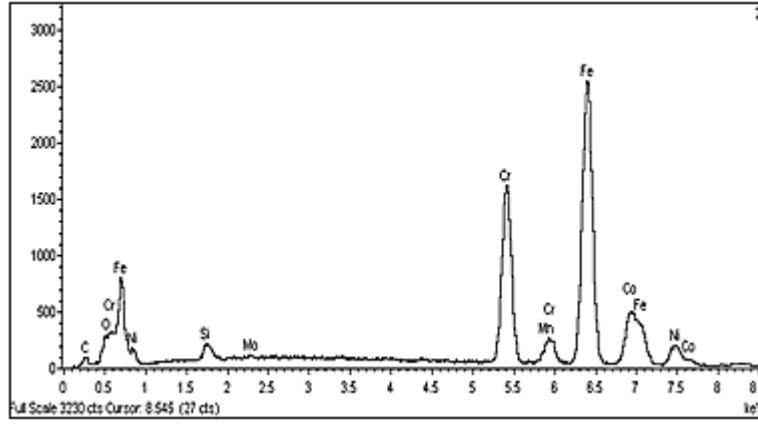
**Tablo8.15.** S4 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	2.55	0.48	5.00	0.49	23.16
Cr	32.83	1.02	30.08	0.33	32.21
Fe	20.77	0.96	20.28	0.29	20.22
Co	14.76	0.96	14.46	0.29	13.65
Ni	2.62	0.98	2.51	0.20	2.38
W	19.85	0.67	27.67	0.42	8.38
Totals			100.00		

S5 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 8.31' de verilmiştir. EDS analizleri kaplama üzerindeki dört farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. S5 numunesine ait EDS analiz grafiği Şekil 8.32-8.35' de ve sonuçları Tablo 8.16-8.19' verilmiştir. Bu alışıma ait EDS analiz sonuçları incelendiğinde; 1. Bölgede, %8.45 C, %0.71 Si, %17.04 Cr, %1.20 Mn, %64.04 Fe, %6.76 Ni, 2. Bölgede, %4.87 C, %0.82 Si, %20.91 Cr, %52.89 Fe, %11.47 Co, %6.09 Ni, %1.44 Mo, 3. Bölgede, %3.89 C, %0.80 Si, %21.54 Cr, %0.96 Mn, %51.22 Fe, %12.99 Co, %6.40 Ni, %1.28 Mo, %1.93 W, 4. Bölgede, %12.07 C, %0.32 Si, %45.52 Cr, %30.35 Fe, %6.35 Co, %2.74 Ni, %1.42 Mo, %2.23 W elementleri saptanmıştır. EDS analizleri değerlendirildiğinde kaplama malzemesinden altlık malzemeye Co, C, Mo, W, Cr' nin difüze olduğu ve buna bağlı olarak da CoC, WC, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> ve MoC' nin oluştuğu söylenebilir. 1 no' lu bölge ana kaplama alaşımının içeriği olup Co, Cr, C, Ni, W' den oluşmuştur. Ayrıca kaplama malzemesine Fe, Mo, Cr ve C' nin difüze olduğu tespit edilmiştir.



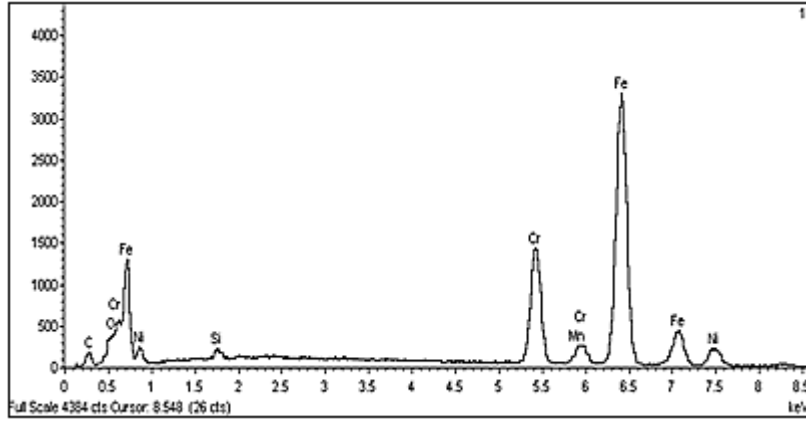
Şekil 8.31. S5 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 8.32. S5 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 8.16. S5 numunesine ait 1 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

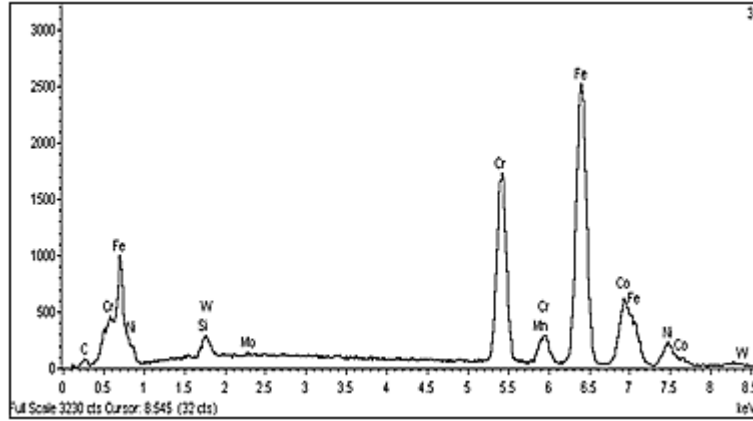
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	4.27	0.44	8.45	0.52	28.69
Si	0.52	0.65	0.71	0.08	1.03
Cr	21.15	1.10	17.04	0.23	13.36
Mn	1.29	0.95	1.20	0.15	0.89
Fe	68.35	0.94	64.04	0.51	46.75
Ni	6.68	0.87	6.76	0.23	4.69
Totals			100.00		



Şekil 8.33. S5 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

Tablo 8.17. S5 numunesine ait 2 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

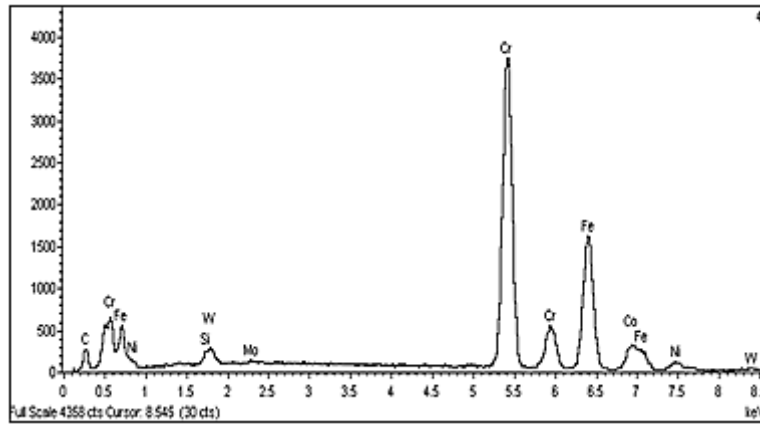
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	2.20	0.43	4.87	0.61	18.31
Si	0.55	0.64	0.82	0.09	1.31
Cr	23.98	1.09	20.91	0.28	18.16
Mn	0.67	0.99	0.65	0.15	0.53
Fe	52.61	0.95	52.89	0.51	42.76
Co	11.19	0.93	11.47	0.29	8.78
Ni	5.73	0.89	6.09	0.24	4.68
Mo	0.34	0.73	0.44	0.19	0.21
Totals			100.00		



Şekil 8.34. S5 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

**Tablo 8.18.** S5 numunesine ait 3 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	1.79	0.42	3.89	0.59	15.84
Si	0.56	0.64	0.80	0.10	1.39
Cr	25.40	1.09	21.54	0.28	20.27
Mn	1.04	1.00	0.96	0.15	0.85
Fe	52.81	0.95	51.22	0.50	44.87
Co	13.14	0.94	12.99	0.30	10.78
Ni	6.27	0.90	6.40	0.24	5.33
Mo	0.22	0.72	0.28	0.21	0.14
W	1.17	0.56	1.93	0.29	0.51
Totals			100.00		



**Şekil 8.35.** S5 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz grafiği.

**Tablo 8.19.** S5 numunesine ait 4 no' lu bölgenin EDS analiz sonuçları.

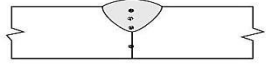
Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
C	7.44	0.50	12.07	0.61	38.56
Si	0.28	0.70	0.32	0.08	0.44
Cr	56.84	1.01	45.52	0.44	33.59
Fe	33.33	0.89	30.35	0.35	20.85
Co	6.94	0.88	6.35	0.23	4.14
Ni	3.01	0.89	2.74	0.18	1.79
Mo	0.39	0.75	0.42	0.18	0.17
W	1.68	0.61	2.23	0.24	0.46
Totals			100.00		

#### 8.4. Makro ve Mikrosertlik Sonuçları

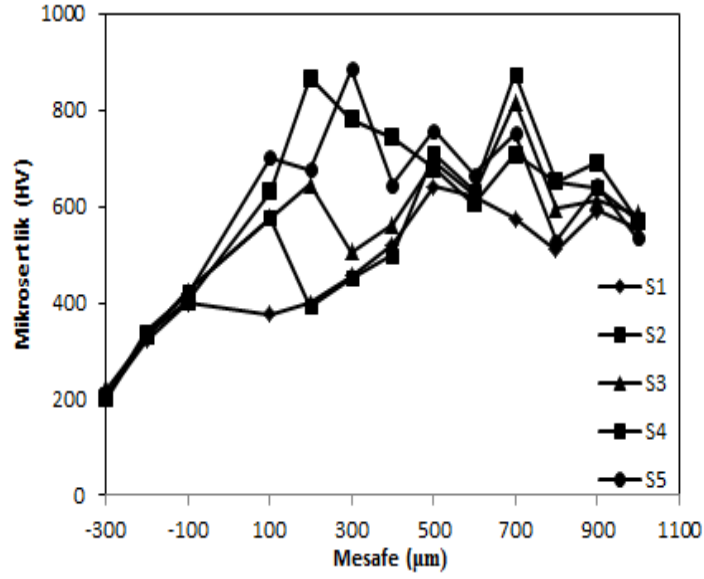
GTA yöntemi kullanılarak Stellite-6' ya FeTi, FeB, FeW ve FeMo ilave edilerek alaşımlandırılan numunelerin alınan makrosertlik değerleri 30 gr yük uygulanarak 3 mm' lik mesafede 4 farklı bölgeden HV cinsinden alınmıştır. Deney numunelerine ait makrosertlik değerleri Tablo 8.20' de verilmiştir. S1-S5 no' lu numunelere ait makrosertlik

değerleri incelendiğinde ortalama sertlik değerleri S1=86.25 , S2=121.2 HV, S3= 125.2 HV, S4= 136.2 HV ve S5= 128.7 HV olarak saptanmıştır. Bu değerlere göre kaplama ilave malzemeleri makrosertlik de artışa sebep olmuştur. Kaplama tabakasının soğuma hızının maksimum seviyelerde olması ve ara yüzeye doğru azalması kaplama tabakasının uç kısımlarının sertliğini artırdığı gibi oluşan karbür miktarını da paralelinde etkilemektedir.

**Tablo 8.20.** S1-S9 Numunelerine ait makrosertlik değerleri.

Makro Sertlik (HV)					
Numune No	S1	S2	S3	S4	S5
	85	140	145	150	145
	90	120	125	165	135
	90	115	120	115	125
	80	110	110	115	110

AISI 304 paslanmaz çeliği; Stellite-6 süper alaşımı+ FeTi, FeB, FeW ve FeMo tozları ile kaplandıktan sonra yapılan mikrosertlik ölçüm sonuçları Şekil 8.36' da görülmektedir. Deney numunelerine ait mikrosertlik değerleri incelendiğinde S1 numunesinde en yüksek sertlik S1=640 HV, S2= 874 HV, S3= 816 HV, S4= 866 HV ve S5= 884 HV olarak kaydedilmiştir. Bu sonuçlara göre Stellite-6 aşımına FeTi, FeB, FeW ve FeMo elementlerinin ilavesi mikrosertlik değerlerini artırmıştır. Ayrıca, kaplama bölgesinde CoC, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Fe<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>C, TiC, TiNi, TiFe, TiNi<sub>3</sub>, FeB, Fe<sub>2</sub>B, BC, WC ve MoC yoğunluğunun fazla arayüzeye doğru bu yoğunluğun azalması, sertliğin derecesini etkilemiştir. Deney numunelerinde kaplama yüzeyinden başlayarak sertlik değerlerinin yükseldiği ve geçiş bölgesinde hemen yakınında yükselerek maksimum seviyelere ulaşmış ve hızlı bir düşüşle ana malzemenin yüzey sertlik değerine ulaşmıştır. Ana malzemenin başlayıp kaplama katına doğru yapılan sertlik ölçümlerinde ana malzeme kaplama katına yaklaştıkça difüzyon etkisi ve çoğalan sert bileşik miktarına bağlı olarak sertliğin hızla yükseldiği, ara tabaka ve kaplama katı içerisinde sertlik yükselmesinin devam ettiği tespit edilmiştir.

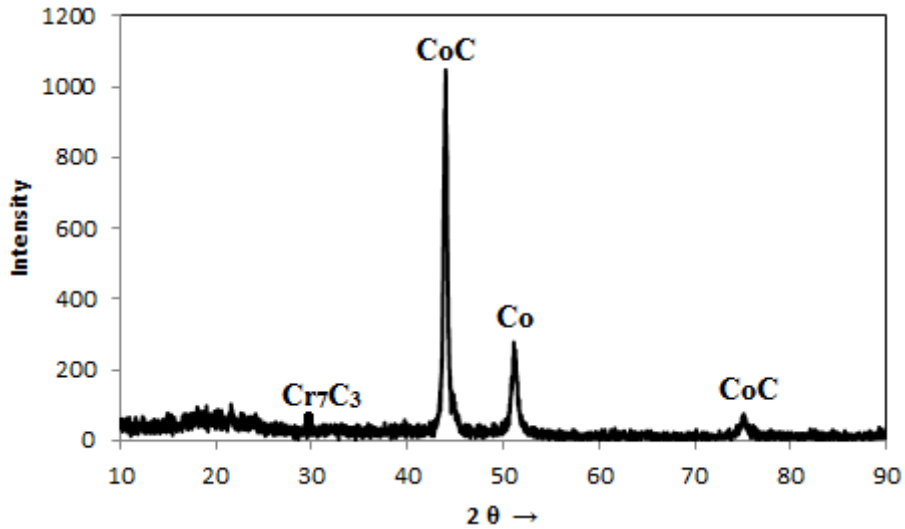


Şekil8.36.S1-S5 Numunelerinin mikrosertlik grafiği.

Stellite alaşımları yüksek sıcaklıklarda da aşınmaya karşı dirençlidirler. Stellite alaşımlarının önemli bir özelliği de sertliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyabilmeleridir. Bu açıdan Stellite alaşımlarının düşük sıcaklıklardaki sertliği, bileşimde bulunan karbür veya bor miktarına, yüksek sıcaklıklarda ise tungsten veya molibden miktarına bağlıdır [1].

### 8.5. X-RD Analiz Sonuçları

S1 numunesinin X-RD analizi sonucunda oluşan faz ve bileşikleri gösteren grafik Şekil 9.37' de verilmiştir. S1 numunesine ait X-RD grafiği incelendiğinde CoC, Co, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> faz ve bileşiklerinin oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil8.37.S1 numunesine ait X-RD analiz grafiği.

## 9.GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; Stellite-6 süper alaşımına FeTi, FeB, FeW ve FeMo ilave edilerek oluşturulan yeni alaşım AISI 304 paslanmaz çeliğinin yüzeyine, yüzey kaplama metodlarından biri olan TIG yöntemiyle alaşımlandırılmıştır. Daha sonra, kaplanan numunelerin mikroyapı, sertlik, SEM, X-RD analiz sonuçları toplu halde irdelenerek, elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

1.AISI 304 çeliğinin Stellite-6 + FeTi, FeB, FeW ve FeMo alaşımları ile normal atmosfer şartları altında herhangi bir önlem ve ön tavlama ısıl işlemine gerek duymadan tek pasoda TIG kaynak yöntemi ile yüzeye alaşımlandırılmıştır.

2.GTA yöntemi ile yüzey modifikasyonu işleminde yüzeyi kaplanan malzeme ile kaplama malzemesinin, çatlak ve gözeneksiz olarak birleştiği görülmüştür.

3.Stellite-6 kaplama tabakasının kaplama bölgesinde mikroyapı içerisinde CoC veCr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> bileşik ve fazların oluştuğu görülmüştür.

4.GTA yöntemi kullanılarak yapılan yüzey modifikasyonu işleminde en yüksek sertlik değerleri genel olarak FeTi, FeW ve FeMo alaşımı kaplamalarda tespit edilmiştir.

5.Tüm kaplama numunelerinde kaplama malzemesi yüzeyinden başlayarak oluşan bileşik fazların sertlik ve dağılımına bağlı olarak ara tabaka ve kaplamanın alt kısmında sertlik olmakta ve noktadan noktaya değişim göstermektedir.

6.140 A akım şiddeti kullanılarak yapılan kaplamalarda dendritik yapıya ait kolların net olarak izlendiği ve kol uzunluklarının yaklaşık olarak aynı boyutlarda olduğu ve dendrit kollarının kaplama sınır tabakasına doğru dikey olarak yönlendiği belirlenmiştir. Ayrıca dendrit kolları iç içe girmiş simetrik bir görünüm arz etmektedir. Kaplama esnasındaki üretim hızıyla kaynak akımının uygunluğu nedeniyle, yetersiz ısınma yaşanmamakta ve bu nedenle de topaklaşma olmadan ve bozunmadan yapının oluşabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, kaplama metaline ilave edilen FeB, FeTi, FeW ilavelerinin mikroyapıdaki dendritik yapıları tane şeklinde etkilediği ve taraksı yapının bozulduğu görülmüştür.Ferrotungsten, ferrobor ve ferrotitanyum ilavelerinin kaplanan paslanmaz çelik alaşımındaki östenit tanelerinin tane sınırlarından alaşıma girdiği ve kaplama içerisinde ince taneli küçük adacıklardan oluşan bir yapının meydana geldiği görülmektedir.

7. Stellite alaşımı ile yapılan kaplama bölgesindeki X-RD analizleri sonucunda yoğun miktarda Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, CoC karbürlerinin oluştuğu tespit edilmiştir.



## 10. KAYNAKÇA

- [1]. **Çelik H.**, 1991. “Kaynak edilebilen kobalt ve demir esaslı alaşımların yüksek Sıcaklıklardaki aşınma davranışları”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul.
- [2]. **DIN 50320.**, 1983. “Verschlesie, system analyse von verschleissvorgangen gliederung des verschleissgebietes”, Materialprüfnormen Für Metallische Werkstoffe 2, Dın Taschenbuch.
- [3]. **Gahr, Z., K.H.**, 1987. “Microstructure and wear of materials tribology series”, Elsevier Science Publisher, 10: 128-165 .
- [4]. **Antony, K.C.**, 1983. “Wear-resistant cobalt-base alloys”, Journal of Metals, 52-60.
- [5]. **Atamert, S., and Bhadeshia, K.D.H.**, 1989. “Comparison of the microstructures and abrasive wear properties of stellite hardfacing alloys deposited by arc welding and laser cladding”, Metallurgical Transactions, 1037-1054.
- [6]. **Ogind K., and Kinoshita H.**, 1981 “Wear characteristics of a cobalt base hardfacing alloy”, Wear, 81-89.
- [7]. **Avcı, A.**, 2003. “Benzinli motorlarda LPG kullanımının supaplar üzerindeki ısı etkisinin incelenmesi”, Uludağ Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi Dergisi, 8 (1): 38-46.
- [8]. **Odabaş, C.**, 2004, Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri, Askaynak, İstanbul.
- [9]. **Smith W.F.**, 2000. Paslanmaz Çelikler, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, Bölüm 5, Cilt 1., Çeviri: Erdoğan, M., Ankara, 169-214.
- [10]. **Tülbentçi, K., Kaluç, E.**, 1994, Geçmişten Günümüze Paslanmaz Çelikler, META, sayı 20, 47-52.
- [11]. **Lin, Y.C., Chen, P.Y.**, 1997, Effect of Preheating on The Residual Stress in Type 304 Stainless Weldment, Journal of Materials Processing Technology, 145- 157.
- [12]. **Aran, A., Temel, M.A.**, 2004, Paslanmaz Çelik, Acar Matbaacılık A.Ş., İstanbul.
- [13]. **Karlı, G., Seşen, M.K.**, 1991, Paslanmaz Çelikler ve Üretimi, Meta 44, sayı 2, 20-22.
- [14]. **Kanbolu, S.**, 1996, Östenitik Krom Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Özellikleri, Marmara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- [15]. **Kaluç, E.**, 1996, Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Gedik Holding Kaynak Dünyası. S:1-22.

- [16]. Ark Welding of Stainless Steel,1986, Metal Handbook, 8th Edition, Vol 6, Welding and Brazing, American Society for Metal, 245-276.
- [17]. **Ural, M., Kaluç, E.**,1996, Paslanmaz Çeliklerin TIG Yöntemi İle Kaynağı, Metal Makine, Mart 12-20.
- [18]. **Kotecki D.J.**,1993, Welding of Stainless Steel, ASM Handbook vol. 6, Welding and Brazing and Soldering, 677-709.
- [19]. **Lothongkum, G., Viyanit, E., Bhandhubanyong, P.**, 2001, Study on The Effects Pulsed TIG Welding Parameters on Delta-Ferrite Content, Shape Factor and Bead Quality in Orbital Welding of AISI 316L Stainless Steel Plate”, Journal of Materials Processing Technology, 233-238.
- [20]. **Kaluç, E., 1995, Tülbentçi, K.**, Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği, Seminer Notları, Kocaeli Üniversitesi Kaynak Teknolojisi Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi, Kocaeli, 7-178.
- [21]. **Buytoz, S., Ulutan, M., Yıldırım, M.M.**, 2005, Dry sliding wear behavior of TIG welding clad WC composite coatings, Applied Surface Science, 252, 1313-1323.
- [22]. **Kaluç, E.**, 1989, Ferritik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Gedik Holding Kaynak Dünyası 3, İstanbul, 11-14.
- [23]. Abington Publishing, Welding Metallurgy of Stainless Steels, Abington Welding Training Module, Cambridge, 1-45., 1994
- [24]. **Tülbentçi, K.**, 1998, MIG/MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi, Arctech Yayını, İstanbul.
- [25]. **ÇAY, V.V.**, 2009. “Sade Karbonlu Çeliklerin TIG ve Plazmaile Yüzey Kaplamasında Koruyucu Gaz ve Tozların Yüzey Modifikasyonuna Etkilerinin incelenmesi” Doktora Tezi,Fırat ÜniversitesiFen BilimleriEnstitüsüELAZIĞ,
- [26]. **Yıldırım, M.M., Doğan, Z.S., Pakdil, M. ve Çakan, A.**, 2001, Mühendislik Malzemeleri -1-, MKÜ Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, No:9, İskenderun, 110-116, 180p.
- [27]. **Cooper, K.P.**, 1992. “Laser surface processing, friction, lubricant and wear technology” ASM Handbook, ASM International, Vol.L8, 861-872.
- [28]. **Dikeç F.**,1976 “Asınmaya dayanıklı demir çelik döküm malzemeleri”, **İTÜ Dergisi**, İstanbul, 7-15.
- [29]. **Bauschke H.M., Hornbogen E., and Zum Gahr, K. H.**,1981 “Abrasiveverschleiss austenitischer stähle”, **Z. Metalkunde**, 1-12.

- [30]. **Güleç S., Aran A.**, 1987 “Demir dışı metaller malzeme bilgisi”, TÜBİTAK Yayını,2: 123-235.
- [31]. **Vınokur B.B., Durdıyev B.D.**,1991.“Mutual influence of the mechanical properties of mangeneze steel on the wear resistance of alug-pru pair.” PlenumPublishing Corporation, 127-143 .
- [32]. **Charlie, R.B.**, 1982 “Heat treatment, structure and properties of nonferrous alloys”, ASM, Metals Park, Ohio, 229-251.
- [33]. **Çömez E.**,2003.“Kobalt esaslı elektrotlarla kaplanan malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat ÜniversitesiFen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 13-45.
- [34]. **Kulkarni, K.M. And Anand, V.**,1984 “Metal powder used for hardfacing, powder metallurgy”, ASM Handbook, American Society For Metals,9(7); 823- 836.
- [35]. **Sun, Y.,Çimenoğlu, H.**,2006. "Krom-Nikelli çeliklerin aşınmadavranışları", İTÜ Mühendislik Dergisi,5(1); 145-149.
- [36]. **Çelik H., Osman A., Çimenoğlu H., Kayalı E.S.**,1995. “Stellite 6 alaşımının yüksek sıcaklıktaki aşınma davranışına silisyumun etkisi”, TMMOB MetalürjiMüh. Odası, 8. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi,İstanbul, 286-291.
- [37]. **Vaterhouse, R.B.**, 1992. "Friction lubrication wear technology", ASM Handbook,18: 242-256.
- [38]. **Buckley, D. H.**, 1978."Tribological properties of surfaces", Thin Solid Films, 53: 279-283.
- [39]. **Gbson, P.R., Clegg, A.J., Das, A.A.**, 1995. "Production and evaluation of squeeze cast graphitic Al-Si alloys" Metal Science And Technology,7: 559-567.
- [40]. **Schwarz, W. And Warlimont, H.**,1997.“A nev series of cobalt-based amorphous”, Alloys And Engineering”, 10-19.
- [41]. **Sims C.T.**,1972 “Cobalt base alloys”, New York, 132-145.
- [42]. **Wagner, H.J., And Hail, A.M.**,1972.“The physical metallurgy of cobalt-base süper alloys”, Defense Metals Information Center, Battelle Memorial Institute, Colombus, Ohio, 138-210.
- [43]. **Kayalı, E.S., Eruslu, N., Ürgen, M., Taptık, Y., Çimenoğlu,H.**,1997. “Hasar analizi seminer notları”, TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası,İstanbul, 5-13.
- [44]. **Sheety, H. R., Kosel T.H. And Fiore N.F.**, 1981. “A study of abrasive wear mechanisims in cobalt base alloys” Wear Of Materials, 406-414.

- [45]. **Desai, V., Rad, C.M., Kosel, T.H. And Fiore N.F.,**1984.“Effect of carbide size on the abrasion of cobalt base powder metalurgy alloys”, *Wear*, 347-376.
- [46]. **Kosel, T.H., Fiore, N.F At All.,**1979. “Study of abrasive wear resistance in Co-base powder metalurgy alloys”, *Journal of Metals.*,20-39.
- [47]. **Noble D.N.,**1986.“The Effect of flux-coard arc welding conditions on microstructure and abrasive wear resisance of two iron-besd hardfacing alloys”, *Welding Institute Res. Report*, 67-93.
- [48]. **Subramanyam, D.K., Swansiger A.E, and Avery, H.S.,**1990.“Austenitic manganese steels, properties and selection: irons, steels and high performance alloys”, *ASM Handbook*, ASM International, 1: 822-840.
- [49]. **Wagner H. J., And Hall, A.M.,**1962“*The physical metalurgy of cobalt-base süper alloys*”, Defense Metals Information Center, Batelle Memorial Institute,Colombus,Ohio, 328-332.
- [50]. **Antony, K. C.,**1983 “Wear-resistant cobalt base alloys”, *Journal of Metals*, 35: 52-60, 45-52.
- [51]. **Arabacı. U.,** 2009.“Supap yüzeylerinin TIG Kaynak Yöntemi ileKaplanmasıveAşınmaÖzelliklerininİncelenmesi” Doktora Tezi, Gazi üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü ANKARA.
- [52]. **Oğuz B.,**1993. “Aşınma sorunları ve dolgu kaynakları”, Oerlikon Yayını, İstanbul, 4-34.
- [53]. **Koz, M.,**1988.“Sertliğin incelenmesi ve tanımı”, Yüksek Seviyede Sert Dolgu Kaynakları Semineri,” İstanbul, 15-20.
- [54]. **Jayaram, V. And Biswas, S.H.,**1999" *Wear Of Al2O3-Sic-(Al,Si) melt oxidised ceramic composites*, *Wear*, (225-229); 1322-1326.
- [55]. **Yaz, M.,** 2005. “Düşük karbonlu yumuşak çeliklerin Co esaslı süper alalım elektrotları ile kaplanabilirliğinin araştırılması”, Doktora Tezi, FıratÜniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 13-67.
- [56]. Sen, U., 1997. "Küresel grafitli dökme demirlerin bor kaplanması ve kaplama özellikleri", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 8-66.
- [57]. **Kuzucu, V., Ceylan, M., Çelik, H, Aksoy, İ.,**1997. “Microstructure and phase analyses of stellite 6 plus 6 % wt. mo alloy”, *Journal Of MaterialsProcessing Technology*,257-263.

- [58]. **Kuzucu, V., Ceylan, M., Çelik, H., Aksoy, İ.**,1998.“An investigation of a stellite-6Nalloy containing 5.0 wt % silicon”, Journal Of Materials ProcessingTechnology, 47-51.
- [59]. **Yaz M., Çelik H.**, 2007. “Cr-Ni’li paslanmaz çeliğin co esaslı süper alarımilar ile sert yüzey kaplanabilirliğinin araştırılması”, Fırat Üniversitesi Fen veMühendislik Bilimler Dergisi, 19(2), 225-233.
- [60]. **Mingxi, L., Yizhu, H, Xiaomin, Y.**, 2005. "Effect of nano-y<sub>2</sub>o<sub>3</sub> on microstructure of laser cladding cobalt-based alloy coatings", Applied Surface Science, Maanshan, 120-125.
- [61]. **Çelik H., Yaz M.**, 2000 “Klinker öğütme silpepslerinin alaşım katkı oranlarına bağlı abrasif aşınma davranışlarının araştırılması”, 10. InternationalMetallurgy and Materials Congress, İstanbul, 893-900.
- [62]. **Kuzucu, V., Ceylan,M., Çelik, H., Aksoy, İ.**,1998."Phase investigation of a cobalt base alloy containing Cr, Ni, W And C",Journal Of Materials ProcessingTechnology, 137-141,
- [63]. **Zordan, R. D.**,1982.“Cobalt Corporation”, Kokomo, Iv Report 10890, 27-39.
- [64]. **İzciler M., Çelik H.**,2000.“Two-anda tree-boddy abrasive wear beaviour of different heat-treated boron alloyed high chromium cast iron grinding balls”, Journal of Materials Processing Technology, 105: 237-245.
- [65]. **Crook P., and Furmer H.N.**,1992.“Friction and wear of hardfacing alloys”, Friction, Lubricant, and Wear Tech. ASM International, 18: 758-765.
- [66]. **Y. Sahin.**,1999.“Tribological behaviour and wear surface analysis of metal-matrix composites”, Journal of Materials Science, 34: 875-880.
- [67]. **Buytoz, S.**, 2004, AISI 4340 çeliğinin nitrürasyon ve GTA kaynak yöntemi ile yüzey modifikasyonu işlemleri sonrası mekaniksel davranışlarının araştırılması, Fırat Üniv. FBE, Doktora tezi, 190 s., Elazığ.
- [68]. **Peterson, K., Stefanopoulou, A., Megli T., Haghgoie, M.**,2002.“Nonlinear selftuning control for soft landing of electromechanical valve actuator”. Proceedings Of American Control Conference, USA, 1423-1418.
- [69]. **Gürcan, M.**, 1987, TIG Kaynağı, SEGEM (Sanayi Eğitim ve Geliştirme Merkezi Müdürlüğü, Ankara.

- [70]. **Korkut H. M.**,1997.“Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı ve aşınma üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması”. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 11-71.
- [71]. **Savaş S.**, 2004. “PVD metodu ile TiN kaplanmış S-6-5-2 yüksek hız çeliğinin aşınma davranışlarının incelenmesi”. Y. Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi.Fen Bilimleri Enstitüsü,Kayseri, 6-75.
- [72]. **Çelik H., Çimenoğlu H., Kayalı E.S.**,1992.“Abrasive wear properties of some stellite alloys”, ESDA, European Joint Conference on Engineering Systems. Design and Analysis.,361-365.
- [73]. **Alwart, S. And Ulrich, C. P.**,1998."Abrasive resistant hard steel surface produced by boriding", Industrial Heating,47-50.
- [74]. **Bozkurt, N.**,1984."Bor yayınımla çeliklerde yüzey sertleştirme" Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul, 23-73.
- [75]. **Er, Ü., Par, B.**,2004."Bor yayınımla yüzeyi sertleştirilmiş AISI 1030 ve AISI 1050 çeliklerinin abrazif aşınma dayanımlarının incelenmesi" Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17: 1-17.
- [76]. **Şahin, Y., Murphy, S.**, 1998." The effect of sliding speed and microstructure on the dry wear properties of metal matrix composites", Wear, 214: 98-106.
- [77]. **Kulkarni K.M., and Anand V.**,1984.“Metal powder used for hardfacing, Powder Metallurgy”, ASM Handbook, American Society for Metals, 9(7): 823-836.
- [78]. **Blake A.G., Et al.**1988.“Lase Coating Techn., A Commercial Reality”, Bulletin of Quantum Laser Corporation., 37-41.
- [79]. **Olson D. L.**,1985.“Prediction of Austenitic Weld Metal Microstructure and Properties”, Weld Journal.,64: 2185-2995.
- [80]. **Turhan H.**, 1994. “Östenitik manganlı çeliğin aşınma davranışlarının araştırılması”. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Elazığ, 12- 78.
- [81]. **Kulkarni, K.M. And Anand, V.**, 1984. “Metal powder used for hardfacing, powder metallurgy”, ASM Handbook, American Society For Metals, 9(7); 823-836.
- [82]. **Sun, Y., Çimenoğlu, H.**,2006."Krom-Nikelli çeliklerin aşınmadavranışları", İTÜ Mühendislik Dergisi, 5(1); 145-149.
- [83]. **Çelik H., Osman A., Çimenoğlu H., Kayalı E.S.**, 1995. “Stellite 6 alaşımının yüksek sıcaklıktaki aşınmadavranışına silisyumun etkisi”, TMMOB Metalürji Müh. Odası, 8. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 286-291.

## ÖZGEÇMİŞ

1967 yılında ELAZIĞ'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı ilde tamamladı. 1994 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünden 1998 yılında mezun oldu. 12 yıl ticaret ile uğraştı. 2009 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi A.B.D. Malzeme Bilim Dalında Yüksek lisans öğrenimine başlayan Mahmut KARATAŞ bekar olup serbest meslekle uğraşmaktadır.