

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PLAZMA TRANSFER ARK KAYNAK YÖNTEMİ KULLANILARAK AISI1020
ÇELİK YÜZEYLERİNİN HARDOX450+FeW İLE KAPLANMASI VE AŞINMA
DİRENÇLERİNİN TESPİT EDİLMESİ**

ABDULLAH TOPAL

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2017

T.C.
ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLAZMA TRANSFER ARK KAYNAK YÖNTEMİ KULLANILARAK AISI1020
ÇELİK YÜZEYLERİNİN HARDOX450+FeW İLE KAPLANMASI VE AŞINMA
DİRENÇLERİNİN TESPİT EDİLMESİ**

ABDULLAH TOPAL

Yüksek Lisans Tezi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez 05/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Doç. Dr. Tanju TEKER
BAŞKAN (DANIŞMAN)**

**Prof. Dr. S. Osman YILMAZ
(ÜYE)**

**Yrd. Doç. Dr. Zuhel KARAGÖZ GENÇ
(ÜYE)**

**Prof. Dr. Ramazan GÜRBÜZ
Enstitü Müdür V.**

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: MÜFYL/2016-001

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**PLAZMA TRANSFER ARK KAYNAK YÖNTEMİ KULLANILARAK AISI1020
ÇELİK YÜZEYLERİNİN HARDOX450+FeW İLE KAPLANMASI VE AŞINMA
DİRENÇLERİNİN TESPİT EDİLMESİ**

Abdullah TOPAL

Adıyaman Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Tanju TEKER
Yıl : 2017, Sayfa Sayısı: 132
Jüri : Prof. Dr. S. Osman YILMAZ
: Doç. Dr. Tanju TEKER
: Yrd. Doç. Dr. Zuhul KARAGÖZ GENÇ

Tezin birinci bölümünde; kaplama ve kaplama çeşitleri, plazma transfer ark kaynak yöntemi ve parametreleri, aşınma ve aşınma çeşitleri, hardox çeliği ve konu hakkında literatür araştırması verilmiştir. İkinci bölümde deneysel çalışmanın önemi ve deneysel çalışmalar detaylı olarak sunulmuştur. Üçüncü bölümde deney sonuçları verilmiş ve tartışılmıştır. Dördüncü bölümde, çalışma sonunda elde edilen genel sonuçlar özetlenmiştir.

Bu çalışmada; Hardox450+FeW metalik tozu, toz oranı parametresi kullanılarak AISI1020 çeliğinin yüzeyine plazma transfer ark (PTA) kaynak tekniğiyle kaplanmıştır. Kaplama morfolojisi; optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılım spektrometresi (EDS), X-RD ve mikroselik analizleri ile incelenmiştir. Abrasive aşınma özellikleri ise pin-on disk test yöntemi ile belirlenmiştir. Aşınma testleri sonrası numunelerin kütle kayıpları tespit edilerek aşınma oranları elde edilmiştir. Düşük toz oranlarında yapılan kaplama mikroyapılarında, dendritik yapıya ait kolların net bir şekilde izlendiği gözlenmektedir. En yüksek sertlik değerleri Hardox450+%25FeW alaşımı ile yüzeyi alaşımlandırılmış numunelerde edilmiştir. Artan toz miktarına paralel olarak, sert bileşiklerin oluşumuna bağlı olarak mikrosertliğin arttığı gözlenmiştir. En iyi aşınma direncini Hardox450+%25 FeW alaşımı yapılmış numunelerde görülmüştür. Artan FeW tozu ile karbür bileşiği oluşumuna bağlı sertlik artışı ile tüm numunelerin aşınma dirençleri artmıştır. Aşınma işlemi sırasında Hardox450+FeW alaşımlı kaplamaların aşınmış yüzeyleri üzerinde adhesive aşınma meydana geldiği ve şiddetli plastik deformasyon sonucunda yüzey morfolojilerinde çok sayıda kraterler, sığ ve derin dar oluklar ve koparak ayrılan kalıntıların oluştuğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plazma transfer ark kaynağı, Hardox450, FeW, AISI1020, Kaplama, Aşınma testi, Mikroyapı.

**ABSTRACT
MSc THESIS**

**DETERMINATION OF WEAR RESISTANCES AND COATING WITH
HARDOX450 + FeW OF AISI1020 STEEL SURFACES BY USING PLASMA
TRANSFER ARC WELDING METHOD**

Abdullah TOPAL

Adiyaman University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Metallurgical and Material Engineering

Supervisor : Doç. Dr. Tanju TEKER

Year : 2017, Number of pages: 132

Jury : Prof. Dr. S. Osman YILMAZ

: Assoc. Prof. Dr. Tanju TEKER

: Asst. Prof. Dr. Zuhul KARAGÖZ GENÇ

In the first chapter of this thesis, types of coating and coating, plasma transfer arc welding method and parameters, types of wear and wear, hardox steel, the literature review on the subject are given. In the second chapter, the importance of experimental study and experimental studies are presented in detail. In the third chapter, the experimental results are given and discussed. In the fifth chapter, the general results obtained are summarized.

In this study; Hardox450+FeW metallic powder was coated with plasma transfer arc (PTA) welding technique on the surface of AISI1020 steel by using different powder ratio parameter. Coating morphologies were investigated by Optical Microscopy (OM), Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive Spectrometry (EDS), X-RD and Microhardness analysis. Abrasive wear characteristics were determined by pin-on disc test method. After the abrasion tests, abrasion wear rates were obtained by determined the mass losses of the samples. In addition, SEM analyzes of the worn surfaces were performed. In the coating microstructures of low powder ratios, it was observed that the arms of the dendritic structure are clearly obtained. The highest hardness values were obtained in surface alloyed with Hardox450+25% FeW powder. Parallel to the increasing amount of powder, it was observed that the microhardness increased due to the formation of hard compounds. Maximum wear resistance was seen on the surface alloyed with Hardox450+ 25% FeW powder. The wear resistance of all samples developed with rise of hardness due to increased FeW powder and formation of the carbide compound. It was found that the adhesive wears occurred on the worn surfaces of Hardox450+FeW alloyed coatings during abrasion, and as a result of severe plastic deformation, there were numerous craters, shallow and deep narrow grooves and break off residues in the surface morphology.

Key words: Plasma transfer arc welding, Hardox450, FeW, AISI1020, Coating, Wear test, Microstructure.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın her aşamasında engin bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösteren, maddi ve manevi her türlü desteği ile yanımda olan Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı ve Danışman Hocam Sayın Doç. Dr. Tanju TEKER' e teşekkürlerimi borç bilirim.

Ayrıca her zaman yanımda olan desteğini ve emeğini esirgemeyen Arş. Gör. Eyüp Murat KARAKURT'a, en zor dönemlerde yardımını ve desteklerini esirgemeyen biricik eşim Emine TOPAL'a ve canım oğlum İhsan TOPAL'a teşekkür ederim.



ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	viii
KISALTMALAR VE SEMBOLLER.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Yüzey Kaplama	2
1.1.1. Kaplamanın tanımı ve yapısı	2
1.1.2. Yüzey kaplama yöntemleri.....	3
1.1.2.1. Elektrolitik kaplama.....	3
1.1.2.2. Akımsız kaplama	4
1.1.2.3. Sıcak daldırma	4
1.1.2.4. Isıl püskürtme	5
1.1.2.5. Difüzyon kaplaması	5
1.1.2.6. Giydirmeye	5
1.1.2.7. Kaynak kaplaması.....	5
1.1.2.8. Buhar yoğunlaştırma kaplaması.....	6
1.1.3. Kaplama teknikleri	6
1.1.3.1. Termal sprey kaplama.....	6
1.1.3.2. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi (PVD).....	7
1.1.3.3. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD).....	8
1.1.3.4. Galvanizleme	9
1.1.3.5. Sol - jel kaplama yöntemi	10
1.1.3.6. Emaye kaplama.....	11
1.1.3.7. Termokimyasal kaplama yöntemleri	11
1.2. PTA Kaynak Yöntemi	12
1.2.1. Plazma ve plazma kaynağı	12
1.2.2. Parametreleri	13

1.2.2.1. Elektrod.....	13
1.2.2.2. Gaz nozulu	14
1.2.2.3. Plazma ve koruyucu gazlar	14
1.2.2.4. Plazma ark kaynak torçları	15
1.2.2.5. Plazma ark kaynağında kullanılan teller	15
1.2.3. Plazma ark kaynağının avantajları	16
1.2.4. Plazma ark kaynağının dezavantajları	17
1.2.5. Plazma ark kaynağının kullanım alanları	17
1.3. Aşınma.....	17
1.3.1. Aşınmanın tanımı	17
1.3.2. Aşınma türleri.....	18
1.3.2.1. Abrasif aşınma	18
1.3.2.1.1. Düşük gerilmeli abrazyon	21
1.3.2.1.2. Yüksek gerilmeli abrazyon	22
1.3.2.1.3. Oyma abrazyonu	23
1.3.2.2. Adhezif aşınma	23
1.3.2.3. Eroziif aşınma	25
1.3.3. Ölçüm metodları.....	26
1.3.3.1. Ağırlık farkı metodu	26
1.3.3.2. Kalınlık farkı metodu.....	27
1.3.3.3. İz değışimi metodu.....	28
1.3.3.4. Radyoizotop metodu	28
1.4. Hardox Çelik Türleri ve Özellikleri	28
1.4.1. Hardox aşınma levhalarının türleri.....	31
1.4.2. Hardox aşınma levhasının kimyasal içerikleri	32
1.5. Çalışmanın Literatürdeki Yeri ve Önemi	32
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
2.1. Çalışmanın Amacı	35
2.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler	36
2.3. Kaplama Alaşımlarının Hazırlanması.....	38
2.4. Mikroyapı İncelemeleri	39
2.5. (SEM), (EDS) ve XRD Analizleri.....	41

2.6. Mikrosertlik Deneyi	41
2.7. Aşınma Deneyi	42
3. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ	43
3.1. Deney Numunelerinin Makroyapı Analizleri	43
3.2. Deney Numunelerinin Mikroyapı, SEM, EDS Analiz Sonuçları.....	43
3.3. Mikrosertlik Test Sonuçları	97
3.4. X-RD Analiz Sonuçları	99
3.5. Aşınma Testi Sonuçları	103
3.6. Aşınma Sonrası Numunelerin Yüzeylerinin SEM İncelemesi	105
4. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	113
KAYNAKÇA	115
ÖZGEÇMİŞ	121

Şekil 1.1. Termal sprej proseslerinden elektrik ark sprej kaplamanın şematik görünüm	7
Şekil 1.2. Termal sprej kaplama yöntemi.....	7
Şekil 1.3. Plazma kimyasal buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi	9
Şekil 1.4. Termal kimyasal buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi.....	9
Şekil 1.5. Yaş galvanizlemenin şematik görünümü	10
Şekil 1.6. Kuru galvanizlemenin şematik görünümü	10
Şekil 1.7. Plazma ark kaynağının şematik görünümü	13
Şekil 1.8. Plazma Ark Kaynak Yöntemi Mekanizması.....	16
Şekil 1.9. İki ve üç gövdeli abrazif aşınma	19
Şekil 1.10. Malzeme kaldırmanın üç ana mekanizması	20
Şekil 1.11. Çarpma açısının, kesmenin pulluklamaya olan oranına etkisi.....	21
Şekil 1.12. Gerilmeli abrazyon	22
Şekil 1.13. Düşük gerilmeli abrazyon	22
Şekil 1.14. Yüksek gerilmeli abrazyon	23
Şekil 1.15. Adhezif aşınma	24
Şekil 1.16. Çarpma hızının erozyon aşınmasına olan etkisi.....	26
Şekil 1.17. Hardox aşınma levhasından imal edilmiş bir damper kasası	30
Şekil 1.18. Hardox aşınma levhasının çalışma şartları	30
Şekil 1.19. Hardox aşınma levhasından imal edilmiş kepçe ve kırıcı.....	30
Şekil 2.1. AISI1020 çeliğinin kaplama öncesi resmi	39
Şekil 2.2. Hassas kesme makinesi.....	40
Şekil 2.3. Zımparalama ve parlatma makinesi	40
Şekil 2.4. Optik mikroskop	40
Şekil 2.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	41
Şekil 2.6. Mikrosertlik ölçüm numunesi	42
Şekil 2.7. Mikrosertlik test cihazı	42

Çizelge 1.1. Aşınma türleri	18
Çizelge 1.2. Hardox aşınma levhasının kimyasal içeriği	32
Çizelge 2.1. Deneylerde kullanılan alt malzeme ve ilave metalin kimyasal bileşimi....	36
Çizelge 2.2. Deneylerde kullanılan kaplama malzemelerinin oranları	36
Çizelge 2.3. Deneylerde kullanılan yüzey alaşımlama için üretim parametreleri.....	37
Çizelge 3.1. S-Referans Numunesinin EDS analiz sonuçları.....	51
Çizelge 3.2. S1 Numunesinin EDS analiz sonuçları	60
Çizelge 3.3. S2 Numunesinin EDS analiz sonuçları	69
Çizelge 3.4. S3 Numunesinin EDS analiz sonuçları	78
Çizelge 3.5. S4 Numunesinin EDS analiz sonuçları	87
Çizelge 3.6. S5 Numunesinin EDS analiz sonuçları	96

KISALTMALAR VE SEMBOLLER

A	: Amper
AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
CVD	: Kimyasal buhar depolama
C _{eş}	: Karbon eşdeğeri
d	: Yoğunluk (g/ cm ³)
EDS	: Enerji Dağılımlı X-Işınları Spektroskopisi
FeW	: Demir wolfram
Hv	: Vickers sertlik ölçümü
ITAB	: Isının tesiri altında kalan bölge
M	: Kütle
M	: Yükleme ağırlığı (N)
MAG	: Metal Active Gas
MIG	: Metal Inert Gas
Mm	: Milimetre
N	: Newton
OM	: Optik mikroskop
Ph	: Potansiyel hidrojen
PTA	: Plazma transfer ark
PVD	: Fiziksel buhar depolama
S	: Aşınma yolu (m)
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
TIG	: Tungsten Inert Gas
Wa	: Aşınma oranı (mm ³ / N.m)
X-RD	: X-ışını Kırınımı (X-Ray Diffraction)
ΔG	: Ağırlık kaybı (mg)
°C	: Santigrat derece
λ	: Dalga boyu
μ	: Mikron
μm	: Mikrometre

1. GİRİŞ

Plazma transfer ark (PTA) kaynak yöntemi ile yüzey modifikasyon işlemi kaplama mühendisliğinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tozlar, plazma transfer ark kaynak yöntemi tarafından verilen enerjiyle ergitilerek kaplama işlemi yapılmaktadır. Bu yöntemle yapılan kaplamalarda kaplanmış bölge ile ana malzeme arasında iyi bir bağ olması ve kaplanmış bölgenin yüksek sertlik ve aşınma direncine sahip olması istenir. Kaplama tozunun tipi, boyutu, miktarıyla birlikte, alt tabakanın kimyasal bileşimleri de dikkate alınarak üst tabakanın makro yüzeyi daha pürüzsüz ve düzgün olabilir. Endüstride kullanılan malzemeler; zor koşullar nedeniyle, sürekli aşınma, yorulma, sürtünme ve korozyona maruz kalmaktadırlar. Metal yüzeylerinin dış ortamlardan korunması veya kullanım alanına göre; maruz kaldığı yorulma, sürtünme ve aşınmaları ortadan kaldırmak veya minimuma indirmek amacıyla çeşitli yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Malzeme yüzeyinin sert ve aşınmaya dayanıklı, alt tabakanın ise sünek ve yeterli mukavemette olması istenildiğinde karbürleme, nitrürleme, alev veya indüksiyonla yüzey sertleştirme, lazerle yüzey sertleştirme, plazma nitrürleme, plazma esaslı fiziksel buhar depolama (PVD) ve kimyasal buhar depolama (CVD) yöntemleri kullanılarak yüzey sertleştirme yapılarak aşınmaya dayanıklı malzemelerin üretilmesi gerçekleştirilmektedir. Yüzey özellikleri ve kalitesi, kaplama işlemi gerçekleştirecek kaplama yöntemine ve seçilen alaşımlara bağlıdır. Bu yüzden, plazma transfer ark kaynak yöntemi ve lazer kaplama gibi yüksek enerji yoğunluklu kaynaklar kullanılarak yapılan yüzey kaplamaları, yüzeylerin mekanik, korozyon ve tribolojik özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır [1,2].

Teknik veya dekoratif özellikler yardımıyla bir objenin üzerinde farklı bir malzemenin doğal, sentetik veya yapay olarak depolanması ile elde edilen malzeme katmanı yüzey kaplama olarak adlandırılır. Ana malzeme ile kaplanmış yüzey farklı fazlar içerirler. Aynı zamanda kaplanmış yüzey ile matris arasında bir ara yüzey mevcuttur. Bazı durumlarda difüzyon dolayısıyla kaplanmış yüzey ile ana matrisi ayırt etmek çok zordur. Kaplanmış yüzey laminar bir yapıya sahiptir. Kaplama yüzeyi tek veya çok katmanlı olabilir. Katman sayısı kullanım alanına göre belirlenir. Kaplamada kalınlık değişken olup 100 μ ile birkaç mm aralığında olup kullanım yeri ve kaplama

teknolojisine göre değişebilir. Kullanılan kriterlere göre, kaplamalar farklı şekillerde çeşitlendirilebilirler. Bu çeşitlemelerde malzeme ve üretim metodu önemli rol oynar ve kaplama metalik ve metalik olmayan kaplama olarak ikiye ayrılır. Metalik kaplama: Bu tür kaplamalar farklı malzemelerden, metal alaşımlarından ve metal kompozitlerden üretilirler. Metalik malzeme yüzey üzerine verilirken metalik olarak farklı teknikler kullanılır. Prensipde kaplamalarda tüm metaller ve kompozitler kullanılabilir. Ancak pratikte tüm metaller ve alaşımlar kullanılamaz. Uygulama alanına göre kaplama çeşitleri dört gruba ayrılabilir. Koruyucu, dekoratif, dekoratif-koruyucu ve teknik olarak sıralanabilir. Teknik kaplamada malzemelerin fiziksel özellikleri iyileştirilir (Mekanik, elektrik ve termal özellikleri), özellikle malzemelerin tribolojik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla bu işlem gerçekleştirilir. Birçok durumda sert malzemelerin tribolojik özelliği yumuşak malzemelere göre daha iyidir [3,4].

Normal alaşımsız ve az alaşımlı çelikler korozyon etkilere karşı dayanıklı olmadıklarından, bu tür uygulamalar için genellikle çeliklerin kullanılması gerekir. Özellikle de çeliklere kaplama yaparak aşınma direncini iyileştirmek daha pahalı malzeme kullanımına ihtiyacın azalması, ucuz olması ve kolay erişilebilmesi, uzun ömürlü olmaları, tümüyle geri kazanılabilmeleri ve çevre dostu bir malzeme olmaları nedeniyle çok büyük avantajlar sağlar [5,6].

1.1. Yüzey Kaplama

1.1.1. Kaplamanın tanımı ve yapısı

Malzemelerin yüzey özelliklerini geliştirme işlemine kaplama denir. Görülen ve beklenen her türlü koşullara dayanıklı özelliklerin geliştirilmesi imal edilen bir iş parçasının dış yüzeyi için önemlidir. Başka bir deyiş ile kaplama; malzemeleri aşınmaya dayanıklı hale getirmek, malzemelerin dış yüzeylerinin olumsuz etkilerini ve etkileşimlerini ortadan kaldırmak için bilinçli ve kontrollü olarak yapılan dış yüzeyindeki fiziksel ve kimyasal değişim olarak adlandırılabilir. Kaplama, mukavemet, sertlik, aşınma ve korozyona karşı direnç gibi malzemelere üstün mühendislik özellikleri katar. Aynı zamanda güzel görünüm gibi dekoratif amaçlı kaplamalar da

olabilir. Günümüzde en çok metalik kaplamalar kullanılmakta iken; ergitme ya da difüzyon esaslı kaplamalar koruma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Yapım şekline göre kaplamanın yapısı bir takım farklılıklar gösterir. Kaplama yapısının farklılığını yapılacak kaplamanın amacı, uygulanan malzemenin cinsi, kaplama kalınlığının ölçüsü, uygulanan yöntemin maliyeti ve uygulanış kolaylıkları gibi birçok sebep ortaya koymaktadır [7].

1.1.2. Yüzey kaplama yöntemleri

Yüzey kaplama sonucunda, ana malzemeden bağımsız olarak iş parçası yüzeyine yeterli kuvvetle bağlanan veya ana malzemenin bir bölümü olarak bileşimi büyük ölçüde (%10'lar mertebesinde) değişmiş bir tabaka oluşmaktadır.

Kaplamalar genel olarak şu amaçlarla yapılmaktadır:

- Özellikle dökme demir ve çeliklerin korozyona karşı dayanıklılığını artırmada,
- Elektriksel özelliklerin yalıtkanlık ve iletkenliğini geliştirmede,
- Emme veya ışığı yansıtma gibi optik özellikleri geliştirmede,
- Aşınma ve sürtünme özelliklerini geliştirmede,
- Dekoratif iyileştirme sağlamada kaplamalar yapılır [8,9].

1.1.2.1. Elektrolitik kaplama

Elektrolitik kaplamada elektroliz olayı kullanılmaktadır. Kaplama metaline uygun tuzların çözeltilerinin elektrolitik olarak uygulanmasıyla yapılır. Parçanın yüzeyi katoda bağlı iş parçasına metal iyonlarının gitmesiyle kaplanır. Eksilen iyonlar kaplama metali olan katot ile tamamlanır. Kimi zaman çözünmeyen farklı metaller anot olarak kullanılabilir. Bu durumda sürekli elektrolit eklenmelidir. İş parçasının iletken olması doğru akım devresinin tamamlamasını sağlar. Banyo bileşimi, banyo sıcaklığı, pH derecesi, parça yüzeyi ve süre kaplama kalınlığını etkiler. Parçaların üzerine elektrolitik yolla pek çok metal (Zn, Cd, Sn, Cu, Ni, Cr, Pb, Ag, Au vb.) ile bazı alaşımlar (pirinç, bronz, Sn-Pb, Au-Cu vb.) kaplanır. Katotta kuvvetli hidrojen ayrışmasından dolayı

hidrojene göre alüminyum gibi elektro-negatif metaller sulu çözelti ile kaplanamaz. Bu durumda erimiş tuzların karışımı 9 elektrolit olarak kullanılır. Bu yöntem güç olduğu için püskürtme, sıcak daldırma gibi yöntemler tercih edilir [10].

Kaplama yüzeyinin iyi bağlanması, alayım kaplaması, parçanın her yerinde kalınlığın aynı olması ve gözeneksiz olması gibi istekler siyanür bileşimleri gibi çok karmaşık banyo bileşimlerinin kullanılmasını gerektirebilir. Karmaşık banyo bileşimlerinin kullanılmasıyla kaplama hızı düşer. Parlak, ince taneli kaplama elde etmek için organik katkılardan yararlanılır. Dekoratif parlak kaplama yüzeyleri nikel veya bakır-nikel kaplanır. Bu durum görüntüyü ve korozyona dayanıklılığı iyileştirir. Parçanın yüzeyine doğrudan sert krom kaplama uygulanarak iş parçasının aşınma dayanımı artırılır [11,12].

1.1.2.2. Akımsız kaplama

Uygun çözeltiler kullanılarak bazı metaller az asal olan metal üzerine (çelik üzerine Al veya Sn; alüminyum üzerine Zn gibi) akım kaynağı kullanılmadan kaplanabilir. Asallık sırasını karmaşık çözeltiler kullanarak değiştirmek mümkündür. Bu durum bakır üzerine su kaplama olarak örneklenebilir [13].

1.1.2.3. Sıcak daldırma

Çelik parçalar Zn, Sn, Al, Pb gibi erimiş metal banyosuna daldırılıp soğumaya bırakılır. Bazı durumlarda dökme demir de aynı işlemle yapılabilir. Bu yöntem diğer yöntemlere göre daha kalın, üniformluğu daha az bir yöntemdir. Elektrolitik kaplamaya göre ise çok hızlıdır. Bu yöntemle kaplanmış tabakanın dışında saf kaplama metali içinde metaller arası bileşikler bulunur [14].

1.1.2.4. Isıl püskürtme

Ergitilmiş sürekli tel çubuk veya toz halindeki malzemenin, iş parçasının yüzeyine, tabanca yardımıyla püskürtülmesi işlemidir. Kaplama malzemesi olarak Al, Zn, Sn, Cu, Pb, pirinç gibi metaller veya seramik (oksit, silikat ve karbür gibi) kullanılabilir. Elektrik arkı yardımıyla ergitme gerçekleştirilir. Plazma arkı, yüksek sıcaklıkta eriyen malzemeler için kullanılır. İş parçasının yüzeyi, kum püskürtülmek suretiyle pürüzlendirilerek mekanik kenetlenmenin tam verimli olması sağlanır [14].

1.1.2.5. Difüzyon kaplaması

Çelik iş parçasının, bazı yumuşak metallerin saf veya bileşik halindeki tarzları içine gömülmesi ile yapılan kaplamadır. Nötr veya redükleyici atmosfer altında uygun bir sıcaklıkta ısıtılır. Kaplama malzemeleri bir gaz fazından veya doğrudan geçerek iş parçasının yüzeyine yayılarak iş parçasını alaşımlandırır [14].

1.1.2.6. Giydirme

Kaplama malzemesi ile iş parçasının birlikte haddelenmesi ile elde edilir. Giydirme yöntemine karbon çeliğinin paslanmaz çelikle, yüksek dayanımlı alüminyum alaşımının saf alüminyum giydirilerek korozyona karşı mukavemeti sağlanması örnek olarak verilebilir [15].

1.1.2.7. Kaynak kaplaması

İş parçası yüzeyine ark kaynağı yöntemi veya gaz ile dolgu yapılmak suretiyle oluşan kaplamadır. Bu yöntem kullanılarak elde edilen korozyona dayanıklı ve sert olan tabaka 1,5 mm'nin altına inemez [15].

1.1.2.8. Buhar yoğulturma kaplaması

İş parçasının üzerine kaplama malzemesi buhar halindeyken yoğulturularak yapılan kaplama yöntemidir. Al, Cu, Ti, Mo, W, V gibi çok çeşitli metallere olabildiği gibi; nitrür, karbür, oksit gibi seramik bileşikler de kaplama malzemesi olarak kullanılır [15].

1.1.3. Kaplama teknikleri

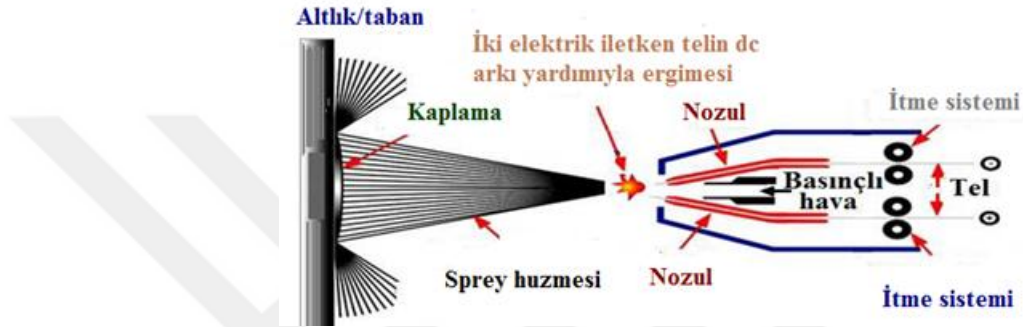
Esas olarak malzemeyi kullanıldığı ortam etkilerinden korumak ve görünümünü iyileştirmek amacıyla bir malzemenin çöktürülmesi ya da bir malzeme yüzeyine başka bir malzemenin katılması ile uygulanmakta olan yüzey kaplamaları kullanılır. Fiziksel buhar biriktirme (PVD), iyon ışın destekli biriktirme (IBAD), kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve bunların plazma varyasyonları gaz hali proseslerinden en önemlileridir [16].

Çözelti hali prosesleri ise elektrokimyasal biriktirme, kimyasal çözelti biriktirme ve sol jel prosesidir. Ergimiş veya yarı ergimiş hal prosesleri; termal sprey, lazer ve kaynak prosesleri ile bunların plazma varyasyonlarıdır. Katı hal prosesleri ise diğer proseslere göre daha kalın kaplamaların gerçekleştirildiği difüzyon esaslı uygulamalardır [16].

1.1.3.1. Termal sprey kaplama

Termal sprey kaplama teknolojisi; çok sayıda farklı yöntemin oluşturduğu bir kaplama teknolojisi ailesinin genel adıdır. Mevcut kaplama teknolojileri arasında en yaygın endüstriyel kullanım alanı bulmuş olan yöntemdir. Termal sprey kaplama teknolojisinde asıl amaç, metal ve alaşım yüzeylerinde aşınmaya dayanıklı, ince ve koruyucu değeri yüksek bir kaplama tabakası meydana getirmektir. Bu yöntemle kaplanan malzeme aynı zamanda metallerin tokluk ve şekillendirilebilme ile seramiklerin korozyon, aşınma ve yüksek sıcaklık dayanımı gibi üstün özelliklerine bir arada sahip olur [17].

Kaplama işlemi Şekil 1.1.'de gösterildiği gibi; bir yüksek sıcaklıkta tel ya da çoğunlukla toz şeklindeki kaplama malzemesinin ergitilip aynı anda önceden hazırlanmış metal yüzeylere çok hızlı bir şekilde püskürtülmesinden ibarettir. Elektrik ya da alev ısıtmasıyla elde edilen termal enerji, kaplama malzemesini eritmek için kullanılır. Ark ve plazma prosesleri elektrikli ısıtma için; yanıcı gazlar ise alevle ısıtmada kullanılır. Şekil 1.2.'de termal spray kaplama yöntemi gösterilmiştir [17].



Şekil 1.1. Termal spray proseslerinden elektrik ark spray kaplamanın şematik görünümü [18]



Şekil 1.2. Termal spray kaplama yöntemi

1.1.3.2. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi (PVD)

Metal ve alaşımlar, iletken, yarı iletken ve yalıtkan malzemelerin ticari olarak kaplanmasında, buhar fazında kaplama yapımında en önemli teknolojilerden biri olan fiziksel buhar biriktirme yöntemi kullanılmaktadır. Atomların yüzeyden sıçratılarak

kopartılması veya vakum altında bulundurulanan malzemelerin buharlaştırılarak kaplanacak taban malzeme yzeyine biriktirilmesi esasına dayanmaktadır [19].

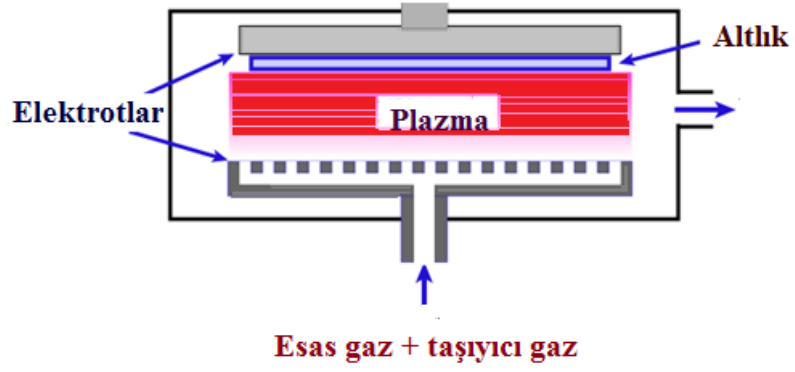
1.1.3.3. Kimyasal buhar biriktirme yzntemi (CVD)

Kimyasal reaksiyon yoluyla buhar veya gaz fazından bir katının ısıtılmış bir yzeye kaplanması, kimyasal buhar biriktirme yzntemi olarak adlandırılır. şekil 1.3.'de plazma kimyasal buhar biriktirme ve şekil 1.4.'de termal kimyasal buhar biriktirme yznteminin şematik gsterimi verilmiştir.

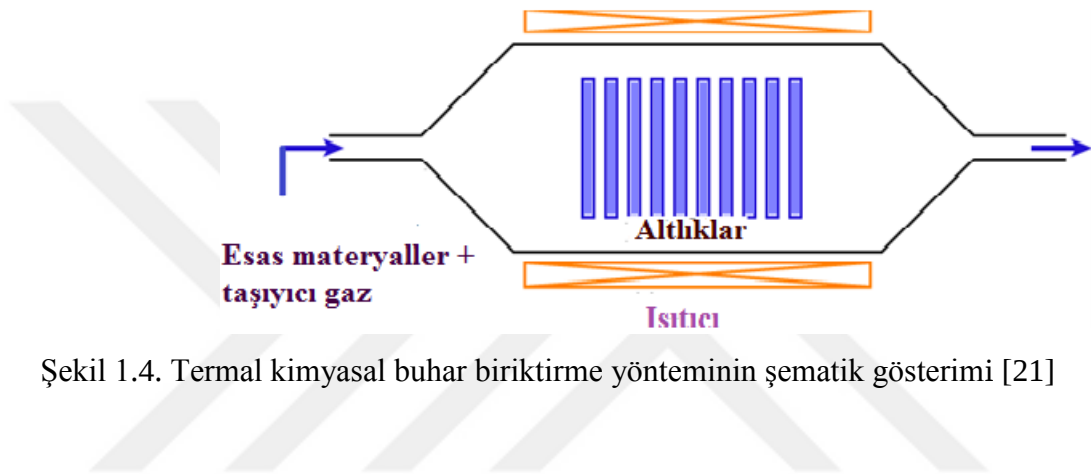
Metallerin yanı sıra karbon ve silisyum gibi metalik olmayan elementler de kaplamada kullanılabildiği iin, kimyasal buhar biriktirme yzntemi iok yznlü bir işlemdir. Bu yzntem ile karbürler, oksitler, intermetalik malzemeler, nitritler ve biriok diğer bileşikler kaplanabilmektedir. Kimyasal buhar biriktirme yzntemi, yarı iletkenler ve diğer elektronik aletlerin üretim işleminde, yatakların, takımların ve diğer aşınmaya dirençli parçaların kaplanmasında, korozyona dirençli ürünlerde, optik, yekpare parçalar, iok küiük tozlar ve yüksek dayanımlı fiberler uygulamalarında iok önemli bir yer edinmiştir [19,20].

Kimyasal buhar biriktirme prosesleri;

- Plazma kimyasal buhar biriktirme,
- Metal-organik kimyasal buhar biriktirme,
- Termal kimyasal buhar biriktirme,
- Kapalı reaktör kimyasal buhar biriktirme veya paket sementasyon,
- Lazer kimyasal buhar biriktirme,
- Kimyasal buhar süzmedir [20].



Şekil 1.3. Plazma kimyasal buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi [21]



Şekil 1.4. Termal kimyasal buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi [21]

1.1.3.4. Galvanizleme

Galvanizleme, dökme demir veya şekillendirilmiş çelik parçaların kaplanmasında uygulanan bir yöntemdir. Galvanizlemede kaplanacak parçalar gruplar halinde ya da tek tek çinko banyosuna daldırılır ve istenilen kaplama kalınlığına ulaşıldıktan sonra banyodan çıkarılmaktadır. Elektrik direkleri, cıvatalar, çiviler, borular, tel örgüler, otoyol kenar korkulukları vb. galvanizlemenin genel uygulama alanları olarak sıralanabilir. Galvanizleme işleminde kaplanacak parça, şekillendirme işlemlerinden sonra kalan yağ, gres gibi artıklar ya da boya kalıntıları içermesi halinde solvent ya da öne alkali ile temizleme işlemlerinden geçirilmektedir. Kaynak cürufu gibi kalıntılar zımparalama ya da kumlama, epoksi esaslı boya kalıntıları ise yakılma suretiyle giderilmektedir. Sulandırılmış hidroklorik asit veya sülfürik asit ile parça yüzeyindeki tufal ya da pas tabakaları giderilmektedir. Parçanın flakslanma işlemi, daldırma işlemine kadar yüzeyin yeniden oksitlenmesini engellemek ve çinko

banyosuna daldırma öncesi yüzeyde kalabilecek sülfat, oksit ve klorür şeklindeki kalıntıları uzaklaştırmak için yapılır. Flaksın uygulanış biçimine göre galvanizleme, yağ ve kuru galvanizleme olarak ikiye ayrılır. Yağ galvanizleme işleminde flaks çinko banyosunun bariyerle ayrılmış başka bir bölümünde yüzeyde yer almaktadır (Şekil 1.5.). Asitlemeden sonra durulanmış ıslak çelik parçaları flaks tabakasından geçirilerek çinko banyosuna daldırılarak diğer taraftan çıkarılmaktadır. Kuru galvanizleme yönteminde, çelik parçalar yağ giderme ve asitleme işlemlerinden sonra flaks çözeltisine daldırılmaktadır (Şekil 1.6.). Flakslanan parçalar kurutularak başka bir işleme tabi tutulmadan çinko banyosuna daldırılmaktadır. Banyo yüzeyinde bulunan kül daldırma ve çıkarma öncesinde sıyırılmaktadır. Banyodan çıkan parçalar soğutulmaktadır. Her iki yöntemde de parçalar aşırı çinkonun uzaklaştırılması ve kaplamanın homojen dağılması için santrifüjden veya titreşimden geçirilmektedir [22,23].



Şekil 1.5. Yağ galvanizlemenin şematik görünümü [22,23]



Şekil 1.6. Kuru galvanizlemenin şematik görünümü [22,23]

1.1.3.5. Sol - jel kaplama yöntemi

Bir sıvı içerisinde bulunan katı taneciklerden kolloidal süspansiyonların (sol) ve sonrasında sürekli bir sıvı faz içerisinde üç boyutlu katı inorganik ağ yapılarının (jel) oluşmasını içerir [24].

1.1.3.6. Emaye kaplama

Emaye, birtakım inorganik malzeme karışımlarının pişirilmesi ya da ergitme sonucu elde edilen katı camsı yapıda olan maddedir. Emaye kaplama yöntemi de bu malzemenin cam, değerli taş veya metal yüzeyine kaplanması işlemidir. Kaplanan yüzeyin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile uygulanan süreç açısından diğer kaplama yöntemlerinden farklı bazı özellikler gösterir. Çeliğin emaye kaplanması alanında, dekoratif görünümü, emayenin mükemmel yapışması, yüksek korozyon direnci sağlaması, fiziksel ve kimyasal açıdan dış etkilere dayanımı gibi nedenlerle önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Emaye kaplama yöntemi, emaye tekniklerinin son yıllarda geliştirilmesi ile sadece dekoratif amaçlı eşyalar, mutfak eşyalarının kaplanması, endüstriyel kazan ve kaplarda değil ulaşım, nakliye ve iş merkezlerinin bina ve yapı dış yüzeyinde kullanılan çelik esaslı malzemelerin kaplanmasında da uygulama alanı bulmaya başlamıştır [25,26].

1.1.3.7. Termokimyasal kaplama yöntemleri

Termokimyasal işlemler, nitrürleme, vanadyumlama, karbürleme, borlama, dekarbürizasyon veya niobyumlama gibi yöntemleri kapsar. Bu yöntemler ile yabancı element atomlarının iş parçasına difüzyonuyla malzemenin yüzeyinin değiştirilmesi amaçlanır. Karbürleme ve nitrürleme bu yöntemler arasında en tanınmış yöntemler iken, daha az yaygınlaşmış kromlama, vanadyumlama, niobyumlama yöntemleri vasıtasıyla malzemelerde difüzyon zonları, karbür tabakaları ve karışık kristal yapıya sahip yüzey tabakaları üretilebilir. Termokimyasal yöntemler kullanılarak malzemelerin korozyon direnci veya aşınma direncini artırmak mümkündür. Difüzyonal kaplama proseslerinde, Ti, V, Nb gibi metalik veya C, N, B gibi metalik olmayan kaplama malzemesi ile altlık malzemesi arasında kimyasal bir etkileşim söz konusu olur. Tabaka ile taban malzemesi arasındaki bu elementel alışveriş sonucu altlık- kaplama arasında kuvvetli bağlar meydana gelir [27,28].

1.2. PTA Kaynak Yöntemi

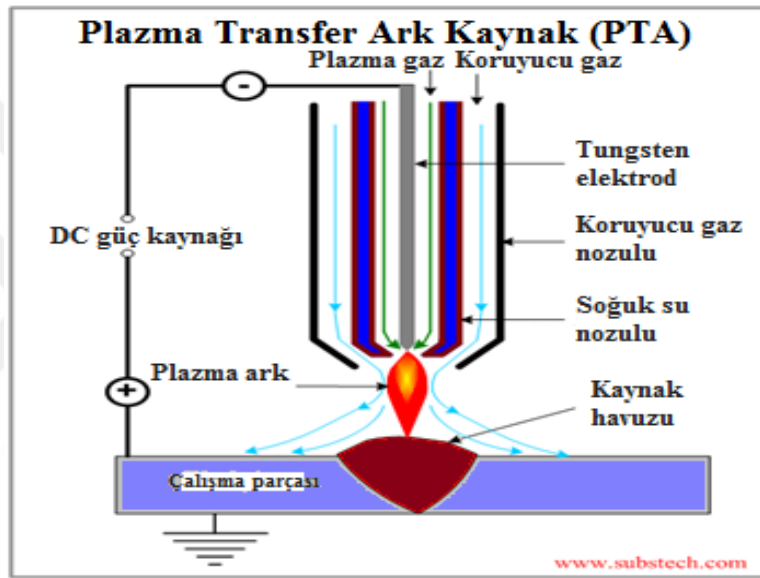
1.2.1. Plazma ve plazma kaynağı

Maddeler gaz fazında bulunduklarında türlerine, özelliklerine ve doğalarına bağlı olarak değişen bir sıcaklığa kadar ısıtıldıklarında, moleküllerindeki hareketlenme nedeni ile atomları dış kabuk elektronlarını yitirerek pozitif yüklü iyonlar haline dönüşürler. Sıcaklık yükseldikçe, iyonlaşma derecesi artar, sıcaklık birkaç on bin derece gibi maddeye bağlı olarak değişen bir eşik değerden sonra, ortamda yalnız pozitif yüklü iyonlar ve negatif yüklü serbest elektronlardan oluşmuş bir karışım bulunur. Elektriksel olarak nötr ve yüklü parçacıklardan oluşması sebebi ile iletken olan bu karışıma plazma denilmektedir. Evrende yıldızlar, güneş, yıldırım, kozmik ışınlar ve elektrik boşalmalarında görülen bu hal, özellikleri bakımından maddenin bilinen üç halinin dışında kalması sebebiyle maddenin sıcaklık ölçeğinde dördüncü hal olarak tanımlanır. Plazma, bir ark içinden geçen yüksek sıcaklığa ve elektrik iletkenliğine sahip gaz sütunudur [29,30].

Prensip olarak bu cihaz, bir TIG kaynak torcunu andırmakla birlikte, elektrod torcun memesinden daha geride bulunması ve ark nozuldaki çok küçük çaptaki delikten geçerken büzülmesi ile fark oluşturmuştur. TIG kaynağı için kullanılan alışılmış tesisattan farklı olarak arkın başlatılmasını sağlayacak bir pilot ark devresi ile bir plazma gazı donanımı eklenmiştir. Kaynak işleminde erimiş metalin uzaklaştırılmaması için düşük debi gereklidir. Doğru akımla elektrod eksi kutupta iken bu yöntemde kaynak yapılır. Bu şekilde çelik, paslanmaz çelik, titanyum alaşımları ve nikel alaşımları kaynak edilebilir. Alüminyum ve magnezyum alaşımlarında doğru akımla elektrod artı kutupta kaynak işlemi uygulanır. Böyle bir kutuplama ile arkın temizleme etkisinden yararlanılarak yüzeydeki oksit tabakası kırılır. TIG yöntemine göre bu yöntemde ark enerjisi daha yoğun olduğu için, daha dar kaynak dikişi elde edilir [30].

Büyük gelişmeler gösteren bu önemli yöntemi 1978'de NASA'nın inceleyerek, uzay mekiğinin alüminyum kısımlarının kaynağında uygulanabilirliğini ve TIG yönteminin yerinin alabileceğini açıklaması üzerine bu yöntem, ticari olarak büyük bir önem kazandı. Yöntemin farklı kalınlıklara uygulanması ile parametrelerin uyum programları geliştirildi ve bu şekilde değişken kutuplamalı plazma ark kaynağı uzay

programlarında önemli bir role sahip olmuştur. İlk uygulama yıllarında kararlı plazma arkı en fazla 500 A akım şiddetlerinde elde edilebildiğinden bu yöntem sadece mekanize sistemler yardımıyla kullanılabilirken 1979'lara doğru 0.1 A akım şiddetlerinde dahi kararlı bir ark oluşturabilen mikro-plazma yöntemi gibi sistemlerin geliştirilmesiyle plazma el torçlarının yaygınlaşmasına olanak sağladı. Plazma ark ile kesme yöntemi, sağladığı üstünlüklerden ötürü yoğun bir biçimde endüstriyel alanda sıkça kullanılmaya başlanmış olup kesme kalitesi çok daha geliştirilmiş olduğundan son yıllarda uygulama alanına girmiş lazerle kesme yöntemi ile yarışmaktadır [31].



Şekil 1.7. Plazma ark kaynağının şematik görünümü [32]

1.2.2. Parametreleri

Plazma akımı, plazma gazının çeşidi, iç nozul çapı ve şekli, plazma gazının debisi, koruyucu gaz ve koruyucu gaz debisi; bu yöntemdeki temel değişkenlerdir [33].

1.2.2.1. Elektrod

Plazma arkı ile kaynak yönteminde ergime sıcaklığı 3370 °C olan saf tungsten elektrodlar kullanılabildiği gibi DAEN kutuplamada kullanılabilen zirkonyum veya

toryum ile alaşımlanmış ergimeyen elektrodlar da kullanılabilir. TIG kaynağında kullanılanlara göre boylar daha uzundur. Uygulamada, genellikle 2.4 mm çapındaki elektrodlar 150 ampere kadar olan kaynak işlerinde, 5 mm çapındaki elektrodlar 150 amperin üzerindeki işlerde de tercih edilirler [33].

1.2.2.2. Gaz nozulu

Plazma ark kaynağı nozulları, bakır elementinden üretilmiştir. Gaz nozulunun ömrü ark oluşum sayısı, elektrod ucunun merkezlenmesine bağlıdır. Nozul deliğinin çapına bağlı olarak, doğru akım kullanılması gerekir. Doğru akım kullanılmazsa çift ark oluşacak ve nozul hasara uğrayacaktır. Nozul ömrü uzatmada bir etken de soğutma işlemidir [34].

1.2.2.3. Plazma ve koruyucu gazlar

Koruyucu gaz olarak; argon, argon (% 95) / hidrojen (% 5), helyum ve helyum (% 75) / argon (% 25) gaz ve gaz karışımları kullanılır. Plazma gazının asal karakterde seçilmemesi durumunda tungsten elektrodun tükenmesi problemi ile karşılaşılır. Koruyucu gazlar da genellikle soy gaz olmaktadır. Aktif koruyucu gazlar ise kaynak metali özelliklerine ters yönde etkiledikleri için kullanılmazlar. Koruyucu gaz ve plazma gazı çoğu uygulamalarda aynıdır [35].

Plazma ark kaynağında; argon gazı plazma gazı olarak kullanılır. Helyumun kullanılması halinde arkta daha yüksek sıcaklıklar elde edilmesine rağmen, torç elemanlarının aşınarak tükenmesi söz konusudur. Sürekli olarak yedek parça gereksinimi olması ve bunların sağlanması ile değişimlerinde zaman kaybı yaşanması işin yapım süresini etkileyerek maliyetin artmasına neden olur. Plazma gazı, kaynak edilecek malzemelere göre farklı karışımlarda oluşturulabilir. Kaynak bağlantısından istenen nüfuziyet ve kaynak dikiş kalitesi gaz seçimindeki başlıca etkindir. Argon gazı karbonlu çelikler veya ince taneli yapı çeliklerinin kaynağında plazma gazı olarak

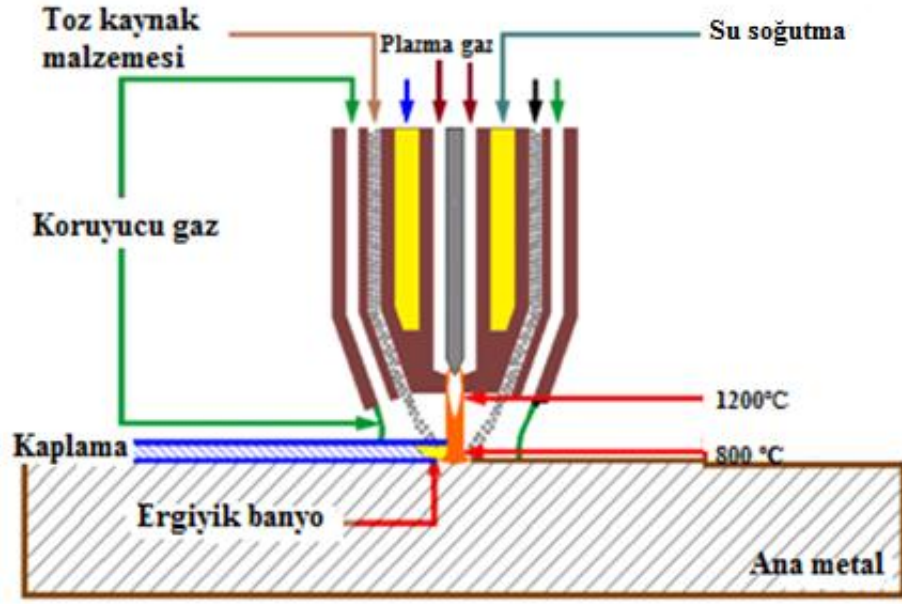
kullanılır. Argon az miktardaki hidrojen karışımında bazı metal ve alaşımlarının kaynağında iyi sonuçlar sağlamaktadır [36].

1.2.2.4. Plazma ark kaynak torçları

Plazma ark kaynağı uygulamalarında, kaynak bağlantısının kök kısmını da korumak gerektiği hallerde kök gazı kullanılabilir. Kök gazı olarak argon, helyum ve azot kullanılabilir. Bu yöntemde el ile kullanılan kaynak torçları, TIG kaynağında kullanılanlara göre daha karmaşık yapıya sahip olduklarından daha ağırdırlar. Elle kaynak torçları, eğik bir kaynak kafası ve tutma sapından oluşur ve TIG torçlarına göre daha büyük çaplıdır. Elle kullanıma uygun plazma ark kaynak torçları, 70° ve 90°'lik açılarda eğimli kaynak kafasına sahip olarak tasarlanmaktadır. Bu torçlar doğru akım doğru kutuplama ile 225 A'e kadar kaynak akım şiddetleri ile ya da doğru akım ters kutuplama ile 70 A'e kadar akım şiddetlerinde kullanılmak üzere üretilirler. DAEP kutuplama alüminyumun kaynağında tungsten ya da su soğutmalı bakır elektrod kullanılmak üzere sınırlı olarak kullanılmaktadır [37].

1.2.2.5. Plazma ark kaynağında kullanılan teller

Plazma ark kaynağında kaynak ağzının doldurulmasında ek kaynak metali olarak, dolu tel elektrodlar kullanılabilir. Tel seçimi ana metalin bileşimine ve uygulanacak işlemin amacına göre değişir [38].



Şekil 1.8. Plazma Ark Kaynak Yöntemi Mekanizması [37].

1.2.3. Plazma ark kaynağının avantajları

Plazma ark kaynağının avantajlarını şöyle sıralamak mümkündür:

- Anahtar deliği yöntemiyle 12 mm kalınlığa kadar parçaları tek pasoda kaynak ağzı açmadan yapmak mümkündür.
- Kaynakta paso sayısı az ve iş belli bir alanda yoğunlaştırıldığından içyapı değişimleri fazla olmaz.
- MIG-MAG kaynağındaki konik şekilli ark ile karşılaştırıldığında, arkın sütunsu şekli torç ile iş parçası arasındaki mesafenin daha esnek kullanılabilmesini sağlar.
- PTA kaynak torcundaki nozulun dar olması ve elektrodun nozul içine yerleştirilmesinden dolayı kısa ark uzunluğu, tungstenli kaynak elektrodunu kirletmez.
- Özellikle el ile yapılan arkta, ark boyu uzun tutulabildiği için, dikiş kaynakçı tarafından daha rahat izlenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir [39].

1.2.4. Plazma ark kaynağının dezavantajları

- Ekipman ve makine çok pahalıdır.
- Ark dar ve sütunsu olduğundan, ağızdaki toleranslara ve yerleştirmeye karşı daha duyarlıdır.
- Dikkatli kullanım ve fazla bakım gerektirir.
- Elektrodun yerleştirilmesi için, torcun tamamen sökülüp hassas bir şekilde yeniden ayarlanması gerekir.
- PTA kaynak torcu, daha karışıktır. Uygulama için nozul çapının seçimi, hem plazma hem de koruyucu gaz akış oranının ayarlanması, pozisyonu ve uygun elektrod ucu seçimi gerektirir [40,41].

1.2.5. Plazma ark kaynağının kullanım alanları

Genel olarak, aşınmaya maruz olan parçaların kaplanma ve tamirinde kullanılır. Akım, gerilim, gaz miktarı ve dolgu maddesinin bileşimi, kaplanan parçanın kullanım yerine bağlıdır. Supap parçaları, gaz türbini ve yüksek basınçlı buhar tesisleri valfleri, kesici makine bıçakları, saban demirleri, çekiçli değirmenler, çeneler, yataklar, toprak işleme aletleri, el aletleri gibi parçalar kullanım alanlarından bazılarıdır [42-44].

1.3. Aşınma

1.3.1. Aşınmanın tanımı

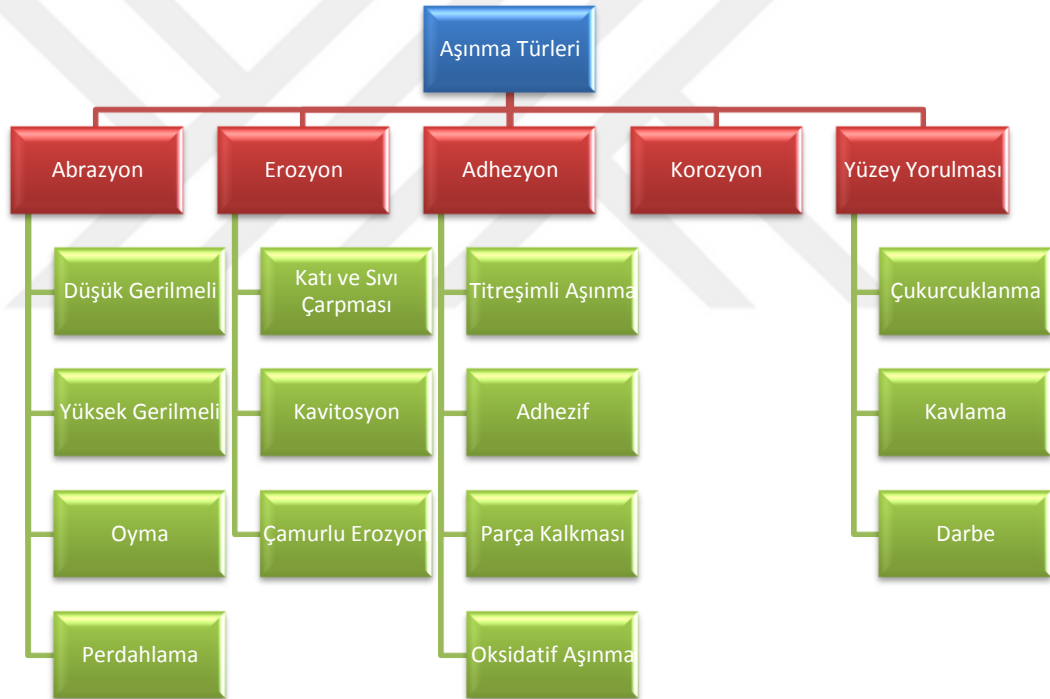
1979'da DIN 50320'ye göre aşınma, kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenilmeyen yüzey bozulmasıdır. Buna göre aşınmadan söz edebilmek için; sürtünmenin olması, mekanik bir etkinin

olması, yavaş fakat sürekli olması, istenilmediği halde meydana gelmesi, malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi şarttır [45].

1.3.2. Aşınma türleri

Aşınma tiplerinin sınıflandırılmasında bir takım fikir ayrılıkları vardır. Bununla birlikte literatür’ de aşağıda verilecek olan sınıflandırmalarda fikir birliğine varılmıştır. Çizelge 1.1.’de aşınma türleri için genel bir sınıflandırma yapılmıştır [46].

Çizelge 1.1. Aşınma türleri [46]



1.3.2.1. Abrazif aşınma

Sürtünen yüzeylerden nispeten daha sert olanın daha yumuşak olanı aşındırdığı, göreceli hareket halindeki bu iki katı yüzey arasına yerleşmiş ve/ veya yüzeylere gömülmüş sert parçacıklar tarafından ya da diğer yüzey boyunca “v” hızı ile kayan karşı

yüzeyde var olan sert çıkıntılarca malzeme koparıldığı aşınma türü abrazif aşınma diye adlandırılır. Yüzeyler arasındaki sert parçacıklar adhezif aşınma ürünleri olarak sistemin içinde olabileceği gibi sisteme dışarıdan da girebilirler. Kopan parçacıklar aşınma sırasında aktif biçimde aşınmaya katılırlar. Sertlik, tane, aşındırıcı veya pürüzün boyutu ve şekli, uygulanan normal yük ve kayma hızı abrazif aşınmayı etkileyen temel faktörler olarak sıralanabilir. Sürtünen yüzeylerden daha sert olanındaki çıkıntıların veya yüzeylerden birisine gömülmüş sert parçacıkların diğer yüzeyi kazıması ile oluşan gövdeli abrazyon, iki gövdeli ve üç gövdeli olarak sınıflandırılabilir.

Üç gövdeli abrazyonda sert parçacıklar irtibat halindeki yüzeyler arasında yuvarlanma ya da kayma suretiyle hareket edebilirken iki gövdeli abrazyona iki yüzey arasında hapsolmuş sert çıkıntılar ya da gömülmüş sert parçacıklar yol açar. Şekil 1.9.'da iki ve üç gövdeli abrazyonun şematik hali görülmektedir. Ağırlık kaybının üç gövdeli aşınmada iki gövdeli aşınmaya göre daha az olduğu bilinmektedir. Ayrıca üç gövdeli aşınmada, aşındırma açılarındaki farklılık nedeni ile de aşındırıcıların küçük bir kısmı aşınmaya neden olur. Öğütme, kesme ve talaşlı imalat işlemleri iki gövdeli abrazyona örnek olarak verilebilir. Abrasif aşınma ve parlatma da üç gövdeli abrazyona örnek olarak verilebilir [47].

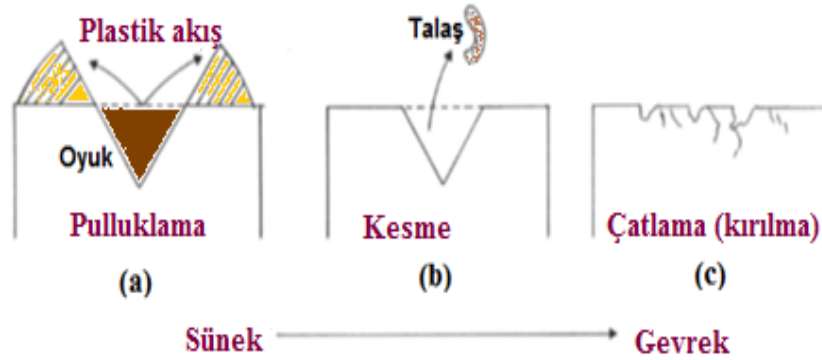


Şekil 1.9. İki ve üç gövdeli abrazif aşınma [47]

Artan sertlik, azalan deformasyon, sertleşme hızı ve ana fazdan daha sert, tok, elastik modülü yüksek ve iri boyutlu partiküller ile abrazif aşınma direncini arttırmak mümkündür. Şekil 1.10.'da gösterildiği gibi abrazif aşınma esnasında malzeme kaldırmanın üç ana mekanizması mevcuttur: pulluklama, mikro kesme ve yüzey çatlaması. Pulluklama, aşınma izi bünyesinde önemli ölçüde bir plastik deformasyonun oluşması sonucu meydana gelir ve aşınma oluşunun iki tarafına da malzeme yığılmasına neden olur (Şekil 1.10.a). Bu işlem yüzeyde tamamıyla sünek plastik

deformasyon oluşturduğundan, aşınmış malzeme yerinden sökülmez, böylece aşındırıcı parçacığın bir kere geçişi esnasında hacimsel kayıp olmaz. Sadece sınırlı miktarda deformasyona malzeme kırılmadan önce tolerans gösterebildiğinden birçok aşındırıcı parçacığın hareketi sonucu elbette ki hacimsel kayıp gerçekleşir [48].

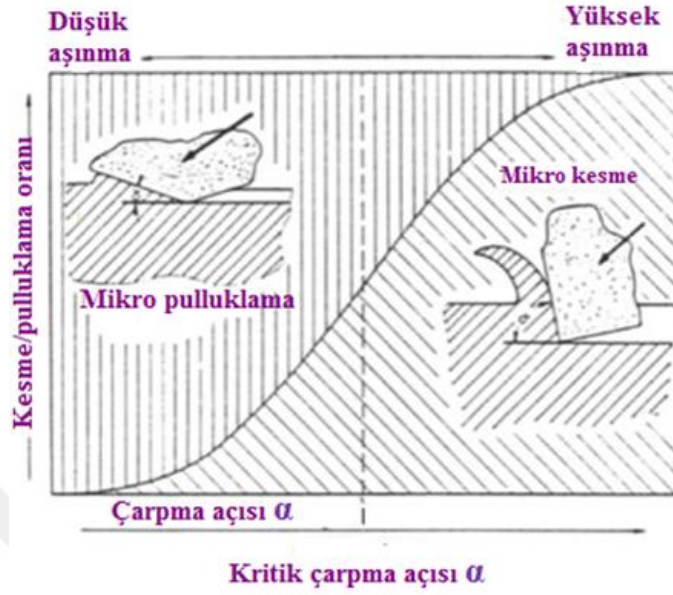
Mikro kesmede aşınma oluşu için çıkarılan malzeme, talaş parçacıklarının, kırık parçaların v.b. oluşumuyla sonuçlanan kırılma ile uzaklaştırılabilir (Şekil 1.10.b) ve aşınma oluklarının hacmine karşılık gelen bariz bir malzeme kaybı meydana gelir. Literatürde mikro-pulluklamanın mikro-kesmeye oranının aşındırıcının çarpma açısına bağlı olduğu kanıtlanmıştır. Mikro-pulluklamadan mikro-kesmeye geçiş çarpma açısı (α) kritik bir çarpma açısı (α_c) değerine ulaştığında oluşur. Çarpma açısı (α), aşındırıcı parçacığın ön yüzü ile aşınmamış yüzey arasındaki açıyı tanımlar (Şekil 1.11.). Bu kritik açı değeri aşındırıcı parçacık ön yüzü ve aşınmış malzeme arasındaki sürtünmeye bağlı olduğu için mikro talaş oluşumu için büyük oranda farklılık gösterir. Bölgesel yüzey gerilimi kritik bir değere ulaştığında aşınma nispeten gevrek kırılmayla (çatlama) meydana gelir (Şekil 1.10.c). Bu tür bir aşınma bazen aşınmaya dirençli alaşımların daha sert fazlarında (mesela karbürler, metaller arası bileşikler) bölgesel olarak gözlemlenebilir [49,50].



Şekil 1.10. Malzeme kaldırmanın üç ana mekanizması [50]

Şekil 1.11.'de çarpma açısının, kesmenin pulluklamaya olan oranına etkisi gösterilmektedir. Bu şekil, çarpma açısındaki artışın büyük ağırlık kayıplarına sebep olduğunu açıkça göstermektedir. Aşınma mekanizması saf mikro-pulluklamadan mikro-kesmeye doğru aşınmış yüzeyin sertliğinin artması ile değişir. Literatürde çeliklere uygulanan tek nokta çizik testi sonuçları ile batma derecesinin artarken, abrazyon aşınma mekanizmasının pulluklamadan takozlama tipine ve daha sonra ise kesme tipine

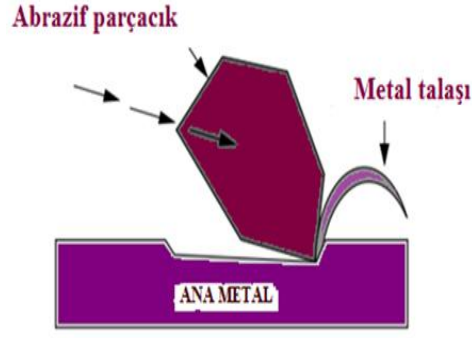
dönüştüğü görülmüştür. Şekil 1.11.'de pulluklama, takozlama ve kesme sonucunda oluşan aşınma izleri görülmektedir [50].



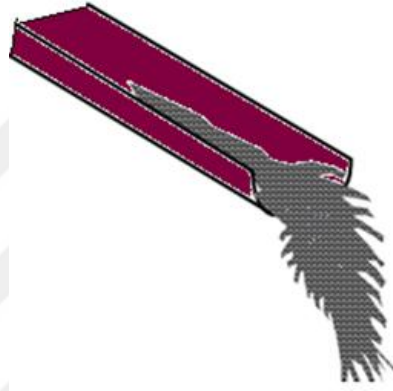
Şekil 1.11. Çarpma açısının, kesmenin pulluklamaya olan oranına etkisi [50]

1.3.2.1.1. Düşük gerilmeli abrazyon

Şekil 1.12.'de olduğu gibi kırılma dayanımlarının altında baskılanan, kayan aşındırıcıların kesme hareketinden düşük gerilmeli abrazyon meydana gelir. Genellikle kayma gibi sürtünme durumlarında, sürtünen yüzey malzemesinden daha sert olan aşındırıcı parçacıkların bulunması nedeniyle malzemenin yüzey tabakasından küçük parçacıkların ayrılmasını içerir. Bu tür abrazif aşınmada, aşınma yüzeyleri çizik (sıyrık) içerir ve yüzey altı deformasyonu en az seviyededir. Aynı zamanda çizik abrazyonu olarak adlandırılan bu durum tüm tribolojik aşınmaların %80-90'ında başta gelen hasar mekanizmasıdır. Düşük gerilmeli abrazyona uğrayan yüzeylerde malzemenin sert, keskin olan parçacıklar tarafından kazınıp uzaklaştırıldığı görülür. Karbür içeren sert dolgu alaşımları düşük gerilmeli abrazyona karşı genellikle tercih edilir. Darbe olmaması sebebiyle kırılgan yapıya sahip olan yüksek karbonlu ve kromlu çelik alaşımları bu tür aşınmalara karşı iyi dayanım gösterirler. Zirai aletler, sulu karışım pompa hazneleri, kum kepçeleri, cevher ayırma makinaları, elekler, oluklar düşük gerilmeli abrazyon ile aşınan parçalara örnek olarak (Şekil 1.13.) verilebilir [51].



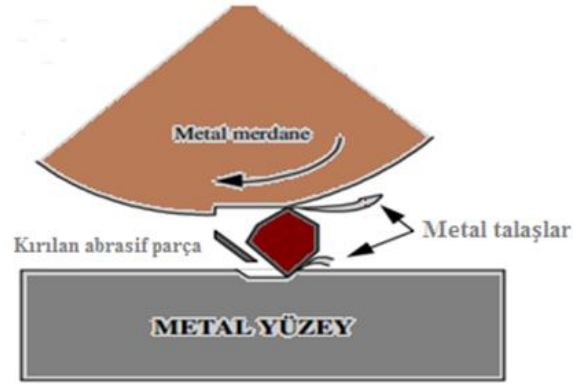
Şekil 1.12. Gerilmeli abrazyon [51]



Şekil 1.13. Düşük gerilmeli abrazyon [51]

1.3.2.1.2. Yüksek gerilmeli abrazyon

Gerilmenin a ındırıcıyı parçalamaya yetecek kadar yüksek olduğu durumlarda gerçekleşen aşınmaya yüksek gerilmeli abrazyon adı verilir. Böyle bir a ınmada, gerilmeler sünek bileşenlerde büyük plastik deformasyonlara sebep olacak kadar fazladır. Düşük gerilmeli abrazyona kıyasla aşındırma daha fazladır. Şekil 1.14.'te görüldüğü üzere metal bir yüzeyle küçük sert aşındırıcı parçalara parçayı kırarak veya    tecek kadar yüksek bir kuvvet uygulandığında sert aşındırıcı parça iki metal yüzey arasına sıkı arak yüzeyleri a ındırmaktadır. Bu durumda yüzeyde çatlamalar görülebilir. Bu a ınmada sert dolgu alaşımı olarak martenzitik, manganlı östenitik çelikler ve bazı karbürlü alaşımlar kullanılabilir. Helezonlar, sıyırıcı bıçakları,    t c ler, toplu-bilyalı    t c ler, merdaneli kırıcılar, merdaneler, zincir di lileri, pervaneli karıştırıcılar yüksek gerilmeli abrazyona maruz kalan parçalara örnek verilebilir [52,53].



Şekil 1.14. Yüksek gerilmeli abrazyon [53]

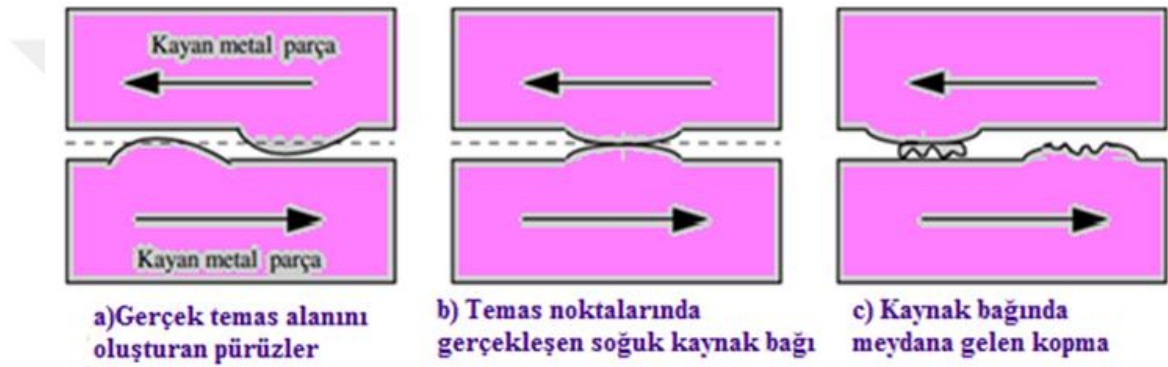
1.3.2.1.3. Oyma abrazyonu

Aşınma yüzeylerinde oyuklar ya da derin yivlerin yaratıldığı yüksek gerilme abrazyonunu ifade eden aşınmaya oymalı abrazyon adı verilir. Yüksek ve düşük gerilmeli abrazyonların darbe ve parça ağırlığı ile birleşmesi sonucu açığa çıkıp çok yüksek aşınma görülmektedir. Ağır aşındırıcı parça metal yüzey üzerine basınçla etki edip yüzeyi oyarak aşındırır. Aşındırıcılar bu aşınma türünde parçayı kesme aletleri gibi aşındırır. Belli bir tokluğa sahip karbür içerikli alaşımlar (örneğin manganlı östenitik çelik matriste dağılmış karbürler) oyma abrazyonunun etkisini azaltmak üzere tavsiye edilmektedir. Yoğun bir şekilde oyma abrazyonuna maruz kalan makineler; silindir kırıcılar, kazıcı kepçeler, döner kaya kırıcıları, ekskavatör kovaları, çeneli kırıcılar, konik kaya kırıcılarıdır [54].

1.3.2.2. Adhezif aşınma

Genellikle aşındırıcı parçacıklar olmadan iki metalik bileşen arasındaki kayma hareketinden doğan ve kayma aşınması olarak da bilinen aşınma türü adhezif aşınmadır. Adhezif aşınma, temas halinde birbirine göre bağıl hareketi olan yağlamasız metal yüzeylerinde gerçekleşir (Şekil 1.15.a). Temas halindeki malzemelere yük uygulandığı zaman, gerçek temas alanı görünür temas alanından çok daha küçük olduğundan temas

noktalarında aşırı gerilmeler meydana gelir. Akma sınırı aşıldığı zaman ise metal-metal temas noktalarında küçük soğuk kaynak bağları oluşur (Şekil 1.15.b). Kaynak bağları oluşturan temas noktaları devam eden hareketin etkisi ile parçalandığı zaman kopan parçacıklar aşınma ürünlerini meydana getirir (Şekil 1.15.c). Kopma (kırılma) çoğu zaman zayıf olan metalde meydana gelir. Temas noktalarında kopmaların devam etmesi ile aşınan kısım kopan parçanın yardımıyla çok daha çabuk aşınır. Kopan parçacıklar bulundukları yerden serbestçe düşebilecekleri gibi yüzeyler arasında kalarak abrasif aşınmaya neden olabilirler [55].



Şekil 1.15. Adhezif aşınma [55]

Temas noktalarında yer alan kaynak bağlarının oluşumunda yüzeylerin fiziksel ve kimyasal etkileşimleri büyük oranda rol oynamaktadır. Yüzeyler sürtünme halindeyken etki eden yükün fazlalığı ile buna ilave olarak yüksek sıcaklık (çalışma koşulları ve temas noktalarında aşırı sıcaklık artışı) kaynak bağlarının oluşmasını kolaylaştırır. Kaynak bağı oluşumu malzeme yüzeylerinin temizliği ölçüsünde kuvvetli olmaktadır. Bağ kuvvetini ve dolayısıyla aşınmayı rutubet, absorbe gazlar ve yağlayıcı maddelerin varlığı azaltır. Adhezif aşınma değişik biçimlerde meydana gelebilmektedir. Uygulanan yük yeteri kadar düşük olduğu zaman, kayma ile beraber sürtünme ısınmasının bir sonucu olarak oksit filmi meydana gelir. Oluşan bu oksit filmi hareketli yüzeyler arasında metalik bağ oluşumunu önlediği için düşük aşınma oranı görülür. Bu tür aşınma oksidatif adını alır. Eğer uygulanan yük fazla ise, malzeme çiftlerinin yüzeyleri arasında metalik bağ oluşumu meydana gelir. Bunun neticesinde meydana

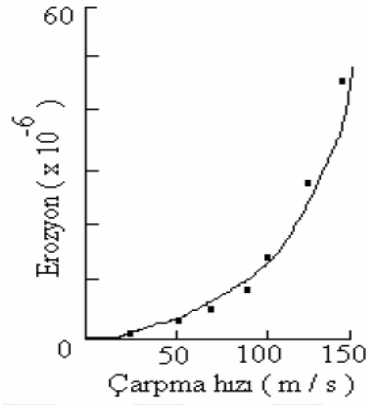
gelen aşınma miktarı oldukça yüksek olup bu aşınma şiddetli ya da metalik aşınma olarak adlandırılır [55].

Parça kalkması (sürtünme yapışması) olarak adlandırılan bir diğer aşınma türü ise şiddetli adhazif aşınmanın özel bir şeklidir. Parça kalkması (sürtünme yapışması), şiddetli bölgesel plastik deformasyon, kırılma ve önemli ölçüde malzemenin bir temas yüzeyinden diğerine geçmesi olarak betimlenebilir. Bu yüzden temas yüzeylerindeki yoğun plastik deformasyon sürtünme yapışması direnci için önlenmelidir. Adhezif aşınmanın bu türü parça kalkmasıdır, eğer aşınma kalıntısı açıklıktan (hacimden) daha büyükse ve hareket eden ögenin hapsedilmesi sonucunda meydana gelir. Çoğu kez hareketli parçaların çok az bir kısmı parça kalkmasına ve takiben hasara maruz kalır. Sert dolgu, çoğu yağlayıcının kararlı kalamadığı çok yüksek sıcaklıklarda çalışan otomobil egzoz supabı gibi yağlamanın imkânsız olduğu durumlarda, adhezif aşınmayı en aza indirmek için önerilir. Yumuşak ve sert yüzeyler temas halinde çalıştığında aşınma çok hızlı bir şekilde meydana gelir. Yumuşak yüzeyler sert yüzeyler ile sürtündükleri zaman daha hızlı aşınacakları için adhezif aşınma yaşanan parçaların sert dolgu kaynağında yüzeyler arasındaki sertlik değeri farkının çok fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Adhezif aşınma, ortaya çıkan aşınmaların % 15'ini oluşturur. Bu tip bir aşınmada darbeye yer olmadığı için martenzitik sert dolgu alaşımlarının kullanılması güzel bir çözümdür. Manganlı östenitik ve kobalt alaşımları da alternatif olarak kullanılabilir. Çelik hadde merdaneleri, taşıyıcı komponentler, yağlanmamış rulman yüzeyleri, makas ağızları, silindir yatakları gibi parçalar genellikle adhezif aşınmaya maruz kalan parçalardır [56].

1.3.2.3. Eroziv aşınma

Erozyon aşınması, abrazif aşınma ile pek çok yönden benzerlik göstermektedir. Aşınmanın, sert partiküllerin yüzeyi kazıyarak değil yüzeye çarparak meydana gelmesi eroziv aşınmanın abrazif aşınmadan asıl farkını oluşturur. Sert parçacıkların bağlı hareketleri katı yüzeye paralel olur ise aşınma, abrazif erozyon olarak isimlendirilir. Gaz türbinlerinin nozul ve kanatçıklarının yanma ürünleri içersindeki katı parçacıklarla aşındırılması eroziv aşınmaya örnek olarak verilebilir. Aşındırıcı parçacığın özellikleri (aşındırıcı boyutu, şekli, sertliği), aşınan malzemenin özellikleri (sertliği ve yüzey

kalitesi) ve ortamın özellikleri (partikülün çarpma veya yalama hızı, çarpma açısı ve birim zamanda çarpan partikül miktarı), erozif aşınmayı etkileyen faktörler olarak üç ana grup altında incelenebilir. Şekil 1.16.'da çarpma hızının erozyon aşınmasına olan etkisi görülmektedir [57].



Şekil 1.16. Çarpma hızının erozyon aşınmasına olan etkisi [57]

Erozif aşınma değişik şekillerde gerçekleşebilir. Sert parçacıklar yüzeye dik bir şekilde hareket eder ise aşınma, çarpma erozyonu olarak adlandırılır. Akışkan esaslı hareketli parçacıklar sebebi ile çarpma erozyonu oluşur. Hava ya da sıvı akımı içerisinde hareket eden bir parçacığın bir yüzey ile karşılaştığı zaman kinetik enerjisinden temas gerilimi ortaya çıkar. Çarpma erozyonu çarpma açısı ile farklılık gösterir. Kavitasyon ise hava kabarcıklarının türbülans nedeniyle patlamasını içerir. Bu kabarcıklar malzeme yüzeyinde patlar ise, oluşan şok dalgaları ile aşınma ortaya çıkar ve bu tip aşınmaya kavitasyon erozyonu denir [57].

1.3.3. Ölçüm metodları

1.3.3.1. Ağırlık farkı metodu

Ekonomik olmasının yanı sıra ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesi dâhilinde bulunması nedeniyle en çok kullanılan bir yöntemdir. Ağırlık kaybının ölçülmesi oldukça duyarlı bir terazi (10^{-4} veya 10^{-5} g hassasiyetinde) yardımı ile yapılır. Bu metoda göre, aşınma miktarı gram veya miligram olarak ifade edildiği zaman, birim

sürtünme yoluna karşılık olan ağırlık kaybı miktarı (g/km), (mg/m) ile ifade edilebilir. Ağırlık kaybı birim alan için hesap edilecek olursa (g/cm²) gibi bir birim kullanılabilir. Ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı olarak belirtildiği durumlarda, yine ağırlık kaybı esasına dayanarak kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katmak koşuluyla birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından yola çıkarak da bulunabilir.

Bu yöntemde en çok kullanılan bağıntılar şunlardır [58].

$$W_a = \frac{\Delta G}{d.M.S} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{N.m}} \right]$$

Burada;

W_a : Aşınma oranı (mm³/N.m)

ΔG : Ağırlık kaybı (mg)

M : Yükleme ağırlığı (N)

S : Aşınma yolu (m)

d : Yoğunluk (g/cm³)

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

$$W_r = \frac{1}{W_a} \left[\frac{\text{N.m}}{\text{mm}^3} \right]$$

1.3.3.2. Kalınlık farkı metodu

Aşınma esnasında meydana gelecek boyut değişiminin, başlangıçta ki boyutla karşılaştırılması sonucunda elde edilir. Kalınlık farkı olarak belirlenen bu değerden gidilerek birim hacimdeki aşınma miktarı ve hacimsel kayıp değeri hesaplanır. Kalınlık ölçümleri, hassas ölçme aletleri yardımıyla ±1 μm duyarlılıkta ölçülmelidir [58].

1.3.3.3. İz değişimi metodu

Sürtünme yüzeyinde geometrisi belirli bir iz plastik deformasyon metoduyla oluşturulur. Deney süresince bu izin karakteristik boyutunun (çapının) değişimi ölçülür. Vickers veya Brinell sertlik ölçme ucu iz bırakıcı olarak genelde tercih edilir. İz boyutlarındaki (elmas piramit veya bilyanın bıraktığı) değişim mikroskop vasıtasıyla ölçümlendirilir [59].

1.3.3.4. Radyoizotop metodu

Sürtünme yüzey bölgesine proton, nötron veya yüklü α – parçacıklarının bombardıman edilmesiyle radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Bu yöntemin avantajı aşınmanın iyi derecede hassasiyetlerle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesidir. Dezavantajı ise ekonomik olmamasıdır. Bu nedenle ancak özel amaçlarla kullanılır. Aşırı hassas ölçümlerin dışında yaygın olarak kullanılan bir metot değildir [60].

1.4. Hardox Çelik Türleri ve Özellikleri

Almanya’da yapılan araştırmalara göre günümüzün en önemli problemlerinden biri olan aşınmanın endüstriye verdiği zarar her yıl için 2 milyar Euro üzerinde olduğu belirtilmektedir. Endüstride kullanılan makine parçalarının birbiri ile teması ya da çevre şartları sonucu aşınmalarıyla orijinal ölçülerini kaybetmesi makinenin çalışma düzeninin bozulmasına sebep olurken verimini düşürmektedir. Makine elamanları aşınmanın yanı sıra korozyon, darbe, iç gerilmeler ve yorulma maruz kalarak sistemin tamamen durmasına neden olur. Hareket halindeki yüzeyler arasında sürtünme sonucu abrasiv aşınma meydana gelmektedir [61].

Akışkan yataklarda, yüksek fırın bacalarında ve kum ocaklarında kumların kamyonlara yüklenmesi gibi alanlarda, bir akışkan sıvı veya gaz akımı içerisindeki sert partiküllerin malzeme yüzeyine çarpmasıyla meydana gelen ve bir bakıma abrasiv

aşınmaya benzeyen erozyon aşınmasına çok sık rastlanır. Erozyon aşınma deneyleri ile aşınma miktarı belirlenmektedir. Aşınma şiddetini aşınmaya maruz kalan sistemin elemanları, malzeme cinsi, kimyasal içerik, sertlik, elastik modülü, yüzey pürüzlülüğü, uygulanan ısı işlemler, çevre, çalışma ortamı, aşındırıcının tane boyutu ve şekli belirler. Sertlik malzeme seçiminde en önemli parametrelerden birisidir ve sert malzemelerin aşınma dirençlerinin de yüksek olduğu bilinmektedir. Aşınma problemine karşı aşınmaya dayanıklı yeni malzemeler geliştirilmektedir. Abrasiv aşınma direnci oldukça yüksek olan Hardox serisi çelikler de bu tür malzemelerden birisidir. Özellikle Hardox450 tipi çelik, piyasadaki yüksek dayanımlı diğer çeliklere göre, en az beş kat daha uzun ömürlü olup, kepçe ve damperli kamyonların kasa imalinde yaygın olarak kullanılmaktadır [61].

Hardox, aşınma direnci konu olduğu zaman ihtiyaç duyulan en üst düzeydeki beklentilere yanıt verebilen bir aşınma levhasıdır. Düzgün dağılımlı yüksek sertlik, yüksek mukavemet ve mükemmel tokluğun eşsiz bir şekilde bir araya getirilmesi bu malzemeyi birbirinden farklı çeşitli uygulamalar için çok uygun hale getirmiştir [61].

Hardox, su verilmiş ve harelenmiş bir aşınma levhasıdır. Ürün, 1970 yılında ilk defa piyasaya sunulmuş ve o günden bu güne kadar değişik ihtiyaçları karşılamak üzere sürekli olarak geliştirilmiştir. Hardox levhasının, diğer yüksek mukavemetli konstrüksiyon levhalarına nazaran 4-5 kat daha sert olmasına rağmen mükemmel kaynak edilebilme ve işlenebilme özelliği, bu malzeme ile çalışmayı kolaylaştırmaktadır. Hardox500, Hardox400'e göre bazı durumlarda üç misliden daha uzun bir ömre sahiptir. Hardox; yüksek sertliğini ve mukavemetini, üstün tokluğunu modern roleli su verme hattında oluşturulan yüksek verimde suda su verme eylemine borçludur. Bu etkin proses sayesinde alaşım elementleri asgari düzeyde tutulabilir ve bu hem ürün hem de çevre açısından büyük avantajlar sağlamaktadır [61].

Hardox aşınma levhası; ağır aşınma koşullarına dayanacak şekilde geliştirilmiştir. Gerçek faydalı ömür, levhayla temas eden malzemeye ve levhanın uğradığı aşınma tipine bağlıdır. Ekipmanlar minerallerin taşınma ve aktarılması sırasında genellikle yüksek deformasyonla birlikte meydana gelen, yuvarlanma ve darbeden kaynaklanan aşınma gibi farklı türden gerilmelere maruzdurlar. Fakat 400 veya 500 Brinell sertliğindeki Hardox aşınma levhası bu aşınma çeşitlerinin çoğuna karşı dayanıklıdır [61].



Şekil 1.17. Hardox aşınma levhasından imal edilmiş bir damper kasası [61]

Hardox tokluğu, düşük sıcaklıklardaki aşırı zorlanmalar gibi güç şartlar altında bile çok yüksek olması sıradan bir aşınma levhası olmadığının göstergesidir. Bu durum özellikle Hardox'u darbelere karşı güçlü kılmaktadır. Bu durumlar, çeliğin uygun bileşimi ve optimize edilmiş bir üretim prosesinin neticesidir [61].



Şekil 1.18. Hardox aşınma levhasının çalışma şartları [61]



Şekil 1.19. Hardox aşınma levhasından imal edilmiş kepçe ve kırıcı [61]

Hardox aşınma levhalarının tüm kaliteleri çok az miktarda alaşım elementleri içerirler ve dolayısıyla karbon eşdeğerleri düşüktür. Hardox400 ve Hardox500 mükemmel kaynak edilebilme özelliği sebebiyle geleneksel ergitme kaynağı yoluyla, Hardox ile ve diğer tüm kaynağa uygun konstrüksiyon levhaları ile kaynak edilebilmektedirler. Bunun neticesinde birbirleriyle ve diğer çelik levhalarla geleneksel kaynak yöntemleri uygulanarak çok kolay kaynak edilebilirler. Karbon eşdeğeri (CEV) düşük olan bir çelik, yüksek olana göre daha iyi kaynak edilebilme özelliğine sahiptir.

Hardox'un kaynağında dikkat edilmesi gereken unsurlar şunlardır;

- Kaynak bölgelerini aşınmanın az olduğu veya hiç olmadığı yerlere rastlatınız.
- Kaynakları, aşındırıcı malzemenin hareket yönüne dik gelecek biçimde düzenleyiniz.
- Kaynak metaline en az hidrojen bırakabilecek olan dolgu metalini kullanınız [62].

1.4.1. Hardox aşınma levhalarının türleri

Hardox sertlik sınıfını her zaman kolayca seçebileceğimiz ayrı ayrı sertlik derecelerinde bulunur. Bunlar Hardox400, Hardox450, Hardox500, Hardox550, Hardox600 ve Hardox HiTuf dereceleridir.

Hardox400: Yuvarlak dirençli bir dış yapı plakasıdır. Yüksek sıkılık düzeyi, bükülebilme ve kaynaklanabilme özelliği sayesinde, bu plaka farklı uygulamalarda yük kaldırma görevi için kullanılabilir.

Hardox450: Bu aşınma plakası 450 HBW'lik sertlik seviyesi olan dirençli bir dış yapı çelik grubudur. Bu çelik sınıfına ait olan özellik, sıkılığın ve sertliğin, karakteristik bir özellik olan Hardox işleme kolaylığından taviz verilmeden gerçekleştirilmiş olmasıdır.

Hardox500: Hardox500 bükülebilen ve kaynaklanabilen aynı zamanda taşlama direncine sahip olan bir plakadır. Daha yüksek seviyede dış yapı direnci isteyen uygulamalarda kullanılabilir.

Hardox600: Hardox600 aşınma plakası saf, dirençli bir dış yapı plakası olup çok yüksek seviyede dirence sahiptir.

Hardox HiTuf: Bu aşınma plakası ise yoğun aşınmaya maruz kalan durumlar için çatlamalara karşı ekstra direnç sağlamak üzere tasarlanmıştır. Kalın kırma makineleri ve kesici kenarlar yaygın uygulamaları arasındadır [63].

1.4.2. Hardox aşınma levhasının kimyasal içerikleri

Çizelge 1.2. Hardox aşınma levhasının kimyasal içeriği [64]

Sac kalınlığı (mm)	4-10	(10)-20	(20)-32	(32)-51	(51)-80	(80)-130
C max %	0.18	0.14	0.18	0.22	0.27	0.32
S max %	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Mn max %	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
P max %	0.01	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
S max %	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
Cr max %	0.25	0.50	1.00	1.40	1.40	1.40
N max %	0.25	0.25	0.25	0.50	1.00	1.50
C _{es1}	0.33	0.37	0.48	0.58	0.62	0.70
C _{es2}	0.23	0.26	0.29	0.35	0.41	0.48
$C_{es1} = C + Mn/6 + (Cr/5 + Mo/5 + V/5) + (Cu/15 + Ni/15)$						
$C_{es2} = C + (Mn/10 + Mo/10) + (Cr/20 + Cu/20) + Ni/40$						

1.5. Çalışmanın Literatürdeki Yeri ve Önemi

Çelik malzemeler, farklı amaçlarla çok farklı kullanım alanlarına sahip metalik malzemelerin başında gelmektedir. Bu nedenlerle farklı beklentilere sahip çeliklerin üretimi gerekmektedir. Bu malzemeler alaşım elementi ilavesi ve ısıtım işlemi yoluyla bu farklı beklentileri karşılayabilecek hale getirilebilmektedirler. Bu amaçlar doğrultusunda çeliklere kaplama, normalizasyon, tavlama, östempereleme, martemperleme gibi daha birçok ısıtım işlemi uygulanarak bu malzemelerin özellikleri geliştirilmekte ve hedeflenen amaçlara uygun malzemeler üretilmektedir.

Literatürde farklı malzemelere plazma transfer ark kaynağı tekniği kullanılarak yapılan kaplamalar hakkında sınırlı sayıda araştırma vardır. Ayrıca, AISI1020 çeliğinin Hardox450+FeW tozlarıyla plazma transfer ark yöntemiyle kaplanabilirliği, mekanik ve

aşınma özelliklerinin araştırılması üzerine bir çalışma mevcut değildir. Literatürler incelendiğinde, çeşitli malzeme gruplarının aşınması özelliklerini incelemek için pek çok deneysel araştırmalar yapılmıştır.

Zhao ve diğ., (2002), PTA yöntemiyle AISI1020 çeliğinin yüzeyine Ni esaslı Stellite Ni60 alaşımıyla kaplamışlardır. Kaplama tabakasında $M_{27}C_6$, M_7C_3 , Ni_3B karbürleri ile γ -Ni+Ni(B,Si) dentritler arası ötektik ve γ -Ni katı çözelti fazı oluşmuştur. Kaplama tabakasında ortalama mikrosertlik 780 HV civarında kaydedilmiştir.

Bourithis ve diğ., (2003), PTA yöntemiyle orta karbonlu inşaat çeliğinin yüzeyi TiC partikülleriyle kaplanarak MMC' li sert takım çeliği üretilmiştir. Kaplama tabakası tekdüze ve 0,8-1,0 mm kalınlığında çıkmıştır. Kaplama tabakasının mikrosertliği 850-900 HV civarında elde edilmiştir. Kaplama tabakasında ikincil karbür (TiC) partiküller, martenzitler ve artan östenit yapılar elde edilmiştir. XRD analizlerinde α -Fe, γ -Fe, TiC ve martenzit yapılar elde gözlenmiştir. Aşınma işleminden sonra yüzeyden XRD analizleri alınmış ve TiC, $(Fe_{0,6}, Cr_{0,4})_2O_3$ ile martenzit yapılar elde edilmiştir.

Liu ve diğ., (2006), PTA yöntemiyle yapılan $(Cr,Fe)_7C_3$ / γ -Fe seramik kompozit kaplamaların aşınma direnci ve mikroyapılarını incelemişlerdir. Kaplama tabakasında hızlı katılaştan seramik ikincil dentritler $(Cr,Fe)_7C_3$, ve dentritler arası $(Cr,Fe)_7C_3$ / γ -Fe içeren ötektik fazlar oluşmuştur. Oluştan M_7C_3 ve M_7C_3/γ fazlarının varlığından dolayı kaplama tabakasının aşınma direnci oldukça yüksek çıkmıştır. Kaplama tabakasının aşınma davranışı alt malzeme olan %0,45 C' lu çelikten 35 kat daha yüksek çıkmıştır.

Hou ve diğ., (2006), PTA yöntemiyle sade karbonlu Q235 çeliğinin yüzeyi demir esaslı alaşımlı tozlarla kaplanmıştır. Kaplama malzemesi demir esaslı %0.5 C, %3 Cu, %1.6 B, %18 Cr ve %8 Ni içeriklidir. Kaplama tabakasında kübik hacim merkezli alfa fazı, kübik hacim merkezli $M_{23}C_6$ kristal yapısı ve ortorombik kristal yapı olan M_7C_3 elde edilmiştir. Numuneler 773 °C' de 35 saat süreyle yaşlandırılmıştır. Yaşlandırma işlemi sonunda mikrosertlik değerleri 510' dan 615 HV' ye aşınma oranları da 0.014 mg/1200s kadar yükselmiştir.

Liu ve diğ., (2007), TiC kompozit takviyeli sert kaplama malzemesini 1Cr18Ni9Ti östenitik çelik üzerine plazma transfer ark (PTA) kaynağı yöntemiyle kaplamışlardır. TiC karbürleri içeren kompozit sert kaplamalar yüksek ve uniform bir sertlik dağılımına ve kuru kaymalı aşınma testi koşulları altında mükemmel bir aşınma direncine sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Wang ve diğ., (2008), AISI 1020 çeliği üzerine farklı miktarlarda molibden bileşimi içeren elektrotlar ile korumalı manuel ark kaynak (SMAW) yöntemiyle sert yüzey kaplamalar elde etmişlerdir. Artan molibden içeriğiyle birlikte sert yüzey kaplamaların sertliği ile birlikte aşınma dirençleri de artmıştır. Ayrıca, molibden içeriğine sahip sert yüzey kaplamalar molibden içermeyen sert kaplamaya göre daha pürüzsüz aşınmış yüzeylere sahiptir.

Coronado ve diğ., (2009), ASTM G65 çeliği üzerine; ergimeli özlü kaynak (FCAW) ve korumalı metal ark kaynak (SMAW) yöntemleri kullanılarak sert yüzey kaplamalar elde etmişlerdir. FCAW yöntemiyle elde edilen kaplamalar SMAW tekniğine göre daha yüksek aşınma direnci göstermiştir. Ötektik matris fazı içerisinde yer alan Titanyum içeriğince zengin karbürler, aşınma sırasında bir bariyer oluşturarak aşınma direncinin yüksek çıkmasına neden olduğu anlaşılmıştır.

Bourithis ve diğ., (2009), MMC-TiC, AISI M2, Fe-B ve Fe-Cr-B gibi dört farklı kaplama malzemelerini, AISI D2 takım çeliği üzerine plazma transfer ark (PTA) kaynağı yöntemiyle kaplamışlardır. MMC-TiC, Fe-B ve Fe-Cr-B kaplama malzemeleri kullanılarak yapılan kaplamalarda aşınma direncinde üstün özellikleri elde ederlerken, AISI M2 malzemesi kullanılarak yapılan kaplamada ise altlık malzemeye benzer aşınma direnci tespit etmişlerdir.

Zikin ve diğ., (2013), TiC-NiMo kaplama malzemelerini, NiCrBSi nikel esaslı malzeme üzerine plazma transfer ark kaynağı tekniğiyle kaplamışlardır. Nikel esaslı matris içerisinde unifom olarak dağılmış olan TiC ve (Ti, Mo) C karbürleri sayesinde altlık malzemeye nazaran, çok yüksek sertlik değerleri ve aşınma değerleri elde etmişlerdir. Ayrıca altlık malzeme ile kaplama arasında iyi bir bağ oluştuğunu saptamışlardır.

Deqiang ve diğ., (2014), bu çalışmada Ni, Ti ve grafit alaşımlı tozları, sade karbonlu çelik üzerine plazma transfer ark kaynağı tekniğiyle kaplanmışlardır. oda sıcaklığında yapılan aşınma testi sonucunda, γ -(Fe,Ni)/TiC kompozit kaplamaların aşınma direncinin, altlık malzemeye nazaran 20 kez daha yüksek çıktığını belirlemişlerdir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada; Hardox450+ FeW tozu, toz oranları parametreleri kullanılarak AISI1020 çeliğinin üzerine plazma transfer ark (PTA) kaynak tekniğiyle alaşımlama yapılarak kaplama sonrasında elde edilecek olan numunelerin aşınmaya karşı dirençli olması istenen bölgesinde, istenen kalınlıkta metal matrisli kompozit yapısının elde edilmesi amaçlanmıştır.

Gelişmekte olan ülkemiz sanayisinin aşınmaya dirençli malzemelere olan ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Son yıllarda, metallerin PTA kaynak yöntemiyle kaplanması konusu araştırmacılar için büyük bir önem kazanmıştır. Bu alanda yapılan literatür taramasında bilimsel çalışmaların genellikle plazma ile kesme ve plazma transfer ark kaynağı üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca, yeni ve özellikli malzemelerin geleneksel kaplama yöntemleriyle kaplanmasında karşılaşılan problemleri sınırlaması açısından önemli avantajlar sağlayan PTA kaynak tekniğiyle kaplama üzerine sınırlı sayıda bilimsel çalışma mevcuttur. Bu amaçla, endüstriyel uygulamalarda önemli bir yere sahip olan AISI1020 çeliğinin yüzeyine PTA kaynak tekniği kullanılarak Hardox450+FeW ile kaplanarak aşınmaya dirençli bir yüzey elde edilmesi hedeflenmektedir. Böylece kaplamalı malzemelerin karakteristiği ve yapısal özellikleri üzerine yapılacak olan bu çalışmanın literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu malzemeler dekoratif uygulamalar, mutfak gereçleri, egzoz elemanları, sıcak su tankları, otomobil şasi parçaları gibi her türlü makine sanayilerinde büyük önem arz eder.

Bu çalışmada; Hardox450 alaşımlarının kaplama alaşım malzemesi olarak seçilmesinin sebebi; çok maksatlı aşınma dirençli malzemeler olması, yüksek sertlik, yüksek toklukları, rahat bükülebilme ve kaynak edilebilme sayesinde bazı uygulamalarda yük taşıyıcı görevlerde kullanılmalarıdır. AISI1020 çelik malzemenin yüzeyinin kaplanacak malzeme olarak seçilmesinin sebebi, bu çeliklerin ucuz olmaları, kolay bulunabilmeleri, yeterli sertlik ve mukavemete sahip olmaları nedeniyle, teknikte ve imalat sanayinde sıkça kullanılıyor olmalarıdır. Yüzey alaşımlamada PTA kaynak yönteminin kullanılmasının nedeni ise, diğer yüzey

alaşımlama tekniklerine göre daha yeni bir uygulama alanı olması, daha yüksek sıcaklıklarda çalışılabilmesi ve daha güvenilir olması sebebiyledir.

Bu amaçla, endüstriyel uygulamalarda önemli bir yeri olan AISI1020 çeliğinin PTA kaynak tekniği kullanılarak Hardox450+ FeW kaplanmasının, kaplamalı malzemelerin karakteristiği, aşınması ve yapısal özellikleri üzerine literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, 100x20x10 mm boyutlarında ve 2 mm derinlikli kanala sahip kimyasal bileşimi Çizelge 2.1.'de verilen AISI1020 çeliği, plazma transfer ark kaynak yöntemiyle yüzey modifikasyonu işleminde altlık malzeme olarak, kaplama alaşım malzemesi olarak da Çizelge 2.2.'de kimyasal bileşimleri verilen; Hardox450 ve FeW tozları kullanılmıştır. Kaplama malzemesi olarak kullanılan FeW tozunun SEM görüntüsü Şekil 2.1.'de ve EDS analizleri Şekil 2.2.'de verilmiştir. Bu çalışma Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü atölyesinde bulunan Thermal Dynamics PS 3000 marka PTA kaynak makinesi kullanılarak yapılmıştır. Plazma transfer ark kaynak yöntemiyle yapılan kaplama işleminin şematik görünümü Şekil 2.3.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Deneylerde kullanılan alt malzeme ve ilave metalin kimyasal bileşimi

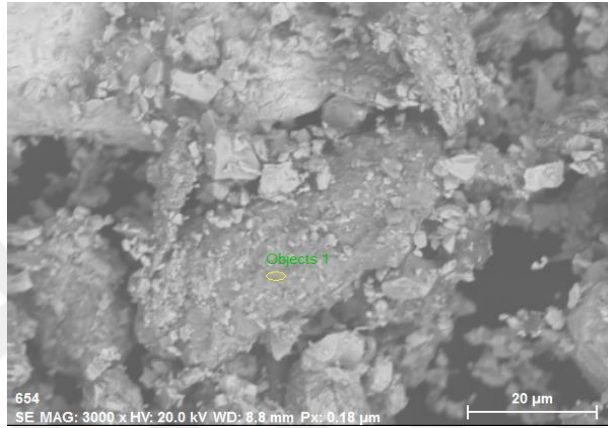
Materials	Fe	C	Cr	Ni	Si	Mn	P	Mo	W
AISI 1020	Kal.	0.20	-	0.08	0.22	0.57	0.01	-	-
Hardox 450	Kal.	0.18	0.25	0.25	0.70	1.60	0.01	0.60	-
FeW	Kal.	-	-	-	-	-	-	-	70

Çizelge 2.2. Deneylerde kullanılan kaplama malzemelerinin oranları

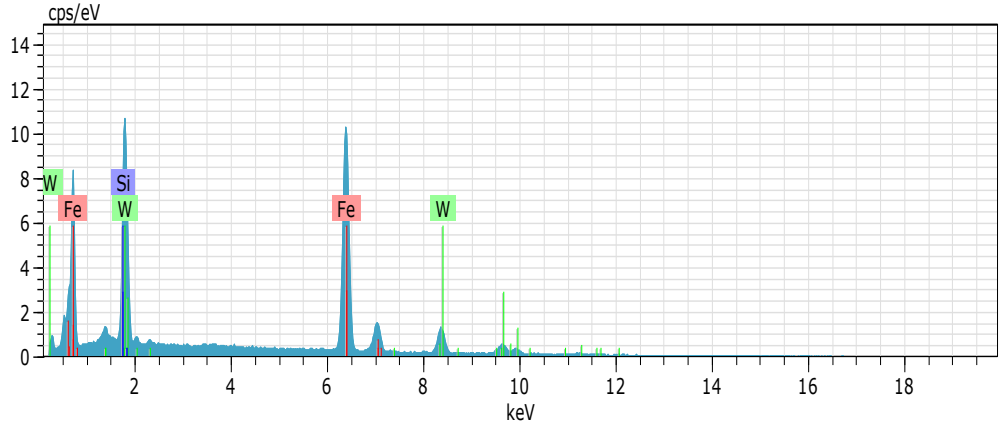
%Ağırlık						
Numune No	S-Ref	S1	S2	S3	S4	S5
FeW	-	5	10	15	20	25
Hardox450	100	95	90	85	80	75

Çizelge 2.3. Deneylerde kullanılan yüzey alaşımlama için üretim parametreleri

Kaplama Boyu (mm)	100
Akım (A)	140
Isı Girdisi (J)	20.208
Elektrod	%2 Toryumlu tungsten elektrod
Koruyucu Gaz	% 99.9 Saf argon
Koruyucu Gaz Debisi (lt/dak.)	25
Plazma Gaz Akış Debisi (lt/dak.)	0.8
Elektrod Çapı (mm)	3.2
İlerleme Hızı (m/dak.)	0.01

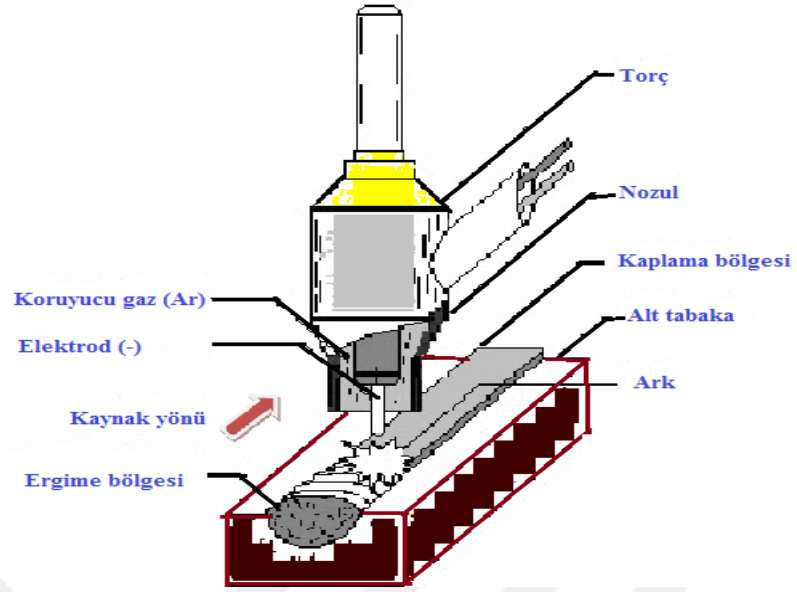


Şekil 2.1. FeW tozunun EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	49.43	63.63	83.20	1.36
W	74	L-series	27.43	35.30	14.02	0.84
Si	14	K-series	0.83	1.07	2.78	0.07
Total:			77.69	100.00	100.00	

Şekil 2.2. Kaplamada kullanılan FeW tozunun EDS analiz grafiği ve sonuçları



Şekil 2.3. Plazma ark kaynak yöntemiyle yapılan kaplama işleminin şematik görünümü [12]

2.3. Kaplama Alaşımlarının Hazırlanması

Kaplama işleminden önce ticari olarak temin edilen 100x500x10 mm boyutlarındaki AISI1020 çelik plaka, şerit testere cihazında 100x20x10 mm'lik boyutlara getirilmiş ve 2 mm derinlikte ve 5 mm genişliğinde kanallar açılmıştır. Kanal açma işleminden sonra numunelerin yüzeyleri, kir, pas ve yağdan arındırılmak için, kaplama işlemine geçilmeden aseton banyosunda temizlenip kurutulmuştur. Temizlenmiş numunenin makro görüntüsü Şekil 2.4.'de verilmiştir. Bu işlemde sonra, bütün plakalar dâhil olduğu parametre numarasına göre markalanmıştır. Kaynak ilave metali olarak kullanılacak olan Hardox450 ve farklı oranlardaki FeW tozları ile kaplanmıştır.



Şekil 2.1. AISI1020 çeliğinin kaplama öncesi resmi

2.4. Mikroyapı İncelemeleri

Metalografik incelemeler için; Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan brillant 210 marka (Şekil 2.5.) kesme cihazında numuneler kesilerek, sırasıyla 200-1200 mesh'lik metkon (Şekil 2.6.) marka zımparalama ve parlatma cihazında zımparalandıktan sonra 2 μ 'luk elmas pasta kullanılarak çuhada parlatılmıştır. Dağlama işlemi %2 HNO₃ +%98 etanol (etil alkol) çözeltisinde 15-20 sn yapılmıştır. Daha sonra dağlanan numunelerin mikroyapı fotoğrafları; Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji Malzeme Mühendisliği'nde bulunan, Şekil 2.7.'deki LEICA DM750 marka optik mikroskopta çekilmiştir.



Şekil 2.2. Hassas kesme makinesi



Şekil 2.3. Zımparalama ve parlatma makinesi



Şekil 2.4. Optik mikroskop

2.5. (SEM), (EDS) ve XRD Analizleri

Dağlanan numunelerin SEM fotoğrafları; Adıyaman Üniversitesi, Merkezi Araştırma laboratuvarında bulunan ZEISS EVO LS10 marka Scanning Electron Microscope (SEM) ve buna bağlı enerji dağılım spektrometresi (EDS) yüzey analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 2. 8.). Kaplamalarda oluşan faz ve bileşikleri tespit etmek amacıyla Malatya İnönü Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Rikagu 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) cihazı kullanılmıştır.

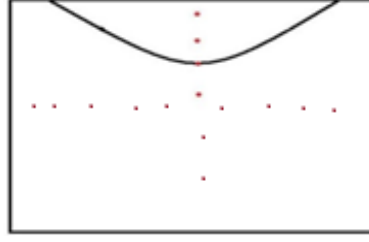


Şekil 2.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

2.6. Mikrosertlik Deneyi

Numunelerin birleşme bölgesinde meydana gelen sertlik değişimini belirlemek için mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri; Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji Malzeme Mühendisliği'nde bulunan QNESS Q10 marka mikrosertlik cihazında (Şekil 2.10.) 50 gr yük altında 5 sn. beklenerek Şekil 2.9.'daki düzende 0.5 mm aralıklarla Vickers (HV) skalasında gerçekleştirilmiştir. Daha

sonra bu değerler, bilgisayar ortamına aktarılarak mikrosertlik grafikleri çizilmiştir.



şekil 2.6. Mikrosertlik ölçüm numunesi



şekil 2.7. Mikrosertlik test cihazı

2.7. Aşınma Deneyi

Abrasiv aşındırma deneyleri; 120 mesh'lik SiC zımpara kâğıdı ile 20 N ve 30 N'luk yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Abrasiv aşınma deneyleri, pin-on disk aparatı kullanılarak gerçekleştirildi. Abrasiv aşınma deneylerinde devir sayısı 120 dev./dak., olarak seçilmiştir. Aşınma öncesi ve sonrasında ağırlık kayıpları hassas terazi yardımıyla belirlendi.

3. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

3.1. Deney Numunelerinin Makroyapı Analizleri

AISI1020 çeliğinin yüzeyine, 130 A akım şiddeti, 0.8 lt/dak. plazma gaz debisi, 0.01 m/dak.'lık kaynak ilerleme hızı ve argon koruyucu gazı ortamı kullanılarak alaşımlandırılan Hardox450+FeW kaplama alaşım malzemelerinin PTA yöntemi kullanılarak yapılan yüzey modifikasyonu işlemi ile sağlanan S-Referans, S1, S2, S3, S4 ve S5 kaplama numunelerinin makro yüzey görüntüleri Şekil 3.1.'de verilmiştir. Deney numunelerine ait makro yüzey fotoğrafları incelendiği zaman; ergimenin oldukça iyi düzeyde gerçekleştiği, kaplama tabakasının düzgün bir krater yapısına sahip olduğu, hızlı soğuma sonucunda gözenek, çatlak oluşmadığı, kaplama tabakasının başlangıç ve bitiş noktalarında kaynak kraterlerinin oluştuğu tespit edilmiştir. Kaplama tabakasının kalınlığı S-Referans= 2.50, S1= 2.75, S2= 3.00, S3= 3.50, S4= 3.85, S5= 4.10 mm olarak ölçülmüştür.

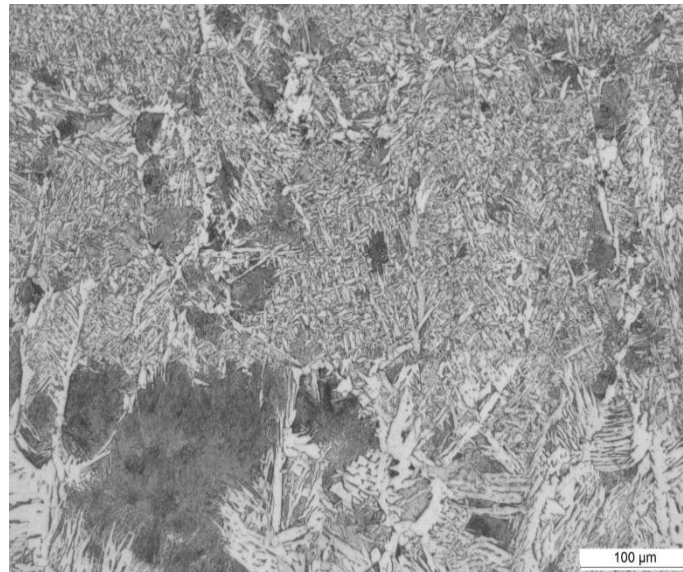
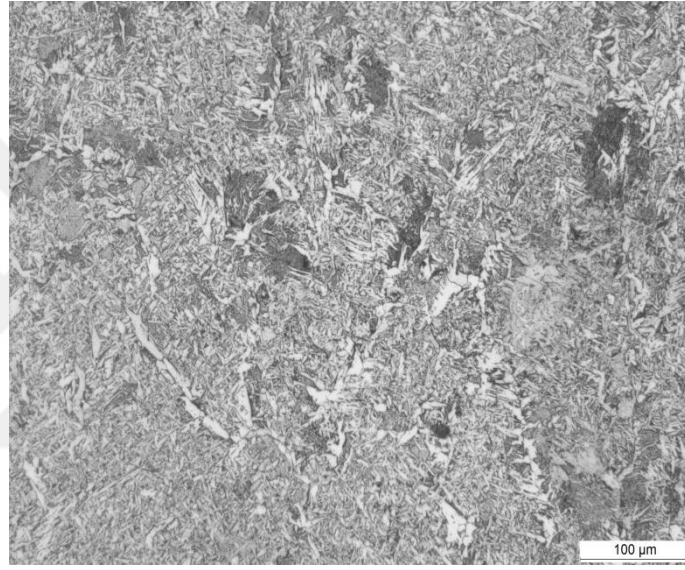


Şekil 3.1. Deney numunelerine ait makro yüzey görüntüsü

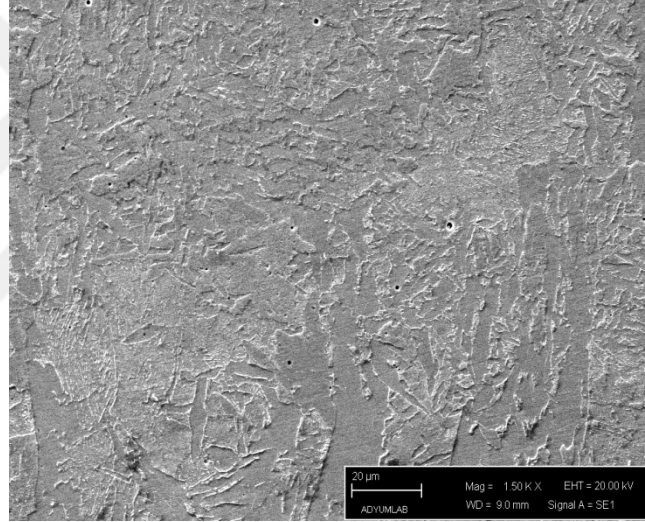
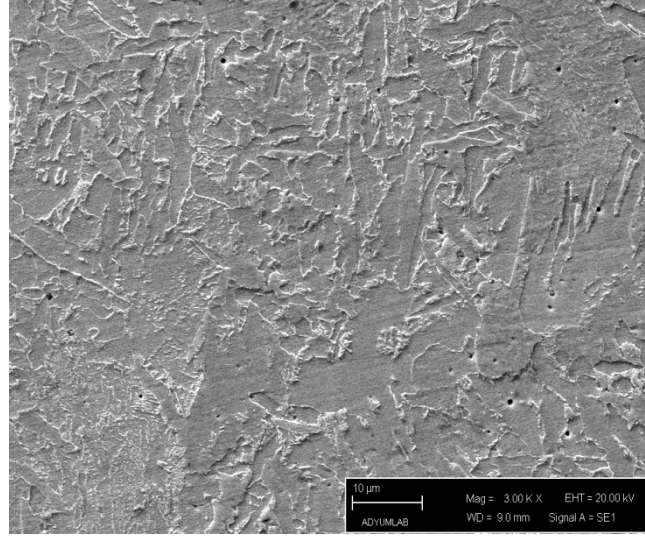
3.2. Deney Numunelerinin Mikroyapı, SEM, EDS Analiz Sonuçları

AISI1020 çeliğinin yüzeyine, referans olarak kabul ettiğimiz Hardox450 kaplama alaşım malzemesi, 130 A akım şiddeti, 0.8 lt/dak. plazma gaz debisi, 0.01 m/dak.'lık kaynak ilerleme hızı, argon koruyucu gazı ortamı ve PTA kaynak yöntemi

kullanılarak alaşımlandırılmış olup, yapılan yüzey modifikasyonu işleminden sonra alaşım malzemesinin ara yüzey optik yüzey fotoğrafı Şekil 3.2.'de ve SEM fotoğrafı Şekil 3.3.'de verilmiştir. S-Referans numunesinin optik yüzey fotoğrafı incelendiği zaman; Hardox450 esaslı kaplamasındaki mikroyapıyı ferrit ve perlitin oluşturduğu görülmektedir. Kaplama yapılan numune; kaplama tabakası, ısıdan etkilenen bölge (ITAB) ve alt tabaka olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır. PTA kaynak kaplaması sırasında meydana gelen termal sapmaların şiddetinin bölgeden bölgeye farklılık göstermesi bu üç belirgin bölgeye neden olmuştur.



Şekil 3.2. S-Referans numunesinin optik fotoğrafı. a) Kaplama tabakası, b) Geçiş bölgesi



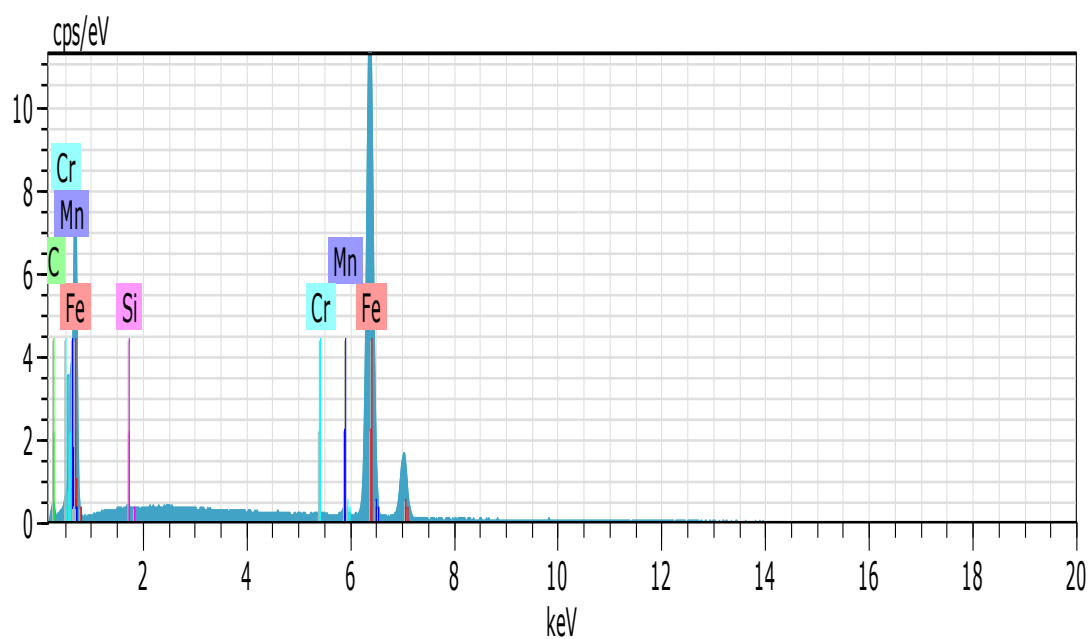
Şekil 3.3. S-Referans numunesinin SEM fotoğrafı. a) Kaplama tabakası, b) Geçiş bölgesi

S-Referans numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 3.4. ve 3.6.'da verilmiştir. EDS analizleri kaplama üzerindeki beş farklı noktadan alınmıştır. S-Referans numunesine ait EDS analiz grafikleri Şekil 3.5-3.7.'de ve sonuçları Çizelge 3.1.'de verilmiştir. EDS analiz sonuçları incelendiği zaman; 1. bölgede %76.47 Fe, %22.40 C, %0.64 Mn, %0.29 Cr, %0.20 Si, 2.bölgede, %79.12 Fe, %19.82 C, %0.60 Mn, %0.28 Cr, %0.18 Si, 3. bölgede, %77.51 Fe, %21.43 C, %0.69 Mn, %0.26 Cr, %0.10 Si, 4. bölgede, %80.80 Fe, %18.09 C, %0.66 Mn, %0.31 Cr, %0.13 Si, 5. bölgede %79.43 Fe, %19.41 C, %0.68 Mn, %0.29 Cr, %0.19 Si, elementleri saptanmıştır. EDS analiz sonuçları değerlendirildiğinde kaplama

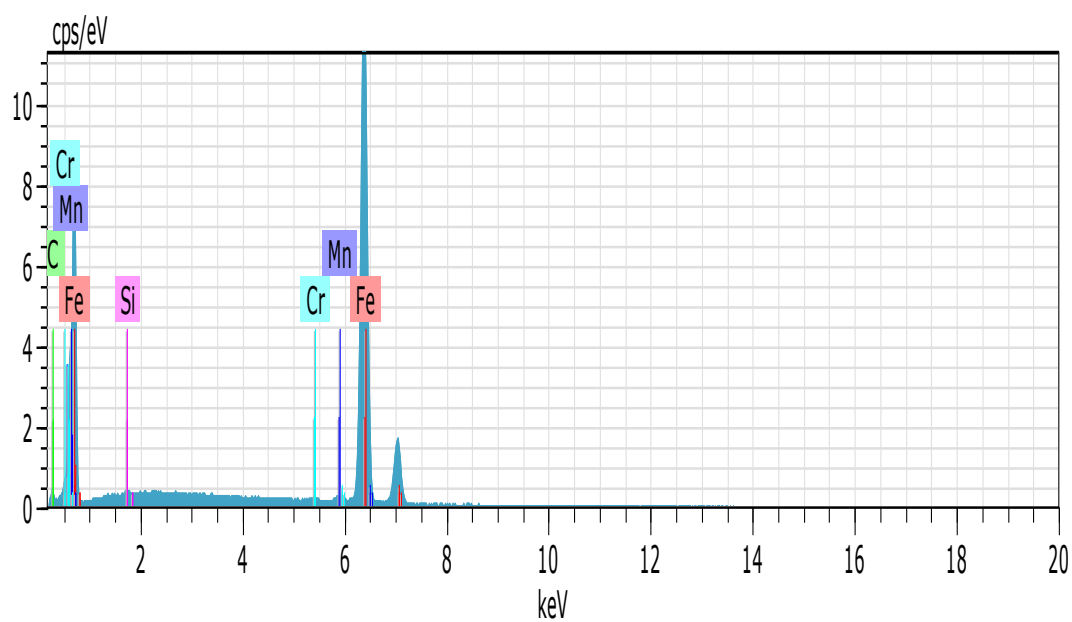
malzemesinden, kaplanan altlık malzeme AISI1020 tarafına Cr ve C, altlık malzemedan de kaplama malzemesine doğru Fe, C elementlerinin difüzyon yoluyla geçtiğini söyleyebiliriz. Ayrıca, 4 ve 5. bölgeler ise kaplama malzemesinin elementleri olan Si, C, Fe, Mn ve Cr' den oluşmuştur.



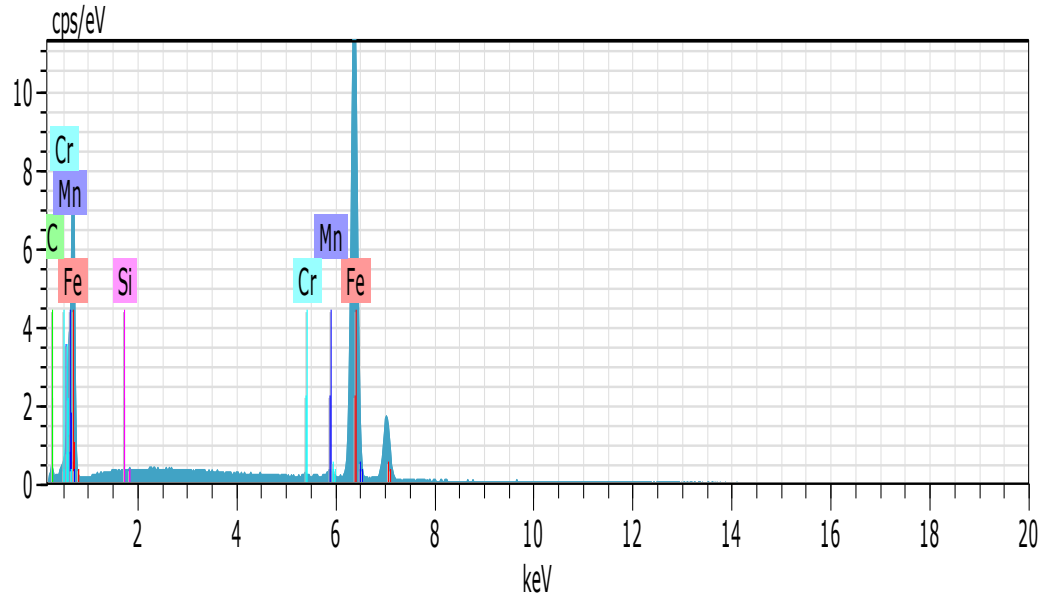
Şekil 3.4. S-Referans numunesinin geçiş bölgesi EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	87.44	92.93	76.47	2.36
C	6	K-series	5.51	5.85	22.40	1.19
Mn	25	K-series	0.72	0.76	0.64	0.06
Cr	24	K-series	0.31	0.33	0.29	0.04
Si	14	K-series	0.12	0.12	0.20	0.03
Total:			94.09	100.00	100.00	

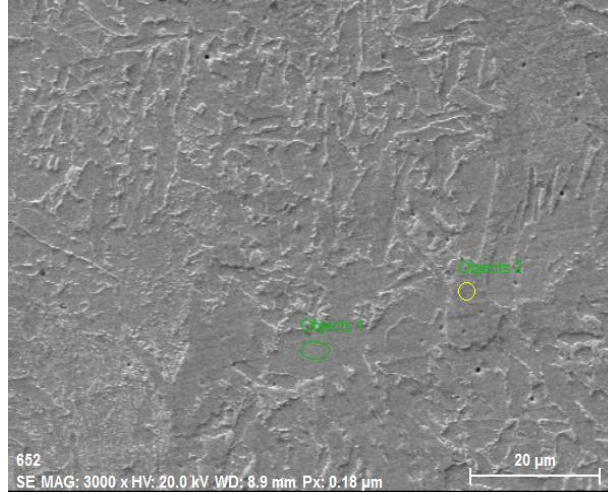


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	89.89	93.83	79.12	2.42
C	6	K-series	4.84	5.05	19.82	1.10
Mn	25	K-series	0.67	0.70	0.60	0.06
Cr	24	K-series	0.30	0.31	0.28	0.04
Si	14	K-series	0.11	0.11	0.18	0.03
Total:			95.81	100.00	100.00	

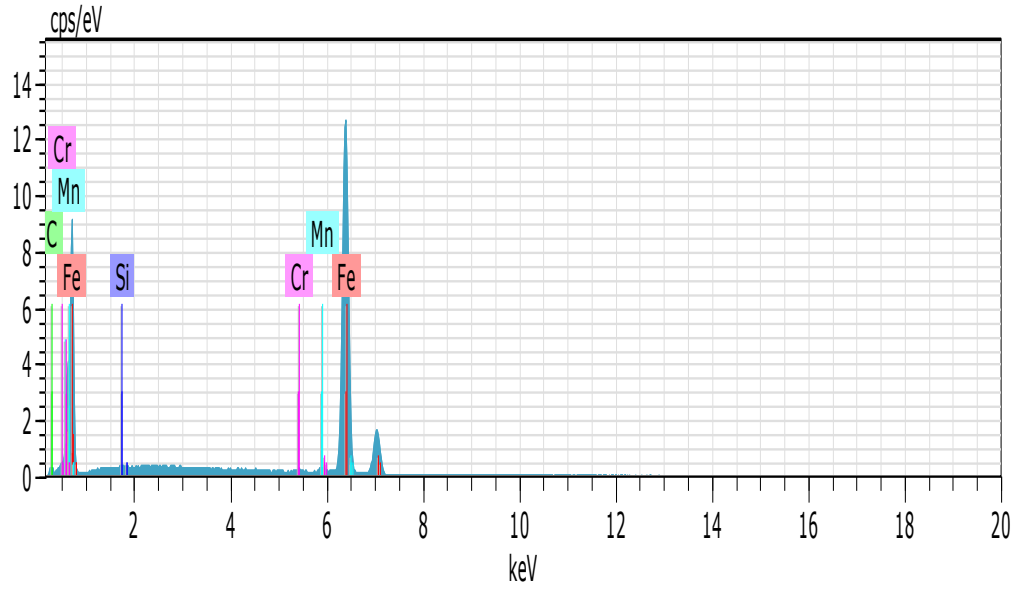


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	88.52	93.28	77.51	2.39
C	6	K-series	5.26	5.55	21.43	1.16
Mn	25	K-series	0.78	0.82	0.69	0.06
Cr	24	K-series	0.27	0.29	0.26	0.04
Si	14	K-series	0.06	0.06	0.10	0.03
Total:			94.90	100.00	100.00	

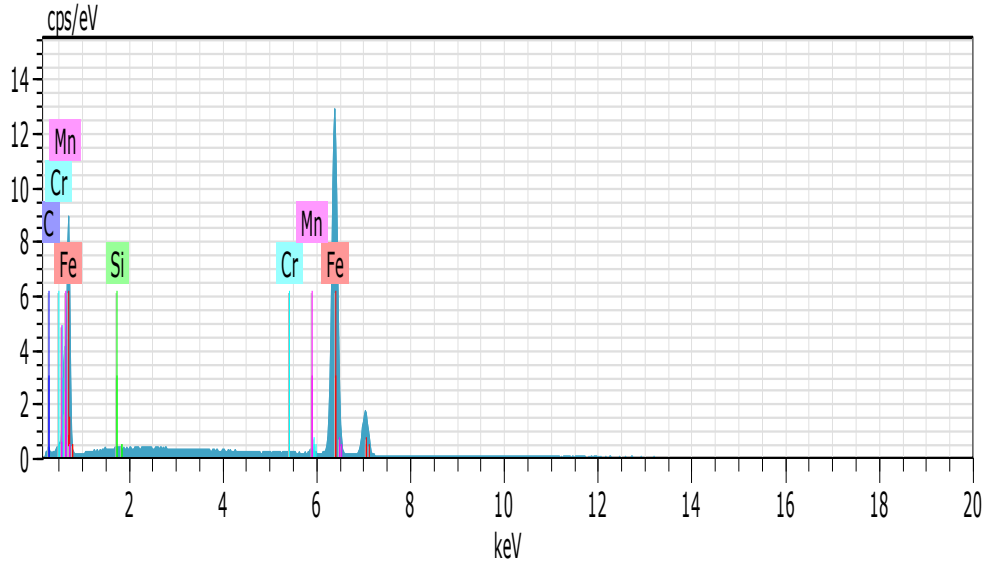
Şekil 3.5. S-Referans numunesinin geçiş bölgesi EDS analiz grafikleri ve sonuçları



Şekil 3.6. S-Referans numunesinin kaplama bölgesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	89.86	94.28	80.80	2.42
C	6	K-series	4.33	4.54	18.09	1.02
Mn	25	K-series	0.72	0.76	0.66	0.06
Cr	24	K-series	0.33	0.34	0.31	0.04
Si	14	K-series	0.07	0.08	0.13	0.03
Total:			95.31	100.00	100.00	



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	87.71	93.84	79.43	2.37
C	6	K-series	4.61	4.93	19.41	1.06
Mn	25	K-series	0.74	0.79	0.68	0.06
Cr	24	K-series	0.30	0.32	0.29	0.04
Si	14	K-series	0.11	0.12	0.19	0.03
Total:			93.46	100.00	100.00	

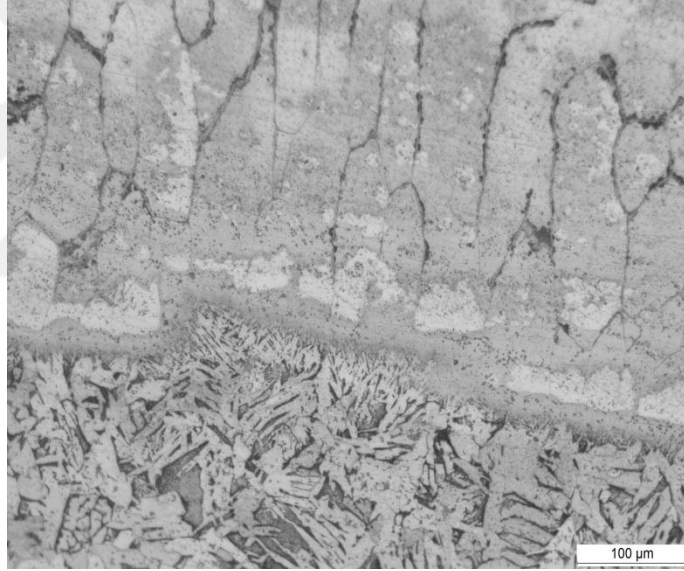
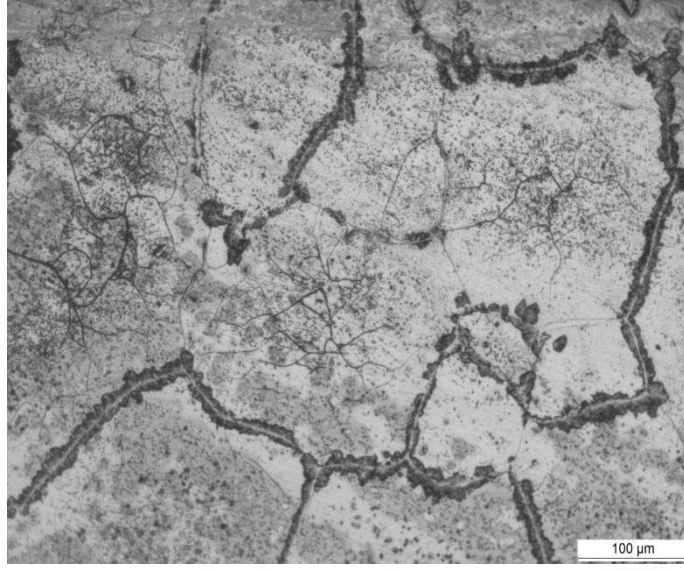
Şekil 3.7. S-Referans numunesinin kaplama tabakası EDS analiz grafikleri ve sonuçları

Çizelge 3.1.S-Referans Numunesinin EDS analiz sonuçları

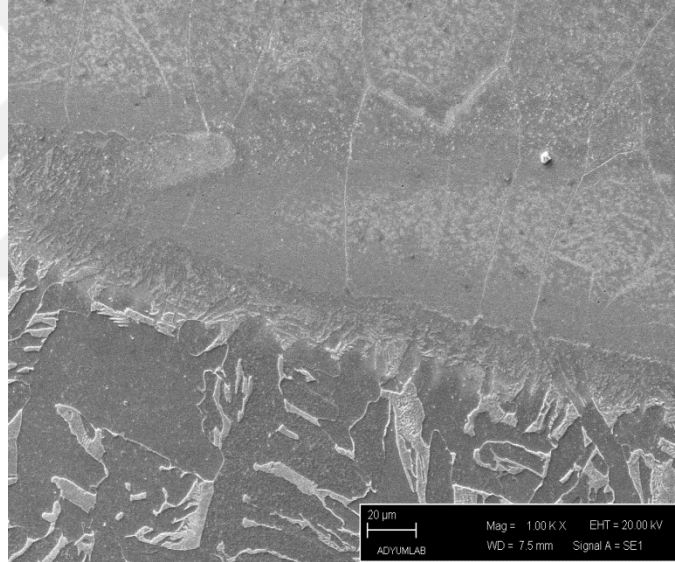
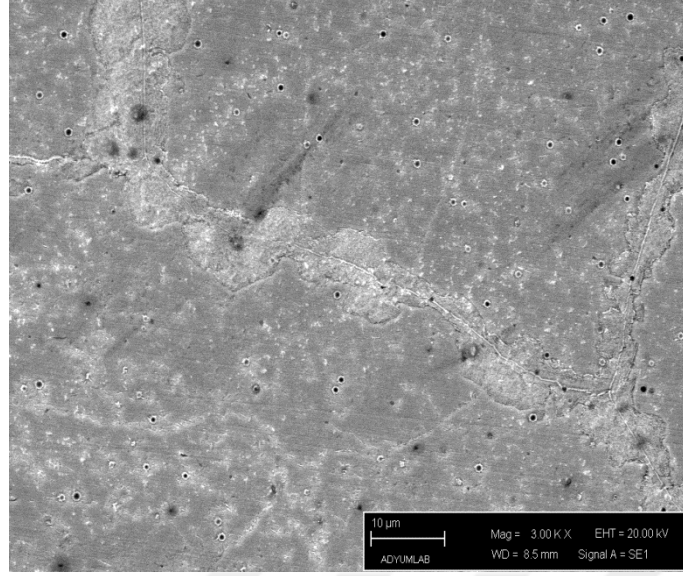
Numune No	Analiz Bölgeleri	Elementler (%Ağırlık)				
		Fe	C	Mn	Cr	Si
S-Referans	1. Bölge	76.47	22.40	0.64	0.29	0.20
	2. Bölge	79.12	19.82	0.60	0.28	0.18
	3. Bölge	77.51	21.43	0.69	0.26	0.10
	4. Bölge	80.80	18.09	0.66	0.31	0.13
	5. Bölge	79.43	19.41	0.68	0.29	0.19

AISI1020 çeliğinin yüzeyine, referans olarak kabul ettiğimiz Hardox450 kaplama alaşım malzemesine %5 oranında FeW ilavesi 130 A akım şiddeti, 0.6 lt/dak. plazma gaz debisi, 0.01 m/dak.'lık kaynak ilerleme hızı, argon koruyucu gazı ortamı ve PTA kaynak yöntemi kullanılarak alaşımlandırılmış olup, yapılan yüzey modifikasyonu

işleminde sonra alaşım malzemesinin ara yüzeyinden alınan optik yüzey fotoğrafı Şekil 3.8.'de ve SEM fotoğrafları Şekil 3.9.'da verilmiştir. S1 numunesine ait optik yüzey fotoğrafı incelendiğinde; alaşım dendritik yapıya benzeyen uzun hat şeklinde ve yer yer bölgesel olan açık renkli ikinci faz bölgelerine sahiptir. Düşük toz katkılarında tungsten elementi etkisiyle tane sınırlarının belirgin olmadığı, tanelerin gelişigüzel bir dağılım gösterdikleri kaplama metali ile kaplanan alaşım arasında önemsiz derecede atom geçişlerinin olduğu görülmüştür. PTA kaynak yüzey modifikasyonu işleminde kullanılan sabit ilerleme hızı ve akım şiddeti kaplama malzemesini eritip yüzeyi kaplanan malzeme ile yeterli bağ kuvvetini oluşturmaya sebep olmuştur. PTA kaynak işlemi sonrasında kaplama tabakasının düzgün bir krater yapısında meydana geldiği ve maksimum yüksekliğin ortada olduğu kenar bölgelerinde ise kalınlığın incelendiği görülmüştür. Bunun sebebinin enerji yoğunluğunun elektrot ucuna dik olan doğrultuda daha yoğun şekilde meydana gelmesi olduğu düşünülmektedir. Toz miktarının az oluşu nedeniyle, birim ağırlığa isabet eden enerji miktarı artmış, kaplama katında ergime ve çözünme buna bağlı olarak daha üst düzeyde gerçekleşmiştir. Dendritlerin birincil kolları tam olarak oluşumlarını sağlarken; kaplanan ana metalin soğuk olması, dendritlerin ikincil kollarının belirgin şekilde oluşumlarını engellemiş ve hızlı soğuma sonucunda tabakalar arasında metal atomları geçişi sınırlı kalmıştır.



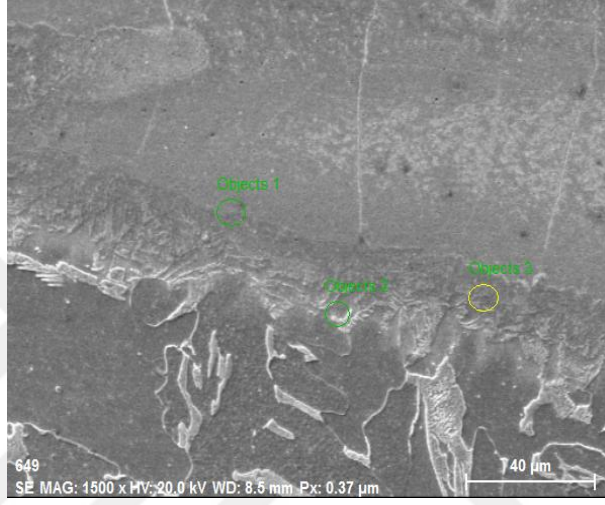
Şekil 3.8. S1 numunesinin optik fotoğrafı. a) Kaplama tabakası, b) Geçiş bölgesi



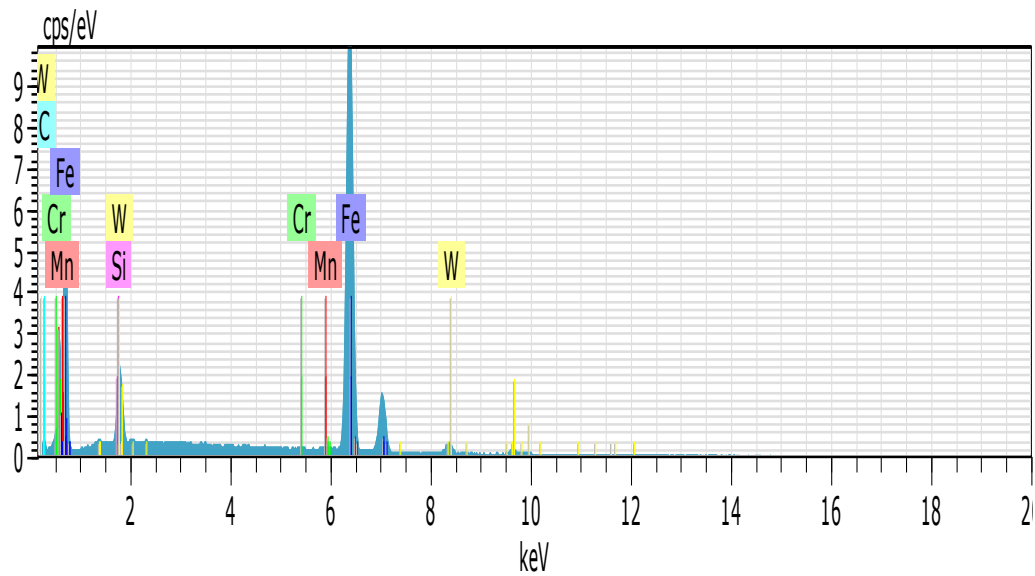
Şekil 3.9. S1 numunesinin SEM fotoğrafı. a) Kaplama tabakası, b) Geçiş bölgesi

S1 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 3.10. ve 3.12.'de verilmiştir. EDS analizleri kaplama üzerindeki beş farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. S1 numunesinin EDS analiz grafiği Şekil 3.11.-3.13.'de ve sonuçları Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Bu alaşıma ait EDS analiz sonuçları incelendiği zaman; 1. bölgede %73.87 Fe, %3.01 W, %22.62 C, %0.33 Mn, %0.15 Cr, %0.03 Si, 2.bölgede, %74.50 Fe, %0.34 W, %24.49 C, %0.47 Mn, %0.01 Cr, %0.17 Si, %0.01 Mo, 3. bölgede, %72.04 Fe, %1.44 W, %26.10 C, %0.31 Mn, %0.10 Cr, %0.01 Si, 4. bölgede, %47.62 Fe, %4.38 W, %47.75 C, %0.13

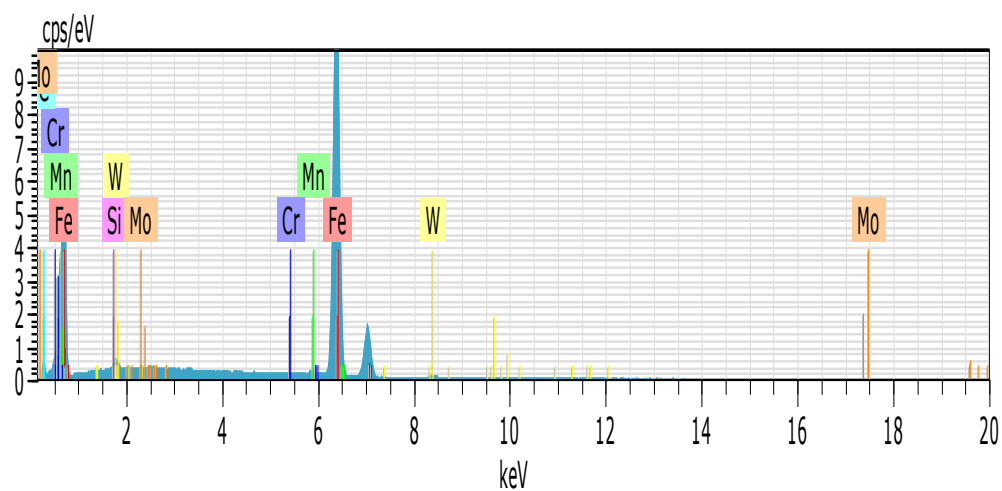
Mn, %0.12 Cr, 5. bölgede %72.90 Fe, %4.50 W, %21.78 C, %0.24 Mn, %0.12 Cr, %0.46 Si, elementleri saptanmıştır. EDS analiz sonuçları değerlendirildiğinde kaplama malzemesinden, kaplanan altlık malzeme AISI1020 tarafına Cr, W ve C, altlık malzemedan de kaplama malzemesine doğru Fe, C elementlerinin difüzyon yoluyla geçtiğini söyleyebiliriz. Ayrıca; 4 ve 5. bölgeler ise kaplama malzemesinin elementleri olan W, Si, C, Fe, Mn ve Cr'den oluşmuştur.



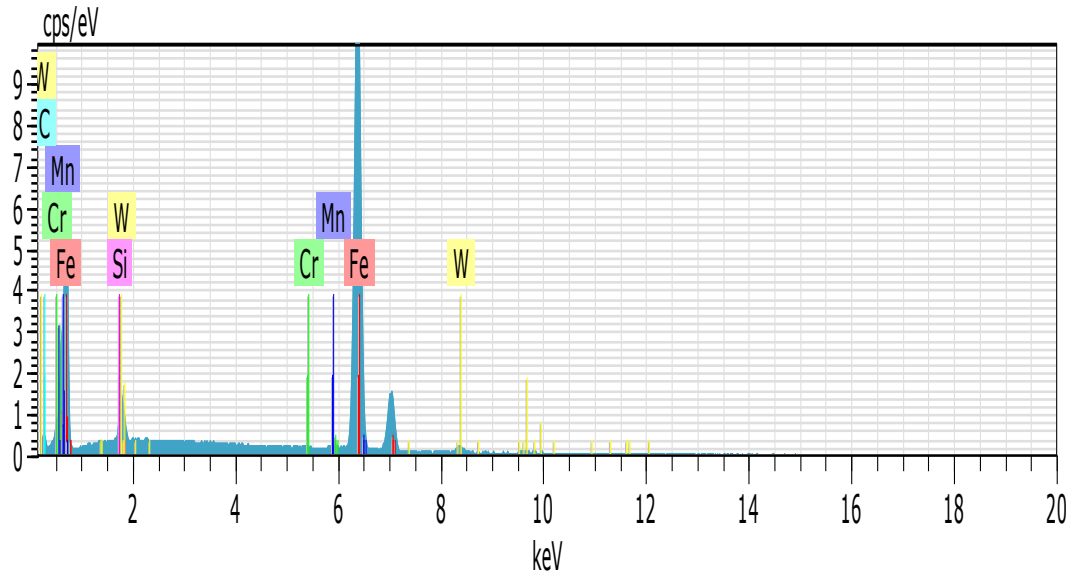
Şekil 3.10. S1 numunesinin geçiş bölgesi EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	72.73	82.89	73.87	1.97
W	74	L-series	9.76	11.12	3.01	0.35
C	6	K-series	4.79	5.46	22.62	1.07
Mn	25	K-series	0.32	0.36	0.33	0.04
Cr	24	K-series	0.13	0.15	0.15	0.03
Si	14	K-series	0.01	0.02	0.03	0.03
Total:			87.75	100.00	100.00	

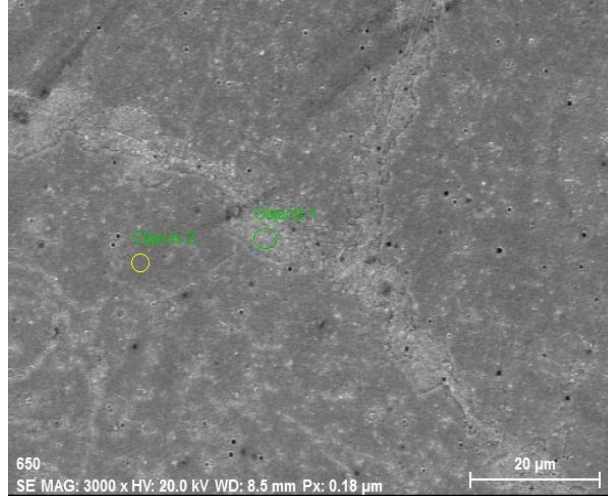


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	86.49	91.43	74.50	2.33
C	6	K-series	6.12	6.47	24.49	1.29
W	74	L-series	1.32	1.39	0.34	0.10
Mn	25	K-series	0.53	0.56	0.47	0.05
Si	14	K-series	0.10	0.11	0.17	0.03
Mo	42	L-series	0.02	0.03	0.01	0.03
Cr	24	K-series	0.01	0.01	0.01	0.03
Total:			94.59	100.00	100.00	

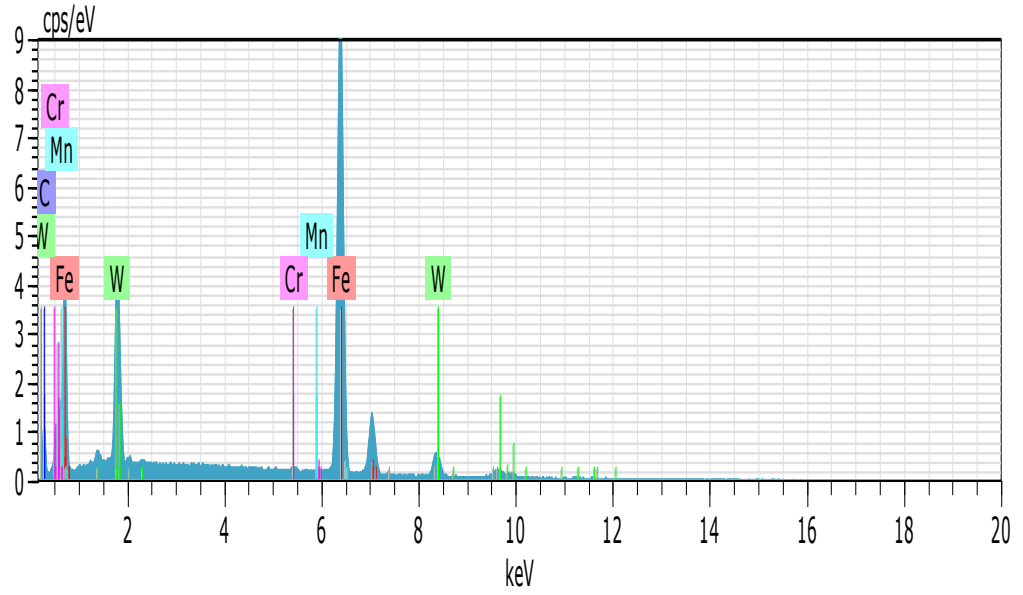


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	80.15	87.00	72.04	2.17
C	6	K-series	6.24	6.78	26.10	1.30
W	74	L-series	5.28	5.74	1.44	0.22
Mn	25	K-series	0.33	0.36	0.31	0.04
Cr	24	K-series	0.11	0.12	0.10	0.03
Si	14	K-series	0.00	0.00	0.01	0.03
Total:			92.12	100.00	100.0	

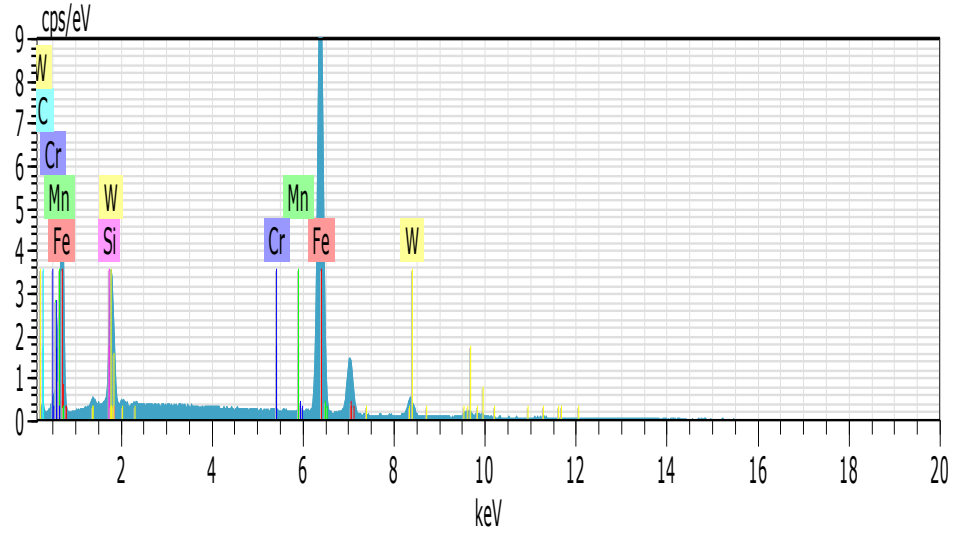
Şekil 3.11. S1 numunesinin geçiş bölgesi EDS analiz grafikleri ve sonuçları



Şekil 3.12. S1 numunesinin kaplama bölgesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	58.31	65.65	47.62	1.59
W	74	L-series	17.64	19.86	4.38	0.57
C	6	K-series	12.58	14.16	47.75	2.15
Mn	25	K-series	0.16	0.18	0.13	0.04
Cr	24	K-series	0.14	0.15	0.12	0.03
Total:			88.83	100.00	100.00	



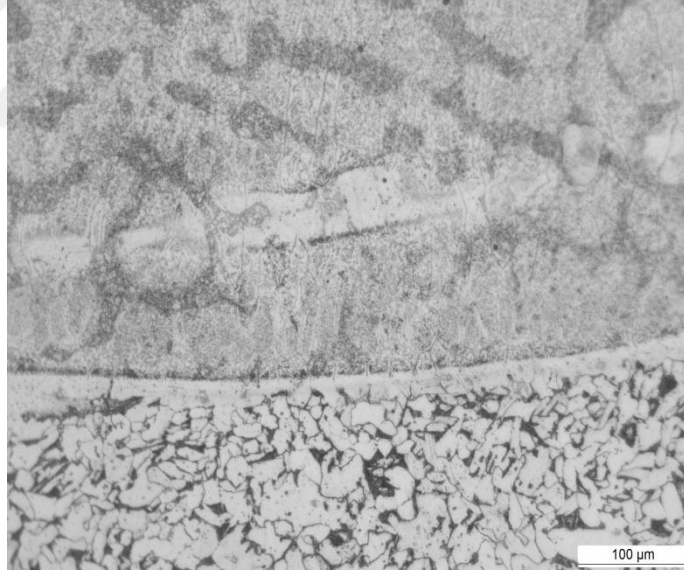
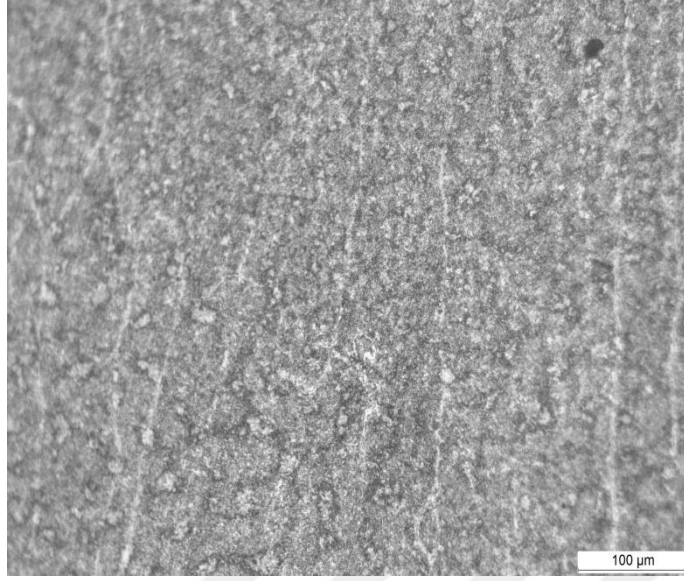
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	66.39	78.40	72.90	1.80
W	74	L-series	13.49	15.93	4.50	0.45
C	6	K-series	4.27	5.04	21.78	0.99
Mn	25	K-series	0.22	0.26	0.24	0.04
Si	14	K-series	0.21	0.25	0.46	0.04
Cr	24	K-series	0.10	0.12	0.12	0.03
Total:			84.68	100.00	100.00	

Şekil 3.13. S1 numunesinin kaplama tabakası EDS analiz grafikleri ve sonuçları

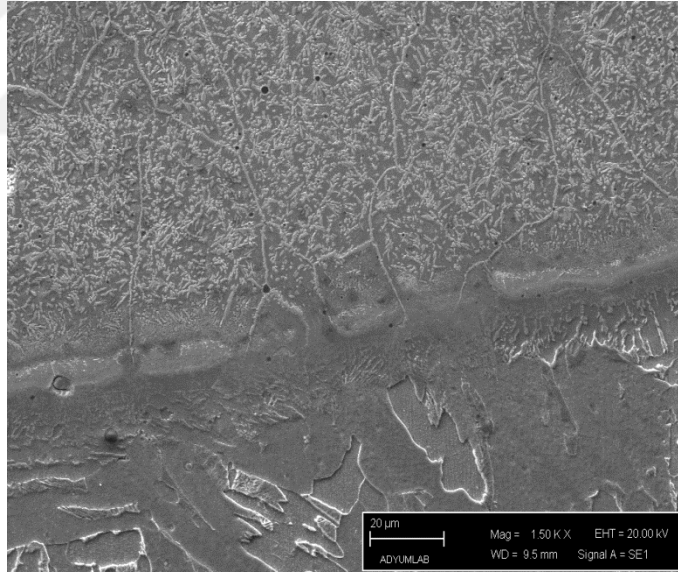
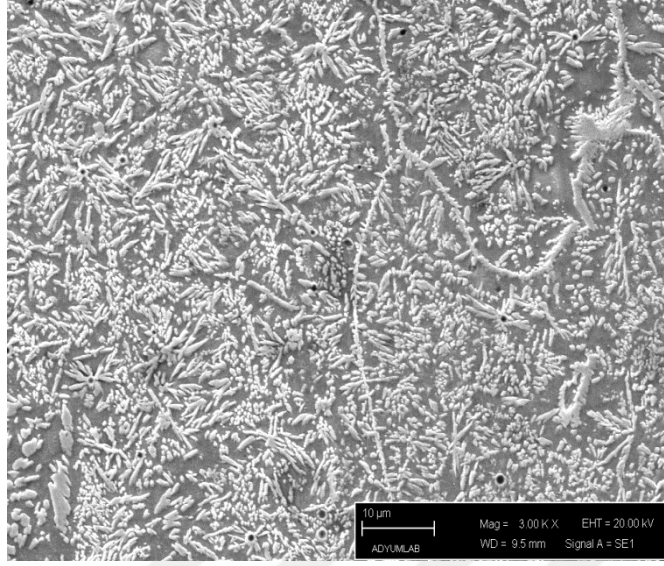
Çizelge 3.2. S1 Numunesinin EDS analiz sonuçları

Numune No	Analiz Bölgeleri	Elementler (%Ağırlık)						
		Fe	W	C	Mn	Cr	Si	Mo
S1	1. Bölge	73.87	3.01	22.62	0,33	0.15	0.03	-
	2. Bölge	74.50	0.34	24.49	0.47	0.01	0.17	0.01
	3. Bölge	72.04	1.44	26.10	0.31	0.10	0.01	-
	4. Bölge	47.62	4.38	47.75	0.13	0.12	-	-
	5. Bölge	72.90	4.50	21.78	0.24	0.12	0.46	-

AISI1020 çeliğinin yüzeyine, referans olarak kabul ettiğimiz Hardox450 kaplama alaşım malzemesine %10 oranında FeW ilavesi Çizelge 3.3.'de verilen parametreler kullanılarak PTA kaynak yöntemi ile alaşımlandırılmış olup, yapılan yüzey modifikasyonu işleminden sonra alaşım malzemesinin ara yüzeyinden alınan optik yüzey fotoğrafları Şekil 3.14.'de ve SEM fotoğrafları Şekil 3.15.'de verilmiştir. S2 numunesinin optik yüzey fotoğrafı incelendiğinde; mikroyapı görüntülerinde dendritik yapının belirginleştiği, tane sınırı karbürlerine ilave olarak tane içinde karbürlerin teşekkül ettiği görülmektedir. Matris ve ötektik yapıda kısmi artış yaşanırken artan FeW oranıyla birlikte matris ve ötektik yapıdaki karbon oranı belirgin biçimde azalmış ve devam eden numunelerde ise bu konsantrasyonda devam etmiştir. Bu değişimin sebebi olarak yapıda FeWC, FeC ve CrC karbürlerinin tane içinde teşekkül etmesiyle yapıdan karbon çekmesine bağlanmıştır. Bu sonucu matris ve ötektik yapıdaki tungsten değişimi desteklemektedir. Mikroyapı görüntülerinde dendritik yapının belirginleştiği, tane sınırı karbürlerine ilave olarak tane içinde karbürlerin teşekkül ettiği görülmektedir.



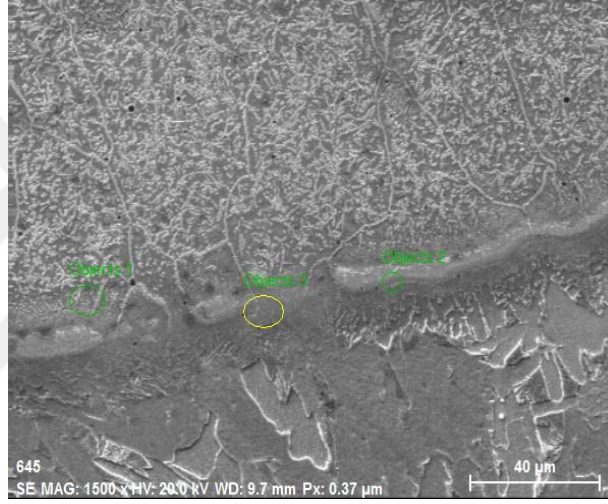
Şekil 3.14. S2 numunesinin optik fotoğrafı. a) Kaplama tabakası, b) Geçiş bölgesi



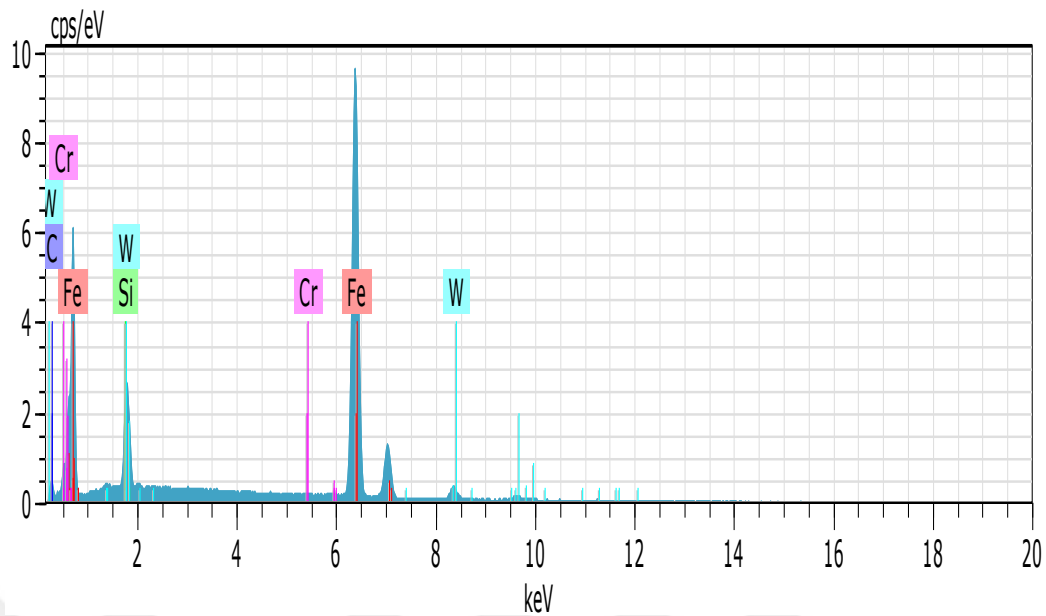
Şekil 3.15. S2 numunesinin SEM fotoğrafı. a) Kaplama tabakası, b) Geçiş bölgesi

S2 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 3.16. ve 3.18.'de verilmiştir. EDS analizleri kaplama üzerindeki beş farklı noktadan alınmış ve bu noktaların matris ve karbürlere denk gelmesi sağlanmıştır. S2 numunesinin EDS analiz grafiği Şekil 3.17.-3.19.'da ve sonuçları Çizelge 3.3.'de verilmiştir. Bu alaşıma ait EDS analiz sonuçları incelendiğinde; 1. bölgede %66.10 Fe, %4.28 W, %29.38 C,

%0.13 Cr, %0.20 Si, 2. bölgede, %58.43 Fe, %7.32 W, %33.37 C, %0.24 Mn, %0.15 Cr, %0.50 Si, 3. bölgede, %69.23 Fe, %3.43 W, %26.86 C, %0.39 Mn, %0.09 Cr, 4. bölgede, %82.07 Fe, %7.27 W, %10.06 C, %0.32 Mn, %0.24 Cr, %0.05 Si, 5. bölgede %70.89 Fe, %13.83 W, %13.70 C, %0.36 Mn, %0.29 Cr, %0.93 Si, elementleri saptanmıştır. EDS analiz sonuçları değerlendirildiğinde kaplama malzemesinden, kaplanan altlık malzeme AISI1020 tarafına W, Cr ve C, altlık malzemedan de kaplama malzemesine doğru Fe, C elementlerinin difüzyon yoluyla geçtiğini söyleyebiliriz. Ayrıca; 4 ve 5. bölgeler ise kaplama malzemesinin elementleri olan W, Si, C, Fe, Mn ve Cr'den oluşmuştur.

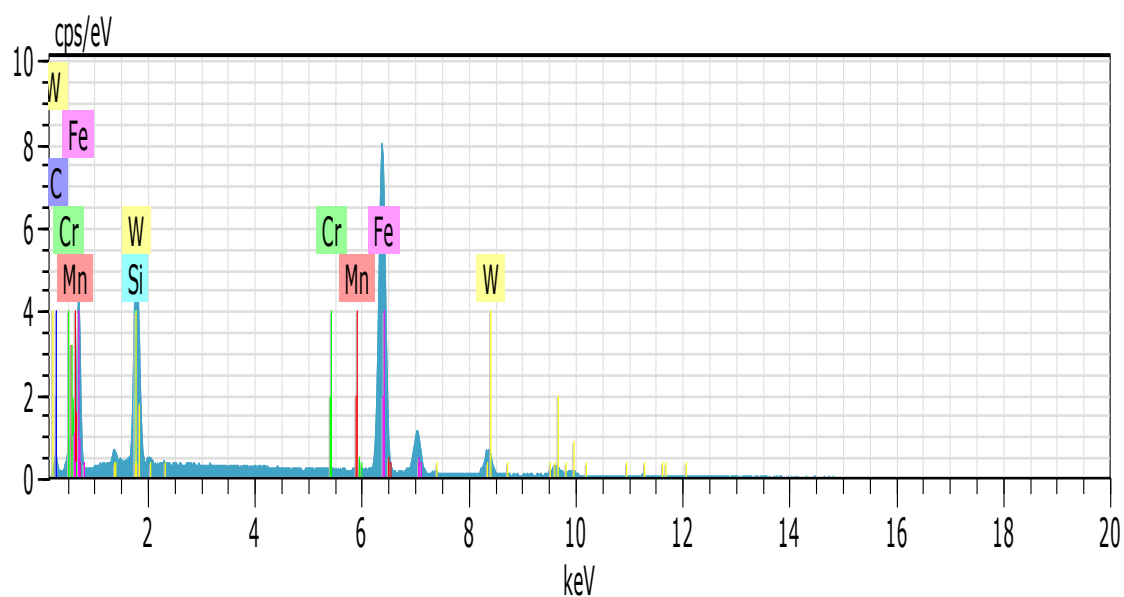


Şekil 3.16. S2 numunesinin geçiş bölgesi EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı

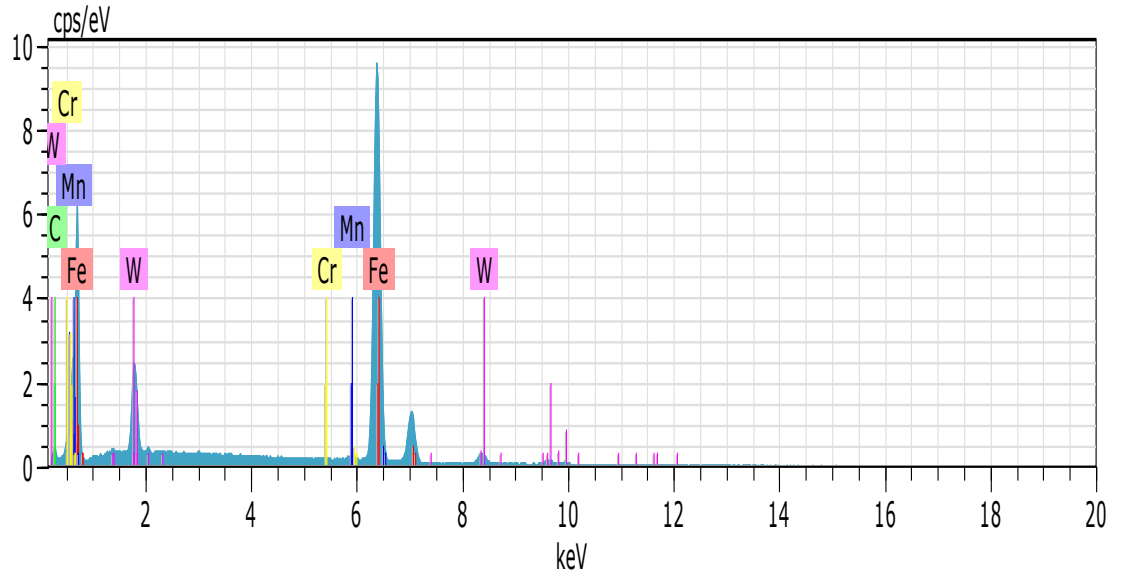


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	59.58	76.25	66.10	1.62
W	74	L-series	12.71	16.26	4.28	0.43
C	6	K-series	5.70	7.29	29.38	1.18
Cr	24	K-series	0.11	0.14	0.13	0.03
Si	14	K-series	0.05	0.07	0.12	0.03

Total: 78.14 100.00 100.00

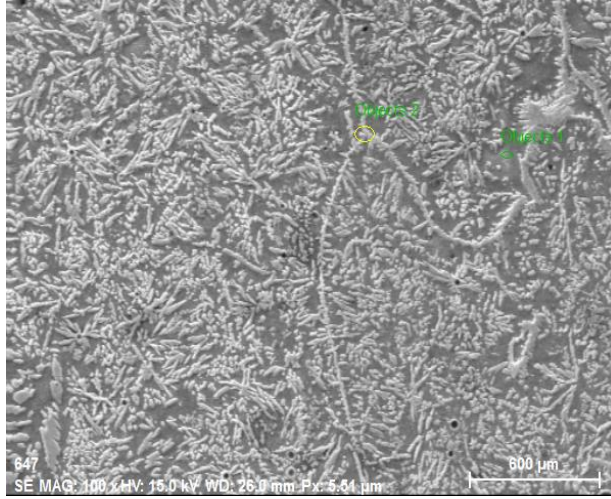


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	58.41	64.69	58.43	1.59
W	74	L-series	24.08	26.67	7.32	0.74
C	6	K-series	7.17	7.95	33.37	1.46
Si	14	K-series	0.25	0.28	0.50	0.04
Mn	25	K-series	0.23	0.26	0.24	0.04
Cr	24	K-series	0.14	0.16	0.15	0.04
Total:			90.29	100.00	100.00	

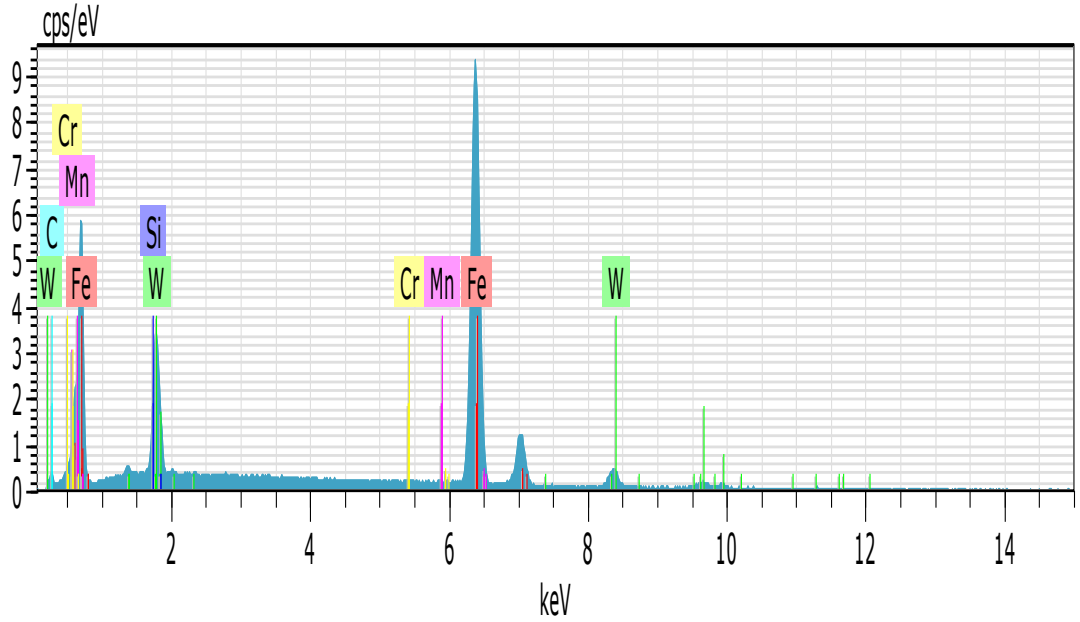


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	69.30	79.79	69.23	1.88
W	74	L-series	11.30	13.01	3.43	0.40
C	6	K-series	5.78	6.66	26.86	1.23
Mn	25	K-series	0.39	0.45	0.39	0.05
Cr	24	K-series	0.08	0.10	0.09	0.03
Total:			86.85	100.00	100.00	

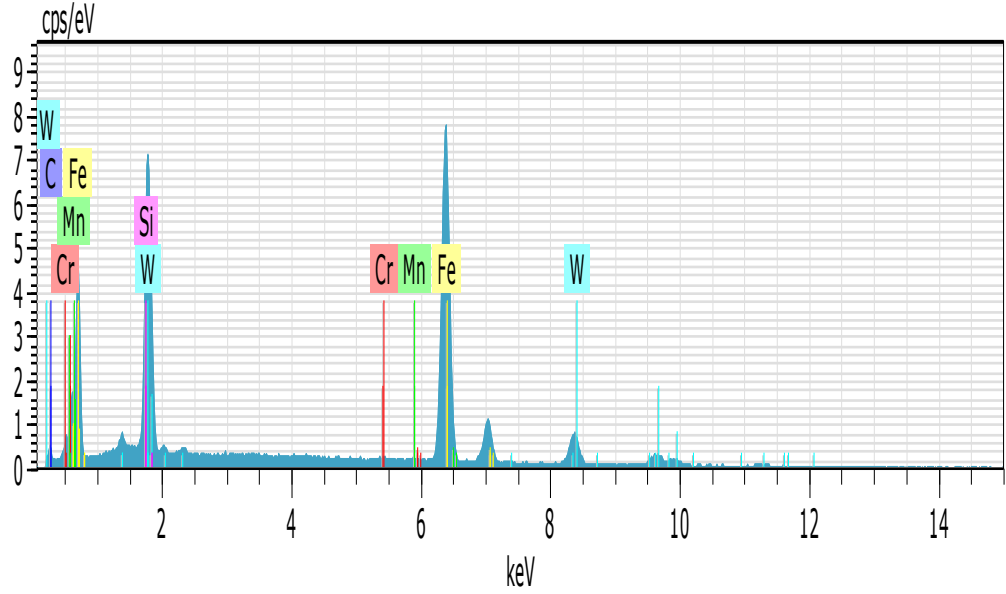
Şekil 3.17. S2 numunesinin geçiş bölgesi EDS analiz grafikleri ve sonuçları



Şekil 3.18. S2 numunesinin kaplama tabakası EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	106.00	75.50	82.07	3.15
W	74	L-series	30.89	22.00	7.27	1.21
C	6	K-series	2.79	1.99	10.06	0.65
Mn	25	K-series	0.40	0.29	0.32	0.05
Cr	24	K-series	0.28	0.20	0.24	0.04
Si	14	K-series	0.04	0.03	0.05	0.03
Total:			140.40	100.00	100.0	



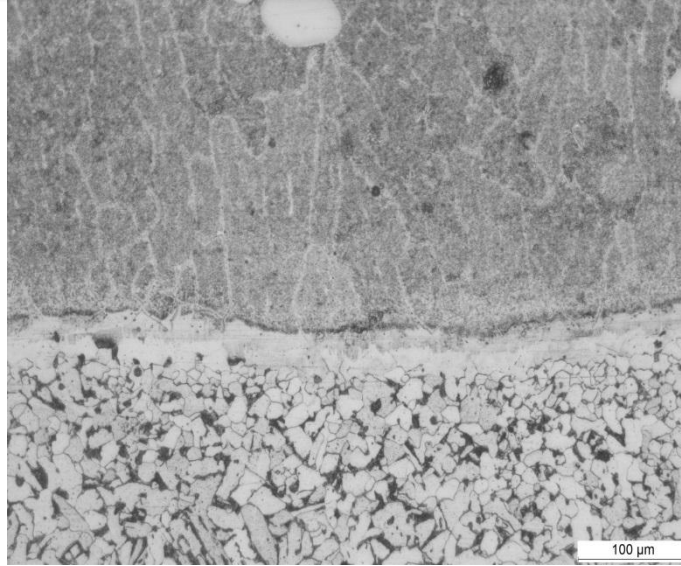
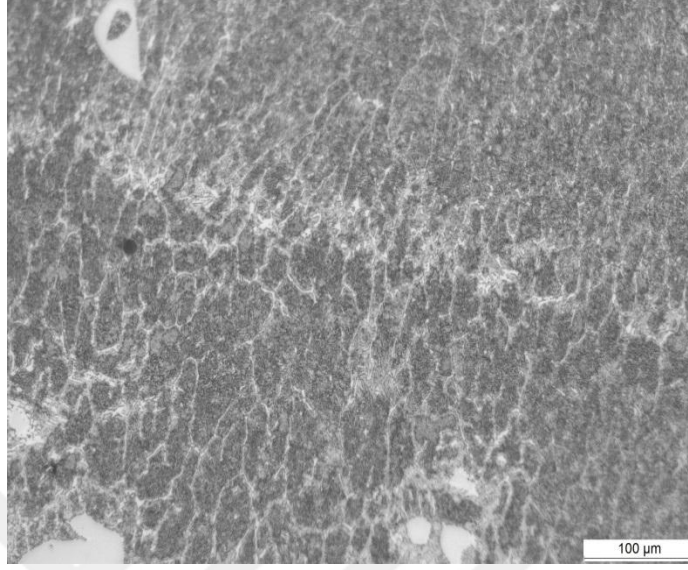
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	83.37	58.85	70.89	2.49
W	74	L-series	53.55	37.80	13.83	1.99
C	6	K-series	3.47	2.45	13.70	0.76
Si	14	K-series	0.55	0.39	0.93	0.06
Mn	25	K-series	0.42	0.29	0.36	0.05
Cr	24	K-series	0.32	0.22	0.29	0.05
Total:			141.67	100.00	100.00	

Şekil 3.19. S2 numunesinin kaplama tabakası EDS analiz grafikleri ve sonuçları

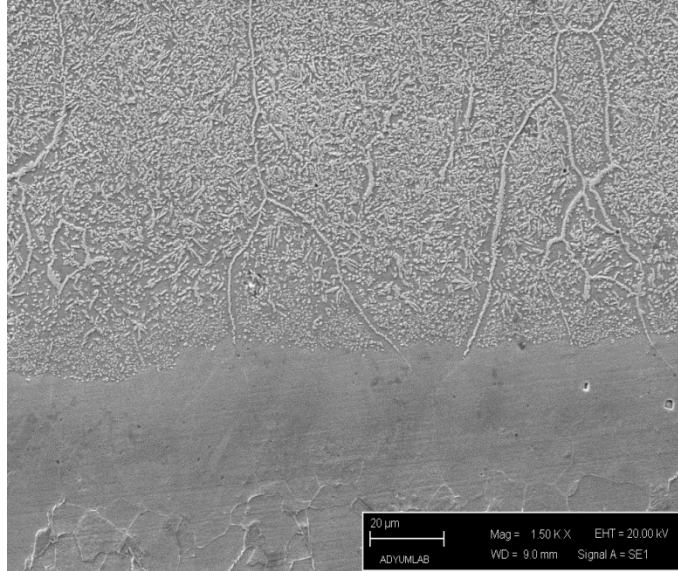
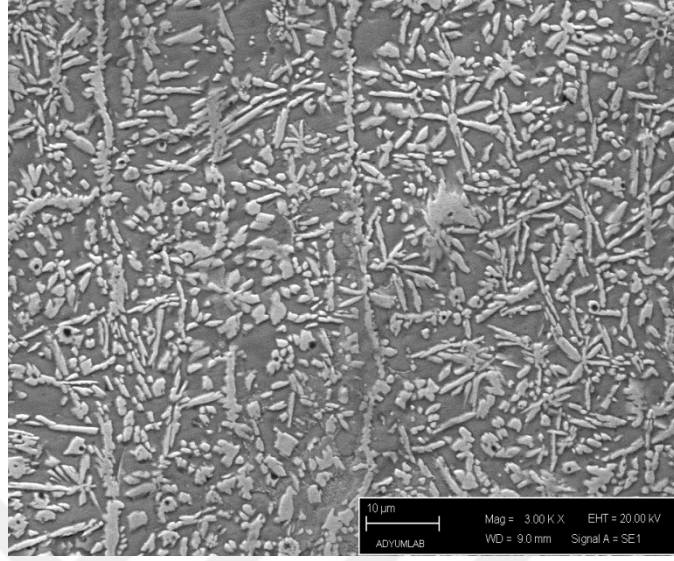
Çizelge 3.3. S2 Numunesinin EDS analiz sonuçları

Numune No	Analiz Bölgeleri	Elementler (%Ağırlık)					
		Fe	W	C	Mn	Cr	Si
S2	1. Bölge	66.10	4.28	29.38	-	0.13	0.2
	2. Bölge	58.43	7.32	33.37	0.24	0.15	0.50
	3. Bölge	69.23	3.43	26.86	0.39	0.09	-
	4. Bölge	82.07	7.27	10.06	0.32	0.24	0.05
	5. Bölge	70.89	13.83	13.70	0.36	0.29	0.93

AISI1020 çeliğinin yüzeyine, referans olarak kabul ettiğimiz Hardox450 kaplama alaşım malzemesine %15 oranında FeW ilavesi Çizelge 3.3.'de verilen parametreler kullanılarak PTA kaynak yöntemi ile alaşımlandırılmış olup, yapılan yüzey modifikasyonu işleminden sonra alaşım malzemesinin ara yüzeyinden alınan optik yüzey fotoğrafları Şekil 3.20.'de ve SEM fotoğrafları Şekil 3.21.'de verilmiştir. S3 numunesinin optik yüzey fotoğrafı incelendiği zaman; ara tabaka kalınlığı belirgin ölçüde artarken, dendritik oluşum iyice artmış ara geçiş tabakasından uzak bölgelerde oldukça dengeli bir şekilde dağılım göstermiştir. Toz miktarının artması ile kaplama katında krom ve karbon konsantrasyonları yükselmiş ve buna bağlı olarak ara bölgeden ana metale doğru metal atomu difüzyonu hızlanmıştır. Diğer yandan ara geçiş bölgesi sınırları da belirginliğini yitirmiş, dendrit kolları çoğalmış ve kalınlaşmıştır Diğer yandan plazma alevi etkisiyle kaplama tabakasından ana malzemeye ve ana malzemeden de kaplama tabakasına doğru difüzyon ile geçişler olmuştur. Şekil 3.22.'de gösterilen point 2 noktasında alınan EDS analizinde % 5,64 oranında W ve %63,11 oranında Fe' in yanı sıra önemsiz miktarlarda Si ve Mn'de tespit edilmiştir. Bu sonuçlar kaplama işlemi sırasında kaplama tozu ve ana malzeme arasında oluşan difüzyon hareketinin varlığını göstermektedir. Dolayısıyla AISI1020 çeliğinde bulunan C' un da kaplama tabakasına geçişi kaçınılmazdır.



Şekil 3.20. S3 numunesinin optik fotoğrafı. a) Kaplama tabakası, b) Geçiş bölgesi.



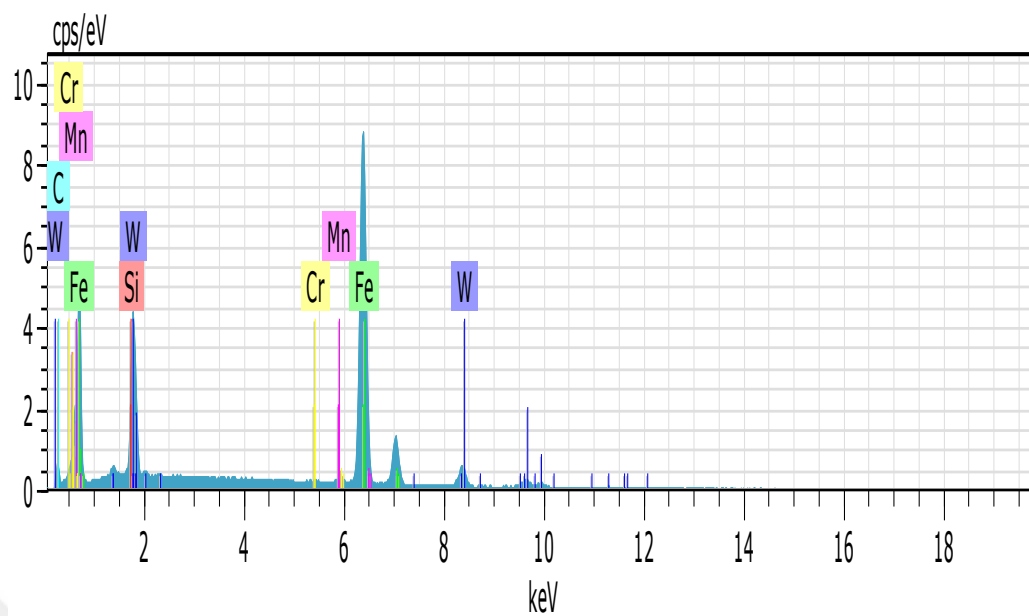
Şekil 3.21. S3 numunesinin SEM fotoğrafı. a) Kaplama tabakası, b) Geçiş bölgesi

S3 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 3.22. ve 3.24.'de verilmiştir. EDS analizleri kaplama üzerindeki beş farklı noktadan alınmıştır.

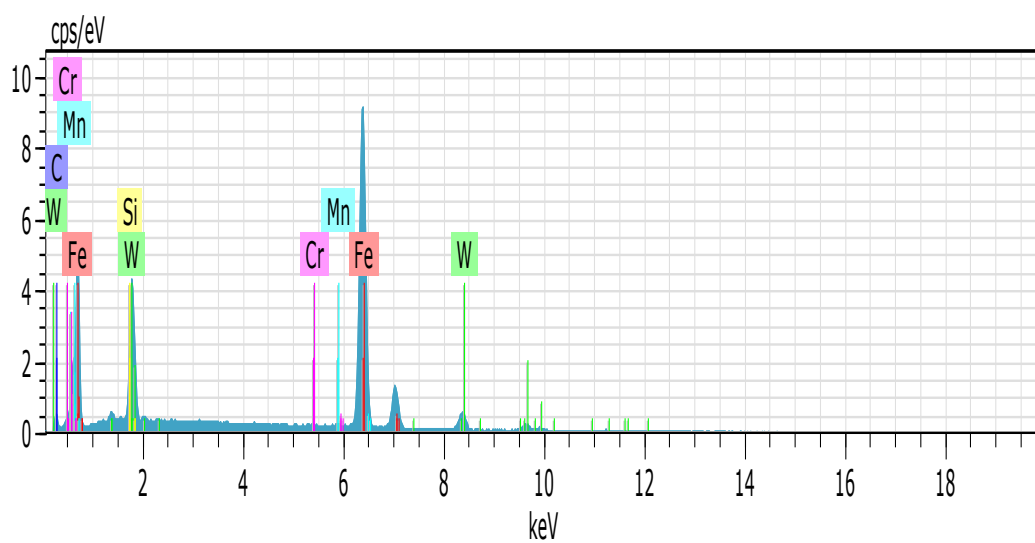
S3 numunesinin EDS analiz grafiği Şekil 3.23.-3.25.'de ve sonuçları Çizelge 3.4.'de verilmiştir. Bu alaşıma ait EDS analiz sonuçları incelendiği zaman; 1. bölgede %58.90 Fe, %5.51 W, %34.86 C, %0.34 Mn, %0.14 Cr, %0.25 Si, 2. bölgede, %63.11 Fe, %5.64 W, %30.39 C, %0.40 Mn, %0.32 Cr, %0.16 Si, 3. bölgede, %67.37 Fe, %4.13 W, %27.84 C, %0.40 Mn, %0.14 Cr, %0.13 Si, 4. bölgede, %60.61 Fe, %3.32 W, %35.31 C, %0.31 Mn, %0.24 Cr, %0.21 Si, 5. bölgede %36.15 Fe, %20.15 W, %41.44 C, %0.02 Mn, %0.13 Cr, %2.12 Si, elementleri saptanmıştır. EDS analiz sonuçları değerlendirildiğinde kaplama malzemesinden, kaplanan altlık malzeme AISI1020 tarafına W, Cr ve C, altlık malzemeden de kaplama malzemesine doğru Fe, C elementlerinin difüzyon yoluyla geçtiğini söyleyebiliriz. Ayrıca, 4 ve 5. bölgeler ise kaplama malzemesinin elementleri olan W, Si, C, Fe, Mn ve Cr'den oluşmuştur.



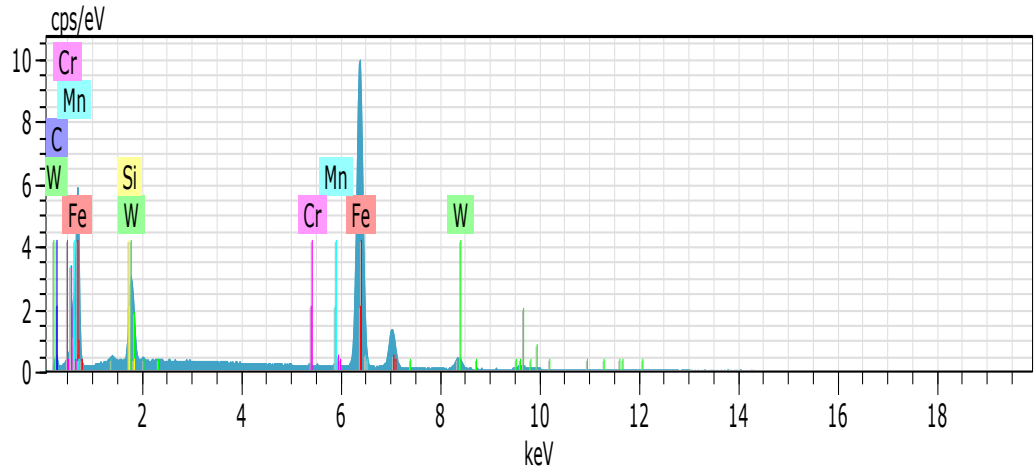
Şekil 3.22. S3 numunesinin geçiş bölgesi EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	62.65	69.19	58.90	1.70
W	74	L-series	19.29	21.30	5.51	0.61
C	6	K-series	7.97	8.81	34.86	1.56
Mn	25	K-series	0.36	0.40	0.34	0.05
Cr	24	K-series	0.14	0.16	0.14	0.04
Si	14	K-series	0.13	0.15	0.25	0.04
Total:			90.55	100.00	100.00	

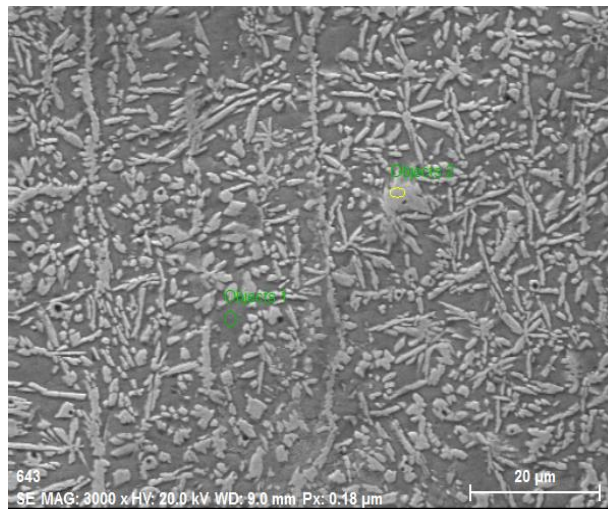


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	63.80	71.00	63.11	1.73
W	74	L-series	18.75	20.87	5.64	0.60
C	6	K-series	6.61	7.35	30.39	1.36
Mn	25	K-series	0.39	0.44	0.40	0.05
Si	14	K-series	0.16	0.18	0.32	0.04
Cr	24	K-series	0.15	0.17	0.16	0.04
Total:			89.86	100.00	100.00	

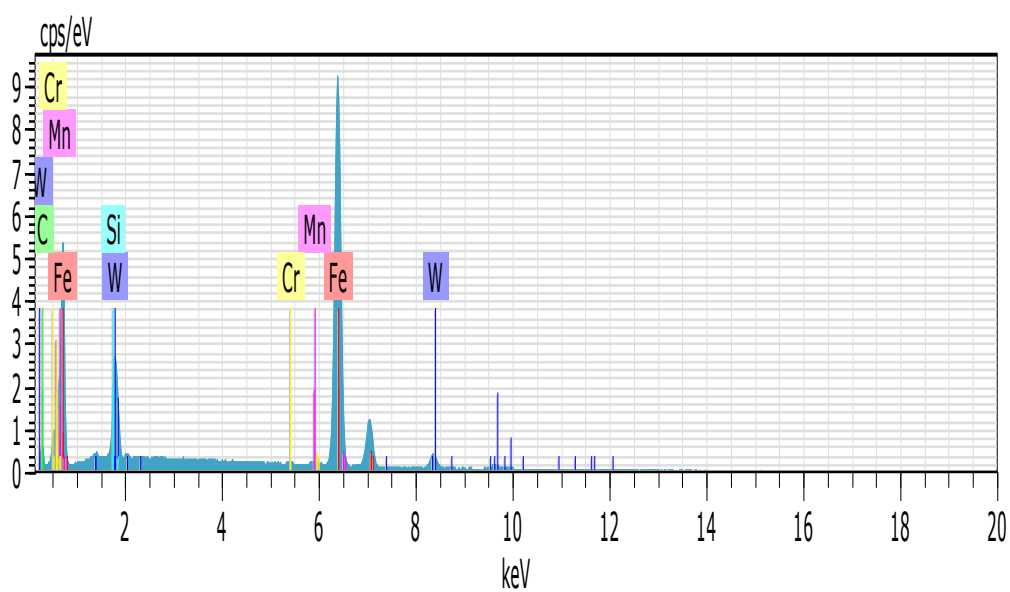


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	71.31	76.97	67.37	1.93
W	74	L-series	14.38	15.52	4.13	0.48
C	6	K-series	6.34	6.84	27.84	1.32
Mn	25	K-series	0.41	0.44	0.40	0.05
Cr	24	K-series	0.14	0.15	0.14	0.04
Si	14	K-series	0.07	0.07	0.13	0.03
Total:			92.64	100.00	100.00	

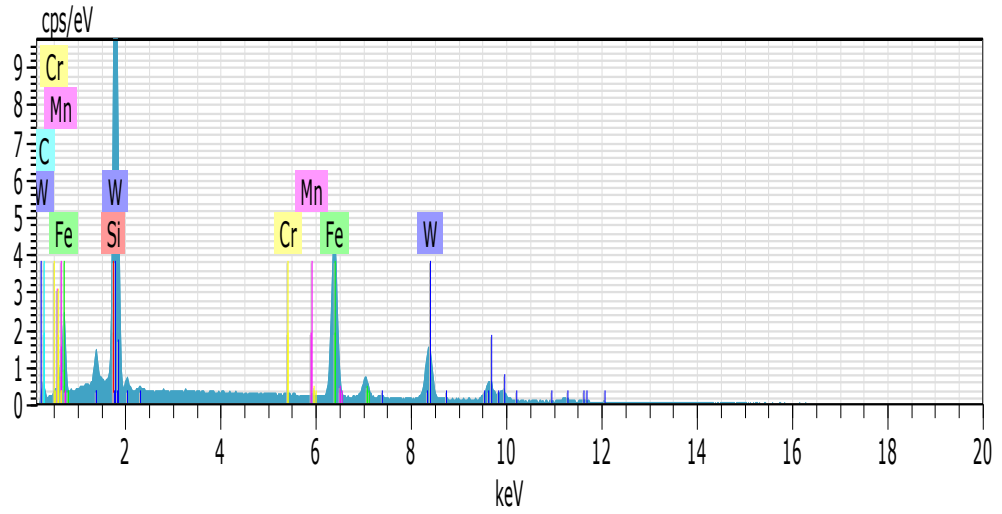
Şekil 3.23. S3 numunesinin geçiş bölgesi EDS analiz grafikleri ve sonuçları



Şekil 3.24. S3 numunesinin kaplama tabakası EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	68.50	75.98	60.61	1.86
W	74	L-series	12.36	13.71	3.32	0.42
C	6	K-series	8.58	9.52	35.31	1.63
Mn	25	K-series	0.34	0.38	0.31	0.04
Cr	24	K-series	0.25	0.28	0.24	0.04
Si	14	K-series	0.12	0.13	0.21	0.03
Total:			90.15	100.00	100.00	



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
W	74	L-series	49.84	58.92	20.15	1.45
Fe	26	K-series	27.15	32.10	36.15	0.77
C	6	K-series	6.69	7.91	41.44	1.43
Si	14	K-series	0.80	0.95	2.12	0.07
Cr	24	K-series	0.09	0.10	0.13	0.03
Mn	25	K-series	0.01	0.02	0.02	0.03
Total:			84.59	100.00	100.00	

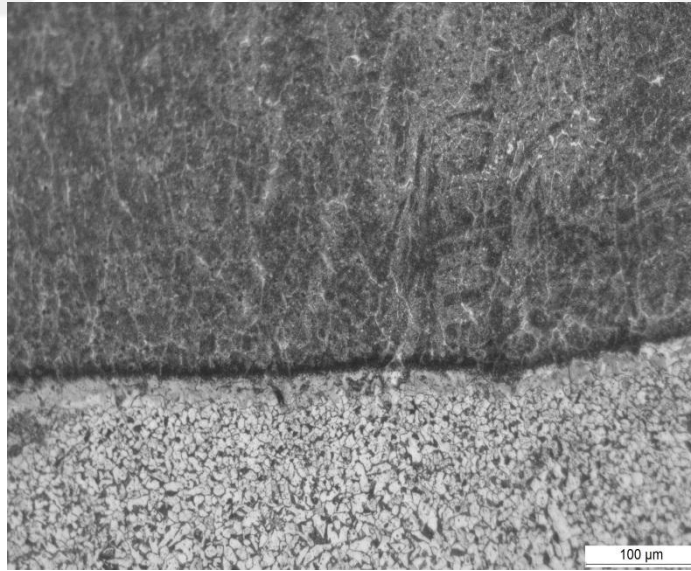
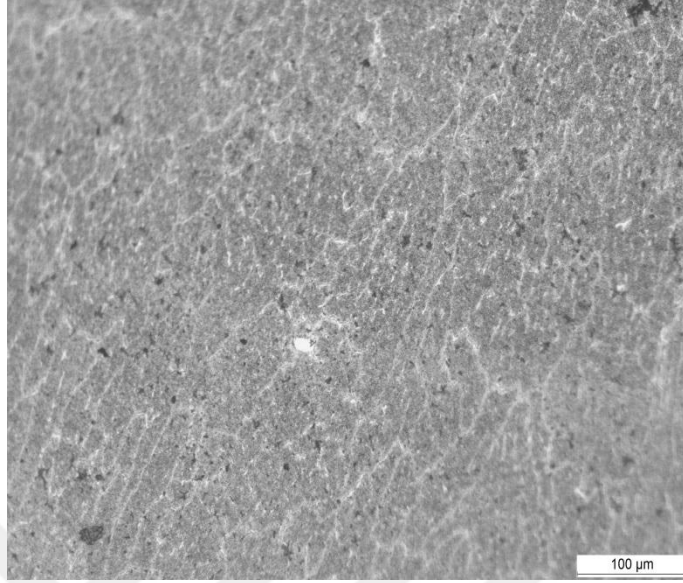
Şekil 3.25. S3 numunesinin kaplama tabakası EDS analiz grafikleri ve sonuçları

Çizelge 3.4. S3 Numunesinin EDS analiz sonuçları

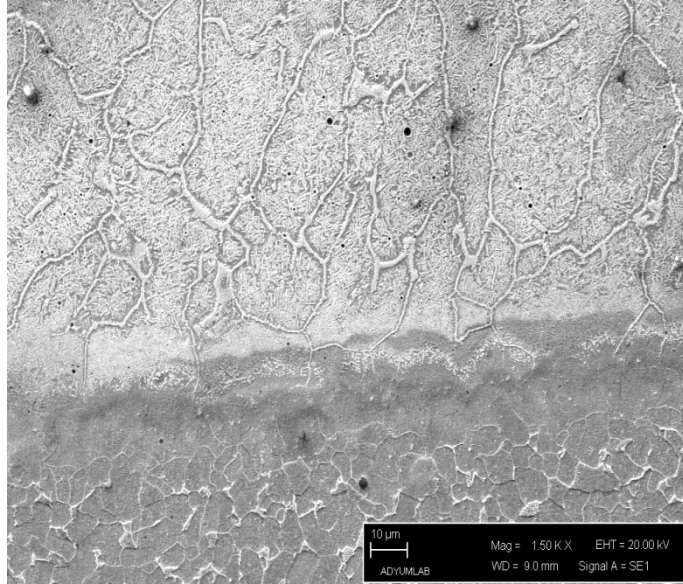
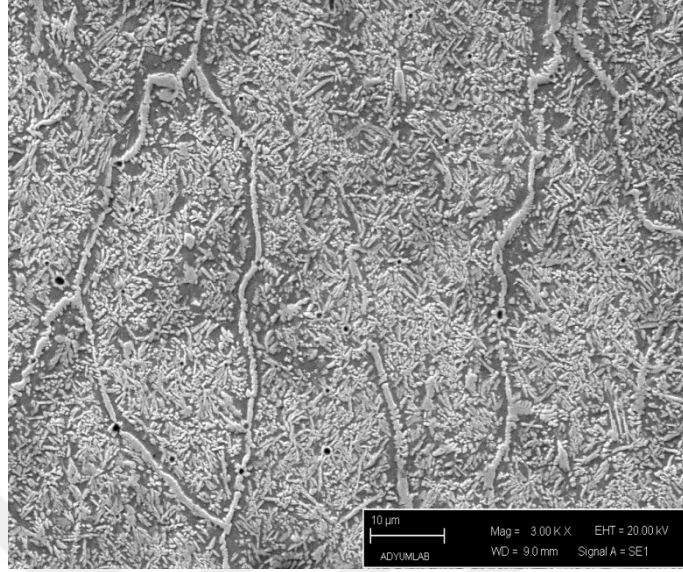
Numune No	Analiz Bölgeleri	Elementler (%Ağırlık)					
		Fe	W	C	Mn	Cr	Si
S3	1. Bölge	58.90	5.51	34.86	0.34	0.14	0.25
	2. Bölge	63.11	5.64	30.39	0.40	0.32	0.16
	3. Bölge	67.37	4.13	27.84	0.40	0.14	0.13
	4. Bölge	60.61	3.32	35.31	0.31	0.24	0.21
	5. Bölge	36.15	20.15	41.44	0.02	0.13	2.12

AISI1020 çeliğinin yüzeyine, referans olarak kabul ettiğimiz Hardox450 kaplama alaşım malzemesine %20 oranında FeW ilavesi Çizelge 3.3.'de verilen parametreler kullanılarak PTA kaynak yöntemi ile alaşımlandırılmış olup, yapılan yüzey modifikasyonu işleminden sonra alaşım malzemesinin ara yüzeyinden alınan

optik yüzey fotoğrafları Şekil 3.26.'da ve SEM fotoğrafları Şekil 3.27.'de verilmiştir. S4 numunesinin optik yüzey fotoğrafı incelendiği zaman; toz miktarının artması ile kaplama katında karbon konsantrasyonları yükselmiş ve buna bağlı olarak ara bölgeden ana metale doğru tungsten ve karbon atomu difüzyonu hızlanmıştır. PTA kaynak yönteminin yüksek sıcaklığı nedeniyle, Fe, W, Cr ve C elementleri daha yüksek bir difüzyon hızına ulaşmış ve soğuma işleminin gecikmesiyle oluşan Cr_xC_y karbürleri gruplar halinde belli bölgelerde bir araya gelmişlerdir. Bunun nedeni; kararlı ve otomatik sistemde kaynak akımı değeriyle birlikte, düşük üretim hızında kaplama yapılmasıdır. SEM fotoğrafı incelendiğinde; tanelerin düzenli olarak dağıldığı net olarak gözlenmektedir. Kaplama sırasındaki üretim hızı ile kaynak akımının uygunluğu sebebiyle oluşan yeterli ısının etkisiyle topaklaşma oluşmamaktadır. PTA kaynak yönteminin yüksek sıcaklığı nedeniyle, tungsten ve karbon elementleri daha yüksek bir difüzyon hızına ulaşmış ve soğuma işleminin gecikmesiyle oluşan tungsten karbürler gruplar halinde belli bölgelerde bir araya gelmişlerdir. Demir elementi ise, matrisi oluşturarak demirli tungsten karbür ve demir karbürlerin düzenli bir şekilde dağılmalarına olanak sağlamıştır. Artan toz yedirme miktarının, Şekil 3.28.'de görüldüğü gibi, kaplanan metale daha çok tungsten elementi geçişmiş, geçiş bölgesi genişlemiş ve yine kaplanan metalden kaplama katına da demir ve karbon elementlerinin geçişleri söz konusu olmuştur.



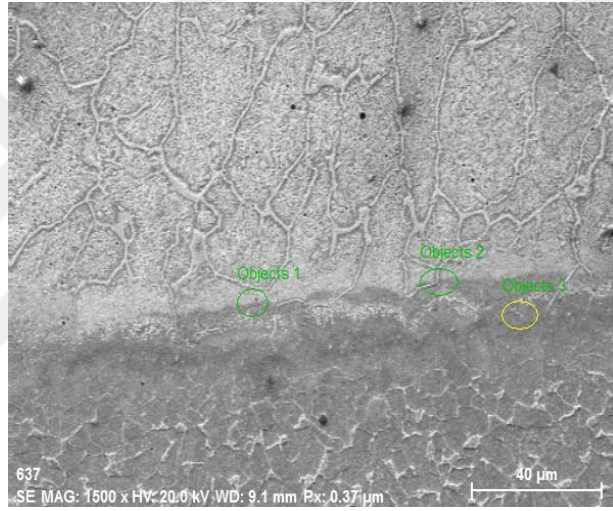
Şekil 3.26. S4 numunesinin optik fotoğrafı. a) Kaplama tabakası, b) Geçiş bölgesi



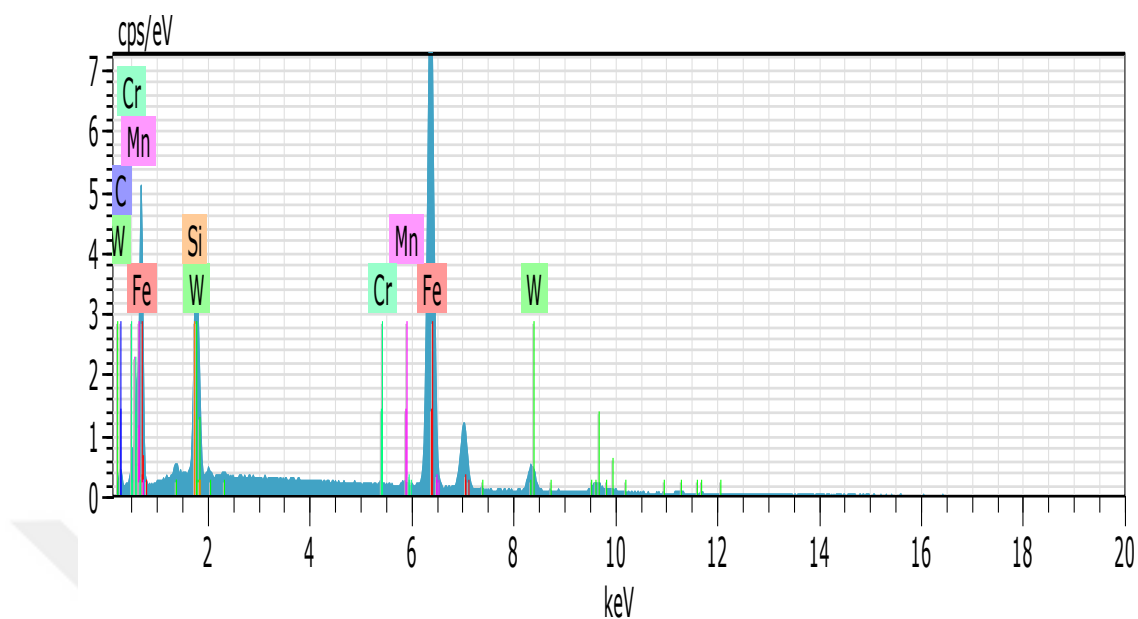
Şekil 3.27. S4 numunesinin SEM fotoğrafı. a) Kaplama tabakası, b) Geçiş bölgesi

S4 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 3.28. ve 3.30.'da verilmiştir. S4 numunesinin EDS analiz grafiği Şekil 3.29.-3.30.'da ve sonuçları Çizelge 3.5.'de verilmiştir. Bu alaşıma ait EDS analiz sonuçları incelendiği

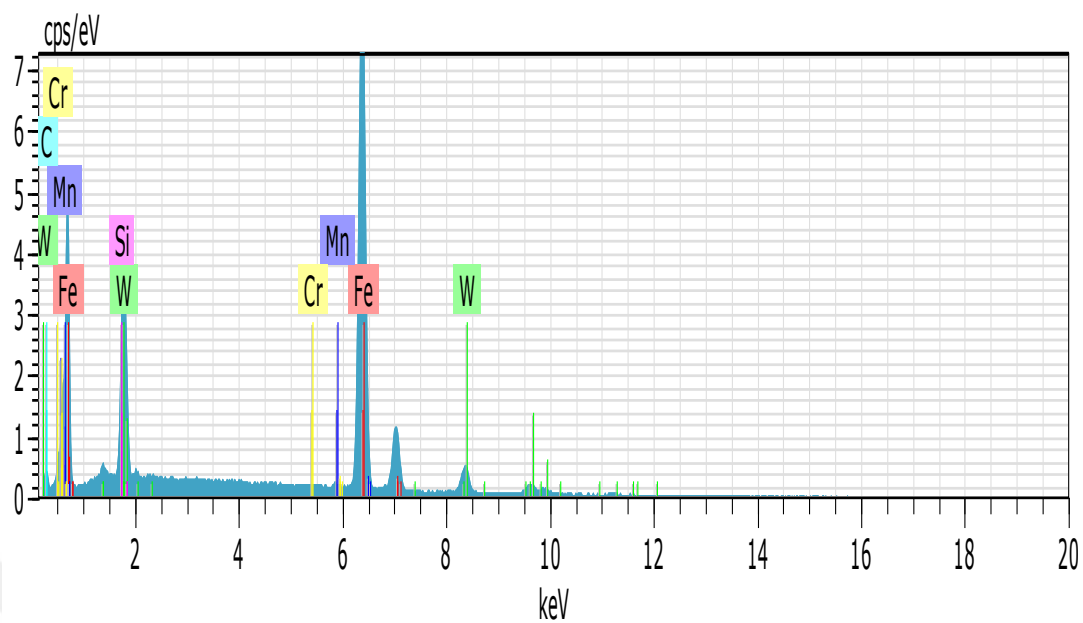
takdirde; 1. bölgede %65.18 Fe, %5.76 W, %28.06 C, %0.37 Mn, %0.03 Cr, %0.49 Si, 2. bölgede, %66.41 Fe, %5.40 W, %26.98 C, %0.38 Mn, %0.13 Cr, %0.50 Si, 3. bölgede, %72.14 Fe, %2.53 W, %24.69 C, %0.47 Mn, %0.11 Si, %0.05 Cr, 4. bölgede, %70.18 Fe, %5.05 W, %24.04 C, %0.22 Cr, %0.51 Si, 5. bölgede %43.36 Fe, %19.54 W, %35.01 C, %0.10 Cr, %2.00 Si, elementleri saptanmıştır. EDS analiz sonuçları değerlendirildiğinde kaplama malzemesinden, kaplanan altlık malzeme AISI1020 tarafına W, Cr ve C, altlık malzemedan de kaplama malzemesine doğru Fe, C elementlerinin difüzyon yoluyla geçtiğini söyleyebiliriz. Ayrıca, 4 ve 5. bölgeler ise kaplama malzemesinin elementleri olan W, Si, C, Fe ve Cr' den oluşmuştur.



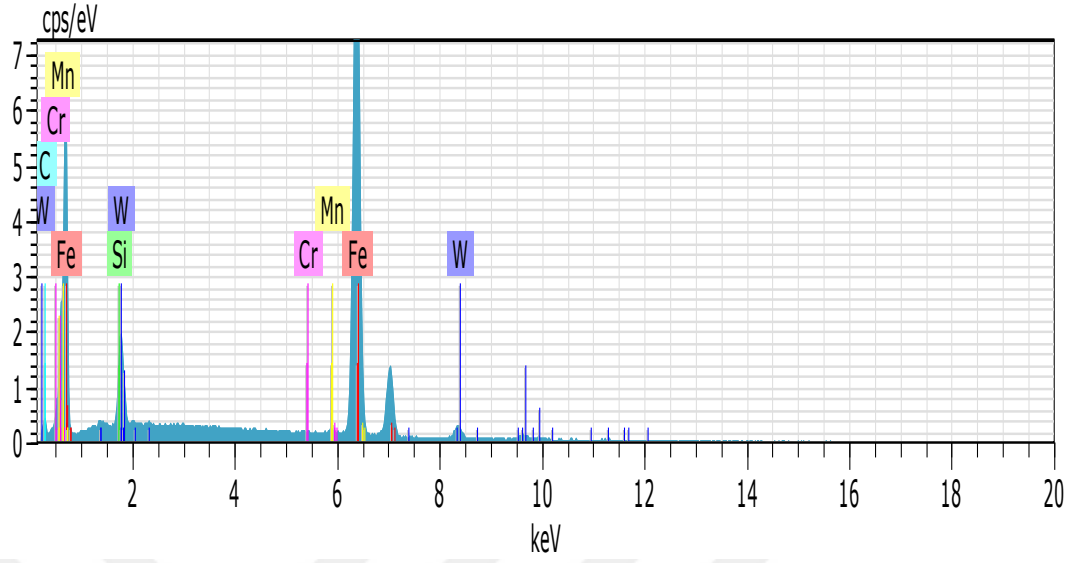
Şekil 3.28. S4 numunesinin geçiş bölgesi EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	62.33	71.69	65.18	1.69
W	74	L-series	18.13	20.86	5.76	0.58
C	6	K-series	5.77	6.64	28.06	1.23
Mn	25	K-series	0.35	0.40	0.37	0.04
Si	14	K-series	0.24	0.27	0.49	0.04
Cr	24	K-series	0.12	0.14	0.13	0.03
Total:			86.94	100.00	100.00	

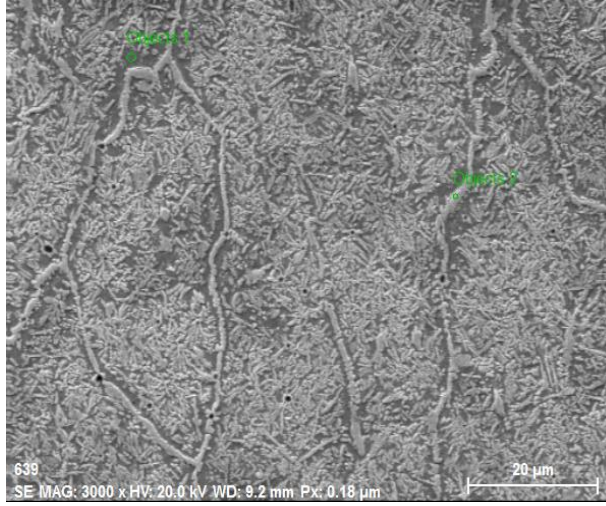


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	65.15	73.26	66.61	1.77
W	74	L-series	17.37	19.53	5.40	0.56
C	6	K-series	5.68	6.38	26.98	1.22
Mn	25	K-series	0.37	0.41	0.38	0.05
Si	14	K-series	0.24	0.27	0.50	0.04
Cr	24	K-series	0.12	0.14	0.13	0.03
Total:			88.93	100.00	100.00	

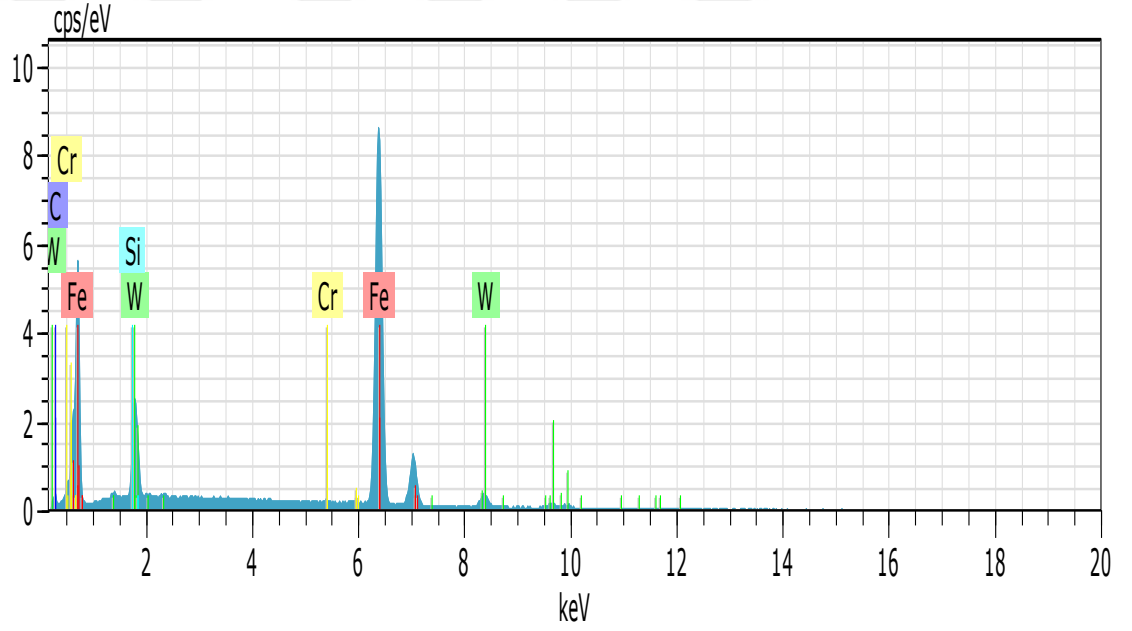


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	76.07	83.54	72.14	2.06
W	74	L-series	8.79	9.65	2.53	0.32
C	6	K-series	5.60	6.15	24.69	1.21
Mn	25	K-series	0.49	0.53	0.47	0.05
Si	14	K-series	0.06	0.07	0.11	0.03
Cr	24	K-series	0.05	0.06	0.05	0.03
Total:			91.06	100.00	100.00	

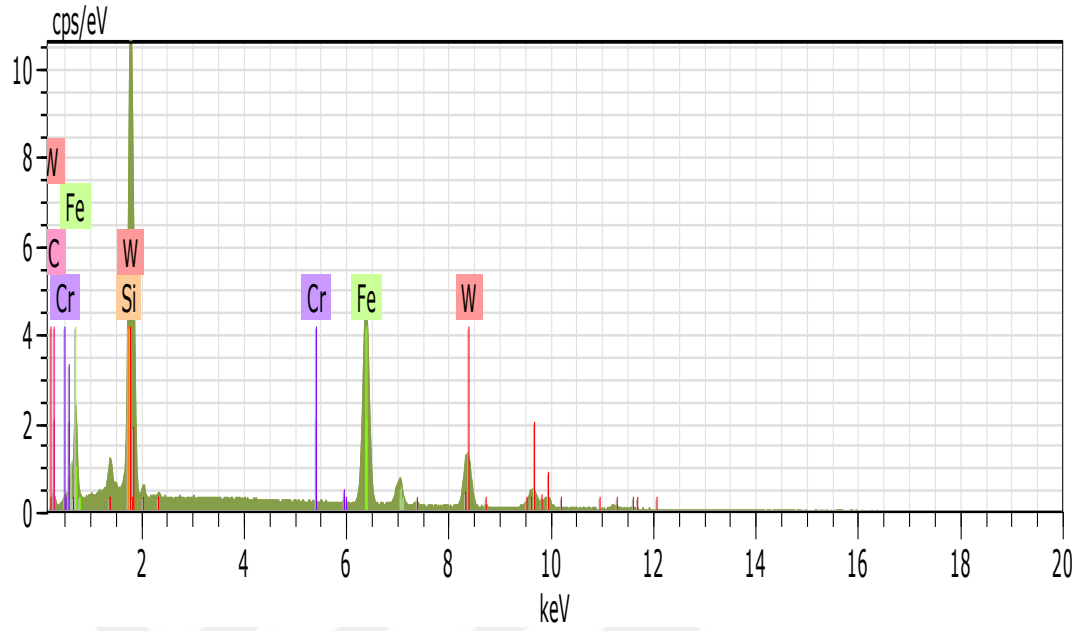
Şekil 3.29. S4 numunesinin geçiş bölgesi EDS analiz grafikleri ve sonuçları



Şekil 3.30. S4 numunesinin kaplama tabakası EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	56.67	75.92	70.18	1.54
W	74	L-series	13.43	17.99	5.05	0.45
C	6	K-series	4.17	5.59	24.04	0.94
Si	14	K-series	0.21	0.28	0.51	0.04
Cr	24	K-series	0.16	0.22	0.22	0.04
Total:			74.65	100.00	100.00	



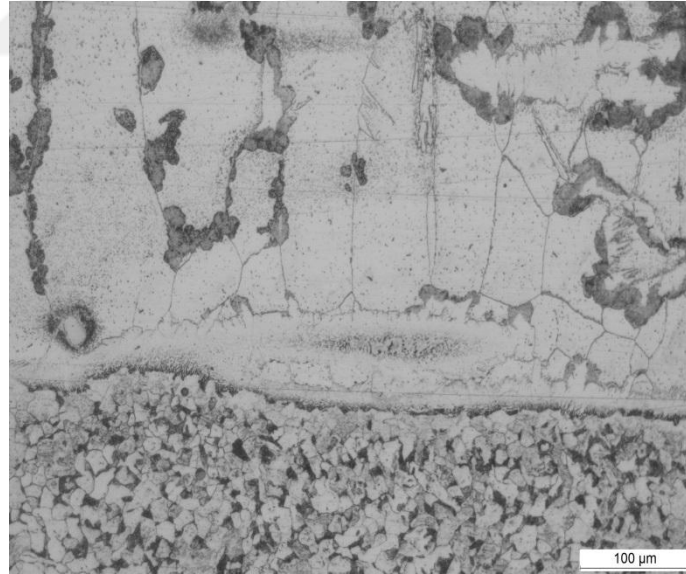
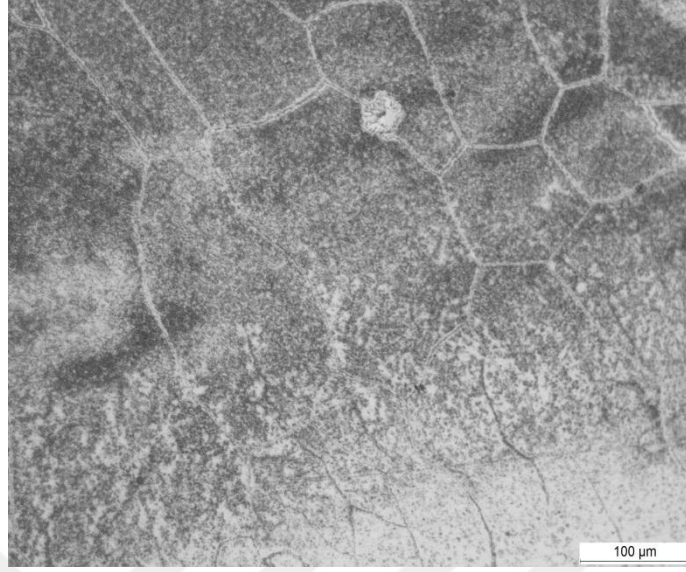
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
W	74	L-series	48.11	55.31	19.54	1.40
Fe	26	K-series	32.43	37.28	43.36	0.91
C	6	K-series	5.63	6.47	35.01	1.26
Si	14	K-series	0.75	0.86	2.00	0.06
Cr	24	K-series	0.07	0.08	0.10	0.03
Total:			86.99	100.00	100.00	

Şekil 3.31. S4 numunesinin kaplama tabakası EDS analiz grafikleri ve sonuçları

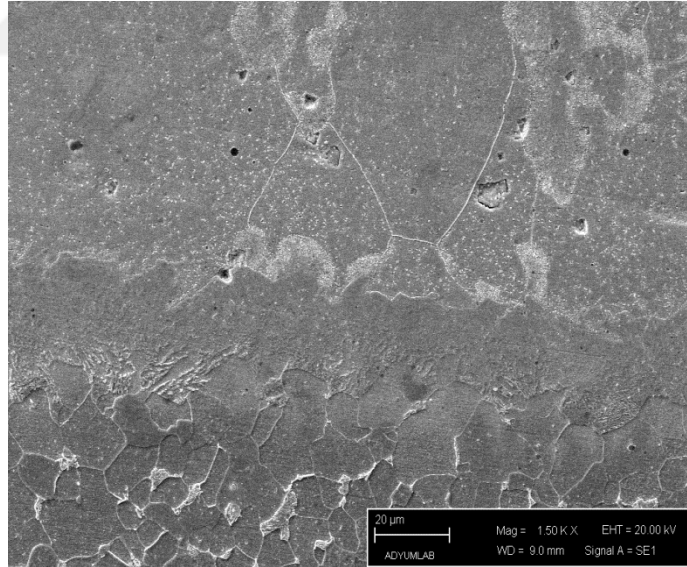
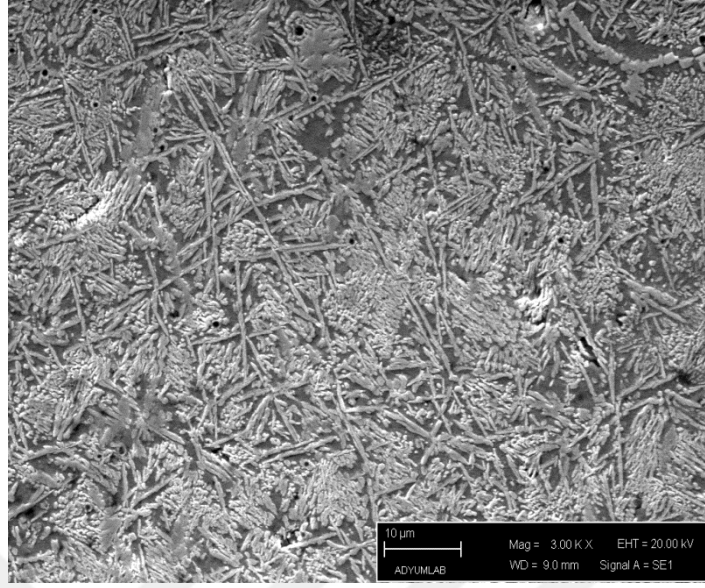
Çizelge 3.5. S4 Numunesinin EDS analiz sonuçları

Numune No	Analiz Bölgeleri	Elementler (% Ağırlık)					
		Fe	W	C	Mn	Cr	Si
S4	1. Bölge	65.18	5.76	28.06	0.37	0.49	0.13
	2. Bölge	66.41	5.40	26.98	0.38	0.50	0.13
	3. Bölge	72.14	2.53	24.69	0.47	0.11	0.05
	4. Bölge	70.18	5.05	24.04	-	0.51	0.22
	5. Bölge	43.36	19.54	35.01	-	2.00	0.10

AISI1020 çeliğinin yüzeyine, referans olarak kabul ettiğimiz Hardox450 kaplama alaşım malzemesine %25 oranında FeW ilavesi 130 A akım şiddeti, 0.8 lt/dak. plazma gaz debisi, 0.01 m/dak.'lık kaynak ilerleme hızı, argon koruyucu gazı ortamı ve PTA kaynak yöntemi kullanılarak alaşımlandırılmış olup, yapılan yüzey modifikasyonu işleminden sonra alaşım malzemesinin ara yüzeyinden alınan optik yüzey fotoğrafları Şekil 3.32.'de ve SEM fotoğrafları Şekil 3.33.'de verilmiştir. S5 numunesinin optik yüzey fotoğrafı incelendiği zaman; toz miktarının artması ile kaplama katında karbon konsantrasyonları yükselmiş ve buna bağlı olarak ara bölgeden ana metale doğru tungsten ve karbon atomu difüzyonu hızlanmıştır. SEM fotoğrafı incelendiğinde; kaplama katından kaplanan alaşıma ve aksi yöne atom hareketlerinin burada da gözlendiği, karşılıklı olarak her iki yanda bulunan elementlerin difüzyon etkisiyle geniş bir ara geçiş bölgesi oluşturduğu görülmektedir. Yine burada; oran itibarı ile artan FeW, bir önceki numunelere göre daha fazla krom, tungsten ve karbonun kaplama metali yönüne yayınmasına yol açmıştır. Artan toz miktarıyla krom, tungsten ve karbonun kaplanan çelik tarafına geçtiği belirlenmiştir. Ayrıca nikel ve manganın da kaplama katına doğru geçişme gösterdiği, dendrit kollarının daha belirginleştiği ve ara geçiş bölgesinin genişlediği, kaplanan alaşımdan kaplama katına doğru ve aksi yönde difüzyonun arttığı görülmüştür.



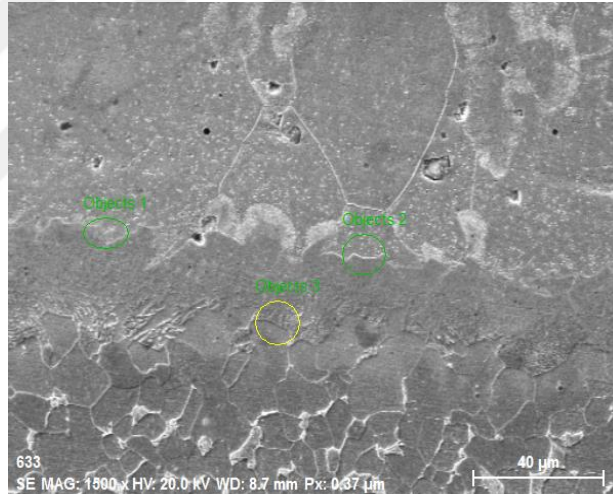
Şekil 3.32. S5 numunesinin optik fotoğrafı. a) Kaplama tabakası, b) Geçiş bölgesi



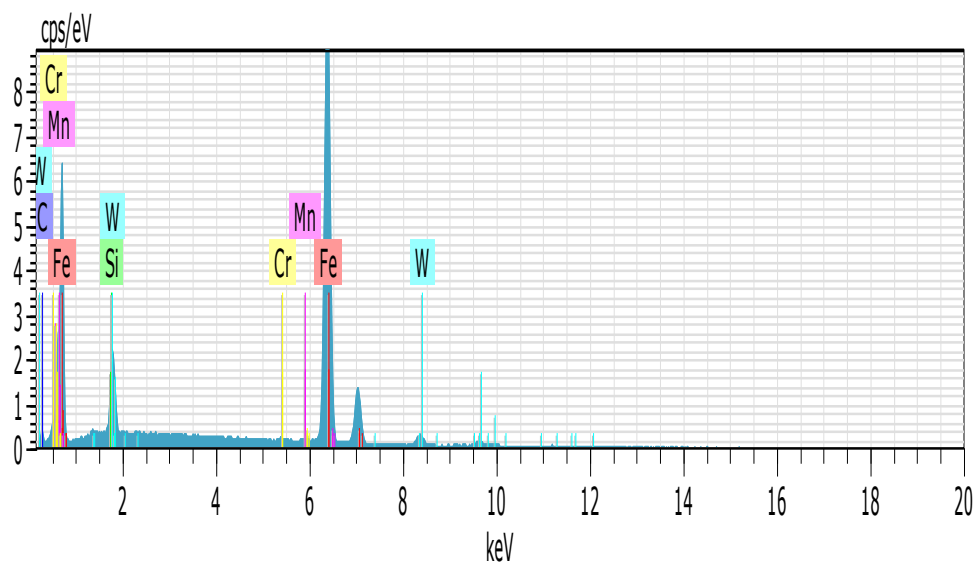
Şekil 3.33. S5 numunesinin SEM fotoğrafı. a) Kaplama tabakası, b) Geçiş bölgesi

S5 numunesinin EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı Şekil 3.34. ve 3.36.'da verilmiştir. S5 numunesinin EDS analiz grafiği Şekil 3.35.-3.37'de ve sonuçları Çizelge 3.6'da verilmiştir. Bu alaşımın EDS analiz sonuçları incelendiği zaman; 1.

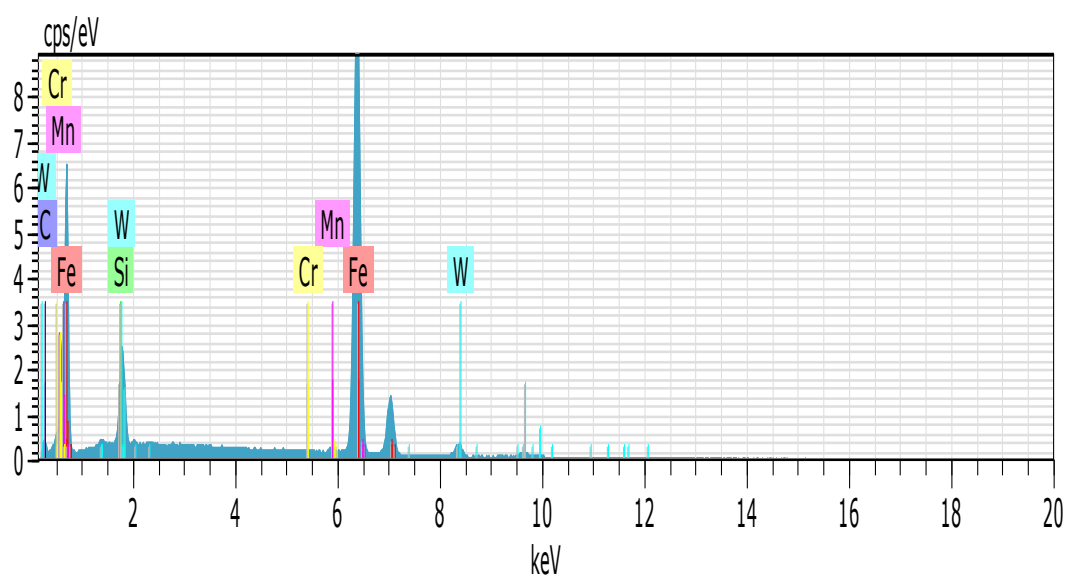
bölgede %74.92 Fe, %2.71 W, %21.43 C, %0.40 Mn, %0.20 Cr, %0.33 Si, 2. bölgede, %71.35 Fe, %3.51 W, %24.42 C, %0.44 Mn, %0.14 Cr, %0.14 Si, 3. bölgede, %76.26 Fe, %0.74 W, %22.35 C, %0.46 Mn, %0.07 Cr, %0.12 Si, 4. bölgede, %68.71 Fe, %4.05 W, %26.38 C, %0.26 Mn, %0.31 Cr, %0.24 Si, 5. bölgede %54.10 Fe, %10.92 W, %33.85 C, %0.24 Mn, %0.16 Cr, %0.73 Si, elementleri saptanmıştır. EDS analiz sonuçları değerlendirildiğinde kaplama malzemesinden, kaplanan altlık malzeme AISI1020 tarafına W, Cr ve C, altlık malzemedan de kaplama malzemesine doğru Fe, C elementlerinin difüzyon yoluyla geçtiğini söyleyebiliriz. Ayrıca, 4 ve 5. bölgeler ise kaplama malzemesinin elementleri olan W, Si, C, Fe, Mn ve Cr'den oluşmuştur. Artan toz yedirme miktarının, Şekil 3.34.' de görüldüğü gibi, kaplanan metale daha çok tungsten elementi geçişmiş, geçiş bölgesi genişlemiş ve yine kaplanan metalden kaplama katına da demir ve karbon elementlerinin geçişleri söz konusu olmuştur.



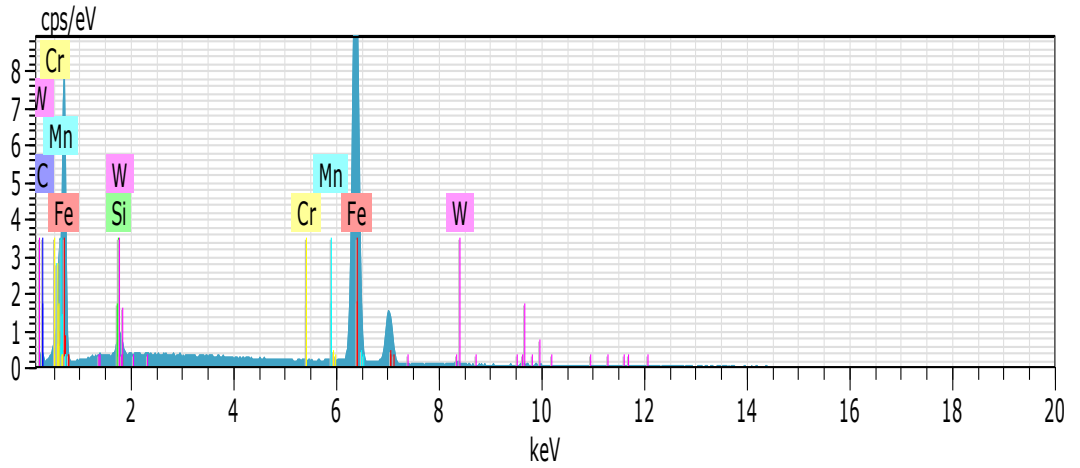
Şekil 3.34. S5 numunesinin geçiş bölgesi EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	74.55	83.98	74.92	2.02
W	74	L-series	8.88	10.01	2.71	0.32
C	6	K-series	4.59	5.17	21.43	1.05
Mn	25	K-series	0.39	0.44	0.40	0.05
Cr	24	K-series	0.19	0.21	0.20	0.04
Si	14	K-series	0.17	0.19	0.33	0.04
Total:			88.76	100.00	100.00	

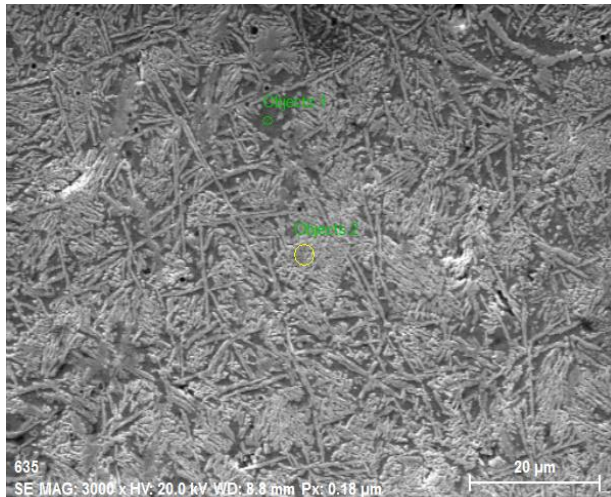


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	69.46	80.36	71.35	1.88
W	74	L-series	11.25	13.02	3.51	0.39
C	6	K-series	5.11	5.92	24.42	1.12
Mn	25	K-series	0.42	0.48	0.44	0.05
Cr	24	K-series	0.13	0.15	0.14	0.03
Si	14	K-series	0.06	0.07	0.13	0.03
Total:			86.43	100.00	100.00	

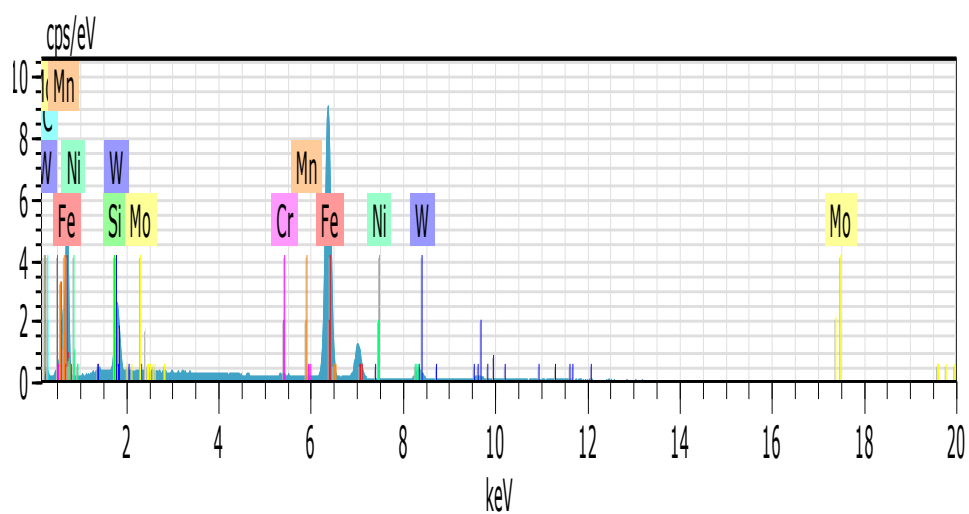


El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	83.86	90.70	76.26	2.26
C	6	K-series	5.28	5.72	22.35	1.16
W	74	L-series	2.68	2.90	0.74	0.15
Mn	25	K-series	0.49	0.53	0.46	0.05
Cr	24	K-series	0.07	0.08	0.07	0.03
Si	14	K-series	0.07	0.07	0.12	0.03
Total:			92.46	100.00	100.00	

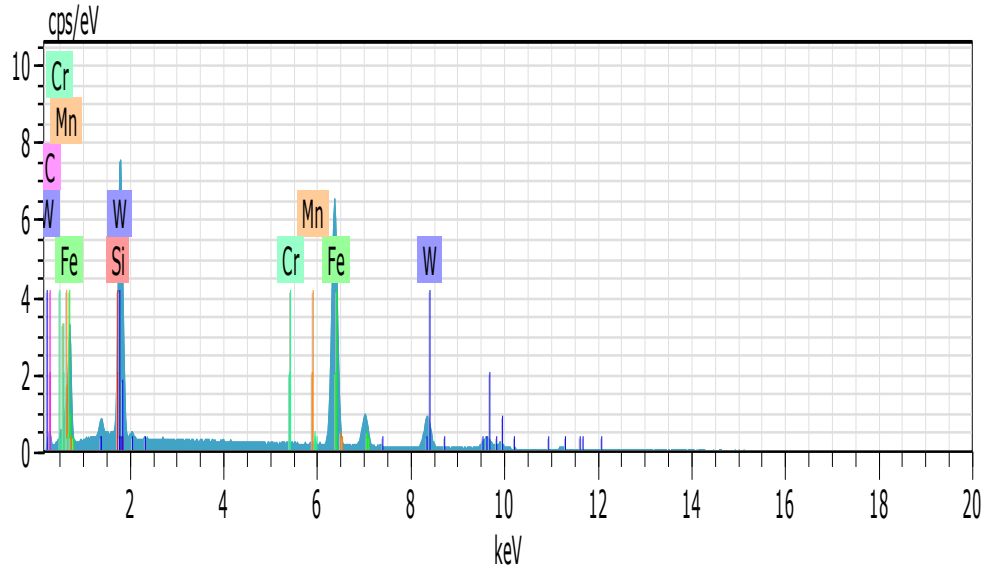
Şekil 3.35. S5 numunesinin geçiş bölgesi EDS analiz grafikleri ve sonuçları



Şekil 3.36. S5 numunesinin kaplama tabakası EDS analiz noktalarını gösteren SEM fotoğrafı



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [at.%]	Atom. C	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	67.05	77.67	68.71	1.82
W	74	L-series	13.01	15.07	4.05	0.44
C	6	K-series	5.54	6.41	26.38	1.19
Cr	24	K-series	0.29	0.33	0.31	0.04
Mn	25	K-series	0.25	0.29	0.26	0.04
Si	14	K-series	0.12	0.14	0.24	0.03
Mo	42	L-series	0.07	0.08	0.04	0.03
Ni	28	K-series	0.01	0.01	0.01	0.03
Total:			86.33	100.00	100.00	



El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Fe	26	K-series	47.95	55.17	54.10	1.32
W	74	L-series	31.85	36.64	10.92	0.96
C	6	K-series	6.45	7.42	33.85	1.35
Si	14	K-series	0.33	0.38	0.73	0.04
Mn	25	K-series	0.21	0.24	0.24	0.04
Cr	24	K-series	0.13	0.15	0.16	0.04
Total:			86.93	100.00	100.00	

Şekil 3.37. S5 numunesinin kaplama tabakası EDS analiz grafikleri ve sonuçları

Çizelge 3.6. S5 Numunesinin EDS analiz sonuçları

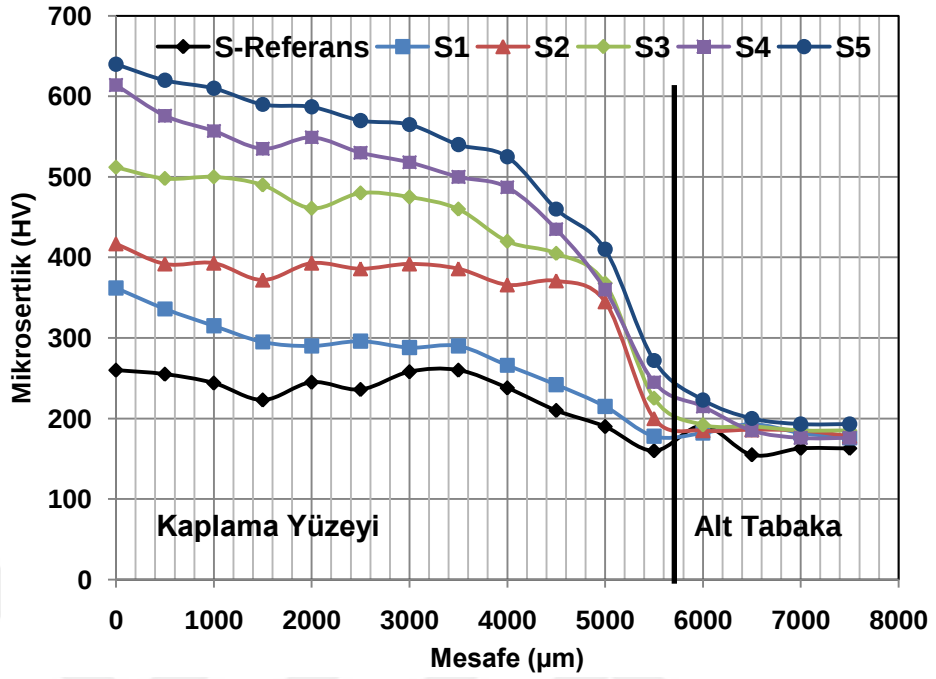
Numune No	Analiz Bölgeleri	Elementler (%Ağırlık)					
		Fe	W	C	Mn	Cr	Si
S5	1. Bölge	74.92	2.71	21.43	0.40	0.20	0.33
	2. Bölge	71.35	3.51	24.42	0.44	0.14	0.13
	3. Bölge	76.26	0.74	22.35	0.46	0.07	0.12
	4. Bölge	68.71	4.05	26.38	0.26	0.31	0.24
	5. Bölge	54.10	10.92	33.85	0.24	0.16	0.73

3.3. Mikrosertlik Test Sonuçları

Deney numunelerinin mikrosertlik test sonuçlarının grafiği Şekil 3.38.'de verilmiştir. Mikrosertlik grafiği incelendiğinde; artan takviye oranına bağlı olarak numunelerin kaplama sertliklerinde olumlu yönde artış olurken, kaplama kalınlığının da sertliğin üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Buna kaplama tabakasında kullanılan FeW toz miktarının fazla oluşu etki etmiştir. FeW kaplanan numunelerde kaplama yapılan bölgeden alınan sertlik değerlerinden; ana malzeme içerisinde kaplama katının hemen altında iç bölgeye ulaşan tungsten etkisiyle sertliğin artmaya başladığı ve kaplama ara bölgesinde oluşan karbürün etkisiyle hızla yükseldiği tespit edilmiştir. Altlık malzemeden başlanarak kaplama katına doğru yapılan sertlik ölçümlerinde; artan difüzyon ve çoğalan sert bileşik miktarının etkisi ile sertliğin hızla yükseldiği, ara tabaka ve kaplama katı içerisinde sertlik yükselmesinin devam ettiği ve sonunda yüzeyde en yüksek sertlik değerine ulaştığı tespit edilmiştir.

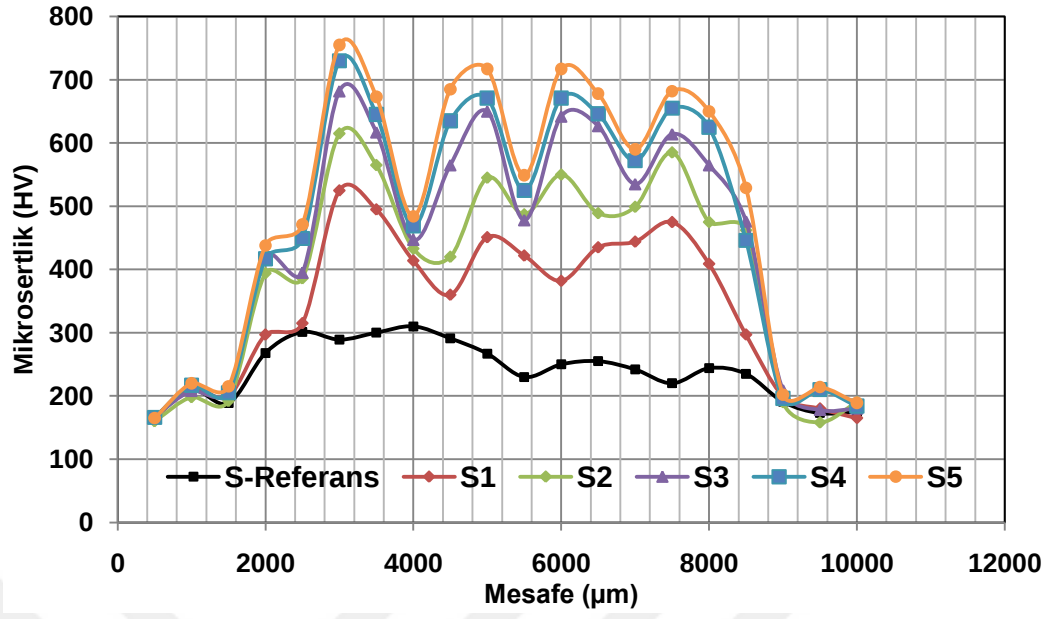
Kaplama yüzeyinde karbür bileşiklerinin oluşumuna bağlı sertlik artışı tüm yüzey üzerinde oldukça dengeli bir dağılım göstermiştir. Numunelerin kaplama tabakasından ölçülen en yüksek sertlik değerleri S-Referans, S1, S2, S3, S4 ve S5 numunelerinde sırasıyla 260, 362, 417, 512, 614 ve 651 HV şeklindedir. En yüksek sertlik S5 numunesinde görülmektedir. Bunun sebebi, Fe_2C , $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$, Fe_2W , Cr_3C_2 , Fe_7W_6 , Fe_7C_3 , W fazlarının mikroyapıda yoğun miktarda mevcut olmasıdır. Kaplama bölgesiyle alt tabaka arasındaki sertlik değişiminde, kaplama bölgesinin sertliği maksimum değerde iken ara yüzeye doğru küçük miktarda azalırken ara yüzeyde ani bir şekilde düşmektedir. Bu durum Fe elementinin kaplama bölgesinde daha az, ara yüzey bölgesinde ise daha fazla olması ve kaplama bölgesinde sert fazların yoğunluğunun fazla, ara yüzeye doğru bu yoğunluğun azalıp tanelerin kaplama bölgesinde küçük, ara yüzeye doğru ise büyük boyutta olması ile açıklanabilir.

Çok daha düşük bir toz oranında elde edilen S1 numunesinin mikroyapısının sertlik profili, sertlikte daha az değişkenlik sergilemektedir. Hipoötektik yapının mikroyapısında iki farklı yapı tipi olan primer dendrit ve interdendritik ötektik fazları tanımlanmıştır. Diğer taraftan, hiperötektik yapıda primer intermetalik fazlar ve ötektik mikroyapı elde edilmiştir. Bu yapılarda katılaşma hızı çok önemlidir. Çünkü fazların boyutu ve aralığı katılaşma hızına bağlıdır.



Şekil 3.38. Deney numunelerinin mikrosertlik test grafikleri

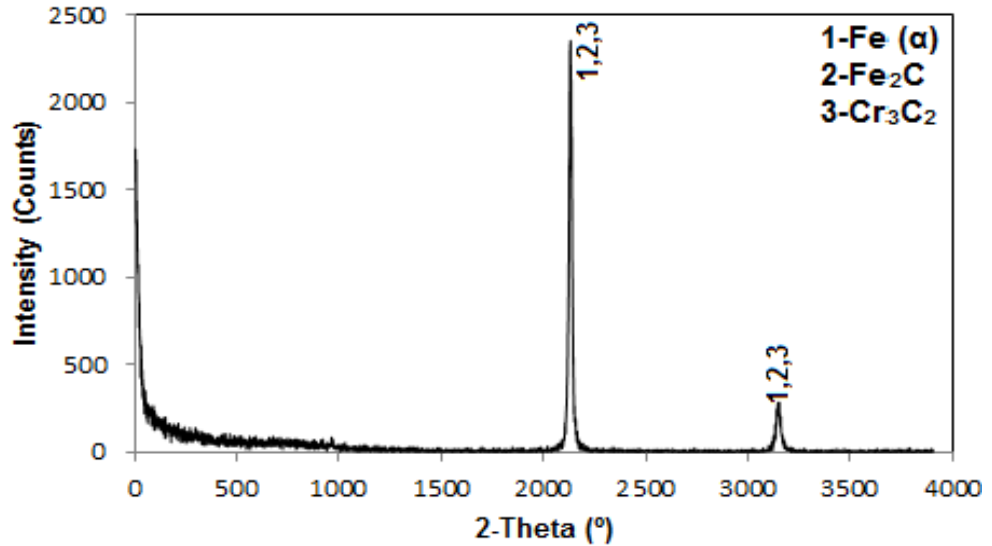
Kaplama tabakası üzerinde x-ekseni boyunca alınan mikrosertlik test sonuçlarının grafiği Şekil 3.39.'da verilmiştir. Mikrosertlik grafiği incelendiğinde; farklı sertlik ölçüm sonuçları belirlenmiştir. Mikroyapı incelemelerinde kaplama katında bulunan çoğu sert ve gevrek olan Fe_2C , Fe_3W_3C , Fe_2W , Cr_3C_2 , Fe_7W_6 , Fe_7C_3 bileşiklerinin varlığı ve büyük oranlardaki M_xC_y metal karbürleri oluşumlarının sertlikte farklılık meydana getirdiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.39. Deney numunelerinin x-ekseni boyunca mikrosertlik test grafikleri

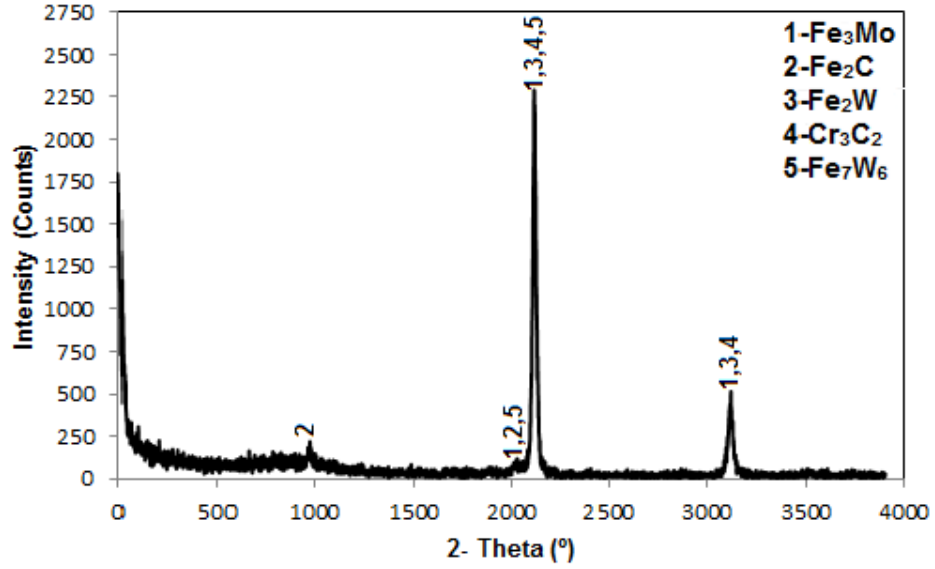
3.4. X-RD Analiz Sonuçları

S-Referans numunesinin X-RD analizi ile oluşan faz ve bileşikler gösteren grafik Şekil 3.40.'da verilmiştir. S-Referans numunesinin X-RD grafiği incelendiği zaman Fe(α), Fe₂C, Cr₃C₂ faz ve bileşiklerinin oluştuğu tespit edilmiştir.



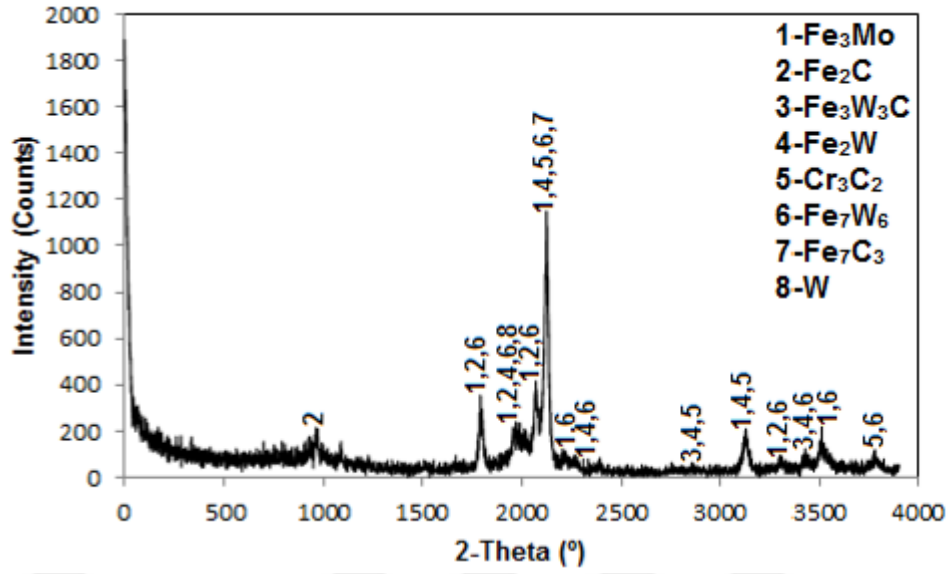
Şekil 3.40. S referans numunesinin X-RD analiz grafiği

S1 numunesinin X-RD analizi Şekil 3.41.'de verilmiştir. X-RD grafiği incelendiği zaman Fe_3Mo , Fe_2C , Fe_2W , Cr_3C_2 , Fe_7W_6 faz ve bileşiklerinin meydana geldiği tespit edilmiştir.



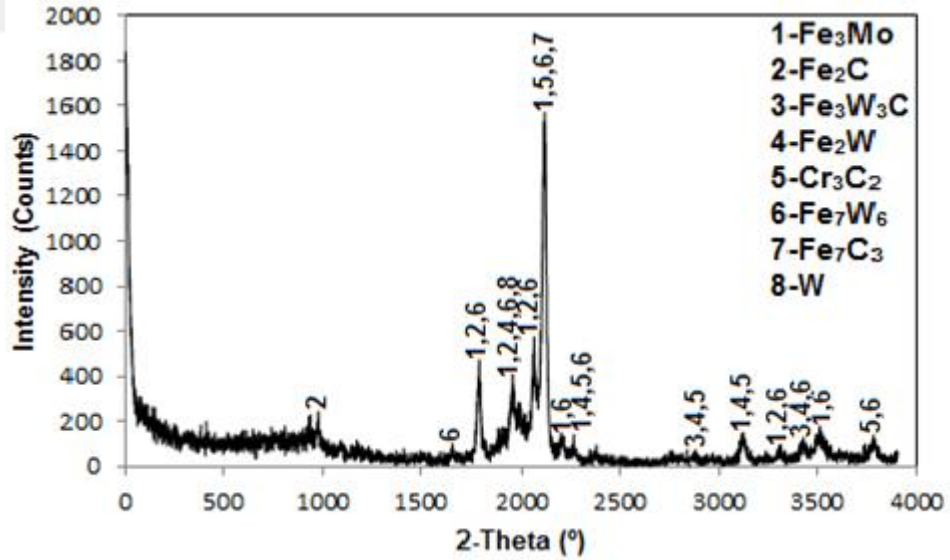
Şekil 3.41. S1 numunesine ait X-RD analiz grafiği

S2 numunesinin X-RD analizi Şekil 3.42.'de verilmiştir. X-RD grafiği incelendiği zaman Fe_3Mo , Fe_2C , $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$, Fe_2W , Cr_3C_2 , Fe_7W_6 , Fe_7C_3 , W faz ve bileşiklerinin meydana geldiği tespit edilmiştir.



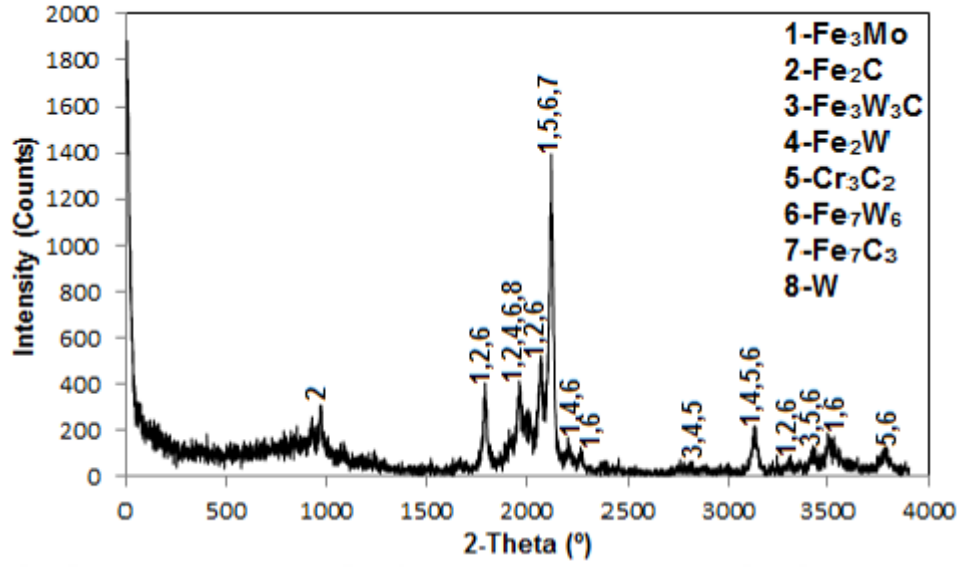
Şekil 3.42. S2 numunesinin X-RD analiz grafiği

S3 numunesinin X-RD analizi Şekil 3.43.'de verilmiştir. X-RD grafiği incelendiği zaman Fe_3Mo , Fe_2C , $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$, Fe_2W , Cr_3C_2 , Fe_7W_6 , Fe_7C_3 , W faz ve bileşiklerinin meydana geldiği tespit edilmiştir.



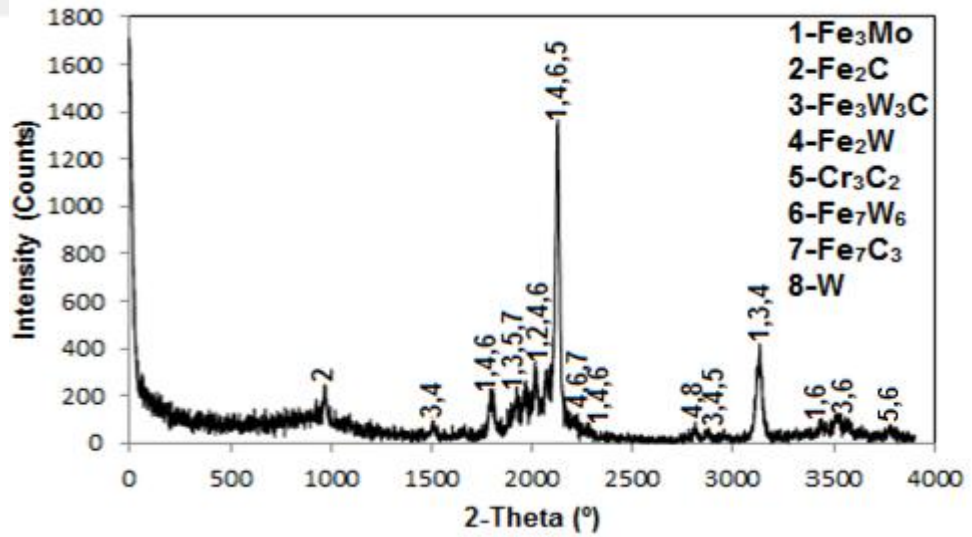
Şekil 3.43. S3 numunesinin X-RD analiz grafiği

S4 numunesinin X-RD analizi Şekil 3.44.'de verilmiştir. X-RD grafiği incelendiği zaman Fe_3Mo , Fe_2C , $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$, Fe_2W , Cr_3C_2 , Fe_7W_6 , Fe_7C_3 , W faz ve bileşiklerinin meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.44. S4 numunesinin X-RD analiz grafiği

S5 numunesinin X-RD analizi Şekil 3.45.'de verilmiştir. X-RD grafiği incelendiği zaman Fe₃Mo, Fe₂C, Fe₃W₃C, Fe₂W, Cr₃C₂, Fe₇W₆, Fe₇C₃, W faz ve bileşiklerinin meydana geldiği tespit edilmiştir.

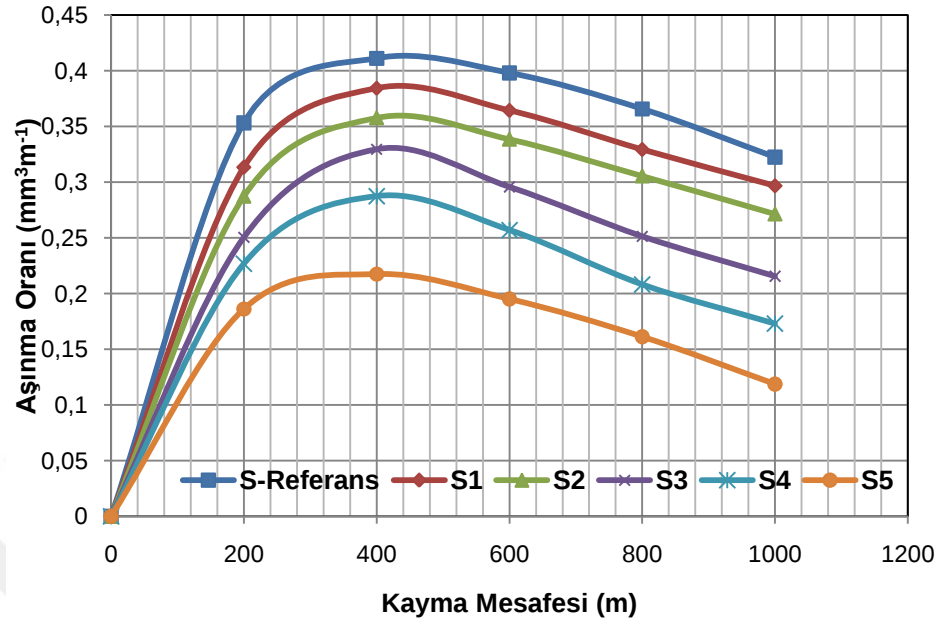


Şekil 3.45. S5 numunesinin X-RD analiz grafiği

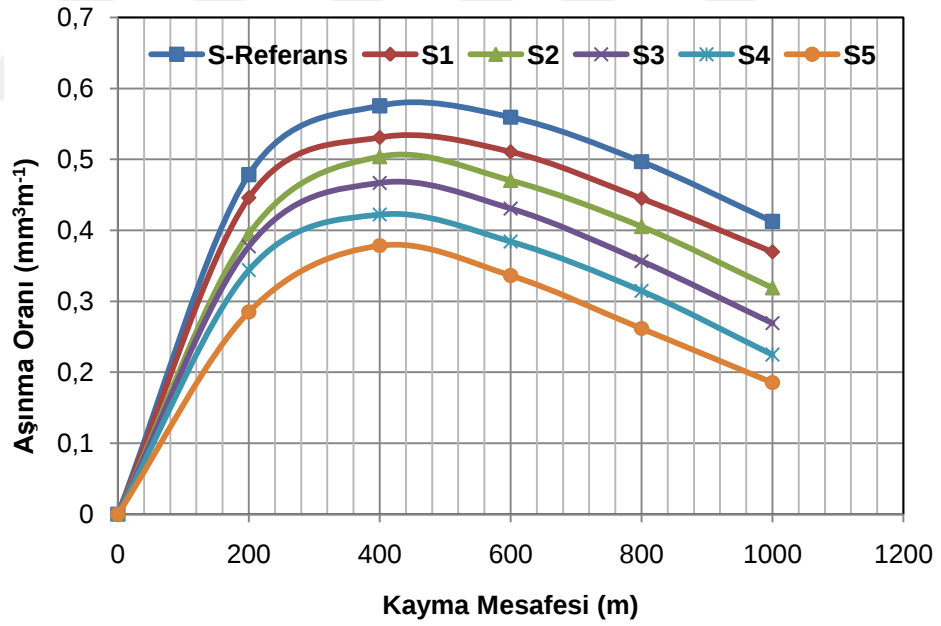
3.5. Aşınma Testi Sonuçları

Hardox450+FeW toz alaşımı ile kaplanmış AISI1020 çeliğinin 20 ve 30 N yük uygulanarak elde edilen aşınma test sonuçları grafikleri Şekil 3.46. ve 3.47’de verilmiştir. Kaplama tabakasında Fe_2C , Fe_3W_3C , Fe_2W , Cr_3C_2 , Fe_7W_6 , Fe_7C_3 , W fazları belirlenmiş ve bu fazların varlığı sertlik değerlerinin yüksek çıkmasına sebep olmuştur. Bu da numunelerin abrasive aşınma direncini olumlu yönde etkilemiştir. S-Referans numunesi en yüksek aşınma oranını gösterirken, S5 numunesi ise en düşük aşınma oranını göstermiştir. FeW oranının artmasıyla numunelerin aşınma oranları azalmıştır. Aşınma oranının, FeW seviyesinde artışa bağlı olarak oluşan sert fazlar ve bu fazların boyutlarının artmasıyla azaldığı görülmüştür. Ayrıca FeW konsantrasyonunda belirgin bir artış olması halinde alt tabakanın üzerinde daha kalın ve daha sert kaplamalar oluşmuştur. Şekil 3.46. ve 3.47’deki kütle kaybı-yük ilişkisinden de görüleceği gibi, farklı aşınma mesafesinde aşınma miktarı artan yüklerle yaklaşık olarak doğrusal bir artış göstermektedir. Şekil 3.46. ve 3.47’den görüldüğü gibi artan yüklerle birlikte bütün numunelerde kütle kaybı artmıştır. Sonuç olarak FeW ile alaşımlanan numuneler, sadece Hardox450 ile kaplanan numunelere kıyasla çelik yüzeyinin aşınma direncini arttırdığını ortaya koymaktadır. Kaplanan yüzeylerin mekanik ve tribolojik özellikleri özellikle, katılaştıran fazların tane ebadına, matris içindeki sert fazların dağılımlarına ve alaşım elementlerinin segregasyonlarına bağlıdır. PTA kaynak yöntemi ile kaplanmış numuneler hem birincil faz hem de ötektikte sert tungsten karbürlerin eşit dağılımına neden olarak geleneksel tekniklerle elde edilenlere kıyasla önemli ölçüde daha yüksek sertlik değerleri sergilemektedir.

Numunelerin aşınma oranının azalması; sert fazların türüne ve konsantrasyonuna bağlı olduğu bilinmektedir. Sonuçlar göstermektedir ki farklı kaplanmış yüzeyler arasında %25 FeW kaplamalı yüzeyin aşınma oranı sertliğe karşı en hassas seviyededir. Kaplama alanının sertliği, kaplama alanıyla alt tabaka arasındaki sertlik değişiminde maksimum seviyedeysen, ara yüzeye doğru az miktarda azalır ve ara yüzeyde bariz bir şekilde azalır. Bu durum Fe elementinin kaplama alanında az olduğu ve ara yüz alanında daha yüksek olduğu ve kaplama alanındaki sert faz yoğunluğunun yüksek olduğunu ve bu yoğunluğun ara yüzeye doğru azaldığı ve kaplama alanında tanelerin küçük olduğu içe doğru büyüdüğü gerçeğiyle ilişkilendirilir.



Şekil 3.46. Deney numunelerinin 20 N yük altında aşınma test grafikleri



Şekil 3.47. Deney numunelerinin 30 N yük altında aşınma test grafikler

3.6. Aşınma Sonrası Numunelerin Yüzeylerinin SEM İncelemesi

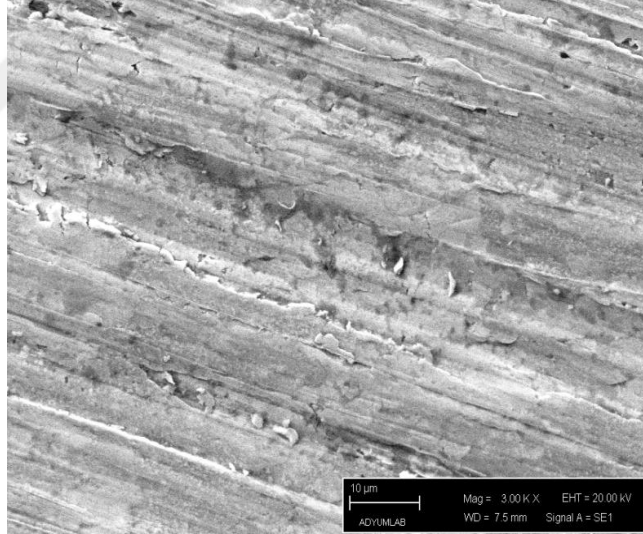
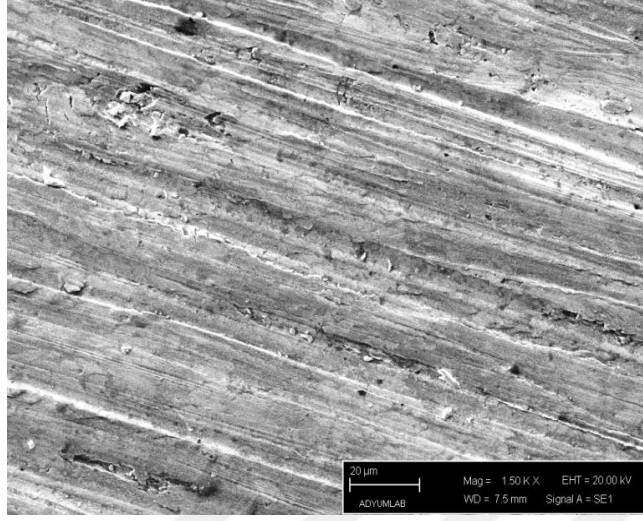
Deney numunelerinin aşınma testinden sonra çekilen aşınmış yüzey SEM görüntüleri Şekil 3.48.-3.53.' de verilmiştir. Aşınmış yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde; Hardox450 ile kaplanmış S-Referans numunesinin aksine, FeW (% 5 FeW, %10 FeW, %15 FeW, %20 FeW) ile alaşımlandırılmış kaplama tabakalarının aşınmış yüzeylerinin birbirine benzediği görülmektedir. Şekil 3.48.' de görüldüğü gibi S-Referans numunesi diğer numunelere kıyasla daha fazla deforme olmuş ve daha fazla kütle kaybına maruz kalmıştır. Aşınma işlemi sırasında Hardox450 + FeW alaşımlı kaplamaların aşınmış yüzeyleri üzerinde adhesive aşınma meydana geldiği ve şiddetli plastik deformasyon sonucunda yüzey morfolojilerinde çok sayıda kraterler, sığ ve derin dar oluklar ve koparak ayrılan kalıntıların oluştuğu tespit edilmiştir. FeWC, FeC, Cr₃C₂ sert metal fazların oluşumu ve bu fazların kırılabilirliği nedeniyle yumuşak parçacıklara ait bir oluşum gözlenmemiştir. Hardox450 ve FeW tozları kuvvetli bir bağ oluşturarak alt tabaka ile arasındaki bağ mukavemetini geliştirmiştir. Çünkü, sert demirli ve tungstenli karbürler aşınma esnasında kolayca matrisden ayrılmazlar. Matristeki FeW parçacıkları, hem MC, M₂C, M₃C₂ fazlarını hem de matris ara yüzeyi arasındaki bağlanma kuvvetini geliştirecek bir şekilde şekillenmişlerdir. Bu yüzden kompozit kaplama tabakası plastik deformasyona karşı daha yüksek direnç göstermektedir. Bu da daha sonraki geçişlerde oluk kenarlarının ortadan kalkmasına karşı olan direnci artırır. Şekil 3.46. ve 3.47.' deki aşınma test grafiklerinden de görüldüğü gibi yüksek sıcaklığa karşı mükemmel dayanıklılığı ve sağlamlığı ile bilinen FeW' nin aşınma işlemi boyunca abrasif aşınmaya karşı dirençte en önemli rol oynadığı tespit edilmiştir.

FeW takviyeli kaplama tabakasında FeW oranı arttıkça aşınmaya maruz bırakılan kaplama tabakasının kaybında azalma olduğu gözlenmiştir. Ayrıca; abrasif taneler, FeW parçacıklarıyla karşılaştığında, sert FeW takviyesi onları mikro kesmeye ve aşınmaya karşı direnecek şekilde pasifleştirmiştir. Sonuç olarak kaplama tabakasının aşınması metalik emsalleriyle eşleştirildiği zaman adhesif aşınmaya karşı mükemmel direnç gösterir.

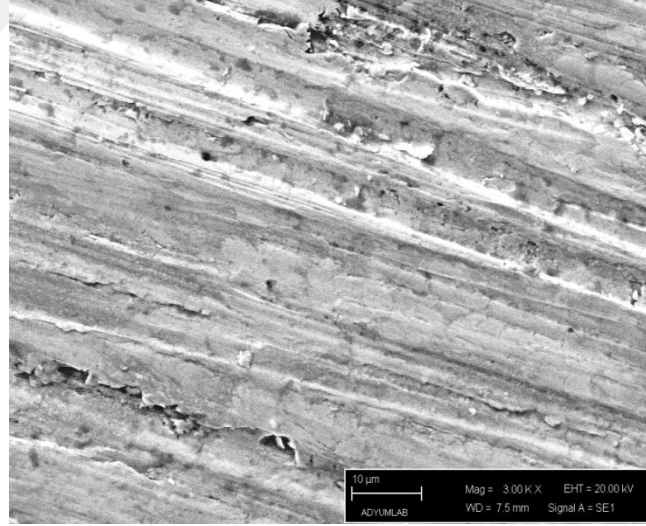
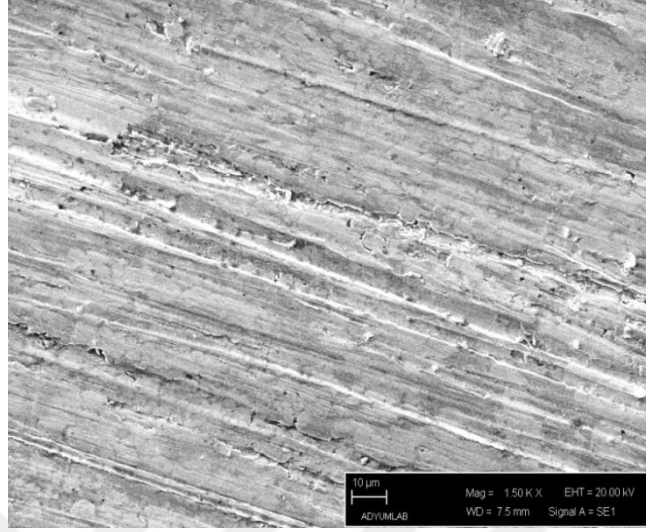
Şekil 3.49.-3.53.' de görüldüğü gibi aşınma izlerinin saban (toprağın sürülmesi) şeklinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda oluklar dar ve düzlemseldir. %5 FeW takviyeli S1 numunesinin diğer Hardox450+FeW alaşımlı numunelere kıyasla

aşınma süresince daha fazla deforme olduğu ve kırpaç şeklinde bölgesel aşınmaya maruz kaldığı gözlemlenmiştir. FeW parçacıklarının; mikrosertliğin artması, deformasyonun güçlenmesi ve çökeltmenin sertleşmesinin sebebi olduğu düşünülmektedir. Metal halkalar kaplama tabaka için saban görevi görür. Böylece aşınmış yüzeyde belirgin mikro sürtünmeler vardır. Sürtünme kuvveti ve ısıнын etkisinden dolayı yarı kararlı kaplamaların aşınan bölgelerinde faz dönüşümü, yeni faz çökeltileri ve elementlerin difüzyonu meydana gelmektedir.

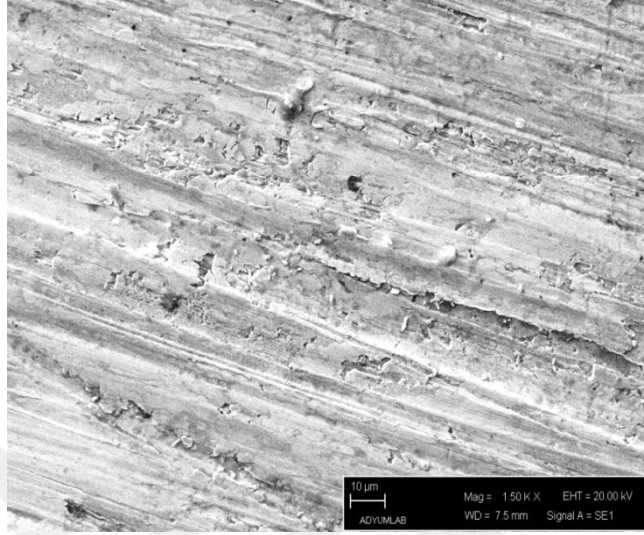
Dağınık çökelmiş fazlar; kaplama yüzeyinde sertlik artışı yapar, fakat aynı zamanda kırılabilirlik de yapar. Bunlar kaplama tabakasının aşınma performansını etkilemektedir. Kaplama alaşımının aşınması esnasında bu mikro yapısal değişiklikler ve plastik deformasyon sadece yüzeyde ve kaplama tabakanın altında meydana gelmektedir. Bu yüzden kaplama tabakasının aşınmış kalıntıları yorulma aşınması belirtileri göstermektedir. Hardox450+FeW kaplama tabakasında PTA yöntemiyle ergimiş olan FeW tozları, katı çözelti dayanımı üretmektedir [55-57].



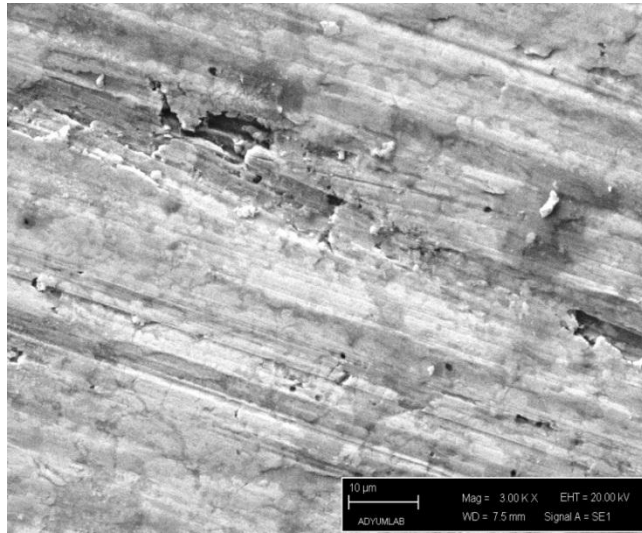
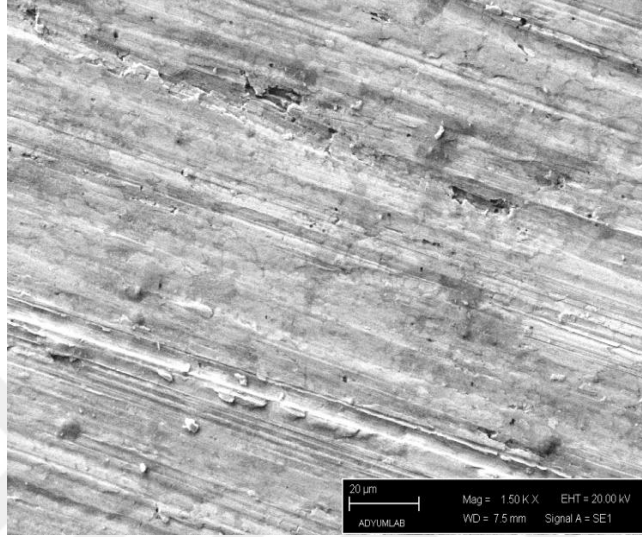
Şekil 3.48. Aşınma sonrası S-Referans numunesinin SEM fotoğrafı



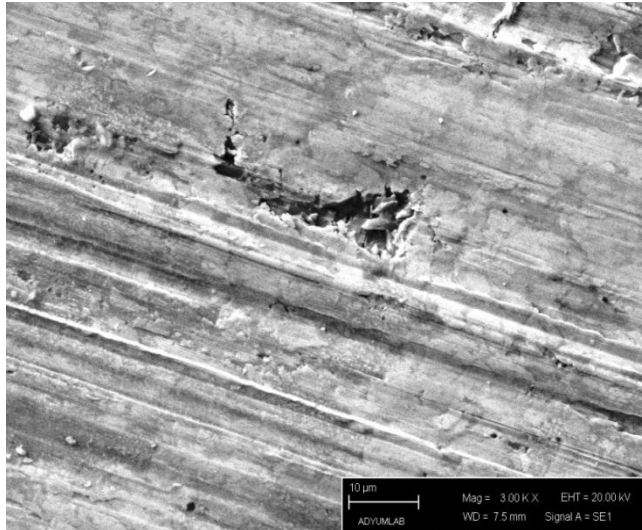
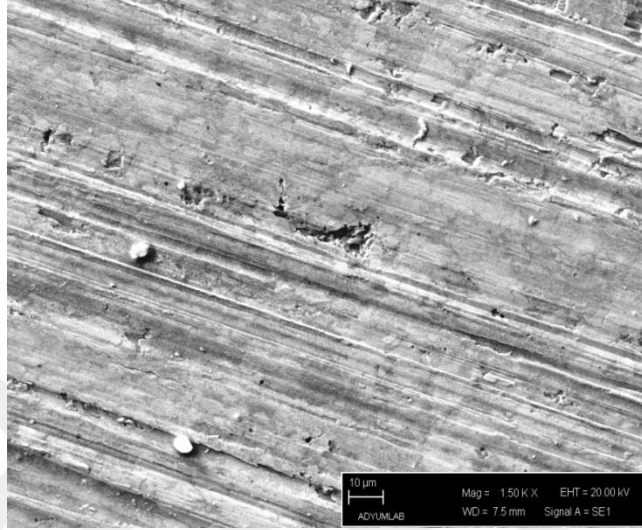
Şekil 3.49. Aşınma sonrası S1 numunesinin SEM fotoğrafı



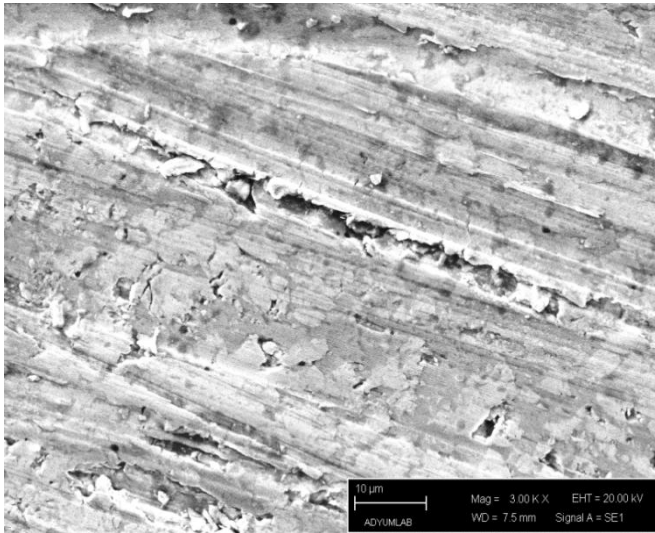
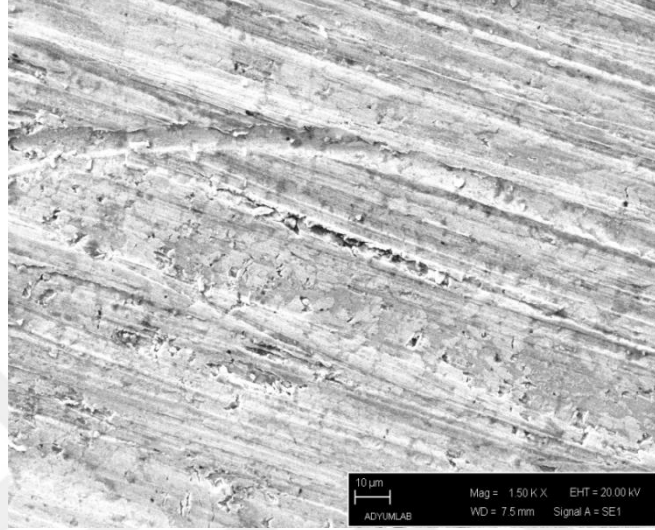
Şekil 3.50. Aşınma sonrası S2 numunesinin SEM fotoğrafı



Şekil 3.51. Aşınma sonrası S3 numunesinin SEM fotoğrafı



Şekil 3.52. Aşınma sonrası S4 numunesinin SEM fotoğrafı



Şekil 3.53. Aşınma sonrası S5 numunesinin SEM fotoğrafı

4. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, plazma transfer ark (PTA) kaynak tekniğiyle, AISI1020 çelik yüzeyine Hardox450+FeW alaşımlandırılarak yüzeyinin özellikleri değiştirilmiş; mikroyapıda oluşan karbür ve diğer fazların, malzemenin sertliğine ve abrasif aşınma davranışlarına olan etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan araştırma ve incelemelerden sonra aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- 1) Bütün deney parametrelerinde kaplama sonucunda çatlaksız ve pürüzsüz mikroyapı oluşumu meydana gelmiştir.
- 2) Kaplama tabakası mikroyapılarında, dendritik yapıya ait kolların net bir şekilde izlendiği ve kol uzunluklarının yaklaşık olarak aynı boyutlarda olduğu gözlenmektedir. Ayrıca dendrit kolları, iç içe girmiş simetrik bir görünüm arz etmektedir.
- 3) Alaşımlamada seçilen üretim parametrelerinin uygunluğu sonucunda topaklaşma olmadan ve bozunmadan kaplama tabakası oluşmuştur. Ergimenin yeterli düzeyde olmasına bağlı olarak, kaplama tabakasının uygun seviyede olduğu ve kaplamanın sınır tabakasına yakın kısımlarından incelenen bölgede, öncelikle altıgen şekilli ve bazı noktalarda da tipik M_3C_2 ve M_2C karbürlerinin olduğu ve ayrıca dendrit kollarının kaplama sınır tabakasına doğru dikey olarak yönlendiği belirlenmiştir. Kaplanan ana metal olan AISI1020 çeliğinin soğuk olması, dendritlerin ikincil kollarının oluşumlarını belirgin şekilde engellemiş ve hızlı soğuma sonucunda tabakalar arasında metal atomları geçişlerinin sınırlı kaldığı gözlenmiştir. Ayrıca ara geçiş bölgesi sınırları da belirginliğini yitirmiş, dendrit kolları çoğalmış ve kalınlaşmıştır.
- 4) Artan toz miktarıyla tungsten, demir, krom ve karbonun kaplanan altlık malzeme tarafına geçtiği belirlenmiştir. Ayrıca nikel ve manganın da kaplama katına doğru geçişme gösterdiği, dendrit kollarının daha belirginleştiği ve ara geçiş bölgesinin genişlediği, kaplanan alaşımdan kaplama katına doğru ve aksi yönde difüzyonun arttığı görülmüştür. Toz yedirme miktarının fazla olduğu numunelerde, enerji girdisinin kısmen yetersiz kalmasına bağlı olarak, difüzyon hareketleri yavaşlamış, bu nedenle dendrit oluşumunun kısmen tamamlanamadığı görülmüştür.
- 5) En yüksek sertlik değerleri Hardox450+%25FeW alaşımı ile yüzeyi alaşımlandırılmış numunelerde, en düşük sertlik değerleri ise sadece Hardox450 içeren S-Referans numunesinde tespit edilmiştir.

- 6) Mikrosertlik artışının kaplamaların tümünde, kaplama tabakalarının üst bölgesinde daha fazla olduğu görülmüştür. Artan toz miktarına paralel olarak, sert bileşiklerin oluşumuna bağlı olarak mikrosertliğin arttığı gözlenmiştir.
- 7) Kaplama tabakalarında Fe (α), Fe₃Mo, Fe₂C, Fe₃W₃C, Fe₂W, Cr₃C₂, Fe₇W₆, Fe₇C₃, W faz ve bileşiklerinin olduğu tespit edilmiştir.
- 8) Kaplama numunelerinin abrasif olarak aşındırma esnasında tüm numunelerde artan yük miktarına bağlı olarak kütle kayıplarında bir artış olduğu tespit edilirken, kütle kayıp miktarlarının da artan mesafeye bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Düşük toz miktarlarında, bütün mesafelerde abrasif aşınmasında elde edilen kütle kayıp miktarları en üst düzeyde olmuştur. Kaplama tabakalarının mikroyapılarındaki karbürlerin varlığının aşınma esnasında kütle kayıplarını azaltıcı yönde etki ettiği tespit edilmiştir.
- 9) Aşınma değerleri incelendiğinde; en iyi aşınma direncini Hardox450 +%25 FeW alaşımı yapılmış numunelerde görülmüştür. Artan FeW tozu ile karbür bileşiği oluşumuna bağlı sertlik artışı ile tüm numunelerin aşınma dirençleri olumlu yönde artmıştır.
- 10) Aşınma işlemi sırasında Hardox450 + FeW alaşımlı kaplamaların aşınmış yüzeyleri üzerinde abrazif aşınma meydana geldiği ve şiddetli plastik deformasyon sonucunda yüzey morfolojilerinde çok sayıda kraterler, sık ve derin dar oluklar ve koparak ayrılan kalıntıların olduğu tespit edilmiştir.

Öneriler

- 1) Sanayi şartlarında daha pratik çalışma ortamı sağlanması için önerdiğimiz takviye toz karışımının sıvı bir solüsyon halinde hazırlanıp, ihtiyaç duyulduğu anda istenen yüzeye sürülüp daha sonra yüzeye plazma ile enerji verilmesi sonrası yüzeyde aşınmaya dirençli bir kaplama yüzeyinin oluşturulabileceğini ve bu konuda uygulamaya yönelik çalışan işletmelerin kendi pratik çalışma parametrelerini belirlemelerinin isabetli sonuçlar vereceğini düşünmekteyiz.
- 2) Farklı kaynak akımları, toz yedirme miktarları ve üretim hızları kullanılarak ileride kaplama katı kalitesini iyileştirici çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

1. Deuis, R.L., Yellup, J.M., Subramanian, C., (1998). Metal-matrix composite coatings by PTA surfacing Compos. Sci. Technol., 58, 299.
2. Liu, Y.F., Mu, J.S., Xu, X.Y., Yang, S.Z., (2007). Microstructure and dry-sliding wear properties of TiC reinforced composite coating prepared by plasma-transferred arc weld-surfacing process, Materials Science and Engineering: A, 458, 366-370.
3. Huang, Z., Hou, Q., Wang, P., (2008). Microstructure and properties of Cr₃C₂-modified nickel-based alloy coating deposited by plasma transferred arc process, Surface and Coatings Technology, 202, 2993-2999.
4. Zum Gahr, K.H., (1998). Wear by hard particles, Tribology International, 31, 587-596.
5. Güleç, Ş. ve Çapa, M. (1995). Metallerin yüzey işlemleri ve özel imalat yöntemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
6. Yılmaz, S.O., (2007). Wear behavior of TiB₂ inoculated 20 Cr-3Mo-4C high chromium white cast irons, Journal of Materials Science, 42, 6769-6778.
7. Liu, Y.F., (2005). Microstructure and wear behavior of (Cr,Fe)₇C₃ reinforced composite coating produced by plasma transferred arc weld- surfacing process, Surface & Coatings Technology, 201, 863-867.
8. Ding, W., Jiang, H., Zeng, X., Li, D., Yao, S., (2007), The properties of gas tungsten arc deposited SiCp and Al surface coating on magnesium alloy AZ31, Materials Letters, 61, 496-501.
9. Stokes, J., (2002). Production of coated and free-standing engineering components using the HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) process, PhD Thesis, Dublin City University, Ireland.
10. Akkaya, S.S., (2011). Effect of cathodic arc plasma treatment on the properties of WC-Co based hard metals, Surface and Coatings Technology, 206, 1759-1764.
11. Chen H., Xu, C., Qu, J., Hutchings, I.M., Shipway, P.H., Liu, J., (2005). Sliding wear behaviour of laser clad coatings based upon a nickel-based selffluxing alloy co-deposited with conventional and nanostructured tungsten carbide-cobalt hardmetals, 259, 801-805.

12. ZumGahr, K.H., (2005). Laser- assisted structuring of ceramic and steel surfaces for improving tribological properties, *Applied Surface Science*, 247, 616-662.
13. Xibao, W., Xiaofeng, W., Zhongquan, S., (2005). The composite Fe-Ti-B-C coatings by PTA powder surfacing process, *Surface & Coatings Technology*, 192, 257-262.
14. Yang, Y., Wen, X., (2000). Microstructure and properties of laser cladding SiCstainless steel composite coating, *China Laser*, 27, 941-946.
15. Zhang, Y., Zhong, M., Liu, W., (2005). Laser cladding WC/Ni coating prepared by feeding powder jet and wear resistance, *Transactions of Materials and Heat Treatment*, 339, 1-5.
16. Xibao, W., (2005). The metalurgical behavior of B₄C in the iron- based surfacing, *Applied Surface Scince*, 252, 2021-2028.
17. Wu, Y., Niu, Y., (2005). Microstructure and hardness of laser cladding nickel-based alloy doped with WC on Q235 steel, *Materials Protection*, 2, 11-14.
18. Shin, J.C., Doh, J.M., Yoon, J.K., Lee, D.Y., Kim, J.S., (2003). Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of cobalt-base Stellite hardfacing alloys, *Surface and Coatings Technology*, 166, 117-126.
19. Wang, W., Qian, S.Q., Zhou, X.Y., (2009). Microstructure and properties of TiN/Ni composite coating prepared by plasma transferred arc scanning process, *Transactions of Nonferrous Metal Society of China*, 19, 1180-1184.
20. Fan, C., Chen, M.C., Chang, C.M., Wu, W., (2006). Microstructure change caused by (Cr,Fe)₂₃C₆ carbides in high chromium Fe-Cr-C hardfacing alloys, *Surface and Coatings Technology*, 201, 908-912.
21. Pierson, H. O., (1992). *Handbook of chemical vapor deposition, principles, technology, and applications*, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, U.S.A.
22. Babu, S.S., Kelly, S.M., Murugananth, M., Martukanitz, R.P., (2006). Reactive gas shielding during laser surface alloying for production of hard coatings, *Surface & Coatings Technology*, 200, 2663-2671.
23. Öz, A., (2012). Aşınmış taşıt fren dirseklerinin kaplama tozları ile kaplanarak yeniden kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması, Doktora tezi, Isparta.
24. Zhou, C., (1989). Microstructure and hardness of laser cladding WC/Ni base alloy coating, *Proceedings of Laser Process*, Beijing, 141-146.

25. Bourithis, E., Tazedakis, A., and Papadimitriou, G.,(2002). A study on the surface treatment of “Calmax” tool steel by a plasma transferred arc (PTA) process, *Journal of Materials Processing Technology*, 128, 169-177.
26. Xibao, W., Chunguo, L., Xiaomin, Peng., Libo, S., Hong, Z., (2006). The powder's thermal behavior on the surface of the melting pool during PTA powder surfacing, *Surface and Coatings Technology*, 201, 2648-2654.
27. Vamsi Krishna, B., Misra, V.N., Mukherjee, P.S., Sharma, P., (2002). Microstructure and properties of flame sprayed tungsten carbide coatings, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 20, 355-374.
28. Chena, H., Xua, C., Chen, J., Zhao, H., Zhang, L., (2008). Zhenting Wang Microstructure and phase transformation of WC/Ni60B laser cladding coatings during dry sliding wear, 264, 487-493.
29. Teker, T., (2010). AISI430/AISI1040 çelik çiftinin anahtar deliği plazma kaynak yöntemi ile birleştirilmesi, mikroyapı ve mekanik özelliklerin araştırılması, Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
30. Kaluç, E., Taban, E., (2004). Plazma arkı ile kaynak ve endüstriyel uygulamaları, *Makine Tek.*, Sayı. 84.
31. Kou, S., (2003), *Welding metallurgy*, John Wiley & Sons, Inc, Publication, ABD.
32. <http://www.substech.com/dokuwiki/lib/exe/detail.php?>
33. Teker, T., Özdemir, N., (2013). The effect of nozzle orifice diameter on penetration deep and mechanical properties of AISI430/AISI1040 steel couple joined by keyhole PTA welding process, *Kovove Materialy, Metallic materials*, 51, 241-249.
34. Teker, T., (2013). The effect of austenitic interlayer in keyhole plasma transfer arc welding of AISI430 ferritic stainless steel couples, *International Journal of Advanced and Manufacturing Technology*, 69, 1833-1840.
35. Bourithis, E., (2002). A study on the surface treatment of “Calmax” tool steel by a plasma transferred are (PTA) process, *Journal of Materials Processing Technology*, 128, 169-177.
36. Rosellini, C., (2009). The keyhole TIG welding process a true option to join valuable materials, *I. International Conference on Welding Technologies*, 94-100.

37. Teker, T., Özdemir, N., (2012). Weldability and joining characteristic of AISI430/AISI1040 steel using keyhole plasma arc welding, *International Journal of Advanced and Manufacturing Technology*, 63, 117-128.
38. Welding, Hardox, Weldox, Information Materials of the SSAB-Oxelösund Steel Mill, (2005).
39. Martikainen, J., (1995). Conditions for achieving high-quality welds in the plasma-arc keyhole welding of structural steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 52, 68-75.
40. Craig, E., (1988). The plasma arc process- a review, *Welding Journal*, 67, 19-25.
41. Tomsic, M., Barhorst, S., (1984). Keyhole plasma arc welding of aluminum with variable polarity power, *Welding Journal*, 63, 25-32.
42. Hsu YF., Rubinsky, B., (1988). Two-dimensional heat transfer study on the keyhole plasma arc welding process. *International Journal of Heat Mass Transfer*, 31, 1409-1421.
43. Hu, B.X., (1980). The study of controlling system of welding quality at all-position by using the arc sound in pulsed plasma arc welding of steel, *Welding Journal*, 3, 17-20.
44. Gür, A.K., (2009). Plazma (PTA) yöntemiyle düşük karbonlu çeliğin yüzey modifikasyonuna koruyucu gazların etkisi, Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
45. Bourithis, L., Papadimitriou, G.D., (2009). The effect of microstructure and wear conditions on the wear resistance of steel metal matrix composites fabricated with PTA alloying technique, 266, 1155-1164.
46. Zum Gahr, K.H., (1987). *Microstructure and Wear of materials*,: Elsevier, 80-150, Amsterdam.
47. Liu, Y., Xia, Z., Han, J., Zhang, G., Yang, S., (2006). Microstructure and wear behavior of $(Cr,Fe)_7C_3$ reinforced composite coating produced by plasma transferred arc weld-surfacing process, *Surface and Coatings Technology*, 201, 863-867.
48. Tabur, M., (2008). Bor karbür kaplanmış AISI8620 ve Hardox400 çeliklerinin abrasiv aşınma davranışlarının incelenmesi, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

49. Hou, Q.Y., He, Y.Z., Zhang, Q.A., Gao, J.S., (2007). Influence of molybdenum on the microstructure and wear resistance of nickel-based alloy coating obtained by plasma transferred arc process, *Materials Design*, 28, 1982-1987.
50. Coronado, J.J., Caicedo, H.F., Gómez Adolfo L., (2009). The effects of welding processes on abrasive wear resistance for hardfacing deposits, *Tribology International*, 42, 745-749.
51. Wang, X.H., Han, F., Liu, X.M., Qu, S.Y., Zou, Z.D., (2008). Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of Fe-based hardfacing coatings. *Materials Science and Engineering: A*, 489, 193-200.
52. Chang, S.S., Wu, H.C., Chen, C., (2008) Impact wear resistance of stellite 6 hardfaced valve seats with laser cladding, *Materials and Manufacturing Processes*, 7, 708-713.
53. Viswanath, B., Vijayarangan, S., (2010). A study of the low stress sliding abrasion wear behaviour of mullite coatings, *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 5, 106-115.
54. Wang, X., Han, F., Liu, X., Qu, S., Zou, Z., (2008). Microstructure and wear properties of the Fe-Ti-V-Mo-C hardfacing alloy, 265, 583-589.
55. Gnyusov, S., (2004). The effect of pulsed electron beam melting on microstructure, friction and wear of WC- Hadfield steel hard metal, 257, 97-103.
56. Mendez, P.F., Barnes, N., Bell, K., Borle, S.D., Gajapathi, S.S., Guest, S. D., Izadi, H., Gol, A.K., Wood, G., (2014). Welding processes for wear resistant overlays, *Journal of Manufacturing Processes*, 16, 4-25.
57. Özmen, Y., Can, A.Ç., ve Aksoy, T., (1991). Aşınmaya etki eden faktörler ve aşınmanın azalması için alınacak tedbirler, 4. Denizli Malzeme Sempozyumu, 651-664, Denizli.
58. Gür, A.K., (2006). Aşınma mekanizmaları, Doktora Semineri, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
59. Hu, J.D., Luan, J.F., (2001). Wear resistance of austenite-TiC graphite microstructures prepared by laser coating, *Materials Science Technology*, 17, 588-592.

60. Kwok, C.T., Man, H.C., Cheng, F.T., (2001). Cavitation erosion-corrosion behaviour of laser surface alloyed AISI 1050 steel using NiCrSiB. Materials Science and Engineering: A, 303, 250-261.
61. Metlioğlu, M.R., (2012). Yüksek aşınma direncine sahip (Hardox400) çelik malzemenin plazma ark yöntemi ile kesilmesinde kesme parametrelerinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük.
62. Güngör, Y., (2001). Malzeme bilgisi, 9. Baskı, Beta Basım Yayım, İstanbul.
63. Hardox çok amaçlı aşınma levhası el kitapçığı , (2007). İstanbul.
64. Yılmaz, T., (2010). Masif ve özlü kaynak telleri ile birleştirilen Hardox400 çeliklerinin mekanik ve mikro yapı özellikleri, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdullah TOPAL

Doğum Yeri : Malatya /Merkez

Doğum tarihi : 05.12.1988

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Gölbaşı (YDA) Lisesi

Lisans : Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Akmercan Gaz Doğalgaz Proje Mühendisi (2013-2016)