

**METAL TOZ İLAVESİYLE MAG KAYNAK YÖNTEMİNİN
SERT YÜZEY KAPLAMA AMAÇLI KULLANILABİLİRLİĞİ**

Oktay Yiğit

**Yüksek Lisans Tezi
Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Mehmet EROĞLU
TEMmuz-2014**

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL TOZ İLAVESİYLE MAG KAYNAK YÖNTEMİNİN SERT YÜZEY KAPLAMA
AMAÇLI KULLANILABİLİRLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oktay YİĞİT

(102130103)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Haziran 2014

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Temmuz 2014

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet EROĞLU (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Latif ÖZLER (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Akın ODABAŞI (F.Ü)

TEMMUZ-2014

ÖNSÖZ

Çalışmam süresince her türlü yardım ve fedakarlığı sakınmayan, bu yolda bana ışık tutan, bilgi ve tecrübeleri ile çalışmamı geliştirmeye katkı sağlayan sayın danışman hocam Prof. Dr. Mehmet EROĞLU'na; çalışmamda kullandığım makine düzeneğini kullanmamda hiçbir yardımı esirgemeyen teknisyen Yetkin KAYA'ya; tezimin hazırlanması sırasında beni cesaretlendiren ve manevi destek sağlayan değerli aileme, mesai arkadaşlarıma, ev arkadaşlarımdan M. Gökhan ALBAYRAK ve tezimin içeriğinin düzenlenmesinde katkıda bulunan Görkem GÖKÇE'ye teşekkürü borç bilirim. Son olarak, bu tezin meydana gelmesinde maddi imkân sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP) ve çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ	IX
KISALTMALAR	X
SEMBOLLER	XI
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Taraması.....	1
2 GENEL BİLGİLER.....	8
2.1 MİG/MAG Kaynağı.....	8
2.1.1 Yöntemin Prensibi.....	8
2.1.2 Damla İletim Mekanizmaları	9
2.1.3 MIG - MAG Kaynak Donanımı	11
2.1.4 MIG–MAG Kaynak Yönteminde Kullanılan Koruyucu Gazlar	18
2.1.5. MIG-MAG Kaynak Yönetiminde Kullanılan Tel Elektrodlar	22
2.1.6 MIG-MAG Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları	25
2.2 Metalik Kaplamalar	26
2.2.1 Kaplamanın Potansiyel Özellikleri.....	27
2.2.2 Metalik Kaplamanın Yapısı	27
2.2.3 Kalıntı Gerilimi	28
2.2.4 Ergitme Tekniği İle Yüzey Kaplama Uygulamaları	28
2.2.5. Kaplamada Termal Teknikler.....	29
2.2.6 Kaynakla Yüzey Kaplama.....	30
2.3 Yüzey Kaplama Uygulamaları.....	32
2.3.1. Maden ve Mineral İşleme Endüstrisi	33
2.3.2 Metalurjik İşletme (Demir-Çelik Fabrikası)	33
2.3.3 Tarımsal Aletler.....	34

2.3.4 Şeker Endüstrisi.....	34
2.3.5 Çimento Endüstrisi.....	34
3 MATERYAL VE METOT.....	37
3.1 Deneylerin Yapılışı.....	37
3.1.1 Metalografik İşlemler.....	40
3.1.2 Sertlik Ölçümleri.....	40
3.1.3 Abrasiv Aşınma Testi.....	41
4 DENEYSEL SONUÇLAR.....	43
4.1 Makroyapı İnceleme Sonuçları.....	43
4.2 Kimyasal Analiz Sonuçları.....	46
4.3 Optik Mikroskop İnceleme Sonuçları.....	47
4.4 SEM İnceleme Sonuçları.....	60
4.5 EDX Analiz Sonuçları.....	72
4.6 X-RAY Difraksiyon (XRD) Sonuçları.....	79
4.7 Sertlik Sonuçları.....	84
4.8 Abrasiv Aşınma Testi Sonuçları.....	89
4. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	97
KAYNAKLAR.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	103

ÖZET

METAL TOZ İLAVESİYLE MAG KAYNAK YÖNTEMİNİN SERT YÜZEY KAPLAMA AMAÇLI KULLANILABİLİRLİĞİ

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında metal tozu ilavesiyle MAG kaynak yönteminin sert yüzey kaplama amaçlı kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada AISI 1020 çelik levha, altlık malzeme olarak kullanılmış ve 4 farklı miktarda FeCrC (yüksek karbonlu) tozu özel bir aparatla ark bölgesine beslenmiştir. Kaplama işleminde 4 farklı akım kullanılmıştır. Bazı denemelerde FeCrC tozları 400 °C ve 600 °C 'ye ısıtıldıktan sonra kaplamalar yapılmıştır. Ayrıca bir numunede FeCrC tozu ile %4 grafit karışımı kaplama için kullanılmış ve kaplamadaki değişiklikler incelenmiştir.

Yüzey kaplama işleminden sonra mikroyapı incelemesi, kimyasal ve X-Ray analizleri, sertlik ölçümleri ve abraziv aşınma testleri yapılmıştır.

Sonuç olarak FeCrC toz miktarındaki artışla birlikte kaplamadaki krom ve karbon miktarının arttığı görülmüştür. Ayrıca tozlarda ön ısıtmanın kaplamaya geçen krom ve karbonun miktarındaki artışa olumlu etkisi olmuştur. Buna ek olarak FeCrC tozuna grafit takviyesi kaplamanın karbon içeriğini arttırmıştır. FeCrC tozundaki artışla beraber kaplamanın mikroyapısı martenzitten östenit+martenzit+kromkarbürlere dönüşmüştür. Benzer şekilde krom ve karbon artışıyla kaplamada sertlik değerleri ve abraziv aşınma direncinin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: FeCrC, MAG, GMAW, Sert Yüzey Kaplama, Sert Dolgu, Ark.

SUMMARY

USABILITY OF MAG WELDING METHOD FOR HARDFACEING WITH THE ADDITION OF METAL POWDER

In this master thesis, it was investigated the usability of MAG welding method for producing hardfacing with the addition of metal powder. In the study SAE 1020 steel plate has been used as a parent metal and four different amount of FeCrC powder have been fed into arc region with a special aparatus. Four different amperage have been used in the coating operation. In some trials after the FeCrC powder has been heated heated to 400 °C and 600 °C, the coatings have been done. In addition for one specimen a mixture of 4wt% graphite whit FeCrC powder, has been used for coating, and the changes in the coating has been investigated.

After coating studies, microstructural examination, elemental and X-Ray analysis, hardness measurament and abrasive wear tests have been performed.

As a result, it was seen that the amount of cromium and carbon increased in the coating with the increase of FeCrC. Also, preheating of powder had a possitive effect on the dilution of cromium and carbon in the coating. In addition graphite addition to FeCrC powder have increased the carbon content of the coating. The microstructures of coating have changed from martensite to austenite+matrensite+cromium carbides with the increase of cromium and carbon contents. Similarly hardness values and wear resistance of coatings have increased with the increase of cromium and carbon content.

Key Words: FeCrC, MAG, GMAW, Hard Surface Cladding, Hard Slug, Arc.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 MIG-MAG kaynağının prensibi[31]	9
Şekil 2.2 Damla iletim hızının ve damla hacminin kaynak akımıyla değişimi[31]	11
Şekil 2.3. Kaynak Torç Paketi ve Kablo Paketi, 1 TorçBoynu 2 Kontak Lülesi Tutucusu 3 Torç Gövdesi 4 TorçŞalteri 5 Kabza 6 Conta 7 Bağlama Ringi 8 İzolasyon Yüksüğü 9 Kılavuz Lülesi 10 Kılavuz Hortumu 11 Şalter Kablosu 12 Gaz Hortumu 13 Akım Kablosu 14 Gaz Lülesi 15 İzolasyon Ringleri 16 Kontak Lülesi 17 Elektrot Kılavuzu (spiral) 18 Torç Bağlantı Rakoru[32].....	12
Şekil 2.4 Tipik Bir İki Makaralı Tel Besleme Ünitesi[32].....	13
Şekil 2.5 MIG/MAG kaynağının prensip şeması[30]	14
Şekil 2.6 MIG/MAG kaynak konanımları[30]	15
Şekil 2.7 Hortum paketini oluşturan iletim kabloları[30]	17
Şekil 2.8 Bir özlü tel İmalatının akış şeması[32]	24
Şekil 3.1 MAG kaynak makinası ve yüzey kaplama düzeneği	37
Şekil 3.2 Toz besleme ve otomatik ilerletme hattı	38
Şekil 3.3 Toz besleme haznesi iç resistant ve sıcaklık kontrolleri	39
Şekil 3.4 Kaplamalarda boyuna mikro sertlik ölçüm yerinin şematik gösterimi	41
Şekil 3.5 Abrasiv aşınma test numunesinin çıkartılışı [34].....	41
Şekil 3.6 (a,b) Levha-kayış tipi abraziv aşınma test cihazının farklı görüntüleridir	42
Şekil 4.1 Farklı toz besleme oranları ve 220 amper değerlerinde kaplanan numunelerin makro görüntüleri (a: 0,5 gr/s, b: 1 g/s, c: 1,5 g/s d: 2 g/s).....	43
Şekil 4.2 Farklı toz besleme oranları ve 190 amper değerlerinde kaplanan numunelerin makro görüntüleri (a: 0,5 gr/s, b: 1 g/s, c: 1,5 g/s d: 2 g/s).....	44
Şekil 4.3 Kaynak dikişi kesit alınmış kaplamaların makro görüntüleri (a,b: 190 amper- c,d: 220 amper).....	45
Şekil 4.4 AISI 1020 altlık malzemesi (x100).....	47
Şekil 4.5 N4 numunesine ait geçiş bölgesi (x100)	48
Şekil 4.6 N4 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x100)	48
Şekil 4.7 N4 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)	49
Şekil 4.8 N8 numunesine ait geçiş bölgesi (x100).....	49
Şekil 4.9 N8 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x100)	50
Şekil 4.10 N8 kaynak N4 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)	50
Şekil 4.11 N12 numunesine ait geçiş bölgesi (x100)	51
Şekil 4.12 N12 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x100)	51
Şekil 4.13 N12 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)	52
Şekil 4.14 N16 numunesine ait geçiş bölgesi (x100)	52
Şekil 4.15 N16 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x100)	53
Şekil 4.16 N16 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)	53

Şekil 4.17 N20 numunesine ait geçiş bölgesi (x100).....	54
Şekil 4.18 N20 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x100)	54
Şekil 4.19 N20 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)	55
Şekil 4.20 N21 numunesine ait geçiş bölgesi (100x).....	55
Şekil 4.21 N21 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x100)	56
Şekil 4.22 N21 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)	56
Şekil 4.23 N22 numunesine ait geçiş bölgesi (x100).....	57
Şekil 4.24 N22 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x100)	57
Şekil 4.25 N22 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)	58
Şekil 4.26 N1 numunesine ait geçiş bölgesi (x200).....	58
Şekil 4.27 N1 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)	59
Şekil 4.28 N4 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (a) bölgesi	61
Şekil 4.29 N4 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (b) bölgesi.....	61
Şekil 4.30 N4 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (c) bölgesi	62
Şekil 4.31 N8 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (a) bölgesi	62
Şekil 4.32 N8 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (b) bölgesi.....	63
Şekil 4.33 N8 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (c) bölgesi	63
Şekil 4.34 N12 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (a) bölgesi	64
Şekil 4.35 N12 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (b) bölgesi.....	64
Şekil 4.36 N12 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (c) bölgesi	65
Şekil 4.37 N16 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (a) bölgesi	65
Şekil 4.38 N16 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (b) bölgesi.....	66
Şekil 4.39 N16 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (c) bölgesi	66
Şekil 4.40 N20 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (a) bölgesi	67
Şekil 4.41 N20 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (b) bölgesi.....	67
Şekil 4.42 N20 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (c) bölgesi	68
Şekil 4.43 N21 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (a) bölgesi	68
Şekil 4.44 N21 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (b) bölgesi.....	69
Şekil 4.45 N21 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (c) bölgesi	69
Şekil 4.46 N22 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (a) bölgesi	70
Şekil 4.47 N22 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (b) bölgesi.....	70
Şekil 4.48 N22 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (c) bölgesi	71
Şekil 4.49 N4 numunesine ait kaplamadan alınan EDX sonuçları	72
Şekil 4.50 N8 numunesine ait kaplamadan alınan EDX sonuçları	73
Şekil 4.51 N12 numunesine ait kaplamadan alınan EDX sonuçları	74
Şekil 4.52 N16 numunesine ait kaplamadan alınan EDX sonuçları	75
Şekil 4.53 N20 numunesine ait kaplamadan alınan EDX sonuçları	76
Şekil 4.54 N21 numunesine ait kaplamadan alınan EDX sonuçları	77
Şekil 4.55 N22 numunesine ait kaplamadan alınan EDX sonuçları	78
Şekil 4.56 N4 numunesine ait kaplamadan alınan XRD sonucu.....	80
Şekil 4.57 N8 numunesine ait kaplamadan alınan XRD sonucu.....	80
Şekil 4.58 N12 numunesine ait kaplamadan alınan XRD sonucu.....	81
Şekil 4.59 N16 numunesine ait kaplamadan alınan XRD sonucu.....	81

Şekil 4.60 N20 numunesine ait kaplamadan alınan XRD sonucu.....	82
Şekil 4.61 N21 numunesine ait kaplamadan alınan XRD sonucu.....	82
Şekil 4.62 N22 numunesine ait kaplamadan alınan XRD sonucu.....	83
Şekil 4.63 Kaplama numuneleri için makrosertlik sonuçları grafiği	84
Şekil 4.64 N4 numunesinden alınan mikrosertlik grafiği	84
Şekil 4.65 N8 numunesinden alınan mikrosertlik grafiği	85
Şekil 4.66 N12 numunesinden alınan mikrosertlik grafiği	85
Şekil 4.67 N16 numunesinden alınan mikrosertlik grafiği	86
Şekil 4.68 N20 numunesinden alınan mikrosertlik grafiği	86
Şekil 4.69 N21 numunesinden alınan mikrosertlik grafiği	87
Şekil 4.70 N22 numunesinden alınan mikrosertlik grafiği	87
Şekil 4.71 N4 numunesi için yüke bağlı olarak ağırlık kaybı	89
Şekil 4.72 N8 numunesi için yüke bağlı olarak ağırlık kaybı	89
Şekil 4.73 N12 numunesi için yüke bağlı olarak ağırlık kaybı	90
Şekil 4.74 N16 numunesi için yüke bağlı olarak ağırlık kaybı	90
Şekil 4.75 N20 numunesi için yüke bağlı olarak ağırlık kaybı	91
Şekil 4.76 N21 numunesi için yüke bağlı olarak ağırlık kaybı	91
Şekil 4.77 N22 numunesi için yüke bağlı olarak ağırlık kaybı	92
Şekil 4.78 N4 numunesi için kaplamalarda aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü.....	93
Şekil 4.79 N8 numunesi için kaplamalarda aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü.....	93
Şekil 4.80 N12 numunesi için kaplamalarda aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü.....	94
Şekil 4.81 N16 numunesi için kaplamalarda aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü.....	94
Şekil 4.82 N20 numunesi için kaplamalarda aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü.....	95
Şekil 4.83 N21 numunesi için kaplamalarda aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü.....	95
Şekil 4.84 N22 numunesi için kaplamalarda aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü.....	96

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Çağımız endüstrisinde MIG-MAG kaynak yönteminde sık kullanılan koruyucu gaz ve gaz karışımları	22
Tablo 3.1. AISI 1020 çeliğinin ve kaplama tozlarının kimyasal bileşimi	38
Tablo 3.2. Kaplama parametreleri	39
Tablo 4.3. Yapılan kaplama numunelerinin kimyasal analiz sonuçları.....	46

KISALTMALAR

MİG	: Metal İnert Gaz
MAG	: Metal Aktif Gaz
GMAW	: Gas Metal Arc Welding
SMAW	: Shilded Metal Arc Welting
UGMAW	:Universal Gas Metal Arc Welding
PTA	: Plasma Transffered Arc
GTA	: Gas Tungsten Arc
TİG	: Tungsten İnert Gas
OM	: Optik mikroskop
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	:Enerji saçılımlı X-ray analizi
XRD	: X-Ray diffraction
HV	: Hardness Vickers
HRC	: Hardness Rockwell
HB	: Hardness Brinell

SEMBOLLER

γ : Östenit Fazı
 q : İş Yoğunluğu
 $d_{eş}$: Ark Çapı

1 GİRİŞ

Modern teknolojiye metal yüzeylerinin dış ortamlardan korunması, maruz kaldığı yorulma, sürünme ve aşınmaları ortadan kaldırmak veya minimuma indirmek amacıyla, çeşitli yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır[1-3]. Hızla katılaştan ince taneli mikro yapılar kristal ve amorf fazlar içerirler. Bu nedenle bu gibi mikro yapıya sahip malzemelerin aşınma direnci artar ve (Fe,Co ve Ni esaslı alaşım kaplamaları için geleneksel alt tabaka malzemelerine) yüksek sertlik gösterirler[4-6]. C ve Cr'ca zengin Fe esaslı alaşımlar, tribolojik uygulamalar için yaygın olarak yüzey sertleştirilmiş malzemeler olarak kullanılır [7-9].Yumuşak yüzeylerin korozyona karşı dayanıklılığını artırmak ve yüzey kayganlığı sağlamak için sürtünmeyle çalışan parçalara sert krom kaplama uygulanır. Çalışan makina parçaları, çalışma şartlarına göre kısa sürede veya uzun sürede aşınırlar, veya korozyona uğrarlar. Bu tip çalışma koşullarında yüzey özelliklerinin arttırmak için uygulanan sert krom kaplamalar çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır.

Sert krom kaplama yapılan parçalarda yumuşak matris içerisinde kromca zengin sert ötektik karbürler oluşur. Bu M_7C_3 karbürler sayesinde yüzey kaplamaları oldukça yüksek sertliklere ulaştırılabilir[10]. Sert krom kaplamalar için bu güne kadar farklı yöntemleri denenmiştir. Bu amaçla yapılan kaplama yöntemleri Gaz Tungsten Ark (GTA), Plazma ark kaynağı (PTA), Lazer kaynağı ve MAG kaynak yöntemi olarak sıralanabilir. Örtülü ve özlü elektrot kullanılarak yapılan kaplamalar da oldukça sık kullanılmakta olup elektrotlar krom-karbür oluşturacak şekilde hazırlanmıştır.

GMAW (MAG) yöntemi hem kalın kaplamalar yapılabilmesi hemde uygun maliyeti sayesinde tercih sebebi olarak kullanılabilir. İstenilen bileşim oranları ayarlanarak farklı özellikler kazandırılmasına olanak tanır. Bu yöntemde kısa sürede yüksek enerji verilmesi ile tozların ve altlık malzemenin kolayca ertilmesi sağlanır. Soğuma hızları ve enerji girdisi kontrolleriyle ince taneli kaplama yapısı elde edilebilir.

1.1 Literatür Taraması

Malzemelerin aşınma ve korozyon özelliklerini geliştirilmesi için yüzeylerin sert yüzey tabakasıyla kaplanması amacıyla birçok ertirme yöntemi kullanılmakla beraber MAG kaynak yöntemi sürekli tel beslemesi hızlı, kolay kaplama yapılabilmesi ve düzgün yüzey kalitesi sebebiyle kullanımı tercih edilen bir yöntemdir. Yapılan literatür taramasında Gaz Tungsten Ark (GTA), Plazma Transfer Ark (PTA), Lazer kaynağı, Gaz Metal Aktif Gaz (GMAW-MAG) ve Özlü elektrot kullanılarak yapılan sert yüzey kaplamalar araştırılmış bu çalışmaların bir kısmı özetlenmeye çalışılmıştır.

S. Buytoz, M.M. Yıldırım ve H. Eren 2005 yılında TIG metodu kullanılarak yapılan Fe-Cr-C kaplamalarının karakterizasyonu incelemişler, AISI 4340 çelik yüzeyinde bir gaz tungsten ark torcu vasıtasıyla kaplamaları oluşturmuşlardır. Kaplama mikroyapılarında östenit matrisi içinde katılaşmış ve dağılmış $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürleri tespit etmişlerdir. $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürleri ile $(Cr,Fe)_7C_3+(\gamma)$ içeren mikroyapılar ötektik üstü mikroyapılardır. $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürlerinin sertlik değerleri 1500 HV bulunmuş, Numunelerin mikroyapılarının incelenmesi için, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM), faz ve karbürlerin tespiti için enerji dağılımlı spektograf (EDS) ve X ışını difraksiyonundan faydalanılmıştır. $(Cr,Fe)_7C_3+(\gamma)$ matrisin sertlik değerleri 750 HV olarak tespit edilmiştir [10].

M. Eroglu, N. Ozdemir, 2002 yılında düşük karbonlu çeliklerin tungsten inert gaz ile yüzey alaşımlandırmasını çalışmışlardır. SAE 1020 çelik yüzey tungsten inert gaz (TIG) ısı kaynağı kullanarak önceden yerleştirilmiş grafit, krom ve yüksek karbonlu ferrokrom tozları ile alaşımlandırmışlardır. Önceden yerleştirilmiş toz kalınlığı, sertlik ve alaşımdandırılmış yüzeylerin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Kaplama alaşımlarının mikroyapısı optik mikroskop (OM), X-ray difraksiyon (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji saçılımlı X-ray analizi (EDS) gibi geleneksel karakterizasyon teknikleriyle incelenmiştir. Önceden yerleştirilen toz kalınlığı değiştirilerek farklı oranlarda krom, karbon ve krom-karbon bileşikler elde edilebilmiştir. En yüksek aşınma direnci 2-4 mm kalınlığındaki tabakalarda elde edilmiştir[11].

S. Buytoz, M.M. Yıldırım ve H. Eren, 2004 yılında gaz tungsten ark yöntemi ile AISI 4340 çelik malzeme üzerinde sentezlenen Fe-Cr-C kaplamalarının mikroyapısal ve mikro-sertlik özelliklerini araştırmışlardır. GTA parametrelerinin Fe-Cr-C alaşımlı kaplamalara etkilerini deneysel olarak incelemişler ötektik üstü ve ötektik altı mikroyapılar elde etmişlerdir. Ötektik üstü ve ötektik altı yapılar Cr ve C miktarından etkilenmişlerdir. Ötektik üstü yapıların sertliği daha yüksek bulunmuştur[12].

M.H. Korkut, O. Yilmaz ve S. Buytoz 2002 yılında gaz tungsten ark (GTA) ile sentezlenmiş Fe-Cr-Si-Mo-C kaplı düşük karbonlu çelikteki geçiş bölgesine yaşlandırma işleminin etkilerini araştırmışlardır. Kaynak parametrelerine bağlı olarak ötektik altı ve ötektik üstü yapılar elde etmişler, kaplanmış yüzey ve alaşım arasındaki geçiş bölgesinde ise martenzitik ve martenzit + östenitik yapılar elde etmişlerdir. Kaplama geçiş bölgesinin toklugunu arttırmak için yaşlandırma prosesi kullanmışlardır. Yaşlandırma prosesi (480-550 °C) kaplama ve altlık arasındaki arayüzey mukavemetini arttırmıştır[13].

X.H. Wang, S.L. Song, Z.D. Zou, S.Y. Qu 2006 yılında GTAW çoklu tabaka ergitme işlemi kullanarak TiC partikül takviyeli Fe esaslı kaplamaların üretilmesi üzerine çalışmışlardır. GTAW prosesi ile SAE 1045 çelik yüzeyinde uygun akımlarla grafit ve ferrotitanyum esaslı tozlar ısıtılarak TiC takviyeli kompozit kaplamalar elde etmişlerdir. Bu kaplamalar çok iyi aşınma direnci ve yüksek sertlik değerleri vermişlerdir. GTAW yönteminin çoklu tabaka ergitme için etkili bir şekilde kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır[14].

Khedkar, J., Khanna, A.S., Gupt, K.M., 1997 yılında plazma ve lazer ile kaplanmış çeliklerin tribolojik davranışlarını incelemek için plazma spre ve lazer ergitme yöntemlerini kullanmışlardır. Yüzey kaplamalarını WC, Co, molibden ve krom ile alaşımlandırılmış ve bu kaplamaların aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Bu çalışmalarında plazma spre ve lazer ile kaplanmış numunelerin işlem parametreleri gibi yapısal faktörlerin kuru ve kısmen yağlanmış şartlarda kayma aşınmalarını araştırmaya çalışmışlardır. Pin on disk yöntemiyle çelik malzemelerin abraziv ve adhesif aşınmaları incelenmiştir[1].

Yuan-Fu Liu ve arkadaşları, 2006 yılında $(Cr,Fe)_7C_3$ takviyeli kompozit kaplamaları plazma transfer ark kaplama yöntemiyle üretmiş, mikroyapı ve aşınma davranışını incelemiştir. $(Cr,Fe)_7C_3$ takviyeli kompozit kaplamaları %0.45 C karbonlu çelik üzerine Fe–Cr–C–Ni toz karışımıyla PTA ergitme kaplama yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Kompozit kaplamanın mikroyapı, mikrosertlik ve kuru kayma aşınma davranışı optik mikroskop (OM), X-ray difraksiyon (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji saçılımlı X-ray analizi (EDS), mikrosertlik test cihazı ve ring-on-ring aşınma test cihazı ile incelenmiştir. $(Cr,Fe)_7C_3$ karbür takviyeli kompozit kaplamaların oldukça yüksek sertlik değeri ve çok iyi kuru aşınma direnci olduğu görülmüştür[15].

E. Badisch ve M. Kirchgaßner 2008 yılında tungsten karbür takviyeli NiCrBSi sert dolgu alaşımında kaynak parametrelerinin mikroyapı ve aşınma davranışına etkilerini incelemişlerdir. Sertyüzey kaplamalarını PTA yöntemiyle, MAG yöntemiyle ve lazer ergitme yöntemiyle yaparak aşınmaya dayanıklı malzemeler üretmeye çalışmışlardır. Tungsten karbürler ile takviyeli NiCrBSi esaslı tipik bir sert dolgu alaşımını, sert dolgu alaşımı için altlık malzeme olarak kullanılan $195 \times 125 \times 6$ mm boyutlarında yumuşak çelik plakaları üzerine uygulamışlardır. Çalışmalarının amacı MAG kaynak parametrelerinin kaplamaların mikroyapı ve aşınma davranışına etkisini incelemektir. Gerçek koşullara benzer olması için aşınma testleri ASTM G65 kuru-kum lastik-teker standart test sistemi ile yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda kaplama akımının, kaplama tabaka sayısının, kaplama tabakası ve geçiş bölgesinin formasyonunun aşınma davranışını etkilediği görülmüştür[16].

M. Kirchgaßner ve E. Badisch 2008 yılında demir esaslı sert dolgu alaşımlarının aşınma ve darbe altında davranışlarını incelemişlerdir. Kaynak işleminden önce mikroyapı elde edilmiş ve son olarak kaynak teknolojisi kullanılarak etken parametreler belirlenmiştir. Ana metal üzerine metalurjik olarak çöktürülmüş sert fazlar eklenmiştir. Bu çalışmanın asıl amacı gaz metal ark kaynağı (MAG) ile eklenen kompozit alaşımların saf aşınma davranışını incelemektir. Yüksek bor içeren yeni kompleks Fe–Cr–W–Mo–Nb alaşımı daha düşük alaşımlı Fe–Cr–B–C esaslı malzeme ile birlikte, ağırlıkça yüzde 50 tungsten karbür ve ince çökelmiş niyobyum karbür içeren çatlaksız martenzitik Fe–Cr–C alaşımı sentetik bir faz içine gömülmüştür. Bunların yanı sıra geleneksel ötektik üstü Fe–Cr–Nb–C alaşımı, laboratuvar ölçeğinde gerçek saha koşullarına simüle etmek için literatürde iyice açıklanmış standart servis programına entegre edilmiş ASTM G65 standart kuru kum lastik tekerlekli aşınma testi (3-gövde aşınma) ile aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Aşınma

davranışlarının değerlendirilmesi mikro ve makro yapısal incelemeler ve sertlik testleri ile desteklenmiştir. Yapılan testler sonucunda tüm numune gruplarında yüksek sertlikler elde edilmiş yüksek darbe uygulamalarında martenzitik çeliklerin en iyi sonuçları verdiği buna rağmen Nb takviyesiyle daha iyi sonuçlar elde edilebileceği sonucuna varılmıştır[17].

Chieh Fan, Ming-Che Chen, Chia-Ming Chang, Weite Wu, 2006 yılında Fe-Cr-C sertdolgu alaşımları içindeki $(Cr,Fe)_{23}C_6$ karbürlerinin mikroyapı değişimlerini incelemiştir. Bir seri yüksek kromlu Fe-Cr-C alaşımlı kaplamayı ASTM 36 çelik yüzeyine krom ve karbon alaşımları kullanılarak GMAW prosesi ile yapmışlardır. Sertlik değerleri ve mikroyapıları incelemişlerdir. Kaplama yüzeyinde ötektik altı, ötektik ve ötektik üstü mikroyapılar elde edilmiştir. Merkezinde $(Cr,Fe)_7C_3$ içeren yekpare $(Cr,Fe)_{23}C_6$ fazının sertlik değeri 70 HRC bulunmuştur[18].

A.S. Shahia, Sunil Pandey 2006 yılında gazaltı kaynak yöntemleri ile üretilen paslanmaz çelik kaplamalarındaki eriyik üzerine kaynak koşullarının etkilerinin modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında çeşitli gaz metal ark kaynağı (GMAW) ve çok amaçlı gaz metal ark kaynağı (UGMAW) proses parametrelerinin düşük karbonlu paslanmaz çelik levhalarda kaplama üzerine etkilerini analiz etmek için yürütülen deneysel bir çalışma vurgulanmıştır. Dört sayısal faktör; tel besleme hızı, açık devre gerilimi, kaynak hızı ve nozul-plaka mesafesinin ve kategorik faktör ön ısıtma akımının eriyik üzerine doğrudan etkilerinin incelenmesi için kullanılmıştır. Uygunluk deneysel çalışması tarafından desteklenen sayısal optimizasyon, aynı oranda inceleme olduğunu göstermiştir. UGMAW prosesinin yığma hızının geleneksel GMAW prosesine göre daha hızlı olduğu tespit edilmiştir (%26 dan fazla)[19].

M. Atabey, 2008 de sıcak dövme kalıplarında sert dolgu kaynağı uygulamasıyla iyileştirmeleri araştırmış, kaynak için gazaltı yöntemi kullanmıştır. Bu yöntemi tercih etmesinin en önemli sebebi hızlı olmasıdır. Kalıp boşluğu gibi geniş bir hacmin doldurulması gazaltı yöntemiyle diğer yöntemlerden daha kısa sürmektedir. Hem malzeme yığma hızının yüksek oluşu hem de uzun süre boyunca kaynağı kesmeden devam edilebilmesi bu yöntemin daha hızlı olmasına sebep olur. Ayrıca kullanılan ekipmanların kolaylıkla taşınabilir olması da bu yöntemi seçmesinde etkili olmuştur. Kaynak dikişinin mümkün olduğunca doğru ve ince olarak çekilmesini tercih etmiştir. Bunun nedeni kaynak sırasında oluşan aşırı ısınmanın mümkün olduğunca dar bir alan içinde tutmaktır. Bu çalışma sonucunda yüksek mukavemet sağlayan sert dolgu kaynağı malzemelerinin yapısının martenzit ve beynitten oluştuğu, bu yapının alaşım elementlerinin oluşturduğu sekonder karbürler (temperleme sonrası oluşan) ve primer karbürler (Ti ve W karbürleri) ile desteklendiği tespit edilmiştir. Yapılan incelemelerin karbürlerin çeşitlerini, miktarlarını, boyutlarını ve dağılımlarını belirlemeye yeterli olmaması sebebi ile aşınma direnci, mukavemet gibi etkiledikleri malzeme özellikleri ile aralarında bir ilişki kurulamamıştır[20].

C. Katsich, E. Badisch, ve arkadaşları 2009 yılında sert yüzey kaplanmış Fe-Cr-C alaşımlarının yüksek sıcaklıktaki erezyonunu araştırmak için MAG kaynak yöntemini kullanarak Nb, Mo ve Bor içeren iki farklı türde Fe-Cr-C alaşımını yüksek sıcaklıklarda gelişmiş performans için tasarlamışlardır. Fe-Cr-C içersine Nb, Bor ve Molibden eklenerek iki farklı toz karışımı hazırlanmıştır. GMAW ile kaplanan numunelerine 4 farklı sıcaklık iki farklı çarma açısı ve bir sabit hız altında aşınma tesleri uygulanmıştır. Test alaşımların erozyon hızı artan sıcaklık değerleri ile arttığı görülmüştür. Test numunelerinin sert dolgu kaplamalarında aşınma dirençlerinin arttığı görülmüştür[21].

Chia-Ming Chang, ve arkadaşları 2009 yılında [%1.0-4.0] karbon içerikli % 40 Fe Cr-xC sertdolgu alaşımlarının mikroyapısal karakterini incelemiştir. Alaşımlandırma işlemini GTAW yöntemi kullanılarak yapmışlar, ötektik üstü ötektik ve ötektik altı Fe-Cr-C fazları ve (Cr,Fe)₂₃C₆, ve (Cr,Fe)₇C₃ bileşiklerini yapı içerisinde gözlemlemişlerdir. Son olarak %4 karbon içeriğine sahip ötektik üstü alaşımın sertliği %1 karbon içeriğine sahip alaşıma göre 3 kat daha fazla bulunmuştur. Maksimum kaplama sertliği ise altlık malzemeden 6 kata kadar daha fazla bulunmuştur[22].

M.H. Amushahi, F. Ashrafizadeh, M. Shamanian, 2010 senesinde ark sprey ve GMAW işleminin karbon çelikleri üzerine borca zengin sertyüzey kaplama karakterizasyonunu araştırmışlardır. Bor açısından zengin özlü tel elektrot kullanarak düşük karbonlu çeliğe sertyüzey kaplama yapılmıştır. Ark püskürtme ve gaz metal ark kaynağı (MIG) teknikleri, St52 çelik yüzeyinde borca zengin bir seri kaplama oluşturmak için kullanılmıştır. M.H. Amushahi ve arkadaşları bu tekniklerle yapılan sert yüzey kaplamaları birbirleriyle kıyaslamışlardır. XRD analizlerinde her iki kaplamanında yüksek demir borür ve biraz ötektik faz içerdiği görülmüştür[23].

E. Badisch, C.Katsich, ve arkadaşları 2010 yılındaki çalışmasında yüksek sıcaklıkta gelişmiş performans sağlamak için Nb, M, ve B içeren Fe-Cr-C esaslı iki sert dolgu alaşımını gaz metal ark kaynağı (GMAW) kullanarak yumuşak metal üzerine çökeltmiş, 2 gövde ve 3 gövde aşınma davranışını 30° ve 90° lik darbe açısı ile oda sıcaklığından 650°C ye kadar incelemişlerdir. Sert yüzey kaplanmış alaşımların erezyon ve aşınma davranışları oldukça artmıştır. Östenitik paslanmaz çeliğin aşınma davranışında aşırı aşınma ve mekanik karışmış tabaka (MML) oluşmuştur. Östenitik paslanmaz çeliklerde aşınma davranışı normal darbe altında test sıcaklığına bağlı olmadığı görülmüştür[24].

S. Dallaire 2012 yılında kaplama yüzeyi için dikey odaklı boride kristalleri içeren boride esaslı kaplamaların sulu çamur erozyon direncini geliştirmek amacıyla MAG kaynak yöntemi kullanarak molibden karbon ve silisyum ile Fe₂B kristalleri içeren zenginleştirilmiş bir destek matrisi oluşturmaya çalışmıştır. Değişik kompozisyonlarda biriktirilmiş özlü teller kaynak parametrelerine eklenerek üretilen kaynak kaplamaları kendine özgü mikroyapılar göstermiştir. Bu demir borid esaslı kaplamalar aşınma yüzeyine dik hizalanmış ince uzun borür kristalleri içermiştir. Bu özel mikroyapılar 30 ° ve 90 ° lik iki çarpma açısında olağanüstü sulu çamur aşınma direnci göstermişleridir. Kaynak yığma

parametreleri ve Fe, Mo, B, C ve Si kompozisyon aralığının performans artışındaki etkilerini incelemişlerdir[25].

Agustín Gualco ve arkadaşları ıslah edilmiş martenzitik takım çeliklerinin sert dolgu tabakalarında kaynak işleminin aşınma direncine etkisini çalışmışlardır. Bu çalışmalarında koruyucu gaz, ısı girişi ve ilgili kaynak sonrası ısıtma işlem etkisi, mikroyapısal oluşumların ve ıslah edilmiş AISI H13 martensitik takım çeliğinin aşınma direncini incelemişlerdir. Tüp şeklinde metal özlü tel kullanarak yarı otomatik gaz korumalı ark kaynağı prosesi kullanılarak kaplamalar yapılmıştır. Dört parça çelik farklı kaynak parametreleri kullanılarak kaynatılmıştır. Kullanılan koruyucu gazlar Ar-%2 CO₂ ve Ar-%20 CO₂ karışımı ve ısı girişi iki düzeyde 2 ve 3 kJ/mm seçilmiştir. Bu numuneler kaynak işleminden sonra ısıtma işlemine tabi tutulmuş ve ısıtma işlem sıcaklığı 550 °C olarak belirlenmiştir. Bu parçalardan, örneklerin 500 N bir yük ile saf kayma koşulu altında metal-metal aşınma testi için numuneler çıkarılmıştır. Kimyasal yapı saptanmış, mikroyapı ve mikrosertlik belirlenmiştir. Bu kaynak koşullarına tabi tutulmuş numunelerin çeşitli mikroyapı içinde tutulan ostenit içeriği çökeltme fenomeni ile bağlantılı olarak ikincil sertleştirme, gösterdiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, kaynaklı numuneler ısıtma işlem görmüş örneklerle göre daha yüksek aşınma direnci göstermiştir[26].

P.K. Palani ve N. Murugan 2006 yılında özlü ark tarafından kaplanan paslanmaz çelik kaplama proses parametreleri duyarlılık analizi üzerine çalışmışlardır. Taban plakası olarak 2062 yapısal çelik, deneyler ise boyutu 1.2 mm çaplı 317L özlü paslanmaz çelik tel ile yapılmıştır. Yapısal çelik plaka üzerinde 317L özlü telin Özlü Ark Kaynağı (FCAW) proses parametreleri arasındaki ilişkiler kurulmuştur. Kaplama geometrisini kontrol etmek için parametreler dikkatlice kontrol edilmiştir. Çalışma kaynak parametrelerinin kaplama genişliğini, eriyiği, penetrasyon derinliğini ve kaplama geometrisini önemli ölçüde etkilediği göstermiştir[27].

J.F. Santa ve arkadaşları 2010 yılında kaynakla kaplanmış martenzitik ve östenitik paslanmaz çeliklerin kaviteasyon erozyonunu incelemiş kaynak ile yıpranmış türbinleri onarmak için kullanılan dört alaşımın kaviteasyon erozyonu direncini laboratuvar ortamında test etmiştir. AWS E309 alaşımı (3 kat) ve yüksek kobaltlı paslanmaz çelik (2 ve 3 kat) elle (SMAW) yöntemiyle, ASTM A743 sınıf CA6NM paslanmaz çelik (genellikle 13-4 çelik olarak da bilinir) üzerine kaplamışlar ve bunların kaviteasyon dirençleri geleneksel E410NiMo (SMAW ile uygulanan) alaşımları ve ER410NiMo (yarı otomatik süreci GMAW uygulanır) ile karşılaştırmışlardır. Kaynak mikroyapıları, kimyasal bileşimi, Optik Emisyon (OES) ve Enerji Dağılımlı X-Ray Spektrometre (EDXS) ile analiz ederken Elektron Mikroskobu (SEM) ve X-Işını Kırınımı (XRD), Taramalı Işık Optik Mikroskop (LOM) tarafından incelenmiştir. AWS E309 en yüksek erozyon oranını verirken tüm malzemelerdeki en yüksek kaviteasyon erozyon direnci 3 kat uygulanan yüksek Kobalt paslanmaz çelik kaplama ile sağlanmıştır. Yüksek kobaltlı paslanmaz çelik numunede östenitten martenzite geçiş sırasında bolca ikiz ve kayma hataları oluştuğu gözlemlenmiştir[28].

Chia-Ming Chang, ve arkadaşları 2008 yılında ötektik üstü Fe-Cr-C kaplamalarda karbon içeriğinin mikroyapı karakteristiklerine etkilerini araştırmıştır. Farklı karbon içerisine sahip ötektik üstü Fe-Cr-C kaplamalar ASTM 36 çelik altlık yüzeyine özlü elektrot ark kaynağı ile biriktirilmiştir. Sonuçlara göre ötektik üstü Fe-Cr-C kaplamalarda birincil ötektik $(Cr,Fe)_7C_3$ ve östenit + $(Cr,Fe)_7C_3$ ötektik yapısı oluşmuştur. ötektik $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürlerin morfolojisi hegzagonal geçiş bölgelerinde bıçak tipinden çubuk tipine değişmiştir. Ötektik $(Cr,Fe)_7C_3$ miktarı, karbon içeriğinin artışıyla birlikte artmıştır[29].

Yapılan literature taraması sonucunda literatürde MAG kaynak yöntemi sert yüzey kaplama için oldukça sıklıkla kullanılmış ancak otomatik toz besleme ve ısıtma ile besleme denenmemiştir. Bu çalışmayla yapı içerisinde oluşacak olan M_7C_3 ve $Cr_{23}C_6$ bileşiklerinin oluşum türüne kaynak parametrelerinin yanında toz miktarının ve toz sıcaklığının MAG kaynağı ile yapılan yüzey kaplamalarında etkisinin incelenmesi ve toz beslemesinin otomatik yapılarak sanayi için kullanılabilir hale getirilmesine çalışılmıştır.

2 GENEL BİLGİLER

2.1 MİG/MAG Kaynağı

MIG kaynağının esas gelişimi, 1947 yılında ABD'de ilk satın alınabilir kaynak makinelerinin üretilmesiyle başlamıştır. O tarihte yöntem S.I.G.M.A (Shielded Inert Gas Metal Arc) olarak adlandırılmakta ve bugünkü MIG kaynağı ile aynı anlamda kullanılmaktaydı. Karbondioksit koruyucu gaz olarak ilk defa Rusya'da 1952 yılında denenmiş ve bugünkü MAG kaynağı başlamıştır. Argon gazı o zamanlar çok pahalıya mal olduğundan bu yöntem ilk olarak alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağı için kullanılmıştır. CO₂ altında kaynaktaki sıçrama oluşumu, kısa arkla kaynak olarak bilinen tekniğin gelişmesine yol açmıştır. Gazaltı metal ark kaynağının bu daha sonradan gelişen değişik uygulaması, karbondioksit altında da hemen hemen sıçramasız kaynak yapılmasını sağlamış ve özellikle ince saçların birleştirilmesi, kök pasolarının kaynağı ve zor pozisyonlardaki kaynaklar için uygun olmuştur. Argon gazı fiyatlarının 60'lerden itibaren düşmesiyle karışım gazlar 'ilk olarak da argon ile karbondioksit karışımı' kullanılmaya başlanmıştır. Saf karbondioksit'e kıyasla daha pahalı olmasına rağmen karışım gazlar çok gelişmiştir ve günümüzde MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazların hemen hemen % 80'i karışım gazdır. Bilinen tüm eritme kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmiş dikişler arasında gazaltı metal ark (MIG/MAG) kaynağı ile yapılan kısmı, % 70'lik bir bölümünü oluşturmaktadır ve gelişimini sürdürmektedir [30].

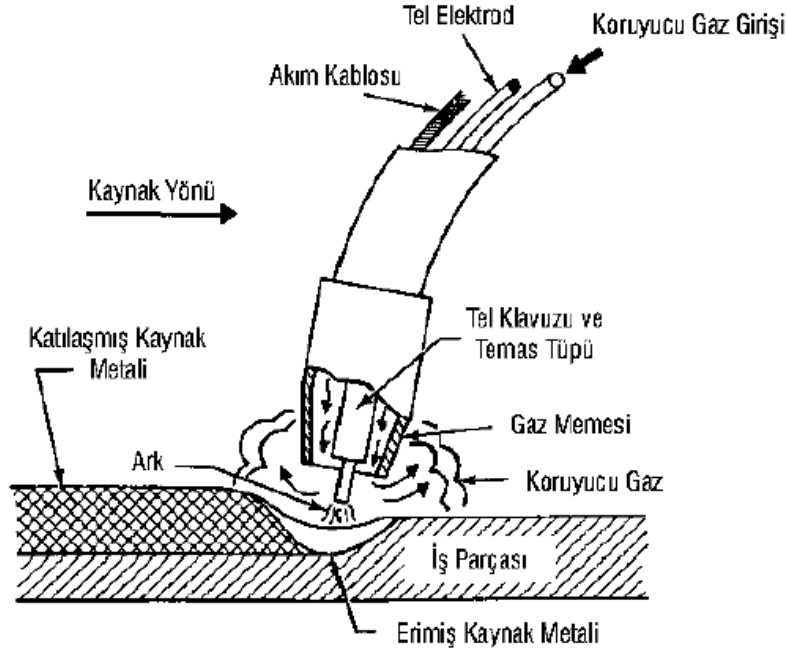
2.1.1 Yöntemin Prensibi

MIG/MAG Kaynağında ark, aynı zamanda ilave tel görevi yapan eriyen bir elektrod ile iş parçası arasında yanar. Koruyucu gaz ya argon, helyum gibi bir inert gaz ya bunların karışımı (MIG) veya aktif bir gazdır (MAG). Koruyucu gaz, örneğin CO₂ kaynağında (MAGC yöntemi), karbondioksit'ten veya karışım gaz kaynağında (MAGM yöntemi) inert gazla aktif gazların karışımından oluşan bir karışım gazdır.

"Uçsuz" elektrod bir tel iletme mekanizması yardımıyla bir tel makarasından akım kontak borusuna gelir. Serbest tel ucu nispeten kısadır; böylece ince elektroda yüksek akım şiddeti ($>100 \text{ A/mm}^2$) uygulanabilir. Kaynak makinasının kutuplarından biri elektroda diğeri de parçaya bağlanır; böylece ark, eriyen elektrod ile parça arasında yanar. Elektrod aynı anda hem enerji taşıyıcı ve hem de kaynak ilave metali görevi yapar. Koruyucu gaz elektrodun eşeksenli olarak bulunduğu bir memeden akar ve arkı, eriyen damlaları ve arkın altındaki erimiş banyoyu atmosferin etkisinden korur[30].

Bu yöntemle dışardan sağlanan gazla korunan otomatik olarak sürekli beslenen ve eriyen elektrod kullanılır. Kaynakçı tarafından ilk ayarlar yapıldıktan sonra arkın elektriksel karakteristiğinin kendi kendine ayarını otomatik olarak kaynak makinası sağlar. Bu nedenle yarı otomatik kaynaktaki kaynakçının gerçekleştirdiği elle kontroller, kaynak hızı, doğrultusu ve torcun pozisyonundan ibarettir. Uygun donanım seçilip, uygun ayarlar

yapıldığında ark boyu ve arkın şiddeti(elektrod besleme hızı)kaynak makinası tarafından otomatik olarak sabit değerde tutulur. Şekil 2.1 de kaynak mekanizması gösterilmiştir[31].



Şekil 2.1 MIG-MAG kaynağının prensibi[31]

2.1.2 Damla İletim Mekanizmaları

MIG-MAG kaynağında metal damlalar elektroddan iş parçasına üç temel iletim mekanizmasıyla geçer:

- Kısa devre iletimi (kısa ark)
- İri damla iletimi (uzun ark)
- Sprey iletimi

Damla iletim tipi çok sayıda faktör tarafından etkilenir. Bunlar içinde en etkili olanlar şunlardır:

- Kaynak akımının tipi ve şiddeti
- Elektrod çapı
- Serbest elektrodun bileşimi
- Serbest elektrodun uzunluğu
- Koruyucu gaz

2.1.2.1 Kısa devre iletim (kısa ark)

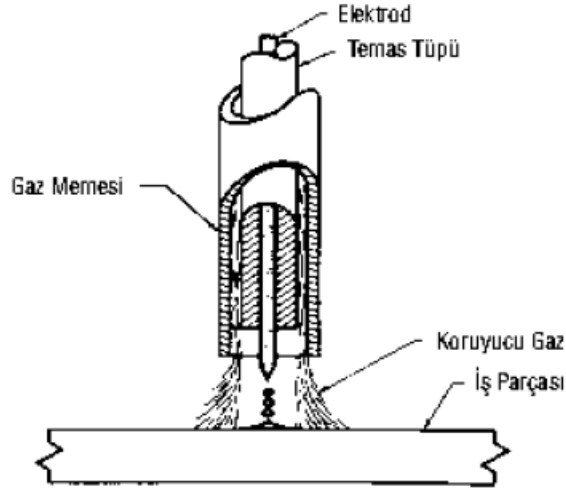
Kısa devre iletimi, gazaltı kaynağındaki en düşük kaynak akımı aralığında ve en küçük elektrod çaplarında gerçekleştirilir. Bu tip bir iletim ince kesitlerin birleştirilmesi için, pozisyon kaynağı için ve büyük kök açıklıklarını birleştirmeye uygun olan küçük ve hızla katılan bir kaynak banyosu oluşturmak için kullanılır. Metal, elektrodan iş parçasına, sadece elektrod kaynak banyosu ile temas halinde olduğu sırada iletilir. Ark aralığı boyunca herhangi bir metal iletimi olmaz. Elektrod iş parçasına saniyede 20 ila 200 kez temas eder.

2.1.2.2. İri damla iletimi (uzun ark)

Doğru akım elektrod pozitif kutuplamada kaynak akımı göreceli olarak düşük ise koruyucu gazın cinsine bağlı olmaksızın iri damla iletimi meydana gelir. Ancak CO₂ ve helyumla bu tip iletim tüm kullanılabilen kaynak akım değerlerinde oluşur. İri damla iletimin en önemli özelliği damla çapının elektrod çapından daha büyük oluşudur. İri damla yer çekimi etkisiyle kolaylıkla hareket eder. Bu nedenle iri damla iletimi başarılı bir biçimde ancak oluk pozisyonunda gerçekleşir. Kısa devre damla iletiminde kullanılan akımlardan biraz daha yüksek akım değerlerinde, tam asal gaz koruması altında eksenel olarak yönelmiş iri damla iletimi elde edilebilir. Eğer ark boyu çok kısa (düşük gerilim) ise tel ucunda büyüyen damla iş parçasına temas edip aşırı ısınabilir ve parçalanarak aşırı sıçramaya neden olabilir. Bu nedenle ark, damla kaynak banyosuna değmeden önce elektroddan ayrılma imkanı bulacak kadar uzun olmalıdır. Ancak daha yüksek gerilim kullanarak yapılan kaynakların yetersiz erime, yetersiz nüfuziyet ve aşırı dikiş taşması nedeniyle reddedilme olasılık yüksektir. Bu ise iri damla iletiminin kullanımını büyük ölçüde sınırlar. Kaynak akımı kısa devre iletimi için kullanılan akım aralığından oldukça yüksekse, karbondioksitle koruma tesadüfi şekilde yönelmiş iri damla iletimine neden olur. Eksenel iletim hareketinden sapmaya, kaynak akımının oluşturduğu ve erimiş elektrod ucuna etki eden elektromanyetik kuvvetler neden olur. Bu kuvvetlerin en önemlileri elektromanyetik büzme kuvveti (P) ile anod reaksiyon kuvveti (R) dir [31].

2.1.2.3. Sprey iletimi

Argonca zengin gaz korumasında kararlı, sıçramasız “eksenel sprej” tipi bir iletim elde etmek mümkündür. Bunun için elektrod pozitif kutupta doğru akım kullanılması ve akım şiddetinin geçiş akımı adı verilen kritik bir değerinin üzerinde olması gerekir. Bu akımın altında iletim daha önce açıklanan iri damla iletimi yoluyla olur ve damla iletiminin hızı saniyede birkaç damladır. Geçiş akımının üzerindeki değerlerde ise iletim, küçük çaplı (elektrod çapından daha küçük çapa sahip) damlaların oluşumu ve bunların saniyede yüzlerce damla iletim hızında ayrılmasıyla oluşur. Bunlar ark aralığı boyunca eksenel olarak hızlanırlar. Şekil 2.2 Damla iletim hızının ve damla hacminin kaynak akımıyla değişimi verilmiştir[31].



Şekil 2.2 Damla iletim hızının ve damla hacminin kaynak akımıyla değişimi[31]

Sıvı metalin yüzey gerilimine bağlı olan metal "geçiş akımı" elektrod çapıyla ve bir dereceye kadar da serbest elektrod uzunluğu ile ters orantılı olarak değişir. Elektrodun erime sıcaklığı ve koruyucu gazın bileşimi de geçiş akımını etkiler [31].

2.1.3 MIG - MAG Kaynak Donanımı

Daha önce de ifade edildiği gibi kaynak yöntemi yarı otomatik veya otomatik olarak kullanılabilir[32]. Her iki halde de yöntemin temel elemanları aşağıdaki gibidir:

- Kaynak torcu (hava veya su soğutmalı)
- Elektrod (tel) besleme ünitesi
- Kaynak kontrolü
- Kaynak güç ünitesi
- Kontrollü koruyucu gaz iletimi
- Bir elektrod menbaı
- Bağlantı kabloları ve hortumları
- Su sirkülasyon sistemi (su soğutmalı torçlarda)

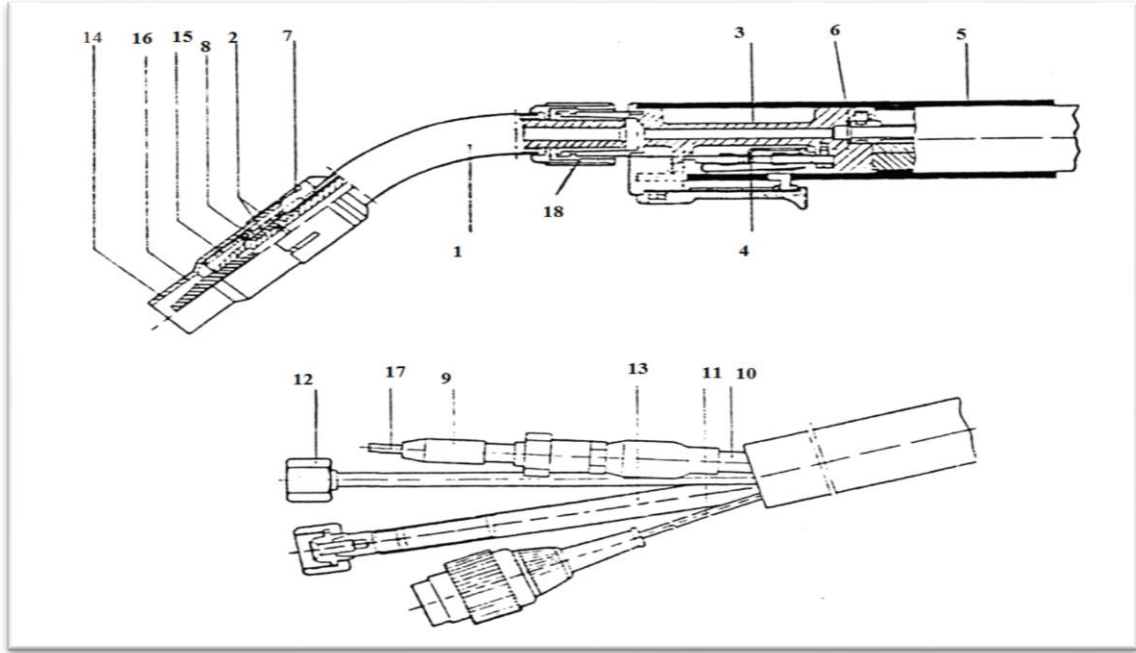
2.1.3.1 Kaynak Torcu

Kaynak torcu elektrodu ve koruyucu gazı kaynak bölgesine sevk etmek ve elektrik gücünü elektroda iletmek için kullanılır. Yüksek üretim işlerinde yüksek akımla çalışan ağır iş torçlarından başlayıp , zor pozisyon kaynağında kullanılan düşük akımla çalışan hafif iş torçlarına kadar değişen geniş bir aralıkta çeşitli torçlar üretilmektedir. Ark sıcaklığından etkilenen torcun sürekli bir şekilde soğutulması gerekir. Düşük akım

şiddetlerinde koruyucu gaz akımı bu soğutmayı yeterli bir şekilde gerçekleştirir. Kalın çaplı elektrodların, diğer bir deyişle 250 A' den daha yüksek akım şiddetlerinin kullanılması halinde gaz soğutması yeterli düzeyde olmaz. Bu nedenle 250 A' in üstündeki kaynak işlemlerinde su soğutması kesinlikle gereklidir. Şekil 2.3.'de Kaynak torç paketi ve Kablo paketi görülmektedir[32].

Kaynak torcunun temel elemanları şunlardır:

- Temas tüpü
- Gaz memesi
- Elektrod kılavuz hortumu ve gömleği
- Gaz hortumu
- Su hortumu
- Elektrik kablosu
- Tetik



Şekil 2.3. Kaynak Torç Paketi ve Kablo Paketi, 1 TorçBoynu 2 Kontak Lülesi Tutucusu 3 Torç Gövdesi 4 TorçŞalteri 5 Kabza 6 Conta 7 Bağlama Ringi 8 İzolasyon Yüksüğü 9 Kılavuz Lülesi 10 Kılavuz Hortumu 11 Şalter Kablosu 12 Gaz Hortumu 13 Akım Kablosu 14 Gaz Lülesi 15 İzolasyon Ringleri 16 Kontak Lülesi 17 Elektrot Kılavuzu (spiral) 18 Torç Bağlantı Rakoru[32]

MIG/MAG kaynağında kullanılan torçlar, oluşturulan kaynağın kalitesine büyük etki yapar. Bu nedenle uygun torcun seçimi büyük öneme sahiptir.

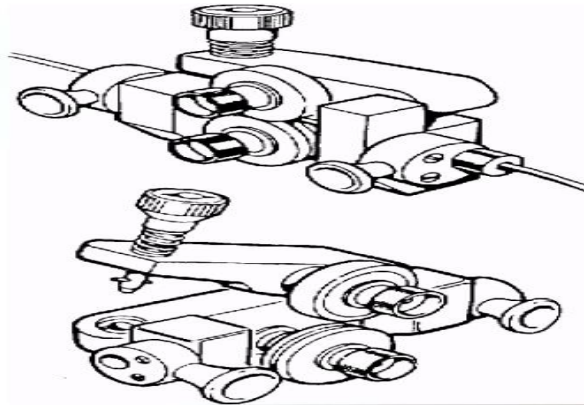
Başarılı bir kaynak işlemi için uygun bir torcun seçiminde aşağıdaki kriterler gözönüne alınır:

- Kullanılan akım üreticinin maksimum gücü
- Kullanılacak maksimum ve minimum tel çapı

- Kaynak yapılacak maksimum malzeme kalınlığı
- İş yükü
- Ergonomik prensipler

2.1.3.2 Elektrod Besleme Ünitesi

Elektrod besleme ünitesi (tel besleyicisi) bir elektrik motoru, elektrod makaraları ve elektrod doğrultusunu ve basıncı ayarlayan aksesuarlardan meydana gelmiştir. Elektrod besleme motoru genellikle doğru akımla çalışır. Elektrodu, torç yoluyla iş parçasına doğru iter. Motor hızını geniş bir aralıkta değiştiren bir kontrol devresinin mevcut olması gerekir. Sabit hızlı Elektrod besleyicileri normal olarak sabit gerilimli güç üniteleri ile birlikte kullanılırlar. Bunlar, gerekli devreler eklendiği takdirde sabit akımlı güç ünitelerinde de kullanılabilir. Sabit akımlı güç ünitesi kullanıldığında, bir otomatik gerilim algılama kontrolü gereklidir. Bu kontrol ark gerilimindeki değişimleri algılar ve ark boyunu sabit tutmak için elektrod besleme hızını değiştirir. Değişken hızlı elektrod besleme tertibatı ve sabit akımlı güç ünitesinden meydana gelen bu sistem, besleme hızlarının düşük olduğu büyük çaplı elektrodalarda (1.6 mm' den büyük) kullanılabilir. Yüksek besleme hızlarında, motor hızının ayarı arkın kararlılığını sağlamaya yetecek kadar hızlı bir şekilde yapılamaz. Besleme motoru elektrod besleme makaralarını tahrik eder. Bu makaralar, elektrod menbaından elektrodu çekme ve kaynak torcu içinde itme yoluyla elektroda kuvvet iletir. Besleme makaralarının basınçlarının ayarı elektrod özelliklerine bağlı olarak (örneğin: dolu veya özlü, sert veya yumuşak) değişik kuvvetlerin uygulanabilmesine imkan verir. Giriş ve çıkış kılavuzları, elektrodun besleme makaralarına uygun bir doğrultuda girmesini, çıkmasını ve elektrodun bükülmesini engeller. Dolu elektrodalarda genellikle biri kanallı (tahrik makarası) ,diğeri düz yüzeyli (destek makarası) makara çiftleri kullanılır. Alaşimsız çelik ve paslanmaz çelik gibi sert elektrodalarda V-kanalı kullanılır. Özlü elektrodalarda ise, hem tahrik makarası ve hem de destek makarası tırnaklı tiptendir. Tel besleme üniteleri iki makaralı veya dört makaralı düzenler kullanılabilir. Tipik bir iki makaralı elektrod besleme ünitesi şekil 2.4 'de gösterilmiştir. Tırnaklı makaralar elektroda düşük bir makara basıncında yüksek bir besleme kuvvetinin iletilmesini sağlar. Bu tip makaralar alüminyum gibi yumuşak elektrodlar için tavsiye edilmez. Bunun nedeni, makaraların elektrodan pul pul parçalar koparıp, bu pulların sonuçta torcun veya gömleğin tıkanmasına neden olmasıdır.



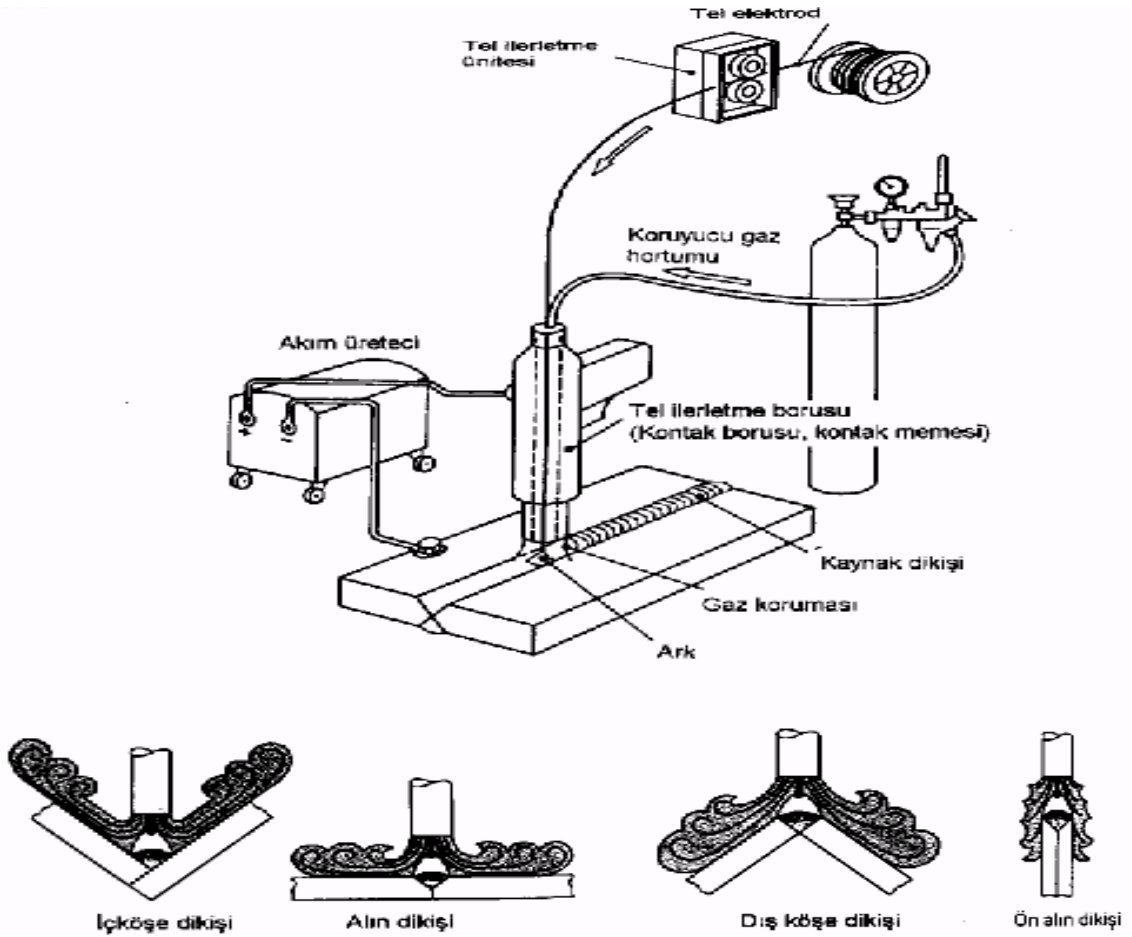
Şekil 2.4 Tipik Bir İki Makaralı Tel Besleme Ünitesi[32]

2.1.3.1 MIG/MAG Kaynağında Kullanılan Kaynak Akım Üreteçleri

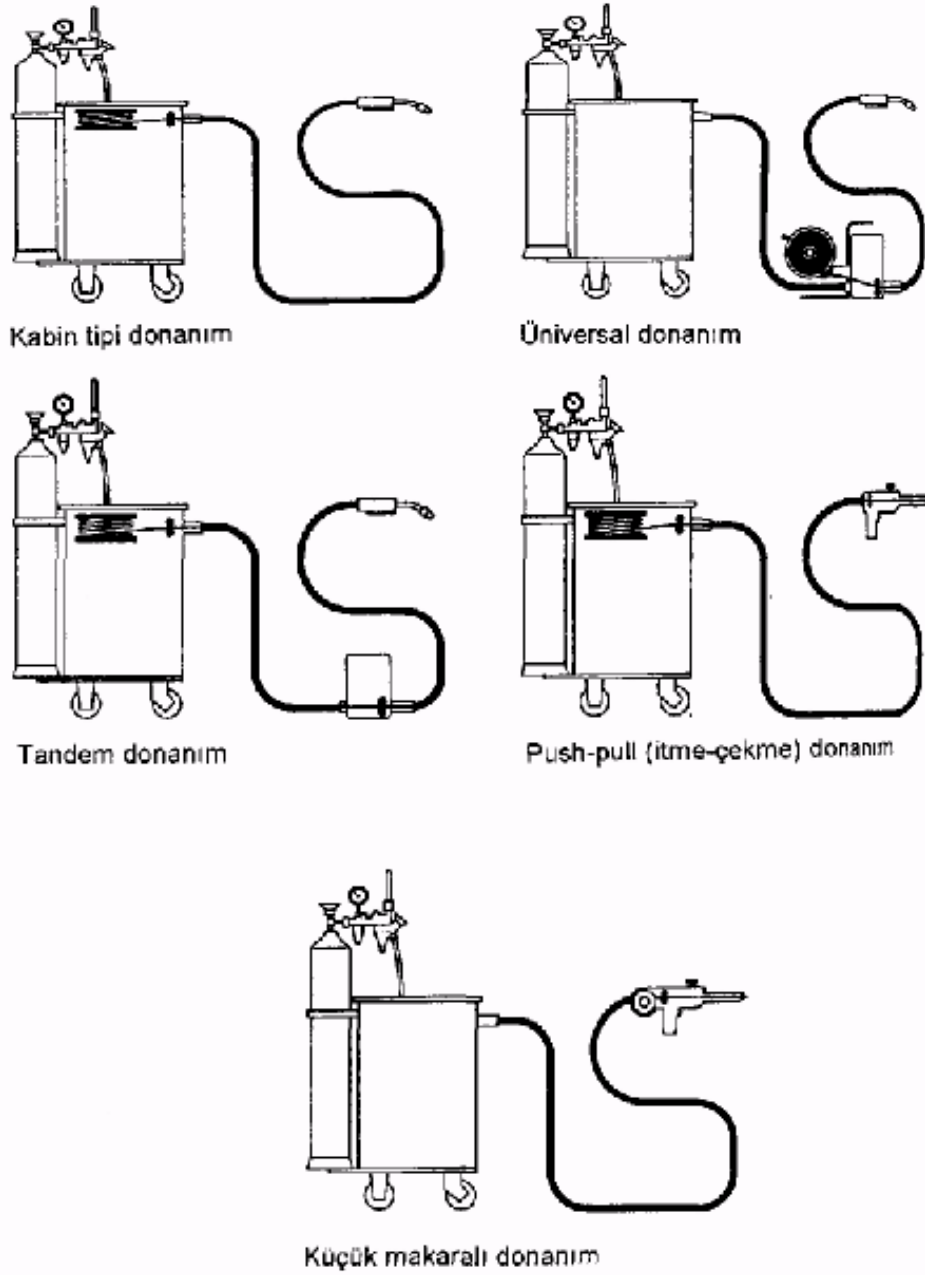
MIG/MAG kaynağında esas olarak, elektrodun pozitif kutba bağlandığı doğru akımla kaynak yapılır. MIG/MAG kaynağında kullanılan kaynak makineleri olarak önceleri kaynak jeneratörleri kullanılmalarına rağmen günümüzde esas olarak hafifçe düşen yatay karakteristiğe sahip kaynak redresörleri kullanılmaktadır[30].

2.1.3.2 MIG/MAG Kaynak Donanım Türleri

MIG/MAG kaynak donanımları başlıca 5 tipten oluşur. Bunlar kabin tipi, universal tip, tandem tip, push-pull (itme-çekme) tipi ve küçük makaralı tiptir. Şekil 2.5’de, yöntemin prensip şemasını vermektedir. Şekil 2.6’da bu beş tip gazaltı kaynak donanımı gösterilmiştir[30].



Şekil 2.5 MIG/MAG kaynağının prensip şeması[30]



Şekil 2.6 MIG/MAG kaynak konanımları[30]

Kabin tipi donanım: Kompakt donanım olarak da bilinir. Bu donanımda tel ilerletme ünitesi akım üretici ile aynı muhafaza içindedir. Kaynakçının kaynak yapabildiği ortamın çapı, hortum paketinin uzunluğu ile sınırlıdır ve bu tür cihazlarda bu çap 3 metredir. Kalın tellerde bu ölçü 4 m'ye çıkabilir.

Ünliversal donanım: Tel ilerletme ünitesini genel olarak akım üreticinin üzerinde taşır. Ancak 5, 10 veya 20 metrelik bir ara kablo kullanımı halinde makinadan ayrı olarak da kullanılabilir.

Tandem donanım: Kullanılması halinde tel makarası akım üretici ile birlikte olup ilerletme ünitesi torça yakın yerleştirilir. Bu sayede kaynakçının işin gereklerine göre tel hızını daha pratik şekilde ayarlayabilmesine olanak sağlanmış olur.

Push-pull (itme - çekme) donanım: Akım üreticinde bulunan bir tel ilerletme motoruna ek olarak torç içinde ikinci bir tel ilerletme motoruna daha sahiptir. Birinci ünite telin itilmesini ve ikinci ünite de telin çekilmesini sağlar. Bu tip donanım, telin daha uzun mesafelere düzgün hızda beslenebilmesine olanak verir. Bu cihaz kaynak sırasında ince tellerin (0,6 mm) veya alüminyum gibi çok hafif tellerin kullanılmasını sağlar.

Küçük makaralı donanım: Özellikle torç içine örneğin çelikler için 0,5 kg'lık tel makarasının takılabildiği küçük bir tel besleme ünitesi ile çalışır. Bu nedenle bu cihaz, ince saçların ve alüminyumun ince tel elektrodlarla kaynağına özellikle uygundur.

2.1.3.3 Kontrol Ünitesi

Kaynakta gerekli fonksiyonlar, hortum paketi içindeki kontrol kablosu üzerinden, torçtaki anahtar aracılığıyla kontrol ünitesinde devreye sokulur.

Bir kaynak akım üreticinin kontrol ünitesi üzerindeki başlıca kontrol elemanları şunlardır:

- Tel açma
- Koruyucu gaz ayarı
- Nokta süresi
- Geri yanma süresi
- Uç krater doldurma (akım/tel/ süre)
- İki zamanlı
- Dört zamanlı
- Tel ilerletme
- Tutuşmanın oluşumu

Genel olarak iki ve dört zamanlı kontrol sistemleri mevcuttur. Bunlar:

İki zamanlı kontrol: Torçtaki anahtardan, aynı anda akım, tel ilerlemesi ve koruyucu gaz devreye sokulur; anahtarın bırakılmasıyla bu fonksiyonların tümü aynı anda kesilir. Bu kontrol tipi, esas olarak puntalama işleminde ve kısa dikişler için kullanılır.

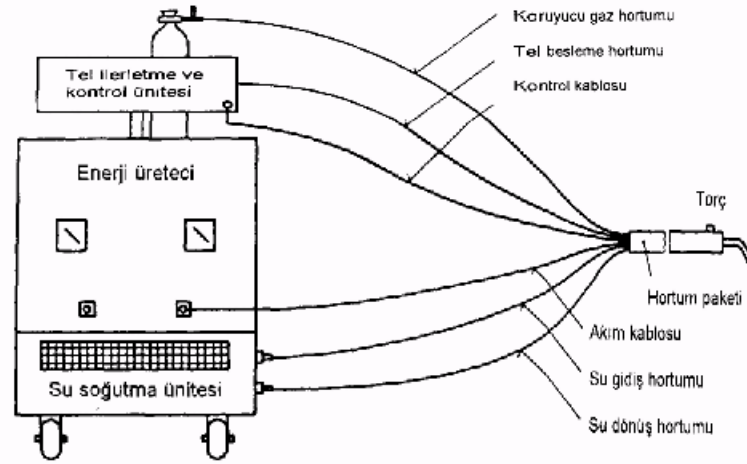
Dört zamanlı kontrol: Torçtaki anahtara basıldığında önce sadece magnet ventilin açması yoluyla koruyucu gaz akmaya başlar; anahtarın bırakılmasıyla akım ve tel ilerlemesi başlar; kaynak işleminin sonunda anahtara tekrar basıldığında akım ve tel ilerlemesi kesilir; bu arada anahtar bırakılana kadar koruyucu gaz akışı bir miktar daha sürer. Dört zamanlı kontrol, her şeyden önce dikiş başlangıcında ve uç kraterinde gözenek oluşumundan kaçınmayı sağlayan, koruyucu gazın ön ve art akışını sağlama üstünlüğüne sahiptir. Bu kontrol sistemi, koruyucu gazın ayarlanabilen ön ve art akışıyla da kullanılır.

Yeni cihazlarda ilave olarak arkın geri yanma süresi (telin ilerleyişinin durması ile akımın kesilmesi arasında geçen süre) de ayarlanabilir. Böylece arkın beklenmedik ani sönmelerinde telin banyoya yapışması önlenmiş olur. Bu durum, telin ilerlemesinin, akım kesilmesinden biraz önce durması ile sağlanır. Eğer geri yanma süresi uzun ayarlanmışsa, telin ilerlemesi erken kesileceğinden, telin kontak borusu içine kadar yanması ve dolayısıyla kontak borusunun zarar görmesi mümkündür [30].

2.1.3.4 Hortum Paketi

Hortum paketi, tel ilerletme ünitesi ile torç arasındaki bağlantı elemanlarını içerir. Şekil 2.7' de gösterildiği gibi, hortum paketi aracılığıyla aşağıdaki dağıtım kabloları iletilir:

- Akım kablosu
- Koruyucu gaz hortumu
- Tel ilerletme hortumu
- Su gidiş-dönüş hortumu (büyük torçlarda)
- Kontrol kablosu



Şekil 2.7 Hortum paketini oluşturan iletim kabloları[30]

Su ile soğutulan cihazlarda akım kablosu, su dönüş hattının ortasında bulunur. Böylece sadece soğutulmakla kalmaz; aynı zamanda esnek de tutulmuş olur. Su, günümüzde işletmelerin pahalı bir malzeme girdisi haline geldiğinden, torcun soğutulmasında kapalı bir su devresi akışına sahip soğutma suyu sirkülasyon cihazları kullanılmalıdır. Tel ilerletme hortumu, çelik teller halinde, normal şartlarda dış çapı yaklaşık 4,5 mm olan bir çelik spiral içerir. İç çapın, iletilen telin çapından bir miktar daha büyük olması gerekir.

Daha büyük iç çaplı hortumlarda telin yaylanarak yığılması ve bu şekilde kesintili ilerlemesi meydana gelebilir. Uygun sürtünme katsayısı nedeniyle alüminyum tel elektrodlar, teflon kaplı ilerletme hortumları içinden beslenir. Bu hortumlar CrNi-çelik

tellerle kaynakta da kullanılabilir. Metal tozları (bakır ve çelik) ve ayrıca çekme maddelerinin kalıntıları nedeniyle hortumlar zamanla tıkanır ve tel besleme işlemi gittikçe zorlaşır; bu nedenle hortumların zaman zaman temizlenmeleri gerekir [30].

2.1.4 MIG–MAG Kaynak Yönteminde Kullanılan Koruyucu Gazlar

Metalin çoğu oksit oluşturmak üzere oksijenle birleşmeye kuvvetli bir eğilim ve metal nitritleri oluşturulmak üzere azotla birleşmeye daha düşük ölçüde eğilim gösterirler. Oksijen erimiş çelikteki karbonla, karbonmonoksit gazı oluşturmak üzere reaksiyona girer. Bu reaksiyonlar sonucunda:

- Oksitler nedeniyle erime hataları artar,
- Gözenek , oksit ve nitrürler nedeniyle mukavemet kaybı olur,
- Oksitler ve nitrürler nedeniyle kaynak metali gevrekleşir.

Koruyucu gazın temel görevi çevredeki atmosferin erimiş kaynak banyosu ile temasını engellemektir. Yani koruyucu gaz burada örtülü elektrodlardaki örtünün görevini görür. Koruyucu gazın bu temel görevi dışında aşağıda belirtildiği şekilde kaynak işlemi ve oluşan kaynak dikişine önemli etkileri de vardır;

- Arkın karakteristiği,
- Metal transferinin şekli,
- Nüfuziyet ve kaynak dikişinin profili,
- Kaynak hızı,
- Yanma oluşu oluşma eğilimi,
- Temizleme etkisi.

Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan koruyucu gazlar, ergimiş kaynak banyosu içindeki alışım elementlerinin atmosferdeki oksijen ile reaksiyona girmesini ve azot ile hidrojen gibi diğer zararlı gazların kaynak metaline absorbe olmasını önlemektedirler. Sıvı haldeki kaynak bölgesinde ergimiş haldeki tüm metaller havadaki oksijen ile azotu absorbe ederler. Ergimiş metalde çözünen bu gazlar katılaştan metalde alışım elementleri ile bileşik yaparak kaynak metalinin kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkiler, gözenek oluşumu ile gevrekleşmeye neden olurlar. Genel olarak demir dışı metallerin kaynağında soy gazlar, demir esaslı metallerin kaynağında ise aktif gazlar ile aktif soy gaz karışımları kullanılır[32].

Herhangi bir kaynak işlemi için gaz seçiminde dikkat edilecek hususları şu şekilde özetleyebiliriz:

- Kaynatılan metal veya alaşımların türü,
- Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi,
- Kaynak hızı,
- Parça kalınlıkları, kaynak dikişinin biçimi , istenen nüfuziyet,
- Kaynak dikişi ile kaynaklı parçadan beklenen mekanik özellikler,
- Piyasada bulunabilirlik,
- Gaz maliyeti.

2.1.4.1 Soy Gazlar

Bilindiği gibi soy gazlar diğer elementlerin atomları ile elektron alışverişinde bulunmazlar, herhangi bir koşulda reaksiyona girmezler. Bundan dolayı gazaltı kaynak yöntemlerinin ilk geliştirildiği yıllarda koruyucu gaz olarak helyum ve argon gibi soy gazlar kullanılmıştır. Ancak günümüzde soy gazların yerine aktif gazlar ve aktif soy gaz karışımları yaygın olarak kullanılmakta ve olumlu sonuçlar alınmaktadır. Monoatomik bir gaz olan ve genellikle havanın sıkıştırılarak oksijen ile azotun ayrıştırıldığı tesislerde yan ürün olarak elde edilen argon, sıvı metaller içinde çözünmez ve yoğunluğu havadan yüksek olduğundan özellikle yatay kaynak pozisyonlarında etkin bir örtü oluşturarak kaynak banyosunu çok iyi bir şekilde korur. Argon ve argon içeren gazlar düşük iyonizasyon potansiyeline sahip olup arkın tutuşması çok kolaydır ve alternatif akımla alüminyum ile magnezyum kaynağında çok üstün oksit temizleme etkisi gösterir.

Argon gazında oluşan arkın gerilim düşümünün az ayrıca ısı iletim kabiliyetinin az olması sebebiyle dikişin merkezinde nüfuziyet derin, kenarlarda ise daha azdır. Özellikle alüminyum ve bakır gibi demir dışı metallerin kaynağında geniş kullanım alanına sahip olan argon gazı çeliklerin kaynağında ancak başka gazlar ile karıştırıldığında iyi sonuç vermektedir. Atmosferde çok az bulunan ve ancak doğal gazdan ayrıştırılarak elde edilebilen helyum gazı en hafif monoatomik gazlardan birisi olup, argona göre 10 kez daha hafiftir. Bundan dolayı kaynak sırasında etkin bir konuma sağlanması için gerekli gaz sarfiyatı artmaktadır. Ancak helyum gazının ısı iletiminin yüksek ve oluşan arkın daha yüksek enerjili olması sebebiyle daha geniş ve derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilmekte, özellikle yüksek hızda çalışan mekanizma kaynak uygulamalarında tercih edilmektedir. Uygulamada ise hem ekonomik hem de teknolojik nedenlerden dolayı istenilen kaynak bağlantısı özelliklerine göre değişen oranlarda argon–helyum gazı karışımları yaygın olarak kullanılmaktadır [32].

2.1.4.2 Karbondioksit

Karbonun yanması sonucu oluşan ve endüstriyel çapta, yanıcı gazların, akaryakıt ile kokun yanma ürünü olarak, kireç taşının kalsinasyonu, amonyak üretimi, alkolün fermantasyonunda yan ürün olarak elde edilen karbondioksit bazı yerlerde ise kuyulardan doğrudan sağlanır. Birçok aktif gazın kaynak işleminde koruyucu gaz olarak kullanılmamasına karşın argon ve helyum gibi soy olmayan, renksiz, kokusuz, özgül ağırlığı 1.977 kg/m^3 (havanın 1.5 katı) olan karbondioksit gazı sunduğu çok sayıdaki üstünlük sayesinde az alaşımlı ve yalın karbonlu çeliklerin gazaltı kaynağında çok geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Genel olarak basınçlı tüplerden çekilerek kullanılan CO₂ gazının tüp içerisinde büyük bölümü sıvı halde olup sıvının 1/3'lük kısmında buharlaşmış CO₂ gaz fazında bulunur. Tüpten gaz çekildikçe basınç düşer ve bir miktar daha sıvı CO₂ buharlaşarak basıncı normale döndürür. Ancak buharlaşma esnasında buharlaşma ısısına gerek duyulur ve bu da atmosferden sağlanır. Bundan dolayı yüksek miktarda CO₂ gazı çekilmemelidir, aksi durumda sıcaklık ani olarak düşerek sıvı karbondioksit zerreciklerinin karbondioksit karına dönüşmesi ve çıkış borusu ile basınç düşürme tertibatını tıkanması kaçınılmazdır. Yüksek debilerde gaz çekilmesi gereken durumlarda birden fazla tüp bir manifold ile bağlanarak kullanılması, soğuk ortamlarda ise çıkış ağzlarının tıkanmaması için elektrikli ısıtıcı kullanılmasında fayda vardır. Tüp içerisindeki CO₂ 'nin büyük

bölümünün sıvı olması sebebiyle tüpler hiç bir zaman eğik veya yatay konumda kullanılmamalı, sürekli dik pozisyonda tutulmalıdır. Karbondioksit, argon gibi monoatomik ve bir soy gaz olmadığı için arkın yüksek sıcaklıklarında karbonmonoksit ile oksijene ayrışır, iyonize olan gazlar kaynak banyosuna gelerek bir miktar tekrar karbondioksit haline geçer ve böylece almış olduğu ısıyı tekrar verir ki bu da dikişte nüfuziyetin artmasına neden olur. Serbest kalan oksijenin bir miktarı demirle birleşerek oluşan demiroksit mangan, silisyum gibi elementlerle redüklenir. Kaynak banyosundaki mangan ve silisyum kaybı ise telin birleşimi tarafından karşılanır.

Karbondioksit gazının kullanıldığı MAG kaynak yönetiminde bir miktar alaşım elementi oksidasyona uğradığından dikiş üzerinde ince bir cüruf tabakası oluşur ve bu tabaka kaynak sonrasında kolayca alınır. Aynı zamanda yüksek akım yoğunluğunda çalışması sebebiyle iri taneli, sıçrantılı bir damla geçişi derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir.

2.1.4.3 Karışım Gazlar

Gazaltı kaynak yöntemlerinde koruyucu gazın seçiminde birleştirilecek metallerin özelliklerinin yanı sıra koruyucu gazın ekonomikliği ile kaynak sırasındaki özellikleri göz önüne alınmaktadır. Her gazın ayrışma enerjiler, iyonizasyon potansiyelleri, yoğunlukları, ısı ile elektrik iletkenliği, maliyetleri ve bunun sonucu olarak ta arkın oluşumu, ark atmosferinin karakteri, kaynak sırasındaki davranışı, ark içinde malzeme taşınımı ve kaynak dikişinin formu farklılıklar göstermektedir. Sadece bir gazın kullanımında gazların her biri birtakım üstünlükler ve aynı zamanda sınırlamalar gösterdiklerinden günümüzde gazların üstün özelliklerini optimize ederek sınırlamaları en aza indirecek karışım gazlar kullanılmakta, karışım oranları birleştirilecek metaller ile kaynaktan istenen özelliklere göre ayarlanmaktadır. Argon ve helium gibi soy gazların oluşturdukları ark atmosferi nötr bir karakter göstermesine karşın, argon gazına oksijen ve karbondioksit gibi aktif bir gazın karıştırılması ile oksitleyici, hidrojen gazının karıştırılması ile redükleyici bir gaz atmosferi oluşturulabilir[32].

2.1.4.4 Argon-Karbondioksit Karışımları

Yalın karbonlu çeliklerin CO₂ gazı altında kaynağı ekonomik olarak çok uygun olmasına karşın , düzgün olmayan kaynak dikiş yüzeyleri , bazı durumlarda olumsuz etki yaratan derin nüfuziyet ve arkta metal taşınım türünün etkisiyle ortaya çıkan aşırı sıçrantı sonucu kaynak kalitesi düşmekte, kaynak metali verimi ve sıçrantıların temizlenmesi işlemi nedeniyle ek maliyetler getirmektedir. Karbondioksit gazına %30'u aşan oranlarda Ar katılması sıçrama kaybını azaltmakta, argona %20'yi aşan miktarda CO₂ ilavesi ile metal taşınımının kısa devreli veya iri damlalı olarak gerçekleşmesine neden olmaktadır. CO₂ miktarının artması sıçramayı şiddetlendiren ve daha yuvarlak nüfuziyet profil oluşmasını sağlayan arktaki yanal kuvvetlerin şiddetlenmesine neden olur.

CO₂ oranı %20'nin altına inmeye başladığında belirli bir akım şiddeti ve ark gerilimi aralığında spreysel metal taşınımı gerçekleşir. Ar/CO₂ oranını değiştirerek arkta metal taşınım türünü ve kaynak nüfuziyet profilini kontrol altında tutma olanağı vardır. Argona oksijen ve karbondioksit gazlarının karıştırılması ile oluşan ekzoterm oksitlenme reaksiyonu

sonucunda kaynak banyosunun sıcaklığı yükselir, yüzey gerilimi zayıflar, böylece kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş ve gazı giderilmiş olur. Oksijenin oksitleyici etkisi, oksijene karşı afinitesi olan mangan, silisyum, alüminyum, titanyum, zirkonyum gibi alaşım elementlerinin kaynak telindeki miktarının artırılması ile dengelenir. Argona %1-5 civarında oksijen ilavesi arkın stabilizasyonunu iyileştirmekte, sıçrantıyı en aza indirmekte ve bunun yanında sprey metal taşınımı karakteristiğini korumaktadır. Oksijen katkısı daha derin nüfuziyetin ve daha düzgün bir dikiş profilinin oluşmasına olanak verdiği gibi saf argon kullanımı durumunda çeliklerin kaynağında karşılaşılan yanma oluklarının oluşumunu ortadan kaldırmaktadır. Çeliklerin deokside edilmiş kaynağında %5 O₂ içeren Ar kullanımı ile çok iyi sonuç alınmaktadır[32].

2.1.4.5 Helyum - Argon - Karbondioksit veya Oksijen Karışımları

Helyum - Argon – Karbondioksit karışımı gazlar kısa ark boyu ile kaynakta, kaynak banyosunun ısıtma özelliğini geliştirmek için kullanılmaktadır. %90 He, %7.5 Ar ve %2.5 CO₂ karışımı koruyucu gaz paslanmaz çeliklerin kaynağında kısa ark boyu ile çalışma ve daha az aktif bir atmosfer oluşturarak paslanmazlık özelliğini korumak için kullanılmaktadır. Bu karışım az alaşımlı çeliklerin kaynağında da kaynak metalinin tokluğunu geliştirmek için uygun sonuç vermektedir.

%69 Ar, %30 He ve %1 O₂ den oluşan koruyucu gaz karışımı paslanmaz çeliklerin kaynağında özellikle kaynak banyosunun viskozitesi, esas metali ısıtma özelliği, arkın kararlılığı ve sıçrantının azalması bakımından çok iyi sonuçlar vermekte olup karbon kapma tehlikesi ile hidrojen gevrekliği olayı ortadan kalkmaktadır. Karışım gazlar kullanılırken dikkat edilecek husus tüpün içinde farklı yoğunlukta ve bazı durumlarda ise bir bileşenin sıvı halde bulunması sebebiyle uzun süre kullanılmadıkları durumlarda kullanıma başlamadan önce tüpün yuvarlanarak çalkalanması ve gaz karışımının homojen hale getirilmesinin gerekliliğidir. Çeşitli bileşimde karışım gaz tüketiminin çok fazla olduğu işyerlerinde tüp içinde hazır karışım gazlar yerine gaz mikserleri kullanılarak karışım gazın istenen bileşimde kaynaktan önce hazırlanması daha ekonomik ve etkin sonuçlar vermektedir. Tablo 2.1 'de MIG-MAG kaynağında sık kullanılan gazlar verilmiştir [32].

Tablo 2.1. Çağımız endüstrisinde MIG-MAG kaynak yönteminde sık kullanılan koruyucu gaz ve gaz karışımları

Koruyucu Gaz	Kimyasal Davranışı	Uygulama Alanı
Argon	Soy	Çelik hariç tüm endüstriyel metal ve alaşımlarının kaynağında
Helyum	Soy	Daha yüksek sıcaklık ve gözenek miktarını azaltmak için Al ve Cu alaşımlarının kaynağında
Argon+Helyum % 20-80 / 50-50	Soy	Yüksek sıcaklık ve gözenek miktarını azaltarak daha sakın ve kontrollü bir ark ile çalışmak için Al ve Cu alaşımlarının kaynağında
Argon+Klor Cl eser miktarda	Soy	Gözenek miktarını azaltmak için Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında
Azot	Redükleyici	Çok güçlü bir ark için bakırın kaynağında
Ar+%25-30 N	Redükleyici	Güçlü fakat daha yumuşak ve kontrollü bir ark için bakırın kaynağında
Ar+%1-2 O ₂	Oksitleyici	Bazı dezoksida bakır alaşımlarının kaynağında
Ar+ 3-5 O ₂	Oksitleyici	Yüksek oranda dezoksida edilmiş tel Elektrod ile paslanmaz ve karbonlu çeliklerin kaynağında
Ar+%5-10 O ₂	Oksitleyici	Yüksek oranda dezoksida edilmiş tel Elektrod ile çeşitli çeliklerin kaynağında
Ar+% 20-30 O ₂	Oksitleyici	Kısa ark ile çeşitli çeliklerin kaynağında
Ar+%5 O ₂ +%15 CO ₂	Oksitleyici	Özellikle Avrupa 'da,dezoksida edilmiş tel elektrod ile çeşitli çeliklerin kaynağında
CO ₂	Oksitleyici	Dezoksida edilmiş tel elektrod ile yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında
CO ₂ +%3-5 O ₂	Oksitleyici	Özellikle Avrupa 'da,dezoksida edilmiş tel elektrod ile çeşitli çeliklerin kaynağında
CO ₂ +%20 O ₂	Oksitleyici	Özellikle Japonya 'da,dezoksida edilmiş tel elektrod ile çeşitli çeliklerin kaynağında

2.1.5. MIG-MAG Kaynak Yönetiminde Kullanılan Tel Elektrodlar

MIG-MAG kaynak yönetiminde kullanılan bütün elektrodlar tel halinde olup bir kangala sarılmış olarak makinaya takılır. Dolu tel elektrodlar istenen çapa soğuk çekilmiş olarak üretilmekte olup paslanmaz çelik elektrodlar dışındakiler temas memesinden geçerken temas kolaylığı sağlamak ve korozyondan korunmak için ince bir bakır tabakası ile kaplanılır. Son yıllarda ise kaynak metalinin özelliklerini geliştirebilmek amacıyla özlü veya kenetli elektrod olarak adlandırılan yeni elektrod tipleri geliştirilmiştir. Özlü tel elektrodlar yumuşak çelikten ince bir şeritin ferroalaşım ve dekapanlar ile beraberce kıvrılıp tel haline getirilmesi ile üretilmiştir. Bu yöntemle dolu tel olarak üretilmesi güç veya olanaksız bileşimdeki alaşımlar dahi kolaylıkla elektrod haline getirilmekte ve daha geniş yelpazede elektrod üretimi sağlanabilmektedir. Özellikle sert dolgu veya korozyona dayanıklı tabaka ile kaplama işlemlerinde rakipsiz olan özlü elektrodlar sıfır altı sıcaklıklarda dahi bazik örtülü tel elektrodlar ile sürekli tel elektrodların üstün özelliklerini bir arada sunabilmektedirler.

Hem özlü hem de dolu elektrodların makaralara sarılmasında en yaygın olarak kullanılan iki sarım türü; sıra veya paralel sarım ve karışık sarımdır. Sıra sarımda kaplama tabakası hakkında kolaylıkla fikir yürütülebilir ve makaraya daha fazla tel sarılabilir. Ancak sarım esnasında tel gergin olduğundan en küçük bir dikkatsizlik kangalın karışmasına ve kullanılmaz hale gelmesine neden olabilir. Karışık sarımda tellerin birbirine dolaşması tehlikesi yoktur, sarma işlemi daha ekonomik olup kolayca sağılır. Ancak telin

kaplaması hakkında fikir sahibi olabilmek için telin bir miktar sağılması gerekir. Son yıllarda geliştirilen ve özellikle mekanize kaynak uygulamalarında kullanılan diğer bir yöntem marathon sarım olup tel elektrod bir karton varil içersine özel bir makina ile sarılmakta ve özel bir tertiple hiç karışmadan burgusuz olarak kaynak makinasına beslenmektedir.

Gazaltı kaynak yöntemlerinde en önemli konulardan birisi elektrod seçimidir. Uygulanacak kaynak parametreleri ile metal türleri ve yönetimin türüne göre farklı elektrodlar kullanmak gerekir. Elektrod seçiminde dikkat edilecek kriterleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Esas metalin mekanik özellikleri
- Esas metalin kimyasal bileşimi
- Koruyucu gazın türü
- Esas metalin kalınlığı ve geometrisi
- Çalışma ortamının koşulları

Bahsedilen kriterler dikkate alınarak yapılan elektrod seçimi sonrasında olumlu sonuç alabilmek için elektrodun yüzey düzgünlüğü, temizliği ile beslenebilirliğinin yeterli olması gerekir. Aksi takdirde kaynak işlemi esnasında kaynak dikişinde süreksizlik, gözenek, kötü görünümlü kaynak dikişlerinin ortaya çıkmasına neden olur. Özellikle bakır kaplama işleminin yetersiz yapılması tel yüzeyinde homojensizlik ve kaplama tabakasında pullanmaya sebep olur ki kaynak sırasında tel yüzeyinden kopan bakır pulları tel kılavuz içinde birikerek tel ve meme arasında ark oluşturup telin kaynaması yanında memenin tahrip olmasına yol açar. Özellikle rutubetli yerlerde depolanan tel elektrodlarda bakır tabaka hızla etkisini yitirir ve kabarma ile pullanma başlar. MIG-MAG kaynak yönetiminde beslenebilirlik cast ve helix olarak adlandırılan iki önemli özellikten etkilenir.

Her iki özelliği de belirlemek için makaradan 5 metre tel sağılarak yavaşça yere bırakılır. Çember halini alan telin çapı elektrodun cast'ı olarak adlandırılmakta olup en az 380 mm olması önerilir, ancak en iyi ve tutuksuz besleme bu değer 1500 mm civarında olduğunda alınmaktadır. Telin iki ucu arasındaki yükseklik farkı ise helix olarak adlandırılır ve 25 mm civarında olması istenir. Bu değer 1500 mm civarında olması ise elektrodun memeden çıkarken yön değiştirmesine ve arkın gezinmesine yol açar. Çeliklerin kaynağında kullanılan tel elektrodlar aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür[32].

2.1.5.1 Alaşımsız Dolu Tel Elektrodlar

Yumuşak çeliklerin kaynağında kullanılmakta olup bileşimlerinde bir miktar mangan ve silisyum mevcuttur[32].

2.1.5.2 Alaşımlı Dolu Tel Elektrodlar

Özel bileşimlerde olup alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılmakta , bazı alaşımlı çelikleri sarmak mümkün olmadığından her türlü alaşımlı çeliğin kaynağında kullanılmamaktadır[32].

2.1.5.4. Kaynak Teli Alaşım Elementleri

Karbon: Çeliklerin mekanik ve yapısal özelliklerini en çok etkileyen alaşım elementi olup %0.005 ile %0.12 arasında değişen oranlarda bulunur. Karbon miktarının artması ile mukavemetin artması yanında süneklik ve toklukta hissedilir oranda bir etki yapmaz. Koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılması halinde yüksek karbon oranlarında banyoda CO oluşarak karbon kaybı ortaya çıkar ve buda gözenek oluşumuna neden olur ki deoksidasyon elementlerinin katılması ile bu problem önlenir[32].

Silisyum: Deoksidasyon amacıyla %0.4 ile 1.2 arasında değişen oranlarda katılan silisyum içeriğinin artması ile süneklik bir miktar düşer, buna karşın mukavemet değeri oldukça yükselir. Yüksek silisyum oranlarında kaynak dikişinin çatlama hassasiyeti artar[32].

Mangan: Silisyum gibi deoksidasyon ve mukavemet arttırıcı olarak katılan mangan elementi içeriği %1 ile 2 arasında değişir. Mangan değerinin yükselmesi ile mukavemet daha fazla artarken çatlama hassasiyeti düşer[32].

Alüminyum, Titanyum, Zirkonyum ve Diğer Alaşım Elementleri: Bu elementlerin hepsi çok kuvvetli deoksidan olup kaynak teline %0.2' ye kadar katıldıklarında aynı zamanda mukavemet arttırıcı yönde etki eder. Nikel, krom ve molibden gibi diğer alaşım elementleri mekanik özellikleri geliştirmek ve korozyona direnci arttırmak amacı ile katılırlar. Alüminyum alaşımı kaynak tellerinin ana elementleri magnezyum, mangan, çinko, silisyum ve bakırdır. Bu elementlerin eklenmesinin en önemli nedeni alaşımın mekanik özelliğinin ıslahı, korozyon direnci ve kaynak kabiliyetidir[32].

2.1.6 MIG-MAG Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Günümüzde endüstride en çok kullanılan kaynak yöntemleri arasında yer alan MIG-MAG kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemlerine nazaran sahip olduğu stnlkler sayesinde endüstride yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Bu avantajları kısaca şu şekilde açıklayabiliriz:

- Demir esaslı ve demir dışı tüm metal ve alaşımlarına uygulanabilen genel bir kaynak yöntemidir.
- Yüksek akım yoğunluklarında çalışılması ve kaynak telinin otomatik olarak kaynak bölgesine beslenmesi sebebiyle kaynak hızı ve birim zamanda yığılan kaynak metali miktarı ark kaynağı ile TIG kaynak yöntemine nazaran daha yüksektir.
- Kaynak telinin kaynak bölgesine otomatik olarak sürekli beslenmesinin diğer avantajı ise elektrod değişimi için geçen l zamanı ortadan kaldırmakta ve her dikişin başlangıç ile sonucunda karşılaşılan gözenek , cüruf kalıntısı , krater çatlağı gibi kaynak hatalarının oluşumunu önlemektedir.

- Kaynak işlemleri her pozisyonda rahatlıkla yapılmakta ve cüruf tabakası oluşmamakta; böylece bu konuda yöntemin en büyük rakibi olan tozaltı kaynak yöntemine nazaran büyük üstünlük sağlanmaktadır.
- Kullanılan tel elektrod çapının diğer yöntemlere göre daha ince oluşu daha dar bir kök aralığı bırakılmasına ve daha dar bir kaynak ağzı içinde kaynak yapılmasına olanak vererek aynı kalınlıkta bir parçanın kaynatılmasında daha az elektrod tüketimini mümkün kılmaktadır.
- MIG-MAG kaynak donanımının ayarı gayet basit olup kaynakçının özel ve kapsamlı bir eğitim almasına gerek olmayıp , özellikle diğer ark kaynak yöntemlerinden birisi için yetiştirilmiş bir kaynakçı , birkaç saatlik bir eğitimle bu yöntemi kolaylıkla uygulayabilir.
- Yoğun bir cürufun mevcut olmayışı nedeniyle pasolar arası temizlik için sarf edilen zaman çok azdır. Bütün bu üstünlüklerinin yanında MIG-MAG kaynak yönteminin bazı dezavantajları mevcuttur;
- Kaynak donanımının başlangıç ve bakım maliyetleri yüksek olup diğer kaynak yöntemlerine göre daha karmaşık , daha pahalı ve bir yerden başka bir yere taşınması daha zordur.
- Bilindiği gibi MIG-MAG kaynak yönteminde , kaynak bölgesi koruyucu gaz ile korunmakta olup gaz akımı , özellikle şantiye gibi açık alanlarda ortamın rüzgarlı olması durumunda gerekli korumayı yapamamaktadır.
- Koruyucu gaz atmosferinde kaynak işlemi yapılması sebebiyle kaynak parametrelerinin iyi ayarlanamaması durumunda gözenek ve krater oluşumu kaçınılmaz olmaktadır.
- Kaynak torcunun elektrik ark kaynağını pensesinden daha büyük olması nedeniyle ve kaynak metalinin koruyucu gazla etkin bir şekilde korunması amacıyla torcun bağlantıya 10 ila 19 mm arasında değişen yakın bir mesafeden tutulması gerektiği için, bu yöntemin ulaşılması güç olan yerlerde kullanılması pek mümkün değildir.
- Göreceli olarak yüksek şiddette ısı yayılması ve ark yoğunluğu nedeniyle, kaynakçılar bu yöntemi kullanmaktan kaçınmaktadır[32].

2.2 Metalik Kaplamalar

Uygulama alanına göre kaplam 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 malzemelerin tribolojik özelliği yumuşak malzemelere göre daha iyidir. Elektro kaplama sonrası elde edilen yüzeyin sertliği değişkendir ve kurşunun sertliği ile Rhodium un sertliği aralığında değişir. Bununla birlikte sertlik aynı metalin kaplamasında bile değişebilir. Bu durum kaplamanın kimyasal kompozisyonuna ve kaplama şartlarına göre değişir[38].

Ekseriyetle aşınmaya karşı dirençli kaplamalarda, sert krom kaplamalar 10–30 mikrometre kalınlıkta kullanılırlar. Yüksek sürtünme hızına sahip uygulamalarda ve yüksek basınca maruz kalan kaplanmış yüzeylerde elektro kaplı gümüş veya indiyum kaplamalar 500– 1500 mikrometre kalınlıkta uygulanırlar. Ayrıca boşluklu krom kaplamalarda bu tür uygulamalar için uygulanabilirler. Metalik olamayan kaplamalarda çok yüksek sertlik ve mükemmel tribolojik özellikler nitrür, oksit, karbür ve borür kaplamaları ile ve vakumda PVD veya CVD teknikleri ile elde edilebilirler[33].

2.2.1 Kaplamanın Potansiyel Özellikleri

Yüzey katmanlarının potansiyel özellikleri gibi kaplamaların da potansiyel özellikleri şu gruplara ayrılabilir. Geometrik, geometrik-fiziko- kimyasal ve fiziko-kimyasal özellikler diye gruplara ayrılabilir. Esas olarak bu özellikler yüzey katmanlarının özellikleri gibi aynı parametrelerle tarif edilir. Fakat ilave olarak bazı parametrelerden de bahsetmek gerekir.

Geometrik parametreler kaplanacak parçanın kalınlığı, yüzeyin üç boyutlu yapısı ve kaplama kusurları:

Kalınlık: Kaplama kalınlığı en esas parametredir. Bu parametre kaplama katman porozite, mukavemet, korozyon direnci, gibi özellikler üzerinde belirleyici bir rol oynar. Ayrıca, farklı kaplama tipleri için kalınlığın rolü değişkendir. Kaplama kalınlığı arttıkça aşınma direnci olumlu bir özellik sergilerken parçanın sünekliği, darbe direnci azalım gösterir.

Yüzeyin üç boyutlu yapısı: Kaplama yüzeyinin üç boyutlu yapısı kaplama prosesinin bir sonucudur. Kullanılan tekniğe göre değişim sergiler[33].

2.2.2 Metalik Kaplamanın Yapısı

Metalik kaplamalar kaplama malzemesinin kristalizasyonundan elde edilebilirler. Kristalizasyon işlemi çözelti malzemesinden, vakumda, metal buharından üretilebilir. Kristalizasyon metalik banyoda veya kaplama malzemesinin damlacığının yüzeye düşmesiyle teşekkül eder. İşlem kimyasal olarak malzeme birikimi veya kaplama ara yüzeyinde önceden teşekkül ettirilmiş yumuşak partiküllerin püskürtülmesiyle oluşur. Her bir durumda kaplama yapısı farklılık arz eder. Bu farklılık kullanılan metoda ve malzeme birikim parametrelerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Genelde metalik kaplama yapısı kristal yapısında yani metal veya alaşıma benzer biçimde veya amorf biçiminde oluşabilir. Ancak, metalik malzemelerin kristal yapılarının aksine kaplamaların kristal dokuları çok daha ufak taneli ve daha fazla kusur içeren bir görünümündedirler. Aynı zamanda, metalik kaplamalarda dengede olmayan yapılar da oluşabilir[33].

2.2.3 Kalıntı Gerilimi

Kaplama yüzeyi ile kaplanan yüzey arasındaki termal genişleme sabitleri farkı ve kaplama yüzeyindeki hatalar dolayısıyla kaplamalarda kalıntı gerilim oluşur. Kalıntı gerilimin karakterine bağlı olarak kalıntı gerilim pozitif veya negatif rol oynayabilir. Genellikle, basma gerilimleri tercih edilirken çekme gerilimi istenmez. Kalıntı gerilimin düşürülmesi için çok katmalı kaplama tercih edilebilir. Gerilimin işareti kaplanacak yüzeyin ve kaplanan yüzey katmanlarının termal genişleme sabitine ve yapısal kusurların karakterine bağlıdır. Eğer kaplanan katmanlar ara yer atomu olarak çok fazla atoma sahiplerse bu durumda yerleşkelerde atom boşlukları oluşacak ve çekme gerilmesi oluşacaktır. Aksi durumda ise basma gerilimi oluşacaktır.

2.2.4 Ergitme Tekniği İle Yüzey Kaplama Uygulamaları

Yeniden eritme yüzey sertleştirme yönteminin bir gelişimidir. Uygulamada yüzey sertleştirme yöntemlerinde kullanılan güç yoğunluğundan daha fazla güç kullanılır. Bu tür tekniklerde kaplama yüzeyi çok hızlı bir biçimde eritilir veya bu yüzey üzerinde bir malzeme birimi sağlanır. Yeniden ergitme teknikleri dört farklı grupta incelenebilir.

2.2.4.1 Alaşımlama

Alaşımlamada harici olarak yüzeye alaşım elemanları bir güç kaynağı yardımıyla birlikte verilir. Ancak alaşımlama neticesinde yüzeyde yüzey pürüzlülüğü artar. Yüzeyde eğer yeniden ergitme uygulanıyorsa alaşım elemanları ile ana yüzey karışıp yeni bir banyo teşekkül eder. Yeniden katılaşma sonrasında yeni bir yapı ve yeni bir kimyasal kompozisyon oluşur. Özellikle aşınma dayançlı uygulamalar için demir esalı yüzey üzerine Ni-Cr alaşımlaması elektrot veya termal spray yardımıyla uygulanır. Ayrıca B₄C, SiC de yüzeye plazma veya arc yöntemi ile emdirilebilir. Diğer bazı malzemeler de alaşım elemanları olarak örneğin paslanmaz çelik, bakır alaşımları, metal oksitler, nitrürler, borürler ve inter metalik bileşikler kullanılırlar. Fizyon yöntemi ile katı tanecikler veya ergimiş banyoya gaz balonları içerisinde alaşım malzemesi gönderilir. Kullanılan gaz azot, asetilen, karbon monoksit gazı olabilir[33].

2.2.4.2 Cladding Türü Kaplama

Bu kaplama türü ile sert yüzey kaplama uygulaması mümkündür. Kaplanacak yüzey üzerinde kaplama malzemesi yeniden eritilir ve yüzey üzerine depo edilir. Ergitme işlemi bir telin yüzeye enjeksiyon yöntemi ile elektron demeti içerisinde geçirilen malzemenin yüzey üzerine ana metale karışmadan depolanması sağlanır. Isı kaynağı bir elektron bombardımanı demetidir. Özellikle ısı, korozyon ve aşınma dirençli kaplamalarda kullanılan bir yöntemdir. Örneğin hidrolik parçalarının yüzeyi bu yöntem ile kaplanır.

2.2.5. Kaplamada Termal Teknikler

Termal teknikle de kaplanacak malzeme yüzeyine ısı etkisinin yanında, metalik malzemelerin katı halde mikro yapılarının değişimini, toplam yapının durumunun değişimi, yüzeydeki kaplama malzemesinin ergimesi ve tekrar katılaşması. Bir ısı kaynağı kullanımı sonrası (Lazer, elektron ışın demeti) yüzey üzerine ilave kaplama malzemesi ve kaplanacak yüzey malzemesinde ergime sonrası yeni bir doku elde edilir. Elektron demetinin yüzeye inmesi sonrası yüksek bir enerji küçük bir yüzeye temas ettikten sonra yüzeyde kısa bir sürede yüksek miktarda (103–105 K/S açığa çıkar. Bir sonraki adımda ergime ve katılaşma devam eder.

Yüzeydeki enerjinin etkisi gücün yoğunluğuna ve yüzeyde kalış süresine bağlıdır.

$$q = \frac{P_d}{a_{es}} \left[\frac{W}{cm^2} \right] \text{ Veya } q = \frac{4IU}{\pi a_{es}^2} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{2}{S} \right)^2 I^{1/4} U^{7/4}$$

Burada q: güç yoğunluğu, des: ark çapını tarif eder

Alaşımdayla yüzey kaplama işleminde alaşımlama sonrası yüzey pürüzlülüğü artar bu artış alaşım elementi ilavesinin kalınlığına bağlı olarak değişir. Alaşım elementinin ilavesi termal spray, elektroliz, elektro kaplama plak, ince folyo, pasta, toz halinde olabilir. Her iki katmanını yeniden ergitilmesi sonrası katmanlar karışır, alaşım malzemesi kısmen veya top yekûn olarak kaplanacak yüzey malzemesi ile karışır. Yeniden katılaşma sonrası yeni ve farklı bir yapı tezahür eder. Bu uygulama tribolojik uygulamalar için (Krom ve Nikel ilavesi) korozyon direnci için uygulanabilir.

Bir katının alaşımlanması difizyon kurallarına bağlıdır. Difizyon prosesi için önemli olan sıcaklık gradyanına, konsantrasyon gradyanına ve zamana bağlı değişim gösterir. Malzeme yüzeyinde çok kısa sürede enerjinin çok yüksek sıcaklık gradyanı oluşturmaları sebebiyle alaşım elementlerinin difizyon derinliği çok küçüktür. Difizyon çok yavaş bir prosestir. Bu tür proseslerde (milisaniyelerin söz konusu olduğu durumlar için) bu proses çok yavaş kalmaktadır. Sonuç olarak söz konusu proseslerde alaşım elementini yüzeye yedirmenin tek yolu katkı elementinin katılaşma öncesi hidrodinamik karışım ile eritilmiş banyoda yedirmektir.

Sistem süreklilik arz eder, yani sürekli eritme ve sürekli karışım sağlanır. Aksiyon ve ark basıncı sayesinde hem katkı malzemesi ve hem de yüzey malzemesi erir ve yüzeyde bir eriyik havuzu teşekküle eder. Bu eriyik havuzunda elementlerin karışımı konveksiyon ve yerçekimi hareketleri ile sonuçlanır. Kaplanacak yüzey ile kaplanmış yüzey arasında da çok ince bir difizyon bölgesi oluşur. Bu ara yüzeyin kalınlığı 10 mikron kalınlığındandır. Yüzeye verilen ark kesildiğinde oluşan alaşım katılaşır ve yakında bulunan ana malzeme kısmen sertleşir.

Yapı kimyasal kompozisyon, fiziksel ve kimyasal özellikler ana malzemeden tamamen farklı bir hal alır. Öncelikle alaşım katmanı prensip olarak karakteristik katmanın yapısını göstermez. Konveksiyon dolayısıyla fazlar arasında konsantrasyon farkı da oluşmaz. Sadece ara yüzeyde sıvı ve katı fazlar arasında çok ince bir ara yüzey teşekkül eder. Alaşım katmanının sertliği ana malzemenin sertliğinden daha yüksek olur. Aynı zamanda kaplanmış katmanın yorulma mukavemeti de daha yüksek beklenir ve aşınma direnci de yüksek mertebelere ulaşır. Bu iyileşmiş özelliklerin dışında yüzey kalitesi (pürüzlülüğün artmasından dolayı) düşer. Bu durum eriyik havuzun homojen karışımına, konveksiyonun yoğunluğuna bağlanmaktadır.

Yeniden eritme işlemi iki aşamadan oluşur. İlk aşamada alaşım elementlerinin yüzeye depo edilmesi ve ikinci aşamada ise alaşım elementleri ve ana malzemenin yüzeyinin bir katman oluşturacak şekilde eritilmesi, genelde ilave edilen malzemenin kalınlığı ile ana malzemenin eriyen yüzeyinin kalınlıkları arasında bir oran vardır. Bu oran 0,5 seviyesinde tercih edilir. Yüzeye verilen enerjinin güç yoğunluğu arttıkça eriyen yüzey derinliği artar. Yüksek güç yoğunlukları malzemenin buharlaşmasına sebebiyet verir.

Alaşımlama genelde farklı tip çeliklere uygulanabilir. Yapı çeliklerine AISI 1045 ve bu çeliğin sahip olduğu karbondan daha az karbona sahip çeliklere rahatlıkla uygulanabilir. Doğal olarak alaşımlama sadece veya esas olarak makine parçalarına veya çok ciddi zor şartlarda çalışan araç gereçlere uygulanır. Mesela Kesici aletler veya zımbalar veya kesme kesici kenarlarına, yeniden eritme işlemi ile alaşımlamada Ayrıca dökme demirler, yüksek mukavemetli çeliklere de uygulanabilir[33].

2.2.6 Kaynakla Yüzey Kaplama

Kaplama korozyon ve aşınma davranışı gibi yüzey özelliklerini geliştirmek için bir ana metal veya alt tabaka yüzeyine bir malzeme tabakasının kaynak işlemiyle geçirilmesi işlemidir. Bu işlem aşınmış yüzeylerde istenilen hacme ve çapa ulaşmayı da sağlar. Şayet aşınmaya direnci iyi olan sert bir malzeme yumuşak veya sünek bir malzeme üzerine aşınma özelliğini geliştirmek amacıyla kaynak yöntemiyle kaplanırsa bu işleme sert yüzey kaplama denir. Yüzey kaplama yüzeyin korozyondan korunması amacıyla da yapılabilir. Bazen bozunmuş malzeme yüzeyi kaplama işlemiyle istenen boyutlara getirilerek tekrardan kullanılabilir hale getirilir. Bir veya daha fazla tabakanın kaynak işlemiyle çekilmesi uygun kimyasal veya metalurjik uyumluluğu elde etmeyi gösterir. Bu hususların her ikisinde de tasarım yapılırken kaynak metalinin mukavemeti düşünülür. Kimya-petrokimya endüstrisinde, şeker ve kağıt fabrikalarında, elektrik santrali ve bazı diğer endüstri dallarında çalışan parçalar korozyon ortamına maruz kalırlar. Korozyon yüzeyde başladığı için tüm malzemenin korozyona dirençli malzemeden yapılmasına gerek yoktur. Korozyon direnci düşük bir malzemenin yüzeyi korozyona dirençli bir malzemeyle kaplanarak yüzey dirençli hale getirildiği gibi, üretim maliyeti de düşük olur.

Aşınma pek çok endüstri kolunda görülmekte ve malzeme ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Aşınma olayının görüldüğü yerlerde kullanılan malzeme yüzeylerinin kaplanmasıyla bunların ömrü birkaç kat arttırılabilir. Ayrıca aşınma nedeniyle bozunmuş yüzeyler kaplanarak malzeme boyutları kullanım öncesi boyutlarına getirilebilir ve kullanımına devam edilebilir. Bazen bu şekilde tamir edilmiş malzemelerin ömrü orijinal hallerinden daha uzun olabilmektedir. Bir kaplama uygulamasının başarısı doğru malzeme seçimine ve uygulanan yöntemine bağlıdır. Bir kaplama malzemesinin seçiminde göz önünde bulundurulacak önemli etkenler; aşınma türü, çevre şartları, tercih edilen kaynak yöntemi, esas metal, ihtiyaç duyulan nihai yüzey düzgünlüğü ve maliyettir[34].

2.2.6.1 Aşınma Türü ve Çalışma Şartlarının Etkisi

Bir kaplama malzemesinin seçimi genelde çalışma şartlarına bağlıdır. Kullanım koşulları çalışma sıcaklığına, mevcut korozyon ortamı ve aşınma türüne bağlıdır. Genel olarak aşınma; abrasiv aşınma, adhesiv aşınma, darbeli aşınması, erozif ve kavitasyon aşınması adları altında sınıflandırılabilir. Abrasiv aşınma bütün aşınma türleri içinde %60'luk bir kısmı oluşturmakta olup, kömür, cevher, kaya ve seramik gibi abrasiv parçacıkların bir metal parçasına sürtünmesiyle gerçekleşir. Abrasiv aşınma düşük gerinimde kazıma aşınması, yüksek gerinimde öğütme aşınması veya oyuklanma aşınması şeklinde olabilir. Adhesiv aşınma; hareketli metal-metal temasında gerçekleşir. Biri diğerine göre hareketli olan metal yüzeyindeki pürüzler bu aşınma için önemli rol oynamaktadır. Hareket sırasında pürüzler arasındaki kaynaklanma ve daha sonra bunların kopması yüzeyin aşınmasına neden olmaktadır. Darbeli aşınma bir parçaya anlık aşırı bir yükün hızlı bir şekilde uygulandığında gerçekleşir. Erozyon; yüksek hızdaki katı partiküller tarafından gerçekleşir. Kaviteasyon aşınması sıvıların yüksek basınçta malzeme yüzeyine çarpması sonucunda gerçekleşir[34].

2.2.6.2 Kaynak Yönteminin etkisi

Kaynak yöntemi dolgu metali biçimi ve yığılma verimini belirlemede etkilidir. Bir kaynak yöntemi seçiminde öncelikle kaynak pozisyonu, esas metalin kaplamaya karışma miktarı ve nüfuziyet oranı göz önünde bulundurulmalıdır. Tek bir paso halinde yapılacak kaplamada maksimum sertlik elde edilmek isteniyorsa, ana malzemenin kaplamaya katkısı ön plana çıkmaktadır. Ana malzemenin ark sırasında ergiyerek kaplamaya yüksek oranda geçmesi durumunda kaplamanın aşınma direnci düşmektedir. Kaplamada yığılma oranı ve verimlilik aynı zamanda yöntem seçiminde önemlidir. Örtülü elektrot ark kaynak, koruyucu gaz metal ark kaynak, özlü elektrot ark kaynak ve toz altı kaynak yöntemleri kaplama işlemi için sıklıkla kullanılan yöntemlerdir. Tungsten-inert-gaz ve oksitli asetilen kaynak yöntemleri de belirli kaplamalar için kullanılmaktadır [34].

2.2.6.3 Ana Metalin Etkisi

Kaplama alaşımı seçiminde ana metal ve kaplama alaşımı arasındaki metalurjik uyum önemli bir etkindir. Kaplama tabakasının bileşimi esas metalin bileşimine ve nüfuziyetine göre belirlenir. Ana metalin kaplamaya geçme oranına bağlı olarak kaplama alaşım elementleri azalmaktadır. Bu nedenle kaplama elektrotları istenilen elementlerin istenilen oranda olması göz önünde bulundurularak üretilmektedirler. Ana metalin bileşiminin bilinmesi kaplama öncesi ön ısıtma yapılp yapılmayacağı hususunda da önem taşımaktadır. Kaplama ncesi çeliklerin n ısıtılması termal şokları, çatlamayı ve çarpılmayı en aza indirmektedir [34].

2.2.6.4 Yüzey Kalitesinin Etkisi

Değişik kaplama alaşımları mevcuttur. Bunlardan bazıları kolaylıkla işlenebilirken, diğerleri sadece taşlanabilmektedirler. Bu yüzden doğru kaplama alaşımı seçebilmek için ihtiyaç duyulan yüzey kalitesinin bilinmesi gerekir. Kaplamada meydana gelebilecek çatlakların da kabul edilebilirliği önceden bilinmelidir. Bazı kaplama alaşımlarında çatlak oluşumu doğal olarak kabul edilmektedir. Ancak, bu çatlakların kaplamanın yüzeyden kopmasını önleyecek ve kaplamanın aşınma ömrünü azaltmayacak şekilde olması gerekmektedir. Kaplamadaki karbür miktarı ne kadar az ise, kaplamanın çatlama ihtimali de o kadar az olmaktadır. Ancak, düşük karbür içeriği kaplama aşınma direncini düşürmektedir. Bununla beraber şeker endüstrisi gibi bazı uygulamalarda çatlak oluşumu kirlenme gibi nedenlerden dolayı kabul edilmemektedir. Bunun tersine kırıcılarda yüksek aşınma direnci istenmekte ve yüzey çatlaklarının varlığı doğal kabul edilmektedir [34].

2.2.6.5 Maliyetin etkisi

Ticari kaplama alaşımlarının maliyetleri genellikle biçimlerine, tiplerine ve alaşım elementlerinin miktarına bağlıdır. Kobalt esaslı alaşımlar en pahalı iken, demir esaslı perlitik alaşımlar en ucuzlarıdır. Kullanım koşulları kullanılan alaşım tipleri belirler. Kaplama yapmak için seçilen kaynak yöntemi de kaplama malzemesinin seçiminde önemli rol oynamaktadır. Kaplama malzemesinin fiyatı tek başına önem arz etmez. Kaplama performansı da göz önünde bulundurulmalıdır [34].

2.3 Yüzey Kaplama Uygulamaları

Kaynak yöntemiyle yapılan kaplama endüstride sadece malzemelerin servis ömürlerini iyileşirmede değil, aynı zamanda yüzeyi bozulmuş parçaları yenilemede de kullanılır. Bu sayede mühendislik malzemelerinin maliyeti düşer. Kaplama uygulamaları pek çok endüstri dalında kullanılmakla beraber, aşağıda en çok kullanılan alanlar verilmiştir[34].

- Maden ve mineral işleme endüstrisi
- Metalurjik uygulamalar
- Tarımsal aletler
- Şeker endüstrisi
- Çimento endüstrisi
- Elektrik santralleri

2.3.1. Maden ve Mineral İşleme Endüstrisi

Petrol ve gaz endüstrisinde kullanılan ekipmanlar oldukça zorlayıcı ortamlarda kullanılmak zorunda kalırlar. Bu ortamlar oldukça asidik olup, oldukça koroziftirler. Buradaki parçalar düşük alaşımlı çelikten yapılmış olup, yüzeylerinin bu koroziye ortamlara dayanıklı olması istenir. Bu alaşımların yüzeyi plazma transfer ark yöntemiyle ekonomik ve başarılı bir şekilde kaplanmaktadır.

Maden işleri normalde toprağın delinmesi ve bölgeden uzaklaştırılmasıyla başlamaktadır. Bu amaçla çeşitli deliciler, çekiciler ve kamyonlar kullanılmaktadır. Kullanılan bu ekipmanlar ve makineler toprak, taş ve diğer bazı abrasiv aşındırıcılara maruz kalarak aşınmaya uğrarlar. Aşınmış parçaların yenisiyle değişmesi büyük maliyetlere neden olur. Bu nedenle bunların yüzeylerinin kaplanması aşağıda belirtilen artıları sağlamaktadır:

- Tamir masraflarında azalma,
- Zaman kaybını azaltma,
- Daha az değiştirme,
- Üretimi arttırma,
- Daha ucuz malzeme kullanma imkanı.

Maden ve mineral endüstrisinde en çok krom içerikli beyaz dökme demir sert yüzey kaplama yapılmaktadır. Bu alaşımlar östenitik matris yapısı içerisinde çökelmiş krom karbür takviye yapısıyla bilirlir. Aşınmaya, erozyona ve korozyona karşı dayanım matris ve karbür özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Krom karbürdeki krom içeriği östenit matris fazın içerdiğinden daha fazla olduğu için, krom karbür abrasiv aşınma direncini arttırmaktadır [34].

2.3.2 Metalurjik İşletme (Demir-Çelik Fabrikası)

Metalurjik işletmelerde aşınmaya maruz kalan pek çok bileşenler mevcuttur. Taşıyıcı rulolar, kömür kırıcıları, kırıcı çeneleri, değirmenler, besleme kanalları, taşıyıcı tekerlekleri, hadde ruloları ve sürekli döküm rulolar gibi çeşitli parçalarda aşınma meydana gelmektedir. Çelik mil ruloları ve sürekli döküm rulolarının yüzeyleri başarılı bir şekilde

kaplanarak kullanım ömürleri arttırılmaktadır. Çelik mil ruloları birincil rulolar ve ikincil rulolar olarak sınıflandırılır. Birincil rulolar slab, blum ve kütük üretiminde kullanılan rulolardır. İkincil rulolar ise üretimin orta ve nihai aşamasında kullanılan rulolardır. Haddelenmede nihai şekli veren rulolar hariç, diğer ruloların yüzeyleri kaplanmakta ve tamir edilebilmektedir. Nihai şekli veren rulolar dökme demir veya yüksek alaşımlı çeliklerden imal edildiği için bunlara kaynak işleminin uygulanması zordur. Demir çelik endüstrisinde kullanılan ruloların kaplanması işleminde toz altı kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Sürekli dökümde kullanılan ruloların yüzeyleri toz altı kaynak yöntemi kullanılarak %12 krom içerikli Fe-C-Cr alaşımıyla kaplanmakta ve kullanım ömrü 2,5 kat artmaktadır [34].

Demir-çelik üretiminde kullanılan ruloların tamiri öncesinde iyi bir yüzey hazırlığı gerekmektedir. Yüzey yeterince temizlendikten sonra, uygun ön ısıtma yapılmalı ve kaplama işlemine geçilmelidir. Kaplama en az üç farklı katmandan oluşmakta ve nihai pasoda sert kaplama yapılmaktadır [34].

2.3.3 Tarımsal Aletler

Tarımsal aletler göz önünde bulundurulduğunda kaplamanın faydalı olabileceği birçok tarımsal alet vardır. Bu alanda aşınma şekilleri abrasiv, darbe ve ya adhesiv olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak, abrasiv aşınma tarımsal aletlerde en çok karşılaşılan aşınma türüdür. Pulluklar, diskler, kulvator, hendek açma makineleri gibi aletlerin yüzeyleri kaplanmaktadır. Tarımsal aletlerin çoğu düşük gerilimli abrasiv aşınmaya uğrar. Bu nedenle, bu uygulamalar için uygun kaplama alaşımları karbürler desteklenmiş çelik matrisli alaşımlardır. Tarımsal aletlerin kaplanması onların kullanım ömürlerini 2 ve ya 3 kat daha fazla arttırmaktadır [34].

2.3.4 Şeker Endüstrisi

Şeker endüstrisinde kullanılan parçalar hem ark sprey hem de ark kaynak yöntemi kullanılarak hem korozyondan hem de aşınmadan korunmaktadır. Böylece üretim verimi artmakta, zaman kaybını azalmakta ve maliyetini düşmektedir.

Şeker endüstrisinde oldukça pahalı ruloların yatakları yüksek kromlu çelik alaşımları ile kaplanmaktadır. Yataklama blokları ve yükleme blokları çapsal bütünlüklerini korumak için alüminyum bronz ile kaplanmaktadır [34].

2.3.5 Çimento Endüstrisi

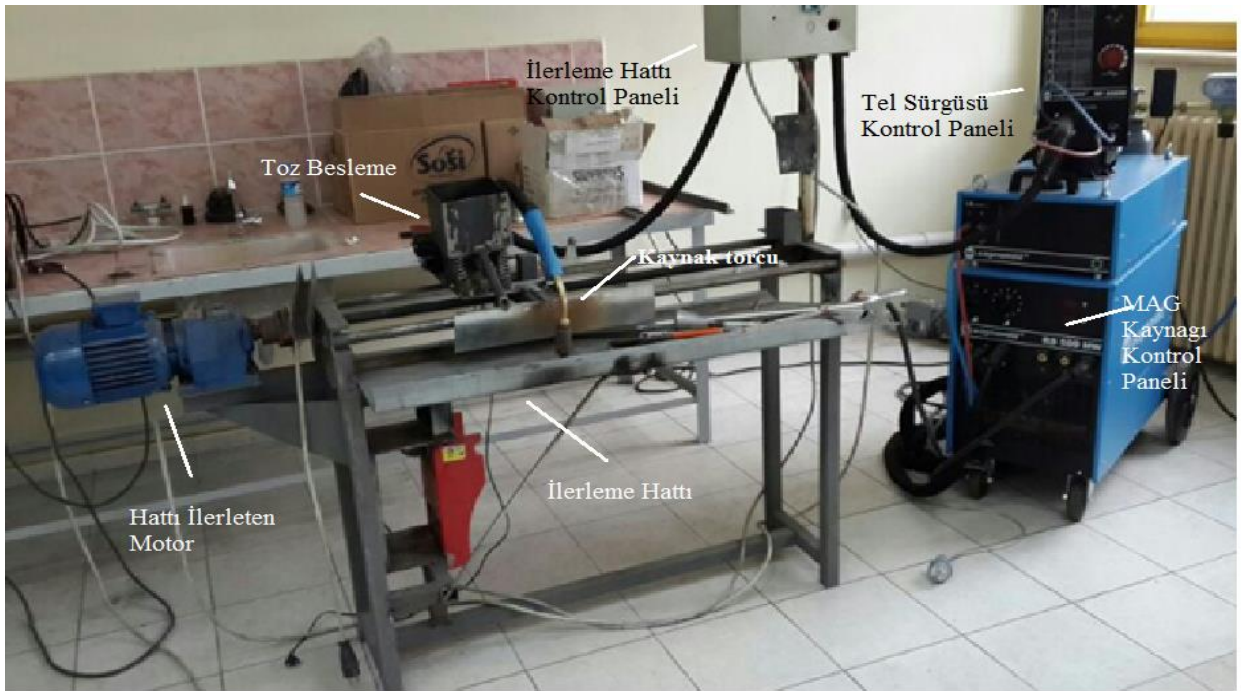
Çimento üretiminin çeşitli evrelerinde kullanılan ekipmanlarda çeşitli aşınma tipleri görülmektedir. Bu ekipmanlar uygun bir kaplama alaşımı ile kaplandığında kullanım ömürleri arttığı gibi, aynı zamanda tamirat işlemi de azalmaktadır. Bir çimento işletmesinde ham maddelerin kırılması, kalsinasyon ön işlemleri, yakma, soğutma,

boyutlandırma ve taşıma gibi işlemler bulunmaktadır. Kırıcı çekiçler darbeli aşınmayla beraber yüksek gerilmeli abrasiv aşınmaya maruz kalmaktadır. Yüksek sıcaklık adhesiv aşınmaya maruz kalan diğer önemli bir parçalar fırın içindeki hareketli tekerler ve fırının destek rulolarıdır [34].

3 MATERYAL VE METOT

3.1 Deneylerin Yapılışı

Bu çalışmada AISI 1020 altlık malzeme üzerine FeCrC tozunun MAG yöntemi kullanılarak sert yüzey kaplama yapılabilirliği araştırılmıştır. Kaynak makinesi otomatik bir ilerletme hattı ve belli oranlarda toz beslemesi yapan bir düzenele birleştirilerek tamamen otomatize bir sistem kurulmuştur. Böylece el becerisi gerektiren durumlar ortadan kaldırılmış birbiri ile aynı parametrelerde yüzey kaplamaları yapılmasına olanak sağlanmıştır. Şekil 3.1’de gösterilen kaplama düzeneği MAG kaynak makinası, toz besleme ünitesi ve ilerleme hattından meydana gelmektedir. Şekil 3.2’de toz besleme ve otomatik ilerletme hattı gösterilmiştir.



Şekil 3.1 MAG kaynak makinası ve yüzey kaplama düzeneği



Şekil 3.2 Toz besleme ve otomatik ilerletme hattı

Yüzey kaplama işlemleri 10x30x100 boyutlarında AISI 1020 çeliği üzerine, yaklaşık 100 μ boyutlarına sahip yüksek karbonlu FeCrC tozları ile yapılmıştır. Ayrıca bir gruba toz ağırlığının %4'ü kadar grafit ilavesi yapılmıştır. Tablo 3.1.'de AISI 1020 çeliğinin ve tozların kimyasal bileşimi verilmiştir.

Tablo 3.1. AISI 1020 çeliğinin ve kaplama tozlarının kimyasal bileşimi

Alaşım Elementleri (% ağırlık)							
	C	Cr	Fe	Si	Mn	Mo	Ni
AISI1020	0,2	-	Diğer	0,286	0,356	-	-
FeCrC	6,1	65,23	25,2	1,82	1,22	0,1	0,02

Deney parametreleri olarak 4 farklı toz miktarı ve 4 farklı akım değeri belirlenmiştir. Kaynak ilerleme hızı, her numune için 60 cm/dk olacak şekilde (Tablo 3.2) sabit tutulmuştur. Kaplama işlemi için 1 mm çapına sahip TS EN ISO 14341 - AG38 3M 21G 2Si standartlarındaki düşük alaşımlı MİG/MAG kaynak teli kullanılmıştır. Tel sürme hızı kaynak akımına göre MAG kaynak cihazının verdiği değerlerde belirlenmiştir. Kaplamalarda koruyucu gaz kullanılmamıştır. Tozlar 300 °C derecede yarım saat kurutulduktan sonra kaplama işlemi yapılmıştır. Bazı numuneler ise sabit akımda tozlar besleme kabı içerisinde ısıtılarak kaynak bölgesine 400 °C derece ve 600 °C derecede

verilerek kaplama özelliklerine etkileri incelenmiştir. Şekil 3.3’de toz besleme haznesi iç resistans ve sıcaklık kontrolleri gösterilmiştir. Son olarak toz içerisine ağırlıkça %4 grafit eklenerek kaplama özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kaplamalar yapıldıktan sonra numuneler metalografik incelemeler için kesilerek hazırlanmıştır. Parlatılan numuneler %10 nital çözeltisi ile dağlanarak mikroskobik incelemeler Nikon Eclipse MA200 optik mikroskop ile yapılmıştır. Daha sonra XRD analizleri Bruker marka D8 advance modeli XRD cihazıyla yapılmıştır, SEM ve EDX analizleri ise JEOL 7000 serisi cihazla alınmıştır. alınıştır. Yüzey kaplamaları üzerinden kimyasal analizler ise metal spektrometresi ile alınarak elemental yüzdeleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.3 Toz besleme haznesi iç resistant ve sıcaklık kontrolleri

Tablo 3.2 de bütün numuneler için kullanılan kaplama parametreleri verilmiştir.

Tablo 3.2. Kaplama parametreleri

Numune No	Deney parametreleri			
	Toz besleme oranı(g/s)	Akım (A)	Toz Bileşimi	Toz Sıcaklığı (C°)
N1	0,5	150	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N2	1	150	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N3	1,5	150	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N4	2	150	FeCrC	Oda Sıcaklığı

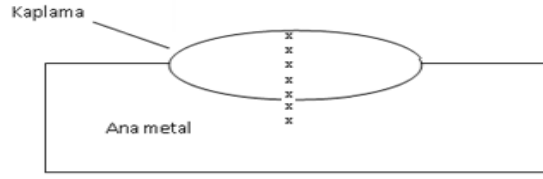
N5	0,5	170	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N6	1	170	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N7	1,5	170	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N8	2	170	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N9	0,5	190	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N10	1	190	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N11	1,5	190	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N12	2	190	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N13	0,5	220	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N14	1	220	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N15	1,5	220	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N16	2	220	FeCrC	Oda Sıcaklığı
N17	0,5	190	FeCrC	400
N18	1	190	FeCrC	400
N19	1,5	190	FeCrC	400
N20	2	190	FeCrC	400
N21	2	190	FeCrC	600
N22	2	190	FeCrC+%4C	Oda Sıcaklığı

3.1.1 Metalografik İşlemler

Numuneler, metalografik hazırlık işlemleri için ilk olarak kaplamalardan 5x10x10 boyutlarında kesit alınarak incelemeye hazır hale getirilmiştir. Daha sonra numuneler 80-120-240-480-600-800-1000 ve 1200 lük SiC zımparalarla zımparalanarak yüzey pürüzlülükleri giderilmiştir. Son nihai parlatma işlemi çuha üzerine dökülen Al₂O₃(alümina) ile yapılan numuneler, etil alkol ile temizlendikten sonra %10 nital çözeltisi içerisinde 10-180 saniye arası dağlanarak optik mikroskop incelemelerine geçildi. Optik mikroskop incelemelerinde numunelerin kaplama ve altlık malzeme arasındaki geçiş bölgeleri ve kaplama mikroyapısı x100-x200-x500 olacak şekilde incelenmiştir.

3.1.2 Sertlik Ölçümleri

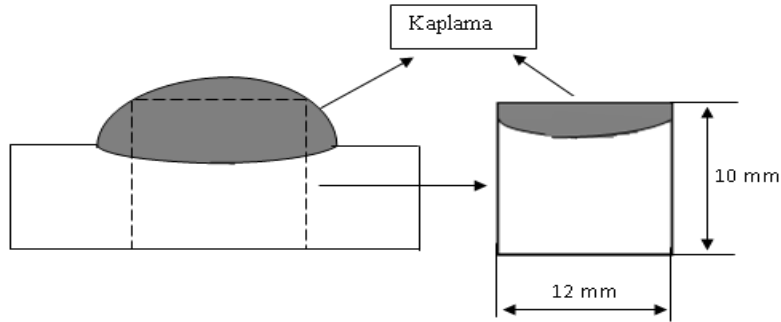
Kaplamaların makro ve mikro sertlikleri alınmıştır. Makro sertlikler HRC yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Makro sertlik için yüzeydeki curuf tabakası temizlendikten sonra kaplama yüzeyi metalografik olarak zımparalama ve parlatma işlemine tabii tutulmuştur. Makro sertlik ölçümleri HRC yöntemiyle 10 kg ön yükleme ve 150 kilogramlık toplam yük uygulanarak 5 farklı bölgeden sertlik alınmış ve bunların ortalama değeri bulunarak yapılmıştır. Kaplamalardaki mikro sertlik taramaları Durascan-20 marka mikrosertlik ölçme cihazında Vickers sertlik yöntemi ile 200 gr yük kullanılarak kaplama yüzeyinden 1 mm aşağıda ve kaplamanın yüzeyinden taban kısmına doğru 500 µ'luk adımlarla (Şekil 3.4) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4 Kaplamalarda boyuna mikro sertlik ölçüm yerinin şematik gösterimi

3.1.3 Abrasiv Aşınma Testi

Aşınma testi için 12x10x10 mm boyutlarında numuneler çıkarılmış ve abraziv aşınma testine tabii tutulmuştur. Şekil 3.5’de aşınma test numunesi ve Şekil 3.6’da kullanılan aşınma test aparatı verilmiştir. Aşınma testleri 80 mesh su zımparası üzerinde 30 saniye süreyle gerçekleştirilmiştir. Testte 10, 20, 30 Newton’luk yükler kullanılmıştır. Aşınma test cihazı 300 devir/dakika hıza sahiptir. Deney öncesi ve sonrasındaki ağırlıklar hassas terazi ile ölçülerek aşınma kayıpları bulunmuştur. Ağırlık kayıpları yüzde olarak verilmiştir. Her bir testte yeni bir zımpara kullanılmıştır.



Şekil 3.5 Abrasiv aşınma test numunesinin çıkartılışı [34]



a)



b)

Şekil 3.6 (a,b) Levha-kayış tipi abraziv aşınma test cihazının farklı görüntüleridir

4 DENEYSEL SONUÇLAR

4.1 Makroyapı İnceleme Sonuçları

AISI 1020 altlık malzemesi farklı akım, farklı toz besleme oranları ve farklı sıcaklıklarda kaplanmış ve elde edilen kaplamaların makroyapı görüntüleri Şekil 4.1–4.2’de verilmiştir.



a)



b)



c)



d)

Şekil 4.1 Farklı toz besleme oranları ve 220 amper değerlerinde kaplanan numunelerin makro görüntüleri
(a: 0,5 gr/s, b: 1 g/s, c: 1,5 g/s d: 2 g/s)



a)



b)

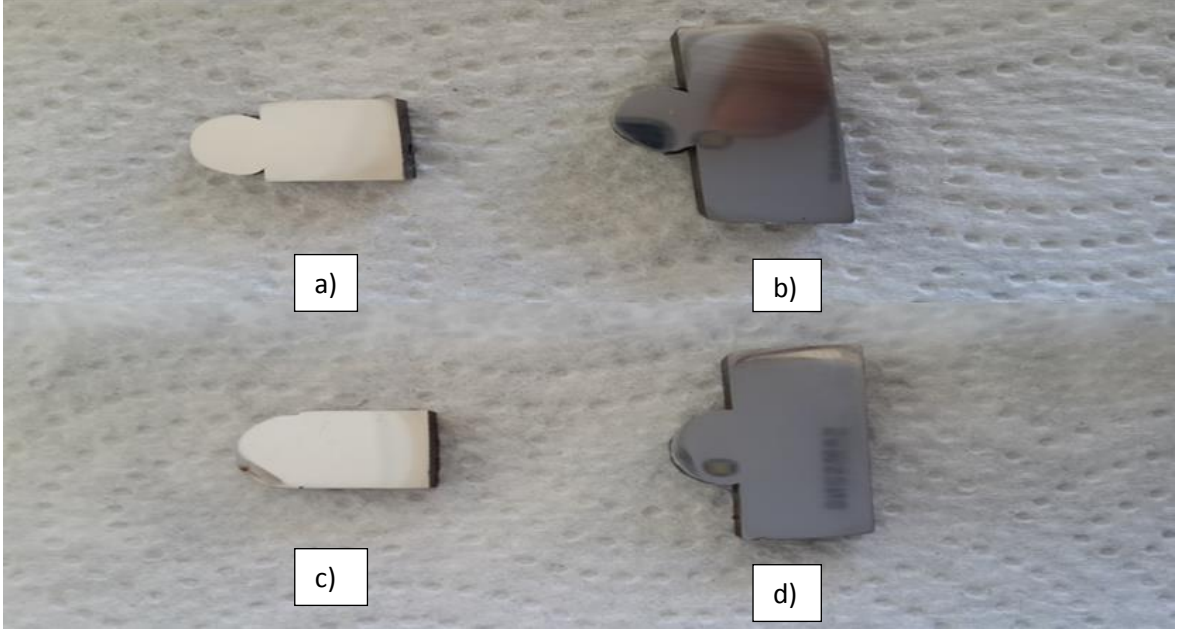


c)



d)

Şekil 4.2 Farklı toz besleme oranları ve 190 amper değerlerinde kaplanan numunelerin makro görüntüleri
(a: 0,5 gr/s, b: 1 g/s, c: 1,5 g/s d: 2 g/s)



Şekil 4.3 Kaynak dikişi kesit alınmış kaplamaların makro görüntüleri (a,b: 190 amper- c,d: 220 amper)

Şekil 4.1 ve 4.2’den görüldüğü gibi akım miktarının artmasıyla kaplama genişliği artmaktadır aynı şekilde Şekil 4.3 incelendiğinde artan akım miktarına bağlı olarak kaplama derinliğinde arttığı görülmektedir. En iyi kaplama kalınlığını 220 amper akım değerinde elde edilmekte ve buna bağlı olarakta kaplama derinliği artmaktadır. Yüksek akımlarda yapılan kaplamalarda tek bir pasoda yapılan kaplama ile daha iyi yüzey kaplaması görünümü ortaya çıkmaktadır [36].

4.2 Kimyasal Analiz Sonuçları

Kaplama yapılan numunelerinin spectrometre kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Yapılan kaplama numunelerinin kimyasal analiz sonuçları

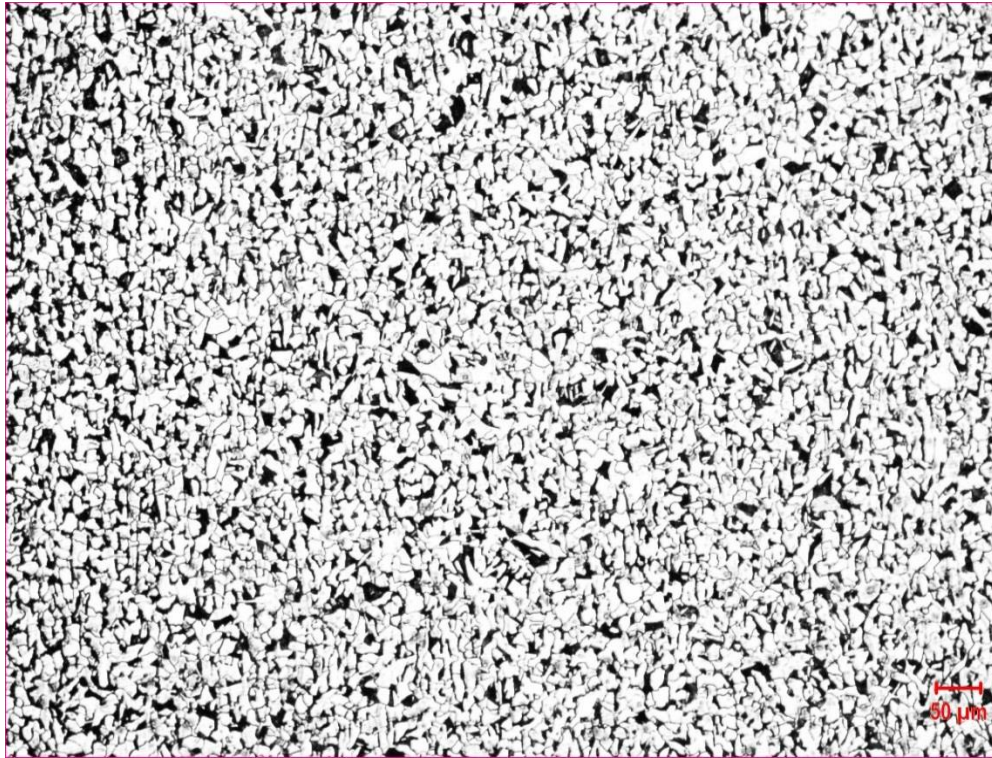
Numune No	Alaşım Elementleri Yüzde Ağırlık								
	%Fe	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni
N1	92.39	0.29	1.78	1.33	0.04	0.11	1.73	0.02	0.03
N2	94.4	0.65	0.6	1.39	0.23	0.1	2.19	0.06	0.04
N3	93.3	0.64	0.6	1.39	0.02	0.1	3.58	0.003	0.04
N4	91	0.86	0.67	1.5	0.15	0.1	4.42	0.2	0.2
N5	91.8	0.47	0.98	1.07	0.14	0.2	4	0.25	0.08
N6	90.7	0.46	0.88	1.75	0.1	0.22	4.67	0.1	0.01
N7	91.3	0.55	0.49	1.44	0.01	0.05	5.91	0.002	0.04
N8	89.3	1.02	0.6	1.29	0.003	0.04	7.51	0.002	0.04
N9	91.9	0.43	0.76	1.25	0.1	0.3	3.47	0.1	0.09
N10	91.7	0.3	1.56	1.16	0.01	0.06	3.8	0.04	0.01
N11	92.4	0.38	0.63	1.43	0.03	0.05	4.64	0.01	0.06
N12	88.5	0.75	0.96	1.28	0.002	0.05	7.76	0.003	0.3
N13	93.5	0.244	1.14	1.09	0.025	0.1	2.49	0.056	0.59
N14	93.5	0.318	0.62	1.43	0.039	0.09	3.62	0.01	0.06
N15	90.7	0.483	0.591	1.32	0.04	0.06	6.34	0.02	0.08
N16	88.5	0.71	1.15	1.16	0.02	0.1	7.72	0.04	0.04
N17	93.9	0.43	0.39	1.11	0.02	0.02	3.62	0.002	0.05
N18	92.9	0.49	0.45	1.19	0.002	0.003	4.66	0.002	0.04
N19	91.7	0.57	0.44	1.20	0.02	0.03	5.98	0.002	0.05
N20	86.7	1.06	0.43	1.03	0.02	0.02	10.3	0.004	0.07
N21	90.7	0.61	0.40	1.10	0.02	0.02	7.68	0.002	0.06
N22	86.5	1.04	0.49	1.08	0.02	0.02	10.4	0.01	0.08

Artan toz besleme mikrarıyla birlikte kaplamaların krom miktarında önemli ölçüde artış göstermiştir. Bununla birlikte artan akım miktarıda aynı şekilde kaplama içerisindeki krom miktarının ve karbon miktarının artışını desteklemiştir. En yüksek krom oranı 190 amper 2 gr/s ve 400 °C ön ısıtmada ağırlıkça yüzde 10.3 olan N20 ve 190 amper 2 gr/s %4 grafit ilavesinde ağırlıkça %10.4 olan N22 numunelerinde görülmüştür. Bu numunler hem yüksek akım değerlerinde hemde yüksek titreşim miktarına bağlı olarak yüksek toz miktarlarında kaplama yapılan numunelerdir. Kullanılan parametrelerde en iyi sonuçlar bu numunelerin yapıldığı akım şiddetlerinde elde edilmiştir. Bu numunelerde tozların ısıtılarak kaplama yüzeyine verilmesinin kaplama içerisine krom ve karbon geçişini arttırdığı görülmüştür. Karbon miktarı N20 ve N22 numuneleri için yakın değerlerde çıkmıştır. Kimyasal analiz sonuçlarının literatür sonuçlarına uymakta olduğu görülmüştür.

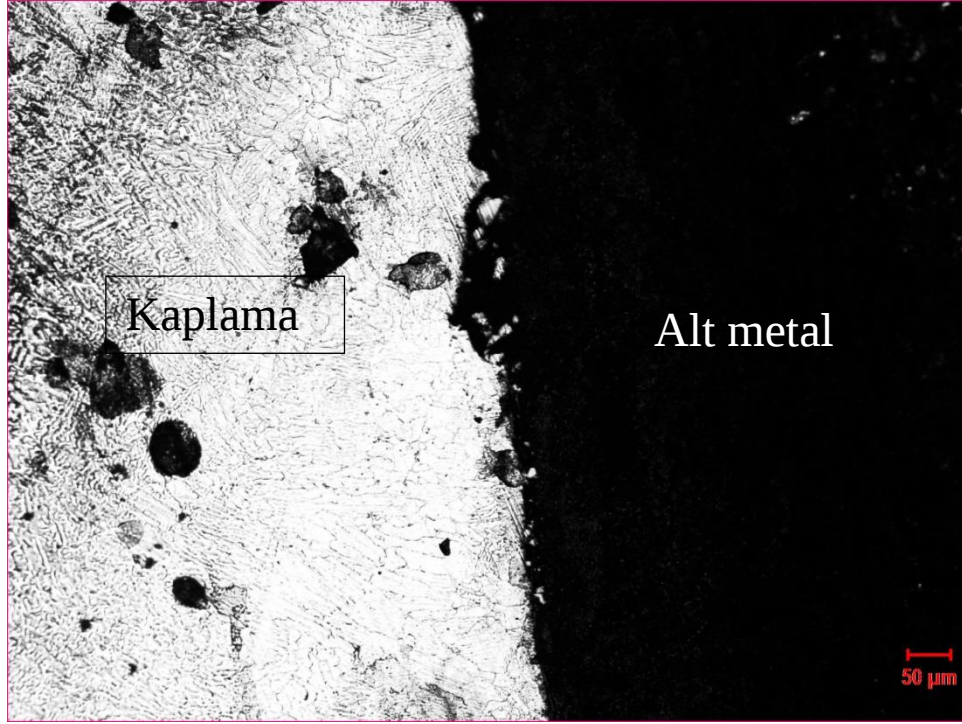
Mikroyapı içerisindeki krom geçiş miktarları bu çalışmaya özgü sonuçlar vermiş, tüm sonuçlar ilk defa bu tez çalışmasında görülmüştür [11,21,26,34].

4.3 Optik Mikroskop İnceleme Sonuçları

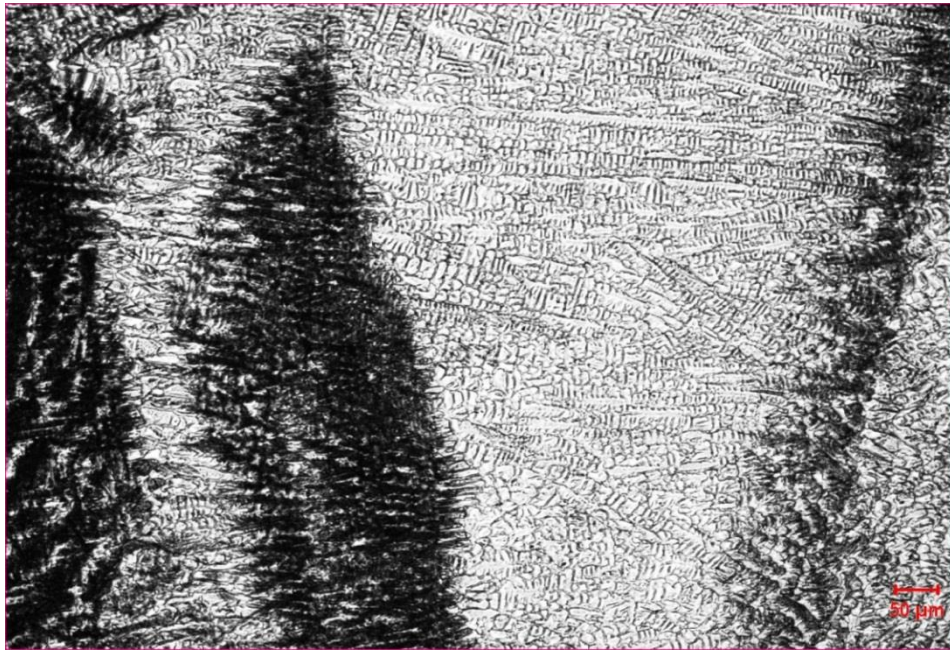
Tablo 3.2 de verilen deney parametrelerine bağlı olarak yapılan kaplamaların ve AISI 1020 altlık malzemenin optik mikroskop görüntüleri şekil 4.4 – şekil 4.27 de verilmiştir. Numunelerin optik mikroskop görüntüleri geçiş bölgeleri için x100, kaplama gölgeleri için ise x100 ve x500 büyütme olarak verilmiştir.



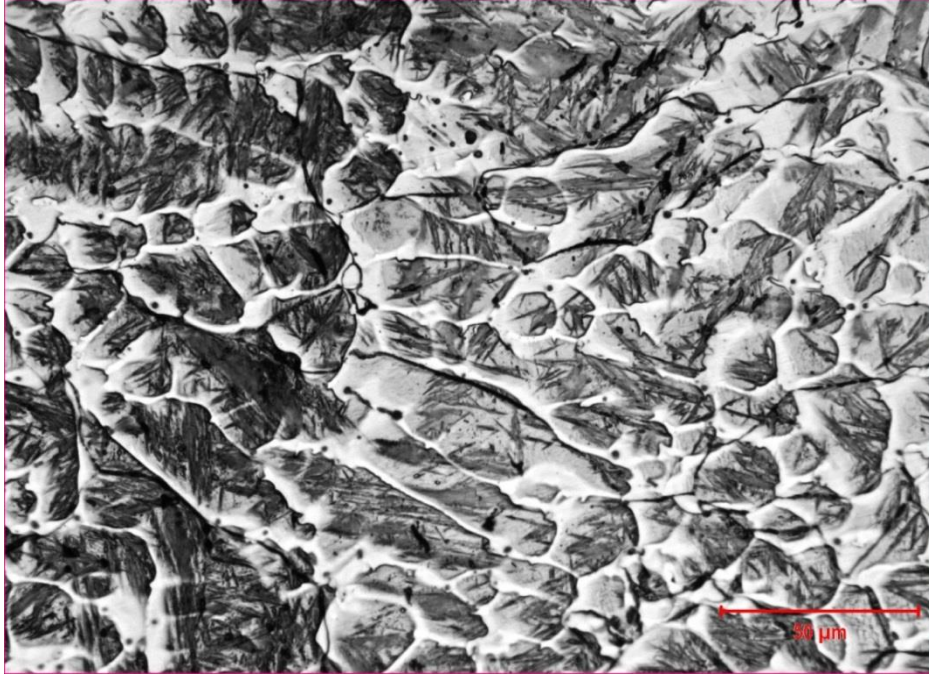
şekil 4.4 AISI 1020 altlık malzemesi (x100)



Şekil 4.5 N4 numunesine ait geçiş bölgesi (x100)

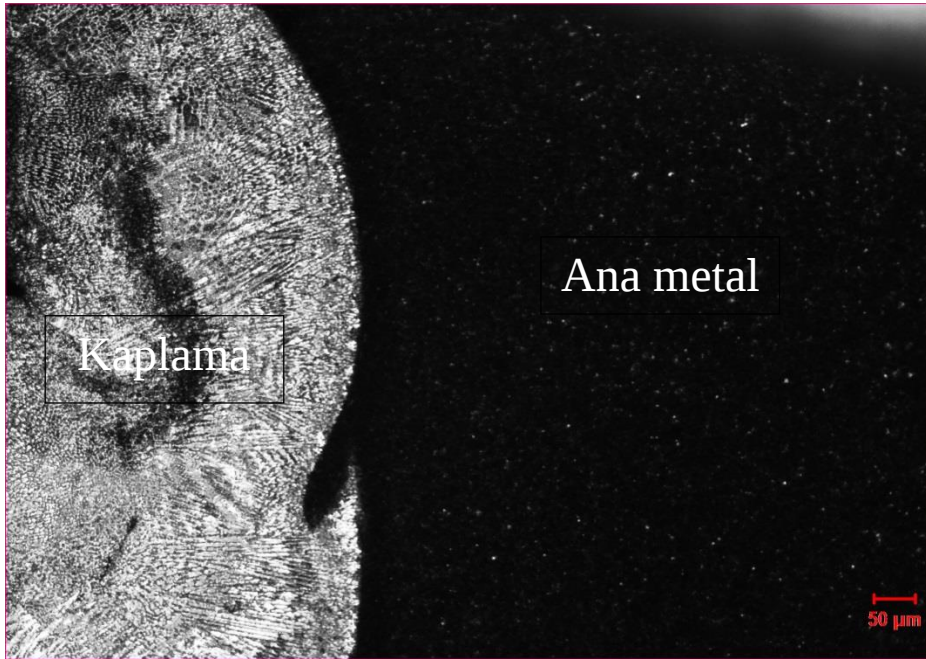


Şekil 4.6 N4 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x100)

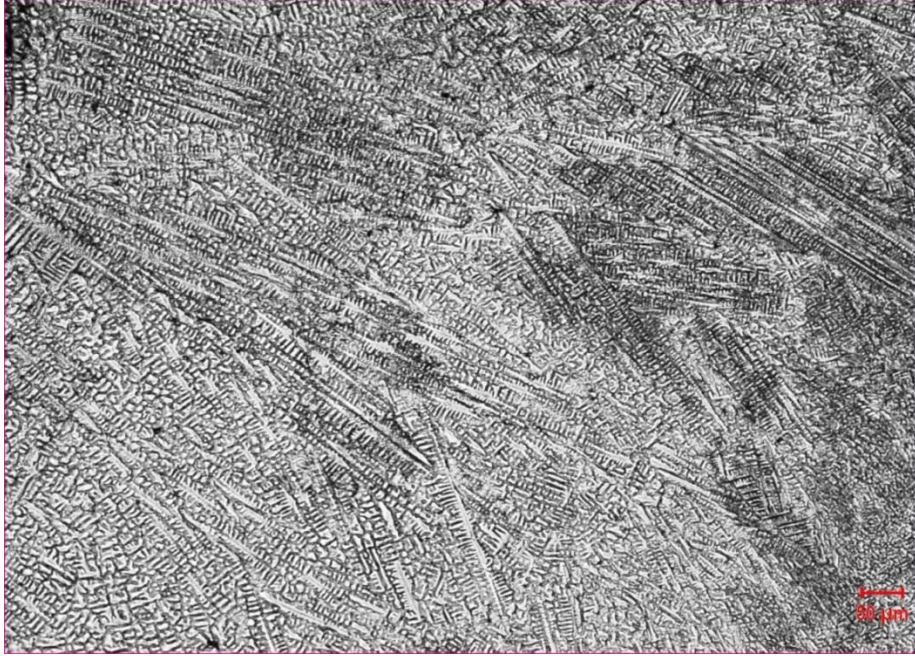


Şekil 4.7 N4 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)

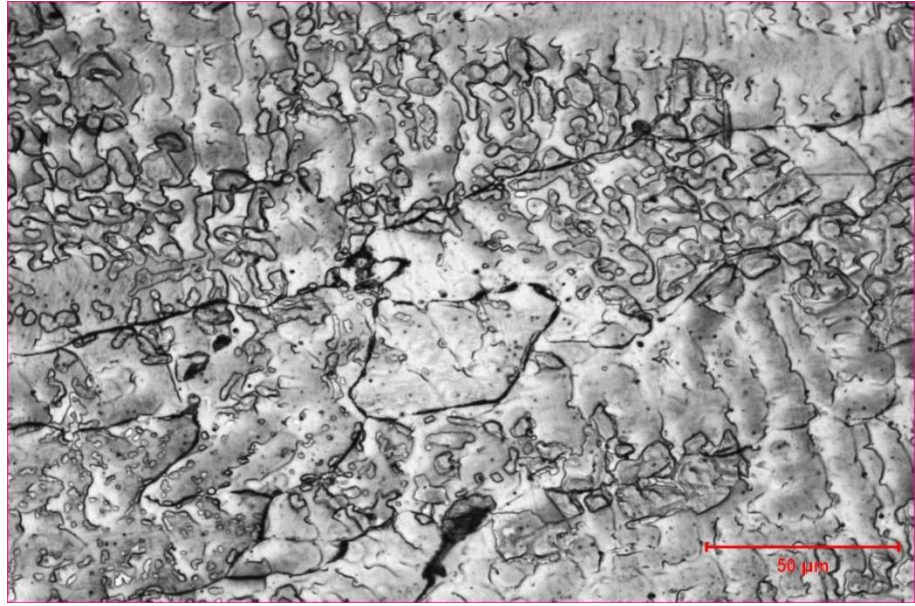
150 amper 2 gr/s toz besleme miktarıyla kaplama yapılan N4 numunesinin geçiş bölgesinde çatlaklar olduğu kaplama bölgesinin mikroyapısının ise ostenitik matris ve martenzitik yapıya sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8 N8 numunesine ait geçiş bölgesi (x100)

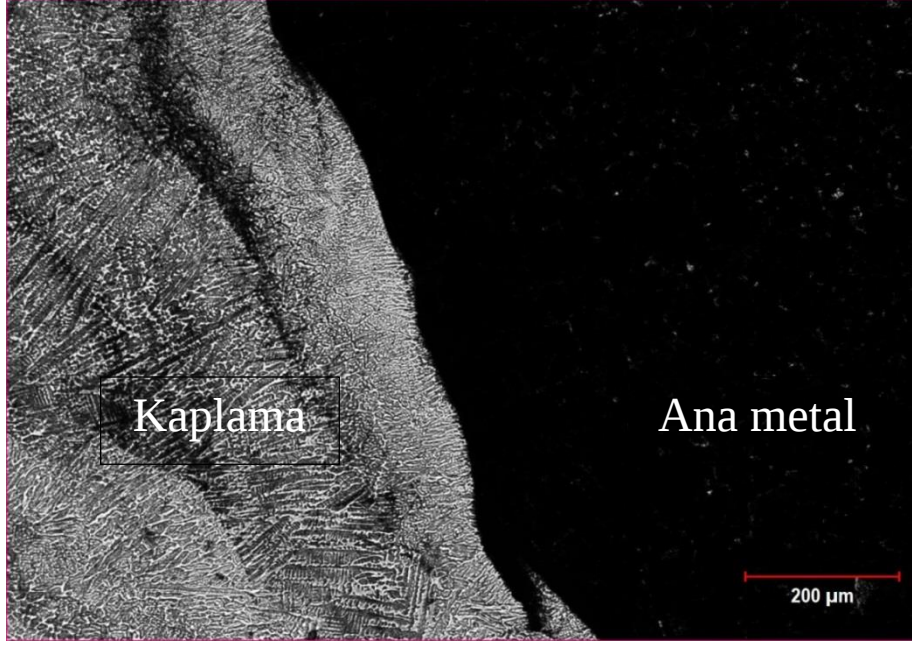


Şekil 4.9 N8 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x100)

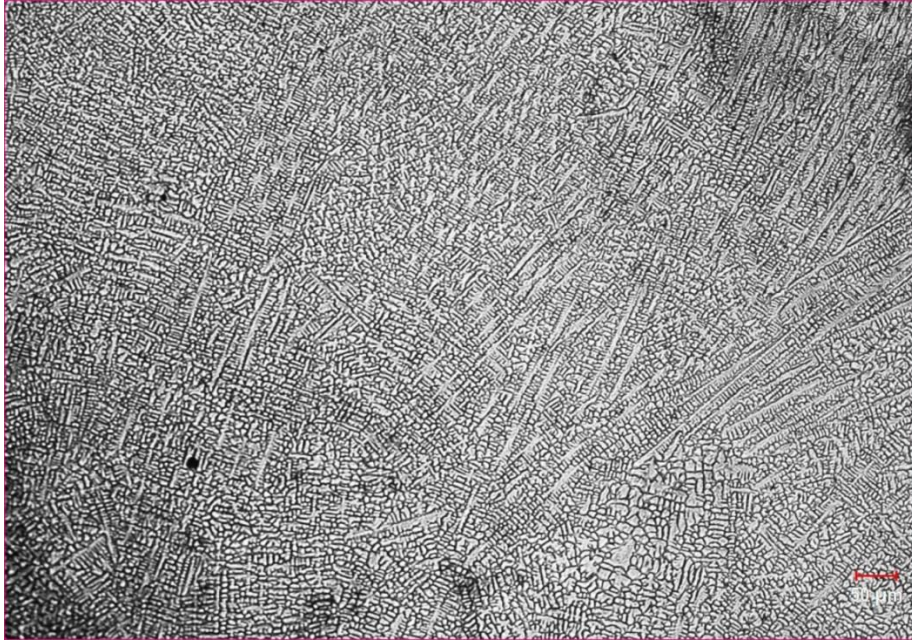


Şekil 4.10 N8 kaynak N4 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)

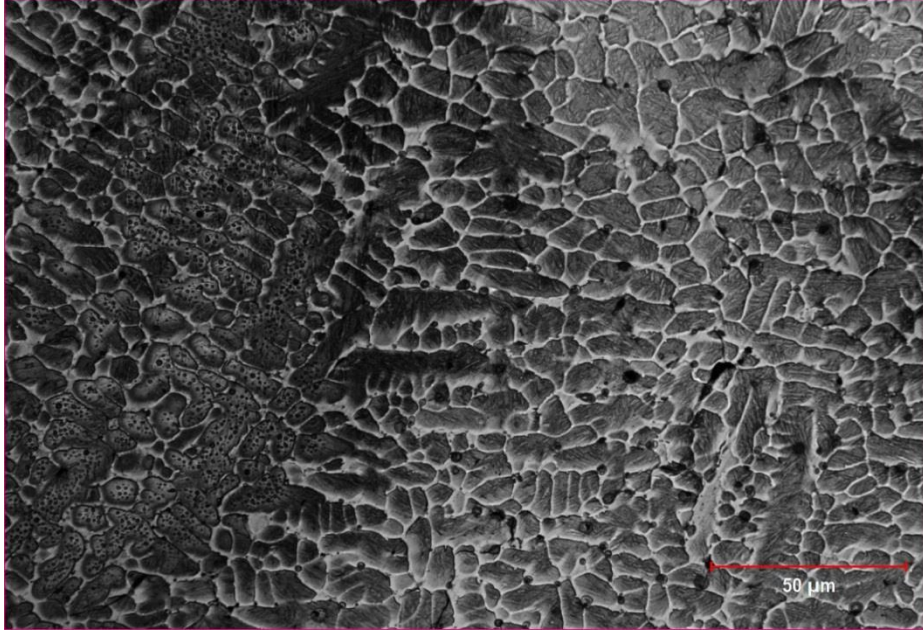
170 amper ve 2 gr/s toz beslemesiyle kaplama yapılan N8 numunesi mikroyapısı incelendiğinde yapı içerisinde çatlakların olduğu yapıda martenzit iğnelerinin daha az görüldüğü Tablo 4.3' e göre kaplamadaki krom miktarının %7.51 olduğu, X-Ray analizlerine göre yapı içerisinde Cr_7C_3 oluşumu görülmüştür.



Şekil 4.11 N12 numunesine ait geçiş bölgesi (x100)

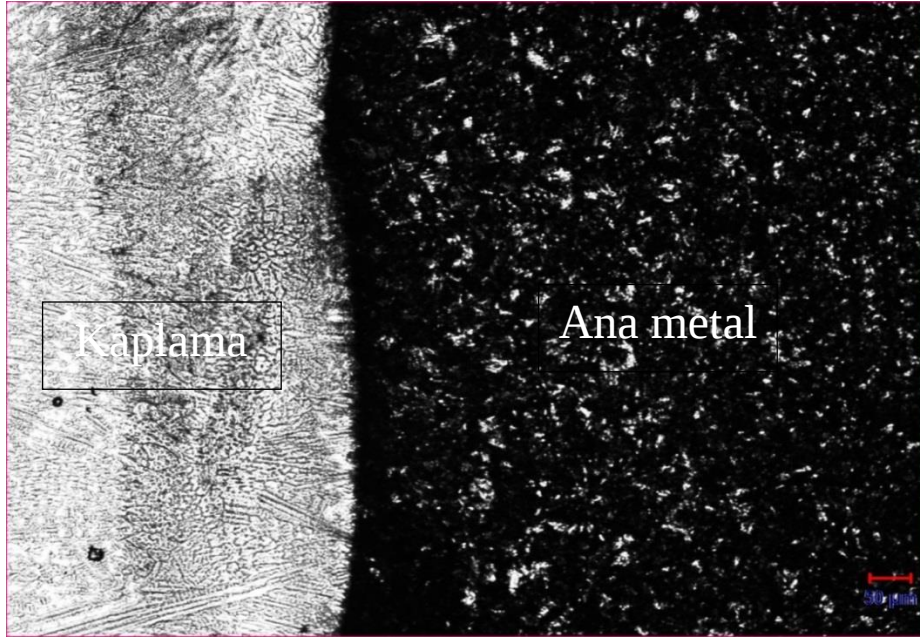


Şekil 4.12 N12 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x100)

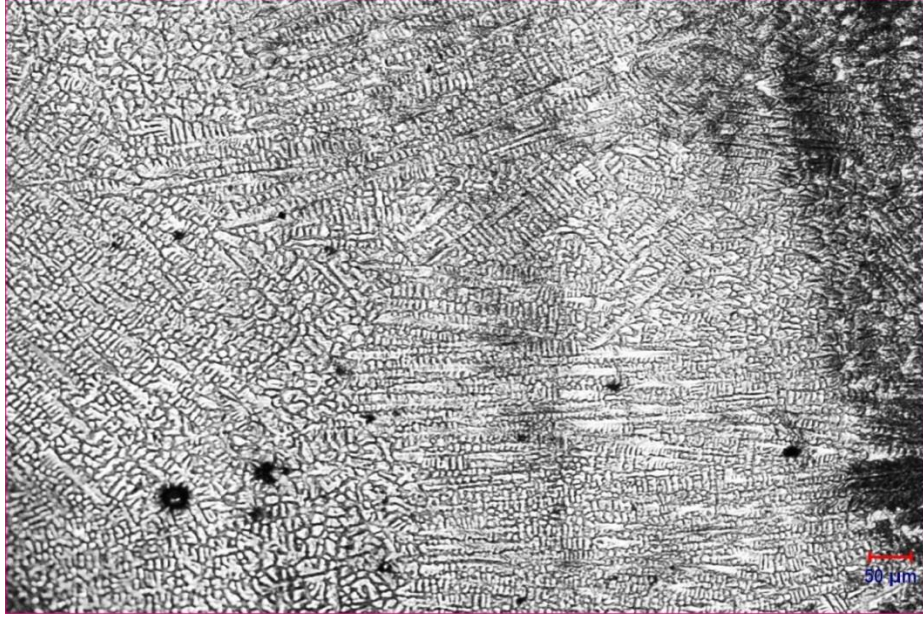


Şekil 4.13 N12 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)

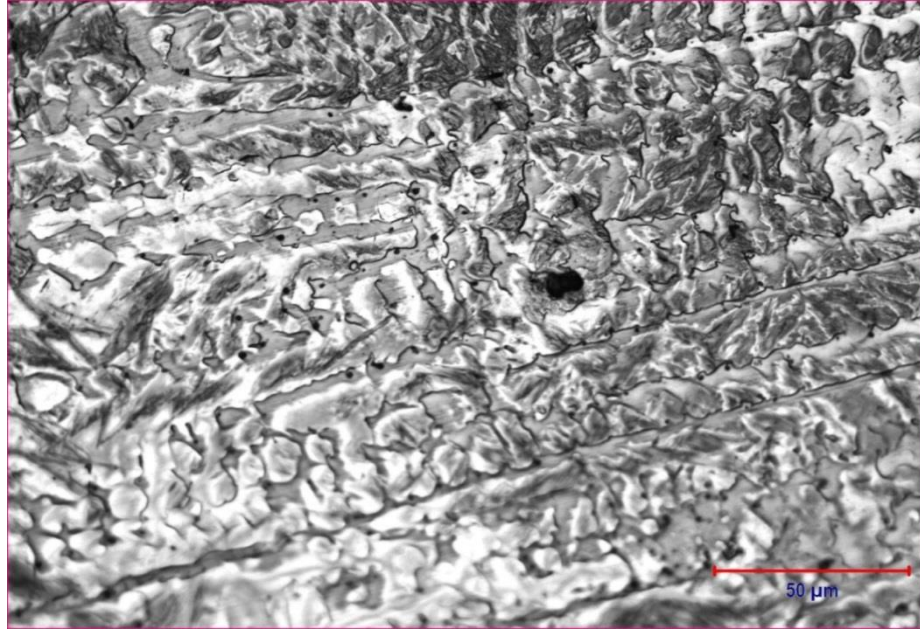
190 amper 2 gr/s toz besleme oranıyla kaplama yapılan N12 numunelerinin Şekil 4.11-Şekil 4.13'deki optik mikroskop fotoğrafları incelendiğinde dentritik yapıların düzgün ve sürekli şekillerde oluştuğu çatlaksız ve boşluksuz kaplamalar elde edildiği görülmüştür. Tablo 4.3'de verilen spektrometre sonuçlarına göre yapıdaki krom miktarı %7.76 dır. X-Ray analizleri ise yapı içerisinde Cr_7C_3 ve $Cr_{23}C_6$ yapıları oluştuğunu göstermiştir.



Şekil 4.14 N16 numunesine ait geçiş bölgesi (x100)

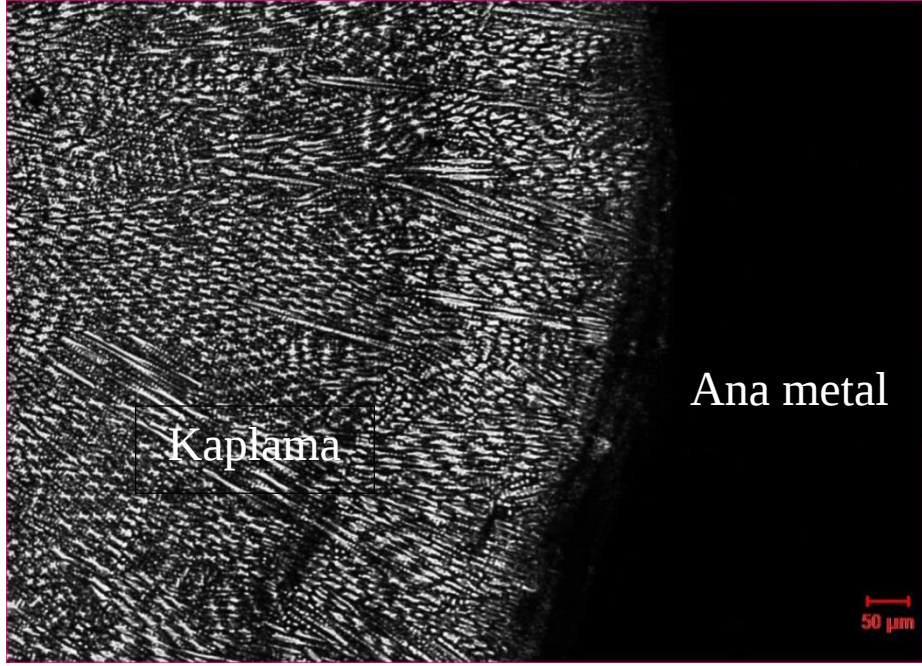


Şekil 4.15 N16 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x100)

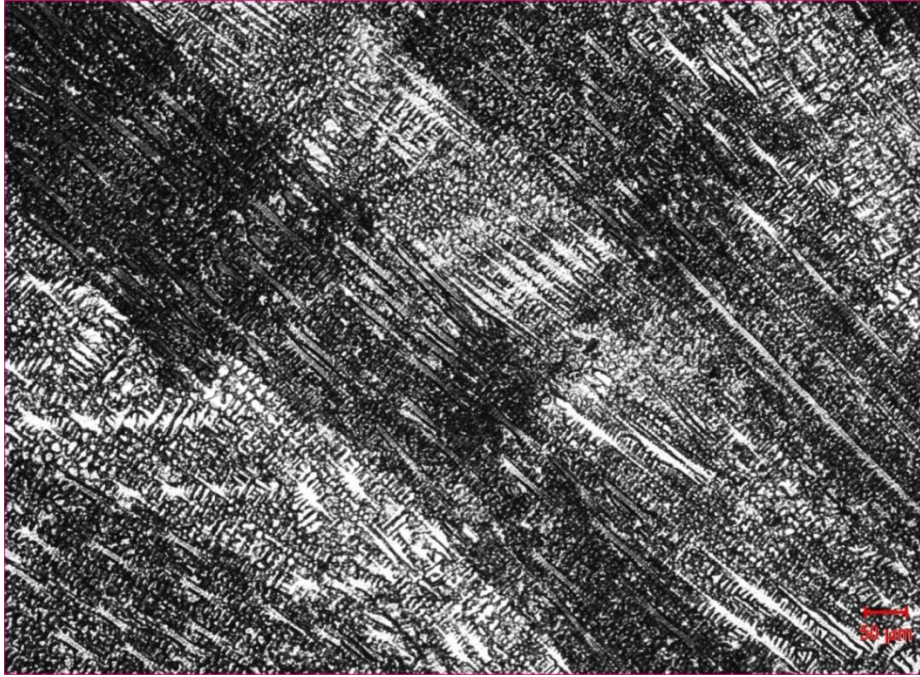


Şekil 4.16 N16 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)

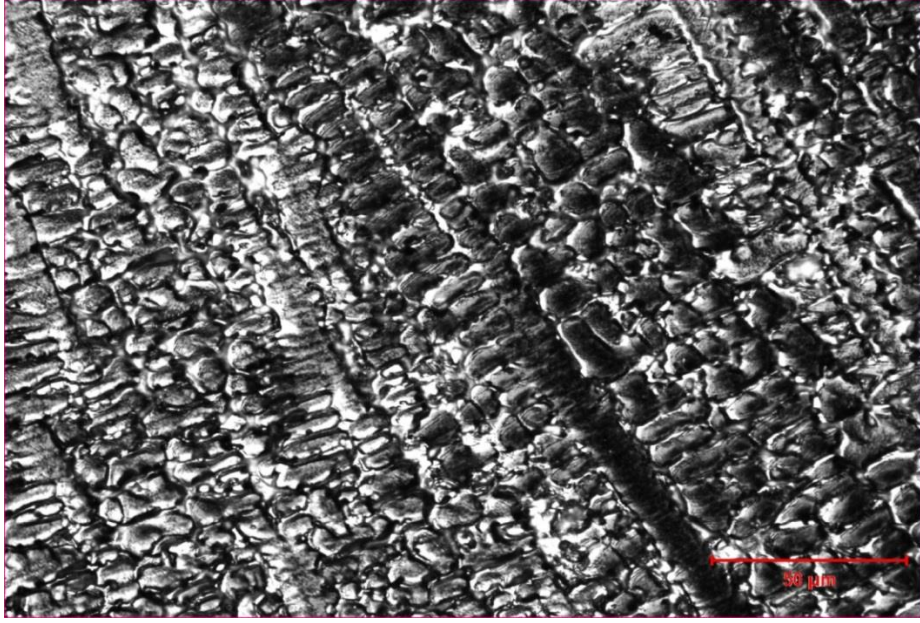
Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da optik mikroskop görüntüleri verilen 220 amper 2 gr/s toz besleme oranında kaplamaları yapılan N16 numunesinin optik görüntüleri incelendiğinde yapıların ostenitik bir matrise sahip olduğu martenzit içeriğine sahip olduğu dentritlerin Şekil 4.12’deki 190 amper 2 gr/s olan N12 numunesine göre daha büyük ve daha kısa olduğu görülmüştür. Tablo 4.3’de verilen kimyasal analize göre yapıdaki krom oranı %7.72 bulunmuş ve X-Ray sonuçları yapıda Cr_7C_3 bileşiği oluştuğunu göstermiştir.



Şekil 4.17 N20 numunesine ait geçiş bölgesi (x100)

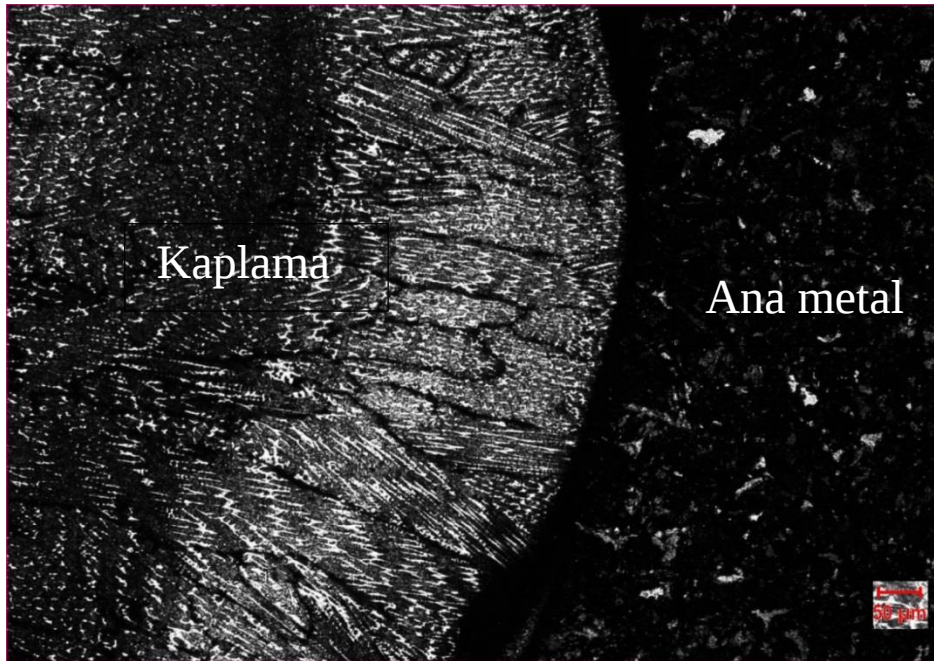


Şekil 4.18 N20 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x100)

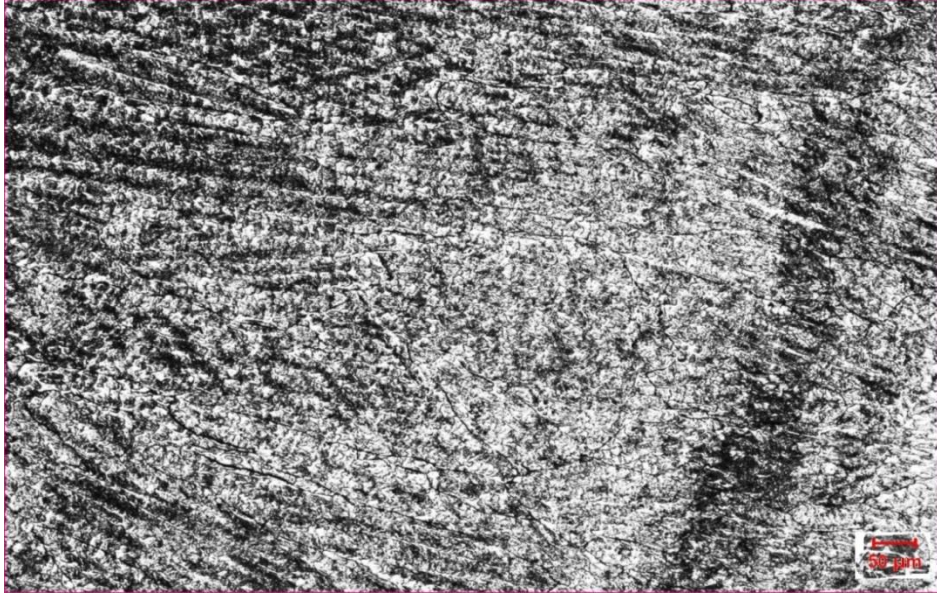


Şekil 4.19 N20 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)

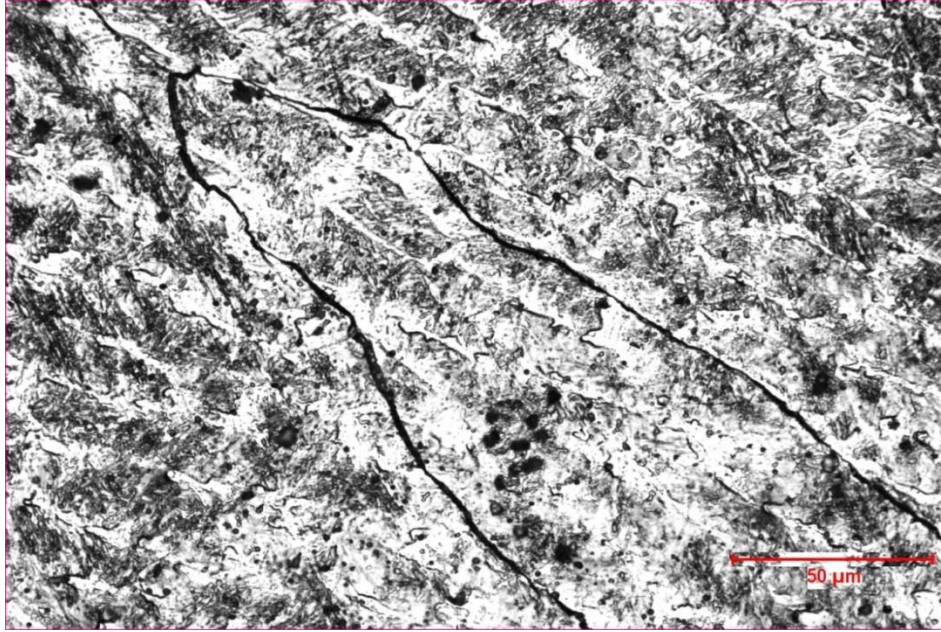
190 amper 2 gr/s ve 400 °C 'ye ısıtılmış tozlarla toz beslemesi yapılan N20 numunesinin optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da dentritik yapılar uzun ve sürekli bir oluşum göstermiş, çatlaksız boşluksuz ve homojen bir yapı dağılımı görülmüştür. Tablo 4.3'de verilen kimyasal analiz sonuçlarına göre yapı içerisindeki krom miktarı %10.3 olarak bulunmuştur. X-Ray sonuçları da incelendiğinde östenitik bir matrise sahip Cr_7C_3 ve Cr_{23}C_6 içeren bir yapı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.20 N21 numunesine ait geçiş bölgesi (100x)

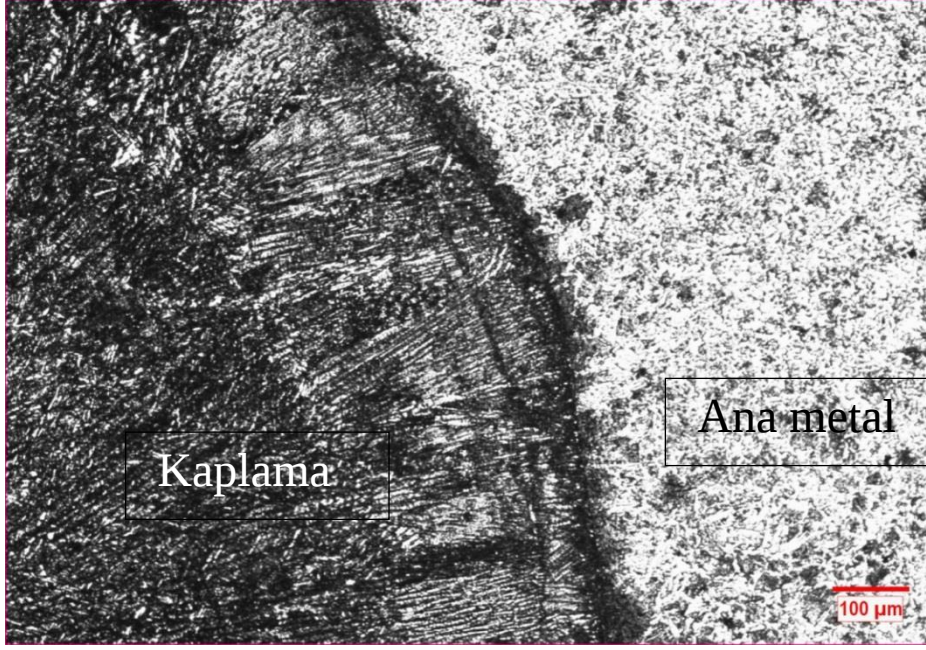


Şekil 4.21 N21 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x100)

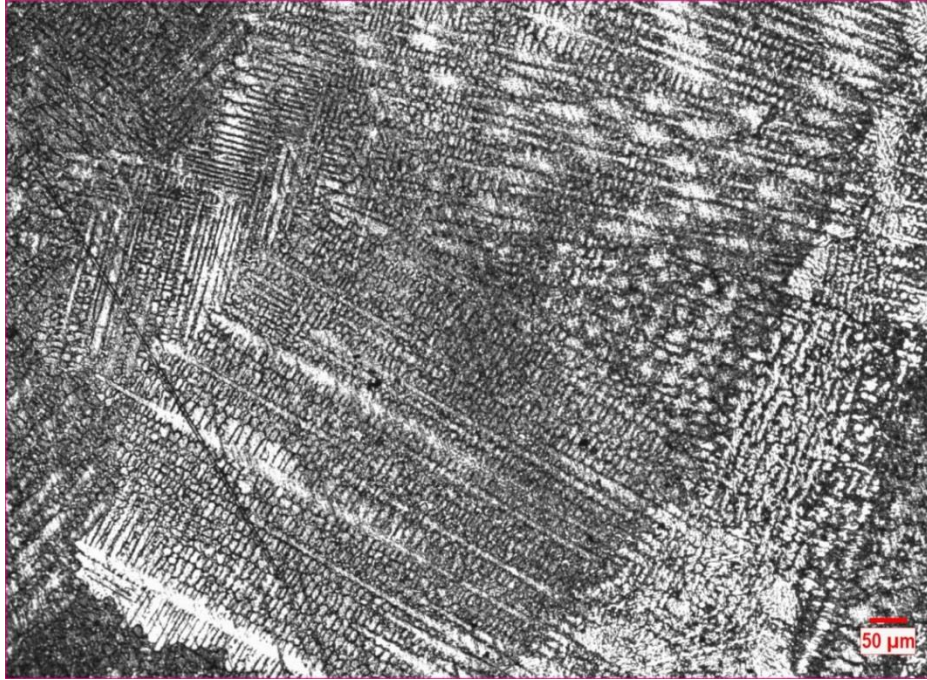


Şekil 4.22 N21 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)

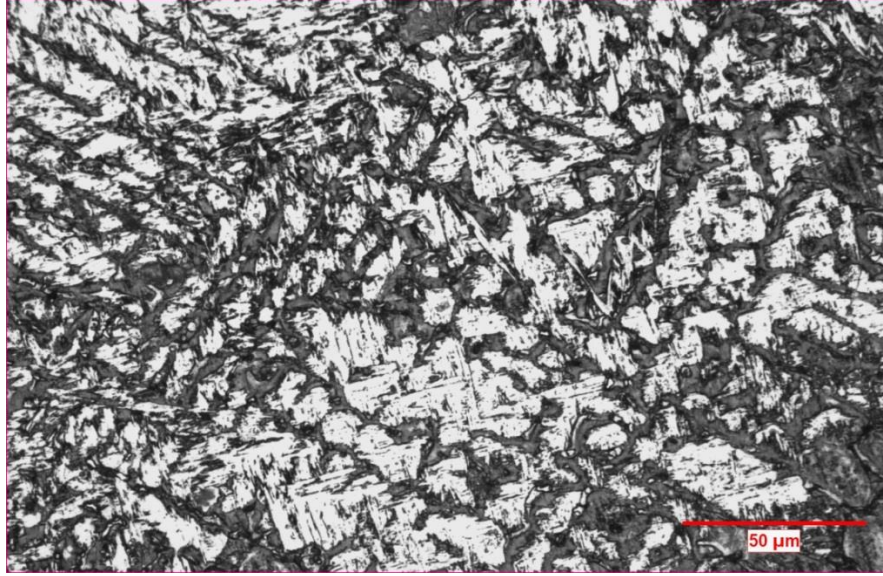
Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 incelendiğinde optik mikroskop görüntüsü verilen 190 amper 2 gr/s ve 600 °C ısıtılarak toz beslemesi yapılan N21 numunesinde dentrit yapıları düzenli şekilde oluşmuştur. Ancak yapıda çatlaklar gözlemlenmiştir. Tablo 4.3' e göre yapı içerisine geçen krom miktarı %7.68 olarak bulunmuştur. X-Ray sonuçlarına göre Cr_7C_3 ve $Cr_{23}C_6$ bileşikleri içeren östenitik bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.23 N22 numunesine ait geçiş bölgesi (x100)

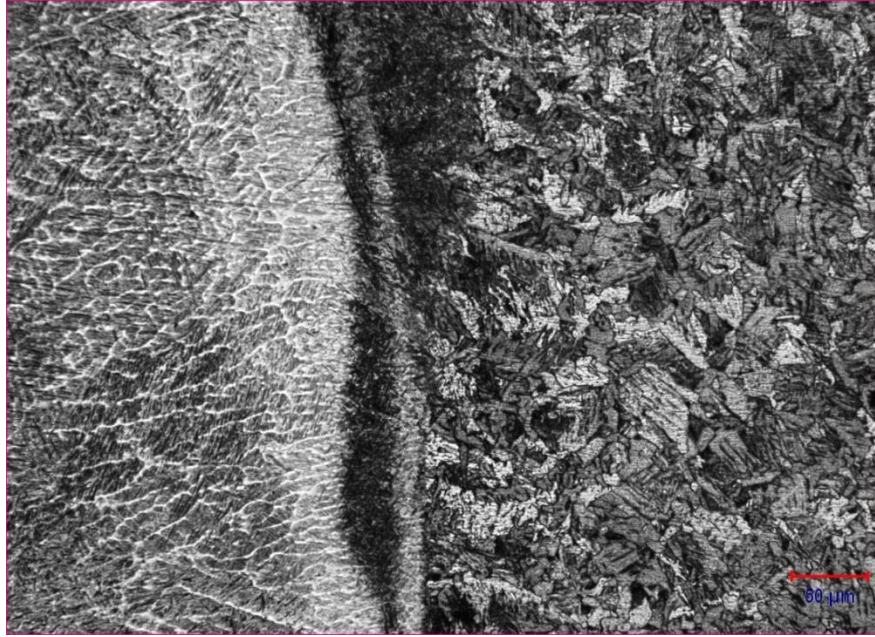


Şekil 4.24 N22 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x100)

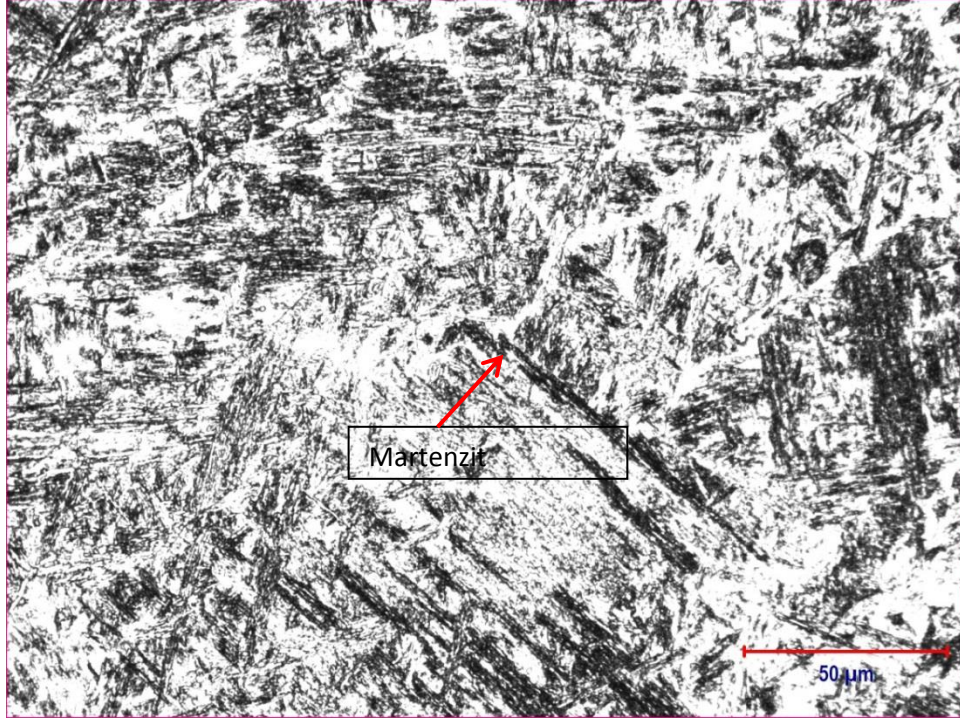


Şekil 4.25 N22 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)

190 amper ve kaplama tozu içerisinde %4 grafit ilavesi yapılan 2 gr/s toz beslemesi ile kaplamaları yapılan N22 numunesinin optik mikroskop fotoğrafları incelendiğinde yapının boşluksuz, çatlaksız ve düzgün dentritik yapıya sahip olduğu görülmüştür. Dentrit yapıları yer yer uzun ve sürekli bazı bölgelerde ise daha küresel ve süreksiz olduğu görülmüştür. Tablo 4.3'te verilen kimyasal analiz sonuçlarına göre yapı içerisinde krom oranı %10.4 olarak bulunmuş, X-Ray analizleriyle yapı içerisinde Cr_7C_3 ve Cr_{23}C_6 bileşikleri görülmüştür.



Şekil 4.26 N1 numunesine ait geçiş bölgesi (x200)



Şekil 4.27 N1 numunesine ait kaplamadan alınan optik mikroskop görüntüsü (x500)

Şekil 4.26 ve Şekil 4.27 de optik mikroskop resimleri verilen 150 amper 0.5 gr/s toz besleme oranı ile kaplamaları yapılan N1 numunesi en düşük toz besleme oranı ve en düşük akım değerinde yapılan kaplama yapısını göstermek için verilmiş yapının büyük çoğunlukla martenzitik olduğu görülmüştür. Tablo 4.3 de verilen kimyasal analiz sonuçlarına göre N1 numunesinin krom geçiş oranı %1.73'tür.

Yapılan incelemelerde toz miktarının artışına bağlı olarak mikroyapıların da değiştiği, alınan mikroyapı fotoğraflarının içerikteki FeCrC miktarına paralel olarak uyum gösterdiği görülmüştür. Kimyasal analizler, optik mikroskop fotoğrafları, SEM fotoğrafları, EDX analizleri ve XRD analizleri bu bulguları destekler nitelikte sonuçlar verdiği görülmüştür.

Yapılan mikro yapı incelemelerinde daha düşük titreşim oranlarında düşük mikrardaki toz beslemesiyle yapılan numunelerde Tablo 4.3'de de görüleceği gibi N1 numunesinde yapı içerisine krom geçişinin %1.73 gibi bir oranla oldukça az olduğu görülmüştür. Mikroyapı fotoğraflarında Şekil 4.26 ve Şekil 4.27 'de de görülebileceği gibi yapı ötektik ostenit matris içerisinde belirgin şekilde görülen martenzit yapısından oluşmuştur. Yapı dentritik yapı şeklinde gözükmemektedir. Diğer taraftan maksimum titreşim oranıyla yapılan toz beslemelerinde krom geçişi yapı içerisinde görülebilmektedir. Şekil 4.2.5.' de 150 amper 2 gr/s toz beslemesine sahip N4 numunesinde görüldüğü üzere mikroyapı dentritik şekilde oluşmuştur. N4 numunesinde kaplama bölgesi ötektik ostenitik matris ve martenzit yapısı içermekle beraber X-Ray analizlerinde Cr_7C_3 oluşmuşumu olduğu gözlemlenmiştir.

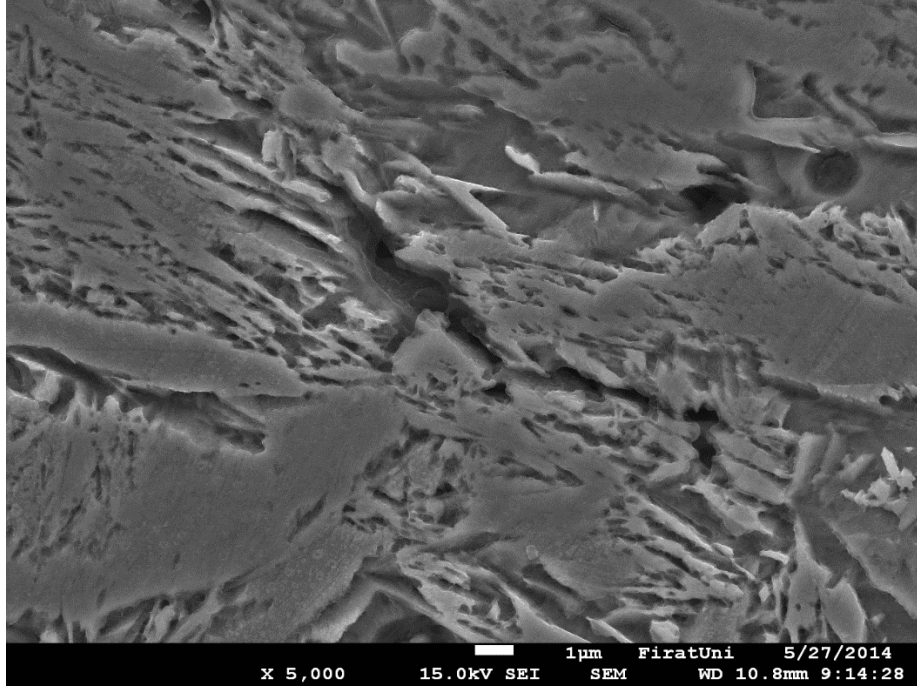
190 amper ve 220 amperlik akım kullanılan N12-N16-N20-N21 ve N22 numunelerinde artan akım değerleri ile birlikte daha belirgin ve daha düzenli dentritik yapılar görülmüştür. Buna paralel olarak yapı içerisinde görülen martenzit oranında azalma ve tane sınırlarında görülen Cr_7C_3 miktarında artış olduğu X-Ray analizleri ve EDX analizleri sonuçlarına göre görülmüştür. 170 amper 2 gr/s toz beslemesine sahip N8 ve 190 amper 2 gr/s toz besleme oranına sahip N12 numunesinde ötektik östenitik matris ve tane sınırlarında Cr_7C_3 bileşiği görülmektedir. Ayrıca X-Ray analizlerinin sonuçlarına göre N12 numunesinde Cr_{23}C_6 oluşumları başlamıştır. 220 amper 2gr/s toz beslemesiyle kaplama yapılan N16 numunesinde dentritik yapılar N12 numunesi gibi uzun ve sürekli oluşmuştur bunun yanında kaplama geçiş bölgesinden uzaklaştıkça dentritler arası mesafe arttığı görülmüştür. Yapı N12 ve N8 numunelerine benzerlik teşkil etmektedir.

Yüksek toz miktarı ve ısıtılmış tozlarla yapılan N20 numunesinde yapı östenitik matristen oluşup X-Ray sonuçlarına göre Cr_7C_3 ve Cr_{23}C_6 oluşumları görülmektedir. Cr_{23}C_6 yapısı tane içinde Cr_7C_3 yapısı ise tane sınırlarında görülmektedir. Dentritler daha dar ve daha düzenli şekilde oluşum göstermiştir. Uzun sürekli dentritlerin yanında daha yuvarlak süreksiz dentrit yapılarında Şekil 4.17’ de ve Şekil 4.18’ de görülmüştür. Tozların 600 °C sıcaklıkta ısıtılarak 2gr/s toz besleme oranıyla 190 amperde kaplama yapıldığı N21 numunesinde ise yapı 400 °C’ye kadar ısıtılan tozlarla kaplama yapılan N20 kaplama numunesi ile benzeşmektedir. Ancak dentritler daha süreksiz oluşmuş ve daha rastgele yönelmiştir. Yapı içerisindeki Cr_7C_3 ve Cr_{23}C_6 oranları daha az görülmektedir. Şekil 4.20-Şekil 4.22.’de görüldüğü gibi mikroyapıda çatlaklar oluşmuştur. N22 numunesinde ise dentritler son derece düzgün yönelmiş ve sürekli bir oluşum göstermiştir. Buna sebep olarak difüzyon ve ısı girdisi düşünülmektedir. Yapı östenitik matristen oluşmaktadır. Cr_{23}C_6 oluşumları oldukça belirgin şekilde görülmektedir. Aynı şekilde Cr_7C_3 oluşumları östenitik matris içerisinde görülmektedir. Mikroyapı çatlaksız ve homojen bir oluşum göstermiştir.

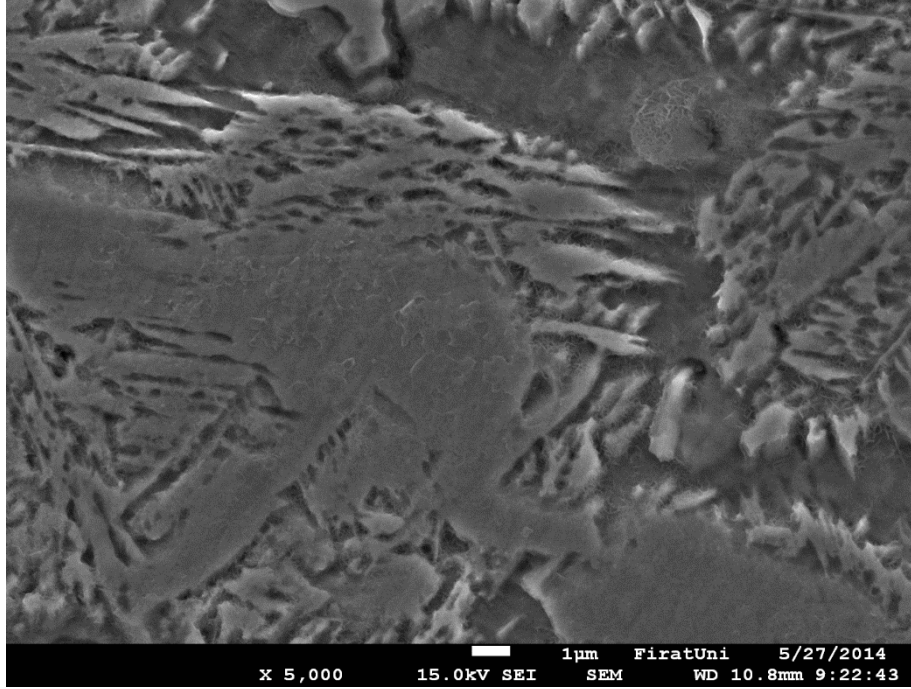
Verilen optik mikroskop resmlerinden de görüleceği gibi, mikro yapıda hedeflenen Cr_{23}C_6 ve Cr_7C_3 bileşikleri elde edilmiştir. Bu durum gerek literatür [21,24,28,38] gerekse X-Ray analizleriyle desteklenmiştir.

4.4 SEM İnceleme Sonuçları

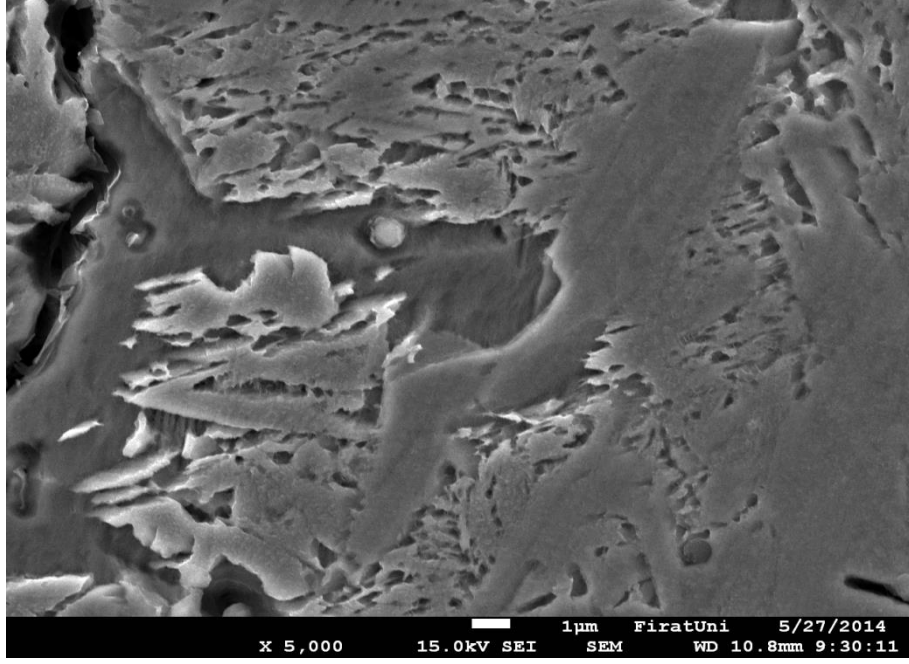
Deney parametrelerine bağlı olarak yapılan kaplamaların SEM görüntüleri Şekil 4.28-Şekil 4.48’de verilmiştir. Numuneler SEM ile incelenerek x5000 büyütmede fotoğrafları çekilen numunelerin fotoğrafları ve EDX analizleri her numune için (a)-geçiş bölgesinin hemen üstünden, (b)-kaplama bölgesinin merkezinden ve (c)-kaplama bölgesinin üst kısmından olacak şekilde alınmıştır. Şekil 4.2.28- Şekil 4.2.48.’de kaplama numunelerinin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.28 N4 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (a) bölgesi

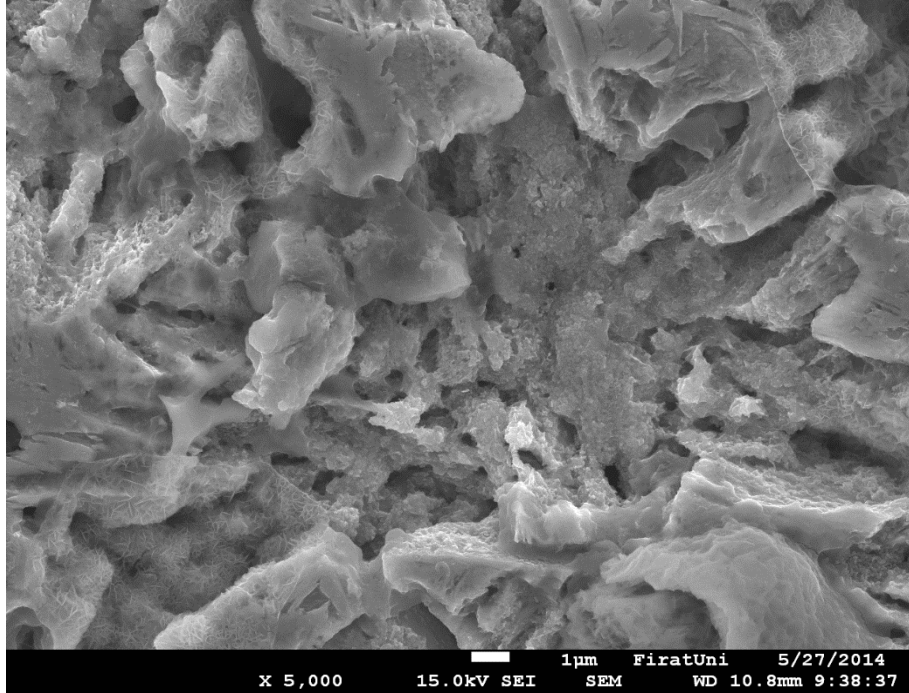


Şekil 4.29 N4 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (b) bölgesi



Şekil 4.30 N4 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (c) bölgesi

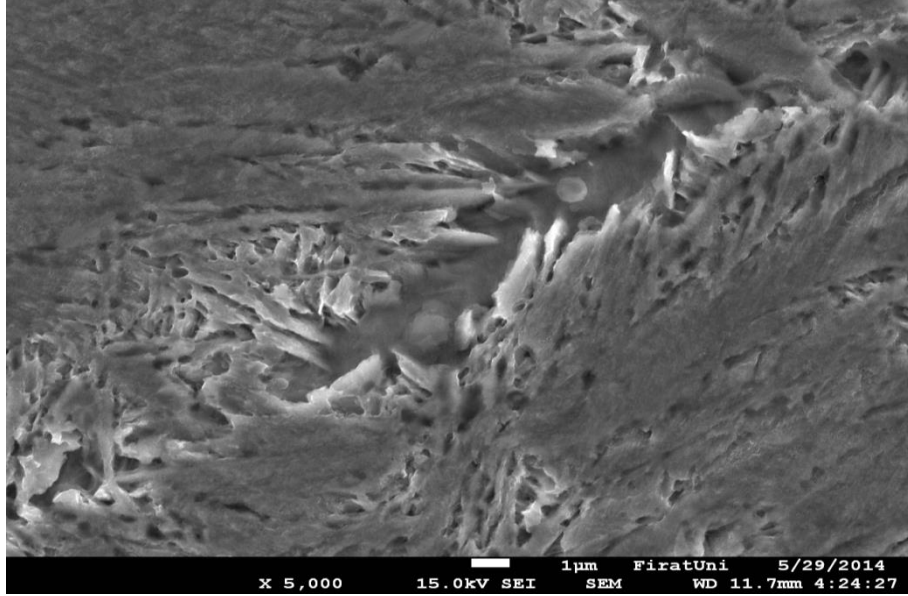
Şekil 4.28-4.30'da SEM görüntüleri verilen 150 amper 2 gr/s toz beslemesine sahip N4 numunesinde yapının çoğunlukla iğne şeklinde martenzit şeklinde olduğu görülmektedir. Her 3 resimde de homojen şekilde martenzit iğneleri görülebilmektedir.



Şekil 4.31 N8 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (a) bölgesi

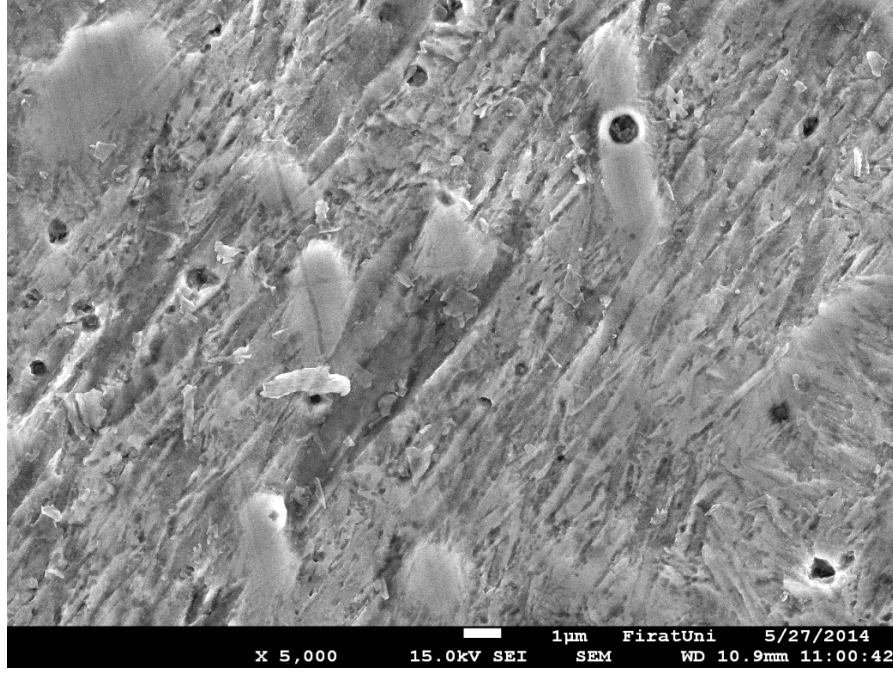


Şekil 4.32 N8 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (b) bölgesi

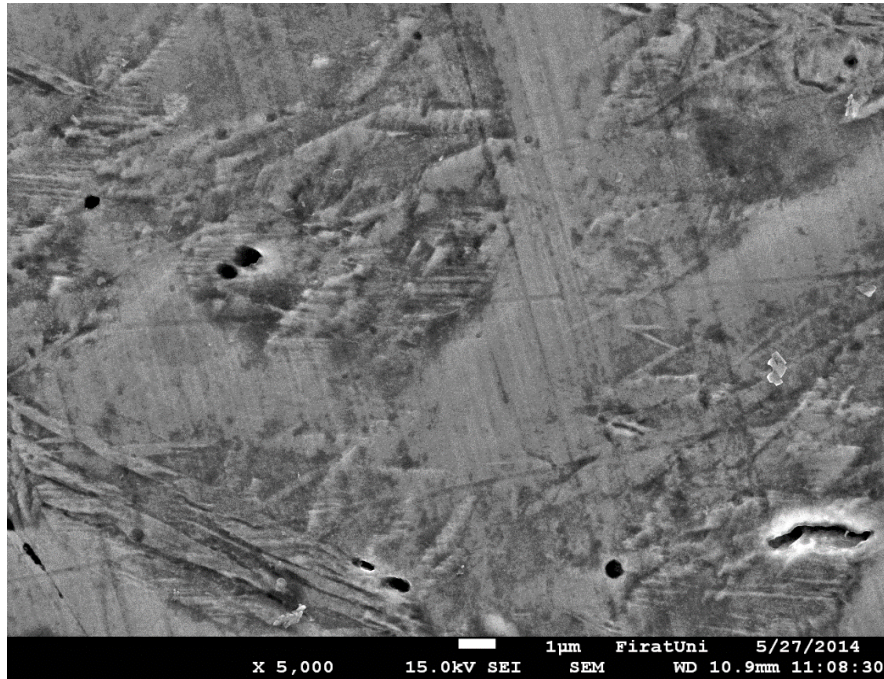


Şekil 4.33 N8 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (c) bölgesi

Şekil 4.31- Şekil 4.33’de 170 amper akım ve 2 gr/s toz beslemesi ile kaplama yapılmış N8 numunesinin SEM görüntüleri verilmiştir. N8 numunesinin sem görüntüleri incelendiğinde her 3 resimde de martenzit iğneleri görülmekte, olup optik mikroskop görüntüleri ile uyum göstermektedir.



Şekil 4.34 N12 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (a) bölgesi

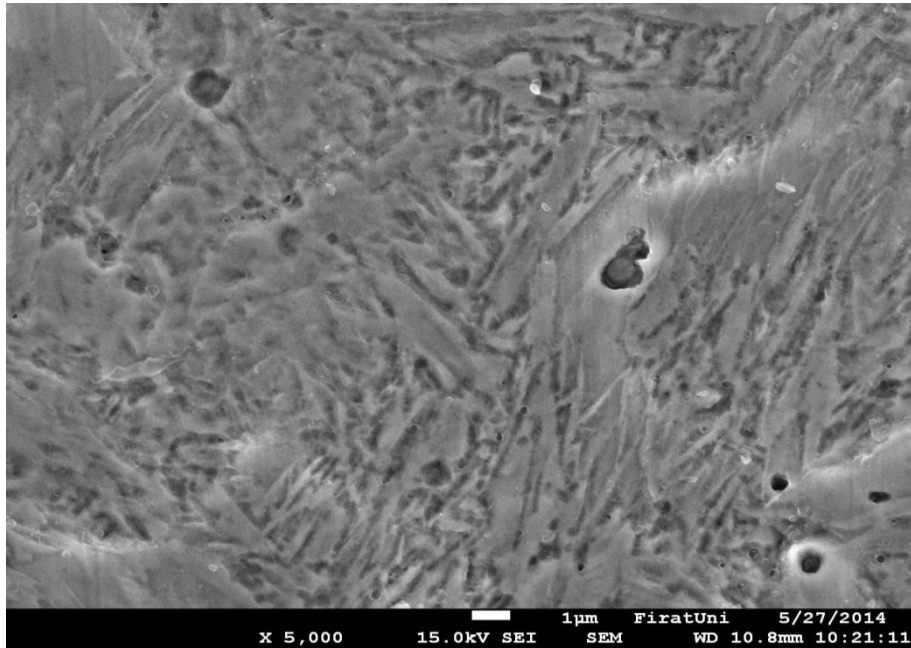


Şekil 4.35 N12 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (b) bölgesi



Şekil 4.36 N12 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (c) bölgesi

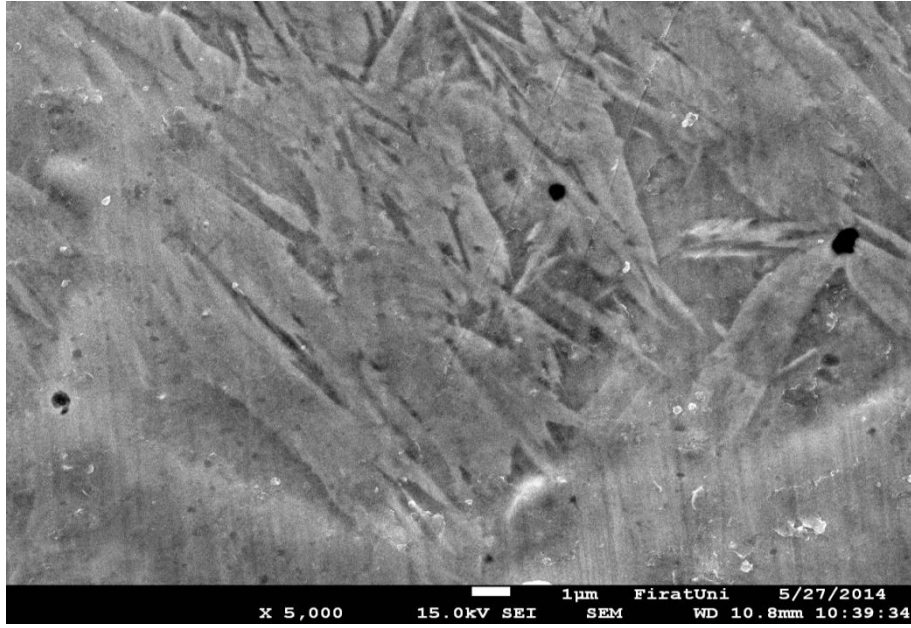
Şekil 4.34, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’da SEM görüntüleri verilen 190 amper 2 gr/s toz besleme ile kaplama yapılan N12 numunesi incelendiğinde yapıda martenzit iğneleri görülmekte ancak 150 ve 170 amper akımlarda aynı oranda toz beslemesi yapılan N4 ve N8 numunesine göre daha az ve daha yüzeysel olarak görülmektedir.



Şekil 4.37 N16 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (a) bölgesi

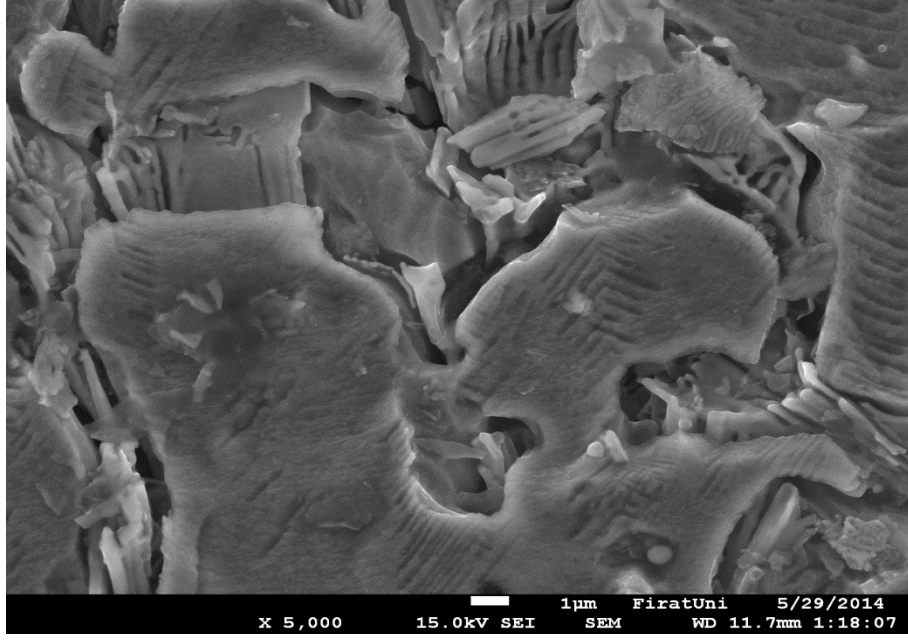


Şekil 4.38 N16 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (b) bölgesi

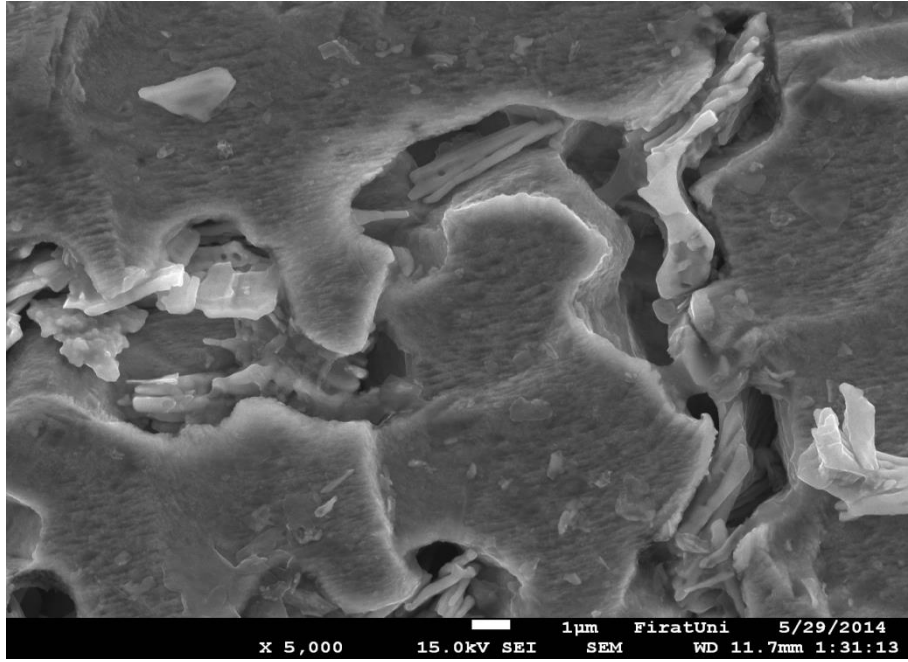


Şekil 4.39 N16 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (c) bölgesi

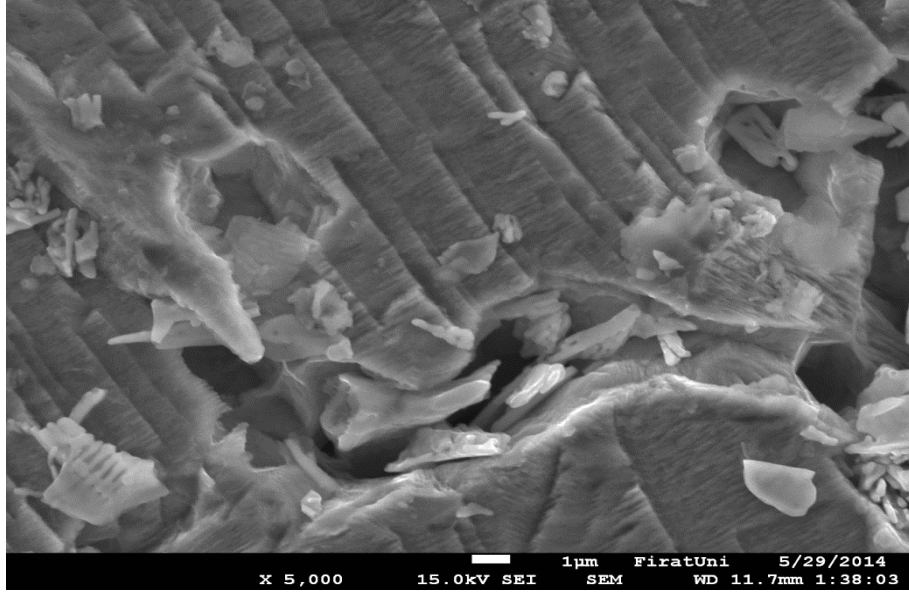
220 amper ve 2 gr/s toz beslemesi ile kaplama yapılan N16 numunesinin SEM görüntüleri incelendiğinde martenzitik yapı görülmektedir. Yapı 190 amper 2 gr/s toz besleme ile kaplama yapılan N16 numunesine benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.40 N20 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (a) bölgesi

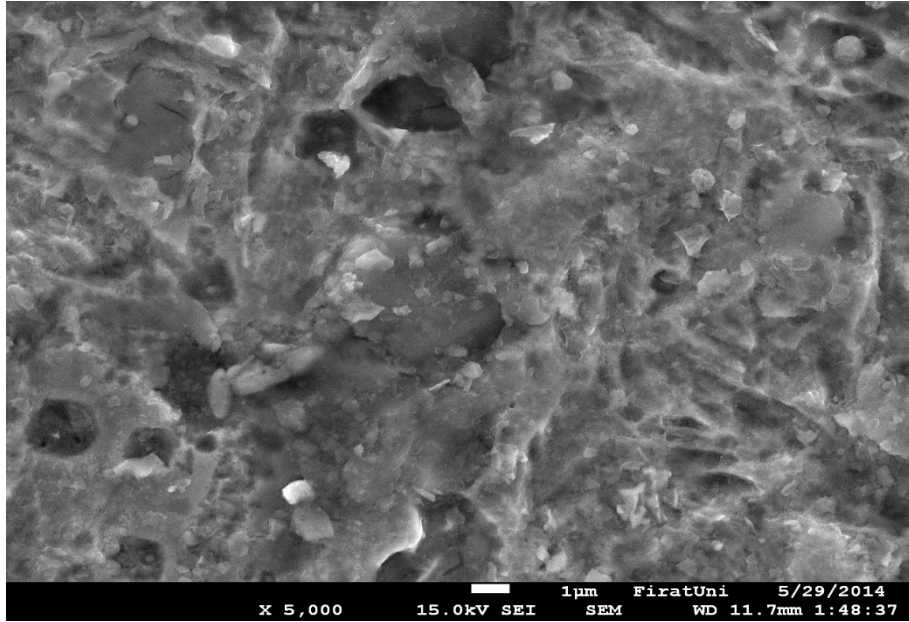


Şekil 4.41 N20 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (b) bölgesi

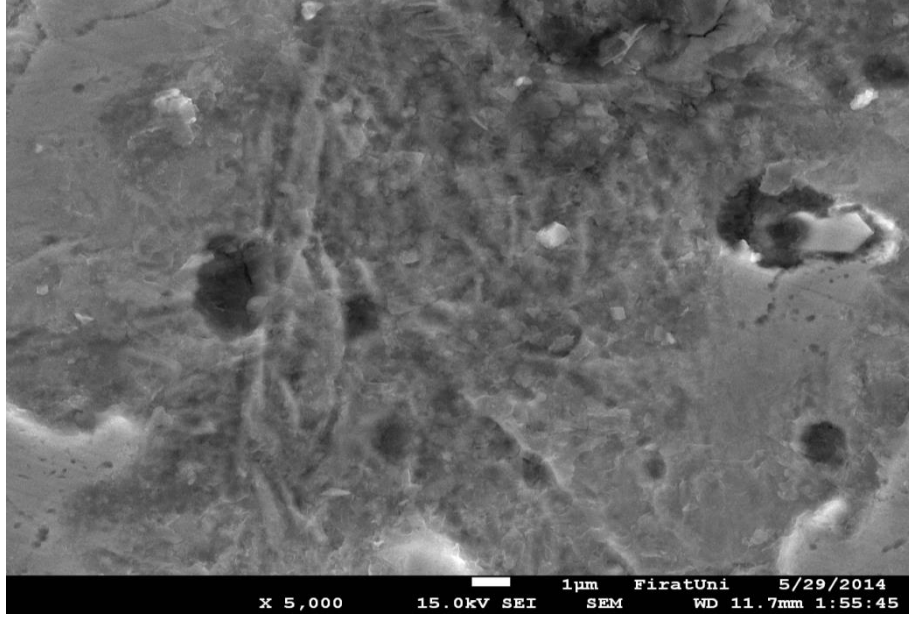


Şekil 4.42 N20 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (c) bölgesi

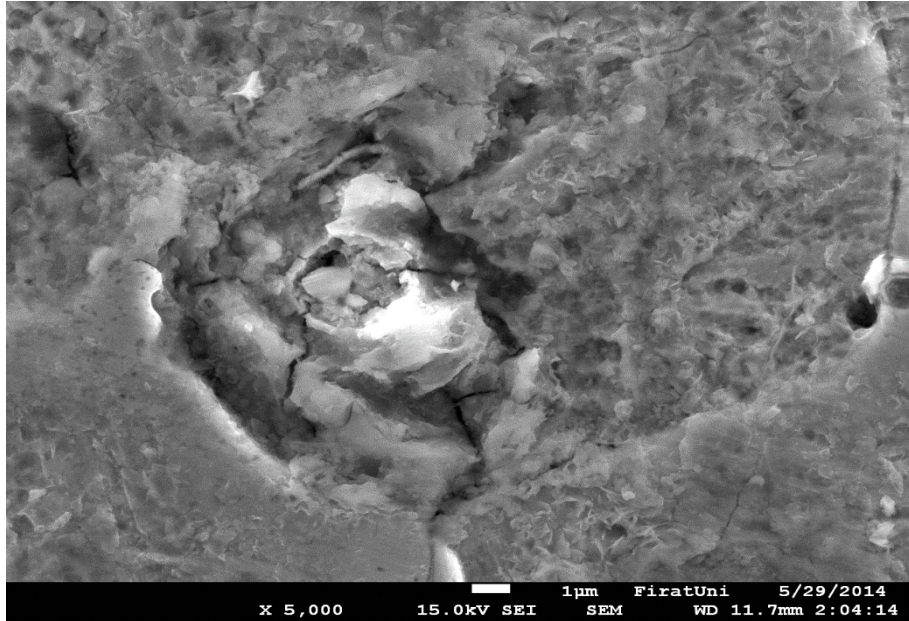
Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42 de 190 amper 2 gr/s toz besleme oranıyla ve FeCrC tozları 400 °C ‘ye ısıtılarak kaplama yapılan N20 numunesinin kaplama bölgelerinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir. N20 numunesinde Tablo 4.3’deki kimyasal analizinde krom oranı %10.3 olarak bulunmuştur. Yapı içerisinde martenzit yapıları görülememekdir. Yapı östenitik bir matrise sahiptir. Tane sınırlarında parçalanmalar görülmüştür.



Şekil 4.43 N21 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (a) bölgesi

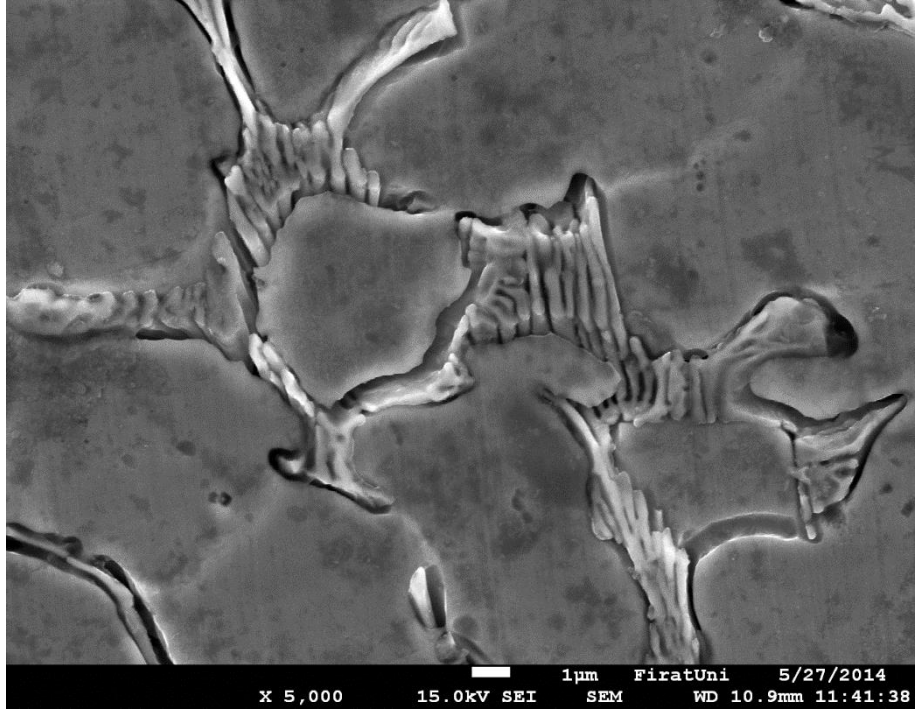


Şekil 4.44 N21 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (b) bölgesi

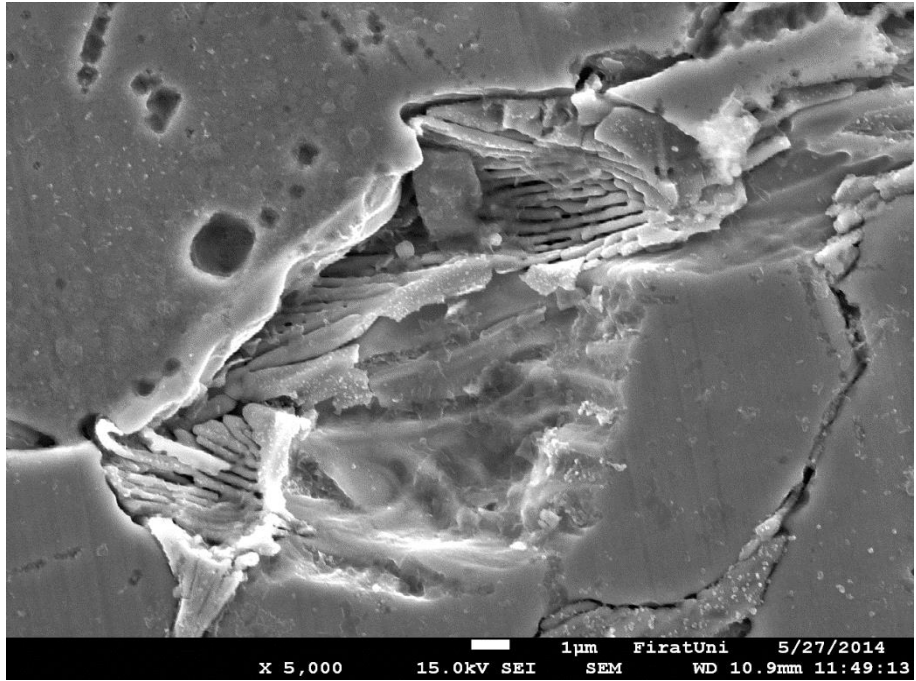


Şekil 4.45 N21 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (c) bölgesi

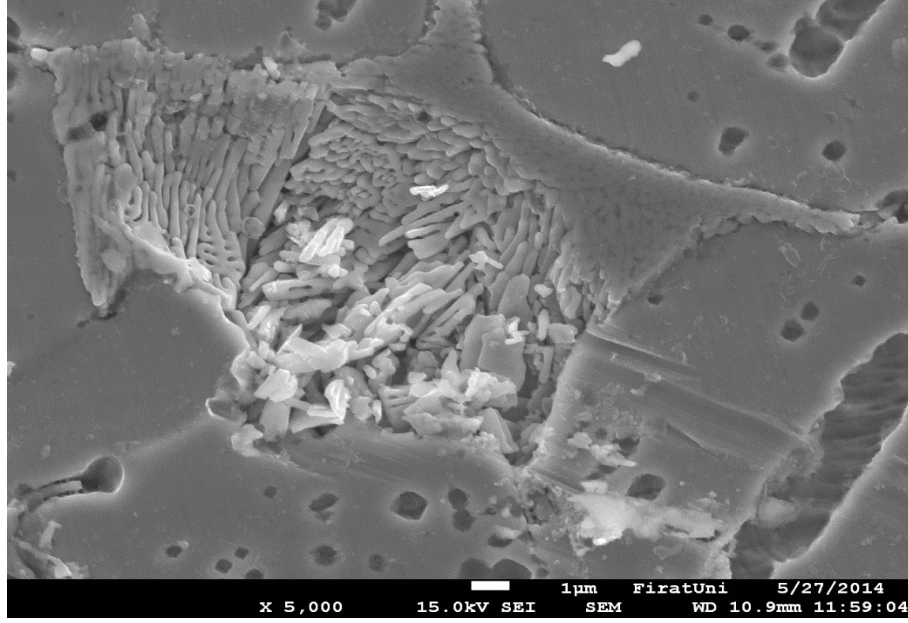
Kaplama parametreleri 190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve kaplama tozlarının 600 °C'ye ısıtılarak verildiği N21 numunesinin SEM görüntüleri Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45 de verilmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde her üç resimde de yapı ostenitik matris'e sahiptir. Yüzeyde kısmi parçalanmalar görülmektedir.



Şekil 4.46 N22 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (a) bölgesi



Şekil 4.47 N22 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (b) bölgesi



Şekil 4.48 N22 numunesine ait kaplamadan alınan SEM görüntüsü (c) bölgesi

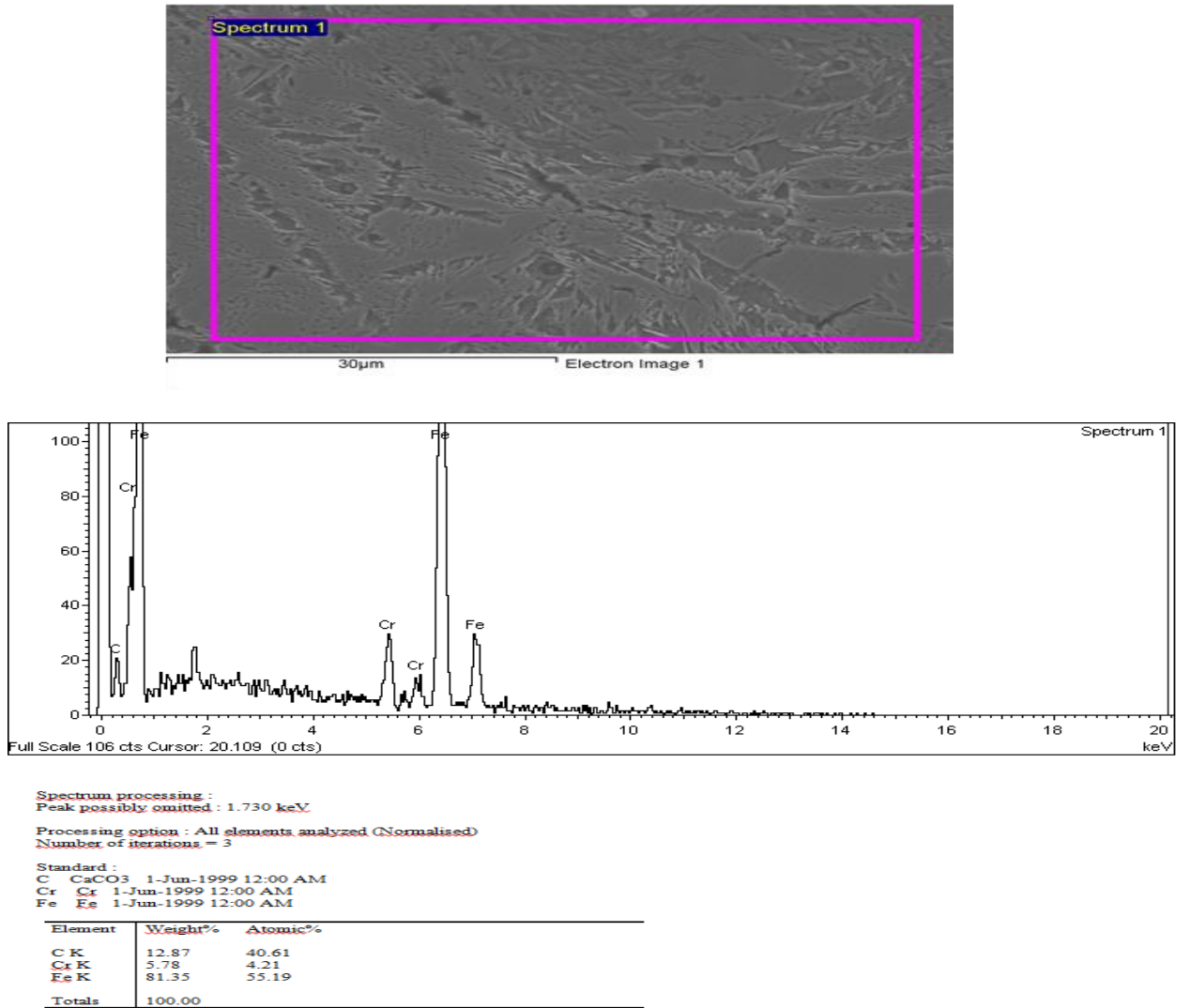
190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve FeCrC içerisine %4 grafit takviyesi yapılan N22 numunesinin SEM görüntüleri Şekil 4.46, Şekil 4.47 ve Şekil 4.48’de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde yapının ostenitik matrise sahip olduğu X-Ray analizlerinde yapı içerisinde demir karbür bileşikleri yanında Cr_{23}C_6 ve Cr_7C_3 bileşiklerinin de olduğu görülmüştür.

SEM incelemelerinden alınan sonuçlarda 150 amper 2 gr/s toz besleme oranına sahip N4 numunesi için martenzitik yapı görülmekte olup (c) bölgesine gidildikçe krom miktarının arttığı EDX analizlerinde görülmüştür. 170 amper N8, 190 amper N12 ve 220 amper N16 kaplama numunelerinde de yine aynı şekilde yapılar görülmektedir. Bu numunelerde martenzit oranı azaldığı östenitik matrisin daha belirgin hale geldiği görülmüştür. N12 numunesinde Cr_{23}C_6 oluşumları başladığı X-Ray analizleriyle görülmüştür. 190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve 400 °C ye ısıtılan tozlarla kaplama yapılan N20 numunesinde ötektik matris içerisinde Cr_{23}C_6 bileşikleri olduğu tane sınırlarında ise Cr_7C_3 bileşikleri olduğu görülmektedir. (c) bölgesinde bir miktar Cr_7C_3 ’ün parçalanmış olduğu görülmektedir. N21 kaplama numunesinde Cr_{23}C_6 ve Cr_7C_3 oluşumları görülmekte ancak miktarı N20 numunesine göre daha az, martenzit oranının ise daha fazla olduğu görülmektedir. N22 numunesinde N20 numunesine benzer bir yapı gözlemlenmektedir. Bunun yanında N22 numunesindeki taneler daha düzgün tane sınırlarındaki Cr_7C_3 parçalanması daha az oluşmuştur.

SEM incelenmeleri sonucu SEM fotoğrafları optik mikroskop fotoğraflarına uyum göstermiş literatür taramalarıyla karşılaştırıldığında benzerlik gösterdiği görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen yapılar özgün sonuçlar vermiştir. [21,24,28,38].

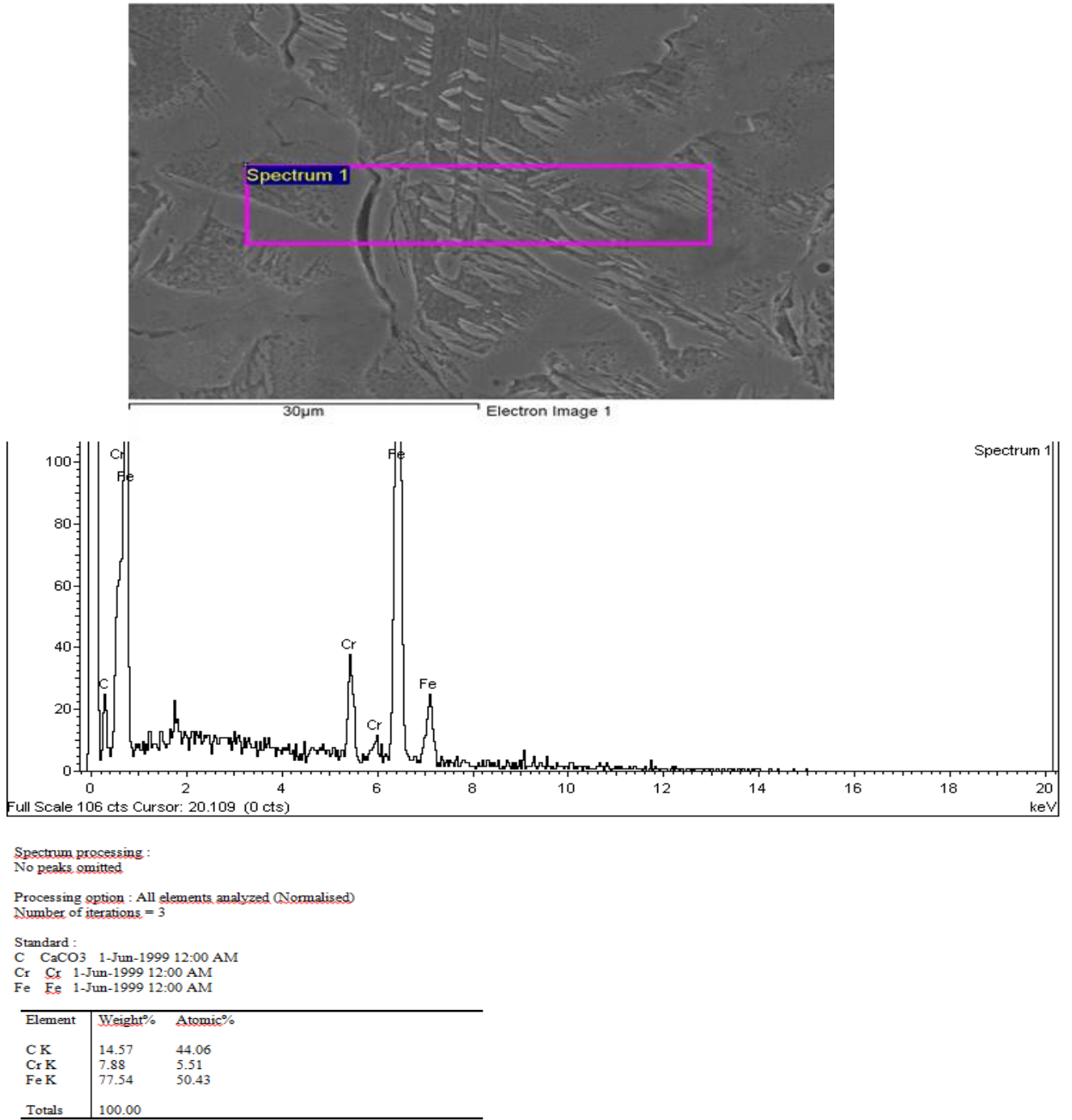
4.5 EDX Analiz Sonuçları

Deney parametrelerine göre kaplamaları yapılmış olan numunelerin EDX analizleri x2000 büyütmede alınmış yapı içerisindeki krom oranlarının spektrometre ile alınan kimyasal analiz sonuçlarına uygunluğunun incelenmesi için alan taraması şeklinde yapılmıştır. Şekil 4.49 -Şekil 4.55’ de kaplama numuneleri için EDX sonuçları verilmiştir.



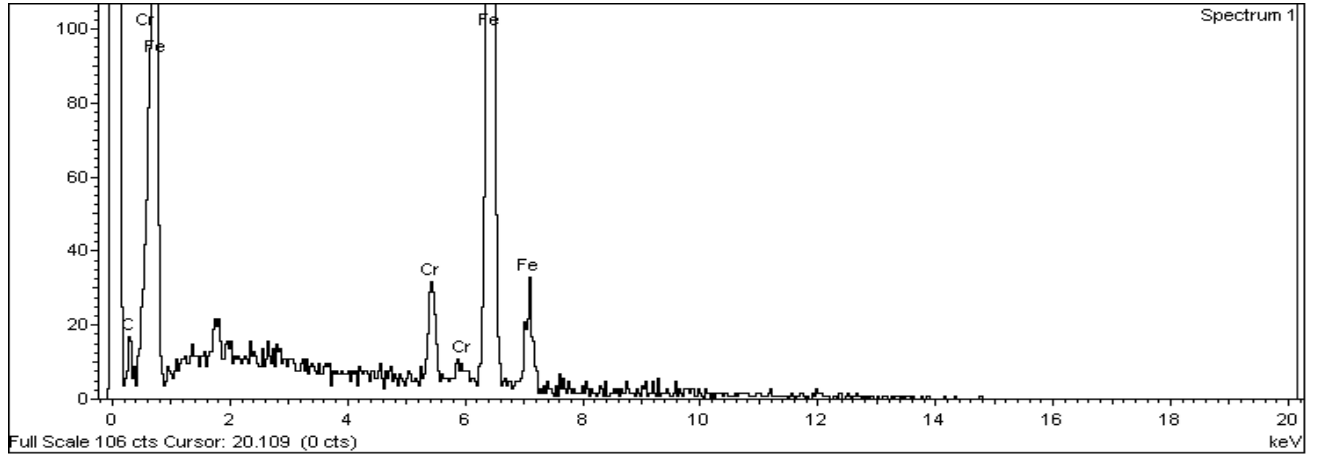
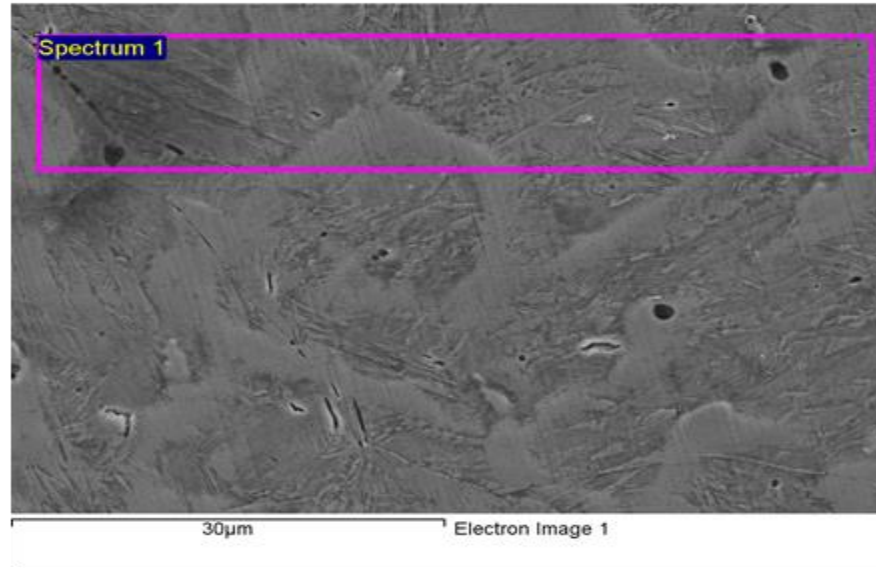
Şekil 4.49 N4 numunesine ait kaplamadan alınan EDX sonuçları

Şekil 4.49’ da 150 amper 2 gr/s toz beslemesi ile kaplama yapılan N4 numunesinde yapı içerisindeki krom miktarı yüzde ağırlık olarak %5.78 bulunmuştur. Tablo 4.3’deki kimyasal analiz sonuçlarına yakın bir değer olduğu görülmüştür.



Şekil 4.50 N8 numunesine ait kaplamadan alınan EDX sonuçları

Şekil 4.50’de EDX analizleri verilen 170 amper 2 gr/s toz besleme oranında kaplama yapılan N8 numuneside yapı içerisine geçen krom miktarı ağırlıkça %7.88 bulunmuştur. Tablo 4.3’de verilen kimyasal analiz sonuçlarına uygun olduğu görülmüştür.



Spectrum processing :
No peaks omitted

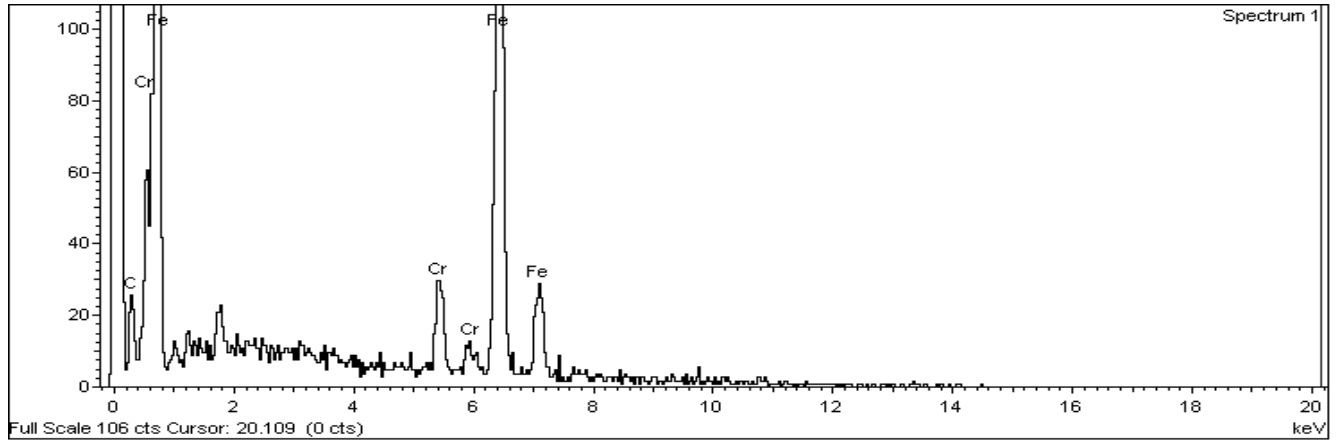
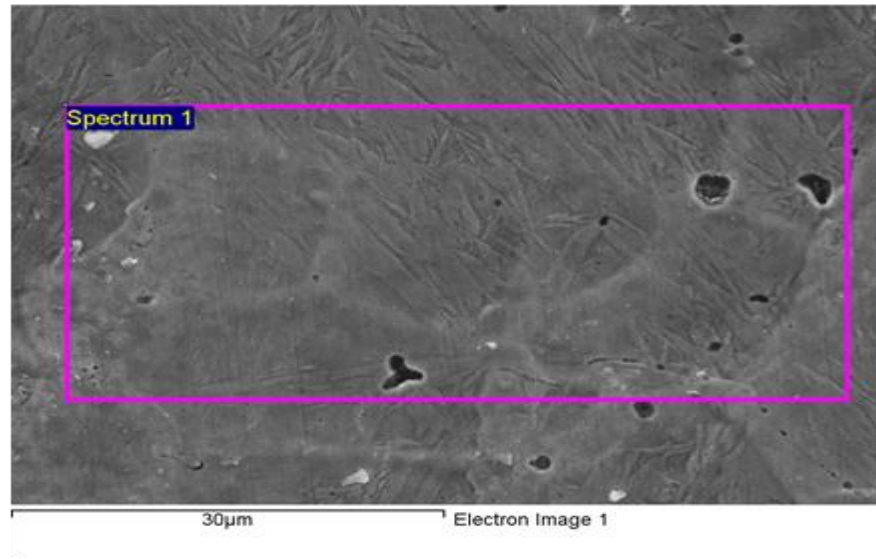
Processing option : All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :
C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	11.75	38.10
Cr K	6.45	4.83
Fe K	81.81	57.07
Totals	100.00	

Şekil 4.51 N12 numunesine ait kaplamadan alınan EDX sonuçları

Şekil 4.51’de EDX analizleri verilen 190 amper 2 gr/s toz besleme oranında kaplama yapılan N12 numuneside yapı içerisine geçen krom miktarı ağırlıkça %6.45 bulunmuştur. Tablo 4.3’de verilen kimyasal analiz sonuçlarına benzer olduğu görülmüştür.



Spectrum processing :
No peaks omitted

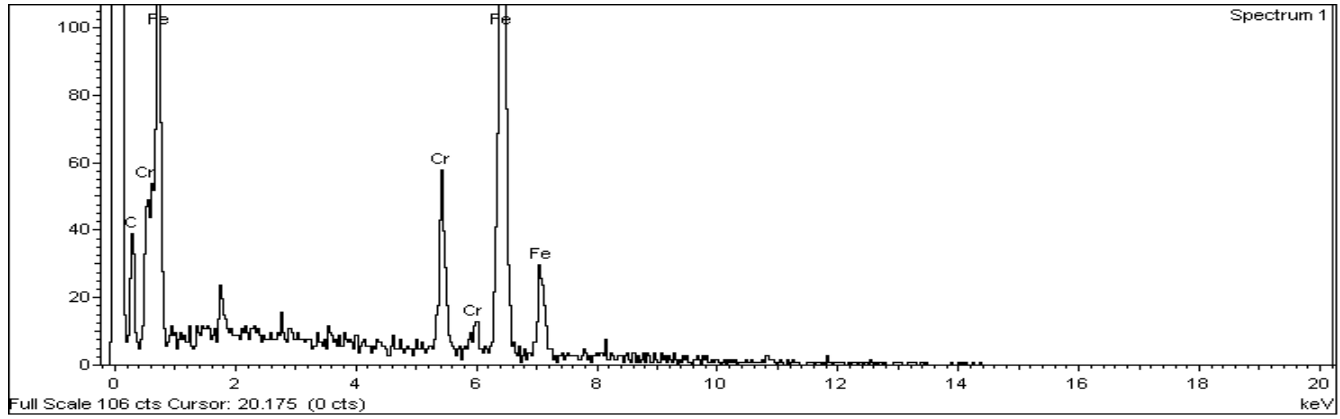
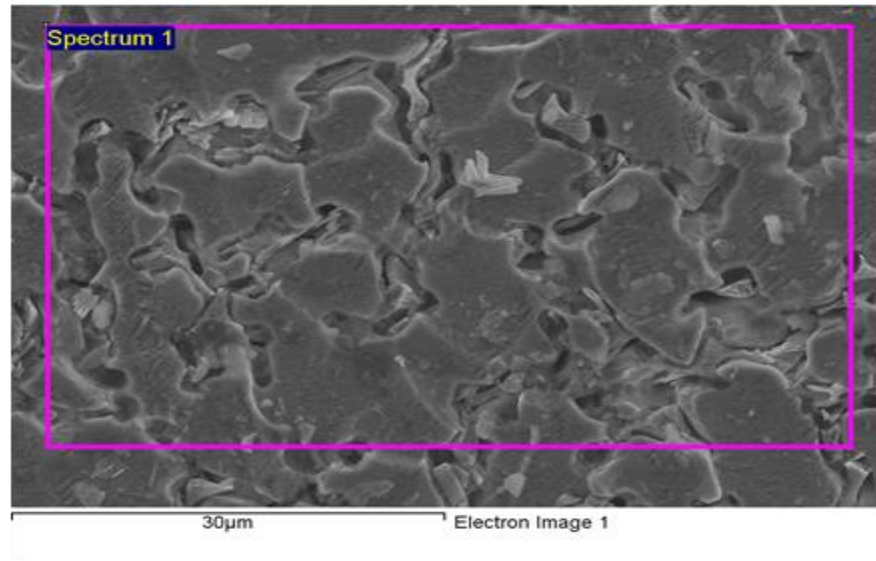
Processing option : All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :
C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	15.60	46.08
Cr K	6.31	4.31
Fe K	78.09	49.61
Totals	100.00	

Şekil 4.52 N16 numunesine ait kaplamadan alınan EDX sonuçları

Şekil 4.52’de EDX analizleri verilen 220 amper 2 gr/s toz besleme oranında kaplama yapılan N16 numuneside yapı içerisine geçen krom miktarı ağırlıkça %6.31 bulunmuştur. Tablo 4.3’de verilen kimyasal analiz sonuçlarına uygun olduğu görülmüştür.

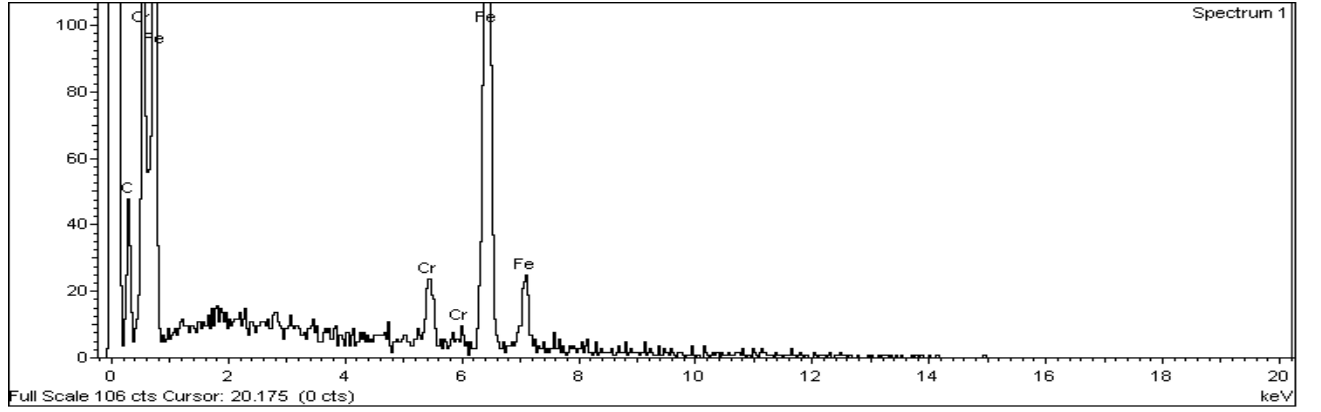
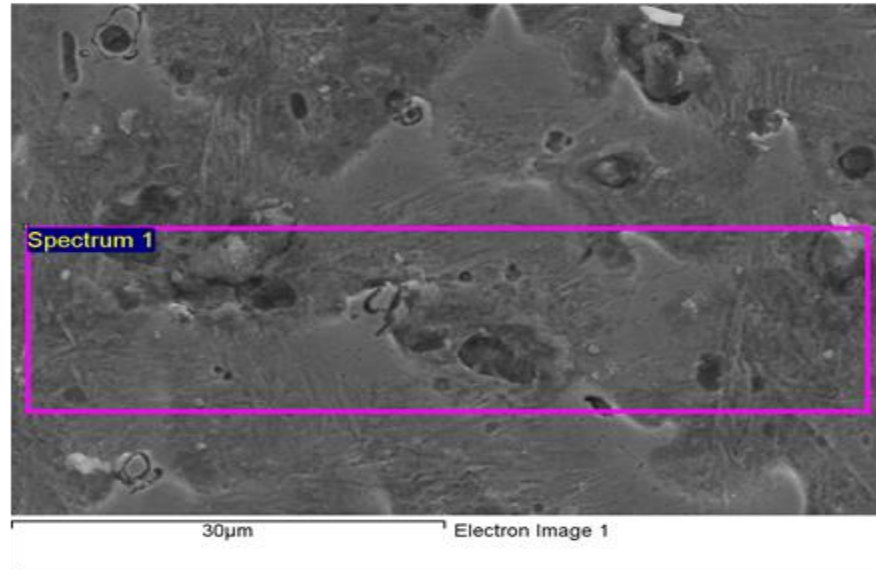


Spectrum processing :
 Peak possibly omitted : 1.740 keV
 Processing option : All elements analyzed (Normalised)
 Number of iterations = 3
 Standard :
 C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM
 Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
 Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	19.87	53.27
Cr K	11.88	7.36
Fe K	68.25	39.37
Totals	100.00	

Şekil 4.53 N20 numunesine ait kaplamadan alınan EDX sonuçları

Şekil 4.53’de EDX analizleri 190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve kaplama tozlarının 400 °C’ye ısıtılarak verildiği N20 numunesinin yapı içerisine geçen krom miktarı ağırlıkça %11.88 bulunmuştur. Tablo 4.3’de verilen kimyasal analiz sonuçlarına uygun olduğu görülmüştür.



Spectrum processing :
No peaks omitted

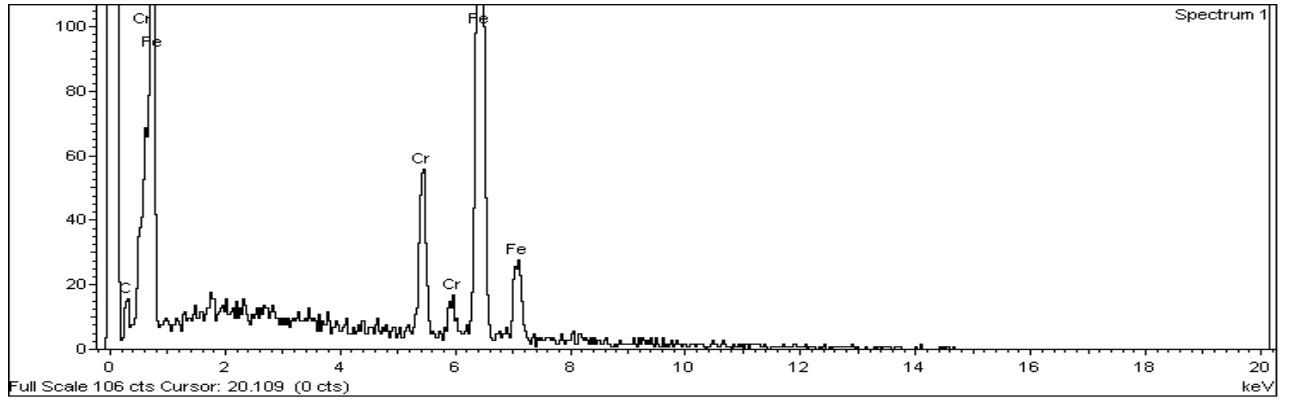
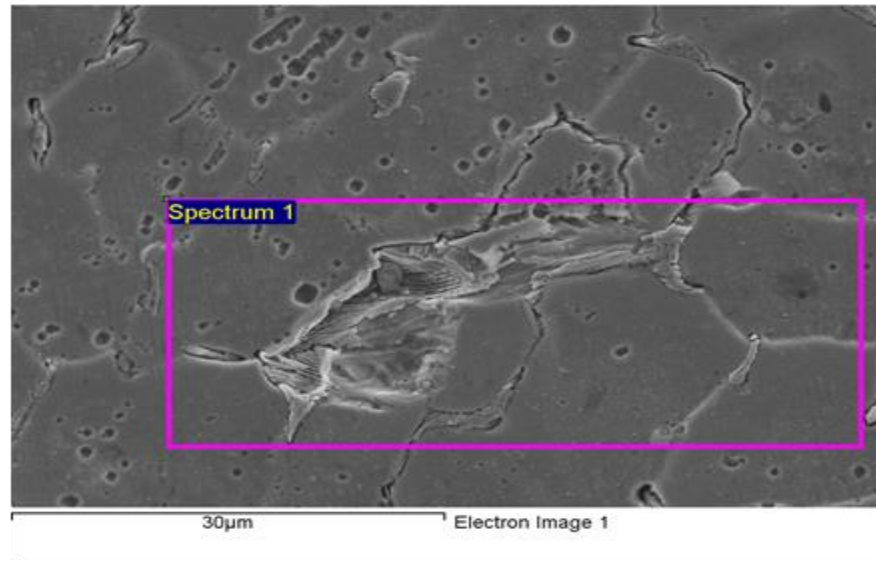
Processing option : All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :
C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	21.18	55.43
Cr K	5.16	3.12
Fe K	73.66	41.46
Totals	100.00	

Şekil 4.54 N21 numunesine ait kaplamadan alınan EDX sonuçları

Şekil 4.53’de EDX analizleri 190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve kaplama tozlarının 600 °C’ye ısıtılarak verildiği N21 numunesinin yapı içerisine geçen krom miktarı ağırlıkça %5.16 bulunmuştur. Tablo 4.3’de verilen kimyasal analiz sonuçlarına uygun olduğu görülmüştür.



Spectrum processing :
Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)
Number of iterations = 3

Standard :
C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	11.58	37.60
Cr K	12.57	9.43
Fe K	75.85	52.97
Totals	100.00	

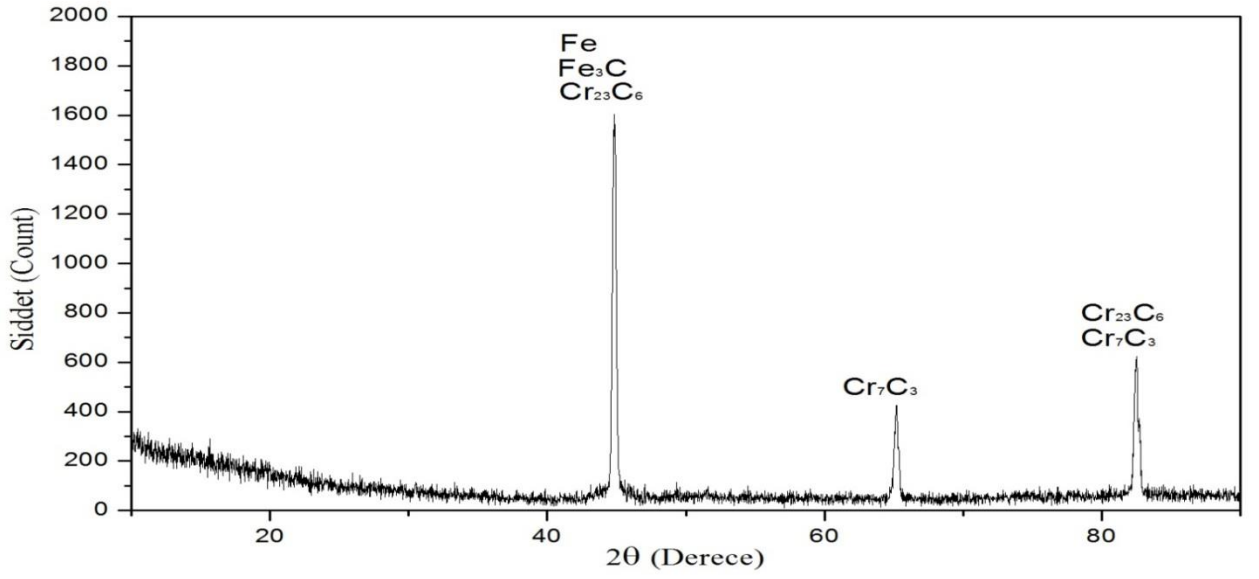
Şekil 4.55 N22 numunesine ait kaplamadan alınan EDX sonuçları

Şekil 4.55’de EDX analizleri 190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve kaplama tozu içerisine % 4 grafit eklenerek kaplama yapılan N22 numunesinin yapı içerisine geçen krom miktarı ağırlıkça %12.57 bulunmuştur. Tablo 4.3’de verilen kimyasal analiz sonuçlarına uygun olduğu görülmüştür.

Kaplama yapılan numunelerden alınan EDX sonuçları değerlendirildiğinde 150 amper 2 gr/s toz besleme oranıyla kaplama yapılan N4 numunesindeki krom geçiş oranı ağırlıkça % 5.78 bulunmuştur. Tablo 4.3’de verilen kimyasal analiz sonucuna göre bir ağırlıkça %4.42 bulunmuştur. 170 amper ve 2 gr/s toz besleme oranıyla kaplama yapılan N8 numunesindeki krom geçiş oranı EDX analizine göre ağırlıkça %7.88 bulunmuştur. Kimyasal analiz sonuçlarında ise ağırlıkça %7.51 bulunmuştur. 190 amper 2gr/s parametrelerine sahip N12 numunesinde EDX analizi krom miktarı ağırlıkça %6.45 ve kimyasal analiz sonucuna göre ağırlıkça %7.76 olara bulunmuştur. 220 amper ve 2 gr/s toz besleme parametrelerine sahip N16 numunesinin EDX sonucunda krom geçiş oranı ağırlıkça %6.31, kimyasal analiz sonucuna göre ise %7.72 bulunmuştur. 190 amper 600 °C ye ısıtılmış tozlarla kaplama yapılan N21 numunesinde EDX sonucu %5.16, kimyasal analiz sonucu ise % 7.68 bulunmuştur. Krom oranlarına bakılan numunelerde en yüksek krom miktarları 190 amper 2gr/s toz besleme ve 400 °C ısıtılmış tozlarla kaplama yapılan N20 numunesinde EDX sonucuna göre ağırlıkça %11.88, kimyasal analiz sonucuna göre ise %10.3 ve ve 190 amper 2 gr/s toz besleme ve %4 grafit takviyeli tozlarla kaplama yapılan N22 numunesinde EDX analizine göre %12.57, kimyasal analiz sonucuna göre ise %10.4 olarak bulunmuştur. Analiz sonuçlarındaki küçük farklılıkların sebebi EDX analizinin sadece küçük bir alanda alınması spektrometre ile alınan kimyasal analizin ise kaplamanın tamamından alınması olarak düşünülmektedir. EDX analizlerinde alınan sonuçların kimyasal analiz sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür. EDX analizleri literatür ile karşılaştırıldığında literatürle uygun olduğu görülmüştür. [10,18,22,38]. Alınan sonuçlar sadece bu tez çalışmasındaki numunelerde görülmüştür.

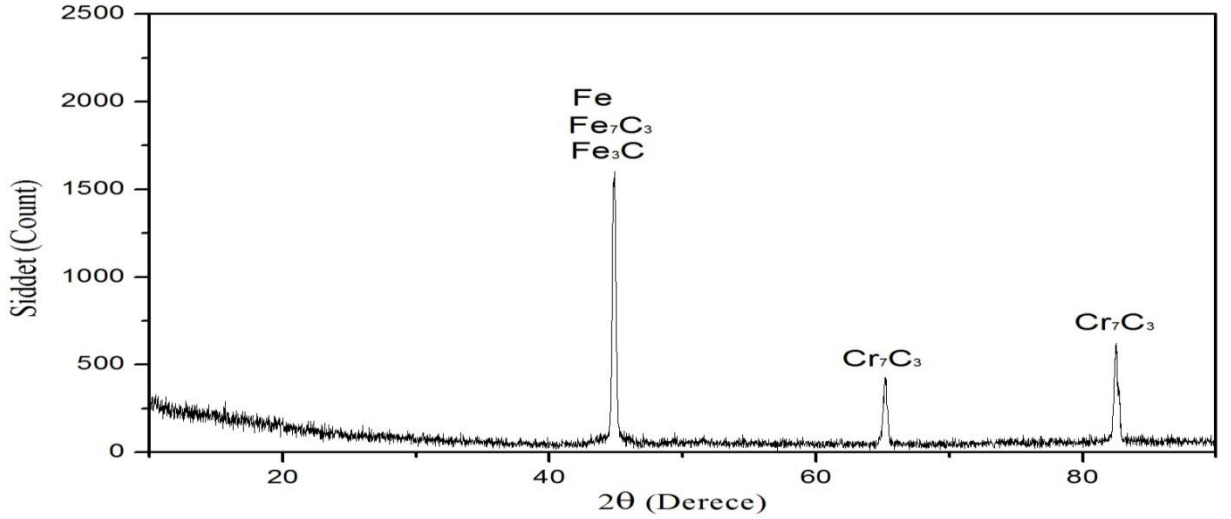
4.6 X-RAY Difraksiyon (XRD) Sonuçları

AISI 1020 çelik malzemesi üzerine farklı parametrelerle yapılan kaplamaların maksimum toz besleme oranına (2 gr/s) sahip numuneleri için X-Ray analiz grafikleri Şekil 4.56 - Şekil 4.62’de verilmiştir.



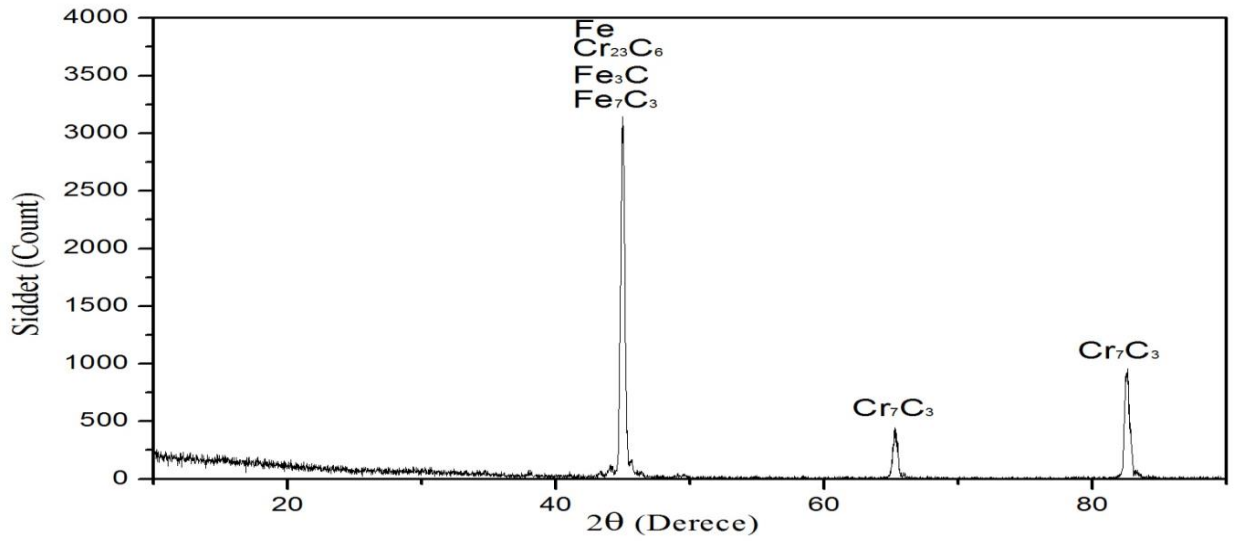
Şekil 4.56 N4 numunesine ait kaplamadan alınan XRD sonucu

150 amper 2 gr/s toz besleme oranı ile kaplama yapılan N4 numunesinin Şekil 4.56'daki XRD grafiğine göre mikroyapı içerisinde birincil Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$ ve demir karbür bileşikleri görülmüştür. $Cr_{23}C_6$ sadece ana pikte ve son pikte görüldüğünden miktarının çok az olduğu düşünülmektedir.



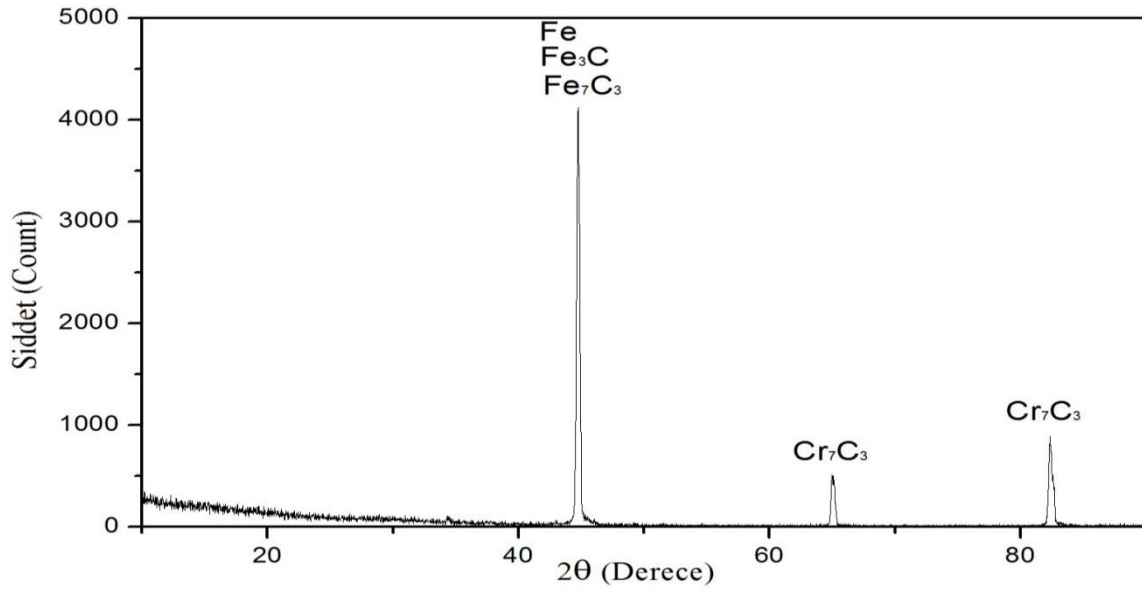
Şekil 4.57 N8 numunesine ait kaplamadan alınan XRD sonucu

170 amper 2 gr/s toz besleme oranı ile kaplama yapılan N8 numunesinin Şekil 4.57'de verilen XRD grafiğine göre, mikroyapı içerisinde birincil Cr_7C_3 , ve çeşitli demir karbür bileşikleri görülmüştür.



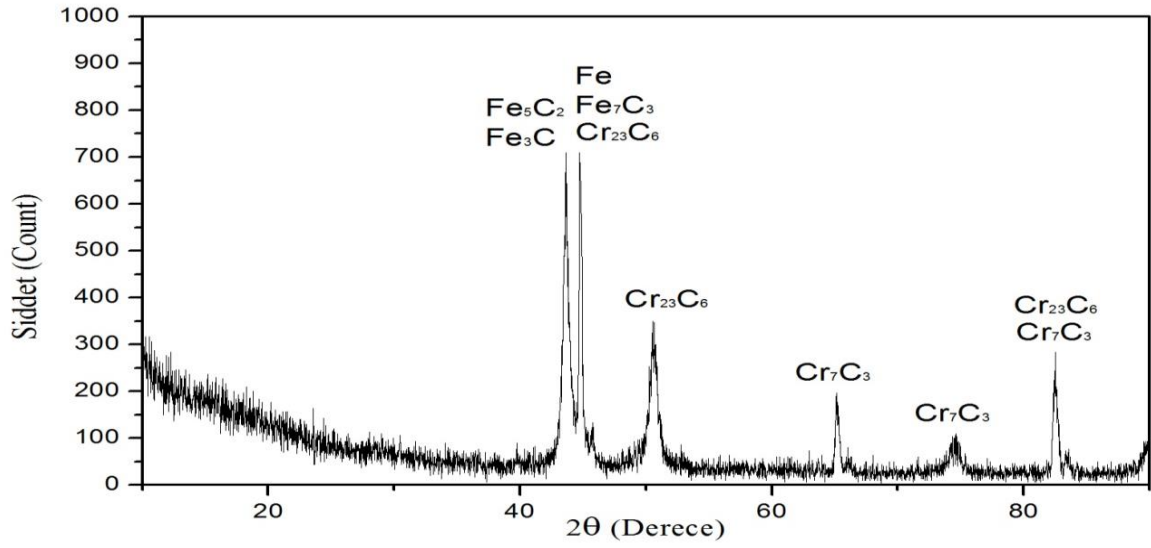
Şekil 4.58 N12 numunesine ait kaplamadan alınan XRD sonucu

190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ile kaplama yapılan N12 numunesinin XRD grafik sonuçları Şekil 4.58'e göre incelendiğinde yapı içerisinde Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 ve 2 farklı demir-karbür bileşiği olduğu görülmüştür. Cr_{23}C_6 sadece ana pikte ve yüksek şiddette görülmüştür.



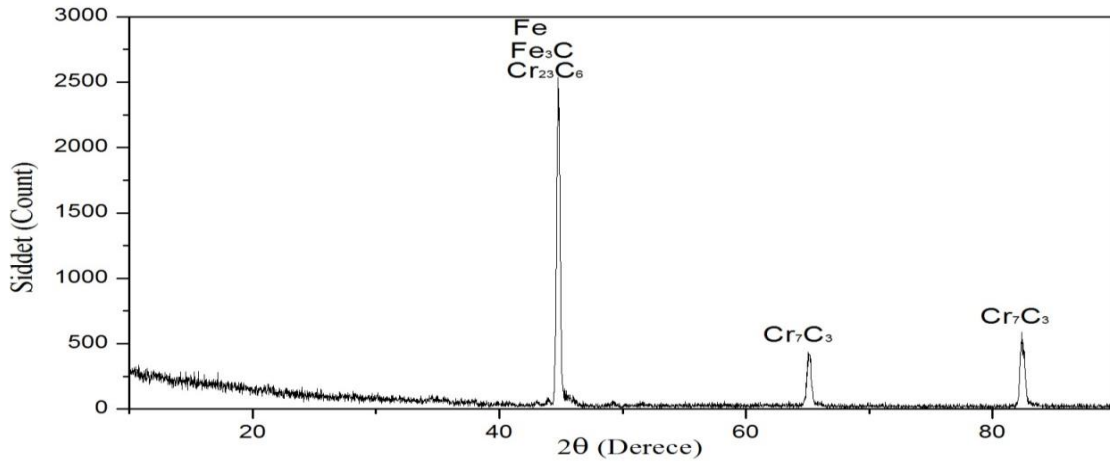
Şekil 4.59 N16 numunesine ait kaplamadan alınan XRD sonucu

Şekil 4.59'da XRD grafiği verilen 220 amper ve 2 gr/s toz besleme oranıyla kaplama yapılan N16 numunesinde X-Ray analiz sonuçlarına göre yapı içerisinde 2 farklı demir-karbür bileşiği ve Cr_7C_3 krom-karbür bileşiği olduğu görülmüştür.



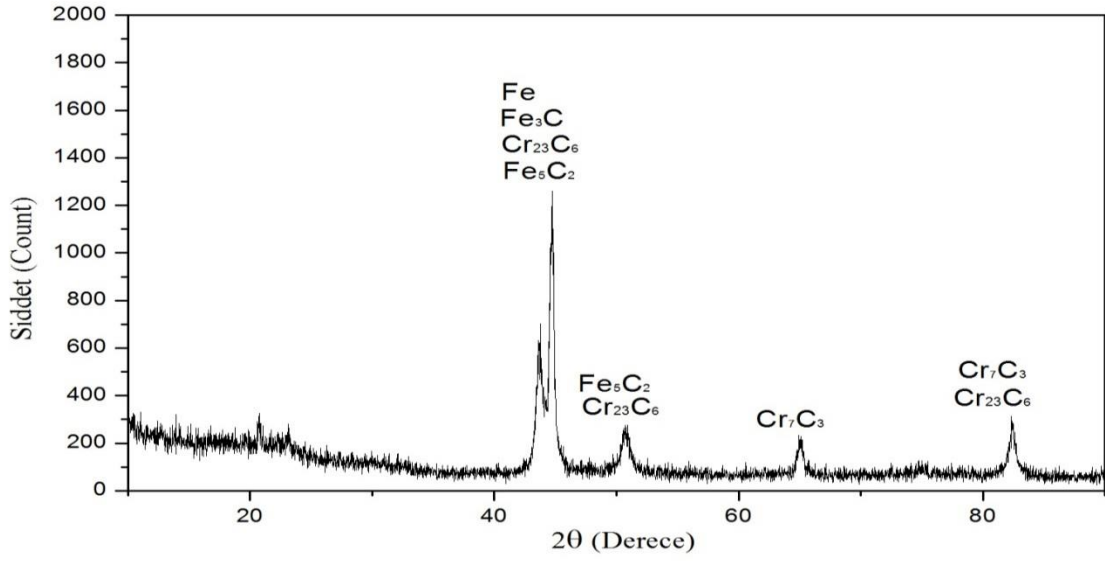
Şekil 4.60 N20 numunesine ait kaplamadan alınan XRD sonucu

190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve 400 °C’de FeCrC tozları ısıtılarak kaplama yapılan N20 numunesine ait XRD grafiği Şekil 4.60’da verilmiştir. Grafik incelendiğinde 3 farklı demir-karbür bileşiğine rastlanmakta, Cr_{23}C_6 bileşiği kendine has pikler oluşturmuştur ve 3 ayrı pik üzerinde görülmüştür. Cr_7C_3 bileşiği son 3 pikin her birinde görülmüştür.



Şekil 4.61 N21 numunesine ait kaplamadan alınan XRD sonucu

Şekil 4.61’de XRD grafiği verilen 190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve 600 °C’de FeCrC tozları ısıtılarak kaplama yapılan N21 numunesinin XRD grafiği incelendiğinde yapı içerisinde demir-karbür ve Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 krom-karbür bileşikler görülmüştür.



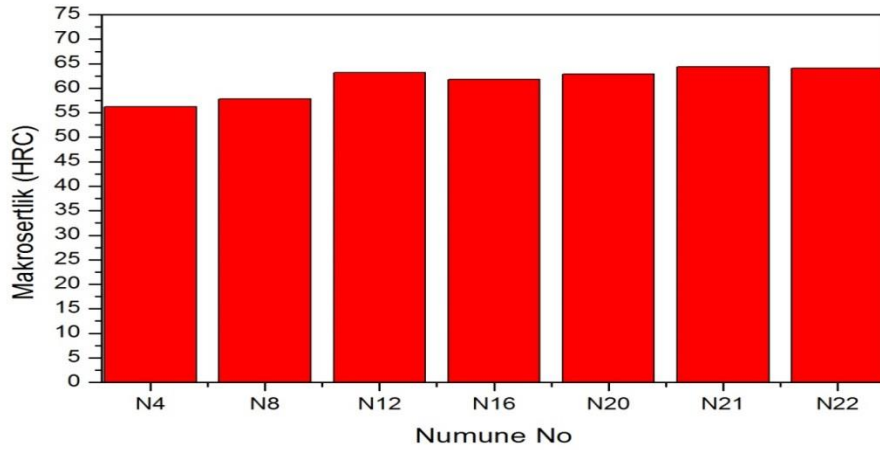
Şekil 4.62 N22 numunesine ait kaplamadan alınan XRD sonucu

190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve %4 grafit takviyeli FeCrC tozu ile kaplama yapılan N21 numunesine ait XRD grafiği Şekil 4.62’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde 2 farklı demir-karbür bileşiğine rastlanmaktadır. Cr_{23}C_6 bileşiği kendine has pikler oluşturmuştur ve 3 ayrı pik üzerinde görülmüştür. Cr_7C_3 bileşiği son 2 pik içerisinde görülmüştür.

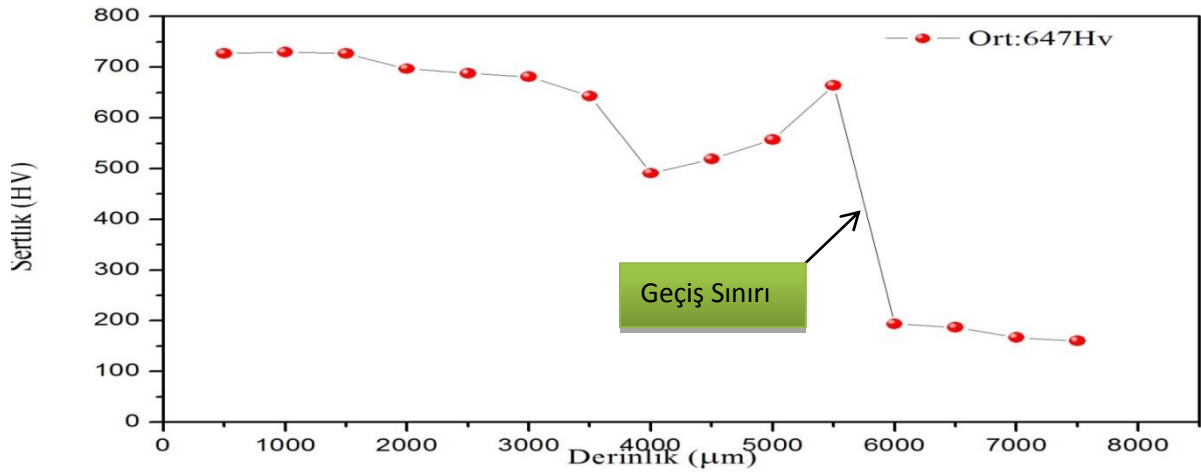
Yapılan analizler sonucunda 150 amper 2 gr/s toz besleme oranına sahip N4 numunesinde sadece birincil Cr_7C_3 ve Fe_3C gözlemlenmiştir, bunun yanında sadece ana pik üzerinde az miktarda Cr_{23}C_6 oluşumunun meydana geldiği anlaşılmaktadır. 170 amperde yapılan N8 numunesinde de yine aynı şekilde Fe_3C ve bunun yanında da Fe_7C demir-karbür oluştuğu görülmüştür. N8 numunesinde sadece Cr_7C_3 bileşiği şeklinde krom-karbür yapısı oluşmuştur. 190 amper 2gr/s toz besleme oranında kaplama yapılan N12 numunesinde ise birincil pikte Cr_{23}C_6 görülmüştür. 220 amper 2gr/s toz besleme ile kaplama yapılan N16 kaplama numunesi N8 numunesine benzer şekilde analiz sonucu vermiş sadece pik şiddetleri farklılık göstermiştir. 190 amper 2 gr/s toz besleme oranına sahip N20-N22 numunelerinin tamamında Cr_7C_3 bileşiklerinin yanında Cr_{23}C_6 bileşikleri görülmektedir. Buna ilaveten N20 ve N22 kaplama numunelerinde Fe_3C bileşiğinin yanında Fe_5C_2 bileşiği görülmüştür. Buna karbon geçişinin yüksek olmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Yapıda aranan Cr_7C_3 ve Cr_{23}C_6 bileşikleri tozların ısıtıldığı N20,N21 kaplamalarında ve karbon takviyesi yapılan N22 kaplamasında görülmüştür. XRD sonuçlarının literatür sonuçlarına uygun olduğu görülmüştür[11,15,22,29].

4.7 Sertlik Sonuçları

Çeşitli kaynak parametreleri kullanılarak kaplaması yapılan numuneler için makrosertlik grafiği Şekil 4.63’de mikrosertlik grafikleri ise Şekil 4.64 - Şekil 4.70’de verilmiştir. Mikrosertlik ortalamaları sadece kaplama bölgesinde alınan mikrosertlik sonuçlarının ortalamaları hesaplanarak verilmiştir. Mikrosertlik ve makrosertlik sonuçları sadece 2 gr/s toz besleme oranı için verilmiştir.

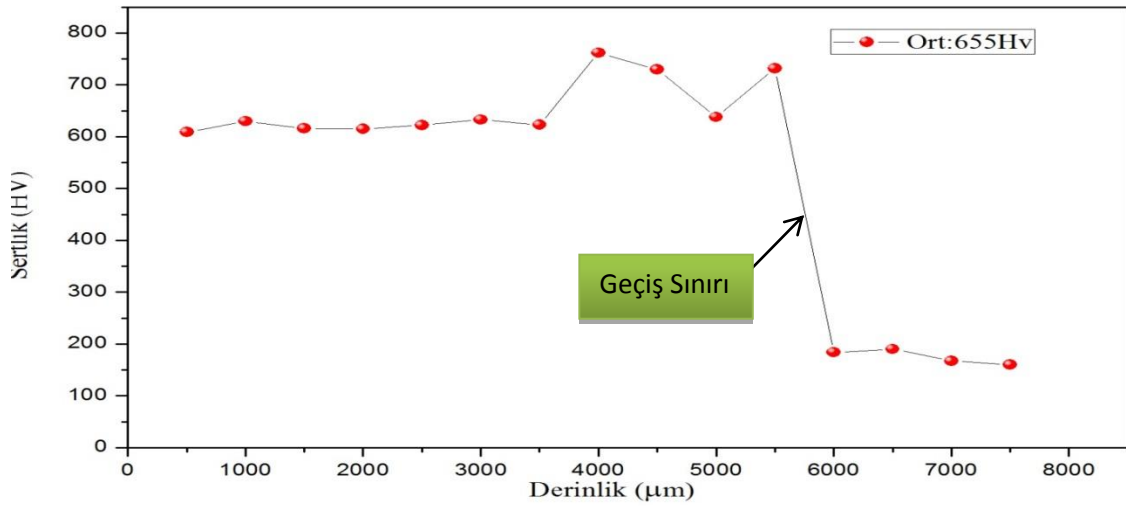


Şekil 4.63 Kaplama numuneleri için makrosertlik sonuçları grafiği



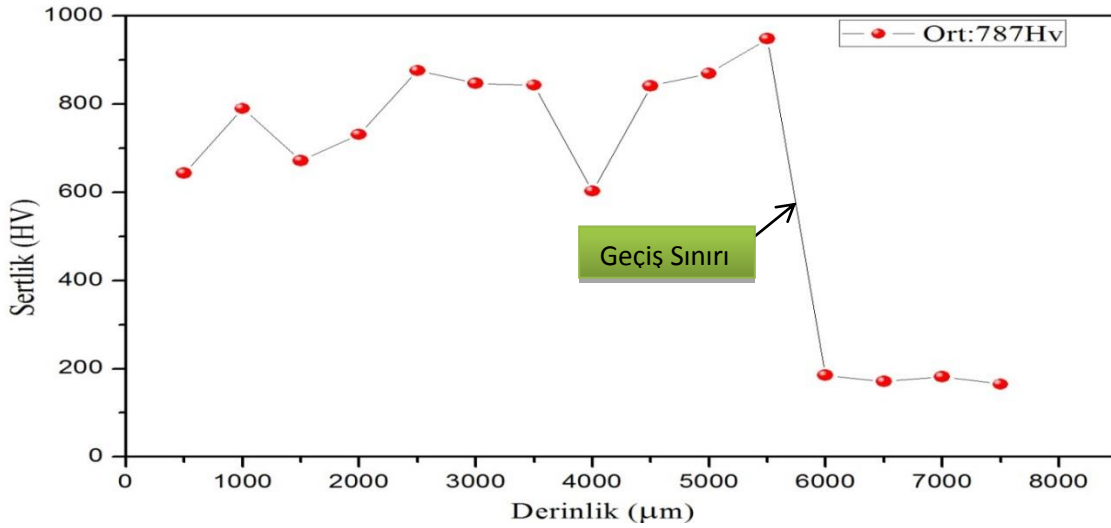
Şekil 4.64 N4 numunesinden alınan mikrosertlik grafiği

150 amper 2 gr/s toz besleme oranıyla kaplama yapılan N4 numunesinin mikrosertlik grafiği incelendiğinde sertlik değerleri 500 μ dan 5500 μ 'a kadar alınabilmiş ve genel olarak kaplama içerisinde yakın değerler bulunmuştur. Ortalama sertlik değeri ise 647 $Hv_{0.2}$ bulunmuştur.



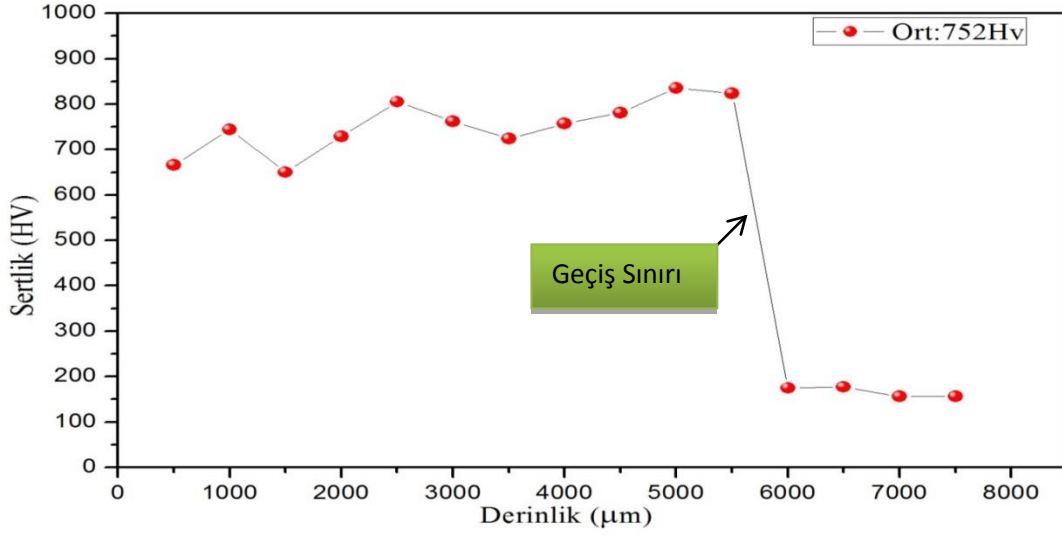
Şekil 4.65 N8 numunesinden alınan mikrosertlik grafiği

170 amper 2 gr/s toz besleme oranıyla kaplama yapılan N8 numunesinin mikrosertlik grafiği incelendiğinde sertlik değerleri 500 μ –5500 μ aralığında alınabilmiş ve genel olarak kaplama içerisinde yakın değerler bulunmuştur. Ortalama sertlik değeri ise 655 $Hv_{0.2}$ bulunmuştur.



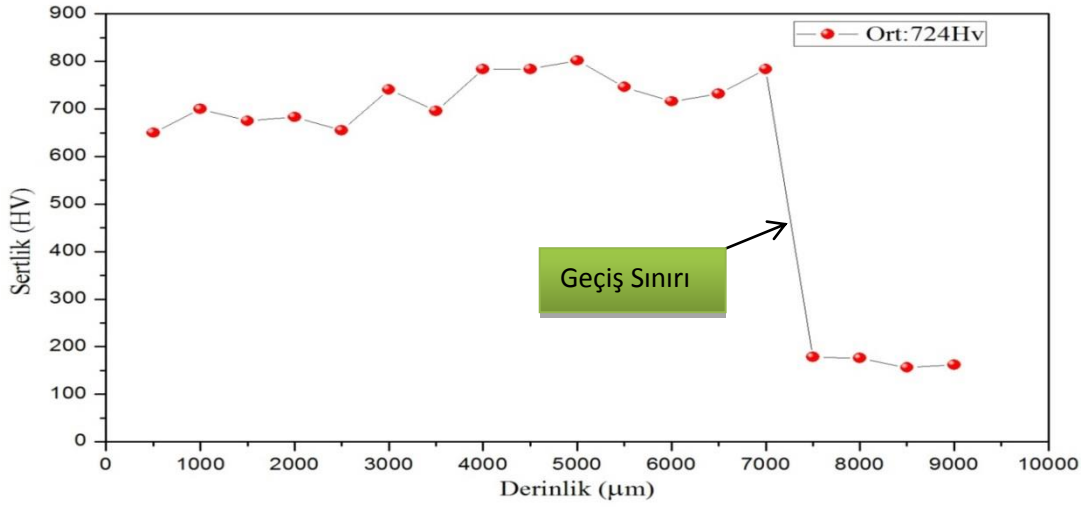
Şekil 4.66 N12 numunesinden alınan mikrosertlik grafiği

190 amper 2 gr/s toz besleme oranıyla kaplama yapılan N12 numunesinin mikrosertlik grafiği incelendiğinde sertlik değerleri 500 μ 'dan 5500 μ 'a kadar alınabilmiş ve mikrosertlik değerleri kaplama içerisinde yakın değerler bulunmuştur. Ortalama sertlik değeri ise 787 $Hv_{0.2}$ bulunmuştur.



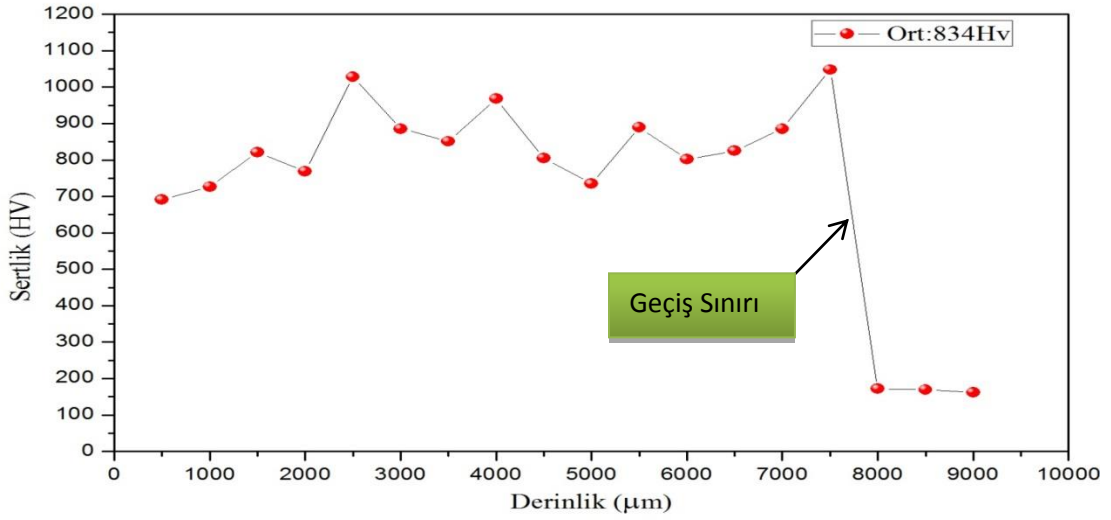
Şekil 4.67 N16 numunesinden alınan mikrosertlik grafiği

220 amper 2 gr/s toz besleme oranıyla kaplama yapılan N16 numunesinin mikrosertlik grafiği incelendiğinde sertlik değerleri 500 µ ve 5500 µ aralığında alınabilmiş ve mikrosertlik değerleri kaplama içerisinde yakın değerler vermiştir. Ortalama sertlik değeri ise 752 Hv_{0.2} bulunmuştur.



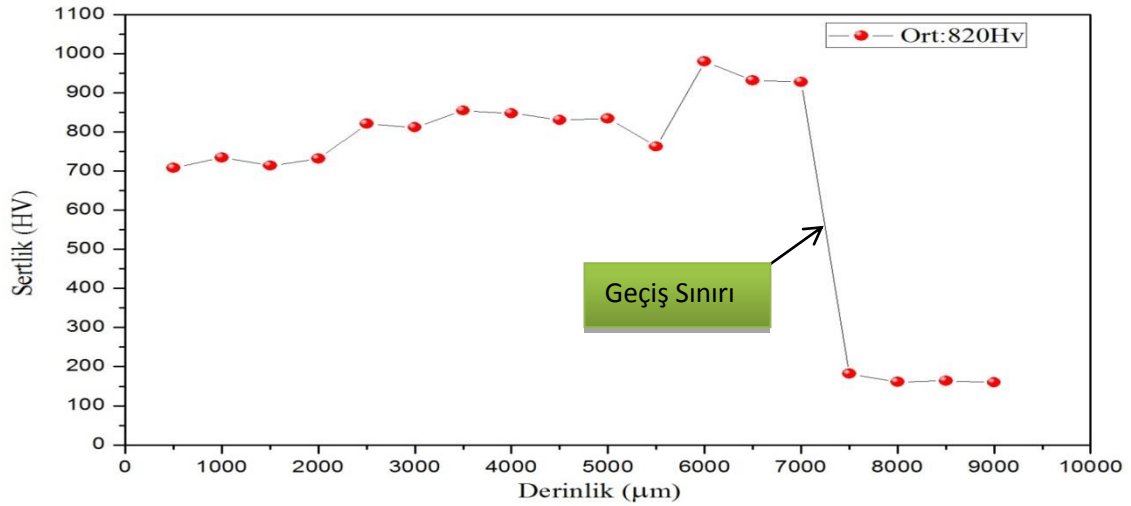
Şekil 4.68 N20 numunesinden alınan mikrosertlik grafiği

190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve FeCrC tozlarının kaplamaya 400 °C ye kadar ısıtılarak beslendiği N20 numunesinin mikrosertlik grafiği incelendiğinde sertlik değerleri 500 µ 7000 µ aralığında alınabilmiş kaplama derinliğinin tozların ısıtılmadığı numunelere göre arttığı görülmüştür. Mikrosertlik değerleri kaplama boyunca yakın değerler bulunmuştur. Ortalama sertlik değeri ise 724 Hv_{0.2} bulunmuştur.



Şekil 4.69 N21 numunesinden alınan mikrosertlik grafiği

190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve FeCrC tozlarının kaplamaya 600 °C ye kadar ısıtılarak beslendiği N21 numunesinin mikrosertlik grafiği incelendiğinde sertlik değerleri 500 μ 'dan 7500 μ aralığında alınabilmiş kaplama derinliğinin tozların ısıtılmadığı numunelere göre arttığı görülmüştür. Mikrosertlik değerleri kaplama boyunca yakın değerler bulunmuştur. Ortalama sertlik değeri ise 834 Hv_{0,2} bulunmuştur.



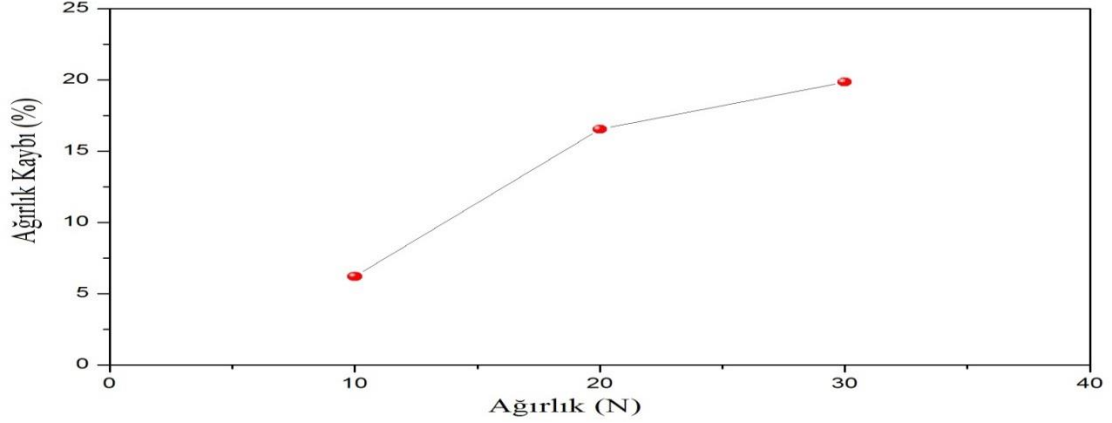
Şekil 4.70 N22 numunesinden alınan mikrosertlik grafiği

190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve FeCrC tozlarına %4 grafit takviyesi yapılarak kaplama yapılan N22 numunesinin mikrosertlik grafiği incelendiğinde sertlik değerleri 500 μ - 7000 μ aralığında alınabilmiş kaplama derinliğinin kaplama tozlarının standart olarak kullanıldığı numunelere göre arttığı görülmüştür. Mikrosertlik değerleri kaplama boyunca yakın değerler bulunmuştur. Ortalama sertlik değeri ise 820 Hv_{0,2} bulunmuştur.

Makro sertlik değerleri kaplama numuneleri için ekil 4.63’de verilmiştir. Altlık malzeme olarak kullanılan AISI 1020 elik malzemenin makrosertliği HRC cinsinden karşılığı olmadığı için bütün kaplama numunelerinden alınan mikrosertlik değerlerinin ortalaması alınmış ve Brinell sertlik skalasında karşılık gelen değer 157 HB olarak verilmiştir. Kapsama numunelerinden 150 amper 2 gr/s toz besleme oranıyla kaplama yapılan N4 numunesi için sertlik değeri 56,2 HRC’den başlamış ve 190 amper 2 gr/s, %4 grafit takviyeli FeCrC tozu ile kaplanan N22 numunesinde 64,4 HRC ye kadar çıkmıştır. Her numune grubu için en yüksek sertlik değerleri verilmiştir. Mikrosertlik değerlerine bakıldığında ise N4 numunesinde 647 Hv_{0.2} sertlik değeri llmştr. 170 amper 2 gr/s toz besleme oranında kaplama yapılan N8 numunesinde 655 Hv_{0.2} sertlik değeri llmştr. Artan akım değerleriyle paralel olarak tüm numunelerde de sertlik değerleri artış göstermiştir. 190 amper 2 gr/s toz besleme oranında kaplama yapılan N12 kaplama numunesinde 787 Hv_{0.2} olarak ölçülen mikrosertlik değeri 220 amper kullanılan N16 numunesi için 752 Hv_{0.2} olarak ölçülmüş ve bir miktar düşüş görülmüştür. Buna sebep olarak N12 numunesinde oluşan Cr₂₃C₆ düşünülmektedir. N20 numunesinde sertlik değeri 724 Hv_{0.2} olarak bulunmuştur. N20 numunesindeki sertliğin N21 numunesindeki 834 Hv_{0.2} ve N22 numunesindeki 821 Hv_{0.2} sertlikten daha düşük olmasının sebebi ise N20 numunesinde (Cr,Fe)₇C₃ karbürlerinin N21 ve N22 numunesinde daha fazla oluşması N20 numunesinde ise ötektik yapının daha fazla olması olarak düşünülmektedir [10,12,22]. Tüm numuneler için mikro sertlik ve makro sertlik değerleri örtüştüğü görülmüştür. Sertlik artışı yapı içerisindeki Cr₇C₃ ve Cr₂₃C₆ miktarındaki artışla ilişkilendirilmektedir [15,22,29]. Sertlik inceleme sonuçlarının literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir [11,15,21,24].

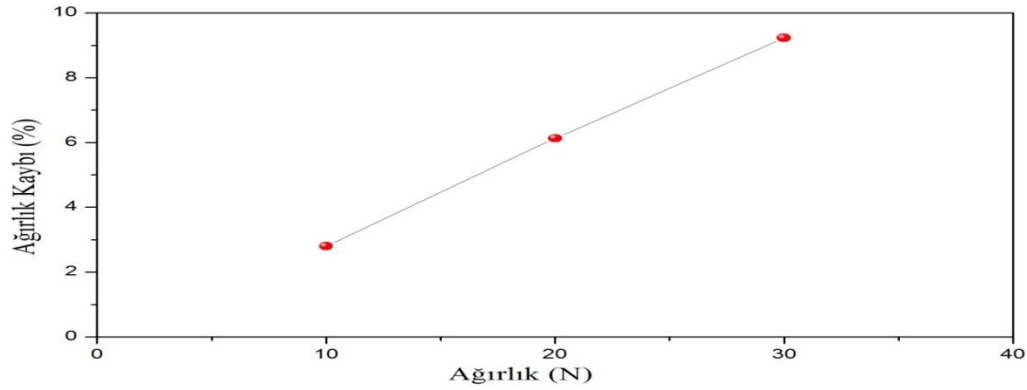
4.8 Abrasiv Aşınma Testi Sonuçları

Kaplama numunelerinin abraziv aşınma deneyleri mikroyapı incelemeleri ve sertlik incelemeleri tamamlandıktan sonra yapılmıştır. Yüke bağlı ağırlık kaybını incelemek için 10 N-20N ve 30N luk yüklerle aşınma yapılan numuneler her aşınma testinden sonra hassas terazi ile tartılarak aşınma kayıpları hesaplanmıştır. Şekil 4.71 - Şekil 4.77’de yüke bağlı olarak aşınma kayıpları verilmiştir.



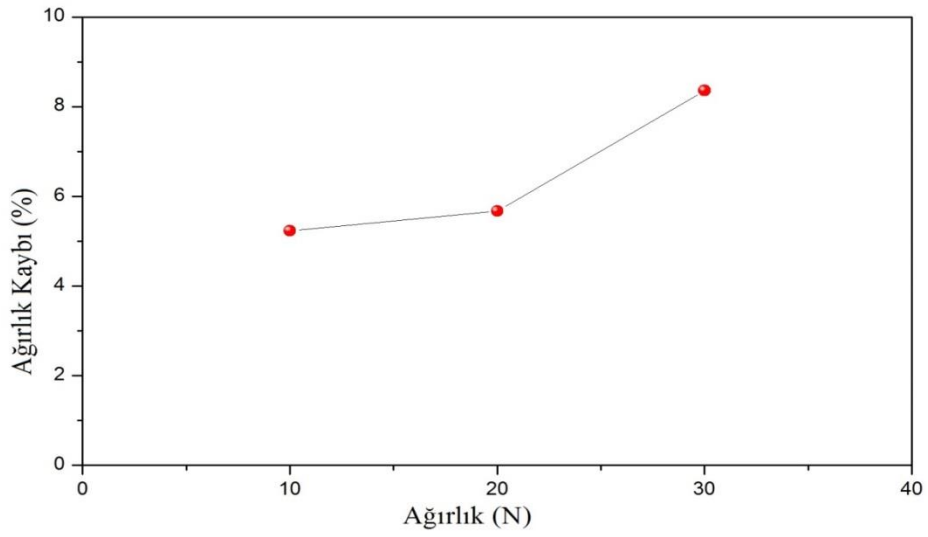
Şekil 4.71 N4 numunesi için yüke bağlı olarak ağırlık kaybı

Şekil 4.71’de 150 amper 2 gr/s toz besleme parametrelerine sahip N4 numunesi için verilen yüke bağlı ağırlık kaybı grafiğine göre N4 numunesinde yüksek oranda aşınma meydana gelmiş artan yükle aşınma oranı artmış ve 30 Newton yük altında malzeme %21 oranında ağırlık kaybı meydana gelmiştir.



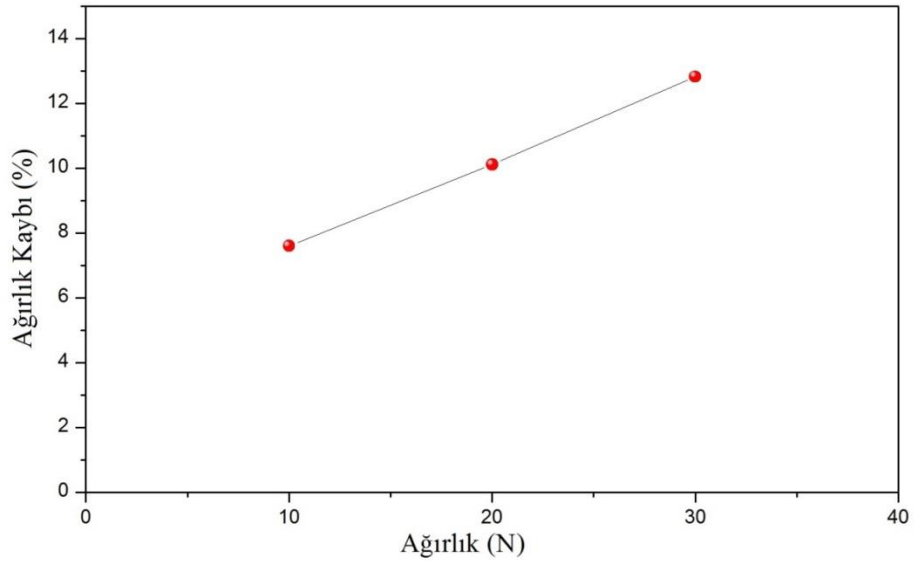
Şekil 4.72 N8 numunesi için yüke bağlı olarak ağırlık kaybı

170 amper ve 2 gr/s toz besleme oranıyla kaplama yapılan N8 kaplama numunesinin aşınma grafiği incelendiğinde ağırlık kaybı yüke göre artış göstermiştir. 30 N yük altında %19.85 ağırlık kaybı meydana gelmiştir.



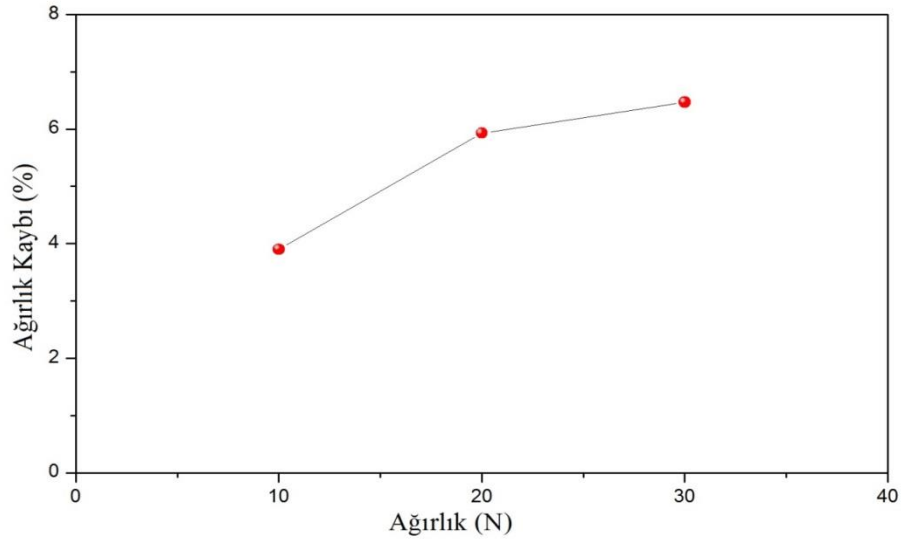
Şekil 4.73 N12 numunesi için yüke bağlı olarak ağırlık kaybı

190 amper ve 2 gr/s toz besleme oranıyla kaplama yapılan N12 kaplama numunesinin aşınma grafiği incelendiğinde ağırlık kaybı yüke göre artış göstermiştir. 30 N yük altında %9.23 ağırlık kaybı meydana gelmiştir.



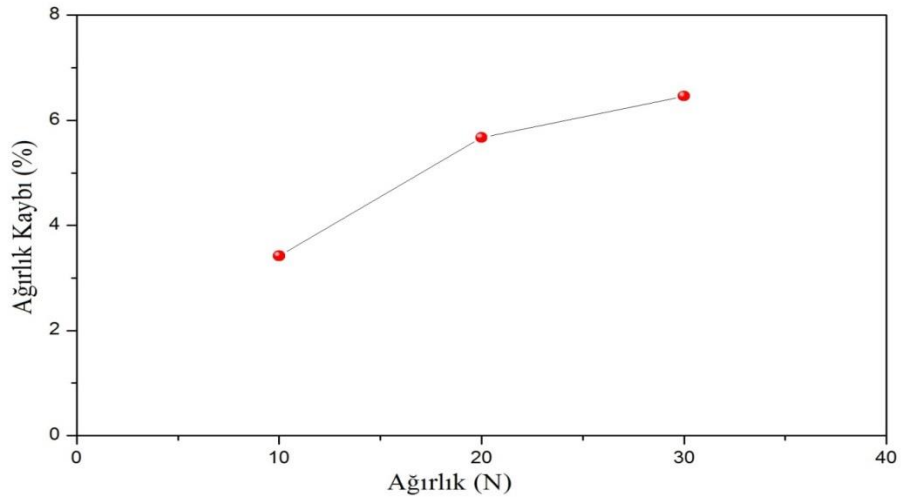
Şekil 4.74 N16 numunesi için yüke bağlı olarak ağırlık kaybı

220 amper ve 2 gr/s toz besleme oranıyla kaplama yapılan N16 kaplama numunesinin aşınma grafiği incelendiğinde ağırlık kaybı yüke göre artış göstermiştir. 30 N yük altında %12.82 ağırlık kaybı meydana gelmiştir.



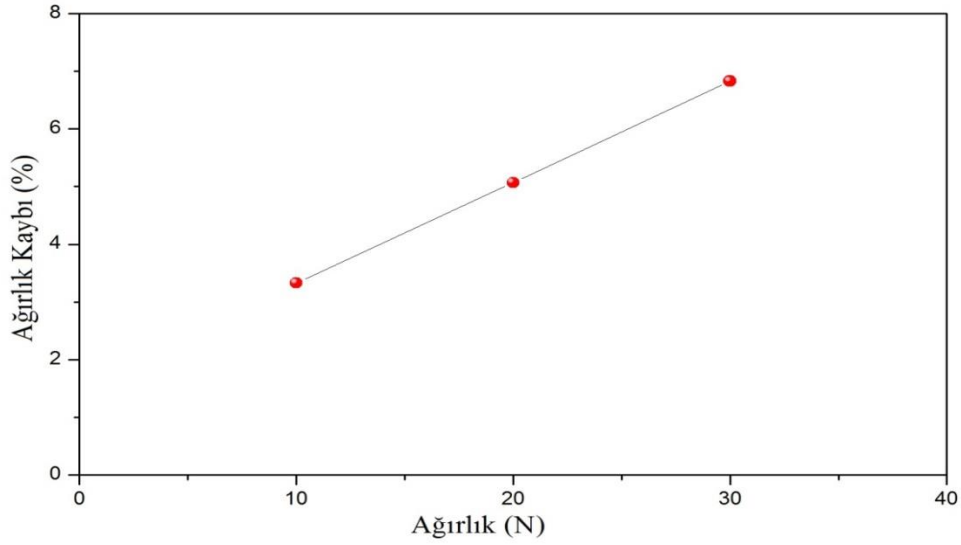
Şekil 4.75 N20 numunesi için yüke bağlı olarak ağırlık kaybı

Şekil 4.75’de 190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve 400 °C ısıtılmış tozlarla kaplama yapılan N20 numunesi tozların ısıtılmadığı numunelere göre daha yüksek aşınma direnci göstermiştir. Artan yükle beraber ağırlık kaybı artmış 30 N yük altında %6.47 ağırlık kaybı göstermiştir.



Şekil 4.76 N21 numunesi için yüke bağlı olarak ağırlık kaybı

Şekil 4.76’da 190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve 600 °C ısıtılmış tozlarla kaplama yapılan N21 numunesi tozların ısıtılmadığı numunelere göre daha yüksek aşınma direnci göstermiştir. Artan yükle beraber ağırlık kaybı artmış 30 N yük altında %6.46 ağırlık kaybı göstermiştir.

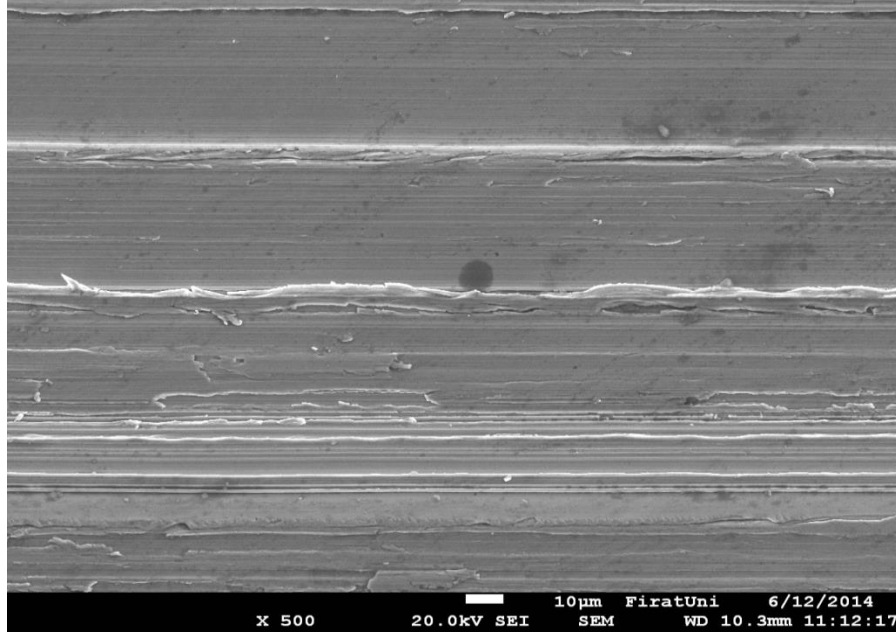


Şekil 4.77 N22 numunesi için yüke bağlı olarak ağırlık kaybı

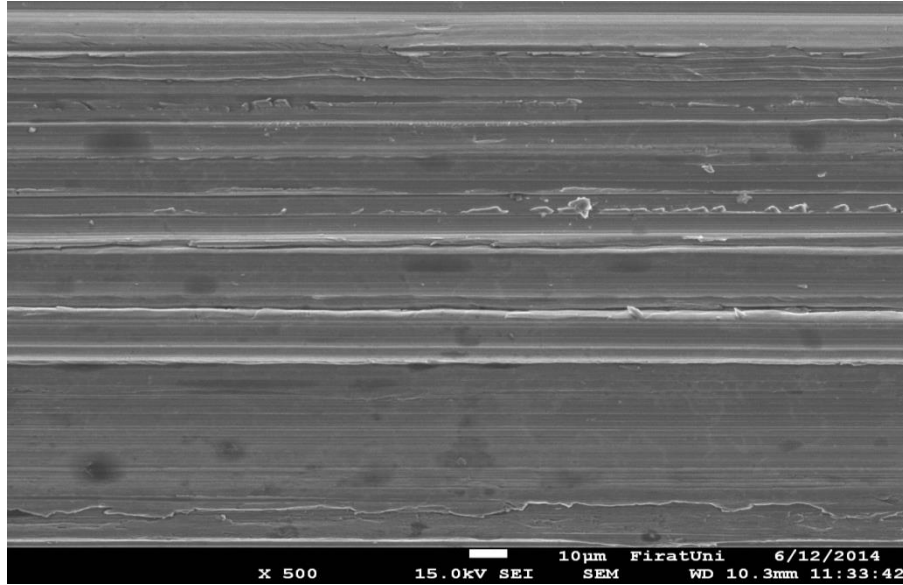
190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve %4 grafit ilave edilmiş tozlarla kaplama yapılan N22 numunesi tozların ısıtılmadığı numunelere göre daha yüksek aşınma direnci göstermiştir. Artan yükle beraber ağırlık kaybı artmıştır. 30 N yük altında %6.83 ağırlık kaybı göstermiştir.

Yapılan abrasif aşınma testi sonucunda en fazla aşınmanın en düşük sertlikteki 150 amper 2 gr/s toz besleme oranına sahip N4 numunesinde meydana geldiği görülmüştür. Ağırlık kaybı artan yüklerle %20 lere kadar çıkmıştır. Bir yüzeyin abrasif aşınma derecesi, yüzeyin sertliği ile ters orantılıdır[39]. Buna göre sertlik değerlerinin artışına paralel olarak numunelerin ağırlık kaybı oranları da azalmıştır. En az ağırlık kaybı en yüksek sertlik değerine sahip N21 numunesinde görülmüştür. Sırasıyla N8, N16, N12, N20, N22 ve N21 şeklinde ağırlık kaybı görülmüştür. Artan yüke bağlı olarak ağırlık kaybı da artmıştır. Daha yüksek yüklerde çalışan parçalarda aşınma miktarı da artmaktadır[19,26,39]. Aşınma deneyi literatüre uygun sonuçlar vermiştir [13,16,21,24,33,38,39].

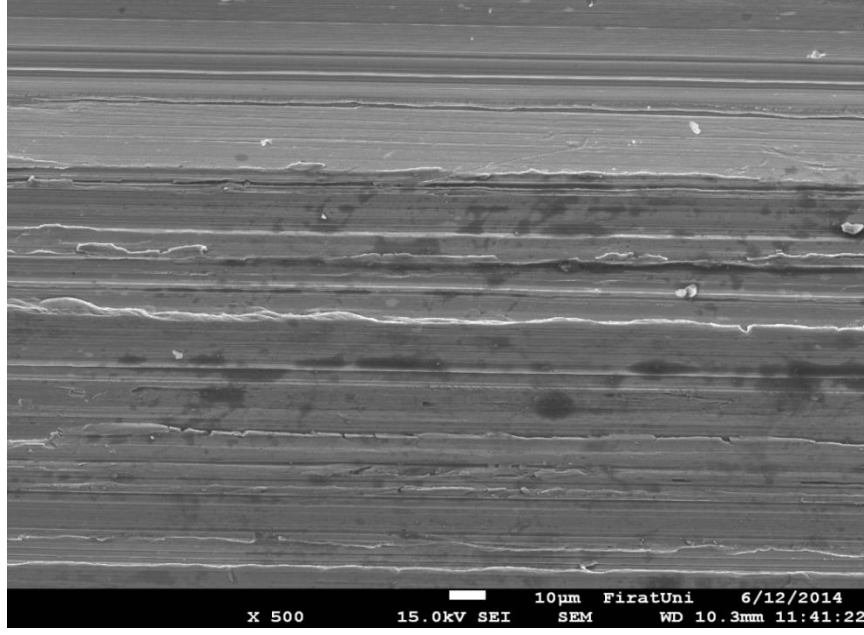
Şekil 4.78- Şekil 4.84’ de aşınmış yüzeylerin SEM görüntüsü verilerek yüzey görüntüleri incelenmiştir. Kaplama numunelerinin aşınmış yüzey SEM görüntüleri x500 büyütmelerde alınmıştır.



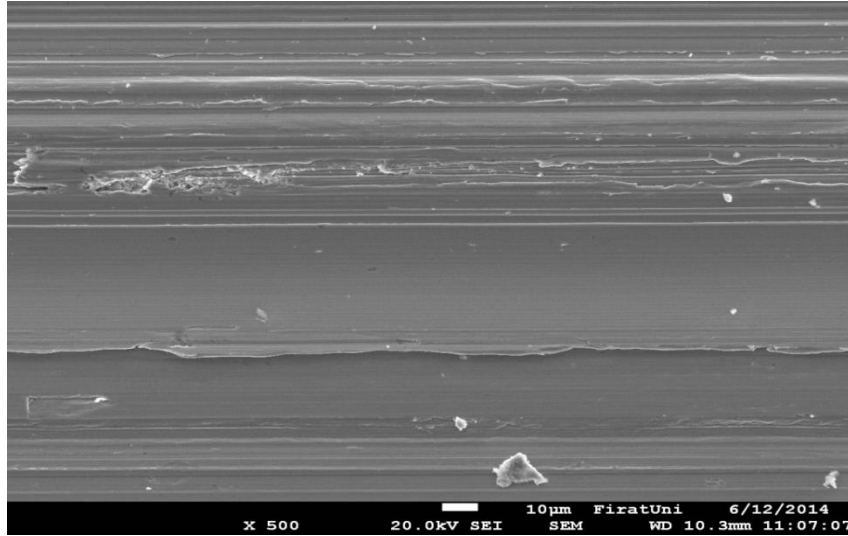
Şekil 4.78 N4 numunesi için kaplamalarda aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü



Şekil 4.79 N8 numunesi için kaplamalarda aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü

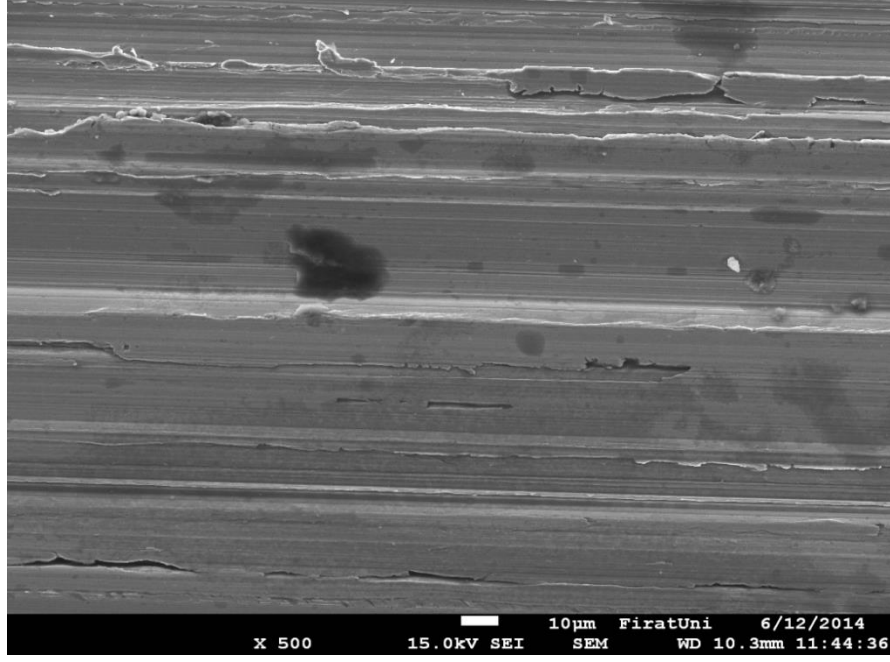


Şekil 4.80 N12 numunesi için kaplamalarda aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü

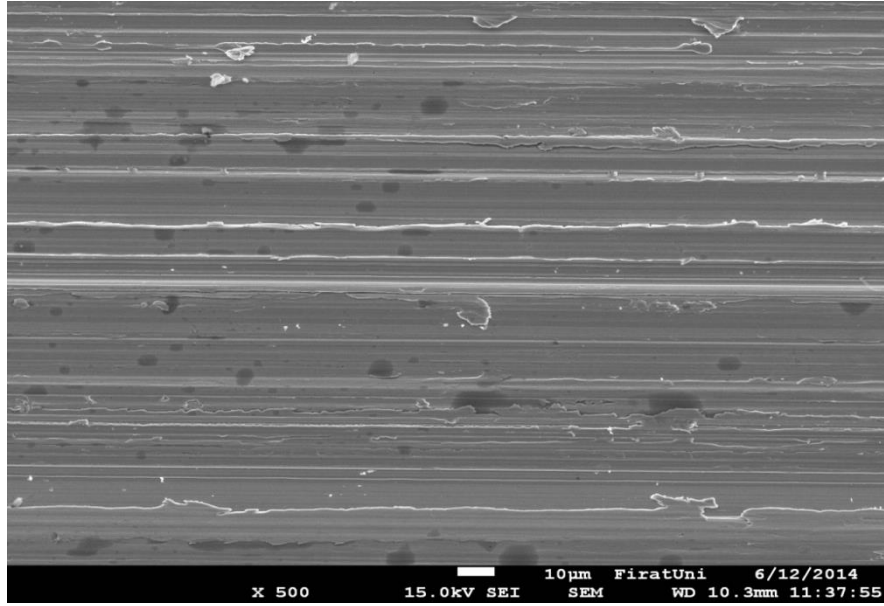


Şekil 4.81 N16 numunesi için kaplamalarda aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü

150 amper 2 gr/s toz besleme oranı ile kaplanan N4 numunesi, 170 amper 2 gr/s toz besleme oranı ile kaplanan N8 numunesi, 190 amper ve 220 amper 2 gr/s toz besleme oranları ile kaplama yapılan N12 ve N16 numunelerinin aşınma yüzey görüntüleri incelendiğinde N4 numunesi, N8 numunesi ve N16 numunesinde mikro kazıma çizgileri oldukça geniş ve düz çizgiler halinde görülmektedir. N12 numunesinde ise daha dar ve daha düzensiz çizgiler görülmektedir.

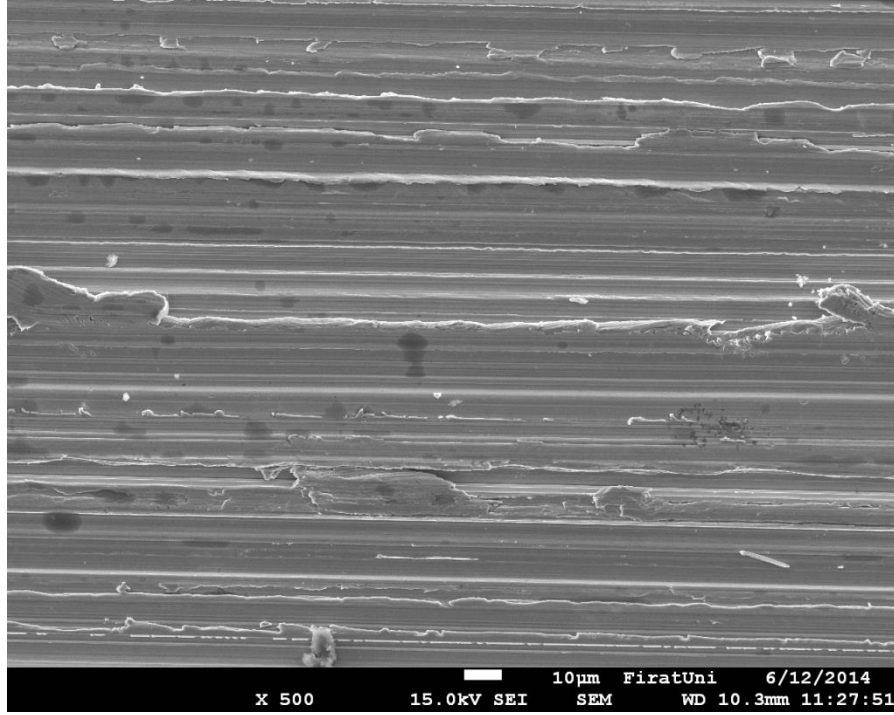


Şekil 4.82 N20 numunesi için kaplamalarda aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü



Şekil 4.83 N21 numunesi için kaplamalarda aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü

190 amper 2 gr/s toz besleme oranında 400 °C ve 600 °C ‘ye ısıtılan tozlarla kaplama yapılan N20 ve N21 numunelerinde yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde sertliği daha yüksek olan N21 numunesinde daha düşük sertlikteki N20 numunesine göre daha düzensiz ve dar kazıma çizgileri görülmüştür.



Şekil 4.84 N22 numunesi için kaplamalarda aşınmış yüzeyin SEM görüntüsü

190 amper 2 gr/s toz besleme oranı ve %4 grafit takviyeli tozla kaplanan N22 numunesinde yüzey aşınma görüntüsüne bakıldığında aşındırıcının yüzeyi yeterince kazıyamamış olduğu görsel olarak görülmektedir.

Aşınma yüzeylerinin SEM altında yapılan incelemeleri neticesinde aşınma mekanizmasının genel olarak mikro kazıma (mikro ploughing) ve mikro kesme (micro cutting) olduğu görülmüştür. En düşük aşınma kaybı N20, N21 ve N22 numunelerinde meydana gelmiştir. SEM fotoğraflarında da görüleceği gibi, N20, N21 ve N22 parametreleriyle yapılan kaplamaların aşınan yüzeyinde aşınma izleri daha dar ve daha yüzeyseldir. Bu ise kaplamalarda aşındırıcı partiküllerin yüzeye yeterince derinlemesine giremediğinin ve çizemediğinin (kazıyamadığının) bir göstergesidir. Yüksek karbonlu ve kromlu hiperötektik alaşımların karakteristiği olan Cr_7C_3 tipinde karbürler daha sert (1500 ilâ 2500 HV) olup matris genellikle östenitiktir. Aşınmaya çok dirençli olmakla beraber sert darbelere dayanmazlar[39]. N20, N21 ve N22 numunelerinde kimyasal analizlerle desteklenen krom oranlarının artışıyla birlikte X-Ray analizlerinde görüldüğü gibi sert krom-karbür miktarı da artmıştır. Krom-karbür artışıyla birlikte aşınma direncide artmıştır. Literatür sonuçlarına uygun olduğu görülmüştür [15,21,24,34].

4. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan analizler, ölçümler ve mikroskobik incelemeler sonucunda;

- Titreşim oranıyla birlikte artan toz miktarına bağlı olarak yapı içerisindeki krom miktarı artmıştır. Artan akım miktarı ile kaplama genişliği ve kaplama derinliği artmıştır.
- Akım miktarının artışıyla beraber sertliklerde artış göstermiştir. En yüksek sertlik değerleri 190 Amper’lik akımlarda yapılan numunelerde elde edilmiştir. Sert yüzey kaplama olarak yapılan kaplamaların matris sertlik değerleri 800 Hv_{0.2} ‘ye kadar çıktığı, bu artışın ortalama 165 Hv_{0.2} sertlikteki AISI 1020 çeliği için oldukça yüksek bir sertlik artışı olduğu görülmüştür.
- 190 Amperde yapılan numunelerde yapı içerisinde Cr₇C₃ ile birlikte Cr₂₃C₆ oluşumları başladığı tespit edilmiştir.
- Karbon ilave edilen tozlarda hem Cr₂₃C₆ oluşumunun arttığı hemde sertlik değerlerinin 834 Hv_{0.2} ye kadar arttığı gözlemlenmiştir.
- Numunelerde yapılan aşınma testleri ile elde edilen yüksek aşınma direnci bu yöntemin uygulamalarda kullanılabileceğini göstermiştir.
- Mikroyapılar incelendiğinde dentrit yapılarının oldukça belirgin şekilde ortaya çıktığı, kaplama yüzeyine dik bir şekilde dentritlerin uzadığı, dentrit kollarının belirgin şekilde gözlemlenebildiği, yüksek krom miktarlarında bazı dentritlerin daha küresel olduğu bazı dentritik yapıların ise uzun ve sürekli şekillerde meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Tane içerisinde daha yüksek tokluk sağlayan Cr₂₃C₆ oluşumunu arttırmak için toz besleme haznesi içerisinde 400 °C ve 600 °C derecelere ısıtılan tozlarla yapılan numunelerde Cr₂₃C₆ miktarının artmış olduğu XRD analizlerinde de görülmüştür. Böylece tozların ısıtılarak beslendiği kaplamalarda daha verimli sonuçlar alındığı tespit edilmiştir.
- Isıtılan tozlarla yapılan kaplamalarda, kaplama sırasında daha az sıçrama meydana geldiği görülmüştür. Ancak daha yüksek sıcaklıklara çıkıldığında tozlarda yapışmalar meydana geldiği için titreşim ile toz beslemesi yapılamamıştır.
- MAG kaynak yöntemi ile yapılan kaplamalarda koruyucu gaz kullanılmamasına rağmen kaplama tozunun örtü vazifesi göstermekte ve kaplamalarda gözenek meydana gelmemektedir.
- MAG kaynak yönteminin sürekli toz beslemesi ile birlikte sert yüzey kaplamalar için uygun olduğu, sürekli toz beslemesi sayesinde sanayi uygulamaları için kullanışlı bir yöntem olabileceği görülmüştür.

- Bu çalışmanın ileri aşamalarında toz bileşimi, akım parametreleri, MAG kaynağı tel çapı, ilerletme hızı, toz yedirme oranı gibi parametreler değiştirilerek yeni araştırmalar yapılması, bu yöntemle üretilen kaplamaların mekanik testlerle tokluk, darbe dayanımı gibi özelliklerinin incelenmesi ve son olarak korozyon özelliklerinin incelenmesi tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **KHEDKAR, Jaydeep; KHANNA, A. S.; GUPT, K. M.** Tribological behaviour of plasma and laser coated steels. *Wear*, 1997, 205.1: 220-227
- [2] **Holmberg, K., Ronkainen, H., Matthewst, A.,** "Tribology of Thin Coating", *Ceramics International*, 26, pp. 787-795. (2000).
- [3] **M.H.Korkut, O. Yilmaz and S. Buytoz,** *Surface and Coating Technology*, 157 (2002) 5-13.
- [4] **Hidouci, A., Pelletier, J.M., Ducoin, F., Dezert, D., Guerjouma, R.,** "Microstructural and Mechanical Characteristics of Laser Coatings", *Surface and Coating Technology*, 123, pp. 17-23. (2000)
- [5] **E. Eiholzer, C. Cusano, and J. Mazumder,** *Proc. Laser Inst. Am.*, 44, 159-167. (1984)
- [6] **K. Komvopoulos and K. Nagarathnam,** *J. Eng. Mater. Technol.*, 112,131-143. (1990)
- [7] **J.L. Parks,** *AFS Trans.*, 1978, vol.86, pp.93-102
- [8] **K.M. Kulkarni and V. Anand,** 'Metals Handbook, 9th ed., ASM, metals park, OH', 7 (1984) 823-836
- [9] **A.B. Kinzel and W. Crafts.** 'The Alloys of Iron and Chromium', McGraw-Hill, New York, NY, I, (1937), 25-79
- [10] **BUYTOZ, Soner; YILDIRIM, M. Mustafa; EREN, Hülya.** TIG metodu kullanılarak yapılan Fe-Cr-C kaplamalarının karakterizasyonu. *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 2006, 267-270.
- [11] **EROĞLU, M.; ÖZDEMİR, N.** Tungsten-inert gas surface alloying of a low carbon steel. *Surface and Coatings Technology*, 2002, 154.2: 209-217.
- [12] **BUYTOZ, Soner; YILDIRIM, M. Mustafa; EREN, Hülya.** Microstructural and microhardness characteristics of gas tungsten are synthesized Fe–Cr–C coating on AISI 4340. *Materials Letters*, 2005, 59.6: 607-614.
- [13] **KORKUT, M. H.; YILMAZ, O.; BUYTOZ, S.** Effect of aging on the microstructure and toughness of the interface zone of a gas tungsten arc (GTA) synthesized Fe–Cr–Si–Mo–C coated low carbon steel. *Surface and Coatings Technology*, 2002, 157.1: 5-13.

- [14] **WANG, X. H., et al.** Characterization of in situ synthesized TiC particle reinforced Fe-based composite coatings produced by multi-pass overlapping GTAW melting process. *Surface and Coatings Technology*, 2007, 201.12: 5899-5905.
- [15] **LIU, Yuan-Fu, et al.** Microstructure and wear behavior of (Cr,Fe)₇C₃ reinforced composite coating produced by plasma transferred arc weld-surfacing process. *Surface and Coatings Technology*, 2006, 201.3: 863-867.
- [16] **BADISCH, E.; KIRCHGAßNER, M.** Influence of welding parameters on microstructure and wear behaviour of a typical NiCrBSi hardfacing alloy reinforced with tungsten carbide. *Surface and Coatings Technology*, 2008, 202.24: 6016-6022.
- [17] **KIRCHGAßNER, M.; BADISCH, E.; FRANEK, F.** Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact. *Wear*, 2008, 265.5: 772-779.
- [18] **FAN, Chieh, et al.** Microstructure change caused by (Cr, Fe)₂₃C₆ carbides in high chromium Fe–Cr–C hardfacing alloys. *Surface and Coatings Technology*, 2006, 201.3: 908-912.
- [19] **SHAHI, A. S.; PANDEY, Sunil.** Modelling of the effects of welding conditions on dilution of stainless steel claddings produced by gas metal arc welding procedures. *Journal of materials processing technology*, 2008, 196.1: 339-344.
- [20] **M. Atabey,** Sıcak dövme kalıplarında sert dolgu kaynağı uygulamasıyla iyileştirmeler, 20 Kasım 2006, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **KATSICH, C., et al.** Erosive wear of hardfaced Fe–Cr–C alloys at elevated temperature. *Wear*, 2009, 267.11: 1856-1864
- [22] **CHANG, Chia-Ming, et al.** Micro-structural characteristics of Fe–40wt% Cr–x C hardfacing alloys with [1.0–4.0 wt%] carbon content. *Journal of Alloys and Compounds*, 2009, 487.1: 83-89.
- [23] **AMUSHAHI, M. H.; ASHRAFIZADEH, F.; SHAMANIAN, M.** Characterization of boride-rich hardfacing on carbon steel by arc spray and GMAW processes. *Surface and Coatings Technology*, 2010, 204.16: 2723-2728.
- [24] **BADISCH, E., et al.** Wear behaviour of hardfaced Fe–Cr–C alloy and austenitic steel under 2-body and 3-body conditions at elevated temperature. *Tribology International*, 2010, 43.7: 1234-1244.

- [25] **DALLAIRE, S.** Slurry erosion resistance of boride-based overlays containing boride crystals oriented perpendicularly to the wearing surface. *Wear*, 2013, 297.1: 1006-1015.
- [26] **GUALCO, Agustín, et al.** Effect of welding procedure on wear behaviour of a modified martensitic tool steel hardfacing deposit. *Materials & Design*, 2010, 31.9: 4165-4173.
- [28] **PALANI, P. K.; MURUGAN, N.** Sensitivity analysis for process parameters in cladding of stainless steel by flux cored arc welding. *Journal of manufacturing processes*, 2006, 8.2: 90-100.
- [28] **SANTA, J. F., et al.** Cavitation erosion of martensitic and austenitic stainless steel welded coatings. *Wear*, 2011, 271.9: 1445-1453.
- [29] **CHANG, Chia-Ming, et al.** Effect of carbon content on microstructure and corrosion behavior of hypereutectic Fe–Cr–C claddings. *Materials Chemistry and Physics*, 2010, 123.1: 241-246.
- [30] **Anık S.** Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü Yayın No: 3 GAZALTI ARK KAYNAĞI (TIG • MIG • MAG)
- [31] T.C. Sakarya Üniversitesi MİG-MAG,TIG Kaynak Yöntemleri Slayt
- [32] <http://www.belgeler.com/blg/2wyg/gazalti-kaynak-yontemleri-020202-005>
- [33] **Köseli B.** Bor İçerikli Elektrotlarla Düşük Karbonlu Çelik Yüzeylerinin Kaplanması ve Aşınma Direncinin İncelenmesi, Yüksek Lisans tezi, F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü,2008
- [34] **Kaptanoğlu M.** Titanyum ve bor içeren özlü tellerle yapılan kaplamaların mikroyapı ve aşınma özelliklerinin araştırılması,Yüksek Lisans tezi,F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü,2011
- [35] **Köseli B.** Bor İçerikli Elektrotlarla Düşük Karbonlu Çelik Yüzeylerinin Kaplanması Ve Aşınma Direncinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yüksek Lisans tezi, F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü,2008
- [36] **Evcin A.** ,Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Kaplama Teknikleri Ders Notları,2006
- [37] **YILMAZ, Serdar Osman; ÖZENBAS, Macit; YAZ, Mehmet.** FeCrC, FeW, and NiAl Modified Iron-Based Alloy Coating Deposited by Plasma Transferred Arc Process. *Materials and Manufacturing Processes*, 2011, 26.5: 722-731.

- [38] **ZHOU, Yefei, et al.** Influence of La₂O₃ addition on microstructure and wear resistance of Fe-Cr-C cladding formed by arc surface welding, Journal of Rare Earths, 2012, 30.10: 1069-1074.
- [39] **B. Oğuz,** AŞINMA SORUNLARI ve DOLGU KAYNAKLARI, OER-LIKON Yayını, 1993

ÖZGEÇMİŞ

Oktay Yiğit 1986 yılında Erzurum’da dünyaya geldi. İlk ve orta öğrenimini Erzurum’da tamamladı. Lise öğreniminide Erzurum Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2005 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğini 2010 yılında bitirdi. 2011 yılında Fırat Ünivesitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği’nde yüksek lisans öğrenimine başlayıp bunun yanında 2012 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi’nde Araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen burada görevine devam etmektedir.