MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NANO PARTİKÜL KATKILI ÖZLÜ KAYNAK TELLERİNDEN YAPILMIŞ KAYNAKLARDA NANO TOZUN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

YAĞIZER YAVUZ

(533317014)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Metalurji ve Malzeme Programı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Serdar SALMAN

EŞ-DANIŞMAN
Prof. Dr. Sunullah Özbek

İSTANBUL, 2019

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans öğrencisi Yağızer YAVUZ'un "Nano Partikül Katkılı Özlü Kaynak Tellerinden Yapılmış Kaynaklarda Nano Tozun Mekanik Özelliklere Etkisi " başlıklı tez çalışması, 20.06.2019 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Serdar SALMAN (Danışman)
Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Prof.Dr. Yahya BOZKURT (Üye)
Marmara Üniversitesi ..... (İMZA).....

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep TAŞLIÇUKUR ÖZTÜRK (Üye)
İstanbul Gedik Üniversitesi ..... (İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26.06.2019 tarih ve 2019/13-04. sayılı kararı ile Yağızer YAVUZ'un Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Bülent EKİCİ

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanması esnasında, benden desteklerini esirgemeyen, Sayın Hocam Prof.Dr. Serdar SALMAN ve Sayın Hocam Prof.Dr. Sunullah ÖZBEK ’e teşekkürü bir borç bilirim.

Nanokompozitin hazırlanması esnasında, bize laboratuvar imkanlarını sunduğu için Sayın Hocam Prof. Dr. H. Özkan GÜLSOY’a teşekkürlerimi sunarım.

Kaynak tellerinin üretimi,kaynak uygulamaları ve mekanik testler için Gedik Kaynak A.Ş’ye teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan ve sürekli desteklerini hissettiğim aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran,2019 **Yağızer YAVUZ**

İÇİNDEKİLER/

Sayfa

TEŞEKKÜR……..i
ÖZET……...……iv
ABSTRACT…….....v
SEMBOLLER LİSTESİ…….……vi
KISALTMALAR ……...……vii
ŞEKİLLER LİSTESİ……..viii
TABLOLAR LİSTESİ……...……xii
1-GİRİŞ……..……...1
1.1-Kaynağın Tanımı……...2
2-MIG/MAG……..2
2.1-MIG/MAG Kaynağının Tarihçesi……..2
2.2-MIG/MAG Yöntemi……..3
2.3-Metal Transfer Mekanizmaları……..5
2.3.1-Kısa devre transferi……...6
2.3.2-Globüler metal transferi……7
2.3.3-Sprey metal transfer…….....8
2.3.4-Darbeli sprey transfer……11
2.4-Kullanılan Koruyucu Gazlar……12
2.4.1-Asal gazlar……...13
2.4.2-Karbondioksit…….....15
2.4.3-Karışım gazlar……15
2.5-Kaynak Donanımı……16
2.5.1-Kaynak torcu……...16
2.5.2-Hortum paketi……..18
2.5.3-Tel Besleme mekanizması…….....18
2.5.4-Kontrol mekanizması…….....21
2.5.5-Akım üreteçleri……22
3-Özlü Telle Gazaltı Ark Kaynağı……...24
3.1-Tarihçesi……..……...24
3.2-Yöntemin Tanımı……24

3.3-Özlü Kaynak Tel Üretimi……..……..27
3.4- Özlü Tel Elektrotlarda Kullanılan Elementler……..….30
3.5-Özlü Tel Elektrotların Sınıflandırılması…….……..……32
4-Nanokompozit……..…….....33
4.1-Nanokompozit Tanımı…….....…….....33
4.2-Nanokompozit Üretim Yöntemleri……..….....34
4.2.1 Mekanik alaşımlama yöntemi ile nanokompozit üretimi…..…….....34
4.2.2 Sol-Jel prosesi ile nanokompozit üretimi……..…….....36
4.2.3 Termal sprey sentez yolu ile nanokompozit üretimi…...……...……37
5-TURBULA MİKSER……..…….39
6-DENEYSEL ÇALIŞMALAR…….....40
6.1 Nano-Kompozit Üretimi……..…….....40
6.1.1-Kullanılan tozlar…….……40
6.1.2-Kullanılan ekipmanlar…….……...41
6.1.3-Karakterizasyon çalışmaları…….....44
6.1.4-Karışım optimizasyonu…….....44
6.2-Kaynak Tel Üretimi,Uygulamaları ve Testleri…….53
6.2.1-Özlü tel üretim hattı…….....53
6.2.2-Kullanılan metal plaka…….....54
6.2.3.-Kaynak işlemleri…….....55
6.2.4-Mekanik testler…….....56
6.2.5-Karakterizasyon çalışmaları……...67
7-SONUÇLAR…….....73
8-KAYNAKLAR…….....75
9-EKLER…….…....79
9.1.İç Yapı Analizleri……..……..79
10-ÖZGEÇMİŞ……...83

ÖZET

NANO PARTİKÜL KATKILI ÖZLÜ KAYNAK TELLERİNDEN YAPILMIŞ KAYNAKLARDA NANO TOZUN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Boru hatları veya kıyıdan uzak rüzgar türbinleri gibi birçok yapılarda, özellikle yüksek tokluk büyük önem arz etmektedir. Bu yapıları oluşturmak için, farklı ölçülerde malzemelerin birleştirilmesi gerekmektedir. Kaynaklı birleşim bölgelerindeki düşük tokluk, stabiliteyi ve güvenirliği etkileyen en önemli problemlerden biridir. Kaynak dikişinin ve ısı etkisi altındaki bölgenin (ITAB) tokluğu, ana metalin tokluğu düzeyinde olmalıdır. Bu tür yapılar için beklenen son derece yüksek ve toleranssız özellikler, geleneksel ark kaynak yöntemleri yerine lazer hibrit kaynak yöntemi gibi değişik, modern kaynak yöntemlerini çalışmaya, teşvik etmektedir.Bu amaç kapsamında ilk olarak nano boyuta sahip Al_20_3,$Zr0_2$,$Ti0_2$ tozları ile önceden belirlenmiş olan sünger demir tozu karıştırılmak suretiyle bir [Fe-(Al_2O_3-TiO_2-ZrO_2)] nanokompozit üretilmiştir.Bu üretim esnasında, ilk olarak literatüre sadık kalınarak denenmiş ve başarısız olunmuştur. Tozların sahip olduğu nanoboyuttan dolayı aglomere oldukları belirlenmiştir.Bunun üzerine, 'Turbula T2F' adlı cihaz kullanılarak sünger demirin sahip olduğu gözeneklere, belirtilen nanotozların girmesi ve bir mekanik bir bağlanma yapması suretiyle [Fe-(Al_2O_3-TiO_2-ZrO_2)] nano-kompozit üretilmiştir.İki farklı kompozisyon için özlü kaynak tel üretimleri yapılmış ve bu nano-tozların etkisinin anlaşılması amacıyla PA ve PF pozisyonlarında kaynak uygulamaları yapılmıştır.Mekanik değerleri belirlemek amacıyla çekme,sertlik ve çentik darbe testleri yapılmıştır.Bu yapılan test sonuçlarına göre mekanik özelliklerde bir artış gözlemlenmiştir. Elde edilen numunelerden, makro inceleme esnasında ITAB'ın daraldığı tespit edilmiştir.Mikroskopik analizlerde ise, kaynak bölgesinin sahip olduğu tanelerin küçüldüğü ve bu küçülen tanelere bağlı olarak da mekanik özelliklerin arttığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Nano-kompozit, özlü telle ark kaynağı,tokluk,ITAB

ABSTRACT

EFFECT OF NANOPARTICLES ON MECHANICAL PROPERTIES OF WELD MADE FROM NANOPARTICLE ADDED CORE WELDING WIRE

In many structures such as pipelines or offshore wind turbines, particularly high toughness is of great importance. To create these structures, materials of different sizes must be combined. Low toughness in welded joints is one of the most important problems affecting stability and reliability. The toughness of the weld seam and the area under the influence of the heat (HAZ) must be at the level of toughness of the base metal. The extremely high and intolerant properties expected for such structures promote different, modern welding methods, such as laser hybrid welding method instead of traditional arc welding methods. Within the scope of this aim, a [Fe- (Al_2O_3-TiO_2-ZrO_2)] nanocomposite was produced by mixing the sponge iron powder predetermined with the nano-sized Al_2O_3, ZrO_2, TiO_2 powders. First we have followed technical literature, but we failed. Powders have been identified as agglomerated due to the nano-size. Then, by using the device called 'Turbula T2F', the pores of the sponge iron were produced [Fe- (Al_2O_3-TiO_2-ZrO_2)] nano-composite by introduction of the indicated nano-powders and making a mechanical bonding. In order to understand the effect of these nano-powders, welding applications were made in PA and PF positions. Tensile, hardness and notch impact tests were performed to determine the mechanical values. According to the results of this test, an increase in mechanical properties was observed. From the obtained samples, it was determined that the HAZ was narrowed during the macro examination. In the microscopic analyses, it was determined that the grains of the weld region were reduced and the mechanical properties increased due to these grain refinement.

Keywords: FCAW,HAZ,nano-composites, toughness

SEMBOLLER

A	:Akım
cm^3	:Santimetreküp
dk	:Dakika
g	:Gram
Hv	:Hardness Vickers
j	:Joule
Kg	:Kilogram
ml	:Mililitre
nm	:Nanometre
V	:Voltaj
%	:Yüzde

KISALTMALAR

Al_2O_3 :Alümina oksit

Ar :Argon

ASTM : American Society for Testing and Materials (Amerikan Malzeme ve Test Derneği)

AWS :American Welding Society (Amerikan Kaynak Derneği)

CO :Kobalt

CO_2 :Karbondioksit

EDS :Energy Dispersive Spectrometry (Enerji Dispersiv Spektrum)

EN :European Norm(Avrupa Normu)

He :Helyum

ITAB : Isı Tesiri Altındaki Bölge

ISO :International Organisation for Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)

MAG :Metal Aktif Gaz

MIG :Metal İnert Gaz

MPa :Megapaskal

PA :Oluk pozisyonu

PF :Dikey pozisyon

SEM :Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)

TiO_2 :Titanyum dioksit

TS :Türk Standardı

ZrO_2 :Zirkonyum dioksit

X-RF :X-Ray Fluorescence (X-Işını Floresansı)

WC :Wolfram karbür

ŞEKİL

Şekil 2. 1. Koruyucu gaz kullanan kaynak yöntemlerinin yıllara göre gelişimi……3
Şekil 2. 2. MIG/MAG Kaynağına ait donanımın görünümü……...4
Şekil 2. 3. MIG/MAG kaynak yönteminin şematik görünümü……...5
Şekil 2. 4. Kısa Devre Metal Transfer Metodu……6
Şekil 2. 5. Globüler metal taşınımı şematik görünümü……...8
Şekil 2. 6. Sprey transfer modunun şematik gösterimi……9
Şekil 2. 7. Geçiş akımının modunun şematik olarak gösterimi……10
Şekil 2. 8. Darbeli sprey transfer metodunun ark durumunun gösterimi……...11
Şekil 2. 9. Argon ve Helyum atmosferi altında ark ve gerilim değerleri……...14
Şekil 2. 10. Çeşitli koruyucu gazla yapılan parçaların nüfuziyetinin şematik gösterimi……...14
Şekil 2. 11. Torcun şematik görünümü……17
Şekil 2. 12. Tel besleme mekanizmasının şematik görünümü……19
Şekil 2. 13. Sırasıyla ikili ve dörtlü tel besleme mekanizmaları……...20
Şekil 2. 14. U,V kesitli ve özlü kaynak telinin beslenmesinde kullanılan makara kanalı.20
Şekil 2. 15. Sabit akımlı akım üreteçlerinde akım-voltaj karakteristikleri……..22
Şekil 2. 16. Sabit gerilimli akım üretecinin akım-geriliminin şematik gösterimi……23
Şekil 2. 17. Ark boyunun yeniden ayarlanması……..24
Şekil 3. 1. Özlü telin şematik gösterimi……25
Şekil 3. 2. İlave gaz korumasına ihtiyaç duyan özlü telle ark kaynağının şematik görünümü……..26
Şekil 3. 3. Kendinden gaz korumalı özlü telle ark kaynağının şematik görünümü……27
Şekil 3. 4. Özlü tel üretim yönteminin şematik gösterimi……...28
Şekil 3. 5. Farklı kapanma profiline sahip özlü teller……...29
Şekil 3. 6. Alaşımsız özlü tel elektrotların standart gösterimi……...32
Şekil 3.7. Avrupa normuna göre özlü kaynak tellerinin standart gösterimi……...33
Şekil 4.1. Mekanik alaşımlama yönteminin şematik görünümü……..35
Şekil 4.2. Termal sprey prosesinin şematik görünümü……...37
Şekil 5.1. Turbula karıştırıcısının şematik görünümü……..39
Şekil 6.1. Bilyalı öğütücüye ait görüntüler……..41
Şekil 6.2. Mikronize sünger demir tozu içerisine sırasıyla ZrO_2, TiO_2, Al_2O_3 nanotozların karıştırıldıktan sonraki görüntüleri……42
Şekil 6.3. Tozların sırasıyla karışımdan sonra ve önceki görüntüleri……42
Şekil 6.4. Turbula T2F karıştırıcısının görünümü……...43

Şekil 6.5. Kullanılan SEM-EDS cihazı……44
Şekil 6.6. Hazırlanan karışım……...46
Şekil 6.7. Tozların karışımda aglomere halde bulunması……46
Şekil 6.8. Her çevrim sonrası karışım……..47
Şekil 6.9. Mikronize sünger demir……..47
Şekil 6.10. Karıştırılmadan sonra nanokompozit……..48
Şekil 6.11. Mikronize sünger demir tozu (100.000x-150.000x büyütmelerde)……48
Şekil 6.12. 23 devir/dk karışım (100.000x-200.000x)……....48
Şekil 6.13. 34 devir/dk karışım (100.000x-200.000x)……49
Şekil 6.14. 49 devir/dk karışım (100.000x-200.000x)…….. ……49
Şekil 6.15. 23 devir/dk EDS analizleri……...49
Şekil 6.16. 23 devir/dk Mapping analizleri……50
Şekil 6.17. 34 devir/dk EDS analizleri……...50
Şekil 6.18. 34 devir/dk Mapping analizleri……50
Şekil 6.19. 49 devir/dk EDS analizleri……50
Şekil 6.20. 49 devir/dk Mapping analizleri……51
Şekil 6.21. 49 devir/dk'da 1 saat sonrası karışım görüntüleri(100.000x-200.000x büyütmelerde)……51
Şekil 6.22. 49 devir/dk 1 saat karışım sonrası EDS analizleri……...51
Şekil 6.23. 49 devir/dk 1 saat sonrası Mapping analizleri……51
Şekil 6.24. 49 devir/dk 2 saat karıştırma sonrası SEM görüntüleri (100.000x-200.000x).52
Şekil 6.25. 49 devir/dk 2 saat karıştırma sonrası EDS analizleri……...52
Şekil 6.26. 49 devir/dk 2 saat karıştırma sonrası Mapping analizi……52
Şekil 6.27. 49 devir/dk 3 saat karıştırma sonrası(100.000x-200.000x)……..52
Şekil 6.28. 49 devir/dk 'da 3 saat karışım sonrası EDS analizleri……..53
Şekil 6.29. 49 devir/dk 'da 3 saat karışım sonrası Mapping analizleri……..53
Şekil 6.30. Kullanılan özlü tel üretim hattı……..53
Şekil 6.31. Özlü tel üretim akış şeması……..54
Şekil 6.32. Kullanılan kaynak makinası……..55
Şekil 6.33. PA pozisyonu……55
Şekil 6.34. PF pozisyonu……56
Şekil 6.35. Radyografik muayene esnasında kullanılan X-Ray cihazı……....57
Şekil 6.36. PA pozisyonunda yapılan Elcor R-71 numunesinin kaynağının röntgen görünümü……...57
Şekil 6.37. PF pozisyonunda yapılan Elcor R-71 numunesinin kaynağının röntgen görünümü……..57
Şekil 6.38. PA pozisyonunda 1.kompozisyon için yapılan kaynakların röntgen görünümü……58
Şekil 6.39. PF pozisyonunda 1.kompozisyon için yapılan kaynakların üretimi……58

Şekil 6.40. PA pozisyonunda 2.kompozisyon için yapılan kaynakların röntgen görünümü…….58
Şekil 6.41. PF pozisyonunda 2.kompozisyon için yapılan kaynakların röntgen görünümü…….58
Şekil 6.42. Kullanılan X-RF cihazı……..59
Şekil 6.43. PA pozisyonu için kullanılan çekme test numunesinin boyutları……60
Şekil 6.44. PF pozisyonu için kullanılan çekme test numunesinin boyutları…….61
Şekil 6.45. Kullanılan çekme cihazı……...61
Şekil 6.46. Standartlara göre elde edilmiş çentik numunesinin boyutları……..63
Şekil 6.47. Kullanılan numune örnekleri testten önce(soldan sağa doğru PF ve PA pozisyonu için numuneler)……..63
Şekil 6.48. Çentik darbe cihazı……64
Şekil 6.49. PA pozisyonu için yapılan sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar……66
Şekil 6.50. PF pozisyonu için yapılan sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar……66
Şekil 6.51. Kullanılan sertlik cihazı……66
Şekil 6.52. PA pozisyonunda yapılan Elcor R-71 makro görüntüsü……..68
Şekil 6.53. PA pozisyonunda yapılan 1.kompozisyona ait makro görüntüsü……68
Şekil 6.54. PA pozisyonunda yapılan 2.kompozisyon makro görüntüsü……...68
Şekil 6.55. PF pozisyonunda yapılan Elcor R-71 makro görüntüsü……..68
Şekil 6.56. PF pozisyonunda yapılan 1.kompozisyon makro görüntüsü……69
Şekil 6.57. PF pozisyonunda yapılan 2.kompozisyon makro görüntüsü……69
Şekil 6.58. İç yapı analiz çalışmalarında kullanılan optik mikroskop……70
Şekil 6.59. PA pozisyonunda yapılan, Elcor R-71numunesinin kaynak bölgesinin iç yapı görünümü…….70
Şekil 6.60. 1.kompozisyon için PA pozisyonunda yapılan parçaların,kaynak bölgesi iç yapısı……70
Şekil 6.61. 2.kompozisyon için PA pozisyonunda yapılan parçalardan,kaynak bölgesi iç yapısı……71
Şekil 6.62. PF pozisyonunda yapılan Elcor R-71 numunesinin kaynak bölgesi iç yapısı.71
Şekil 6.63. PF pozisyonunda 1.kompozisyon için kaynak bölgesi iç yapısı……..71
Şekil6.64. PF pozisyonunda 2.kompozisyon için kaynak bölgesi iç yapısı……...71
Şekil 9.1. Kaynak metali-ana malzeme iç yapı görüntüleri sırasıyla(10x,20x,40x) büyütmelerde……...79
Şekil 9.2 PA pozisyonunda yapılan, ITAB iç yapı görünümü (sırasıyla soldan sağa 10x-20x-40x büyütmelerde)……...79
Şekil 9.3. 1.kompozisyon için PA pozisyonunda yapılan kaynakların ana malzeme iç yapısı ……...79

Şekil 9.4. 1.kompozisyon için PA pozisyonunda yapılan kaynakların ITAB iç yapısı….79
Şekil 9.5. 2.kompozisyon için PA pozisyonunda yapılan parçalardan, ana malzeme iç yapısı……79
Şekil 9.6. 2.kompozisyon için PA pozisyonunda yapılan parçalardan, ITAB iç yapısı…79
Şekil 9.7. PF pozisyonunda yapılan Elcor R-71 numunesinin ana malzeme iç yapısı…..80
Şekil 9.8. PF pozisyonunda yapılan Elcor R-71 numunesinin ITAB iç yapısı……..80
Şekil 9.9. PF pozisyonunda 1.kompozisyon için ana malzeme iç yapısı……...80
Şekil 9.10. PF pozisyonunda 1.kompozisyon için ITAB iç yapısı…….80
Şekil 9.11. PF pozisyonunda 2.kompozisyon için ana malzeme iç yapısı…….81
Şekil 9.12 PF pozisyonunda 2.kompozisyon için ITAB iç yapısı……..82

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Endüstride çokça kullanılan metallerin geçiş akım değerleri ve kullanılan koruyucu gaz atmosferleri……...10
Tablo 2.2 Gazaltı ark kaynaklarında kullanılan koruyucu gazlara göre malzeme……..16
Tablo 6.1 Kullanılan tozlar ve özellikleri……...41
Tablo 6.2 Kullanılan tozlar ve oranları……...44
Tablo 6.3 Karışım oranları ve kullanılan toz oranları…….45
Tablo 6.4 S355JR'ye ait kimyasal ve mekanik özellikler……...54
Tablo 6.5 Kullanılan pozisyonlar ve parametreler……..56
Tablo 6.6 X-RF analizinde belirlenen kaynak metalindeki nano-toz oranları…….59
Tablo 6.7 PA pozisyonu için çekme testi sonuçları……62
Tablo 6.8 PF pozisyonu için çekme testi sonuçları…….62
Tablo 6.9 PA pozisyonunda yapılan kaynakların çentik sonuçları……64
Tablo 6.10 PF pozisyonunda yapılan kaynakların çentik sonuçları……65
Tablo 6.11 PA pozisyonu için kaynak metali sertlik değerleri……66
Tablo 6.12 PF pozisyonu için sertlik değerleri……....67
Tablo 6.13. PF pozisyonu için 1.kompozisyon sertlik değerleri…….67
Tablo 6.14. PF pozisyonu için 2.kompozisyon sertlik değerleri…….67

1.GİRİŞ

1.1 Kaynağın Tanımı:

Kaynak, birleştirilecek malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre Metal Kaynağı ve Polimer Kaynağı olmak üzere iki çeşittir.

Metal Kaynağı: Metal esaslı malzemeler için kullanılan kaynak yöntemidir. Bu yöntemde ısı, basınç veya her iki etkeni de aynı anda kullanmak suretiyle metal esaslı malzemelerden aynı türde olan veya kimyasal ve mekanik özellikleri yakın olan metalik bir malzeme yardımıyla veya ek malzeme ilavesine gerek kalmadan birleştirilmesi işlemine metal kaynağı denilmektedir. Eğer kaynak işlemi esnasında, kaynak bölgesinde dışarıdan bir metalik malzeme ilavesi olursa buna 'ilave metal' denilmektedir [1].

Polimer Kaynağı: Yalnızca termoplastik polimer malzeme kullanılarak aynı tür veya benzer birleşimlere sahip olan termoplastik kullanılarak veya kullanılmayarak, ısı, basınç veya her iki etkenin de aynı anda kullanmak suretiyle bir birleştirme işlemidir [1,2].

Bu tezde metal kaynak çalışmaları yapılmıştır. Bu nedenle aşağıda metal kaynağı ile ilgili literatür kısaca verilmiştir.

Metal kaynak yöntemleri iki çeşittir:

1-Ergitme Kaynak Yöntemleri;

- Döküm eritme kaynağı.
- Elektrik direnç eritme kaynakları.
- Gaz eritme kaynakları.
- Elektrik ark kaynakları.
  - Karbon arkı ile kaynak.
  - Metal arkı ile kaynak.
  - Koruyucu gaz altında kaynak.
    - TIG kaynakları.
    - MIG/MAG kaynakları.
- Tozaltı kaynakları.
- Elektron bombardımanı ile kaynak.
- Lazer ışın kaynakları.

2-Basınç Kaynakları;

- Soğuk basınç kaynakları.
- Ultrasonik kaynaklar.
- Sürtünme kaynağı.

- Ocak kaynağı.
- Döküm basınç kaynağı.
- Gaz basınç kaynağı.
- Elektrik direnç kaynağı.
- Elektrik ark basınç kaynağı.
- Difüzyon kaynağı[1,3].

Bu çalışmada MIG/MAG kaynağı uygulamaları yapıldığından aşağıda konu ile ilgili bilgiler verilmiştir. MIG (Metal Inert Gaz) **:** Inert gazların yani kimyasal olarak tepkimeye girmeyen gazların kullanıldığı tiptir. MAG (Metal Aktif Gaz) **:** Kimyasal olarak tepkimeye giren gazların kullanıldığı tiptir.

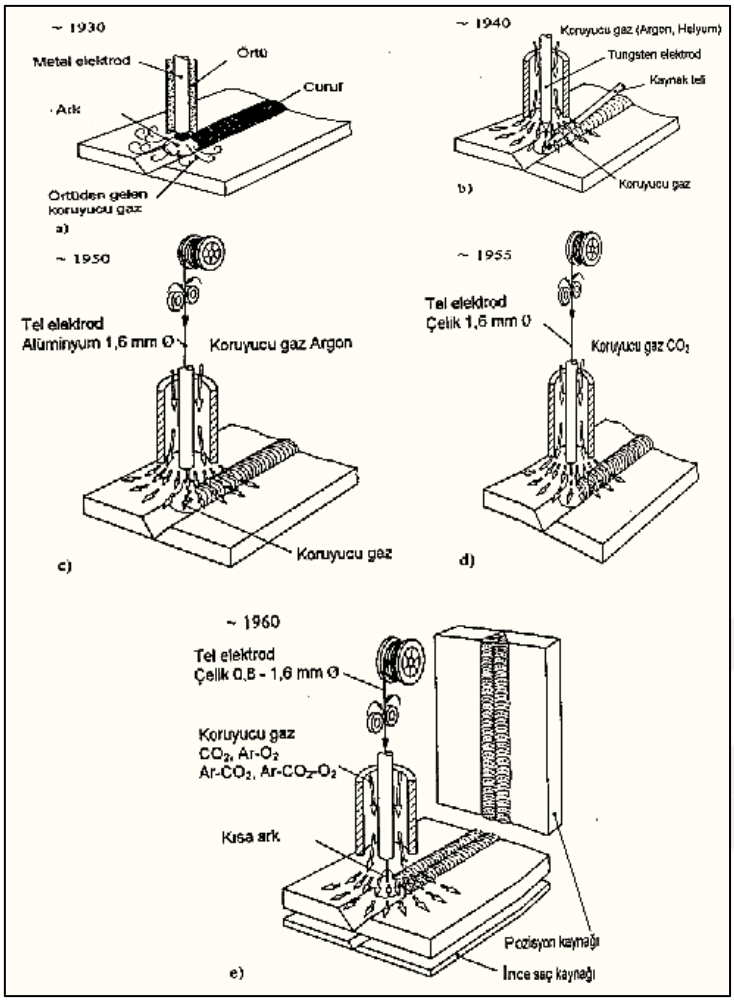
2- MIG/MAG KAYNAĞI

2.1 Tarihçesi:

MIG kaynağı genel olarak 1940'lı yıllarda ticari olarak üretilen kaynak makinelerinin pazara sunulması ile başlamıştır. O tarihlerde yöntemin adı S.I.G.M.A idi ve anlamca MIG kaynağıyla aynı anlamda kullanılmaktaydı. MAG ise karbondioksit koruyucu gaz kullanılarak yapılan ilk defa 1952 yılında Rusya'da denenmiş ve ardından MAG adıyla anılmıştır. O tarihlerde Argon gazının çok pahalı olması sebebiyle, yalnızca düşük alaşımlı ve alaşımsız çeliklerin kaynağı için kullanılmıştır [3-5].

Koruyucu gaz olarak CO_2 kullanılması ile bu koruyucu gaz altında oluşan sıçrama sayesinde kısa ark adı verilen kaynak tekniğinin gelişmesine neden olmuştur. Bu özelliği sayesinde MAG kaynağı neredeyse sıçramasız kaynak yapılabilmesini sağlamış, ince saclarda, kök pasolarının kaynak edilmesinde ve zor pozisyonlardaki kaynaklarda kullanılmıştır.

İlerleyen teknolojik gelişmelerle paralel olarak argon gazının fiyatının düşmesiyle karışım gazlar kullanılmaya başlanmıştır. Bunun ilk örneği argon-karbondioksit karışım gazı olarak karşımıza çıkmıştır. Şekil 1'de koruyucu gaz kaynak uygulamalarının tarihsel gelişimi gösterilmiştir[3].



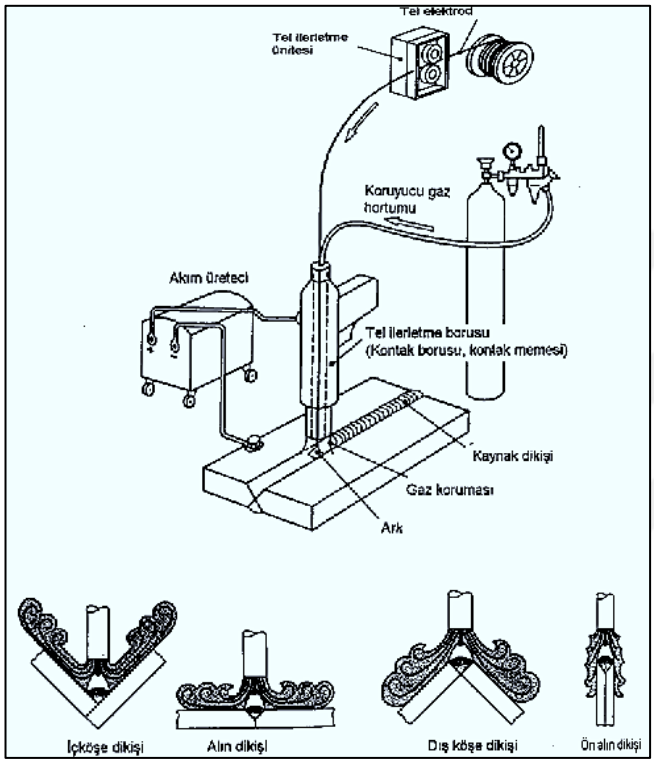
Şekil 2.1. Koruyucu gaz kullanan kaynak yöntemlerinin yıllara göre gelişimi[3]

2.2 MIG/MAG Yöntemi:

Harici olarak tedarik edilen bir koruyucu gaz kullanılarak Argon, Helyum,CO_2 veya bunların bir karışımı halde kullanılarak, sürekli beslenen bir eriyen elektrot yardımıyla yapılan kaynak yöntemidir. Kullanılan koruyucu gaz türüne göre MIG(Metal Inert Gas) ya da MAG(Metal Active Gas) adını alır [1, 3, 4].

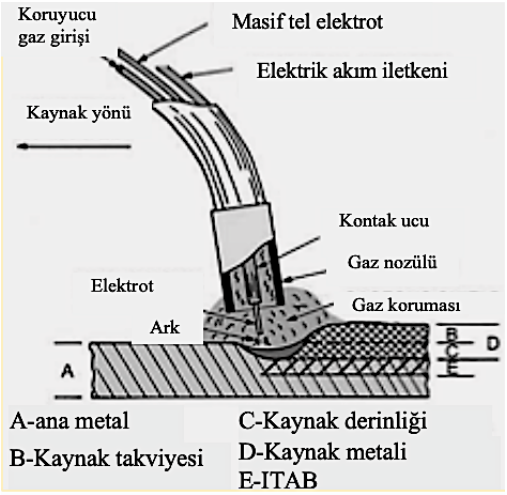
Sınırsız elektrot adı verilen kaynak teli, bir tel ilerletici vasıtasıyla akım kontak memesi adı verilen yere gelir. Tel uçucun kısalığı sebebiyle ince olan elektroda daha yüksek şiddetlerde akım uygulanabilmektedir(>100 A/mm). Makinanın kutup çıkışlarından biri elektroda bağlanırken diğeri de kaynak için gerekli olan arkı sağlaması açısından iş parçasına bağlanır. Ark, iş parçası ile elektrot arasında oluşarak gerekli ısıyı sağlar. Bu sayede kaynak için yeterli ısı sağlanmış olur ve bu ark sayesinde kaynak teli ergiyerek

kaynak yapılacak bölgeyi doldurması beklenir. Burada elektrot hem enerjiyi iletme görevi hem de kaynak ilave metali rolünü üstlenir. Ergime başlamadan önce, arkın başladığı zamanla, aynı anda ve aynı eksende olmak üzere nozüllerden kaynak edilecek olan malzemeye uygun koruyucu gaz kullanılarak arkı, ergiyik halde bulunan metal damlacıkları ve kaynak banyosunu dış etkilerden korur, Şekil 2.2, [3].



Şekil 2.2. MIG/MAG Kaynağına ait donanımın görünümü [3]

Burada bahsedildiği gibi telin bir tel sürme mekanizması yardımıyla sürülmesi sebebiyle yöntem yarı otomatik kaynak adını da almaktadır. Kaynak makinesindeki ilk ayarlar kaynakçı tarafından ayarlandıktan sonra, ark için gereken özellikler donanım sayesinde otomatik olarak ayarlanmış olur. Bu sayede değiştirilebilen etmenler kaynak hızı, kaynak yönü ve kaynak torcunun konumlandırılmasıdır. Ekipman ve kaynakçı göz önüne alındığında telin kaynak bölgesine beslenme hızı ve oluşan arkın gerilimi korunmuş olur. Bu üç kaynak parametresinin kontrolü sayesinde kaynakçının istenen herhangi bir parça için gerekli ince ayarları yapma olanağı sağlanmış olur. Yöntemin şematik görünümü Şekil 2.3'de verilmiştir [4-5].



Şekil 2.3: MIG/MAG kaynak yönteminin şematik görünümü[4]

2.3 Metal Transfer Mekanizmaları:

MIG/MAG kaynakta, kaynak dolgusu ark tarafından oluşturulduğu için bunu en iyi karakterize etmenin yolu metal transfer mekanizmalarıdır. MIG/MAG kaynağı için bunlar:

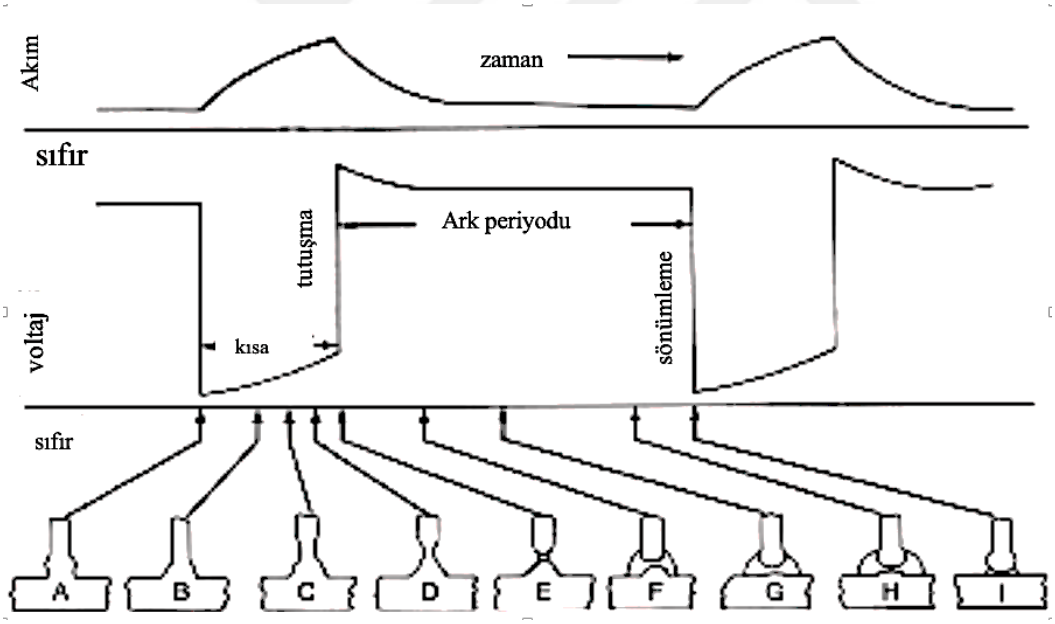
- Kısa devre transferi
- Küresel transfer
- Sprey transferidir [4-5].

Bu iletim mekanizmaları birçok faktör tarafından etkilenmektedir. Bunlardan en fazla etkiye sahip olanlar aşağıda sıralanmıştır:

- Kaynak akımının şiddeti, tipi ve polaritesi
- Elektrotun kalınlığı
- Elektrotun kimyasal özellikleri
- Elektrotun uzunluğu
- Koruyucu gazın kimyasal kompozisyonu[4]

2.3.1 Kısa devre transferi:

Kısa devre transfer mekanizması, MIG/MAG kaynak işlemi için gerekli olan en az akım aralıklarında ve 1.2 mm ‘ye kadar olan elektrot çaplarında gerçekleşmektedir. Diğer yöntemlere nazaran tel ilerleme hızlarının düşüklüğü, gerilim ve metal birikme oranlarının daha düşük olması sebebiyle, ince parçaların her pozisyonda kaynaklanması, büyük köke sahip parçaların kaynaklanabilmesi genellikle bu yöntemle daha kolaydır. Fakat düşük metal birikme oranına bağlı olarak kalın parçalarda yetersiz birleşme görülebilir. Bu yöntemdeki düşük ısı girdisi sayesinde kaynakta distorsiyon ve sıçramalar azaltır. Kaynak arkı boyunca herhangi bir metal transferi meydana gelmez. Elektrot, kaynaklanacak iş parçası ile temas ettiği zaman ergime gerçekleşir ve bu temas sayısı ise saniyede 200’e kadar çıkabilmektedir. Transfer mekanizmasındaki durumların sırasıyla gösterimi ve buna karşılık meydana gelen akım ve gerilim değerleri Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Kısa Devre Metal Transfer Metodu[4]

Şekil 2.4’de Telin iş parçasına temas ettiği sırada akım da artar(A-B-C-D). Elektrot ucundaki ergimiş metal bölge (D) ve (E) 'de sıkışmış olmasıyla , (E) ve (F)' de görüldüğü

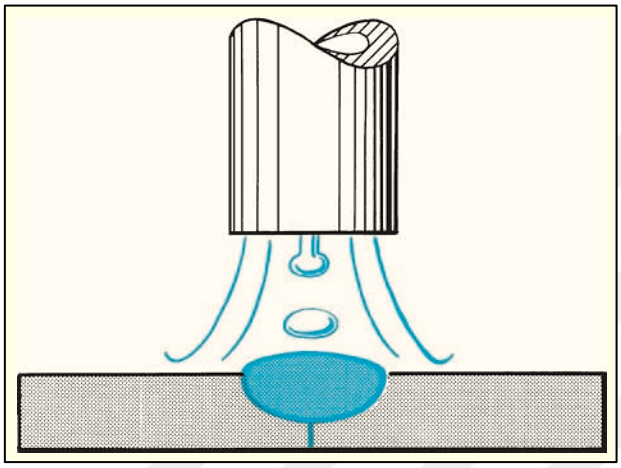
üzere bir akıma sebep olur. Buradaki akım artış hızı, telin ergimesini ve damla transferini sağlamak amacıyla yüksek olmakla birlikte, ergiyerek kopmuş halde bulunan elektrot damlacıklarının, kopmasından meydana gelen sıçramaların minimumda olması beklenir, bu yüzden ark düşük olmalıdır. Bu endüktans tarafından ayarlanmaktadır [4-9].

Ark başladığında, kısa devre oluşmaya başlayıncaya kadar beslenen telin uç kısmı erir(G-H-I). Burada en önemli hususların başında ergimiş halde bulunan tel ucunun, iş parçasına transfer olmaması için gerekli akım değerinin düşük olması beklenir. Metal taşınımı sırasında akım ve gerilim kadar koruyucu gazında etkisi önemsenecek kadar fazladır. Burada gazın hangi türde olduğu ve aktif, inert veya karışım halde bulunması, akım değerinden, kısa devre süresine ve ergimiş halde bulunan elektrodun taşınımı bile etkilemektedir. MAG kaynağında kullanılan karbondioksit gazının diğer kullanılan koruyu gazlara nazaran sıçrantısı fazla olmasına rağmen, daha iyi bir birleşme karakteristiği göstermektedir. Böylece özellikle kısa devre metal taşınımı için karbondioksit gazının diğer gazlarla özellikle argon gazıyla karışım halinde kullanılmak suretiyle sıçrantıyı azaltması ve daha iyi bir penetrasyon sağlaması sebebiyle günümüzde çeliklerde kullanılmaktadır [4, 5].

2.3.2 Globüler (küresel) damla transferi:

Sürekli beslenen bir masif özlü tel veya özlü kaynak teli kullanılarak, kaynak banyosuna kısa devre transfer metodundan biraz daha yüksek akım ve tel besleme hızlarında ve yer çekiminin de etkisiyle sayesinde sürekli beslenen bir tel elektrotunun uç kısmının ergiyerek büyük metal damlacıklar halinde transfer edilmesi esasına dayanır (Şekil 2.5). Burada metal damlacıklar daha da büyük olursa yöntem düzensiz olarak adlandırılmaktadır. Önemli bir husus ise ergimiş halde bulunan metal damlacıklarının çapının, beslenen elektrot çapından daha büyük olmasıdır. Bazı durumlarda 2 veya 3 katına kadar ulaşabilmektedir. Globüler transfer metodunda, yerçekimi etkisinin de bulunmasından kaynaklı, yalnızca düz kaynaklar yapılabilmektedir, bu, arkın kararlı halde bulunamaması ve sıçrantı sebebiyle, kaynaklı imalat için sınırlı bir alan sunar. Buna paralel olarak arkın kısa olması durumunda ergiyen damlacık iş parçasına temas edebilir ve bu durumda orada sıçrama oluşmasına sebep olur. Arkın belirli bir seviyede tutulması ile bu aşılabilir ve böylece ergimiş halde bulunan metal elektrotu, iş parçasına temas

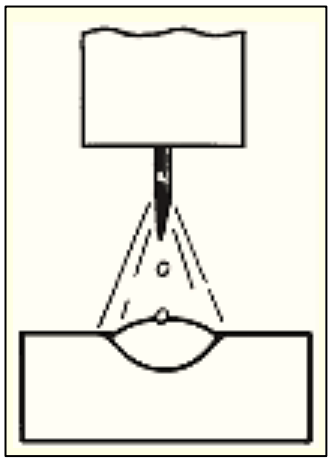
etmeden kaynak torcundan ayrılarak kaynak banyosuna geçer. Bu yöntemde koruyucu gazın etkisi diğer yöntemlere nazaran daha fazladır. Özellikle, soy gaz olan Argon gazının yüzde 80 oranından daha az oranda bulunması globuler transfer durumuna yol açmaktadır. Genellikle aktif bir gaz olan CO_2 kullanılır ve bu kullanılan koruyucu gaz ve değişken oranlarda ark-voltaj değerleri kullanıldığından, yapılan kaynağın mekanik değerlerini olumsuz etkileyebilmektedir [4-9].



Şekil 2.5: Globüler metal taşınımı şematik görünümü[9]

2.3.3 Sprey metal transfer metodu:

Yüksek akım ve voltaj ile birlikte ve koruyucu gaz atmosferi altında meydana gelir. Burada ark ve voltajın diğer yöntemlere nazaran daha yüksek olması sebebiyle ergiyen tel elektrodun ucu sivrileşerek, buradan ayrılan metal damlacıklar kaynak banyosuna ark boyunca transfer olur bu sivrileşme sonucu olarak metal damlacıklarının boyutu elektrot çapından daha küçük hale gelir. Şekil 2.6'de yöntemin şematik gösterimi verilmiştir[4,6].

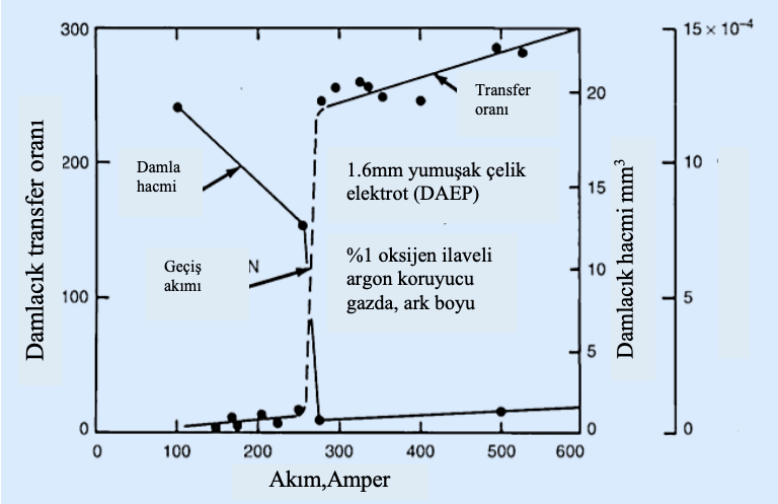


Şekil 2.6: Sprey metal transfer modunun şematik gösterimi[4]

Koruyucu gaz olarak genellikle ikili karışımlar kullanılır. Burada CO_2 miktarının % 18 den az olması durumunda ark daha kararlı ve sıçrantısız bir eksenel sprey metodu elde edilebilmektedir[5-6].

Bu tip bir metal geçişinde bir pozitif kutuplamalı doğru akım üreteci gereklidir ve bu belirli bir akım değerinin üstünde tutulmalıdır. Bu akım ve gerilim değerleri sağlanamadığı takdirde, sprey transfer metodu, globüler transfer metodu olarak karşımıza çıkacak ve damla transfer hızı sprey transfer metoduna kıyasla çok düşecektir. Buradaki önemli değer de 'geçiş akımı' olarak adlandırılmaktadır. Ark değeri, geçiş akımının üzerinde tutulduğu takdirde ise metal transferi sprey formda bulunabilecek ve çok küçük çaplarda ve çok yüksek transfer hızlarında (yaklaşık olarak saniyede 100 damla) gibi değerlere ulaşacaktır. Bu geçiş akımı ile ilgili şematik gösterim Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1'de Endüstride çokça kullanılan metallerin geçiş akımı ve kullanılan koruyucu gaz atmosferleri verilmiştir.



Şekil 2.7: Geçiş akımının şematik olarak gösterilmesi[4]

Tablo 2.1: Endüstride çokça kullanılan metallerin geçiş akım değerleri ve kullanılan koruyucu gaz atmosferleri [4]

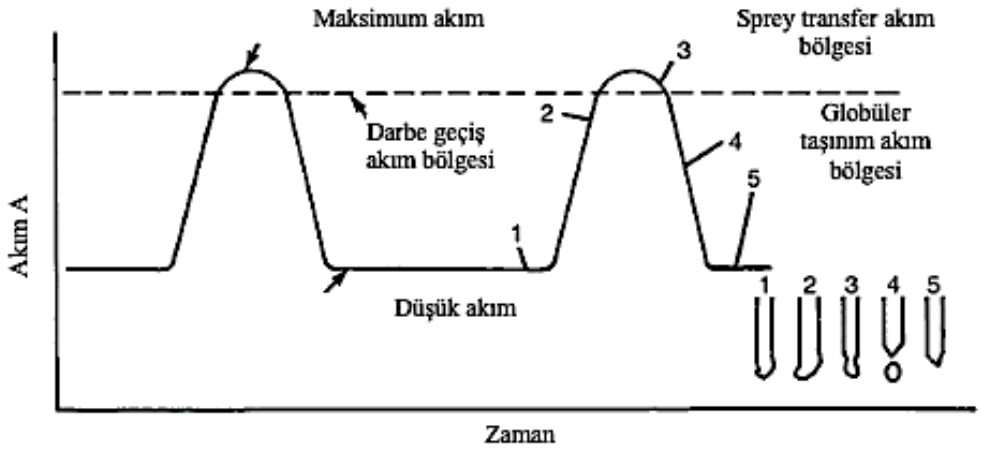
Elektrot Türü	Elektrot Çapı (mm)	Koruyucu Gaz Türü	Minimum Sprey Akım Değerleri (A)
Yumuşak çelik	0.8	%98 Argon-%2 CO_2	150
Yumuşak çelik	0.9	%98 Argon-%2 CO_2	165
Yumuşak çelik	1.1	%98 Argon-%2 CO_2	220
Yumuşak çelik	1.6	%98 Argon-%2 CO_2	275
Paslanmaz çelik	0.9	%98 Argon-%2 CO_2	170
Paslanmaz çelik	1.1	%98 Argon-%2 CO_2	225
Paslanmaz çelik	1.6	%98 Argon-%2 CO_2	285
Alüminyum	0.8	Argon	95
Alüminyum	1.1	Argon	135
Alüminyum	1.6	Argon	180
Oksijeni giderilmiş bakır	0.9	Argon	180
Oksijeni giderilmiş bakır	1.1	Argon	210
Oksijeni giderilmiş bakır	1.6	Argon	310
Silisyumlu bronz	0.9	Argon	165
Silisyumlu bronz	1.1	Argon	205
Silisyumlu bronz	1.6	Argon	270

Sprey transfer metodunun sahip olduğu yüksek dolgu oranları, kullanılan tel elektrodun %98 gibi yüksek değerlerde kullanılabilmesi, çok çeşitli çap aralıklarında elektrotları kullanabilme, kaynak dikiş kalitesinin yüksek olması ve sıçrantı olmaması, kolay kullanılabilmesi, avantajları arasında yer almaktadır. Buna karşın yüksek ark ve voltajdan kaynaklı, daha parlak bir ışık yayması, kaynak dumanının çok olması, düz ve yatay kaynak pozisyonları ile sınırlı olması, yöntemin sınırlayıcıları olarak gösterilmektedir [9].

2.3.4 Darbeli sprey transfer metodu:

Darbeli sprey transfer metodu, akımın iki seviye arasında gidip-gelmesi ile meydana gelmektedir. Akımın dalgalı seyretmesi sebebiyle de sprey transfer metoduna göre daha düşük akımlarda çalışılmasına olanak sağlar. Bu daha düşük akımda çalışılma iş parçasına uygulanan ısı girdisini de düşürdüğünden parçanın distorsiyona uğraması, içyapının daha homojen olmasını sağlar. Ayrıca, akımın farklılığı sayesinde sürekli değil de, eşit aralıklarda bir ve birkaç metal damlasının, iş parçasına geçişini yüksek derecede kontrollü ve eksenel olarak sağlar. Bu geçiş, arkın en yüksek olduğu noktada gerçekleşmektedir [4, 5, 9].

Burada düşük olan akım, elektrottan ergime olmaksızın arkı sürdürür, yüksek olan akım ise metal damlacığını oluşturur. Ardından ise akım tekrar azalmak suretiyle arkı sürdürür. Bu döngü sürekli devam eder, Şekil 2.8. Sürekli arkın değişmesinden dolayı, kaynak bölgesi daha hızlı soğur. Böylece, ısı girdisini düşürmek suretiyle, sprey transfer metoduna nazaran metal damlacıklarının daha hızlı soğumasına olanak sağlar [4, 5, 6].



Şekil 2.8: Darbeli sprey transfer metodunun ark durumunun gösterimi[4]

2.4 Kullanılan Koruyucu Gazlar:

MIG/MAG gazaltı kaynaklarında kaynak dikişinin kalitesini belirleyen faktörlerden biri de kullanılan koruyucu gazdır. Koruyucu gazın türü kaynağın dikişini, metal transferini arkı ve voltajı etkileyebilir. Özellikle kaynak banyosunun korunması bu hususta çok önemlidir, kaynak banyosunun atmosferden korunması ve bu dış etmenlerden gelecek zararları engellemesi beklenir. Havada oranca azot miktarının fazlaca bulunmasından kaynaklı, iş parçasının oksijene veya azota karşı affinitesi var ise buna uygun koruyucu gaz seçilerek, kaynak banyosunun mümkün olduğunca dış ortamdan teması kesilmelidir. Özellikle havada bulunan oksijen, hidrojen ve azotun kaynak banyosuna girmesi halinde kaynak bölgesinde porozite ve kırılganlık görülür. Ayrıca aşağıdaki olaylar görülebilir;

- Kaynak bölgesinde yetersiz nüfuziyet görülmesi
- Kaynak bölgesinde malzemenin türüne ve kullanılan koruyucu gaza bağlı olarak gözenek oluşumu
- Kaynak bölgesine oksijen veya azot girmek suretiyle, hem kaynak dikişinin bozulmasına hem de parçanın mekanik değerlerinde bir azalmayla karşı karşıya kalınır.
- Kaynak bölgesinde oksit veya nitrit yüzeylerin oluşması da mekanik özellikleri etkilemektedir.

Bu sebeplerden dolayı koruyucu gazın performansı çok önemlidir. Bundan nedenle yalnız asal gazlar ve karbondioksit gazı veya her iki gazın karışımı koruyucu gaz olarak kullanılır. Uygulamaya göre koruyucu gazın sahip olduğu özellikleriyle birlikte arkta stabilite ve sıçrantıyı azaltmasını istenmesinin yanı sıra daha performanslı koruyucu gazlar için karışım yani mix gazlar geliştirilmiştir [4-6].

MIG/MAG kaynaklarında 3 tip koruyucu gaz kullanılır.

- Asal Gazlar(Ar, He)
- Karbondioksit(CO_2)

- Karışım Gazlar

Koruyucu gazın seçilmesi esnasında bu maddelere dikkat edilmelidir.

- Kaynak edilecek iş parçasının kimyasal bileşimi
- Arkın karakteristik özellikleri
- Metal damlasının geçiş mekanizması
- Kaynağın penetrasyonu ve kaynak dikişinin görünümü
- Kaynağın hızı
- Mekanik özelliklere etkisi
- Maliyet [4,6].

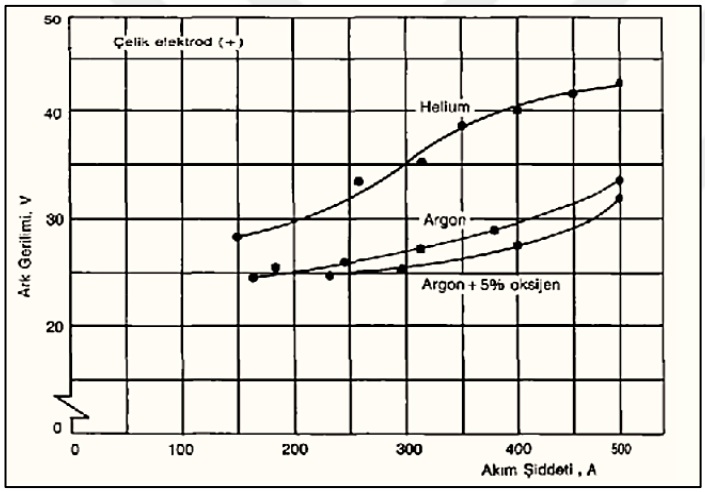
2.4.1 Asal gazlar:

Argon ve Helyum gazlarının genel olarak kullanıldığı koruyucu gaz türüdür. Soy gazların diğer koruyucu gazlara nazaran daha pahalı olması sebebiyle genellikle saf halde kullanılmazlar [4].

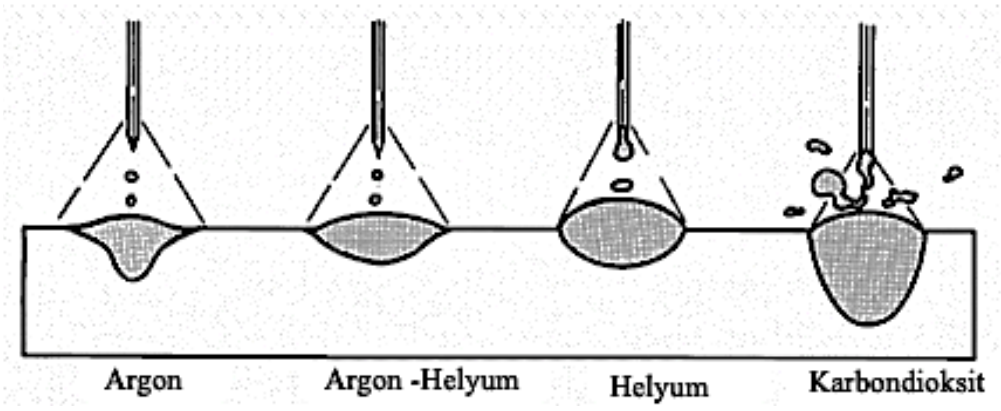
Argon ve helyum gazlarının kullanımı, bize kaynak banyosunun veya dış etmenlerde bulunan elementlerle herhangi bir kimyasal etkileşime girmemesini sağlar bu özelliği sayesinde, kaynak uygulamalarında koruyucu gaz olarak kullanımların önü açılmıştır. Argonun inert gaz olması sebebiyle MIG kaynak uygulamalarında kullanılır. Argonun havaya nazaran daha ağır olması sebebiyle, havaya karşı direnci daha iyidir. Düşük ısıl iletkenliğine sahip olduğundan ark genişliği fazla, fakat iç kısımlarda sıcaklık yüksek iken, kaynak banyosunun dış kısımları kısmen soğuk kalır. Bu yüzden argon kullanıldığı durumlarda iç kısımlarda nüfuziyet daha fazla iken dış kısımlarda nüfuziyet daha azdır. Helyum gazının kullanıldığı kaynaklara nazaran daha düşük bir nüfuziyet profili gösterir, fakat argon kullanıldığı durumlarda ark daha kararlıdır. Ark ve gerilim aynı şartlarda oluşturularak kullanılmış helyum koruyucu gazlara göre daha düşüktür. MIG kaynaklarında düşük oranlı oksijen eklentisi arkta stabiliteye katkıda bulunur. Şekil 2.9'da helyum ve argon gazları kullanılarak yapılan parçanın ark ve gerilim değerleri gösterilmiştir. Bu sebeple parçaya daha az ısı girdisi ile kaynak edilmiş olur. Ayrıca daha düşük ark ve voltajla çalışma sayesinde kaynak ark ve voltaj miktarlarında sapma miktarı

daha az görülür bu da arkı daha stabil hale getirmiş olur ve kaynak edilecek parçaya daha az ısı girdisi ile iş yapma fırsatı vermiş olur.

Helyum havaya nazaran çok daha hafiftir. Bu da, kaynak banyosunu korumak için daha fazla gaz kullanımına sebep olur. Helyumun sahip olduğu yüksek ısıl iletkenlik sayesinde kaynak nüfuziyet derinliği argon gazına nazaran daha fazladır. Ayrıca argon gazı altında sprey transfer metodu gözlenirken helyum atmosferi altında küresel metal transferi görülmektedir. Şekil 2.10'da çeşitli koruyucu gazlar kullanılarak yapılan kaynakların nüfuziyetleri gösterilmiştir. Elektrot için helyum ve argon gazının ark ve gerilim değerleri gösterilmiştir. Argon gazı ile karıştırıldığı takdirde kaynak hızlarında artış görülmektedir. Bu iki koruyucu gaz yardımıyla genellikle bakır, alüminyum, paslanmaz çelik vb. parçaların kaynakları yapılabilmektedir. [3, 4, 6].



Şekil 2.9: Argon ve Helyum atmosferi altında ark ve gerilim değerleri [6]



Şekil 2.10: Çeşitli koruyucu gazla yapılan parçaların nüfuziyetinin şematik gösterimi [4]

2.4.2 Karbondioksit:

Karbondioksit koruyucu gaz olarak MAG(Metal Aktif Gaz) kaynaklarında kullanılır. Karbondioksitin ucuz olması, ticari olarak kolay ulaşılabilmesi onu cazip bir koruyucu gaz haline getirmiştir. Kaynak penetrasyon derinliğinin fazla olması, kaynak hızının fazla olmasına rağmen, kaynak esnasında sıçrantısının çok olması dezavantajıdır. Kısa transfer metodu ve globüler transfer metodu kullanarak metal geçişini sağlar. Sprey transfer metodunu kullanamaması, dezavantajı olarak görülmektedir. Maliyet açısından bakıldığında, ucuz olması nedeniyle genellikle çelikler için tercih edilmektedir. Bunun sebebi ise karbondioksit bir asal gaz olmadığından kaynak işlemi esnasında, çeşitli elementlerle kimyasal reaksiyon gösterebilir. Bu sebeple alüminyum gibi oksijene yüksek afinitesi olan malzemelerin kaynağında kullanılmazlar [4, 6, 10].

2.4.3 Karışım gazlar:

Temel olarak asal gazların pahalı olması sebebiyle, karışım içerisine karbondioksit, oksijen, hidrojen ve azottan çeşitli miktarlarda eklenerek oluşturulabilir. Oluşturulan bu karışım sayesinde maliyet düşürülürken, aynı zamanda istenen bazı özellikleri de sağlamış olur. Oksijen ve/veya karbondioksitin argon gazına katılması ile iş parçasına uygulanan ısı artar. Bu katılan her bir gaz farklı bir etki göstermektedir. Hidrojenin katılması ile helyum soy gazına, benzer avantajlar gösterir. Hem kaynak ısısını artırırken aynı zamanda kaynak hızını da arttır, helyuma nazaran daha ucuz olması avantajıdır. İş parçasındaki hidrojenin, çatlak oluşturma riski sebebiyle kullanımı yalnızca paslanmaz çelikler için sınırlandırılmıştır. Azot, genellikle ferritik durumda olan, paslanmaz çeliklerin kaynağında ufak miktarlarda eklenerek kaynak işlemi esnasında meydana gelen kayıpları telafi eder. Oksijen, MIG kaynağında ark stabilitesi için ufak miktarlarda kullanılır. Bu karışımlar genellikle oksitlenme veya nitrürlenme özelliği fazla olan malzemelere uygulanır. Bu sayede daha temiz bir kaynak yüzeyi elde edilirken, istenilen ark karakteristiği sayesinde, metal taşınımı da seçilmiş olur. Düşük miktarda %5'e kadar oksijen ilavesi veya yüzde 25'e kadar karbondioksitin eklenmesi kaynaklarda arkın stabilitesini arttırır. Bu sayede daha istikrarlı olan ark, daha az sıçrantı gösterir ve kaynak dikiş kalitesi artar. Tablo 2.2'de bazı kullanılan metallere ait kaynak koruyucu gazları verilmiştir [4, 6, 10].

Tablo 2.2: Gazaltı ark kaynaklarında kullanılan koruyucu gazlara göre malzeme [6]

Kaynak Usulü	Gazın Karakteri	Gazın İşareti DIN 32526	Gazın Bileşimi	Kullanma Yeri
MIG	Asal	I.1	Ar % 100	Çelik haricinde bütün metal ve alaşımları
	Asal	I.2	He % 100	Cu ve Al alaşımları
	Asal	I.3	He % 25-75 Ar kalanı	Cu ve Al alaşımları
karışım gazlar	Hafif Oksitleyici	M. 1.1	O_2 % 1... 3 Ar kalanı	Paslanmaz Çelikler
		M. 1.2	CO_2 % 2... 5 Ar kalanı	Paslanmaz Çelikler
		M. 1.3	CO_2 % 6... 14 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
	Oksitleyici	M. 2.1	CO_2 % 15... 25 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler (özlü elektrod ile)
		M. 2.2	CO_2 % 5... 15 O_2 % 1... 3 Ar kalanı	Alaşımlı ve az alaşımlı çelikler
	Kuvvetli Oksitleyici	M. 3.1	CO_2 % 26... 40 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
		M. 3.2	CO_2 % 5... 20 O_2 % 4... 6 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
		M. 3.3	O_2 % 9... 12 Ar kalanı	Alaşımsız çelikler
MAG		C	CO_2 % 100	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler

2.5 Kaynak Donanımı

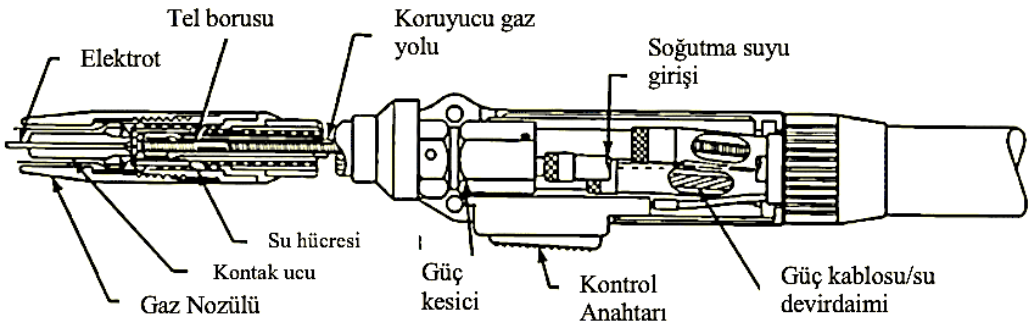
Günümüz teknolojisinin getirdiği avantajlarla birlikte, MIG/MAG kaynakları yarı-otomatik ve tam otomatik sistemlerle yapılabilmektedir. Her iki yöntemde de temel olarak aynı donanımlar bulunur. Bir gazaltı kaynağında aşağıdaki donatılar bulunur:

- Kaynak torcu
- Hortum Paketi
- Koruyucu gaz(türüne göre)
- Tel besleme ünitesi
- Kontrol Mekanizması
- Akım Üreteci[7]

2.5.1 Kaynak torcu

Kaynak torcu veya tabancası adı verilen bu tertibat sayesinde arkın oluşturulması ve kaynak banyosunun korunması için gerekli olan koruyucu gazı sağlanması kaynak torcu

tarafından yapılmaktadır. Kaynak işlemi esnasında arkı oluşturması sebebiyle, çok yüksek sıcaklıklara maruz kalabilmektedir, bu sebeple su soğutmalı ve hava soğutmalı olmak üzere iki türü mevcuttur. Çap kalınlığı fazla olan tel elektrotların kullanılması halinde yaklaşık olarak 250A ve üzeri değerler gerektiğinden, bu elektrotlar kullanıldığında ısı çok fazla açığa çıkar. Bu sebepten dolayı donatının da korunması çok önemlidir. Genellikle kalın elektrotlar kullanılacağı zaman su soğutmalı torclar tercih edilir. Fakat daha düşük akım ve voltaj gerektiren durumlarda, su soğutmalı torcların tercih edilmesi mantıklı gelse de, su soğutmalı torclarda, özellikle sızdırmazlık elemanlarının bakımının maliyetli ve zor olmasından dolayı, daha düşük akımla yapılan çalışmalarda, günümüzde hala hava soğutmalı kaynak torcları tercih edilmektedir. Hava soğutmalı torclarda, havanın haricinde, kullanılan koruyucu gazın iletilmesi sayesinde torcun ısınması azalmaktadır [Şekil 2.11].



Şekil 2.11: Torcun şematik görünümü[4]

Torclarda elektrik iletimini sağlaması ve bu sayede arkı oluşturması amacıyla kontak sağlayıcı uçlar bulunur. Kontak uçları, kaynak arkından, banyosundan ve kaynak akımının dirençli ısıtmasından ısınır, bu sebeple çok yüksek sıcaklıklara maruz kalırlar ve bu sıcaklıklardan elektriksel ve mekaniksel özellikleri etkilenebilir, bakır veya bakır alaşımlarının imal edilen bu uçlar, yüksek elektrik iletkenliğine sahip olmasından dolayı bu malzemelerden imal edilirler. Bu kontak mekanizmasının genişlik aralığı büyük önem arz etmektedir. Genellikle sert teller için kullanılan tel çapının 0.2-0.3 mm daha fazla olması istenirken, bu yumuşak tellerde daha da artabilir.0.2 mm aralığa kadar kısa ark metal transferi gösterirken, 0.3-0.5 mm aralığında sprey transfer ark gözlenir. Kullanım esnasında bu bölgenin kontrol edilmesi gerekmektedir. Eğer bu tolerans aralığı artarsa, telin beslenmesinin düzensizleşir. Burada akımın düştüğü ve bu durumun devam etmesi

halinde bu aralığın giderek artarak kaynak bölgesinde arkın bozulmasına yol açarak sıçrantılara sebep olacağı belirlenmiştir [4, 6, 10].

Gaz nozülü, eksenel olarak telin beslenmesi esnasında, oluşan arkın korunması ve kaynak bölgesini dış etkilerden korunmak amacıyla kullanılmaktadır. Uzun ark boyları için geniş gaz nozülü tercih edilmesi gerekir. Kısa ark boyu için ise küçük gaz nozülü istenir. Bunun sebebi ise ark boyunun korunması için gerekli olan gazın kaynak banyosunu korunmasına etkisidir.

2.5.2 Hortum paketi

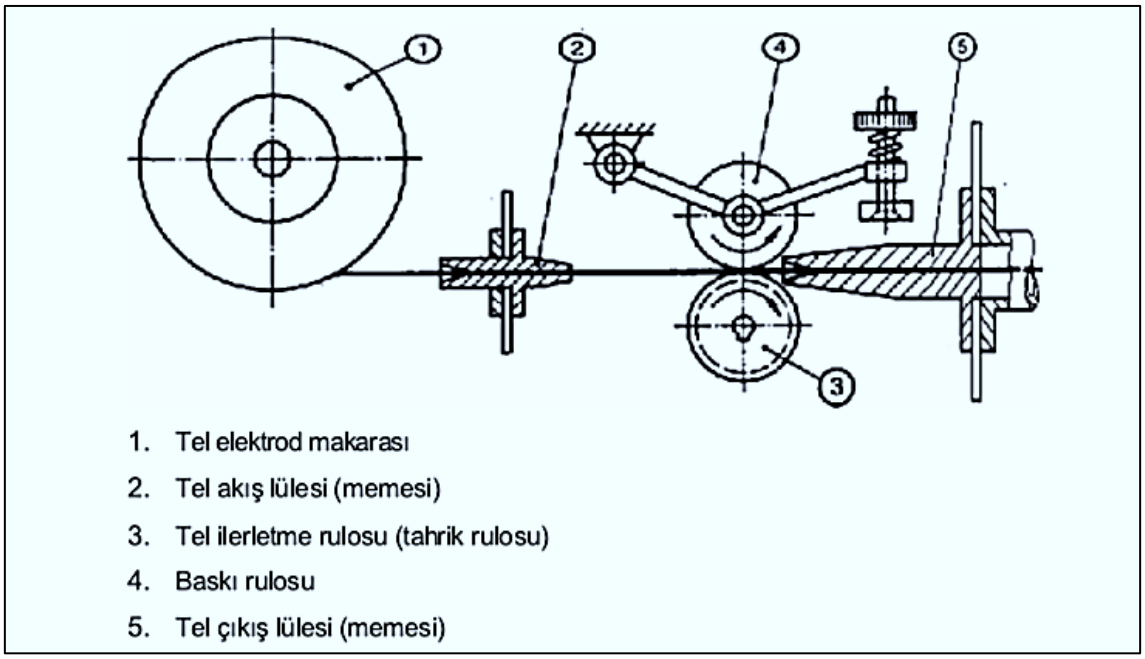
Bu hortum paketi gerekli olan koruyucu gazı, elektrik akımını, kaynak için gerekli olan tel elektrotu sağlamakla yükümlüdür. Su soğutmalı torc kullanılması durumunda, suyun devridaim edilebilmesi için bir mekanizma daha bulunur [5]. Hortumun dış etkenlerden korunması ve yeterli mukavemeti sağlaması için kablo cidarlarında çelik teller kullanılarak güçlendirilmiştir [5].

2.5.3 Tel besleme mekanizması

Tel besleme makarası veya tel sürücüsü diye de adlandırılır. Elektrot telini, sisteme beslemek için genellikle bir DC akımından güç alır. Hadde biçimindeki makaraların hareketiyle, hortum paketi ve torc sayesinde iş parçasına, kaynak elektrotunu besler. İşlem esnasında sabit bir tel besleme hızı gerektiğinden, kaynak yapılacak iş parçasına göre farklı tel hızları ayarlanabilmektedir. Elektrot, sürtünme ayarlı bir fren mekanizmasına yerleştirilir, buradaki sürtünme kaynakçının, torc üzerindeki pimden elini çektiği esnada, telin beslemesini durdurabilecek kadar yeterli olmalıdır [5, 10].

Değişken tel hızları için, tel sürme rulolarının hızını değiştirmek suretiyle tel hızları değiştirilir. Şekil 2.12'de tel besleme ünitesinin şematik gösterimi verilmiştir. Elektrot teli ilk açıldığı esnada belirli bir seğim verir. Çoğu durumda ilerletme rulolarından da bu seğim düzeltilemediğinden bir düzeltme tertibatına ihtiyaç duyulur. Eğer düzeltilme işlemi yapılmadan, devam edildiği takdirde sürtünme sebebiyle elektrot besleme tertibatını bozar. Ayrıca, kaynak bölgesine sevk edilirse hortum paketinde aşırı sürtünmeden dolayı da, tel hızlarında farklılık olacağı için kaynağın kalitesini etkileyecektir. Tel çıkış nozülü, belirli bir hızda beslenen telin, tel besleme ünitesinden

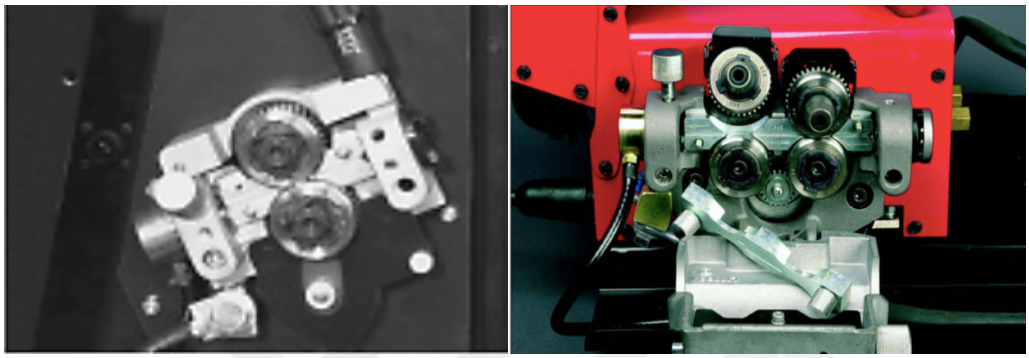
çıkması ve kaynak bölgesine sevk edilmesi için gereklidir, tel çıkış nozülünün, tel besleme tertibatına yakın olması gerekmektedir. Uzun tutulduğunda, beslenen tel elektrot hortum paketi içinde veya kaynak tabancasında herhangi bir sürtünmeyle karşılaşması durumunda, telin bükülmesine sebep olabilir [3, 6].



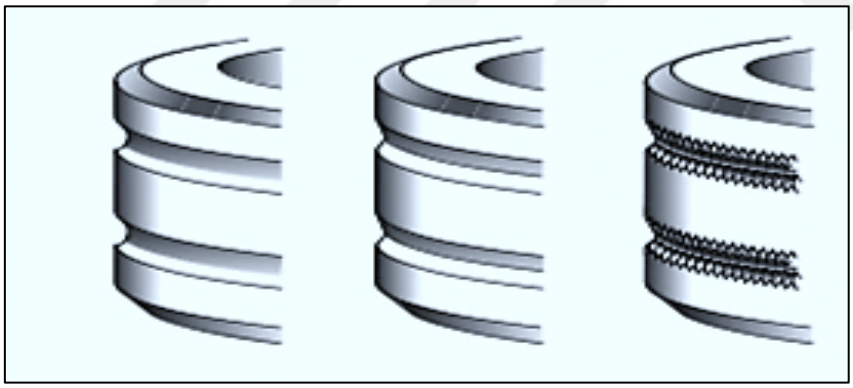
Şekil 2.12: Tel besleme mekanizmasının şematik görünümü [3]

İkili ve dörtlü tel besleme tipi olmak üzere iki çeşidi bulunan besleme mekanizmaları, kullanılan tel elektrotun malzemesine bağlı olarak seçilirler, Şekil 2.13. Burada esas görevi alt kısımda bulunan makaralar yapmaktadır. Bu makaranın hızını ayarlamak suretiyle, kaynak telinin hızı da, makara hızına eşit olarak sisteme verilecektir. Makara sistemlerinde üstte destekleyici makara bulunur. Bu, kullanılacak tel elektroda göre düz ve kesitli olabilmektedir. İkili makara sisteminde, tel düzeltme sistemine ihtiyaç duyulur. Burada önemli hususların başında kullanılan ruloların üzerindeki, kanal çapları ve kanal tipleridir. Ek olarak makaraların kaynak teline yaptığı basınç da unutulmamalıdır. Kanal çapları, kullanılan tel elektroda göre seçilmeli, ayrıca kullanılan tel elektrotun malzemesine göre de hangi kanal tipi kullanılacaksa o seçilmelidir. Örneğin; alüminyum gibi yumuşak malzemeler için kanalın U kesitli olması istenirken, sert kaynak telleri için

V kesitli olması istenir. Tırnaklı adı verilen tel besleme makaraları, yalnızca özlü kaynak telleri için kullanılmaktadır. Bu tırnak sayesinde, elektroda minimum basınç uygulamak suretiyle maksimum ilerletme kuvvetinin iletilmesini sağlar. Bu tırnakların yumuşak malzemeleri parçalayarak, tel besleme donanımlarını ve yollarını tıkama ve bozma riski bulunduğundan dolayı yumuşak malzemeler için kullanılması istenmez. Şekil 2.14'de kullanılan kanal tipleri verilmiştir [3, 4, 6, 9].



Şekil 2.13: Sırasıyla ikili ve dörtlü tel besleme mekanizmaları [9, 4]



Şekil 2.14: U, V kesitli ve özlü kaynak telinin beslenmesinde kullanılan makara kanalı [9]

Dört makaralı tel besleme tertibatları, özlü kaynak tellerinin beslenmesinde ve yumuşak malzemeden üretilmiş kaynak tellerinde kullanılması tavsiye edilir. Makara profili ve bunların uyguladığı basınç göz ardı edilmemelidir.

Bu tel besleme makaralarının tek dezavantajı, kullanılan tel elektrotu tam olarak düzeltememeleridir [3].

2.5.4 Kontrol mekanizması

Yarı otomatik olarak kullanılan MIG/MAG kaynaklarında tel besleme ünitelerinin ve kaynak kontrol mekanizmaları genellikle bir arada bulunur. Bu kontrol mekanizmalarının amacı, beslenen tel elektrotun hızını, elektronik bir regülatör yardımıyla ayarlamaktır. Tel besleme hızı arkı etkilediğinden, telin besleme hızını azaltmak suretiyle, düşük çalışma akımları meydana getirilir, eğer tel besleme hızı arttırılırsa bu sefer de yüksek çalışma akımları görülmektedir. Koruyucu gazın iletilmesi, tel elektrodun beslenmesi ve su soğutmalı torc kullanılması durumunda su devridaiminin başlaması, kaynak torcunda bulunan bir pim sayesinde olmaktadır. Bu pime basılması veya elin çekilmesi suretiyle kaynağı başlatmak ve bitirmek mümkün olmaktadır. Bu da kontrol mekanizması sayesinde yönetilir. Yeni cihazlarda, beslenen tel elektrodun kaynak banyosuna yapışmasını önlemek için, telin durması ile arkın kesilmesi arasındaki süreyi ayarlamak amacıyla bir sistem bulunur, bu sayede kaynakta geri yanış süresi adı verilen süreyi belirlemek suretiyle, telin, kaynak banyosuna yapışması engellenir. İki tip tel besleme yöntemi mevcuttur. İlk yöntemde, tel elektrot yavaş bir besleme hızında, iş parçasına yönlendirilir, burada ark başladıktan sonra, tel besleme hızı, kullanılan elektrot için gerekli akım aralığındaki tel besleme hızına yükseltilir. Diğer yöntemde ise tel elektrot, iş parçasına dokunduğu anda ark oluşarak, tel beslemesi başlamaktadır. Bu yöntemler alüminyumun gazaltı kaynakları için uygun görülmektedir.

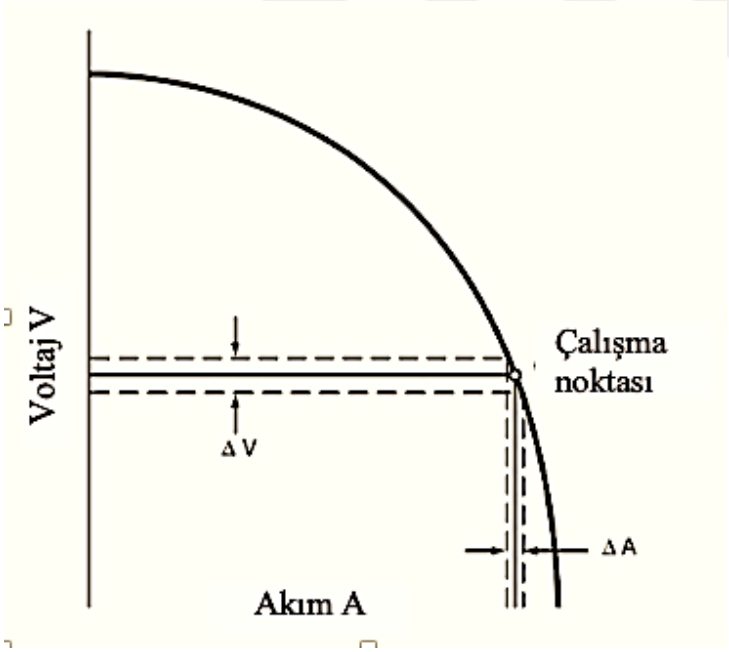
Kaynak kontrol mekanizması, kaynak işlemi başlamadan hemen önce koruyucu gazın ve su devridaiminin başlamasını sağlar. Buradaki koruyucu gazın, kaynak edilecek parçaya önceden verilmesi, temizleme olarak adlandırılmaktadır. Kaynak işlemi bittikten sonra ise koruyucu gazın bir miktar daha devam etmesini sağlar, bu da ergiyik halde bulunan kaynak banyosunu, katılaşana kadar dış atmosferden korunmasını sağlar. Kontrol ünitesi genellikle 115V'lık bir akımla yönetilir [3, 4, 11].

2.5.5 Akım üreteçleri

Gazaltı ark kaynaklarında, beslenen tel, pozitif kutuba, kaynak edilecek parça ise negatif kutba bağlanarak gerekli ark sağlanır. Genellikle doğru akım pozitif akım üreteçleri kullanıldığından telin ve iş parçasının bu şekilde bağlanması istenir. Akım üreteçleri, arkın en verimli halde bulunması için aşağıdaki iki özelliği sağlaması istenir.

- Sabit akım
- Sabit voltaj

Bu iki terim, cihazın ark ve voltaj çıkış güçlerinin ilişkisi Şekil 16'da gösterilen eğimle tarif edilmiştir. Gazaltı kaynak uygulamalarında eskiye nazaran giderek az kullanım alanı bulmasına karşın, alüminyumun gazaltı kaynak uygulamalarında hala önemli bir yere sahiptir [4, 7, 9].

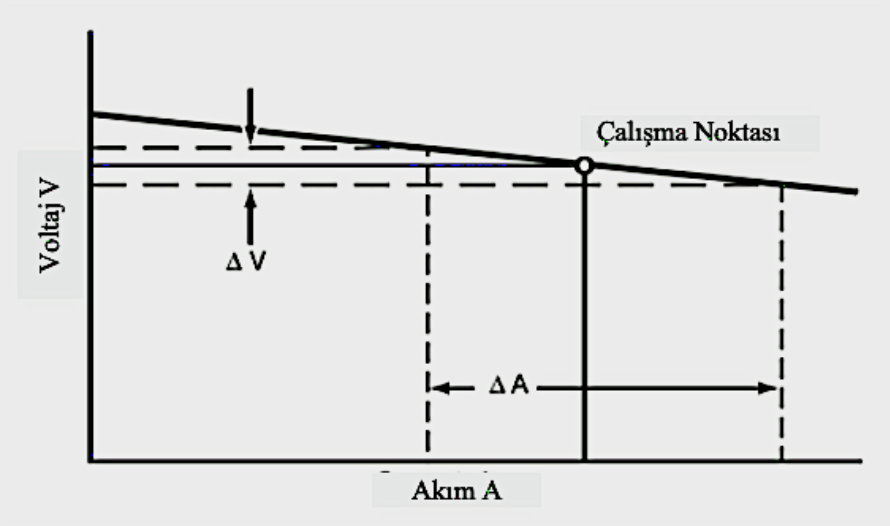


Şekil 2.15: Sabit akımlı akım üreteçlerinde akım-voltaj karakteristikleri [4]

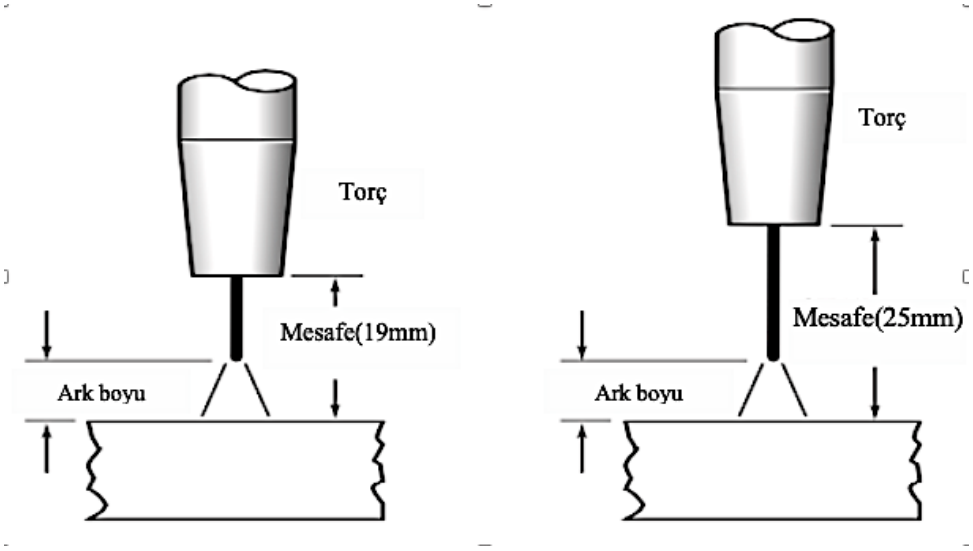
Şekil 2.15'da gösterildiği gibi, azalan bir eğri tasarımı kullanılmak suretiyle, bir optimizasyon belirlenmiştir. Burada iş parçası ile kaynak torcunun uç kısmı (kontak ucu) arasındaki mesafe ile ark ayarlanır. Bu mesafe arttıkça ark boyu artarken, mesafe kısaldığında ise ark boyu kısalır. Bunu sabit bir aralıkta tutmak, yarı-otomatik kaynak

uygulamalarında neredeyse imkânsızdır. Bu yüzden bu problemi aşmak ve uyumlu hale getirmek için ve aynı zamanda cihaza gelen akım ve voltajda sürekli sabit tutulamadığı için, akım ve gerilime uygun olarak kaynak banyosuna iletilen tel besleme mekanizmaları geliştirilmiştir. Bu geliştirilen tel besleme üniteleri ile ark boyu kısalmaya başladığında, tel besleyici de buna bağlı olarak gerilimi arttırarak telin kaynak banyosuna daha yavaş ilerlemesini sağlayacak ve böylece belirlenen, ark boyunu tekrar sağlamak suretiyle, sabit bir ark boyunca kaynak işlemini sürdürecektir. Ark boyunun uzadığı zaman da proses aynı şekilde belirlenmiş olan bir ark boyunu sabit tutmaya çalışarak, tel hızını arttırmak suretiyle kaynak banyosuna daha hızlı besleyerek kaynak işlemini bitirir [4, 9].

Sabit gerilim sağlayan akım üreteçlerinde, kaynakçının belirlediği bir tel ilerletme hızına bağlı kalmak için, sabit akımlı akım üreteçlerine göre tam tersi bir yol izlenmektedir. Şekil 2.16'de gösterildiği gibi, akım ve gerilim arasındaki eğimin neredeyse düze yakın olması sayesinde, kontak memesi ile iş parçası arasındaki mesafe azaldığında, kaynak akımı artarken, bu mesafenin artması ile kaynak akımı azalır. Bu sayede, akımı arttırmak veya azaltmak suretiyle, iş parçasına, fazladan ergimiş tel elektrodun aktarılmasının önüne geçilmiş olur ve bu sayede ark, en başta belirlenen boyuna geri dönmüş olur (Şekil 2.17) [4, 7, 9].



Şekil 2.16: Sabit gerilimli akım üretecinin akım-geriliminin şematik gösterimi [4]



Şekil 2.17: Ark boyunun yeniden ayarlanması [9]

3-ÖZLÜ TELLE GAZALTI ARK KAYNAĞI

3.1-Tarihçe

Gazaltı ark kaynağının gelişimi, özlü telle ark kaynağının ilk başlangıcı olarak anılmaktadır. Gazaltı ark kaynağının 1950'lerin başında giderek kullanımının artmasıyla, araştırmacıların bu konuya ilgileri artmış ve dış etkenlerden korumak amacıyla bir öz içeren özlü tel üretimi yapılmış, bunun sonucunda yapılan kaynaklarda, özde bulunan maddelerin ve koruyucu gazın da etkisiyle daha kaliteli bir kaynak elde edilmiştir. İlk olarak özlü telle ark kaynağı 1954 yılında sektöre tanıtılmış olup, 1957 yılında ise piyasaya sunulmuştur. Hem kendinden gaz korumalı hem de dışarıdan gaz korumalı olan özlü telle yapılan kaynaklardaki arktaki kararlılığın sağlanması ile sıçrantının azaltılması sağlanarak son 30 yılda ciddi bir iyileşme göstermiş ve kullanımını arttırmıştır [4, 5, 10, 11].

3.2 Yöntemin Tanımı

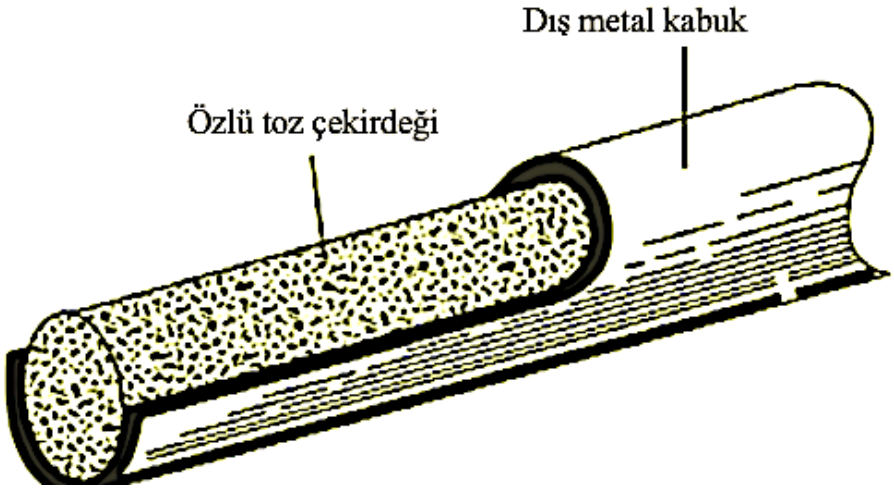
MIG-MAG kaynak ekipmanını kullanarak, bir masif elektrot yerine, içinin öz adı verilen çeşitli minerallerle doldurulmuş, bir sürekli beslenen tel elektrot yardımıyla, kaynak edilmesi işlemidir. Burada, tel elektrodun içerisinde bulunan öz maddesi, aynı çubuk

şeklindeki elektrodun üzerinde bulunan kaplama ile aynı görevi yerine getirmek üzere sağlanmıştır. Özden beklenen görevler şunlardır:

- Kaynak bölgesinin çevresini iyonize etmek
- Kaynak bölgesini deokside ederek, iş parçasının oksitlenmesi önlemek
- Kükürtten temizlemek
- Koruyucu gaz performansı göstermesi beklenir
- Cürufu oluşturmak

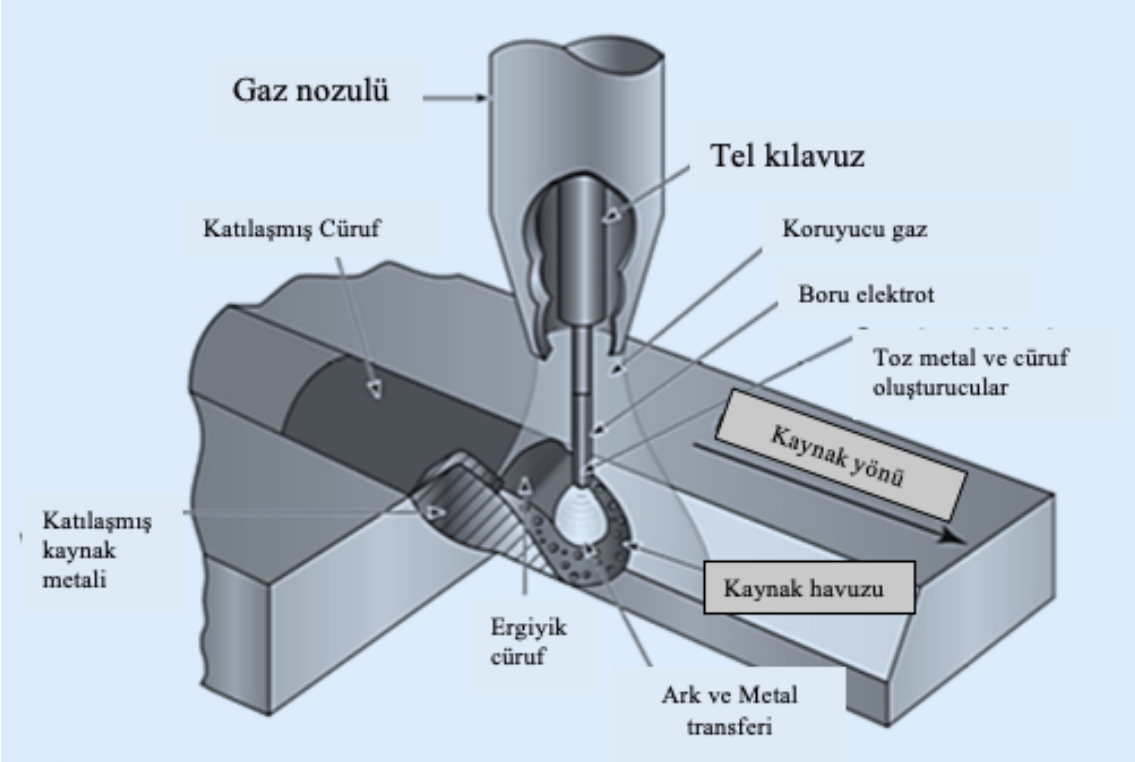
Bunlara ek olarak, özün içerisine, kaynak edilecek iş parçasının kimyasal bileşimine yakın olacak şekilde alaşım elementleri eklenir. Bu alaşım elementlerini istenilen şekilde belirlemek suretiyle, bakım-onarım hizmetlerinde de geniş bir kullanımı bulunmaktadır.

Telin dış kısmı, hem elektriksel iletkenliği sağlarken aynı zamanda içerisindeki öz maddelerinin taşınımı sağlar. Dış kısım sayesinde iş parçası ile özlü kaynak teli arasında ark oluşur ve bu sayede kaynak prosesi için gerekli ısı enerjisi elde edilir, Şekil 3.1. İşlem esnasında kaynak elektrotuna bağlı olarak, kendinden gaz korumalı özlü tel elektrot veya dışarıdan bir ilave gaz ekipmanına ihtiyaç duyan özlü tel elektrot kullanılır. Kendinden gaz korumalı olan elektrotlar özellikle açık alanlarda, koruyucu gazın tutulmasının zor olduğu durumlarda tercih edilirler [5, 11, 12].



Şekil 3.1: Özlü telin şematik görünümü [11]

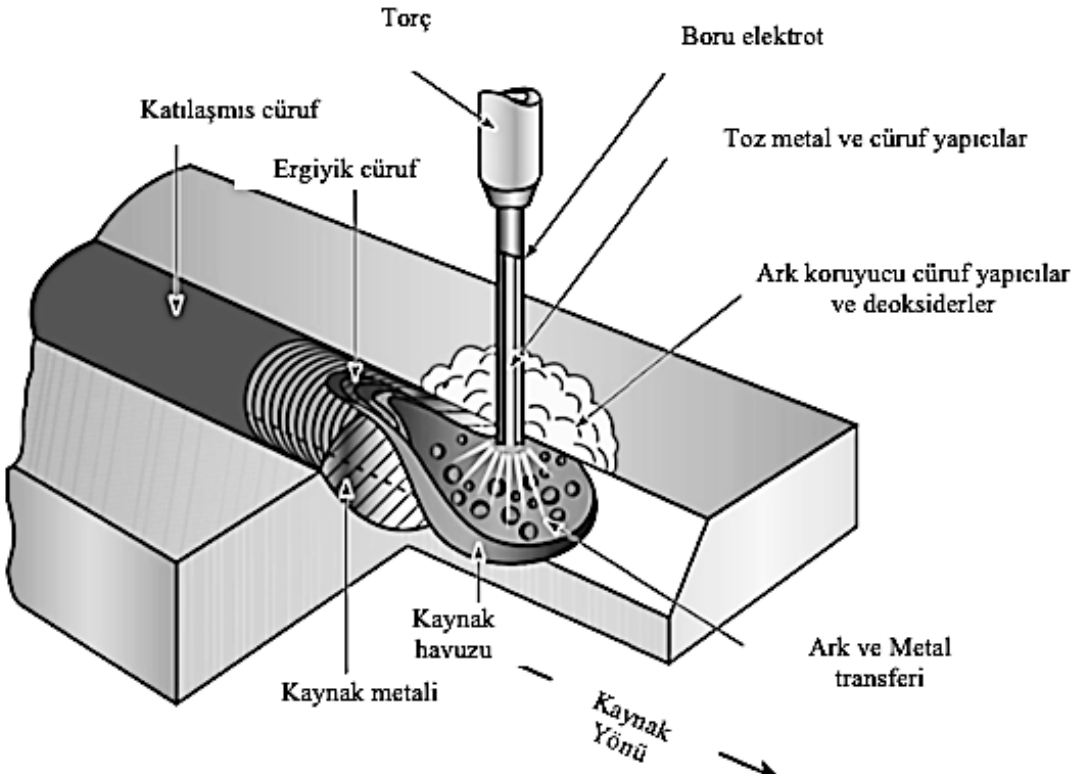
İlave bir gaz donanımı kullanıldığında özlü telle ark kaynağında koruyucu gaz olarak karbondioksit veya karbondioksit-argon karışım gazları kullanılır. Kaynak işlemi esnasında, koruyucu gazın, kaynak atmosferini korumasından kaynaklı, oksijen ve azot kanyak banyosuna giremezken, koruyucu gazın, belirli bir reaksiyonlara uğrayarak içeriğinde bulunan karbondioksitin ayrışması ile meydana gelen oksijenin kaynak banyosuna ulaşması mümkündür. Bunu da telin içerisine konan de-okside edici malzemeler yardımıyla elimine ederek cürufa çekmesi istenir. Oksijenin içeride kalması durumunda kaynak bölgesinde gözenekler meydana gelecek ve malzemenin tokluk değerlerinde düşüş meydana gelecek, gözeneklerin fazlalığına bağlı olarak da kırılmalara yol açabilecektir Şekil 3.2 [4, 5, 11, 12].



Şekil 3.2: İlave gaz korumasına ihtiyaç duyan özlü telle ark kaynağının şematik görünümü [5]

Kendinden gaz korumalı özlü tellerle yapılan kaynak işlemleri genellikle açık alanlarda veya koruyucu gaz atmosferinin sürdürülebilirliğinin zor olduğu durumlarda genellikle tercih edilir. Özellikle yüksek türbülanslı bölgelerde gaz korumasının yeterli şekilde

korunması çok zor olduğundan bu sorunları aşmak için üretilmiştir. Bu gaz korumasını ise yüksek sıcaklıklarda telin içerisinde bulunan koruyucu minerallerin dekompoze olmasıyla buharlaşması ile kaynak banyosu üzerinde bir alan oluşturarak ergimiş halde bulunan banyoyu dış atmosferden korumuş olur. Bunun ardından ise cüruf oluşturmak suretiyle, kaynak bölgesinin soğuması sırasında, hem dış etmenlerden hem de ani ısıl değişimlerden korumak amacıyla oluşturur. Bunların haricinde özün içerisinde deokside edici mineraller ve koruyucu atmosferi oluşturucuların bulunmasından kaynaklı daha yüksek akımlarla çalışılmaktadır Şekil 3.3 [5, 9, 11, 13].



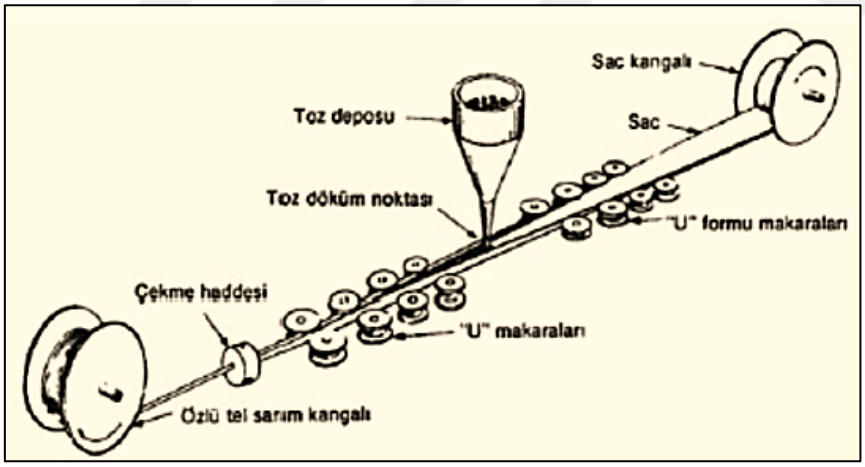
Şekil 3.3: Kendinden gaz korumalı özlü telle ark kaynağının şematik görünümü [5]

3.3 Özlü Kaynak Tel Üretimi

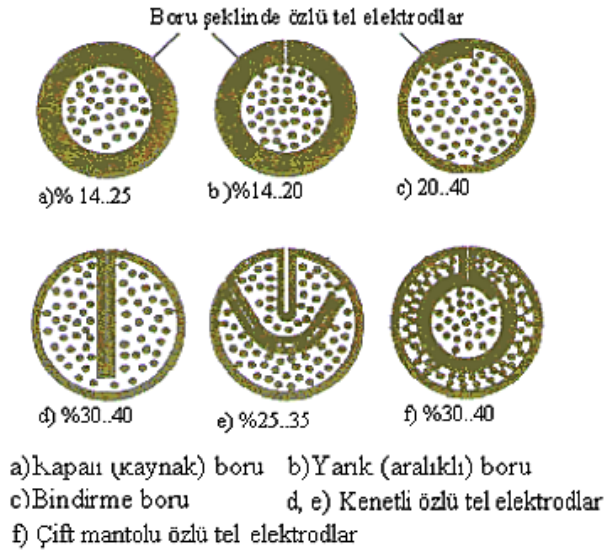
Özlü kaynak telleri iki farklı yol ile üretilmektedir. Özü oluşturan mineraller ve metal tozları önceden homojen olarak karıştırılarak hazırlanır. Öncelikle belirli bir kalınlığa sahip sac metal parçası (10 mm), merdanelerden geçirilmek suretiyle, U formuna gelene kadar şekillendirilir. Bunu takiben önceden hazırlanan öz toz karışımı bir besleyici vasıtası ile U formuna gelen sac içerisine eşit olacak şekilde doldurulur. Doldurulma işleminin ardından U form kapatılmak üzere bir kez daha merdanelerden geçerek tel

haline getirilir. Son olarak teli istenilen çapa getirmek için tel çekme işlemine tabi tutulur, Şekil 3.4. Bu inceltilme işlemi ile tozun içeride boşluksuz ve sıkı bir şekilde kalması da sağlanmış olur. 0.8 mm ile 4 mm arasında üretilmelerine karşın, özlü teller genellikle 2.4 mm'ye kadar kullanılırlar. Bu kalınlıkların üzerinde ise tozaltı ark kaynağı için tercih edilirler. Genellikle içerisinde hidrojen girmemesi istenir. Fakat tam kapatılma veya kenetlenme diye de adlandırılan durum haricinde içerisine hidrojen ve nem girme tehlikesi bulunur. Bu durum ise, kendini kaynaklı imalat esnasında, ısının da etkisiyle su buharı oluşturmak suretiyle, iş parçasında gözeneğe sebep olarak, tokluk değerlerinde kendini göstermek suretiyle yapının dayanımını etkileyecektir. Bunun sebebi ise içerisindeki öz maddelerinin hidrojenden etkilenerek kaynak banyosu içerisindeki görevini yerine getirememesidir. Bu hidrojenin tel içerisine girmesini önlemek için kullanıldıktan sonra vakumlu bir paketleme yapılarak kullanılması istenir. Bununla kullanılan telin, tam kapalı halde bulunmaması halinde buna ihtiyaç duyulur.

Tellerde kullanılan kapanma mekanizmaları, kullanılan cihaza bağlı olmakla birlikte birçok değişkeni de beraberinde getirir, Şekil 3.5 [10, 12, 14, 15].



Şekil 3.4: Özlü tel üretim yönteminin şematik gösterimi[14]



Şekil 3.5: Farklı kapanma profiline sahip özlü teller[16]

Tel kapanma mekanizmalarında, kendinden gaz korumalı teller genel olarak kapalı ve aralıklı olarak imal edilirler. Dışardan bir gaz korumasına ihtiyaç duyan özlü teller ise tam kapalı olarak imal edilemezler. Onun yerine yarık profilinde, bindirme şeklinde, kenetli ve çift mantolu olarak imal edilirler. Burada kenetli boruların kullanılması sayesinde, öz maddelerinin tel içerisinde kalması sağlanır.

Diğer bir özlü tel üretim yönteminde ise, içi boş halde bulunan bir boru haline getirilmiş tel yardımıyla, öz maddelerinin, tel içerisine doldurulmasıyla yapılmaktadır. Bu noktada önemli bir husus, tozun homojen ve boşluksuz dolabilmesidir, bunu sağlamak amacıyla toz doldurulurken hem sarsıntı yardımıyla hem de sürekli döndürülmek suretiyle, içerisinde boşluk kalmadan üretimin düzgün bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmış olur. Bu yöntemin en büyük avantajı, ağzı kapalı halde bulunan borunun içerisine özün doldurulması sayesinde içerisinde hidrojen barındırmamasıdır. Fakat diğer yönteme nazaran verimi daha düşüktür. Bu yöntem günümüzde çok kullanılmasa da ilk anlatılan yöntem daha yaygın olarak kullanılır [10, 12, 15, 16].

Genel değerlendirme 3 ayrı tür özlü tel türü olduğudur. Bunlar;

- Bazik özlü teller
- Rutil özlü teller
- Metal özlü teller

Bazik özlü teller: Sahip olduğu cürufun akışkan olması sebebiyle, düşük bir katılaşma sıcaklığı gösterirler. Sprey transfer metodu kullanılarak pozisyon kaynağı yapmak olabildiğince zordur. Bu yüzden genellikle kısa devre transfer metodu kullanılarak pozisyon kaynaklarında kullanılmaktadır. Kısa devre transfer metodunu kullanılması sebebiyle de kaynak hızı nispeten daha düşük kalmaktadır. Bu tellerden yapılan kaynakların en göze çarpan özelliği, kaynak metalinin yüksek saflıkta bulunması ve bu sayede yüksek mekanik özellikler göstermesidir. Önerilen en iyi kullanım şekli, negatif kutuplama kullanılarak kaynaklamadır. Bu sayede daha az ısı girdi kullanılarak kaynak yapıldığından kaynak metalinin mekanik özelliklerini iyileştirir [10, 15].

Rutil Özlü Teller: Özlü tellerin yaygınlaşmasında en önemli katkıyı rutil özlü teller sağlamıştır. İçeriğinde bulunan TiO_2 birçok özelliği beraberinde getirerek Bu tellerle yapılan kaynaklarda, yüksek verimlilik ve yüksek üretim hızları sağlamasıdır, bu da kaynakçı için 5m/s hız, robotik kaynakları için 6m/s hız da yapılabilmektedir. Tel kaynak esnasında, kaynak bölgesinde düşük sıcaklıklarda katılaşan, sıvı halde cüruf üretir. Bu da kaynak bölgesinin üstün bir şekilde koruyarak, kaynak dikişinin görünümünün ve kalitesinin yüksek olmasını sağlar. Genellikle dikiş görünümü kılçık şeklindedir [10, 15].

Metal Özlü Teller: Diğer özlü tel türlerine nazaran içerisinde cüruf yapıcı elementler bulunmaz. Bu sayede içerisinde daha fazla metal özü bulunduğundan dolayı, daha fazla bir biriktirme oranına sahiptir. Bu oran yaklaşık %96'ya kadar çıkabilmektedir. Metal özlü tel ve masif telle karışım gaz kullanılarak yapılan kaynakların karşılaştırılmasında, masif tellerin penetrasyon profili, bir parmak şeklini andırırken, metal özlü tel kullanılanda ise daha geniş bir penetrasyon profili gözlenmektedir. Bu sayede endüstriyel uygulamalarda genellikle bir hata affedici olarak adlandırılır. Masif tellere karşı kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır [15].

3.4. Özlü Tel Elektrotlarda Kullanılan Elementler:

Yumuşak çelik ve düşük alaşımlı çelik özlü tellerde, istenen mekanik özelliklerde sağlam bir kaynak dolgusu sağlamak için uygun bir deoksidasyonlar ve denitirektörler dengesi (kendinden korumalı elektrot kullanılması durumunda) korunmalıdır. Kaynak esnasında

meydana gelen oksijenle, birleşen silisyum ve mangan gibi deokside edici elementler, kararlı bir yapı olan oksitlerini oluşturarak, kaynak bölgesinin korunmasını sağlar.

Özlü tel elektrodların, özünde kullanılan elementler ve görevleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Özlü tel elektrotlarda kullanılan öz maddeleri ve görevleri [4]

Element	Kullanım Şekli	Kaynakta Kullanım Amacı
Alüminyum	Metal tozu	Deoksidize ve azot giderici
Bor	Ferrobor	Tane küçültücü
Kalsiyum	Kireçtaşı($CaCO_3$) ve fluorspar(CaF_2) mineralleri	Koruyucu gazı sağlamak ve cüruf oluşturmak
Karbon	Ferro-manganez gibi ferro-alaşımların içerisinde bulunur	Sertlik ve mukavemeti arttırmak
Krom	Metal tozu ya da ferro alaşım	Korozyon,sertlik,mukavemet,sürünme Direncini arttırmak için alaşım elemanı olarak kullanılır
Demir	Ferroalaşım ya da demir tozu	Demir esaslı dolgularda alaşım matrisi ,nikel esaslı ve demir dışı dolgularda alaşım amaçlı
Mangan	Ferroalaşım(metal tozu ya da ferro manganez)	Deoksidize edici olarak, sertliği ve mukavemeti arttırmak için kullanılır
Molibden	Ferroalaşım	Sertlik ve mukavemeti arttırmak için alaşımlamada
Nikel	Metal tozu	Korozyon direnci,tokluk,sertlik,mukavemet değerlerini arttırmak için alaşımlamada
Potasyum	Potasyum içeren feldspat, öz içerisinde silikat gibi mineraller	Arkı stabilize eder ve cüruf oluşturur
Silikon	Ferroalaşım veya silikon manganez gibi mineraller	Deokside etmek ve cüruf oluşturmak
Sodyum	Sodyum içeren feldspat,öz içerisinde silikat gibi mineraller	Arkı stabilize eder ve cüruf oluşturur
Vanadyum	Oksit ya da metal tozu	Mukavemeti arttırmak
Titanyum	Ferrotitanyum,rutil öz gibi mineraller	Deokside ve azot giderici olarak ve cüruf oluşturmak
Zirkonyum	Oksit ya da metal tozu	Deokside ve azot giderici olarak, ve cüruf oluşturmak

3.5. Özlü Tel Elektrotların Sınıflandırılması:

İlk olarak oluşturulmuş ve halen de özlü kaynak telleri için geçerliliğini sürdüren AWS standartıdır [11].

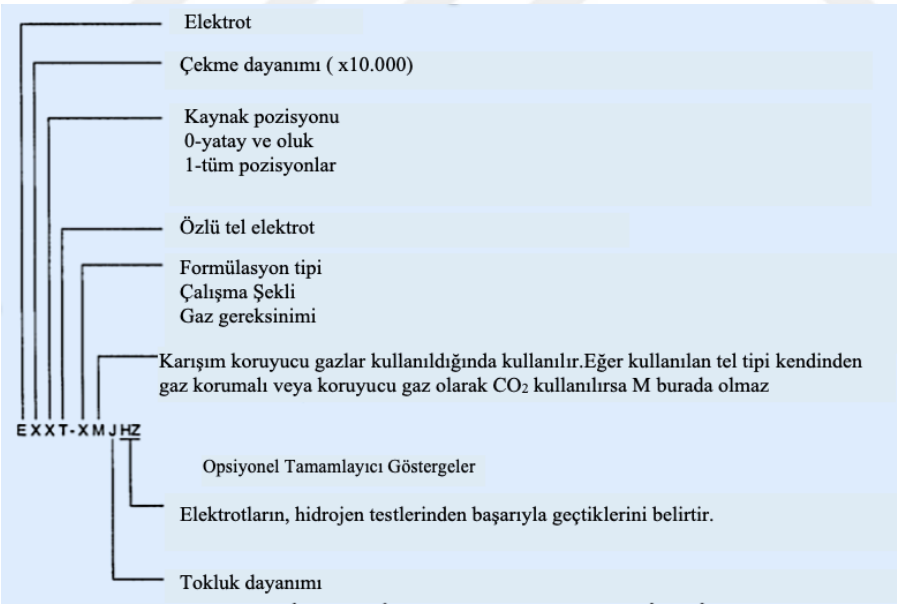
Ülkemizde geçerliliğini sürdüren ve halen de kullanılan Alman DIN normları, AWS normları ve Avrupa normlarıdır. Sadece az karbonlu ve alaşımsız olan çelik elektrot malzemeleri için bir standart bulunmaktadır. Bu ise TS 5618 olarak adlandırılmıştır [3].

AWS normuna göre, özlü kaynak telleri, kendi içinde 3 ayrı gruba ayrılmaktadır.

Bunlar;

- ANSI/AWS A5.20-Alaşımsız çelik tel elektrotlar için geçerli olan standart [17]
- ANSI/AWS A5.29-Düşük alaşımlı çelik tel elektrotlar için kullanılan standart [18]
- ANSI/AWS A5.22-Tel elektrot olarak, paslanmaz çeliklerin kullanılmasında geçerli standart [19]

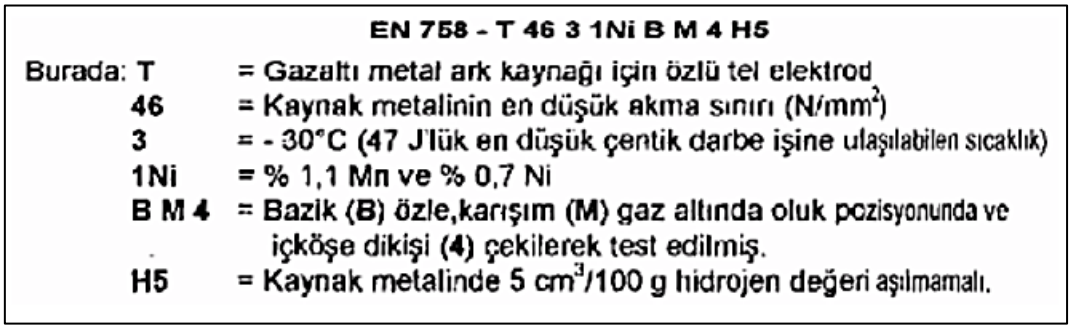
Alaşımsız çelik tel elektrotlar için geçerli olan standardın şematik görünümü ve her bir birimin ifade ettiği anlamlar Şekil 3.6'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Alaşımsız özlü tel elektrotların standart gösterimi [17]

EN 758 normu, İngiliz standardı olan BS 7084'ün yerini almıştır. Avrupa da özlü tel elektrotlarda bu standart kullanılır. Minimum akma dayanım değeri, 500 N/mm^2 'ye kadar

olan, alaşımsız çelik tel elektrotlar ve düşük alaşımlı özlü teller için belirlenen standart değerler ve bunların anlamlarını göstermektedir Şekil 3.7 [3, 11].



Şekil 3.7: Avrupa normuna göre özlü kaynak tellerinin standart gösterimi [3]

4-NANOKOMPOZİT

4.1-Tanımı

Literatürde, nano-partiküller, sıfır boyutlu olarak belirtilmesine karşın, nano-kompozitler en az iki boyutlu olarak karşımıza çıkar [20].

Nano-kompozit, en az bir fazının, 100nm'den daha az bir tane boyutuna sahip olduğu, çok katlı bir yapı olarak tanımlanmıştır. Hafiflik, biyoyumluluk gibi özelliklere sahip olduğundan dolayı günümüzde giderek artan bir kullanıma sahiptir. Bu özelliklerini ise, içerisine katılan nano-partiküllerin tane boyutundan kaynaklanmaktadır. Tane boyut aralığı, nano-boyutlara indirildiğinde, çok daha büyük bir yüzey alanı elde edilir. Makro ve mikro boyutlu kompozit yöntemlerine nazaran, daha fazla bir yüzey alanına sahip olması sebebiyle, istenilen özelliklerde ciddi bir artış gözlemlenmiştir. Bu özelliklerini ise nano-kompozit içerisinde bulunan ayrı fazlardan ve bu fazlardan meydana gelen arayüzeylerdeki faz etkileşimleri sayesinde meydana gelmektedir. Bu sebeplerden dolayı giderek gelişmeye devam etmiş ve araştırmacıların merak konusu halini almıştır. Fakat en büyük sorunların başında, nano-kompozit üretiminde, kullanılan tozların aglomerasyon sorunu meydana gelmektedir. Tane boyutlarının çok küçük boyutlarda olması sebebiyle literatür yetersiz kalmaktadır [21-24].

4.2 Nanokompozit Üretim Yöntemleri

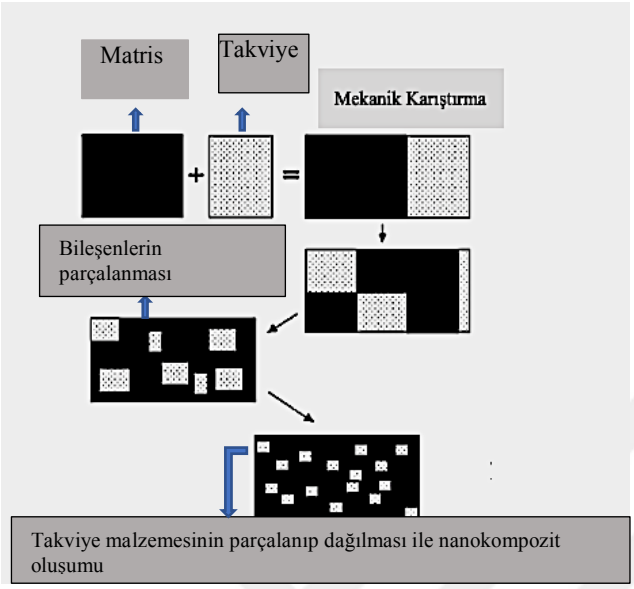
4.2.1 Mekanik alaşımlama yöntemi ile nanokompozit üretimi

Bu yöntem ilk olarak, küçük parçacık boyutlarına sahip,bir oksit takviye malzemesi(karbür vb.) kullanılarak mukavemetlendirilmiş bir metal alaşımı oluşturmak amacıyla karşımıza çıkmıştır [25].

Yüksek enerjiye sahip bilyalı öğütme işleminde, alaşımlama yöntemi, bileşen parçacıklarının tekrarlı bir şekilde parçalanması ve birleştirilmesi sonucunda gerçekleşir. Bu yöntem sayesinde, yarı kararlı bir yapıya sahip ve değişken özelliklerde nanokompozitler üretilmektedir. Endüstriyel üretimler için, kolayca adapte olabilmelerine karşın, yapılan karışımlardaki homojenliği ve safsızlığı sağlamak oldukça zordur. Bununla birlikte aglomerasyonun da aşılması büyük önem arz etmektedir. Öğütme işleminde kullanılan ve ürünün özelliklerini etkileyebilecek mekanik enerjinin aktarılmasıyla, indüklenen kimyasal, reaksiyonlara neden olabilir. Bu fikir, bir metal-oksit ve daha reaktif bir metal arasındaki mekanik olarak indüklenen yer değiştirme reaksiyonları yoluyla manyetik oksit metal nanokompozitleri hazırlamak için kullanılır [26, 27].

Bu yöntem yardımıyla, bir metal-oksit ve daha tepkin bir metal arasındaki kimyasal reaksiyonlar sağlanabilir. Reaksiyonun kademeli ilerlemesi ile bir metal-oksit nanokompozit toz üretilebilir. Bazı durumlarda kademeli olarak gelişen reaksiyonlar sonucunda, metal/metal-oksit nanokompozit üretimi gerçekleşir. Buna ek olarak, kendiliğinden devam eden bir yanma-reaksiyonu gösterir [28, 29]. Termodinamik değişkenler, elde edilen karışımın mikroyapısı ve proses boyunca ortaya çıkan, mikroyapının gelişme biçimine bağlı olarak, bu tarz reaksiyonlar gerçekleşir. Proses esnasında meydana gelen, mekanik streslerden kaynaklı, yüksek ekzotermik özelliğe sahip sistemlerde yanmaya neden olabilir. Bunun sonucu olarak da, reaksiyon karışımını eritebilir ve ultra ince (nano-kristal) mikroyapıyı tahrip edebilir. Seramik ve metal tozlarının, öğütücü kullanılarak karıştırılmaları mekano-kimyasal reaksiyonlara neden olabilir ve oluşan nano-sermet malzeme üretmenin etkin bir yoludur [30].

Bilyalı öğütücü, demir ve alümina tozlarının bir arada karıştırmak suretiyle, bir alümina matrisine, takviye edilmiş, demir nano-parçacıkları gibi manyetik özelliğine sahip nano-kompozitler hazırlamak için kullanılmıştır [31].



Şekil 4.1: Mekanik alaşımla yönteminin şematik gösterimi [25]

Bu yöntem yardımıyla, bir metal-oksit ve daha reaktif bir metal arasındaki kimyasal reaksiyonlar sağlanabilir. Reaksiyonun kademeli ilerlemesi ile bir metal-oksit nanokompozit toz üretilebilir, bazı durumlar da kademeli olarak gelişen reaksiyonlar sonucunda metal/metal-oksit nanokompozit üretimi gerçekleşir. Buna ek olarak, kendiliğinden devam eden bir yanma-reaksiyonu gösterir [28, 29]. Termodinamik değişkenler, elde edilen karışımın mikroyapısı ve proses boyunca ortaya çıkan, mikroyapının gelişme biçimine bağlı olarak, bu tarz reaksiyonlar gerçekleşir. Proses esnasında meydana gelen, mekanik streslerden kaynaklı, yüksek ekzotermik özelliğe sahip sistemlerde yanmaya neden olabilir. Bunun sonucu olarak da, reaksiyon karışımını eritebilir ve ultra ince (nano-kristal) mikroyapıyı tahrip edebilir. Seramik ve metal tozlarının, öğütücü kullanılarak karıştırılmaları mekano-kimyasal reaksiyonlara neden olabilir ve bu meydana gelen, nano-sermet malzeme üretmenin etkin bir yoludur [30-32].

Bilyalı öğütücü, demir ve alümina tozlarının bir arada karıştırmak suretiyle, bir alümina matrisine, takviye edilmiş, demir nano-parçacıkları gibi manyetik özelliğine sahip nano-kompozitler hazırlamak için kullanılmıştır [31]. Üretilen nano-kompozitin ortalama tane boyutu 10 nano-metre aralığına kadar indirilebilir. Partikül boyutları ve proses esnasında biriken iç gerilmeler nedeniyle istenen manyetik özellikler ayarlanabilmektedir.

Bilyalı öğütücü yardımıyla, manyetik özelliğine sahip olmayan, bir matris içerisine, küçük tane boyutlarında, manyetik özelliklere sahip parçacıkların gömülmesi, bu yöntem kullanılarak yapılabilir [33]. Örnek verilecek olursa, bakır içinde, yayılmış halde bulunmuş olan Fe_3O_4 nano-kompozitlerin, doğrudan bu iki elementin karışımı olarak, bilyalı öğütücüden geçirilmesiyle hazırlanmaktadır [34].

4.2.2. Sol-Jel prosesi ile nanokompozit üretim yöntemi

Aerojeller, gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu yapı sayesinde, nanokompozit üretimi için belirlenmiş bir başlangıç maddesidir. Bu malzemeler, silika, alümina ya da resorsinol-formaldehit monomerlerinin, bir çözelti haline getirilmiş, polimerizasyonu sayesinde elde edilir. Sahip olduğu yüksek gözenekli yapılar (nano ve mikron boyutunda) dolayısıyla yoğunlukları düşüktür (0,5-0.001 g/cm^3). Bu sayede de çok hafif bir malzemedir [35-36]. Aerojollerden teşekkül edilmiş, nano-kompozit malzemeler, her zaman bir altık adı verilen malzeme ve bir ve birden fazla eklenmiş fazlardan oluşur. Kompozit malzeme üretiminde, genel olarak, katılacak faz ve matris fazları veya sahip olduğu gözeneklerin tane boyutlarına göre, bir sıralama yapılır. Örnek olarak aerojel malzemeler için, sahip olduğu gözenek tane boyutları ve partikül boyutları verilebilmektedir. Eklenen faz malzemeleri tane boyutlarına göre sıralanabilir, genel olarak, nano-boyutlardan mikron boyutlara kadar değişken aralıklarda bulunur. Bu silika bazlı nano-kompozitlerde daha yaygın kullanılmasına karşın, alümina aerojellerde de kullanımı giderek artmaktadır [35-37].

Bu malzemeler, takviye malzemesinin hangi süreçte, malzeme içerisine katılmasına bağlı olarak üretilirler. Takviye fazı, superkritik kurutma yapılmadan önce, sol-jel yapım aşamasında katılması suretiyle üretilebilir. Bununla birlikte, buhar halinde, kurutmadan sonra ilave edilebilir, son olarak, aerojel malzemenin, kimyasal olarak değiştirilmesi, bir gaz yardımıyla sağlanabilir. Bu metotlar sayesinde birçok farklı nano-kompozit üretilebilir.

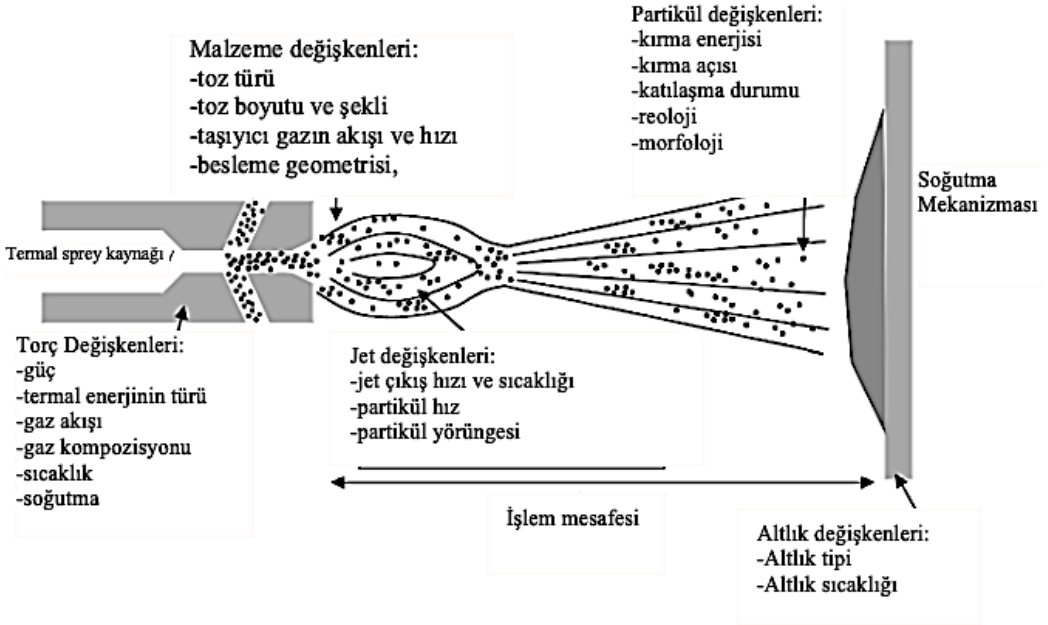
4.2.3. Termal sprey sentez yolu ile nanokompozit üretimi

Bu yöntem, nano-yapılı kaplamalar elde etmek için kanıtlanmış bir yöntemdir.

Yöntemle çok başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Nano tozların en büyük sorunu olan aglomerasyon bu yöntemde başarılı bir şekilde aşılır. Sistem, aglomere halde bulunan tozları uygun bir solüsyon içinde yüksek hızda dağıtmak suretiyle kaplama yapılacak malzemeye püskürtülerek nano-yapıya sahip kaplama elde edilmiş olur. Burada süspansiyon halde bulunan nano-toz, substrat yüzeyine çarptığı esnada soğuyarak katı hale geçer. Bu sayede, nanotozların en büyük sorunu olan aglomerasyon oluşmadan ve başarılı bir şekilde bu sorunun üzerinden gelerek kaplamalar elde edilir [38, 39].

Elde edilen kaplamanın sahip olduğu nanokristalin yapı, geleneksel kaplama yöntemlerine nazaran, daha iyi bir aşınma direnci, daha yüksek sertlik, sürtünme katsayısının azalması sayesinde parçanın ömrünü arttırılması gibi avantajlara sahiptir.

Şekil 4.2'de bir termal sprey prosesinin şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 4.2: Termal sprey prosesinin şematik görünümü [38]

Nano-boyuta sahip bir toz elde etme işlemi genellikle, geleneksel tozların bir kriyojenik öğütücü yardımıyla, daha küçük tane boyutuna getirilerek elde edilir. Uygun ortamın sağlanması ile alüminyum ile alaşımlandırılmış demirin, çökeltileri oluşur. Elde edilen bu çökeltiler sayesinde, nano-boyutlu yapıyı, saf metalin ergime ısısının %75 ine kadar sürdürülmesini sağlar [38 - 40].

Yüksek sıcaklıklarda, nano-boyutlu yapının kararlı olması açısından, saf metallere, alaşım elementleri eklenir. Bu sayede, yüksek sıcaklıklarda bu yapının sürdürülmesi sağlanmış olur. Örneğin, WC/Co için, malzemeler nano-boyutlara getirildikten sonra, bir reçine veya bağlayıcı yardımıyla bir araya getirilir [40, 41].

Termal sprey tabancasına, tozların şarj edilmesi için boyutu en az 50 nm'ye kadar aglomere hallerinde bulunması gerekir. Tane boyutlarının çok küçük olması sebebiyle, ısının eşit dağılımı sağlanabilir. Dışarıdan eklenen tozlar, torcun içindeki ufak bir nozül yardımıyla amaca yönelik kullanılır.

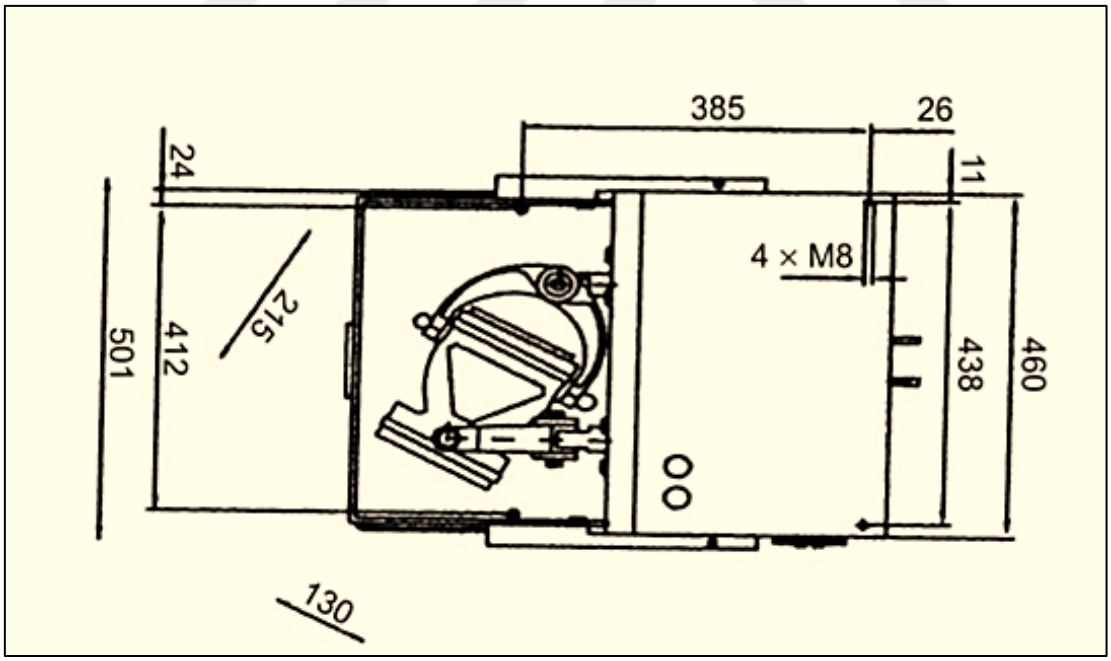
Kullanılan termal sprey yöntemine göre alev tipi değişebilir. Alev tipinin değişmesi gazın akışı ve gazın ısısının etkisi sayesinde meydana gelir. Nozül ile altılık arasındaki mesafenin ayarlanması ile hız ve sıcaklık parametleri kombine edilerek, tozların istenilen sıcaklığa gelmesi sağlanır. Bu ergimiş veya yarı-ergiyik halde bulunan parçacıklar, altlık üzerinde birikmek suretiyle kaplama sağlanmış olur. İşlem esnasında dikkat edilmesi gereken faktörler;

- **Aglomere halde bulunan tozların termal kararlılığı:** Nano-kristalin yapılı malzemelerin sahip olduğu geniş yüzey alanından dolayı, mikron boyuttaki tozlara nazaran daha düşük sıcaklıklarda, tane büyümesi gösterir.
- **Akış esnasındaki ergime derecesi:** Nozül ile altlık mesafesine, kullanılan ekipmanın sıcaklığına ve hızına bağlıdır. En uygun optimizasyon için bir seri deneme yapılmalıdır.
- **Soğutma Hızı:** soğutma oranı: içyapıda nano-kristal tanelerin meydana gelmesini sağlayan hızlı çekirdekleşme ve yavaş tane büyümesine yol açar. Bu sistemlerde yüksek sıcaklıklarda bile tane yapısını korunması istendiğinden, tane yapılarını kararlı hale getirmeye çalışan, bir faz yapısına daha ihtiyaç duyarlar. Örnek olarak, kriyojenik öğütücü ile tane sınırlarını, sınırlandıran nano-boyutlu partiküllerin

(oksitler, nitritler) oluşumu verilebilir. Tane sınırlarındaki, empüriteler ya da aşırı çözünmüş halde atomlar bulunması da tane büyümesini engeller [41-45].

5. TURBULA MİKSER

Turbula karıştırıcı, doksanlı yılların sonlarına doğru piyasaya çıkmıştır. Özellikle endüstriyel alanlarda, yeni toz formülasyonları geliştirmek için kullanılan, yeni tür bir karıştırıcı modelidir. Normal toz karıştırma cihazlarının dönme ve çevirme hareketlerine ek olarak, ek bir hareket özelliğine daha sahiptir. Schatz inversiyon teorisine göre, çalışmakta olan Turbula karıştırıcı, dönme, çevirme ve inversiyon hareketinden kaynaklı, karıştırıcı kap içerisindeki tozları, sürekli bir tekrarlı harekete maruz bırakmak suretiyle, üç boyutlu bir hareket sağlar. Uyguladığı bu kuvvetler sebebiyle, karışımın verimliliği yüksektir. Bu sayede ise homojen karışımlar elde edilir. Fakat bu verimliliği sağlamak için ise, karıştırıcı kabin hacminin %60'ını geçmemesi istenir. Şekil 5.1 'de karıştırıcıya ait şematik görünüm verilmiştir [46-48].



Şekil :5.1 Turbula karıştırıcısına ait şematik görünüm [52]

6.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında, mikronize demir tozu ve takviye malzemesi nano metal oksit tozları [Fe-(Al_2O_3-TiO_2-ZrO_2)] homojen olarak karıştırılarak özlü kaynak teli özüne karıştırılarak üretilmiştir. Nanotoz katkılı olarak hazırlanan öz karışımı ile. endüstriyel ölçekte nano-kompozit özlü kaynak teli üretilmiştir. İmal edilecek özlü tel için sanayide yaygın kullanımı olan ve Gedik Kaynak A.Ş. tesislerinde üretilen Elcor R-71 ürünü baz alınmıştır. Bu ürünün ana bileşimlerine sadık kalarak İki farklı kompozisyonda özlü tel üretilmiştir. Üretilen tellerden, mekanik özellikleri belirlemek için kaynak uygulamaları yapılmış ve üretilen nanokompozit kaynak telleri ile referans (Elcor R-71) kaynak tellerinin özellikleri karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar, tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri ile tespit edilmiştir. Karakterizasyon işlemleri SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu), EDS (Elementel Analiz) ve optik mikroskop yardımıyla yapılmıştır.

6.1-Nano-kompozit Üretimi

6.1.1 Kullanılan tozlar:

Bu çalışma kapsamında üretilecek olan metal matrisli nano-kompozit kaynak uygulamaları için, nanotoz taşıyıcı malzeme olarak Gedik Kaynak AŞ'den temin edilen mikronize sünger demir, takviye malzemesi olarak da nano boyuta sahip Al_20_3, ZrO_2, TiO_2 tercih edilmiştir. Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2 nanotozlarının seçilme sebebi ise bu metal oksitlerin ergime sıcaklıkların yüksek olmasıdır. Bu malzemeler kaynak sürecinde katı olarak kalmaktadır. Bu da kaynak işlemi sırasında katılaşmada çekirdeklenme görevi göreceği ve daha ince taneli bir yapı oluşturacaktır. Ayrıca katılaşma hızı artacağı için ITAB'ın daralacağı öngörülmüştür. Bu seçilen takviye malzemeleri Sigma-Aldrich'den tedarik edilmiştir. Tablo 6.1'da tozların özellikleri verilmiştir.

Tablo 6.1: Kullanılan tozlar ve özellikleri

Kullanılan Tozlar	Ortalama Tane Boyutu	Yoğunluk
Al_2O_3	13 nm	3.95 g/mL
TiO_2	21 nm	4.26 g/mL
ZrO_2	<100 nm	5.89 g/mL
Sünger Demir Tozu	100 mikro metre	2.40-2.60 g/cm^3

6.1.2 Kullanılan ekipmanlar

Bilyalı öğütücü:

Mikronize sünger demir tozu içerisine ZrO_2, TiO_2, Al_2O_3 nanotozları homojen olarak karıştırmak için ilkönce bilyalı değirmen kullanılmıştır. Bunun için Şekil 6.1'de gösterilen HEICO-Sample MILL TI-100 cihazı kullanılmıştır.

Şekil6.1.: Bilyalı öğütücüye ait görüntüler

Mikronize sünger demir tozu içerisine sırasıyla $Zr0_2$, TiO_2, Al_2O_3 nanotozları karıştırıldıktan sonraki elde edilen malzemeler Şekil 6.2-6.3'de verilmiştir. Bu

şekillerden de görüleceği gibi topaklanmalar oluşmuş, sistem bunları dağıtamamış ve karışım başarılı olamamıştır. Dolayısıyla karışımın homojen olabilmesi için bir sonraki bölümde belirtilen sistem kullanılmıştır.

Şekil 6.2: Mikronize sünger demir tozu içerisine sırasıyla ZrO_2, TiO_2, Al_2O_3 nanotozların karıştırıldıktan sonraki görüntüleri

Şekil 6.3.: Tozların sırasıyla, karışımdan sonra ve önceki görüntüleri(soldan sağa)

Turbula karıştırıcı

Bu karıştırıcının sahip olduğu kompleks hareketlerin karışımı homojen olarak sağlayacağı düşünüldüğü için kullanılmıştır. Bu karıştırma yönteminde sistem

parametreleri göz önüne alınarak deneysel program hazırlanmıştır. Karıştırıcı hızı olarak 23-34-49devir/dk belirlenmiştir. Marmara Üniversitesi'nde bulunan "Turbula T2F" adlı cihaz kullanılmıştır. Şekil 6.4'de gösterilmiştir.

Şekil 6.4: Turbula T2F karıştırıcının görünümü

Bu karıştırıcının sahip olduğu ve kullandığı inversiyon hareketine bağlı olarak, nano tozların aglomerasyondan kurtularak, mikronize sünger demirin sahip olduğu gözeneklere girmek suretiyle bir nanokompozit toz elde edildiği gözlemlenmiştir. Hem literatüre katkı sağlaması açısından hem de üretimlerde bir optimizasyon belirlemek amacıyla bir dizi seri deney yapılmıştır.

Üretilen nano-kompozitlerden iki ayrı kompozisyon belirlenmiş ve bu belirlenen oranlar için üretimler gerçekleşmiştir. Tablo 6.2'da kullanılan tozlar ve oransal olarak miktarları verilmiştir.

Tablo 6.2.: Kullanılan tozlar ve oranları

Kompozisyon	ZrO_2	Al_2O_3	TiO_2	Oran
1	0.002	0.002	0.001	0.005
2	0.003	0.003	0.001	0.007

6.1.3 Karakterizasyon çalışmaları

SEM-EDS analizleri

İlk olarak elde edilen nano-kompozitin homojenliğini ve yapı içinde bulunan tozların içeriğini belirlemek için SEM-EDS analizleri yapılmıştır. Bu çalışmalarda 'FEI-Sirion XL-30 ve Philips EDS' adlı cihaz kullanılmıştır(Şekil 6.5).SEM işlemlerinin ardından 3 nokta EDS analizleri yapılmıştır. En son karışımların homojenliğini anlamak amacıyla haritalama analizleri de yapılmıştır.

Şekil 6.5: Kullanılan SEM-EDS cihazı

6.1.4.Karışım optimizasyonu

Özlü kaynak teli üretiminde elde edilecek telin istenilen kompozisyonunu dengelemek için öz karışımına demir tozu eklenir. Bu çalışmada nano-kompozit karışım üretmek için ana malzeme- olarak sünger demir tercih edilmiştir. Sünger demirin tercih edilme sebebi

sahip olduğu gözeneklerden dolayıdır. Sünger demirde bulunan gözenekler sayesinde, belirlenmiş olan nanotozların (Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2) bir mekanik bağlanma şeklinde gözeneklere girmesi ve tutunması suretiyle [Fe-(Al_2O_3-TiO_2-ZrO_2)] metal matrisli nanokompozit bir harman oluşturması hedeflenmiştir. Literatürde benzer karışımların oluşturulmasında bilyalı değirmen kullanılmış fakat nano-kompozit üretimi başarılı olarak gerçekleştirilememiştir. Bunun sebebi ise aglomere olan nano-tozların kırılamamasıdır. Bunun üzerine Turbula karıştırıcının sahip olduğu çevirme, dönme ve inversiyon hareketi sayesinde bu aglomere olan tozların kırılacağı düşünülmüştür.

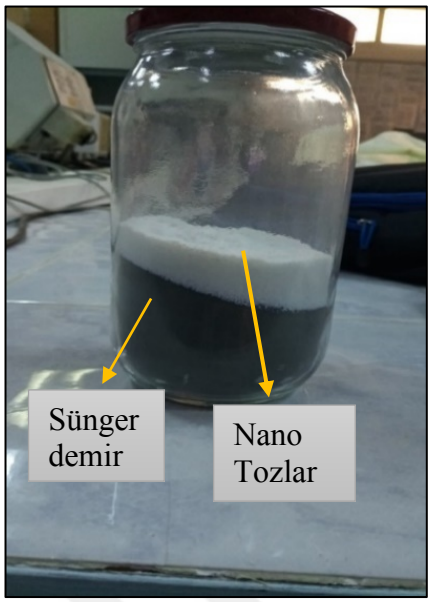
Ardından bir deneme karışımı hazırlanmış ve başarıyla sonuçlanmıştır. Üretimin başarıyla sağlanması sonucunda, hem literatüre katkı sağlaması açısından hem de yapılacak üretimler için bir optimizasyon belirlenmesi için bir dizi çalışma yapılmıştır.

Her biri 1(bir)er kilogram olmak üzere mikronize sünger demir tozu ve metal oksit nanotozlar (ZrO_2, TiO_2, Al_2O_3) dan belirli miktarlarda(1 gram, 2 gram, 3 gram,4 gram) alınarak karışımlar hazırlanmış ve hazırlanan oranlar miktar olarak belirtilmiştir(Tablo 6.3.).

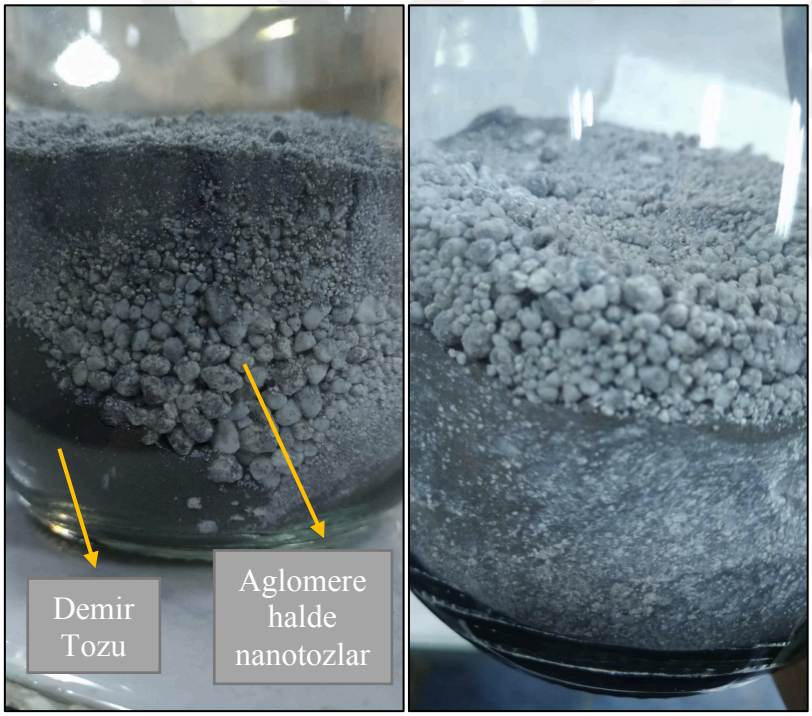
Tablo 6.3.: Karışım oranları ve kullanılan toz oranları

Toplam Toz Ağırlığı (kg)	**Mikronize Sünger Demir(gr)**	**ZrO_2 Ağırlığı (gr)**	**TiO_2 Ağırlığı (gr)**	**Al_20_3 Ağırlığı (gr)**	**Oran**
1	997	1	1	1	0.003
1	994	2	2	2	0.006
1	991	3	3	3	0.009
1	988	4	4	4	0.012

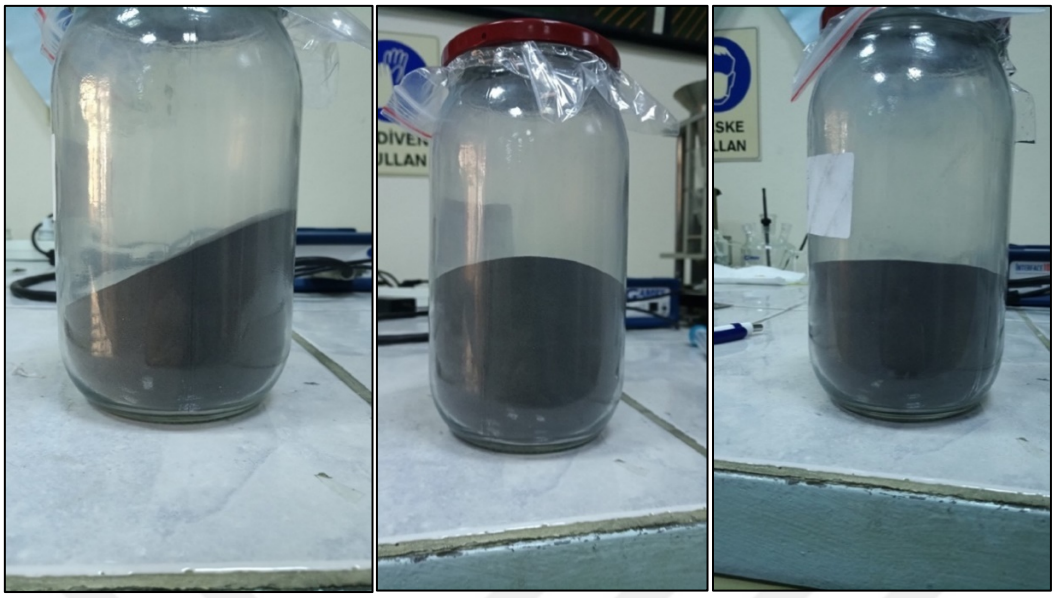
Bu devirler 23devir/dk, 34 devir/dk ve 49 devir/dk ‘dır. Her devir için karışımlar yeniden hazırlanmış(Şekil 6.6.) ve her karıştırma süresi sonrasında (1 saat, 2 saat, 3 saat) numune alınarak incelenmiştir. Ayrıca her çevrim sonunda karışımlar gözle incelenmiş ve görüntüleri alınmıştır (Şekil 6.7.-6.8.)



Şekil 6.6: Hazırlanan karışım



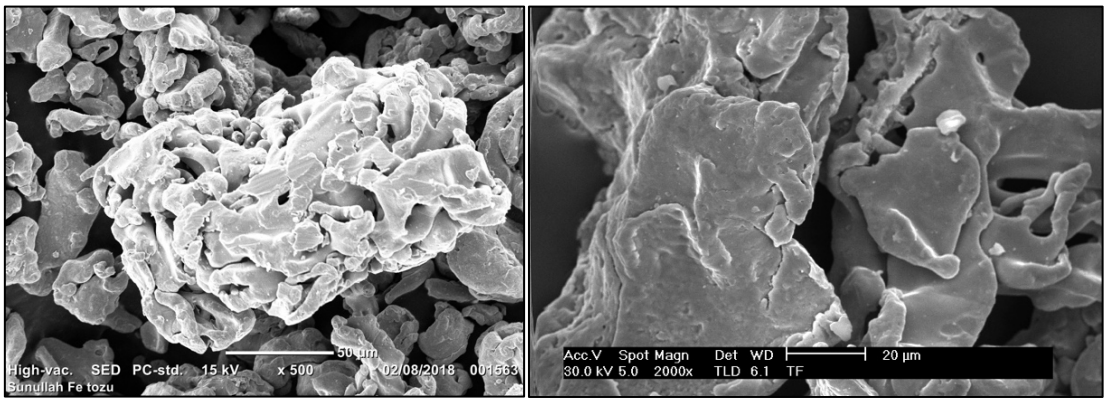
Şekil 6.7.: Tozların karışımda aglomere halde bulunması



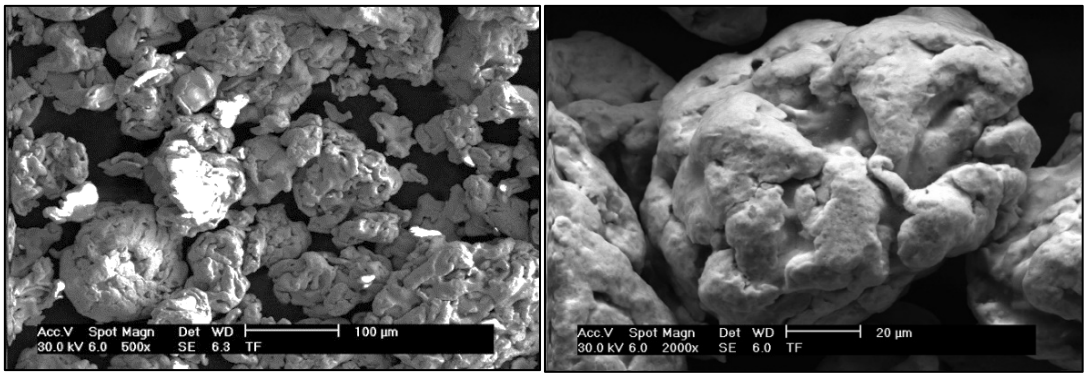
Şekil 6.8.: Her çevrim sonrası karışım (sırasıyla 1 saat, 2 saat, 3 saat)

Görüldüğü üzere, karıştırıcı kapların, karıştırma süresi arttırıldığında daha da koyulaştığı buradan da sünger demir tozunun, nanotozlarla oluşturduğu topaklar parçalanarak mikronize sünger demirin yüzeyine yapışarak ve gözeneklerine girmek suretiyle homojen bir karışım oluşturduğu anlaşılmaktadır.

SEM ve EDS analizleri yapılmak suretiyle bu karışımların hangi devirlerde ve sürelerde daha homojen olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. 2000'e kadar olan büyütmeler için yapıdaki faz farkını anlamak amacıyla numuneler Au'la kaplanmamıştır, (Şekil 6.9.-6.10).



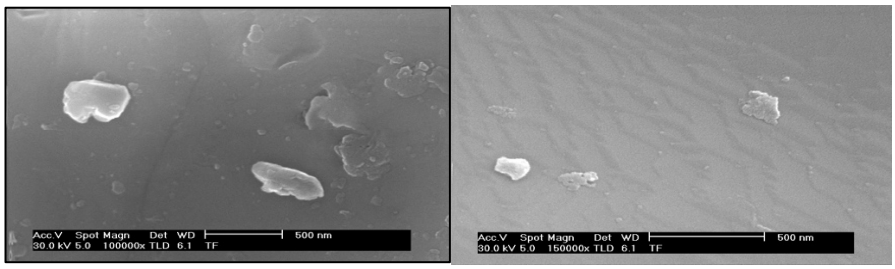
Şekil.6.9.: Mikronize sünger demir(soldan sağa doğru 500x ve 2000x büyütmelerde)



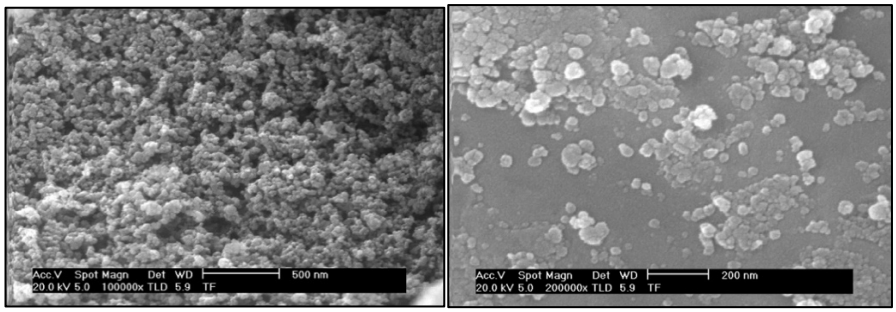
Şekil 6.10.: Karıştırma sonrası nano-kompozit (soldan sağa doğru 500x-2000x büyütmelerde)

Bu büyütme oranlarında görüldüğü üzere, kullanılan tozların metal oksit nanotoz olmasından kaynaklı bu yapıların daha parlak göründüğü belirlenmiştir. Bunun sebebi metal oksitlerin (seramik) yalıtkan olmasından dolayı, gelen ışını yalıtmış ve bu nedenle diğer bölgelere nazaran daha parlak kalmıştır.

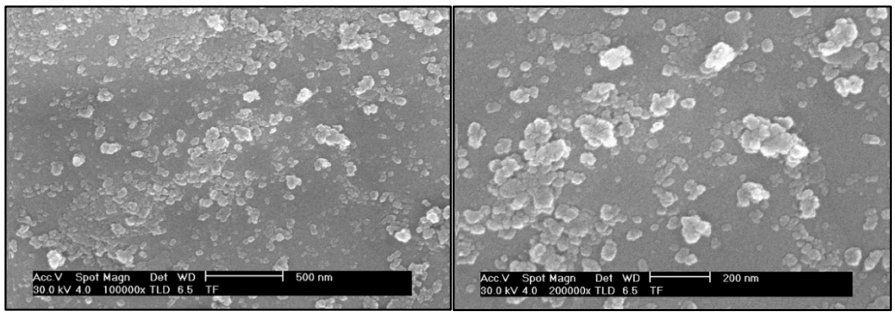
Nano-kompozitin oluşma mekanizmasını incelemek amacıyla, yüksek büyütmelere çıkılması istendiğinden bu numuneler Au ile kaplanmıştır (Şekil6.11-6.14).İlk olarak ideal devir aralığı tespit edilmeye çalışılmış ve aynı orana sahip tozların en ideal karıştığı devir 49 devir/dk olarak alınmıştır .



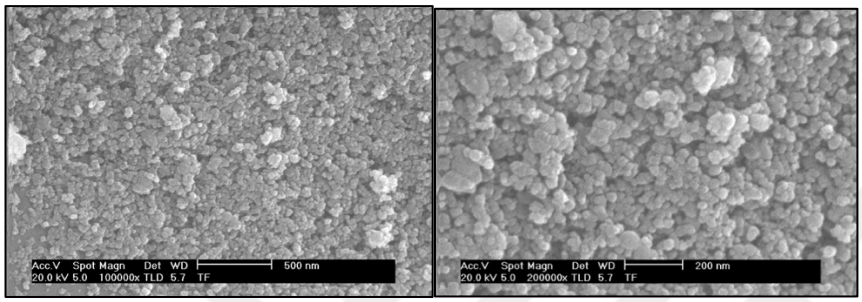
Şekil 6.11.: Mikronize sünger demir tozu (100.000x-150.000x büyütmelerde)



Şekil 6.12.: 23 devir/dk karışım (100.000x-200.000x büyütmelerde)

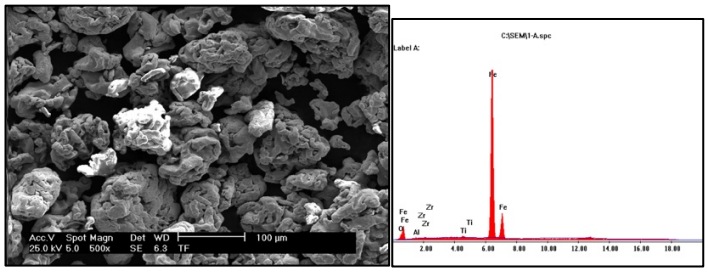


Şekil 6.13.: 34 devir/dk karışım (100.000x-200.000x büyütmelerde)



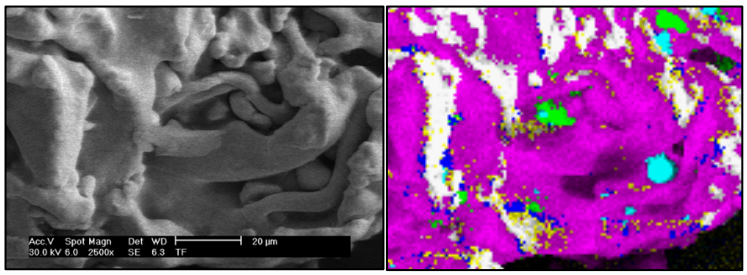
Şekil 6.14.: 49 devir/dk karışım (100.000x-200.000x büyütmelerde)

Sonuçlar incelendiğinde metal oksit nanotozları, mikronize sünger demirin gözeneklerine girerek, yüzeylere tutunarak mekanik bir bağlanma yaptığı görülmektedir. Bu alınan görüntülerle birlikte, homojenliğin ve karışımın kalitesinin daha iyi anlaşılabilmesi açısından aynı zamanda EDS-Mapping analizleri yapılarak sonuçlar teyit edilmiştir. EDS analizleri sayesinde, kullanılan tozların metal-oksit olmasından kaynaklı, karışım kalitesi arttıkça oksit miktarlarında da artış bulunmaktadır, (Şekil 6.15-6.20).

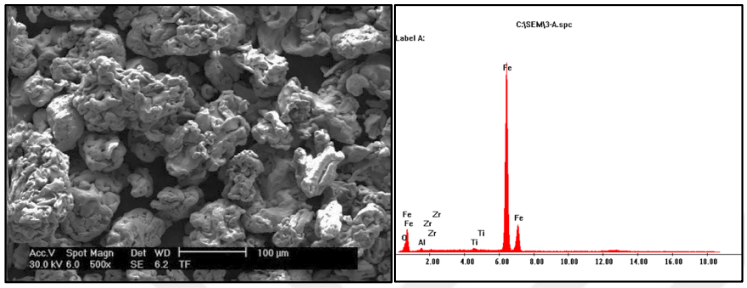


Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	8.13	23.09	0.0296	1.1287	0.3212	1.0044
AlK	2.72	4.59	0.0047	1.0562	0.1633	1.0012
ZrL	0.92	0.46	0.0043	0.9200	0.5030	1.0001
TiK	0.57	0.54	0.0056	0.9806	0.8980	1.1243
FeK	87.65	71.32	0.8625	0.9844	0.9995	1.0000
Total	100.00	100.00				

Şekil 6.15.:23 devir/dk EDS analizleri

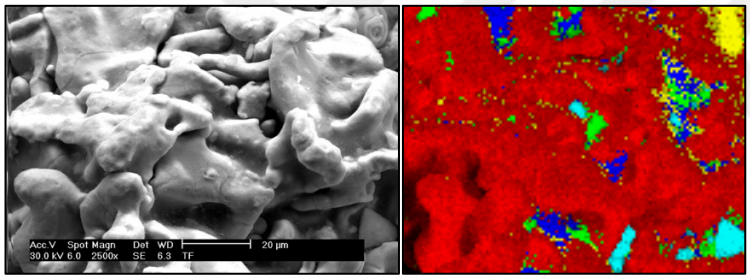


Şekil 6.16.: 23 devir/dk Mapping analizleri (pembe: demir, lacivert: alüminyum, sarı: oksijen, yeşil: titanyum, mavi: zirkonyum)

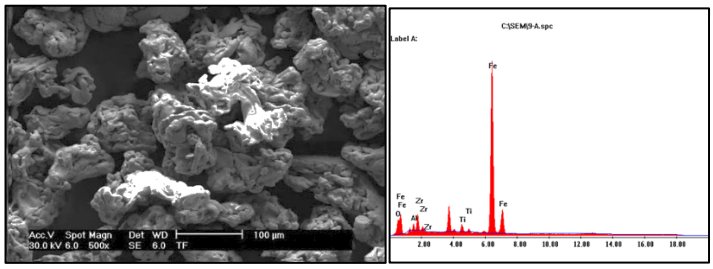


Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	6.74	20.06	0.0239	1.1333	0.3110	1.0045
AlK	1.18	2.08	0.0020	1.0605	0.1615	1.0014
ZrL	2.12	1.10	0.0099	0.9238	0.5069	1.0001
TiK	0.58	0.58	0.0057	0.9851	0.8911	1.1239
FeK	89.38	76.18	0.8802	0.9888	0.9960	1.0000
Total	100.00	100.00				

Şekil 6.17.:34 devir/dk EDS analizleri

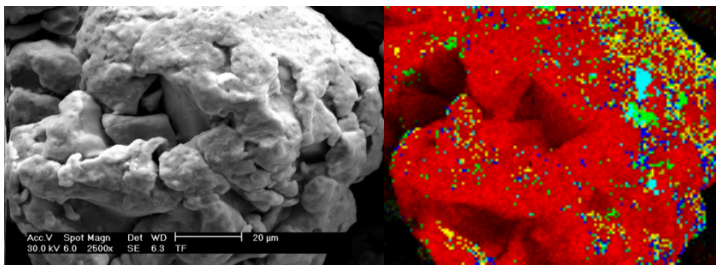


Şekil 6.18. : 34 devir/dk. EDS-Mapping Sonuçları (kırmızı: demir, lacivert: alüminyum, sarı: oksijen, yeşil: titanyum, mavi: zirkonyum)



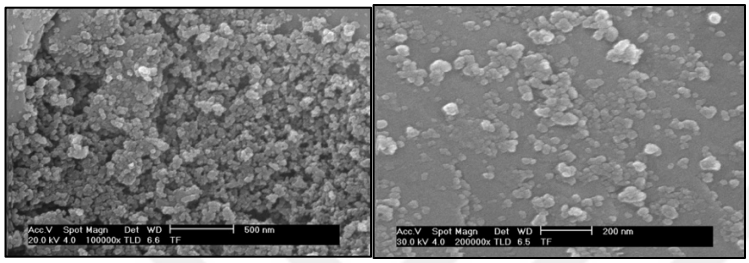
Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	18.38	42.54	0.0599	1.1102	0.2929	1.0027
AlK	5.78	7.93	0.0110	1.0391	0.1824	1.0015
ZrL	3.70	1.50	0.0180	0.9053	0.5372	1.0002
TiK	1.91	1.48	0.0181	0.9629	0.8942	1.0965
FeK	70.23	46.56	0.6736	0.9672	0.9917	1.0000
Total	100.00	100.00				

Şekil 6.19:49 devir/dk. EDS analizi

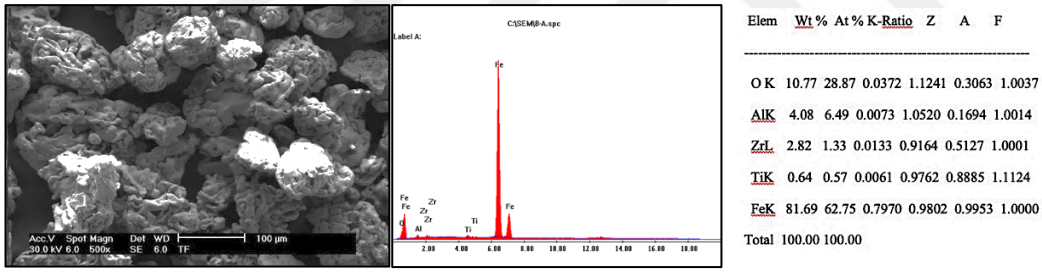


Şekil 6.20:49 devir/dk. EDS-Mapping Analizleri (kırmızı: demir, lacivert: alüminyum, sarı: oksijen, yeşil: titanyum, mavi: zirkonyum)

Belirlenmiş olan en verimli devir aralığı için karıştırma süreleri incelenmiştir(Şekil 6.21-6.29).bu incelenen karıştırma süreleri, EDS-Mapping analizleri ile desteklenmek suretiyle en uygun karıştırma süresi de belirlenmiştir.

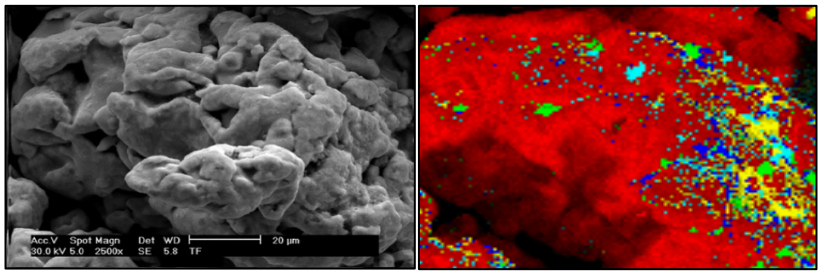


Şekil 6.21.: 49 devir/dk'da 1 saat sonrası karışım görüntüleri (100.000x-200.000x büyütmelerde)

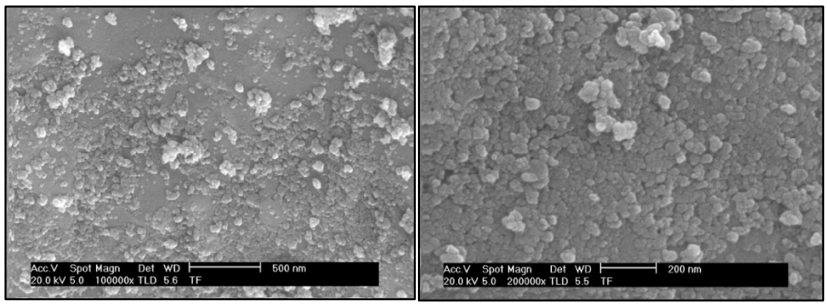


Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	10.77	28.87	0.0372	1.1241	0.3063	1.0037
AlK	4.08	6.49	0.0073	1.0520	0.1694	1.0014
ZrL	2.82	1.33	0.0133	0.9164	0.5127	1.0001
TiK	0.64	0.57	0.0061	0.9762	0.8885	1.1124
FeK	81.69	62.75	0.7970	0.9802	0.9953	1.0000
Total	100.00	100.00				

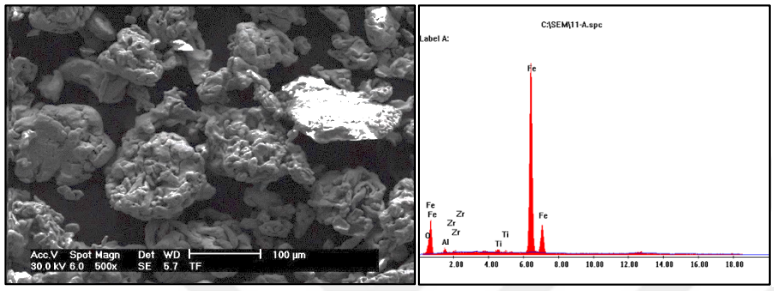
Şekil 6.22.: 49 devir/dk 1 saat karışım sonrası EDS sonuçları



Şekil 6.23.:49 devir/dk 1 saat mapping analizi

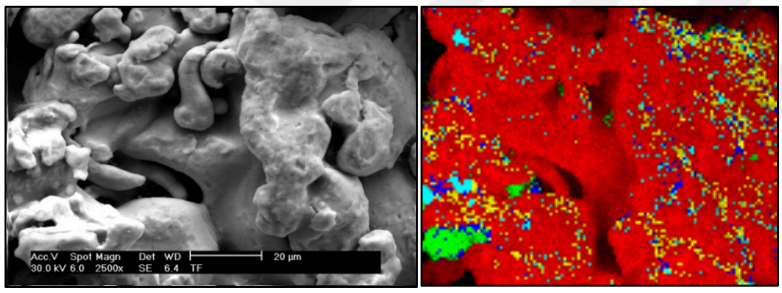


Şekil 6.24.:49 devir/dk 2 saat karıştırma sonrası SEM görüntüleri (Sırasıyla 100.000x-200.000x)

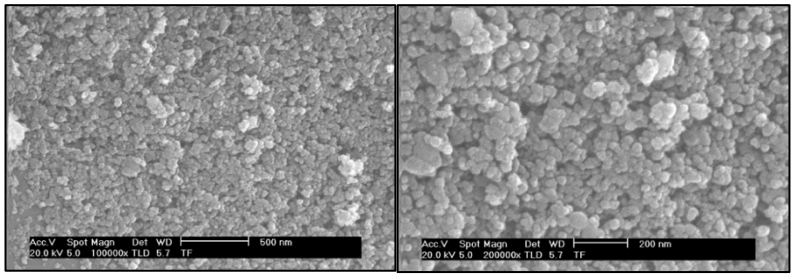


Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	8.08	22.82	0.0295	1.1279	0.3220	1.0044
AlK	3.38	5.66	0.0058	1.0555	0.1622	1.0011
ZrL	0.52	0.26	0.0024	0.9195	0.4981	1.0001
TiK	0.65	0.61	0.0064	0.9798	0.8976	1.1234
FeK	87.37	70.65	0.8593	0.9837	0.9999	1.0000
Total	100.00	100.00				

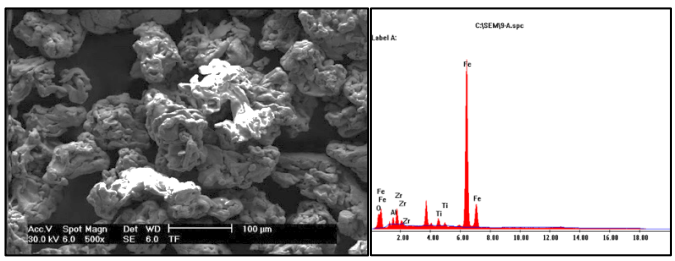
Şekil 6.25.:49 devir/dk 2 saat karıştırma sonrası EDS analizleri



Şekil 6.26.:49 devir/dk 2 saat karıştırma sonrası Mapping analizleri

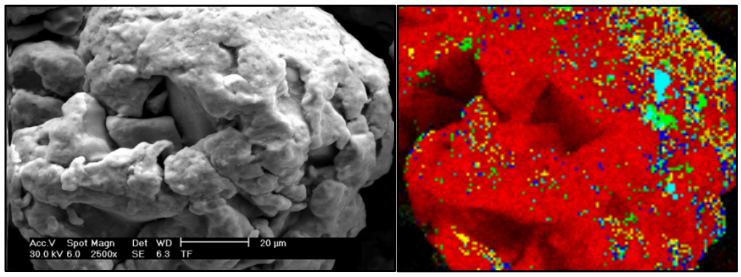


Şekil 6.27.:49 devir/dk 3 saat karıştırma sonrası SEM görüntüleri(Sırasıyla 100.000x-200.000x büyütmelerde)



Elem	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
O K	18.38	42.54	0.0599	1.1102	0.2929	1.0027
AlK	5.78	7.93	0.0110	1.0391	0.1824	1.0015
ZrL	3.70	1.50	0.0180	0.9053	0.5372	1.0002
TiK	1.91	1.48	0.0181	0.9629	0.8942	1.0965
FeK	70.23	46.56	0.6736	0.9672	0.9917	1.0000
Total	100.00	100.00				

Şekil 6.28.:49 devir/dk 3 saat karıştırma sonrası EDS analizleri



Şekil 6.29:49 devir/dk 3 saat karıştırma sonrası Mapping analizleri

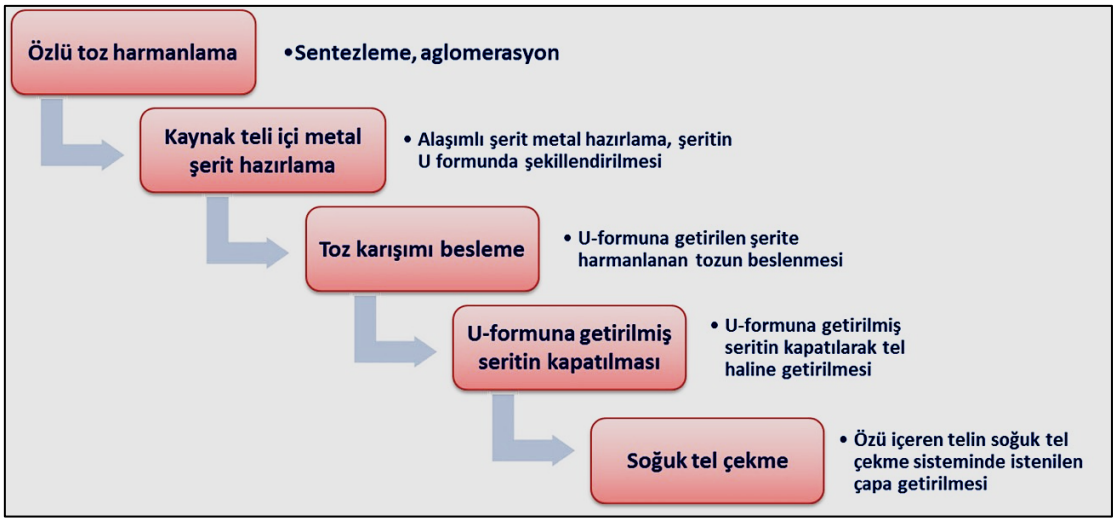
6.2. Kaynak Tel Üretimi, Uygulamaları ve Testleri

6.2.1. Özlü tel üretim hattı

Hazırlanan nano-kompozitten, 1.2mm çapa sahip özlü tel üretilmesi amacıyla Gedik Kaynak A.Ş'deki özlü tel üretim hattı kullanılmıştır. Şekil 6.30'da gösterilmiştir.

Şekil 6.30.: Kullanılan özlü tel üretim hattı

Özlü tel üretim aşağıda verilen akım şemasına uygun olarak yapılmıştır, Şekil.6.31.



Şekil 6.31: Özlü tel akım üretim akım şeması

6.2.2Kullanılan metal plaka:

Proje amacına uygun olarak, S355JR düşük karbonlu, çelik tercih edilmiştir. Kaynak işlemleri bu çelik parçalara, kaynak ağzı açılmak suretiyle yapılmıştır. Her iki kaynak pozisyonu için parça boyutlarına uygun olarak çelik malzemeler temin edilmiştir. Tablo 6.4'de S355JR çeliğinin kimyasal ve mekaniksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 6.4:S355 JR'ye ait kimyasal ve mekaniksel özellikler

Kaynak Pozisyonu	Ölçü (mm)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	C	Si	Mn	P	S
PA*	20x1500 x3000	555	409	28	0.170	0.020	1.360	0.014	0.004
PF**	15x1500 x3000	531	383	29	0.180	0.030	1.350	0.008	0.005

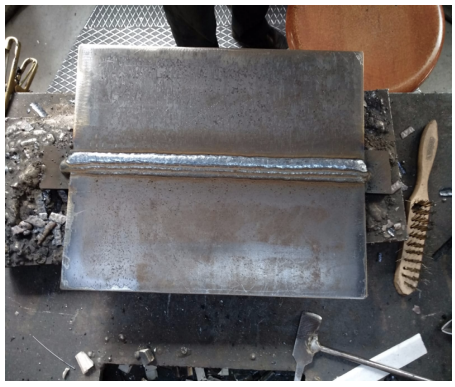
*PA: oluk pozisyonunda yapılan kaynak, **PF:dikey pozisyonda yapılan kaynak

6.2.3.Kaynak işlemleri

Üretilmiş olan tellerin, mekanik özelliklerini ve kaynak karakteristiklerini belirlemek amacıyla bu işlemler yapılmıştır. Bu işlemler için GKM-420-2W adlı kaynak makinası kullanılmıştır Şekil 6.32.'de gösterilmiştir. PA(oluk kaynak pozisyonunda) (Şekil6.33) ve PF(dikey kaynak pozisyonunda)(Şekil6.34.) pozisyonlarda kaynaklar yapılmıştır. İşlem esnasında her paso sonrası yüzey temizlenmiştir. Ayrıca her sıra sonrası parça 180 derece çevrilmek suretiyle kaynak işlemlerine devam edilmiştir. Bu işlemler esnasında koruyucu gaz olarak CO_2 kullanılmıştır. İşlemler süresince kullanılan parimetreler ve kaynak pozisyonları Tablo 6.5'de gösterilmiştir.

Şekil6.32.: Kullanılan kaynak makinası

Şekil 6.33.: PA pozisyonu



Şekil 6.34.: PF pozisyonu

İşlemler süresince kullanılan parametreler Tablo ‘da gösterilmiştir.

Tablo 6.5.: Kullanılan kaynak pozisyonları ve parametreler

Kaynak Pozisyonu	Paso Türü	Kullanılan Akım (A)	Kullanılan Gerilim (V)	Koruyucu Gaz
PA	kök	200	27	CO_2
	dolgu	240	33	CO_2
PF	kök	190	26	CO_2
	dolgu	240	33	CO_2

6.2.4. Mekanik testler

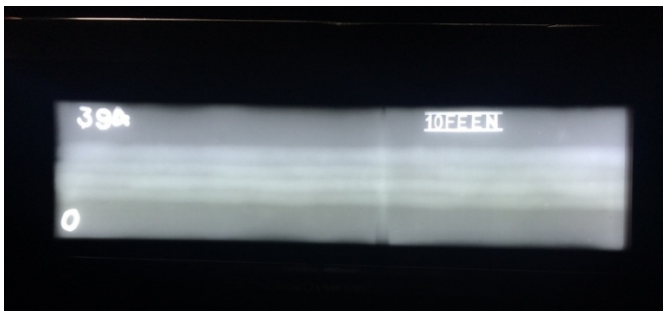
Tahribatsiz testler:

Radyografik muayene:

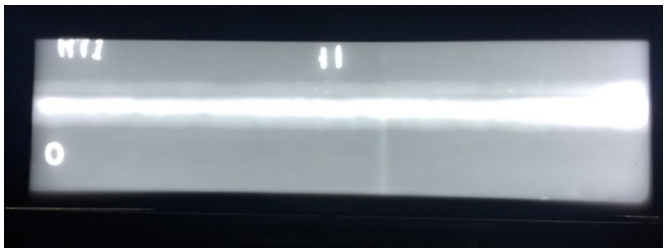
Üretilen tellerden yapılan kaynaklar, ilk önce gözle muayene edilmiştir. Bunun ardından kaynak bölgesi içerisinde, gözenek, boşluk, kurtçuk vb. gibi safsızlığı ve mekanik özellikleri etkileyecek herhangi bir oluşumun tespit edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Parça içerisindeki yoğunluk farklarından yararlanılarak hatalar tespit edilir. Bir X-Ray tüpü yardımıyla elde edilen radyasyon, muayene edilecek parçaya doğru yönlendirilir. Bu esnada içeride safsızlığı etkileyecek herhangi bir oluşum varsa, bu bölgeler veya yapılar, parçaya nazaran daha düşük bir yoğunluğa sahip olduğundan, film üzerinde farklı renkte

gözükür. Bu sayede herhangi bir süreksizlik var ise tespit edilir. Bu testler, 'GE ERESCO 52MF4L' ticari adlı x-ray cihazı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 6.35.'de gösterilmiştir. Referans ve yapılmış üretimlerin radyografik sonuçları Şekil 6.36.-6.41.'de verilmiştir.

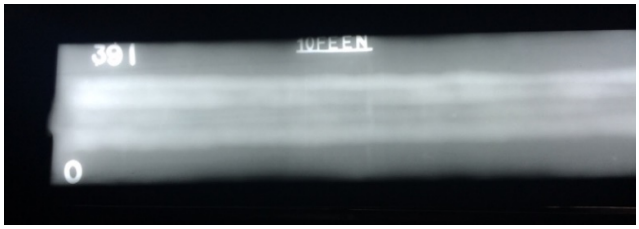
Şekil 6.35.: Radyografik muayene esnasında kullanılan X-Ray cihazı



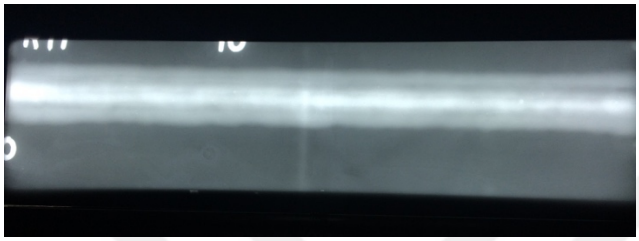
Şekil 6.36.: PA pozisyonunda yapılan Elcor R-71 numunenin kaynağın röntgen görünümü



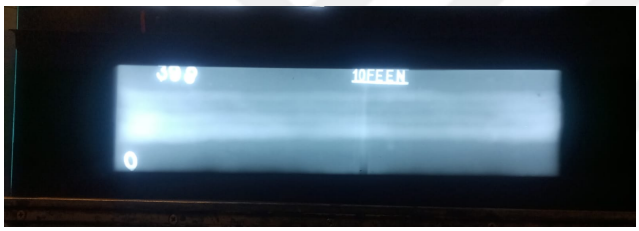
Şekil 6.37.: PF pozisyonunda yapılan Elcor R-71 numunenin kaynakların röntgen görünümü



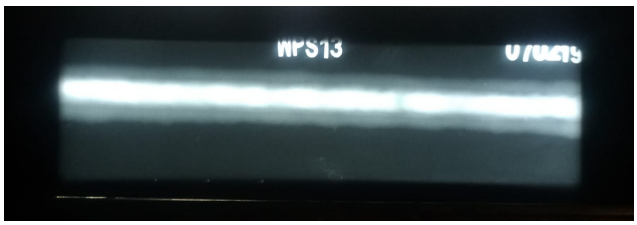
Şekil 6.38.: PA pozisyonunda 1.kompozisyon için yapılan kaynakların röntgen görünümü



Şekil 6.39.: PF pozisyonunda 1.kompozisyon için yapılan kaynakların üretimi



Şekil 6.40.: PA pozisyonunda 2.kompozisyon için yapılan kaynakların röntgen görünümü



Şekil 6.41.: PF pozisyonunda 2.kompozisyon için yapılan kaynakların röntgen görünümü

X-Işını spektrometresi

Malzemelerin içeriğinde bulunan elementleri belirlemek için kullanılır. Bu yöntemde bir X-ray ışını kullanılarak, içeriği belirlenecek olan numuneye yönlendirilir. Gönderilen ışın

ile hareket haline geçen element, kendi dalga boyunda bir karşılık verir. Bu gelen yeni dalga boyu yakalanarak, içeriğindeki elementler belirlenmiş olur. Burada önemli bir nokta her elementin kendine ait bir dalga boyuna sahip olmasıdır. Bu sayede yanlış belirleme olasılığı neredeyse imkansızdır.

Bu yöntem ile referans ve üretilen nano-kompozit katkılı kaynakların kimyasal bileşimini belirlemek için kullanılmıştır. Bu testler, 'ZSX-PRİMUS II' adlı cihaz kullanılarak yapılmıştır, Şekil 6.42.. Elde edilen veriler Tablo 6.6'da gösterilmiştir,

Şekil 6.42.: Kullanılan X-RF cihazı

Tablo 6.6 : X-RF analizinde belirlenen kaynak metalindeki nano-toz oranları

Numune	Al (kütlece %)	Zr (kütlece %)	Ti (kütlece %)
Elcor R-71	0.029	0.003	0.098
1.kompozisyon	0.085	0.003	0.113
2.kompozisyon	0.107	0.004	0.114

Uygulanan Tahribatlı Testler

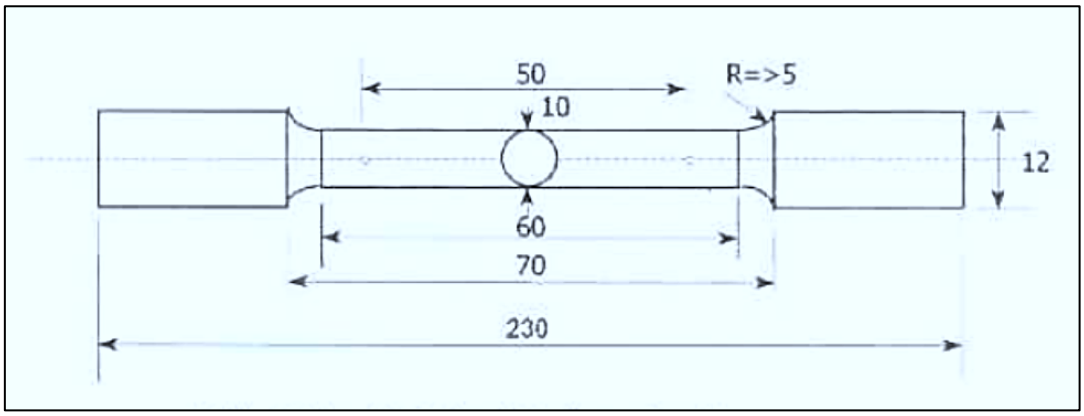
Üretilen tellerin, yapılan kaynaklarda özün içerisine katılmış olan nano-tozun mekanik özelliklere etkisinin belirlenmesi amacıyla, tahribatlı testler yapılmıştır.

Çekme Testleri

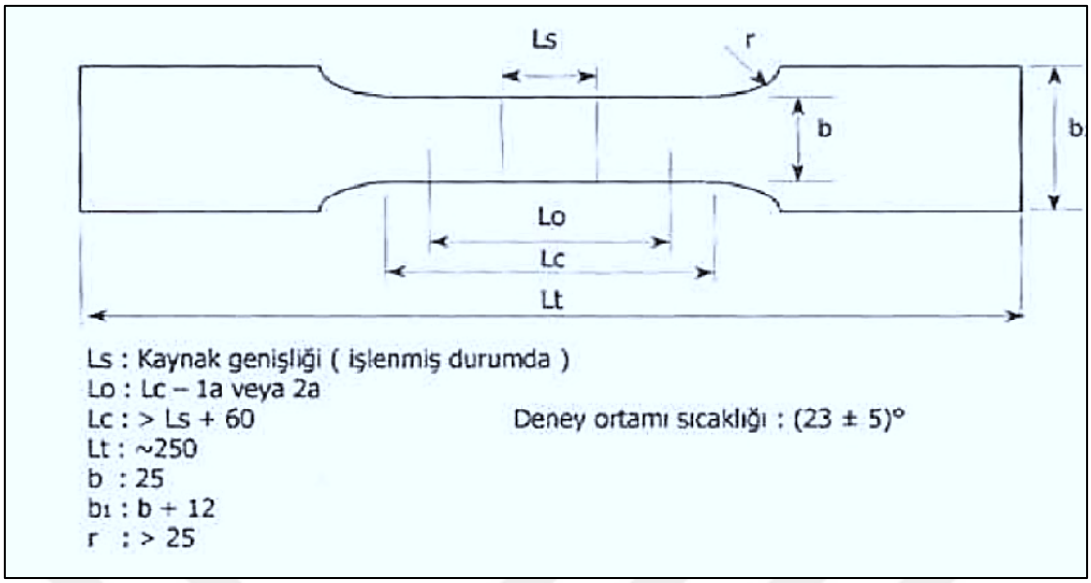
Bu test yöntemi sayesinde malzemelerin, akma dayanımları, çekme dayanımları ve uzama oranları belirlenir. Kullanılan en yaygın ve bilinen bir yöntemdir. Test numunesinin, kafa diye tabir edilen kısımlarını, cihazın çenelerine takmak suretiyle teste hazırlanılmış olunur. Numune kesitine dik olacak şekilde, üst çene tarafından kuvvet uygulanarak test yapılmış olur.

Yapılmış kaynaklardan, elde edilmiş çekme çubuklarından, nanotozun katkılı kaynakların akma ve çekme mukavemet değerlerini saptamak için yapılmıştır. PA pozisyonu için, çıkarılan çekme çubuklarının boyutları TS EN ISO5178:2011 de belirtildiği üzere çıkartılmıştır(Şekil 6.43.).PF pozisyonu için, çubuk boyutları Şekil 6.44.'de gösterilmiştir. Bütün bu işlemler TS EN ISO 5178:2011'e uygun olarak yapılmıştır. Her bir kaynak numunesinden 1(bir) adet çekme numunesi elde edilmiştir. Çekme işlemi esnasında 25m/sn lik bir hızla numuneler teste tabii tutulmuştur.

Bu çalışmada, Zwick Roell Z800 adlı ekipman kullanılmıştır. Şekil 6.45.'da gösterilmiştir.



Şekil 6.43.: PA pozisyonu için kullanılan çekme test numunesinin boyutları



Şekil 6.44.: PF pozisyonu için kullanılan çekme test numunesinin boyutları

Şekil 6.45.: Kullanılan çekme cihazı

Yapılan testlerin sonuçları Tablo 6.7 ve 6.8'de gösterilmiştir.

Tablo 6.7.: PA pozisyonu için çekme testi sonuçları

Numune	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Yeri
Elcor R-71	656	Ana malzeme
1.kompozisyon	711	Ana malzeme
2.kompozisyon	706	Ana malzeme

Tablo 6.8: PF pozisyonu için çekme testi sonuçları

Numune	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Yeri
Elcor R-71	545	Ana malzeme
1.kompozisyon	637	Ana malzeme
2.kompozisyon	624	Ana malzeme

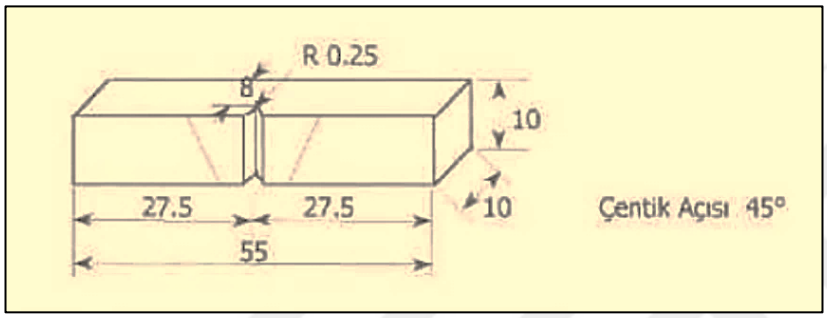
Çentik darbe testleri

Bu test yöntemi malzemelerin dinamik zorlamalar altındaki, özelliklerini incelemek amacıyla yapılır. Bu sayede malzemeye ait olan, tokluk değerini ve darbe geçiş sıcaklığı belirlenmiş olur.

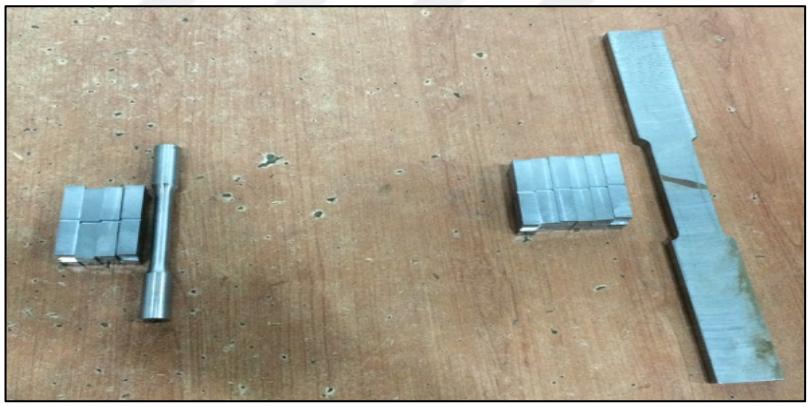
Nano-kompozit özlü kaynakların tokluk değerlerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Charpy-V yöntemine uygun olarak TS EN ISO 6892-1 standardında yapılmıştır. Test numunesi TS EN ISO 9016:2011'ya göre çıkarılmıştır(Şekil 6.46.). Kaynak uygulamaları, PA ve PF; pozisyonlarında uygulanmıştır. Burada:

- PA, Düz kaynak pozisyonu olarak adlandırılır. Düz olarak yerleştirilmiş iki malzeme üzerinde elektrod uygun bir açı ile tutularak kaynak uygulaması yapılır.
- PF, Aşağıdan yukarı kaynak pozisyonu olarak adlandırılır. Dikey düzlemde aşağıdan yukarıya ilerleyerek gerçekleştirilen kaynak uygulamasını ifade eder.

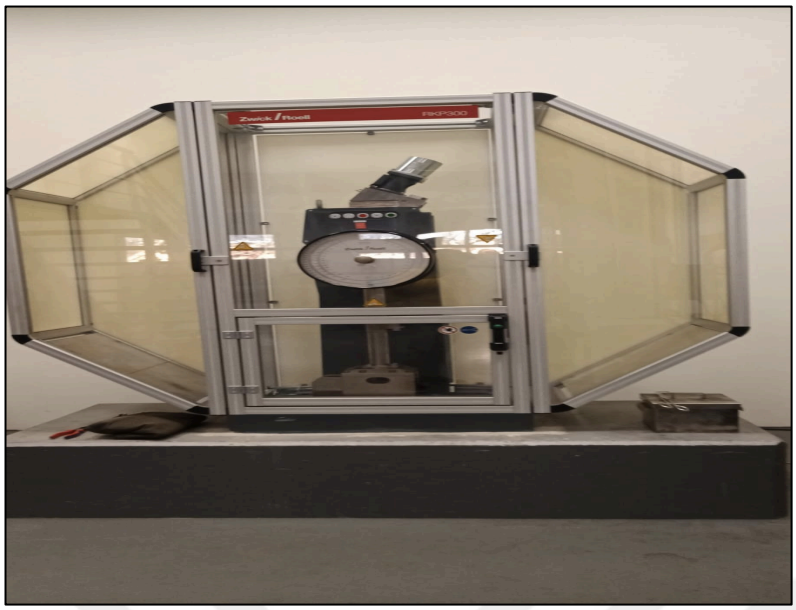
PA pozisyonunda yapılan işlemlerden 8(sekiz) adet çentik numunesi çıkarılmıştır. PF pozisyonu için ise 12(on iki) adet çentik numunesi elde edilmiştir(Şekil 6.47.). Testler esnasında -20 ve -30'C sıcaklıklar kullanılmıştır. Test parçalarını, bu sıcaklıklara soğutmak amacıyla, dondurulmuş karbondioksit ve aseton kullanılmıştır. Bu sıcaklıkların parçaya homojen bir biçimde geçmesi için yaklaşık 20 dakika boyunca bu sıcaklıklarda beklenmiştir. Bu testler Gedik Kaynak A.Ş'de bulunan ZWICK ROELL RKP300 ekipmanı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 6.48.'da gösterilmiştir.Bu sonuçlar Tablo 6.9 ve 6.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 6.46. : Standartlara göre elde edilmiş çentik numunesinin boyutları



Şekil 6.47.: Kullanılan numune örnekleri testten önce(soldan sağa doğru PF ve PA pozisyonu için numuneler)



Şekil 6.48.: Çentik darbe cihazı

Tablo 6.9 : PA kaynaklarının çentik sonuçları

Deneme Adı	**Sıcaklık °C**	**Tokluk, (Joule)**				
		Ortalama,	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Örnek 4
Elcor R-71	-20	77	88	70	75	73
	-30	63	68	59	63	60
1. Kompozisyon	-20	102	110	99	102	97
	-30	86	79	84	86	95
2. Kompozisyon	-20	106	96	104	117	108
	-30	85	84	92	82	80

Tablo 6.10: PF kaynaklarının çentik darbe sonuçları

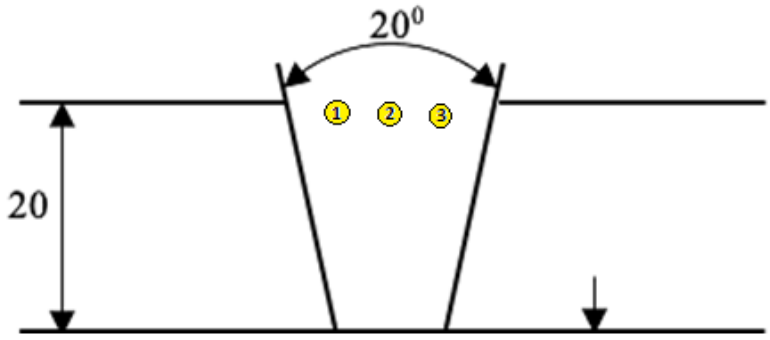
Deneme Adı	Sıcaklık °C	Tokluk (Joule)			
		Ortalama, j	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Elcor R-71	-20K*	82	88	76	82
	-20H**	70	73	67	70
	-30K	72	77	71	68
	-30H	61	62	58	66
1. Kompozisyon	-20K	119	124	118	114
	-20H	98	78	110	106
	-30K	111	120	114	100
	-30H	92	90	82	106
2. Kompozisyon	-20K	107	117	98	106
	-20H	90	98	84	88
	-30K	94	95	104	83
	-30H	78	86	72	76

K*: Kaynak Bölgesi

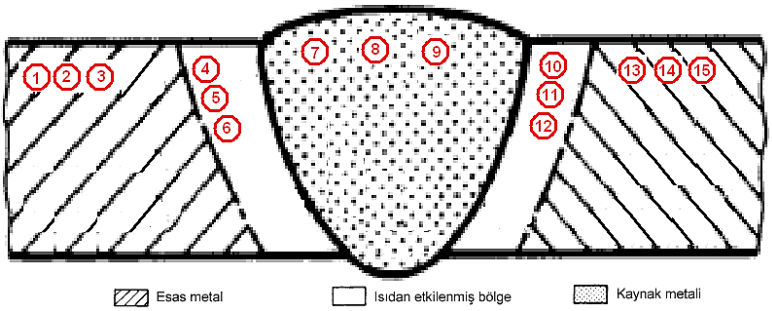
H**: ITAB

Sertlik Testleri

Malzemenin herhangi bir kalıcı girintiye gösterdiği direnç değerine sertlik denir. Kaynaklı numunelerin sertlik değerlerinin ölçülmesi için Vickers(HV) yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemde 136 dereceye sahip bir elmas uç kullanılır. Bu kullanılan uç sayesinde malzemede bir iz bırakılır. Bu bırakılan izin köşegenleri ölçülmek suretiyle sertlik değeri belirlenir. TS EN ISO 6507-2' ye göre testler yapılmıştır. İşlem esnasında 10kg/f luk bir ön yük uygulanmıştır. Bu işlemin ardından ise 30 kg/f luk yük uygulanarak, 2 mm derinliğe kadar bu işlemler gerçekleşmiştir. PA pozisyonunda yapılan işlemler doğrudan kaynak metalinin mekanik özelliklerini belirlemek için yapıldığından, kaynak bölgesinden 3(adet) sertlik değerleri ölçülmüştür(Şekil 6.49.). PF pozisyonunda ise hem ITAB, kaynak ve ana malzemenin her bir bölgesinden 3'er adet olmak üzere 15(on-beş) adet sertlik değerleri tespit edilmiştir (Şekil 6.50.). Bu işlemler 'Dıgırock-RBOV' adlı cihazda yapılmıştır(Şekil 6.51.). Ölçülen bu değerler Tablo 6.11 ve 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.49:PA pozisyonu için yapılan sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar



Şekil 6.50.: PF pozisyonu için yapılan sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar

Şekil 6.51.: Kullanılan sertlik cihazı

Tablo 6.11: PA pozisyonu için kaynak metali sertlik değerleri

Numune	**Örnek-1 (Hv)**	**Örnek-2 (Hv)**	**Örnek-3 (Hv)**	**Ortalama (Hv)**
Elcor R-71	223.88	237.28	222,25	227,8
1.kompozisyon	212,88	258,88	246,9	239,5
2.kompozisyon	255,36	226,76	242,01	241,4

Tablo 6.12: PF pozisyonu için sertlik değerleri

Elcor-R-71				
Ana malzeme (Hv)	ITAB (Hv)	Kaynak (Hv)	ITAB (Hv)	Ana malzeme(Hv)
158,66	183,31	218,29	181,66	160,36
160,63	175,15	205,57	177,13	159,5
161,11	165,68	208,46	174,16	156,15
Ort: 160,1	Ort: 174,71	Ort: 210.77	Ort: 177,65	Ort: 158,67

Tablo 6.13. PF pozisyonu için 1.kompoisyon sertlik değerleri

1.Kompozisyon(Hv)				
Ana malzeme(Hv)	ITAB (Hv)	Kaynak (Hv)	ITAB (Hv)	Ana malzeme (Hv)
157,86	200,25	236,98	197,31	158,86
161,23	197,63	233,45	200,75	157,73
159,16	198,73	230,86	195,41	160,39
Ort: 159,42	Ort: 198,87	Ort: 233.76	Ort: 197,8	Ort: 158,99

Tablo 6.14. PF pozisyonu için 2.kompozisyon sertlik değerleri

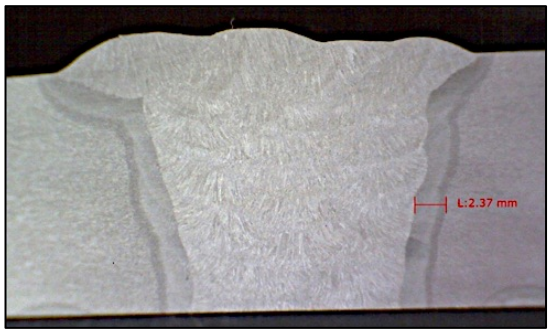
2.Kompozisyon(Hv)				
Ana malzeme(Hv)	ITAB (Hv)	Kaynak (Hv)	ITAB (Hv)	Ana malzeme (Hv)
155,46	202,96	243,63	194,01	157,42
158,32	200,23	246,92	202,88	156,98
160,61	196,39	243,63	197,25	159,73
Ort: 158,13	Ort: 199,86	Ort: 244.73	Ort: 198,04	Ort: 158,04

6.2.5.Karakterizasyon çalışmaları

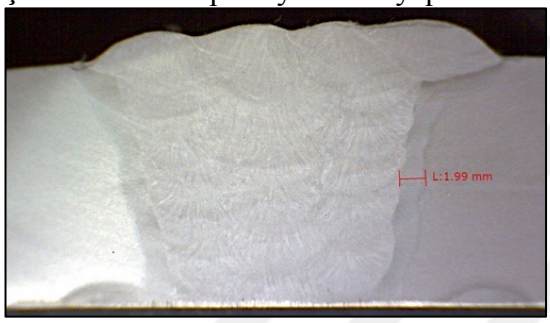
Makro Analiz

Elde edilen numuneler, sırasıyla 120-180-240-320-400-600-800-1000 zımparalardan geçirilmiştir. Bu esnada parçaların yüzeyinde zımpara izi kalmaması için ilk zımparalama yönüne ters, 90 derece çevrilmek suretiyle zımpara izinin kalmaması için

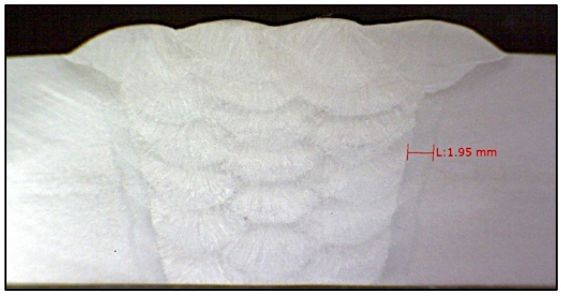
zımparalanmıştır. Kaynak ve ITAB görülmesi için Nital 10 (Nitrik asit %10 ve %90 alkol) ile dağlanarak, istenen bölgeler açığa çıkarılmıştır. PA ve PF pozisyonları için bu görüntüler gösterilmiştir(Şekil 6.52-6.57.).



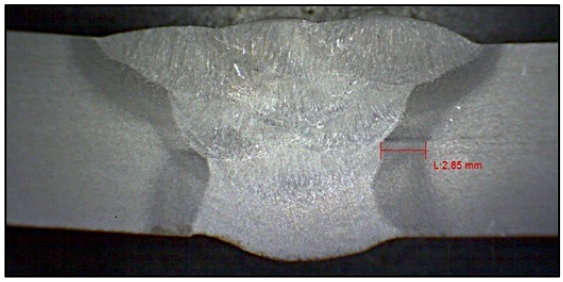
Şekil 6.52.: PA pozisyonunda yapılan Elcor R-71 makro görüntüsü(50x büyütmelerde)



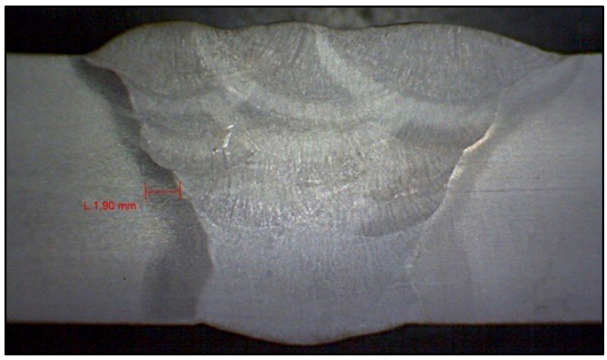
Şekil 6.53: PA pozisyonunda yapılan kaynağın 1.kompozisyona ait makro görüntüsü (50x büyütmelerde)



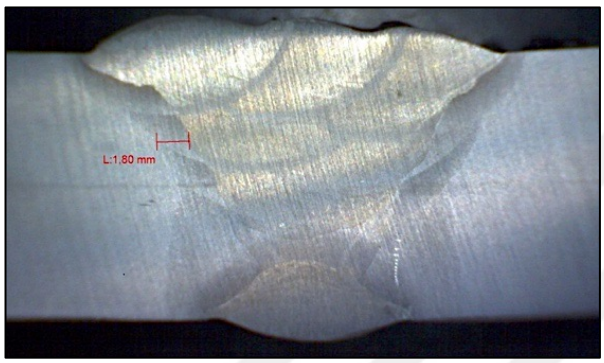
Şekil 6.54.: PA pozisyonunda yapılan kaynağın 2. kompozisyon makro görüntüsü (50x büyütmelerde)



Şekil6.55. : PF pozisyonunda yapılan kaynağın Elcor R-71 makro görüntüsü (50x büyütmelerde)



Şekil 6.56.: PF pozisyonunda yapılan kaynağın 1.kompozisyon makro görüntüsü(50x büyütmelerde)

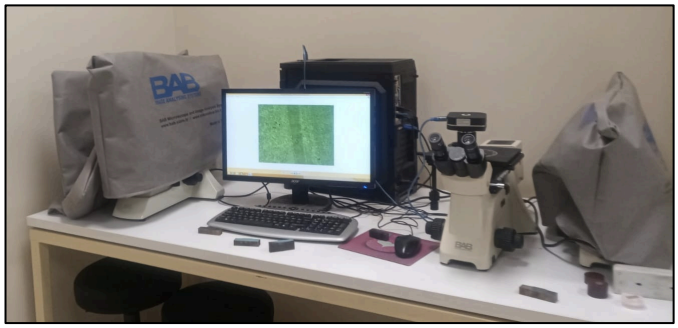


Şekil 6.57.: PF pozisyonunda yapılan kaynağın 2.kompozisyon makro görüntüsü (50x büyütmelerde)

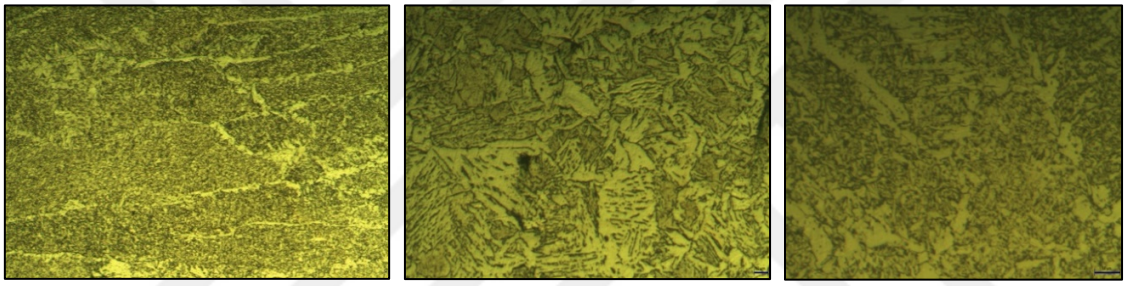
İç Yapı Analizleri

Elde edilen parçalardan, nano-tozun, kaynak içyapısındaki etkisinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Elde edilen numuneler, sırasıyla 120-180-240-320-400-600-800-1000 zımparalardan geçirilmiştir. Bu esnada parçaların yüzeyinde zımpara izi kalmaması için ilk zımparalama yönüne ters, 90 derece çevrilmek suretiyle zımpara izinin kalmaması için zımparalanmıştır. Bu işlemin ardından, parlatma diskinde sırasıyla 6-3-1 mikron olacak şekilde elmas emdirilmiş parlatma çözeltisi kullanılmıştır. Bu işlemlerde, parlatma işlemi her numune için en az 4dk olacak şekilde yapılmıştır. Ardından her numune, alkol ile temizlenmiş ve su ile durulanmıştır. Mikroskop altında inceleme yapabilmek amacıyla Nital 3(nitrik asit %3 etil alkol %97) çözeltisi kullanılmıştır. Yapılan bütün bu işlemlerin ardından alkolün uçucu etkisinden dolayı, bu karışım yeni olarak hazırlanmıştır. Her bir numune için 8 ila 10 sn arasında çözeltiye maruz bırakılmıştır. Ardından ise, su ile yıkanıp, alkol ile durulandıktan sonra kurutulmuştur.

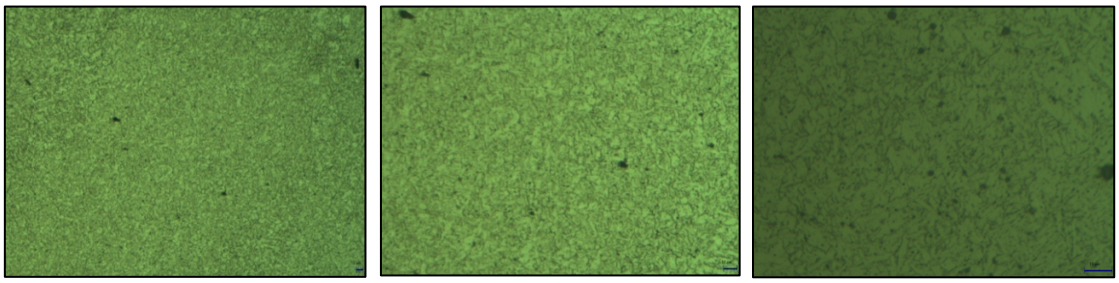
Bütün bu işlemlerin ardından, her bir kaynak numunesi için malzemenin farklı bölgelerinden mikroyapılar incelemeleri, BAB-METD optik mikroskobu kullanılarak yapılmıştır(Şekil 6.58).Tüm numuneler için kaynak bölgesi mikroyapı görüntüleri verilmiştir(Şekil 6.59-).Ana malzeme ve ITAB mikroyapıları Ek 1'de verilmiştir.



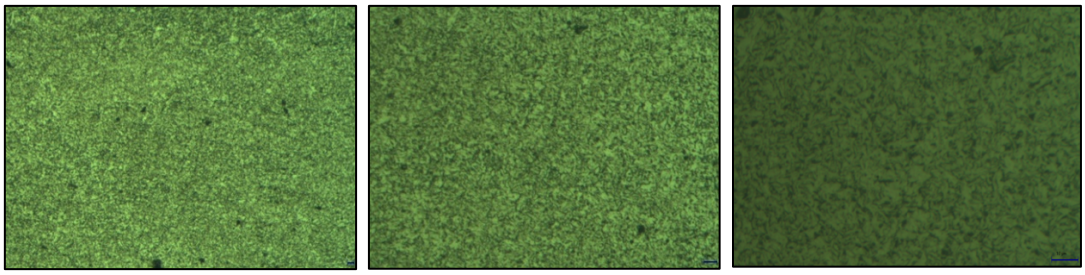
Şekil 6.58.: İçyapı analiz çalışmalarında kullanılan optik mikroskop



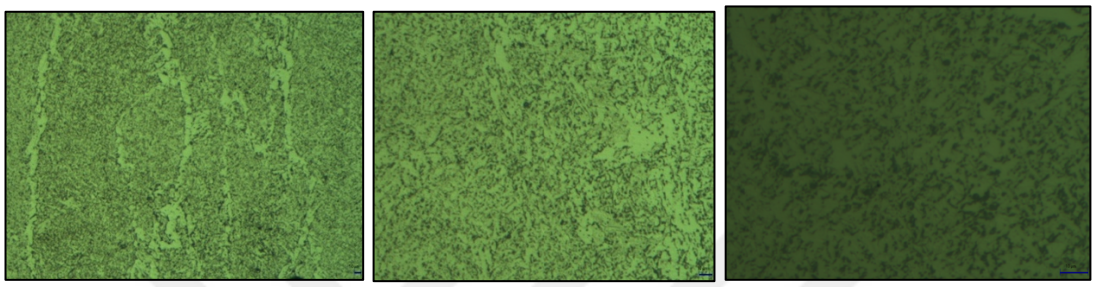
Şekil 6.59.: PA pozisyonunda yapılan,Elcor R-71 kaynak bölgesinin içyapı görünümü (sırasıyla soldan sağa doğru 10x-20x-40x büyütmelerde)



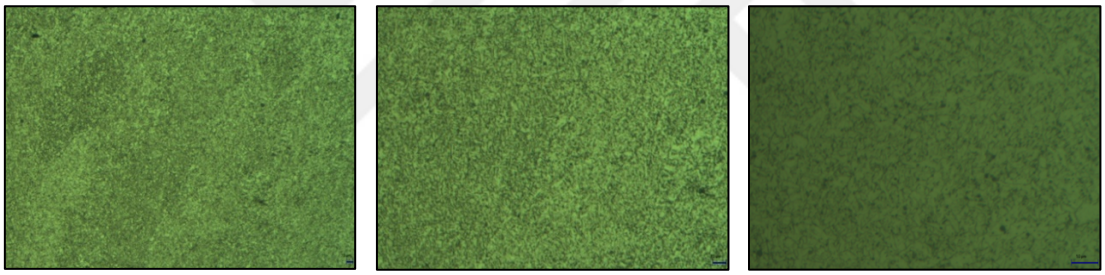
Şekil 6.60.:1.kompozisyon için PA pozisyonunda yapılan parçaların, kaynak bölgesi içyapısı (soldan sağa doğru sırasıyla 10x-20x-40x büyütmelerde)



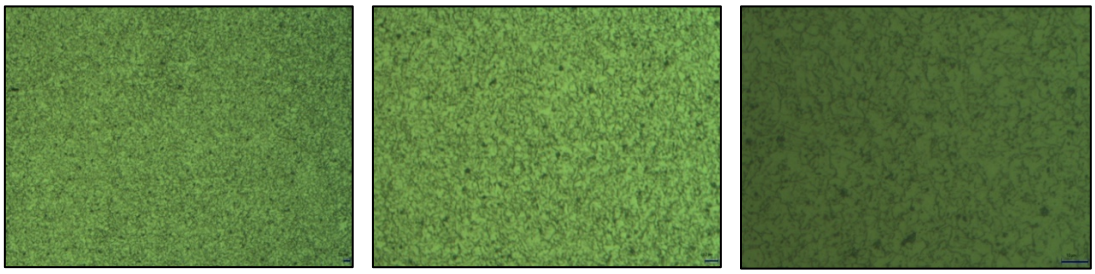
Şekil 6.61.: 2.kompozisyon için PA pozisyonunda yapılan parçalardan, kaynak bölgesi içyapısı(soldan sağa doğru sırasıyla 10x-20x-40x büyütmelerde)



Şekil 6.62.: PF pozisyonunda Elcor R-71 numunesinin kaynak bölgesi içyapısı(sırasıyla soldan sağa doğru 10x-20x-40x büyütmelerde)



Şekil 6.63: PF pozisyonunda 1.kompozisyon için kaynak bölgesi içyapısı (sırasıyla soldan sağa doğru 10x-20x-40x büyütmelerde)



Şekil 6.64.: PF pozisyonunda 2.kompozisyon için kaynak bölgesi içyapısı (sırasıyla soldan sağa doğru 10x-20x-40x büyütmelerde)

7.SONUÇLAR

- Karışım sonuçları incelendiğinde, en kötü karışımın sanılanın aksine 34 devir/dk'da olduğu belirlenmiştir. Karışımların, elementel analiz sonuçlarına bakıldığında, ideal karışım oranına gidildikçe oksit miktarının arttığı görülmüştür. Bunun sebebi kullanılan metal-oksit nanotozlardır. En iyi devir olan 49 devir/dk belirlendikten sonra, bu karışım hızında yapılan karışımların süresine göre de incelenerek en ideal ve homojen karışımın 3 saat sonunda elde edildiği görülmüştür.
- Kaynak işlemleri esnasında, kullanılan referans kaynak teline nazaran, daha yumuşak bir yanış karakteristiği ve cürufun daha kolay kaynak malzemesinden ayrıldığı belirlenmiştir.
- Radyografik muayeneler incelendiğinde, kaynak bölgeleri içerisinde süreksizliği etkileyecek herhangi bir yapıya rastlanmamıştır.
- Bu tozlardan elde edilen, nano-kompozit özlü kaynak telleri incelendiğinde; nano-tozların tokluk değerlerinde bir artışa sebep olduğu anlaşılmıştır. Her iki kompozisyon için incelendiğinde, tokluk değerlerinde %30-35 arasında bir artış meydana gelmiştir.
- Elde edilen çekme numuneleri incelendiğinde, yapılan test sonuçlarında %8-10 arasında bir artış meydana gelmiştir. Bütün numuneler için kopma bölgesi malzeme olarak belirlenmiştir.
- Sertlik sonuçları incelendiğinde PA pozisyonunda yapılan numuneler kaynak metali olduğu için yalnızca kaynak bölgesinin sonuçları alınmıştır. PF pozisyonunda ise ana malzeme-ITAB-kaynak şeklinde 15 adet sertlik sonucu alınmıştır. Bu sonuçlar PA pozisyonu için, %5-6 arasında bir artış gözlemlenmiştir. PF pozisyonu için, ITAB'da %14-15 arasında bir artış gözlemlenmiştir. Kaynak bölgesinde ise %11-16 arasında bir artışın olduğu gözlemlenmiştir.
- Kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında 1.kompozisyon için $Zr0_2$ 'in cürufa geçtiği düşünülmektedir.2.Kompozisyon için ise $Zr0_2$'in büyük bir bölümünün cürufa geçtiği düşünülmektedir.
- Makro numuneleri incelendiğinde, kaynaklı parçaların en büyük problemi olan yapıdaki homojenliğin sağlanması açısından ITAB bölgelerinin daraldığı

gözlemlenmiştir. Bu ITAB'ın daralması, bir lazer veya lazer-hibrit kaynak yöntemlerine gibi dar bir alan içerir.

- Katılan nano-tozlar ile mikroyapı incelemelerinde, referans numunesine kıyasla, kaynak bölgelerinde daha sık ve daha küçük tanelerle karşılaşılmıştır. Tokluk değerlerindeki bu artışın, tanelerin küçülmesinden kaynaklı olduğu belirlenmiştir.

8. KAYNAKLAR

1. ANIK S.-1991-Kaynak Tekniği El Kitabı-Gedik Eğitim Vakfı
2. ÇEVİK B.-2014-Polimer Malzemelerin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı-Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi-271-277
3. ANIK. S, VURAL M.-GAZALTI ARK KAYNAĞI(TIG-MIG-MAG)-Gedik Eğitim Vakfı
4. O'Brien, A.-2004-WELDING HANDBOOK-AMERICAN WELDING SOCİETY
5. Bıhnart. R.E-2018-WELDING PRINCIPLES and PRACTISES-FIFTH EDİTİON McGRAW HILL EDUCATION
6. TÜLBENTÇİ KUTSAL, ANIK S.-GAZALTI KAYNAK TEKNİĞİ
7. TÜLBENTÇİ K.-1990-MIG/MAG ERİYEN ELEKTRODLA GAZALTI KAYNAĞI
8. Miller-2018-Guidulines For Gas Metal Arc Welding-www.mıllerwelds.com
9. NADZAM J.-Gas Metal Arc Welding,Product And Procedure Selection-www.lincolnelectric.com
10. Werman K.-2003-Welding Process Handbook-Woodhead Publishing
11. Norrish J.-2006-Advanced Welding Process-Woodhead Publishing in Materials
12. Oğuz B.-1989-Ark Kaynağı-Oerlikon Yayınları
13. Kalpakjian S.,Schmid R.S.-2014-Manufacturing Engineering and Technology-Seventh Edition-Pearson Education
14. Carry. B-1998-Modern Welding Technology
15. Ed.Werman K.,Linden G.-2006-MIG Weldıng Guide-Woodhead Publishing Limited
16. Gülsöz A.-2000-Özlü Kaynak Tellerinin Önemi ve Kaynak Özellikleri-Mühendis ve Makine
17. Anonim-2015-Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Core Arc Welding-AWS Published

18. Anonim-2010-Specification for Low-Alloy Steel Electrodes for Flux Core Arc Welding-AWS Publish

19. Anonim-2012-Specification for Stainless Steel Flux Cored and Metal Cored Welding Electrodes and Rods-AWS Publish

20. Vollath D.-2013-Nanoparticles – Nanocomposites-Nanomaterials: An Introduction for Beginners-Wiley-VCH Published

21. Ed-Davim. J.D,Chariditis A.C-2013-Nanocomposites-Materials Manufacturing and Engineering-De Gruyter Published

22. Gao F-2012-Advances in Polymer Nanocomposites-Woodhead Publishing

23. Kny. E-2009-Nanocomposite Materials-Trans Tech Publications

24. Wei D.,Dave R.,Pfeffer R.-2002-Mixing and Characterization of nanosized powders:An assesment of different techniques-Journal of Nanoparticle Research 4: 21–41

25. Bhadeshia H.-2000-Mechanically Alloyed Metals-Proceedings of the Royal Microscopical Society, Vol. 35.-95-102

26. Takacs L.-1992-Reduction of magnetite by aluminum: a displacement reaction induced by mechanical alloying-Materials Letter-Volume 13,Issues 2-3,119-124, https://doi.org/10.1016/0167-577X(92)90121-Y

27. Pardavi M., Takacs L.-1995-Magnetic nanocomposites by reaction milling-Scripta Metallurgica et Materilia-Volume 33,Issues 10-11-P:1731-1740-https://doi.org/10.1016/0956-716X(95)00409-O

28. Takacs L-1993-Metal-metal oxide systems for nanocomposite formation by reaction milling-Nanostructured Materials-Volume 2,Issue 3-P:241-249-https://doi.org/10.1016/0965-9773(93)90151-Z

29. Takacs, L. In: Komarnemi S, Parker JC, Thomas GJ. editors.-1993- Nanophase and nanocomposite materials, Pittsburgh: MRS Symp. Proc vol. 286,-P:413.

30. Niihara K,Nakahira A,Sekino T.-1993-New Nanocomposite Structural Ceramics-MRS Symp.Proc vol 286, P:405-412

31. Osso D.,Tillement O.,Le Caer G.,Mocellin A.-1998-Alumina-Alloy Nanocomposites powders by Mechanosynthesis-Journal of Materials Science-Vol 33-P:3109-3119-DOI: 10.1023/A:1004343806144

32. Hovart-Pardavi M,-Takacs L.-1992-Iron-Alumina Nanocomposites Prepared by Ball Milling-IEEE Transactions on Magnetics-Vol:28,Issue:5- P:3186-3188-https://doi.org/10.1109/20.179753

33. Hovart-Pardavi M.,Takacs L.-1994-Nanocompostes and Nanostructures-The Metals Minerals and Material Society-P:135

34. Pardavi M.-Takacs L.-1993-Magnetic Properties of Copper-Magnetite Nanocomposite Prepared by Ball Milling-Journal of Applied Physics Vol:73 P:6953, https://doi.org/10.1063/1.352447

35. Ed. Picaluga G.-2001-Sol-Gel Preparation and Characterization of Metal-Silica and Metal Oxide-Silica Nanocomposites-Trans Tech Publications

36. Wright.J.D, Sommerdijk. N.A.J.M-2001-Sol-Gel Materials:Chemistry and Applications-Gordon and Breache Science Publishers

37. Hrubesh L.W.,Poco J.F-1995-Journal of Non-Crystalline Solids-Volume 188, Issue 1-2 P:46

38. Jiang H.,Lau M.,Tellkamp V.L, Lavernia E.J-2000-Synthesis of Nanostructured Coatings by High-Velocity Oxygen-Fuel Thermal Spraying-Handbook of Nanostructured Materials and Nanotechnology-Academic Press

39. Huang, B., R. J. Perez, and E. J. Lavernia-1998-Grain growth of nanocrystalline Fe-Al alloys produced by cryomilling in liquid argon and nitrogen-Materials Science Engineering -Vol:A 255 P:124-132

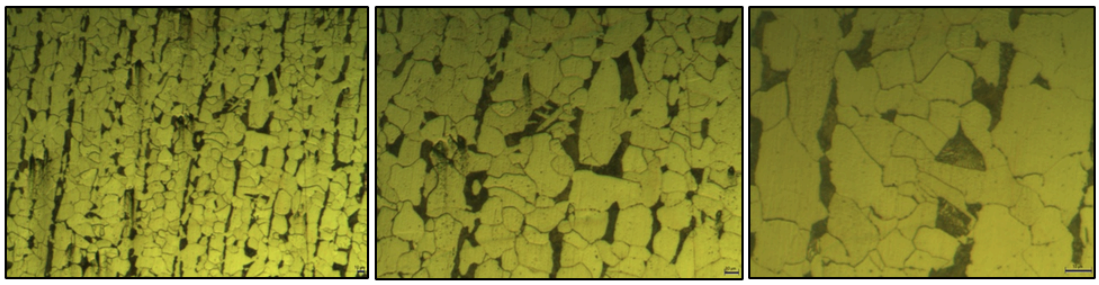
40. He J.,Ice M.,Lavernia E.J.,-2000-Synthesis of nanostructured Cr3C2-25(Ni20Cr) coatings-Metallurgical and Materials Transactions A-Vol:31 Issue:2 P:555-564

41. He J.,Ice M.,Schoenung M.,Lavernia J.E.,Shin H.D.-2001-Thermal stability of nanostructured Cr3C2-NiCr coatings-Journal of Thermal Spray Technology,Vol:10,Issue:2 P:293-300

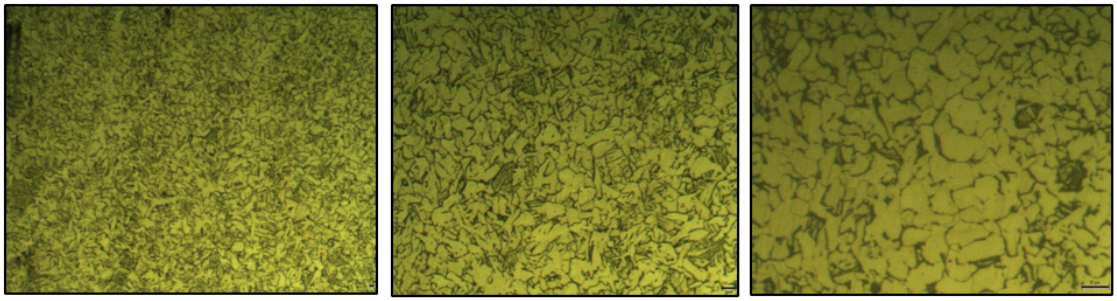
42. Malow T.R.,Koch C.C.,-1996-Grain Growth of Nanocrystalline-The Minerals,Metals & Materials Society-P:33
43. Luton M.L.,Jayanth C.S.,Disko S.,Vallone J.-1989-Multicomponent Ultrafine Microstructures-Materials Research Society-Vol:132 P:79
44. Fultz B.,Hong L.B.,Gao Z.Q.,Bansal C.-1996-Two strategies for designing nanocrystalline alloys with stability against grain growth- The Minerals,Metals & Materials Society-P:233
45. Fan G.J.,Gao W.N.,Quan M.X.,Hu Z.Q.-1995-Prepation and thermal stability of superaturated nanocrystalline Al-Ti Alloys-Materials Letters Vol:23 P:33-37
46. Marigo M.,Cairns D.L.,Davies M.,Cook M.,Ingram A.,Stitt E.H.,-2010-Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in ComplexMoving Geometry Using Discrete Element Method.Part A:Measurement and Reconstruction of Turbula Mixer-Computer Modelling in Engineering & Sciences(CMES),Volume:59,Issue:3,Pages:217-238
47. Sommier, N., Porion, P., Evesque, P.,- 2000-. Mixing and segregation processes in Turbula blender.- Material Research Society Symposium Proceedings, Vol. 627
48. Bauman I,Curıc U.,Boban M.-2008-Mixing of Solids in Different Mixing Devices-Sadhana ,Vol.33,Part 6, pp 721-731

9.EKLER:

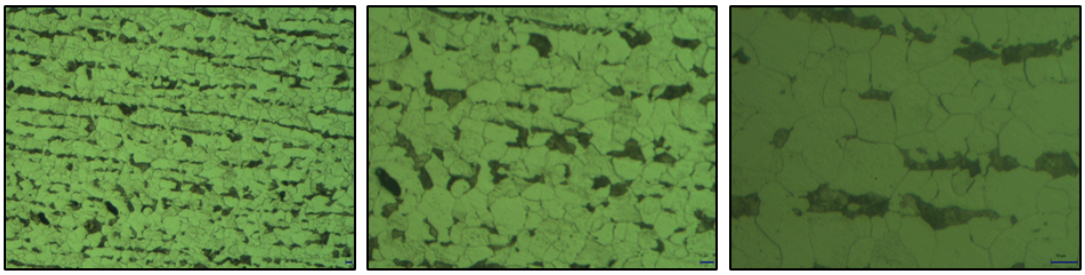
9.1.İç Yapı Analizleri



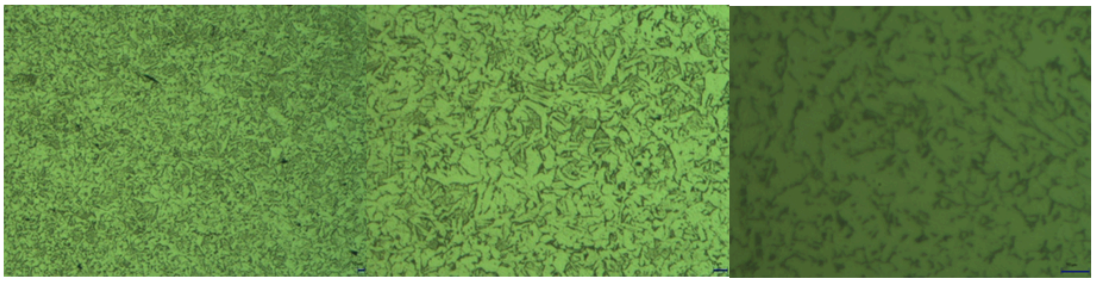
Şekil 9.1: Elcor R-71-ana malzeme içyapı görüntüleri sırasıyla (10x, 20x, 40x büyütmelerde)



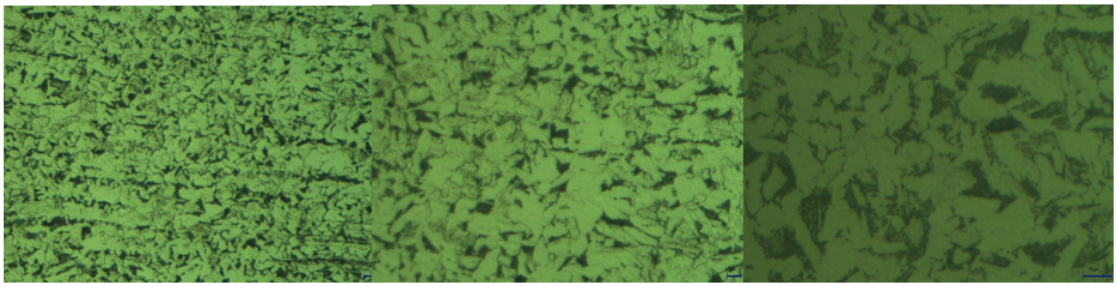
Şekil 9.2: Elcor R-71-ITAB iç yapı görüntüleri sırasıyla (10x-20x-40x büyütmelerde)



Şekil 9.3: 1.kompozisyon için PA poziyonu kullanılarak yapılan kaynakların ana malzeme mikroyapısı soldan sağa doğru sırasıyla 10x-20x-40x büyütmelerde

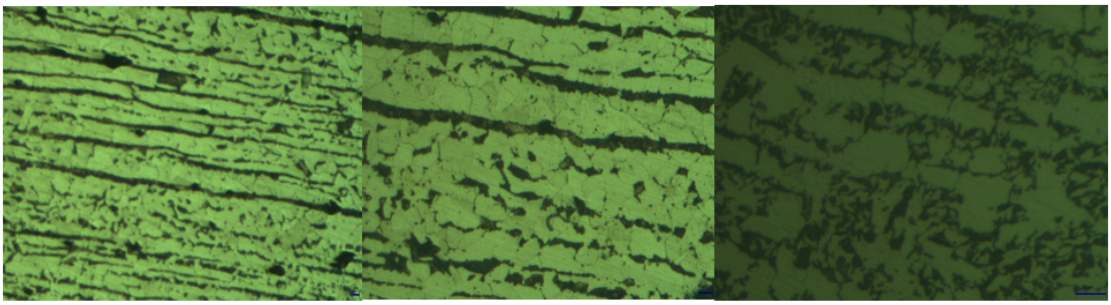


Şekil 9.4: 1.kompozisyon için PA pozisyonunda yapılan kaynakların ITAB iç yapısı (soldan sağa doğru-10x-20x-40x büyütmelerde)

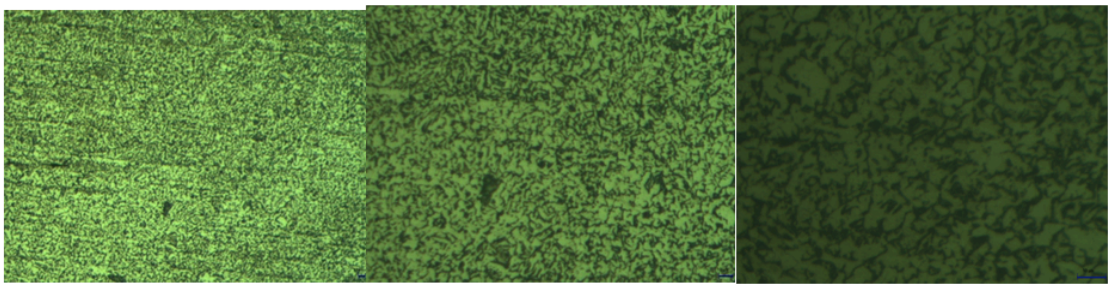


Şekil 9.5: 2.kompozisyon için PA pozisyonunda yapılan parçalardan, ana malzeme iç yapısı (soldan sağa doğru 10x-20x-40x büyütmelerde)

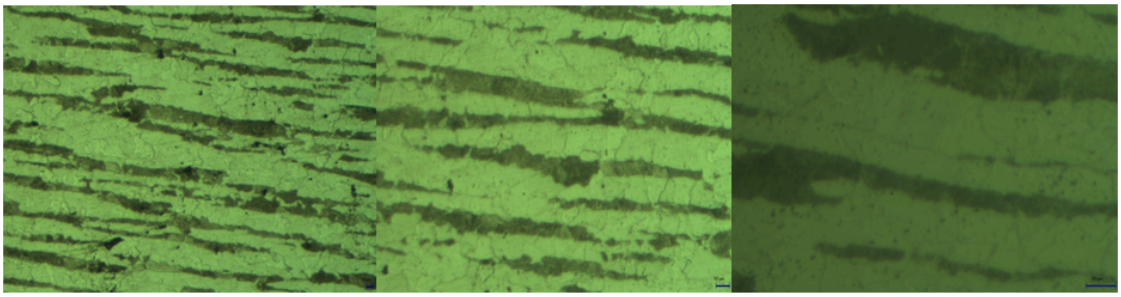
Şekil 9.6:2.kompozisyon için PA pozisyonunda yapılan parçalardan,ITAB iç yapısı (soldan sağa doğru 10x-20x-40x büyütmelerde)



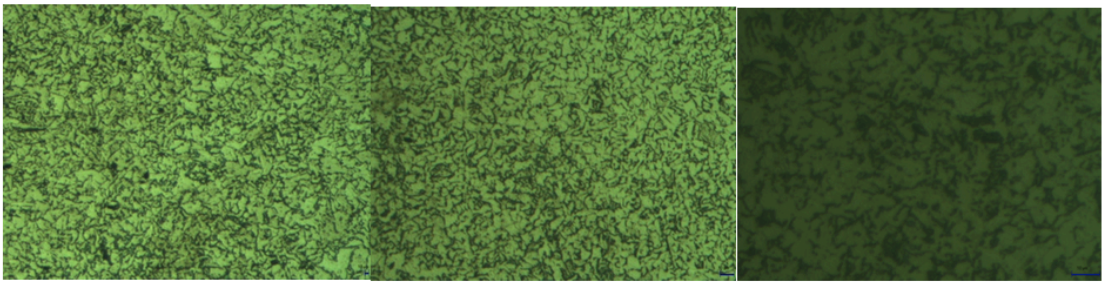
Şekil 9.7:PF pozisyonunda yapılan Elcor R-71 numunesinin ana malzeme iç yapısı(sırasıyla soldan sağa doğru 10x-20x-40x büyütmelerde)



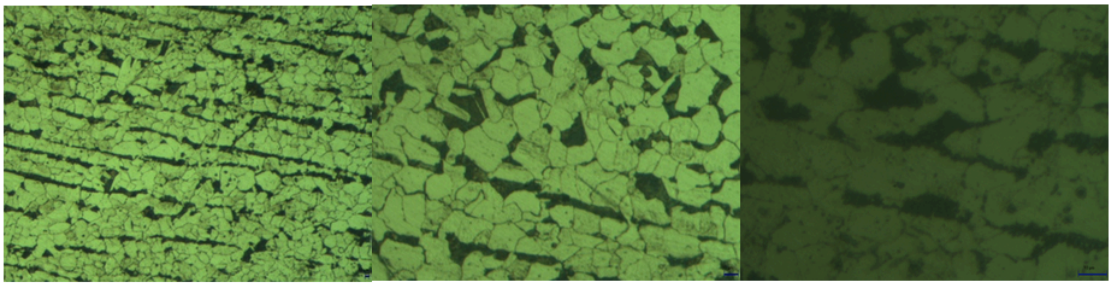
Şekil 9.8: PF pozisyonunda Elcor R-71 numunesinin ITAB iç yapısı(sırasıyla soldan sağa doğru 10x-20x-40x büyütmelerde)



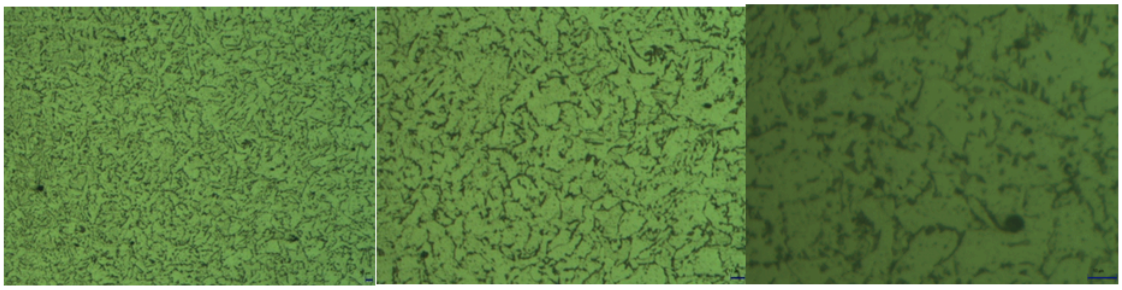
Şekil 9.9:PF pozisyonunda 1.kompozisyon için ana malzeme iç yapısı (sırasıyla soldan sağa doğru 10x-20x-40x büyütmelerde)



Şekil 9.10: PF pozisyonunda 1.kompoziyon için ITAB iç yapısı(sırasıyla soldan sağa doğru 10x-20x-40x büyütmelerde)



Şekil 9.11: PF pozisyonunda 2.kompozisyon için ana malzeme iç yapısı(sırasıyla soldan sağa doğru 10x-20x-40x büyütmelerde)



Şekil 9.12: PF pozisyonunda 2.kompozisyon için ITAB iç yapısı(sırasıyla soldan sağa 10x-20x-40x büyütmelerde)

ÖZGEÇMİŞ

21.12.1992 yılında İstanbul'da doğdum.İlk orta ve lise eğitimlerimi İstanbul'da tamamladım.2016 yılında Gedik Üniversitesi-Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden mezun oldum.2017 yılında ise Marmara Üniversitesi-Metalurji ve Malzeme Mühendisliği yüksek lisans programına başladım.2017 yılından bu yana Tübitak 1001 porjesinde proje asistanlığı yapmaktayım.B-2 seviyesinde ingilizce bilmekteyim.

Haziran 2019 **Yağızer YAVUZ**