ELAZIĞ FERROKROM CÜRUFUNDAN YÜZEY KAPLAMA AMAÇLI TOZALTI KAYNAK TOZU ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Yük. Müh. Mustafa KAPTANOĞLU

Doktora Tezi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Mehmet EROĞLU
OCAK 2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELAZIĞ FERROKROM CÜRUFUNDAN YÜZEY KAPLAMA AMAÇLI TOZALTI KAYNAK TOZU ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Mustafa KAPTANOĞLU

(111130201)

Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Programı: Malzeme

Danışman: Prof. Dr. Mehmet EROĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

OCAK 2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELAZIĞ FERROKROM CÜRUFUNDAN YÜZEY KAPLAMA AMAÇLI TOZALTI KAYNAK TOZU ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Mustafa KAPTANOĞLU

(111130201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :
Tezin Savunulduğu Tarih :

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

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Niyazi ÖZDEMİR(F.Ü)

Prof. Dr. Mustafa AKSOY (F.Ü)

Prof. Dr. Gürel ÇAM (İSTE)

Prof. Dr. Şükrü TALAŞ (AKÜ)

OCAK 2016

ÖNSÖZ

Doktora tezimin hazırlanması esnasında bana zamanını, tecrübesini ve bilgisini kullanarak her türlü yardımda bulunan çok değerli hocam Prof. Dr. Mehmet EROĞLU' na teşekkür ederim. Ayrıca; tezin hazırlanmasına mali olarak destek veren Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje (FUBAP) birimine ve 114M016 nolu TUBİTAK (1002) projesi kapsamında tezin tamamlanmasına katkı sağlayan tüm TUBİTAK kurum ve personeline de teşekkür ederim. Öte yandan; TÜBİTAK projesi kapsamında istihdam ettiğim Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği lisans öğrencileri Hakan HASGÜVEN ve Sayid HAS' a, kimyasal kompozisyon analizlerinin yapılmasına katkı sağlayan ODTÜ merkez labaratuvarı uzman personeli Zafer ARTVİN'e ve LLP-ERASMUS kapsamında hareketlilikte bulunduğum University of West Bohemia araştırma görevlileri Ondřej CHOCHOLATÝ ve Pavla FIŠEROVÁ' ya katkılarından dolayı teşekkür ederim. Son olarak, gerek bu çalışmada gerekse de yaşamım boyunca bana desteklerini esirgemeyen aileme ve doktora çalışmalarım sırasında yapmış olduğu katkılardan dolayı değerli meslektaşım İsrafil KÜÇÜK'e de teşekkür ederim.

Mustafa KAPTANOĞLU

ELAZIĞ-2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **I**
İÇİNDEKİLER ..... **II**
ÖZET ..... **V**
SUMMARY ..... **VI**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **VII**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **XIII**

1.GİRİŞ **1**

1.1. Sürtünme ve Aşınma **5**

1.1.1. Sürtünme **5**

1.1.2. Aşınma **7**

1.1.2.1. Aşınmaya Etki Eden Elemanlar **8**

1.1.2.2. Aşınmaya Etki Eden Faktörler **11**

1.1.2.3. Aşınma Mekanizmaları **12**

1.1.2.4. Aşınma Ölçüm Metotları **22**

1.2. Sert Dolgu Kaynağı **25**

1.2.1. Sert Dolgunun Tanımı **25**

1.2.2. Sert Dolgu Uygulamaları **26**

1.2.3. Sert Dolgu Alaşımları **29**

1.2.4. Sert Dolgu Alaşımlarının AWS/SFA Normları **35**

1.2.5. Sert Dolgu Uygulamaları için Kaynak Yöntemi Seçimi **42**

1.2.6. Sert Dolgu Kaynak Yöntemleri **42**

1.2.6.1. Oksi-Asetilen Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı **43**

1.2.6.2. TİG Kaynak Yöntemi ile Sert Dolgu Kaynağı 45

1.2.6.3. Plazma Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı 47

1.2.6.4. MIG/MAG Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı..... 49

1.2.6.5. Elektrocüruf Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı..... 51

1.2.6.6. Örtülü Elektrot Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı..... 53

1.2.6.7. Özlü Tel Elektrot İle Sert Dolgu Kaynağı..... 55

1.2.6.8. Tozaltı Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı..... 58

1.2.7. Sert Dolgu Kaynağında Dikkat Edilmesi Gerekenler..... 84

1.2.7.1. Görsel Analizler..... 84

1.2.7.2. Temizleme ve Koruma 84

1.2.7.3. Kaynağa Hazırlıkta Mekanik İşleme Öncesi Gerilim Giderme 84

1.2.7.4. Mekanik İşleme..... 85

1.2.7.5. Muayene 85

1.2.7.6. Ön Tav ve Pasolar Arası Sıcaklık Kontrolü 86

1.2.7.7. Pasolar Arası Sıcaklık Kontrolü 87

1.2.7.8. Kaynak İşlemi Sırasında Sıcaklık Kontrolü 88

1.2.7.9. Kaynak Sonrası Isıl İşlem..... 88

1.2.7.10. Yavaş Soğutma..... 88

1.2.7.11. Gerilim Giderme..... 88

1.2.7.12. Mekanik İşleme..... 89

1.2.7.13. Son Muayene..... 89

2. MATERYAL VE METOT 90

2.1. Sert Dolgu (Yüzey) Kaplama Amaçlı Aglomere Tozaltı Kaynak Tozu Üretimi ...90

2.2. Kaynak Testlerinde Kullanılan Cihazlar ve Kaynak Testlerinin Yapılışı 92

2.3. Kimyasal Analizler ve Mikroyapı Tayinleri.....94

2.4. Sertlik Ölçümleri 95

2.5. Abrasiv Aşınma Testleri.....96

3. BULGULAR 96

3.1. Görsel Analiz Sonuçları.....98

3.2. Kimyasal Kompozisyon ve Mikroyapı Tayin Sonuçları 105

3.3. Sertlik Test Sonuçları.....145

3.4. Abrasiv Aşınma Test Sonuçları.....161

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 171

4.1. Genel Sonuçlar 171

5. ÖNERİLER 174

KAYNAKLAR 176

ÖZGEÇMİŞ 185

ÖZET

Bu çalışma da; Elazığ ferrokrom cürufundan sert dolgu (yüzey) kaplama amaçlı on alti (16) farklı kompozisyonda tozaltı kaynak tozu üretilmiştir. Üretilen kaynak tozları ferrokrom cürufu, demir esaslı ferro alaşımlar, seramik esaslı katışkılar ve bağlayıcıdan oluşmaktadır. Üretilen tozlar içerisine artan miktarlarda ferrokrom, ferrokrom-ferrobor, ferroniyobyum-ferrobor ve ferrotitanyum-ferrobor katılarak sert dolgu kaplamalar elde edilmiştir. Kaynak tozları ile yapılan sert dolgu kaplama işlemleri SAE 1020 çelik yüzeylere tozaltı kaynak makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemlerinden sonra kaplama bölgesinden alınan numuneler mikroyapı incelemeleri, sertlik ölçümleri ve abrasiv aşınma testlerine tabii tutulmuştur. Deney sonuçları neticesinde; Elazığ ferrokrom cürufundan tozaltı kaynak tozları üretilmiştir. Toz karışımındaki ferrokrom, ferrokrom-ferrobor, ferroniyobyum-ferrobor ve ferrotitanyum-ferrobor miktarının artmasıyla; sert dolgu kaplamaların mikroyapıları değişmiş, sertlikleri artmış ve aşınma kayıpları azalmıştır.Üretilen toz grupları içerisinde en yüksek ferro alaşım içeren toz karışımları ile elde edilen kaplamaların en yüksek sertlik ve aşınma direncine sahip oldukları tespit edilmiştir. Öte yandan; en yüksek oranlarda ferroalaşım içeren kaynak tozları neticesinde oluşan cürufların kaynak metalinden ayrılmasında da (kalkmasında) kısmi zorluklar oluştuğu gözlenmiştir. Buna rağmen; atık bir cüruftan tozaltı kaynak tozu üretilebileceği ve ferro alaşımların toz bileşimine katılmasıyla sert dolgu kaplamalar elde edilebileceği bu çalışma neticesinde ortaya koyulmuştur.

Anahtar kelimeler: Tozaltı Kaynağı, Cüruf, Sert Dolgu Kaplama, Mikroyapı, Sertlik

SUMMARY

Utilization of Elazig Ferrochrome Slag to Produce Submerged Arc Welding Powders for Hardfacing Coatings

In this study, submerged arc welding powders with sixteen (16) different compositions were produced to obtain hardfacing coatings. Welding powders obtained were composed of ferrochromium slag, iron-based ferro-alloys, ceramic-based compounds and binder. Hardfacing coatings were formed with an increasing amount of ferrochrome; ferrochrome-ferroboron, ferroniobium-ferroboron and ferrotitanium-ferroboron into the hardfacing powder. Hardfacing with prepared flux were carried out on AISI 1020 by using SAW machine. After the hardfacing process, specimen extracted from coating zone was subjected to microstructural analysis, hardness and abrasive wear tests. As a result of the experiments, submerged arc welding flux were produced using an Elazığ ferrochromium slag. It was observed that there is a microstructural transformation, hardness increase and wear loss decrease with the products obtained with an increasing amount of ferrochrome, ferrochrome-ferroboron, ferroniobium-ferroboron and ferrotitanium-ferroboron in flux. The highest hardness and the lowest abrasion wear loss values were obtained from the samples, which contains the highest amount of ferro alloys in powder group. However, some difficulties for slag removed have been observed for the powders produced, which contains high amount ferro alloys. Finally, it was demonstrated that submerged arc welding powders can be produced using slag wastes and hardfacing coating can be successfully carried out with the addition of ferro alloys to the welding powders.

Key words: Submerged Arc Welding, Slag, Hardfacing, Microstructure, Hardness

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1. Birbirine temas eden cisimlerin kayma ve yuvarlanma hareketi **5**

Şekil 2. Tribolojik sistemin şematik gösterimi. **9**

Şekil 3. Sürtünen iki cisimde aşınmanın temel unsurları. **10**

Şekil 4. Adhesiv aşınma mekanizmasının şematik gösterimi **13**

Şekil 5. Erozif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi **14**

Şekil 6. Öğütmeli aşınma mekanizmasının şematik gösterimi **15**

Şekil 7. Oymalı aşınma mekanizmasının şematik gösterimi **16**

Şekil 8. Korozif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi **17**

Şekil 9. İki elemanlı abrasiv aşınma mekanizmasının şematik gösterimi **18**

Şekil 10. Üç elemanlı abrasiv aşınma mekanizmasının şematik gösterimi **18**

Şekil 11. Kütlesel sertliğin abrasiv aşınma direncine etkisinin şematik gösterimi. **20**

Şekil 12. Demir esaslı sert dolgu alaşımlarının sınıflandırılması (Kotecki diyagramı). **34**

Şekil 13. Oksi-asetilen kaynak donanımının şematik gösterimi. **43**

Şekil 14. TIG kaynak metodunun şematik gösterimi **46**

Şekil 15. MIG/MAG kaynak yönteminde kaynak bölgesinin şematik gösterimi **49**

Şekil 16. MIG/MAG kaynağı donanımı **50**

Şekil 17. Salınım hareketli çift tel elektrotlu MIG donanımı **51**

Şekil 18. Örtülü elektrot ile ark kaynağında kaynak bölgesi **54**

Şekil 19. Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynak donanımı blok şeması **54**

Şekil 20. Tozaltı kaynak metodunun şematik gösterimi **60**

Şekil 21. İç ve dış dikiş formunun şematik gösterilişi **62**

Şekil 22. Tandem tozaltı kaynak metodunun prensip şeması **73**

Şekil 23. Paralel tozaltı kaynak metodunun prensip şeması **74**

Şekil 24. Seri tozaltı kaynak yönteminin prensip şeması..... **75**

Şekil 25. Korniş tozaltı kaynak yönteminin prensip şeması **76**

Şekil 26. Tozaltı ark sıcak tel kaynak yönteminin prensip şeması **79**

Şekil 27. Nüfuziyet yetersizliğinin şematik gösterimi ve radyografik görüntüsü **81**

Şekil 28. Yanma olukların şematik gösterimi ve radyografik görüntüsü **82**

Şekil 29. Kalıntıların kaynak dikişindeki şematik gösterimi ve radyografik görüntüsü **83**

Şekil 30. Kaynak dikişinde meydana gelen sıcak çatlama örneği **83**

Şekil 31. Radyografik muayene yöntemiyle fotoğraflanan bir çatlağın görünüşü **84**

Şekil 32. Tozaltı kaynak makinesi ve güç ünitesi **93**

Şekil 33. Mikro sertlik ölçüm bölgelerinin şematik gösterimi **95**

Şekil 34. Abrasiv aşınma test numunesinin şematik gösterimi **96**

Şekil 35. Abrasiv aşınma test cihazı **97**

Şekil 36. Artan ferrokrom miktarına bağlı olarak hazırlanan tozlar ve bu tozlardan elde edilen sert dolgu kaplamaların kaynak dikişi ve cüruf görüntüleri.. ..... **98**

Şekil 37. Artan Ferrokrom ve sabit oranda ferrobor miktarına bağlı olarak hazırlanan tozlar ve bu tozlardan elde edilen sert dolgu kaplamaların kaynak dikişi ve cüruf görüntüleri. ... **99**

Şekil 38. Artan Ferroniyobyum-ferrobor miktarına bağlı olarak hazırlanan tozlar ve bu tozlardan elde edilen sert dolgu kaplamaların kaynak dikişi ve cüruf görüntüleri. **100**

Şekil 39. Artan Ferrotitanyum-ferrobor miktarına bağlı olarak hazırlanan tozlar ve bu tozlardan elde edilen sert dolgu kaplamaların dikişi ve cüruf görüntüleri. **101**

Şekil 40. Hibrit tozaltı kaynak metodunun uygulanışı **104**

Şekil 41. %4 FeCr içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri **107**

Şekil 42. %8 FeCr içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri **108**

Şekil 43. %12 FeCr içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **109**

Şekil 44. %16 FeCr içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **110**

Şekil 45. Artan miktarlarda FeCr içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamaların XRD analiz sonuçları **113**

Şekil 46. Artan miktarlarda FeCr içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamaların SEM EDX analiz sonuçları **115**

Şekil 47. Kotecki diyagramı **116**

Şekil 48. %4 FeCr, %2 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri **117**

Şekil 49. % 8 FeCr,% 2 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **118**

Şekil 50. % 12 FeCr, % 2 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri **119**

Şekil 51. % 16 FeCr,% 2 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri **120**

Şekil 52. FeCr ve FeB içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamaların XRD analiz sonuçları **123**

Şekil 53. Toz bileşiminde artan ferrokrom ve sabit oranda ferrobor miktarıyla elde edilen sert dolgu kaplamaların EPMA EDS analiz sonuçları **125**

Şekil 54. Kotecki diyagramı **126**

Şekil 55. %3FeNb,%2.5 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri **127**

Şekil 56. %6 FeNb,%5 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri **128**

Şekil 57. %9 FeNb,%7.5 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri **129**

Şekil 58. %12 FeNb,%10 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri **130**

Şekil 59. FeNb ve FeB içeren tozlarla elde edilen kaplamaların XRD analiz sonuçları .. **133**

Şekil 60. Toz bileşiminde artan ferroniyobyum ve ferrobor miktarlarıyla elde edilen kaplamaların EPMA EDS analiz sonuçları **135**

Şekil 61. %3 FeTi,%2.5 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri **136**

Şekil 62. %6 FeTi,% 5 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **137**

Şekil 63. %9 FeTi,% 7.5 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri **138**

Şekil 64. %12 FeTi,% 10 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri **139**

Şekil 65. FeTi ve FeB içeren tozlarla elde edilen kaplamaların XRD analiz sonuçları ... **142**

Şekil 66. Toz bileşiminde artan ferrotitanyum ve ferrobor miktarlarıyla elde edilen sert dolgu kaplamaların EPMA EDS analiz sonuçları **143**

Şekil 67. Ti-B ikili denge diyagramı. **144**

Şekil 68. Fe-Ti ikili denge diyagramı. **145**

Şekil 69. Artan miktarlarda ferrokrom içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların ortalama makro sertlik sonuçları **146**

Şekil 70. Artan miktarlarda ferrokrom içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların enine ve boyuna mikro sertlik sonuçları **148**

Şekil 71. Artan miktarlarda ferrokrom ve sabit oranda ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların ortalama makro sertlik sonuçları **150**

Şekil 72. Artan miktarlarda ferrokrom ve sabit oranda ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların enine ve boyuna mikro sertlik sonuçları **152**

Şekil 73. Artan miktarlarda ferroniyobyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların ortalama makro sertlik sonuçları **153**

Şekil 74. Artan miktarlarda ferroniyobyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların enine ve boyuna mikro sertlik sonuçları **155**

Şekil 75. Artan miktarlarda ferrotitanyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların ortalama makro sertlik sonuçları **157**

Şekil 76. Artan miktarlarda ferrotitanyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların enine ve boyuna mikro sertlik sonuçları **159**

Şekil 77. Artan miktarlarda ferrokrom içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları **162**

Şekil 78. Artan miktarlarda ferrokrom içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların aşınmış yüzey SEM fotoğrafları **163**

Şekil 79. Artan miktarlarda ferrokrom ve sabit oranda ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları **164**

Şekil 80. Artan miktarlarda ferrokrom ve sabit oranda ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların aşınmış yüzey SEM fotoğrafları **165**

Şekil 81. Artan miktarlarda ferroniyobyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları **166**

Şekil 82. Artan miktarlarda ferroniyobyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların aşınmış yüzey SEM fotoğrafları **167**

Şekil 83. Artan miktarlarda ferrotitanyumyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları **169**

Şekil 84. Artan miktarlarda ferrotitanyumyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların aşınmış yüzey SEM fotoğrafları **169**

TABLOLAR LISTESI

Sayfa No

Tablo 1. Yükleme ve hareket değişkenlerinin sisteme etkileri **10**

Tablo 2. Aşındırıcı malzemelerin sertlik değerleri **12**

Tablo 3. Malzeme özelliklerinin adhesiv aşınmaya etkileri **13**

Tablo 4. En çok kullanılan sert dolgu alaşımları ve özellikleri **31**

Tablo 5. Bazı ticari sert dolgu kaplama alaşımlarının kimyasal içeriği **36**

Tablo 6. Nikel ve kobalt esaslı sert dolgu kaplama elektrotları ve kaplama kimyasal içerikleri **36**

Tablo 7. Demir esaslı sert dolgu kaplama elektrotları ve kaplama kimyasal içerikleri **37**

Tablo 8. Bakır esaslı sert dolgu kaplama elektrotları ve kimyasal bileşimi **38**

Tablo 9. Tungsten karbür kompozit elektrotta tungsten karbür boyutu ve miktarı. **38**

Tablo 10. Kompozit elektrotlarda tungsten karbür içeriği **39**

Tablo 11. Demir esaslı elektrot ve çubuklar ve sert dolgu kaplamada element analizleri . **39**

Tablo12. Kobalt ve nikel esaslı çıplak elektrotlar ve çubukların sert dolgu kaplama kompozisyonları **40**

Tablo 13. Kobalt ve nikel esaslı özlü elektrotlar, çubuklar ve kaplama bileşimleri **40**

Tablo 14. Sert bakır esaslı elektrot ve çubukların kompozisyon gereksinimleri **41**

Tablo 15. Tungsten karbür çubuk ve elektrotlarda WC granüllerinin miktarı ve mesh büyüklüğü **41**

Tablo 16. Tungsten karbür granüllerinin kimyasal kompozisyonları **41**

Tablo 17. Özlü tel elektrotu oluşturan öz maddeleri ve özellikleri **56**

Tablo 18. Tozaltı kaynak parametrelerinin kaynak dikişine etkisi **63**

Tablo 19. Tozaltı kaynak tozlarının tipik kimyasal bileşimleri **68**

Tablo 20. Kaynak tozlarının DIN 32522' ye göre sınıflandırılması **69**

Tablo 21. TS 5387 EN 756' ya göre tozaltı kaynağında kullanılan tellerin kimyasal bileşimleri i **70**

Tablo 22. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tellerinde bulunan elementlerin % sınırları ve etkileri (ASM Handbook, 1983). **71**

Tablo 23. Elazığ ferro cürufunun kimyasal kompozisyonu **90**

Tablo 24. Sert dolgu kaplama amaçlı hazırlanan kaynak toz kompozisyonları (% Ağırlık) **91**

Tablo 25. Yüksek karbonlu ferro krom tozunun kimyasal kompozisyonu. **92**

Tablo 26. Sert dolgu kaplama uygulamalarında kullanılan S1 kaynak telinin kimyasal kompozisyonu **94**

Tablo 27. Düşük karbonlu çelik (SAE 1020) malzemenin kimyasal kompozisyonu **94**

Tablo 28. Sert dolgu kaplamaların kaynak dikiş genişlikleri. **102**

Tablo 29. Sert dolgu kaplama amaçlı tozlar ile yapılan kaynaklı numunelerden alınan optik emisyon, SEM EDX ve EPMA EDS kompozisyon analizleri. **105**

1. GİRİŞ

Tozaltı kaynağı, kaynak için gerekli ısının, tükenen elektrot (veya elektrotlar) ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir. Ark bölgesi; kaynak tozu tabakası ile kaynak metali ve kaynağa yakın ana metal de ergiyen kaynak tozu ve kaynak dikişi tarafından korunur. Tozaltı kaynağında elektrik, arktan ve ergimiş metal ile ergimiş cüruftan oluşan kaynak banyosundan geçer. Ark ısısı elektrotu, kaynak tozunu ve ana metali ergiterek kaynak banyosunu oluşturur. Koruyucu görevi yapan kaynak tozu ayrıca kaynak banyosu ile reaksiyona girerek kaynak metalini deokside eder (Külahlı,1988).

Tozaltı kaynak yöntemi; yüksek ergime oranına sahip olması, mekanize edilmiş bir sistem olması, temiz ve yüksek penetrasyona sahip kaynak metali vermesi, oldukça düşük duman oluşturması, yüksek kaynak hızına sahip olması, yüksek çarpılma direncine sahip olması ve kullanılan tozun büyük oranda tekrar kullanılabilir olması nedenleriyle sıklıkla tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi; ısı girdisinin çok yüksek olması nedeniyle sadece belirli kalınlıktaki malzemelere uygulanabilmektedir. Ayrıca; bu tekniğin sadece düz ve dairesel parçalara uygun olması bu kaynak yöntemini sınırlayan faktörlerdendir.

Tozaltı kaynak yönteminde kullanılan tozlar üretim yöntemine bağlı olarak; ergimiş ve aglomere olmak üzere iki çeşittir. Ergimiş tip tozaltı kaynak tozu üretimi tozu oluşturan bileşenlerin homojen karıştırılıp ergitilmesi ve katılaşma sonrasında kırılarak boyutlandırılması esasına dayanmaktadır. Ergimiş tozlar hidroskobik değildir, kimyasal açıdan homojendirler ve metalik bileşenler içermezler. Bu tozlar yüksek kaynak akımlarında kararlı bir ark verirler. Aglomere tozlar ise; tozu oluşturan bileşenlerin homojen olarak karıştırılıp, bir bağlayıcı (sodyum silikat) yardımıyla bağlanarak pelet oluşumu, oluşan peletlerin sinterlenmesi ve kırılarak öğütülmesi prensibine dayanmaktadır. Bu toz tipinde alaşım elementleri de toza ilave edilebilmekte ve kaynak sırasında kaynak metaline geçirilerek sert yüzey kaplamalar elde edilebilmektedir. Ergimiş tozların aksine aglomere tozlar depolanma esnasında, havanın nemini kolayca absorbe edebilirler. Bu ise kaynakta porozite oluşumuna yol açabilmektedir. Bunun için kaynak öncesinde tozların 300 ^{o}C gibi sıcaklıklarda nemlerinin alınması gerekmektedir. (Davis, 1993).

Genel amaçlı tozaltı kaynak tozları incelendiğinde; toz kompozisyonda temel bileşikler olarak curuf oluşturucular bulunmaktadır. CaF_2, CaO, MgO, TiO_2, SiO_2 ve Al_2O_3 gibi bileşikler curuf oluşturucu bileşikleri oluşturmaktadır. Sert dolgu kaplama amaçlı hazırlanan tozlarda ise bu curuf oluşturuculara ilaveten ferrokrom ve ferromolibden gibi ferroalaşımlar yer almaktadır (Anık, 1983).

Kaynak yöntemiyle yapılan kaplama işlemi; aşınma ve korozyon davranışı gibi yüzey özeliklerini geliştirmek için bir ana metal veya alt tabaka yüzeyine bir malzeme tabakasının geçirilmesi işlemidir. Şayet aşınmaya direnci iyi olan sert bir malzeme yumuşak veya sünek bir malzeme üzerine aşınma özeliğini geliştirmek amacıyla kaynak yöntemiyle kaplanırsa bu işleme sert dolgu (yüzey) kaplama denir. Bazen bozunmuş malzeme yüzeyi kaplama işlemiyle tekrardan istenen boyutlara getirilebilir. Bir veya daha fazla tabakanın kaynak işlemiyle çekilmesi uygun kimyasal veya metalurjik uyumluluğu zorunlu kılar. Bu hususların her ikisinde de tasarım yapılırken kaynak metalinin mukavemeti düşünülür (Oates ve Saitta, 2000).

Sert dolgu (sert dolgu yüzey kaplama) alaşımları herhangi bir kaynak yöntemiyle uygulanabilmektedir. Seçilen yöntem uygulanabilirlik ve ihtiyaçlara cevap verme açısından en akılcı yöntem olmalıdır. Oksi-Asetilen ve TIG kaynağı, sert dolguda kullanılmakla beraber düşük metal yığma oranları nedeniyle uygulama alanları kısıtlıdır. Örtülü elektrot ekonomiklik, bulunabilirlik ve çok yönlülük olarak avantajlıyken düşük yığma özelliği nedeniyle dezavantajlıdır. Özlü tel ile sert dolgu yüzey kaplamada tel üretimi ve kullanımı, yığma hızı ve çalışma kolaylığı gibi esneklikler varken her pozisyonda kullanımı sınırlıdır. Tozaltı kaynak metodu kullanılarak yapılan sert dolgu işlemlerinde ise; sistemin otomatik olması, büyük ve aşınmış parçaların doldurulmasının ekonomik ve kolay olması, operatör eğitimi için geçen sürenin kısa ve kolay olması, kaynak dikişinin temiz, sağlam ve düzgün olması ve arkı toz çevrelediği için herhangi bir rahatsız edici ışın olmaması gibi artılar mevcuttur. Öte yandan, sert kaplamalarda kullanılan tozların sınırlı olması, kaynağın sadece düz ve silindirik parçalara uygulanması ve yüksek ısı girdisi nedeniyle sadece belli kalınlıktaki parçalara uygulanabilmesi gibi özellikleri tozaltı kaynağının kullanımını sınırlamaktadır. Dolayısıyla; bütün yöntemlerin kendilerine özgü avantajları ve sınırlamaları mevcuttur. Bu nedenle sert dolgu yapılacak parçaya ve uygulamaya en uygun yöntem seçilerek başarıyla uygulanabilir (Külahlı,1988).

Metalürjik işlemler sonucu açığa çıkan cüruflar; metalik ve camsı karakterde, biyo çözünmeyen davranışta ve hacimsel olarak da göz ardı edilemeyecek miktarlarda oldukları için çevre açısından önemli bir tehdit oluştururlar. Araştırmacılar; cürufların ve diğer ikincil kaynakların kullanımı üzerine çalışmalar yapmış ve yapmaya devam etmektedirler. Dünyadaki birincil kaynakların malzeme üretimi esnasında kullanımı; rezervlerin azalmasına ve ciddi çevresel tahribatlara yol açması nedeniyle, ikincil hammaddelerin kullanımı üzerine yapılan bu çalışmaları zorunluluk haline getirmiştir.

Literatürdeki araştırmacılardan Ma vd., (2003) tozaltı kaynağında kullanmak üzere aglomere toz üretmişler ve bu tozlarda kristal fazın yapısal kararlılığı üzerinde yoğunlaşmışlardır. Çalışmada oksit mineralleri kullanılarak aglomere tozlar hazırlanmış ve bu tozlar 950 ^{o}C'de sinterlenerek oksitlenme kinetiği incelenmiştir. Çalışma sonunda, yapılan analizin kaynak banyosunda meydana gelen reaksiyonların tahmininde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Singh ve Pandey, (2009) kaynak tozları neticesinde oluşan cürufların yeniden kullanımını araştırmışlardır. Yapılan çalışmada tozaltı kaynak cürufları ilgili fabrikalardan toplatılmış ve gerekli alaşım elementleri ve deoksidanlar katılarak aglomere edilerek sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme işleminden sonra kırılarak boyutlandırma işlemi yapılmıştır. Hazırlanan bu tozlar kullanılarak yapılan tozaltı kaynak işlemleri sonucunda elde edilen kaynak metalinin mekanik ve kimyasal özelliklerinin AWS şartlarını sağladığı gösterilmiştir.

Sui vd., (2006) tozaltı kaynak toz kompozisyonu ile ark esnasında kaynak tozunda meydana gelen yumuşama sıcaklığı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışma hem deneysel hem de en uygun tasarım yöntemiyle sayısal modelleme üzerine yoğunlaşmıştır. Çalışmada, tozaltı kaynak tozu içinde yer alan bileşenlerin farklı kombinasyonları incelenmiş olup, $MgO\text{-}TiO_2\text{-}CaCO_3\text{-}Al_2O_3$ karışımının yumuşama sıcaklığını arttırdığı ve bu durumun da cürufun kolay kalkmasını sağladığını belirtmişlerdir.

Kanjilal vd., (2006), kaynak tozu ve kaynak parametrelerinin kaynak metali kimyasal bileşimi ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonunda polaritenin en önemli faktör olduğu belirtilmiştir.

Mercado vd., (2009) tozaltı kaynak tozuna katmış oldukları TiO_2'nin kaynak metalinde mikroyapı ve mekanik özelliklere olan etkisini incelemişlerdir. Sonuçta kaynak tozundaki

TiO_2 miktarındaki artışla beraber kaynak metalinin tokluk ve sünekliğinin arttığı gösterilmiştir.

Tusek ve Suban, (2003) tozaltı kaynak yönteminde metal tozların tozaltı kaynak işleminde ark bölgesine dökülerek yüzeyin alaşımlanmasını sağlamayı hedeflemişlerdir. Çalışma sonucunda; metalik toz ilavesiyle yüzeyin alaşımlanmasının mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Gülenç ve Kahraman, (2003) tozaltı kaynak yöntemiyle aşınmış yüzeylerin doldurularak aşınmaya karşı dayanımın arttırılması üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonucunda kaynak metalinin sertliğinin artmasıyla aşınma dayanımının arttığı, sertliğin de elektrot ve toz bileşimine bağlı olduğunu göstermişlerdir.

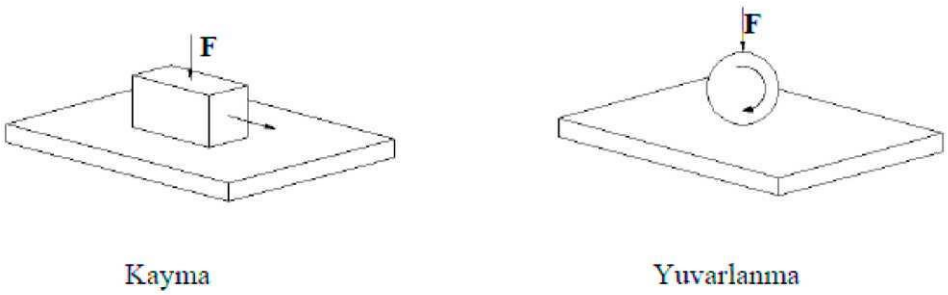
Yapılan kapsamlı literatür araştırması sonucunda, atık durumdaki herhangi bir cüruftan tozaltı kaynak tozu üretimi üzerine Singh ve Pandey, (2009) hariç sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda cüruf kullanımına en yakın olan çalışmalar tozaltı kaynak işlemi sonrasında oluşan cürufların yeniden kullanımı (‘’recycled flux’’) ve içerisine normal (‘’fresh flux’’) flaks oluşturucu katkısıyla hazırlanan tozların yeniden kullanımını içeren çalışmalardır. Tozaltı kaynak tozları kullanılarak sert dolgu kaplama amaçlı yapılan çalışmalar genel ağırlık ticari çalışmalardır ve işletmelerin ticari sırrı olarak saklanmaktadır. Fakat; toz üreten firmaların kaynak metalinden aldıkları kompozisyon analizlerinden (Gedik kaynak, Oerlikon, As kaynak) firmalarının elde edilen verilere göre; ferroalaşım içeren tozaltı kaynak tozları genel ağırlık ferrokrom ve ferromolibden üzerine yoğunlaşmaktadır. Dolayısıyla; literatürde hem toz üretip hem de kaplama yapmayı amaçlayan çalışma sayısı sınırlıdır. Ayrıca; literatürdeki ferroniyobyum-ferrobor ve ferrotitanyum-ferrobor ikililerini içeren kaynak kaplama çalışmaları genel ağırlık koruyucu soy gaz içeren kaynak metotları ile gerçekleşirken (Berns ve Fischer,1987), bazı çalışmalar ise bu kaplamalarda kullanılan kaynak tellerini alaşımlandırma yoluna giderek (Ke vd., ,2011) gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle; bu tez kapsamında tozaltı kaynak tozu içerisinde yüksek karbonlu ferrokrom ve yüksek karbonlu ferrokrom-ferrobor, ferroniyobyum-ferrobor ve ferrotitanyum-ferrobor çiftlerini kullanılarak yapılan sert dolgu kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu sert dolgu kaplamalar sayesinde ticari ve bilimsel literatür alternatif alaşım elementleri ile çeşitlendirilmiştir. Ayrıca; üretilen tozların atık bir cüruftan üretilmesiyle, ekonomik olarak daha rekabetçi kaynak tozları elde edilmiştir.

1.1. SÜRTÜNME VE AŞINMA

1.1.1. Sürtünme

Sürtünme, birbiri ile temasta olan ve birbirine göre bağıl hareket yapan elemanlar arasındaki harekete karşı ortaya çıkan direnç olarak tanımlanabilir. Sürtünmenin sayısal pratikteki değeri, bazı durumlarda çok küçük olsa bile, her zaman mevcuttur (Soydan ve Ulakan, 2003).

Hareketli parçalar arasındaki sürtünmenin, enerji, zaman ve maddi kayıplara yol açması, insanları eski tarihlerden beri bu konu ile ilgili hale getirmiştir. Bir biri ile temas halindeki hareketli parçalar arasındaki sürtünmeyi azaltmak kadar belirli sınırlar içerisinde tutmakta çok önemlidir. Mesela, tren tekerlekleri ile raylar arasındaki sürtünme ile tren tekerlekleri ile fren pabuçları arasındaki sürtünme iki farklı durumu ortaya koymaktadır. Tekerler ile raylar arasındaki sürtünme, enerji kaybına sebep olarak sistemin verimini düşürmekte iken, teker ile pabuçlar arasındaki sürtünme ise trenin hareket kontrolü için çok önemlidir. Bu nedenle; bu örnek sürtünmenin farklı durumlardaki önemini açıkça ortaya koymaktadır. Birbirine temas eden hareketli parçalar arasında kayma, yuvarlanma ve kayma-yuvarlanma meydana gelebilir **(Şekil 1).**



Şekil 1. Birbirine temas eden cisimlerin kayma ve yuvarlanma hareketi (Soydan ve Ulakan, 2003).

Kayma sürtünmesi

Birbirine temas eden veya birbiri üzerinde kayan iki yüzey ne kadar hassas işlenseler dahi gerçek temas alanı görünür temas alanının 0.01 ila 0,1' i kadardır. Gerçek temas sadece küçük pürüz tepeciklerinde meydana gelir. Kayma sırasında teğetsel kuvvet arttırıldığında,

temas noktalarındaki birleşmeler kaymaya başlar. Tüm birleşmelerin kesilmesi için gerekli sürtünme kuvveti, birleşmelerde malzemenin gerilmesi ile doğru orantılı olarak değişecektir.

Fs = Ar.S

Burada; **Fs,** Sürtünme kuvveti **Ar,** gerçek temas alanı **S,** malzemenin kesme gerilmesini temsil etmektedir.

Uygulamada kayma sürtünmesi nem, ortam sıcaklığı ve benzeri parametrelerden de etkilenmektedir.

Yuvarlanma sürtünmesi

Yuvarlanma sürtünmesi, yüklü bir kürenin ya da silindirin, düz bir kütle yüzeyi üzerinde yuvarlanması sırasında oluşur. Yük altındaki silindirin yuvarlanmasında sürtünme direnci, silindirin merkezine uygulanır. Bu sürtünme, yük ile doğru orantılı ve yuvarlanma elemanın çapı ile ters orantılı olarak formüle edilir.

Fr : $k.W^n/D^m$

Burada; Fr, Yuvarlanma sırasındaki sürtünme direnci k, malzeme ve yüzey şartlarına bağlı sabit ve W, yük D, silindir veya kürenin çapı n ve m ise deneysel sabitlerdir.

Yuvarlanma sürtünme katsayısı PT kayma sürtünmesinde olduğu gibi aynı yöntemlerle bulunur.

PT : Fr/ W

Genel olarak yuvarlanma sürtünme katsayısı, kayma sürtünme katsayısına göre çok düşüktür. Statik ve kinetik sürtünme katsayıları ile yaklaşık olarak aynıdır (Özsaraç, 1999).

Sürtünme Tipleri

İzafi hareket yapan yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması veya konulmaması bakımından sürtünme kuru, sıvı ve sınır sürtünmesi olarak üç halde incelenir (Demiral, 2005).

Kuru Sürtünme

Pratikte sürtünme denilince akla gelen sürtünme kuru sürtünmedir. Aşınma, enerji kaybı ve sıcaklık yükselişi gibi olaylar kuru sürtünme sonucu oluşur. Genel anlamda ise yabancı maddelerden arındırılmış yüzeylerin atmosfer şartlarındaki sürtünme halini ifade etmektedir. Teknik olarak, sürtünme hem istenen hem de istenmeyen olaylar olarak ortaya çıkar. Fren, kavrama, sürtünmeli çarklar gibi benzer makine elemanlarında sürtünme istenen bir olaydır. Bu gibi durumlarda sürtünmenin daha da arttırılması istenir. Bunların dışında, bütün izafi hareket yapan yüzeylerde istenmeyen bir olay olarak ortaya çıkan sürtünmenin ise azaltılması gerekir. Yük uygulanmadan önce temas halindeki malzemeler arasında bir bağlantı oluşur. Yük uygulandıktan sonra malzemenin bir kısmı kopar ve buradaki küçük temas alanlarında metal kaynaklanmalar meydana gelir. İzafi hareket yapan yüzeylerde sürtünme, kaynaklanmış metal ile doğal malzemeler arasındaki bağlantıların oluşturduğu dirençtir. Sürtünme kuvveti, hem kaynaklanmış parçaları hem de bağlantıları koparan kuvvettir (Uzuner, 2001).

Sınır Sürtünmesi

Yüzeyler arasında bulunan herhangi bir yağlayıcı maddeye rağmen sıvı sürtünmesi durumu oluşmadığı hallerde sınır sürtünmesi durumu ortaya çıkar. Pratikte en çok rastlanan bu sürtünme olayında, sürtünme katsayısı genel olarak 0,02 ile 0,1 arasında değişir.

Sıvı sürtünmesi

Sıvı sürtünmesi, madeni yüzeylerin bir yağ tabakası ile tamamen ayrılmış olduğu sürtünme durumudur. Madeni yüzeyler ile doğrudan doğruya temasta bulunan yağ tabakaları, adsorpsiyon yolu ile malzeme yüzeylerine tamamen yapışmış olduğu görülür. Yani; U hızıyla hareket eden yüzeye yapışmış olan tabakanın hızı U, sabit yüzey üzerindeki tabakanın hızı ise sıfırdır. Ara tabakanın hızı Y mesafesine bağlı olarak U ile sıfır arasında değişir. Nihayetinde, sıvı sürtünmesi halinde sürtünme gerçekte birbiri üzerinde kayan yağ tabakaları arasında oluşmaktadır (Karabaşoğlu, 2008).

1.1.2. Aşınma

İstenmeden meydana gelen aşınma, çeşitli makine ve teçhizatın kullanımı sırasında kırılma kadar önemli bir problem olmasa bile, çok büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Bu durum makine imalat ve dizaynında çok önemlidir. Çünkü temas eden yüzeylerde, sürtünme kuvveti güç kaybına; aşınma ise, işlenme toleranslarının azalmasına neden

olmaktadır. Dolayısıyla; aşınma, bu ve benzeri durumlarda göz önüne alınması gereken çok önemli parametrelerden biridir.

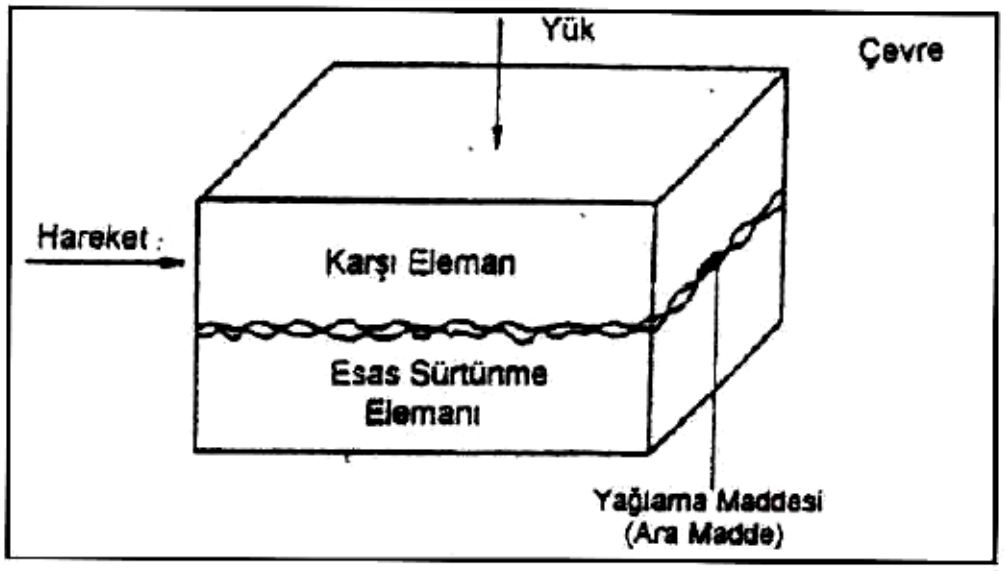
Aşınmanın tanımı farklı şekillerde yapılabilmektedir. En genel şekilde "Mekanik ve kimyasal etkilerle malzemeden istenmeyen partikül kaybı" olarak ifade edilebilir. Moore'a göre aşınma, kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması sonucunda çeşitli etkenlerle malzemenin yüzeyinden mikro taneciklerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulmaları ve kayıpları olarak tanımlanmıştır (Duman, 1999).

Diğer bir ifadeye göre; aşınma katı cisimlerin yüzeylerinden çeşitli etkenlerle sürekli malzeme kayıplarının ortaya çıkmasıdır. DİN 50320 ve ASTM G4093 standartlarına göre aşınma, kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması sonucu mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılmasıyla meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması şeklinde ifade edilmektedir.

Genel olarak aşınma yataklarda, frenlerde, pistonlarda, supaplarda, tekerleklerde, kesici uç ve ağızlarında, dişlilerde kırma ve öğütme değirmenlerinde, yol, toprak ve ziraat makinelerinde, türbin kanatlarında, maden cevheri üretim cihazlarında ve bu şekilde aşınmaya maruz kalan durum ve yerlerde meydana gelmektedir.

1.1.2.1. Aşınmaya Etki Eden Elemanlar

Temas halinde bulunan katı yüzeylerde, malzeme kaybı üç farklı şekilde gerçekleşebilir. Birincisi bölgesel erime, ikincisi kimyasal çözünme ve üçüncüsü ise yüzeyden fiziksel olarak oluşan ayrılma şeklinde gerçekleşebilir. Uygulamada ise aşınma kapsamına, daha çok yüzeyden ayrılan malzemenin sebep olduğu hasar ve kayıplar dahil edilmektedir. Aşınmaya etki eden temel parametreler; ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük, hareket ve çevredir. Bütün bu etki eden parametrelerin oluşturduğu sistem, teknikte "Tribolojik sistem" olarak adlandırılır. Bir tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi **Şekil 2'** de verilmektedir.



Şekil 2. Tribolojik sistemin şematik gösterimi (Chichos,1977).

Esas sürtünme elemanı (aşınan): Sadece fiziksel ve kimyasal özellikleri değil; yüzey yapısı, şekil durumu tamamen belirli olan ve aşınma özelliği ile incelenen katı cisim şeklinde tanımlanabilir.

Karşı eleman (aşındıran): Aşınmanın meydana gelmesinde en önemli etkene sahip olan karşı sürtünme elemanı, katı bir cisim, sıvı veya gaz olabilir. Bu eleman temel sürtünme elemanı ile birlikte bir aşınma çiftini oluşturmaktadır.

Ara madde: Esas sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasında kalarak katı, sıvı, gaz, buhar veya bunların karışımı şeklinde bulunan maddedir. Örneğin, bu ara maddeyi, yüzeyler arasına bir şekilde girmiş kum taneleri oluşturabileceği gibi, aşınma sırasında kopan parçacıklar da ara maddesi görevini üstlenebilir.

Yük : Etki eden kuvvetin büyüklüğü, türü (statik, dinamik, darbeli veya titreşimli olup olmaması) doğrultusu, yönü ve zamana göre değişimi yüklemenin gücünü ve karakterini belirler.

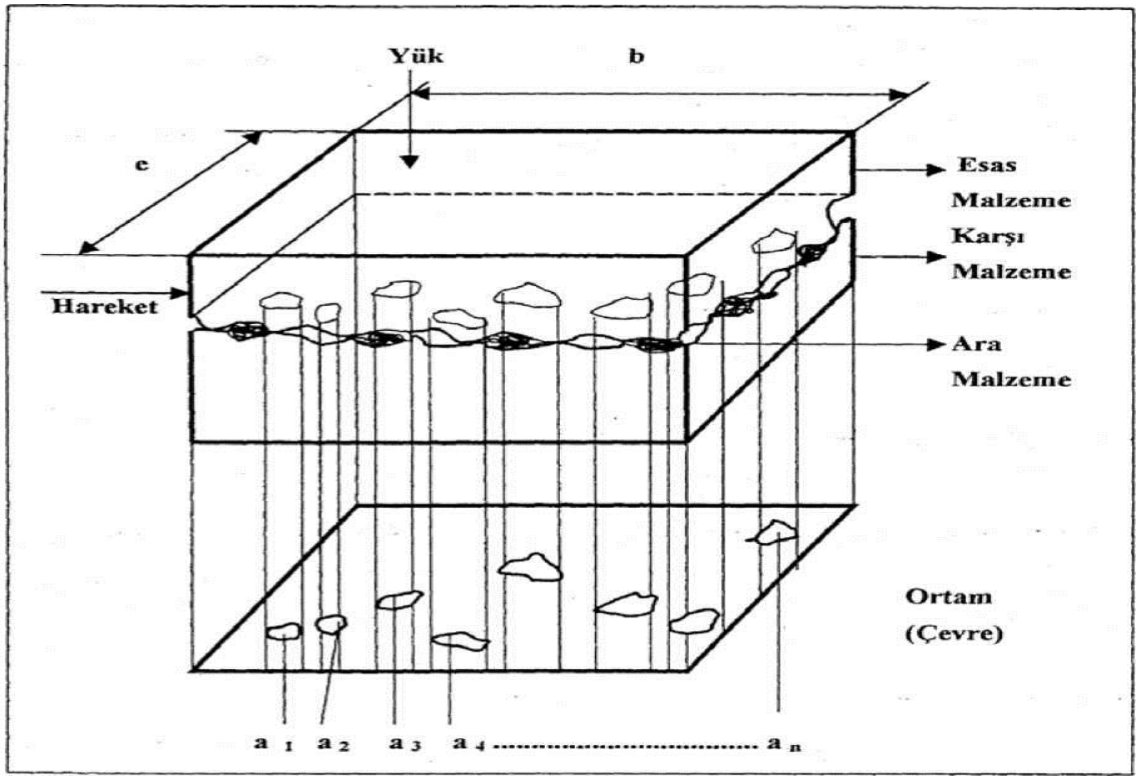
Hareket: Esas sürtünme elemanının karşı sürtünme elemanına göre izafi hareketinin cinsi (kayma yuvarlanma ya da çarpma), büyüklüğü ve doğrultusu ile tespit edilir.

Tablo 1 de belirtilen yükleme ve hareket değişkenleri sistemi etkileyen önemli giriş büyüklüklerini oluştururlar. Bunların etkisiyle yapıda bazı değişiklikler olurken sürtünme ve aşınma ile ise gerçekleşen kayıplar ortaya çıkar**.**

Çevre: Sistemi kapsayan ve genellikle sıvı veya gaz halinde bulunan ortamdır. Su, hava ve gazlar teknikte en sık rastlanılan çevre ortamlarıdır (Chichos,1977).

Tablo 1. Yükleme ve hareket değişkenlerinin sisteme etkileri (Chichos, 1977).

Başlangıç (giriş) büyüklükleri	Tribolojik olay sırasında Değişen faktörler		Sonuç Büyüklükleri
Sürtünme Elemanlarının Yapısı	Yüzey Pürüzlülüğü Değişimi	Yapı değişimi	Sürtünme kuvveti
Yükleme	Ara maddesi	Fiziksel Kimyasal özellikler (mukavemet, iç gerilmeler)	Aşınma Miktarı
Hareket	Sıcaklık değişimi		



Şekil 3. Sürtünen iki cisimde aşınmanın temel unsurları (Chichos,1977).

Aşınma, genellikle önceden tahmin edilen bir hasar tipidir. Birbirleriyle temasta olan ve sürtünen malzeme yüzeyleri oksit filmleri ya da yağlayıcılar ile korunsalar dahi, mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması, iki yüzeyin birbiriyle doğrudan temasına sebep olabilir **(Şekil 3).** Bu temas nedeniyle oluşan sürtünme, malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını etkileyen aşınmaya neden olur. Bu hasar uygun yağlama, filtreleme, uygun malzeme seçimi ve uygun tasarım gibi faktörlerle asgari değerlere indirilebilir, ancak kesinlikle tamamen önlenemez. Aşınma çeşitli yönleriyle korozyona da benzemektedir. Bilinen bu iki hasar tipi de zamanla kendiliğinden gelişebilir, her ikisinin de oluşumu önceden bir derece bilinebilir, her ikisinin de çeşitli tipleri bulunmaktadır. Aşınma da korozyon gibi bir yüzeysel bir olay olduğu için, yüzeyi etkileyen her şey aşınma davranışını da olumlu ya da olumsuz etkiler (Kayalı vd., 1997).

1.1.2.2. Aşınmaya Etki Eden Faktörler

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

1- Ana malzemeye bağlı olan faktörler

- Malzemenin kristal yapısı
- Malzeme sertliği
- Elastite modülü
- Deformasyon davranışı
- Yüzey pürüzlüğü

2- Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi

3- Ortamın etkisi

- Sıcaklık
- Nem
- Atmosfer

4- Servis koşulları

- Basınç
- Kayma yolu şeklindedir (Kayalı vd., 1997).

Tablo 2. Aşındırıcı malzemelerin sertlik değerleri (Muratoğlu, 1997).

Aşındırıcı cinsi	Mikro sertlik(kg/mm)	Dayanabildiği sıcaklık (˚C)
Elmas	10000	700-800
Bor karbür	3700-5000	700-800
SiC	2300-2600	1300-1400
Alüminyum oksit	2000-2300	1700-1800

Alüminyum oksit (Al aşındırıcı taneleri) sert ve köşeli yapıdadır. Silisyum karbür (SiC) aşındırıcı taneleri ise daha sert ve köşeli olmalarına rağmen, alüminyum oksit aşındırıcılara göre daha kırılgandırlar. Aşındırıcı malzemelerin sertlikleri ve dayanabildikleri en yüksek sıcaklıklar **Tablo 2** de verilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda bazı alümina ve silisyum karbür aşındırıcıların sürtünme katsayıları incelenmiş, çalışma sonucunda silisyum karbürün sürtünme katsayısının sıcaklığın artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir.

Yüzeyler arasındaki sürtünme değerlendirildiğinde, sürtünme kuvvetinin bir kısmının da sistemde sıcaklık şeklinde ortaya çıkacak olması unutulmamalıdır. Özellikle; sistemde kuru bir sürtünme mevcut ise açığa çıkan ısının boyutları oldukça yüksek olmakta, hatta bazı malzemelerde mikroyapı değişikliklerine dahi neden olmaktadır. Co-Co çiftinin sıcaklığa bağlı olarak, belli bir sıcaklıktan sonra farklı mikroyapıya sahip olması sıcaklığın aşınma üzerindeki etkisinin karakterize edilmesi bakımından ilgi çekicidir. Aşınma yüzeylerine verilen enerji, ilk olarak elastik ve plastik şekil değiştirmeye (deformasyon) ve kırılma şekline dönüşürken, yüzey ise mekanik aktivasyona uğrayarak reaksiyona girmeye başlar. Şekil değiştirme genel olarak, ısı enerjisine dönüşmektedir (Muratoğlu, 1997)

1.1.2.3.Aşınma Mekanizmaları

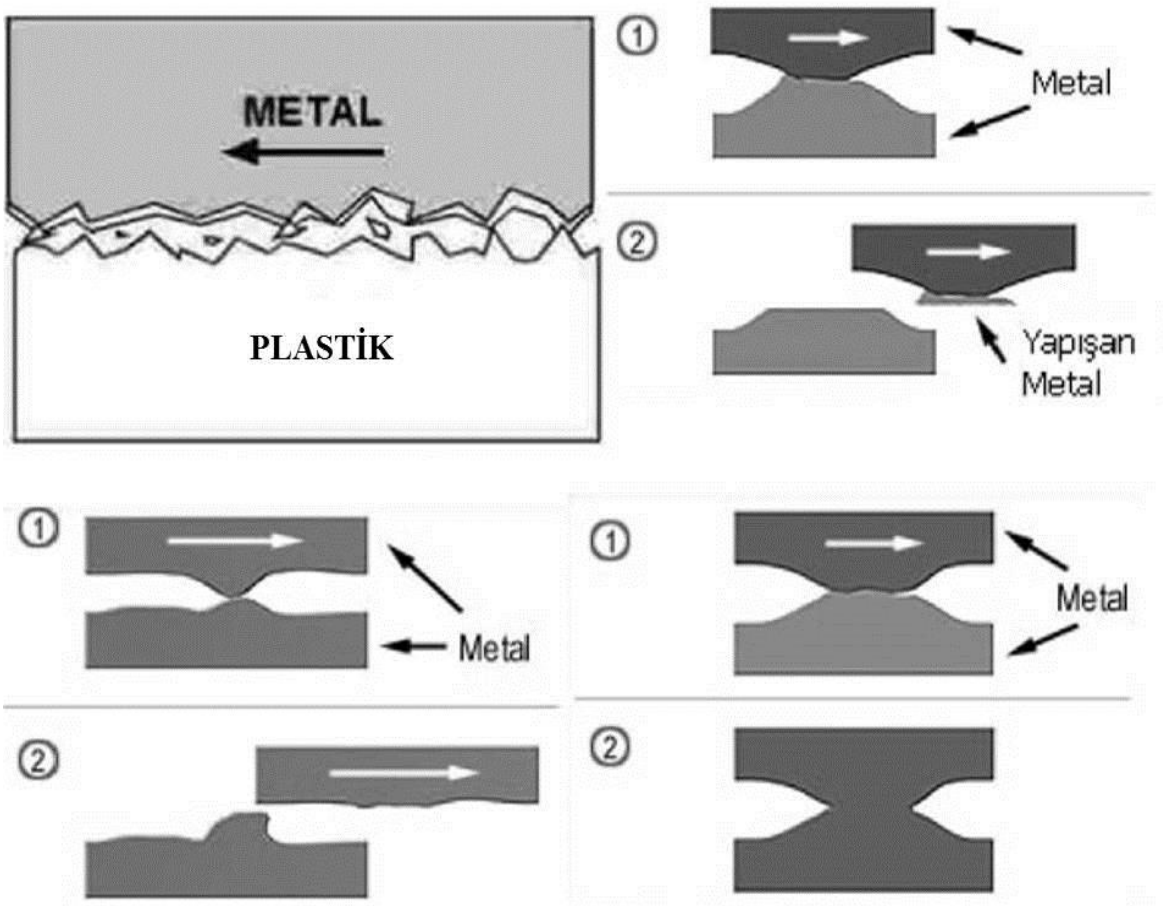
Adhesiv Aşınma(Yapışma Aşınması)

Yapışma aşınması olarak da belirtilen adhesiv aşınma, en sık rastlanan aşınma türü olmasına rağmen, genellikle hasarı hızlandırıcı etkide bulunmaz. Adhesiv aşınma en genel olarak, karşılıklı etkileşim içinde olan birbirine göre göreceli olarak hareket eden iki yüzeyin herhangi birinden bir parçacığın koparak diğerinin yüzeyine yapışması sonucunda, bir yüzeyden diğer yüzeye olan malzeme taşınması olarak tanımlanabilir **(Şekil 4).**

Meydana gelen bu aşınmayı önlemek ve azaltmak için yağlayıcı kullanmak, birbiri içerisinde çözünmeyen metaller kullanmak, düz yüzeyler kullanmak, metal-metal temasını önlemek gibi çözümler uygulanabilmektedir. Uygulanan yöntemler ve etkileri **Tablo 3** de verilmektedir.

Tablo 3. Malzeme özelliklerinin adhesiv aşınmaya etkileri.

Özellikler	**Adhesiv aşınma**
Oksitli yüzey	Az
Kübik kristal yapı	Çok
Hegzagonal kristal yapı	Az
Yüksek deformasyon sertleşmesi	Çok
Yüksek sertlik	Az
Yüksek elastizite modülü	Az
Yüksek ergime sıcaklığı	Az



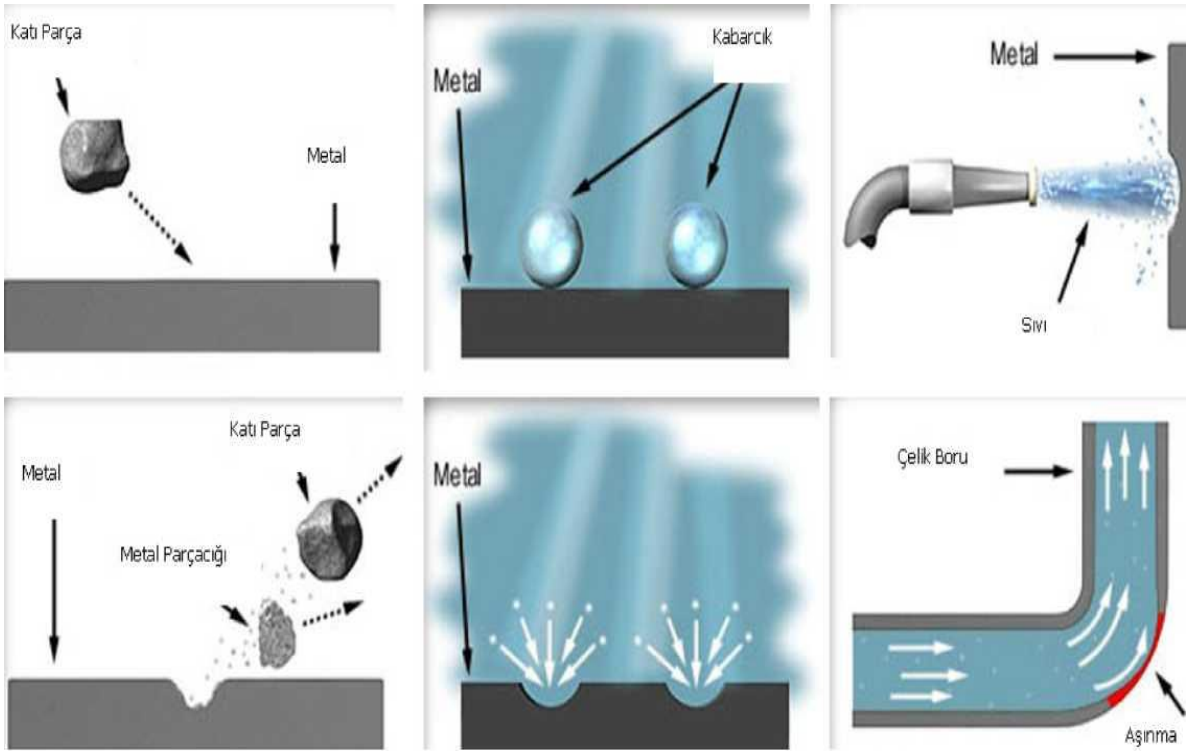
Şekil 4. Adhesiv aşınma mekanizmasının şematik gösterimi (Bilici, 2004).

Yorulma Aşınması

Değişken ve tekrar eden yüklemeler sonucu meydana gelir. Tribolojik zorlamalar genel olarak yüzeyde görülen, büyüklüğü zamana ve konuma göre değişiklik gösteren mekanik gerilmeler sonucu meydana geldiğinden, yorulma aşınması birçok aşınma sürecinde görülür. Sonuçta malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur. Oluşan bu çatlaklar, yüzeyden parçacıkların ayrılmasına, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur. Bu tür aşınma en fazla dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmaların yüzeylerinde görülür.

Erozif Aşınma

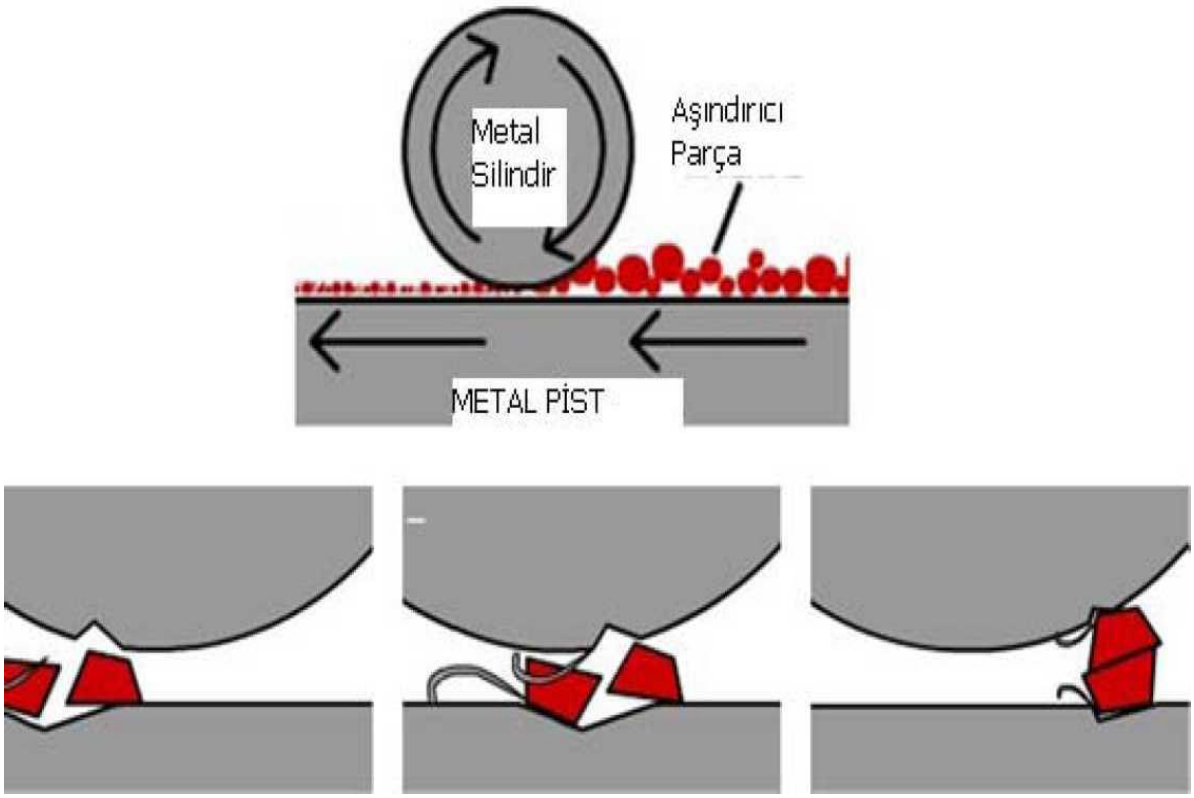
Erozif aşınma, bir sıvı veya taşıyıcı içerisindeki sert partiküllerin malzeme yüzeyinden yüksek hızlarda kayması ya da yuvarlanması esnasında meydana gelir **(Şekil 5).** Kayma ya da yuvarlanma sırasında, yüzeyle temas eden her bir partikül uzun bir süre sonunda metal yüzeyinden çok sayıda parça kopmasına neden olarak erozif aşınma hasarı meydana gelir. Sıcaklık ve akış hızı arttıkça aşınma da buna bağlı olarak hızlanma karakteri gösterir.



Şekil 5. Erozif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi (Bilici, 2004).

Öğütmeli Aşınma

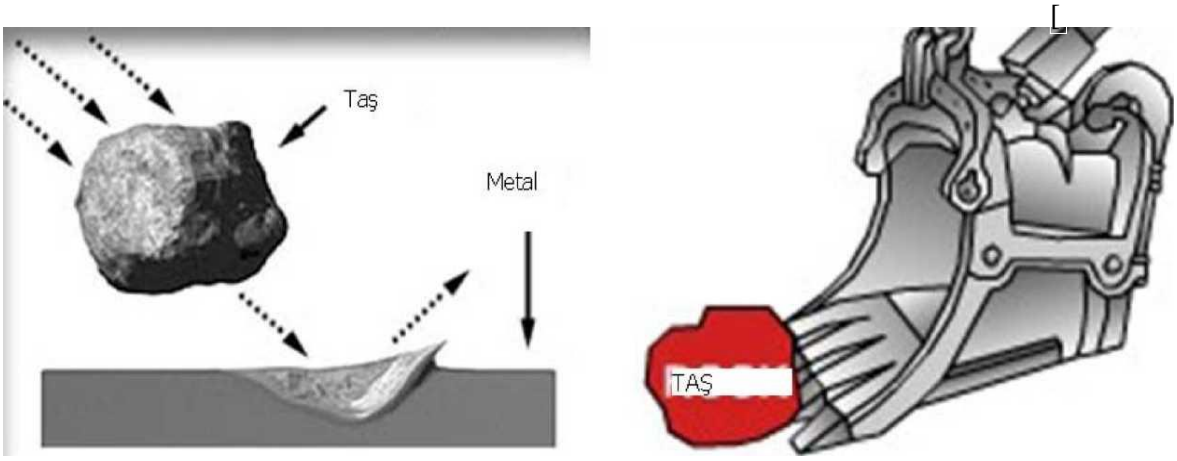
Öğütmeli aşınma, yüksek basınç altındaki partiküllerin metal yüzeyleri ile düşük hızlarda karşılaşmaları sonucunda, metal yüzeyinden parçacıkların kesilerek ya da çok sayıda ufak çizikler oluşturarak kopartılması ile meydana gelir. Oluşan bu yüksek basınç ve düşük hız kombinasyonu, genellikle hafriyat çalışmalarında kullanılan buldozer ve kepçe gibi ağır iş makinelerinin çalışma şartlarında meydana geldiği için, bu araçların kesici uç yüzeylerinde bu hasar türü meydana gelmektedir. Kepçelerde kullanılan batıcı ve kesici uçların, öğütmeli aşınma sonucunda şekil değişimi meydana gelerek ‘’körleme’’ diye adlandırılan durum meydana gelir. Bu durumu önlemek için malzemenin kontrollü olarak aşındırılması yoluna gidilmiştir. Kontrollü aşınma ile malzeme kendi kendini bileyerek, körlenme sebebiyle oluşan gelen performans düşüklüğü yok edilebilmektedir. **Şekil 6** da tipik bir öğütmeli aşınma mekanizması verilmektedir.



Şekil 6. Öğütmeli aşınma mekanizmasının şematik gösterimi (Ay, 2015).

Oymalı Aşınma

Oymalı aşınma malzeme yüzeyinin aşırı durumdaki gerilmelerdeki çarpma durumlarında, yüzeyden bir parçanın kesilerek veya oyularak kopmasıyla meydana gelir. Oymalı aşınma diğer aşınma türlerine göre çok daha hızlı olarak geliştiğinden, bu aşınmaya uğrayan parçaların yeni parçalarla değiştirilerek kullanılması daha ekonomik olmaktadır **(Şekil 7).**

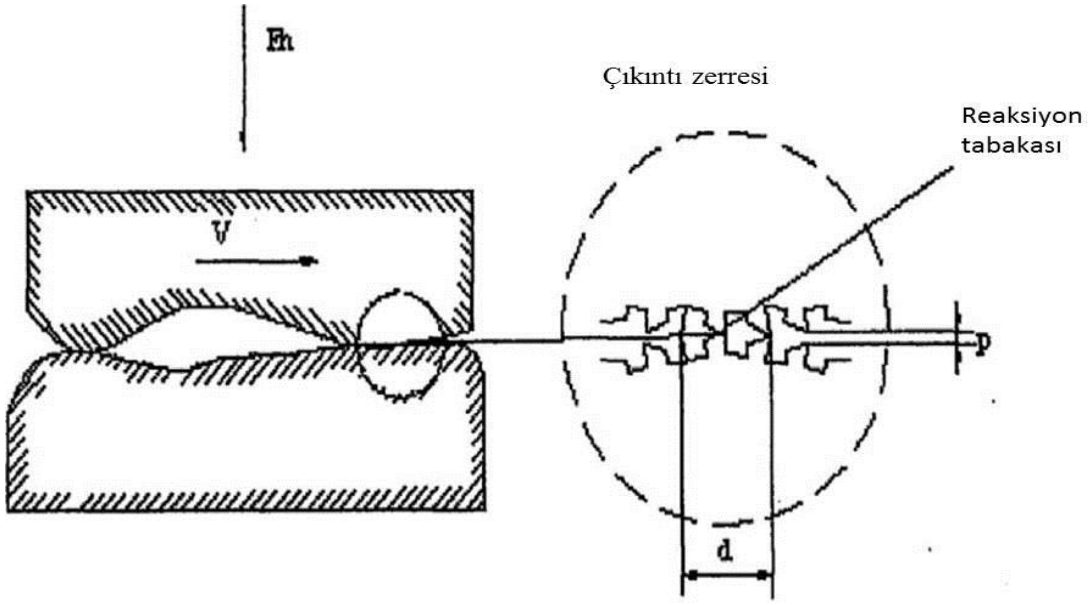


Şekil 7. Oymalı aşınma mekanizmasının şematik gösterimi (Ay, 2015).

Korozif Aşınma

Korozif aşınmada aşınma olayı iki aşamada gerçekleşmektedir. İlk olarak temas halindeki yüzeyler ortamla reaksiyona girerler ve yüzeyde reaksiyon ürünlerinden oluşan bir tabaka meydana gelir. İkinci olarak ise temas noktasında çatlak oluşumu ya da abrasiv etkiden dolayı reaksiyon tabakası hasara uğrar **(Şekil 8).**

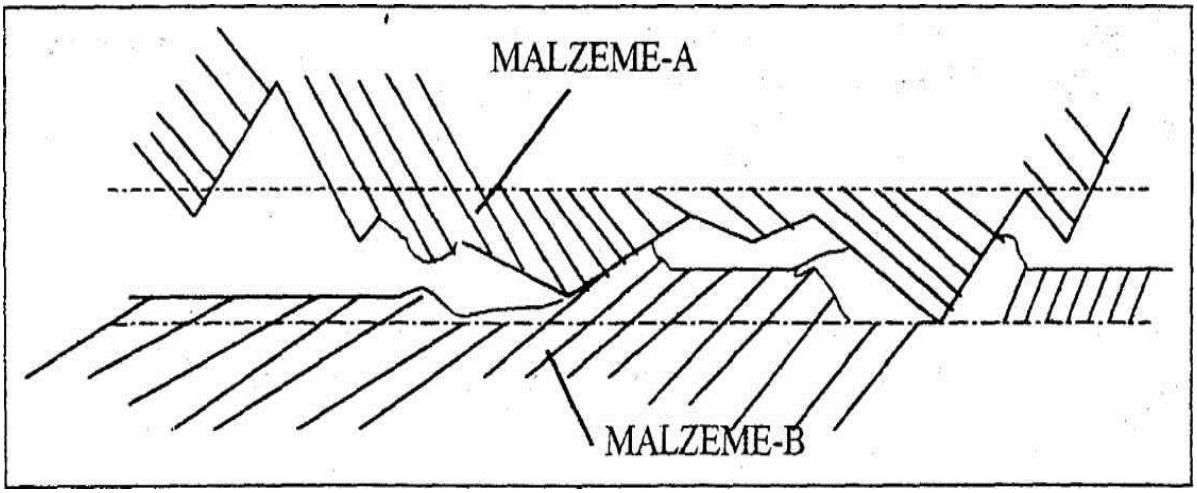
Tribooksidasyon aşınması adı da verilen korozif aşınma durumunda, ana malzeme ile karşı malzeme arasında tribolojik zorlamalardan dolayı oluşan kimyasal reaksiyon önemli rol oynar. Malzeme yüzeylerinin hava ile etkileşime girerek oluşturduğu yüzey tabakaları (oksit tabakası) aşınmayı azaltmasına rağmen, bu yüzey tabakalarının tribooksidasyon neticesinde özelliklerinin değişmesi, aşınmayı hızlandırmaktadır. Korozif aşınma özellikle metalik malzeme yüzeylerinde sıklıkla rastlanılan bir aşınma türüdür (Bilici, 2004).



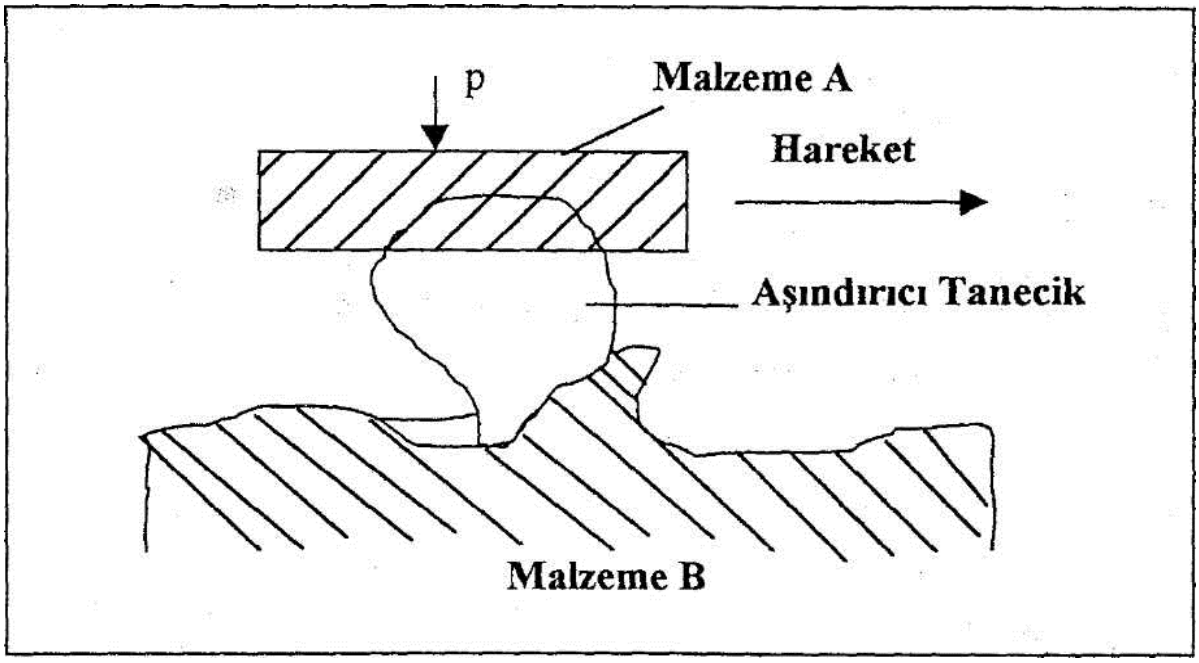
Şekil 8. Korozif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi (Bilici, 2004).

Abrasiv Aşınma

Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da bilinen abrasiv aşınma, malzemelerin hızlı bir şekilde hasara uğramasına neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrasiv aşınma biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbirleriyle temas halindeyken kayması esnasında meydana gelir. Metal şekillendirmede sıklıkla kullanılan talaşlı imalat yöntemleri esasen bu tür aşınma esas alınarak yapılmaktadır. Yani, sert parçacıkların yumuşak metale batması da abrasiv aşınmaya neden olabilmektedir. Buna örnek olarak, herhangi bir sisteme dışardan gelen ve sistemi etkileyen kum ve benzeri parçacıkların veya bir motordaki yanma ürünlerinin neden olduğu aşınma örnek verilebilir. Bu tip aşınmada sert ve keskin partiküller, malzeme yüzeyinden mikron boyutunda talaş kaldırarak aşınma kayıplarının oluşmasına neden olurlar. Bu tipteki aşınma, iki elemanlı ve üç elemanlı olmak üzere ikiye ayrılır. **Şekil 9 ve 10** da iki ve üç elemanlı abrasiv aşınma mekanizaları verilmektedir.



Şekil 9. İki elemanlı abrasiv aşınma mekanizmasının şematik gösterimi (Duman, 1999).



Şekil 10. Üç elemanlı abrasiv aşınma mekanizmasının şematik gösterimi (Duman, 1999).

İki elemanlı abrasiv aşınma, sürtünen elemanların direkt olarak birbirleriyle etkileşimleri sonucu meydana gelir. Üç elemanlı abrasiv aşınmada ise, ana ve karşı malzeme arasındaki serbest ara malzeme olabileceği gibi, aşınma sonucu yüzeylerden

ayrılan parçacıkların birer ara malzeme gibi davranmaları sonucu oluşan malzemeler de üçüncü eleman olarak görev yapabilmektedir.

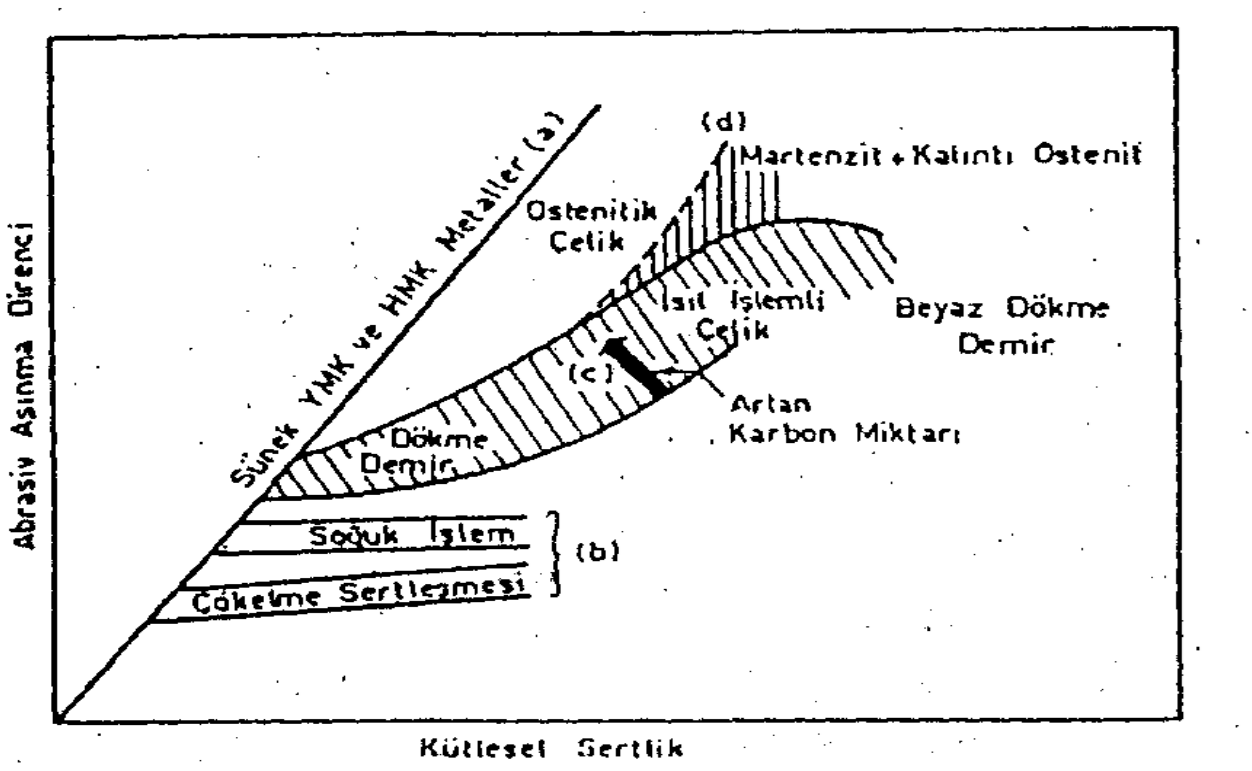
Abrasiv aşınmayı etkileyen iki temel faktör bulunmaktadır. Birincisi aşındırıcı partikül ile metal yüzeyi arasındaki sertlik farklılığı, ikincisi ise temas esnasında meydana gelen basınç büyüklüğüdür. Abrasiv aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden normal yük azaltılarak düşürülebilmektedir. Bu sayede, parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırması açısından daha az miktarda iz bırakması sağlanabilmektedir.

Genel olarak abrasiv aşınma türleri üç ana grupta toplanmaktadır Birincisi oymalı sürtünme aşınması, ikincisi öğütmeli sürtünme aşınması ve üçüncüsü de erozyondur. Çoğunlukla bu aşınma türlerinin birbirlerine benzemelerine rağmen, tek tek incelendikleri zaman, birbirlerinden önemli farklılıklara sahip oldukları anlaşılmaktadır (Duman, 1999).

Oymalı sürtünme aşınması, kütlesel bir şekilde yüzeyin deformasyonu sonucunda oluşan bir aşınma türüdür. Aşırı yüklemelerin etkisi ile oluşan oymalı sürtünme aşınmasına örnek olarak, ağır çalışma şartlarında kullanılan kazıcı, kırıcı gibi maden araçlarında görülen aşınmalar verilebilir

Öğütmeli sürtünme aşınması, iki yüzeyin bir biri üzerinde hareket etmesi neticesinde ortaya çıkar ve ara bölgede abrasiv yaslanmış parçacıklar bulunmaktadır. Bu ara bölgede yer alan taneler, ya bir yüzeyden aşınarak gelmekte ya da her iki yüzeyin birlikte aşınması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Abrasiv aşınma, keskin köşelere sahip yüzeye yük uygulaması durumunda parçanın yüzeyini kazıyarak veya kaldırarak parçalar koparmasıyla kayıplara neden olmaktadır. Örnek olarak ise bilyalı değirmenlerde meydana gelen aşınmalar gösterilebilir. Erozif aşınma, aşındırıcı tozların askıda durduğu sıvı veya hava gibi akışkan bir ortamın malzeme yüzeyine çarpma etkisi yapmasıyla gerçekleşmektedir. Her bir temas malzeme yüzeyinden küçük bir parçanın kaybına ve hasar oluşmasına neden olmaktadır. Normal şartlar altında aşınma hızı düşük olan bir aşınma türüdür. Ancak, yüksek sıcaklıklarda, malzemenin akma dayanımı düştüğü için daha yoğun akış hızlarında erozif aşınma, hız kazanmaktadır. Bazı durumlarda malzeme yüzeyinin tamamını korozyon ürünleri kaplayabilmektedir. Bu duruma erozyonun korozyon etkisi de denilmektedir. Örnek olarak gemi pervanelerinde meydana gelen aşınma verilebilir.

Malzemelerin abrasiv aşınma direnci, **Şekil 11** de görüldüğü üzere, kütlesel sertlikten önemli derecede etkilenmektedir. Artan sertlikle abrasiv aşınma direncinin artmasına rağmen, sünek ve gevrek malzemeler bu durumdan farklı olarak farklı aşınma davranışına sahiptirler (Anık vd., 1999). Tek fazlı sünek malzemelerde aşınma yüzeyinin yüksek plastik deformasyona uğraması, aşınma direncinin kütlesel sertlikten daha çok yüzeysel sertliğe bağlı olmasına neden olmaktadır. Bu durumda, sünek malzemelerin deformasyon sertleşmesi özellikleri önemli olup, yüksek abrasiv aşınma direnci açısından deformasyon sertleşmesi üssü (n) değerinin yüksek olması istenen bir durumdur. Malzeme sertliğinin arttırılması, tane boyutunu küçültülmesi, soğuk işlem uygulanması, çökelme sertleşmesi veya dispersiyon sertleşmesi yapılması halinde ise, aşınma direncinde açık bir şekilde artış olmaktadır. Hatta bu işlemlerde malzemenin gevrekleşmesi aşınma direncinin bir miktar azalmasına da neden olabilmektedir. Su verilmiş ve menevişlenmiş çelikler, martensitik ve küresel mikroyapıya sahip malzemeler, aynı sertlikteki sünek malzemelerden daha düşük aşınma direncine sahip olabilmektedirler. Bu durumun nedenleri aşınma ve kırılma mekanizmaları arasındaki farklılıklar ve martensitik ve küresel mikroyapıya sahip malze-



Şekil 11. Kütlesel sertliğin abrasiv aşınma direncine etkisinin şematik gösterimi (Anık vd., 1999).

melerin sünek malzemelere oranla daha düşük deformasyon sertleşmesi üssü (n) değerine sahip olmalarıdır. Ayrıca, bu tip malzemelerde sünekliğin azalmasıyla, aşınma direncinde azalma da görülebilir. Östenitik çeliklerde ise, yüzeyin deformasyonla martenzite dönüşmesi aşınma direncinin artmasına sebep olmaktadır (Çimenoğlu ve Kayalı, 1991).

Abrasiv Aşınmanın Engellenmesi Ve Azaltılmasında Kullanılabilecek Yöntemler

- **Yüzey Sertliğini Artırmak**

Abrasiv aşınmanın engellenmesinde veya aşınma hızının azaltılmasında en faydalı metot, malzeme yüzey sertliğini arttırmaktır. Fakat; bu yöntemin bazı malzemelere uygulanmasıyla çok daha büyük problemlerle karşılaşılabilir. Örneğin, bıçaklarda ve bunlara benzer kesici takımlarda malzeme sertliğinin arttırılması, körlemeye karşı direnci arttıracaktır. Ancak bu esnada, malzemenin gevrek olarak kırılma riskini yükselecektir.

Malzemenin sertliğiyle ana malzemenin içerdiği alaşım elementlerinin cinsi ve miktarları arasında sıkı ilişki vardır. Genelde mevcut olan bu alaşım elementleri malzemenin mukavemetini ve sertliğini arttırırlar (Larsen, 1990).

- **Abrasiv parçacıkları uzaklaştırmak:**

Abrasiv aşınmaya neden olan sert partiküllerin sistemden uzaklaştırılması ile abrasiv aşınma engellenebilir. Bu amaçla, abrasiv aşınmanın meydana gelebileceği ortamlarda kullanılan hava, su ve yağlarda bulunan partiküller filtre edilerek sistemden uzaklaştırılırlar.

-**Aşınmış Parçaları Değiştirmek:**

Aşınmış parçaları değiştirmek, abrasiv aşınmaya maruz kalacak parçanın kolay bir şekilde değiştirilmesine imkân verecek dizaynların yapılması ile pratikte en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Fakat; dizayn parçanın zor değişmesi (parçaya erişememe), değişen parçanın maliyetinin yüksek olması ya da değişim zamanının uzun olduğu durumlarda bu yöntemin uygulanması mümkün değildir (Kayalı vd,, 1997).

1.1.2.4. Aşınma Ölçüm Metotları

Makina parçalarının hızlı aşınması hem malzemelerin ömrünü kısaltmakta, hem de maliyeti artırmaktadır. Tamir için geçen süre de üretimi büyük ölçüde aksatmaktadır. Malzemelerin kullanım ömürlerinin arttırılması aranan bir özelliktir. Bu nedenle makine parçalarının yapımında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınmaya karşı dirençli malzemelerin kullanılması gerekir. Uygun malzemelerin tespit edilmesi laboratuvarlarda çeşitli deneyler yapmak suretiyle mümkün olabilmektedir. Bu deneylerde, kullanılması düşünülen malzemenin örnekleri üzerinde çalışmalar yapılır. Örnekler genellikle basit düzeneklerle hazırlanır. Üretim maliyetleri çok fazla değildir. Hazırlanan numuneler belirlenen aşınma deney düzenekleri ile çeşitli aşınma ölçme işlemlerine tabi tutulurlar. Aşınma deney düzenekleri çok farklı geometrilerde ve şekillerde oluşturulabilir.

Hazırlanan deney düzenekleri çoğu zaman aşınmanın nasıl gerçekleştiğini değil de ortam şartlarına göre nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır.

Birçok aşınma deney sistemleri içerisinde abrasiv aşınma içinde en çok tercih edilen ve kullanılan yöntem, pin-on-disc yöntemidir. Aşınma testlerinde; ağırlık farkı, kalınlık farkı, radyoizotop ve iz değişimi gibi aşınma ölçüm metotları tercih edilir. En çok kullanılan yöntem ise ağırlık kaybına bağlı olarak ölçüm metodudur (Karamış, 1985; Çöğür, 2007).

1- Ağırlık kaybı yöntemi

Bu yöntem; diğer yöntemlere göre düzeneğin basit hazırlanabilmesi, ekonomik olması, ölçme cihazının hassasiyetinin yüksek olması nedeniyle aşınmadan kaynaklanan farkların daha detaylı bir şekilde tespit edilebilmesi gibi özelliklerinden dolayı deneylerde en fazla kullanılan yöntemdir. Bu yöntemin tek negatif tarafı ise, deney numunesinin her ölçümden sonra yerinden çıkarılıp tekrardan ölçüm yapılmasıdır.

Bu deneyin temelini aşınmadan dolayı ortaya çıkan malzemedeki ağırlık kaybı oluşturmaktadır. Bu nedenle 0,0001 gr duyarlılıkta oldukça hassas bir terazi kullanılır. Aşınma miktarı gram ya da miligram, aşınma yolu da metre ya da kilometre cinsinden tespit edilebilir. Aşınma kaybı hacimsel olarak hesaplanabildiği gibi, birim alandaki hacim kaybı olarak da hesaplanabilir.

Ağırlık kaybı ölçme yönteminde aşınma oranı (Wa), aşınma direnci (Wr) gibi benzer bağıntılar kullanılır. Aşınma oranı kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılarak birim yol ve birim yükleme ağırlığına denk gelen hacim kaybından gidilerek bulunabilir (Ay, 2003; Çöğür, 2007).

Bu verilerin ışığı altında en çok kullanılan ağırlık kaybı ölçme metodunda kullanılan formül aşağıdaki gibidir (Ay, 2003; Çöğür 2007);

Wa = AG /d.M.S (mm^3/Nm). Burada;

Wa: Aşınma oranı (mm /Nm)

AG: Ağırlık kaybı (mg)

M: Yükleme ağırlığı (N)

S: Aşınma yolu (m)

d: Cismin yoğunluğu (gr/cm^3) olarak verilmiştir.

Aşınma oranının (Wa) tersi aşınma direncini (Wr) verir.

Wr = 1 / Wa (Nm/mm^3)

2- Kalınlık farkı yöntemi

Aşınma tamamlandıktan sonra oluşacak boyut ile ilk boyutunun karşılaştırılması ile sonuç elde edilir. Kalınlık farkı yönteminde ± 1 um hassasiyetinde çalışıldığında verim alınmış olunur. Bu yöntem kullanım zorluğundan nedeniyle pek tercih edilmez (Ay, 2003; Çöğür 2007).

3- İz değişimi yöntemi

Sürtünme bölgesinde plastik deformasyon ile geometrik bir iz oluşturulur. Oluşan bu izin oluşturulması Vickers ya da Brinell sertlik ölçme ucu vasıtasıyla elde edilir. Deney

boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun farklılıkları ve değişimleri ölçülür. Elmas piramit ya da bilyenin oluşturduğu iz boyutlarındaki değişim mikroskop altında ölçülerek aşınma belirlenir. (Yıldırım 1999; Çöğür 2007).

4- Radyoizotop yöntemi

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü atom parçacıklarıyla bombardıman edilmesi ve radyoaktif hale getirilmesi bu yöntemin ana hatlarını oluşturur. Aşınma değeri büyük duyarlılıkla ölçülebilir. Çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi bu yöntemin en büyük artısıdır. En büyük dezavantajı ise, aşınma deneyleri için maliyetli bir yöntem olmasıdır. Bu yöntem çok özel durumlar dışında yaygın olarak kullanılmaz (Yıldırım, 1999; Çöğür, 2007).

1.2. Sert Dolgu Kaynağı

1.2.1. Sert Dolgunun Tanımı

Kaynak teknolojisinin önemli bir bölümünü oluşturan metal ve alaşımları, farklı ortamlarda farklı amaçlar için kullanılırlar. Metal yüzeylerinin dış ortamlardan korunması veya kullanım alanına göre; maruz kaldığı yorulma, sürtünme ve aşınmaları ortadan kaldırmak veya asgariye indirmek amacıyla çeşitli yüzey işlemlerine ve üretim yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Çay vd., 2004; Yıldız vd, 2007).

Sert dolgu, aşınmaya karşı daha kaliteli yüzeyler oluşturmak veya parçaları orijinal boyutlarına getirilebilmek için metal parçaların yüzeylerinin farklı kaynak yöntemleri kullanarak özel alaşım elementleri ile doldurulmasıdır. Metalik malzemeler birçok farklı nedenle aşınırlar. Sert dolgu, metal parçaların çalışma ömürlerini arttırmak için aşınma direnci yüksek yüzey oluşturmakta düşük maliyetli bir metottur. Faydalarının içinde daha az parça değişim ihtiyacı, bakım süresinin azalması, ana parçanın ekonomik malzemelerden yapılabilirliği, sökme takma süresinin azalması, stok bulundurma miktarlarının azalması ve genel maliyetlerin azalması vardır. Sert dolgu genel olarak tamir veya bakım operasyonunun bir parçasıdır (Cavcar,1998a).

Tamir veya hasar görmüş kısımların tamamlanması amacıyla yapılan doldurmada dolgu malzemesi, esas metale çok yakın veya aynı bileşimdedir. Esas metale yeni özellikler kazandırmak üzere yapılan doldurmalarda, dolgu malzemesi farklı kompozisyondadır. Ana metale verilecek yeni özellikler şunlar olabilir

- Sertlik
- Sıcak haldeki sertlik
- Aşınmaya karşı dayanıklılık
- Abrasiv aşınmaya dayanıklılık
- Korozyona dayanıklılık
- Sıcak halde oksidasyona dayanıklılık
- Darbelere dayanıklılık (Anık ve Vural,1991).

Sert dolgu alaşımları, her türlü metal malzemenin ihtiyaç duyduğu aşınma dayanımını karşılayacak geniş bir yelpazeye sahiptir. Dolgu malzemelerinin büyük çoğunluğu, yüksek sertliğe sahiptir. Bu nedenle, yöntem sert dolgu kaynağı olarak adlandırılır. Dolgu alaşımlarının çok az kısmı ise yumuşak bir matrise ve bu matris içinde abrasiv dayanım etkisi yapabilecek parçacıklara sahiptir. Alaşımların bir kısmı sert dolgu tabakası sağlamak, bir kısmı ise parçaları orijinal boyutlarına getirmek amacı ile geliştirilmiştir (Anık, 1991; Cavcar, 1998a).

Aşınan parçaların sert dolgu kaynağı ile onarımı genellikle aşağıdaki üç aşamayı içerir:

1. **Dolgu:** Aşırı şekilde aşınan parçaların (veya bölgeler), tok, çatlama direnci yüksek ve üst üste çok sayıda paso yapılabilecek kaynak malzemeleri ile çalışma şartlarına benzer şekilde doldurulmasıdır (Cavcar, 1998a). Dolgu, istenen özellikler veya boyutlar elde etmek için bir metalin yüzeyine dolgu metali ile doldurmak şeklinde tanımlanır. Yapılan işlem, genellikle kullanım ömrü bitmiş ve mühendislik açısından fayda sağlamayan bir parçanın ömrünü uzatmak veya korozyona uğramış metalin yerine kullanmak için kullanılır. Dolgu, tamamen sağlamlık özelliklerine sahiptir (Özsaraç, 2005).
2. **Tampon Paso:** Ana metalin veya kaynak metalinin karbon veya alaşım içeriğini seyreltmek için amacıyla yapılan işlem basamağını oluşturur.
3. **Sert Dolgu:** Dolgunun abrasiv aşınma dayanımına yardımcı olduğu durumlarda bu olay genellikle sert dolgu olarak ifade edilir (Özsaraç, 2005). Ana metal ve dolgu kaynakları üzerine ark kaynağı ile elde edilen aşınmaya dirençli yüzeyler çalışma ömrünü birkaç kat uzatır. Sert dolgu, genelde bir, iki veya üç paso ile sınırlıdır. Sert dolgu, metal-metale sürtünme, abrazyon, darbe, darbe artı abrasiv aşınma içeren her türlü ciddi aşınma şartlarında parçaları korumak ve malzeme ömürlerini uzatmak için uygulanabilir. Sert dolgu çimento sanayisinden demir-çelik sanayisine kadar pek çok alanda kullanılmaktadır (Cavcar,1998a).

1.2.2. Sert Dolgu Uygulamaları

Kaynak yöntemiyle yapılan sert dolgu kaplamalar endüstride sadece malzemelerin servis ömürlerini iyileştirmede değil, aynı zamanda yüzeyi bozulmuş parçaları yenilemede de kullanılır. Bu sayede mühendislik malzemelerinin maliyeti düşer. Sert dolgu kaplama uygulamaları pek çok endüstri dalında kullanılmakla beraber, aşağıda en çok kullanılan alanlar verilmiştir. (Clark, 1981).

a)- Maden ve mineral işleme endüstrisi

b)- Metalurjik uygulamalar

c)- Tarımsal aletler

d)- Şeker endüstrisi

e)- Çimento endüstrisi

f)- Elektrik santralleri

Maden ve Mineral İşleme Endüstrisi

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

Maden endüstrisinde çalışma şartları, toprağın delinmesi ve bölgeden uzaklaştırılmasıyla başlamaktadır. Bu doğrultuda çeşitli deliciler, çekiciler ve kamyonlar kullanılmaktadır. Kullanılan bu ekipmanlar ve makineler toprak, taş ve benzeri çeşitli abrasiv aşındırıcılara maruz kalarak aşınmaya uğrarlar. Aşınmış parçaların yenisiyle değişmesi büyük mali kayıplara neden olur. Bu nedenle bu ve benzer malzeme yüzeylerinin sert dolgularla kaplanması aşağıda belirtilen artıları sağlamaktadır:

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

Maden ve mineral endüstrisinde en fazla krom içerikli beyaz dökme demir sert dolgu kaplama yapılmaktadır. Bu alaşımlar östenitik matris yapısı içerisinde çökelmiş krom karbür takviye yapısıyla iyi bilinen malzemelerdir. Aşınmaya, erozyona ve korozyona karşı dayanım matris ve karbür karakterine bağlı olarak değişmektedir. Krom karbürdeki

krom içeriği östenit matris fazın içerdiği kromdan daha fazla olduğu için, krom karbür abrasiv aşınma direncini güçlü bir şekilde arttırmaktadır (Chandle,2001).

Metalurjik İşletme (Demir-Çelik Fabrikası)

Metalurjik işletmelerde aşınmaya maruz kalan birçok bileşen mevcuttur. Taşıyıcı rulolar, kömür kırıcıları, kırıcı çeneleri, değirmenler, besleme kanalları, taşıyıcı tekerlekleri, hadde ruloları ve sürekli döküm ruloları gibi ağır yükler altında çalışan parçalarda aşınma meydana gelmektedir. Çelik mil ruloları ve sürekli döküm rulolarının yüzeyleri başarılı bir şekilde sert dolgularla kaplanarak kullanım ömürleri arttırılmaktadır. Çelik mil ruloları birincil rulolar ve ikincil rulolar şeklinde sınıflandırılır. Birincil rulolar slab, blum ve kütük üretiminde kullanılan rulolardan oluşmaktadır. İkincil rulolar ise üretimin orta ve son basamağında kullanılan rulolardır. Haddelemede son şekli veren rulolar hariç, diğer ruloların yüzeyleri sert dolgularla kaplanmakta ve tamir edilebilmektedir. Son şekli veren rulolar dökme demir ya da yüksek alaşımlı çeliklerden üretildiği için bu tip malzemelere kaynak işleminin uygulanması zordur. Demir çelik endüstrisinde kullanılan ruloların sert dolgularla kaplanması işleminde tozaltı kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Sürekli dökümde kullanılan ruloların yüzeyleri tozaltı kaynak yöntemi vasıtasıyla %12 krom içerikli Fe-C-Cr alaşımıyla sert dolgu olarak kaplanmakta ve kullanım ömrü 2,5 kat artmaktadır (Stanley, 1994).

Demir-çelik üretiminde kullanılan ruloların tamiri öncesinde detaylı bir yüzey hazırlığı gerekmektedir. Kaynaklanacak yüzey, yeterince temizlendikten sonra, uygun ön ısıtma yapılmalı ve sert dolgu kaplama işlemine geçilmelidir. Kaplama en az üç farklı katmandan oluşmakta ve son pasoda sert dolgu kaplama yapılmaktadır (Oates Ve Saitta, 2000).

Tarımsal Aletler

Tarımsal aletler göz önünde bulundurulduğunda sert dolgunun faydalı olabileceği birçok tarımsal alet vardır. Bu alanda aşınma tipleri abrasiv, darbe ya da adhesiv olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat, abrasiv aşınma tarımsal aletlerde en fazla karşılaşılan aşınma türüdür. Pulluklar, diskler, kulvatör, hendek açma makineleri ve benzeri aletlerin yüzeyleri sert dolgularla kaplanmaktadır. Tarımsal aletlerin birçoğu düşük gerilimli abrasiv aşınmaya

maruz kalır. Bu nedenle, bu uygulamalar için en uygun sert dolgu kaplama alaşımları karbürlerle desteklenmiş çelik matrisli alaşımlardır. Tarımsal aletlerin sert dolgularla kaplanması onların kullanım ömürlerini 2 veya 3 kat daha fazla arttırmaktadır (Davis,1993).

Şeker Endüstrisi

Şeker endüstrisinde kullanılan malzemeler hem ark sprey hem de ark kaynak yöntemi kullanılarak hem korozyondan hem de aşınmadan korunmaktadır. Bu şekilde üretim verimi artmakta, zaman kaybını azalmakta ve maliyetini düşmektedir. Şeker endüstrisinde kullanılan oldukça pahalı ruloların yatakları yüksek kromlu çelik alaşımları içeren sert dolgularla kaplanmaktadır. Yataklama blokları ve yükleme blokları ise çapsal bütünlüklerini korumak için alüminyum bronzu ile kaplanmaktadırlar (Davis, 1993).

Çimento Endüstrisi

Çimento üretiminin farklı üretim basamaklarında kullanılan ekipmanlarda farklı aşınma tipleri görülmektedir. Bu parçalar uygun bir sert dolgu kaplama alaşımı ile kaplandığında kullanım ömrü arttığı gibi, aynı zamanda tamirat işlemi de azalarak zaman kaybı asgariye inmektedir. Bir çimento işletmesinde ham maddelerin kırılması, kalsinasyon ön işlemleri, yakma, soğutma, boyutlandırma ve taşıma gibi işlem basamakları mevcuttur. Kırıcı çekiçler darbeli aşınmayla birlikte yüksek gerilmeli abrasiv aşınmaya da maruz kalmaktadır. Yüksek sıcaklık adhesiv aşınması ile karşı karşıya gelen diğer önemli parçalar fırın içerisindeki hareketli tekerler ve fırının destek rulolarıdır (Davis, 1993).

1.2.3. Sert Dolgu Alaşımları

Yapılan sert dolgu kaplamadan maksimum ölçüde yararlanabilmek için sert dolgu alaşımını doğru seçmek gerekir. Piyasada değişik ticari isimler altında pek çok sert dolgu alaşımları bulunmaktadır. Bir sert dolgu kaplama alaşımından bütün aşınmaları önlemesini beklemek hatalı olur. Kimyasal kompozisyon, mikroyapı ve sertliğe bağlı olarak her bir sert dolgu kaplama alaşımı belirli çalışma şartları için nitelikli performans gösterebilir. Sert dolgu alaşımları demir esaslı ve demir dışı alaşımlar olarak ikiye ayrılır. Demir esaslı alaşımlar şu şekilde sıralanabilir; perlitik çelikler (alaşım tipi 1), düşük ve orta alaşımlı martenzitik çelikler (alaşım tipi 2 ve 3), östenitik mangan çelikleri (alaşım tipi 4), paslanmaz çelikler (alaşım tipi 5), yüksek alaşımlı yüksek kromlu çelikler (alaşım tipi 6). Demir dışı kaplama alaşımları ise şu şeklide sıralanmaktadır; nikel esaslı alaşımlar (alaşım

tipi 7), kobalt esaslı alaşımlar (alaşım tipi 8) ve bakır esaslı alaşımlar (alaşım tipi 9). En çok kullanılan sert dolgu kaplama alaşımları ve özellikleri **Tablo 4** de verilmiştir (Oates ve Saitta, 2000; Menon, 1996; Davis, 1993).

Demir Esaslı Alaşımlar

Demir esaslı alaşımlar göreceli olarak düşük fiyatlı olmaları ve kolaylıkla uygulanabilir olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılan alaşım gruplarındandır. Demir esaslı alaşımlar düşük alaşımlı çeliklerden yüksek oranda karbür içeren yüksek alaşımlı çeliklere kadar geniş bir kullanım sahasına sahiptir. Yüksek alaşımlı çelikler %50 oranına kadar alaşım elementi içerebilmelerine rağmen, genellikle %20'den daha az alaşım elementi içermektedirler. Genel olarak kullanılan demir esaslı alaşımlar perlitik çelikler, martenzitik çelikler, paslanmaz çelikler, östenitik manganlı çelikler ve yüksek karbonlu yüksek alaşımlı çelikler şeklinde sıralanabilir (Oates ve Saitta, 2000).

Perlitik çelikler kısmen düşük karbon (%0.45) ve sınırlı miktarda da diğer alaşım elementlerini içerir. Bu tipteki çeliklerde kullanılan alaşım elementleri mikroyapıyı perlitik yapmaktadır. Bu alaşımlar daha çok aşınan parçaların esas boyutlarına kavuşturulmasında kullanılmaktadır. Bu gruptaki alaşımlar yüksek tokluk, orta derecede sertlik ve yüksek kaynak yeteneğine sahiptir. Kırıcı çeneler ve çekiçler gibi parçalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Chandal, 2001)

Martenzitik sert dolgu kaplama çelikleri dolgu işleminden sonra havada soğuduğunda martenzit oluşabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Bu gruptaki malzemeler orta düzeyde tokluk, iyi abrasiv aşınma direnci ve yüksek adhesiv aşınma direncine sahiptir. Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı (%5'ten az) martenzitik kaplama alaşımları sade karbonlu çelik ve düşük alaşımlı çeliklerin tamir ve sert dolgu kaplama işlemlerinde kullanılmaktadır. Toprak kazıcıları ve toprak delicileri sert dolgu alaşımlarının kullanıldığı parçalara örnek olarak gösterilebilir. Bu alaşımlarda karbon miktarının artmasıyla abrasiv ve adhesiv aşınma direnci artmaktadır (Oates ve Saitta, 2000)

Östenitik ve martenzitik paslanmaz çelikler sert dolgu kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır. Östenitik paslanmaz çelikler hayli yüksek tokluğa sahiptir. Bu alaşımlarla yapılan sert dolgu kaplamaların korozyon dirençleri de oldukça yüksektir. Buhar ve basınçlı borular ve türbin kanatçıkları bu tip alaşım elemanlarının kullanıldığı

Tablo 4. En çok kullanılan sert dolgu alaşımları ve özellikleri.

	Kaplama alaşımı	Özellikler	Uygulama örnekleri
1	**Perlitik çelikler**	Ucuz, yüksek darbe dayanımı, orta derecede aşınma direnci, mükemmel kaynak kabiliyetine sahiptir	Kırıcı çenelerinin tamirinde, öğütücü değirmenleri çekiçlerinde kullanılır
2	**Martenzitik çelikler (Düşük karbonlu)**	Orta derecede darbe dayanımı, nispeten yüksek abrasiv aşınma dayanımı ve iyi metal-metal aşınma dayanımı vardır	Karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin yüzey kaplanması ve tamiratında kullanılır. Uygulamaların bazıları kepçe tırnakları, kovanlar, pompalardır
3	**Martenzitik çelikler (Yüksek karbonlu)**	Karbon ve alaşım elementindeki artış abrasiv aşınma dayanımını arttırır. Yüksek termal şok direnci ve orta derecede korozyon direncine sahiptir	Bu alaşımlar metal-metal tipi aşınma uygulamaları, ve çoğunlukla hadde merdanelerinin kaplanmasında kullanılır
4	**Östenitik manganlı çelikler**	Oda sıcaklığında östeniti muhafaza edecek miktarda mangan içerir. Çalışma sertleşmesi gösterir.	Değirmen astarları, öğütücü çeneler, raylar gibi yüksek darbeye maruz kalan parçaların tamirinde kullanılır
5	**Paslanmaz çelikler**	Mükemmel korozyon dayanımı ile yüksek sıcaklık dayanımı vardır	Petro-kimya ve gıda endüstrisinde kullanılır
6	**Yüksek karbonlu ve yüksek alaşımlı çelikler**	Mükemmel abrasiv aşınma direnci sağlayan karbürler, darbe dayanımı gerektiren sert çelik matrislerin üretiminde kullanılır	Tarımsal uygulamalar, toprak taşıma ekipmanları, madencilik ve mineral üretim endüstrisinde kullanılır
7	**Nikel esaslı alaşımlar**	İyi abrasiv dayanımı ile korozyon dayanımını arttırır. Krom karbür gibi mikro bileşenler tarafından sertleştirilir.(Bor ve silikat)	Nükleer santral bileşenleri, valfler ve nükleer reaktör valflerinin yataklarında kullanılır
8	**Kobalt alaşımları**	Aşınma dayanımına, korozyon ve yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir. Metal-metal kayma aşınma direnci ve çukurlanma erozyonu dayanımı için uygundur	Motor valfleri, yemek üretme endüstrisi, güç santralleri bileşenlerinde, kimya ve petrol-kimya endüstrileri gaz türbinlerinde kullanılır
9	**Bakır alaşımları**	Çinkonun bakır alaşımları;Al, Ti ve Si korozyonu ve metal metal aşınma direnci gibi durumlarda kullanılır	Pompa pervaneleri, savaş gemilerinin pervanelerinde ve yataklarda kullanılır

.

uygulama alanlarına örnek olarak gösterilebilir. Martenzitik paslanmaz çelik sert dolgu kaplama alaşımlarıyla yapılan kaplamaların yüksek sıcaklık adhesiv aşınma dirençleri de çok yüksektir. Bu gruptaki sert dolgular mükemmel termal şok direncine sahiptir. Martenzitik paslanmaz çelikler en fazla çelik merdanelerin kaplanmasında kullanılmaktadır (Stanley, 1994).

Östenitik manganlı çelikler orta ve yüksek seviyede karbon ve oda sıcaklığında östenit dönüşümüne izin vermeyen yeterli mangan içeriğine sahiptir. Bu alaşımlarla yapılan sert dolgu uygulamalarında dolgu çalışma sertleşmesi göstererek aşınma direncini arttırmaktadır. Bu alaşımlar daha çok demiryolu rayları ve kırıcılar gibi yüksek darbeye maruz kalan parçaların tamir ve bakımında kullanılmaktadır.

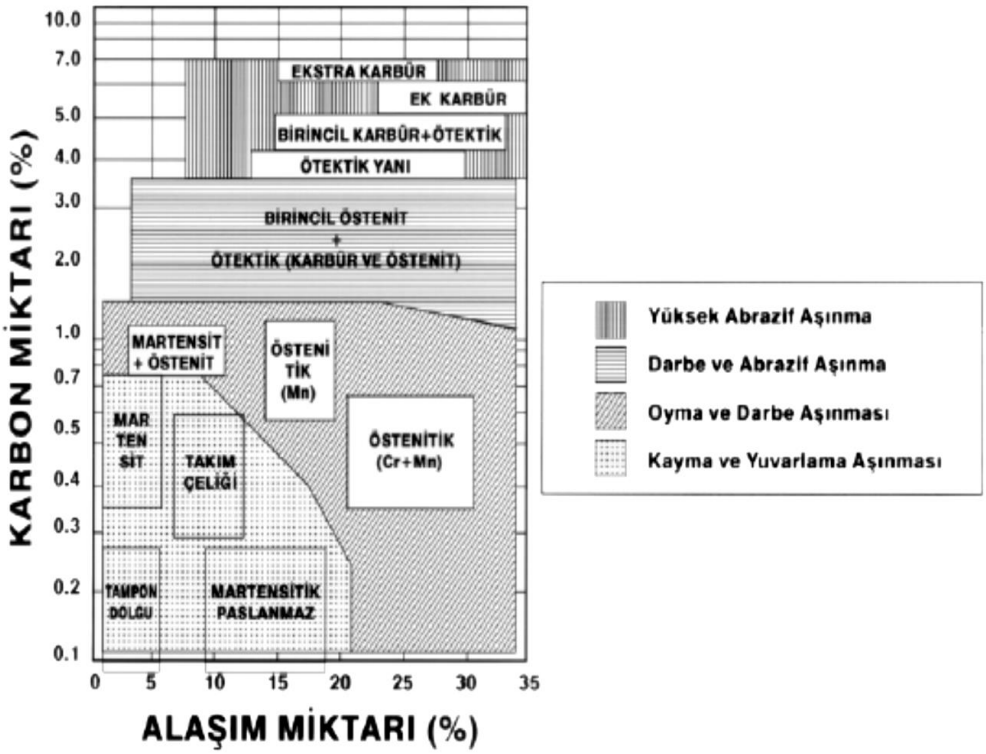
Yüksek karbonlu yüksek alaşımlı sert dolgu kaplama alaşımları sınıflandırılmasında çok sayıda alaşım vardır. Krom karbür, tungsten karbür ve molibden karbür gibi karbür içeren sert dolgu kaplamalar aşınma direncinin aşırı yüksek olması istenilen durumlarda tercih edilmektedir. Sert dolgu kaplamanın sertliği arttıkça aşınma direnci de artmakta, fakat tokluk düşmektedir. Yüksek krom içeren demir alaşımları % 40'a kadar krom ve % 6'ya kadar karbon içermektedirler. Bu alaşımlarda matris mikroyapısı alaşım elementlerine bağlı olarak östenit, perlit ya da martenzit fazları olabilir. Sertliğin yanı sıra mikroyapı da abrasiv aşınma özelliklerini belirleyen faktörler arasında yer almaktadır. Karbon oranının % 4' ten büyük olması durumunda yeteri kadar birincil karbürler oluşmaktadır. Bu dolguların düşük gerilmeli abrasiv aşınma dirençleri mükemmeldir. Fakat, yüksek gerilimler altında birincil karbürler çatlamakta ve yüzeyden ayrılmaktadır. Bu tip durumlarda titanyum, niyobyum, vanadyum ve tungsten gibi elementlerin karbürleri tercih edilmektedir (Kotecki ve Ogborn, 1995). Bu tipteki alaşımların sert dolgu kaplamaları için örnek uygulamalar tarımsal, maden ve mineral endüstrisinde kullanılan aletler gösterilebilir. Çimento, maden ve metalurji tesislerinde kullanılan parçaların sert dolgularla kaplanmasıyla bu dolguların yüksek darbe-aşınma direncine sahip olması nedeniyle yüksek ömür açısından tavsiye edilmektedir (Yang ve Wang, 1995).

Sert dolgu alaşımlarının karbon ve alaşım elementine bağlı olarak sınıflandırıldığında; demir esaslı sert dolgu alaşımları metalurjik faz ya da mikroyapılara bağlı olarak alt gruplara bölünebilmekte ve her farklı gruptaki alaşım belli bir aşınma türüne, diğerlerine göre daha fazla direnç gösterebilmektedir. Bu alaşımlar üç farklı grupta toplanabilmektedir.

- Östenitik alaşımlar,
- Martensitik alaşımlar,
- Karbürlü alaşımlar.

Elektrotlardaki gelişmeler, karşılaşılan spesifik aşınma türüne göre, en yüksek direnç gösterecek malzemenin seçimine olanak sağlamaktadır. Bazı uygulamalarda aşınma türlerinin kombinasyonu da etkili olmaktadır. Örneğin tek bir örtülü elektroda, birincil östenit ile ötektik karbürleri birleştirerek, darbe ve aşınma direnci özelliği kazandırılabilmektedir. Alternatif olarak, manganlı çelik üzerine veya manganlı dolgu kaynağı üzerine bir paso krom-karbür kaynak metali yığılarak darbe ve aşınma direnci özellikleri kazandırılabilmektedir. Bileşik elektrot darbe direncinin daha önemli olduğu durumlarda tercih edilebilirken, östenitik manganlı çelik üzerine krom-karbür malzemede aşınmanın daha önemli olduğu uygulamalarda tercih edilebilmektedir.

Çeşitli elektrotların mikroyapılarına göre uygulama alanları **Şekil 12** de Kotecki diyagramında verilmiştir. Diyagramda karbon miktarı dikey eksende verilirken alaşım miktarı ise yatay eksende verilmiş ve diyagram mikroyapı ve alaşım türüne göre belirli alanlara bölünmüştür. Sert dolgu ürünün, mikroyapısal özelliği ve direnç göstereceği aşınma tipi diyagramdan bulunabilir. Birçok sert dolgu ürünü burada birbiri ile karşılaştırılabilir ve uygulama için en uygun ürün seçilebilmektedir (Cavcar, 1996).



Şekil 12. Demir esaslı sert dolgu alaşımlarının sınıflandırılması (Kotecki diyagramı).

Nikel Esaslı Alaşımlar

Nikel esaslı sert dolgu kaplama alaşımları korozif ortamda abrasiv aşınmanın engellenmesi için geliştirilmiş alaşımlardır. Bu tipteki alaşımlar krom karbür, borür ve silikat partikülleri ile sertleştirilmektedir. Karbür ve borürler aşınma direncini arttırırken, silikatlar ise tokluk özelliklerini geliştirmektedir. Nikel bazlı alaşımların katı çözelti sertleşmesi yöntemiyle mukavemetleri artmakta ve yüksek sıcaklık uygulamaları için tavsiye edilmektedir (Su ve Chen, 1997).

Nikel esaslı alaşımların aşınma karakterleri içermiş oldukları aşınmaya dayanıklı partiküllerin aşınma direncine bağlı olarak değişmektedir. Krom ve karbonun eklenmesi krom karbür çökeltilerinin miktarını arttırmakta ve bu nedenle de aşınma direncini arttırmaktadır. Değişik miktarlarda ve yüzdelerde tungsten karbür içeren nikel alaşımları (Ni-Cr-B) içermeyenlere göre 5 ile 10 kat daha uzun ömre sahip olabilmektedir (Fillion, 1994).

Kobalt Esaslı Alaşımlar

Aşınmaya karşı kobalt esaslı alaşımların kullanımı 1900 yılların başına dayanmaktadır. Parlaklığından dolayı kobalt esaslı malzemeler "stellite" olarak adlandırılmıştır. Kobalta dolgu olarak genel olarak krom ve karbon ilave edilmektedir. Tungsten ise yüksek sıcaklık sertlik özelliklerinin korunması için ilave edilmektedir (Wu ve Redman, 1994).

Yüksek sıcaklık, korozyon ve aşınma üçlüsünün bir arada olduğu uygulamalarda kobalt alaşımları çok iyi sonuçlar vermektedir. Aşınma ve korozyon dayanımına ek olarak kobalt alaşımlarının kavitasyon dayanımları da oldukça yüksektir. Fakat yüksek maliyeti ve radyasyon tehlikeleri nedeniyle benzer direnci gösterecek demir esaslı alaşımlar tercih edilmektedir. Kobalt esaslı alaşımlar lifli yiyeceklere ve kimyasallara karşı yüksek direnç gösterebildiği için bu alanda sıklıkla tercih edilmektedir (Oates ve Saitta, 2000; Davis, 1993).

Bakır Esaslı Alaşımlar

Alüminyum, silisyum, kalay ve çinko içeren alaşımlanmış bakır alaşımları adhesiv aşınma ya da korozyona karşı kaplama amaçlı kullanılmaktadır. Bakır-çinko ve bakır-kalay alaşımlarının sertliği düşük olması nedeniyle yatak kaplama için kullanılmaktadır. Bakır-silisyum alaşımları sadece korozyon direncini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bakır-alüminyum alaşımları ise yüksek sertliğe sahip oldukları için aşınma ve korozyon direncini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır (Mertes, 1995).

1.2.4. Sert Dolgu Alaşımlarının AWS/SFA Normları

Ticari anlamda pek çok sert dolgu kaplama alaşımları bulunmasına rağmen, bunların bir bölümü AWS A5.13-2000'e göre sert dolgu kaplama örtülü elektrotları olarak tanımlanmıştır. Tungsten karbür elektrotlar dışındaki elektrotlar, kimyasal içeriklerine göre sınıflandırılmaktadır. Tungsten karbür elektrotlar ise içermiş olduğu tungsten karbür oranına ve boyutuna göre sınıflandırılmaktadır. Bir sınıflandırmada yer alan elektrotlar başka bir sınıflandırmada yer almamaktadır. AWS A.5.13-2000'e göre elektrotlar demir esaslı kaplama elektrotları, nikel esaslı kaplama elektrotları, kobalt esaslı kaplama elektrotları ve bakır esaslı kaplama elektrotları olarak belirlenmiş ve bu şekilde sınıflandırılmıştır. Bu elektrotların kaynak metali kompozisyonları **Tablo (5-8)** de

verilmektedir. Tungsten karbür sert dolgu kaplama elektrotların içerdikleri karbür boyutu ve karbür bileşimleri **Tablo 9 ve 10** da verilmektedir.

AWS A5.21-2000'e göre örtüsüz çıplak elektrotlar ve çubuklar da sınıflandırmada yer almaktadır. Tungsten karbür elektrotlar dışında, bu elektrotlar kimyasal içeriklerine göre sınıflandırılmıştır. Çıplak elektrotlar ve çubuklar **Tablo 11 ve 12** de verilmektedir. Flaks özlü ve metal özlü kompozit elektrotlar ve çubuklar kimyasal içeriklerine göre sınıflandırılmış olup, bunlar **Tablo 13 ve 14** de verilmektedir. **Tablo 15 ve 16** 'da tungsten elektrotlarla ilgili sınıflandırılma yapılmıştır (Davis, 1993).

Tablo 5. Bazı ticari sert dolgu kaplama alaşımlarının kimyasal içeriği.

Ticari isim	Fe	Co	Cr	Mn	Ni	W	Mo	Si	C	N	B
NOREM 02	Kal.	-	22.5-26	4-5	3.7-4.2	-	1.8-2.2	3.0-3.5	1.1-1.35	0.02-0.18	-
Colmonoy 88	3.5	-	15	-	Kal.	17.30	-	4	0.80	-	3
Dolero 50	4	-	13	-	Kal.	-	-	4	0.60	-	3
Stellite 6	5	Kal.	28	2	0.4	4	-	-	1.1	-	-

Tablo 6. Nikel ve kobalt esaslı sert dolgu kaplama elektrotları ve kaplama kimyasal içerikleri.

AWS sınıfı	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe	W	Co	B	V
ECoCr-A	0.7-1.4	2	2	25-32	3	1	5	3.0-6.0	Kal.	—	—
ECoCr-B	10-17	2	2	25-32	3	1	5	7.0-9.5	Kal.	—	—
ECoCr-C	1.7-3.0	2	2	25-33	3	1	5	11-14	Kal.	—	—
ECoCr-E	0 15-0.40	1.5	2	24-29	2.0-4.0	4.5-6.5	5	0.5	Kal.	—	—
ENiCr-C	0.5-1.0	—	3.5-5.5	12-18	Kal.	—	3.5-5.5	—	1	2.5-45	—
ENiCrMo-5A	0.12	1	1	14-18	Kal.	14-18	4.0-7.0	3.0-5.0	—	—	0.4
ENiCrFeCo	2.2-3.0	1	0.6-1.5	25-30	10-33	70-100	20-25	2.0-4.0	10-15	—	—

Tablo 7. Demir esaslı sert dolgu kaplama elektrotları ve kaplama kimyasal içerikleri.

AWS Sınıfı	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	W	Ti	Fe
EFel	0.04-0.20	0.5-2.0	1	0.5-3.5	—	1.5	—	—	—	Kal.
EFe2	0.10-0.30	0.5-2.0	1	1.8-3.8	1	1	0.35	—	—	Kal.
EFe3	0.50-0.80	0.5-1.5	1	4.0-8.0	—	1	—	—	—	Kal.
EFe4	1.0-2.0	0.5-2.0	1	3.0-5.0	—	—	—	—	—	Kal.
EFe5	0.30-0.80	1.5-2.5	0.9	1.5-3.0	—	—	—	—	—	Kal.
EFe6	0.6-1.0	0.4-1.0	1	3.0-5.0	—	7.0-9.5	0.5-1.5	0.5-1.5	—	Kal.
EFeMn-A	0.5-1.0	12-16	1.3	—	2.5-5.0	—	—	—	—	Kal.
EFeMn-B	0.5-1.0	12-16	1.3	—	—	0.5-1.5	—	—	—	Kal.
EFeMn-C	0.5-1.0	12-16	1.3	2.5-5.0	2.5-5.0	—	—	—	—	Kal.
EFeMn-D	0.5-1.0	15-20	1.3	4.5-7.5	—	—	0.4-1.2	—	—	Kal.
EFeMn-E	0.5-1.0	15-20	1.3	3.0-6.0	1	—	—	—	—	Kal.
EFeMn-F	0.8-1.2	17-21	1.3	3.0-6.0	1	—	—	—	—	Kal.
EFeMnCr	0.2-4.75	12-18	1.3	13-17	0.5-2.0	2	1	—	—	Kal.
EFeCr-AlA	3.5-4.5	4.0-6.0	0.5-2.0	20-25	—	0.5	—	—	—	Kal.
EFcCr-A2	2.5-3.5	0.5-1.5	0.5-1.5	7.5-9.0	—	—		—	1.2-1.8	Kal.
EFeCr-A3	2.5-4.5	0.5-2.0	1.0-2.5	14-20	—	1.5		—	—	Kal.
EFeCr-A4	3.5-4.5	1.5-3.5	1.5	23-29	—	1.0-3.0	—	—	—	Kal.
EFeCr-A5	1.5-2.5	0.5-1.5	2	24-32	4	4	—	—	—	Kal.
EFeCr-A6	2.5-3.5	0.5-1.5	1.0-2.5	24-30	—	0.5-2.0	—	—	—	Kal.
EFeCr-A7	3.5-5.0	0.5-1.5	0.5-2.5	23-30	—	2.0-4^	—	—	—	Kal.
EFeCr-El	5.0-6.5	2.0-3.0	0.8-1.5	12-16	—	—	—	—	4.0-7.0	Kal.
EFeCr-E2	4.0-6.0	0.5-1.5	1.5	14-20	—	5.0-7.0	1.5	—	—	Kal.
EFeCr-E3	5.0-7.0	0.5-2.0	0.5-2.0	18-28	—	5.0-7.0	—	3.0-5.0	—	Kal.

Tablo 8. Bakır esaslı sert dolgu kaplama elektrotları ve kimyasal bileşimi.

AWS sınıfı	Cu	Mn	P	Si	Fe	Al	Zn	Ni	Pb	Sn	Ti
ECuAI-	Kal.	—	—	1.5	0.5-5.0	8,5-11	—	—	0.02	—	—
ECuAl-B	Kal.	—	—	1.5	2.5-5.0	11-12	—	—	0.02	—	—
ECuAl-C	Kal.	—	—	1	30-50	12-13	002	—	0.02	—	—
ECuAl-D	Kal.	—	—	1	30-50	13-14	0.02	—	0.02	—	—
ECuAl-E	Kal.	—	—	1	30-50	14-15	0.02	—	0.02	—	—
ECuSi	Kal.	1.5	—	2.4-4.0	0.5	001	—	—	0.02	1.5	—
ECuSn-A	Kal.	—	0.05-0.35	—	0.25	0 01	—	—	0.02	4.0-6.0	—
ECuSn-C	Kal.	—	0.05-0.35	—	0.25	001	—	—	0.02	7.0-90	—
ECuNi	Kal.	1.0-2.5	0.02	0.5	0.40-0.75	—	—	29-33	0.02	—	05
ECuNiAl	Kal.	0.5-3.5	—	1.5	30-6.0	85-9.5	—	4.0-6.0	0.02	—	—
ECuMnNiAl	Kal.	11-14	—	15	2 0-4.0	7.0-8.5	—	1 5-3.0	0.02	—	—

Tablo 9. Tungsten karbür kompozit elektrotta tungsten karbür boyutu ve miktarı.

AWS sınıfı	Meş boyutu	% ağırlık
EWCX-12/30	12- 30	60
EWCX-20/30	20 - 30	60
EWCX-30/40	30- 40	60
EWCX-40	40	60
EWCX-40/120	40- 120	60

Tablo 10. Kompozit elektrotlarda tungsten karbür içeriği.

Element	Kompozisyon (% ağırlık)	
	WC1	WC2
C	3.6-4.2	6.0-6.2
Si	0.3	0.3
Ni	0.3	0.3
Mo	0.6	0.6
Co	0.3	0.3
W	94 (en az)	91.5 (en az)
Fe	1.0	0.50
Th	0.01	0.01

Tablo 11. Demir esaslı elektrot ve çubuklar ve sert dolgu kaplamada element analizleri.

AWS sınıfı	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	W	Fe
ERFcl	0.04-0.20	0.5-2.0	1	0.5-3.5	—	1.5	—	—	Kal.
ERFelA	0.05-0.25	1.7-3.5	1	0.5-3.5	—	—	—	—	Kal.
ERFc2	0.10-0.30	0.5-2.0	1	1.8-3.8	1	1	0.35	—	Kal.
ERFe3	0.50-0.80	0.5-1.5	1	4.0-8.0	—	1	—	—	Kal.
ERFe5	0.50-0.80	1.5-2.5	0.9	1.5-3.0	—	—	—	—	Kal.
ERFe6	0.6-1.0	0.4-1.0	1	3.0-5.0	—	7.0-9.5	0.5-1.5	0.5-1.5	Kal.
ERFe8	0.30-0.60	1.0-2.0	1	4.0-8.0	—	1.0-2.0	0.5	1.0-2.0	Kal.
ERFcMn-C	0.5-1.0	12-16	1.3	2.5-5.0	2.5-5.0	—	—	—	Kal.
ERFeMn-F	0.7-1.1	16-22	1.3	2.5-5.0	1	—	—	—	Kal.
ERFcMn-G	0.5-1.0	12-16	1.3	2.5-5.0	ı	—	—	—	Kal.
ERFcMn-H	0.30-0.80	12-16	1.3	4.5-7.5	2	—	—	—	Kal.
ERFeMnCr	0.25-0.75	12-18	1.3	11-16	2	2	—	—	Kal.
ERFeCr-AlA	1.5-3.5	0.5-1.5	2	8.0-14.0	—	1	—	—	Kal.
ERFeCr-A3A	3.5-5.5	4.0-6.0	0.5-2.0	20-25	—	0.5	—	—	Kal.
ERFcCr-A4	2.5-3.5	1.5-3.5	0.5-2.0	14-20	—	—	—	—	Kal.
ERFeCr-A5	3.5-4.5	1.5-3.5	1.5	23-29	—	1.0-3.0	—	—	Kal.
ERFeCr-A9	1.5-2.5	0.5.-1.5	2	24-32	4	4	—	—	Kal.
ERFeCr-Al0	3.5-5.0	0.5-1.5	2.5	24-30	—	—	—	—	Kal.

Tablo12. Kobalt ve nikel esaslı çıplak elektrotlar ve çubukların sert dolgu kaplama kompozisyonları.

AWS Sınıfı	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe	W	Co	B	V
ERCoCr-A	0.9-1.4	1	2	26-32	3	1	3	3.0-6.0	Kal.	—	—
ERCoCr-B	1.2-1.7	1	2	26-32	3	1	3	7.0-9.5	Kal.	—	—
ERCoCr-C	2.0-3.0	1	2	26-33	3	1	3	11.0-14.0	Kal.	—	—
ERCoCr-E	0.15-0.45	1.5	1.5	25-30	1.5-	4.5-7.0	3	0.5	Kal.	—	—
ERCoCr-F	1.5-2.0	1	1.5	24-27	21-24	1	3	11-13	Kal.	—	—
ERCoCr-G	3.0-4.0	1	2	24-30	4	1	3	12-16	Kal.	—	—
ERNiCr-A	0.20-0.60	—	1.2-	6.5-14.0	Kal.	—	1.0-3.5	—	—	1.5-3.0	—
ERNiCr-B	0.30-0.80	—	3.0-5.0	9.5-16.0	Kal.	—	2.0-5.0	—	—	2.0-4.0	—
ERNiCr-C	0.50-1.00	—	3.5-5.5	12-18	Kal.	—	3.0-5.5	—	—	2.5-4.5	—
ERNiCr-D	0.6-1.1	—	4.0-6.6	8.0-12.0	Kal.	—	1.0-5.0	1.0-3.0	0.1	0.35-0.60	—
ERNiCr-E	0.1-0.5	—	5.5-8.0	15-20	Kal.	—	3.5-7.5	0.5-1.5	0.1	0.7-1.4	—
ERNiCrMo-5A	0.12	1	I	14-18	Kal.	14-18	4.0-7.0	3.0-5.0	—	—	0.4
ERNiCrFeCo	2.5-3.0	1	0.6-1.5	25-30	10-33	7-10	20-25	2.0-4.0	10-15	—	-

Tablo 13. Kobalt ve nikel esaslı özlü elektrotlar, çubuklar ve kaplama bileşimleri.

AWS Sınıfı	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe	W	Co	B	V
ERCCoCr-A	0.7-1.4	2	2	25-32	3	I	5	30-60	Kal.	—	—
ERCCoCr-B	1.2-2.0	2	2	25-32	3	1	5	7-10	Kal.	—	—
ERCCoCr-C	2.0-3.0	2	2	25-33	3	1	5	11-14	Kal.	—	—
ERCCoCr-E	0 15-0.40	2	1.5	25-30	1.5-4.0	4.5-7.0	5	0.5	Kal.	—	—
ERCCoCr-G	3.0-4.0	1	2	24-30	4	1	5	12-16	Kal.	—	—
ERCNiCr-A	0.20-0.60	—	1.2-4.0	6.5-14.0	Kal.	—	10-3.5	—	—	1.5-3.0	—
ERCNiCr-B	0.30-0.80	—	3.0-5.0	9.5-16.0	Kal.	—	2.0-5.0	—	—	2.0-4.0	—
ERCNiCr-C	0.50-1.00	—	3.0-5.5	12-18	Kal.	—	3.0-5.5	—	—	2.5-4.5	—
ERCNiCrMo-5A	0.12	1	2	14-18	Kal.	14-18	4.0-7.0	3.0-50	—	—	0.4
ERCNiCrFeCo	2.2-3.0	1	2	25-30	10-33	7-10	20-25	20-4.0	10-15	—	—

Tablo 14. Sert bakır esaslı elektrot ve çubukların kompozisyon gereksinimleri.

AWS Class	Fe	Cu	Al	Zn	Si	Pb	Sn	P	Mn
ERCuAl-A2	0.5-1.5	Kal.	8.5-11.0	0.02	0.1	0.02	—	—	—
ERCuAl-A3	2.0-4.5	Kal.	10.0-11.5	0.1	0.1	0.02	—	—	—
ERCuAl-C	3.0-5.0	Kal.	12-13	0.02	0.04	0.02	—	—	—
ERCuAl-D	3.0-5.0	Kal.	13-14	0.02	0.04	0.02	—	—	—
ERCuAl-E	3.0-5.0	Kal.	14-15	0.02	0.04	0.02	—	—	—
ERCuSi-A	0.5	Kal.	0.01	I	2.8-40	0.02	1	—	1.5
ERCuSn-A	—	Kal.	001	—	—	0.02	4.0-6.0	0.10-	—
ERCuSn-D	—	88.5 enaz	0.01	—	—	0.05	9.0-	0.10-	—

Tablo 15. Tungsten karbür çubuk ve elektrotlarda WC granüllerinin miktarı ve meş büyüklüğü.

AWS sınıfı	Meş boyutu	% Ağırlık
(ER/R) WCX-!2/30	12- 30	60
(ER/R) WCX-20/30	20-30	60
(ER/R) WCX-30/40	30-40	60
(ER/R) WCX-40	30- 40	60
(ER7R)WCX-40/120	40- 120	60

Tablo 16. Tungsten karbür granüllerinin kimyasal kompozisyonları.

Elementler	% (Ağırlık)	
	WC1	WC2
C	3.6-4.2	6.0-6.2
Si	0.3	0.3
Ni	0.3	0.3
Mo	0.6	0.6
Co	0.3	0.3
W	94 (en az)	91.5 (en az)
Fe	1.0	1.0
Th	0.01	0.01

1.2.5. Sert Dolgu Uygulamaları için Kaynak Yöntemi Seçimi

Doğru kaynak işleminin seçimi sert dolgu kaplama uygulamalarında başarılı olmak için önemlidir. Dolgu işlemi için birden fazla kaynak yöntemi mevcut olup, her birinin üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Bu nedenle uygulamaya uyumlu en iyi yöntem seçilmelidir.

Sert dolgu işlemi için göz önünde bulundurulması gerekli önemli etkenler aşağıda sıralandığı şekilde verile bilinir;

- Ana metalin çözünürlüğü,
- Kaplama oranı,
- Kaplama verimliliği,
- Otomasyona elverişlilik,
- Sarf malzemelerinin bulunabilirliği,
- Kaplamanın istenilen metalurjik özellikleri karşılayabilmesi,
- Yöntemin esnekliği,
- Ekipman maliyet,
- Kullanıcı kolaylığı.

Bütün sert dolgu kaplama uygulamalarında en önemli faktör ana metalin kaplama içindeki çözünürlüğüdür. Bu çözünürlük değerinin olabildiğince düşük olması istenir. Sert dolgu alaşımları yüksek oranda alaşım elementleri içermesi ve bunların pahalı olması nedeniyle ana metalin olabildiğince sert dolgu kaplama bölgesine az oranda geçip fazla seyreltme yapmaması istenir. Dolgu oranı veya yığılma miktarı sert dolgu kaplama yöntemini seçerken göz önünde bulundurulacak diğer önemli bir faktördür. Özellikle büyük oranlardaki sert dolgu kaplama işlemi için yüksek kaplama oranına sahip yöntemin kullanılması arzu edilmektedir. Yüksek kaplama oranına sahip yöntemle hem sert dolgu kaplama hızı artmakta hem de maliyet azalmaktadır. Birçok sert dolgu kaplama alaşımları bulunmakta ve bunlar farklı formlarda kullanılmaktadır. Bu formlar çıplak tel, özlü tel, döküm çubuğu ve toz halinde olabilir. Bu alaşımların tamamı tel halinde üretilmediğinden, bunların bazıları toz halindedir (Davis, 1993).

1.2.6. Sert Dolgu Kaynak Yöntemleri

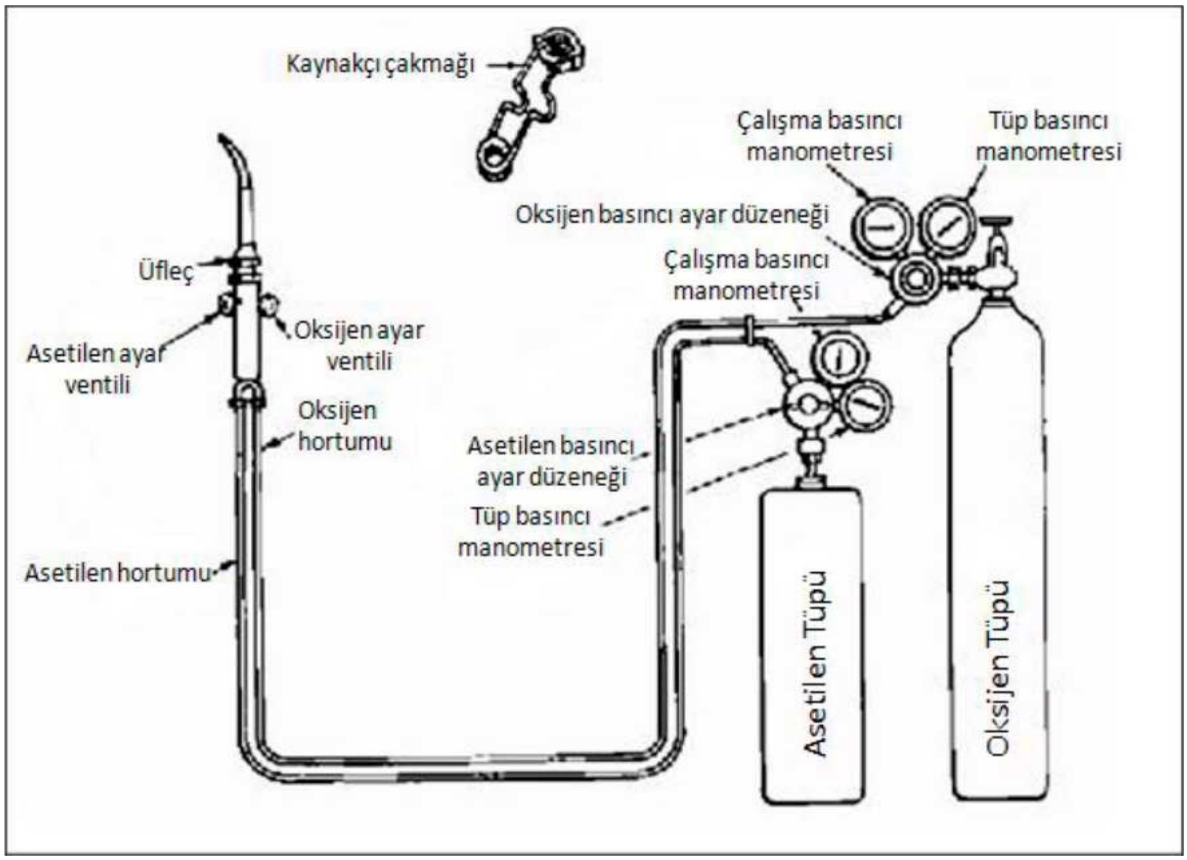
Ergitme kaynak yöntemiyle yapılan sert dolgu kaplamalarda ilave metal ve ana metal beraberce ergimekte ve sert dolgu kaplama tabakasını oluşturmaktadır. Sert dolgu kaplama işleminde birden fazla ergitme kaynak yöntemi mevcuttur. Her bir kaynak yönteminin avantajlarının yanında sınırlayıcı ve kullanımını engelleyen durumlarının da olması nedeniyle, istenilen şartlara göre yöntem seçilmektedir. Kaynak yöntemi ilave metal türünü

ve dolgu verimini belirlemektedir. Sert dolgularda kullanılacak kaynak yönteminin seçiminden önce yöntemin kapasitesi, avantajı ve sınırlayıcı faktörleri değerlendirilip ona göre yöntem belirlenmelidir (Davis, 1993).

1.2.6.1. Oksi-Asetilen Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

Bu yöntemde ısı kaynağı olarak bir alev kullanılır. Alevin oluşturulması ve sürdürülmesi için oksijen gibi bir yakıcı gaz gerekmektedir. Alev, hem esas metali hem de kaynak bölgesine gönderilen çubuk şeklindeki ilave metali ya da tozu eriterek kaynak yapılmış olur. **Şekil 13** de oksi-asetilen kaynak ekipmanı şematik gösterimi verilmektedir.

Oksi-asetilen kaynağı düşük yatırım maliyeti olması ve evrensel bir uygulama kabiliyetine sahip olması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Oksi-asetilen kaynağında, yakıcı gaz olarak genellikle oksijen kullanılır. Yanıcı gaz olarak ise asetilen (C_2 H_2), hidrojen (H_2), metan (CH_4), propan (C_3 H_8), bütan (C_4 H_{10}), propan- bütan karışımı (C_3 H_8 -C_4 H_{10}), havagazı, benzin ve benzol buharı gibi gazlar tercih edilmektedir (Anık,1991).



Şekil 13. Oksi-asetilen kaynak donanımının şematik gösterimi (Anık,1991).

Oksi-asetilen kaynağı ile yapılan sert dolgu kaynağı çok yönlü bir işlemdir. Bu yöntemde birçok toz halindeki alaşımın kullanılması mümkündür. Yöntemin donanımı oldukça basit ve kolaylıkla taşınabilir donanımlara sahiptir (ASM Handbook, 1993).

Oksi-asetilen dolgu kaynağında, yüksek kalitede sert dolgu kaplama elde etmek için kaynakçının becerisi ve tecrübesi çok önemlidir. Çünkü kaynakçı, ilave metal ve üfleç alevini birlikte kullanmak zorundadır. Kaynakçı dolguyu yaparken büyük dikkatle kaynak yapmalıdır. Bu yöntemde, çok küçük alanlar, oluk ve girintiler hassasiyetle doldurulabilir ve çok ince tabakalar düzgün şekilde kaplanabilmektedir (Oğuz, 1993). Buhar valfleri, otomotiv ve dizel motor subapları, odun ve plastik için kesme bıçakları, zincir testere çubukları, saban demirleri ve diğer tarım aletlerinin dolgusu için en uygun ve ekonomik olan yöntem oksi-asetilen kaynak yöntemidir. Sert dolgu kaynağı yapılacak yüzeylerin küçük olması, oksi-asetilen kaynağı ile sert dolgu kaynağı yapılabilmesi açısından oldukça uygundur (Oğuz, 1993).

Yüksek manganlı ve yüksek sülfürlü çelikler dışındaki birçok çelik iş parçası oksi-asetilen kaynağı ile sert dolgu ile kaplanabilir. Yüksek hız çeliklerinde sert dolgu kaynağı yapılmadan önce ön tavlama yapılması gerekmektedir. Dökme demirlerde özel işlemler uygulanarak ve dekapan (koruyucu atmosfer oluşturan sistem) kullanılarak sert dolgu kaynağı yapılması mümkün olmaktadır (ASM Handbook, 1993).

Oksi-asetilen sert dolgu işlemlerinde; gerekli ergime davranışını ve beklenen dolgu metali niteliklerini sağlamak için alev ayarı, çubuk üreticisinin talimatına göre yapılmalıdır. Yüzeye dolgu metallerinin büyük çoğunluğu bir redükleyici alevle uygulanır; bu alev ise karbon kaybını önlemektedir. Redükleyici alev, sert dolgu yapılan yüzeye bir miktar daha karbon geçişi sağlayabilir. Alevin, dolgu metalinin bileşimi üzerindeki etkisi, üretim sırasında kaynak çubuğunun bileşiminin tasarımına bağlı olarak belirlenir (Sağbaş, 2007).

Oksi-asetilen kaynağı ile sert dolgu kaynağı işlemlerinden önce iş parçasına genellikle ön ısıtma yapılması çoğu zaman gereklidir. Bu işlem sayesinde dolguda oluşabilecek olası çatlakların oluşumu önlenmiş olur.

Oksi-asetilen kaynağı ile sert dolgu kaynak işlemlerinde oluşan dolgu düşük oranda seyrelmeye sahiptir. Dolguda olası bazı süreksizliklerin olması muhtemeldir. Bu süreksizliklerin meydana gelmesinde en önemli faktörler kaynakçının kabiliyeti ve dolgu malzemesinin kalitesidir. Oksi-asetilen kaynağı sert dolgu işlemlerinde dolguda gözenek

oluşumu sıklıkla rastlanılan bir hatadır. Yetersiz besleme nedeniyle bu hata meydana gelmektedir. Aynı zamanda katılaşma esnasında ergimiş dolgu içerisindeki gaz miktarı çözünme miktarının üstündeyse sert dolguda gözenekler oluşur (ASM Handbook, 1993).

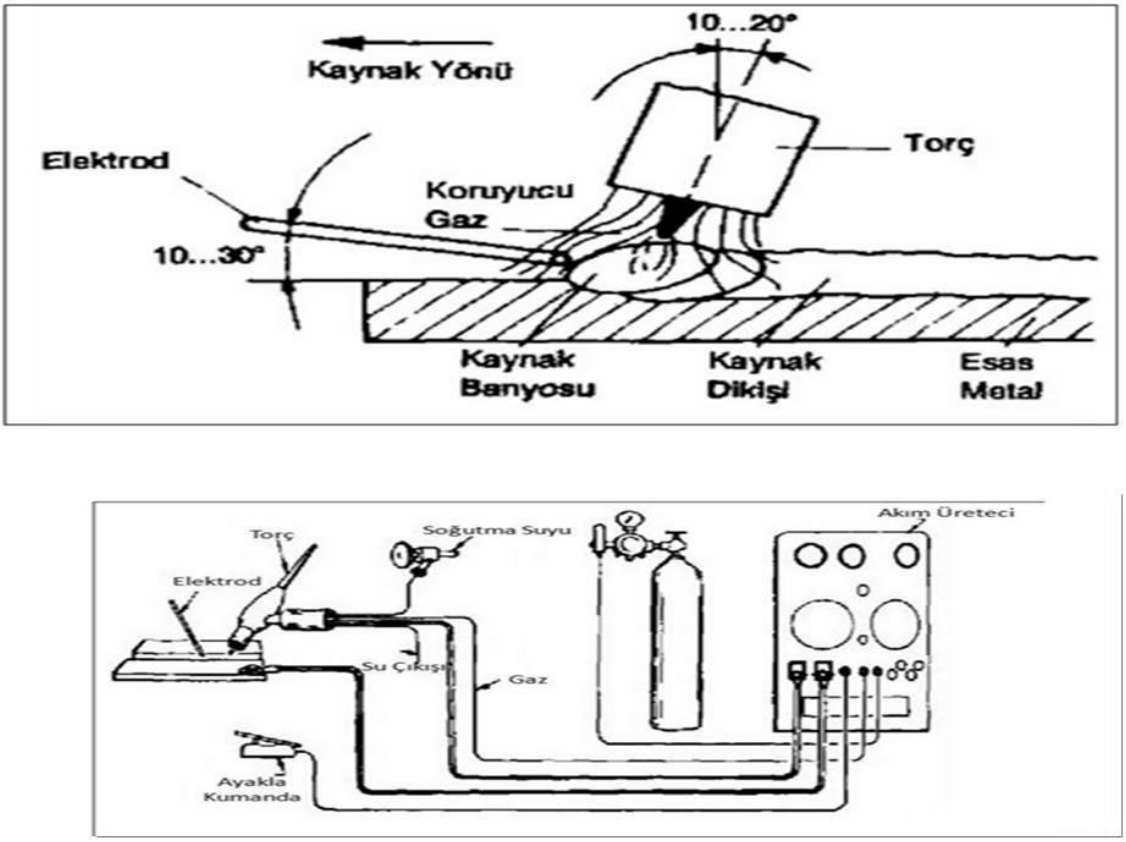
Oksi-asetilen kaynağının bir uygulaması da, bir toz hunisi ve toz sürme kontrolü donatılmış olan bir oksi-asetilen üfleci kullanılarak yapılan sert dolgu uygulamasıdır. Bu dolgu tozu gaz akımı tarafından emilerek ve üflecin ucundan dışarı verilmesi ile karakterize edilir. Bu uygulama sonucunda, yüzeye sadece mekanik olarak bağlanmış püskürtülmüş toz tabakası meydana gelir. Ayrıca; uygun bir teknikle, ana metalin terlemesi ve dolgu alaşımının uygulanmasıyla ile bir ergime bağlantısı elde edilebilir. Yöntemin avantajı kolaylıkla çubuk ve tel haline getirilemeyen birçok alaşım, uygun toz formda kullanılabilmektedir. Bu sayede, düzgün, ince, gözeneksiz sert dolgu kaplamalar yapılabilir ve bu sert dolguların kalınlıkları binde bir inçten 1/8 inç'e kadar olabilmektedir. (Sağbaş, 2007).

1.2.6.2. TİG Kaynak Yöntemi ile Sert Dolgu Kaynağı

TIG kaynağı, esas olarak bir ark kaynak yöntemidir. Özellikle alüminyum, magnezyum, titanyum gibi hafif metallerin kaynak işlemleri için uygundur. 1940 – 1960 yıllarda geliştirilen bu yöntem, günümüzde hala önemli bir kaynak yöntemi olarak kullanılmaktadır (Anık ve Vural, 1991).

TIG kaynak yönteminde elektrik akımı, su ve gazın sürekli aktif olarak kullanılması ve kontrol edilmesi gerektiğinden, bu yöntemde kullanılan donanım, ark kaynağında kullanılanlara göre çok daha karmaşık ve pahalıdır (Anık ve Vural, 1991). TIG kaynak yönteminde ark, tungsten elektrot ile parça arasında oluşur. Koruyucu gaz, argon, helyum veya bunların karışımından oluşabilmektedir. **Şekil 14** de TIG kaynağının prensip şeması gösterilmektedir. Yöntemde enerji üretecinin bir kutbu tungsten elektroda diğeri kaynak edilecek parçaya bağlıdır. Ark, sadece bir elektrik iletkeni ve ark taşıyıcısı olan tungsten elektrot (sürekli elektrot) ile parça arasında oluşur. İlave metale, kural olarak herhangi bir akım yüklenmemiştir. Yöntemde ilave metal kaynak bölgesine yandan ya da önden verilerek elle ya da yardımcı bir aparat yardımıyla sisteme verilir (Anık ve Vural, 1991). Tungsten elektrot ile erimiş banyo ve ilave metalin erimiş haldeki ucu, elektrotun bulunduğu bir koruyucu gaz memesinden elektrotla eş eksenli olarak beslenen bir inert

koruyucu gaz tabakası ile atmosferden dolayısıyla havayla temastan korunur (Gültekin,1988). Koruyucu soygaz (Ar) atmosferi altında tükenmeyen elektrotla gerçekleştirilen bu yöntemin seçimine ana sebep, kaynak işlemine katılan malzemelerin oksidasyona karşı olan yüksek duyarlılıklarıdır (Gültekin, 1988).



Şekil 14. TIG kaynak metodunun şematik gösterimi (Gültekin, 1988).

Yöntem genellikle onarım ve düzeltme amaçlı dolgularla, Al, Mg, Ni, Cu ve bu elementlerin alaşımlarında sıklıkla uygulanmaktadır. TIG-yöntemi ile dolgu işleminde özellikle dalgalı akım kullanılır. Kaynak yönü sola veya sağa seçilebilir. Sola kaynak işleminde penetrasyon artar ve metalik banyo daha büyük oluşur. Koruyucu gaz sarfiyatı ise azalır. Aynı bileşimdeki malzemeler için, ulaşılan sertlik açısından sağa kaynağa oranla daha düşük değerler elde edilir. TIG-yöntemi ile de, MIG-yönteminde olduğu gibi salınım uygulaması yapılabilmektedir (Gültekin, 1988).

Sert dolgu kaynağı işlemlerinde TIG kaynağı oksi-asetilen kaynağına iyi bir alternatiftir. TIG kaynağı sonucu meydana gelen seyrelme miktarı oksi-asetilen kaynağı sonucunda meydana gelenden daha fazladır. TIG kaynağı nikel esaslı alaşımların, titanyum katkılı paslanmaz çeliklerin sert dolgu işlemlerinde rahatlıkla kullanılabilmektedir. Ayrıca oksi-asetilen kaynağında oluşan karbon artışının istenmediği hallerde TIG kaynağı tercih edilir. Koruyucu gaz olarak sert dolgu kaynağı işlemlerinde argon kullanılmaktadır. Ayrıca doğru akım şartlarında elektrotların düz kutup olarak belirlenmesi sert dolgu içerisinde meydana gelebilecek tungsten kalıntılarını önlemektedir (ASM Handbook, 1993).

1.2.6.3. Plazma Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

Plazma kavramı; moleküllerin, atomların ve elektronların oluşturduğu kızdırılmış gaz olarak ifade edilir. Bu gazın tamamı, elektriksel olarak nötrdür (Anık, 1991). Plazma TIG kaynağında esas olarak, iki farklı ark düzeneği kullanılır. Bunlardan birincisi olan taşıyıcı olmayan ark, tükenmeyen tungsten elektrot ve su ile soğutulan bakır meme arasında meydana gelir. Bakır meme; arkın odaklanmasını, güç yoğunluğunu artmasını ve bu nedenle de plazma demetinin sıcaklığının yükselmesine doğrudan etki eder. Tungsten elektrot negatif, bakır meme pozitif kutup olarak kullanılır. İkinci ark sisteminde (taşıyıcı ark); ark toryumla alaşımlandırılmış bir ışını odaklayan bakır memenin içerisinden geçen tungsten elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir. Plazma gazı, elektrotla meme arasındaki silindirik alana püskürtülür. Bu sistem plazma birleştirme kaynağında ve plazma kesme işlemlerinde kullanılır. Taşıyıcı ark, yardımcı ark ile elektrot ve meme arasında oluşturulur. Taşıyıcı ark tutuştuğu zaman otomatik olarak yardımcı ark söner.

Plazma birleştirme kaynağında plazma gazına ek olarak, kaynak banyosunu havanın negatif etkilerine karşı korumak için ikinci bir gaz akımı (argon) kullanılır. Plazma kaynağı cihazlarının büyük çoğunluğunda üçüncü bir gaz akımı, plazma demetini odaklayıcı ve meme dışında daraltıcı olarak kullanılır. Odaklayıcı gaz olarak; argon-helyum, argon-hidrojen ya da argon-azot gaz karışımlarından oluşan gaz sistemleri kullanılmaktadır (Anık, 1991).

Plazma doldurma kaynağında, taşıyıcı olmayan ve taşıyıcı olan her iki ark birlikte kullanılır. Bu uygulamada; düşen karakteristikteki iki farklı akım kaynağı, elektrot ile meme arasında ve elektrot ile iş parçası arasında birbirine bağlı olarak kullanılır. Her iki ark kaynak işleminde de ark oluşur. Genellikle toz halindeki doldurma malzemesi bir gaz

akımı üzerinden kaynak bölgesine iletilerek plazma demetinde eritilir ve taşıyıcı ark sayesinde de ana malzeme kaynak edilmiş olur. Bu sistemde üçüncü bir gaz akımı da, kaynak banyosunu atmosferin zararlı etkilerinden korur (Anık, 1991).

Plazma ile dolgu kaynağı, toz formunda olan dolgu malzemesinin koruyucu soy gaz akımı yardımı ile ana parça yüzeyine taşınması ana prensibi ile gerçekleştirilmektedir. Yöntemde kullanılan ilave malzemeler metal tipinde toz formunda olup, Ni, Co, östenitik esaslı olmak üzere üç grupta toplanmaktadır. Plazma yöntemi ile dolgu işleminde ana parça yüzeyinin diğer yöntemlere oranla çok daha fazla özenle hazırlanmış olması gerekmektedir. Temizleme işlemleri genellikle mekanik yöntemlerle yapılmaktadır (Gültekin, 1988).

Sert dolgu uygulamalarında, genellikle parça hareketli sistemlerden yararlanılmaktadır. Yöntem, kalınlıklar açısından ince tabakalara, metalürjik açıdan yüksek sıcaklıklarda ergiyen metallere ve sert yüzey tipi açısından ise öngörülen karbürlerin elde edilmesine daha yatkın bir yöntem olarak sistematize edilmiştir. Dolgu oluşturma ince tabakalar halinde gerçekleştirildiğinden, ara sertlikler veren geniş bir geçiş bölgesi ortaya çıkmamaktadır. Toz bileşimlerindeki düşük orandaki bor kullanıldığında bileşimin ergime noktası ve yüzey gerilimi düşmektedir. Dikiş yüzeyinde oluşan bor karbür tabakası ise dolguyu sertleştirerek gevrek karakterli hale getirmektedir. Bu nedenle çatlak oluşumunu engellemek için soğuma hızını düşürecek bir ön tavlama gerekli görülmektedir. Dolgu işlemlerinde yararlanılan kaynak yöntemleri içinden, en düşük ana malzeme ergime oranı ve penetrasyon derinliğine sahip yöntem bu yöntem olarak bilinmektedir (Gültekin, 1988).

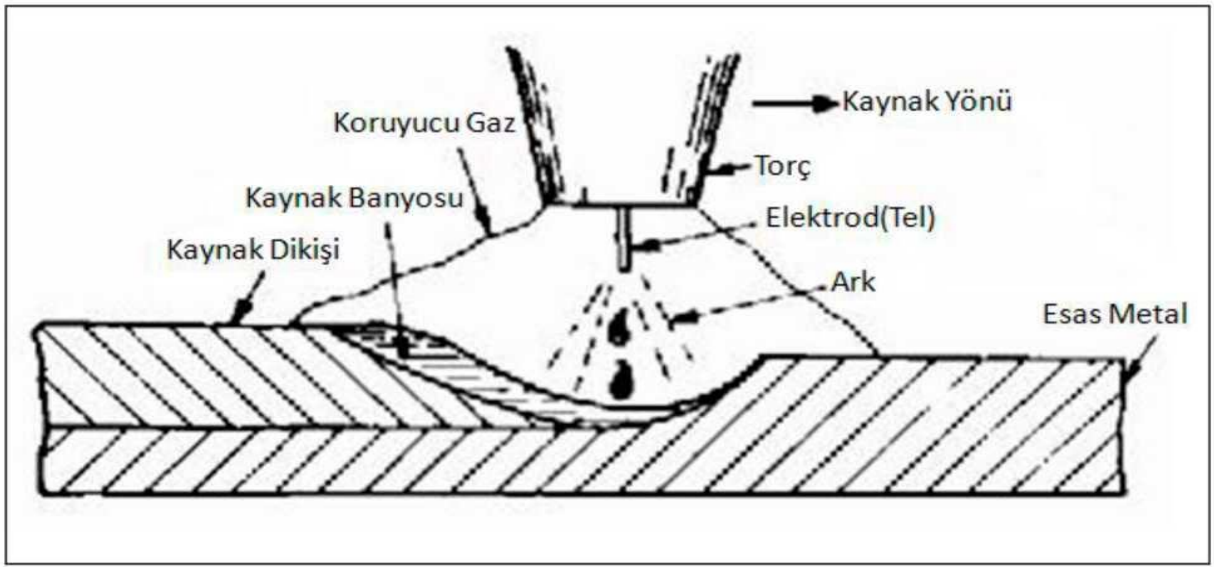
Plazma yöntemi ile bazı durumlarda kalın dolguların ortaya çıkarılması da mümkün olabilmektedir. Bu tür uygulamalar özel bir yöntem olarak geliştirilen Plazma Sıcak Tel kombinasyonu ile gerçekleştirilmekte, gerektiğinde salınım prensibinden de yararlanılmaktadır. Bu uygulama ile özellikle nükleer enerji ve petrol endüstrilerindeki malzemelerin dolgusu yapılabilmekte, 1,6-3,0 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik, Ni-alaşımları, Cu-alaşımları ilave metal olarak kaynak telleri kullanılarak tek pasoda 5 mm kalınlık ve 25 kg/saat ergime güçlerine ulaşılmaktadır (Gültekin, 1988). Ark kararlılığı ve akım şiddeti yüksek olduğundan daha fazla nufüziyet içeren kaynak dikişleri de oluşturulabilmektedir. Bu nedenle de kullanım sırasında ark rahat bir şekilde kontrol altında alınabilmekte ve kaynak süresi de azaltılmaktadır (Kaluç ve Taban, 2004; Gür vd., 2009). Yöntem için tipik uygulama alanları olarak, çeşitli miller, subaplar, vana yatakları,

taşıyıcı ve ezici elemanların yüzeyleri, kimya sanayinde yüzey koruma işlemleri olarak sıralanabilir. (Gültekin, 1988).

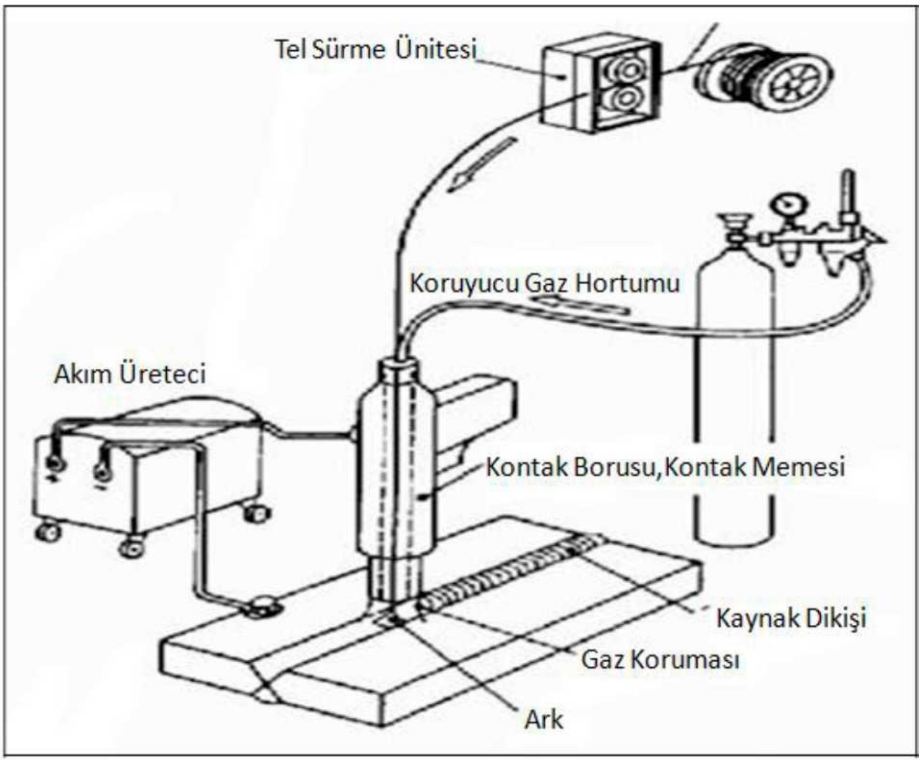
1.2.6.4. MIG/MAG Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

MIG/MAG kaynağı, koruyucu gaz kullanılarak yapılan (gaz altı) ark kaynak yöntemleri arasında yer alır. Koruyucu gaz türüne göre Metal Inert Gaz (MIG) veya Metal Aktif Gaz (MAG) olarak ayrılır. MAG kaynağı da kendi içinde ayrıca kullanılan koruyucu gaz türüne göre MAGC (CO_2) ve MAGM (Karışım gaz) kaynağı olarak ikiye ayrılır (Anık vd., 1999).

Şekil 15 de kaynak yönteminin prensip şemasını ve **Şekil 16** da ise yöntemin donanımları verilmektedir. "Uçsuz" elektrot bir tel ilerletme mekanizması yardımıyla bir tel makarasından akım kontak borusuna gelir. Serbest tel ucu genellikle kısadır; böylece ince elektroda yüksek akım şiddeti (> 100 A/mm2) uygulanabilir. Kaynak makinasının kutuplarından biri elektroda bağlanırken diğeri de kaynak yapılacak parçaya bağlanır. Böylece ark, eriyen elektrot ile parça arasında oluşur. Elektrot aynı anda hem enerji taşıyıcı özellikte ve hem de kaynak için ilave metali görevi yapar.



Şekil 15. MIG/MAG kaynak yönteminde kaynak bölgesinin şematik gösterimi (Tülbentçi, 1990).

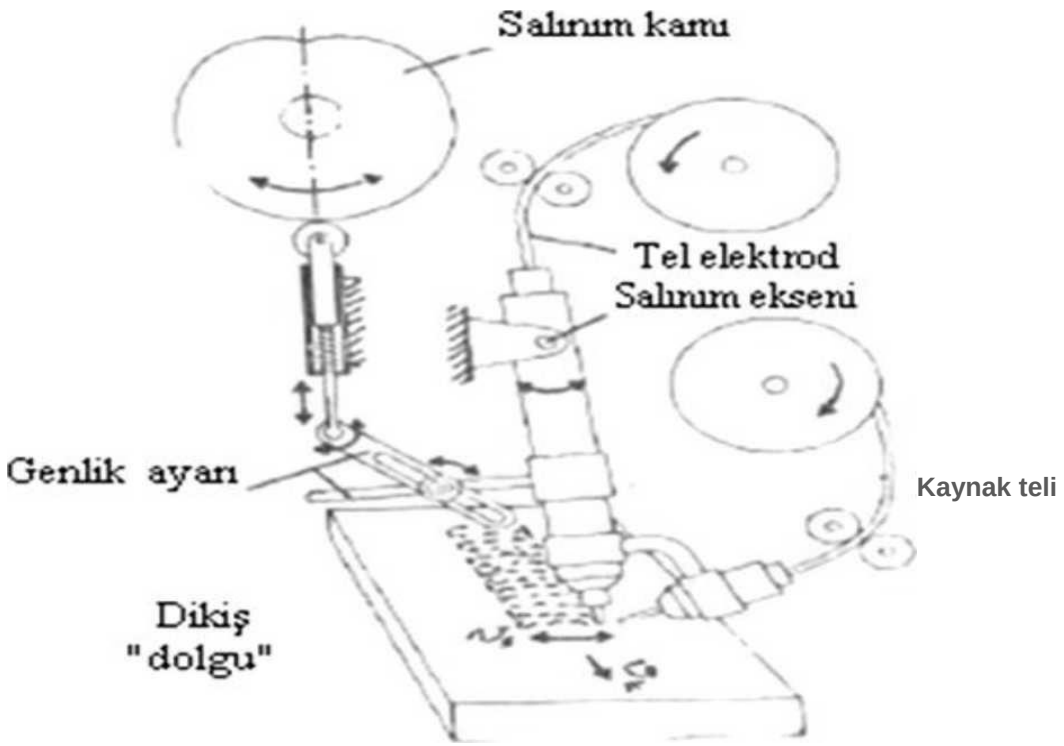


Şekil 16. MIG/MAG kaynağı donanımı (Anık ve Vural, 1991).

MIG yöntemi genellikle aşınma ve korozyon dayanımlı yüzeyler elde etmek amacıyla tercih edilmektedir. Dolgu malzemesi, sürekli beslenen tükenen bir elektrot ile ark ortamına gönderilen ilave malzemenin toplamından oluşmaktadır. Bu uygulamada kullanılan kaynak donanımları, genellikle salınım hareketi yapan elektrot ilerletici sistemlere sahip bulunmaktadır. **Şekil 17** de ilave kaynak telli bir kaplama MIG kaynak donanımı ve elde edilen dolgu metali ve dikişi bir arada görülmektedir. Bu tür uygulamalarda, ark ısısı ile çift tel ergitildiğinden, ısı bilançosunda ilave metalin katkısı çok daha fazla olmaktadır.

Kaynak parametreleri genellikle yaklaşık 30 V ark gerilimi ile 260-310 A akım şiddet aralığındadır. Ayrıca; kaynak teli çapı / elektrot çapı oranının 1,8'den küçük olması, ön koşuluna uyulması kaynak kalitesi açısından önerilmektedir.

Parça ilerlemesi esasına göre salınım hareketli MIG dolgu işlemlerinde ana malzemeden kaynak metalindeki ergime oranı %5' kadar düşürülmektedir. Bu uygulamalarda salınım hızı 4-6 m/dak, dikiş genişliği 40-60 mm sınırları arasında olabilmektedir. Öte yandan; 4 mm'den küçük salınım hızlarında ise nufüziyet derinliklerinde ani artmalar meydana gelmektedir.



Şekil 17. Salınım hareketli çift tel elektrotlu MIG donanımı (Gültekin, 1988).

MIG yöntemi ile parça ilerlemeli uygulamanın avantajlarından biri de, paso geçişlerinde sağlanan süreklilik olarak belirtilmektedir. Dolgu ve kaplama uygulamalarında koruyucu gaz olarak aktif gaz kullanılan MAG yönteminden de yararlanılmaktadır. Çelikler için eş malzeme ve yüksek karbon içeren bileşimlerin kaplanmasında koruyucu gaz olarak sadece CO_2 tüketilmektedir. Bu şekilde elde edilen dolguların yüzeylerinde 57-62 HRC sertlik değerlerine ulaşılmaktadır. Yüksek kromlu malzemeler gibi yüksek alaşımlı ilave metallerle yapılan kaplamalarda özlü elektrotlarla dolgu gerçekleştirilmektedir. Özlü elektrotun içerdiği stabilize edici elemanlar yardımı ile öngörülen homojenliğe ulaşmak mümkün olmaktadır (Gültekin, 1988).

1.2.6.5. Elektrocüruf Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

1950'lerin başlarında Kiev Paton Elektrik Kaynak Enstitüsü tek pasolu dikey kaynaklar yapmak için elektriksel iletkenliği olan cüruf prensibini kullanan donanımın geliştirilmiş

olduğunu belirtmiştir. Yöntem, büyük oranda klasik tozaltı kaynağı prensibinden hareket etmesine rağmen kısmi farklılıklar göstermektedir. Elektrocüruf kaynağı, bir elektrik akımının bir ergimiş flaks ya da cüruf arasından geçerken meydana gelen ısıyı kullanan bir ergitme kaynağı yöntemidir. Bu yöntemde, bir "kök" aralığı ile birbirlerinden ayrılmış birleştirme kenar hatları ergime noktasına getirilerek, boşluk ergimiş ilâve metalle doldurulur (Oğuz, 1989).

Elektro-cüruf bant kaplama yöntemini en iyi açıklamanın yolu; çok iyi bilinen tozaltı bant kaplama yöntemi ile karşılaştırılmasıdır. Elektro-cüruf bant kaplama yöntemini tozaltı bant kaplama yönteminden ayıran en önemli fark; elektro-cüruf bant kaplama yönteminde ana metal ile bant elektrotu ergitmek için gerekli ısı elektrik arkı ile değil de Joule etkisi ile meydana gelmesidir. Kaynak akımı bant elektrottan elektriksel olarak iletken olan ve özel olarak geliştirilen yüksek floritli aglomere tozdan oluşan sıvı cüruf bölgesine iletilir. Elektro-cüruf bant kaplama yönteminin en önemli özelliği işlem sırasında elektrik arkının bulunmamasıdır. Elektrik arkı yöntemin başlangıcında ateşleme amacıyla kullanılır ve sonrasında ark kaybolur. Yöntemi kararlı tutabilmek için cüruf banyosunun kalınlığı ve yüzeyi sabit tutulmalıdır. Bu durum ise sadece banttan etkilenir. Arkın ana ısı kaynağı olduğu tozaltı kaynak yönteminin aksine elektrocüruf yönteminde bandı ve ana metali ergiten cüruf, direnç ile ısıtılmaktadır. (Cavcar, 1998b).

Bant kaplamanın tel kullanımına göre ana avantajları;

- Çok düzgün nüfuziyet vermesi
- Düşük nüfuziyet düzeyi ve sonuçta istenen özellikleri elde etmek için gerekli kaynak paso sayısını azaltacak düşük seyrelme seviyesine sahip olması
- Yüksek ve tekrarlanabilir kalitede kaynak metali eldesi,
- Kaynak dikişinin tipik soğuma eğrileri alaşım elementlerinin homojen dağılımını sağlayacak şekilde olması,
- Sınırlı dikiş bindirmesi yapıldığında çok düz bir yüzey elde edilebilmesi,
- Merkezi soğuma çizgisinin olmaması nedeniyle, klasik sıcak çatlak hassasiyeti olan malzemelere göre çok düşük sıcak çatlak hassasiyetinin olması,
- Yüksek metal yığma hızına sahip olması
- Yüksek tekrarlanabilirlik şeklinde özetlenebilir (Cavcar, 1998b).

Elektrocüruf bant kaplama yönteminin tozaltı bant kaplamaya göre ana avantajları şu şekilde sıralanabilir;

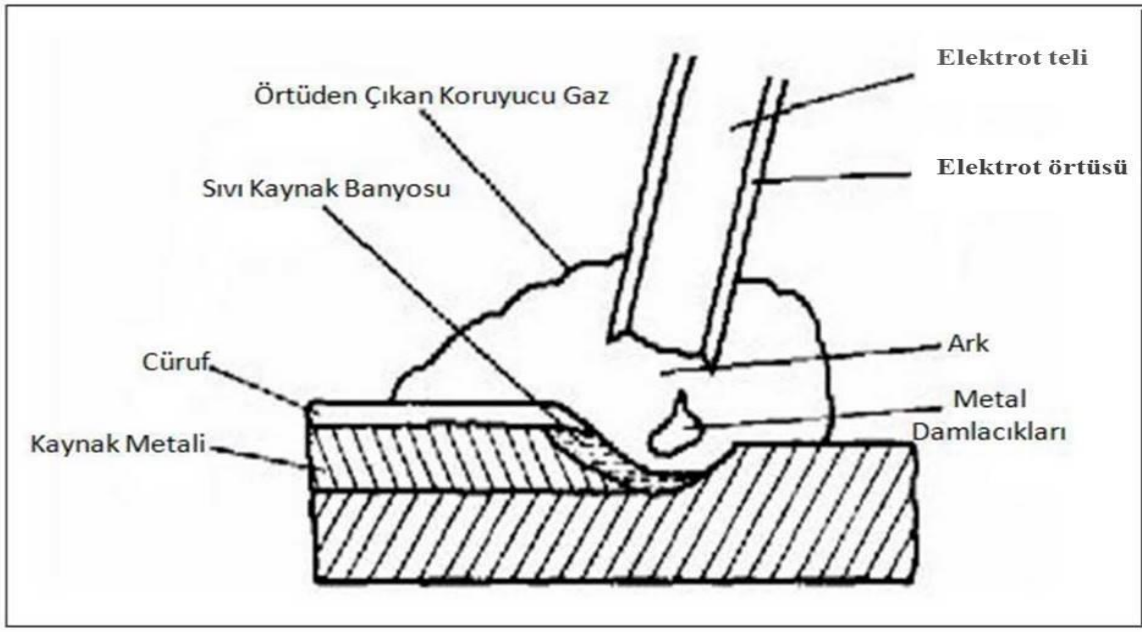
- Basitlik söz konusudur. Prensipte iki kaplama tekniğinde de aynı tür makine ve donanım gereklidir.
- Elektro-cüruf tekniği tozaltı ile karşılaştırıldığında aynı ısı girdisinde ve benzer dikiş kalınlığında daha yüksek metal yığma hızı sağlar.
- Ana metal ile seyrelme çok daha düşüktür. Tipik seyrelme değerleri % 7 ile 10 arasındadır.
- Hedeflenen kimyasal analizi elde etmek için daha az kaynak paso sayısı gerekebilir (Ör: düşük karbonlu çeliklerde tek pasoda istenilen sonuçlar elde edilebilmektedir)
- Çok kararlı ve sorunsuz kaynak prosesinin çok düşük kaynak hata riski ile birlikte elde edilebilirliği; cüruf kalıntısı olmaması ve düşük nüfuziyet vermesi.
- Düşük toz tüketimi (Cavcar, 1998b).

1.2.6.6. Örtülü Elektrot Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

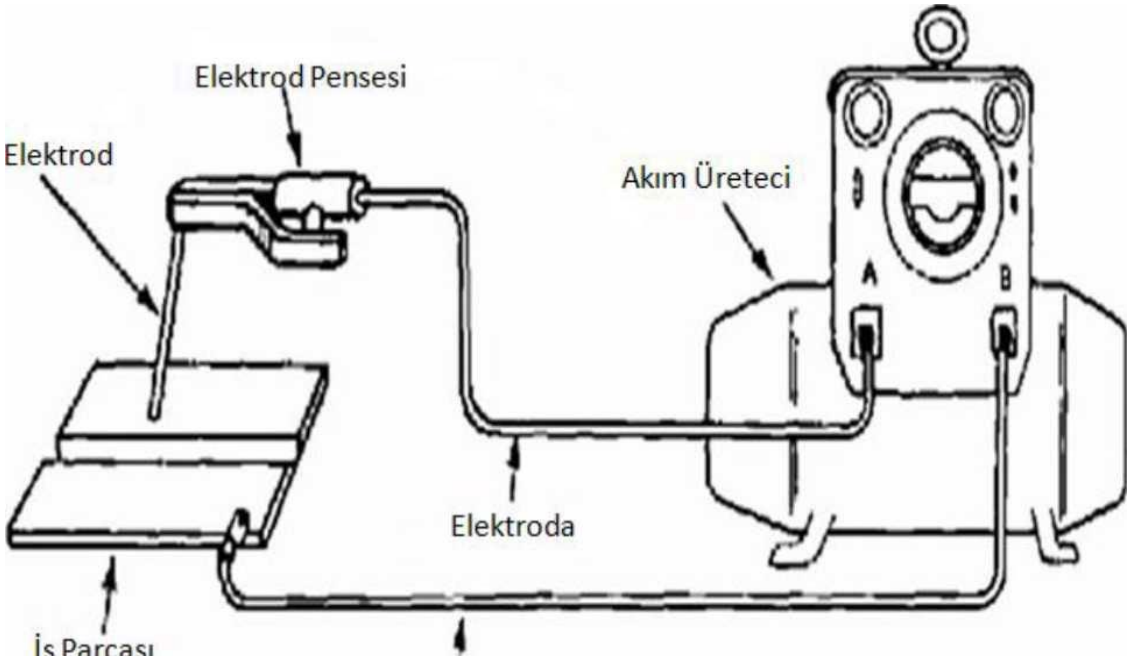
Elektrik ark kaynağında kaynak için gerekli ısı, elektrik arkı sayesinde oluşturulur. Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağında ark, iş parçası ve tükenen elektrot arasında oluşur ve bu şekilde tükenen elektrot aynı zamanda kaynak metaline geçer. Elektrot örtüsü de aynı anda oluşur ve tükenir. Bu esnada meydana gelen gaz ark bölgesini korur ve bu esnada oluşan cüruf tabakası kaynak dikişini örterek kaynak bölgesinin korunmasını sağlar. Ayrıca; elektrot örtüsüne katılan alaşım elementleri yardımı ile kaynak dikişini alaşımlandırarak, istenen özeliklerde kaynak dikişleri elde edilebilmektedir. **Şekil 18** de örtülü elektrotla yapılan kaynakların kaynak bölgesi ve **Şekil 19** da bu yöntemin donanım şeması verilmektedir. Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı, ark kaynak yöntemleri arasında en basit, en popüler ve en evrensel özeliğe sahip olan yöntemdir (Anık vd.,1991).

Örtülü elektrot elektrik ark kaynağı yöntemi kullanarak yapılan sert dolgu kaynak işlemlerinde kullanılan elektrotların çapları 3,2 - 8 mm arasında değişmektedir. Genellikle bu yöntem ile yapılan sert dolgu kaynağı işlemlerinde doğru akım kullanılması ve elektrotun pozitif alarak ayarlanması (ters kutup) tavsiye edilmektedir. Bazı uygulamalarda alternatif akım da kullanılabilmektedir. Sert dolgu uygulamalarında elektrot çapına bağlı olarak kullanılan cihazın akım aralığı değişebilmektedir. Örneğin 3,2 mm çapına sahip sert dolgu elektrotu için akım değeri 60A ile 130A arasında değişirken; 6.4 mm çapa sahip sert

dolgu elektrotları gibi daha büyük elektrot çapları için akım değeri 150-330 A gibi daha yüksek akım değerleri gereklidir (ASM Handbook, 1993).



Şekil 18. Örtülü elektrot ile ark kaynağında kaynak bölgesi (Anık vd., 1991) .



Şekil 19. Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynak donanımı blok şeması (Anık vd.,1991).

Örtülü elektrot kaynak yöntemi ile yapılan sert dolgu kaynağı işleminin avantajları;

- Birçok sert dolgu alaşımının örtülü elektrot olarak üretilebilir olması ve ürün çeşitliliği sağlanabilir olması,
- Ekonomik olması şartı ile çok çeşitli kaynakların yapılabilmesi,
- Her pozisyon için sert dolgu elektrot bulunabilir olması
- Açık havada kaynak yapmaya uygun olması şeklinde sıralanabilir.

Örtülü elektrot kaynağı ile yapılan sert dolgu kaynağı işleminin dezavantajları ise;

- Yüksek aşınma direnci için 2-3 paso sert dolgu kaynağı yapma zorunluluğu olması,
- 0,5-3 kg/saat metal yığma hızı ile verimliliğin düşük olması şeklinde sıralanabilir (Cavcar, 1998a).

1.2.6.7. Özlü Tel Elektrot İle Sert Dolgu Kaynağı

Özlü tel elektrotla ark kaynağı, her şeyden önce bir ark kaynak yöntemidir ve sürekli bir ilave metal elektrot ile kaynak banyosu arasında ark oluşturulması esasına dayanır. Yöntem, ayrıca sevk edilen bir koruyucu gaz örtüsü altında (bazı uygulamalarda gaz kullanılmaz), ve tüp şeklindeki elektrotun içindeki tozdan (öz) oluşan bir örtü korumasıyla birlikte uygulanır. Özlü tel elektrot, içerisinde çeşitli toz malzeme bulunan metal bir tüp formunda kompozit bir ilave metaldir. Kaynak sırasında kaynak metalinin yüzeyini yoğun bir cüruf tabakası kaplar. **Tablo 17** de özlü tel elektrotların öz maddeleri ve özellikleri verilmektedir.

Özlü tel elektrotla ark kaynağını diğer ark kaynak yöntemlerinden ayıran özellik, cüruf yapan maddelerin, sürekli beslenen bir tel elektrotun içinde olmasıdır. Dikkat çekici işlem karakteristikleri ve oluşan dikişin özellikleri, bu yöntemin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu yöntem, kendisini arkın ve kaynak banyosunun atmosferik kirlenmelerden (oksijen ve azot) korunması hususunda diğer yöntemlerden farklı kılan iki temel özelliğe sahiptir. Bir tanesi, kendinden korumalı özlü telle ark kaynağıdır. Bu yöntemde ergimiş metal, toz özün ark ısısı tarafından ayrıştırılması ve buharlaştırılmasıyla korunur. Diğer tip olan ilave gaz korumalı özlü telle ark kaynağı ise, toz özün etkisine ek olarak dış bir koruyucu gaz kullanır. Her iki yöntemde de, elektrotun öz maddesi, katılaşmakta olan kaynak metalini korumak üzere bir cüruf oluşturur (Anık ve Vural, 1991).

Tablo 17. Özlü tel elektrotu oluşturan öz maddeleri ve özellikleri (Sönmez, 2009).

Element	Kullanım Amacı
Al	Deoksidasyon ve denitrasyon amacıyla kullanılır.
B	Tane oluşumunu için kullanılır.
Ca	Koruma ve cüruf oluşturma amaçlı kullanılır.
C	Sertlik ve dayanımı arttırmak amaçlı kullanılır.
Cr	Sürünme direnci, sertlik, ve korozyon dayanımını arttırmak amacıyla ve kaynak dikişini alaşımlandırmak amaçlı kullanılır.
Fe	Demir esaslı dolgularda matrisi oluşturmak amacıyla kullanılır.
Mn	Sıcak yırtılmayı engellemek, sertliği ve dayanımı arttırmak, ve cüruf oluşturmak amaçlı kullanılır..
Mo	Sertliği ve dayanımı arttırmak ve östenitik paslanmaz çeliklerin korozyona karşı dayanımlarını arttırmak amaçlı kullanılır.
Ni	Sertlik, dayanım, tokluk ve korozyon dayanımını arttırmak amaçlı kullanılır.
K	Arkı stabilize etmek ve cüruf oluşturmak amaçlı kullanılır.
Si	Deoksidasyon ve cüruf oluşturmak amaçlı kullanılır.
Na	Arkı stabilize etmek ve cüruf oluşturmak amaçlı kullanılır.
V	Dayanımı arttırmak amaçlı kullanılır..
Ti	Deoksidasyon, denitrasyon, karbür oluşturmak, cüruf oluşturmak ve bazı paslanmaz çeliklerde karbonu stabilize etmek amaçlı kullanılır.
Zr	Deoksidasyon, denitrasyon ve cüruf oluşturmak amaçlı kullanılır.

Özlü telle ark kaynağı, esasında bir yarı mekanize kaynak yöntemidir. Bu yöntem aynı zamanda makinayla ve tam mekanize sistem olarak da uygulanabilmektedir. Özlü telle ark kaynağı, elektrik ark kaynağının, gaz altı kaynağının ve tozaltı kaynağının farklı bir uygulaması olarak da değerlendirile bilinir.

Özlü telle ark kaynak yöntemin avantajları;

- Örtülü elektrot ile ark kaynağına göre daha az çarpılma ve iç gerilme oluşumu göstermesi,
- Örtülü elektrotla ark kaynağına oranla dört kata kadar daha fazla yığma kapasitesinin olması,
- Kendinden gaz korumalı elektrotların kullanılabilir olması
- Toz taşınmasını ve gaz tüpü sayesinde diğer ekipmanlara olan gereksinimi ortadan kaldırması,
- Şantiye gibi uygulamalarda rüzgâr etkilerine karşı daha toleranslı olması
- Kaynak dikişinin çatlamasına yol açan kirliliklere karşı daha yüksek toleransa sahip olması,
- Ve dikiş altı çatlaklara karşı daha yüksek direnç göstermesi şeklinde sıralanabilir.

Özlü telle ark kaynağının dezavantajları ise;

- Yöntemde uzaklaştırılması gereken bir cürufun olması,
- Özlü elektrotların, bazı hafif alaşımlı çelikler dışında aynı ağırlıktaki masif elektrotlara oranla daha pahalı olması,
- Yöntem ekipmanlarının, örtülü elektrotla ark kaynağında kullanılanlara göre karmaşık ve daha pahalı olması
- Tel besleme ünitesinin ve kaynak makinasının kaynak noktasına çok yakın olması gerekliliği,
- İlave gaz korumalı olan özlü tel uygulamalarında, gaz atmosferinin dış hava etkenleri tarafından etkisiz hale gelme riskinin bulunması,
- Yöntem ekipmanlarının örtülü elektrotlarda kullanılanlara oranla daha karmaşık olması nedeniyle daha fazla bakım ihtiyacının olması,
- Gaz altı ve tozaltı ark kaynak yöntemlerine göre daha fazla kaynak dumanı oluşturması şeklinde sıralanabilir.

Dolgu kaynaklarının büyük çoğunluğunda, "açık ark" tekniğinin kullanımı, önemli bir metalürjik avantaj oluşturmaktadır. Bu teknikle kaynak esnasında, kaynak metaline önemli miktarda azot katkısı sağlanmaktadır. Atmosfer kaynaklı bu azot metalürjik açıdan karbona benzer davranış sergiler. Bunlardan ilki karbon varlığında oluşan karbürler, diğeri de azot varlığında oluşan nitrürlerdir. Nitrür oluşturma kabiliyetli olan dolgu kaplamaların çoğunluğunda özenle seçilmiş bazı elementlerin nitrürleri veya karbonitrürlerinin varlığı, ana metalin aşınmaya olan mukavemetinin iyileşmesine yardımcı olur. Bu nedenle bir gaz koruma atmosferinin kullanılması dolgu alanında hiçbir şekilde zorunlu olmayan bir önlem olmaktadır. Şöyle ki, ana metalin ve sert dolgu kaplamanın kompozisyonuna bağlı olarak sisteme azot verilmesi hem prosesin maliyetini düşürecek hem de aşınma özelliklerini gelişmesine katkı sağlayacaktır.

Yukarıda söylenenlerin ışığı altında sert dolgu "açık ark" özlü tellerini geliştirmek üzere alaşım elementi olarak titanyum sistematik olarak kullanılmıştır. Gerçekten de titanyum, sertlik bakımından ikinci sırada bulunan bir karbür oluşturma özelliğine sahiptir; bu karbür zirkonyum karbüründen hemen sonra ve niyobyum ve tungsten karbürlerinden önce gelir. Bunun azota karşı da eğilimi çok büyük olup bu sayede kolaylıkla karbonitrürlerle nitrürlerin oluşması sağlanabilir (Ozan, 2010).

1.2.6.8. Tozaltı Kaynağı ile Sert Dolgu Kaynağı

Tozaltı kaynağı, 1933 yılından itibaren Amerika'da yayılmaya başlamış 1937'den itibaren de Avrupa'da uygulama alanı bulmuş ve özellikle İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra gelişerek endüstride büyük önem kazanmıştır. Bu yıllardan sonra metot ilgili alandaki ihtiyaçlara cevap vermek için özel yöntemlerle adım adım geliştirilmiştir. Teknolojinin gelişmesi, çeşitli kaynak cemiyetlerinin oluşması ve standartların oluşmasıyla bugünkü haline ulaşan tozaltı kaynağı, Türkiye'de likit (sıvılaştırılmış) petrol gazlarının kullanılmaya başlanmasıyla çok miktardaki LPG tüpünü imal etmek için 1960 yıllarında uygulanmaya başlanmıştı (Yavuz vd 2005).

American Welding Society (AWS) tozaltı ark kaynağını şöyle tanımlar. "Tozaltı kaynak yöntemi, iş parçası ile metal tel elektrot / elektrotlar arasında, bir ark / arklar oluşturarak bunların ısıtılmasını sağlayan ve bu suretle birleşmelerini temin eden bir ark kaynağı prosesidir. Ark ve erimiş metal tanecikli yapıya sahip bir toz örtüsü ile korunur. Basınç

kullanılmaz. Dolgu metali, elektrot / elektrotlar ile toz ve metal taneciklerinden elde edilir." (Miller Electric,1982).

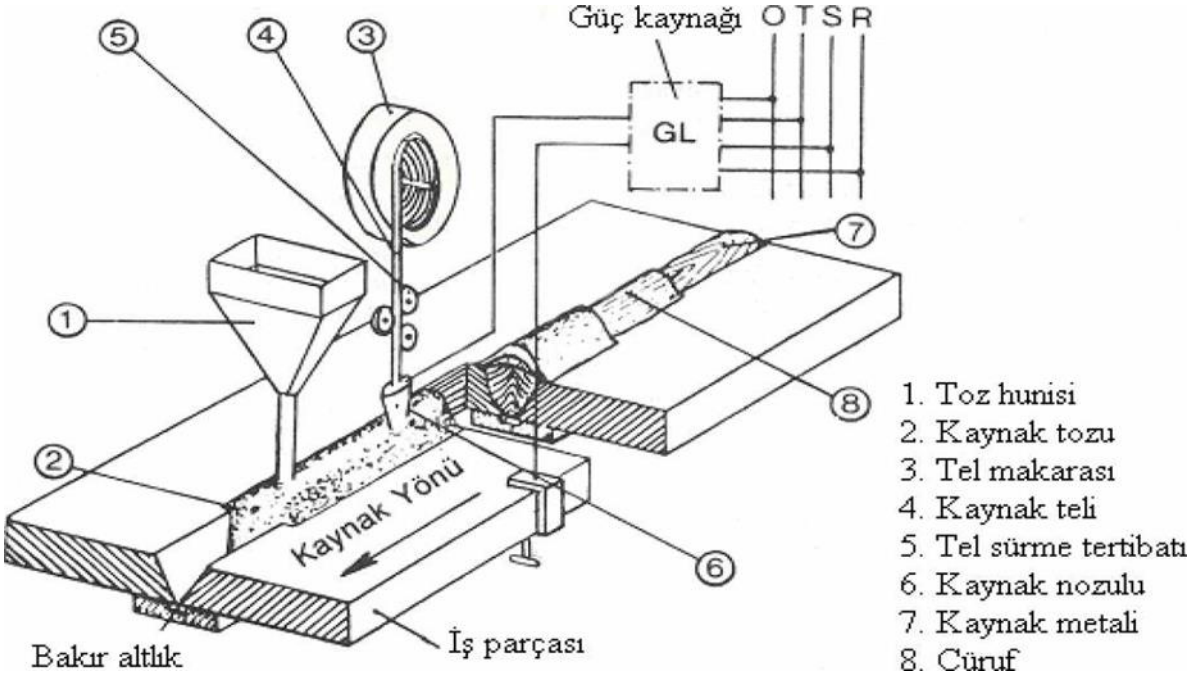
Kaynak maliyetini düşürmek, işin yapım süresini kısaltmak ve kaynakçı faktörünün dikişin kalitesine olan etkisini azaltmak için, kaynak prosesinde otomasyona gidilmiştir. Buradaki amaç, elektrot telini mekanik bir tertibat yardımı ile otomatik olarak sürekli ilerletip, ark bölgesine çok yakın bir yerden de akım vererek telin yüklenebileceği akım şiddetini artırmak ve böylece erime gücünü yükseltmektir.

Tozaltı kaynak yönteminde, 1,6 mm'den 12 mm'ye kadar olan malzemeler herhangi bir kaynak ağzı açmayı gerektirmeden kaynak yapılabilir. Kaynak ağzı açarak tek pasolu kaynak ile kalınlığı 6,4 mm ile 25 mm arasındaki malzemeler kaynak edilebilir. Çok pasolu teknik kullanıldığında ise pratik olarak bir maksimum limit yoktur.

Yüksek erime gücüne ve kaynak hızına sahip olmakla birlikte çeşitli türden çeliklerin kaynağı için de çok uygun olan bu yöntem kazan, profil, gemi ve basınçlı kap üretimi ile dolgu kaynağı işlemlerinde yoğun bir biçimde kullanılmaktadır (Kaluç, 2004).

Tozaltı Kaynağının Temel Prensipleri

Tozaltı kaynağı, kaynak için gerekli ısının, tükenen elektrot (veya elektrotlar) ile iş parçası arasında oluşan ark (veya arklar) sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir. Ark bölgesi kaynak tozu tabakası ile kaynak metali ve kaynağa yakın ana metal de ergiyen kaynak tozu (cüruf) ve kaynak dikişi tarafından korunur **(Şekil 20).** Tozaltı kaynağında elektrik, arktan ve ergimiş metal ile ergimiş cüruftan oluşan kaynak banyosundan geçer. Ark ısısı elektrotu, kaynak tozunu ve ana metali ergiterek kaynak ağzını dolduran kaynak banyosunu oluşturur. Koruyucu görevi yapan kaynak tozu ayrıca kaynak banyosu ile reaksiyona girerek kaynak metalini deokside eder. Alaşımlı çelikleri kaynak yaparken kullanılan kaynak tozlarında, kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunu dengeleyen alaşım elementleri bulunabilir. Tozaltı kaynağı otomatik bir kaynak yöntemidir. Bazı tozaltı kaynak uygulamalarında iki veya daha fazla elektrot aynı anda kaynak ağzına sürülebilir. Elektrotlar yan yana (twin arc) kaynak banyosuna sürülebilir veya kaynak banyolarının birbirinden bağımsız katılaşmasını sağlayacak kadar uzaklıkta, arka arkaya sürülerek yüksek kaynak hızı ve yüksek metal yığma hızına ulaşılabilir (Külahlı, 1988).



Şekil 20. Tozaltı kaynak metodunun şematik gösterimi (Külahlı, 1988).

Tozaltı Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

Tozaltı kaynağının avantajları;

- Yüksek kaynak gücü ve kaynak hızı
- Derin nüfuziyet
- Enerji ekonomisi ve elektrot ekonomisi
- Yüksek kaliteli kaynak dikişi
- Kaynak dikişi kalitesine kaynakçının bir faktör olarak etkimemesi
- Yüksek ark kararlılığı
- Özel koruyucu donanımlara gerek duyulmaması
- Sürekli kaynak yapılabilmesi
- Birden çok tel ile kaynak yapılabilmesi şeklinde özetlenebilir.

Dezavantajları ise;

- Pahalı makine ve donanıma ihtiyaç duyulduğu için, ilk yatırım masraflarının yüksek olması.
- İnce saçların kaynağı için uygun bir yöntem olmaması.

- Kısa boylu ve karışık şekilli dikişler için yarı otomatik tozaltı makineleri geliştirilmişse de, bunların tozaltı kaynak yönteminin bütün üstünlüklerini bünyelerinde toplayamaması,
- Tozaltı kaynak yöntemi ile yatay pozisyonda iyi sonuç alınabilmektedir. Dik ve korniş pozisyonu için özel tertibatlar geliştirilmiş olmakla beraber dik pozisyon için günümüzde daha çok elektrocüruf kaynağı tercih edilmektedir. Dolayısıyla; bu yöntem ile tavan pozisyonunda kaynak yapmanın mümkün olmaması şeklinde sıralanabilir (Kaluç, 2004).

Tozaltı Kaynağının Kullanım Alanları

Tozaltı ark kaynağı ağır sanayi endüstrisinde, gemi yapımında, büyük çaplı spiral kaynaklı boruların imalinde ve basınçlı kap büyük çelik konstrüksiyon elemanlarının üretiminde geniş çapta kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra bir tamir yöntemi olarak da özellikle iş makinalarının aşınmış bölgelerindeki tekerlerin ve paletlerinin doldurulmasında geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Düz kaynak veya düşük karbonlu çeliklerde pervazların kaynak işlemi için uygun bir yöntemdir. Bazı ön ısıtma ve sonraki ısıtma tedbirleri ile orta karbon ve alaşım çelikleri, bakır, nikel alaşımlarının kaynakları yapılabilmektedir. Ayrıca krom-molibdenli alaşımlı çeliklerde ve paslanmaz çeliklerin kaynağında yaygın olarak kullanılmakta olup, yüksek biriktirme hızından dolayı, aşınma ya da korozyon dayanımı için gerekli kaplamaların uygulamalarında da uygun bir yöntemdir.

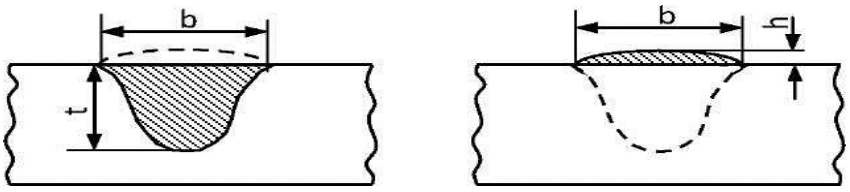
Dolgu ve kaplama uygulamaları için tozaltı yönteminin üstünlüğü, işlemin 40 kg/saate varan yüksek ergitme verimi, kaplama kalitesi, yüzey düzgünlüğü ile boyut korunum üstünlükleri ve işlemin sürekli yapılabilmesi özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Diğer temel kaynak uygulamaları ile kaynaklanmaya uygun olan çelikler, tozaltı kaynağında da eş değer bir uygunluk göstermektedir. Ayrıca; boru fabrikasyonun da kullanılması halinde, el ile (manuel) ark kaynağına göre sekiz kat daha hızlı birleştirmeler sağlayarak düşük hata oranı vermektedir.

Nükleer reaktörlerin basınçlı kaplarının imalinde ve iç cidarlarının nötron difüzyonuna karşı dayanıklı ostenitik çelikle kaplanarak zırhlanması tozaltı kaynak yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden tozaltı kaynak yöntemi çağımız endüstrisinin vazgeçilmez kaynak yöntemlerinden bir tanesidir (Kılınçer, 1998).

Toz Atı Kaynak Parametreleri Ve Dikişin Formuna Etki Eden Faktörler

Tozaltı kaynağında dikişin formu çok geniş sınırlar arasında değişebilir. Eğer belli bir metotda, kaynak karakteristikleri yerinde seçilirse, belirli faktörlerin kaynak esnasındaki etkilerini tespit etmek mümkün olur. Kaynak dikişinin kesiti incelendiğinde burada bir iç ve bir dış dikiş formu olmak üzere iki farklı formun mevcut olduğu görülür **(Şekil 21).** Her dikiş formu nüfuziyet derinliği, erime genişliği ve dikiş yüksekliği ile karakterize edilir.



b=Erime genişliği h=Dikiş yüksekliği t=Nüfuziyet (Dikiş) derinliği

Şekil 21. İç ve dış dikiş formunun şematik gösterilişi (Anık, 1983).

Nüfuziyet (dikiş) derinliği (t), erime genişliği (b) ve dikiş yüksekliği de (h) ile gösterirsek; iç dikiş formu (b/t) ve dış dikiş formu (b/h) şeklinde ifade edilir ve (b / t) = (0,5 – 10) ve (b / h) = (1 – 8) arasında değişir (Anık, 1983).

Tozaltı kaynağında kullanılan cihaz parametreleri ve dikişin formuna tesir eden başlıca faktörleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

a- Akım Şiddeti,

b- Akım yoğunluğu (Tel çapı),

c- Ark gerilimi,

d- Kaynak hızı,

e- Kaynak yapılan parçanın bulunduğu düzlemdeki meyli,

f- Kaynak kablosunun bağlantı yeri,

g- Kaynak telinin memenin dışında kalan kısmının uzunluğu,

h- Kaynak ağız açısı (Özgöktuğ vd., 1976).

Bu parametrelerden etkisi en fazla olanlar sırasıyla akım şiddeti, ark gerilimi, kaynak hızı, serbest tel boyu (stick-out mesafesi) ile tozun cinsi ve tane büyüklüğüdür. Bunlara ilaveten, kullanılan akım türü ve kutuplama, toz yığılma yüksekliği, kaynak kafa sayısı, elektrot açısı ve elektrotlar arası uzaklık gibi bir dizi ikincil kaynak parametreleri de bulunmaktadır (Kaluç, 2004). **Tablo 18** de dikiş formuna etki eden tüm parametreler gösterilmektedir.

Tablo 18. Tozaltı kaynak parametrelerinin kaynak dikişine etkisi (Akay, 2012).

Kaynak parametreleri (Arttıkça)	**Nüfuziyet (t)**	**Dikişin genişliği (b)**	**Dikişin yüksekliği (h)**
Akım şiddeti (A)	Fazla miktarda artar	Artar	Fazla miktarda artar
Ark gerilimi (V)	Azalır	Fazla miktarda artar	Azalır
Kaynak hızı (cm/dak)	Önce artar sonra sabitleşir, yüksek hızlarda sistematik olarak azalır	Fazla miktarda azalır	Belli bir hıza kadar azalır, sonra artar
Kaynak teli çapı (mm)	Fazla miktarda azalır	Fazla miktarda artar	Azalır
Parça eğimi aşağı doğru	Fazla miktarda azalır	Artar	Azalır
Parça eğimi yukarı doğru	Fazla miktarda artar	Azalır	Fazla miktarda artar
Kaynak telinin kaynak yönüne eğimi (°)	Fazla miktarda azalır	Artar	Azalır
Meme mesafesi (mm)	Az miktarda azalır	Artar	Azalır veya artar
Ağız açısı (°)	Değişmez	Artar	Azalır veya artar
Alın aralığı (mm)	Az miktarda azalır	Artar	Azalır veya artar
Tozun tane iriliği	Az miktarda azalır	Az miktarda artar	Az miktarda artar

Tozaltı Kaynağında Kullanılan Tel ve Toz Tipleri

Tozaltı kaynak yönteminde kullanılan tozlar üretim yöntemine bağlı olarak; ergimiş ve aglomere olmak üzere iki çeşittir. Ergimiş tip tozaltı kaynak tozu üretimi tozu oluşturan bileşenlerin homojen karıştırılıp ergitilmesi ve katılaşma sonrasında kırılarak boyutlandırılması esasına dayanmaktadır. Ergimiş tozlar hidroskobik değildir, kimyasal açıdan homojendirler ve metalik bileşenler içermezler. Bunlar yüksek kaynak akımlarında kararlı bir ark verirler. Aglomere tozlar; tozu oluşturan bileşenlerin homojen olarak karıştırılıp, bir bağlayıcı (sodyum silikat) yardımıyla bağlanarak pelet oluşumu, oluşan peletlerin sinterlenmesi ve kırılarak öğütülmesi prensibine dayanmaktadır. Bu toz tipinde alaşım elementleri de toza ilave edilebilmekte ve kaynak sırasında kaplama metaline geçirilebilmektedir. Ergimiş tozların aksine aglomere tozlar saklanması sırasında, havanın nemini kolayca absorbe edebilirler. Bu ise kaynakta porozite oluşumuna yol açmaktadır. Bunun için kaynak öncesinde tozların 300 ^{o}C bir sıcaklıkta nemlerinin alınması gerekmektedir (Davis, 1993).

Tozaltı kaynak tozunda bulunan bileşikler ve görevleri aşağıda belirtildiği gibi sıralanmıştır.

SiO_2: Asidik özelliğe sahip olup, viskozite ve ergime sıcaklığının ayarlanmasına yardımcı olmaktadır.

Al_2O_3: Doğal bileşen olup, cüruf oluşumunu sağlayıp, kaynak yapılabilirliği kolaylaştırmaktadır. Viskozite ve ergime sıcaklığının ayarlanmasına yardımcı olmaktadır. Yüksek akımlarda arkın kararlılığını sağlar.

TiO_2: Asidik özelliğe sahip olup, curuf oluşumunu başlatıcı bileşiktir. Curufun kolayca kalkmasına yardımcı olur.

CaO: Bazik özelliğe sahip olup, curufun viskozitesinin ayarlanmasına yardımcı olup, kaynak metalinde oksijen miktarını azaltmaktadır.

CaF_2: Bazik özelliğe sahip olup, curufun akışkanlığını iyileştirir ve flor gazının oluşumunu sağlayarak kısmi buhar basıncını düşürerek kaynak metalindeki hidrojen miktarını azaltır.

MnO: Bazik özelliğe sahip olup, kaynak metali şeklini geliştirir ve curufun ergime sıcaklığı ile viskozitesinin ayarlanmasında etkilidir.

MgO: Bazik özelliğe sahip olup, ergimiş curufun bazikliğini arttırır ve hidrojenin kaynak metalinden cürufa doğru ilerlemesini sağlar.

Na_2O, K_2O, Li_2O: Bu bileşikler arkın kararlı olarak devam etmesi için gerekli olan bileşiklerdir.

Tozaltı kaynak tozlarının tipik kompozisyonları **Tablo 19** da verilmektedir.

Tozaltı kaynak tozları üretim yöntemlerine bağlı olarak sınıflandırıldığı gibi, baziklik indeksi (BI) ne bağlı olarak da sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır. Baziklik indeksi; güçlü bağa sahip metal oksitlerin zayıf bağa sahip metal oksitlere oranı olarak tanımlanmaktadır. Boniszewski baziklik indeksini aşağıda belirtildiği gibi ifade etmektedir:

BI=$CaO+CaF_2+MgO+K_2O+Na_2O+Li_2O+BaO+SrO+0.5MnO+0.5FeO/SiO_2+0.5Al_2O_3+0.5TiO_2+0.5ZrO_2$

Baziklik indeksi kaynak metalindeki oksijen içeriğini tahmin etmek için kullanılarak, kaynak metalinin özellikleri tahmin edilmektedir. Bazik toz düşük oksijen içeriği ile yüksek tokluk verirken, asidik toz daha yüksek oksijen vermekte ve kaba mikroyapıyla beraber düşük yırtılma direncine sahip kaynak metali vermektedir. Baziklik indeksi 1,5'den büyük olursa toz bazik olarak tanımlanmakta ve 1'den küçük olursa asidik olarak adlandırılmaktadır (Davis, 1993).

Tozaltı kaynak tozları istenen özelliklere bağlı olarak çeşitli şekillerde ve oranlarda karıştırılmış taneli mineral bileşiklerdir.

DİN 32 522'ye göre açıklaması **Tablo 20** de şematik olarak gösterilen tozaltı kaynak tozları 7 grupta toplanmıştır. Bu gruplandırmalar:

Grup 1 : Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin birleştirme kaynağında kullanılan tozlardır. Si ve Mn'in geçiş/yanma davranışı rakamla ifade edilir.

Grup 2 : Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin birleştirme kaynağında kullanılan tozlardır. Si ve Mn'ın geçiş/yanma davranışı rakamla ifade edilirken Mo ve diğer elemanların Geçiş/yanma davranışı sadece sembolleriyle verilir.

Grup 3 : Sert dolgu tozu olup Si ve Mn Geçiş/yanma davranışı rakamla ifade edilirken C, Cr, Mo gibi elemanlar sadece sembolleriyle verilir.

Grup 4 : %5'in üzerinde Cr içeren yüksek sıcaklığa dayanıklı çeliklerin birleştirme kaynağında, alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin uygun tel elektrotla sert dolgu kaynağında kullanılan tozlardır. Geçiş/yanma davranışı Si, Mn, Cr sırasıyla rakamla ifade edilir.

Grup 5 : Paslanmaz ve ısıya dayanıklı Cr'lu ve Cr-Ni'li çeliklerin birleştirme ve dolgu kaynağında kullanılan tozlar olup geçiş/yanma davranışı Si, Mn, Cr, Nb, C sırasıyla rakamla ifade edilir.

Grup 6 : Paslanmaz ve ısıya dayanıklı Cr'lu ve Cr-Ni'li çeliklerin birleştirme ve dolgu kaynağı için Cr içermeyen tozlar olup geçiş/yanma davranışı Si, Mn, Cr, Nb, C sırasıyla rakamla ifade edilir.

Grup 7 : Nikel ve nikel esaslı alaşımların birleştirme ve dolgu kaynağında kullanılan tozlar olup geçiş/yanma davranışı Si, Mn, Cr, Nb, sırasıyla rakamla ifade edilir.

Tablo 20 de gösterilen kaynak tozlarını aşağıdaki şekillerde de sınıflara ayırmak mümkündür.

- ✓ Kaynağın amacına göre;

1. Hızlı kaynak tozları (kaynak hızı 1,5 m/dak)
2. İç köşe kaynak tozları
3. Birden fazla elektrot ile çalışmak için kaynak tozları
4. Band elektrot ile dolgu yapan kaynak tozları
5. Derin nüfuziyet tozları
6. İnce saç kaynak tozları
7. Aralık doldurma tozları

- ✓ Üretim yöntemine göre

1. Ergitilmiş tozlar
2. Sinterlenmiş tozları
3. Aglomere tozlar

- ✓ Kimyasal yapılarına göre

1. Asit tip tozlar
2. Nötr tip tozlar

3. Bazik tip tozlar

✓ Mineral yapılarına göre

1. Mangan silikat esaslı tozlar
2. Kalsiyum silikat esaslı tozlar
3. Alumina esaslı tozlar
4. Alumina-Bazik esaslı tozlar
5. CaO esaslı tozlar şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Bilindiği gibi tozaltı kaynak yönteminde kullanılan kaynak tozları, örtülü elektrotlardaki örtünün görevlerini yerine getirmektedir.

✓ Fiziksel görevleri

- Kaynak esasında arkı kapatması
- Eriyik haldeki dikişi, havanın kötü etkilerine karşı koruması
- Dikişe uygun bir form vermesi
- Kaynak banyosunun yavaş soğumasını sağlayarak, zararlı gazların kaynak banyosunu terk etmesi için zaman kazandırması ve soğuk-sıcak çatlamaları önlemesi şeklindedir

✓ Metalurjik görevleri

- Kaynak banyosuna ilave ettiği yardımcı katkı elemanlarıyla yanma kayıplarını önlemesi ya da dengelemesidir.

✓ Elektriksel vazifeleri

- Alternatif akımla çalışırken akımın sıfır noktalarından geçerken arkın devamlılığını sağlaması
- Kararlı arkla çalışmayı mümkün kılması şeklinde sıralanabilir.

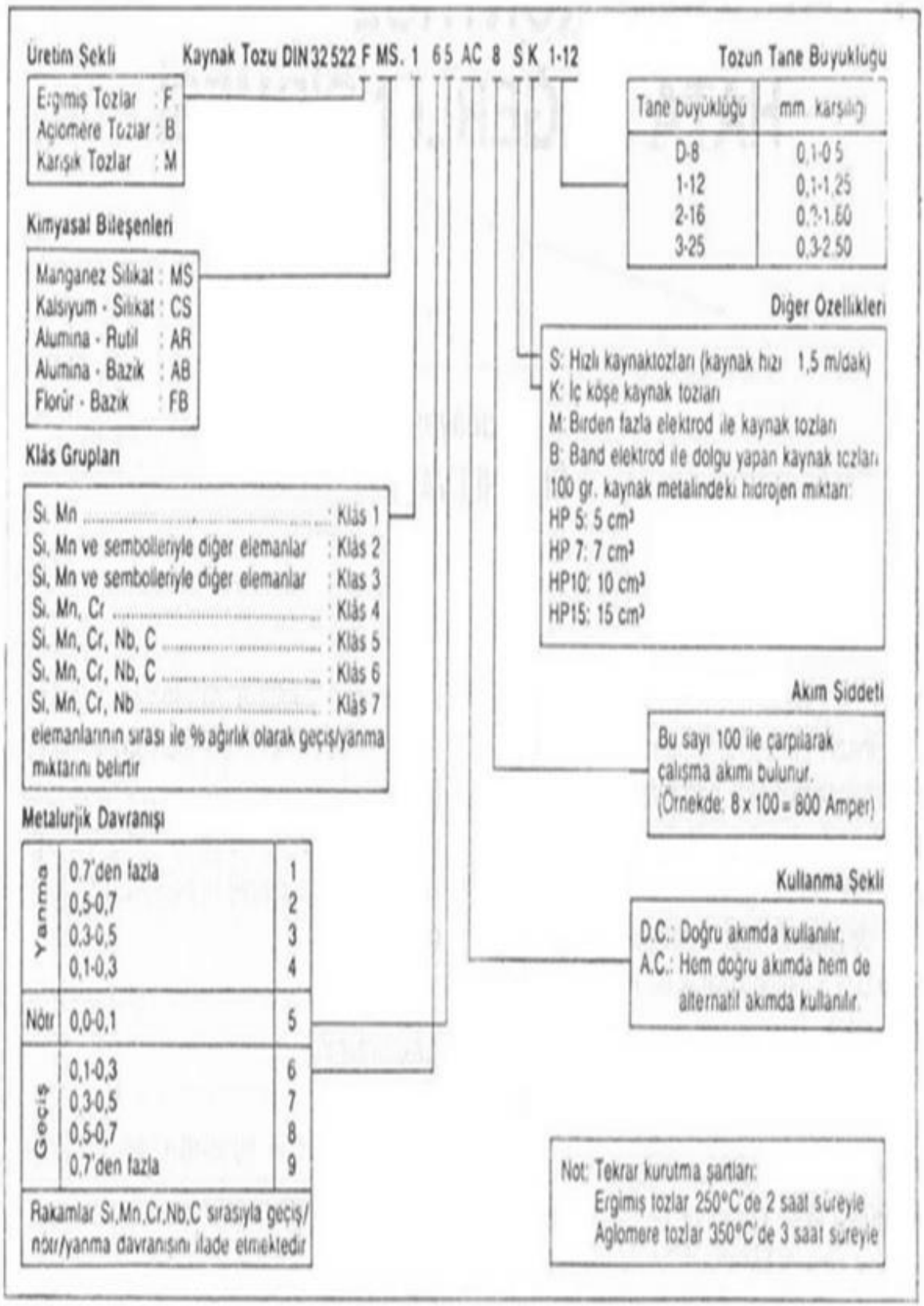
Tablo 20 deki sınıflandırmalarda görüldüğü üzere tozlar, farklı tane büyüklüğünde üretilmektedir. Bu nedenle tozlar, iri ve ince taneli tozlar diye iki guruba ayrıla bilinir.

İri taneli tozlar paslı malzemelerde ve düşük akım şiddetlerinde kullanılması önerilirken, ince taneli tozları ise, yüksek akım şiddetlerinde, LPG tüplerinin imalinde ve küçük çaplı millerin sert dolgu işlemlerinde kullanılması önerilmektedir (Külahlı, 1988).

Tablo 19. Tozaltı kaynak tozlarının tipik kimyasal bileşimleri (Külahlı, 1988).

Kimyasal Kompozisyon								
Kullanıldığı Yerler	**İmalat Şekli**	**ADI**	**SiO_2**	**MnO**	**CaO**	**CaF_2**	**MgO**	**Al_2O_3**
Yüksek akım şiddetinde kullanılan tozlar(4000 A e kadar)	**Erimiş**	**Yüksek Mn S5 ve S6**	**50**	**-**	**30**	**6**	**10**	**4**
Birleştirme ve dolgu amaçlı ve tek ve çok pasolu kaynaklar (1500 A e kadar)	**Erimiş**	**Orta manganezli S3 veS4 S3 Mo S4 Mo**	**38**	**7**	**22**	**6**	**10**	**15**
Birleştirme ve dolgu amaçlı ve tek ve çok pasolu kaynaklar (1000 A e kadar)	**Erimiş**	**Düşük manganezli S2 ve S3**	**33**	**28**	**7**	**5**	**2**	**20**
Çok amaçlı tozlar ince saçların kaynağı Hızlı kaynaklar Korozyona karşı hassasiyet Doldurma kaynakları	**Erimiş ya da aglomere**	**Düşük manganezli S2**	**34**	**40**	**5**	**4**	**<1**	**-**
Çok amaçlı tozlar Birleştirme ve dolgu kaynakları Tek ve çok pasolu kaynaklar Yüksek derecede bazik	**Aglomere**	**Alaşımsız veya hafif manganezli S1 ve S2 S2 Mo ve S3 Mo**	**24**	**8**	**18**	**9**	**<1**	**40**

Tablo 20. Kaynak tozlarının DIN 32522' ye göre sınıflandırılması (Külahlı, 1988).



Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak telleri, çapları 1,2-12 mm arasında olan yüksek kaliteli çelik tellerdir. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tel kompozisyonları **Tablo 21** de verilmektedir.

Tablo 21. TS 5387 EN 756' ya göre tozaltı kaynağında kullanılan tellerin kimyasal bileşimleri (ASM Handbook, 1983).

Sembol	**Kimyasal kompozisyon (%)**			
	C	**Mn**	**Si**	**Mo**
S1	0,06-0,15	0,35-0,60	0,15	0,15
S1 Si	0,07-0,15	0,35-0,60	0,15-0.40	0,15
S2	0,07-0,15	0,80-1,30	0,15	0,15
S2 Si	0,07-0,15	0,80-1,30	0,15-0,40	0,15
S3	0,07-0,15	1,30-1,75	0,15	0,15
S4	0,07-0,15	1,75-2,25	0,15	0,15
S5	0,08-0,16	2,30-2,70	0.05-0.25	0,15
S6	0,07-0,15	2,80-3,20	0.20-0.30	0,15
S1 Mo	0,05-0,15	0,35-0,60	0,05-0,25	0.40-0.60
S2 Mo	0,07-0,15	0,80-1,30	0,05-0,25	0.45-0.60
S3 Mo	0,07-0,15	1,30-1,75	0,05-0,25	0.45-0.60
S4 Mo	0,07-0,15	1,75-2,25	0,05-0,25	0.05-0.50
S5 Mo	0,07-0,15	2,80-3,20	0,05-0,25	0.45-0.60

Tozaltı kaynak tellerinin yüzeylerinin tamamen düz, pürüzsüz, yağ, pas ve pislikten arınmış olmalıdır. Tellerin paslanmasını önlemek ve kaynak esnasında memeden tele akım geçimini kolaylaştırmak için, tozaltı kaynak tellerinin üzerleri bakır ile kaplanır. Kaynak yerinin emniyeti bakımından, manganez miktarı yüksektir. Teller içerdikleri manganez miktarlarına göre sınıflandırılırlar. Kullanılacak kaynak tellerinin seçiminde, kaynak tozunun da göz önüne alınması gerekir.

Bu sebepten dolayı kaynak metalinin bileşiminin tespitinde, hem telin bileşimi hem de tozun bileşimi göz önüne alınarak aşağıdaki seçimler yapılabilir;

a) Alaşımlı bir tel kullanmak

b) Alaşımsız bir tel ile alaşımlı bir kaynak tozunu birlikte kullanmak

c) Alaşım elementi içeren toz ve alaşımlı bir teli birlikte kullanmak (Anık, 1983).

Yüksek manganezli tozaltı kaynak tellerinde, fosfor ve kükürt miktarlarının her birinin % 0.03 ten fazla olmaması gerekir. Bileşimde bulunan diğer elemanların % sınırları ve kaynak dikişindeki etkileri **Tablo 22** de verilmektedir.

Tablo 22. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tellerinde bulunan elementlerin % sınırları ve etkileri (ASM Handbook, 1983).

Alaşım Elemanı	% Sınırları	Etkisi
Karbon (C)	0,05 - 0,25	Sertliği arttırır. Çekme dayanımını yükseltir.
Silisyum (Si)	0,05 - 0,45	Deokside eder. İşlenebilme özelliğini ve kaynak kabiliyetini arttırır.
Manganez (Mn)	0,5 - 3,0	Sertliği arttırır. Çekme ve çentik-darbe dayanımını yükseltir. Uzamayı arttırır.
Molibden (Mo)	0,5 - 1,0	Isıya dayanımını arttırır.
Krom (Cr)	1,0 - 2,9	Sertliği ve ısıya dayanımını arttırır.
Nikel (Ni)	1,0 - 2,0	Düşük çalışma sıcaklıklarında dayanımı arttırır.

Tozaltı Kaynağında Kaynak Esnasında Meydana Gelen Reaksiyonlar

Aktif toz kullanarak yapılan tozaltı kaynak işleminde aşağıda belirtilen reaksiyonlar gerçekleşerek, kaynak metalinde Si artışı söz konusu olur. Bu tür tozlarda SiO_2 içeriği, MnO ya göre çok fazladır.

$[SiO_2] + 2[[Fe]] = 2[FeO] + [[Si]]$ $[SiO_2] + 2[[Mn]] = 2[MnO] + [[Si]]$

Tek parantezler cüruftaki, çift parantezler ise kaynak metalindeki içeriği (yani geçişi) belirtmektedir. Bu durumda; kaynak metalinde Mn kaybı ve Si geçişi görülür.

Nötr tozlar kullanılarak yapılan tozaltı kaynak işleminde ise aşağıda belirtilen reaksiyonla karşılaşılır.

$[MnO] + 2[[Fe]] = [FeO] + [[Mn]]$ $[SiO_2] + 2[[Mn]] = 2[MnO] + [[Si]]$

Bu durumda ise; kaynak metaline Si ile birlikte Mn' de geçer.Kaynak metalindeki Si içeriği, tozdaki SiO_2 içeriğine bağlı olarak artar ya da azalır. Kaynak metalindeki Mn/Si oranının 2 ile 3 arasında olması gerekmektedir. Bu oran 3,5 ise, taneler arasında oluşan oldukça akışkan ve ince "mangan-silikat" zarları çatlamaya neden olur. Eğer oran 2'den küçük ise, şekil değiştirme kabiliyetinde azalma görülür. Aktif toz kullanımında, yukarıda belirtilen reaksiyonlar ile kaynak metaline geçecek silisyumun neden olacağı, olumsuzluklardan kaçınmak için, sınırlı paso sayıları (maksimum 2 veya 3 paso) ve belirli voltaj limitlerinde çalışma zorunluluğu vardır. Nötr ve bazik toz kullanımında ise, silisyumun yanında manganez de kaynak metaline geçeceği için "Mn/Si" oranı açısından problem, dolayısıyla voltaj ve paso sayısında herhangi bir sınırlama olmayacaktır (Alkın,2005). DIN 32522, tozaltı kaynağında kullanılan (alaşımsız, az alaşımlı ve yüksek alaşımlı çelikler için) kaynak tozlarını çeşitli bakımlardan sınıflandırmış ve standardize etmiştir. Ülkemizde de TS 5595 deki elektrotların ve tozların, paslanmaz, ısıya ve sürtünmeye dayanıklı çelikler, nikel ve nikel alaşımlarının tozaltı kaynağı için uyumlu olduğu belirtilmektedir. Bu standart da DIN 32522 ile paralellik göstermektedir.

DIN 32522 'ye göre kaynak tozları kullanma yerleri bakımından 7' ye ayrılmaktadır. Bu sınıflandırmada, paslanmaz çelikler için geliştirilmiş alaşımlı tozlar sınıf 5 ve 6 'da, nikel ve nikel alaşımları ise Sınıf 7 'de standardize edilmişlerdir. Sınıf 5'e giren tozlar, paslanmaz ve ısıya dayanıklı kromlu ve krom- nikelli çeliklerin birleşme ve dolgu kaynaklarında kullanılmaktadır. Bu tozlar krom içerdiğinden, kaynak sırasındaki krom yanması, tozdan

karşılanmaktadır. Sınıf 6 ' da ki tozlar da krom içerirler ve bu tür çeliklerin birleşme ve dolgu kaynaklarında kullanılmaktadırlar.

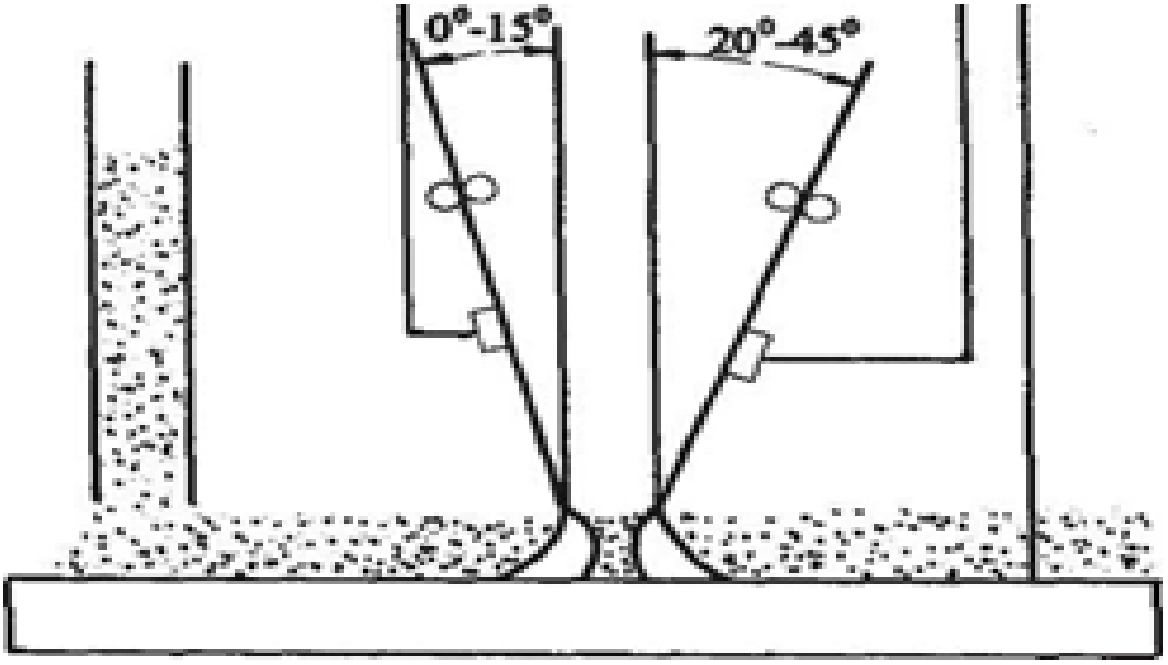
Kaynak tozlarının diğer özellikleri arasında; kullanım yerleri, kaynak metalinin hidrojen içeriği (DIN 8572/2) ve tane büyüklükleri (DIN 66100) dikkate alınmıştır. Paslanmaz çeliklerin tozaltı kaynağında tel-toz kombinasyonlarının çok iyi ayarlanması gereklidir. Bu açıdan bu çelik türlerinin tozaltı kaynağının incelendiği eserlerdeki öneriler dikkate alınmalıdır.

Tozaltı Kaynak Tipleri

Tandem Tozaltı Kaynak Yöntemi

Birbirini takip eden ve aynı yörüngede hareket eden iki elektrot ile yapılan bir tozaltı kaynak yöntemidir **(Şekil 22).** Bu sistemin avantajları, kaynak hızının yüksek olması, gözenek oluşumu büyük ölçüde önlenebilir olması, dikişlerin çatlamaya karşı daha güvenli olması ve dikiş kalitesinin çok iyi olmasıdır.

Bu sebeplerden dolayı tandem yöntemi, doldurma kaynakları, iç köşe birleştirmelerinde ve paslı parçaların kaynağında iyi sonuçlar vermektedir (Anık, 1991).

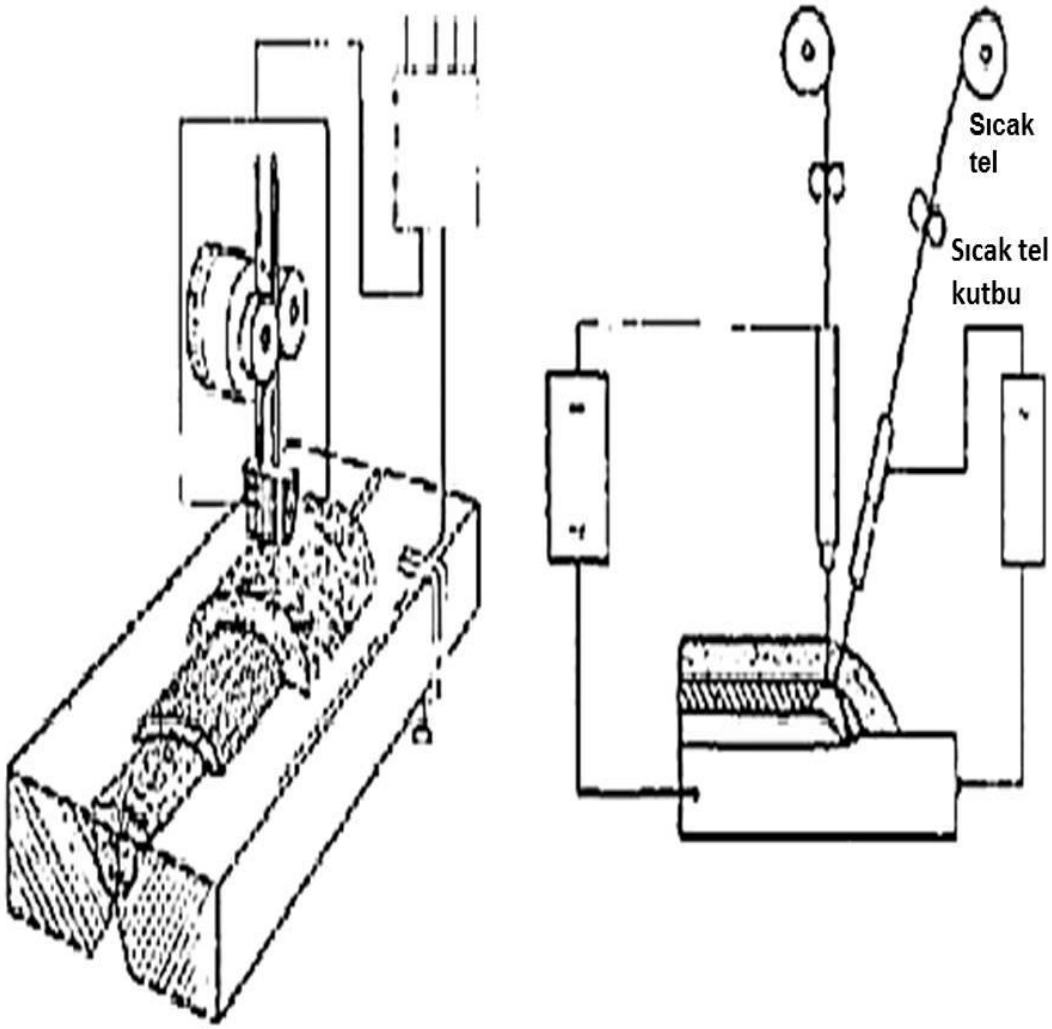


Şekil 22. Tandem tozaltı kaynak metodunun prensip şeması (Anık, 1991).

Paralel Tozaltı Kaynak Yöntemi

Paralel tozaltı kaynağı yönteminde iki tel (elektrot) kaynak yapılacak parçaya dikey olarak ve birbirine paralel durumdadır **(Şekil 23).** Teller aynı başlığa bağlıdır ve birlikte hareket ederler. Bu yöntemin sağladığı avantajlar;

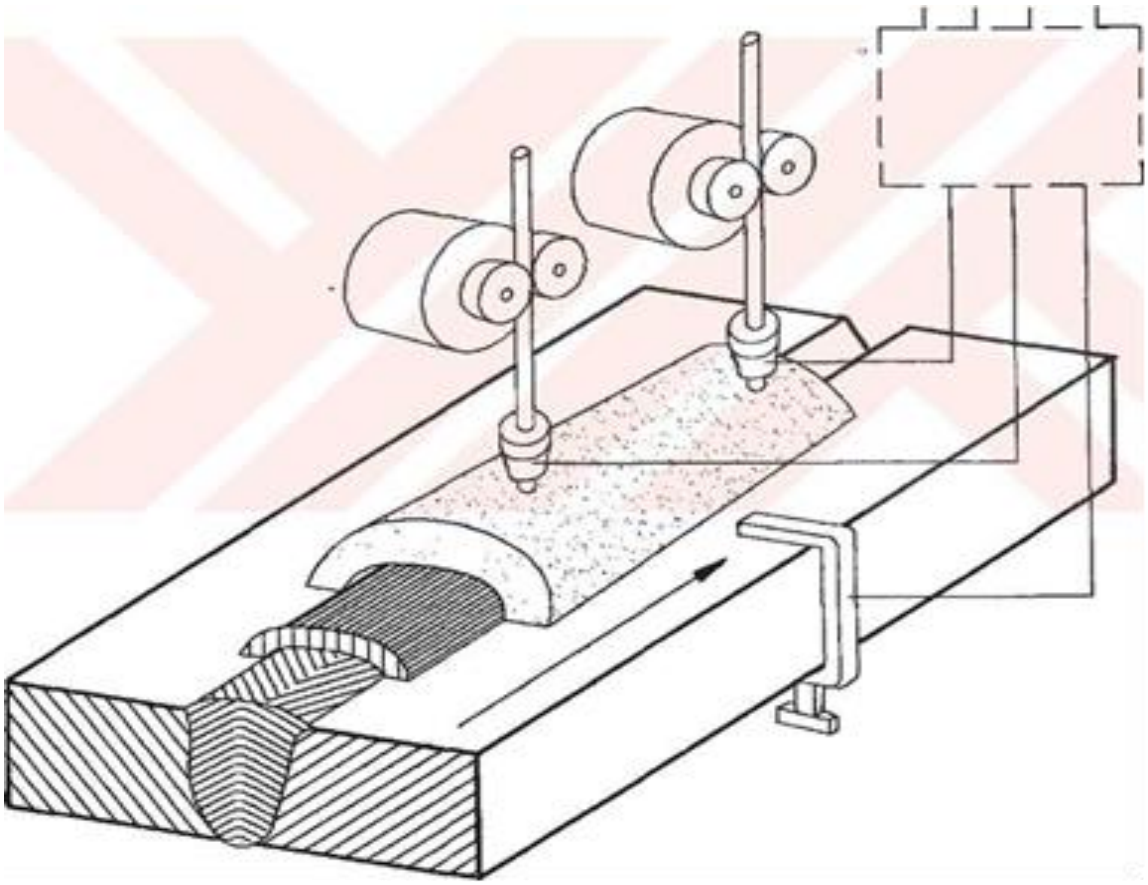
- Nüfuziyetin kontrol edilebilir olması
- Kaynak banyosunun parçayı delerek zarar verme tehlikesinin daha az olması
- Aralık doldurma kabiliyeti çok daha iyi olması
- Dikiş formunu değiştirme imkânı olması şeklinde sıralanabilir.



Şekil 23. Paralel tozaltı kaynak metodunun prensip şeması (Anık, 1980).

Seri Tozaltı Kaynak Yöntemi

Seri tozaltı kaynak yönteminde, nüfuziyet ve esas metal ile kaynak telinin karışım oranlarının kontrolü mümkün olmaktadır. Böylece nüfuziyeti az, doldurma kaynaklarının yapılması mümkün olmaktadır. Bu yöntemde kaynak arkı, birbirine seri olarak bağlanmış iki elektrot arasında meydana gelir **(Şekil 24)**. Ön ark sayesinde de parçalar ergitilmesi sağlanır.

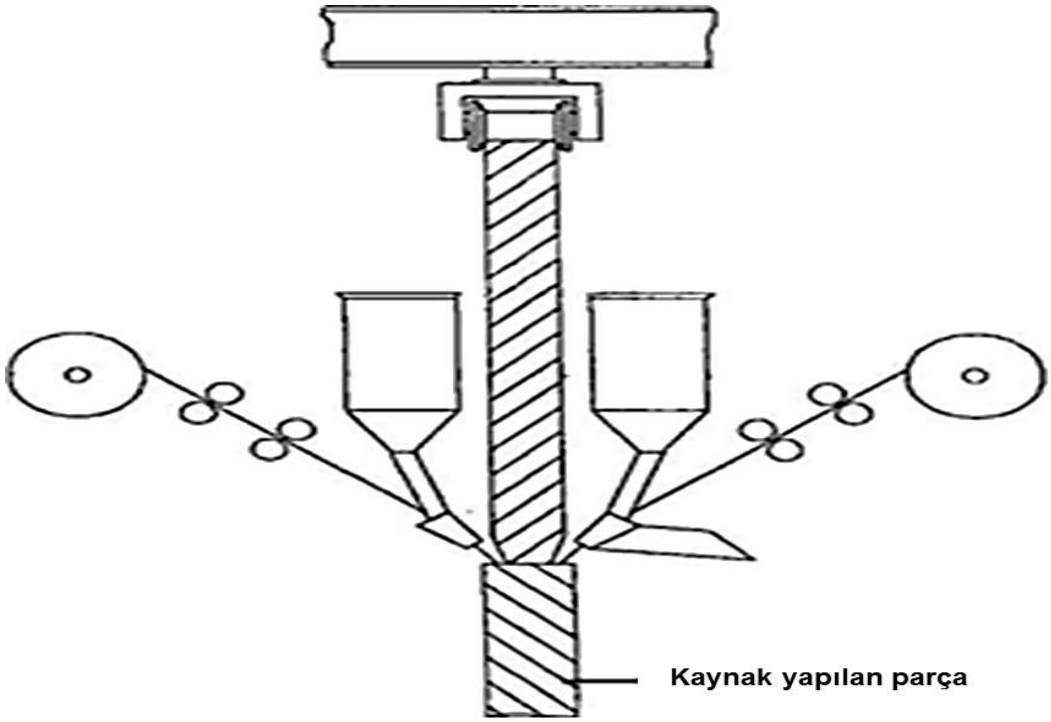


Şekil 24. Seri tozaltı kaynak yönteminin prensip şeması (Anık, 1991).

Seri tozaltı kaynak yönteminin faydaları ergime gücü fazla olması, toz sarfiyatı az olması, nüfuziyeti az olması nedeniyle, ince sacların ve kaplanmış sacların kaynağı için uygundur (Anık, 1991).

Korniş Tozaltı Kaynak Yöntemi

Dik pozisyonda alın alına getirilmiş sacların, aynı anda iki taraftan kaynağının mümkün olduğu kaynak yöntemidir **(Şekil 25).** Böylece hızlı ve daha dengeli kaynak yapma olanağı sağlanmaktadır.



Şekil 25. Korniş tozaltı kaynak yönteminin prensip şeması (Anık, 1991).

Bant Elektrot Tozaltı Kaynak Yöntemi

Bu yöntemde tel halindeki elektrotun yerini bant halinde bir şerit elektrot almıştır. Şerit elektrot kullanarak tozaltı kaynak yöntemi ile yapılan dolgu kaynağı Avrupa Kaynak Endüstrisi tarafından kabul edilmiş ve özellikle nükleer ve kimya mühendisliği ile ilgili tesislerin çeşitli kısımlarındaki kaplama işlemlerinde büyük başarı göstermiştir. Kaynak bandı olarak en çok 0,5x60 mm veya 0,5x30 mm dikdörtgen kesitli şeritler kullanılır. Bant elektrotla yapılan kaynaklarda, tel elektrotlarla yapılan kaynaklarda olduğu gibi aynı fiziksel ve metalurjik reaksiyonlar meydana gelir. Günümüzde, bant elektrotla tozaltı kaynağının bütün kaplama boyunca devam eden, yüksek alaşım göstermesi sağlanmıştır. Metodun en önemli avantajları, ergitme gücünün yüksek olması, penetrasyonun az olması, dikişte gözeneğin az olması ve yüksek ekonomi sağlanması şeklinde sıralanabilir.

Bu tipteki kaynaklar 450 mm çapa ve daha yüksek çaplara sahip tüp yüzeyleri ile büyük kapların düz ve eğri yüzeylerinin kaplanmasında kullanılmaktadır. Teknik olarak tel ile yapılan tozaltı kaynağına çok benzerdir. Doğru akım arkı, kaynak bölgesine düzenli bir şekilde gönderilen bant elektrotla yüzeyi kaplanan ana metal arasında oluşturulur. Kontrol edilebilen bir ark boyu elde edebilmek İçin genellikle sabit gerilimli bir doğru akım kaynağı kullanılır (Maraşlı 1977, Günay 1976).

Tel elektrot kullanılarak yapılan uygulamalar ile nüfuziyet derinliğinin 8-10, dikiş yüksekliğinin 6-13 katı seviyelerinde dikiş genişliklerine ulaşmak mümkün olabilmektedir Bant elektrot kullanılma ile ise, bu sınırlar çok daha genişlemektedir (Gültekin,1988).

Tozaltı bant kaplama ile tozaltı kaynak yöntemi tel kullanımı arasında prensip olarak hiç bir fark yoktur. Geleneksel tozaltı kaynak ekipmanı aynı zamanda bant kaplama için de uygundur ve temel olarak bant telin yerini alır. Kaynak kafası, kontak kafaları ve besleyici makaralar tel yerine bant elektrotun rahat hareket etmesi için değiştirilmiştir. Bandı ve ana metali ergitmek için gereken enerji kaynak bandı ile ana metal arasında ve kaynak tozunun koruması altında oluşan elektrik arkı sayesinde elde edilir. İşlem esnasında toz bandın iki tarafına da akar ve ergimiş toz altında bant ve ana metal sürekli olarak ergir. Yığılan kaynak metalini katılaşan ince bir cüruf tabakası sarar. Bant kaplama kaynak yönteminin tel ile kaynak yöntemine göre en önemli avantajları;

- Çok düzgün nüfuziyet,
- Yüksek metal yığma hızı,
- İstenen özellikleri sağlamak için yapılması gereken paso sayısınının azalması dolayısıyla; düşük düzeyde nüfuziyet ve seyrelme,
- Yüksek ve tekrarlanabilir kaynak metali kalitesi,
- Klasik sıcak çatlağa hassas malzemelerle kıyaslandığında, merkezi soğuma çizgileri olmadığı için çok düşük sıcak çatlak hassasiyetinin oluşumu,
- Sınırlı sayıda kaynak dikişi bindirmesi ile çok düzgün yüzey elde edilebilmesi,
- Telden banda geçmek için çok az yatırım gerekmesi şeklinde sıralanabilmektedir.

Tozaltı bant kaplama için kaynak tozu formülasyonu yapılırken baziklik, oksitleme gücü, viskozitesi, ergime sıcaklığı, katılaşma sıcaklığı, yüzey gerilimi genleşme ve çekme katsayıları, analizler, tane boyutları, v.b. gibi bazı faktörler dikkate alınmalıdır. Bu faktörler toz formülasyonunda ve üretiminde dikkate alınması gereken toz ve cüruf

özellikleridir. Bu faktörler aşağıda belirtilen pek çok metalürjik ve teknolojik özelliklere etki ederler.

- Ark kararlılığı,
- Dikiş profili,
- Islatabilme (yayılabilme),
- Cüruf temizleme,
- Hatasız bindirme,
- Düzgün nüfuziyet,
- Cüruf ve gaz kalıntısının olmaması,
- Yığılan metalin alaşımlandırılması
- Kaynak metali kimyasal kompozisyonu,
- Seyrelme miktarı,
- Toz tüketimi (Cavcar, 1998b).

Tozaltı kaynağının sert dolgu kaplamalardaki avantajları ;

- Otomatik bir yöntem olması
- Büyük ve aşınmış parçaların doldurulması ekonomik ve kolay olması
- Operatör eğitimi için geçen süre kısa ve kolay olması
- Kaynak dikişi temiz düzgün ve sağlam olması şeklinde sıralanabilir.

Tozaltı kaynağının sert dolgu kaplamalardaki dezavantajları ise,

a) Dolgu kaynaklarında kullanılan alaşımların sınırlı olması

b) Kaynak işlemi tozun altında yapıldığından düz ve silindirik parçalarla sınırlı olması

c) Belli büyüklükteki ve kalınlıktaki malzemelerin kaynak yapılabilir olması

d) Yüksek seyrelme nedeniyle aşınma direncini artırabilmek için çok pasolu kaynak yapmanın zorunlu olması

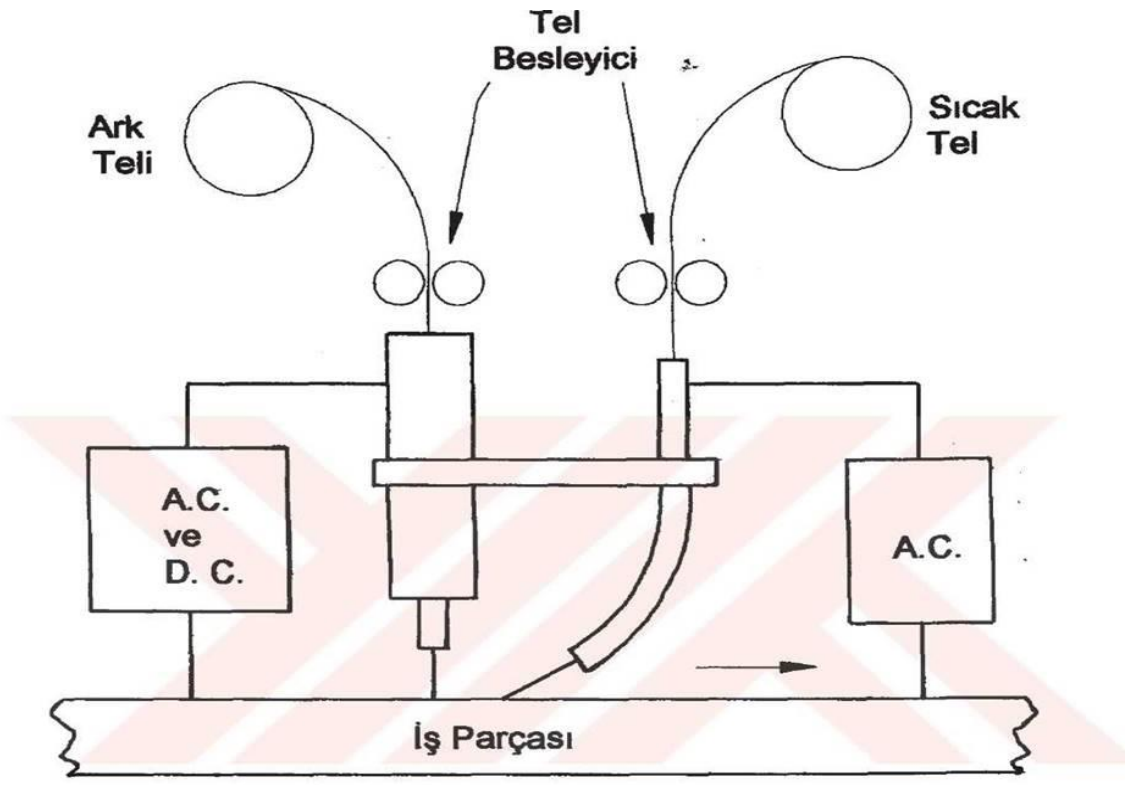
e) Yüksek ısı girdisi nedeniyle iş parçasının deformasyona uğrayabilir olması

f) Otomatik olması nedeniyle kullanım alanının sınırlı olması

g) Toz besleme ünitesine ihtiyaç olunması şeklinde sıralanabilir (Cavcar, 1998a).

Tozaltı Ark Sıcak Tel Kaynak Yöntemi

Sıcak telli tozaltı ark kaynağı, klasik tek tel yöntemine benzemekle beraber, birden fazla tel ile yapılan (paralel, seri, tandem) sistemlerin birçok özelliğini taşır. Birden fazla ve klasik tek tel seviyeleri kadar çok biriktirme hızlarında sağlam kaynaklar, sadece tek tel arkta olduğu gibi, hemen hemen eşit bir ısı girişinde mükemmel yan yüzey ergitmesi ile yapılır. Kaynak banyosunu kaplayan cüruf boyunca, tel güvenilir bir şekilde beslenemediği için sıcak tel, ark telinin önündedir. **Şekil 26** da tozaltı ark sıcak tel kaynak yönteminin şeması görülmektedir (Lee, 1972).



Şekil 26. Tozaltı ark sıcak tel kaynak yönteminin prensip şeması (Lee, 1972).

Tandem usulün bir alternatifi olan bu metot da tandemden farklı olarak tellerden bir tanesi elektrik direnci ile ısıtılarak kaynak banyosuna bırakılarak kaynak yapılmaktadır. Bu şekilde elektrik enerjisinden de tasarruf sağlanabilmektedir. Bu ve benzer tozaltı kaynak metotları son senelerde ülkemizde de oldukça geniş bir uygulama sahası bulmuştur. Özel sektörde ve özellikle likit gaz tüpü imalatında ve Devlet Karayolları Bakım Atölyelerinde dozer ve traktörlerin aşınan yürüyüş takımlarının doldurulmasında kullanılmaktadır.

Dik (Saat 3 Yönünde) Pozisyonda Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemi

Bu yöntemde tel ve parçanın konumu akrep ve yelkovanın saat 3'deki durumunu andırdığından bu şekilde bir isim kullanılmaktadır. Bu metot Lincoln firması tarafından geliştirilmiştir. Bu metot da parça dik, dikiş ise yere paraleldir. Aynı anda parçanın iki tarafının kaynak edilmesi mümkün olmaktadır. Böylece hızlı ve dengeli kaynak yapma olanağı oluşmaktadır. Tozun yere düşmemesi için kaynak kafasıyla beraber hareket eden özel kayışlar mevcuttur. Bu yöntem özellikle gemi inşaatında geniş bir uygulama sahası bulmuştur.

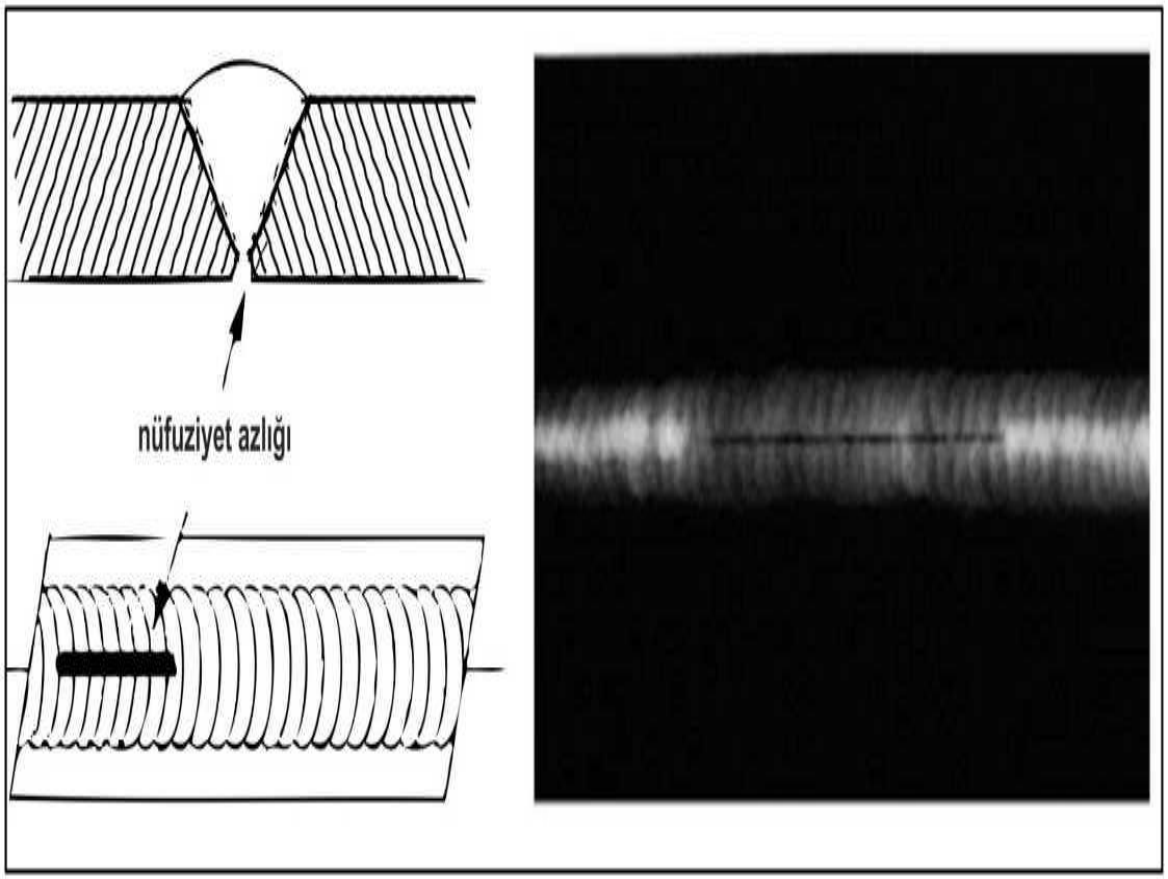
Bu yöntem, dik pozisyonda tozaltı kaynağı ile diğer kaynak pozisyonlarına göre daha küçük çaplı elektrotlar ile çalışabilme olanağı sağlamaktadır. Bu yöntemin kullanılması ile daha düşük akım değerlerinde kaynaklar yapılabilmektedir. Bu yöntemde diğer yöntemlere göre toz sarfiyatı nisbi olarak daha azdır. Daha dengeli kaynaklar yapılabildiği için kaynak sonrasında parça üzerinde distorsiyon (çarpılma) ve kalıcı gerilmelerin daha küçük değerlerde olması beklenmektedir (Rossi,1954).

Tozaltı Ark Kaynağında Oluşan Kaynak Hataları

Tüm kaynak yöntemlerinde olduğu gibi tozaltı ark kaynağında da kaynak parametrelerinin uygun seçilmemesi, uygun olmayan ilave kaynak metali veya kaynak tozu kullanımı ve kaynak tekniğinin kötü uygulanması sonucunda istenmeyen bir dizi kaynak hatası ile karşılaşılması olasıdır. Tüm kaynak hataları, kaynak dikişinde bir zayıflama ve süreksizlik oluşturarak bağlantının kullanımı sırasında geri dönüşü olanaksız çatlak, kırılma ya da performans eksikliğine neden olabilir (Ada, 2006).

Nüfuziyet Yetersizliği

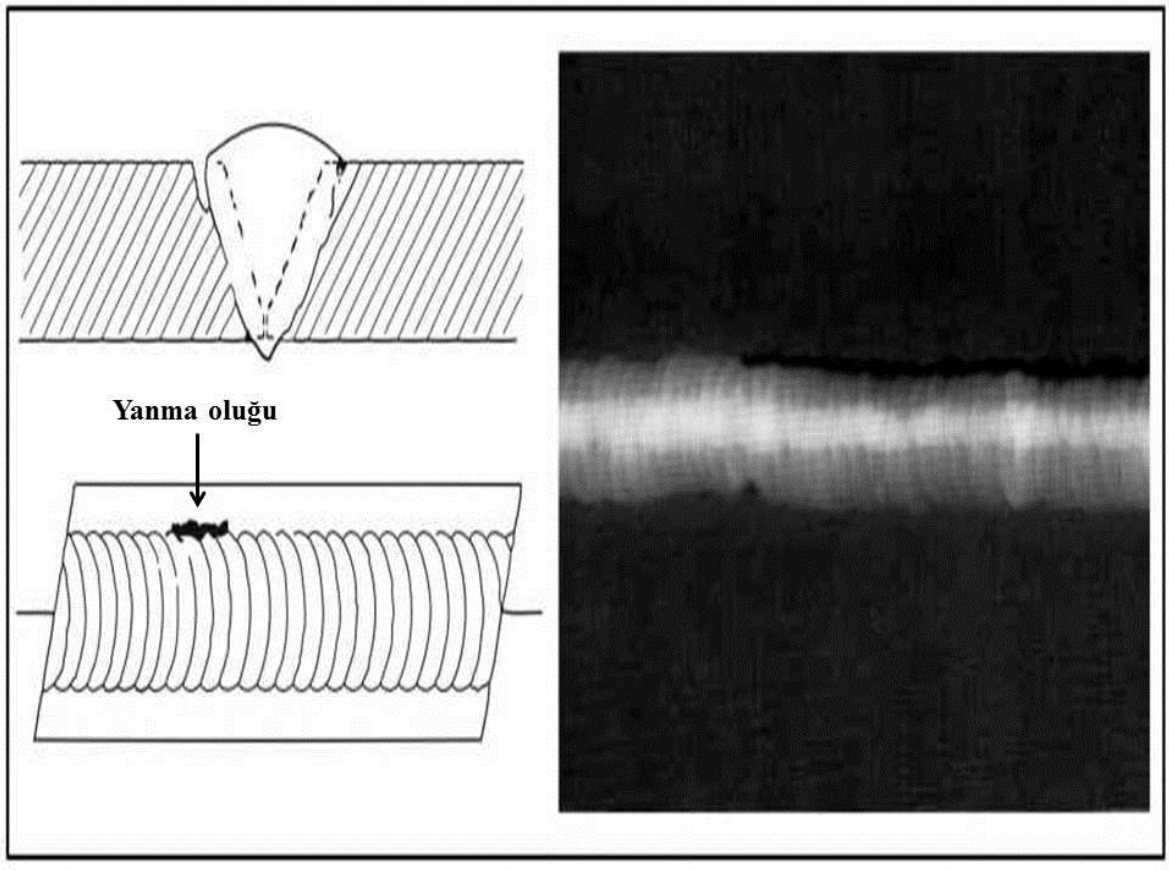
Kaynak sırasında kök pasonun tam nüfuz ettirilmemesi veya yine bu pasoda oluşan oyuk ve çentikler yetersiz nufüziyet olarak adlandırılırlar **(Şekil 27).** Bu hatanın oluşum nedenleri; elektrot çapının uygun olmaması, akım şiddetinin uygun olmaması, kaynak ağzı açısının büyük olması, kök pasonun iyi çekilmemesi, kök açıklığının uygun olmaması, eksenel kaçıklığın büyük olması, kökteki ardışık pasolarda uygun başlangıcın yapılmaması, kök pasonun taşlanmamasıdır. Küt alın birleştirmelerde, tam olarak nufüziyet elde etmek için birleştirmenin altı (yani diğer yüzü) spiral taş veya oksijen rendesiyle temizlenip bir paso kaynak ile doldurulmalıdır (Candan, 2004).



Şekil 27. Nüfuziyet yetersizliğinin şematik gösterimi ve radyografik görüntüsü (Özakın, 2010).

Yanma Olukları

Bu hata, kaynaktan sonra ana malzemede ve dikişin kenarındaki oyuk veya çentik şeklinde görünür. Oluklar dikiş boyunca sürekli veya kesintili olarak devam eder. Bütün ark kaynak yöntemlerinde karşılaşılan yanma oluklarının esas nedenleri, kaynak parametrelerinin uygun seçilmemesi ve hatalı manipülasyonlardır. Yanma olukları kaynak dikiş kesitini zayıflattıklarından ve kesme etkisi yaptıklarından özellikle dinamik zorlamalarla karşılaşılan durumlarda tercih edilmez. **Şekil 28** de yanma olukların şematik ve radyografik görüntüsü verilmiştir (Candan, 2004).



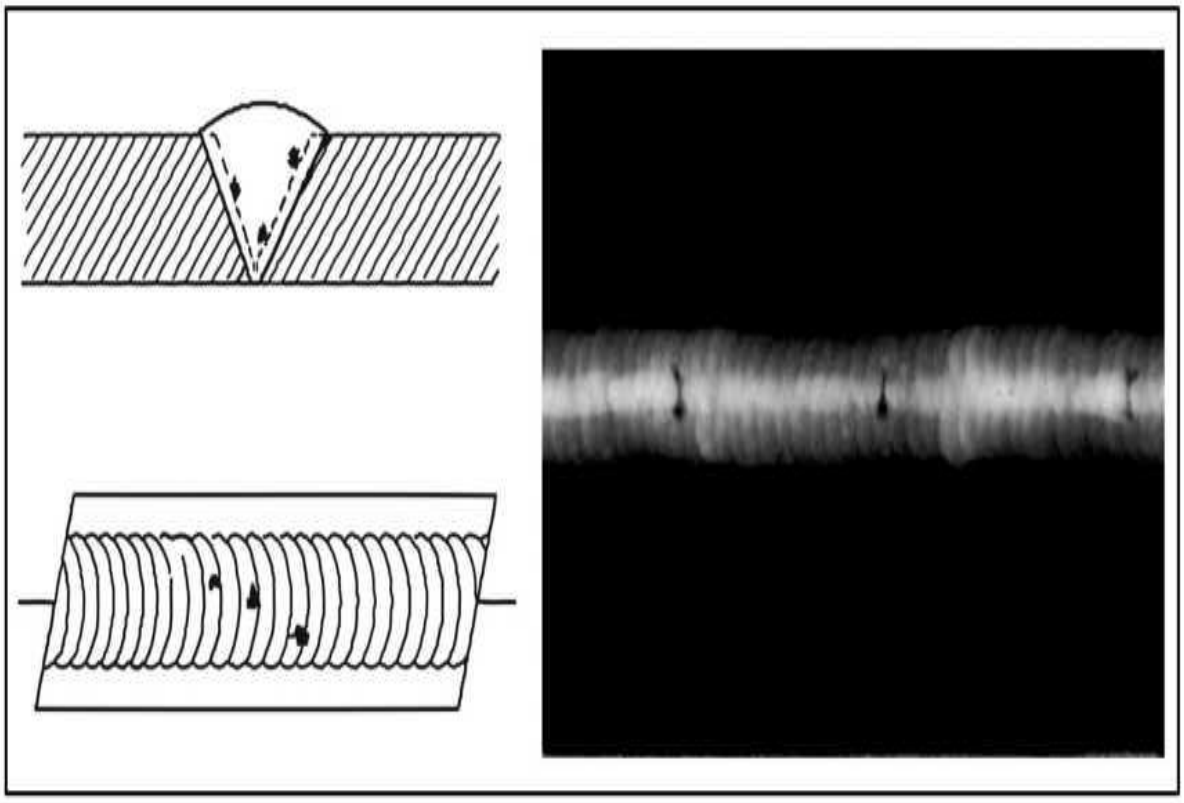
Şekil 28. Yanma olukların şematik gösterimi ve radyografik görüntüsü (Özakın, 2010).

Gözenek Oluşumu

Çok çeşitli nedenlerle oluşabilen gözenekler kaynak banyosunda sıkışıp kalan gazların oluşturduğu boşluklardır. Bunlar gaz kabarcığı denilen tek tek yuvarlak veya gaz kanalı olarak adlandırılan uzunlamasına boşluklar halinde dikiş içinde yer alırlar. Bir kaynak dikişinin içinde bulunan gözenekler, dikişin taşıyıcıyı kesitinin azalmasına yol açtığından dolayı mukavemet değerlerini düşürür ve aynı zamanda yerel gerilme birikimlerine neden olur. Bu durumda bağlantının mekanik özelliklerinin kötüleşmesine yol açar (Ada, 2006).

Kalıntılar

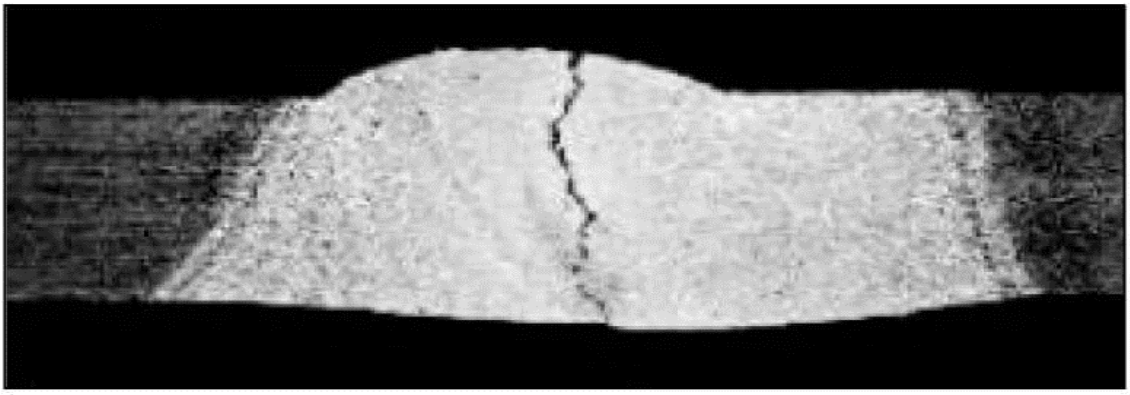
Kaynak işlemi esnasında kaynak bölgesine geçen ve sonuçta kaynak bölgesinden uzaklaştırılamayan, kaynak bileşimi karakterinde olmayan kalıntıların neden olduğu hatalardır (Candan, 2004). **Şekil 29** da kalıntıların kaynak dikişindeki şematik ve radyografik görüntüsü verilmektedir.



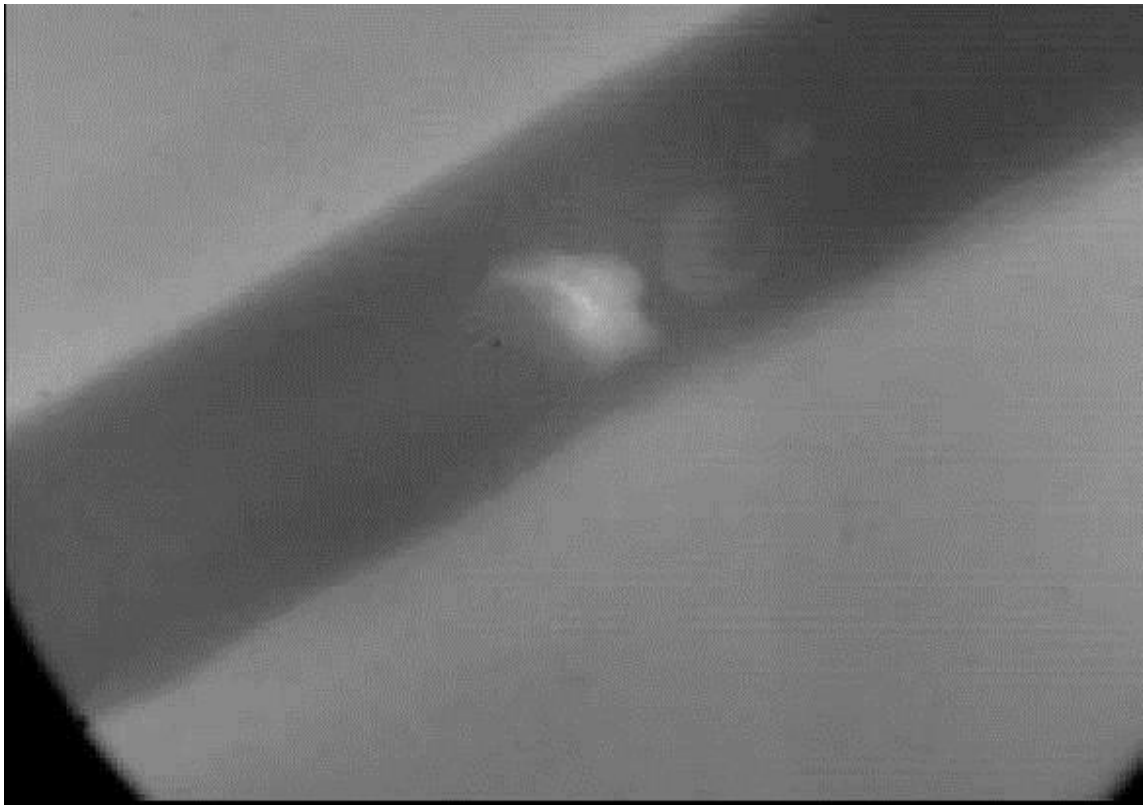
Şekil 29. Kalıntıların kaynak dikişindeki şematik gösterimi ve radyografik görüntüsü (Özakın,2010).

Çatlaklar

En tehlikeli kaynak hatasıdır. Eritme kaynağında; ana metalde, kaynak metalinde veya ısının tesiri altındaki bölgede ortaya çıkabilir ve dış zorlamaların türü ne olursa olsun çatlaklar sürekli olarak bağlantının mukavemet değerini düşürür. Bu nedenle, kaynak dikişinde çatlağa hiçbir şekilde izin verilmez (Ada, 2006; Özakın, 2010). **Şekil 30** da kaynak dikişinde meydana gelen sıcak çatlama örneği ve **Şekil 31** de ise radyografik muayene yöntemiyle Fotoğraflanan çatlağın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 30. Kaynak dikişinde meydana gelen sıcak çatlama örneği (Özakın, 2010).



Şekil 31. Radyografik muayene yöntemiyle fotoğraflanan bir çatlağın görünüşü (Candan, 2004).

1.2.7. Sert Dolgu Kaynağında Dikkat Edilmesi Gerekenler

1.2.7.1. Görsel analizler

Hangi parçaların yenilenmesi gerektiği ve hangi parçaların biraz daha kullanılabileceğinin belirlemek için uygun bir personel başlangıçta gözle değerlendirme yapmalıdır (Cavcar, 1998).

1.2.7.2. Temizleme ve koruma

Kirlenmiş ve paslı malzemeler uygun bir yöntemle temizlenmedir. Parçalarda sert dolgu yapılmayacak yerlerin (anahtar yerleri, yataklar, kaldırma yerleri) uygun bir kaplama malzemesi ile örtülmesi ile bu bölümler oksitlenmeden korunabilir. Kaldırma ve tutma aparatlarının kullanıldığı yerlerde parçaların hasar görmemesi için koruma yapılmalıdır (Cavcar, 1998).

1.2.7.3. Kaynağa hazırlıkta mekanik işleme öncesi gerilim giderme

Bazı işletmelerde mekanik işleme ve yüzeyde sert dolgu öncesi gerilim giderme (temperleme) ısıl işlemi yapmak yaygın bir uygulamadır. Gerilim giderme sıcaklığı ana malzemenin orijinal temperleme sıcaklığının yaklaşık 50 °C altında tutulmalıdır. Bu ısıl işlem yalnızca parça içindeki karmaşık ısıl işlemleri gidermekle kalmaz aynı zamanda

yüzey sertliğini pahalı kesici uçlara veya zaman kaybına neden olacak özel mekanik işleme uygulamalarına ihtiyaç duyulmayacak seviyelere düşürür. Gerilim giderme sıcaklığı ana malzemenin kimyasal kompozisyonuna bağlıdır. Isıl işlem süresi parça kalınlığının her inçi için 1/2 saat olmalıdır. Yaklaşık 250 °C'ye kadar saatte 50-100 °C ısıtma hızı önerilir. 250 °C'nin üzerine ısıtırken saatte 40-70 °C' lık ısıtma hızı kullanılmalıdır. Soğutmada, işlem tersine döner. 150-200 °C'ye soğutma fırında yapılmalıdır. Mekanik işleme ile kaldırılacak sert dolgu kaynak metalinin yüzey sertliği istenen sertlik düzeylerine düşürülmelidir. Yağlayıcıların çoğu, kaplama malzemeleri ve diğer birikintiler ısıl işlem süresince rahatlıkla yanarak malzeme üzerinden uzaklaşır. Özellikle eski parçaların yüzeylerindeki sert dolgu kaplamasının tümü aşınmamış ise bu uygulama gereklidir.

Bazı atölyelerde parçaların mekanik işlemesi gerilim giderme ısıl işlemi yapılmadan da gerçekleştirilmektedir. Ancak, bazı durumlarda, mekanik işlemeden sonra; muayene, tampon paso uygulaması ve gerilim giderme işlemi sert dolgu işleminden hemen önce yapılabilmektedir. Bazı sert dolgu alaşımları ile kaynak yapıldığında yüzeyde gerilim çatlakları oluşur. Fakat bu çatlakların boyutlarının küçük ve dağılımının da homojen olması gereklidir. Bunu sağlayabilmek için parçalarda malzemenin karbon ve alaşım içeriğine göre kaynak öncesi ön tav yapılabilmektedir. Eski sert dolgu tabakası karbon elektrotlarla kaldırılmalı ve bu tabakanın altındaki malzemeye göre gerekirse gerilim giderme yaparak taşla veya talaş kaldırarak işlenmelidir (Ozan, 2010).

1.2.7.4. Mekanik işleme

Sert dolgu yapılacak yüzeydeki korozyonun, karbür malzemelerin, çatlakların ve mekanik olarak yorulmuş yüzeyin mekanik olarak işlenerek veya karbon elektrotlarla çıkartılması gerekir. İşleme derinliği 1/8" ile 1/4" arasında değişebilir, derin çatlakların oluşması durumunda bu derinlik 2"e kadar çıkabilir.

1.2.7.5. Muayene

Manyetik parça, florosan boya veya ultrasonik muayene ile parça üzerindeki veya içindeki hatalar kontrol edilmelidir. Çatlaklar çıkartılmalı ve sağlamlığı kontrol etmek için tekrar muayene edilmelidir (Cavcar, 1998).

1.2.7.6. Ön Tav ve Pasolar Arası Sıcaklık Kontrolü

Karbonlu ve düşük alaşımlı çelikleri martensitik alaşımlarla sert dolgu yaparken; kaynak öncesi ve kaynak sırasında ön tav ve pasolar arası sıcaklıkların kontrol edilmesi, düzgün kaplama sertliklerinin elde edilmesi, ısıdan etkilenen bölgede çatlak oluşumunun engellenmesi ve hidrojen çatlağının oluşumunun ertelenmesi gerekmektedir. Bazı işletmelerde ön tav planlı olarak yerleştirilen brülör ve benzer ısıtıcılarla yapılır, böylece silindirik parçalar sürekli olarak dönerken ısı iş parçasına doğrultulabilmektedir. Ancak, en uygun ön tav, sıcaklık kontrollü fırında ana malzemenin alaşımı ve kütlesi için uygun ısıl işlem sıcaklığında ve sürede yapılmalıdır. 260 °C' nin üzerindeki ısıtmalarda saatte 40-70 °C'lik ısıtma hızı kullanılırken, 250 °C'nin altında ise saatte 50-100 °C'lik ısıtma hızı kullanılmaktadır. Uygulanan sıcaklık, parçayı fırından alıp kaynak bölümüne getirene kadar soğuyacak kadar düşük sıcaklıklarda olmalıdır. Isıl işlem süresi parçanın alaşımına da bağlı olarak parça kalınlığının ya da malzeme çapının her inçi için 1/4 ile 1/2 saat arasında olmalıdır. Bu, 20" çapında bir merdane için ısıl işlem sıcaklığında bekleme süresi 5 - 10 saate ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Östenik ana malzemeleri östenitik alaşımlarla sert dolgu yaparken dikkat edilmelidir. Östenitik malzemeler yüksek sıcaklıklarda gevrekleşme hassasiyeti gösterir. Yani gevrekleşerek kırılırlar. Bu nedenle ana metal sıcaklığı 10 °C'nin altında olmadıkça ön tav yapılmamalı ve ön tav sıcaklığı 70 °C'yi geçmemelidir. Kaynak esnasında pasolar arası sıcaklık çok dikkatli kontrol edilmeli ve 250 °C'yi kesinlikle geçmemelidir. Kaynak sonrasında ise parçanın yavaş soğumasına izin verilmemeli, olabildiğince hızlı soğutulmalıdır (Ozan, 2010).

Ön tav ya da ön ısıtma;

1- Çatlak oluşumunu engeller. Elektrot örtüsünden veya tozdan kaynak metaline geçen nemi azalmasına böylece, nemden dolayı oluşan hidrojenin kırılma bölgelerindeki etkisini yok eder. Ayrıca; ön tav nedeniyle malzeme yavaş soğuma davranışı sergileyeceğinden hidrojenin difüzyon yoluyla malzemeden uzaklaşmasına katkı sağlar.

2-Katılaşma gerilimlerinin oluşmasını engeller. Ergimiş kaynak metali soğurken hacmi küçülür, bu durum kaynak metali ile soğuk ana malzeme arasında gerilimlere yol açarak, kaynak sonrasında çatlak ve kırılmaların oluşmasına neden olur. Kaynak metali ile ana

metal arasındaki sıcaklık farkını azaltmak ve çatlak oluşumunu engellemek için ön tav yapılır.

3-Gözenekleri yok eder. Kaynak yapılacak ana malzeme üzerinde nem olabilir. Bu nem kaynak esnasında hidrojenin kaynak metali içine hapsolmasına neden olur. Katılaşma devam ettiğinde ise gözenek oluşumuna neden olabilir.

4-Isıdan etkilenen bölgenin indirgenmesi. Bazı alaşımlı çelikler, ısıdan etkilenen bölgenin çabuk soğuması sonucu sertleşmeye ve çatlak oluşumuna eğilimlidirler. Ön tav soğuma hızını yavaşlatır ve malzeme daha sünek ve tok bir davranış sergiler.

5-Malzemedeki olası tahribatı engeller. Soğuk ana malzeme üzerine yapılan kaynak işlemlerinde, sıcak kaynak metali ana malzemede gerilimlere yol açarak, ana malzemede çatlak oluşumuna neden olabilir (Cavcar, 1998).

1.2.7.7. Pasolar Arası Sıcaklık Kontrolü

Karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklere martenzitik alaşımlar ile sert dolgu yaparken, pasolar arası sıcaklık ön tav sıcaklığının altında olmalı ve bu sıcaklıktan 10 ile 40 °C den daha fazla sapma olmamalıdır. Eğer kaynak esnasında parçanın ön tav sıcaklığının altına soğumasına izin verilirse, martenzitik dönüşüm olabilir ve eğer bu olursa, daha sonraki kaynak pasoları, bu martenziti farklı derecede sertliklere temperleyerek mekanik işleme sırasında sert bölgelerle karşılaşılmasına ve en son pasoda yumuşak bölgelerin oluşmasına neden olur. Kaynak esnasında parçalarda düşük sıcaklıklarla çalışılması, çalışma sırasında kullanılan parçada homojen olmayan aşınma bölgelerinin oluşmasına neden olur. Bu nedenle, kaynak boyunca malzemenin sıcaklığını, sert dolgu alaşımının martenzit başlama sıcaklığının (Ms) üzerinde tutmak zorunludur. Çoğu durumda sıcaklık 300-400 °C'de sabitlenerek martenzitik dönüşüm engellenmiş olur. Sert dolgu alaşımının dönüşümü (manyetik olmayan östenitin manyetik martensite dönüşümü) böylece geciktirilebilir ve dönüşüm olduğunda daha sonraki kaynakların ısısı ile oluşan temperleme engellenir.

Östenitik çelikler üzerine östenitik alaşımlar ile sert dolgu yaparken, östenitik malzemelerin yüksek sıcaklıklarda gevrekleşme hassasiyeti gösterdikleri için pasolar arası sıcaklıklara dikkat edilmelidir. Bu nedenle kaynak sırasında pasolar arası sıcaklıklar 250 °C'yi geçmemelidir (Ozan, 2010).

1.2.7.8. Kaynak İşlemi Sırasında Sıcaklık Kontrolü

Kaynak işlemi sırasında, cürufu temizlemek giderek zorlaşıyorsa, bu parçanın kaynak bölgesinin çok fazla ısındığını gösterir. Böyle bir durumda, kaynak birkaç dakikalığına durdurulmalı veya arkı (arkları) bulundukları yerden yaklaşık 30 m uzağa götürülmelidir. Ayrıca; sıcaklık her zaman eşit tutulmalı, kaynak bölgesinde sıcaklık periyodik olarak kontrol edilmeli ve pasolar arası sıcaklık önerilen en düşük ön ısıtma sıcaklığının ve pasolar arası sıcaklığın üzerinde olmalıdır (Cavcar, 1998).

1.2.7.9. Kaynak Sonrası Isıl İşlem

Sert dolgu yapılan ana metale ve sert dolgu alaşımına bağlı olarak oluşan kaynak metalinin soğuması ve ısıl işlemi uygun bir şekilde yapılmalıdır. Eğer yavaş soğuma, gerilim giderme gerekiyorsa ya da isteniyorsa malzeme yapısına zarar vermeden uygulamak gerekmektedir (Cavcar, 1998).

1.2.7.10. Yavaş Soğutma

Eğer kaynak sonrasında yavaş soğuma gerekiyorsa, sert dolgu yapılmış parçalar kaynak tamamlandıktan sonra fırına veya yalıtılmış kapalı bir bölmeye yerleştirilmeli ve saatte 40 °C'den daha az hızla, sert dolgu alaşım Ms sıcaklığının altına soğutulmalıdır ve parçanın içi ile dış yüzeyi arasında sıcaklık farkı kalmayana kadar bu sıcaklıkta tutulmalıdır. Koruyucu uygulama, Ms sıcaklığının altına yavaş soğuma işleminden önce 1 ile 2 saat boyunca pasolar arası sıcaklıkta kalınmasını gerektirir. Östenitik ana malzemelere, östenitik sert dolgu alaşımları ile kaplama yapılmışsa kaynak sonrasında çok hızlı soğutulmalı, yavaş soğumasına izin verilmemelidir (Ozan, 2010).

1.2.7.11. Gerilim Giderme

Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde kaynak yaparken sert dolgu tabakasında gerilimler oluşabilir. Parçanın alaşım elementi miktarına da bağlı olmak üzere tavsiye edilen genel temperleme ısıl işlemi şu şekildedir.

- Parça kaynak sıcaklığından Ms sıcaklığının 50°C altına saatte 40°C hızla soğutulmalıdır. İş parçasının içi ile dış yüzeyi arasında ısı farkını en aza indirmek için burada bir kaç saat bekletilmelidir. Soğutma, yalıtkan bir örtü ile malzemenin üzerini örterek, kumla dolu çelik kutuya yerleştirerek ve sıcaklık kontrollü bir fırın

kullanılarak yapılabilmektedir.

- Fırına yerleştirilmeli ve gerekli sayıda sıcaklık ölçer yerleştirilmelidir.
- Genelde, sert dolgudan sonra parçalar temperleme sıcaklığında 2 saat kaynak sonrası ısıl işleme tabi tutulurlar. Saatte 65-90 °C hızla temperleme sıcaklığının 50 °C altında kontrollü olarak ısıtma yapılması tavsiye edilir.
- Temperleme sıcaklığı eşitlenmeli ve is parçasının çapının her inçi için yarım saat bu sıcaklıkta tutulmalıdır.
- Saatte 100 °C'yi soğuma hızını geçmeyecek hızla 150 °C'ye fırında atmosferinde soğutma yapılmalıdır.
- Malzeme bekleme işleminden sonra fırından çıkartılmalı ve havada soğutulmalıdır.
- Yukarıdaki önerilen temperleme ısıl işlemi yalnızca rehberlik etmesi için verilmiştir. Çalışma şartlarına, ana malzemeye ve kullanılan sert dolgu alaşımlarına göre gerekiyorsa uygun sıcaklıkta temperleme ısıl işlemi yapılabilir (Cavcar, 1998).

1.2.7.12. Mekanik İşleme

İstenen yüzey kalitesine ve yapılan sert dolgunun alaşım içeriğine bağlı olarak gerekiyorsa mekanik işleme veya taşlama yapılabilir. Mekanik işleme yapılıyorsa isleme izlerinin yorulma çatlağı başlangıcı gibi davranmasını önleyebilmek için yüzey pürüzlülüğü 63 mikrondan az olması önerilir (Ozan, 2010).

1.2.7.13. Son Muayene

Sertlik, gerilim giderme ve son işlemeden sonra, portatif bir sertlik cihazı yardımıyla ile sertlik ölçülmelidir. Son muayene, cüruf kalıntısı, çatlak gibi hataları veya karbürlü sert dolgu tabakalarında çatlak boyutlarının çok fazla olup olmadığını kontrol etmek için gereklidir. Muayene amacıyla manyetik partiküller tahribatsız muayene, ultrasonik muayene veya sıvı penetrant muayene yöntemleri ile kullanılabilir. Küçük hatalar taşla işlenerek uygun şekilde tekrar doldurulabilmektedir. Büyük hataların temizlenmesi ve tamiri sert dolgu işlemlerinde nasıl yapılıyorsa aynı şekilde yapılmalıdır (Cavcar, 1998).

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Sert Dolgu (Yüzey) Kaplama Amaçlı Aglomere Tozaltı Kaynak Tozu Üretimi

Doktora tez çalışması dâhilinde, tozaltı kaynak toz bileşiminde kullanılmak üzere öncelikle kaynak tozlarının ortalama olarak % 50' sini oluşturan Elazığ Eti A.Ş. ferrokrom işletmesinden kompozisyonu **Tablo 23**'de verilen atık cüruf ve sertlik oluşturucu yüksek karbonlu ferrokrom temini sağlanmıştır. Buna ilaveten; cüruf oluşturucu özellikte CaF_2, CaO, TiO_2, MnO, K_2O+Na_2O temini ve ferroalaşımlar olan ferromangan, ferromolibden, ferroniyobyum, ferrobor ve ferrotitanyum temini sağlanmıştır. Hazırlanan tozlar hem üretim kolaylığı hem de ferroalaşım kullanabilme uygunluğu nedeniyle aglomere tozaltı kaynak tozu üretim metoduyla üretilmiştir.

Tablo 23. Elazığ ferrokrom cürufunun kimyasal kompozisyonu.

Malzeme	**Kimyasal kompozisyon (% Ağırlıkça)**					
	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Cr_2O_3	CaO	FeO
Elazig ferrokrom cürufu	31.2	29.9	33.7	2.6	1.45	0.9

Tez çalışmasında temini sağlanan toz bileşenleri sırasıyla kırma, öğütme ve eleme işlemleri yoluyla aglomere üretim metoduna uygun tane boyutu olan 100 mikron tane boyutuna indirgenmiştir. Uygun tane boyutuna indirgenen tozlar **Tablo 24**' de verilen kompozisyonlarda olacak şekilde homojen olarak karıştırılmıştır. Tabloda verilen toz kompozisyonları en iyi cüruf özelliklerini veren ön kaynak testleri neticesinde belirlenmiştir. Elazığ ferrokrom atık cürufu, hazırlanan toz karışımlarında % 65.5 ile 47.5 yüzde oranlarında kullanılmıştır. Benzer şekilde, toz bileşenlerine akışkanlık ve cüruf özellikleri katmak amacıyla **Tablo 24**' de belirtilen oranlarda CaF_2, CaO, TiO_2, MnO, K_2O+Na_2O seramik esaslı tozları toz karışımına katılmıştır. Öte yandan; toz kompozisyonlarına sert dolgu karakteri vermek amacıyla ilk dört toz karışımı içerisine kompozisyonu **Tablo 25** de verilen yüksek karbonlu ferrokrom % 4 den başlayıp % 16 ya kadar değişen oranlarda katılmıştır. Yine sert dolgu karakteri sağlamak amacıyla 5-8 nolu toz karışımlarına % 4 ile 16 değişen oranlarda yüksek karbonlu ferrokrom ve dört toz karışımında da sabit oranda olacak şekilde % 2 ferrobor katılmıştır. 9-12 nolu toz karışımlarında ise % 3-12 oranlarında ferroniyobyum ve % 2.5-10 oranlarında ferrobor artan miktarlarda toz bileşimine katılarak sert dolgu karakterine sahip toz karışımları üretilmiştir.

Tablo 24. Sert dolgu kaplama amaçlı hazırlanan kaynak toz kompozisyonları (% Ağırlık).

Toz No	CaF_2	CaO	TiO_2	MnO	(Na_2O+K_2O)	Yüksek karbonlu ferro krom	Ferro bor	Ferro niyobyum	Ferro titan Yum	Ferro mangan	Ferro Molibden	Ferro krom cürufu
1	10	5	6	5	1.5	**4**	-	-	-	2	1	65.5
2	10	5	6	5	1.5	**8**	-	-	-	2	1	61.5
3	10	5	6	5	1.5	**12**	-	-	-	2	1	57.5
4	10	5	6	5	1.5	**16**	-	-	-	2	1	53.5
5	10	5	6	5	1.5	**4**	**2**	-	-	2	1	63.5
6	10	5	6	5	1.5	**8**	**2**	-	-	2	1	59.5
7	10	5	6	5	1.5	**12**	**2**	-	-	2	1	55.5
8	10	5	6	5	1.5	**16**	**2**	-	-	2	1	51.5
9	10	5	6	5	1.5	-	**2.5**	**3**	-	2	1	64
10	10	5	6	5	1.5	-	**5**	**6**	-	2	1	58.5
11	10	5	6	5	1.5	-	**7.5**	**9**	-	2	1	53
12	10	5	6	5	1.5	-	**10**	**12**	-	2	1	47.5
13	10	5	6	5	1.5	-	**2.5**	-	**3**	2	1	64
14	10	5	6	5	1.5	-	**5**	-	**6**	2	1	58.5
15	10	5	6	5	1.5	-	**7.5**	-	**9**	2	1	53
16	10	5	6	5	1.5	-	**10**	-	**12**	2	1	47.5

Son olarak, 13-16 nolu toz karışımlarında ise % 3-12 ferrotitanyum ve % 2.5-10 ferrobor artan miktarlarda toz karışımına katılarak sert dolgu karakterli tozlar üretilmiştir. Tüm toz karışımlarında aynı oranda olmak üzere; gerek deoksidan amaçlı gerekse de kaplama mikroyapılarının katı çözelti ve sertlik özelliklerine katkı sağlamak amacıyla ferromolibden ve ferromangan tozları toz bileşimlerine **Tablo 24** de verilen oranlarda katılarak toz üretimleri tamamlanmıştır. Kullanılan ferroniyobyum % 66 Nb, ferrobor %18 B, ferrotitanyum %71 Ti, ferromangan % 74 Mn ve ferromolibden % 63 Mo içermektedir.

Tablo 25. Yüksek karbonlu ferrokrom tozunun kimyasal kompozisyonu.

Malzeme	**Kimyasal kompozisyon (% Ağırlıkça)**					
Yüksek karbonlu ferrokrom	**Cr**	**C**	**Si**	**P**	**S**	**Fe**
	65	8	1.5	0.020	0.05	25.43

Özel bir karıştırıcı da homojen olarak karıştırılan tozlar, toz karışımının % 20 si oranında sodyum silikat bağlayıcısı (camsuyu) kullanılarak tozların aglomere olmaları sağlanmıştır. Sinterleme işleminden önce aglomere durumdaki tozlar, bağ yapısının güçlenmesi için bir gün süreyle oda koşullarında dinlendirilmiştir. İşlem sonrası dinlendirilen tozlar 750 ˚C de bir saat süreyle sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi ile istenilen toz mukavemetine gelen aglomere tozlar 200 μm-1.5 mm aralığında olacak şekilde yeniden kırma, öğütme ve eleme işlemlerine tabi tutularak tozaltı kaynağında kullanmak üzere en uygun toz boyut aralığına indirilmiştir. Uygun toz boyutundaki tozlar, hidroskobik karaktere sahip olup bu durum kaynak kalitesini negatif olarak etkilemektedir. Bu nedenle, aglomere kaynak tozları kaplama amaçlı kaynak testleri öncesi 1 saat süreyle 350 ˚C de ön ısıtmaya tabi tutulmuştur.

2.2. Kaynak Testlerinde Kullanılan Cihazlar ve Kaynak Testlerinin Yapılışı

Sert dolgu kaplama amaçlı kaynak testleri Magmaweld ZD5-1000B-MZ-000BF tozaltı kaynak makinesi ve güç kaynağı ünitesiyle gerçekleştirilmiştir **(Şekil 32).** Tüm kaynak testlerinde 3.2 mm çapa sahip Magmaweld S1 kaynak teli (elektrot) kullanılmış olup bu telin kimyasal kompozisyonu **Tablo 26'**da verilmiştir.



Şekil 32. Tozaltı kaynak makinesi ve güç ünitesi.

Tüm kaynak testleri **Tablo 27'**de kimyasal kompozisyonu verilen 10 mmx30 mmx600 mm ebatlarındaki düşük karbonlu çelik (SAE 1020) yüzeylere uygulanmıştır. Düşük karbonlu çelik malzeme yüzeyleri kaynak testleri öncesinde her türlü kir, pas vb. her türlü pisliklerden mekanik yöntemlerle arındırılarak kaynak testlerinin daha sağlıklı gerçekleşmesi sağlanmıştır.

Tablo 26. Sert dolgu kaplama uygulamalarında kullanılan S1 kaynak telinin kimyasal kompozisyonu.

Malzeme	Kimyasal Kompozisyon (% Ağılıkca)			
Magmaweld S1 kaynak teli	**C**	**Si**	**Mn**	**Fe**
	0.07	0.05	0.50	Kalan

Gerçekleştirilen bütün sert dolgu kaplama amaçlı kaynak testleri 500 A akımda, 28 V gerilimde, 50 cm / dk kaynak hızında ve 3,2 mm lik kaynak tel çapına sahip tellerle gerçekleştirilmiştir. Tüm testlerde elektrot pozitif olarak ayarlanmıştır. Kaynak testlerinde dikiş özelliklerine doğrudan etki eden meme boyu ya da stick-out mesafesi standartlara uygun şekilde kullanılan tel çapının (3,2 mm) 10 katı olarak belirlenerek tüm numunelerde standart olarak 32 mm mesafede tercih edilmiştir.

Tablo 27. Düşük karbonlu çelik (SAE 1020) malzemenin kimyasal kompozisyonu.

Malzeme	Kimyasal Kompozisyon (% Ağılıkca)					
Düşük karbonlu çelik (SAE 1020)	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Fe**
	0.15	0.28	0.64	0.03	0.03	Kalan

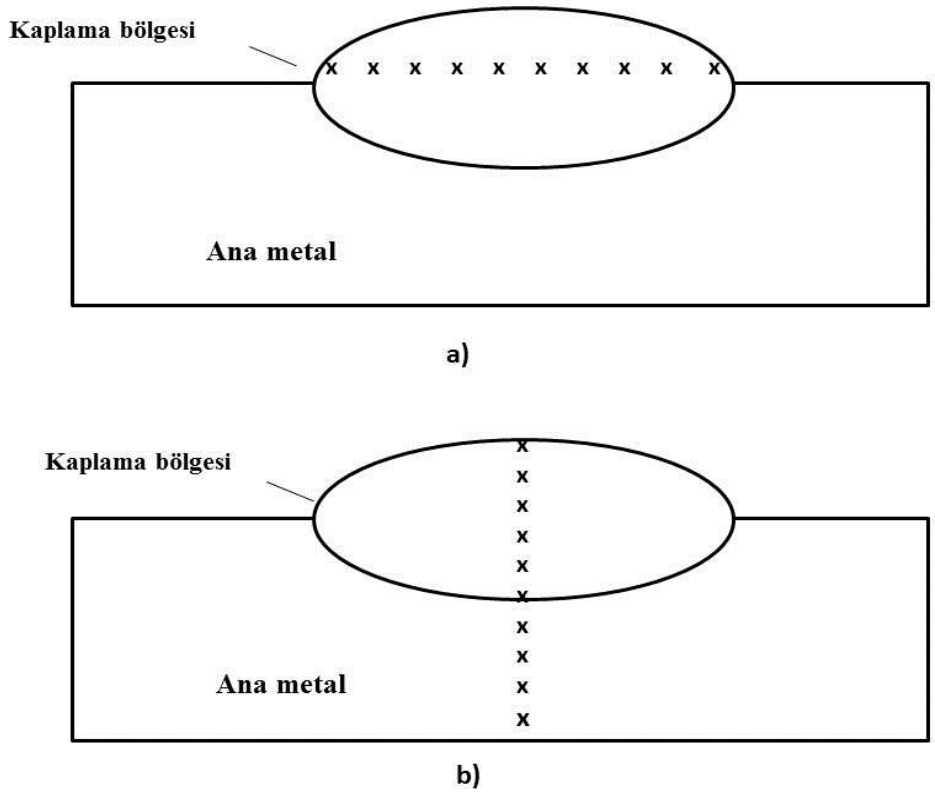
2.3. Kimyasal Analizler ve Mikroyapı Tayinleri

Hazırlanan sert dolgu kaplama amaçlı tozlar ilk olarak toz altı kaynak metodunda kullanıma uygunluğunun tespiti için toz boyut analizlerine tabii tutulmuştur. Toz boyut analizi yapılan tozlarla elde edilen kaynak dikişleri ve cürufları, kaynak dikiş geometrisi, görsel olarak cürufun kendiliğinden kalkması, çatlak ve poroz gibi parametreler göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Görsel olarak incelenmiş kaynak dikişleri 12 mm x 10 mm x 10 mm ebatlarında olacak şekilde laboratuvar tipi sulu kesme makinesinde herhangi bir ısıl etkiye izin verilmeksizin kimyasal kompozisyon ve mikroyapı tayini amaçlı kesilmiştir. Kesilen numuneler klasik metalografik yöntemlerle zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuş ve % 2 nital çözeltisinde dağlanmıştır. Dağlama süresi, kaynak metalinin içerdiği alaşım elementi miktarına bağlı olarak artan ya da azalan süreler kullanılarak belirlenmiştir. Dağlamanın yetersiz olduğu durumlarda işlem tekrarlanmıştır. Dağlanan numunelerin mikroskobik incelemelerinde, Nikon Eclipse-MA200i optik mikroskobu ve Jeol JSM-7001F Inca X-Act taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Öte yandan; kimyasal kompozisyon analizlerinde optik emisyon, SEM EDX ve Jeol JXA-8230 EPMA EDS cihazlarından yararlanılmıştır. Mikroyapılardaki fazların

tayini için ise Rigaku RadB-Dmax2 cihazından yararlanılarak X-ışını analizleri de yapılmıştır.

2.4. Sertlik Ölçümleri

Kaynak bölgesinin enine kesitinden hazırlanan 12 mm x10mm x10 mm boyutlarındaki numunelerin sertlik ölçümleri makro ve mikro olarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümü amacıyla kesilen numuneler yüzeylerindeki kir, pas ve benzeri pisliklerden arındırıldıktan sonra zımparalama ve parlatma işlemleri ile sertlik ölçümüne uygun hale getirilmiştir. Makro sertlik ölçümleri 10 kg lık yükler altında Rockwell sertlik ölçüm metodunun C skalasıyla, mikro sertlik ölçümleri ise 200 gramlık yükler altında Vickers ölçüm metoduyla gerçekleştirilmiştir. Makro sertlik ölçümleri kaplamaların 10 farklı bölgesinden alınan sertliklerin ortalama sertlikleri hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Mikro sertlik ölçümleri ise **Şekil 33**'de şematik olarak verilen enine ve boyuna 10 farklı bölgeden alınan ölçümlere bağlı olarak gerçekleştirilmiştir.

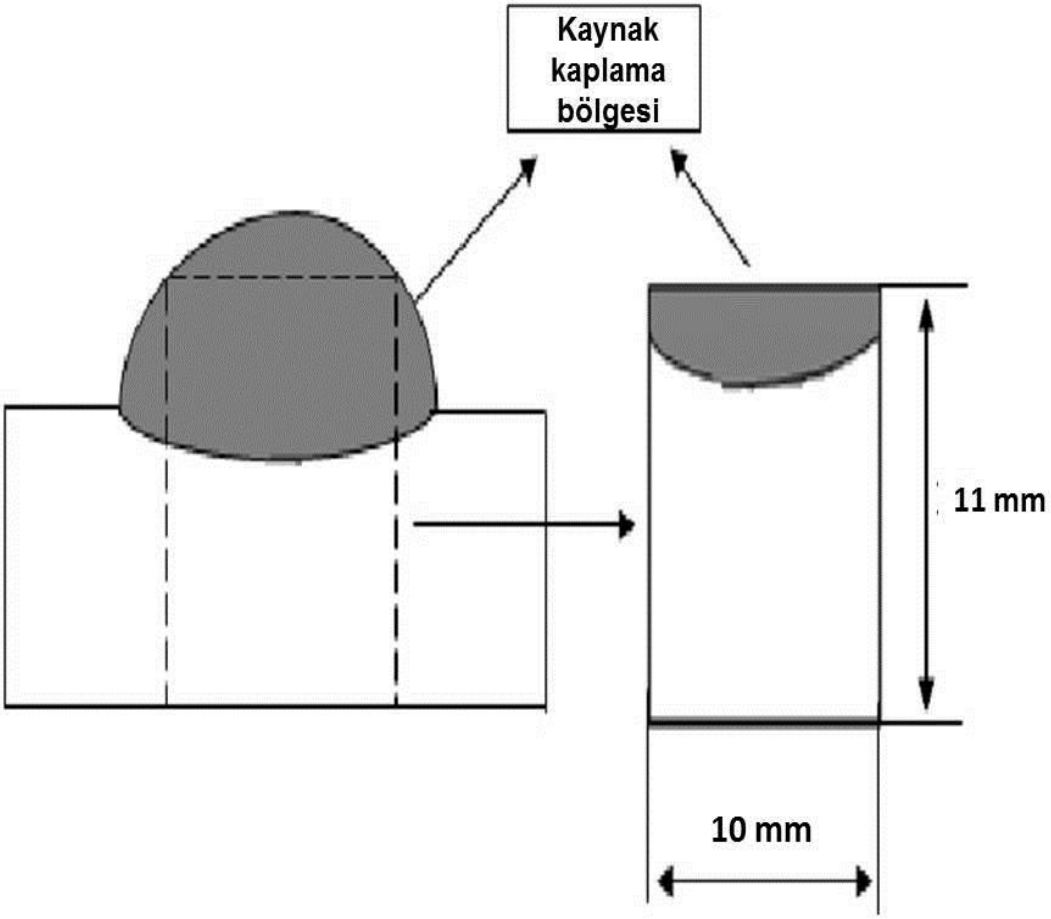


Şekil 33. Mikro sertlik ölçüm bölgelerinin şematik gösterimi

a) Kaynak bölgesi enine kesit b**)** Kaynak bölgesi boyuna kesit.

2.5. Abrasiv Aşınma Testleri

Abrasiv aşınma testleri için 11 mm x 10 mm x 10 mm ebatlarında numuneler çıkartılmış **(Şekil 34)** ve bu numuneler pin-on-disk yöntemine benzer abrasiv aşınma testine tabii tutulmuştur. Aşınma testlerinde dairesel geometri yerine 920 mm boy ve 100 mm genişliğe sahip bant zımparalar kullanılarak aynı metot da Buehler Surfmet I cihazı kullanılarak aşınma testleri gerçekleştirilmiştir **(Şekil 35).**



Şekil 34. Abrasiv aşınma test numunesinin şematik gösterimi.

Aşınma testleri 80 mesh su zımparası, 20 newton yük, 50 metre kayma mesafesi ve 300 devir/dakika da gerçekleştirilmiştir. Deneysel testler öncesi ve sonrası ağırlıklar ölçülerek aşınma kayıpları hesaplanmış ve ağırlık kaybı baz alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Her bir testte yeni bir zımpara kullanılmış ve aşınma kayıpları % değerler şeklinde hesaplanmıştır.



Şekil 35. Abrasiv aşınma test cihazı.

1-Açma Kapama Tuşu

2-Kontrol Ünitesi

3- Aşındırıcı Bant Zımpara

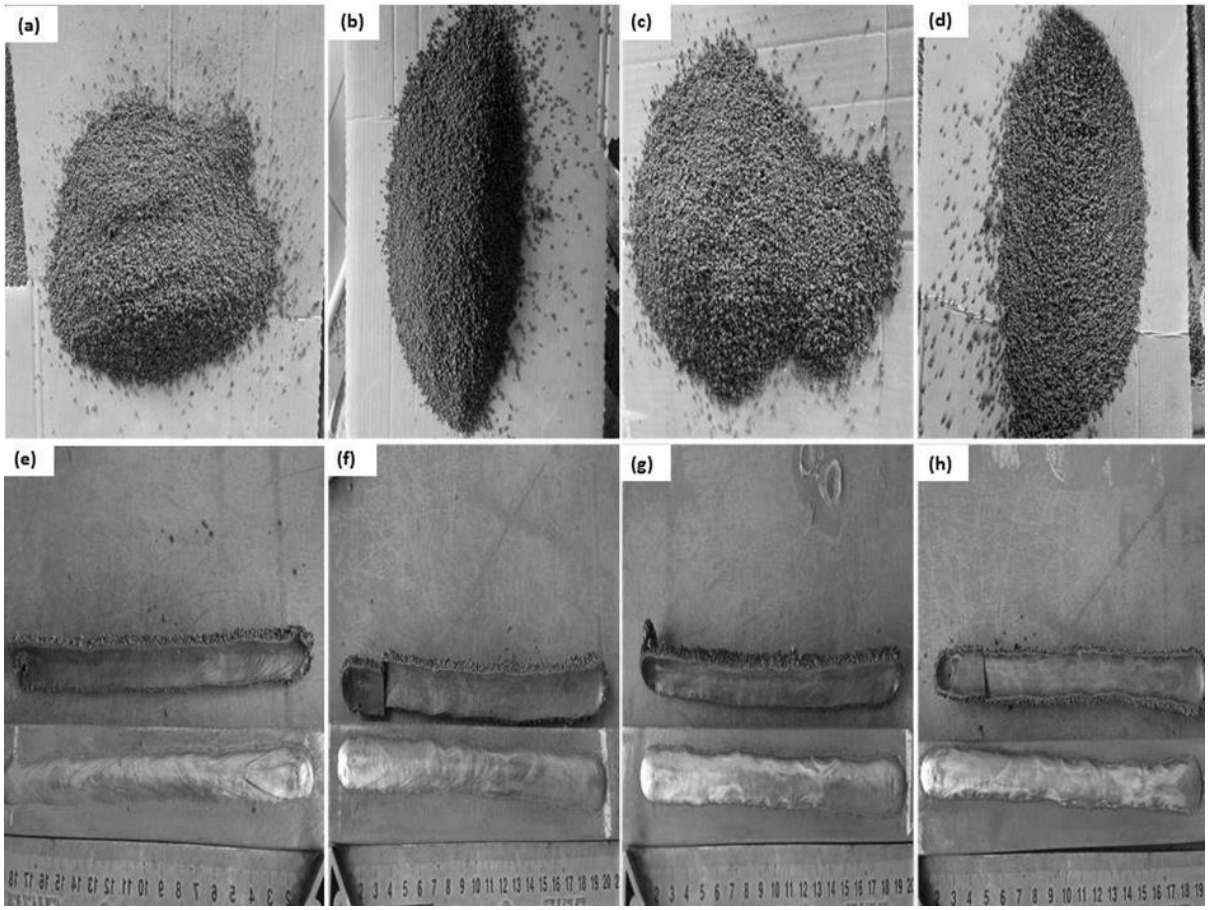
4-Numune

5- Yük.

3. BULGULAR

3.1. Görsel Analiz Sonuçları

Elazığ ferrokrom cürufu, seramik esaslı katışkılar, ferro alaşımlar ve bağlayıcı camsuyu kullanılarak aglomere metotla üretilen sert dolgu kaplama amaçlı kaynak tozları ve bu kaynak tozlar ile elde edilen kaynak dikiş görüntüleri **Şekil 36-39** da verilmektedir.



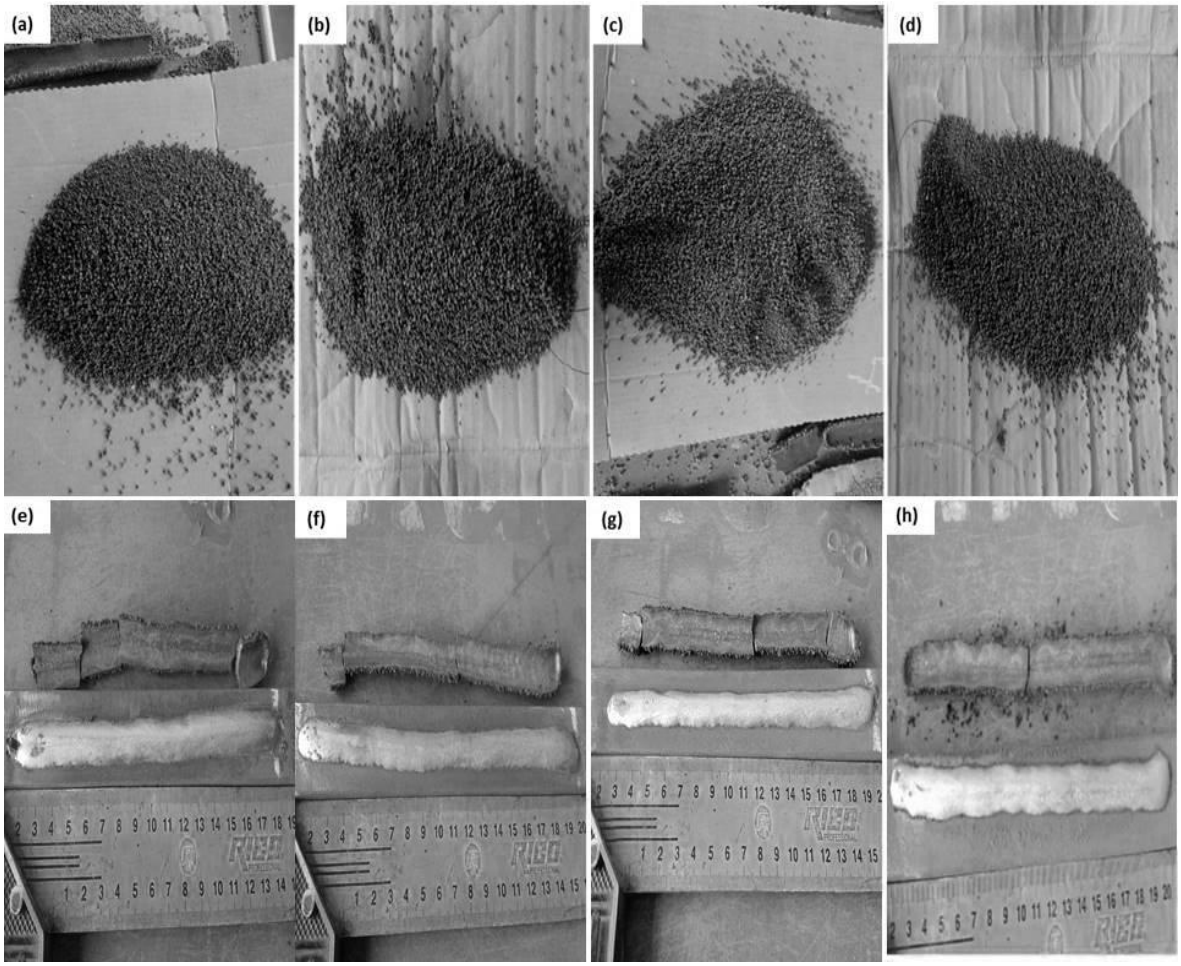
Şekil 36. Artan ferrokrom miktarına bağlı olarak hazırlanan tozlar ve bu tozlardan elde edilen sert dolgu kaplamaların kaynak dikişi ve cüruf görüntüleri.

a,e) % 4 FeCr

b,f)) % 8 FeCr

c,g)) %12 FeCr

d,h)) % 16 FeCr



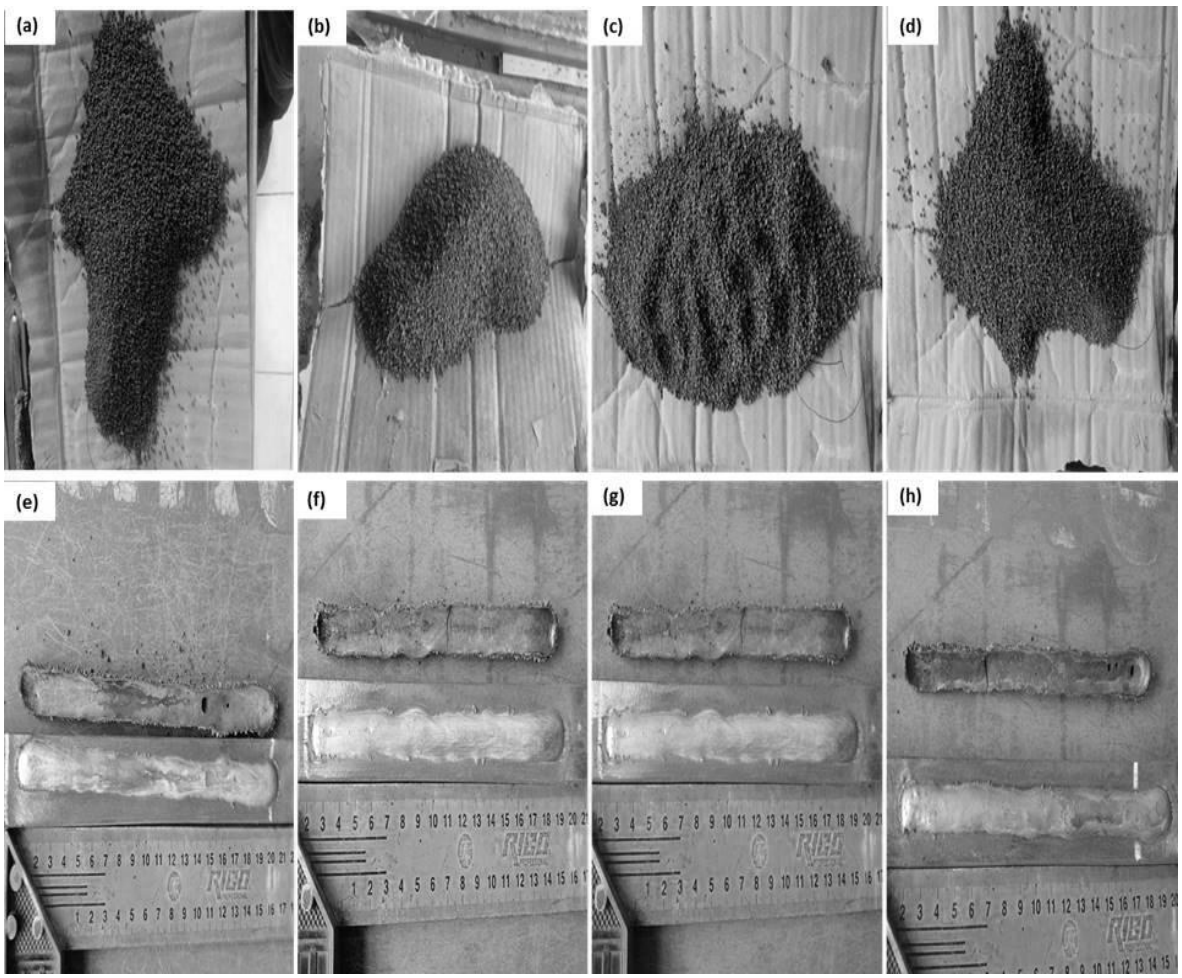
Şekil 37. Artan ferrokrom ve sabit oranda ferrobor miktarına bağlı olarak hazırlanan tozlar ve bu tozlardan elde edilen sert dolgu kaplamaların kaynak dikişi ve cüruf görüntüleri.

a,e) % 4 FeCr - %2 FeB

b,f) % 8 FeCr- %2 FeB

c,g) % 12 FeCr - %2 FeB

d,h) % 16 FeCr - %2 FeB



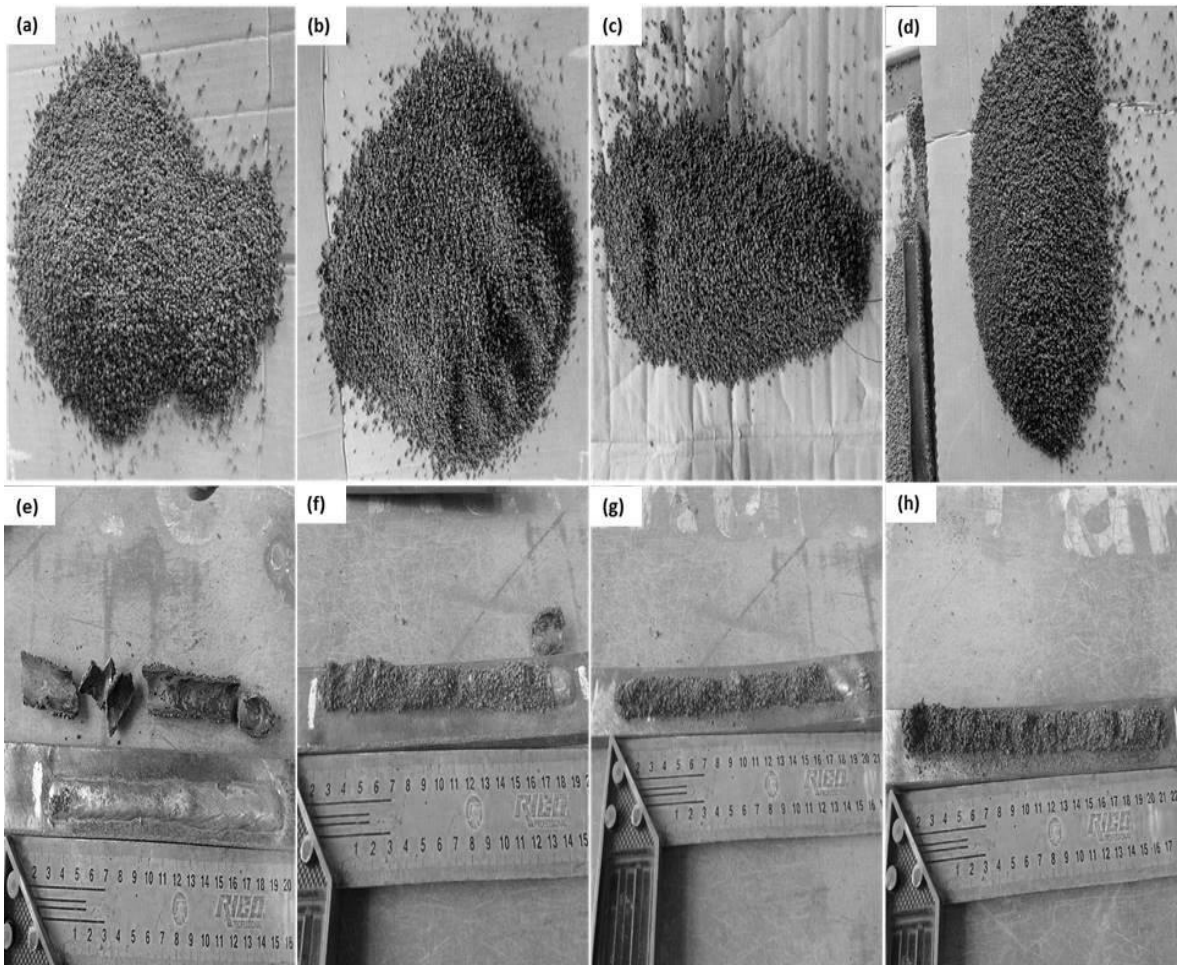
Şekil 38. Artan ferroniyobyum ve ferrobor miktarına bağlı olarak hazırlanan tozlar ve bu tozlardan elde edilen sert dolgu kaplamaların kaynak dikişi ve cüruf görüntüleri.

a,e) % 3 FeNb - %2.5 FeB

b,f) % 6 FeNb - % 5 FeB

c,g) % 9 FeNb - %7.5 FeB

d,h) % 12 FeNb - % 10 FeB



Şekil 39. Artan ferrotitanyum ve ferrobor miktarına bağlı olarak hazırlanan tozlar ve bu tozlardan elde edilen sert dolgu kaplamaların kaynak dikişi ve cüruf görüntüleri.

a,e) % 3 FeTi - %2.5 FeB

b,f) % 6 FeTi - % 5 FeB

c,g) % 9 FeTi - %7.5 FeB

d,h) % 12 FeTi - % 10 FeB

Şekil 36-39 da verilen aglomere tozlar incelendiğinde; hazırlanan tüm sert dolgu kaplama amaçlı tozların tane boyutlarının ortalama olarak +300-500 µm aralığında ve birbirine benzer büyüklükte olduğu ve herhangi bir topaklanma gibi bir durumun olmadığı görülmektedir. Bu durum hazırlanan tüm toz karışımlarında % 20 oranında bağlayıcı kullanılmasıyla ve ferro alaşımlar dışında birbirine benzer kompozisyona sahip olmalarıyla

ilişkilendirilmiştir. Ayrıca; hazırlanan tüm tozlar aglomere metotla üretildiğinden ve aynı tane boyutlandırma işlemine tabi tutulduğundan tozlar karakteristik olarak benzer görselliktedir.

Sert dolgu kaplamaların dikiş genişlikleri karşılaştırıldığında; ferrotitanyum ve ferrobor içeren tozlarla elde edilen dikişler dışındaki kaplamalarda, artan ferro alaşım yüzdesine bağlı olarak kaynak dikişinin kısmi olarak artarak 10 mm den 12 mm ye kadar genişlediği tespit edilmiştir **(Tablo 28).** Bu durum; kaynak endüstrisinde söz sahibi olan Magmaweld (Oerlikon), Lincoln (Askaynak) ve Gedik kaynak gibi markaların ticari ürünlerinden elde ettikleri sonuçlarla da uyumludur (URL-1, URL-2, URL-3, 2015). Ferrotitanyum ve ferrobor içeren kaplamaların dikiş genişliklerinde ise kaynak metalinden cürufun kalkmaması nedeniyle belirgin bir fark tespit edilememiştir. Öte yandan, bütün kaplamlarda artan ferro alaşım yüzdesine bağlı olarak dikişin homojenliği de kısmı olarak azalmıştır. Bu durum, sert dolgu kaplamalardaki ferro alaşımların karakteristiğiyle ilişkilendirilmiştir.

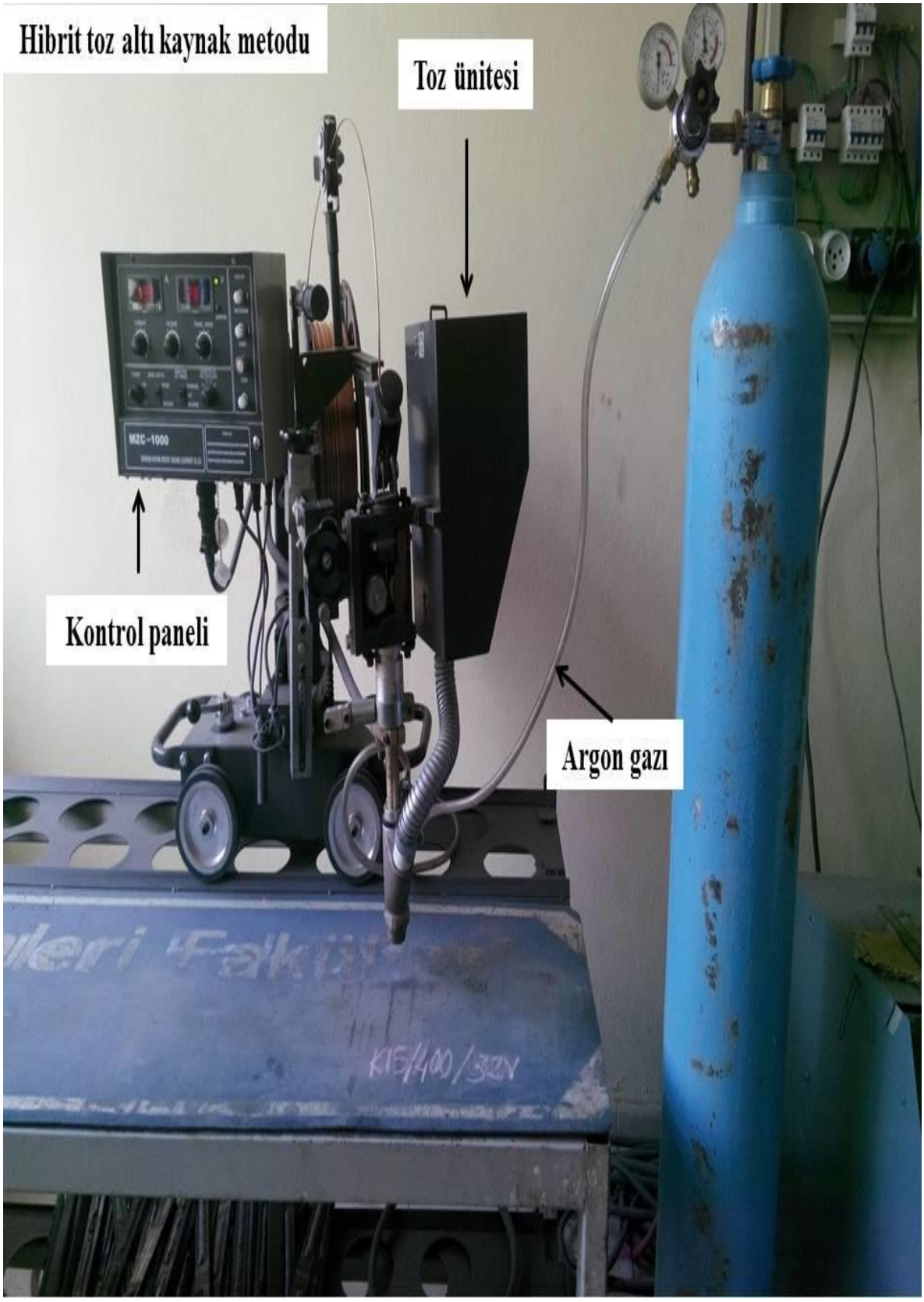
Tablo 28. Sert dolgu kaplamaların kaynak dikiş genişlikleri.

Sert dolgu kaplama amaçlı tozların ferro alaşım içerikleri (% Ağırlık)	**Kaynak dikiş genişlikleri (mm)**
% 4 FeCr	10.50
% 8 FeCr	11.00
% 12 FeCr	11.70
% 16 FeCr	12.00
% 4 FeCr - % 2 FeB	10.60
% 8 FeCr - % 2 FeB	11.10
% 12 FeCr - % 2 FeB	11.80
% 16 FeCr - % 2 FeB	12.00
% 3 FeNb - % 2.5 FeB	10.00
% 6 FeNb -% 5 FeB	10.30
% 9 FeNb - % 7.5 FeB	10.90
% 12 FeNb - % 10 FeB	11.20
% 3 FeTi - % 2.5 FeB	10.00
% 6 FeTi - % 5 FeB	10.05
% 9 FeTi - % 7.5 FeB	10.08
%12 FeTi - % 10 FeB	10.08

Şekil 39 da verilen ferrotitanyum ve ferrobor ile yapılan sert dolgu kaplamaların kaynak dikişleri cürufun yüzeyden kalkmaması ve kaplamaya ferro alaşım geçmeme sorunu nedeniyle **Şekil 40** de verilen hibrit tozaltı kaynak metoduyla yapılmıştır (Patent-1, 2013). Bu metot da sisteme hem soy gaz (argon ya da florin gazı) hem de kaynak tozu sisteme birlikte verilerek oksijen içeriği daha düşük kaynak metali elde edilebilmektedir. Bu amaçla argon gazı atmosferinde ferrotitanyum ve ferrobor içeren tozlarla kaynak testleri yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda cürufun yüzeyden kalkmasında yine de sorunlar oluşmuştur. Ancak, kaplamaya ferro alaşım geçirmede ve oksijen miktarını azaltmada bu metot etkili olmuştur. Yapılan kaynak denemeleri sonrası, ferrotitanyum ve ferrobor içeren tozlarla elde edilen kaplamalarda birbirine benzer kaynak dikişlerinin oluştuğu tespit edilmiştir **(Tablo 28)**. Ancak, cürufun yüzeyden kendiliğinden kalkmaması nedeniyle kaynak dikişinin homojenliği hakkında sağlıklı gözlem yapılamamıştır.

Şekil 36-39 daki tüm kaynak dikişleri çatlak poroz vb. kusurlar açısından incelendiğinde; ferrotitanyum ve ferrobor içeren tozlar ile elde edilen kaplamalar dışında yapılan tüm kaynak testlerinde kaynak özelliklerini etkileyebilecek ciddi bir hata bulunmamaktadır. Ferrotitanyum ve ferrobor içeren tozlar ile elde edilen kaplamalarda ise cüruf yüzeyden kalkmamış bu nedenle de çatlak ve porozite tespiti yapılamamıştır.

Şekil 36-39 daki kaynak testleri curufun kendiliğinden kalkması bakımından değerlendirildiğinde; artan ferro alaşım yüzdesi az da olsa cürufun kendiliğinden kalkmasına engel olmaktadır. Özellikle en yüksek ferrokrom, ferrokrom-ferrobor ve ferroniyobyum-ferrobor oranlarında cüruf kısmi olarak kendiliğinden kalkmamıştır. Bu durum artan ferro alaşim miktarı, ara yüzey gerilimi ve soğuma esnasındaki faz dönüşümleri ile ilişkilendirilmektedir (Singh vd, 2013). Öte yandan, daha az oranlarda alaşım elementi içeren numunelerde cürufun kendiliğinden kalkmasında herhangi bir sorun yaşanmamıştır. Ferrotitanyum ve ferrobor kullanılarak hazırlanan tozlarla yapılan kaynak testlerinde diğer numunelerden farklı olarak cüruf yüzeyden kendiliğinden hiçbir şekilde kalkmamış ve mekanik bir zorlama ile bile cüruf kaynak metalinden ayrılmamıştır. Bu durum, kaynak bölgesinin tam olarak izole edilememesiyle (vakum) ve titanyumun 535 °C de oksijenle bileşik oluşturarak yapışma eğilimi göstermesiyle ilişkilendirilmiştir. (URL-4, 2015; Oğuz, 1990; Snyder ve Pense, 1982; Hill ve Choi, 1976).



Şekil 40. Hibrit tozaltı kaynak metodunun uygulanışı.

3.2. Kimyasal Kompozisyon ve Mikroyapı Tayin Sonuçları

Doktora tezi kapsamında üretilen sert dolgu kaplama amaçlı tozlar ile elde edilen kaplamaların kaynak metalinden alınan optik emisyon, SEM EDX ve EPMA EDS kimyasal kompozisyon analiz sonuçları **Tablo 29'** da verilmektedir.

Tablo 29. Sert dolgu kaplama amaçlı tozlar ile yapılan kaynaklı numunelerden alınan optik emisyon, SEM EDX ve EPMA EDS kompozisyon analizleri.

Kaynak test numaraları ve aglomere tozların içerdiği ferro alaşım miktarları		**Sert dolgu kaplama kompozisyonu (% Ağırlıkça)**								
		Cr	**C**	**Mn**	**Mo**	**Si**	**Nb**	**Ti**	**Bor**	**Fe**
1	%4FeCr	**1.62**	**0.73**	1.01	0.22	0.20	-	-	-	Kalan
2	%8FeCr	**3.03**	**0.78**	0.88	0.31	0.25	-	-	-	Kalan
3	%12 FeCr	**5.35**	**0.88**	0.95	0.20	0.20	-	-	-	Kalan
4	% 16 FeCr	**6.55**	**0.94**	1.02	0.19	0.15	-	-	-	Kalan
5	%4 FeCr,%2 FeBor	**1.60**	**0.88**	1.05	0.15	0.20	-	-	**0.40**	Kalan
6	%8 FeCr, ,%2 FeBor	**3.17**	**0.97**	0.89	0.17	0.21	-	-	**0.42**	Kalan
7	%12 FeCr, ,%2 FeBor	**5.50**	**1.02**	1.01	0.16	0.21	-	-	**0.44**	Kalan
8	%16 FeCr, ,%2 FeBor	**6.86**	**1.06**	1.03	0.20	0.19	-	-	**0.45**	Kalan
9	%3 FeNb, %2.5 FeB	**-**	**0.24**	0.85	0.15	0.20	**1.95**	**-**	**0.45**	Kalan
10	%6 FeNb, %5 FeB	**-**	**0.24**	0.95	0.25	0.21	**2.91**	**-**	**0.65**	Kalan
11	%9 FeNb, %7.5 FeB	**-**	**0.30**	0.93	0.19	0.20	**4.36**	**-**	**0.78**	Kalan
12	%12 FeNb, %10 FeB	**-**	**0.32**	0.91	0.18	0.19	**5.78**	**-**	**0.96**	Kalan
13	%3 FeTi, %2.5 FeB	**-**	**0.19**	0.70	0.18	0.20	**-**	**1.02**	**0.41**	Kalan
14	%6 FeTi, %5 FeB	**-**	**0.20**	0.60	0.19	0.19	**-**	**1.25**	**0.43**	Kalan
15	%9 FeTi, %7.5 FeB	**-**	**0.22**	0.65	0.23	0.16	**-**	**1.31**	**0.46**	Kalan
16	%12 FeTi, %10 FeB	**-**	**0.25**	0.63	0.21	0.17	**-**	**1.44**	**0.57**	Kalan

Sert dolgu kaplama kompozisyonları değerlendirildiğinde, toz bileşiminde (%4-16) oranlarında artan miktarlarda yüksek karbonlu FeCr içeren tozlardan elde edilen sert dolgu kaplama kompozisyonlarında, krom (% 1.62-6.55) oranlarında kaplamaya geçmiştir. Yüksek karbonlu ferrokrom bünyesinde bulunan karbon ise (%0.73-0.94) oranlarında kaplamaya geçtiği tespit edilmiştir. Kaplamalardaki en yüksek krom ve karbon yüzdeleri toz bileşiminde %16 ferrokrom içeren toz ile elde edilen kaplamada görülürken, en düşük krom ve karbon yüzdesi ise %4 krom içeren toz ile elde edilen kaplamada görülmüştür. Kaplamadaki krom ve karbona ilaveten, ortalama olarak % 1 mangan, % 0.25 silisyum ve molibdenin de dört kaplamada da bulunduğu tespit edilmiştir. Mangan, silisyum ve molibdenin yüzde kompozisyonları, S1 tozaltı kaynak telinin kaynak metalinde verdiği tipik kompozisyonlardır (URL-3, 2015).

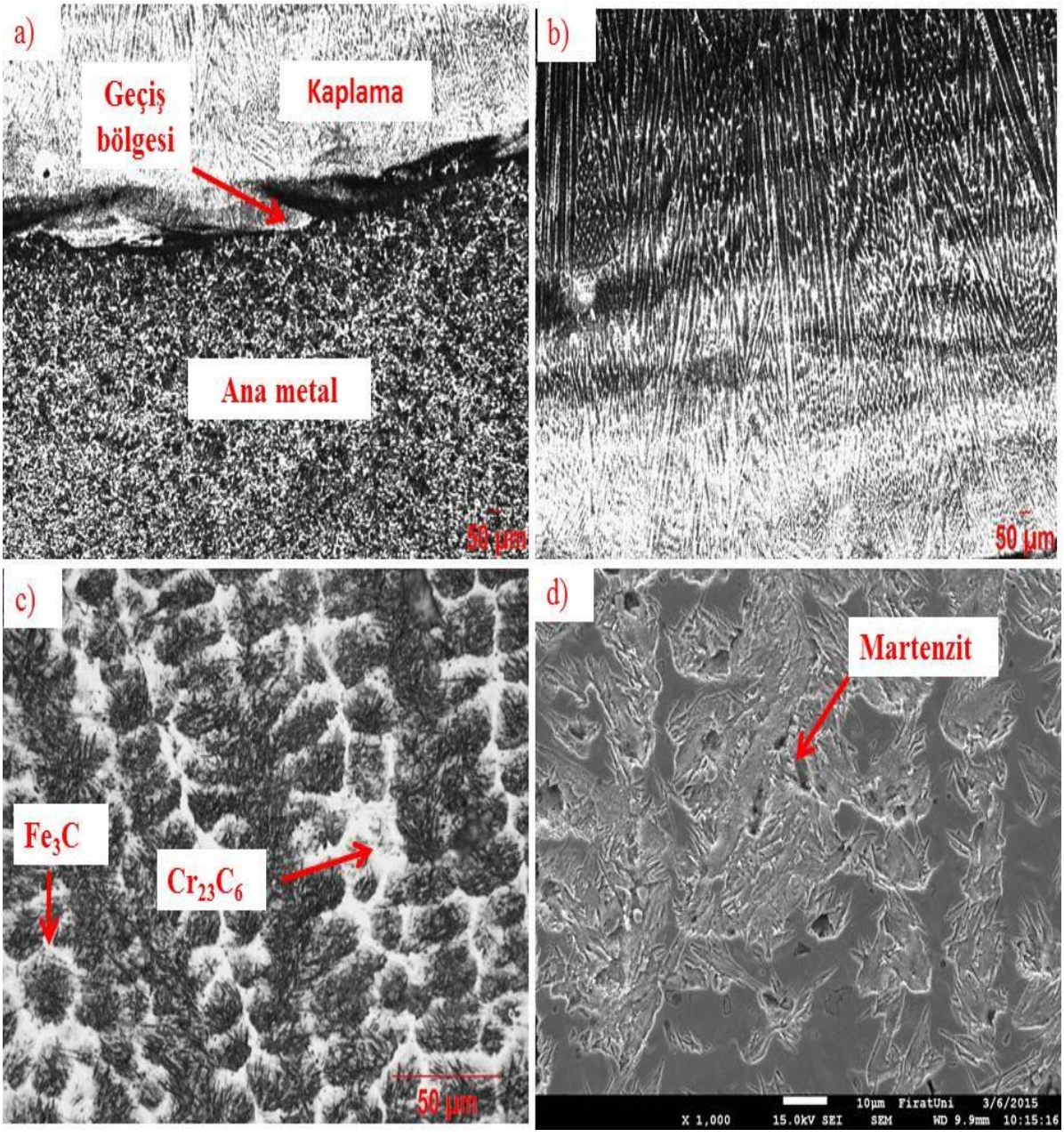
Artan miktarlarda yüksek karbonlu ferrokrom (% 4-16) ve sabit oranda %2 ferrobor içeren tozlarla elde edilen kaplamalarda yine benzer şekilde (%1.60-6.86) krom ve (%0.88-1.06) oranlarında karbonun kaplamalara geçtiği tespit edilmiştir. Ayrıca toz bünyesinde % 2 oranında yer alan ferrobordan kaplamaya (%0.40-0.45) oranlarında bor geçişi tespit edilmiştir. En yüksek krom, karbon ve bor geçişi toz bileşiminde %16 ferrokrom ve %2 ferrobor içeren toz ile elde edilen kaplamada görülürken, en düşük krom, karbon ve bor geçişi ise %4 ferrokrom ve %2 ferrobor içeren toz ile elde edilen kaplamada görülmüştür. Yine benzer şekilde ortalama %1 oranında mangan ve % 0.25 oranlarında molibden ve silisyumunda dört kaplama kompozisyonunda yer almaktadır.

Artan miktarlarda ferroniyobyum (% 3-12) ve ferrobor (% 2.5-10) içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamalarda (% 1.95-5.78) oranlarında niyobyum, (%0.45-0.96) oranlarında bor ve (% 0.24-0.32) oranlarında da karbon kaplamaya geçmiştir. En yüksek niyobyum, karbon ve bor yüzdeleri en yüksek ferroniyobyum ve ferrobor içeren tozlarla elde edilirken, en düşük niyobyum, karbon ve bor yüzdeleri ise en düşük ferroniyobyum ve ferrobor içeren tozlarla elde edilen kaplamalarda elde edilmiştir. Ayrıca, yine diğer kaplamalara benzer yüzdelerde mangan, molibden ve silisyum da sert dolgu kaplama kompozisyonlarında yer almaktadır.

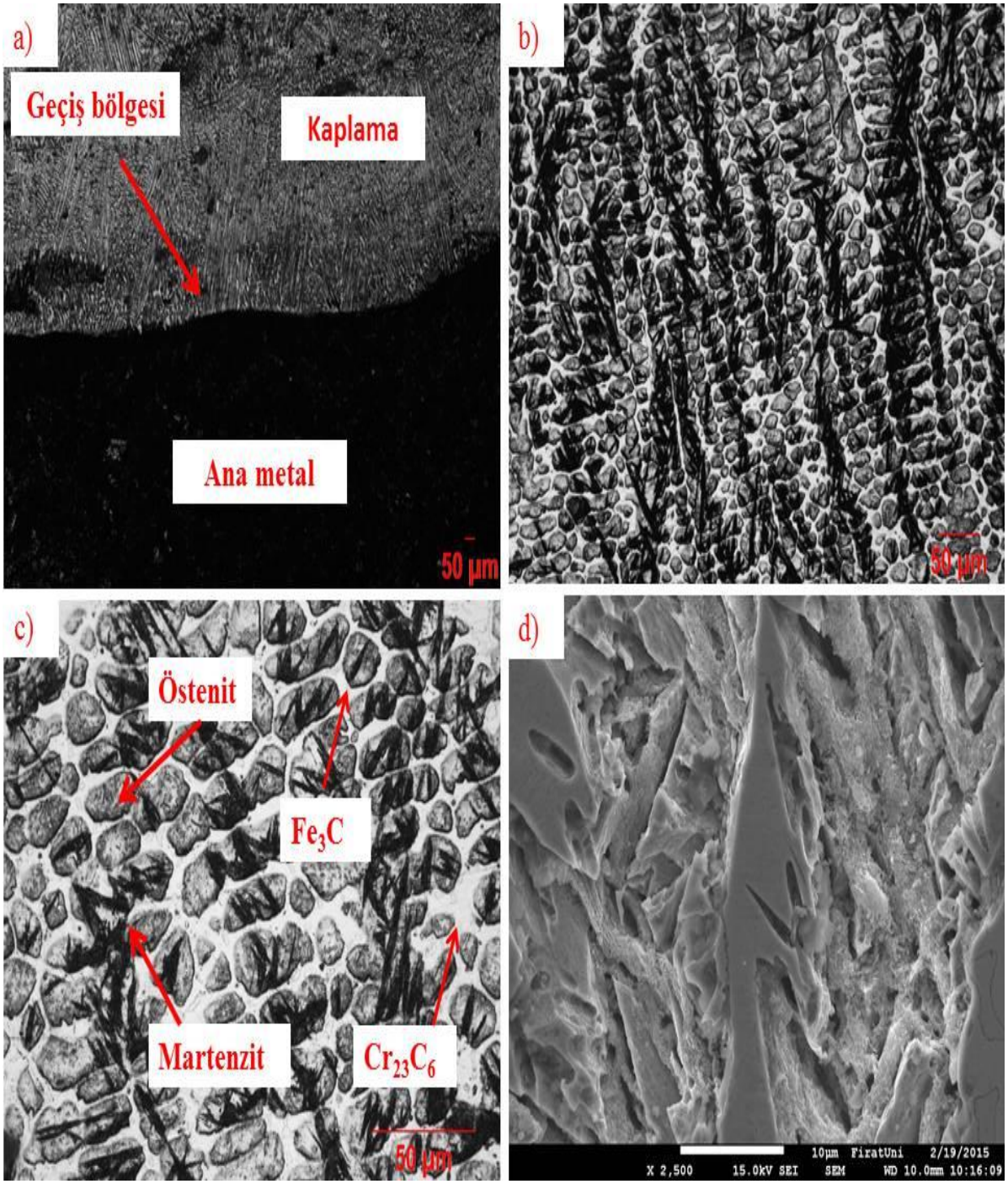
Artan miktarlarda ferrotitanyum (% 3-12) ve ferrobor (% 2.5-10) içeren tozlarla elde dilen sert dolgu kaplamalarda ise (% 1.02-1.44) oranlarında titanyum, (% 0.41-0.57) oranlarında bor ve (%0.19-0.25) oranlarında karbon kaplamaya geçmiştir. Yine benzer şekilde en yüksek titanyum, bor ve karbon yüzdeleri toz içerisindeki en yüksek orandaki ferro alaşım

içeren tozlarla elde edilirken, en düşük titanyum bor ve karbon yüzdeleri ise toz içerisindeki en düşük orandaki ferro alaşım içeren tozlarla elde edilmiştir. Aynı şekilde, diğer numunelerde olduğu gibi mangan, molibden ve silisyum da sert dolgu kaplama kompozisyonlarında benzer oranlarda yer almaktadır.

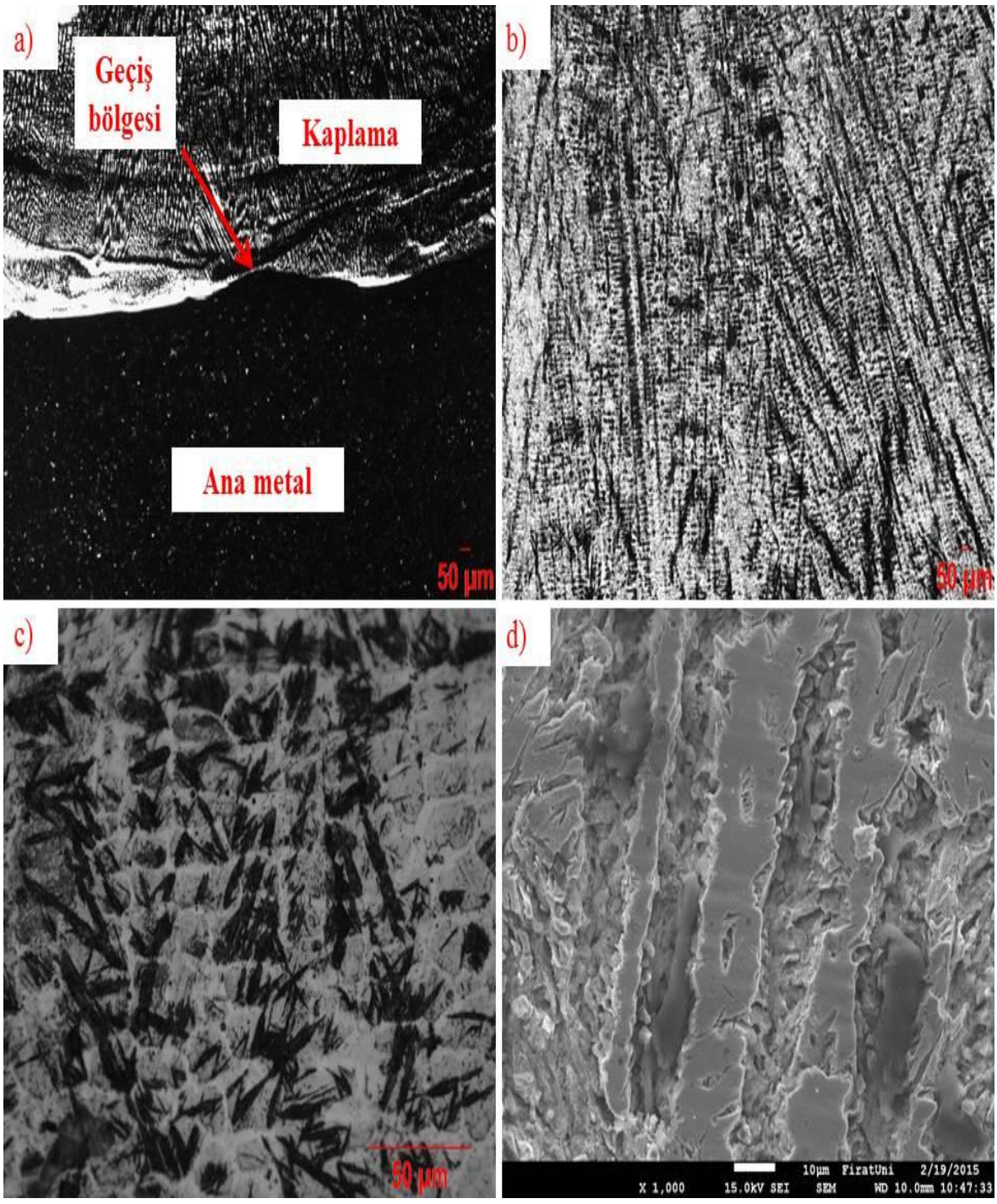
Sert dolgu kaplamaların enine kesitinden alınarak klasik metalografik yöntemlerle hazırlanan ve artan miktarlarda yüksek karbonlu ferrokrom içeren sert dolgu kaplamaların mikroyapı fotoğrafları **Şekil 41-44** de verilmektedir.



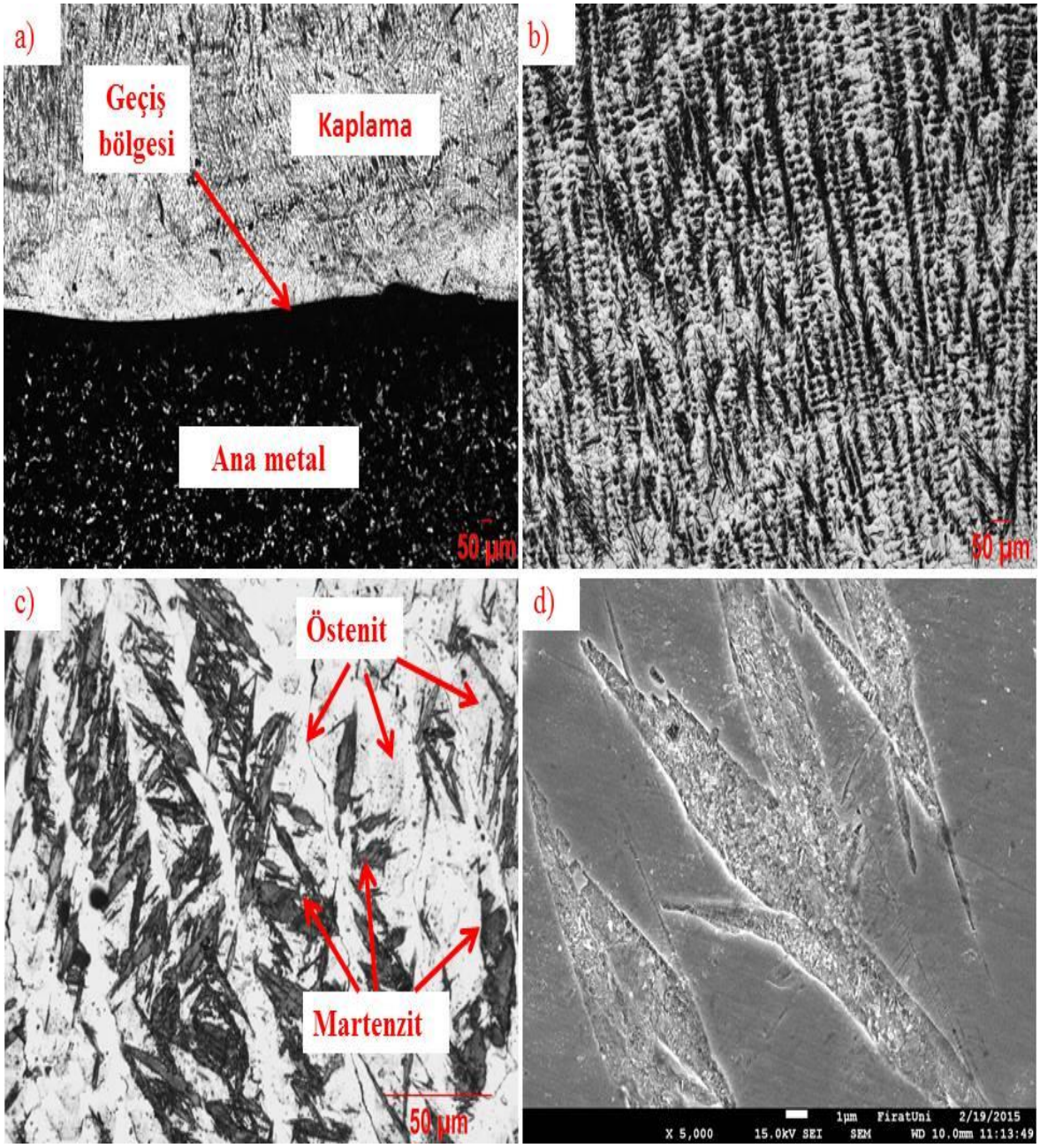
Şekil 41. % 4 FeCr içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).



Şekil 42. % 8 FeCr içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).



Şekil 43. %12 FeCr içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

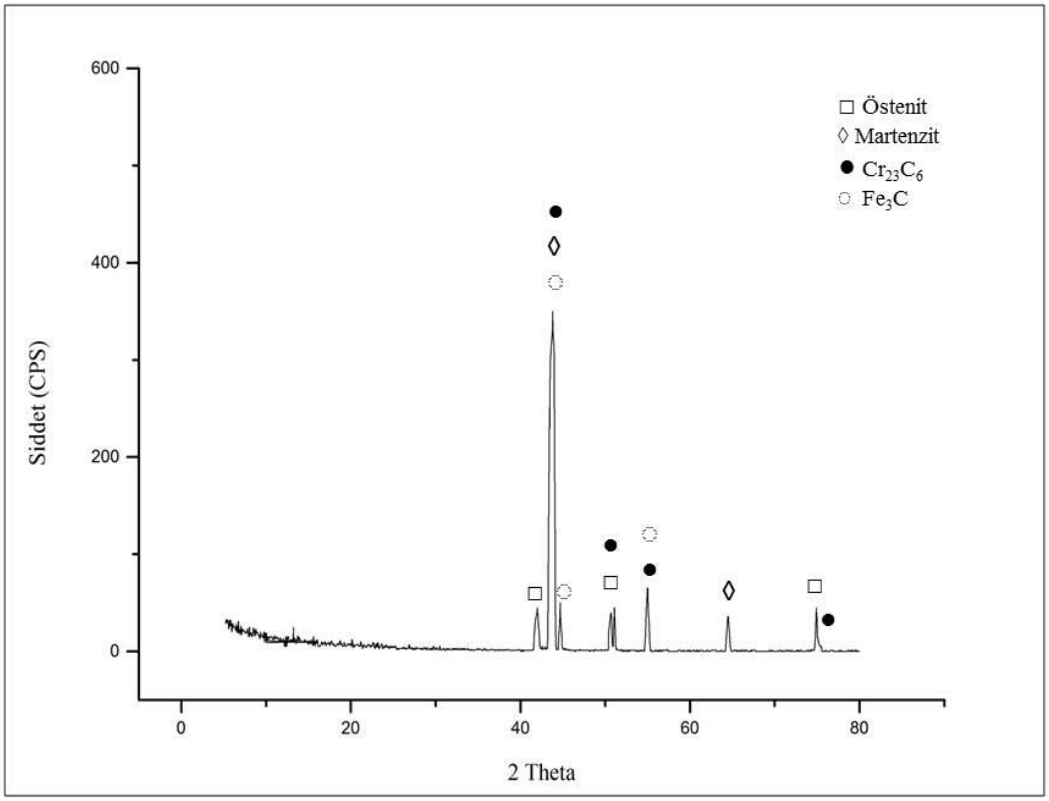


Şekil 44. %16 FeCr içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

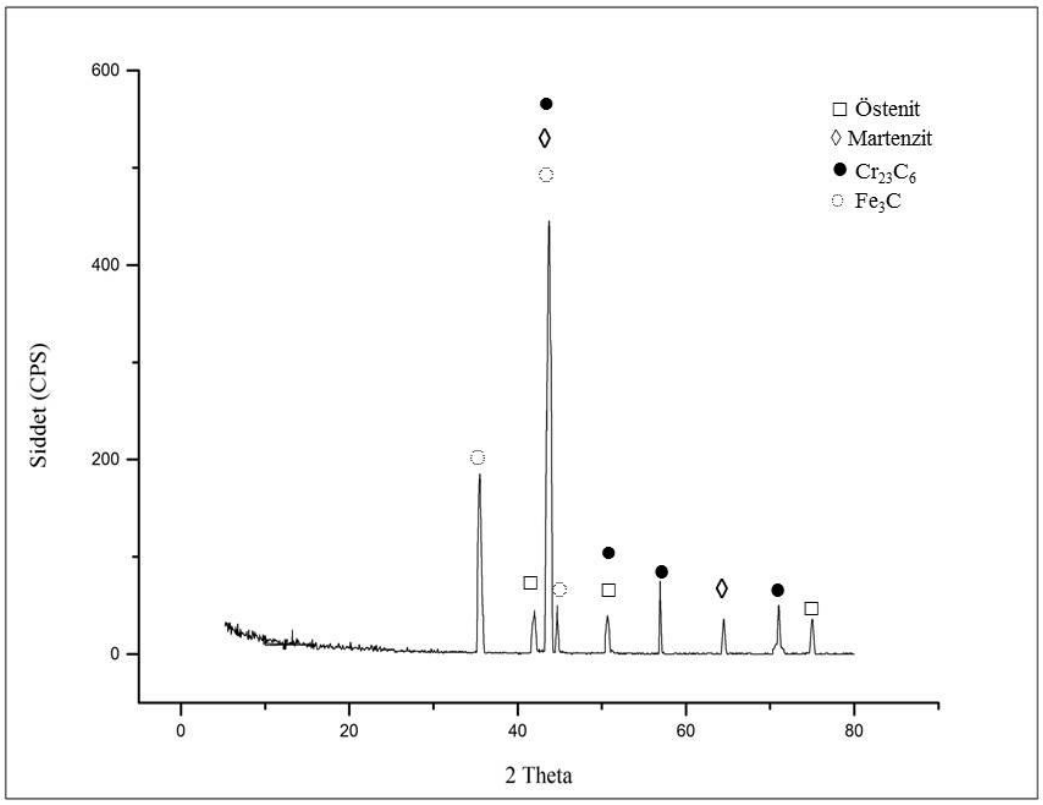
Yüksek karbonlu ferrokrom kullanılarak elde edilen sert dolgu kaplama mikroyapılarında oluşan yapılar östenit, martenzit, Fe_3C ve $Cr_{23}C_6$ fazlarıdır **(Şekil 41-44 a-d).** Bu dört kaplamada toz içerisindeki ferrokrom yüzdesinin artışı kaplamanın faz karakteristiğini belirlemiştir. Tüm mikroyapılarda östenit, martenzit, Fe_3C ve $Cr_{23}C_6$ fazlarının varlığı kimyasal kompozisyonlardaki benzerlik ile ilişkilendirilmiş ve bu

sonuçlar XRD analiz sonuçları ile de desteklenmiştir **(Şekil 45 a-d).** Kimyasal kompozisyon analiz sonuçları hatırlandığında; en düşük krom yüzdeleri % 4 ferrokrom içeren tozlarla hazırlanan sert dolgu kaplamalarda elde edilmişti. Dolayısıyla; en az karbür ve martenzit bu kaplamada gözlenmiştir **(Şekil 41).** Artan krom yüzdesi ile tane sınırlarındaki karbürler ve yapıdaki martenzit yüzdesi de **Şekil 41-44 (a-d)** görüldüğü üzere orantılı olarak artmıştır **(Zahiri vd., 2014)**

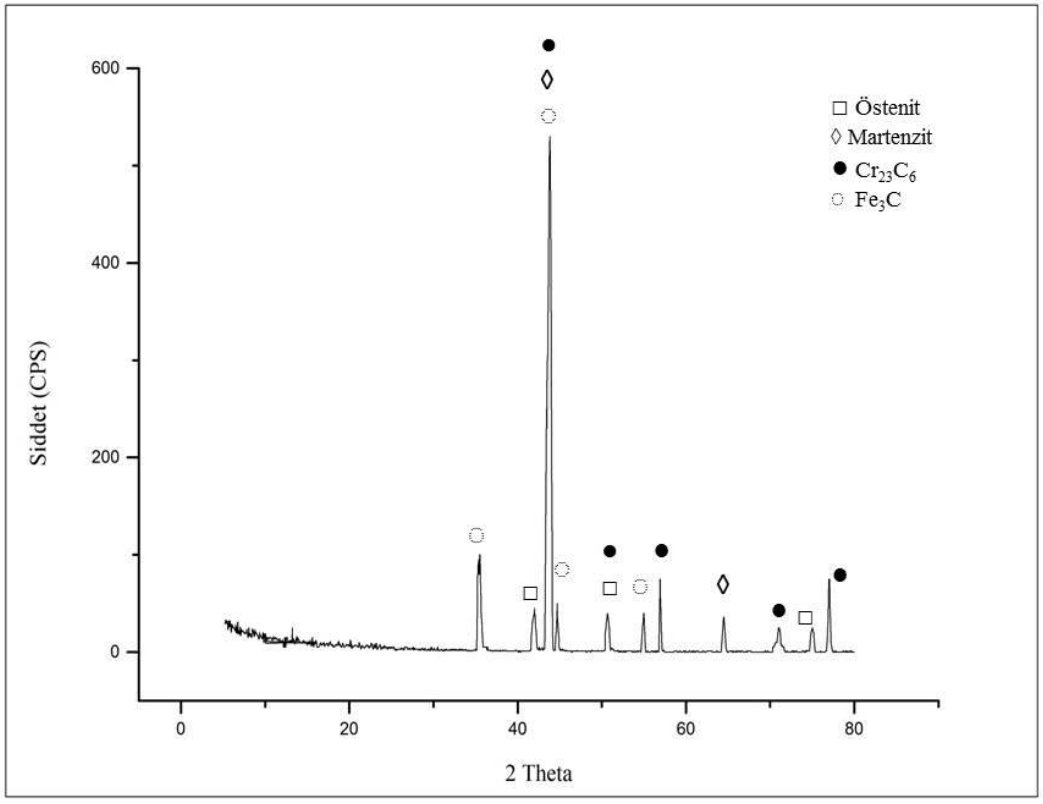
Mikroyapılar detaylı incelendiğinde; sert dolgu kaplamaların kaynak geçiş bölgesine yakın bölgelerinde östenit ve karbürce zengin bölgeler bulunmakta iken yüzeye yakın yan ve üst bölgelerde ise martenzit fazı yoğun olarak yer almaktadır. Bu durum; ana metalin kaplamanın üst kısmında, kaynak telinin ise kaynak dikişinin üst ve yan bölgelerinde hâkim olmasıyla açıklanmaktadır.



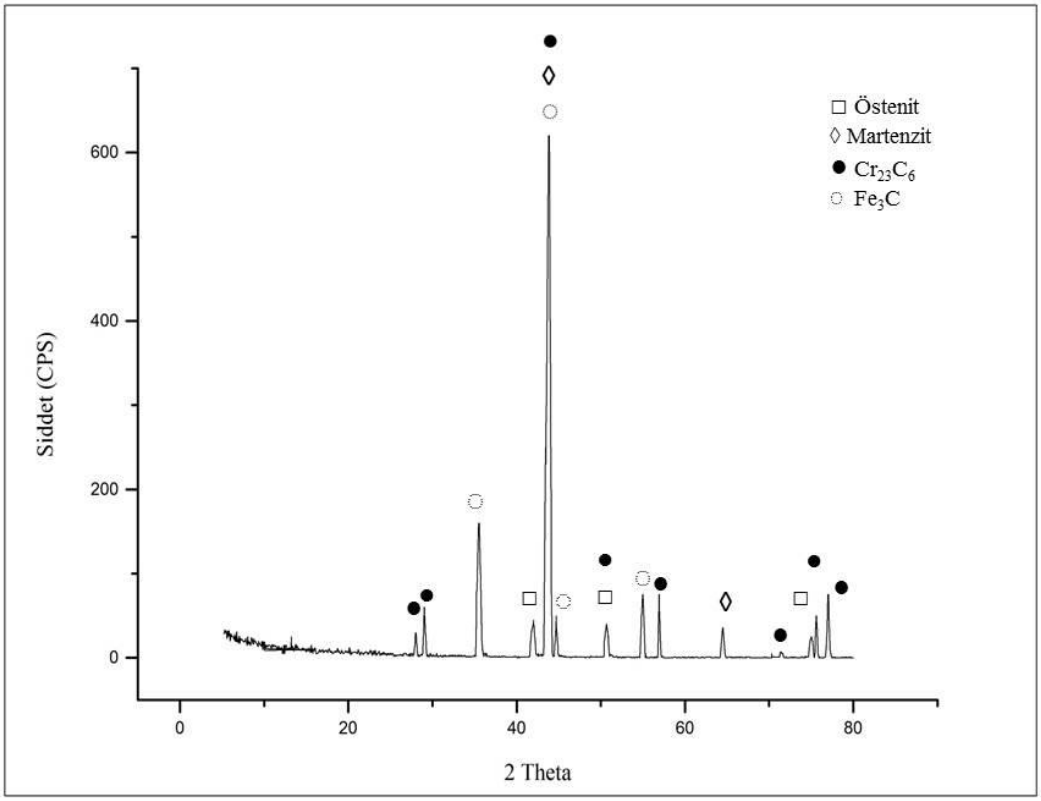
a)


600
400
200
0
Siddet (CPS)
0
20
40
60
80
2 Theta
□ Östenit
◊ Martenzit
● $Cr_{23}C_6$
○ Fe_3C

b)


600
400
200
0
Siddet (CPS)
0
20
40
60
80
2 Theta
□ Östenit
◊ Martenzit
● $Cr_{23}C_6$
○ Fe_3C

c)



d)

Şekil 45. Artan miktarlarda FeCr içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamaların XRD analiz sonuçları **a)** % 4 FeCr **b)** % 8 FeCr **c)** % 12 FeCr **d)** % 16 FeCr.

Kaplamaların soğuması esnasında; ilk olarak birincil östenitler oluşmuş, geriye kalan ergiyikten ötektik östenitler ve bunların etrafında özellikle tane sınırlarında karbürler oluşmuştur. Kaplamaların katılaşması oda sıcaklığına doğru ilerlediğinde karbürler aynı şekilde kalmış birincil ve ötektik östenitlerin bir kısmı martenzite dönüşmüş ve geriye kalan östenitler ise kalıntı östenit şeklinde oda sıcaklığında mikroyapıda yerini almışlardır (Azimi ve Shamanian, 2010; Eroğlu ve Özdemir, 2002).

Kaplamalarda aynı ısı girdisinin kullanılması ve artan miktarlarda krom ve karbonun kaplamaya geçmesiyle $\mathbf{M_s}$ **ve** $\mathbf{M_f}$ sıcaklıklarının daha da düşerek kalıntı östenit miktarının artması ve bu nedenle de martenzit fazlarının azalması beklenebilir. Ancak; krom miktarının artması daha yavaş soğuma hızlarında bile karbon difüzyonuna bariyer etkisi oluşturarak martenzitik dönüşümün gerçekleşmesini daha yavaş soğuma hızlarına indirgemiş ve böylece de kaplamanın martenzit yüzdesini arttırmıştır. Ayrıca; kromun karbonla yaptığı karbür bileşiklerinin matrisin karbon konsantrasyonunu azaltmış

olabileceği buna bağlı olarak Ms çizgisinin lokal olarak yükseldiği böylece de martenzitik dönüşümün oda sıcaklığında lokal olarak daha aktif hale geldiği düşünülmektedir. Bu durum; özellikle kaplamanın merkezinden üst kısmına ve kenar noktalarına doğru gidildikçe, dendritik karakterdeki östenit yapıların üzerinde daha da yoğun olarak görülmektedir (Bain ve Paxton 1966, Yıldızlı vd, 2007). Böylece; kaplama mikroyapısında elde edilen östenit, martenzit ve karbürler kompozit malzeme davranışı sergilemiştir**.**

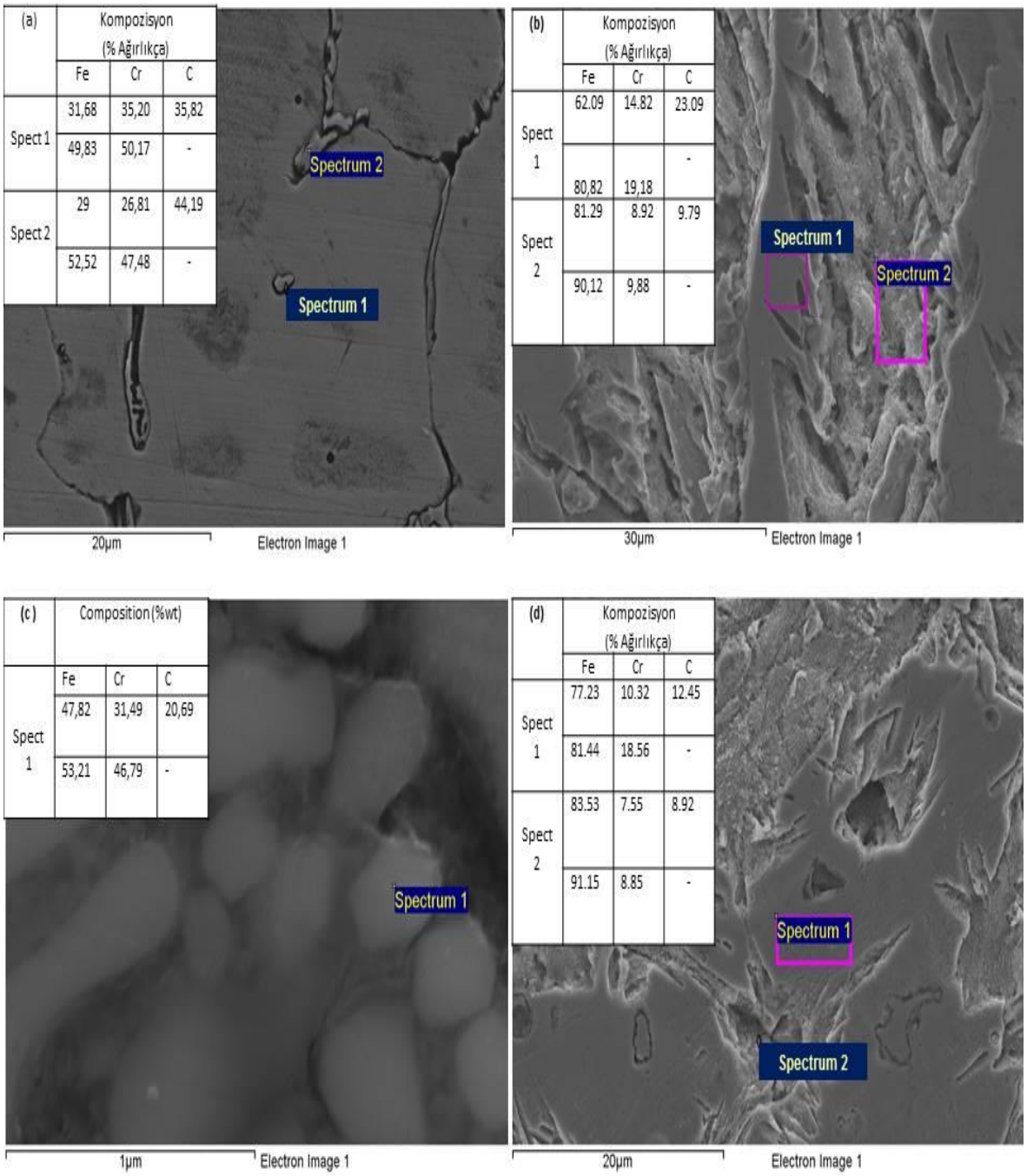
Bilindiği üzere EDX analiz sonuçlarında karbon tam olarak doğru sonuçlar verememektedir. Bu yüzden **Şekil 46 (a-d)** deki EDX analizleri karbonlu ve karbonsuz olarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 46(a) da östenit ve tane sınırı karbürlerin SEM fotoğrafı ve iki farklı karbürün EDX noktasal analiz sonuçları görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre; her iki bölge de krom ve demirce zengin birbirine benzer karbürlerin $Cr_{23}C_6$ varlığı görülmektedir (Chang vd, 2010, Yüksel ve Şahin 2014).

Sekil 46(b) de ise östenitce ve martenzitce zengin bir bölge üzerinden alınan EDX analizleri görülmektedir. Burada, her iki bölgeden alınan krom ve karbon yüzdeleri arasında farklılık olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre krom ve karbonca zengin olan bölgelerde östenit, krom ve karbonca nisbi olarak fakir olan bölgelerde de ise martenzit oluşumunun aktif olduğu düşünülmektedir.

Sekil 46(c) de yüksek büyütmelerde görülen altıgen geometrideki bir karbürden EDX analizleri alınmıştır. Analiz sonuçları literatürle karşılaştırıldığında; bu yapının geometrisi nedeniyle Cr_7C_3 bileşiği olabileceği düşünülmektedir (Yüksel ve Şahin 2014, Azimi ve Shamanian 2010, Bain ve Paxton 1966, Hornung vd, 2013, Zhou vd 2012). Ancak, bu bileşik XRD analiz sonuçlarında gözlenememiştir. XRD sonuçlarında bu bileşiğin görülememesi diğer fazlara göre eser miktarda bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

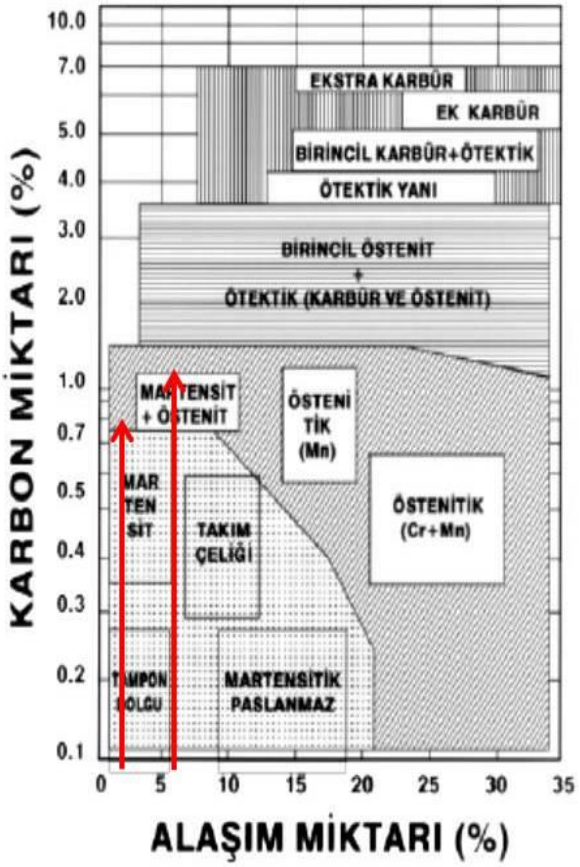
Sekil 46(d) de ise yine östenit ve martenzit fazlarının hakim olduğu bölgelerden EDX analizleri alınmıştır. Analizlerde, **Sekil 46(b)** deki EDX analiz sonuçlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir. EDX analizlerinde, krom ve karbon yüzdelerinin fakir olduğu spektrum 1 de martenzit fazlarının krom ve karbon yüzdelerinin zengin olduğu spektrum 2 de ise östenit faz oluşumunun aktif olduğu düşünülmektedir.



Şekil 46. Artan miktarlarda FeCr içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamaların SEM EDX analiz sonuçları

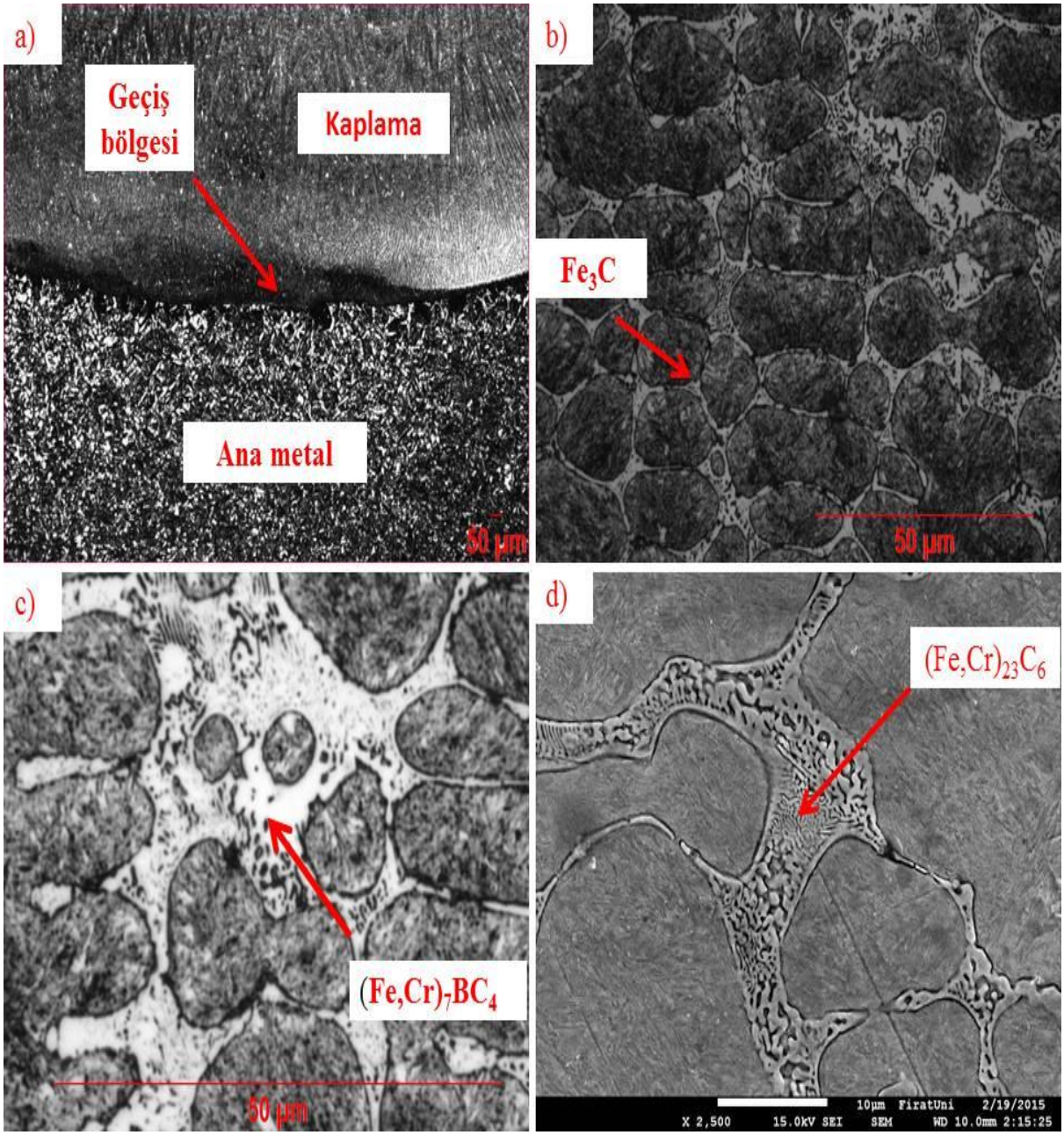
a) %4 FeCr **b)** %8 FeCr **c)** %12 FeCr **d)** %16 FeCr.

Kimyasal kompozisyon **(Tablo 29),** XRD **(Şekil 45 a-d)** ve mikroyapı analizleri **(Şekil 41-44 a-d) Şekil 47'**deki Kotecki diyagramı ile karşılaştırıldığında; toz karışımına değişen oranlarda yüksek karbonlu ferrokrom katılarak elde edilen sert dolgu kaplama mikroyapı fazlarının olası olduğu düşünülmektedir. Mikroyapılarda yer alan fazların martenzit, karbür, birincil ve ötektik östenit yani kalıntı östenit şeklinde bulunması, sert dolgu kaplamaların Kotecki diyagramında martenzit+östenit bölgesinde yer alan karbon ve krom yüzde miktarları (alaşım miktarı) ile uyumlu olmasıyla açıklanmaktadır. Ayrıca, diyagramda temsil edilen bölgelerin ana (temel) fazlar baz alınarak değerlendirilmesi, kaplamalarda oluşan östenit ve martenzit fazlarının ana fazlar olmalarıyla ilişkilendirilmiştir. Karbür bileşikleri ise ikincil fazlar olmalarıyla açıklanmaktadır.

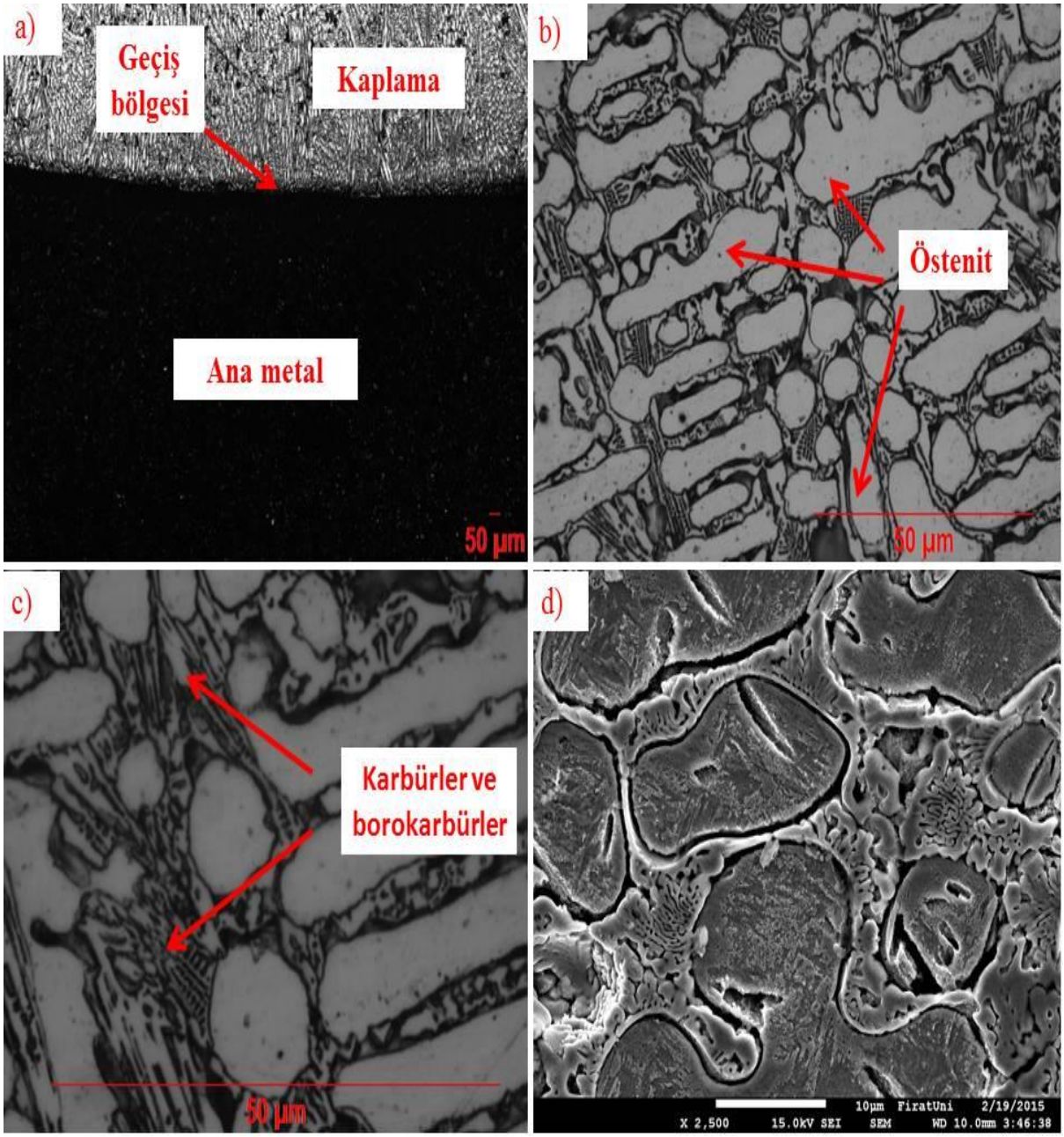


Şekil 47. Kotecki diyagramı (Cavcar, 1996).

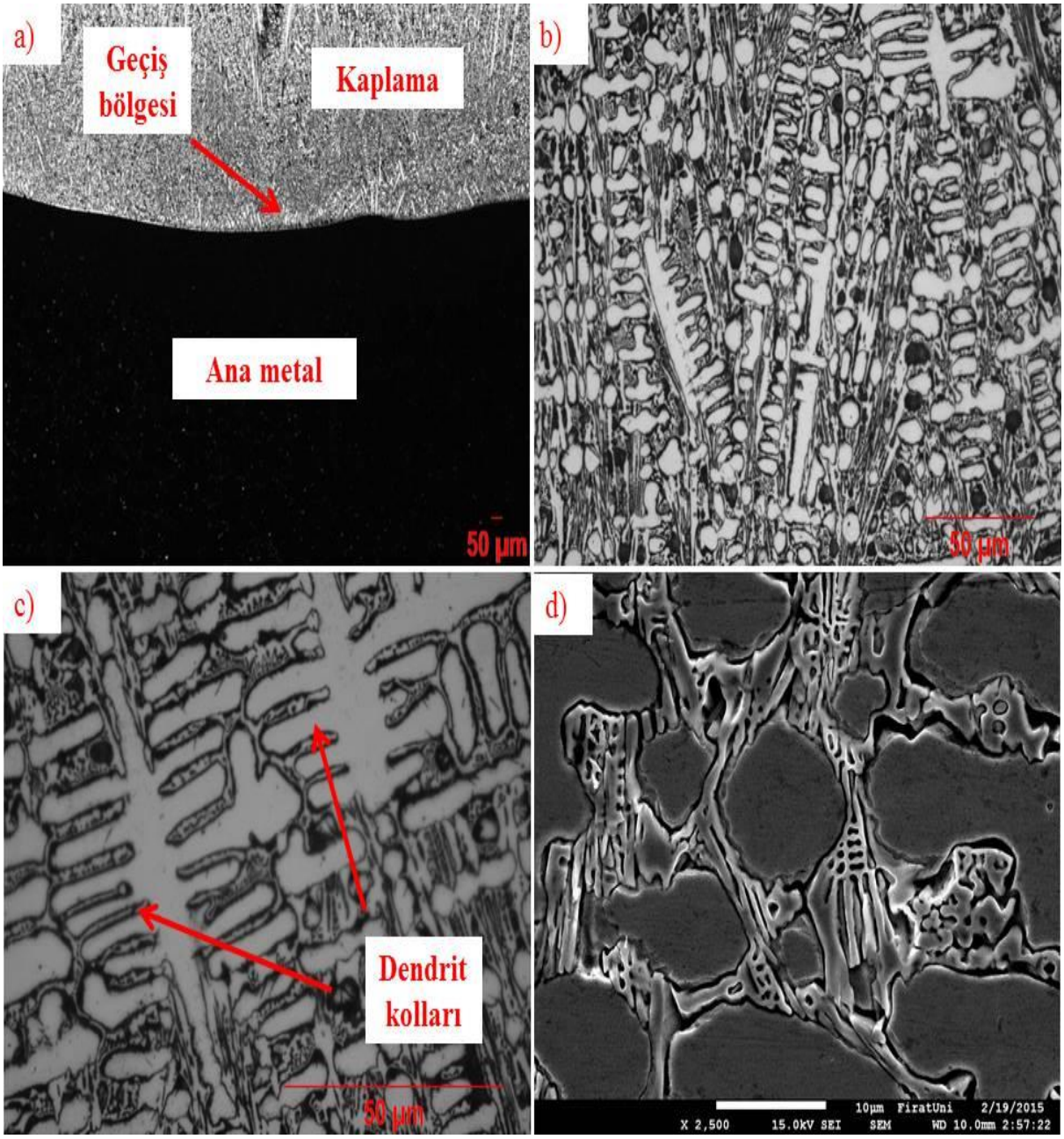
Sert dolgu kaplamaların enine kesitinden alınarak klasik metalografik yöntemlerle hazırlanan ve artan miktarlarda ferrokrom ve sabit oranda ferrobor içeren sert dolgu kaplamaların mikroyapı fotoğrafları **Şekil 48-51** de verilmektedir.



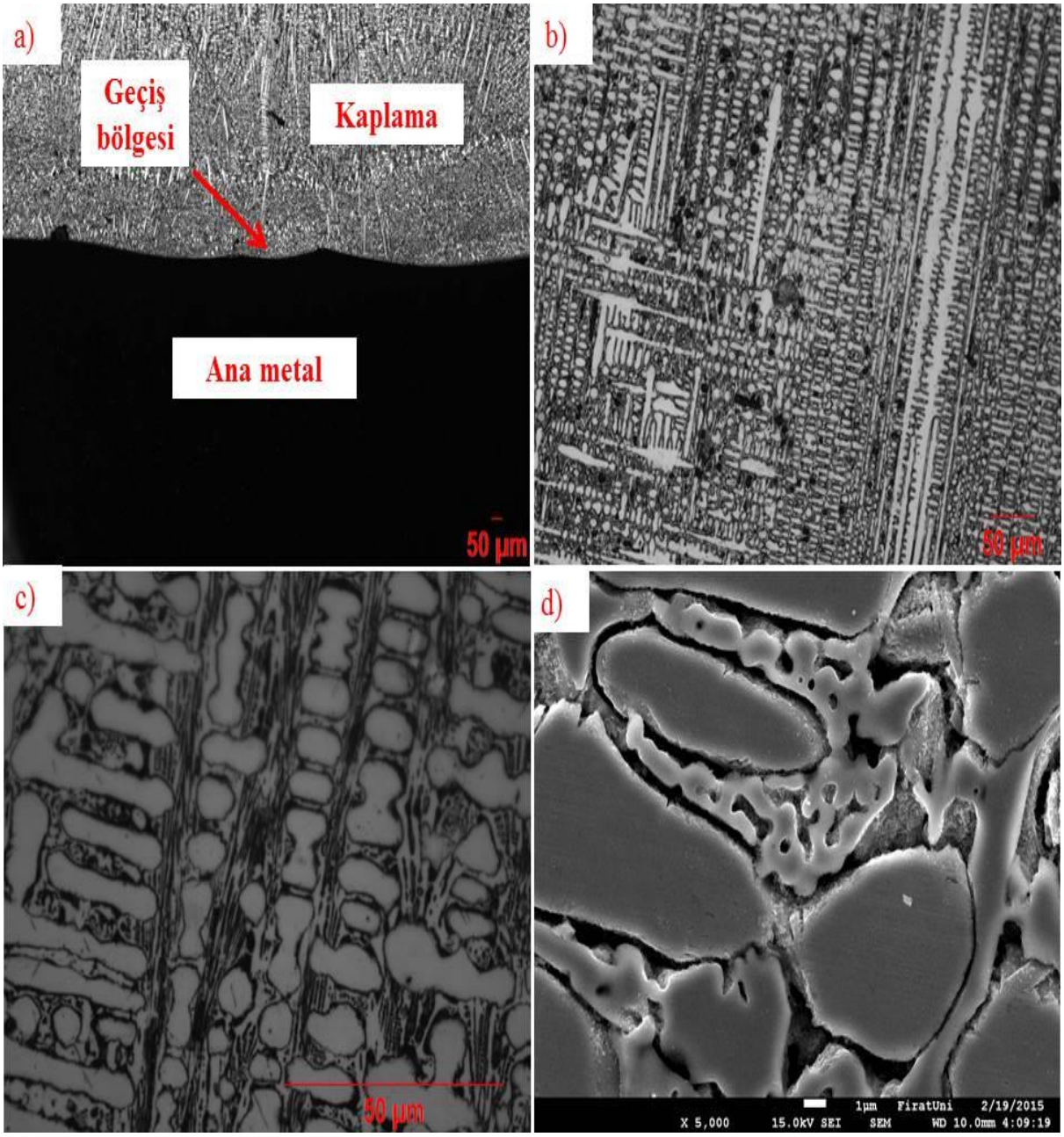
Şekil 48. %4 FeCr - %2 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).



Şekil 49. % 8 FeCr - % 2 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri.
a-c) Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).



Şekil 50. % 12 FeCr - % 2 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

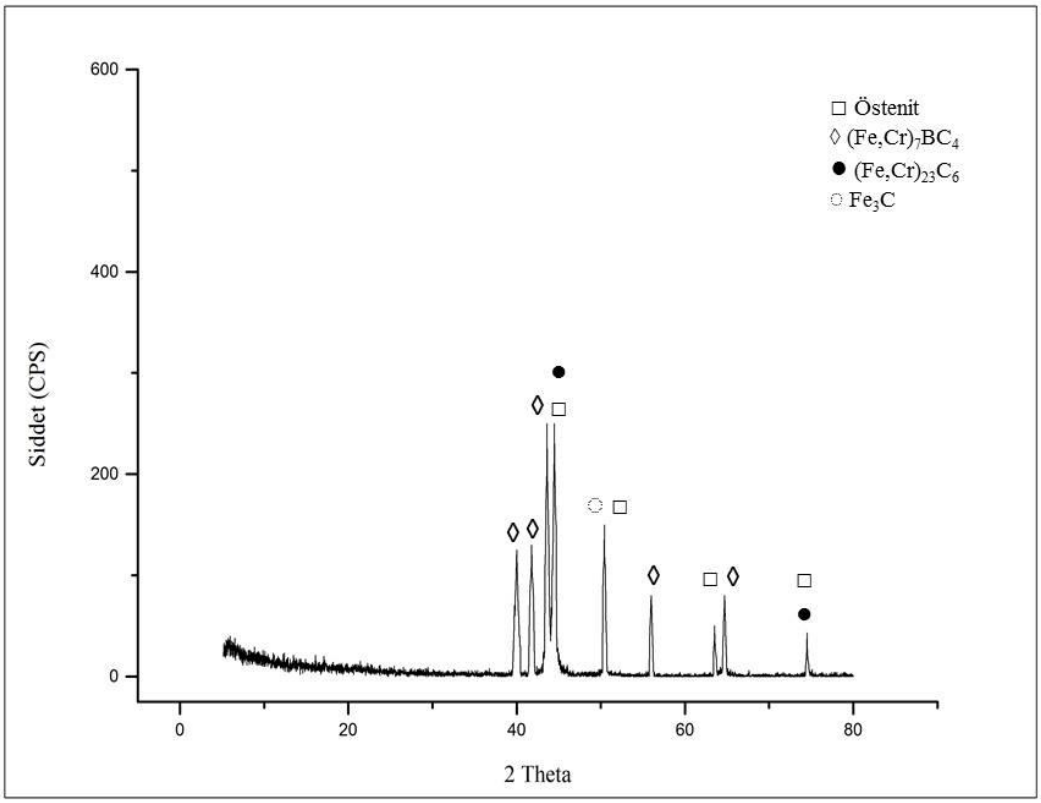


Şekil 51. % 16 FeCr - % 2 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

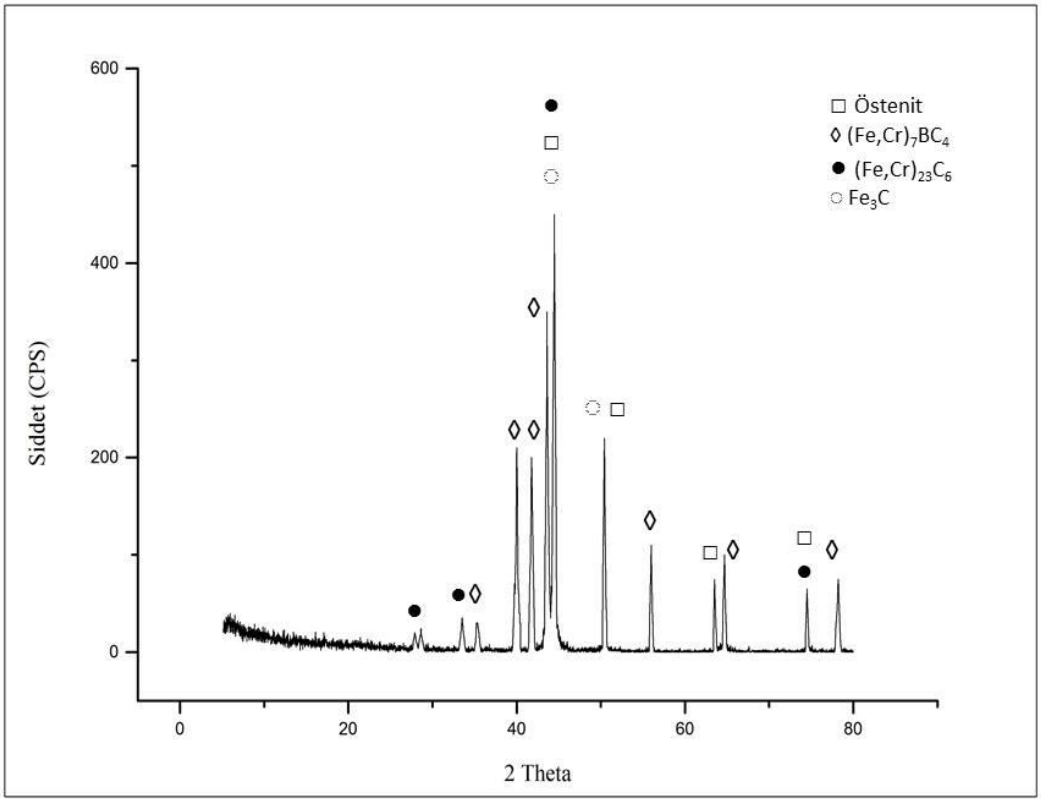
Mikroyapılarda oluşan fazlar östenit, Fe_3C (sementit), $(Fe,Cr)_{23}C_6$ ve $(Fe,Cr)_7BC_4$ dir. Mikroyapılardaki oluşan bu fazlar XRD (**Şekil 52 a-d),** kimyasal kompozisyon analizleri **(Tablo 29)** ve Lin vd,. 2014; Zahiri vd., 2014; Yüksel ve Şahin 2014; Kirchgaßner, 2008; Berns ve Fisher, 1987 ile desteklenerek krom, bor ve karbon miktarına bağlı olarak bu ve benzeri fazların oluşabileceği belirlenmiştir. Literatürdeki çalışmaların büyük çoğunluğunun da tozaltı kaynak metodu dışındaki metotlarla gerçekleştiğinden, mevcut

çalışma literatürdeki farklı kaynak metotlarıyla yapılan kısıtlı çalışma sonuçlarıyla ilişkilendirilmiştir. Kaplamalarda değişen oranlarda yüksek karbonlu ferrokrom ve %2 oranında sabit miktarda ferrobor kullanımı ile demir ve kromdan oluşan karbür ve borokarbürlerin oluştuğu ve bu yapıların da östenit tanelerinin etrafında sıkı bir şekilde dizildiği görülmektedir. Ferrokrom miktarındaki artış ile östenit tanelerini çevreleyen bu karbür ve borokarbürlerin miktarının da arttığı tespit edilmiştir. Bu durum net bir şekilde **Şekil 48-51** de görülmektedir. Toz hazırlanma esnasında hedeflenen artan miktarlardaki ferrokrom ve sabit orandaki ferrobor kaplamalarda artan miktarlarda karbür ve bor karbürlerin oluşmasına neden olmuştur. En az karbür ve borokarbür oluşumu %4 FeCr ve %2 FeB içeren toz ile elde edilen kaplamada elde edilirken, en yoğun karbür ve bor karbürler %16 FeCr ve %2 FeB içeren kaplamada elde edilmiştir.

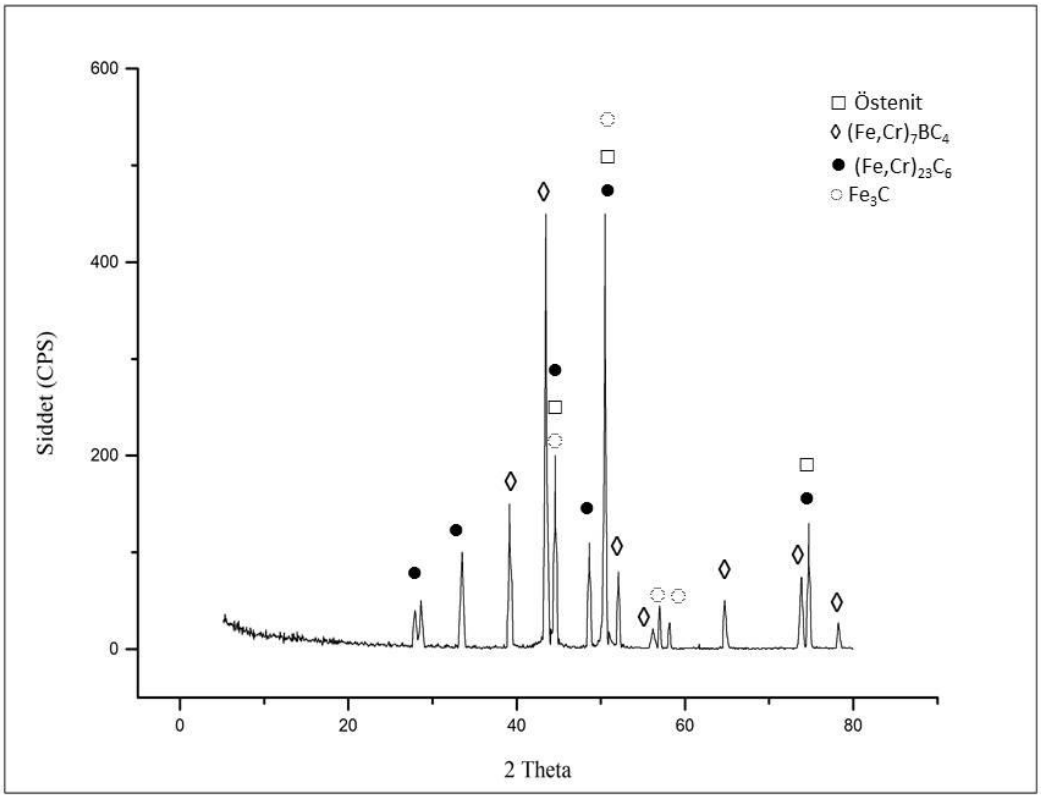
Sert dolgu kaplama mikroyapıları düşük büyütmelerde incelendiğinde; katılaşmanın dendritik olarak gerçekleştiği açıkça görülmektedir. Özellikle, % 4 FeCr ve %2 FeB içeren tozlarla elde edilen kaplamalar dendritik katılaşma olarak en seyrek dendritik katılaşma bölgelerine sahipken, %12 ve %16 FeCr ve %2 FeB içeren tozlarla elde edilen kaplamalar dendritik katılaşma olarak en yoğun bölgelere sahiptir. Bu durum şu şekilde izah edilmektedir. Kübik kristal yapıya sahip metallerde dendritik katılaşma bölgeleri, katılaşma esnasında yapı içerisinde çekirdek görevi üstlenen tanelere bağlı olarak, kafes yapısındaki küp yüzeyine dik bölgelerde hızlı, diğer yönlerde yavaş soğuma meydana gelmesi ile oluşur. Bu durum metalik yapı içerisindeki ergime noktası yüksek bileşik ve benzeri yapıların miktarına bağlı olarak meydana gelir. Dolayısıyla; kaplama bünyesindeki krom, karbon ve bor miktarının artmasıyla, meydana gelen karbür ve borokarbür gibi yapılar artmakta, buna bağlı olarak da katılaşma esnasında oluşan çekirdeklerin sayısı artmaktadır. Çekirdek sayısının artması, büyüme esnasında farklı soğuma bölgelerinin oluşmasına böylece de denritik katılaşma bölgelerinin artmasına neden olmaktadır (Aran, 2007).


□ Östenit
◊ (Fe,Cr)7BC4
● (Fe,Cr)23C6
○ Fe3C
Siddet (CPS)
2 Theta
0
200
400
600
0
20
40
60
80

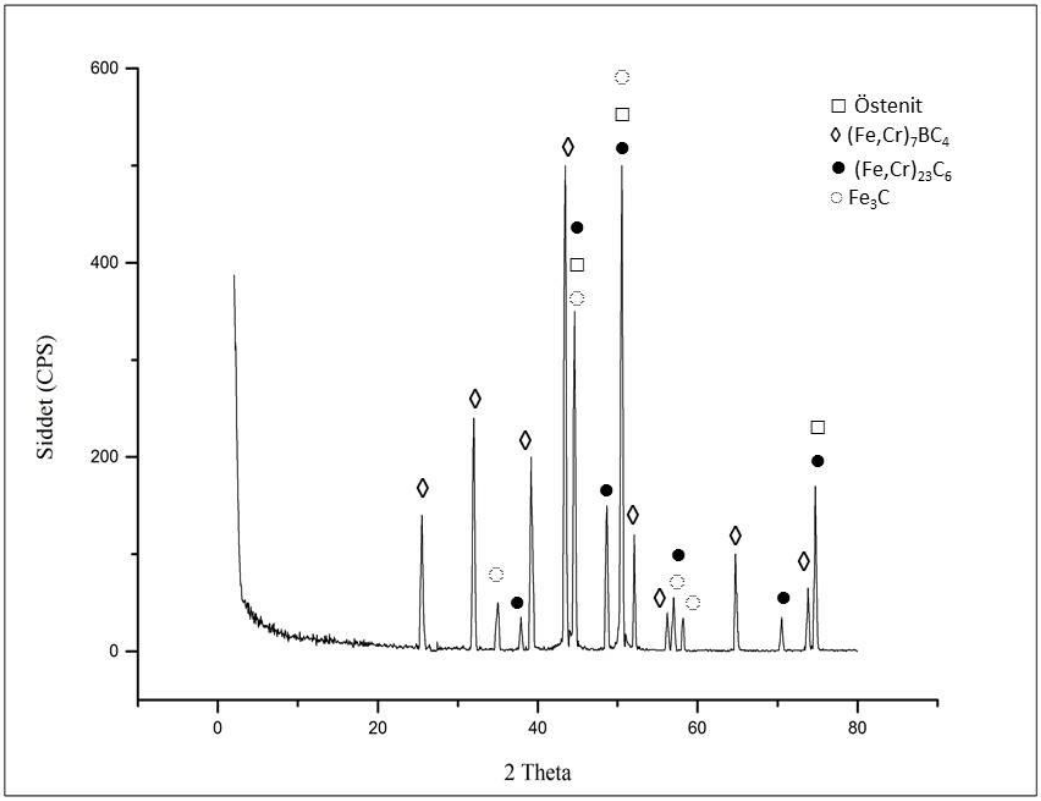
a)


□ Östenit
◊ (Fe,Cr)7BC4
● (Fe,Cr)23C6
○ Fe3C
Siddet (CPS)
2 Theta
0
200
400
600
0
20
40
60
80

b)



c)



d)

Şekil 52. FeCr ve FeB içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamaların XRD analiz sonuçları **a)** % 4 FeCr,-%2FeB **b)** % 8 FeCr,-%2FeB **c)** % 12 FeCr-%2FeB **d)** % 16 FeCr-%2FeB.

Kaplama mikroyapılarında krom, karbon ve bor yoğunluğuna bağlı olarak farklı fazlar oluşmuştur. Mikroyapılarda öncelikle birincil östenitler oluşmuş geriye kalan ergiyikten nisbi olarak yüksek sıcaklıklarda krom, demir ve karbonca zengin olan bölgelerde ilk olarak sert $(Fe,Cr)_{23}C_6$ bileşikleri oluşmuştur. Yine nisbi olarak yüksek sıcaklıklarda ve nispi olarak daha az krom, demir, karbon yüzdelerinde ve az miktarda borun mikroyapıda yer almasıyla çok sert $(Fe,Cr)_7BC_4$ borokarbürleri oluşmuştur. Daha alt sıcaklıklardaki demir ve karbonca zengin bölgelerde ise ötektik Fe_3C bileşikleri oluşmuştur. Bu karbür ve borokarbürlerden arta kalan krom ve karbon ise östenit içerisinde çözünerek mikroyapıyı oluşturmuşlardır. Tüm karbür ve borokarbürler östenit matris etrafında yoğun bir şekilde dizilerek farklı geometrilerde mikroyapıda yerlerini almışlardır.

Şekil 53 de artan oranlarda ferrokrom ve sabit oranda ferrobor içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamaların EPMA EDS analizleri verilmektedir. Analizlerin doğruluğunu test etmek amacıyla bazı analizlerde karbon ve bor göz ardı edilerek analizler tekrarlanmıştır.

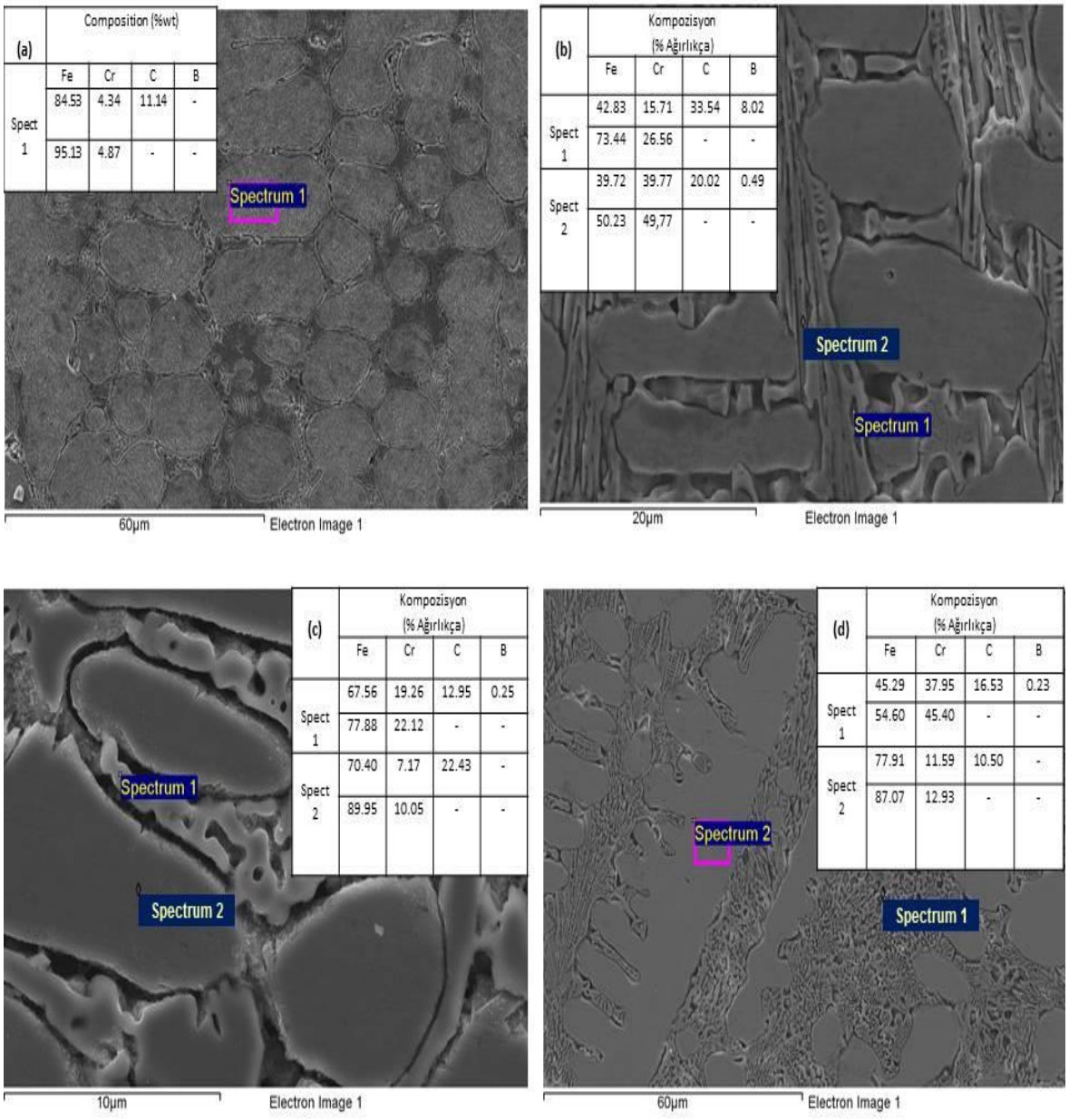
Şekil 53 (a) da östenit üzerinden alınan kompozisyon analizleri verilmektedir. Bu sonuçlara göre; östenit % 95.13 demir ve % 4.87 oranlarında kromdan oluştuğu ve östenit bünyesinde bor elementinin çözünmediği tespit edilmiştir.

Şekil 53 (b) spektrum 1 deki EDS analizlerinde, demir, krom, bor ve karbonun noktasal analiz sonuçlarında yer aldığı görülmektedir. Bu dört elementin bir arada yer alması nedeniyle bu bileşiğin $(Fe,Cr)_7BC_4$ borokarbürü olduğu düşünülmektedir. Spektrum 2 deki analizlerde ise borun yer almaması ve yüksek miktarda krom, demir ve karbon bir arada bulunması nedeniyle bu bileşiğin $(Fe,Cr)_{23}C_6$ karbürü olduğu düşünülmektedir.

Şekil 53 (c) spektrum 1 de demirce zengin bir karbürün EDS analizi alınmıştır. Burada, karbür içerisinde az miktarda bor da bulunmaktadır. Bu nedenle karbürün çok küçük bor karbürlerle sıkı bir şekilde bileşik oluşturduğu düşünülmektedir**. Şekil 53 (c)** spektrum 2 de ise östenit üzerinden alınan EDS analiz sonuçları verilmektedir. Buna göre, östenit % 89.95 demir ve % 10.05 kromdan oluşmakta ve östenit bünyesinde bor elementi çözünmüş halde bulunmamaktadır.

Son olarak, **Şekil 53 (d)** spektrum 1 de demir ve kromca zengin bir karbürden EDS analizleri alınmıştır. Analizde demir ve kromun birbirine yakın yüzdelerde olduğu ve yine eser miktarda borun karbür bünyesinde bulunduğu tespit edilmiştir. **Şekil 53 (d)** spektrum

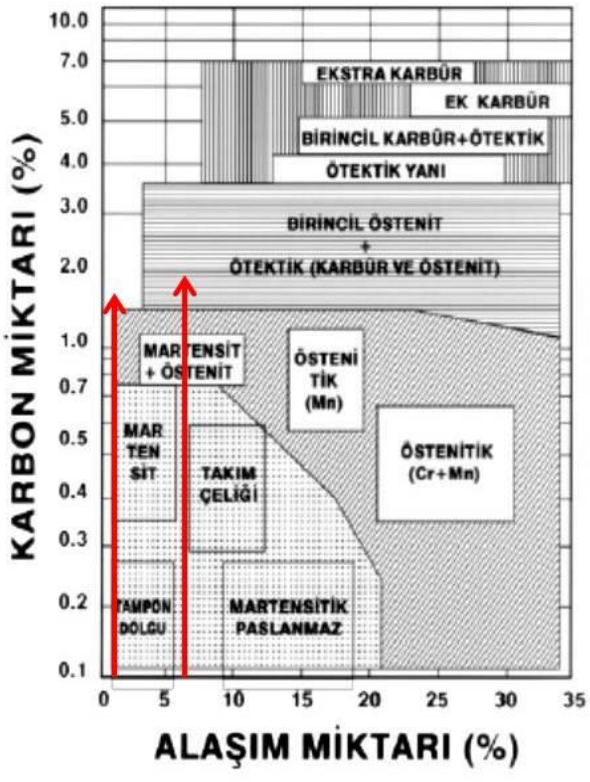
2 de ise yine östenit üzerinden alınan EDS analizleri gösterilmektedir. Östenit üzerinden alınan analizlerde, diğer üç numuneye oranla demir yüzdesinin azaldığı, östenit bünyesinde daha fazla miktarda kromun yer aldığı ve diğer sonuçlarla benzer şekilde östenit bünyesinde çözünmüş halde bor elementi bulunmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 53. Toz bileşiminde artan ferrokrom ve sabit oranda ferrobor miktarıyla elde edilen sert dolgu kaplamaların EPMA ve EDS analiz sonuçları

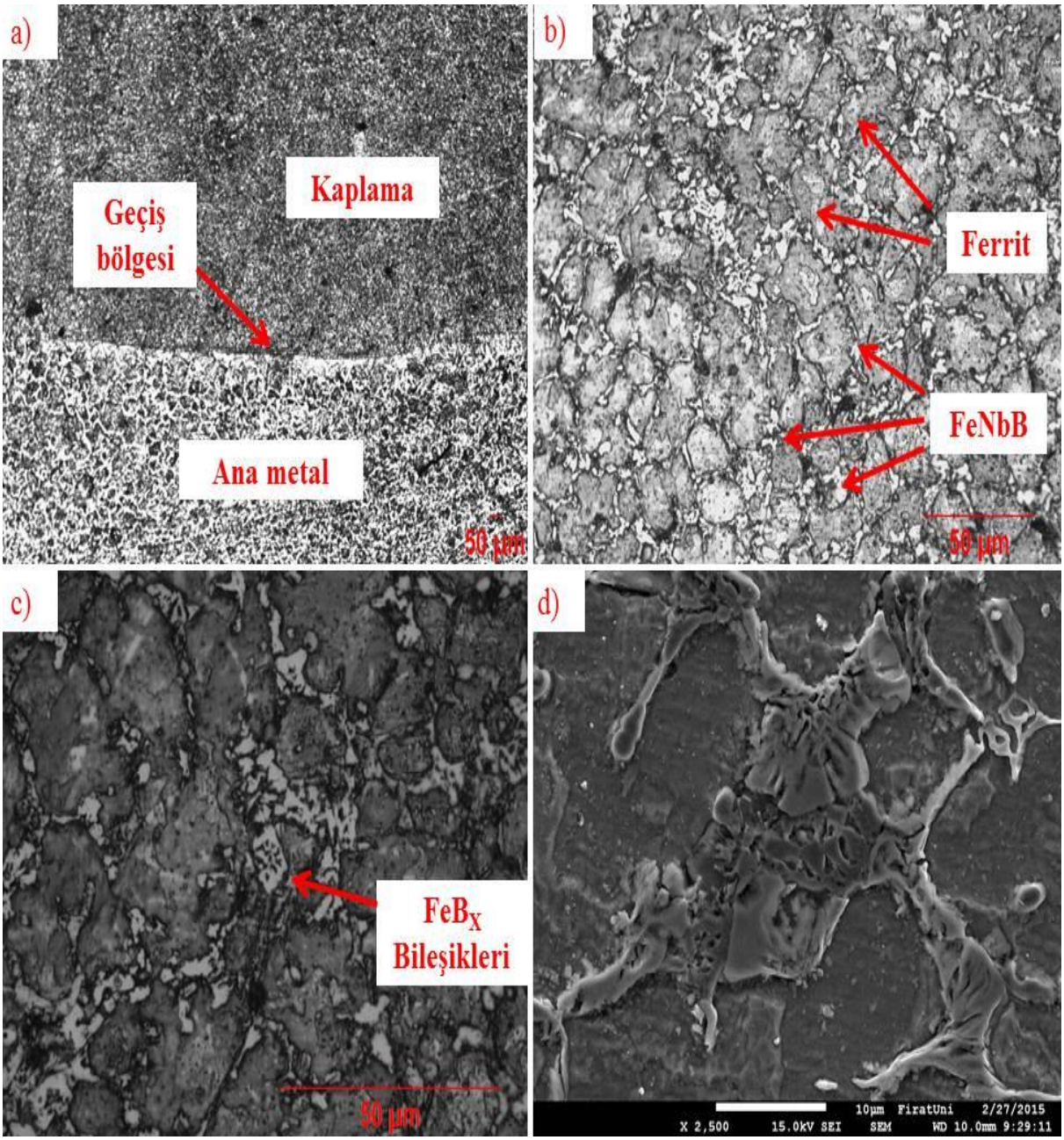
a) % 4 FeCr-%2 FeB **b)** %8 FeCr-%2 FeB **c)** %12 FeCr- %2 FeB **d)** %16 FeCr-%2 FeB

Kimyasal kompozisyon **(Tablo 29)**, XRD ve mikroyapı analizleri **Şekil 54** deki Kotecki diyagramı ile karşılaştırıldığında; toz karışımına yüksek karbonlu ferrokrom ve ferrobor katılarak elde edilen sert dolgu kaplamalardaki fazların olası olduğu düşünülmektedir**.** İyi bilindiği üzere bor elementi atom yarıçapı nedeniyle demir kafesi içerisinde ara yer atomu olarak yer almaktadır (Savaşkan, 2009). Karbonunda ara yer atomu olduğu hatırlandığında, artan bor yüzdesiyle mikroyapıdaki toplam ara yer atomu yüzdesi artmıştır. Artan ara yer atomlarının yüzdesinin artması Kotecki diyagramındaki karbon yüzdesini daha üst karbon yüzdelerine taşıyabileceğinden, kaplamaların bulunduğu karbon ve alaşım elementi yüzdeleri birincil ve ötektik östenit bölgesi ile ötektik karbür bölgesinin bulunduğu aralığa ulaşabilecektir. Kotecki diyagramında bu bölgede bulunan fazların, mikroyapılarda oluşan östenit, Fe_3C, $(Fe,Cr)_{23}BC_4$ ve $(Fe,Cr)_{23}C_6$ fazları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca; mikroyapılarda martenzit fazının bulunmaması da bu durumun olası olduğunu desteklemektedir. (Kotecki diagramında belirtilen kompozisyon aralıklarında karbon yüzdesi hesaplanırken mikroyapılardaki karbon ve bor yüzde oranları toplanarak diyagramdaki karbon yüzde aralıkları belirlenmiş ve buna bağlı olarak bu düşünce ortaya atılmıştır).

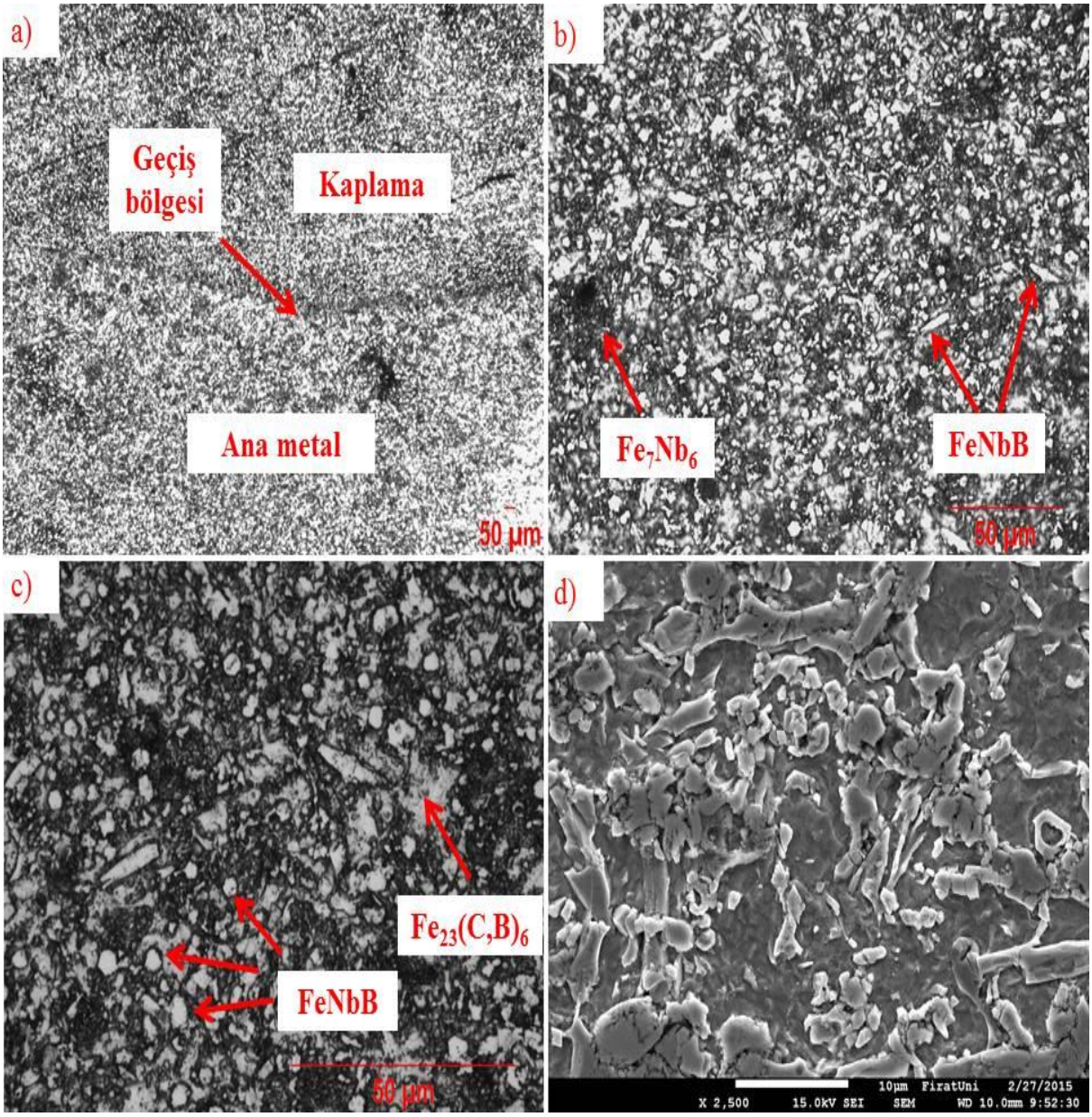


Şekil 54. Kotecki diyagramı (Cavcar, 1996).

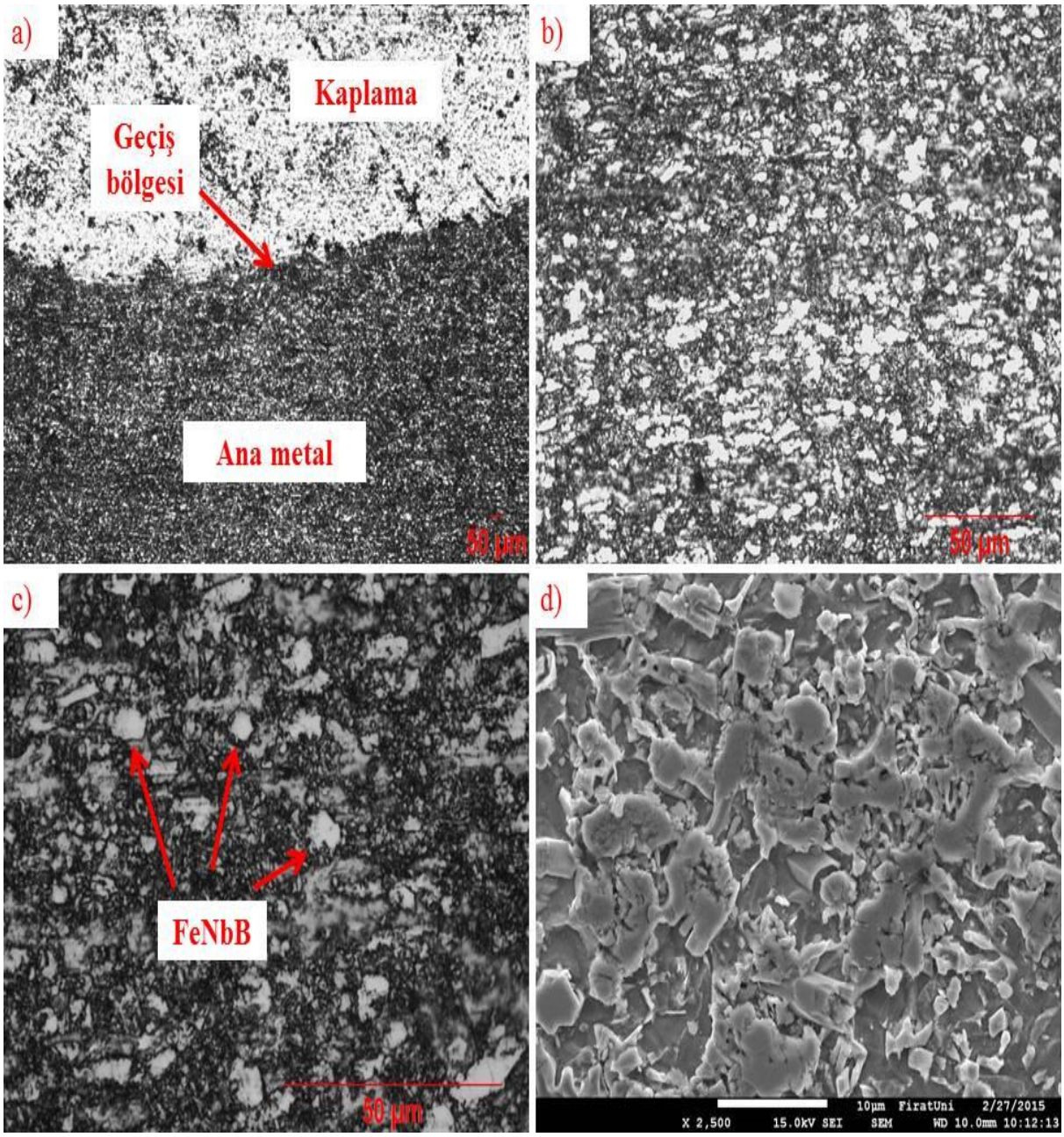
Sert dolgu kaplamaların enine kesitinden alınarak klasik metalografik yöntemlerle hazırlanan ve artan miktarlarda ferroniyobyum ve ferrobor içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamaların mikroyapı fotoğrafları **Şekil 55-58** de verilmektedir.



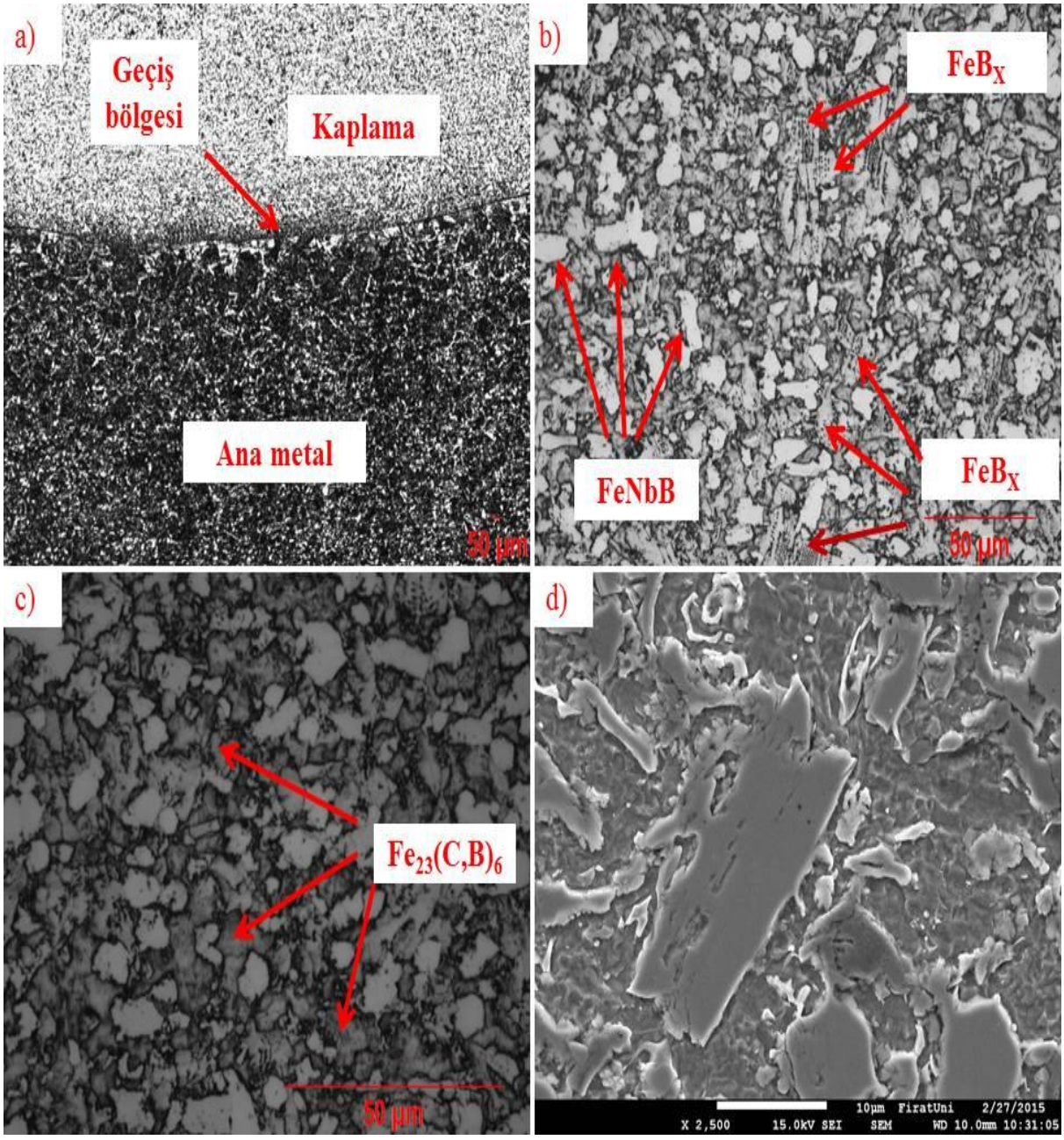
Şekil 55. % 3FeNb ve % 2.5 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).



Şekil 56. % 6 FeNb ve % 5 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).



Şekil 57. % 9 FeNb ve % 7.5 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).



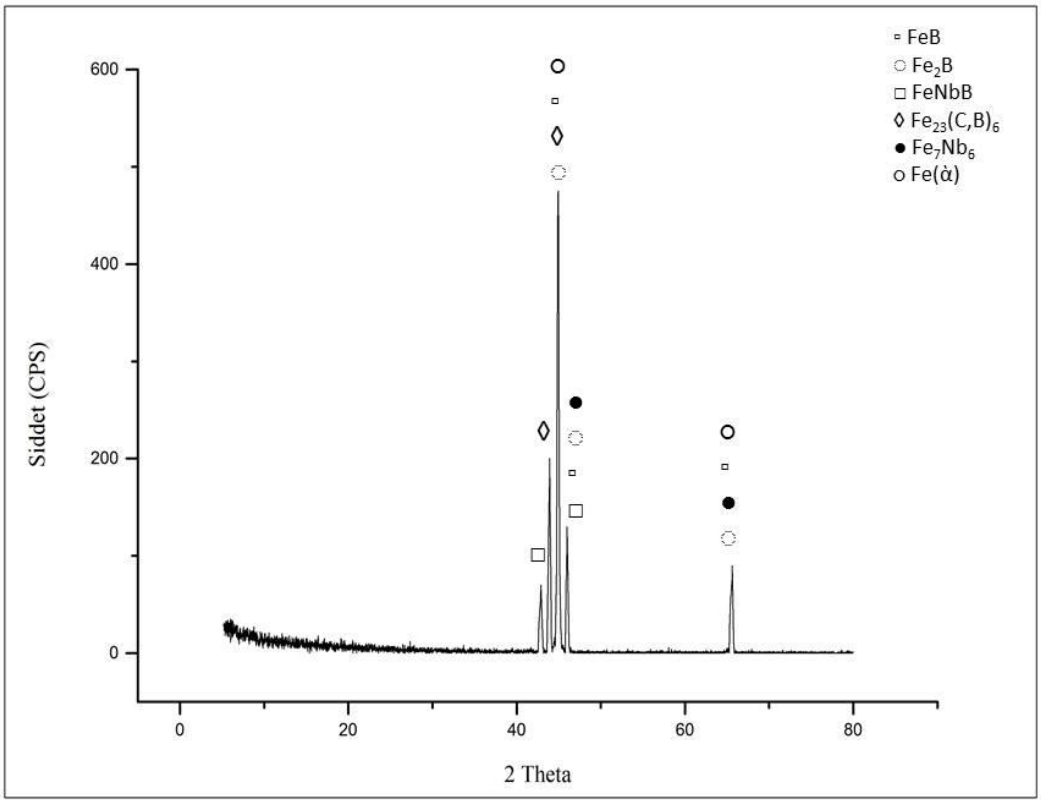
Şekil 58. % 12 FeNb ve % 10 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

Bu sonuçlara göre, mikroyapılarda oluşan fazlar ferrit (alfa demiri), FeNbB, $Fe_{23}(C,B)_6$, Fe_7Nb_6, FeB, Fe_2B, Fe_3B ve Fe_7B dir. Oluşan bu fazlar XRD (**Şekil 59 a-d),** kimyasal kompoziyon analizleri **(Tablo 29)** ve literatür Kim vd., 2015, Kim_2 vd., 2015 Koga vd., 2014; Berns ve Fisher, 1987 ile desteklenerek niyobyum ve bor miktarına bağlı olarak bu fazların oluşabileceği ortaya koyulmuştur.

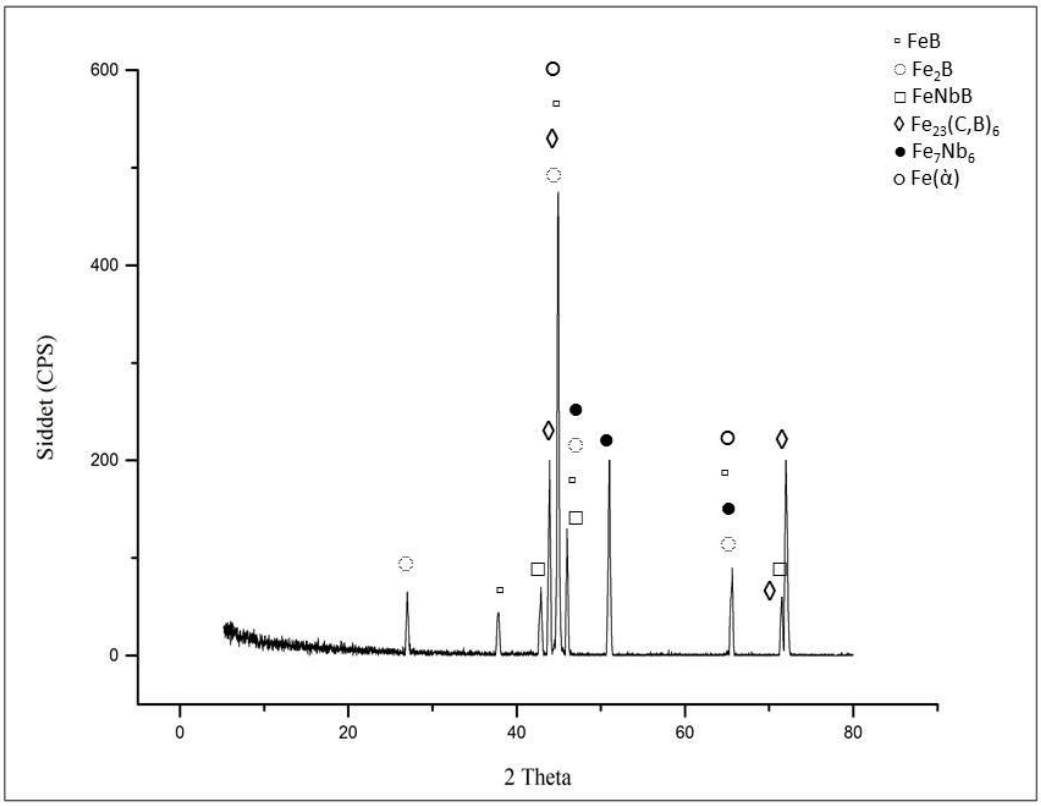
Mikroyapılardaki matris yapısı dört kaplamada aynı olmak üzere ferritten oluşmaktadır. Kimyasal kompozisyon analizlerinde belirtilen şekilde kaplamalarda (%0.24-0.32) oranında karbon bulunması, bu karbonların büyük çoğunluğunun da karboborürlerin oluşumunda harcanması, ferrit oluşumu için çok düşük karbon yüzdelerinin gerekmesi (en fazla 0.025 C) ve niyobyumun demir esaslı malzemelerde ferrit yapıcı etkisi nedeniyle ferrit karakterde matris yapısı oluşmuştur (Savaşkan, 2009). Bilindiği üzere ferrit demir kafesindeki en yumuşak ve tok yapıya sahip olan katı çözeltidir. Kaplamalarda meydana gelen çok sert karbür ve borürler düşünüldüğünde oluşan yapının kompozit karakter sergilemesi beklenmektedir.

Kaplamalarda artan niyobyum ve bor miktarına bağlı olarak mikroyapılar değişmekte ve buna bağlı olarak da meydana gelen fazlar farklılık göstermektedir. Tüm mikroyapılarda ferrit matris, FeNbB, Fe_7Nb_6, $Fe_{23}(C,B)_6$, Fe_7Nb_6, FeB ve Fe_2B fazları bulunmaktadır. Buna ek olarak özellikle % 9 ve 12 ferroniyobyum ve %7.5 ve 10 oranlarında ferrobor ile hazırlanan tozlarla elde edilen kaplamalar da bu fazlara ilaveten Fe_3B ve Fe_7B borür fazları de yer almaktadır. Kaplamalarda yer alan karbür ve borürlerin miktarının artması ve buna bağlı olarak mikroyapıların değişmesi yapılan testler öncesi toz içerisine artan miktarlarda ferro alaşım katılarak önceden hedeflenen bir durumdur. Bu duruma paralel olarak, artan ferro alaşım yüzdesi kaplamalarda karbür ve borürlerin miktarının artmasına da neden olmuştur.

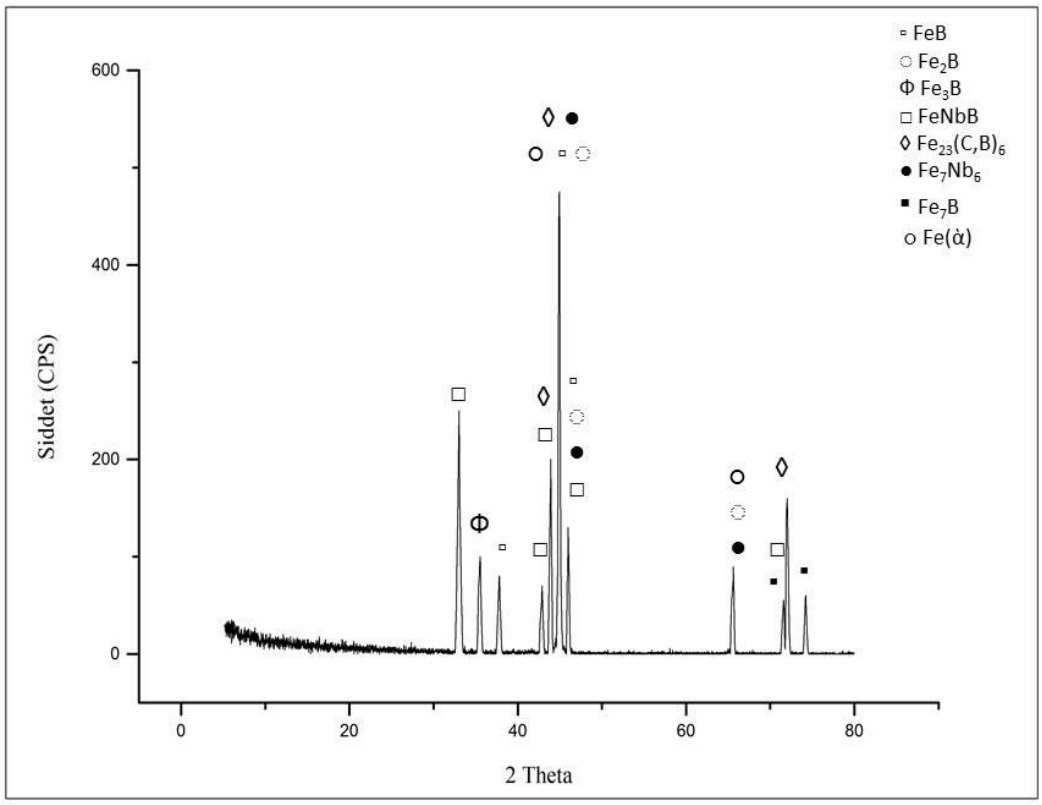
Sert dolgu kaplamalarda soğuma esnasında ilk olarak FeNbB, $Fe_{23}(C,B)_6$ borürleri oluşmuş geriye kalan ergiyikten ise ötektik östenit ve ötektik demir borür yapıları oluşmuştur. Sıcaklık oda sıcaklığına doğru ilerlediğinde FeNbB, $Fe_{23}(C,B)_6$, borürleri ve demir borürler mikroyapıda aynen kalırken, östenit ise düşük karbon çözünürlüğü nedeniyle ferrite dönüşmüştür.


FeB
Fe2B
FeNbB
Fe23(C,B)6
Fe7Nb6
Fe(α)
Siddet (CPS)
2 Theta
0
200
400
600
0
20
40
60
80

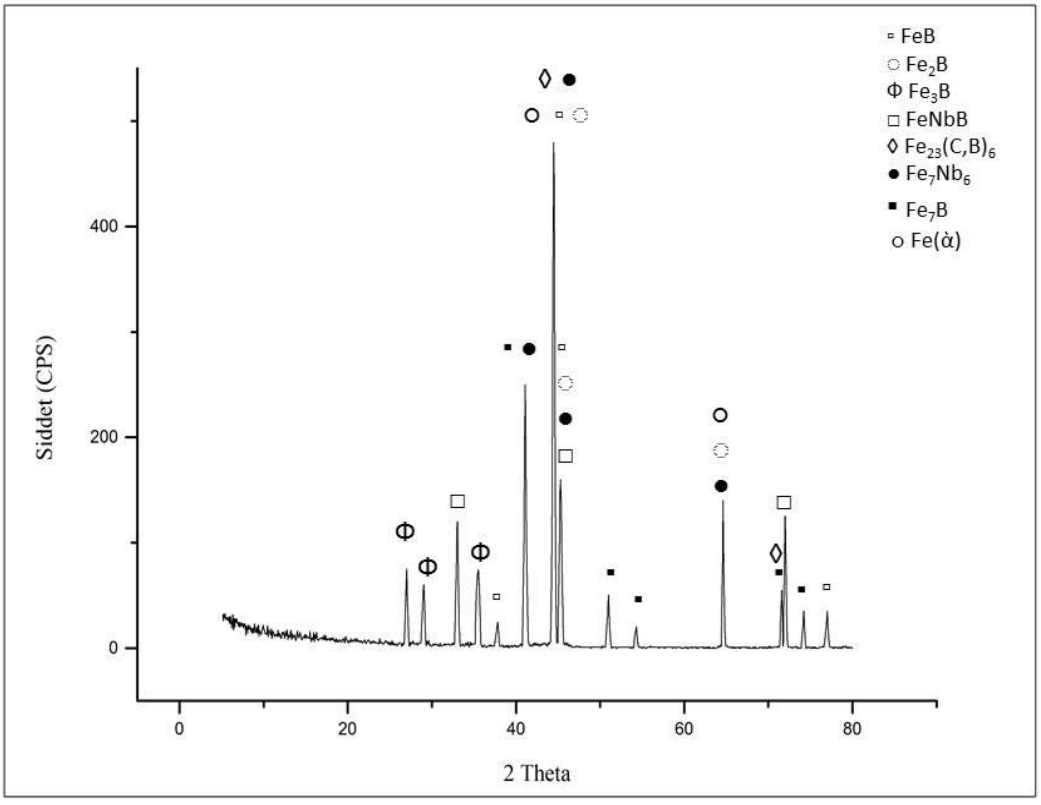
a)


FeB
Fe2B
FeNbB
Fe23(C,B)6
Fe7Nb6
Fe(α)
Siddet (CPS)
2 Theta
0
200
400
600
0
20
40
60
80

b)



c)



d)

Şekil 59. FeNb ve FeB içeren tozlarla elde edilen kaplamaların XRD analiz sonuçları

a) %3 FeNb - %2.5 FeB **b)** %6 FeNb - %5 FeB **c)** %9 FeNb - %7.5 FeB **d)** %12 FeNb - %10 FeB.

Mikroyapılarda yer alan FeNbB borürler düşük niyobyum ve bor yüzdelerinde tane sınırlarında beyaz renkte görünmekte ve karmaşık geometride bulunmaktadır. Niyobyum ve bor yüzdesinin artmasıyla borürler dairesel ve dörtgenimsi geometride borürlere dönüşmüşlerdir. Özellikle en yüksek niyobyum ve bor yüzdelerinde ise borürler daha da büyüyerek çubuğumsu bir geometriye dönüşerek mikroyapıyı oluşturmaktadır. Mikroyapıdaki bu borürlere ilaveten mikroyapıda çok sayıda demir borür bileşikleri de artan bor yüzdelerine bağlı olarak yer almaktadır. Ayrıca; **Şekil 58 (c)** de mikroyapıda mat beyaz renkte görülen $Fe_{23}(C,B)_6$ karboborürler de mikroyapıda yer almaktadır (Kim_2 vd., 2015). Bu yapılar en yüksek niyobyum ve bor yüzdelerine sahip kaplamalarda daha yoğun bir şekilde görünürken, düşük niyobyum ve bor yüzdelerine sahip kaplamalarda daha seyrek bir şekilde görünmektedir.

Şekil 60 (a-d) da artan miktarlarda ferroniyobyum ve ferrobor içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamaların EPMA ve EDS analiz sonuçları verilmektedir.

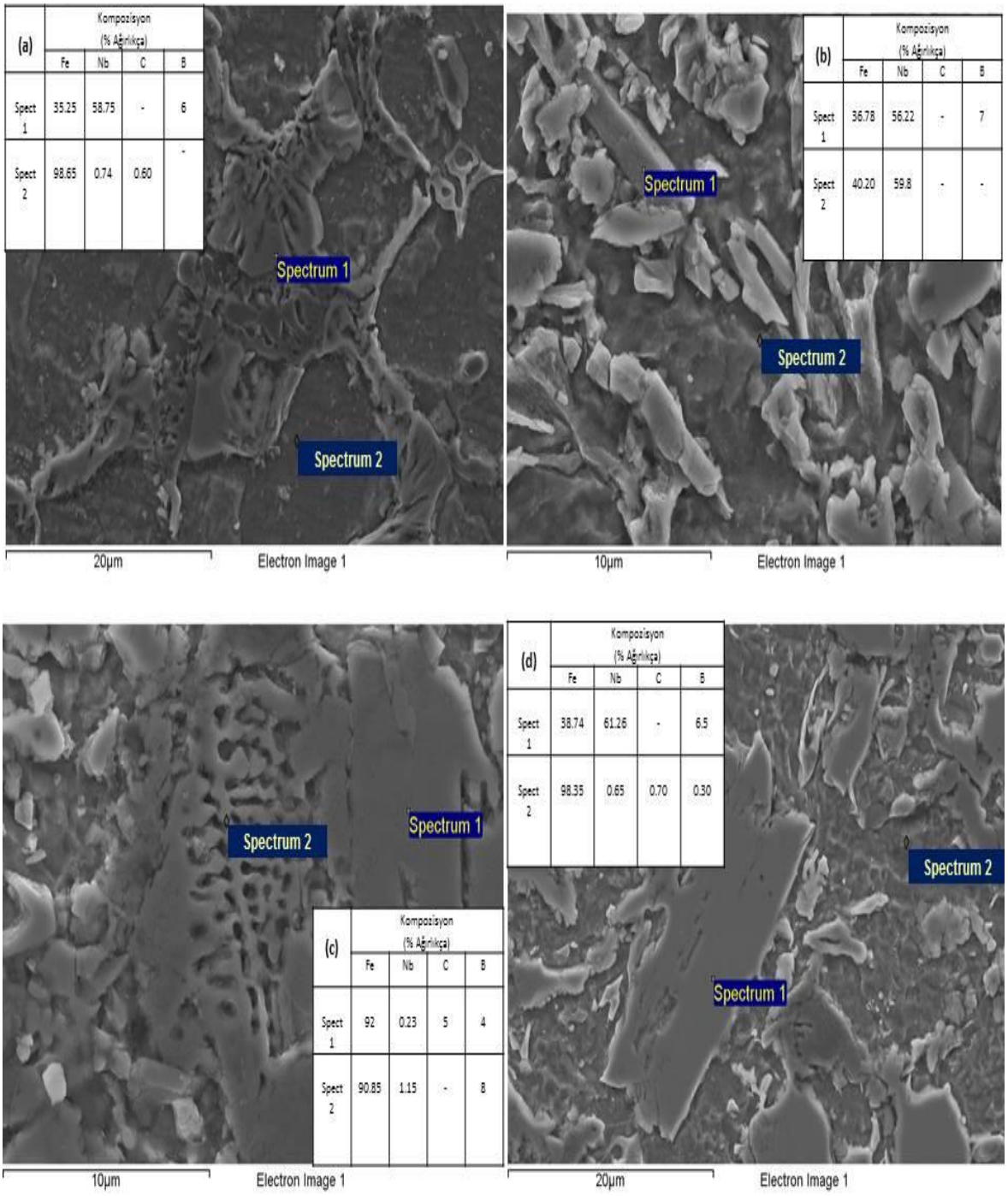
Şekil 60 (a) spektrum 1 de karmaşık geometriye sahip bir FeNbB bileşiği üzerinden alınan EDS analiz sonuçları verilmiştir. Verilen bu bileşikte % 58.75 niyobyum, %35.25 demir ve % 6 oranında bor yer almaktadır. Spektrum 2 de ise ferrit matris üzerinden alınan EDX analiz sonuçları verilmiştir. Analiz sonucunda ferrit içerisinde % 0.74 oranında niyobyum çözündüğü tespit edilmiştir.

Şekil 60 (b) spektrum 1 de çubuğumsu yapıya sahip bir FeNbB bileşiğinin EDS analizi verilmektedir. 58.22 niyobyum, % 36.78 demir ve %7 bor bu bileşiğin bünyesinde yer almaktadır. Spektrum 2 de ise demir ve niyobyumca zengin bir bölgeden EDS analizi alınmıştır. Bu bölgede karbon ve bora rastlanmamıştır. Bu nedenle bu yapının Fe_7Nb_6 bileşiği olduğu düşünülmektedir.

Şekil 60(c) spektrum 1 de demirce çok zengin ve niyobyumca fakir ve % 4-5 oranlarında karbon ve bor içeren bir bölgeden EDS analizi alınmıştır. Bu yapının $Fe_{23}(C,B)_6$ bileşiği olduğu tespit edilmiştir. Spektrum 2 de ise yine demirce çok zengin bir bölgeden EDS analizi alınmıştır. Bu bölgede eser miktarda niyobyum ve % 8 oranında bor elementi bulunmaktadır. Bu bölge hem kompozisyon hem de mikroyapı geometrisinden dolayı ötektik Fe_2B bileşiğini temsil etmektedir (Kim_1 vd., 2015,Kim_2 vd., 2015).

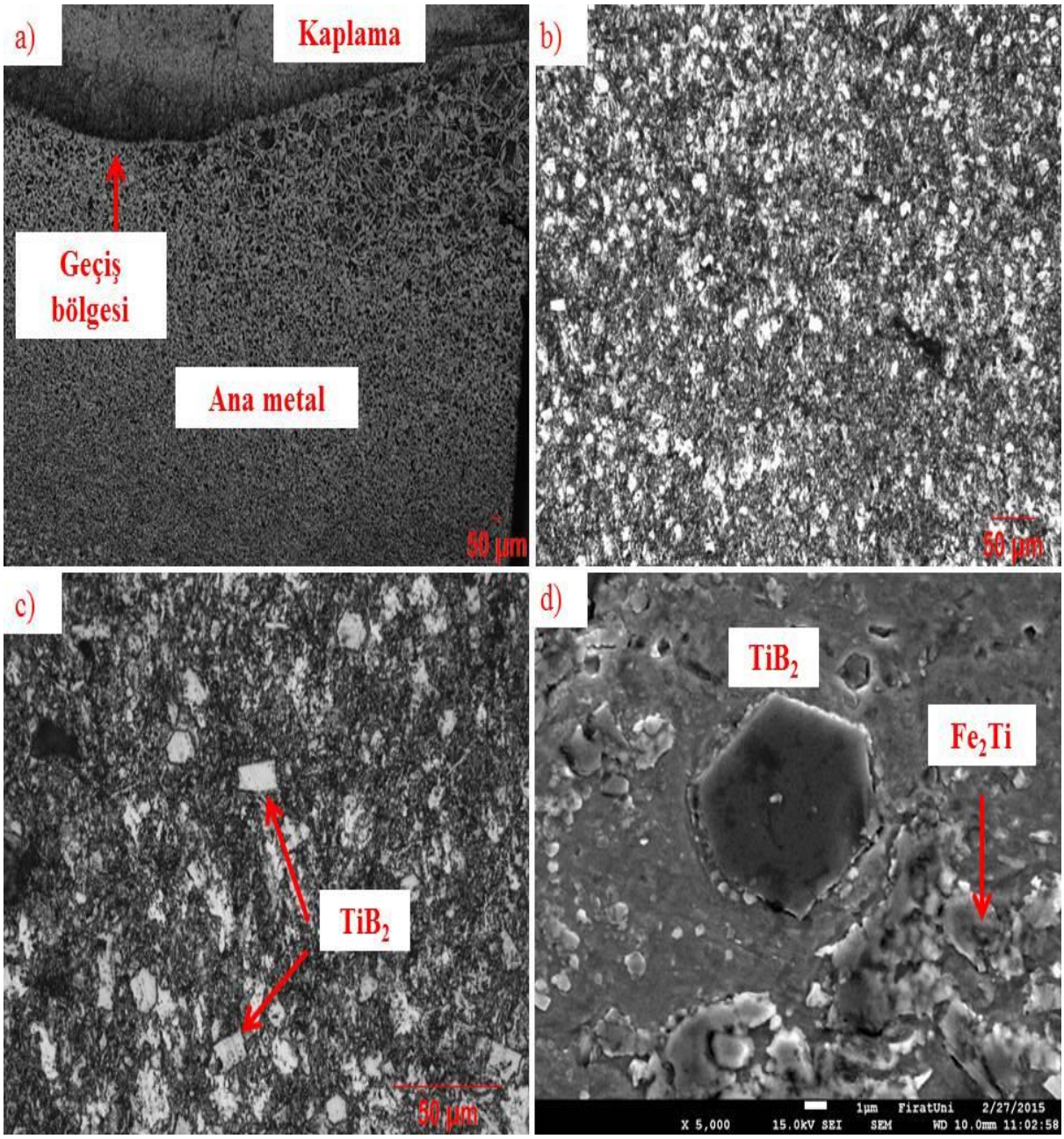
Son olarak **Şekil 60(d)** spektrum 1 de çubuğumsu geometriye sahip bir FeNbB bileşiği üzerinden EPMA EDS noktasal analizi alınmış daha önceki sonuçlarla uyumlu

benzer sonuçlar tespit edilmiştir. Spektrum 2 de ise ferrit matris üzerinden alınan EDS analiz sonuçları verilmektedir. Bu analizde demir kafesi içerisinde % 0.65 niyobyum ve %0.30 oranında da bor elementinin çözündüğü tespit edilmiştir

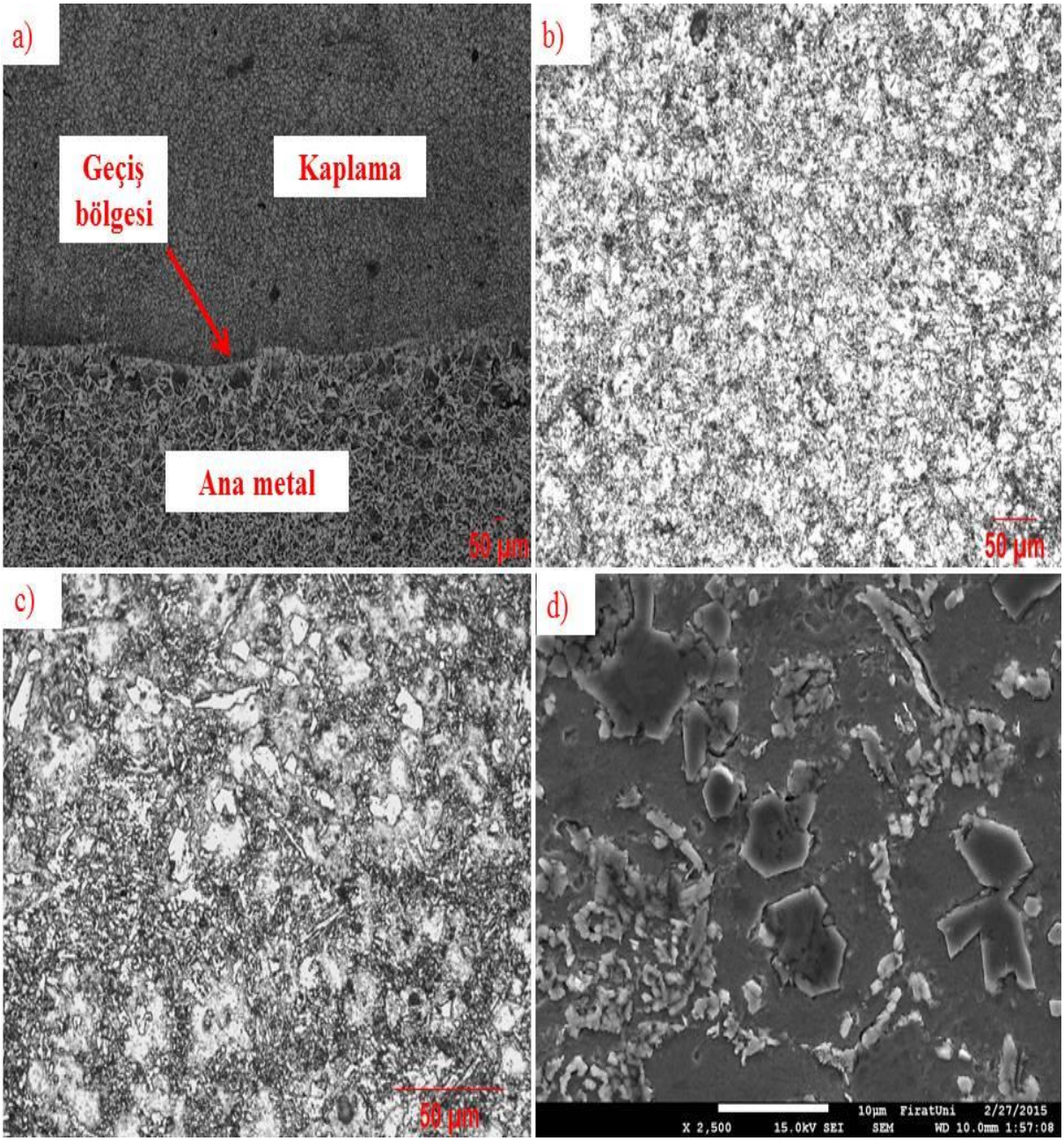


Şekil 60. Toz bileşiminde artan ferroniyobyum ve ferrobor miktarlarıyla elde edilen kaplamaların EPMA EDS analiz sonuçları **a)** % 3 FeNb - %2.5 FeB **b)** % 6 FeNb - % 5 FeB **c)** %9 FeNb - %7.5 FeB **d)** %12FeNb - %10 FeB

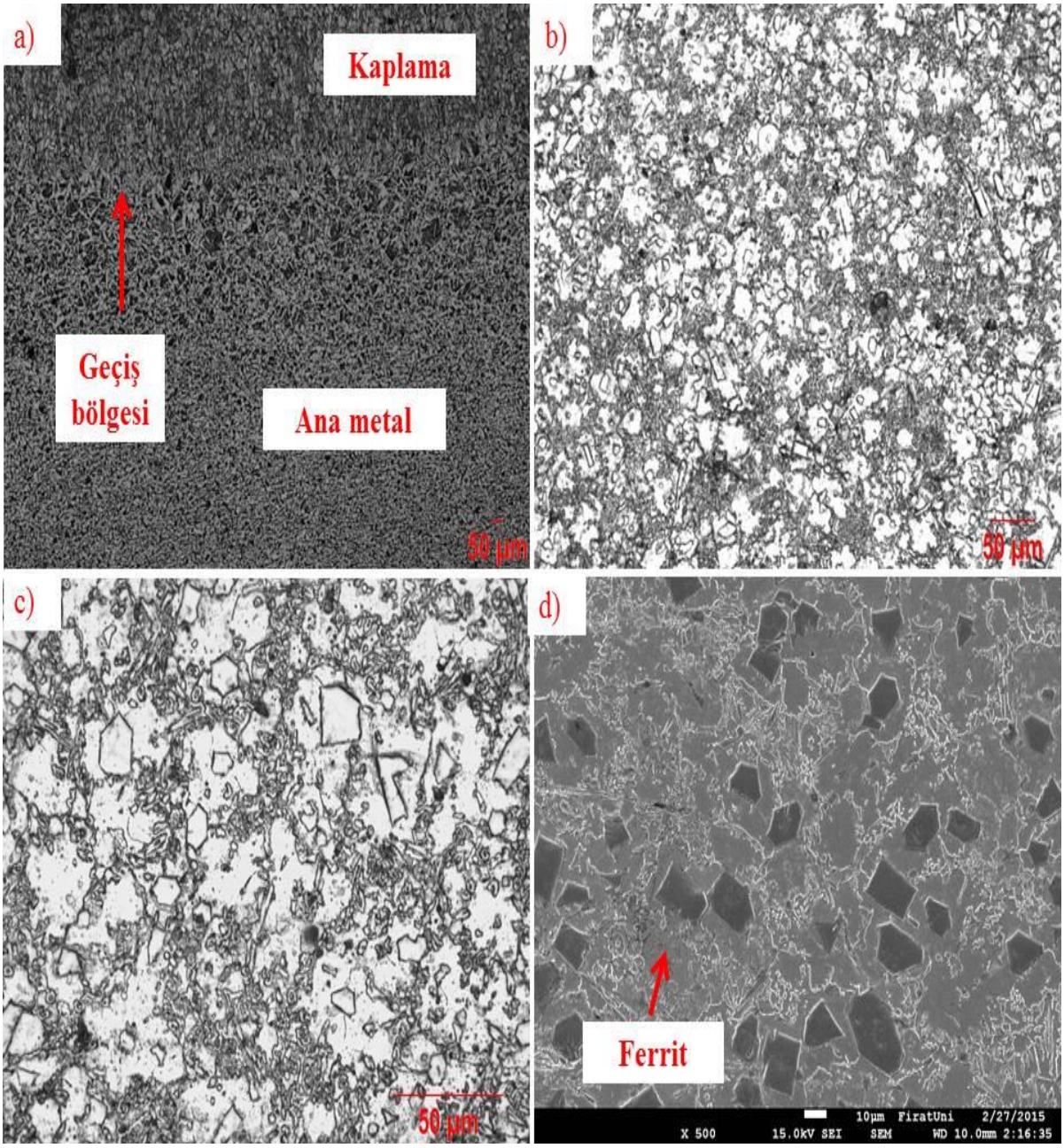
Sert dolgu kaplamaların enine kesitinden alınarak klasik metalografik yöntemlerle hazırlanan ve artan miktarlarda ferrotitanyum ve ferrobor içeren kaplamaların mikroyapı fotoğrafları **Şekil 61-64** de verilmektedir.



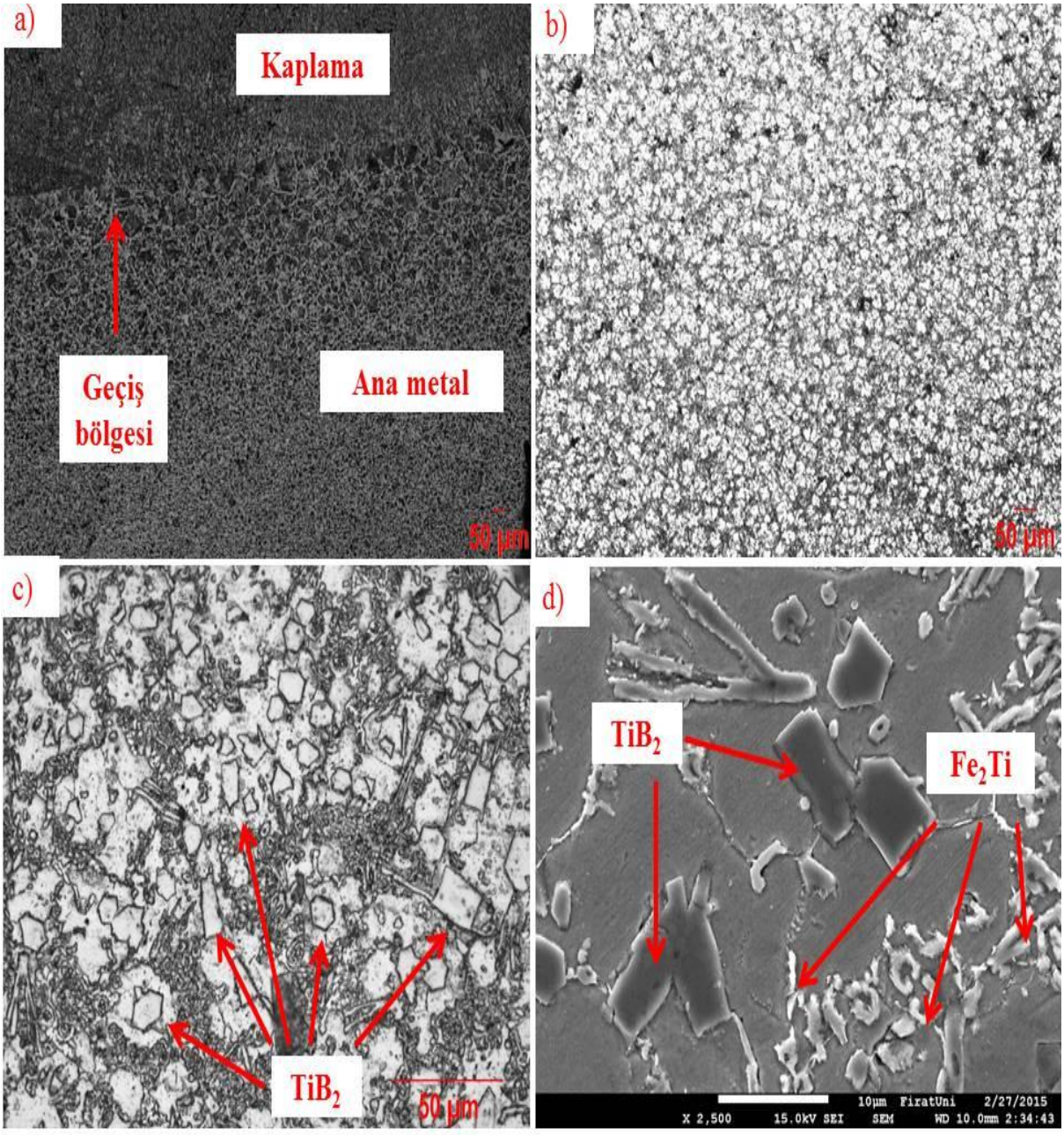
Şekil 61. % 3 FeTi ve % 2.5 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).



Şekil 62. % 6 FeTi ve % 5 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).



Şekil 63. % 9 FeTi ve % 7.5 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri . **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

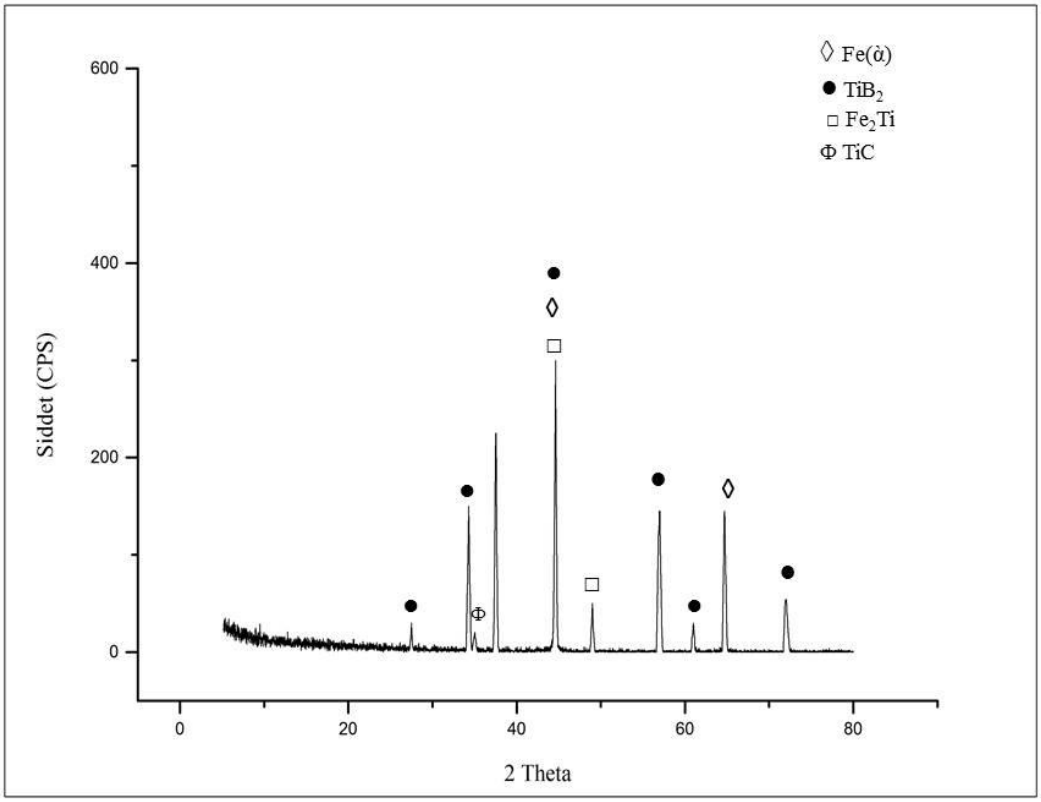


Şekil 64. % 12 FeTi ve % 10 FeB içeren toz ile elde edilen sert dolgu kaplamanın mikroyapı görüntüleri. **a-c)** Optik mikroskop **d)** Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

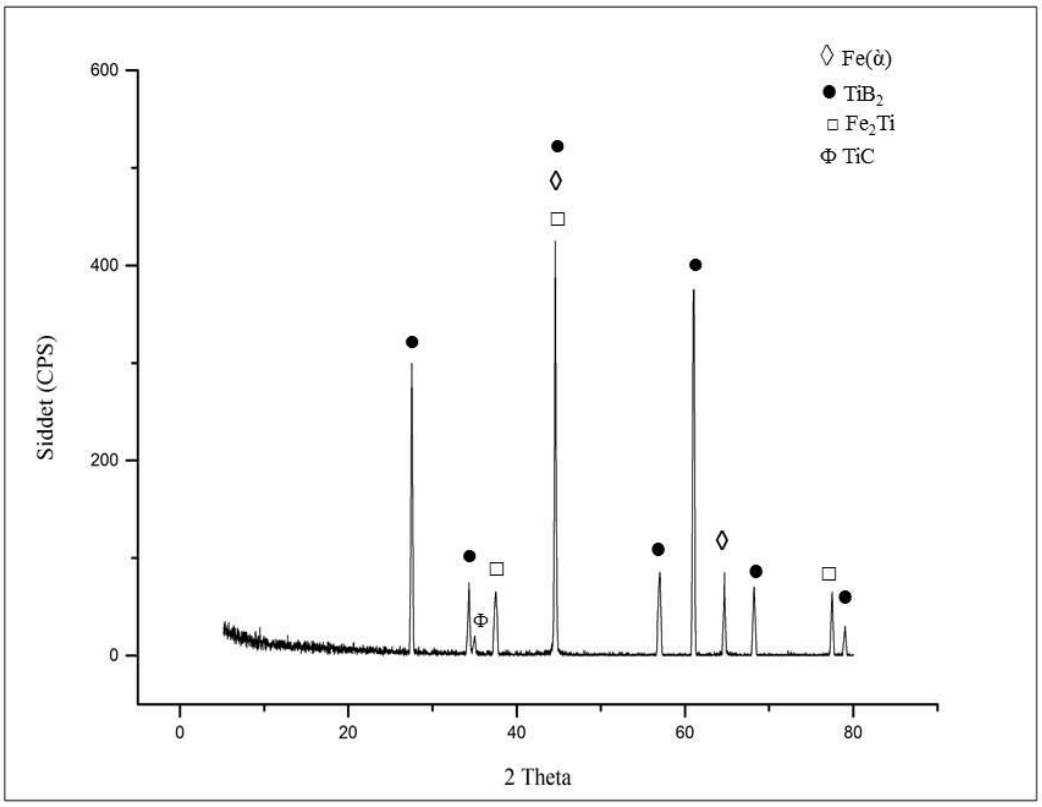
Mikroyapılarda oluşan fazlar ferrit (alfa demiri), TiB_2, Fe_2Ti ve TiC fazlarıdır. Oluşan bu fazlar XRD (**Şekil 65 a-d),** kimyasal kompozisyon analizleri **(Tablo 29)** ve literatür Ziemnicka-Sylwester vd., 2015, Xibao vd., 2001; Lin vd., 2014; Xibao vd., 2005; Wang vd., 2005; Farıd vd., 2007; Anal vd., 2006; Agarwal ve Dahotre, 1998; Wang vd., 2006; Darabara ve Bourithis, 2006 ile desteklenerek titanyum ve bor miktarına bağlı olarak bu fazların oluşabileceği ortaya koyulmuştur. Matris mikroyapısı dört kaplamada aynı

olmak üzere ferrit (alfa demiri) den oluşmaktadır. Ötektik östenit TiC oluşumu nedeniyle bünyesinde eser miktarda karbon bulundurabilmektedir. Ayrıca, titanyum demir esaslı malzemelerde ferrit oluşum sıcaklığını arttırmakta (ferrit alanını genişletir) ve östenit dönüşümü için gerekli karbon konsantrasyonu düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenlerle matris mikroyapısı ferrit olarak oluşmuştur. Bilindiği üzere ferrit demir kafesindeki en yumuşak ve tok yapıya sahip olan katı çözeltidir. Kaplamalarda meydana gelen çok sert borür tabakası ile birlikte ferritin bir arada bulunmasıyla yine kompozit karakterde bir kaplama elde edilmiştir.

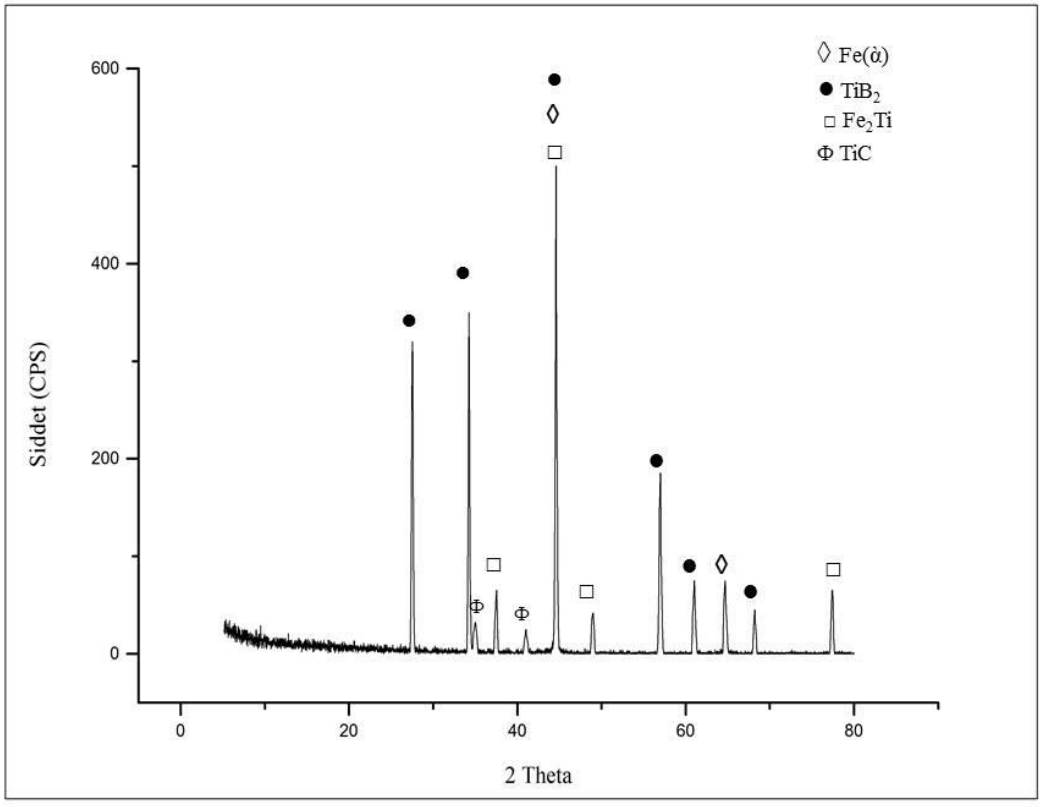
Soğuma esnasında ilk olarak TiB_2 ve TiC sert bileşikleri katılaşmış olup geriye kalan sıvı metal bu bileşiklerin etrafında toplanarak östenit + Fe_2Ti ötektik yapısını oluşturmuştur. Bu esnada kaplamanın kompozisyonuna ve soğuma şartlarına bağlı olarak Fe_2B ve FeTi gibi yapılar ötektik olarak oluşabilmektedir (Emamian vd., 2011). Soğuma devam ettiğinde, östenit ferrite dönüşmüş TiB_2, TiC ve Fe_2Ti bileşikleri ise değişime uğramadan oda sıcaklığında aynen mikroyapıda yerlerini almışlardır.



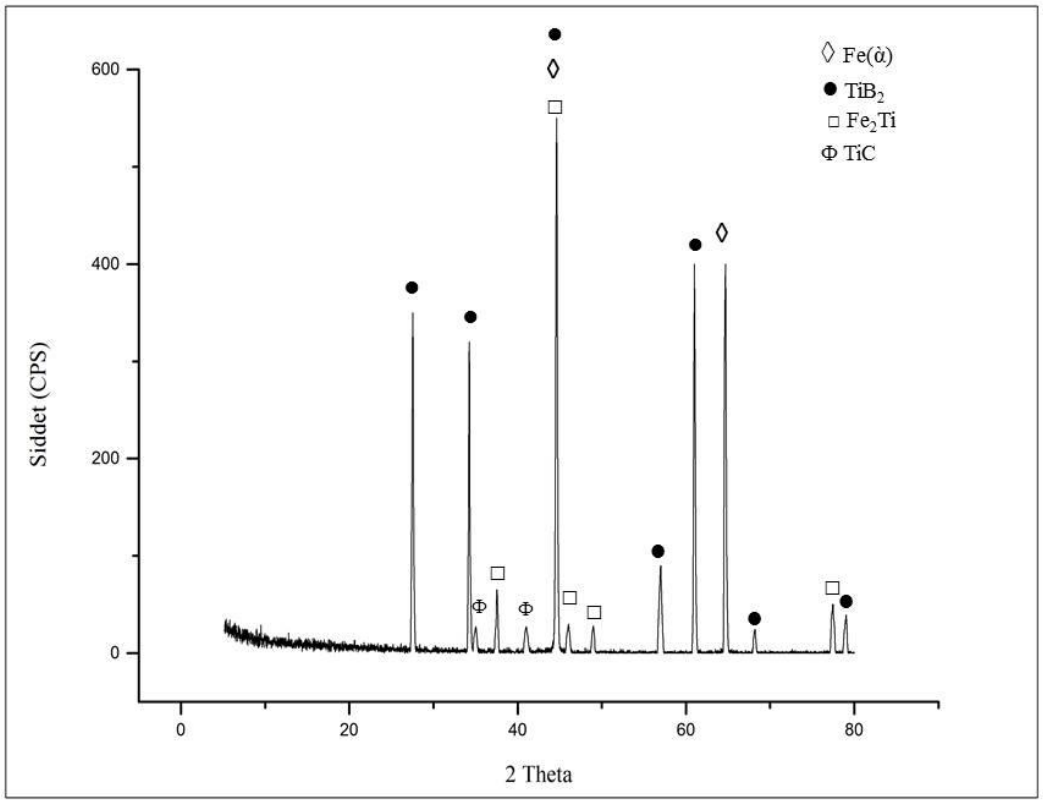
a)


◊ Fe(α)
● TiB2
□ Fe2Ti
Φ TiC
Siddet (CPS)
2 Theta
600
400
200
0
0
20
40
60
80
Φ

b)


◊ Fe(α)
● TiB2
□ Fe2Ti
Φ TiC
Siddet (CPS)
2 Theta
600
400
200
0
0
20
40
60
80
Φ
Φ

c)



d)

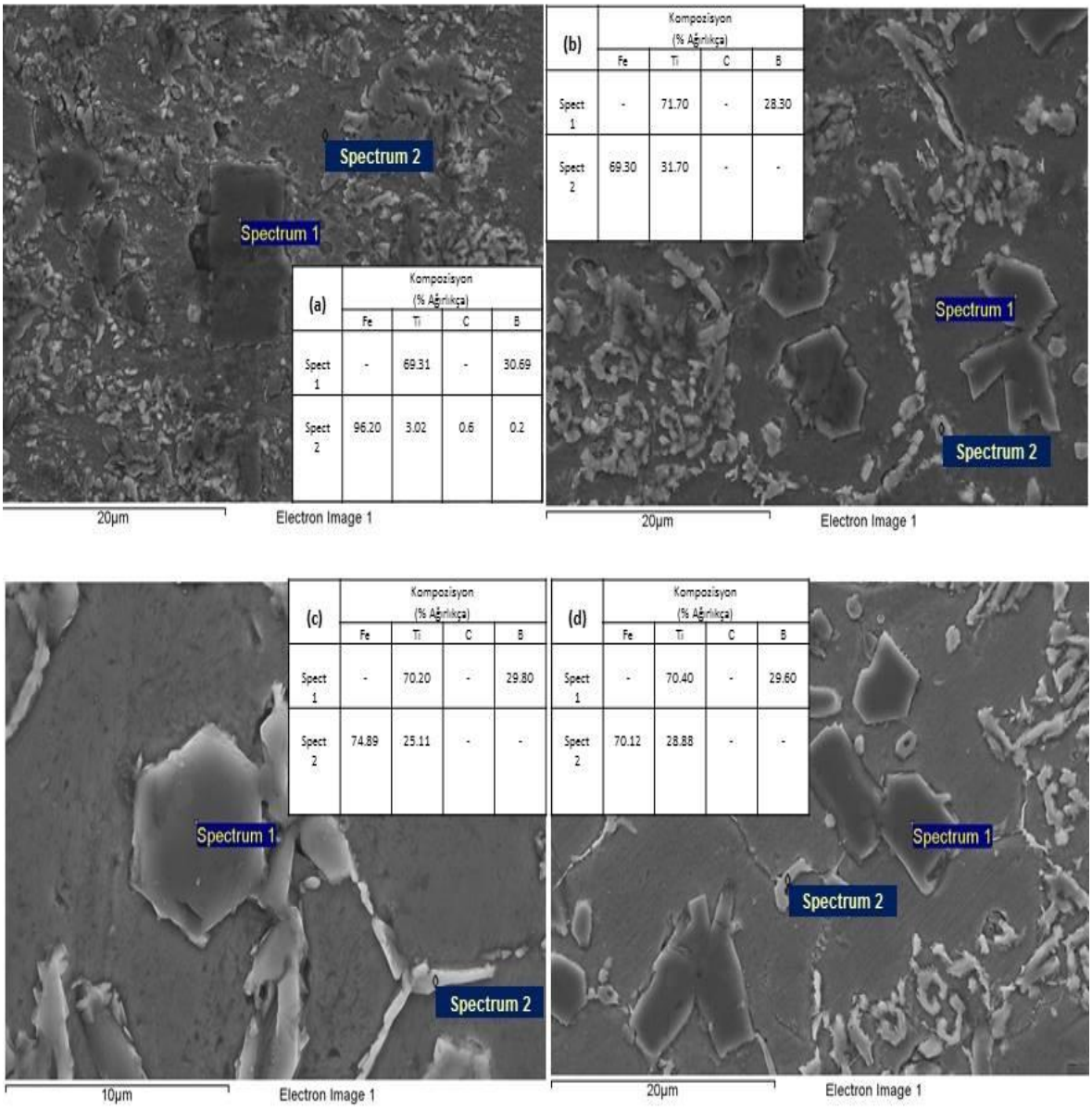
Şekil 65. FeTi ve FeB içeren tozlarla elde edilen kaplamaların XRD analiz sonuçları

a) %3 FeTi - %2.5 FeB **b)** %6 FeTi -%5 FeB **c)** %9 FeTi - %7.5 FeB **d)** %12 FeTi - %10 FeB.

Mikroyapılarda yer alan TiB_2 borürler düşük titanyum ve düşük bor yüzdelerinde daha ince morfolojide ve karmaşık geometride mikroyapıda kendini göstermektedir. Titanyum ve bor yüzdesine bağlı olarak borürlerin geometrisi dörtgen ve altıgen (**Şekil 61-d)** geometrilerde olabilmektedir. Düşük ferrotitanyum ve ferrobor yüzdelerinde seyrek olarak mikroyapıda yer alan dörtgen ve altıgen geometriye sahip borürler titanyum ve bor yüzdesinin artmasıyla daha yoğun olarak mikroyapıda yer almaktadır. Ayrıca, Xibao vd., 2001 de daha yüksek titanyum ve bor yüzdelerinde bu borürlerin iğnemsi whiskerlere (kılcal tanelere) dönüştüğünü belirtmişlerdir. Mikroyapılardaki bu borürlere ilaveten oluşan Fe_2Ti bileşikleri genel de borürlerin etrafında sıralanmış ve borürlere göre daha açık renkte görünmektedir. Bu bileşikler en düşük titanyum ve bor yüzdelerinde daha seyrek bir şekilde mikroyapıda yer alırken yüksek titanyum ve bor yüzdelerinde daha yoğun bir şekilde mikroyapıda yer almaktadır. XRD analiz sonuçlarında TiC bileşiği tespit edilmesine rağmen mikroyapılarda da TiC varlığı tespit edilememiştir. Bu durum, mikroyapılarda bulunun TiC lerin çok küçük boyutta olması ve diğer fazlara oranla daha az miktarda bulunması ile ilişkilendirilmiştir (Emamian vd., 2011).

Şekil 66 da artan miktarlarda ferrotitanyum ve ferrobor içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamaların EPMA EDS analiz sonuçları verilmektedir.

Şekil 66(a) spektrum 1 de dörtgen geometrideki bir TiB_2 üzerinden EDS analizi alınmıştır. Buna göre; bu borür % 69.31 titanyum ve 30.69 bor içermektedir **(Şekil 67).** Spektrum 2 de ise ferrit üzerinden alınan bir EDS analiz gösterilmektedir. Buna göre, ferrit matris bünyesinde % 3.20 titanyum ve %0.2 oranında bor çözünmüş halde bulunmaktadır.



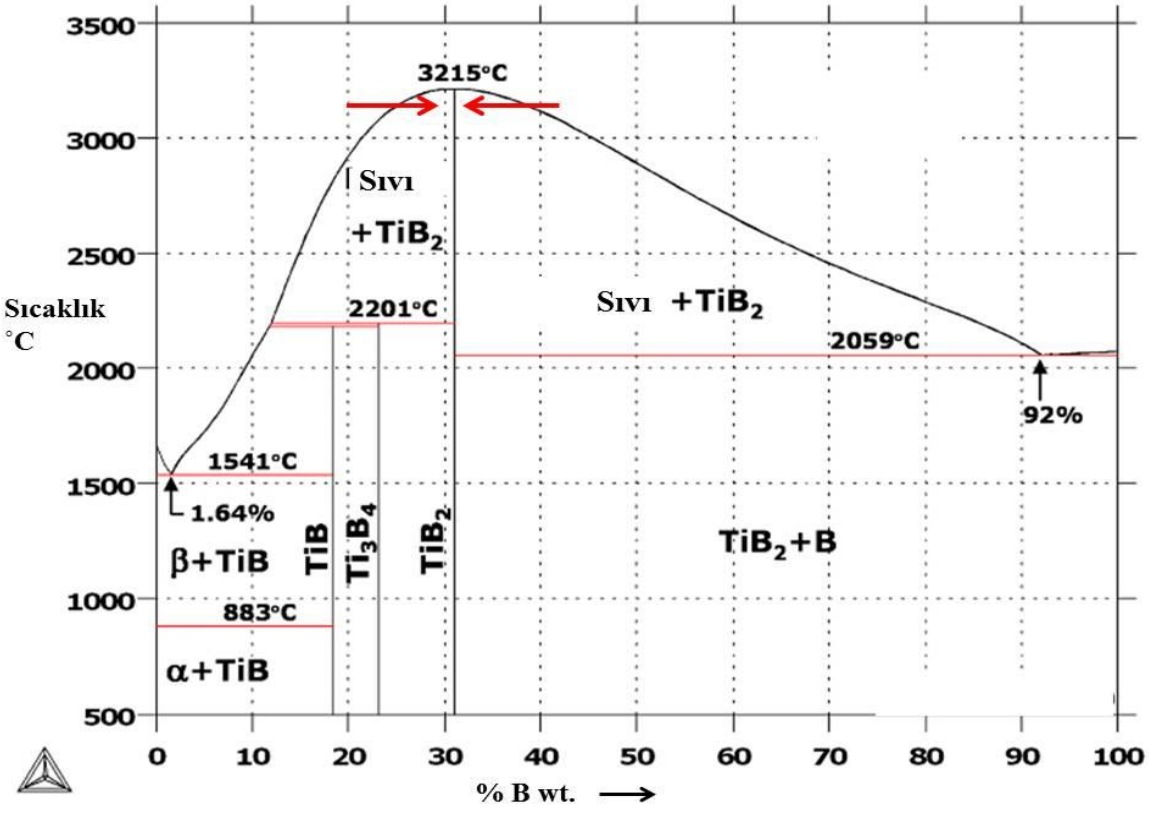
Şekil 66. Toz bileşiminde artan ferrotitanyum ve ferrobor miktarlarıyla elde edilen sert dolgu kaplamaların EPMA EDS analiz sonuçları

a)% 3 FeTİ,%2.5 FeB **b)** %6 FeTi,%5 FeB **c)** %9 FeTi,%7.5 FeB **d)** %12 FeTi,%10 FeB.

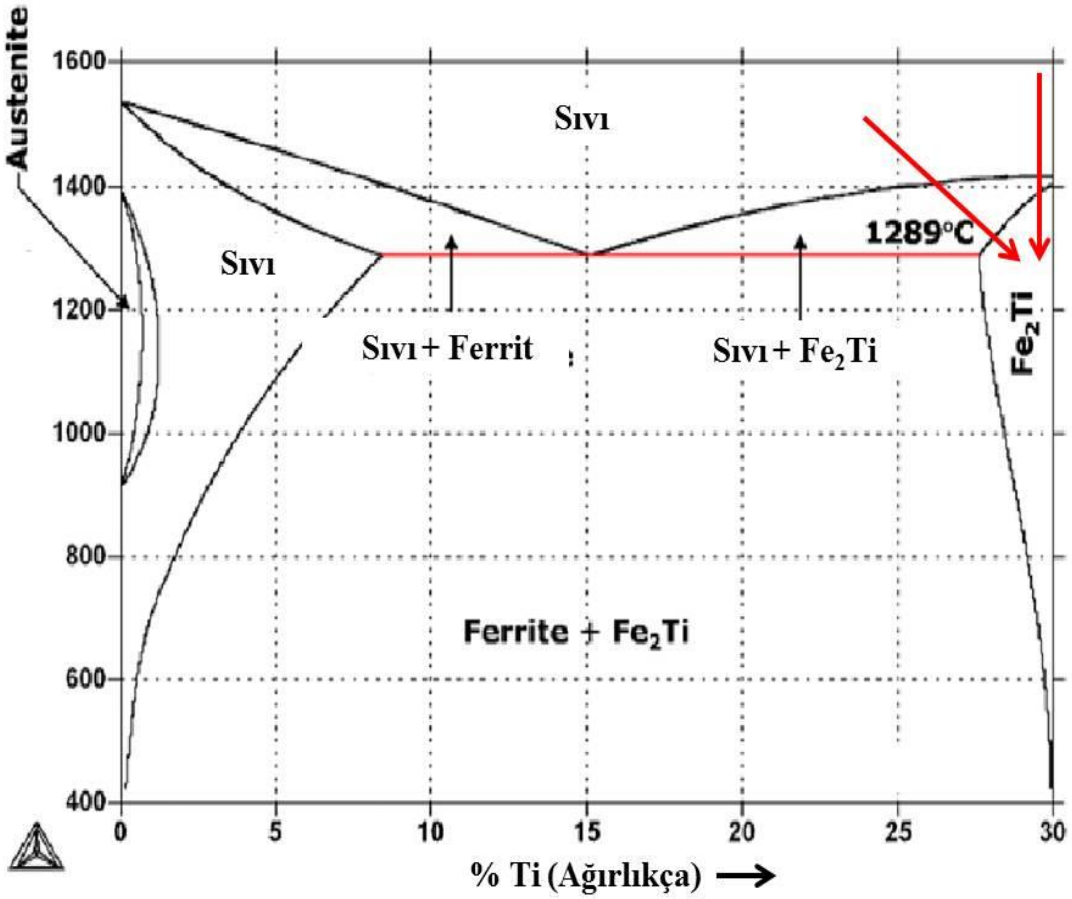
Şekil 66(b) spektrum 1 de yine TiB_2 üzerinden EDS analizi alınmış ve yine benzer oranlarda %71.70 titanyum ve %28.30 bor sonuçlarına ulaşılmıştır. Spektrum 2 de ise Fe_2Ti üzerinden EDS analizi yapılmış ve % 69.30 demir ve % 31.70 titanyum yüzdeleri elde edilmiştir **(Şekil 68).**

Şekil 66(c) de altıgen geometride bir TiB_2 den EDS analizi yapılmış ve dörtgen geometrideki analiz sonuçlarına benzer sonuçlar veren analizler elde edilmiştir. Spektrum 2 de ise lamel geometrideki Fe_2Ti üzerinden EDS analizi yapılmış ve demir oranı daha yüksek bir Fe_2Ti olduğu saptanmıştır.

Şekil **66(d)** spektrum 1 de yine TiB_2 üzerinden EDS analizi yapılmış ve dörtgen ve altıgen geometrideki EDS sonuçlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Spektrum 2 de ise yine beyaz renkte görünen bir faz üzerinden analiz alınmış analiz sonuçlarından bu fazın Fe_2Ti bileşiği olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 67. Ti-B ikili denge diyagramı.

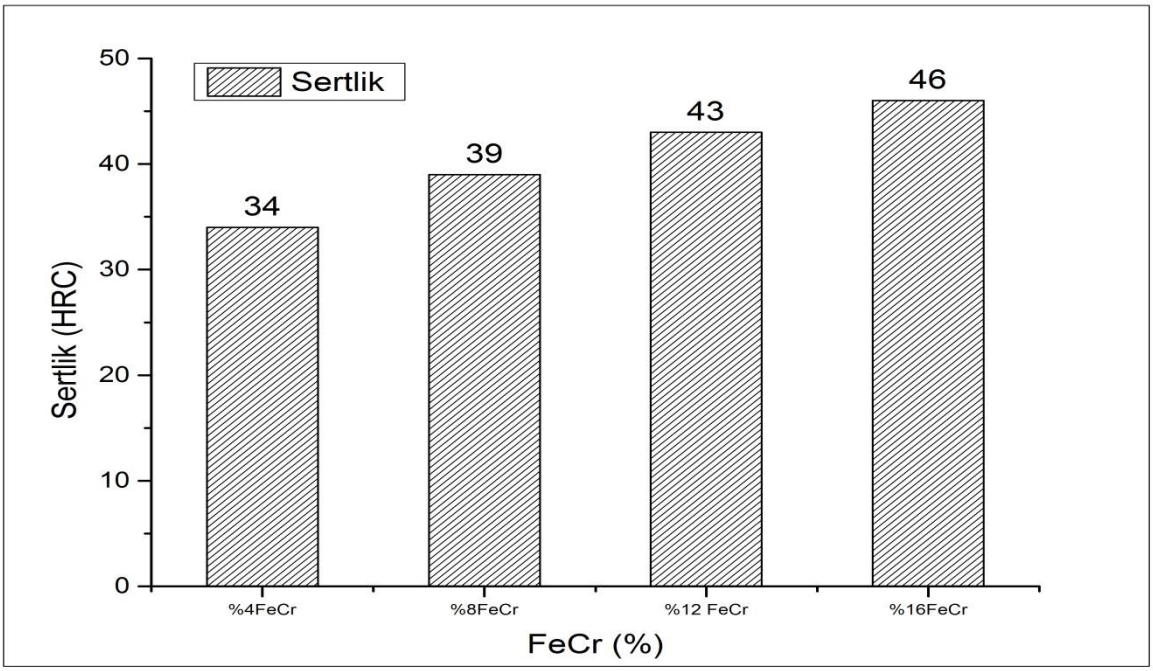


Şekil 68. Fe-Ti ikili denge diyagramı.

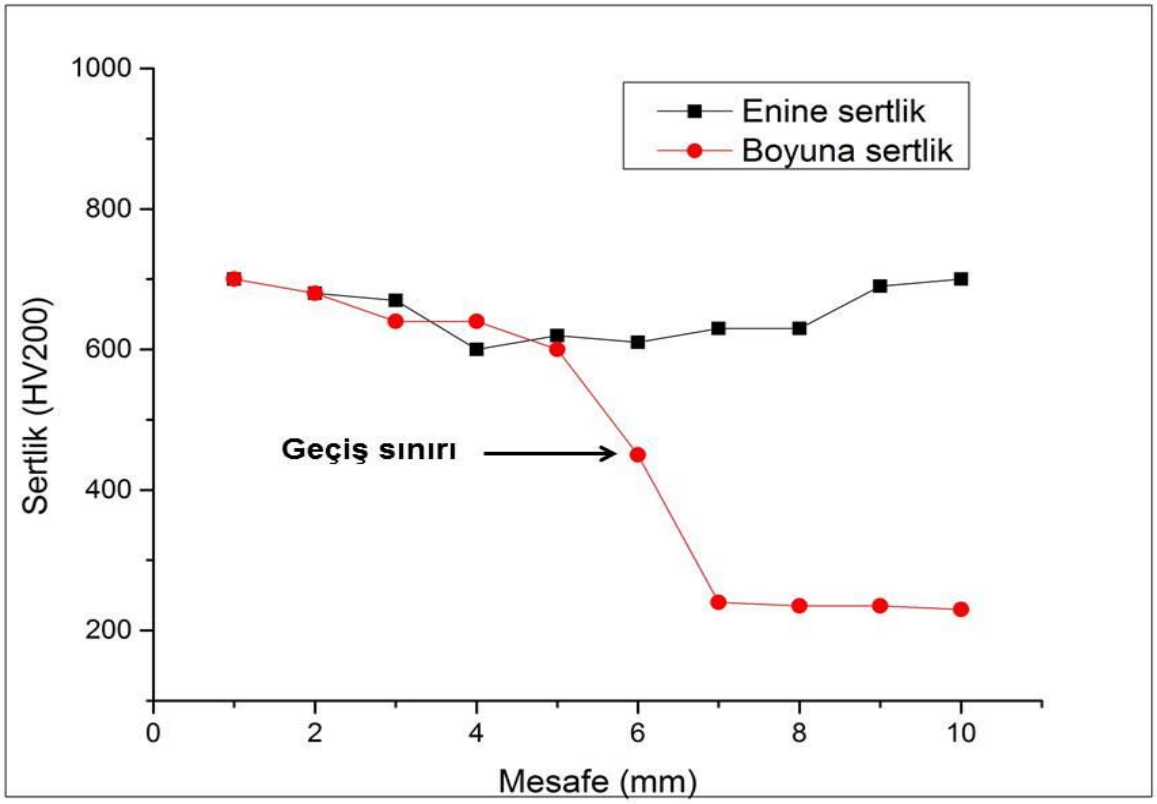
EPMA-EDS analiz sonuçları özetlenecek olursa, ferrit matris fazı bünyesinde az miktarda titanyum ve borun çözünmüş halde bulunabileceği, TiB_2 geometrisinin dörtgenden altıgene değişiminin titanyum ve bor yüzde analiz sonuçlarında değişikliğe yol açmadığı ve Fe_2Ti bileşiğinin mikroyapıda farklı geometrilerde gri ya da beyaz renkte bulunabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

3.3.Sertlik Test Sonuçları

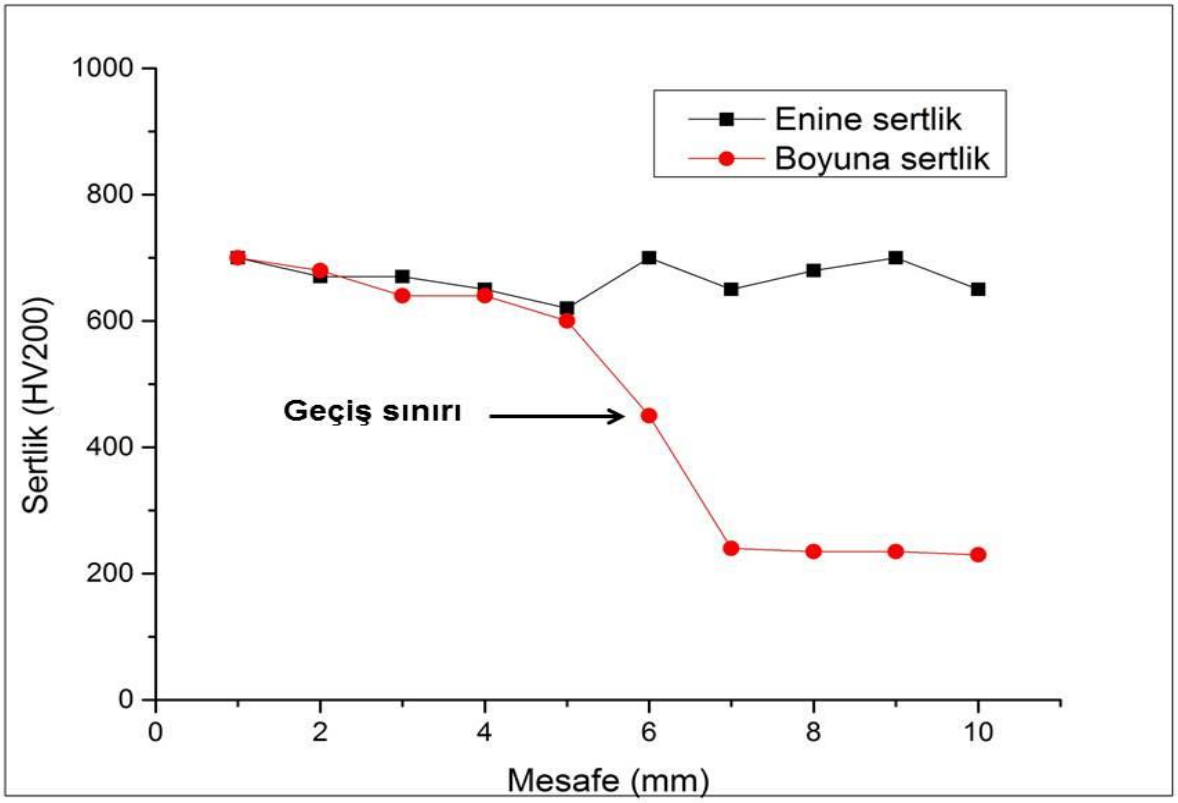
Kaynak tozu içerisindeki artan FeCr (% 4-16) miktarına bağlı olarak elde edilen sert dolgu kaplamaların 10 farklı bölgesinden alınan ve ortalama değerler olarak hesaplanan makro sertlik ölçüm sonuçları **Şekil 69** de ve enine ve boyuna 10 farklı bölgeden alınarak ölçülen mikro sertlik sonuçları ise **Şekil 70 (a-d)** de verilmektedir.



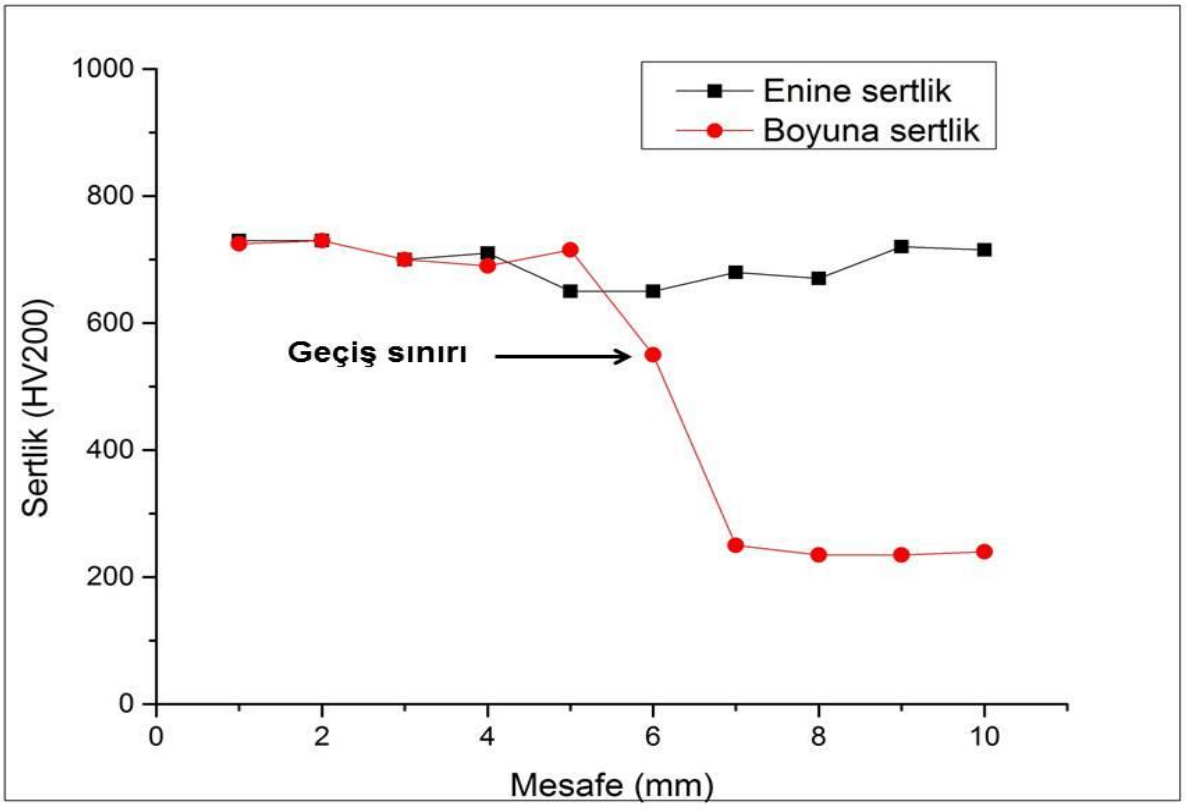
Şekil 69. Artan miktarlarda ferrokrom içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların ortalama makro sertlik sonuçları.



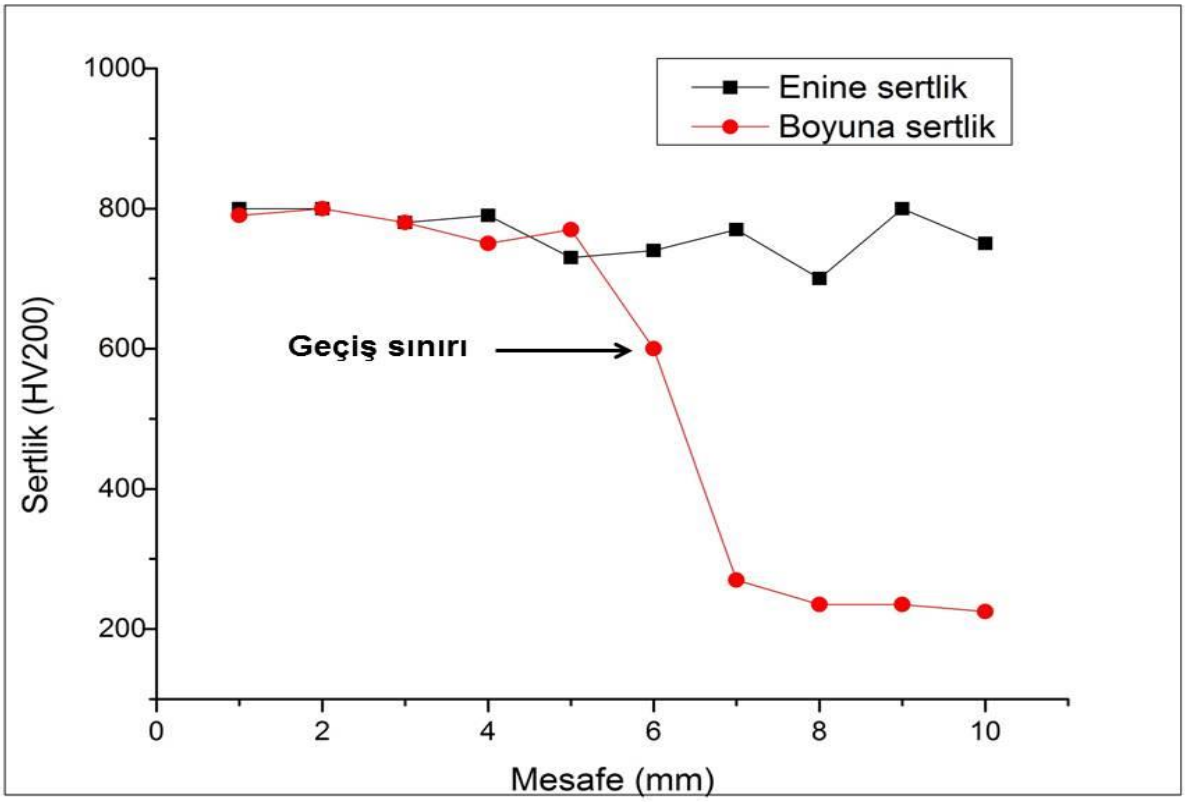
a)


Enine sertlik
Boyuna sertlik
Geçiş sınırı
Sertlik (HV200)
Mesafe (mm)
0
200
400
600
800
1000
0
2
4
6
8
10

b)


Enine sertlik
Boyuna sertlik
Geçiş sınırı
Sertlik (HV200)
Mesafe (mm)
0
200
400
600
800
1000
0
2
4
6
8
10

c)



d)

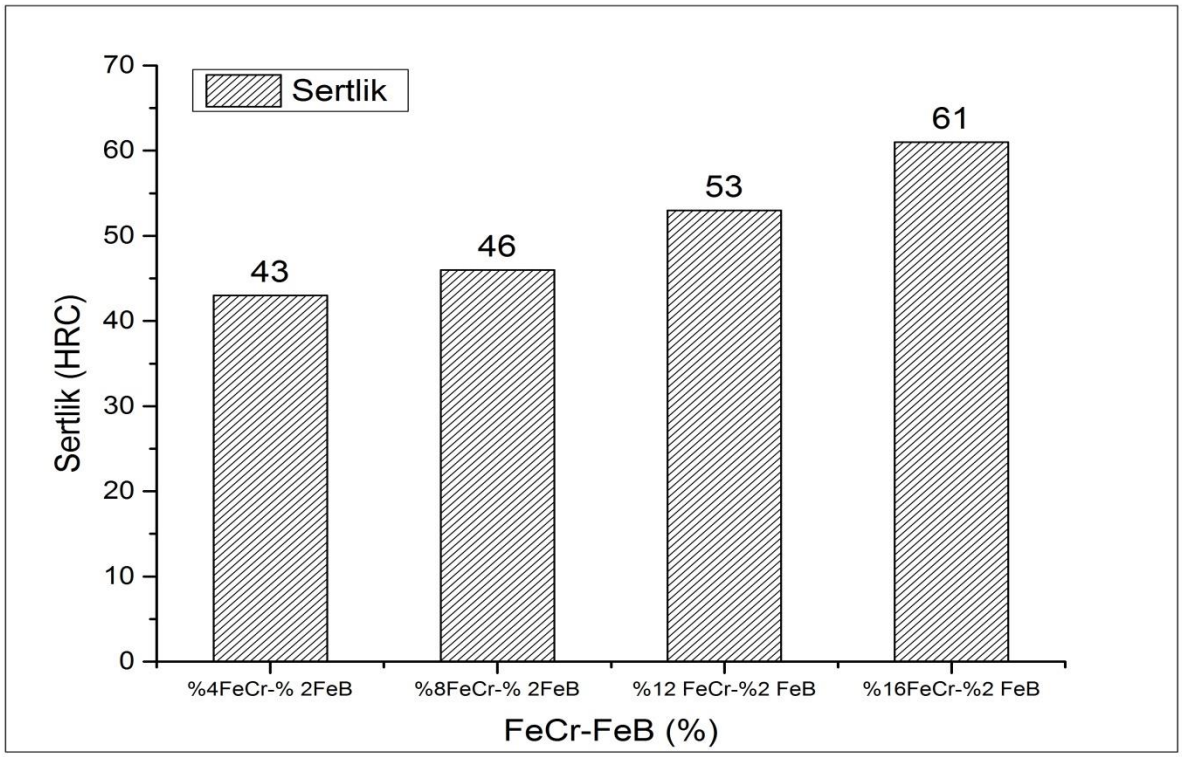
Şekil 70. Artan miktarlarda ferrokrom içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların enine ve boyuna mikro sertlik sonuçları **a)** % 4 FeCr **b)** % 8 FeCr **c)** % 12 FeCr **d)** % 16 FeCr.

Yapılan makro ve mikro sertlik sonuçlarından görüleceği üzere; toz içerisindeki ferrokrom miktarının artması ile sert dolgu kaplamaların sertlikleri artmıştır. Makro sertliklerde 34 HRC ile en düşük sertliğe sahip kaplama %4 ferrokrom içeren toz ile elde edilirken, 46 HRC ile en yüksek sertliğe sahip kaplama %16 ferrokrom içeren toz ile elde edilmiştir. Toz içerisindeki artan miktarlardaki ferrokrom kaplamaya geçen krom ve karbon miktarının artmasına neden olmuş böylece de sertlik doğrusal olarak artmıştır. Yüksel ve Şahin, 2014; Hournung vd., 2013; Veinthal vd., 2013; Bain ve Paxton, 1966 farklı kaynak metotları ile sert dolgu kaplamalar yapmışlar ve benzer sertlik sonuçları elde etmişlerdir. Ayrıca, elde edilen sonuçlar Oerlikon markalı firmanın ürettiği sert dolgu amaçlı kromlu kaynak tozlarından alınan sertlik sonuçları ile de paralellik göstermektedir (URL-3, 2015). Ancak, Elazığ ferro krom atık cürufu gibi atık bir cüruf alt yapısı kullanılarak krom alaşımlı kaplama eldesi ilk defa bu doktora tez çalışması ile yapılmıştır. Artan miktarlarda ferrokrom içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamaların orta ve geçiş bölgelerinde sertlik daha düşükken yüzeye yakın yan ve üst bölgelerde sertlik daha

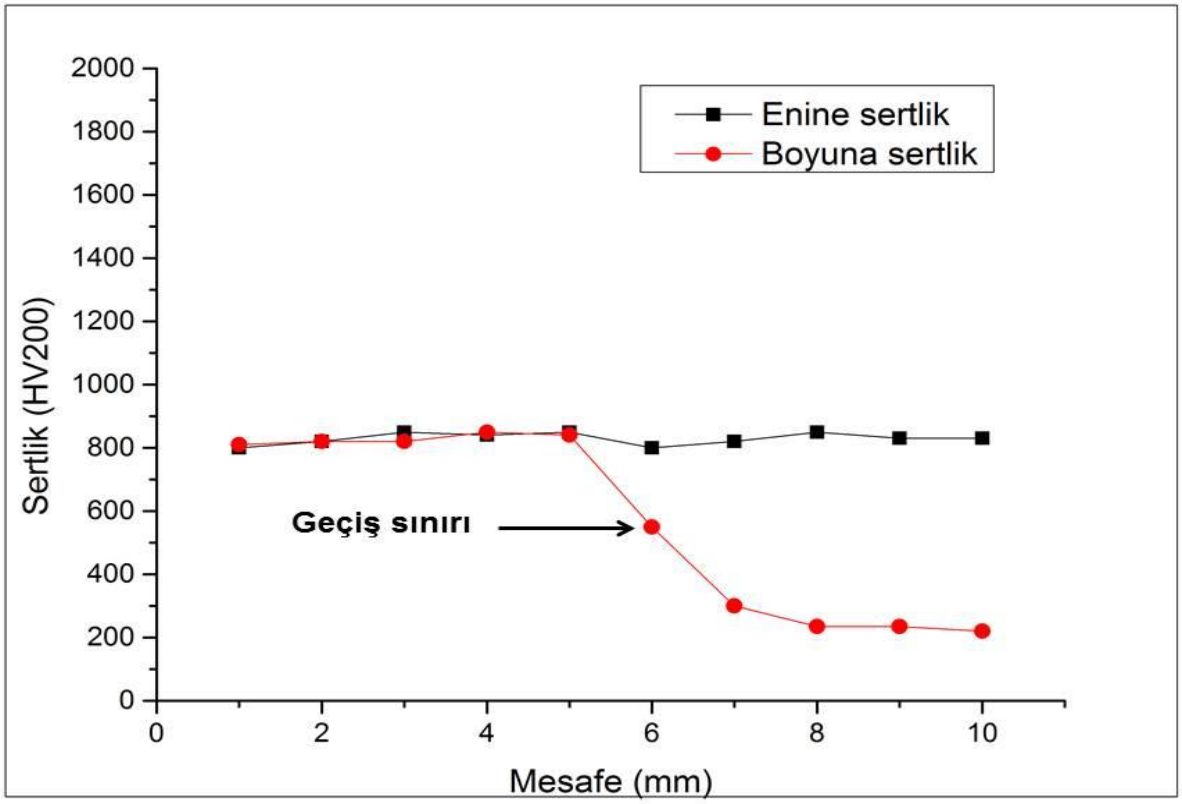
yüksek tespit edilmiştir **(Şekil 70 (a-d))**. Burada; soğuma hızına bağlı olarak meydana gelen martenzit yapısının etkisi büyüktür. Yüzeye yakın üst ve yan bölgelerde soğuma hızının daha yüksek olması, östenitlerin martenzite dönüşerek yoğun bir şekilde mikroyapıda yer almasına neden olmuştur. Kaplamaların diğer bölgelerinde martenzitik dönüşümün olmaması ve karbonca zengin bölgelerin olması nedeniyle martenzitik dönüşüm yerine kalıntı östenit mikroyapıda yerini almıştır. Öte yandan, östenit miktarının artması sertliğin düşmesine neden olmaktadır. Kaplamaların sertlikleri içerdikleri sert fazların miktarına bağlı olarak artmaktadır. Mikroyapıdaki martenzit ve karbürler kaplamaların sertliğini arttırırken, östenit ise mikroyapının sertliğini düşürmektedir (Savaşkan, 2009).Dolayısıyla; en yüksek sertliğe sahip kaplamalarda karbür ve martenzit miktarı daha yoğunken, en düşük sertliğe sahip kaplamalarda martenzit ve karbür miktarı daha düşüktür.

Kaynak tozu içerisindeki artan FeCr (%4-16) ve sabit orandaki %2 FeB miktarına bağlı olarak elde edilen sert dolgu kaplamaların 10 farklı bölgesinden alınan ve ortalama değerler olarak hesaplanan makro sertlik ölçüm sonuçları **Şekil 71** da ve enine ve boyuna 10 farklı bölgeden alınarak ölçülen mikro sertlik sonuçları ise **Şekil 72 (a-d)** de verilmektedir.

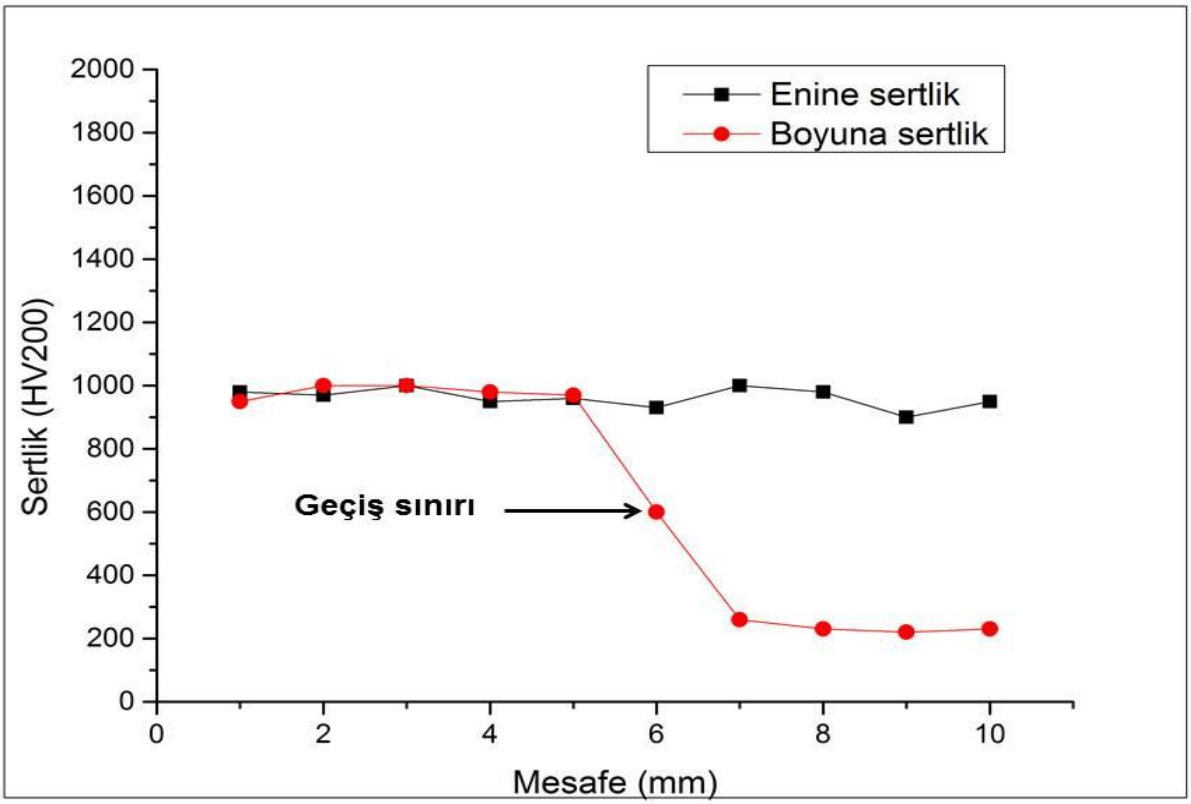
Yapılan makro ve mikro sertlik inceleme sonuçlarından görüleceği üzere; toz içerisindeki ferrokrom ve ferrobor miktarının artması ile sertlik de artmıştır. Makro sertlik ölçümlerinde 43 HRC ile en düşük sertliğe sahip kaplama %4 ferrokrom ve %2 ferrobor içeren toz ile elde edilirken, 61 HRC ile en yüksek sertliğe sahip kaplama %16 ferrokrom ve %2 ferrobor içeren toz ile elde edilmiştir. Bu durum toz hazırlanma esnasında toz içerisine artan miktarlarda ferro alaşım koyularak hedeflenmiştir. Dolayısıyla, kaplamaya geçen krom, karbon ve bor miktarı arttıkça karbür ve borokarbürlerin miktarı artmış böylece de sertlik doğrusal olarak artmıştır. Zahiri vd., (2014) ve Yüksel ve Şahin, (2014) farklı kaynak metotlarıyla krom ve bor içeren kaplamalar yapmışlar ve benzer sertlik sonuçlarını elde etmişlerdir. Ancak; mevcut literatürde toz bünyesinde krom ve bor kullanılarak yapılan ticari ve akademik çalışma bulunamamıştır. Bu nedenle hem atık bir cüruf alt yapısı kullanılan hem de tozaltı kaynak metoduyla yapılan ve kaplamada krom ve boru birlikte verebilen toz üretimi ve sert dolgu kaplama eldesi ilk defa bu çalışma ile elde edilmiştir.



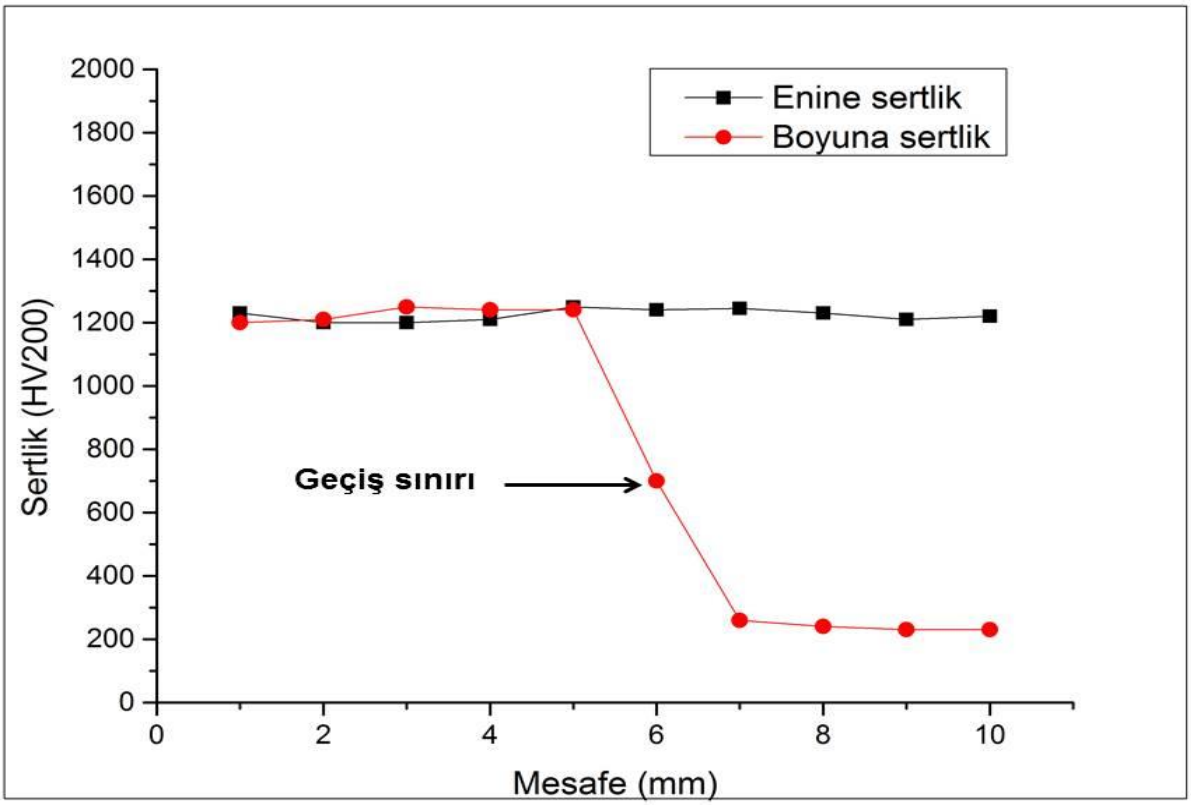
Şekil 71. Artan miktarlarda ferrokrom ve sabit oranda ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların ortalama makro sertlik sonuçları.



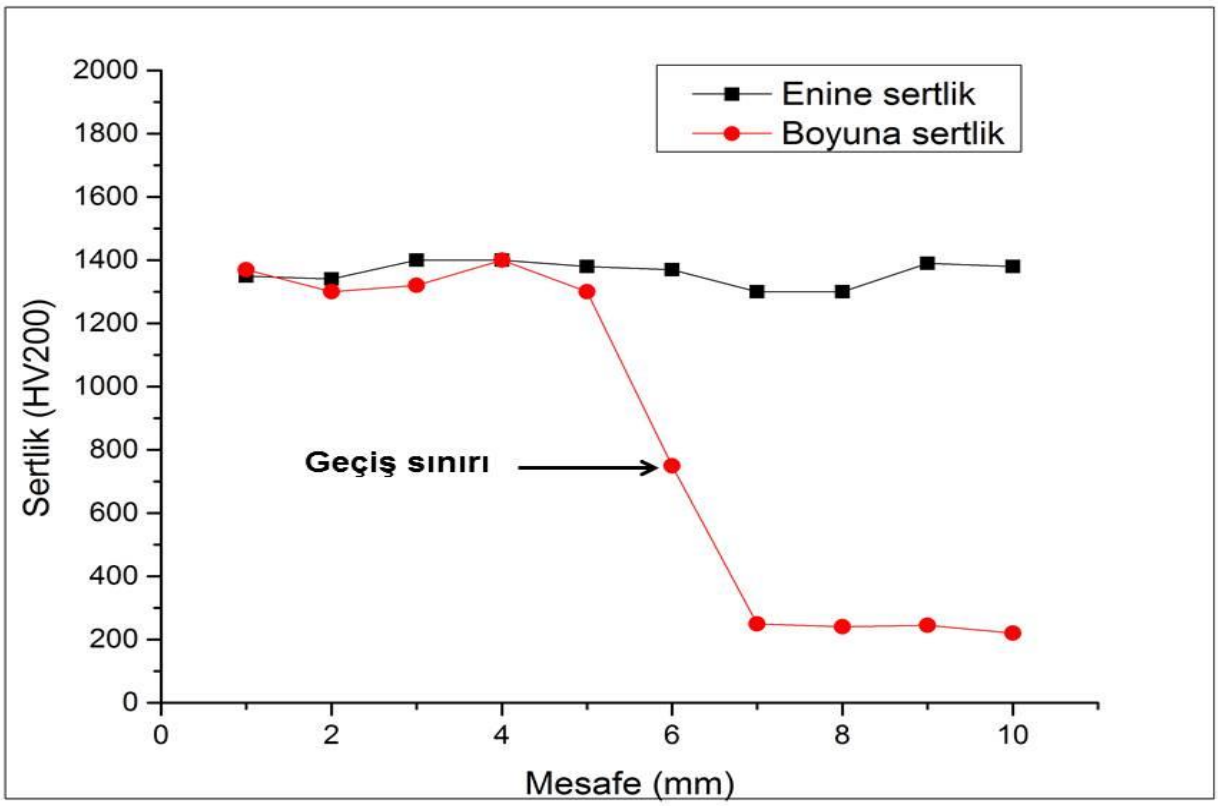
a)


Enine sertlik
Boyuna sertlik
Sertlik (HV200)
Mesafe (mm)
Geçiş sınırı
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
0
2
4
6
8
10

b)


Enine sertlik
Boyuna sertlik
Sertlik (HV200)
Mesafe (mm)
Geçiş sınırı
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
0
2
4
6
8
10

c)



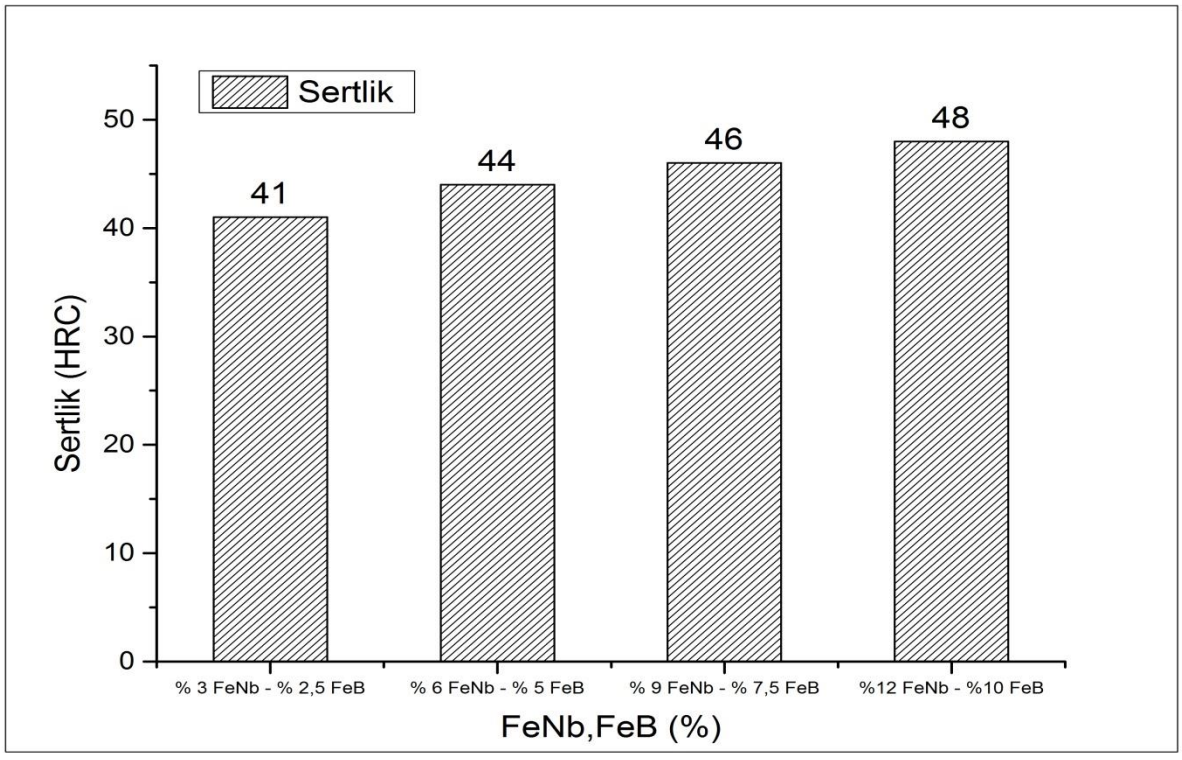
d)

Şekil 72. Artan miktarlarda ferrokrom ve sabit oranda ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların enine ve boyuna mikro sertlik sonuçları **a)** %4 FeCr-%2 FeB **b)** %8 FeCr -%2 FeB **c)** %12 FeCr-%2 FeB **d)** %16 FeCr-%2 FeB.

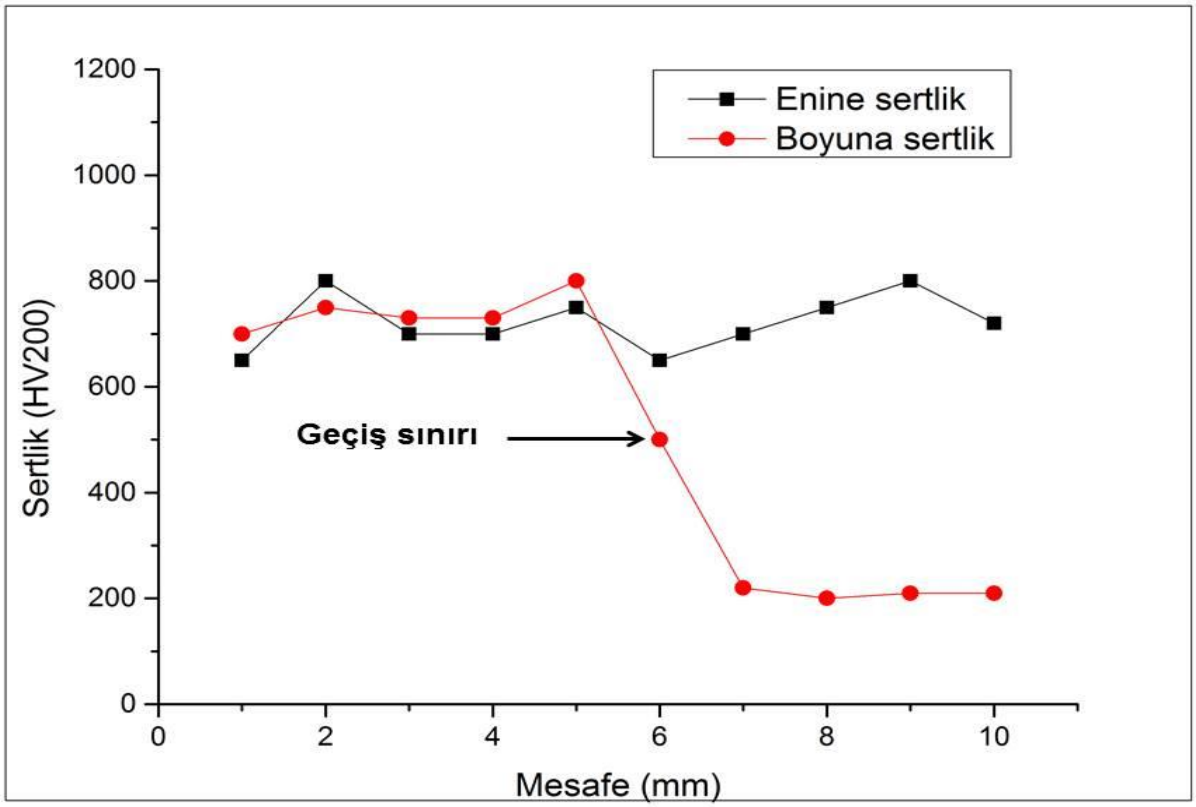
Kaplamalarda mevcut bulunan karbür ve borokarbürler sertlik arttırıcı etki yaparken, östenit fazı ise sertliği düşürücü etki yapmaktadır. Kaplamalardan alınan mikro sertlik ölçümleri sonucunda; 4 kaplamada da homojen bir sertlik dağılımı tespit edilmiştir. Bu durum, oda sıcaklığında kararlı olan östenit fazı ve sıkı bir şekilde östenit tanelerinin etrafına dağılmış karbür ve borokarbürlerin varlığıyla ilişkilendirilmiştir. Kaplamalardaki karbür ve borokarbürlerin östenit tanelerinin etrafında sıkı bir şekilde yer alması, benzer sertlik sonuçlarının elde edilmesine böylece de homojen sonuçlar elde edilmesine sebep olmuştur. Öte yandan, östenitin oda sıcaklığında mikroyapıda tek bir faz olarak yer alması da homojenliğe önemli katkı sağlamıştır. Şöyle ki; soğuma esnasında TTT (ZSD) diyagramında kritik dönüşüm sıcaklığı olan Ms çizgisi östenitin içerdiği karbon konsantrasyonunun yüksek olması nedeniyle oda sıcaklığının altına düşmüştür. Ms sıcaklığının oda sıcaklığının altına düşmesi östenitin oda sıcaklığında mikroyapıda kararlı olmasını sağlamıştır. Alaşım elementi olarak yüksek karbonlu ferrokrom kullanılarak elde

edilen sert dolgu kaplamaların mikro sertlik sonuçları hatırlandığında; kaplamaların özellikle yüzeye yakın üst ve yan bölgelerinde martenzit, merkeze ve ana metale yakın bölgelerinde ise östenit fazlarının varlığı belirtilmişti. Bu fazlar arasındaki sertlik farkı kaplama mikro sertlik sonuçlarında lokal olarak farklılıklar oluşturarak kısmi olarak homojen olmayan sertlik sonuçlarına neden olmuştu. Alaşım elementi olarak yüksek karbonlu ferrokrom ve ferrobor kullanılarak elde edilen sert dolgu kaplamalarda ise lokal olarak oluşan martenzit gibi bir fazın olmaması ve mikroyapıdaki tüm fazların çok yoğun bir şekilde östenit tanelerinin etrafında yer alması daha homojen sonuçların elde edilmesi neden olmuştur.

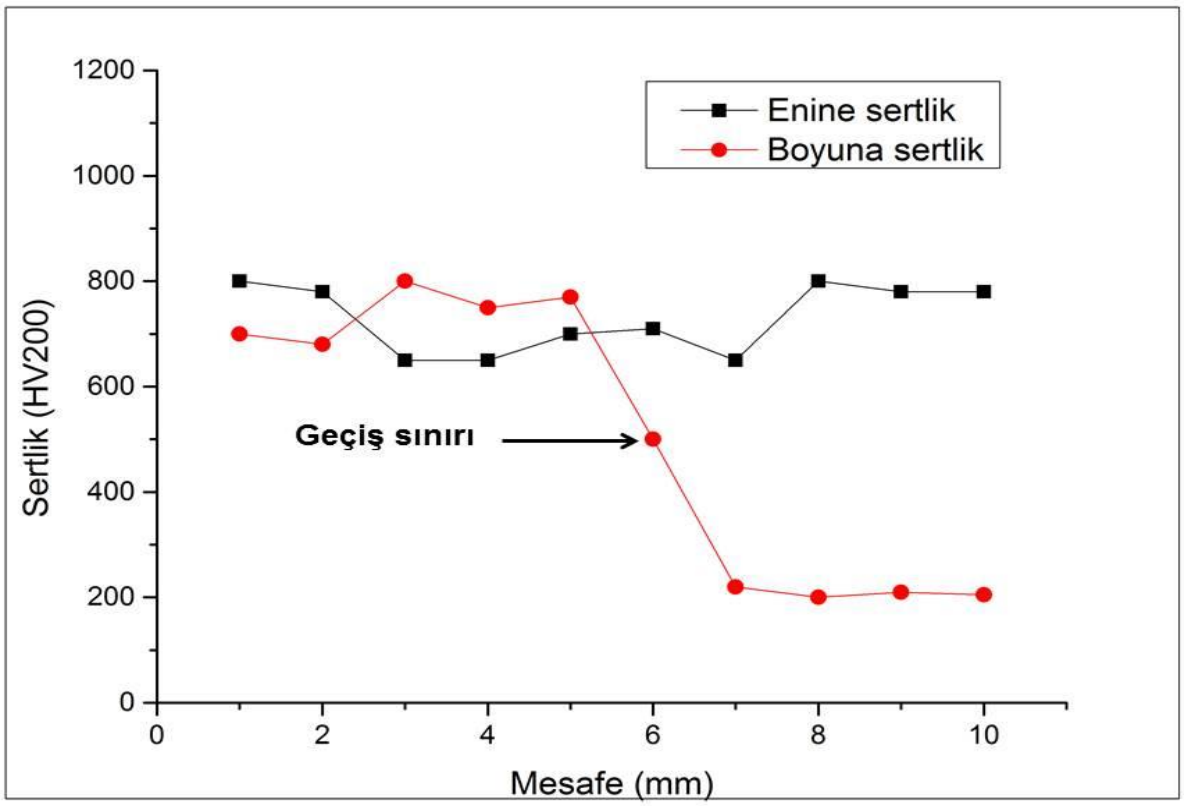
Kaynak tozu içerisindeki artan FeNb (%3-12) ve FeB (% 2.5-10) miktarına bağlı olarak elde edilen sert dolgu kaplamaların 10 farklı bölgesinden alınan ve ortalama değerler olarak hesaplanan makro sertlik ölçüm sonuçları **Şekil 73** da ve enine ve boyuna 10 farklı bölgeden alınarak ölçülen mikro sertlik sonuçları ise **Şekil 74 (a-d)** de verilmektedir.



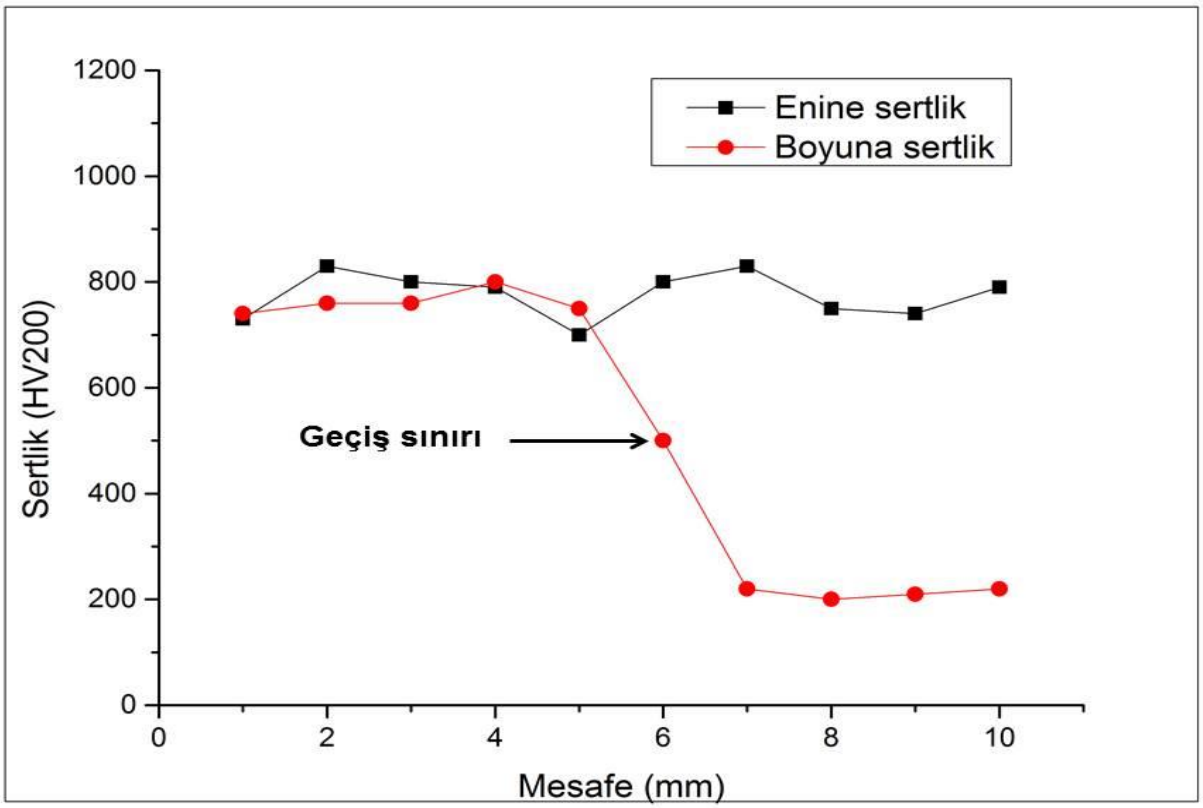
Şekil 73. Artan miktarlarda ferroniyobyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların ortalama makro sertlik sonuçları.


Enine sertlik
Boyuna sertlik
Geçiş sınırı
Sertlik (HV200)
Mesafe (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
0
2
4
6
8
10

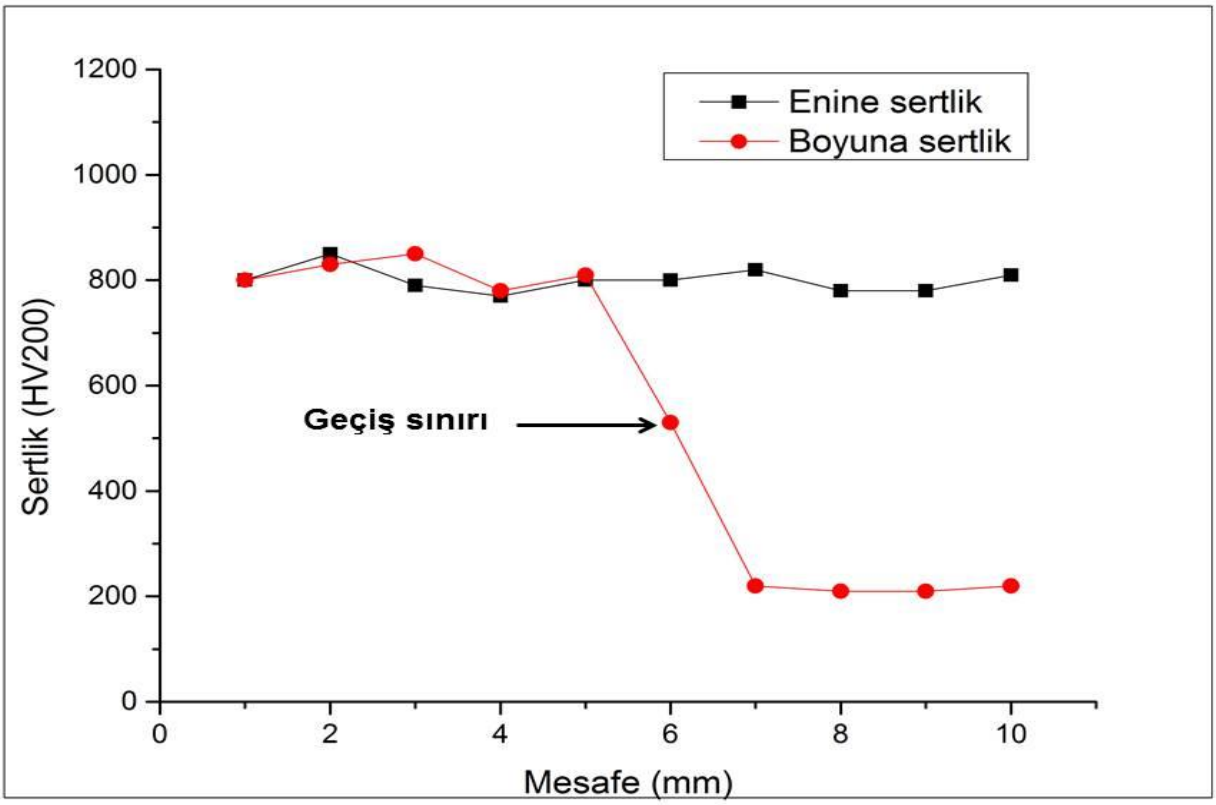
a)


Enine sertlik
Boyuna sertlik
Geçiş sınırı
Sertlik (HV200)
Mesafe (mm)
0
200
400
600
800
1000
1200
0
2
4
6
8
10

b)



c)



d)

Şekil 74. Artan miktarlarda ferroniyobyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların enine ve boyuna mikro sertlik sonuçları

a) %3 FeNb - %2,5 FeB **b)** %6 FeNb - %5 FeB **c)** %9 FeNb - %7,5 FeB **d)** %12 FeNb - %10 FeB.

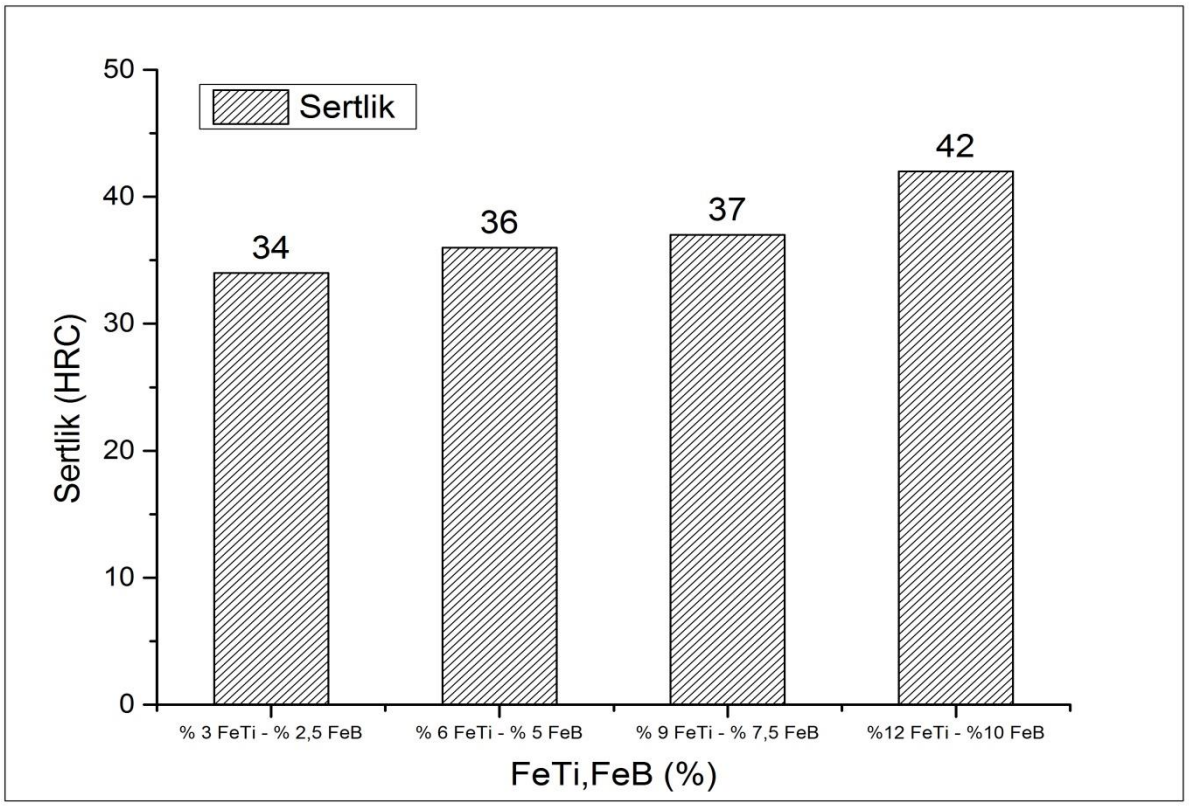
Yapılan makro ve mikro sertlik inceleme sonuçlarından görüleceği üzere; toz içerisindeki ferroniyobyum ve ferrobor miktarının artması ile sertlik de artmıştır. Makro sertlik ölçümlerinde 41 HRC ile en düşük sertliğe sahip kaplama %3 ferroniyobyum ve %2.5 ferrobor içeren toz ile elde edilirken, 48 HRC ile en yüksek sertliğe sahip kaplama %12 ferroniyobyum ve %10 ferrobor içeren toz ile elde edilmiştir. Bu durum diğer kaplamalarla benzer şekilde toz hazırlanma esnasında toz içerisine artan miktarlarda ferro alaşım koyularak hedeflenmiştir. Kim vd., (2015) ve Kim_2 vd., (2015) farklı kaynak metotlarıyla demir esaslı malzemeler üzerine niyobyum ve bor içeren kaplamalar yapmışlar ve elde ettikleri kaplama sertliklerini akma ve çekme dayanımı bazında hesaplamışlardır. Araştırmacıların elde ettikleri sertlik değerlerine denk gelen akma ve çekme dayanımları mevcut çalışmadaki sertlik sonuçlarına paralellik göstermektedir. Ancak; mevcut literatürde sert dolgu kaplama amaçlı olarak kullanmak üzere toz bünyesinde niyobyum ve bor kullanılarak yapılan ticari ve akademik çalışma bulunamamıştır. Bu nedenle hem atık bir cüruf alt yapısı kullanılan hem de tozaltı kaynak metoduyla yapılan kaplamada niyobyum ve boru birlikte verebilen toz üretimi ve kaplama eldesi ilk defa bu çalışma ile elde edilmiştir.

Kaplamalarda bulunan FeNbB, Fe_7Nb_6, $Fe_{23}(C,B)_6$, Fe_7Nb_6, FeB ve Fe_2B, Fe_3B ve Fe_7B bileşikleri kaplamanın sertliğini arttırırken ferrit fazı ise sertliği düşürmektedir. İyi bilindiği üzere ferrit demir kafesi içerisinde bulunan en yumuşak ve en düşük sertliğe sahip katı çözelti fazıdır (Savaşkan, 2009). Dolayısıyla, kaplama bünyesindeki sert faz miktarı kaplamanın sertliğine doğrudan etki etmektedir. Bu doğrultuda kaplamalarda artan miktarlarda borür ve karboborürlerin bulunması sertliğin de doğrusal olarak artmasına neden olmuştur. Özellikle % 9 ve %12 FeNb ve %7,5 ve 10 FeB kullanılarak elde edilen kaplamalarda bu borür ve karboborürlere ilaveten Fe_3B ve Fe_7B borür bileşiklerinin de yer alması kaplamanın sertliğinin daha da artmasına neden olmuştur.

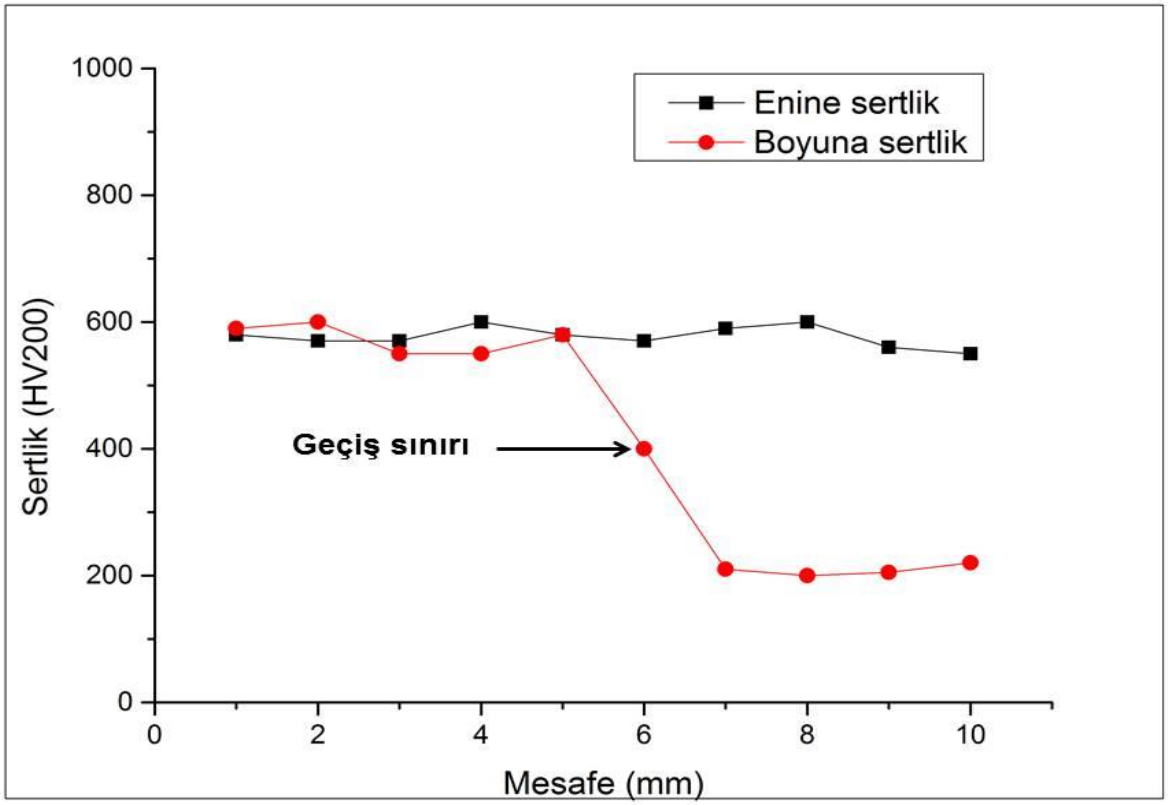
Mikro sertlik sonuçları detaylı incelendiğinde; %3-6 ferroniyobyum ve %2,5-5 ferrobor içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplama sertlik sonuçlarında dalgalanmanın fazla olduğu görülmektedir. Sertlik sonuçlarındaki bu dalgalanma kaplamalardaki fazlar arasındaki sertlik farkı ve homojen olmayan dağılım ile ilişkilendirilmiştir. Öte yandan, % 9-12 ferroniyobyum ve %7,5-10 ferrobor içeren tozlarla elde edilen kaplamalarda bu dalgalanmanın daha az olduğu, özellikle en yüksek ferroniyobyum ve ferrobor içeren kaplamada dalgalanmanın çok az olduğu görülmektedir. Dalgalanmada meydana gelen bu

değişiklik ilk iki kaplamada eser miktarlarda ya da hiç bulunmayan Fe_3B, Fe_7B ve $Fe_{23}(C,B)_6$ gibi sert bileşiklerin mikroyapıdaki yüzdesinin artmasıyla ve bu yapıların homojen dağılımı ile ilişkilendirilmiştir. Bu yapılar kaplamalarda hem tane sınırlarında hem de tane içlerinde oluşarak sertlik dalgalanmasının azalmasına neden olmuşlardır.

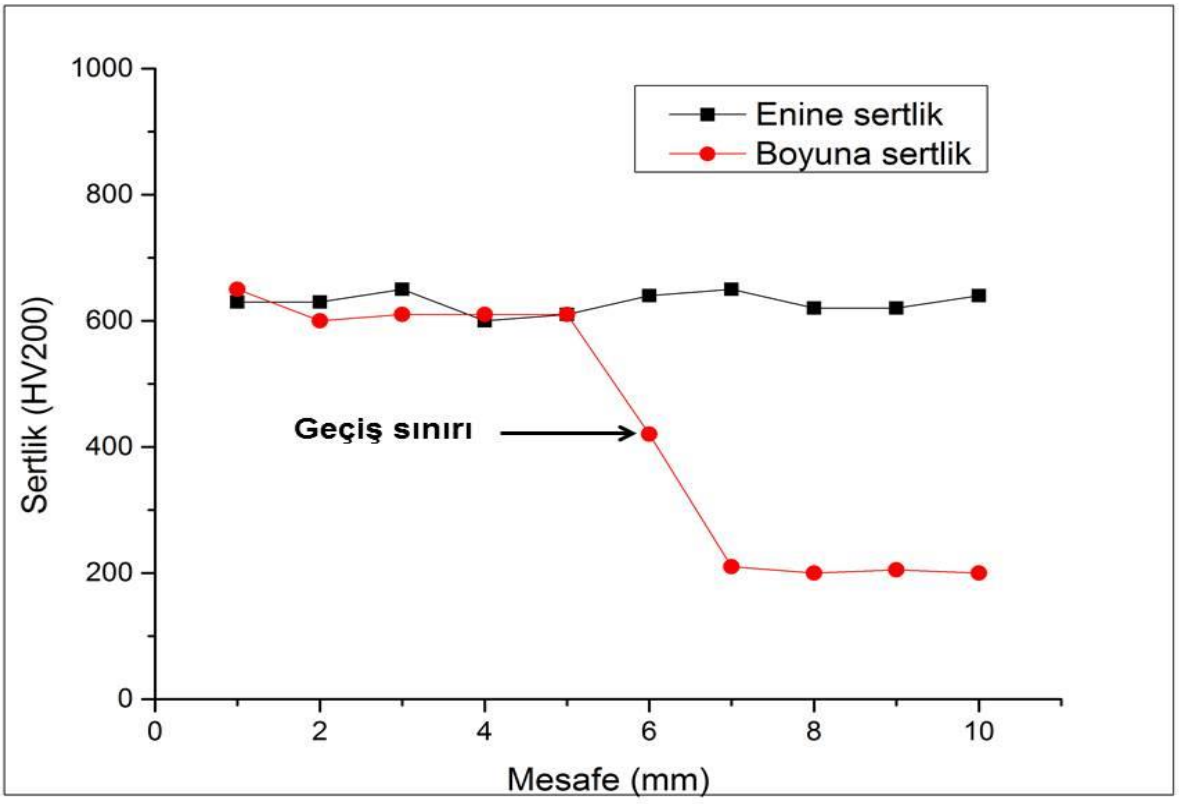
Kaynak tozu içerisindeki artan FeTi (%3-12) ve FeB (%2,5-10) miktarına bağlı olarak elde edilen sert dolgu kaplamaların 10 farklı bölgesinden alınan ve ortalama değerler olarak hesaplanan makro sertlik ölçüm sonuçları **Şekil 75** da ve enine ve boyuna 10 farklı bölgeden alınarak ölçülen mikro sertlik sonuçları ise **Şekil 76 (a-d)** de verilmektedir.



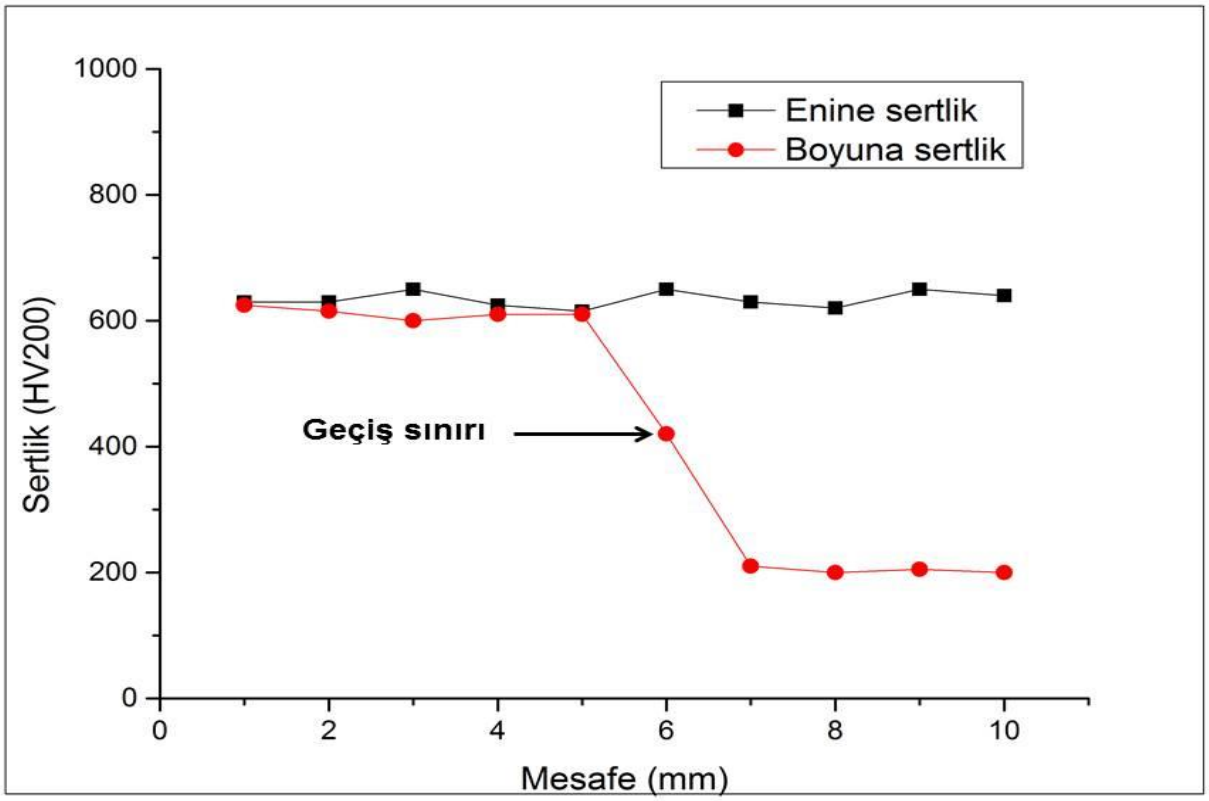
Şekil 75. Artan miktarlarda ferrotitanyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların ortalama makro sertlik sonuçları.


Enine sertlik
Boyuna sertlik
Geçiş sınırı
Sertlik (HV200)
Mesafe (mm)
0
200
400
600
800
1000
0
2
4
6
8
10

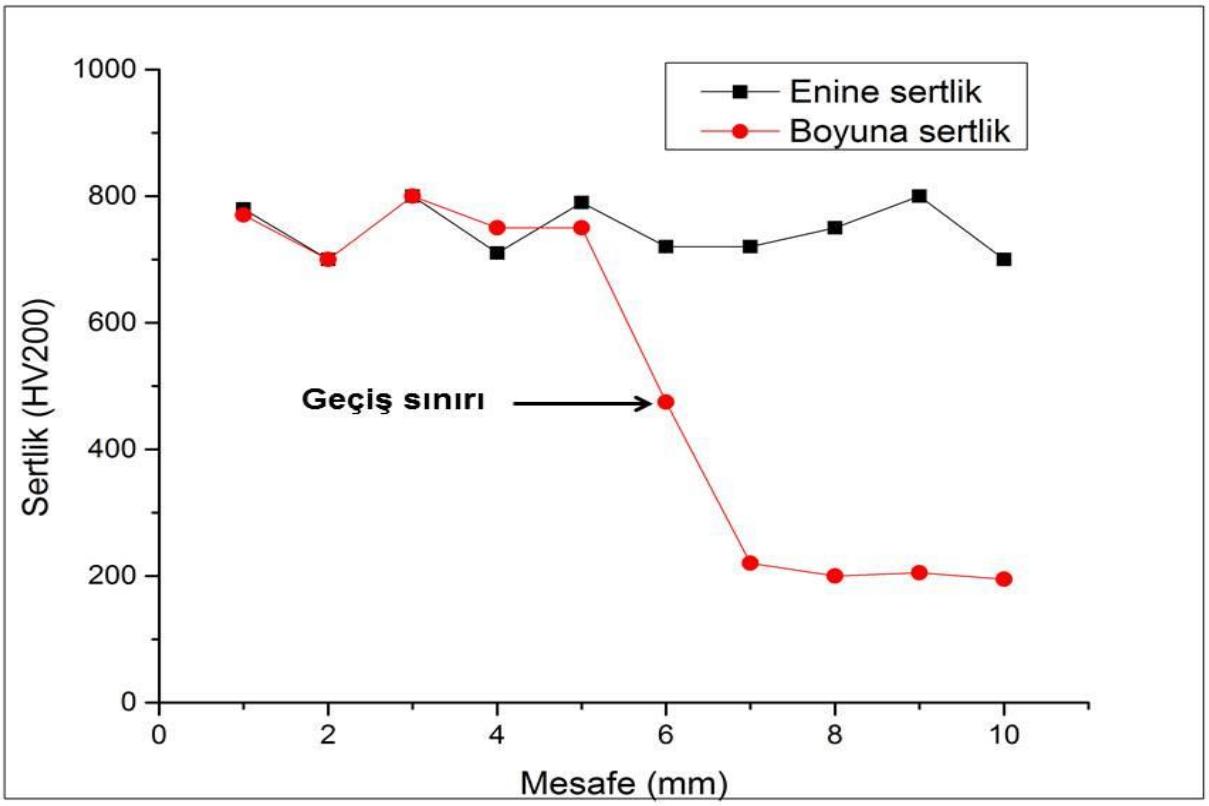
a)


Enine sertlik
Boyuna sertlik
Geçiş sınırı
Sertlik (HV200)
Mesafe (mm)
0
200
400
600
800
1000
0
2
4
6
8
10

b)



c)



d)

Şekil 76. Artan miktarlarda ferrotitanyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların enine ve boyuna mikro sertlik sonuçları

a) %3 FeTi - %2,5 FeB **b)** %6 FeTi - %5 FeB **c)** %9 FeTi - %7,5 FeB **d)** %12 FeTi - %10 FeB.

Makro ve mikro sertlik sonuçları incelendiğinde; istenilen yüksek sertlik bandındaki sertliklere ulaşılamadığı görülmektedir. Ancak; diğer kaplamalara benzer şekilde toz içerisindeki ferro alaşım miktarının artması az da olsa kaplamanın sertliğinin artmasına neden olmuştur. Makro sertlik ölçümlerinde; 34 HRC ile en düşük sertliğe sahip kaplama %3 ferrotitanyum ve %2.5 ferrobor içeren toz ile elde edilirken 42 HRC ile en yüksek sertliğe sahip kaplama %12 ferrotitanyum ve %10 ferrobor içeren toz ile elde edilmiştir. Bu durum diğer kaplamalarla benzer şekilde toz hazırlanma esnasında toz içerisine artan miktarlarda ferro alaşım koyularak hedeflenmiştir. Sertlik sonuçları Farid vd., 2007; Darabara vd., 2006; Anal vd., 2005; Xibao vd., 2001 deki farklı kaynak metotlarıyla yapılan kaplamalardan alınan sertlik sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Literatürdeki çalışmaların genelde argon gibi koruyucu atmosfer altında yapılan çalışmalar olması nedeniyle, araştırmacıların elde ettikleri sertlik sonuçları mevcut çalışmadan nisbi olarak yüksek sertlik sonuçları vermektedir. Mevcut çalışmada, kaplamaya titanyum ve bor geçişinin kaynak tozu bünyesinden sağlanması, titanyumun oksijene olan afinitesi ve 535 °C deki yapışma özellikleri ve tozaltı kaynak metodunun atmosfere açık bir kaynak metodu olması kaplamaya geçen titanyum ve bor yüzdesini sınırlamaktadır. Bu nedenle, çalışmada hibrit tozaltı kaynak metodu kullanılarak soy gaz desteğiyle kaplama amaçlı kaynaklar yapılmıştır. Ancak, yine de istenilen yüksek sertlik bandındaki sonuçlara ulaşılamamıştır. Öte yandan, mevcut literatürde kaplama amaçlı olarak kullanmak üzere toz bünyesinde titanyum ve bor kullanılarak yapılan ticari ve akademik çalışma bulunamamıştır. Bu nedenle hem atık bir cüruf alt yapısı kullanılan hem de tozaltı kaynak metoduyla yapılan kaplamada titanyum ve boru birlikte verebilen toz üretimi ve kaplama eldesi ilk defa bu çalışma ile elde edilmiştir.

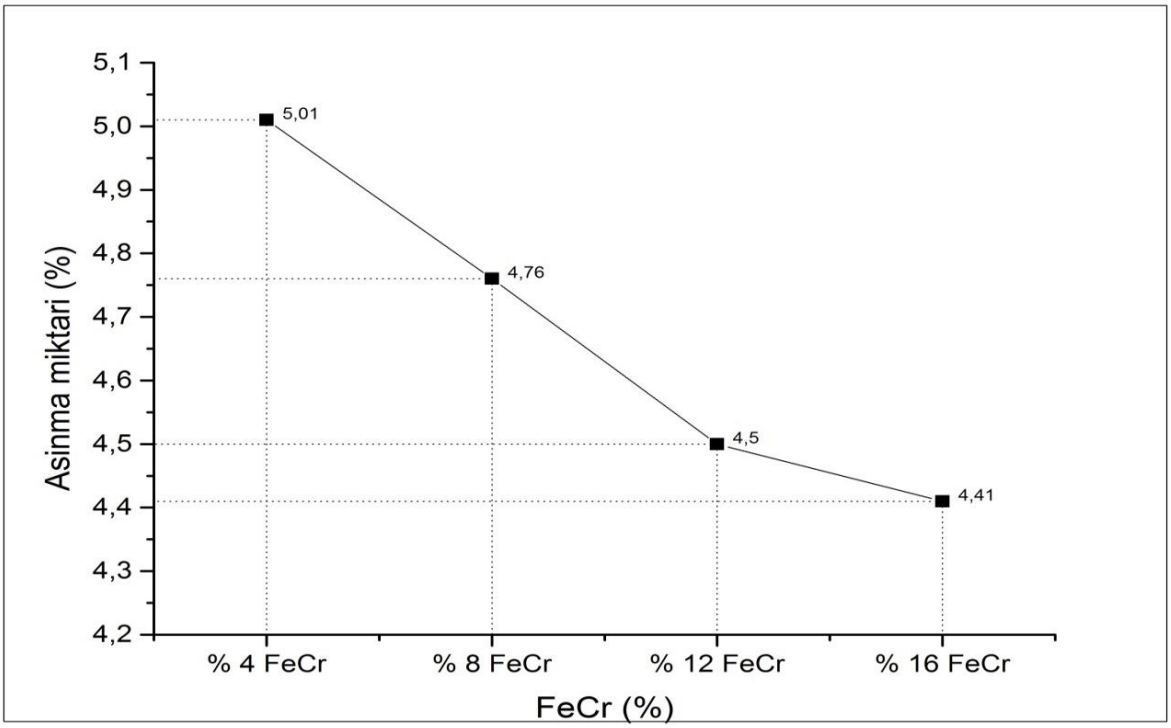
Kaplamalarda TiB_2, Fe_2Ti ve TiC bileşikleri sertlik artışı sağlarken ferrit fazı ise sertlik düşürücü etki göstermektedir. Yine kaplamalardaki TiB_2 bileşik miktarı kaplamanın sertliğine doğrudan etki eden parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Ferrit yapısının yüksek tokluk ve TiB_2 yapısının yüksek sertlik özellikleri kompozit davranış da sert dolgu kaplamalar üretilmesini sağlamıştır. Toz bünyesinde en düşük oranda ferrotitanyum ve ferrobor içeren kaplamalar 34 HRC ile en düşük sertlikler vermiş olup en yüksek oranlarda ferrotitanyum ve ferrobor içeren tozlar ise 42 HRC ile en yüksek sertlik değerlerini vermiştir.

Mikro sertlik sonuçları detaylı incelendiğinde; ilk üç kaplamada dalgalanmanın az olduğu mikro sertlik dağılımı gözlemlenmiştir. Bu durum makro sertlik sonuçları ile de uyum göstermektedir. Mikro sertlik sonuçlarındaki bu dalgalanmanın az olması, küçük boyuttaki TiB_2 borürlerin ferrit matris içerisinde homojen olarak dağılması ile ilişkilendirilmiştir. %12 ferrotitanyum ve %10 ferrobor içeren kaplamada ise mikro sertlik sonuçlarındaki dalgalanmanın daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum ise ferrit matris ile kısmi olarak irileşmiş TiB_2 borürlerin arasındaki sertlik farkı ve homojen olmayan dağılım ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak, titanyum ve bor içeren kaplamalarda titanyum ve bor miktarının artması ile TiB_2 borürlerin tane boyutunda irileşme olmuş bu nedenle de mikro sertlik ölçüm sonuçlarında homojen olmayan sertlik dağılımının (dalgalanma) meydana geldiği tespit edilmiştir.

3.4. Abrasiv Aşınma Test Sonuçları

Sert dolgu kaplama amaçlı kaynak tozları içerisindeki artan ferrokrom miktarına bağlı olarak elde edilen sert dolgu kaplamaların 80 mesh su zımparası, 20 N yük, 50 m kayma mesafesi ve 3000devir/dk aşınma hızında yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları **Şekil 77'** de ve aşınmış yüzeylerden alınan SEM fotoğrafları **Şekil 78 (a-d)** de verilmektedir.

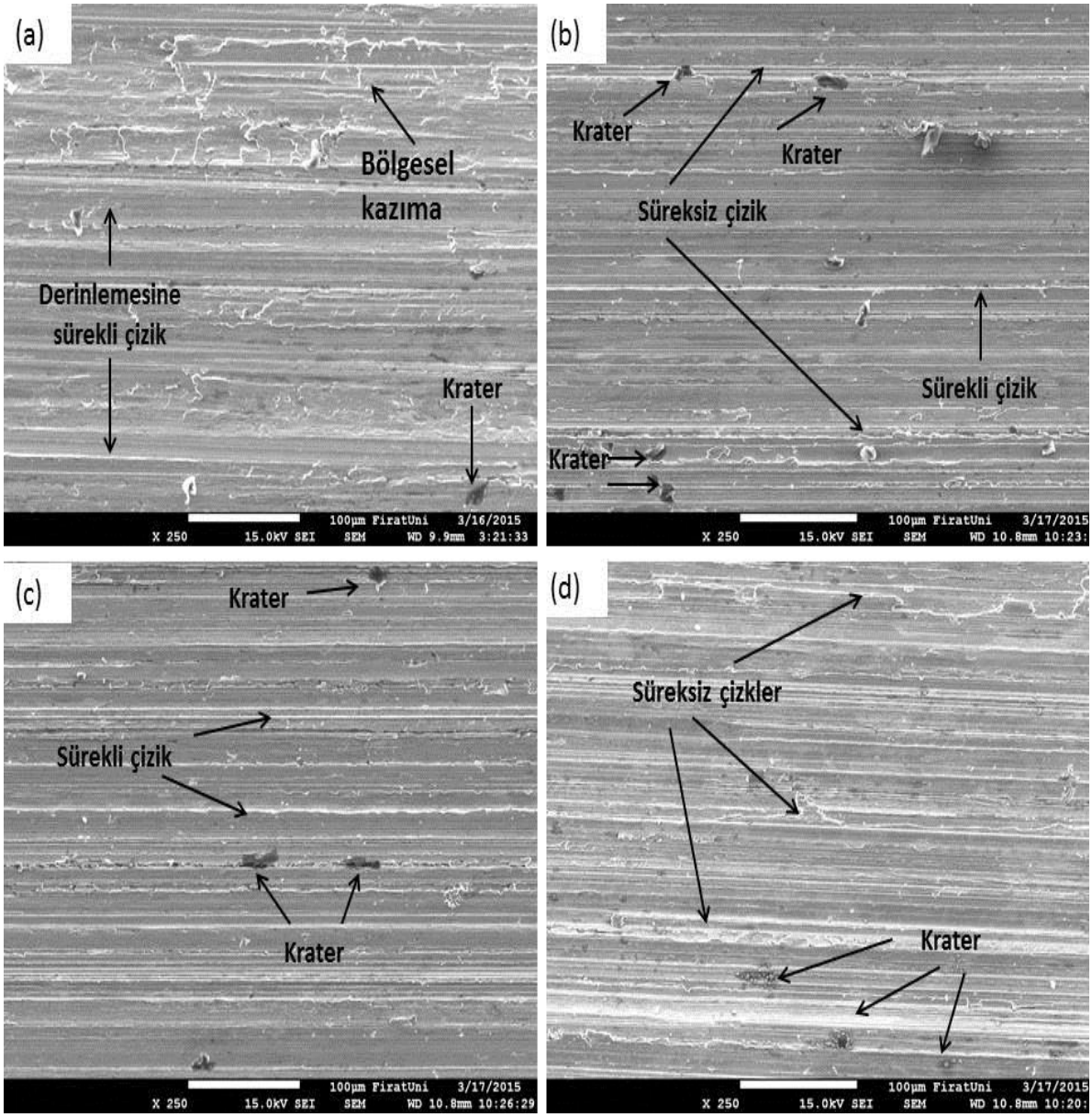
Yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları incelendiğinde; en fazla aşınma miktarı % 5.01 ile % 4 ferrokrom içeren toz ile elde edilen kaplamada iken, en az aşınma miktarı % 4.41 ile % 16 ferrokrom içeren toz ile elde edilen kaplamada elde edilmiştir. Toz bünyesindeki artan miktarlardaki ferrokrom soğuma hızına bağlı olarak östenit, martenzit ve karbür oluşumuna neden olmaktadır. Kaplama bünyesinde oluşan östenit orta derecede bir sertliğe sahipken karbür ve martenzit gibi fazlar sertliğin artmasına neden olurlar. Bilindiği üzere aşınma ile sertlik doğrudan ilişkilidir. Sertliğin artışı ile aşınma kayıplarını azalırken, sertliğin azalması ile aşınma kayıpları artmaktadır (Yıldızlı vd., 2007). Dolayısıyla; sertliğin artışı ve buna bağlı olarak aşınma kayıplarının azalması kaplama mikroyapısındaki fazlara bağlı olarak değişebilmektedir.



Şekil 77. Artan miktarlarda ferrokrom içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları**.**

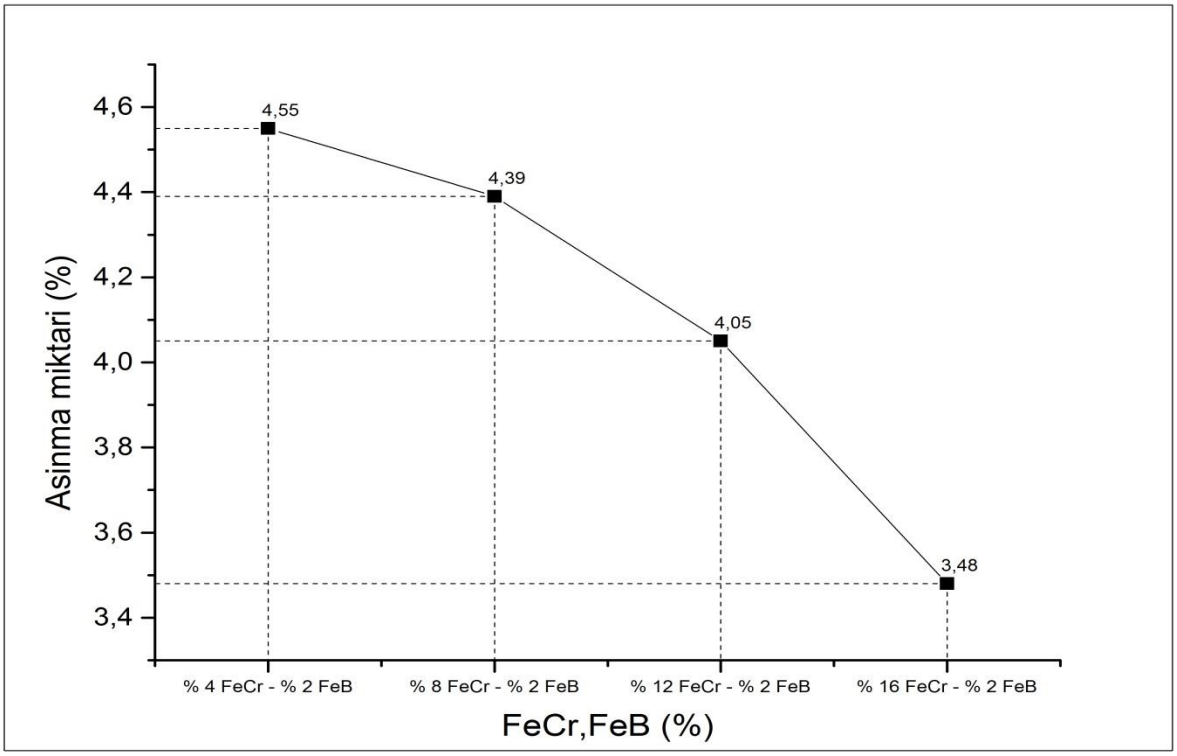
Şekil 78 (a-d) deki aşınmış yüzeyler aşınma tipi olarak değerlendirildiğinde; aşınmanın mikro kesme **(micro-cutting)** ve mikro kazıma (micro-ploughing) şeklinde gerçekleştiği görülmektedir. Aşınmış yüzeylerin SEM fotoğrafları yüzey karakteristiği açısından incelendiğinde ise kaplamanın sertliğinin çok önemli bir parametre olduğu ortaya çıkmaktadır. Sertliği düşük kaplamalarda (**Şekil 78 (a-c)** aşınma çizgilerinin kazıma şeklinde, derin ve daha geniş olduğu ve aşınma çizgilerinin süreklilik göstererek tek bir hat şeklinde devam ettiği ve kısmı olarak kraterlerden ve süreksiz çizgilerden oluştuğu görülmektedir. Sertliği en yüksek kaplamada ise; **Şekil 78 (d)** aşınma çizgilerinin daha dirençli ve daha yüzeysel olduğu, süreksiz ve tek bir hat şeklinde devam etmeyen aşınma çizgilerinin bulunduğu ve fazlaca krater oyuklarından oluştuğu görülmektedir. Burada; kaplama mikroyapılarında yer alan martenzit ve karbür gibi fazların miktarı; kaplamanın aşınma direnci ve dolayısıyla da aşınmış yüzeylerin görüntüsü ile doğrudan ilişkilidir. Martenzit ve karbürler çok sert fazlar oldukları için aşınma çizgilerine bariyer etkisi yaparak çiziklerin sürekliliğine engel olurlar. Böylece, süreksiz çizikler oluşur. Bu durumun devam etmesi durumunda ise aşınma çizgileri ya yön değiştirir ya da aşınma nedeniyle oyuklar oluşur. Oluşan bu oyuklara krater adı verilir. Kraterler, kaplama içerisindeki sert fazların aşınmaya gösterdiği direncin ölçüsü gibi düşünülebilinir. Dolayısıyla; malzemelerin içerdikleri sert fazlar malzemelerin aşınma davranışını

doğrudan etkileyerek aşınma direncinin artmasında önemli rol oynamaktadırlar (Yüksel ve Şahin, 2014; Zahiri vd., 2014; Hou vd., 2014; Veinthal vd., 2013; Hornung vd., 2013; Zhou vd., 2012; Chang vd., 2010; Yıldızlı vd., 2007; Lu vd., 2004; Gülenç ve Kahraman, 2003; Eroğlu ve Özdemir, 2002).



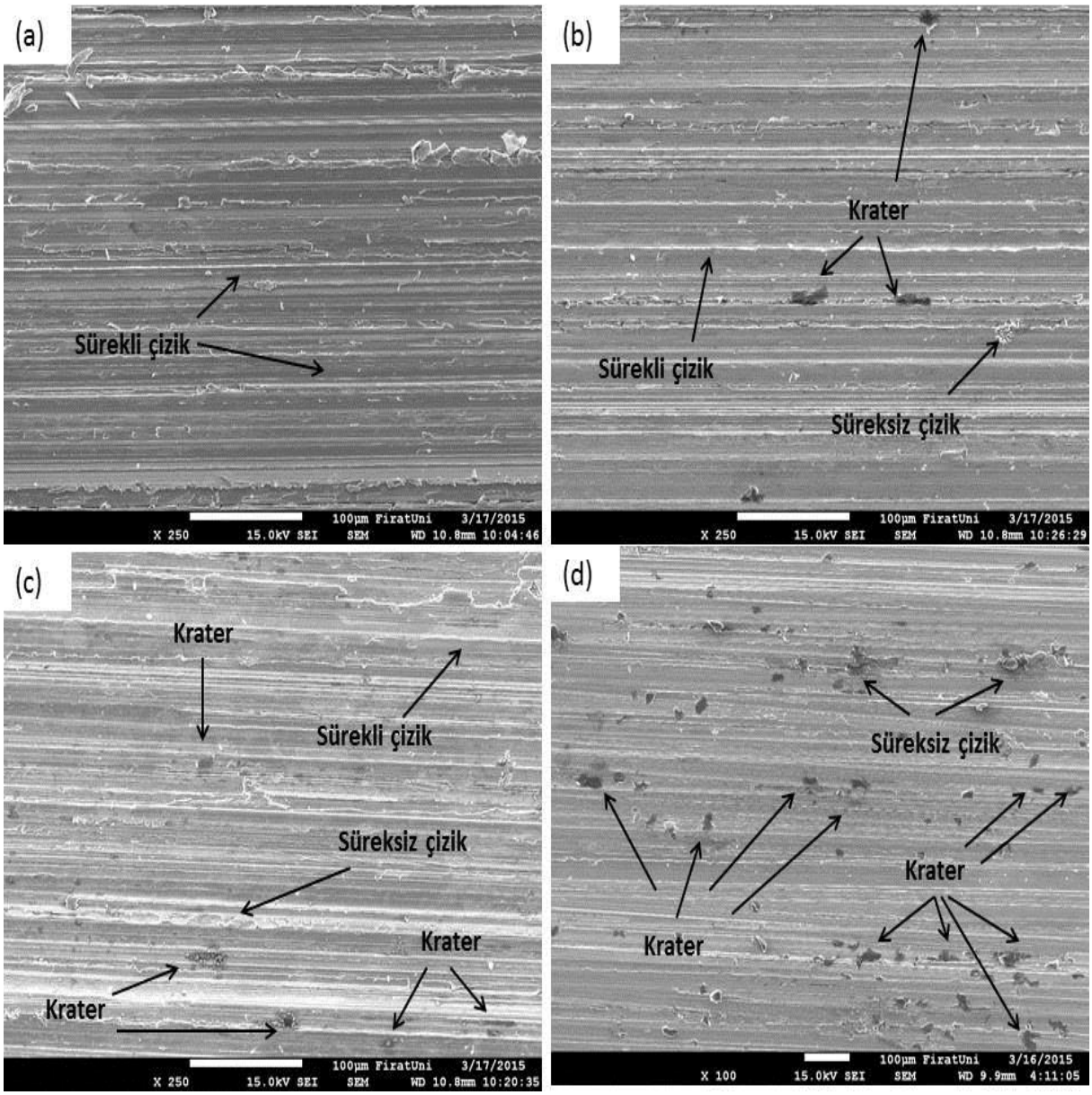
Şekil 78. Artan miktarlarda ferrokrom içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların aşınmış yüzey SEM fotoğrafları. **a**)% 4 FeCr **b)** % 8 FeCr **c)** % 12 FeCr **d)** % 16 FeCr

Sert dolgu kaplama amaçlı kaynak tozları içerisindeki artan ferrokrom ve sabit oranda ferrobor miktarına bağlı olarak elde edilen sert dolgu kaplamaların 80 mesh su zımparası, 20 N yük, 50 m kayma mesafesi ve 3000 devir/dk aşınma hızında yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları **Şekil 79** de ve aşınmış yüzeylerden alınan SEM fotoğrafları **Şekil 80 (a-d)** de verilmektedir.



Şekil 79. Artan miktarlarda ferrokrom ve sabit oranda ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları**.**

Yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları incelendiğinde; en fazla aşınma miktarı % 4.55 ile % 4 ferrokrom ve %2 ferrobor içeren toz ile elde edilen kaplama da iken, en az aşınma miktarı % 3.48 ile %16 ferrokrom ve % 2 ferrobor içeren toz ile elde edilen kaplamada elde edilmiştir. Toz bünyesindeki artan miktarlardaki ferrokrom ve ferrobor kompozisyona bağlı olarak östenit, karbür ve borokarbürlerin oluşmasına neden olmaktadır. Karbür ve borokarbürler sertliği arttırıcı etki yapmakta östenit ise orta derece sertliğe etki etmektedir. Dolayısıyla; sertlik artışı ile mikroyapıdaki karbür ve borokarbürlerin miktarı artmış ve buna bağlı olarak aşınma direnci artarak ve aşınma kayıplarının azalmasına neden olmuştur (Lin vd., 2014; Yüksel ve Şahin, 2014; Kirchgaßner vd., 2008;).

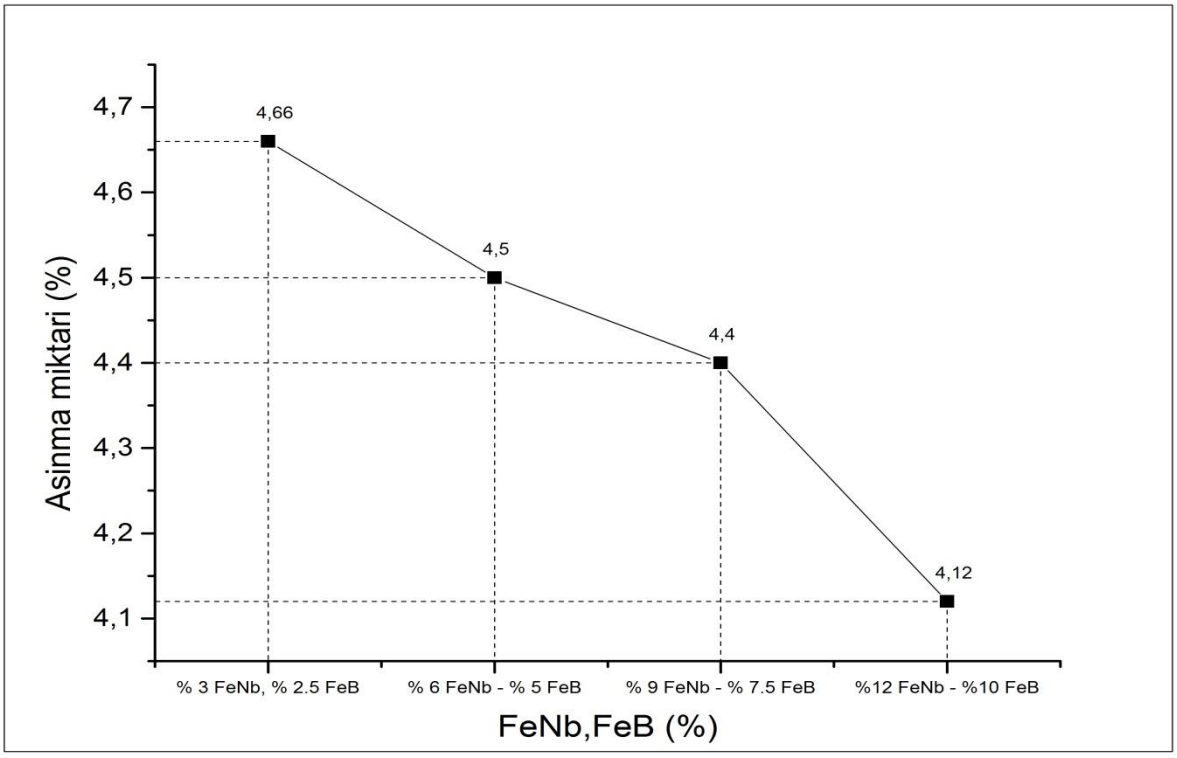


Şekil 80. Artan miktarlarda ferrokrom ve sabit oranda ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların aşınmış yüzey SEM fotoğrafları **a)**%4 FeCr - %2 FeB **b)** %8 FeCr - %2 FeB **c)** %12 FeCr - %2 FeB **d)** %16 FeCr - %2 FeB

Şekil 80 (a-d) deki aşınmış yüzeyler aşınma tipi olarak değerlendirildiğinde; aşınmanın yine mikro kesme (micro-cuttimg) ve mikro kazıma (micro-ploughing) şeklinde gerçekleştiği görülmektedir. Aşınmış yüzeylerin SEM fotoğrafları yüzey karakteristiği açısından incelendiğinde ise; **Şekil 80(a)** aşınmış yüzeyinde sürekli çizikler yoğun bir şekilde bulunurken, **Şekil 80(b)** de bulunan sürekli çiziklerin kısmi olarak azaldığı ve süreksiz çizik ve çok sayıda krater varlığı tespit edilmiştir. **Şekil 80(c)** verilen aşınmış yüzeyde yine süreksiz çizik ve kraterlerin yoğun olduğu görülürken **Şekil 80(d)** ise

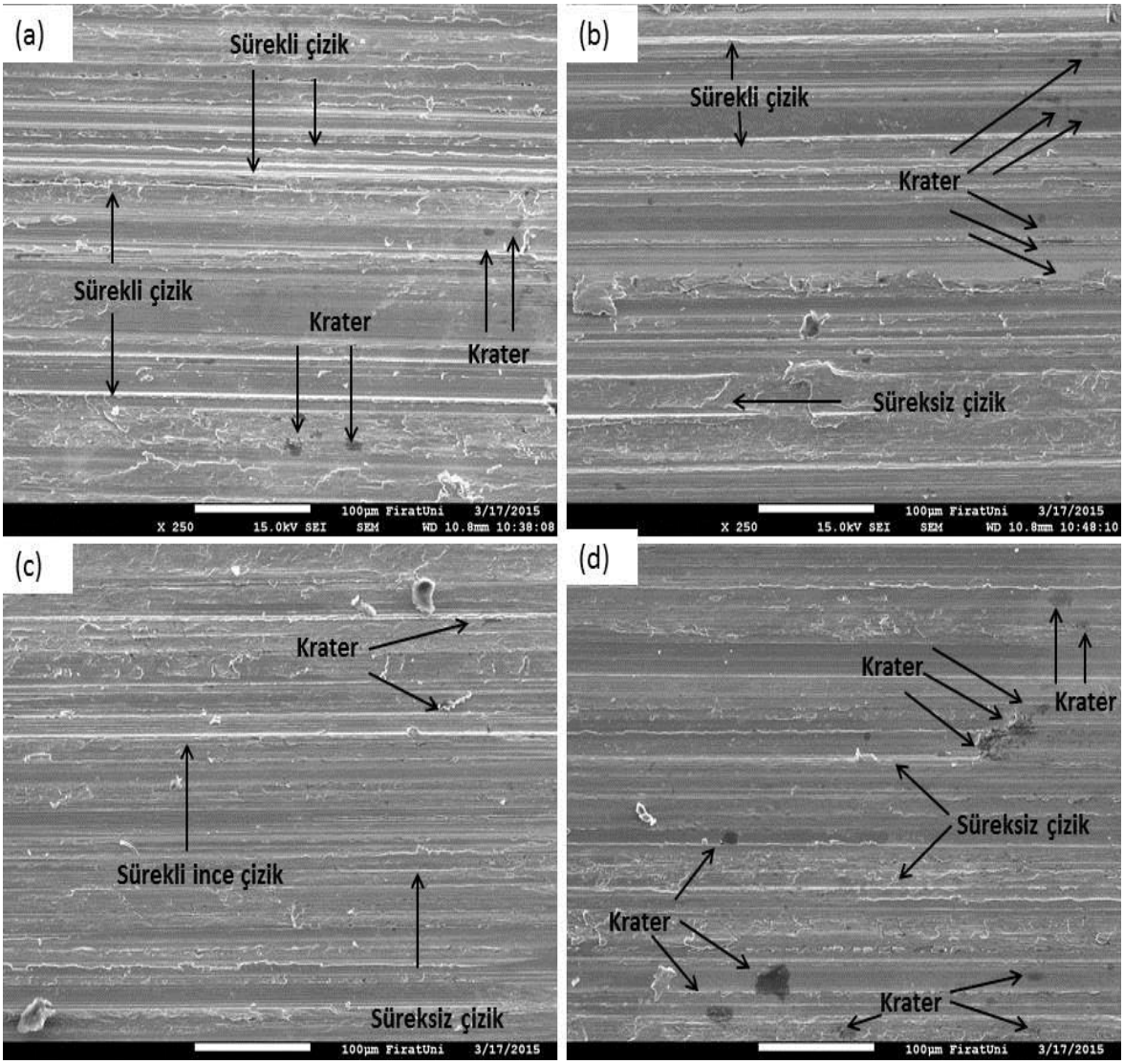
çiziklerin çok inceldiği ve fazla sayıda krater oyuklarının bulunduğu gözlemlenmiştir. Aşınma çizgilerindeki farklılıklar ve meydana gelen kraterlerin oluşmasında kaplamalarda bulunan karbür ve borokarbürler doğrudan ilişkilidir. Düşük ferrokrom ve ferrobor içeren kaplamaların karbür **ve** borokarbür miktarları daha az olduğu için aşınma direnci nisbi olarak daha düşüktür. Bu nedenle, oluşan çizikler büyük oranda sürekli çiziklerden ve kısmı olarak da süreksiz çizik ve kraterlerden oluşmaktadır. Artan ferrokrom ve ferrobor miktarıyla, kaplamaların karbür ve borokarbür miktarı arttığı için buna bağlı olarak aşınma dirençleri de artmaktadır (Lin vd., 2014; Yüksel ve Şahin, 2014;Kirchgaßner vd., 2008). Bu nedenle, aşınma direnci yüksek kaplamalarda oluşan çizikler daha ince, süreksiz ve krater oyukları şeklinde kendini göstermektedir.

Toz içerisindeki artan ferroniyobyum ve ferrobor miktarına bağlı olarak elde edilen sert dolgu kaplamaların 80 mesh su zımparası, 20 N yük, 50 m kayma mesafesi ve 3000devir/dk aşınma hızında yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları **Şekil 81** de ve aşınmış yüzeylerden alınan SEM fotoğrafları **Şekil 82 (a-d)** de verilmektedir.



Şekil 81. Artan miktarlarda ferroniyobyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları.

Yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları incelendiğinde; en fazla aşınma miktarı %4.66 ile % 3 ferroniyobyum ve %2.5 ferrobor içeren toz ile elde edilen kaplama da iken en az aşınma miktarı % 4.12 ile %12 ferroniyobyum ve %10 ferrobor içeren toz ile elde edilen kaplamada elde edilmiştir. Toz bünyesindeki artan ferro alaşım miktarları kompozisyona bağlı olarak demir esaslı bileşikler, demir borürler ve demir karbo borürlerin oluşmasında etkili olmuştur. Oluşan bu sert yapıların kaplamadaki yüzdesel olarak miktarı arttıkça kaplamaların sertlikleri artmıştır. Dolayısıyla; artan ferroniyobyum ve ferrobor miktarına bağlı olarak artan sertlikler, aşınma direncinin artmasına yani aşınma kayıplarının azalmasına neden olmuştur (Kılınç vd., 2015; Azimi, 2012; Wang ve Xiaoyan, 2010).



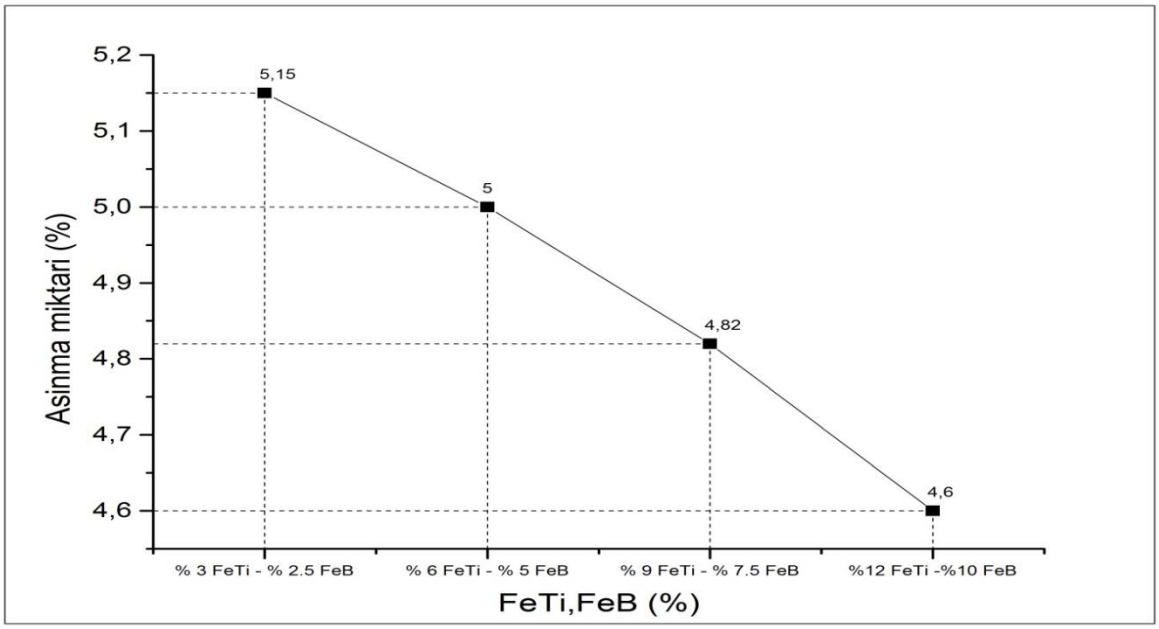
Şekil 82. Artan miktarlarda ferroniyobyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların aşınmış yüzey SEM fotoğrafları

a)%3 FeNb - % 2,5 FeB **b)** %6 FeNb - %5 FeB **c)** %9 FeNb - % 7,5 FeB **d)** %12 FeNb - % 10 FeB.

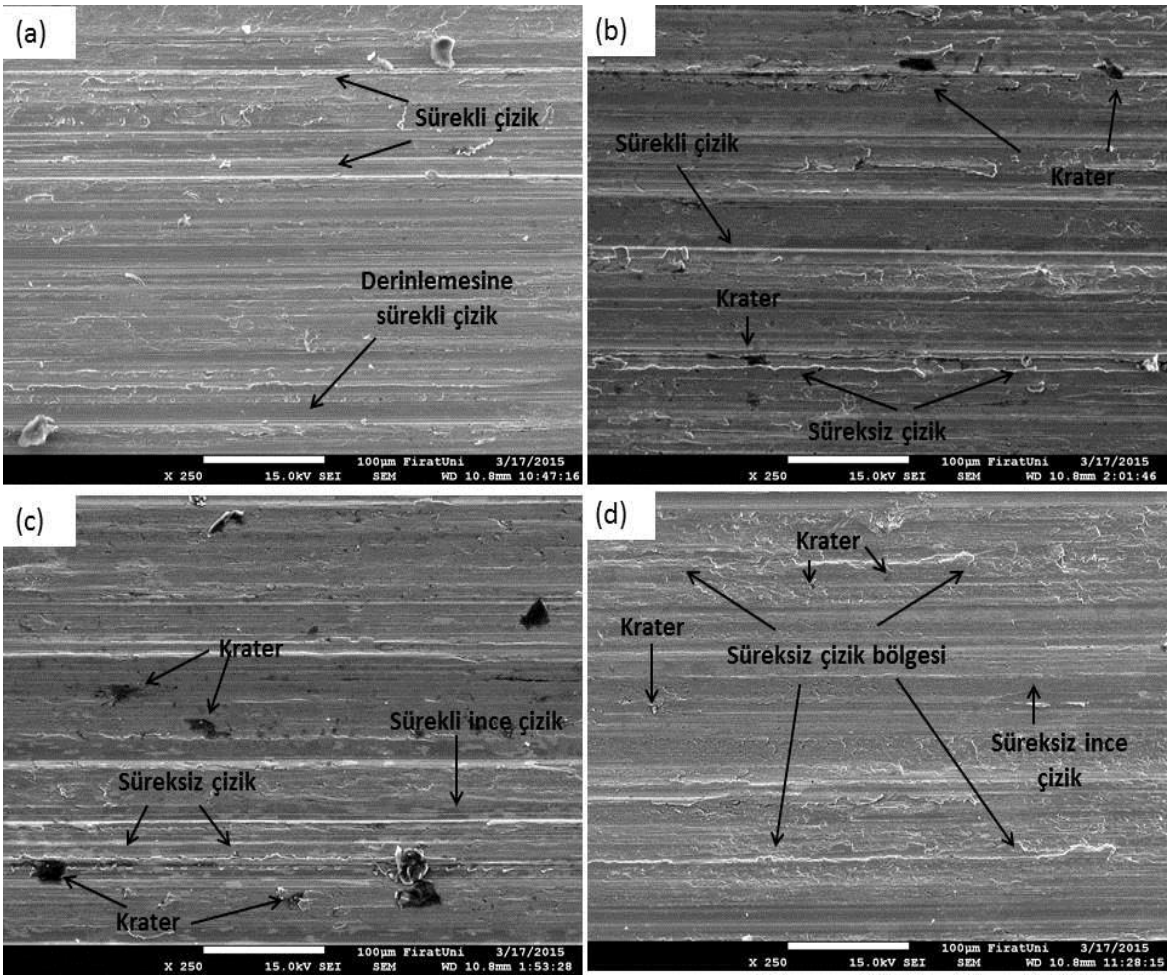
Şekil 82 (a-d) deki aşınmış yüzeyler aşınma tipi olarak değerlendirildiğinde; aşınmanın yine mikro kesme (micro-cuttimg) ve mikro kazıma (micro-ploughing) şeklinde gerçekleştiği görülmektedir. Aşınmış yüzeylerin SEM fotoğrafları yüzey karakteristiği açısından incelendiğinde ise **Şekil 82(a)** aşınmış yüzeyinde sürekli çizikler ve kısmi olarak da kraterler yer alırken, **Şekil 82(b,c)** de ise bu oluşumlara ilaveten süreksiz çizikler de aşınmış yüzeylerde yer almıştır. **Şekil 82(d)** ise çok ince çizik bölgeleri, süreksiz çizikler ve en fazla sayıda krater oluşumu gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu oluşumlarda meydana gelen değişimler, kaplama mikroyapısında yer alan borürler ve demir karbo borürler gibi bileşik yapılarının kaplamadaki miktarına bağlı olarak sürekli çizik, süreksiz çizik, krater gibi oluşumların aşınmış yüzeylerde gözlemlenmesine neden olmuştur. Yüksek borür ve karboborürlere sahip kaplamalar da ince çizik ve krater gibi oluşumlar daha yoğunken, daha düşük oranlarda karbür ve karboborürlere sahip kaplamalarda ise sürekli çizik ve süreksiz çizik gibi oluşumlar daha yoğun olarak yer almaktadır.

Toz içerisindeki artan ferrotitanyum ve ferrobor miktarına bağlı olarak elde edilen sert dolgu kaplamaların 80 mesh su zımparası, 20 N yük, 50 m kayma mesafesi ve 3000devir/dk aşınma hızında yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları **Şekil 83** de ve aşınmış yüzeylerden alınan SEM fotoğrafları **Şekil 84 (a-d)** de verilmektedir.

Yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları incelendiğinde; en fazla aşınma miktarı %5.15 ile % 3 ferrotitanyum ve %2.5 ferrobor toz ile elde edilen kaplama da iken, en az aşınma miktarı % 4.12 ile %12 ferrotitanyumyum ve %10 ferrobor toz ile elde edilen kaplama da elde edilmiştir. Toz bünyesindeki artan ferro alaşım miktarları kompozisyona bağlı olarak ferrit fazı, TiC, Fe_2Ti ve TiB_2 bileşiklerinin oluşmasında etkili olmuştur. Bu fazlardan ferrit çok yumuşak bir faz iken diğer yapılar sert olan bileşiklerdir. Oluşan bu sert bileşiklerin kaplamadaki miktarı arttıkça kaplamaların sertlikleri artmıştır. Dolayısıyla; artan ferrotitanyum ve ferrobor miktarına bağlı olarak artan sertlikler, aşınma direncinin artmasına yani aşınma kayıplarının azalmasına neden olmuştur (Darabara vd., 2008; Farid, 2008; Wang vd., 2006; Buchley vd., 2005; Tjong ve Lau, 2000;).



Şekil 83. Artan miktarlarda ferrotitanyumyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların yüzdesel olarak hesaplanmış aşınma kayıpları.



Şekil 84. Artan miktarlarda ferrotitanyumyum ve ferrobor içeren kaynak tozları ile elde edilen sert dolgu kaplamaların aşınmış yüzey SEM fotoğrafları **a)**%3 FeTi - % 2,5 FeB **b)** %6 FeTi - %5 FeB **c)** %9 FeTi - % 7,5 FeB **d)** %12 FeTi - %10 FeB

Şekil 84 (a-d) deki aşınmış yüzeyler aşınma tipi olarak değerlendirildiğinde; aşınmanın yine mikro kesme (micro-cuttimg) ve mikro kazıma (micro-ploughing) şeklinde gerçekleştiği görülmektedir. Aşınmış yüzeylerin SEM fotoğrafları yüzey karakteristiği açısından incelendiğinde; **Şekil 84(a)** aşınmış yüzeyinde sürekli çizikler ve derinlemesine çizikler yer alırken, **Şekil 84(b,c)** de ise bu oluşumlara ilaveten süreksiz çizikler ve kraterlerde aşınmış yüzeylerde yer almıştır. **Şekil 84(d)** ise çok ince çizik bölgeleri, süreksiz çizikler ve çok küçük krater oluşumları gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu oluşumlarda meydana gelen değişimler, kaplama mikroyapısında yer alan TiC, Fe_2Ti ve TiB_2 bileşik yapılarının kaplamadaki miktarına bağlı olarak sürekli çizik, süreksiz çizik, krater gibi oluşumların aşınmış yüzeylerde gözlemlenmesine neden olmuştur. **Şekil 84(a)** deki aşınmış yüzeylerdeki çizik ve diğer oluşumlarda krater oluşumu gözlenmemiştir. Bu durum kaplamanın sahip olduğu sert fazların miktarının mikroyapıda seyrek olmasıyla ilişkilendirilmiştir. **Şekil 84(b,c)** deki oluşumlarda kraterler, sürekli ve süreksiz çizik bölgeleri yer almaktadır. Bu durum, iki kaplamanın da birbirine çok yakın sertliğe sahip olmaları ile ve her iki kaplamanın da sahip olduğu benzer sert bileşik miktarı ile ilişkilendirilmiştir. **Şekil 84(d)** ise çok küçük boyutlarda krater ve süreksiz çizik bölgeleri daha yoğun olarak görülmektedir. Bu durum ise Fe_2Ti ve TiB_2 bileşiklerinden özellikle TiB_2 nin miktarının artmasıyla ve aşınmaya çok yüksek oranda direnç göstermesiyle ilişkilendirilmiştir.

Genel olarak aşınma test sonuçları değerlendirildiğinde; sert dolgu kaplama amaçlı hazırlanan kaynak tozlarının içerisindeki ferro alaşım miktarının artması ile kaplamaların aşınma dirençleri artmış, aşınma kayıpları azalmış ve aşınma çizgileri sürekli ve derinlemesine çizik görünümünden süreksiz çizik, ince çizik ve krater oyukları görünümünü almıştır. En az aşınma kaybı %16 FeCr ve % 2 FeB içeren toz ile elde edilen kaplamada elde edilirken en fazla aşınma kaybı ise % 3 FeTi ve % 2.5 FeB içeren toz ile elde edilen kaplamada elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1.Genel Sonuçlar

Bu çalışma dahilinde, sert dolgu kaplama amaçlı Elazığ ferrokrom atık cürufu, çeşitli seramik esaslı katışkılar ve ferro alaşımlardan oluşan toplam 16 adet tozaltı kaynak tozu üretilmiştir. Sert dolgu kaplama amaçlı tozlardan birincisi**;** % 4-16 ferrokrom, ikincisi %4-16 ferrokrom, %2 ferrobor, üçüncüsü %3-12 ferroniyobyum, %2.5-10 ferrobor ve dördüncüsü ise %3-12 ferrotitanyum ve %2.5-10 ferrobor oranlarında ferroalaşım içermektedir. Hazırlanan bu tozlar ile düşük karbonlu çelik yüzeylerde sert dolgu kaplama amaçlı kaynak testleri yapılmıştır. Yapılan kaynak testlerinden sonra, sert dolgu kaplama bölgelerinden alınan numenelerden; kimyasal kompozisyon analizleri, mikroyapı tayinleri, sertlik ölçümleri ve aşınma kayıpları hesaplanarak kaynaklı bölgelerin karakterizasyonu yapılmıştır. Bu sonuçlara göre;

1- Sert dolgu kaplama amaçlı üretilen bütün tozların ortalama olarak +300-500 μm tane boyutuna sahip olduğu ve bu kaynak tozlarının içerdiği ferro alaşım miktarının artması ile elde edilen sert dolgu kaplama kaynak dikişlerinin 10.00 mm den 12.00 mm ye kadar genişlediği tespit edilmiştir.

2-Ferrotitanyum ve ferrobor içeren kaynak tozları dışındaki tozların sadece en yüksek miktardaki ferro alaşım yüzdeleri ile yapılan kaynak testlerinde cürufun kaynak metalinden kendiliğinden kalkmasında kısmı zorluklar oluşmuş, diğer kaynak testlerinde cürufun yüzeyden kalkmasında herhangi bir zorluk oluşmamıştır. Ferrotitanyum ve ferrobor içeren kaynak tozları yapılan kaynak testlerinde soy gaz (argon) destekli hibrit tozaltı kaynak metodu kullanılmasına rağmen cüruf yüzeyden kalkmamış ve kaplamaya kısmi oranlarda element geçişi sağlanabilmiştir.

3- Sert dolgu amaçlı üretilen kaynak tozlarıyla elde edilen tüm kaplamaların görsel analizlerinde kaynak kalitesini etkileyen porozite ve çatlak gibi herhangi bir hata içermediği tespit edilmiştir. Ancak, ferrotitanyum ve ferrobor içeren tozlarla elde edilen kaplamalarda istenilen kaynak dikiş kalitesine ulaşılamamıştır.

4- Artan ferrokrom miktarına bağlı olarak üretilen sert dolgu kaplamalarda %1.62-6.55 oranında krom ve %0.73-0.94 oranında karbonun kaplama bölgesine geçtiği, kaplamalarda

istenilen karbür ve martenzit gibi yapıların oluştuğu, 34-46 HRC aralığında sertlikler elde edildiği ve artan krom miktarına bağlı olarak aşınma kayıplarının azaldığı belirlenmiştir.

5- Artan ferrokrom ve sabit orandaki ferrobor miktarına bağlı olarak üretilen sert dolgu kaplamalarda %1.60-6.86 oranında krom %0.88-1.06 oranında karbon ve %0.40-0.45 oranında borun kaplamaya geçtiği, kaplamalarda istenen karbür ve krom borokarbürler gibi borürler oluştuğu, 43-61 HRC aralığında sertlikler elde edildiği ve artan krom ve bor miktarına bağlı olarak aşınma kayıplarının azaldığı belirlenmiştir.

6- Artan ferroniyobyum ve ferrobor miktarına bağlı olarak üretilen sert dolgu kaplamalarda %1.95-5.78 oranında niyobyum ve %0.45-0.96 oranında borun kaplamaya geçtiği, kaplamalarda borürlerin ve karboborürlerin oluştuğu, 41-48 HRC aralığında sertliklerin elde edildiği ve niyobyum ve bor miktarına bağlı olarak aşınma kayıplarının azaldığı belirlenmiştir.

7- Artan ferrotitanyum ve ferrobor miktarına bağlı olarak üretilen sert dolgu kaplamalarda %1.02-1.44 oranında titanyum ve %0.41-0.57 oranında borun kaplamaya geçtiği, kaplamalarda TiB_2 borür yapısının oluştuğu, 34-42 HRC aralığında sertliklerin elde edildiği ve artan titanyum ve bor miktarına bağlı olarak aşınma kayıplarının azaldığı belirlenmiştir.

8- Krom ve krom-bor içeren sert dolgu kaplamalarda matris fazı östenit iken, niyobyum-bor ve titanyum-bor içeren sert dolgu kaplamalarda ise matris fazı ferrittir.

9- Artan ferro alaşım miktarına bağlı olarak elde edilen tüm sert dolgu kaplamalarda hazırlanan toz karışımında bulunan ferro alaşım miktarının artması ile kaplamaya geçen element miktarı artmış, buna bağlı olarak çok sert karbür, borokarbür ve benzeri sert bileşikler artan miktarlarda oluşmuş, sertlikler doğrusal olarak artmış ve aşınma kayıpları da sertliklerle ters orantılı olarak azalmıştır.

10- Üretilen tüm sert dolgu kaplamalar içerisinde en yüksek sertlik %16 FeCr ve %2 FeB içeren kaynak tozu ile elde edilen sert dolgu kaplamadan 61 HRC olarak elde edilmiştir. Tüm kaplamalardaki en düşük sertlik ise, 34 HRC ile % 4 FeCr içeren toz ile elde edilen kaplama ve % 3 FeTi ve %2,5 FeB içeren toz ile elde edilen kaplamadan elde edilmiştir.

11- Üretilen kaynak tozları vasıtasıyla elde edilen sert dolgu kaplamalar ve kaplama analiz sonuçları neticesinde; %50 ve daha fazla oranlarda Elazığ ferrokrom atık cürufu kullanılarak ekonomik tozaltı kaynak tozları üretilmiş, bu tozlara ferrokrom, ferrobor, ferroniyobyum ve ferrotitanyum ferro alaşımları katılarak sağlıklı kaynaklar yapılmasına olanak sağlayabilecek ve ticari olarak değeri olan sert dolgu kaynak tozları elde edilmiştir. Üretilen bu sert dolgu kaynak tozları mevcut piyasadan çok daha ekonomik olarak üretilmesiyle değer kazanmaktadır. Buna ek olarak, mevcut piyasa ve bilimsel literatürde yer almayan krom-bor, niyobyum-bor ve titanyum-bor elementlerini sert dolgu kaplamalarda verebilen sert dolgu tozaltı kaynak tozları da ilk defa bu doktora tezi sayesinde üretilmiştir. Üretilen bu tozların hem mevcut piyasa ve bilimsel literatürde olmaması hem de mevcut piyasadaki toz ve tel elektrotların, üretilen bu tozlar ile kıyas götürmeyecek seviyede pahalı olması ekonomik olarak üretilen bu tozların değer kazanmasında önemli rol oynamaktadır. Öte yandan; krom-bor, niyobyum-bor ve titanyum-bor çiftlerini içeren sert dolgu kaplamalar, mevcut literatür ve piyasa için farklı aşınma uygulamalarında kullanmak üzere önemli alternatif sert dolgu kaynak tozlarını oluşturmaktadır.

5. ÖNERİLER

Doktora tez çalışması dâhilinde; Elazığ ferrokrom atık cürufu, seramik esaslı katışkılar ve ferro alaşımlar kullanılarak üretilen sert dolgu kaplama amaçlı tozaltı kaynak tozları ekonomik olarak üretilmiş ve kaynak gereksinimlerini büyük oranda yerine getirmiştir.

Bu doğrultuda;

1- Artan ferrokrom miktarına bağlı olarak üretilen tozlarla elde edilen sert dolgu kaplama mikroyapılarının matris fazı östenit fazı, sert fazları ise martenzit ve karbür fazlarıdır. Bu tozlarla elde edilen sert dolgu kaplamaların orta derecede sertlik (34-46 HRC) ve aşınma direncine sahip olmaları nedeniyle, bu tozların orta derecede sertlik gerektiren aşınma uygulamalarında kullanılabilirliği önerilmektedir.

2- Artan ferrokrom ve sabit orandaki ferrobor miktarına bağlı olarak üretilen tozlarla elde edilen sert dolgu kaplama mikroyapılarının matris fazı östenit fazı, sert fazları ise karbür ve kromborokarbür fazlarıdır. Bu tozlarla elde edilen sert dolgu kaplama mikroyapı fazlarının homojen dağılım sergilemesi ve kaplamaların yüksek sertlik değerlerine (43-61 HRC) sahip olmaları nedeniyle, bu tozların darbeli ortam aşınma uygulamaları ve çok yüksek sertlik uygulamalarında kullanılabilirliği önerilmektedir.

3- Artan ferroniyobyum ve ferrobor miktarına bağlı olarak üretilen tozlarla elde edilen sert dolgu kaplama mikroyapılarının matris fazı ferrit fazı, sert fazları ise borür ve karboborür fazlarıdır. Bu tozlarla elde edilen kaplamaların orta derecede sertlik (41-48 HRC) ve aşınma direncine sahip olmaları nedeniyle; bu tozların orta derecede sertlik gerektiren aşınma uygulamalarında kullanılabilirliği önerilmektedir.

4- Artan ferrotitanyum ve ferrobor miktarına bağlı olarak üretilen tozlarla elde edilen sert dolgu kaplama mikroyapılarının matris fazı ferrit fazı ve sert fazları ise borür fazlarıdır. Bu tozlarla elde edilen sert dolgu kaplama mikroyapı fazlarının büyük oranda homojen dağılım sergilemesi ve kaplamaların düşük sertlik değerlerine (34-42 HRC) sahip olması nedeniyle, bu tozların yüksek sertlik gerektirmeyen aşınma uygulamalarında ve darbeli ortam aşınma uygulamalarında kullanılabilirliği önerilmektedir.

5- Ferrotitanyum ve ferrobor dışındaki sert dolgu kaplama tozlarının en yüksek ferro alaşım içeren kaplamalarında cüruf kaynak metalinden kısmı olarak kendiliğinden

kalkmamıştır. Bu uygulamalar için farklı kompozisyonlarda yeniden toz karışımları hazırlanarak cürufun kendiliğinden tamamen kalkmasının sağlanabilirliği önerilmektedir.

6- Doktora tezi neticesinde atık bir cüruftan yararlanarak ekonomik sert dolgu kaplama amaçlı tozaltı kaynak tozları üretilmiştir. Kullanılan Elazığ ferrokrom atık cürufuna benzer ya da farklı özellikteki farklı metalürjik atık cürufların da toz bileşiminde kullanılarak ekonomik kaynak tozu üretilebilmesinin mümkün olacağı tahmin edilmektedir. Dolayısıyla; diğer metalürjik işletmelerden alınabilecek atık cüruflarında tozaltı kaynak tozu bünyesinde kullanılabilinirliği önerilmektedir.

7- İyi bilinildiği üzere bor içeren çelikler nükleer santral uygulamalarında kullanılmaktadır. Ferrokrom-ferrobor, ferroniyobyum-ferrobor ve ferrotitanyum-ferrobor içeren tozlarla elde edilen sert dolgu kaplama kompozisyon ve fazları, nükleer uygulamalardaki kompozisyon ve fazlarla karşılaştırıldığında; üretilen bu sert dolgu kaplama kompozisyon ve fazlarının nükleer uygulamalardaki kompozisyon ve fazlarla kısmi olarak benzer özellikler sergilediği tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu tozların nükleer uygulamalarda kullanılabilirliği önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Ada H. (2006)., "Petrol ve Doğalgaz Boru Hatları İçin Üretilen Boruların Tozaltı ve Spiral Kaynak Yöntemiyle Kaynaklanabilirliği ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 14-69

Agarwal A., Dahotre B. (1999). ‘’Laser Surface Engineering of Steel For Hard Refractory Ceramic Composite Coating’’, Int. J. Refrac. Metals. Hard Materials, 17, 283-293.

Alkın İ., (2005). Submerged Arc Welding-SAW.

Anal A., Bandyopadhyay, **T.K., Das K. (**2006). ‘Synthesis and Charecterization of TiB_2-Reinforced Iron-Based Composites’’, J. Mater. Proc. Tehnol., 172, 70-76 .

Anık S., E.S., (1980). **‘’**Kaynak Tekniği’’, Gündoğdu Matbaası, İstanbul**.**

Anık S., Dilicioğlu A., Eryürek B. (1999). İmal Usulleri, Birsen Yayın Evi, İstanbul.

Anık S. (1983).Tozaltı kaynağı, Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Ergör Matbaası, 69-70

Anık S., Vural M. (1991). Gazaltı Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul,300s.

Aran A., (2007). Döküm Teknolojisi İmal Usulleri Ders Notları, İTÜ Makine Mühendisliği, İstanbul.

Ay M. (2003). ‘’Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen Fe-C-Mo-Cr7C3 kompozitinin abrasiv aşınma dayanımının araştırılması’’, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ay İ.; (2015). "Aşınma Hasarları", Balıkesir Üniversitesi Ders Notu

Azimi G., Shamanian M. (2010), Effects of silicon content on the microstructure and corrosion behavior of Fe–Cr–C hardfacing alloys **,** Journal of Alloys and Compounds 09/2010; 505(2):598-603. DOI:10.1016/j.jallcom.2010.06.084

Azimi G.H. (2012).’’ Microstructure and wear properties of Fe-Cr-C and Fe-Cr-Nb-C clads on carbon steel by TIG surfacing process’’, Int. J.Surface Science and Engineering,Vol.6,Nos. ½.

Bain E.C., Paxton H.W.(1966). ‘’Alloying elements in steel, American society for metals park’’, OH.

Berns H., Fischer A. (1987) ‘’Microstructure of Fe-Cr -C-B alloys addition of Nb,Ti and B’’ Metallography, 20:401-429.

Bilici M.K. (2004)."Alaşımsız Dökme Demirlerin Aşınma Özelliği", M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Buchley M.F., Gutierrez, J.C., Leon, L.M., Toro A.(2005).'' The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys'', Wear, 259, 52-61.

Candan İ. (2004). "Çelik boruların MIG-MAG kaynağında kaynak pozisyonunun nüfuziyet mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**,** Ankara, 26-79

Cavcar M. (1998b), ''Hızlı Sert Dolgu Kaynak Yöntemleri'', Oerlikon Yayınları, İstanbul, 33s.

Cavcar M. (1998a). ''Sert Dolgu Rehberi'', *Oerlikon Yayınları,* İstanbul, 31s.

Cavcar M. (1996). "Demir Bazlı Sert Dolgu Malzemelerin Metaluıjik Seçimi", Oerlikon Yayınları**,** İstanbul, 3-6.

Çay V.V., Çelik, H., Gök, M.S. (2004). ''Elektrik ark kaynak yöntemiyle yüzeyi alasımlandırılan AISI 1010 çeliğinin abrasiv asınma Davranışının araştırılması'', Denizli Malzeme Sempozyumu, 101-109s.

Chandel R.S., (2001). ''Hardfacing Consumables and Their Characteristics for Mining and Mineral Processing Industry'', Indian Welding joumal, 33, 26-34.

Chang C.M.,C., Wu W. (2010).''Microstructural and abrasive characteristics of high carbon Fe–Cr–C hardfacing alloy**'',** Tribology International, Volume 43, Issues 5–6, Pages 929–934

Chang C.M., Chen Y.C., Wu W., May–June (2010).''Microstructural and abrasive characteristics of high carbon Fe–Cr–C hardfacing alloy'', Tribology International, Volume 43, Issues 5–6, Pages 929–934

Chichos H. (1977). Tribology Series Elsevier Science Publisher Vol.1

Çimenoğlu H., Kayalı E.S. (1991). ''Kobalt Esaslı Alaşımların Aşınma Özellikleri''
4. Denizli Malzeme Sempozyumu.

Clark W.P. (1981).'' The Development of Thermal Spray Hard Surfacing'', *Welding Journal*, 60, 27-30.

Çöğür T. (2007). ''Toz Alev Spreyleme Yöntemi Kullanılarak Kaplanan Farklı Malzemelerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi'', Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 76s.

Hill D.C., Choi C.L. (1976) ''A Study Of The Submerged Arc Welding Of Titanium, Welding Research Supplement'', page 152-158

Darabara M., Bourithis P. (2006). L., Production of Fe-B-TiB_2 Metal Matrix Composites on Steel Surface, Surf. Coat. Technol., 201, 3518-3523

Darabara M., Bourithis L., Diplas S., Papadimitriou G.D. (2008). "A TiB_2 Metal Matrix Composite Coating Enriched With Nitrogen: Microstructure and Wear Properties", Appl. Surf. Sci., 254, 4144-4149

Davis J.R. (1993). "ASM Handbook: Welding, Brazing and Soldering, Vol.6, ASM International, USA.

Demiral M., (2005). ''C95200 ve C95300 Alüminyum Bronzların Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi'', Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,3-10 .

Duman M.Ş. (1999). ''Kompozit Maizemelerdeki Aşınmanın İncelenmesi, Yüksek Lisans tezi'', Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Emamian A., Stephen F., Corbin K., Amir K. (2011). ''In-Situ Deposition of Metal Matrix Composite in Fe-Ti-C System Using Laser Cladding Process'', Metal, Ceramic and Polymeric Composites for Various Uses, (2011), Dr. John Cuppoletti (Ed.), ISBN: 978-953-307-353-8, InTech

Eroğlu M., Ozdemir N. (2002). ''Tungsten-inert gas surface alloying of a low carbon steel, Surface and Coatings Technology Volume 154, Issues 2–3, Pages 209–217

Farid A. (2008). "Microstruture Evolution and Wear Properties of in Situ Synthesized TiB_2 and TiC Reinforced Steel Matrix Composites", J. Alloys Comp., 459 : 491-497,

Farid A., Guo S., Cui F., Feng P., Lin T. (2007). ''TiB_2 and TiC Stainless Steel Matrix Composites'', Mater. Let., 61: 189-190

Fillion G.L. (1994). Colmonoy 88: A New Development in Nickel-Based Harfacing Alloys, Welding Journal, 73, 33-37.

Gülenç B., Kahraman N. (2003) ''Wear behaviour of bulldozer rollers welded using a submerged arc welding process'' Materials & Design, 24, 537-542.

Gültekin N. (1988). ''Gazaltı ve Tozaltı Yöntemleri İle Dolgu Kaynağı'', Kaynak Bilimi, Oerlikon Yayını, 19s.

Günay İ. (Şubat 1976). ''Tozaltı ark kaynak yöntemi'', Mühendis ve Makina**,** 20(299), 59-64, Ankara.

Gür A.K., Orhan A., Yıldız T., (2009). ''FECrC-B 4 C-Ti Tabakasının Mikroyapı ve Mikrosertliğinin İncelenmesi'', Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(3), 49-58.

Hornung J., Zikin A., Pichelbauer K., Kalin M. **Kirchgaßner M.** (2013) ‘’Influence of cooling speed on the microstructure and wear behaviour of hypereutectic Fe–Cr–C hardfacings**’’** Materials Science and Engineering: A, Volume 576, Pages 243–251

Hou X., Zhao B., Yang J., Xing X., Zhou Y., Yang Y., Yang Q.,(2014).’’Fe0.4 wt.%C–6.5 wt.%Cr hardfacing coating: Microstructures and wear resistance with La_2O_3 additive’’**,** Applied Surface Science Volume 317, Pages 312–318

Kaluç E., Taban E. (2004). **‘’**Plazma Arkı ile Kaynak ve Endüstriyel Uygulamaları’’, Makine Teknolojileri, Sayı 84.

Kaluç E. (2004).**’’**Kaynak Teknolojisi El Kitabı’’. Cilt 1: Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri, Makine Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi, Yayın No: 356, 2004

Kanjilal P., Pal T.K., Majumdar S.K. (2006)’’ Combined effect of flux and welding parameters on chemical composition and mechanical properties of submerged arc weld metal’’, Journal of Materials Processing Technology, 171, pp.223-231.

Karabaşoğlu M. (2008). "Aşınma Deney Cihazı Tasarım ve İmalatı" , Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**,** Sakarya (2008).

Karamış M.K. (1985). ‘’Toprak İşleme Aletlerinde İş Organlarının Aşınmasının Yakıt Güç ve Zaman Gereksinimi Üzerindeki Etkisi’’.

Kayalı E., Eruslu S., Ürgen N., Çimenoğlu M.(1997) ‘’Hasar analizi seminer notları’’ İstanbul.

Ke Y. , Zhi-xi Z., Wang- qin H., Ye-feng B., Yang-Feng J. (2011). ‘’A new type of submerged arc flux cored wired used for hardfacing continous casting rolls’’ Journal of iron and steel research international 18(11), 74-79

Kilinc B., Durmaz Abakay M., Sen U. , Sen S., (2015). ‘’Wear behavior of the surface alloyed AISI 1020 steel with Fe-Nb-B by TIG welding technique’’, AIP Conference Proceedings 1653, 020058 ; doi: 10.1063/1.4914249.

Kılınçer S. (1988). ‘’Düşük Karbonlu Çeliklerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliğinin Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi’’,Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,Ankara.

Kim$_1$ J.T., Hong S.H., Park H.J., Park G.H.,. Suh J.Y, Park J.M. Kim K.B. (2015). ‘Influence of microstructural evolution on mechanical behavior of Fe-Nb-B ultrafine composites with a correlation to elastic modulus and hardness’’, Journal of Alloys and Compounds 2015 (10.1016/j.jallcom.2015.05.246)

Kim$_2$ J.T., Hong S.H., ParkH.J. , Kim Y.S. Park G.Y. Park J.Y. Lee N., Seo Y. ,Park J.M. ,Kim K.B., (2015). ‘’Improving the plasticity and strength of Fe–Nb–B ultrafine eutectic composite’’, Materials and Design 76 190–195

Kirchgaßner M. , Badisch E., Franek F. (2008). ‘’Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact’’, Wear, 265, 772–779

Koga G.Y., Nogueira R.P., Roche V., Yavari A.R.,Melle A.K., Gallegod J., Bolfarini C., Kiminami C.S., Botta W.J. (2014). ‘’Corrosion properties of Fe–Cr–Nb–B amorphous alloys and coatings’’, Surface & Coatings Technology, 254, 238–243

Kotecki D.J., and Ogborn J.S. (1995). J.S., ‘’Abrasion Resistance of Iron-Based Hardfacing Alloys’’, *Welding Journal*, 74, 269-278,

Külahlı E. (1988). Kaynak Bilimi, Oerlikon Yayını, Sayı-2

Larsen J.A (1990). Ser. Met. Et. Meterial. vol 24

Lee L.F. (1972. Hot-wire methods of surfacingand submerged-arc welding, Metal Construction and British Welding Journal, 408-411.

Lin H., Ying L., Jun L., Binghong L.(2014) ‘’Microstructure and Mechanical Properties for TIG Welding Joint of High Boron Fe-Ti-B Alloy’’, Rare Metal Materials and Engineering, Volume 43, Issue 2, Pages 283–286

Lu S.P. ,Kwon O.Y., Kim T.B., Kim K.H. (2004) ‘’Microstructure and wear property of Fe–Mn–Cr–Mo–V alloy cladding by submerged arc welding’’, Journal of Materials Processing Technology Volume 147, Issue 2, Pages 191–196

Ma A., M. Diaz,P.E, Hirata,M.P. (2003). ‘’Chemical and structural characterization of the crystalline phases in agglomerated fluxes for submerged-arc welding’’, Journal of Materials Processing Technology,141,93-100.

Maraşlı L. (1977). Tozaltı kaynak tekniği, Mühendis ve Makina**,** 21 (241), 71-75, Ankara.

Menon R. (1996). New Developments in Hardfacing Alloys, *Welding Journal*, 75, 43-49.

Mercado A.M.P., Lopez V.M., Rosales J.D., Diaz P.E., Valdez E.D. (2009). Effect of TiO_2-containing fluxes on the mechanical properties and microstructure in submerged-arc weld steels, Materials Characterization, 60, 1, 36-39.

Mertes A., (1995), Bronze: The Other Surfacing Material, *Welding Journal*, 74, 39-42.

Miller Electric MFG. CO. (1982) The Handbook Of SAW, Rev. 11/85

Muratoğlu M.(1997)'' SiC Katkılı 2124 Al Kompoziti ve Yaşlandırılmış Kompozitin Aşınma Davranışının Araştırılması'' Doktor Tezi, ELAZIĞ

Oates R., Saitta M.A, (2000), A.M., Welding Handbook, Volume 4 -Materials and Applications, Miami, FL, 33126, American Welding Society.

Oğuz B., (1989), Ark Kaynağı-Elektrocüruf Kaynağı, Oerlikon Yayınları, İstanbul, 15s.

Oğuz B., (1990**),** Demir Dişi Metallerin Kaynağı**,** Oerlikon Yayınları, , İstanbul.

Oğuz B., (1993), Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları, Oerlikon Yayınları,İstanbul, 24s.

Özakın N., (2010). "AH ve DH kalite gemi saclarının değişik kaynak yöntemleri ve kaynak pozisyonlarındaki mekanik özelliklerinin ve mikroyapılarının iredelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 55-78

Ozan S., (2010), Sert Dolgu Kaynağında Dolgu Alaşım Elementlerinin Aşınma Direnci, Mikroyapı Ve Seyrelme Miktarları Üzerine Etkisi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).

Özgöktuğ T., Tülbentçi K., Anık S., (1976), Kaynak Teknolojisi, Eğitim Yayınları**,** İstanbul

Özsaraç U., (1999).Endüstriyel Yatak Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**,** 16-17

Özsaraç U., (2005) ''Raylı Taşıtlarda Teker Bandajı-Ray Sisteminde Dolgu Kaynağı ve Sabo Parçaların Aşınma ve Yorulma Davranışlarının İncelenmesi'' Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 218s.

Patent-1 United States Patent Application Publication, (2013), System And Method For Submerged Arc Welding, USA 2013, Patent, 0256276 A1

Rossi E. (1954), Welding Engineering. McGraw-Hill Book Company, New York,s. 138-159.

Sağbaş B., (2007) **''**Bakım ve Onarım Amaçlı Dolgu Kaynağının Plastik Enjeksiyon ve Seramik Kalıpçılığındaki Uygulamaları'' Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 166s**.**

Savaşkan T. (2009), Malzeme Bilgisi Ve Muayenesi, Genişletilmiş 5.Baskı Trabzon.

Singh B., Khan Z.A., Siddiquee A.N. (2013) ''Review on effect offlux composition on its behavior and bead geometry in submerged arc welding (SAW), Journal of Mechanical Engineering Research, Vol. 5(7), pp.12-12.

Singh K. and Pandey S., (2009), ''Recycling of slag to act as a flux in submerged arc welding, Resources, Conservation and Recycling, 53, 552-558.

Snyder J.P. Pense A.W., (1982), ‘’The Effects Of Titanium On Submerged Arc Weld Metal’’, Welding Research Supplement, July 1982 page 201-211

Soydan Y., Ulakan L., (2003). Triboloji,Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Merkezi Teknolojik Yayınlar Serisi**,** 1: 35-40

Stanley M., (1994), Hardfacing Extends the Life of Still Mill Continuous Caster, Welding Journal, 73, 53-56.

Su Y.L., Chen K.Y., (1999), ‘’ The Influence of Niobium, Chromium, Molybdenum and Charbon on Sliding Wear Behavior of Nickel Based Hardfacing Alloys’’ *Wear*, 209, 160-170.

Sui S.H., Cai W.W., Liu Z.G., Song T.G., Zhang A., (2006), ‘’Effect of Submerged Arc Welding Flux Component on Softening Temperature’’ Journal of Iron and Steel Research, International, 13, 65-68,

Tjong S.C., Lau K.C., (2000), “Abrasion Resistance of Stainless-Steel Composites Reinforced With Hard TiB_2 Particles” Compos. Sci. Technol., 60, 1141-1146.

Tülbentçi K., (1990), MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul, 202s.

Tusek J., Suban M., (2003) ‘’High-productivity multiple-wire submerged-arc welding and cladding with metal-powder addition’’ Journal of Materials Processing Technology, 133, 207-213.

Uzuner H., (2001), Polimerlerin Sürtünme ve Aşınma Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**,** Sakarya

Veinthal R.’’, Sergejev F., Zikin A., Tarbe R., Hornung J., (2013) ‘’Abrasive impact wear and surface fatigue wear behaviour of Fe–Cr–C PTA overlays’’, WearVolume 301, Issues 1–2, April–May 2013, Pages 102–108 Wear of Materials

Wang Q. Xiaoyan L. (2010) ‘ ‘Effects of Nb, V, and W on Microstructureand Abrasion Resistance of Fe-Cr-C Hardfacing Alloys’ ,Supplement to the welding journal, Welding Journal Page, 133-139

Wang H.Y., Jiang Ma, B.X., Wang Y., Zhao F.,(2005) “Reactive Infiltration Synthesis of TiB_2-TiC Particles Reinforced Steel Matrix Composites”, J. Alloys Compd., 391, 55-59.

Wang Y., Zhang H.Y., Wang B.X., Ma Q.C., (2006) “Effect of Fe-Ti-B System on Fabricating TiB_2 Particulate Locally Reinforced Steel Matrix Composites”, Mater. Sci. Eng., 422, 339-345.

Wang Y., Zhang H.Y., Wang B.X., Ma Q.C., (2006) "Effect of Fe-Ti-B System on Fabricating TiB_2 Particulate Locally Reinforced Steel Matrix Composites", Mater. Sci. Eng., 422, 339-345.

Wu J.B.C., Redman E., , (1994), Hardfacing with Cobalt and Nickel Alloys, *Welding Journal*, 73, 63-68.

Xibao W., Xiaofeng W., Zhongquan S., 2005, ''The composite Fe–Ti–B–C Coatings by PTA powder surfacing process'' Surface & Coatings Technology, 192 , 257– 262

Xibao W., Yong L., Songlan Y., (2001), Formation of TiB whiskers in laser clad Fe-Ti-B coatings, Surface and Coatings Technology, (137), 209-216

Yang J.H. and Wang,**X.B.,** (1995), X.B., K/Na-Treated Fe-Cr-C Hardfacing Alloys With High Impact Abrasion Resistance, *Welding Journal*, 74, 103-107.

Yavuz, N., Özcan R. ve Polat F.G.,(2005), "Tozaltı kaynak bağlantısının sonlu elemanlar yöntemi ile termal ve mekanik analizi", **Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,** Bursa 10 (2): 12-13.

Yıldırım M.M., (1999), Yüzey Mühendisliği I-II, Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Ders Notları.

Yıldız T., Koç A., Gür A.K., (2007), ''AISI 4142 Çeliğinin Elektrik Ark Kaynağı ile Yüzey Modifikasyonu Sonrası Aşınma Davranışının İncelenmesi'' Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bil. Dergisi, 19(3), 417-423s.

Yıldızlı K., Eroglu M. , Karamış M.B., (2007), ''Microstructure and erosive wear behavior of weld deposits of high manganese electrode'' Surface and Coatings Technology 201 - 7166-7173.

Yüksel N., Şahin S., (2014), ''Wear behavior–hardness–microstructure relation of Fe–Cr–C and Fe–Cr–C–B based hardfacing alloys'' Materials & Design,Volume 58, Pages 491–498

Zahiri R.' **Sundaramoorthy R., Lysz P. , Subramanian C.,** (2014) ''Hardfacing using ferro-alloy powder mixtures by submerged arc welding'' The 41st International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, Surface and Coatings Technology, Volume 260, Pages 220–229

Zhou Y.F., . Yang Y.L, Jiang Y.W., Yang J., Ren X.J., Yang Q.X, (2012),''Fe–24 wt.%Cr–4.1 wt.%C hardfacing alloy: Microstructure and carbide refinement mechanisms with ceria additive'' Materials Characterization, Volume 72, Pages 77–86

Ziemnicka-Sylwester M. ,Gai L., Miura S., (2015), Effect of (Ti:B) atomic ratio on mechanical properties of TiB_2–Fe composites ''in situ'' fabricated via Self-propagating High-temperatureSynthesis, Materials and Design, 69 1–11

URL-1 www.askaynak.com.tr,Tozaltı kaynak toz ve elektrotları, (30 Haziran 2015)

URL-2 www.gedikkaynak.com.tr Tozaltı kaynak toz ve elektrotları, (30 Haziran 2015)

URL-3 www.oerlikon.com.tr Tozaltı kaynak toz ve elektrotları ,(30 Haziran 2015)

URL-4 http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/welding-of-titanium-and-its-alloys-part-1-109/, (30 Haziran 2015)

ÖZGEÇMİŞ

MUSTAFA KAPTANOĞLU 1981 yılında Kahramanmaraş'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kahramanmaraş'ta tamamladı. 2002 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğini kazandı ve lisans eğitimine 4 yıl süreyle devam etti. 2006 yılında lisans eğitimini tamamladı. Mezuniyetin ardından Kahramanmaraş Gemciler Güven Metal A.Ş.'de dökümhane şefi olarak 5 ay süreyle çalıştı. 2007 yılında Lüleburgaz'da kısa dönem er olarak askerliğini tamamladı. Askerliğini tamamladıktan sonra Eylül 2008'de Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Malzeme Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Şubat 2009 da Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Malzeme Anabilim dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaya hak kazandı. 2011 yılında Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Malzeme Anabilim Dalında yüksek lisansını tamamladı. Yüksek lisans eğitiminin ardından 2011 yılında Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Malzeme Anabilim Dalında doktora eğitimine başladı. 2014 yılında doktora tez çalışmasına katkı sağlamak amacıyla LLP-ERASMUS kapsamında 3 ay süreyle Çek Cumhuriyeti Plzen de çalışmalarına devam etti. Halen Fırat üniversitesinde doktora eğitimini yapmakta ve araştırma görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

MUSTAFA KAPTANOĞLU