

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

**ARK SPREY TEKNOLOJİSİ YARDIMIYLA  
ÜRETİLEN KROM İÇERİKLİ KAPLAMALARIN  
KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Met. Ve Malz. Müh. İbrahim Yalçın ŞEKER**

**Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Fatih ÜSTEL**

**Haziran 2009**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

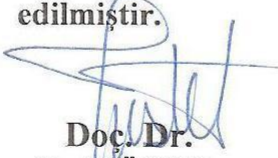
**ARK SPREY TEKNOLOJİSİ YARDIMIYLA  
ÜRETİLEN KROM İÇERİKLİ KAPLAMALARIN  
KARAKTERİZASYONU**

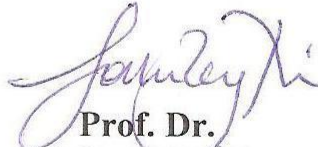
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

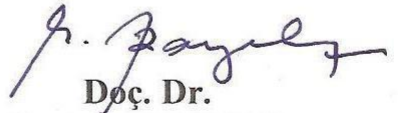
**Met. Ve Malz. Müh. İbrahim Yalçın ŞEKER**

**Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.**

Bu tez 19 / 06 / 2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Doç. Dr.  
Fatih ÜSTEL  
Jüri Başkanı

  
Prof. Dr.  
Sakin ZEYİN  
Üye

  
Doç. Dr.  
Ramazan KAYIKÇI  
Üye

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin tamamlanması ve yönetilmesini sağlayan saygıdeğer hocam Doç.Dr. Fatih ÜSTEL'e ve tezimin işleyişi sırasında yönlendirmelerinden dolayı hocam Doç.Dr. Ahmet TÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımın gerçekleştirilmesinde çok büyük yardımını gördüğüm arkadaşım Taner TERZİ'ye, yine laboratuarda elinden geleni yapan Teknisyen Ebubekir CEBECİ'ye ve mühendis arkadaşlara, elektrik ark püskürtme ile ilgili bildiklerini benimle paylaşan ve fikir alışverişlerinden çok şey öğrendiğim arkadaşlarım Ahmet GÜLEÇ ve Özgür CEVHER'e, test düzeneğinin hazırlanmasında büyük emek veren Teknisyen Metin GÜNAY'a teşekkür ederim.

Termal püskürtme konusuyla tanışmamı ve çalıştığım süre boyunca bu konuyla ilgili birçok bilgiyi öğrenmemi sağlayan sayın Turgut HALAMOĞLU, Gürkal BOZOVA ve SENKRON METAL VE SERAMİK KAPLAMA çalışanlarına teşekkür ediyorum.

Tezimi bitirmemde ellerindeki imkânları benim için sonuna kadar kullanan arkadaşım ve değerli dostum Benan PASTACI ve babası Kenan PASTACI ile yakın aile dostlarıma yine teşekkür etmek istiyorum.

Son olarak en büyük teşekkürü maddi ve manevi her konuda desteklerini gördüğüm aileme göndermek istiyorum.

İbrahim Yalçın ŞEKER

## İÇİNDEKİLER

|   |      |
|---|------|
| TEŞEKKÜR.....                                       | ii   |
| İÇİNDEKİLER .....                                   | iii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....                | vi   |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                              | vii  |
| TABLolar LİSTESİ.....                               | xiv  |
| ÖZET.....   | xvi  |
| SUMMARY.....  | xvii |
| BÖLÜM 1.  |      |
| GİRİŞ.....  | 1    |
| BÖLÜM 2.  |      |
| TERMAL PÜSKÜRTME KAPLAMALAR.....                    | 3    |
| 2.1. Giriş.....                                     | 3    |
| 2.2. Termal Püskürtme Kaplamaların Tarihçesi.....   | 4    |
| 2.3. Termal Püskürtme Kaplama Yöntemleri.....       | 5    |
| 2.3.1. Alev püskürtme yöntemi.....                  | 6    |
| 2.3.2. Elektrik ark püskürtme yöntemi.....          | 6    |
| 2.3.3. Plazma spre y öntemi.....                    | 8    |
| 2.3.4. Yüksek hızlı oks i-yakıt yöntemi.....        | 8    |
| 2.3.5. RW (Dödürerek Ergitme) yöntemi.....          | 9    |
| 2.4. Termal Püskürtme Kaplamaların Mikroyapısı..... | 10   |
| BÖLÜM 3.  |      |
| ELEKTRİK ARK PÜSKÜRTME TEKNOLOJİSİ.....             | 12   |
| 3.1. Giriş.....                                     | 12   |

|  |    |
|--|----|
| 3.2. Elektrik Ark Püskürtme Teknolojisi.....                   | 12 |
| 3.3. Elektrik Arkının Karakteristik Özelliği.....              | 15 |
| 3.4. Elektrik Ark Püskürtme Kaplama Malzemeleri.....           | 20 |
| 3.5. Elektrik Ark Püskürtme Malzemeleri Kullanım Alanları..... | 23 |
| 3.5.1. Al ve alaşımları.....                                   | 23 |
| 3.5.2. Zn ve alaşımları.....                                   | 24 |
| 3.5.3. Ni ve alaşımları.....                                   | 25 |
| 3.6. Gelişen Elektrik Ark Püskürtme Teknolojisi.....           | 25 |
| 3.6.1. İki farklı tel kaplama.....                             | 25 |
| 3.6.2. Şekilli parça üretimi.....                              | 31 |
| 3.6.3. HVAS (Yüksek Hızlı Ark Püskürtme).....                  | 32 |
| <br>   |    |
| BÖLÜM 4.   |    |
| ELEKTRİK ARK PÜSKÜRTMEDE KAPLAMALARA ETKİ EDEN                 |    |
| FAKTÖRLER.....   | 36 |
| 4.1. Giriş.....  | 36 |
| 4.2. Püskürtme Mesafesinin Etkisi.....                         | 36 |
| 4.3. Püskürtme Gaz Cinsinin Etkisi.....                        | 37 |
| 4.4. Püskürtme Gaz Basıncının Etkisi.....                      | 46 |
| 4.5. Nozul Ve İkincil Gaz Basıncının Etkisi.....               | 50 |
| 4.6. Amper Ve Voltajın Etkisi.....                             | 58 |
| 4.7. Altlık Sıcaklığının Etkisi.....                           | 62 |
| <br>   |    |
| BÖLÜM 5.   |    |
| DENEYSEL ÇALIŞMA.....  |    |
| 5.1. Deneyin Amacı Ve İşleyişi.....                            | 67 |
| 5.2. Kullanılan Kaplama Malzemeleri.....                       | 68 |
| 5.2.1. Altlık malzemesi.....                                   | 68 |
| 5.2.2. Kaplama teli.....                                       | 68 |
| 5.3. İncelenen Özellikler.....                                 | 69 |
| 5.4. Deneyde Kullanılan Cihazlar.....                          | 69 |
| 5.4.1. Kuşlama cihazı.....                                     | 69 |
| 5.4.2. Elektrik ark püskürtme cihazı.....                      | 70 |

|  |            |
|--|------------|
| 5.4.3. Kesme makinesi.....   | 70         |
| 5.4.4. Bakalite alma cihazı.....                                     | 70         |
| 5.4.5. Otomatik parlatma.....  | 70         |
| 5.4.6. Optik mikroskop.....  | 71         |
| 5.4.7. Mikro sertlik cihazı.....                                     | 71         |
| 5.4.8. Taramalı elektron mikroskobu.....                             | 72         |
| 5.5. Kaplamaların Üretilmesi.....                                    | 72         |
| 5.5.1. Altlık yüzeyinin hazırlanması.....                            | 72         |
| 5.5.2. Kaplama uygulaması.....                                       | 72         |
| 5.6. Üretilen Kaplamaların Parametre Değişimleri.....                | 74         |
| 5.6.1. Amper/voltaj değişiminin etkisi.....                          | 74         |
| 5.6.2. Atomize gaz basıncı değişiminin etkisi.....                   | 74         |
| 5.6.3. Atomize gaz türünün değişiminin etkisi.....                   | 75         |
| 5.6.4. Nozul değişiminin etkisi.....                                 | 76         |
| <br>   |            |
| <b>BÖLÜM 6.</b>  |            |
| <b>DENEYSEL SONUÇLAR.....</b>  | <b>79</b>  |
| 6.1. Amper / Voltaj Değişimlerinin Kaplama Özelliklerine Etkisi..... | 79         |
| 6.2. Atomize Gaz Basıncının Kaplama Özelliklerine Etkisi.....        | 92         |
| 6.3. Atomize Gaz Türünün Kaplama Özelliklerine Etkisi.....           | 96         |
| 6.4. Nozul Değişiminin Kaplama Özelliklerine Etkisi.....             | 104        |
| 6.5. 3 Nokta Eğme Testi.....   | 108        |
| <br>   |            |
| <b>BÖLÜM 7.</b>  |            |
| <b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>                                     | <b>110</b> |
| 7.1. Sonuçlar.....   | 110        |
| 7.2. Öneriler.....   | 111        |
| <br>   |            |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>   | <b>113</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>   | <b>116</b> |

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

|                 |  |
|-----------------|--|
| EAP             | : Elektrik ark püskürtme               |
| AP              | : Atmosferik plazma püskürtme          |
| RW              | : Döndürerek ergitme                   |
| HVOF            | : Yüksek hızlı oksiyakit püskürtme     |
| HVAS            | : Yüksek hızlı ark püskürtme           |
| E               | : Elastik modülü (GN/ m <sup>2</sup> ) |
| C/CL            | : Kapalı birleşen nozul                |
| CD/OP           | : Açık birleşip ayrılan nozul          |
| CD/CL           | : Kapalı birleşip ayrılan nozul        |
| SEM             | : Taramalı elektron mikroskobu         |
| N <sub>2</sub>  | : Azot                                 |
| CO <sub>2</sub> | : Karbondioksit                        |
| MPa             | : Megapaskal                           |
| GPa             | : Gigapaskal                           |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 2.1.  | Dr. Schoop ilk defa elektrik operasyon aletleriyle deneysel bir çalışma yaparken.....   | 4  |
| Şekil 2.2.  | Başlıca proses şekilleri ve termal püskürtme kaplamaların genel görünümü .....  | 5  |
| Şekil 2.3.  | Alevle toz püskürtme yöntemi.....   | 6  |
| Şekil 2.4.  | Elektrik ark püskürtme yöntemi.....   | 7  |
| Şekil 2.5.  | Plazma püskürtme yöntemi.....   | 8  |
| Şekil 2.6.  | Yüksek hızlı oksî-yakıt yöntemi (HVOF).....   | 9  |
| Şekil 2.7.  | Kaplama sonrası parçanın ergitilme işlemi (RW).....   | 10 |
| Şekil 2.8.  | a) Çarpma etkisiyle partikülün levha şeklini alması b) Kaplama mikroyapısı.....   | 11 |
| Şekil 3.1.  | Elektrik ark püskürtme prosesi.....   | 13 |
| Şekil 3.2.  | Elektrik ark sistem bileşenleri.....  | 14 |
| Şekil 3.3.  | Katot ve anot arasında oluşan ark sütunu.....   | 15 |
| Şekil 3.4.  | Lineer bir arkın bölgelerinin şematik olarak gösterimi.....   | 17 |
| Şekil 3.5.  | Yayılan ve büzölmüş anot ve katot bileşenleri. Üst tel katot, alt tel anot a) Ark tamamen genişlemiş ve genişlemiş anot kabuğuna doğru yayılmış, b) Anotta yayılan bileşen telin ucundan anot kabuğuna doğru ilerlemiş..... | 18 |
| Şekil 3.6   | Anottan kopan parçacıklar ağza doğru gidiyor.....   | 19 |
| Şekil 3.7.  | Katottan püskürme ile dışarı fırlayan partiküller.....  | 19 |
| Şekil 3.8.  | Atomize jet akımındaki değişiklikler.....   | 20 |
| Şekil 3.9.  | Özölü tel yapımı.....   | 22 |
| Şekil 3.10. | Deneyde kullanılan nozul tipleri a) C/CL, standart Tafa 9000 kapalı - birleşen nozul b) CD/OP, açık – birleşip ayrılan nozul c) CD/CL, kapalı – birleşip ayrılan nozul.....   | 26 |



|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Şekil 3.11. | C/CL, standart Tafa 9000 kapalı - birleşen nozulda tellerin anot-katot olarak kullanımının partikül çapına etkisi.....   | 27 |
| Şekil 3.12. | CD/CL ve CD/OP nozullarının bakır katot olarak kullanıldığında partikül çaplarına etkisi.....  | 27 |
| Şekil 3.13. | C/CL nozulda bakırın anot-katot olarak kullanımında partikül boyut dağılımı.....   | 28 |
| Şekil 3.14  | C/CL nozulda çelik katot olarak kullanıldığında partikül çapına etkisi.....  | 28 |
| Şekil 3.15. | Farklı nozul konfigürasyonu ve atomize gaz basıncında ortalama partikül boyut dağılımı (püskürtme mesafesi 300 mm); grup 1- C/CL nozul, 0,28/0,28 MPa; grup 2- C/CL nozul, 0,28/0,28 MPa; grup 3- C/CL nozul, 0,46/0,49 MPa; grup 4-C/CL nozul, 0,46/0,49; grup 5- CD/CL nozul, 0,32/0,32 MPa; grup 6- CD/OP nozul, 0,32/0,32 MPa.....   | 29 |
| Şekil 3.16  | Farklı nozullarla değişik akımlarda porozite miktarları.....   | 29 |
| Şekil 3.17. | Farklı nozullarla kaplama yapıları.....  | 30 |
| Şekil 3.18. | 30 V ve 200 mm mesafede farklı akım ve nozularda oksit içeriği..   | 30 |
| Şekil 3.19. | a) CD/OP nozulda atomize gaz basıncı ve partikül hızının simetrik aksisi (jetin merkez çizgisinde) I-partikül çapı ortalama 10µm, II- ortalama partikül çapı 51,7 µm, III- ortalama partikül çapı 70 µm (gaz akım hızı 140 m <sup>3</sup> /s) b) ) CD/CL nozulda atomize gaz basıncı ve partikül hızının simetrik aksisi (jetin merkez çizgisinde) I-partikül çapı ortalama 10µm, II- ortalama partikül çapı 34,5 µm, III- ortalama partikül çapı 70 µm (gaz akım hızı 140 m <sup>3</sup> /s)..... | 31 |
| Şekil 3.20. | HVAS ve AS aşınma seviyeleri.....  | 34 |
| Şekil 4.1.  | Gaz atım hızı ve oksit birikim yüzdesi grafiği, kullanılan güç değerleriyle beraber verilmiştir.....   | 38 |
| Şekil 4.2.  | Kaplamalardaki oksit birikiminin farklı gaz basınçlarında ve değişik atomize gaz türünde karşılaştırılması (Güç 3100 W).....   | 39 |
| Şekil 4.3.  | a) Her iki gaz içinde sertlik ve oksit birikim yüzdesi grafiği b) GDS değeriyle kaplamadaki karbon yüzdesi (güç 3100 W).....   | 39 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 4.4.  | Azotun akış hızı ve oksit birikimine göre young modülü grafiği.....   | 40 |
| Şekil 4.5.  | Young modülü – gaz atım hızı grafiği.....   | 40 |
| Şekil 4.6.  | Üç gaz akış hızlarında partikül çapları ve hız arasındaki ilişki...   | 42 |
| Şekil 4.7.  | Üç farklı gaz akış hızı için partikül çapları ve sıcaklık arasındaki ilişki.....  | 42 |
| Şekil 4.8.  | a) Gaz akım hızına karşısında partikül hızlarının yayılımı b) Gaz akım hızına göre partikül çaplarının yayılımı.....  | 43 |
| Şekil 4.9.  | Uçan partiküllerde ayrılma olayının şematik olarak tarif edilmesi.  | 43 |
| Şekil 4.10. | Aynı tür kaplamalar için iki farklı gaz hızında elde edilen kaplama mikro yapıları.....   | 44 |
| Şekil 4.11. | Gaz akım hızı karşısında oksit içeriği.....   | 45 |
| Şekil 4.12. | Gaz besleme oranına karşın sertliklerin yayılımı.....   | 46 |
| Şekil 4.13. | Atomize gaz olarak hava kullanıldığında kaplama yapısı a) Düşük hızda $94 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$ b) Orta hızda $110 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$ c) Yüksek hızda $144 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$ .....   | 47 |
| Şekil 4.14. | a) Hava atomizasyonunun düşük gaz atım hızındaki partikül görünümü; ortalama çap $760 \mu\text{m}$ (güç $3100 \text{ W}$ , hava atım hızı $94 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$ ) b) Hava atomizasyonunun yüksek gaz atım hızındaki partikül görünümü; ortalama çap $122 \mu\text{m}$ (güç $3100 \text{ W}$ , hava atım hızı $144 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$ ) ..... | 47 |
| Şekil 4.15. | Püskürtme hızının mikrosertlik ve oksit içeriğine etkisi.....   | 48 |
| Şekil 4.16. | Püskürtme hızının porozite içeriğine etkisi.....  | 48 |
| Şekil 4.17. | Tel boşanımı esnasında anot ve katotta ergime davranışı.....  | 49 |
| Şekil 4.18. | Al partikül boyut dağılımı a) Gaz basıncı $0,31 \text{ MPa}$ b) Gaz basıncı $0,45 \text{ MPa}$ c) Gaz basıncı $0,59 \text{ MPa}$ .....  | 50 |
| Şekil 4.19. | Elektrik ark püskürtmede kullanılan bazı nozul tipleri.....   | 51 |
| Şekil 4.20. | Değişik nozullarda gaz akış şekli a) düz standart nozul b) CD nozul.....  | 52 |
| Şekil 4.21. | İki farklı nozul tipi için partikül boyut dağılımı a) Standart nozul b) CD nozul.....   | 53 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 4.22. | Hava şapkasının partikül çaplarına etkisi a) Örtülü olamayan b) Örtülü.....   | 54 |
| Şekil 4.23. | Elektrik ark püskürtmede sisteminde hava, azot ve CO <sub>2</sub> püskürtülmüş paslanmaz telin kaplamadaki Cr içeriği.....  | 55 |
| Şekil 4.24. | Değişik uygulamalarla üretilmiş kaplamaların oksit içeriği.....   | 56 |
| Şekil 4.25. | a) Birincil gaz b) Birincil / İkincil gaz.....  | 57 |
| Şekil 4.26. | Atomize gaz basıncı ile partikül hızları arasındaki ilişki.....   | 58 |
| Şekil 4.27. | Farklı voltaj ve akım ile partikül sıcaklığı ilişkisi.....  | 59 |
| Şekil 4.28. | Farklı voltajlarda, atomize gaz basıncıyla partikül sıcaklığı ilişkisi.....   | 59 |
| Şekil 4.29. | 24 V ve 0,2 MPa operasyon parametrelerinde ark huzmesi; sol taraf 100 A, sağ taraf 200 A.....   | 60 |
| Şekil 4.30. | Tel besleme ve dalgalanmanın periyodik hareketi.....  | 60 |
| Şekil 4.31. | Voltajın pürüzlülük ile ilişkisi.....   | 61 |
| Şekil 4.32. | Elektrik ark püskürtme ile 200 A ve 0,4 MPa'da üretilen kaplama mikroyapıları.....  | 62 |
| Şekil 4.33. | 25 – 300 °C sıcaklıklarda paslanmaz çelik üzerine Al kaplamanın sflat formasyonları.....  | 64 |
| Şekil 4.34. | Altlık sıcaklığı ile % verim ilişkisi.....  | 65 |
| Şekil 4.35. | Altlık sıcaklığı ile yapışma mukavemeti ilişkisi.....   | 65 |
| Şekil 5.1.  | Elektirik ark püskürtme cihazı.....   | 70 |
| Şekil 5.2.  | Optik mikroskop resmi.....  | 71 |
| Şekil 5.3.  | Kaplama uygulaması.....   | 73 |
| Şekil 5.4.  | FAN nozulun önden ve yandan görünüşü.....   | 76 |
| Şekil 5.5.  | FOCUS nozulun önden ve yandan görünüşü.....   | 77 |
| Şekil 5.6.  | Fine nozulun önden ve yandan görünüşü.....  | 77 |
| Şekil 5.7.  | HV nozulun önden ve yandan görünüşü.....  | 77 |
| Şekil 6.1.  | Elektrik ark püskürtme sistemiyle üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamanın 2,4 bar atomize gaz basıncında , 14 cm püskürtme mesafesinde mikroyapıları a) 200 A b) 250 A c) 300 A d) 350 A.. | 80 |
| Şekil 6.2.  | 2,4 bar basınçta üretilen kaplamalardan örnek SEM resimleri a) 200 A 100x b) 200 A 1000x c-d) 250 A 100x e-f) 250 A 1000x...  | 82 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Şekil 6.3.  | 200 A ve 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen kaplamaların örnek EDS analizleri.....  | 83 |
| Şekil 6.4.  | 250 A ve 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen kaplamaların örnek EDS analizleri.....  | 83 |
| Şekil 6.5.  | Elektrik ark püskürtme sistemiyle 2,4 bar atomize gaz basıncında ve 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin, mikro sertlik ve oksit üzerine etkisi.....        | 84 |
| Şekil 6.6.  | Elektrik ark püskürtme sistemiyle 2,4 bar atomize gaz basıncında ve 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin porozite üzerine etkisi ...                        | 85 |
| Şekil 6.7.  | 200 A, 2,4 bar atomize gaz basınçta üretilen numunelerin örnek imaj analiz resimleri a)Oksit b) Porozite.....  | 85 |
| Şekil 6.8.  | Elektrik ark püskürtme sistemiyle üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamanın 4 bar atomize gaz basıncında , 14 cm püskürtme mesafesinde mikroyapıları a) 200 A b) 250 A c) 300 A d) 350 A..                              | 87 |
| Şekil 6.9.  | 4 bar basınçta üretilen kaplamalardan örnek SEM resimleri a) 300 A 100x b) 300 A 1000x.....  | 88 |
| Şekil 6.10. | 300 A ve 4 bar atomize gaz basıncında üretilen kaplamaların örnek EDS analizleri.....  | 89 |
| Şekil 6.11. | Elektrik ark püskürtme sistemiyle 4 bar atomize gaz basıncında ve 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin, mikro sertlik ve oksit üzerine etkisi.....          | 90 |
| Şekil 6.12. | Elektrik ark püskürtme sistemiyle 4 bar atomize gaz basıncında ve 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin porozite üzerine etkisi ...                          | 91 |
| Şekil 6.13. | 200 A, 4 bar atomize gaz basınçta üretilen numunelerin örnek imaj analiz resimleri a)Oksit b) Porozite.....  | 91 |
| Şekil 6.14. | Elektrik ark püskürtme sistemiyle üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamanın iki farklı atomize gaz basıncında, 250 A / 29 V uygulama parametresi ve 14 cm püskürtme mesafesinde mikroyapıları a) 2,4 bar b) 4 bar ..... | 92 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 6.15. | Elektrik ark püskürtme sistemiyle iki farklı atomize gaz basıncı kullanılarak 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların, amper değişiminin mikro sertlik üzerine etkisi .....  | 93 |
| Şekil 6.16. | Elektrik ark püskürtme sistemiyle iki farklı atomize gaz basıncı kullanılarak 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların, amper değişiminin oksit içeriği üzerine etkisi .....  | 94 |
| Şekil 6.17. | Elektrik ark püskürtme sistemiyle iki farklı atomize gaz basıncı kullanılarak 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların, amper değişiminin porozite üzerine etkisi.....  | 95 |
| Şekil 6.18. | Elektrik ark püskürtme ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamanın farklı atomize gaz türlerinde ve mesafelerdeki mikroyapıları a) 14 cm püskürtme mesafesinde 4 bar atomize gaz basıncında argon atomizasyonu b) 25 cm püskürtme mesafesinde 4 bar atomize gaz basıncında argon atomizasyonu c) 14 cm püskürtme mesafesinde 4 bar atomize gaz basıncında hava atomizasyonu d) 25 cm püskürtme mesafesinde 4 bar atomize gaz basıncında hava atomizasyonu..... | 97 |
| Şekil 6.19. | Farklı püskürtme mesafelerinde, 4 bar basınçta, 250 A / 29 V güçte ve argon atomizasyonunda üretilen kaplamalardan örnek SEM resimleri a) 14 cm 100x b) 14 cm 1000x c) 25 cm 100x d) 25 cm 1000x.....   | 98 |
| Şekil 6.20. | 4 bar atomize gaz basıncında, 14 cm püskürtme mesafesinde ve Ar atomizasyonunda üretilen kaplamaların örnek EDS analizleri.....   | 99 |
| Şekil 6.21. | 4 bar atomize gaz basıncında, 25 cm püskürtme mesafesinde ve Ar atomizasyonunda üretilen kaplamaların örnek EDS analizleri.....   | 99 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Şekil 6.22. | Elektrik ark püskürtme sistemiyle iki farklı püskürtme mesafesinde ve atomize gaz cinsinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların mikrosertlik ve oksit içerikleri.....   | 100 |
| Şekil 6.23. | Elektrik ark püskürtme sistemiyle iki farklı püskürtme mesafesinde ve atomize gaz cinsinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların porozite içerikleri.....  | 101 |
| Şekil 6.24. | Elektrik ark püskürtme sistemiyle 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamanın focus nozulda, farklı atomize gaz cinslerinde, mix gaz ile oluşturulan mikroyapıları a) Hava atomizasyonlu b) Argon atomizasyonu.....  | 103 |
| Şekil 6.25. | Elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, focus nozulda ve mix gaz ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların mikrosertlik değerleri.....   | 103 |
| Şekil 6.26. | Elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, focus nozulda ve mix gaz ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların porozite ve oksit değerleri.....  | 104 |
| Şekil 6.27. | Elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların mikroyapıları a) Fine nozul b) Hv nozul c) Fan nozul d) Focus nozul.....   | 105 |
| Şekil 6.28. | Elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların mikrosertlik etkisi.....   | 106 |
| Şekil 6.29. | Elektrik ark püskürtme sistemiyle 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların oksit ve porozite etkileri.....   | 107 |
| Şekil 6.30. | Elektrik ark püskürtme sistemiyle farklı atomize gaz basıncı ve amper / voltaj seviyelerinde üretilen kaplamaların üç nokta eğme testleri a) 200 A / 28 V / 2,4 bar b) 250 A / 29 V / 2,4 bar c) 300 A / 30 V / 2,4 bar d) 200 A / 28 V / 4 bar e) 250 A / 29 V / 4 bar f) 300 A / 30 V / 4 bar.. | 108 |

## TABLolar LİSTESİ

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tablo 3.1. | Elektrik ark püskürtmede kullanılan bazı malzemeler ve koruma etkisi.....  | 21 |
| Tablo 3.2. | Elektrik ark püskürtmede kullanılan bazı özlü teller ve kullanım alanları.....   | 22 |
| Tablo 3.3. | Kimyasal kompozisyonlar ve % oksit içeriği.....  | 33 |
| Tablo 3.4. | HVAS ve AS cihazlarının yapışma mukavemeti ve mikrosertliği karşılaştırması.....   | 34 |
| Tablo 5.1. | %13Cr'lu çelik telin bileşimi.....   | 68 |
| Tablo 5.2. | Elektrik ark püskürtme cihazında %13Cr'lu çelik tel için genel kaplama parametreleri.....  | 73 |
| Tablo 5.3. | Elektrik ark püskürtme sistemiyle 2,4 bar ve 4 bar atomize gaz basıncında uygulanan amper/voltaj değişim parametreleri.....  | 74 |
| Tablo 5.4. | Elektrik ark püskürtme sistemiyle farklı atomize gaz basıncı ve amper/voltaj koşullarında uygulanan kaplama parametreleri.....   | 75 |
| Tablo 5.5. | Elektrik ark püskürtme sistemiyle atomize gaz cinsi değiştirilerek farklı amper/voltaj koşullarında uygulanan kaplama parametreleri.....   | 75 |
| Tablo 5.6. | Mix gazın ikincil gaz olarak kullanılarak üretilen kaplamaların sistem parametreleri.....  | 76 |
| Tablo 5.7. | Elektrik ark püskürtmede değişik nozul tipleriyle 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen kaplamaların operasyon parametreleri.....   | 78 |
| Tablo 6.1. | Elektrik ark püskürtmede üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamanın iki farklı atomize gaz basıncında amper/voltaj değişimiyle mikro sertlik, porozite ve oksit içeriği değerleri..... | 79 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Tablo 6.2. | Elektrik ark püskürtmede üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamanın farklı mesafe ve atomize gaz basınçlarındaki sertlik, porozite ve oksit değerleri.....                | 96  |
| Tablo 6.3. | Elektrik ark püskürtmede focus nozulda ve mix gaz ile, 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların sertlik, porozite ve oksit değerleri..... | 102 |
| Tablo 6.4. | Elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların sertlik, porozite ve oksit değerleri.....          | 105 |



## ÖZET

Anahtar kelimeler: Krom tel, Kaplama özellikleri

Elektrik ark püskürtme prosesi diğer termal püskürtme uygulamalarına nazaran daha ucuz bir proses olduğu bilinmektedir. Bu teknikle metalik ve kompozit kaplamalara yüksek hızlarda ve kalitede üretilebilmektedir. Bununla birlikte teknolojik uygulamaların gelişmesi ark sprey prosesinin kalıp üretimi gibi gelişmiş uygulamalarda kullanılmasını da sağlayacaktır.

Üretilen kaplamalarda mikroyapı kalitesi kaplama parametreleri ve püskürtme sistemi kontrolüne oldukça bağlıdır. Endüstride kullanım ve kaplama kalitesi yükseltmek için, kullanılan parametrelerin etkisinin çok iyi araştırılması ve bu değişkenlerin kaplama özelliklerine etkilerinin bilinmesi gereklidir.

Bu çalışmanın hedefi, ark püskürtmeyle krom çelik tel kaplamaları farklı parametrelerde üretmek ve bu parametre etkilerinin kaplama özelliklerine etkisini araştırmaktır. Deney sonucunda üretilen krom çelik tel kaplamalarda uygun parametreler ortaya konmuş olacaktır.

# **INVESTIGATION OF THE CHROME STEEL WIRE ARC SPRAY PROCESS AND THE RESULTING COATING PROPERTIES**

## **SUMMARY**

Keywords: Chrome steel, Coating properties

Twin wire arc spraying is known to be one of the less expensive ways of thermal spraying. Arc spray has been known as a quick and high spraying rate technique to produce metallic and composite coatings. Moreover, the technological development of wire arc spray systems opens other ranges of applications, such as mould spray forming.

Coating microstructure depends very much on spray system and parameters employed. The investigation and improvement of coating properties subjected to different wire arc spray parameters requires the knowledge of coating properties of the industry on high quality coatings.

This work was aimed to investigate the effect of spray parameters on coating characteristics of arc sprayed chrome steel. As a result of these experiments the spray parameters can be adjusted according to the requirements of the chromium steel coatings.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Kullanılan iş parçalarının sertliğini, dış etkenlere dayanımını, kullanım ömrünü artırmak için ve yine iş parçasında istenen elektrik, ısı yalıtımı hatta güzel görünüm için malzeme üzerine çeşitli yüzey kaplama yöntemleri yıllardır uygulanmaktadır. Kişisel ihtiyaca göre uygulanan bu kaplamalar çok çeşitli sınıflara ayrılıp yüzey mühendisliği alanında değerlendirilir. Uygulanabilecek çeşitli kaplama yöntemlerinin bir tanesi de termal püskürtme kaplama uygulamalarıdır. Diğer kaplama uygulamalarına göre nispeten daha kolay ve ucuz olan termal püskürtme kaplamalar endüstride geniş bir kullanım ağına sahiptir. Bu teknikler ile kaplama türüne göre mikron ile mm derecelerde kaplama imkânı sağlanabilir.

Elektrik ark püskürtme sistemi, termal püskürtme uygulamalarından bir tanesini teşkil etmektedir. Diğer termal püskürtme cihazlarına nazaran daha kolay ve tehlikesiz oluşunun yanında ucuz olması en büyük avantajlarıdır. Tel formundaki içi dolu veya özlü tel diye tabir ettiğimiz kompozit teller ile istenen özelliklere göre kaplama yapısı kolayca uygulanabilir.

Basit kullanımıyla beraber elektrik ark spreyci farklı uygulamalar günümüz araştırmacılarının ilgi alanlarından bir tanesidir. Araştırmalar farklı tür tel uygulamalarından, nozul tasarımlarına ve son yıllarda kullanılmaya başlanan kalıp üretimine kadar çeşitlilik göstermektedir.

Uygulamalardaki bu çeşitliliğin doğru bir şekilde test ve analizi için kullanılan elektrik ark püskürtme cihazının, doğru verilerle kullanılması ve ürettiği kaplama kalitesinin bilinmesi gerekmektedir.

Kaplama parametrelerinin etkisi genel olarak bütün termal püskürtme tekniklerinde olan ve kaplama karakteristiğini doğrudan etkileyen bir ölçüdür. Deneysel

uygulamalarda ve deneylerde doğru kaplama parametrelerinin belirlenmesi hem uygulanacak kaplamaların kalitesi açısından artılar kazandıracığı gibi, hem de zamandan ve malzemedan tasarruf sağlanmasını sağlayacaktır. Ayrıca daha sonra uygulanacak çalışmalar içinde önemli bir yol gösterici olacaktır.

Bu sebeple elektrik ark püskürtme tekniğinde de önemli bir etkiye sahip olan kaplama parametrelerinin etkisinin incelenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

## **BÖLÜM 2. TERMAL PÜSKÜRTME KAPLAMALAR**

### **2.1. Giriş**

Malzemelerin görünen yüzeylerine başka bir malzemenin biriktirilmesi işlemine genel olarak kaplama denilir. Kaplamalar kullanılacak malzemeye ve isteğe göre değişik avantajlar sağlamaktadır. En çok erozyon - korozyondan korunma ve yüzey özelliklerini geliştirmek için kullanılırlar.

Kullanılan bu yüzey biriktirme teknikleri kullanıcılar tarafından farklı alanlarda değerlendirilip kullanılır. Kullanılacak sistemin uygulanabilirliği; fiyat, uygulama kolaylığı, boyutu, avantajları – dezavantajları, çevreye ve çalışanlara etkisi vs. birçok etkiye bağlıdır. Kurumlar veya kişiler bu etkileri göz önüne alarak kendilerine uygun kaplama tekniğini seçer ve kullanırlar. Bu kaplama teknikleri genellikle metal ve metal olmayan malzemeleri kaplama malzemesi olarak kullanılırlar. Kaplama kategorilerinden birisi olan sert yüzey kaplamalar dünyada en çok kullanılan kaplama yöntemlerini içine kapsamaktadır [1].

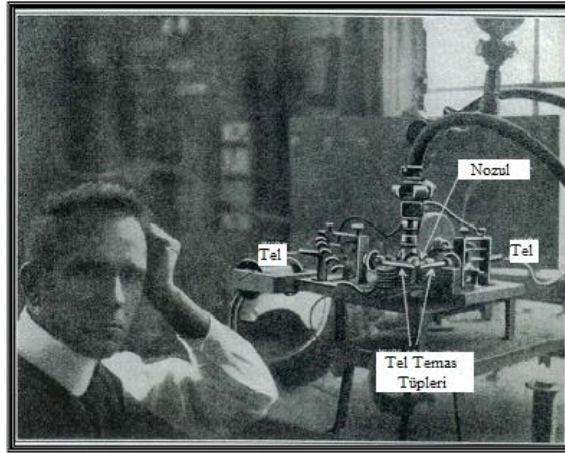
Sert yüzey kaplamalar, aşınmış ve yıpranmış parçalara veya yeni imal edilmiş ve aşınmaya karşı engellemek için uygulanan bir tekniktir. Bu tip kaplamaları genel olarak kaplama, kaynak ve termal püskürtme teknikleri olarak sınıflandırabiliriz.

Bu tekniklerden birisi olan termal püskürtme uygulamaları geniş bir alanı kapsamaktadır. Termal püskürtme kısaca; toz, tel veya çubuk formundaki malzemelerin, bir ergitme işlemi uygulanarak kaplanacak yüzeye hızlı bir şekilde püskürtülmesi işlemidir. Kaplama malzemesi ergimiş veya yarı ergimiş partiküller haline dönüşür ve kaplanacak yüzeye bir atomize gaz ile püskürtülürler. Bu partiküller yüzeye üst üste gelecek şekilde hızla çarparak katmanlı kaplama yapısını oluştururlar [2].

## 2.2. Termal Püskürtme Kaplamaların Tarihçesi

Termal püskürtme metalizasyon sistemini ilk olarak 19.yy başlarında Dr. Max Schoop Zürih/İsviçre'de geliştirmiştir. Dr. Schoop, icadını oğlunun oyun oynamasından etkilenerek şekillendirmiştir. Hızla vurulan topun yüzeye çarptığında bir miktarının da yüzeyde kaldığını şaşırarak gözlemlemiştir. Bu olayın ona, eğer partiküller ergitilip bir şekilde püskürtülürse yüzeyde bu şekilde birikebileceği fikrini vermiştir. Dr. Schoop oksijen ve asetilen ile alev kaynağı oluşturan ve hava basıncıyla ergiyen partikülleri püskürten bir tabanca dizayn etmiştir. 1933 yılında Amerika'da yaşayan Rae Axline, George Lufkin ve Herb Ingham, sonradan Metco Anonim olarak adlandırılan kuruluş bünyesinde bu sistemi geliştirmişlerdir. Metco firması araştırmalara devam etmiş ve geliştirmiştir. Üretilen metal tabancaları genellikle korozyonu engellemekte ve değişik makine parçalarının tamirinde kullanılmıştır.

Gelişmeler ile farklı tiplerde kaplama malzemeleri (tel, toz ve çubuk) kullanılabilir olmuş ve farklı ergitme sıcaklıklarında kaplama yapılabilmesine olanak sağlanmıştır [3].

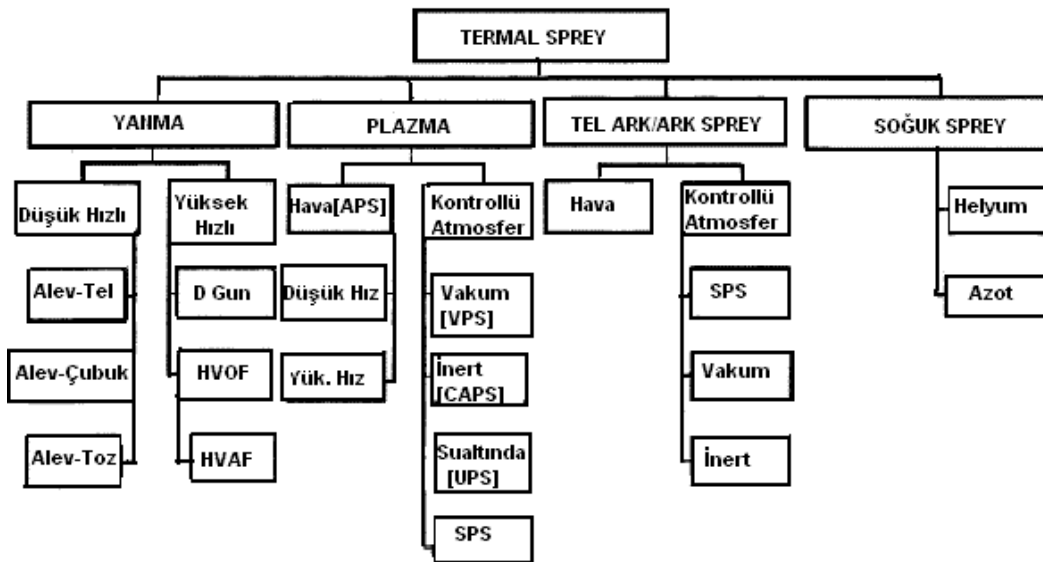


Şekil 2.1. Dr. Schoop ilk defa elektrik operasyon aletleriyle deneysel bir çalışma yaparken [3]

1950-60'lı yıllara kadar tam olarak kullanılmayan kaplama yöntemleri, bu yıllardan sonra hızla gelişim göstermiş ve çok çeşitli uygulama alanları bulmuştur. Termal sprey kaplama yöntemleri bugün dünyada sıkça kullanılan koruma yollarından bir tanesidir [3].

### 2.3. Termal Püskürtme Kaplama Yöntemleri

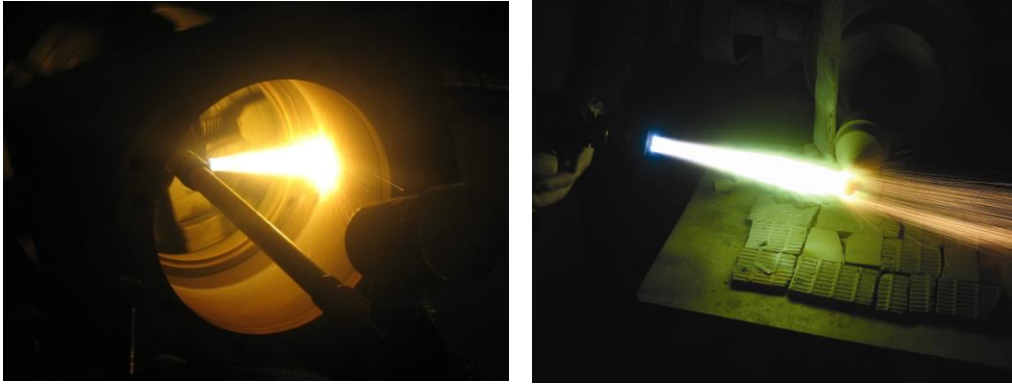
Kullanılacak olan malzemelerin çeşitliliği ve kaplamada kullanılan proseslerin uygulamadaki kolaylığı termal püskürtme kaplamaların en önemli avantajlarından bir tanesidir. Termal püskürtme kaplamaları birçok farklı bakımdan sınıflandırabiliriz. Ana sınıflandırmaları kullanılan malzeme cinsi (tel, toz ve çubuk) ve malzemeyi ergitme biçimi (alev, elektrik ark ve plazma ile) olarak söyleyebiliriz. Dünyada yaygın olarak kullanılan termal püskürtme teknikleri alevle tel-toz püskürtme, elektrik ark püskürtme, HVOF ve plazmadır. Yine bu prosesler kendi içlerinde sınıflara ayrılmakta, istenen ortam ve koşullarda kullanılmak üzere seçilmektedir. Termal püskürtmenin genel olarak sınıflandırması Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Belirtilen bu ergitme teknikleriyle üretilen kaplamalarda kaplama yapısı içerisinde poroziteler, oksitler, ergimiş / yarı ergimiş / ergimemiş partiküller vs. yapılar oluşacaktır. Kaplama mikroyapılarının oluşumunda başta kullanılan termal püskürtme tekniği olmak üzere birçok farklı parametre etkili olmaktadır. Optimum bir kaplama yapısı elde etmek için bu parametrelere özellikle dikkat edilmesi gerekmektedir [5].



Şekil 2.2. Başlıca proses şekilleri ve termal püskürtme kaplamaların genel görünümü [5]

### 2.3.1. Alev püskürtme yöntemi

Alev püskürtme, toz, tel veya çubuk halindeki kaplama malzemesinin oksijenin asetilen, propan, propilen vb. bir yakıtla alev kaynağı oluşturularak ergitilip, basınçlı bir hava yardımıyla yüzeye püskürtülmesi işlemidir. Püskürtme prosesi genel olarak alevle toz püskürtme ve alevle tel püskürtme olarak ikiye ayrılmaktadır. Yaklaşık olarak 2480°C'nin altında ergime derecesine sahip olan bütün malzemeler bu sistem ile kaplanabilmektedir. Alev kaynağının sıcaklığı seçilecek yakıtla göre değişmektedir [6].



Şekil 2.3. Alevle toz püskürtme yöntemi

Alev sıcaklığının düşüklüğü ve yüksek porozite içermesine rağmen alevle püskürtme yöntemleri günümüzde hala sıklıkla kullanılmaktadır. Bakımı kolay ve kullanımı basittir. Ayrıca uygulamadaki malzeme çeşitliliği büyük bir avantaj sağlar. Cihazının taşınabilirliği kaplama yapımında avantajlardan bir tanesidir. Parçayı yerinde kaplama imkânı veren bir sistemdir. Diğer proseslere nazaran daha ucuz olması, endüstride kullanımının sebebini açıklamaktadır [6].

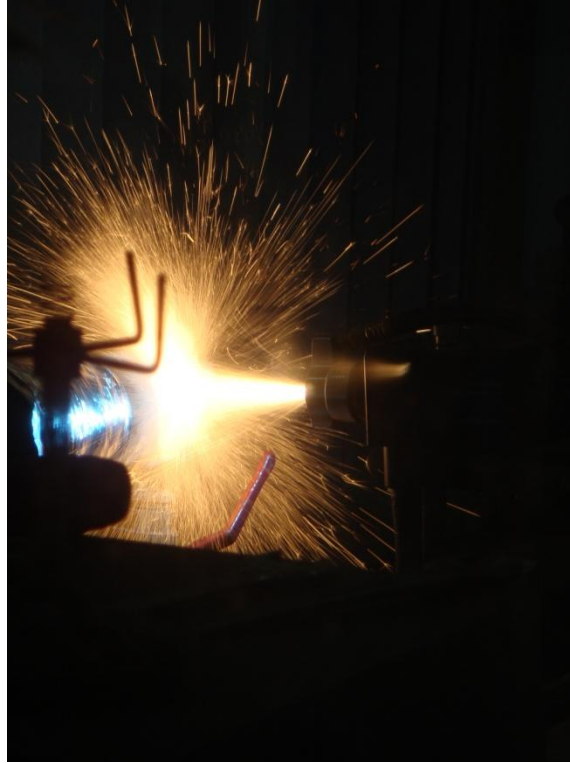
### 2.3.2. Elektrik ark püskürtme yöntemi

Elektrik ark püskürtme eski bir püskürtme tekniği olmasına rağmen günümüzde hala kullanılmaktadır ve önemini yitirmemiştir. Bunun en büyük sebebi hala gelişmiş termal püskürtme tekniklerine nazaran daha ekonomik olmasıdır. Ark sprey diğer kaplama proseslerinden daha fazla birikme verimi ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca



düşük işletim maliyeti sağladığı için hala vazgeçilmez kaplama proseslerinden bir tanesidir.

Tel formundaki iki malzemenin ark oluşturulması ve bir yüzeye püskürtülmesi işlemidir. Tel sürücüler ile sisteme beslenen teller burada (+) ve (-) yükle yüklenirler ve uçlarda ark oluştururlar. Daha sonra bir püskürtücü gaz vasıtasıyla, ark ile ergimiş teller yüzeye püskürtülür. Püskürtücü gaz olarak genelde hava kullanılmakla beraber azot veya argonda kullanılabilir. Ark sıcaklığı çoğu malzeme için yeterli bir sıcaklık olan 5000°C civarındadır [6].



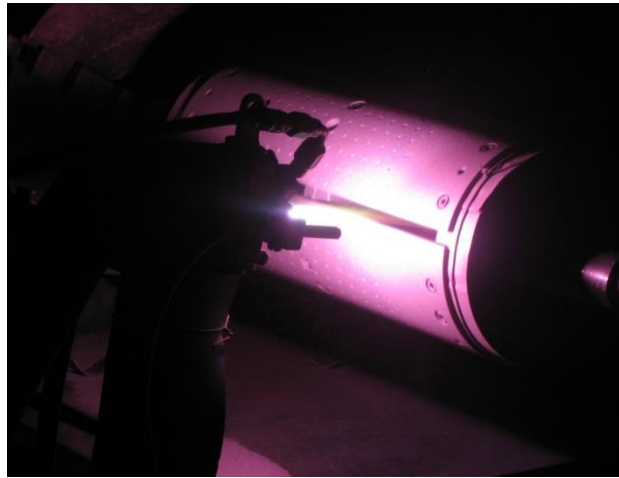
Şekil 2.4. Elektrik ark püskürtme yöntemi

Gerektiğinde yüksek birikme verimi sağlayan, büyük boyutlu parçaların kaplanmasında olanak sağlaması, taşınabilir bir proses olması vb. özellikleriyle oldukça fazla avantaja sahiptir. İletken olmak kaydıyla değişik yapıdaki kompozit tellerde kaplamada kullanılabilir. Bütün bu avantajlarının yanında bu işlemleri oldukça düşük maliyetlerde yapması bu sistemin vazgeçilemez tekniklerden birisi olduğunu ortaya koymaktadır [7].

### 2.3.3. Plazma püskürtme yöntemi

Yüksek enerjili bir kaplama prosesi olan plazma püskürtme yöntemi, özellikle seramik esaslı malzemelerin kaplamasında başarıyla uygulanmaktadır. Hidrojen veya helyum yanıcı gazlarıyla beraber argon veya azot gazları kullanılmaktadır. Sisteme verilen elektrik ile tabanca içerisinde bir plazma oluşturulur. Bu sırada toz beslemeyle beraber plazmada ergitilen tozlar yüzeye püskürtülür ve kaplama yapısı elde edilir. Oluşan plazma sıcaklığının yüksek olması (15.000 – 25.000°C) ergime derecesi yüksek olan seramik tozlarında rahatlıkla kaplanmasına imkân vermektedir. Partikülleri iyi ergimiş, yüksek yoğunluklu bir kaplama yapısı elde edilmektedir.

Uzay sanayiden, tekstil sanayisine, kâğıt sektöründen tel çekmeye kadar geniş bir kullanım alanı vardır. Bunların yanında yatırım ve bakım maliyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca prosesin taşınmasının zorluğu ve yüksek maliyeti önemli dezavantajlarıdır [8].

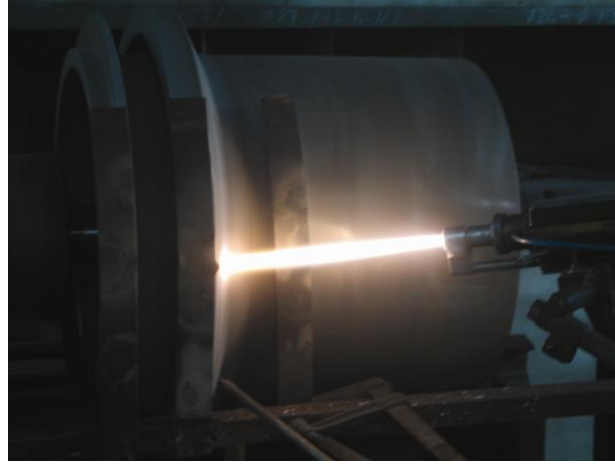


Şekil 2.5. Plazma püskürtme yöntemi

### 2.3.4. Yüksek hızlı oksji-yakıt tekniği (HVOF)

HVOF prosesi termal püskürtme kaplamalarda yüksek hızlarda, sert ve çok yoğun kaplama yapıları elde etmek için kullanılan bir prosestir. Kerosen, asetilen, propan veya hidrojen gibi yakıtlar oksijen ile yakılarak, ergimiş partiküller yüzeye çok

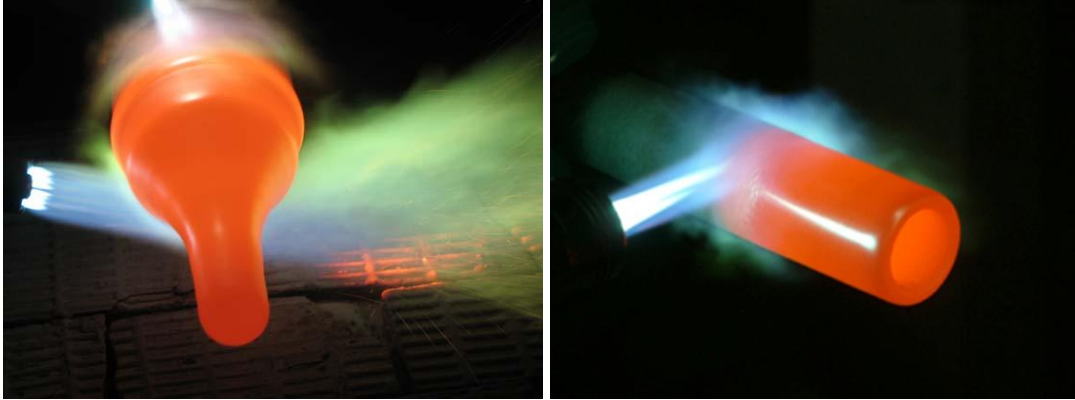
yüksek hızlarda püskürtülürler. Partiküllerin hız artışı için nozul tipleri diğer termal püskürtme kaplama tekniklerine nazaran daha uzundur. Ana tema partikülleri ısı ile eriterek değil, çok yüksek hızlarda yüzeye çarpıtılarak kaplama yapısını elde etmektir. Elde edilen kaplamalar hemen hemen porozitesiz yani çok yoğun, sert ve oldukça yüksek yapışma mukavemeti sergilerler. Endüstride çok sert aşınma dayanımı istenen parçalarda, galvaniz hattında çalışan parçalarda, karıştırma bıçaklarında sertleştirici olarak vs. birçok alanda kullanılmaktadırlar [3].



Şekil 2.6. Yüksek hızlı oksî-yakıt yöntemi (HVOF)

### 2.3.5. RW (Döndürerek Ergitme) yöntemi

Alevle püskürtmede bir diğer kaplama işlemi püskürtme ve eritme işlemidir. Kısaca RW diye adlandırılan bu sistem termal püskürtme tekniğinin önemli kaplama uygulamalarından bir tanesidir. Malzeme kaplama işleminden sonra yaklaşık olarak 1050°C'ye kadar alevle ısıtılıp döndürülür. Püskürtülen kaplama böylece malzemeyle metalürjik bir bağ yapmakta ve çok düşük poroziteli mükemmel bir kaplama yapısı elde edilebilmektedir. Tabii ki uygulanacak RW işleminde altlık malzemenin belli bir kalınlıkta ve boyutta olması, ayrıca eritme sıcaklığının da yüksek olması gerekmektedir [9].



Şekil 2.7. Kaplama sonrası parçanın ergitilme işlemi (RW)

Ergitme öncesi yapılan kaplama işlemi genellikle alevle toz püskürtme veya HVOF püskürtme sistemiyle yapılır. Ergitme yapılırken kaplamanın akma noktasına çok dikkat edilmelidir. Zira akma noktası geçilirse kaplama malzeme üzerinde akar ve toplanır.

RW işlemi genellikle çok düşük porozite ve sertlik istenen yerlerde veya çarpma ve aşınmanın da aynı ortamda olduğu bölgelerde kullanılmaktadır. Kaplama yapısının altlık malzemeyle metalürjik bir bağ yapması dolayısıyla kaplamada atma, kırılma ve çatlama riski diğer kaplama çeşitlerine nazaran daha azdır.

#### **2.4. Termal Püskürtme Kaplamaların Mikroyapısı**

Termal püskürtme tekniğinde tel, toz ve çubuk halindeki malzemelerin bir şekilde ergitilip bir püskürtme gazı vasıtasıyla yüzeye gönderildiğini söylemiştik. Kaplama malzemesi ergitilip parçacıklar halinde hızla altlık yüzeyine yapışırlar. Partiküller yüzeye çarptıklarında dışa doğru yayılırlar, ısıları düşer ve son derece yüksek hızda katılışlırlar [11].

Hızla ısılarını kaybeden bu partiküller yaklaşık bir disk görünümüne sahiptirler. Peş peşe gelen yapışma ile de kaplama yapısı oluşturulur. Termal püskürtme kaplamalarda mikroyapı levhasal katmanlar şeklinde meydana gelmektedir. Yapının içerisinde poroziteler, ergimemiş partiküller, oksit ve yarı ergimemiş partiküller oluşacaktır. Bu yapıların miktarları termal püskürtme tekniklerine ve kullanılan cihaz



## **BÖLÜM 3. ELEKTRİK ARK PÜSKÜRTME TEKNOLOJİSİ**

### **3.1. Giriş**

Elektrik ark püskürtme tekniği termal püskürtme proseslerinden bir tanesidir. Tel formundaki iletken malzeme (+) ve (-) yüklerle yükleyerek uçta bir ark yaratılmaktadır. Bu şekilde ergitilen malzeme bir püskürtme gazı yardımıyla hızla altlık malzemeye gönderilmektedir. Kaplama süresince teller bir sürücü yardımıyla tabancaya sürekli beslenmektedir.

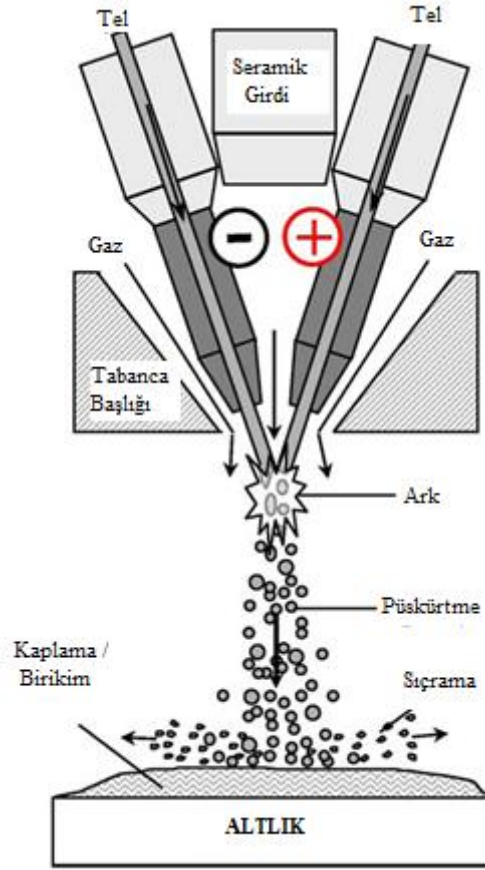
Elektrik ark prosesiyle genelde aşınma dayanımı ve korozif ortamdan korunma amacıyla uygulamalar yapılmaktadır. Bu sebeple daha çok Zn, Al, Cr benzeri malzemeler veya alaşımları kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Kullanılacak kaplama malzemesinin iletken olması gerektiği için seramik esaslı malzemeler ancak özlü tel formunda kullanılabilirler. Bu proses ile çok geniş alanlar hızlı bir şekilde kaplanabilmektedir. Uygulaması diğer proseslere nazaran daha kolaydır.

Elektrik ark prosesi gelişmiş dünya ülkelerinde 1900'lü yıllardan itibaren hızla kullanılmaya başlanmasına rağmen ülkemizde henüz yeterli kullanım alanı bulamamıştır. Artan teknoloji ve gelişim ile beraber ülkemizin de yavaş yavaş bu sektöre girmeye başladığı söyleyebiliriz. Elektrik ark püskürtme sayesinde yaptığımız kaplamalarla aşınmaya ve korozyona dayanıklı malzemelerin üretimi çok kolaylaşmakta ve bu malzemeleri uzun yıllar kullanmak mümkün olmaktadır.

### **3.2. Elektrik Ark Püskürtme Teknolojisi**

Elektrik ark püskürtme sisteminde iletken iki tel anot ve katot olarak kullanılmaktadır. Bu sayede bir sürücü vasıtasıyla tabanca ucuna sürülen bu teller

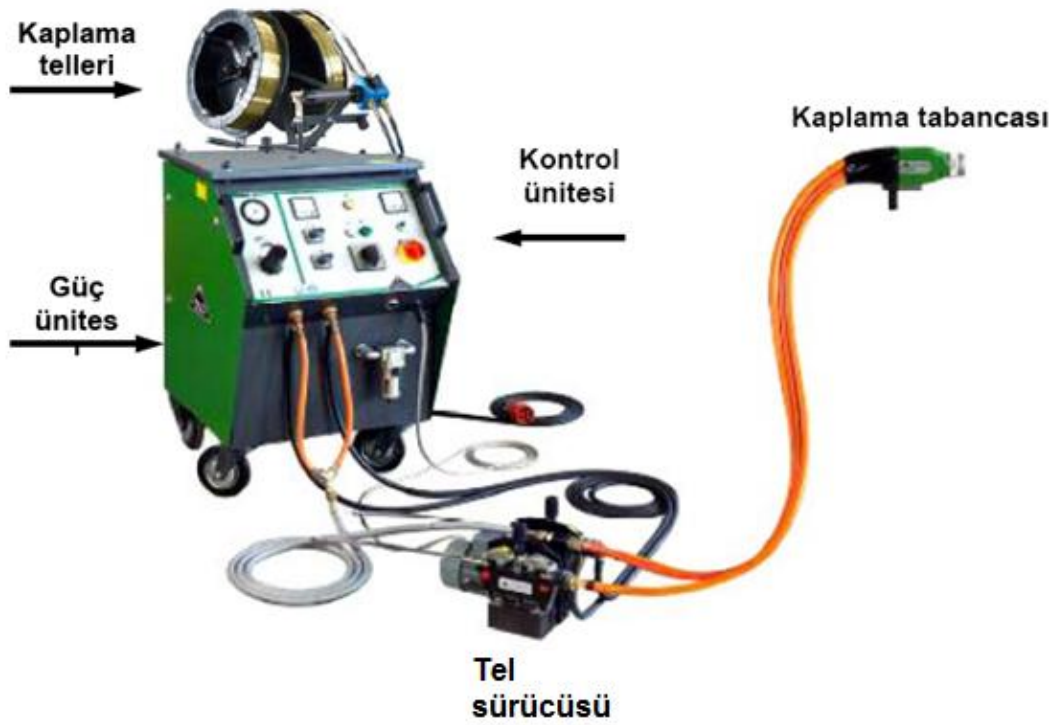
arasında bir ark meydana getirilir ve bu ark ile eriyen tel partikülleri de atomize bir gaz vasıtasıyla hızlı bir şekilde altlık malzemeye püskürtülürler. Şekil 3.1.'de tipik bir ark püskürtme sisteminin şematik görünümü görülebilir [12].



Şekil 3.1. Elektrik ark püskürtme prosesi [12]

Ark püskürtme tekniğinde erime gerisinde bulunan nozul ile gaz akışının hızı ve yayılımı sağlanmaktadır. Eriyen partiküller bu sayede altlık üstünde biriktirilir ve lamel yapıda klasik termal püskürtme kaplama yapısı elde edilmektedir. Ark sıcaklığı 4000-5000°C arası elde edilmesi tel halindeki hemen hemen bütün malzemelerin eritilmesine olanak sağlamaktadır. Genel parametreler kullanılan tele ve istenen kaplama türüne göre değişmektedir.

Kaplama sistemi genel olarak kontrol ünitesi, güç ünitesi, tel besleme ve tabancadan meydana gelmektedir. Sistemin en önemli parçası tabancadır. Tabanca üstünde uygulanabilen nozul tipleri ve cihazın uygulamadaki hızı prosesdeki en önemli avantajlar olarak söylenebilir.



Şekil 3.2. Elektrik ark sistem bileşenleri [16, 17]

Elektrik ark püskürtmenin diğer termal püskürtme uygulamalarına nazaran büyük avantajlara sahiptir. Diğer bir termal püskürtme tekniği olan plazma püskürtme nazaran daha ucuz bir yatırım maliyeti sergilemektedir. Hatta düşük maliyeti sebebiyle bazı uygulamalarda plazma püskürtme tekniğinin yerine uygulanmaktadır. Kontrol parametrelerinin kolaylığı, uygulamada tehlike bakımından nispeten daha güvenli oluşu ve geniş alanların yüksek hızlarda ucuz bir şekilde kaplanabilirliğini sağlaması ark püskürtme kaplamanın tercih edilmesini sağlamıştır. Bunlara ek olarak bazı proseslerde uygulanamayan veya uygulanması zor olan yerinde kaplama yapma imkânı tanınması sistemi vazgeçilmez kılmıştır.

Bununla beraber porozite, oksit miktarı ve ergimemiş partikül içeriği yüksek çıkmaktadır. Kaplama üretiminde damlacık üretimi asimetrik bir davranış sergilemektedir. Diğer tekniklere nazaran daha pürüzlü bir yapının elde edilmesi istenen işe göre avantaj veya dezavantaj sağlayabilmektedir [13].

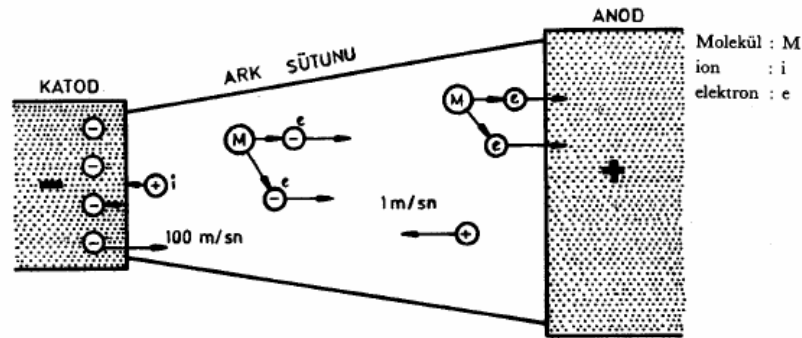


### 3.3. Elektrik Arkının Karakteristik Özelliği

Elektrik ark püskürtmede ergitme işlemi tellerin (+) ve (-) yük ile yüklenip uçta bir ark oluşturacak şekilde yapılmaktadır. Ergitilen partiküller yüzeye bir püskürtme gazıyla püskürtülüp kaplama yapısı bu şekilde elde edilmektedir.

Ark, iyonlaşmış gaz arasında yer alan, iki elektrot arasındaki elektrik deşarjıdır. Ark üç temel bölümden meydana gelir. Ark sütunu; içinde kararsız gerilim farkı bulunur. Katot ve anot bölgeleri; elektrotların soğutucu etkisinin hızlı gerilim düşmesine götürdüğü bölgelerdir. Ark sütunu şarj dengesine, düşük elektrik alanına ve ısı kaynağı olarak kullanılan yüksek sıcaklığa sahiptir. Elektrik ark spreycde oluşan elektrik arkı iyonize gaz vasıtasıyla elektrik akımından oluşturulur. İyonize gaz (+) ve (-) elektrik yüklü iki telin ilerleyip birleşme noktasında birbiri ile temas edip ark alevi meydana getirmesi ile oluşturulur. Yüksek elektrik akım yoğunluğu gerekli güç desteğinin devamlılığını iyonize olmuş bölge sağlar. Ark içinde elektronlarını kaybetmiş pozitif yüklü iyonlar bulunur. Bu da anottan katotta pozitif gaz iyon akışıdır [1].

Ark sütunu nötr ve uyarılmış bir gaz atomları karışımıdır. Bu merkez sütunda elektronlar, atomlar ve iyonlar devamlı hareket ederler ve sürekli çarpışma halindedirler. Ark sütununun en sıcak bölümü burası olmakla beraber parçacıkların hareketi en şiddetli durumdadır. Dış bölüm ya da ark alevi bir ölçüde daha soğuktur ve merkezi sütunda ayrılmış gaz moleküllerinin yeniden bileşmesinden ibarettir.



Şekil 3.3. Katot ve anot arasında oluşan ark sütunu [14]

Elektrik ark oluşumu içerisinde katot elektron vermektedir. Katot alanında meydana gelen ısı başlıca, katodun yüzeyine çarpan pozitif iyonlardan kaynaklanmaktadır. Anottaki ısıyı katottan anoda akan elektronlar temin etmektedirler. Sonuç olarak katot, ölçüsü akım şiddetiyle doğru orantılı olarak elektron veren elektrottur. Bu elektronlar, yolları boyunca, moleküllere çarparlar. Enerjileri yeterli ise bu darbe iyon oluşmasına yol açar. İyonlar ise elektrik yüklü moleküllerden başka bir şey değildir.

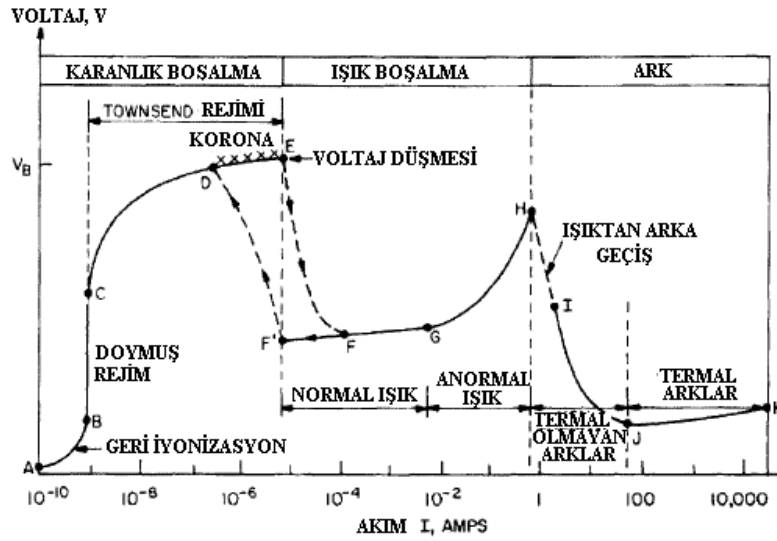
Elektrik ark oluşumunda kullanılan gazların (argon, helyum, azot, hidrojen) molekülleri bir elektron kaybederek pozitif iyonlar oluştururlar. Böylece, çarpışmadan sonra iki elektrot anoda doğru gider, bu arada pozitif iyon katoda doğru hareket eder ve katot bu şekilde bombardımana uğrar. Buna karşılık oksijen bir elektron yakalayıp anoda doğru giden negatif iyonlar oluşturabilir. Böylece oluşan arklarda üç tip yer değiştirme olayı görülmektedir.

- a) Esas itibariyle katottan çıkan ve anodu bombardıman eden elektronlar;
- b) Katoda doğru geri dönen pozitif iyonlar
- c) Anoda doğru giden negatif iyonlar

Elektronların hızı yaklaşık 100 m/sn, iyonların ise 1 m/sn'dir. Elektronlar iyonlardan daha hızlı olduğundan dolayı akımın büyük bölümü elektronlar tarafından taşınır.

Anot ve katot civarında veya elektrotlara yakın bölgelerde (anoda 0,1 mm; katoda 1/10000 mm mertebesinde) ani gerilim düşmeleri meydana gelir (Şekil 3.4). Ark sütunu boyunca ise bu düşme kademeli olmaktadır. Bu anodik ve katodik geçiş bölgeleri, buralarda mevcut olan gerilim düşmelerine bağlı olarak yüksek bir ısı yayılımının merkezidir. Aradaki ark sütunu ise elektriksel olarak nötr bir ortam teşkil etmektedir [14].

Düşen bir voltaj-akım oranında EAP prosesi işletimi "termal ark" sınıflandırılması içindedir ve bölgesel termodinamik dengede olduğu düşünülür.



Şekil 3.4. Lineer bir arkın bölgelerinin şematik olarak gösterimi [14]

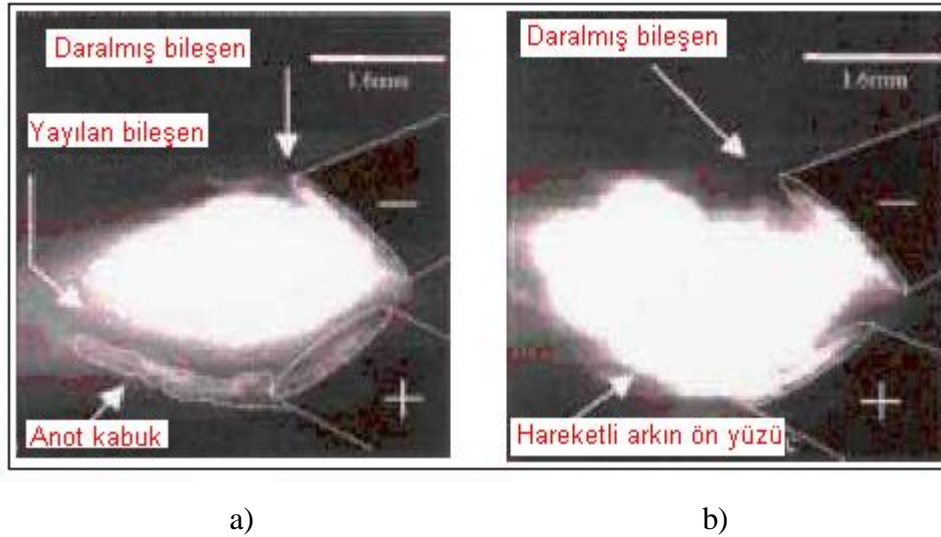
EAP' de oluşan elektrik arkı iyonize gaz vasıtasıyla elektrik akımından oluşturulur. İyonize gaz, (+) ve (-) elektrik yüklü iki telin ilerleyip birleşme noktasında birbiri ile temas edip ark alevi meydana getirmesi ile oluşturulur. Yüksek elektrik akım yoğunluğu gerekli güç desteğinin devamlılığını iyonize olmuş bölge sağlar. Ark içinde elektronlarını kaybetmiş pozitif yüklü iyonlar bulunur. Bu da anottan katotta pozitif gaz iyon akışıdır [14].

Elektrik ark spreynin bu ergime işlemi anot ve katotta aynı şekilde meydana gelmemektedir. Anodun, katottan farklı bir ergime davranışı sergilemesi kendisinin klasik bir özelliğidir. Bu farklılık iki elektrottaki sıcaklık, ergime ve damlacık formasyonunu çok değiştirmektedir. Buda partikül boyutunu, hızını ve yörüngelerini etkiler.

Ark bileşiminde katot büzülme anotta da yayılma belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. Anot ve katottaki bu farklı ergime davranışına bağlı olarak ısınma, ergime ve partikül oluşumu iki elektrotta farklı biçimlenmektedir.

Anodun katoda göre daha soğuk olması telin daha yavaş ergimesine neden olur. Bunun sonucu olarak oldukça büyük partiküller meydana gelir. Bazı büyük partiküller ise atomize gaz ile parçalanırlar ve daha küçük partikül ayrılırlar. Bu asimetric ergime davranışı püskürtme paternini ve kaplama yapısını da etkiler.

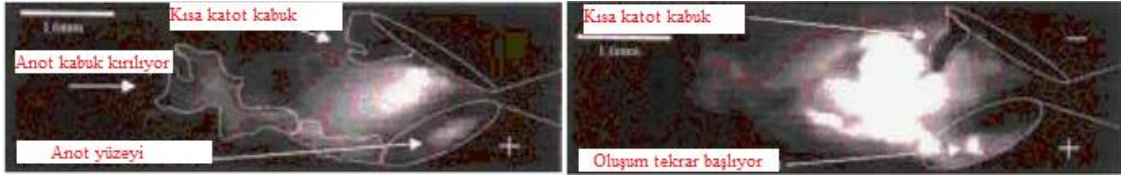
Anotta ergime yavaş olur, sonuçta buda partiküllerin daha büyük olmasını sağlar. Bu kararsız ergime, püskürtme davranışını ve kaplama yapısını etkilemektedir. Katotta ergime daha lokalizedir ve ergimiş partiküller atomize gaz tarafından çok hızlı bir şekilde püskürtülürler. Sonuçta damlacıklar daha küçük olur. Katotta daha yüksek ergime hızı ve daha sıkı yapı, anotta ise daha dağınık bir yapı elde edilir.



Şekil 3.5. Yayılan ve büzülmüş anot ve katot bileşenleri. Üst tel katot, alt tel anot a) Ark tamamen genişlemiş ve genişlemiş anot kabuğuna doğru yayılmış, b) Anotta yayılan bileşen telin ucundan anot kabuğuna doğru ilerlemiş [15]

Katot pozitif gaz iyonlarının çarpışması ile yüksek derecede ısınır. Bu durum, ısınan yüzeyden elektron gibi elektriksel yüklü parçacıkların serbest kalmasına sebep olur. Katot yüzeyinden elektron aktığı için, onların enerjisinin büyük bir bölümü iyonize gazlara verilir. Bu nedenle anot katottan daha soğuk olmaktadır [15].

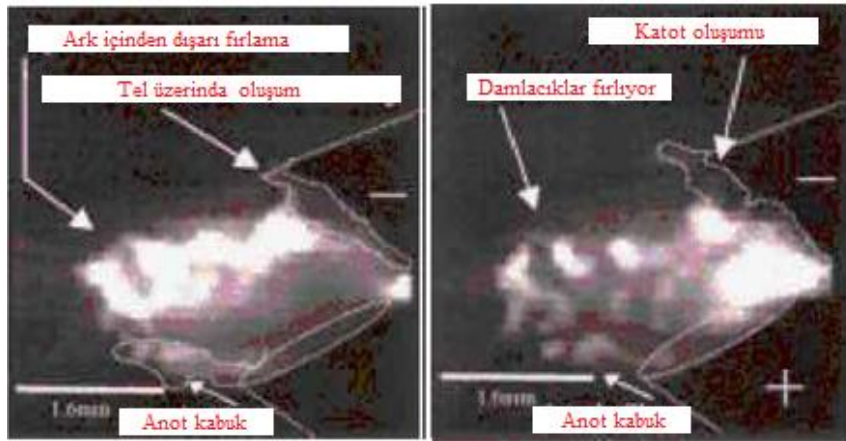
Anotta sıcaklık ile tel yüzeyine vurur ve ergimiş metalden küçük parçacıklar yaratılarak kaplama katmanları oluşturulur. Anottan kopan parçalar atomize gaz ile ağıza doğru giderler (Şekil 3.6.). Bu yayılım sürekli devam eder. Anot kabuk durmadan parçalanırken, ark elektrotlar ile belli mesafedeki noktada sürer. Bu dönüşüm davranışı için arktaki dalgalanma hareketi akla gelebilir. Ark söndüğünde de anotta ergime meydana gelebilir ki bu aerodinamik ile olur.



Şekil 3.6. Anottan kopan parçacıklar ağıza doğru gidiyor [15]

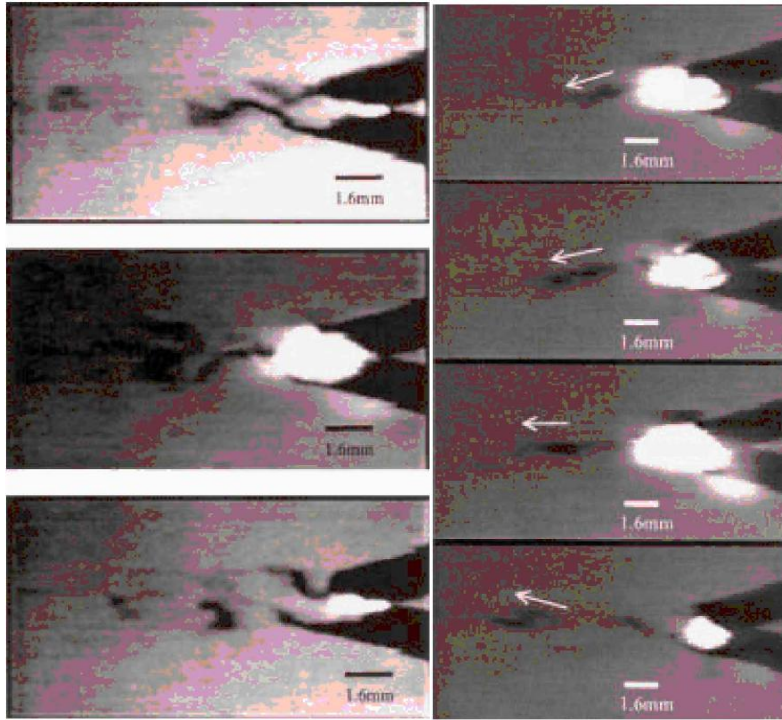
Katotta metal ayrımında üç farklı mekanizma görülür;

- 1) Katottan jet ile ergimiş partiküller dışarı fırlar (Şekil 3.7.)
- 2) Tel çevresinde/sınırında kabuk formundan önce ergime ve parçalanma görülür. Daralan ark katot yüzeyine hareket eder
- 3) Katot ağız kenarından anota benzer biçimde kabuk oluşur. Fakat bu anota göre daha küçük boyutludur.



Şekil 3.7. Katottan püskürme ile dışarı fırlayan partiküller [15]

Ergitilen iki tel ile ark arasındaki ilişki tel boşalmasında akışkan dinamiğinin oluşmasına sebebiyet verir. Buda bir girdap problemi yaratacaktır. Anot ve katodun jet akışında yarattığı bu dalgalanmalar kaplamada kullanılan parametreler ile doğrudan ilişkilidir. Problem yaratan bu dalgalanmalar tespit edilmiştir ve sayıları vizkozite ile sıcaklığa göre birkaç yüz ile birkaç bin arasında değişmektedir. Şekil 3.8.'de jet akışındaki değişim görülebilir.



Şekil 3.8. Atomize jet akımındaki değişiklikler [15]

Büyük girdap yapısı anot ve kotot içerisinde oluşmuş görülüyor. Kabuk kritik bir uzunluğa ulaşacak, boyutun artmasıyla da kabuk üzerindeki aerodinamik etkide artacaktır. Buda daha büyük bir girdap akışının gerçekleşmesini sağlayacaktır.

Büyük girdap yapılarının oluşumu metal damlacıklarında yörüngeleri etkileyip, kontrollerde zorlanmalara sebebiyet verecektir. Yeni teknikler ve dizaynlar ile büyük girdap akımlarını azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Böylece daha düşük türbilans yapıları elde edilebilecektir [15].

### 3.4. Elektrik Ark Püskürtme Kaplama Malzemeleri

Elektrik ark püskürtme uygulaması sistemde iki telin kendi aralarında oluşturdukları ark ile malzemesini ergitmektedir. Bu sebeple kullanılan malzeme tel formunda ve iletken olmak zorundadır.

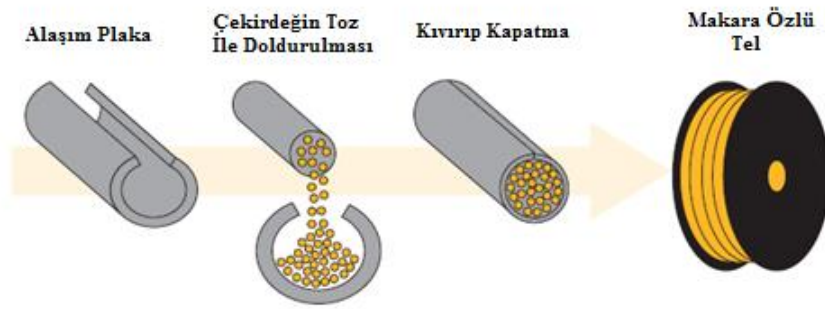
Endüstride sıkça kullanılan bu malzemeler genellikle korozyondan korunma amacıyla uygulanmakla beraber, aşınma ve pürüzlülük istenen yerlerde de

kullanılabilmektedir. Tablo 3.1.'de elektrik ark sprejde kullanılan bazı malzemeler ve koruma etkisi vermektedir [17].

Tablo 3.1. Elektrik ark püskürtmede kullanılan bazı malzemeler ve koruma etkisi [16-17]

| Tel             | Koruma Etkisi  |
|-----------------|--|
| Zn              | Korozyon koruma  |
| Zn/Al 85/15     | Endüstri ve deniz atmosferinde korozyon koruma, SO <sub>2</sub> 'li ortamlarda yüksek direnç                                   |
| Al              | Endüstri ve deniz atmosferinde korozyondan koruma, 800°C ve yukarıdaki yüksek sıcaklık korozyon dayanımı ve gıda endüstrisinde |
| AlMg5           | Deniz atmosferinde korozyon dayanımı   |
| NiTi            | Mükemmel bağ tabakası kaplaması  |
| %13 Cr'lu çelik | Aşınma dayanımı, zayıf korozyon direnci  |
| FeCrAl          | Yüksek sıcaklık korozyon dayanımı  |
| Mo              | Kazımalı korozyona karşı dayanım   |
| NiCr 80 20      | Korozyon dirençli kaplamalar ve seramik üst kaplama için ara tabaka kaplaması  |
| NiAlMo          | Oksidasyon, termal şok ve abrazyon korumasında   |
| FeCrAl          | Mükemmel aşınma dayanımı   |
| Paslanmaz Çelik | Aşınma ve korozyon dayanımı  |
| NiCrMo          | Asidik, sıcak gaz korozyona karşı dayanım  |

Yinede sadece iletken tellerin kullanımı kaplama malzemesi açısından çeşitliliği engellememektedir. İletken olmayan veya tel haline getirilmesi mümkün olmayan malzemeler iletken tellerin dış yüzeylerine kaplanmasıyla beraber kullanılabilir (Şekil 3.9.) [16].



Şekil 3.9. Özlü tel yapımı [17]

Özlü tel olarak adlandırılan bu tip malzemeler ile daha iyi korozyon ve aşınma dayanımı sağlanabilmektedir. Artırılmak istenen servis ömrü ve gelişen teknoloji artık parçaların daha sağlam ve uzun süre kullanımını istemektedir. Özel olarak üretilen bu teller ile istenen koruma mükemmel bir şekilde sağlanabilmektedir. Tablo 3.2.'de genel olarak kullanılan özlü tel türleri, kullanım alanlarıyla beraber verilmiştir.

Tablo 3.2. Elektrik ark püskürtmede kullanılan bazı özlü teller ve kullanım alanları [16-17]

| Özlü tel       | Uygulama Alanı  |
|----------------|---|
| FeCMnSi        | Kuru atmosferde yüksek aşınma dirençli kaplamalar                             |
| FeCrBSi        | Aşınma dirençli kaplamalar, iyi genel korozyon dayanımı ve iyi bağ mukavemeti |
| FeCrBSi+WCCoCr | Mükemmel aşınma dayanımı, iyi genel korozyon direnci ve iyi bağ mukavemeti    |
| FeCrSi         | Aşınma dayanımı ve yüksek sıcaklık korozyon dayanımı (900°C'nin üstü)         |
| NiCr 50 50     | Yüksek sıcaklık korozyon dayanımı (900°C üstü)                                |
| NiBSi+WC       | Yüksek abrasif aşınma dayanımlı kaplamalar, iyi genel korozyon direnci        |
| NiCrBSi        | Islak atmosferde yüksek korozyon direnci, iyi aşınma dayanımı                 |
| NiCrAl         | Oksidasyon ve korozyona dayanım   |
| FeNiCr         | Yüksek sıcaklık korozyona dayanım   |



### 3.5. Elektrik Ark Püskürtme Malzemeleri Kullanım Alanları

Korozyon, aşınma ve parça kayıplarının endüstride büyük bir mali kayıp yaşattığı aşikârdır. Bu tip kayıpları azaltmak ve kayıpları en az seviyelere indirmek amacıyla termal püskürtme kaplamaların kullanımı gelişmiş ülkelerde oldukça yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bu uygulama tekniklerinden biri olan elektrik ark sprey yüksek hızlarda ve büyük birikme verimiyle önemli bir kullanım avantajına sahiptir. Bu sayede geniş alanlar çok hızlı bir şekilde kaplanabilmektedir. Herhangi bir ısıtıcı gaz kullanılmadığı için altlık malzemeye ısı girdisi çok az seviyelerdedir [18].

#### 3.5.1. Al ve alaşımları

Metalik alüminyum kaplamalar gıda endüstrisinde, deniz içi uygulamalarında korozyon koruma için, ticari alanlarda ve askeri uygulamalarda kullanılan kaplamalardır [1-2]. Alüminyumun korozyon koruma alanı asidik bölgededir. Alüminyum kaplamalar özellikle yüksek sıcaklık korozyonuna karşı dirençlidir. Alüminyum alaşımı olarak AlMg5 alaşım kaplamalar özellikle deniz atmosferine maruz kalan gemilerin ve petrol platformların korozyona karşı korunmasında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [17].

Denizcilik ve atmosfer koruması olarak kullanılan alüminyum kaplamaların kullanım ömrünü 20 yıla yakın uzattığı rapor edilmiştir. Alüminyum, korozyon korumasında çelikten daha düşük bir elektrokimyasal potansiyel sergilemektedir. Çevre ile çelik altlık arasında uygulanan kaplama sayesinde Al kaplama galvanik etki sebebiyle koruma sağlayacaktır.

0.08-0.15 mm civarında kaplama olarak uygulanan Al, balık saklama tanklarından gemi zincir kilitlerine, denizcilikte ve deniz endüstrisinde deniz suyuna karşı birçok alanda seal yapılarak veya yapılmadan sıkça kullanılmaktadır.

Kimyasal korozyona karşı yağ arıtım parçalarında, ticari ekipmanlarda ve denizcilikte asidik, yumuşak veya sert su ortamında kullanılmaktadır.

Al kaplamalar 900°C'ye kadar oksidayona karşı direnç gösterebilmektedirler. Yani çelik ısı parçalarında, buhar panellerinde kullanılan ferritik çeliklerde, otomotiv endüstrisinde termal şoka dayanım ve servis ömrünü artırmak maksadıyla da kullanılmaktadır.

Ayrıca elektrik iletkenliği açısından metal olmayan malzemelerin yüzeylerine uygulanarak biriken statik elektriği dağıtmak ve radyo frekansları veya elektromanyetik etkilere karşı korumak için uygulanmaktadır [18].

### 3.5.2. Zn ve alaşımları

Metalik çinko ve alaşımları çelik yapılarda korozyon koruması amacıyla kullanılmaktadır. Zn kaplamalar köprüler, bina kolon ve kirişler büyük çelik yapılar, dökme demir boru, su kuleleri, sıvı depolama tankları ve ev ve sanayi tüplerinin kaplanması gibi uygulamalarda başarı bir şekilde kullanılmaktadırlar [17].

Galvanik etki sebebiyle çelik köprülerde sıklıkla kullanılan çinko kaplamalar, korozyon dayanımını oldukça artırmaktadır. Çinkonun oksitlenme potansiyeli oldukça düşüktür. Uygulanan kaplama ile yüzeyde ince bir çinko oksit yapısı havayla etkileşimde olacaktır. Burada çinko oksit tepkime sonucu çinko hidroksit formunu oluşturur. Karbondioksit ve çinko hidroksit tepkimeleri yüzeyde çinko karbonat katmanları meydana getirecek ve koruma sağlanmış olacaktır. Yumuşak ve diğer kaplama malzemelerine nazaran ucuz oluşu avantajlarıdır [6].

Çinko ve alüminyum alaşımları ile kanıtlanmış olan Zn/Al 85/15, çinkoya benzer ve tuzlu ortamlarda alüminyumun koruyuculuk performansı geliştirmiştir. Japonya da yapılan çalışmalarda özellikle %85 ve %15 alüminyum alaşımların kaplamalarda avantaj sağladığı anlaşılmıştır. Bu kaplamalar çelik köprülerin kaplanmasında başarı ile kullanılmıştır [6].

### 3.5.3. Ni ve alaşımları

Nikel ve nikel alaşım kaplamaları deniz atmosferindeki ve desalinasyon alanlarındaki komponentlerin korozyona karşı koruma sağlanması için uygulanır. Özellikle ark sprey NiCu30Fe kaplamalar indirgeyici ortamlarda ve oksitli akışkanlarda mükemmel korozyon koruma sağlamaktadır.

Elektrik ark püskürtme ile üretilen NiCr 80/20 kaplamalar ıslak ortamdaki korozyon karşı koruma için uygulanan bir diğer nikel alaşım kaplamadır. Mükemmel bir korozyon koruması sağlayan NiCr 80/20 için en iyi sonucu elde etmek için kaplama sırasında atomize gaz olarak argon kullanılması gerekmektedir [17].

## 3.6. Gelişen Elektrik Ark Püskürtme Teknolojisi

Tel ark sprey, endüstride geniş yelpazede kaplamaya imkân veren ekonomik bir kaplama yöntemidir. Ana tema ucuz tel formundaki malzemeyi kolayca yüzeye kaplamaktır. Fakat bu basit kaplama uygulaması, kaplamanın geliştirilmesi için yeni ekipman ve projelerin kullanılmasını engellemez. Çünkü gelişen teknoloji bu ekipmanların kullanılmasını zorunlu kılar [11].

### 3.6.1. İki farklı tel kaplama

Elektrik ark spreyde son günlerde araştırmalar intermetalik bileşik kaplama, alaşım kaplama ve metal-seramik kompozit kaplamalara yoğunlaşmıştır. Bu kaplamalar önceden hazırlanmış özlü teller veya alaşım telleriyle yapılıyordu. Alternatif metot ise iki farklı telle kaplama yapmanın araştırılmasıdır. Bu geleneksel metotlara karşı gelmek anlamına gelmektedir. Çünkü farklı teller ile kaplama yapmak çok zordur. Bununla birlikte yapıldığında çok geniş çeşitlilikte kaplama yapılmasına imkân verecektir.

Örneğin Tokyo teknoloji enstitüsünde yapılan araştırmada Ti ve Al tellerin bir arada kullanılmasıyla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Araştırmada deneysel etkilerin tam olarak anlaşılması için ark davranışının düzenli olarak sağlanması gerekmektedir.

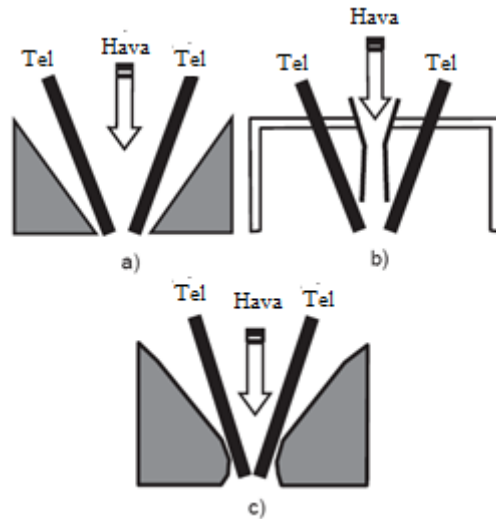
Ark kaplama yapısında kuvvetli bir etkiye sahiptir. Kaplama mikroyapısını, porozitesini, oksit içeriğini vs. etkiler. Bu özellikleri yine gaz basıncı ve nozul dizaynı da etkilidir. Gaz akışı ve damlacıklar arasındaki ilişki, türbilans ve oksidasyonu etkilediği için kaplama kalitesinde çok önemli bir etkiye sahiptir.

Çalışma sonucunda uygun ark kararlılığını veren Ti-anot ve Al-katot kaplamanın yüzey üzerine oldukça dengeli bir şekilde yayıldığı görülmüştür. Çünkü Ti-anot ve Al-katot ile üretilen kaplama diğerlerine nazaran daha sabit bir elektrot dalgalanması sergilemiştir.

Ayrıca yüksek ergime noktasına sahip malzemelerin anot, düşük ergime noktasına sahip malzemelerin ise katot olarak kullanılabilceği ortaya konulmuştur [19].

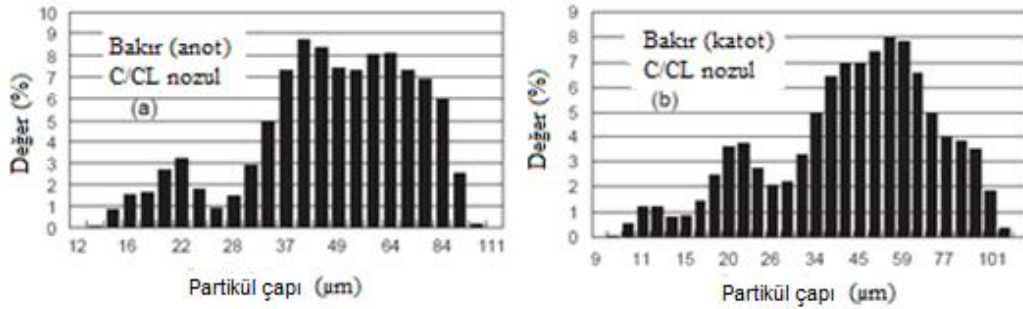
Yine farklı bir çalışmada çelik ve bakır tel malzemeler anot ve katot olarak kullanılarak, farklı nozul tiplerinde denenmiş ve uygun kaplama yapısı elde edilmeye çalışılmıştır [20].

Üç çeşit nozul deneylerde kullanılmış olup Şekil 3.10.'da bunlar görülebilir;



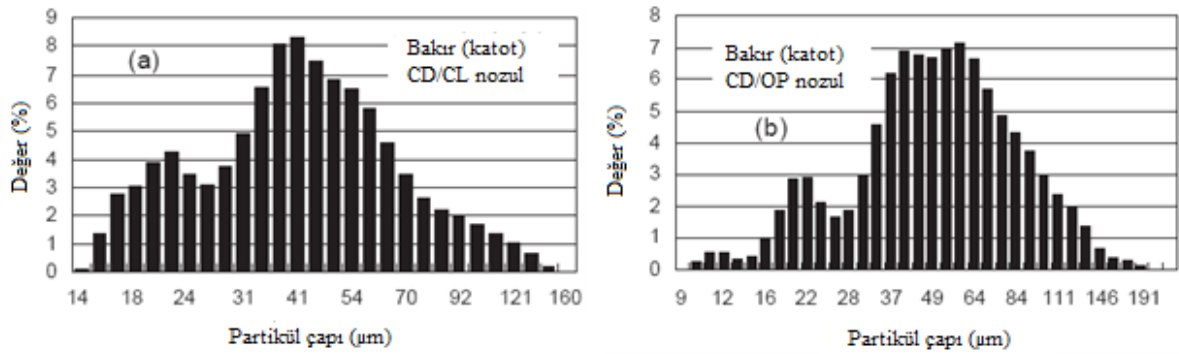
Şekil 3.10. Deneyde kullanılan nozul tipleri a) C/CL, standart Tafa 9000 kapalı - birleşen nozul b) CD/OP, açık - birleşip ayrılan nozul c) CD/CL, kapalı - birleşip ayrılan nozul [20]

Her iki telle ilgili gerekli partikül çap bilgisi böylece sağlanmış olacaktır (Şekil 3.11).



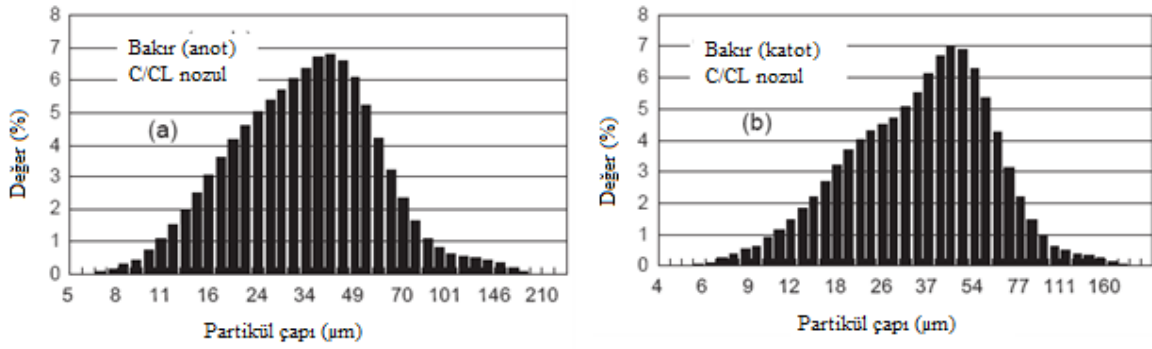
Şekil 3.11. C/CL, standart Tafa 9000 kapalı - birleşen nozulda tellerin anot-katot olarak kullanımının partikül çapına etkisi [20]

Partikül dağılımı çok geniş bir boyutta olmuştur. Gaz basıncı artırılıp diğer nozullar denense dahi hemen hemen aynı sonuca ulaşılmıştır (Şekil 3.12.).



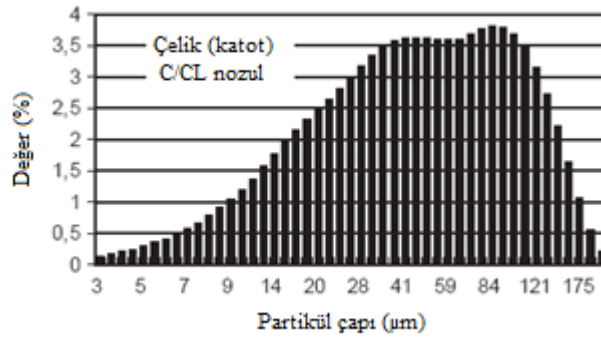
Şekil 3.12. CD/CL ve CD/OP nozullarının bakır katot olarak kullanıldığında partikül çaplarına etkisi [20]

Şekil 3.13.'de gaz basıncı artırıldığında C/CL nozulla dengesiz boyut dağılımı kısmen azalmıştır. Bunun olası sebebi ark voltajının ve dalgalanmasının düzelmesidir. Dalgalanma tellerin farklı ergime durumlarından dolayı oluşur.



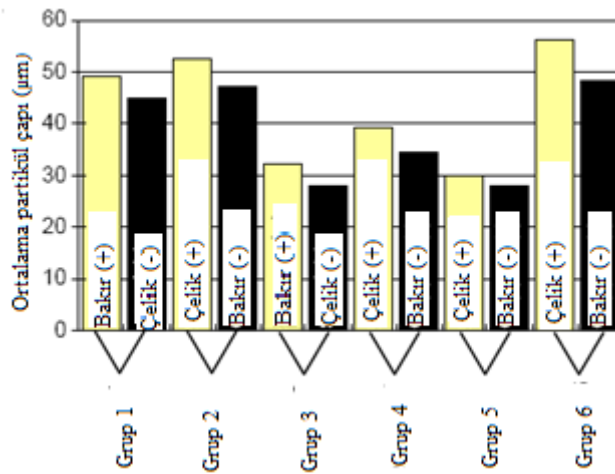
Şekil 3.13. C/CL nozulda bakırın anot-katod olarak kullanımında partikül boyut dağılımı [20]

Çelik katot olarak kullanıldığında boyut dağılımının, bakıra nazaran daha dengeli olduğu görülebilir (Şekil 3.14.). Bu bize boyut dağılımının malzemeye bağlı olduğunu göstermektedir. Yani örnek olarak ergimiş partiküllerin vizkozite ve yüzey gerilimlerinin etkilerini söyleyebiliriz.



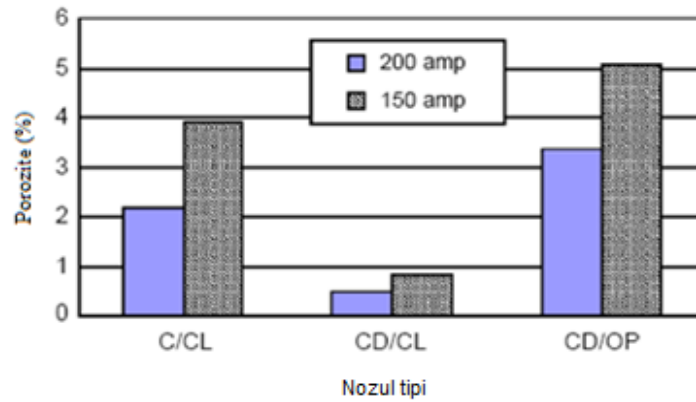
Şekil 3.14. C/CL nozulda çelik katot olarak kullanıldığında partikül çapına etkisi [20]

Diğer ilginç nokta ortalama partikül boyut dağılımındaki değişimdir (Şekil 3.15.). Önerilen CD/CL nozuldur (grup 5). CD/OP nozulda daha büyük partiküller üretilmiştir.

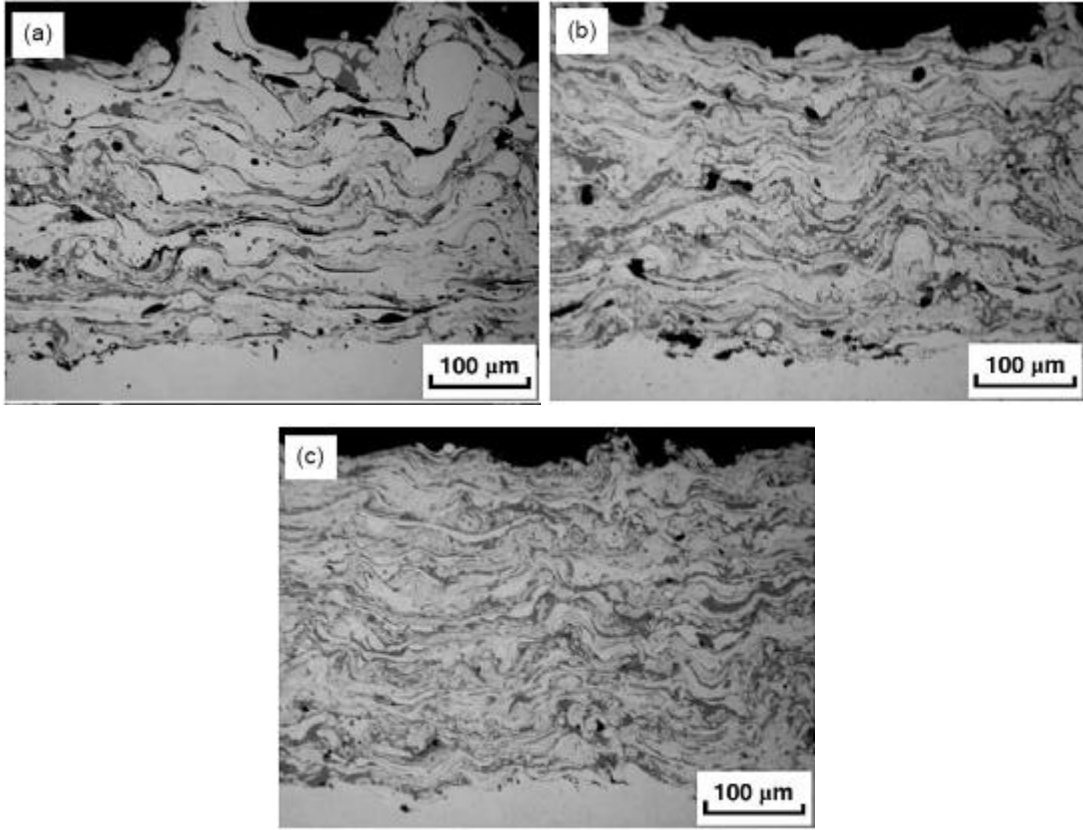


Şekil 3.15. Farklı nozul konfigürasyonu ve atomize gaz basıncında ortalama partikül boyut dağılımı (püskürtme mesafesi 300 mm); grup 1- C/CL nozul, 0,28/0,28 MPa; grup 2- C/CL nozul, 0,28/0,28 MPa; grup 3- C/CL nozul, 0,46/0,49 MPa; grup 4- C/CL nozul, 0,46/0,49 MPa; grup 5- CD/CL nozul, 0,32/0,32 MPa; grup 6- CD/OP nozul, 0,32/0,32 MPa [20]

Şekil 3.17'de farklı nozullar ile çelik kaplama yapıları görülebilir. CD/OP nozulla (Şekil 3.17a.) yapılan kaplamanın kalitesizliği çok açıktır. Lameler olmayan katmanlar ve çatlaklar bulunmaktadır. Şekil 3.17c.'de CD/CL nozulla yoğun ve iyi bir yapı meydana gelmiştir. Porozite miktarları Şekil 3.16'dadır.

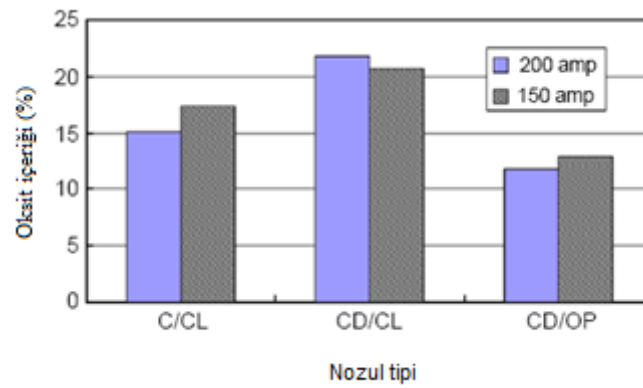


Şekil 3.16. Farklı nozullarla değişik akımlarda porozite miktarları [20]



Şekil 3.17. Farklı nozullarla kaplama yapıları a) CD/OP b) C/CL c) CD/CL [20]

Oksit içeriği Şekil 3.18.'de görülebilir. Burada partiküllerin CD/CL nozulda daha hızlı atomize oldukları söylenebilir.

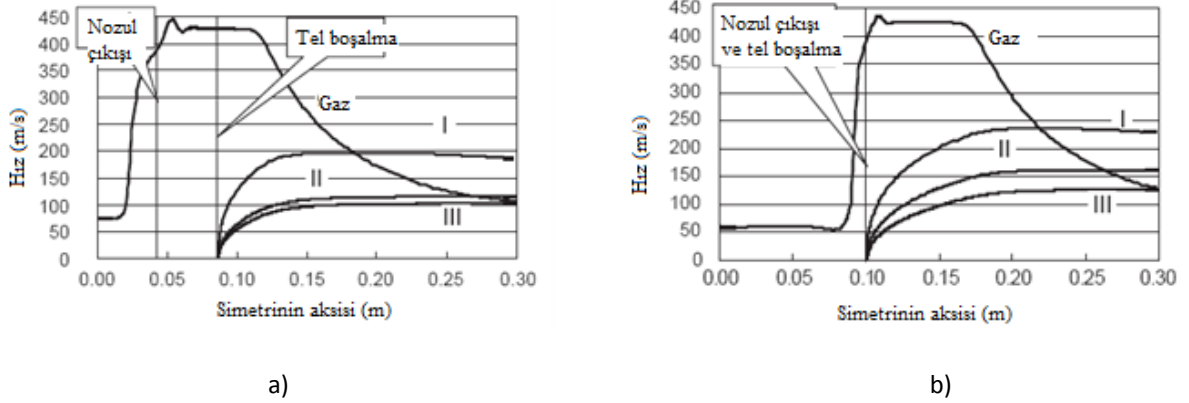


Şekil 3.18. 30 V ve 200 mm mesafede farklı akım ve nozularda oksit içeriği [20]

Sonuçta CD/CL nozulda daha az porozite vardır. İki farklı amper kullanılmıştır. Yüksek amperde partiküller daha sıcak olduğu için oksit miktarı artış göstermiştir.



CD/CL ve CD/OP nozul sistemlerinde hava dinamik davranışlarını incelenmiştir (Şekil 3.19.). İki nozulda da gaz davranışı benzer bir yapı sergilemektedir.



Şekil 3.19. a) CD/OP nozulda atomize gaz basıncı ve partikül hızının simetrik aksisi (jetin merkez çizgisinde) I-partikül çapı ortalama 10µm, II- ortalama partikül çapı 51,7 µm, III- ortalama partikül çapı 70 µm (gaz akım hızı 140 m³/s) b) ) CD/CL nozulda atomize gaz basıncı ve partikül hızının simetrik aksisi (jetin merkez çizgisinde) I-partikül çapı ortalama 10µm, II- ortalama partikül çapı 34,5 µm, III- ortalama partikül çapı 70 µm (gaz akım hızı 140 m³/s) [20]

Gaz hızı yaklaşık olarak 75 mm mesafedeyken en yüksek seviyeye ulaşmış, daha sonrada düşüş göstermiştir. Yüze 200 mm kala da 120 m/sn hıza inmektedir. Partikül hızlarına bakıldığında ise CD/CL nozulla üretilen partiküller, CD/OP nozulla üretilenlere nazaran 40 m/sn daha hızlı olduğu görülebilir. Ayrıca daha küçük partiküllere sahip olduğundan CD/CL nozulu çok daha iyi bir yapı meydana getirecektir [20].

### 3.6.2. Şekli parça üretimi

Son zamanlarda ark spreyle şekil verme, hızlı işleme alanlarında seri üretim ve geniş parçaların dökümü için önemli bir potansiyel oluşturmuştur. Ark spreyle şekil verme proseslerinde, ana bir altlık üzerine metal teller ergitilip püskürtülür ve kalın metal kabuklu bir yapı bu altlık üzerinde oluşturulmuş olur. Daha sonra bu yapının üstü uygun olan malzemelerle doldurulduktan sonra kalıplar ve parçalar kullanılabilir. Yüksek verimlilik, üretimin fazla zaman almaması ve düşük operasyon maliyetlerinden dolayı ark sprey ile şekil verme büyük bir avantaj sunmaktadır. Buna

ek olarak da malzeme seçimi ve boyut sınırlamaları da ark spreyin diğer yararlı özelliklerindendi.

Ark sprey ile metal işleme hızlı bir üretim olması ve çeşitli üretim proseslerinin kullanılması ile kalıp üretimlerinde ticari olarak; vakumla biçimlendirme, polikarbonat, naylon, poliester, polipropilen içeren geniş malzeme grupları ve basınçlı kalıplar, enjeksiyon kalıpları ve kimyasal enjeksiyon kalıplarında uygulanabilir olması bu prosesin önemini ortaya koymaktadır.

Ark sprey ile işleme, kalıp hazırlama metodunun “kopyasını yapma” olayıdır. Öncelikle fiziksel bir ana model önceden hazırlanmış olmalıdır. Gerçek üretim parçaları hızlı prototiplerden veya düşük maliyetli kolay işlenebilir malzemelerden (odun, alçı vb.) meydana gelmelidir.

Öncelikle kaplama için uygun fiziksel model seçimi gerekir. Daha sonra model üzerine ark sprey tabancası ile ergimiş partiküller arzu edilen kalınlığa ulaşmaya kadar (kaplama kalınlığı) püskürtülmelidir. Genel olarak kaplama kalınlığı 1,5-2 mm aralığında değişmektedir. Püskürtülmüş kaplama modelin tersidir ve modelin doğru olarak kopyasının üretildiğinin kanıtı olarak tabir edilir. Kaplamadan sonra model uygun malzemeler ile desteklenir. Son işlem olarak, metal kaplamaların sonu uygun olan malzemelerle çerçevelenir. Epoksi reçineler ve metal tozları ile gelişmiş destekleme sistemlerinden oluşan karışımlarla kaplamanın arkası doldurulur. Bu takviyeler basınçlı döküm kalıplarına karşı koyabilmek için mutlak yapılmalıdır. Epoksi ve kaplama malzemesinin termal genişleme katsayılarının birbirlerine yakın olması istenir. Bu olay termal genişlemeler ve boyutsal hataları önlemek açısından önemlidir. Diğer proses adımlarını tamamladıktan sonra da model çıkarılır ve istenilen döküm kalıbı elde edilmiş olur [21].

### **3.6.3. HVAS (Yüksek Hızlı Ark Püskürtme)**

1945'lerin sonlarına doğru teknik ve proseslerdeki ilerlemeler ile ark sprey daha da dikkat kazanmıştır. HVAS, yeni gelişen termal sprey tekniğiyle beraber daha fazla araştırmacının dikkatini çekmiştir. Araştırmalar göstermiştir ki gelişmiş atomize gaz

basıncının kullanımı, kaplamalarda çok iyi yapı ve özelliklerin ortaya çıkmasını sağlamışlardır. Atomize gazın hızı 600 m/sn gibi çok yüksek hızlara çıkabilmektedir.

Yapılan bir çalışmada HVAS ile geleneksel ark püskürtme kaplamalar ile elde edilemeyen kaplama kalitesinin yakalandığı ortaya konmaktadır.

HVAS ile elde edilen kaplamadaki porozite miktarı yarı yarıya daha düşüktür. Sonuçlara göre HVAS'taki kaplama kalitesi HVOF veya plazmayla eşdeğer bir kalite sergilemektedir. Tablo 3.3.'de iki farklı teknikle üretilen tel kaplamaların kimyasal kompozisyonu ve oksit içerikleri verilmektedir.

Tablo 3.3. İki farklı teknikle üretilen tel kaplamanın kimyasal kompozisyonlar ve % oksit içeriği [22]

| Ark Püskürtme Cihazı | Kaplama malzemesi | Fe (%) | Cr (%) | O (%) | Oksit (%) |
|----------------------|-------------------|--------|--------|-------|-----------|
| HVAS                 | 3Cr13             | 80.905 | 13.745 | 5.341 | 16.9      |
| AS                   | 3Cr13             | 81.750 | 15.061 | 3.189 | 10.1      |

HVAS kaplamada AS kaplamaya nazaran daha fazla oksit içeriği görülüyor. Oksit içeriğinin artmasının sebebi atomize partiküllerin fazlalığıdır. HVAS ile yüksek hızda, AS'ye nazaran çok daha küçük partiküller üretilip püskürtülür. Buda daha fazla oksit içeriği getirir. Oksit içeriğinin artması da daha sert ve aşınma dayanımı daha yüksek bir kaplama elde edilmesini sağlar.

HVAS ve AS için kaplamaların yapışma dayanımı ve mikrosertlikleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 3.4.'de görülebilir.

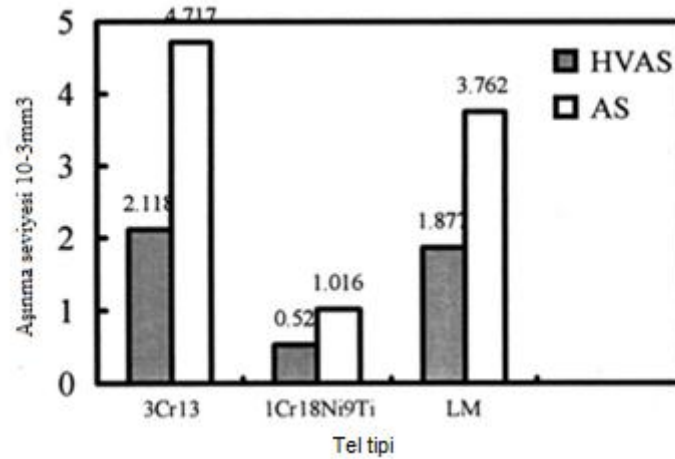
Tablo 3.4. HVAS ve AS cihazlarının yapışma mukavemeti ve mikrosertliği karşılaştırması [22]

| Ark püskürtme cihazı | Kaplama malzemesi | Yapışma kuvveti (MPa) | Mikrosertliği (HV) |
|----------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|
| HVAS                 | Al                | 35.1                  | 69.7               |
| HVAS                 | 3Cr13             | 42.8                  | 460                |
| AS                   | Al                | 16.4                  | 55.8               |
| AS                   | 3Cr13             | 28.2                  | 380                |

HVAS, daha iyi bir yapışma mukavemeti göstermiştir. Sonuçları birleştirirsek HVAS ile üretilen çok yüksek hızlı partiküller yüzeye oldukça yüksek hızda çarparlar ve buda yapışma mukavemeti için anahtar rolü oynamaktadır.

Mikrosertlikte ise Al için %25, 3Cr13 için %21 dolaylarında daha sert kaplamalar elde edilmiştir. Burada yüksek oksit içeriği ve çarpışma hızı etkili olmuştur. Sonuçta çok yüksek yoğunlukta, sert ve porozitesiz kaplama elde edilmiştir.

Şekil 3.20.'de HVAS ile AS kaplamaların aşınma seviyeleri verilmiştir. Dikkat edilirse AS'in bütün aşınma seviyelerinde daha fazla aşındığı görülebilir.



Şekil 3.20. HVAS ve AS aşınma seviyeleri [22]

HVAS kaplamaların yüzeyleri düz, uniform ve yoğundur. AS'e göre daha yoğun ve az porozitelidir. Ayrıca oksit içeriği daha fazladır. Sebebi artan partikül hızıdır. Partiküller daha hızlı olduğu için daha iyi bir yapışma mukavemeti sergilemiştir.

Yine oksit içeriğinden dolayı daha sert kaplama yapısı elde edilmiş ve daha iyi aşınma dayanımı elde edilmiştir [22].

## **BÖLÜM 4. ELEKTRİK ARK PÜSKÜRTEDE KAPLAMALARA ETKİ EDEN FAKTÖRLER**

### **4.1. Giriş**

Elektrik ark püskürtmede birçok faktör partikül ergimesine etki etmektedir. Bu etkiler düzgün olmayan ark oluşmasına sebebiyet verebilir. Bunlardan ikisi atomize püskürtmede iniş çıkışlı ark voltajı ve tellerin ergimiş partikülleridir. Oluşturulan arkın partikül tiplerine göre doğru ayarlaması gerekir.

Atomize partiküllerin kaplama malzeme üzerindeki yolda kinetik enerji ve oluşumu, atomize gaz jetin özelliklerine ve sprej malzemesine oldukça bağlıdır. Genellikle proses parametreleri ve ark sprej tabancasına uygulanan nozul sistemi, atomize gaz basıncı, atomize gazın cinsi, voltaj akımı, püskürtme mesafesi, tel besleme hızı vs. kaplama yapısını belirler [23].

### **4.2. Püskürtme Mesafesinin Etkisi**

Tavsiye edilen sprej mesafeleri 125 mm ila 200 mm'dir. Standart olan ise 150 mm'dir. Sprej mesafesinin kısa olması oluşan dropletlerin hava ile temas zamanını düşüreceğinden oksit içeriği de düşük olacaktır. Sprej mesafesinin artması ile de hem oksit oranı artacak ve hem de dropletlerin hızı düşeceği için yüzeye iyi yapışma ve dağılma olmayacağından porozite içeriği yükselecektir [14].

Artan mesafe ile gaz hızı düşmektedir. Tabanca ağızdaki çıkış hızı  $255 \text{ m s}^{-1}$  iken 150 mm'lik aksenel bir mesafede gazın hızı  $75 \text{ m s}^{-1}$ 'e düşmektedir. Aksenel mesafeyi 95 mm'ye düşürdüğümüzde gazın hızı yaklaşık  $120 \text{ m s}^{-1}$  olmaktadır ve sonra bu hız  $135 \text{ m s}^{-1}$  ve  $150 \text{ m s}^{-1}$  e kadar daha da hızlanmaktadır [24].

### 4.3. Püskürtme Gaz Cinsinin Etkisi

Elektrik ark püskürtme uygulamalarında ergitilen tel bir atomize gaz ile yüzeye püskürtülür. Fakat uygulamalarda uygulanan gazın cinsi kaplamalarda kaliteyi ve yapıyı oldukça etkilemektedir. Uygulamanın cinsine ve önemine göre atomize gaz tipinin seçimi oldukça önem taşımaktadır. Yapılan araştırmalarda bunun önemini ortaya koymaktadır.

Ark sprey kaplamalarda atomize gaz olarak genelde hava kullanılır. En büyük avantajı kolay bulunur ve ucuz olmasıdır. Atomize gaz olarak hava kullanan prosesler, oksit içeriği yüksek kaplamalar üretirler. Bu sayede yüksek abrazyon ve aşınma dayanımı sağlarlar. Bununla birlikte oksitli kaplamalar, kaplama özelliklerine zarar verebilir. Çünkü oksitler kaplama-altlık malzeme arasındaki yapışma kuvvetini düşürür. Bu sebeple sert oksitli kaplamalar üretim sürecinde sorunla karşılaşabilirler. Ayrıca hava kullanarak üretilen kaplamalarda bol miktarda porozite bulunmaktadır ki buda zararlıdır. Bu sebeple bu tip kaplamalara tam olarak güvenilemez [11].

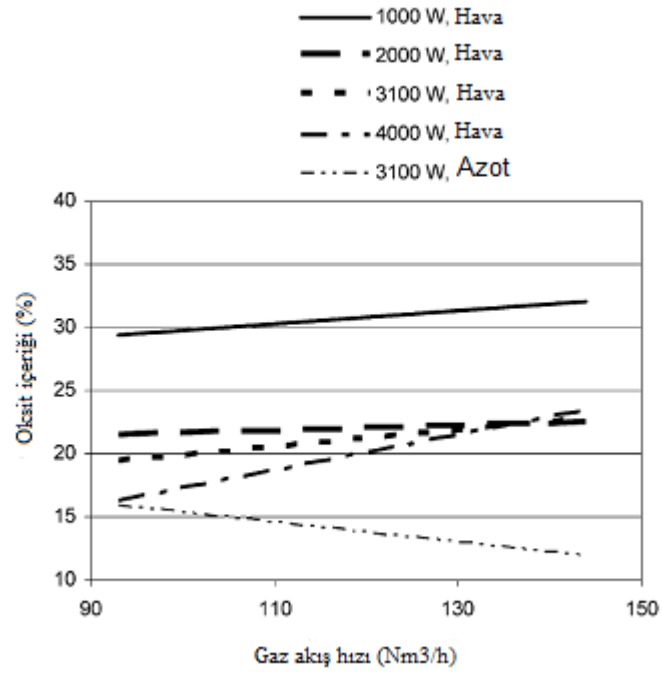
Yapılan araştırmalarda, çelik kaplamalarda atomize gaz olarak azot kullanıldığında, oksidasyon yoğunluğunun düzenli bir şekilde azaldığını göstermektedir [25].

Araştırmalarda anlaşılmıştır ki sprey parametre değerlerinin, kaplamaların mikroyapı, mekanik özellik ve mikrosertliğe etki ettiği tespit edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada deney boyunca kaplamaya basınçlı atomize gaz olarak hava verilmiş, değişik püskürtme aralıklarında (toz besleme ve gaz basınçlarında) mikrosertlik, mikroyapı ve elastik modülü araştırılmıştır. Daha sonra kaplamada kullanılan basınçlı atomize gaz aralıklarının, (azot ve hava) püskürtme parametrelerin kimliği verilmiştir. Değişik hız, basınç ve güçlerde çalışmalar yapılmış, ayrıca ikincil hava gazı da deneylerde değişik basınçlarda kullanılarak etkileri araştırılmıştır.

Atomize püskürtülen gaz atım hızını oksit birikimine etkisi Şekil 4.1.'de verilmiştir. Hava kullanıldığı zaman, gaz akım hızı arttıkça oksit birikimi artmaktadır. Azotta ise tam tersi bir olgu izlenmektedir.

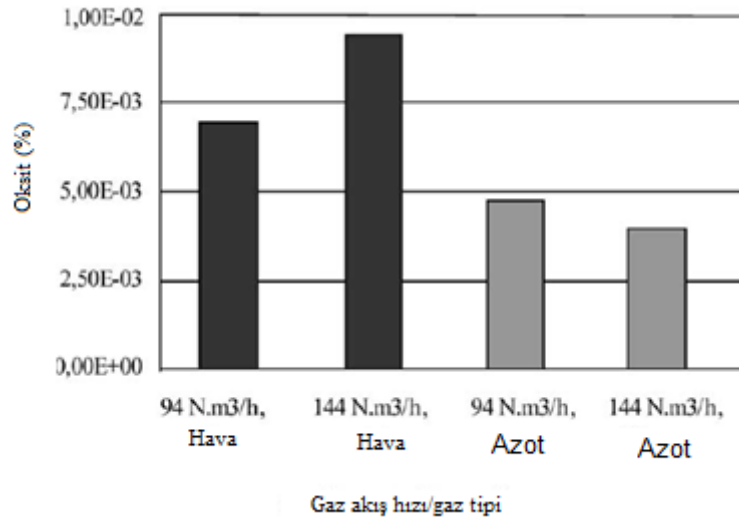
Grafikten de görülebildiği gibi azot kullanıldığında gaz basıncının artmasıyla beraber oksit içeriği daha düşük seviyelere doğru ilerlemiştir. Hava kullanıldığında ise gaz basıncıyla beraber oksit birikimi üst seviyelere çıkmıştır.



Şekil 4.1. Atomize püskürtülen gaz akış hızı ve oksit birikim yüzdesi grafiği, kullanılan güç değerleriyle beraber verilmiştir [25]

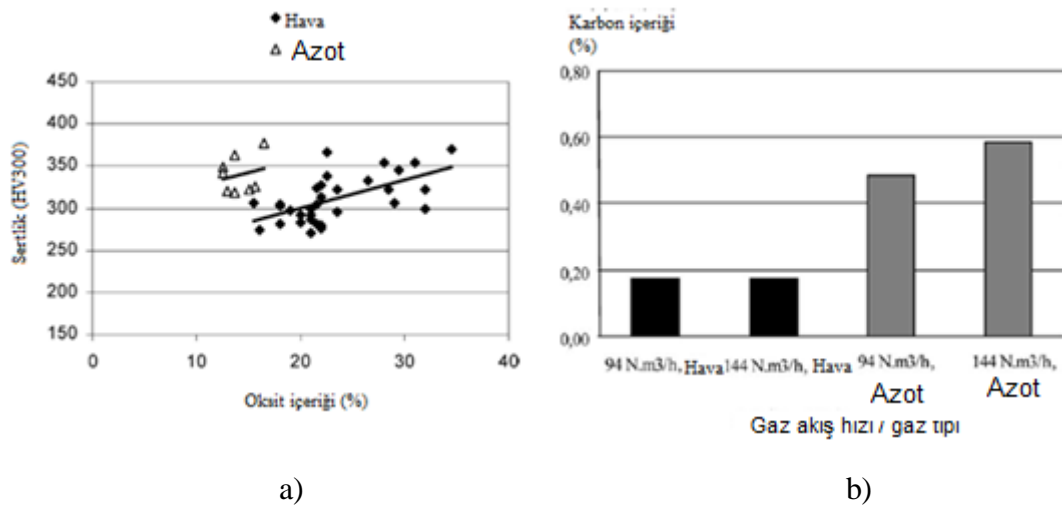
Analiz sonuçlarına göre oksit birikimi her iki gaz basıncına göre de Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.





Şekil 4.2. Kaplamalardaki oksit birikiminin farklı gaz basınçlarında ve değişik atomize gaz türünde karşılaştırılması (Güç 3100 W) [25]

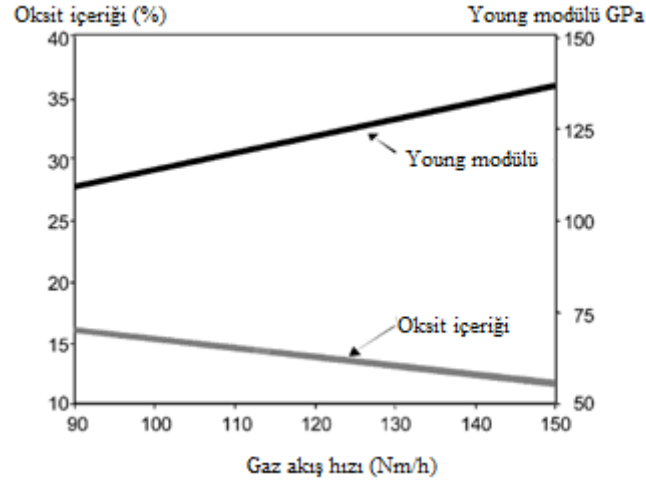
Eğilim, sertlik ve oksit birikimi için benzer özellikler göstermekte ve kaplamalardaki oksit birikimi-sertlik arasında bağlantı kurabilmek mümkün olmaktadır. Bu bağlantı Şekil 4.3a'da görülebileceği gibi sürpriz bir sonuç olmamıştır. Her iki püskürtme durumunda da (azot ve hava) sonuçlar görülebilir;



Şekil 4.3. a) Her iki gaz içinde sertlik ve oksit birikim yüzdesi grafiği b) GDS değeriyle kaplamadaki karbon yüzdesi (güç 3100 W) [25]

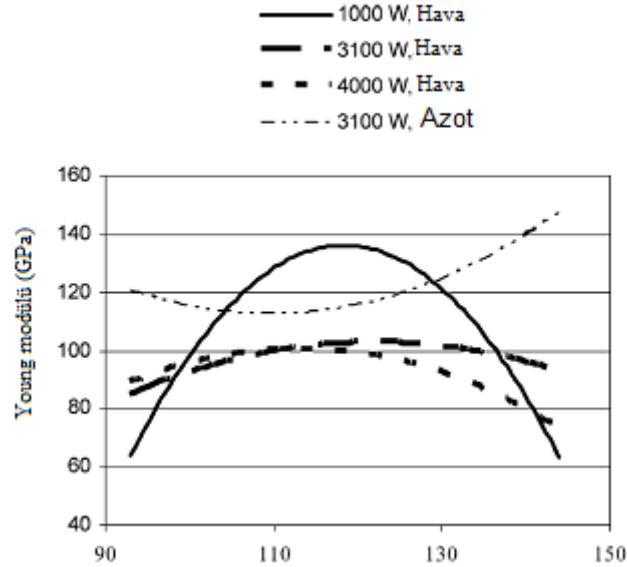
Azot kullanıldığında ise oksitlenme hızı ve sertlik değişmekte, fakat bu eğilimde yaklaşık aynı olmaktadır (Şekil 4.3.). Azot kullanılarak yapılan kaplama ile hava kullanarak yapılan kaplama arasında % 0,2 – 0,5 C fark vardır.

Basınçlı gaz olarak hava kullanıldığında ortalama elastik modülü  $100 \pm 10$  GPa, azot kullanıldığında ise ortalama elastik modülü  $120 \pm 10$  GPa olarak ortaya çıkmıştır. Azot akım hızının oksit birikimine karşı elastik modülü değerleri Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Azotun atım hızı ve oksit birikimine göre elastik modülü grafiği [25]

Şekil 4.5.'de ise her iki gaz içinde elastik modül – gaz akım hızının değişik güçlerde davranışı gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Elastik modülü – gaz atım hızı grafiği [25]

Azot için konuşursak, gaz akış hızı arttıkça elastik modül bir miktar düşmüştü, fakat artış devam ettikçe elastik modül artmıştır.

Hava kullanıldığında ise tam tersine bir durum söz konusudur. Doğrusal olmayan bir eğim gözlemlenebilir. Elastik modülü hız arttıkça maksimum değere ulaşmış ( $120 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$  'de) ve ilerledikçe tekrar azalmaya başlamıştır. Bu olay büyük olasılıkla iki mekanizmadan kaynaklanmıştır;

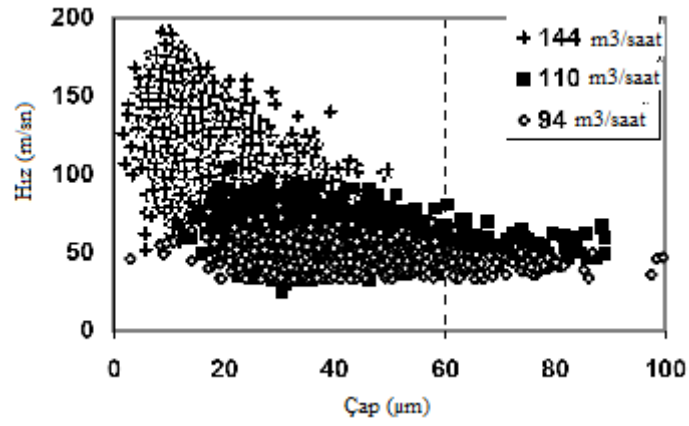
Birincisi, partiküller çok iyi düzleşmiş ve mikro yapı daha homojen bir oluşum meydana getirmiştir. Elektrik ark spreyle yapılan kaplamada yüksek elastik modülü, yüksek gaz hızlarında yüksek ince lamel oluşumuyla sağlanabilir. Ayrıca kaplamada homojenlikte sağlanabilir. İkincisi, metal spreyle kaplamalardan kaynaklanır. Çünkü kaplamalardaki oksit varlığı, temel bağlarının düşük homojenlikte olmasını sağlamaktadır. Yüksek oksit birikimi, düşük elastik modülünü getirir.

Atomize gaz olarak hava kullanıldığında yüksek oksit birikimi yaşanmaktadır. Bu nedenle havada yüksek atım hızları, kaplamada elastik modülüne zarar vermektedir.

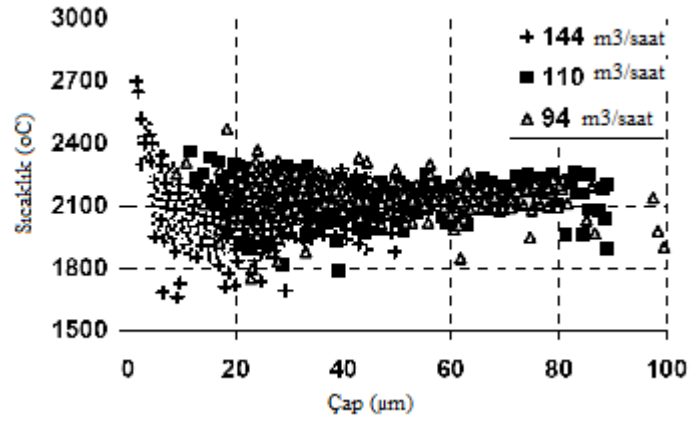
Sonuçta, atomize gaz tipinin oksit birikimine ve dolayısıyla sertlik ve elastik modülüne etki ettiği çok açıktır. Atomize gaz olarak hava kullanıldığında düşük gaz hızlarında ve atomize gaz olarak azot kullanıldığında yüksek gaz hızlarında düşük oksit birikimi görülmüştür. Ayrıca, her ikisi gaz tipinde de yüksek oksit birikimi bizi sert bir yapıya götürmektedir. Fakat azot kullanıldığında, kaplamada daha iyi karbon tutmaya izin vermektedir.

Kaplamadaki elastik modülü, splat kalınlığı ve oksit birikimi spreyle parametrelerine göre değişmektedir. Ki bu en çok elastik modülüne etki etmektedir. Azotla kullanıldığında yüksek değerler elde edilmiş, fakat hava kullanıldığında da dikkatli seçilen spreyle parametrelerinde aynı sonuçlar elde edilebilmektedir [25].

Şekil 4.6. partikül hızı ve partikül çapları arasındaki ilişkiyi ortaya koyarken buna bağlı olarak Şekil 4.7.'de farklı gaz akış hızları için sıcaklık ve partikül çapları arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır [26].



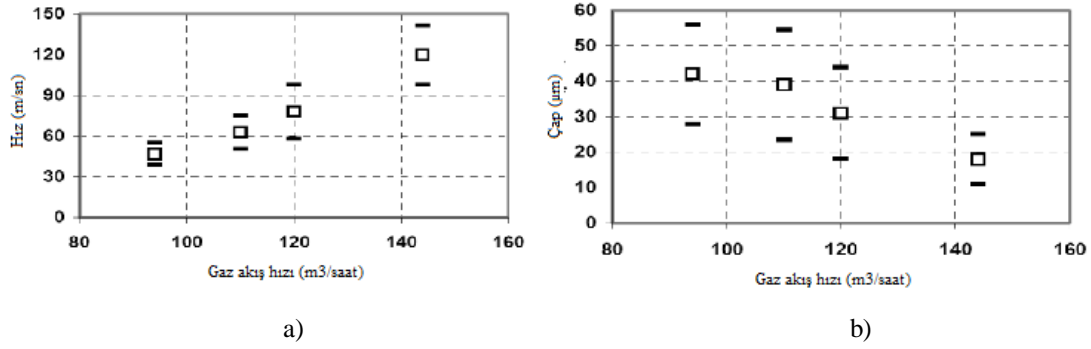
Şekil 4.6. Üç gaz akış hızlarında partikül çapları ve hız arasındaki ilişki [26]



Şekil 4.7. Üç farklı gaz akış hızı için partikül çapları ve sıcaklık arasındaki ilişki [26]

Verilmiş olan gaz akış hızları ve hızın artmasıyla birlikte partikül boyutu küçülür. Bu eğilim hava akış hızı artırıldığı zaman da doğrulanmıştır. Diğer bir durumda gaz akımı değiştirilirken tanecik sıcaklığının gelişiminde çok fazla farklılıklar yoktur.

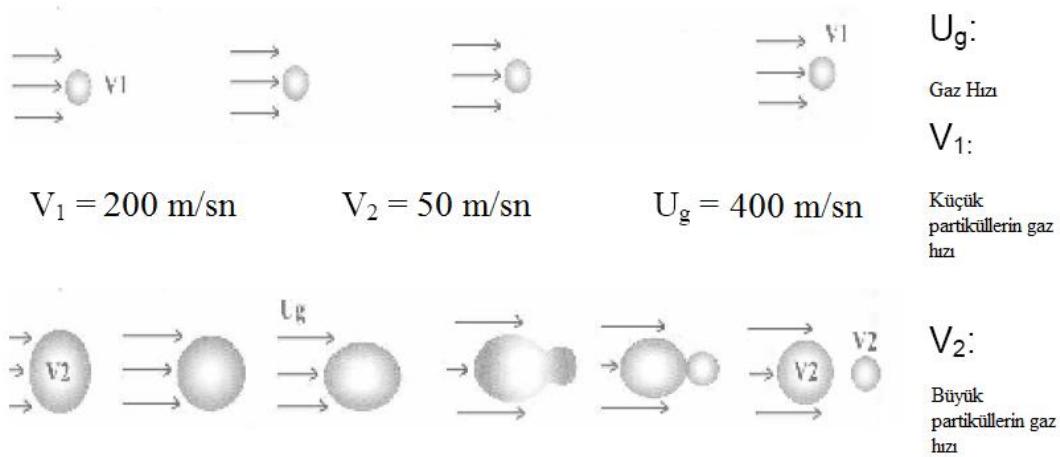
Şekil 4.8a. ve Şekil 4.8b.'de belirtilen gaz besleme oranları ile hız ve çap arasındaki ilişkiler verilmiştir.



Şekil 4.8. a) Gaz akım hızına karşısında partikül hızlarının yayılımı b) Gaz akım hızına göre partikül çaplarının yayılımı [26]

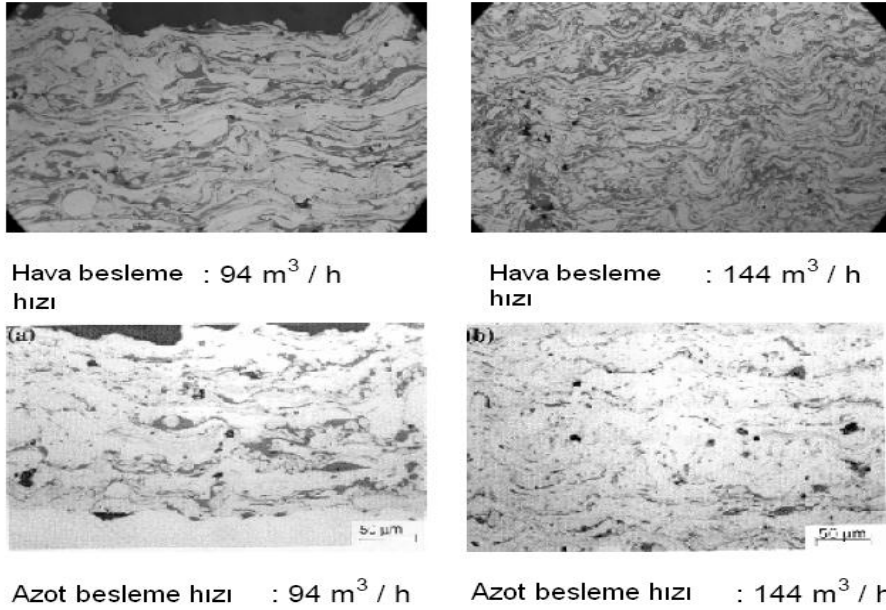
Örnek sonuçlara göre; akım oranı artarken hız 40 m/sn'den 120 m/s arttığında partikül boyutu da 42  $\mu\text{m}$ 'dan 17  $\mu\text{m}$  düşüş göstermektedir. Bu da küçük damlacık boyutlarının daha yüksek hızlarda ve akım oranlarında ortaya çıktığını gösterir.

Genel olarak bu süreçte kullanılan proseslerle partiküllerin yayınımları izah edilebilir. Aslında bazı küçük dropletler tellerin uç kısımları elektrik arkıyla ergitilerek doğrudan üretilmiştir. Diğer taraftan bazı damlacıklarda uçuş sırasında birbirlerinden ayrılarak kendisinden daha küçük damlacıkları oluşturmuşlardır. İki partikül davranışının (büyük ve küçük) yüksek hızlı bir gaz akımında şematik olarak görünümü Şekil 4.9.'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Uçan partiküllerde ayrılma olayının şematik olarak tarif edilmesi [26]

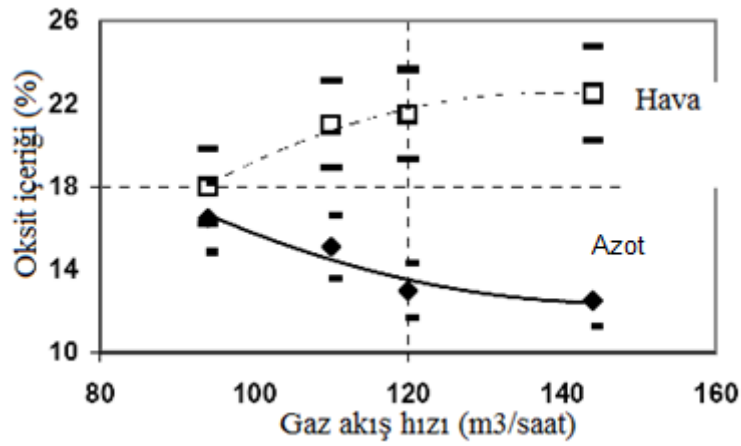
Bazı durumlarda partikül ve fişkıma arasındaki bağıl hız büyük partiküllerin boyutlarını önemli derecede etkiler. Bazı durumlarda kullanılabilir enerji ile aynı hıza sahip olan orijinal elementlerden daha büyük damlacıklardan daha küçük damlacıkların oluşmasına izin verir. Bu fikir, yüksek gaz akış oranında, hız dağılımı ve küçük taneciğin, uzanan dağılımını neden aldığını açıklayabilir.



Şekil 4.10 . Aynı tür kaplamalar için iki farklı gaz hızında elde edilen kaplama mikro yapıları [26]

Kaplamalarda kullanılan herhangi doğal bir gazın akım hızı arttırıldığında daha ince lamelli yapılar meydana gelir (Şekil 4.10.). Resimlerin büyütülmesiyle morfolojideki lamellerin boyut ve şekillerinde farklılıklar daha net gözlemlenmiştir. Çünkü kaplamalar partiküllerin altlık üzerine küçük partiküllerin daha yüksek hızlarda ve daha yüksek gaz akım hızı sonucunda püskürtülmüştür. Daha hızlı ergimiş partiküller daha yüksek kinetik enerjiye sahiptir çarpma etkisiyle daha çabuk deforme olup yayılmıştır. Bu olayda kaplama kalınlığının ve kaplama morfolojisinin değişmesine neden olmuştur. Buradan sonuç olarak düşük akım oranlarında biriktirilen kaplamaların homojen olmayan bir yapıya sahip olduğu ve daha yüksek akım oranlarında daha ince ve daha düzenli bir yapı oluşturduğu söylenebilir.

Her numunenin üç farklı yerinde bulunan gri bölgelerde oksijen içerikleri ortaya çıkmıştır. Genellikle oksitler jetlerde bulunan partiküllerin toplam yüzeylerine ve jetlerden püskürtme esnasında ortaya çıkan durumlara bağlıdır. Diğer bir taraftan tel ark sprey prosesinde ergimiş tel malzemeleri oksidasyon için uygundur ve buda püskürtülen kaplamalar içerisinde oksidasyonu göreceli olarak arttırır. Atomize gaz basıncı olarak azot ve hava kullanılmış, kaplamalarda meydana gelen oksijen miktarları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.11.'de gaz akım oranına karşı oksit bileşiminin dağılımı gösterilmiştir.

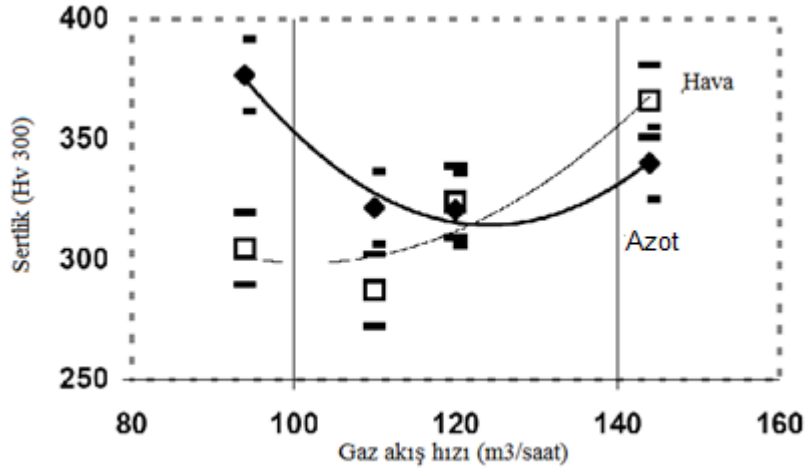


Şekil 4.11. Gaz akım hızı karşısında oksit içeriği[26]

Görülüyor ki gaz akış hızının artmasıyla hava atomizasyonunda oksit içeriği %18'den %22'ye yükselirken, azot atomizasyonunda ise oksit içeriği %17'den %12'ye düşmüştür.

Hava püskürtme esnasında, püskürtme akımı içerisinde uçan ve havanın çevrelemiş olduğu ergimiş partiküllerin oksidasyonunda kayda değer bir artış söz konusudur. Akım hızının artması ile ergimiş partiküller daha çok hızlanarak damlacıkların parçalanmasına ve daha küçük damlacıklara dönüşmesine neden olur. Daha küçük damlacıklar daha büyük spesifik yüzey alanlarından dolayı büyük damlacıklara nazaran oksijenle daha çok tepkimeye girer. Bu kaplamalar daha yüksek oksijen içeriğini ortaya koymasına için daha hızlı hava akımı altında püskürtülmüştür. Azot basıncını arttırdığımızda ters yönde yayılım daha küçük partiküllere uygulanır. Bu sonuçla daha yüksek azot akımı basıncında daha düşük oksijenli partikülleri tutar

sonuçta ergimiş partikülleri hemen hemen oksidasyona karşı korur. Partikül boyutu azalmasına karşın oksijen miktarı tam olarak azalmıştır.



Şekil 4.12. Gaz besleme oranına karşın sertliklerin yayılımı [26]

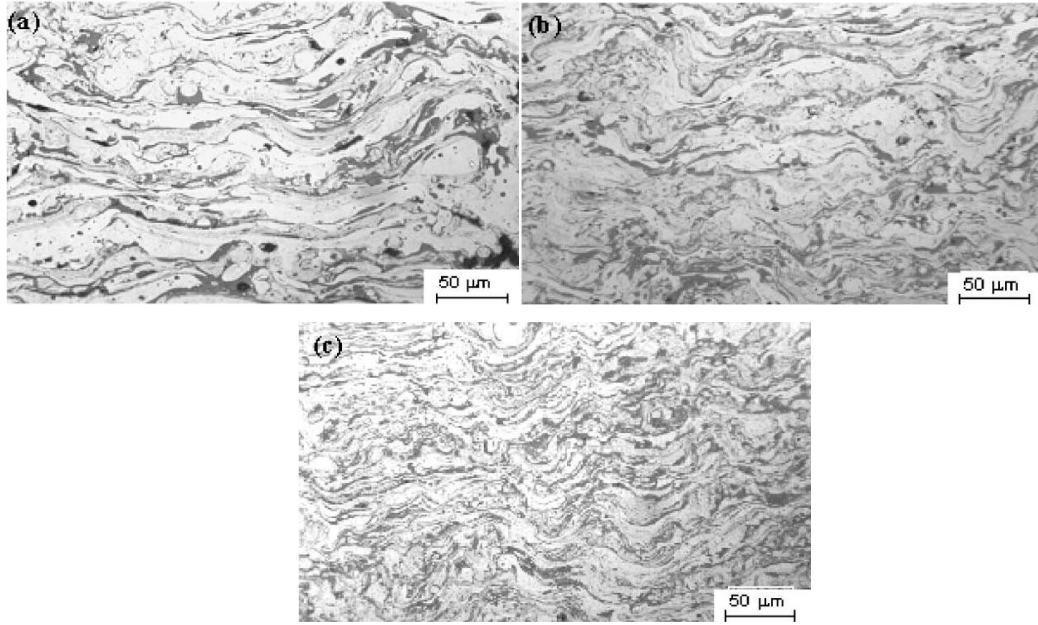
Hava gazındaki artışla püskürtülen birikimlerde sertlik değerlerinde gaz akım oranı ile artmıştır (Şekil 4.12.). Daha yüksek hızlarla birlikte meydana gelen oksit içerikleri, beraber sertliklerin önemli derecede artmasında rol oynarlar.

Buna karşın azotlu kaplamalar incelendiğinde sertlikler ilk olarak gaz akım hızına karşı olarak düştüğü gözlemlenmiştir. Bu olay oksit miktarındaki azalış ile açıklanabilir. İkinci olarak oksit miktarındaki çok az bir azalış sertliği arttırabilir.

#### 4.4. Püskürtme Gaz Basıncının Etkisi

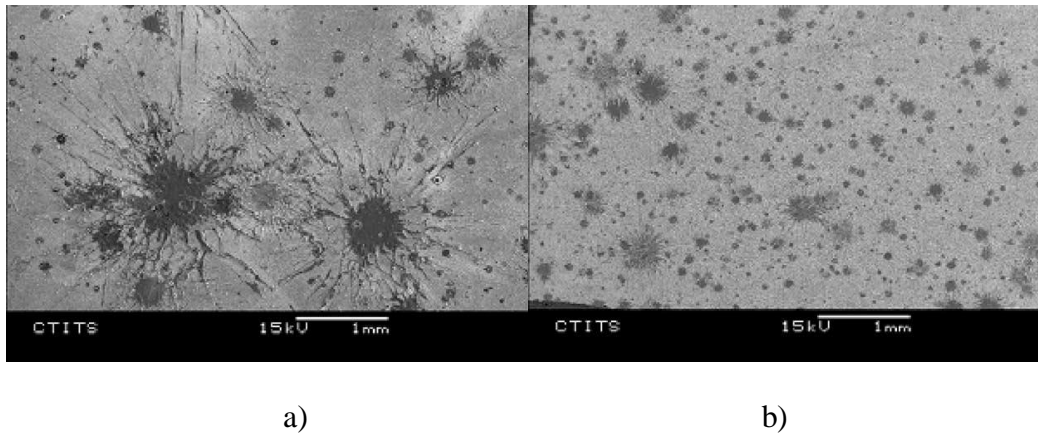
Farklı atomize gaz basınçlarında üretilen kaplamaların mikroyapıları Şekil 4.13.'de görülebilir. Atomize gaz basıncının lamel kalınlıklarına etkisi oldukça fazladır. Bütün kaplama alaşımlarında porozitenin düşük seviyelerde kaldığı görülebilmektedir [25].





Şekil 4.13. Atomize gaz olarak hava kullanıldığında kaplama yapısı a) Düşük hızda  $94 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$  b) Orta hızda  $110 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$  c) Yüksek hızda  $144 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$  [25]

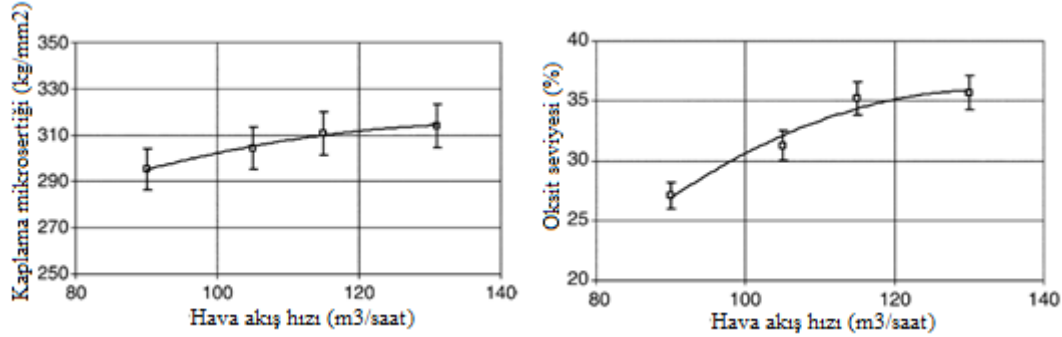
Şekil 4.14.'de SEM mikroskobunda çelik üstüne şiddetle çarpan partiküllerin farklı gaz atım hızlarındaki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.14. a) Hava atomizasyonunun düşük gaz atım hızındaki partikül görünümü; ortalama çap  $760 \mu\text{m}$  (güç  $3100 \text{ W}$ , hava atım hızı  $94 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$ ) b) Hava atomizasyonunun yüksek gaz atım hızındaki partikül görünümü; ortalama çap  $122 \mu\text{m}$  (güç  $3100 \text{ W}$ , hava atım hızı  $144 \text{ N m}^3 \text{ h}^{-1}$ ) [25]

Dikkatle bakılır ise gaz atımının düşük hızlarda uygulanması, çok büyük splatlar oluşturduğu görülebilir [25].

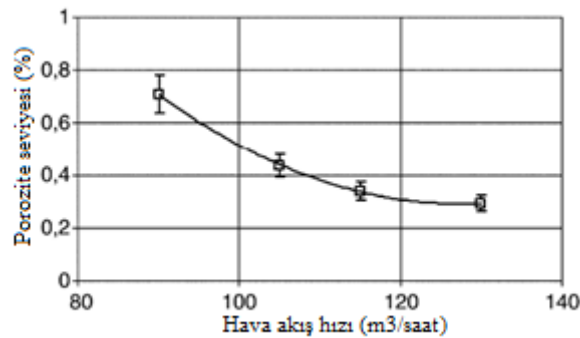
Yüksek püskürtme hızlarında kaplamaların daha sert olduğu görülebilir. Bunun sebebi daha küçük partiküller de daha fazla oksit birikiminin olmasıdır (Şekil 4.15.) [11].



Şekil 4.15. Püskürtme hızının mikrosertlik ve oksit içeriğine etkisi [11]

Püskürtme sırasında, püskürtülen ergimiş partiküller etrafındaki havayla temas ederek okside olurlar. Artırılan atomize gaz basıncı ve yüksek hızlarda bu temas daha fazla olur. Küçük partiküller, büyük partiküllere nazaran daha fazla oksitlenir. Çünkü daha küçük yüzey alanları vardır. Sonuçta yüksek atomize hava basıncı, yüksek oksit birikimi meydana getirir. Hızlı partiküller yüksek kinetik enerjiyle açılırlar. Böylece yoğunluk artar ve porozite azalır. Hız ve partikül sıcaklığı kaplama yapısını belirler [11].

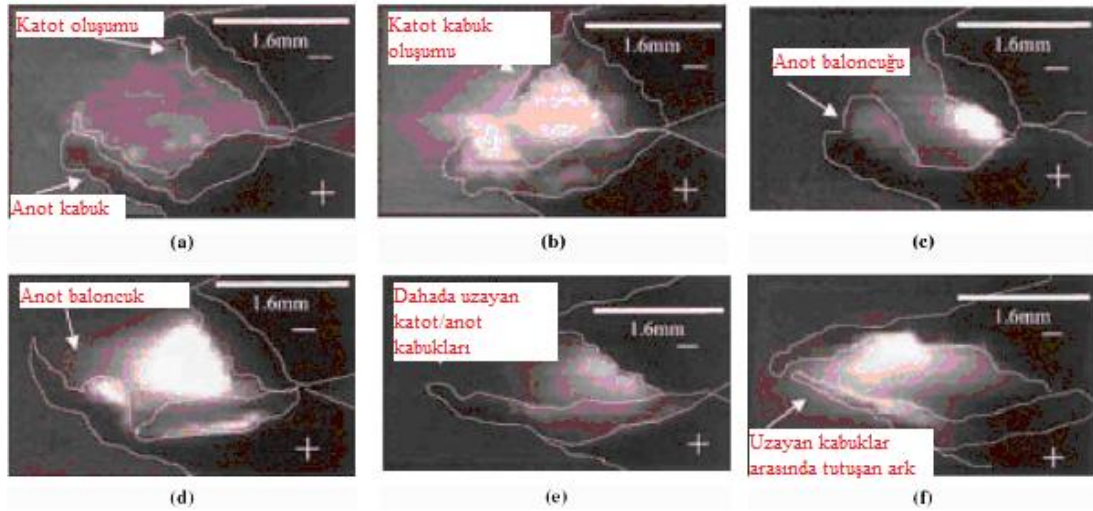
Partiküller hızları arttıkça daha iyi vizkozite göstermektedirler. Küçük partiküllerin daha az porozite göstermesi (Şekil 4.16.) normaldir. Böylece daha yoğun kaplamalar elde edilir [27].



Şekil 4.16. Püskürtme hızının porozite içeriğine etkisi [27]

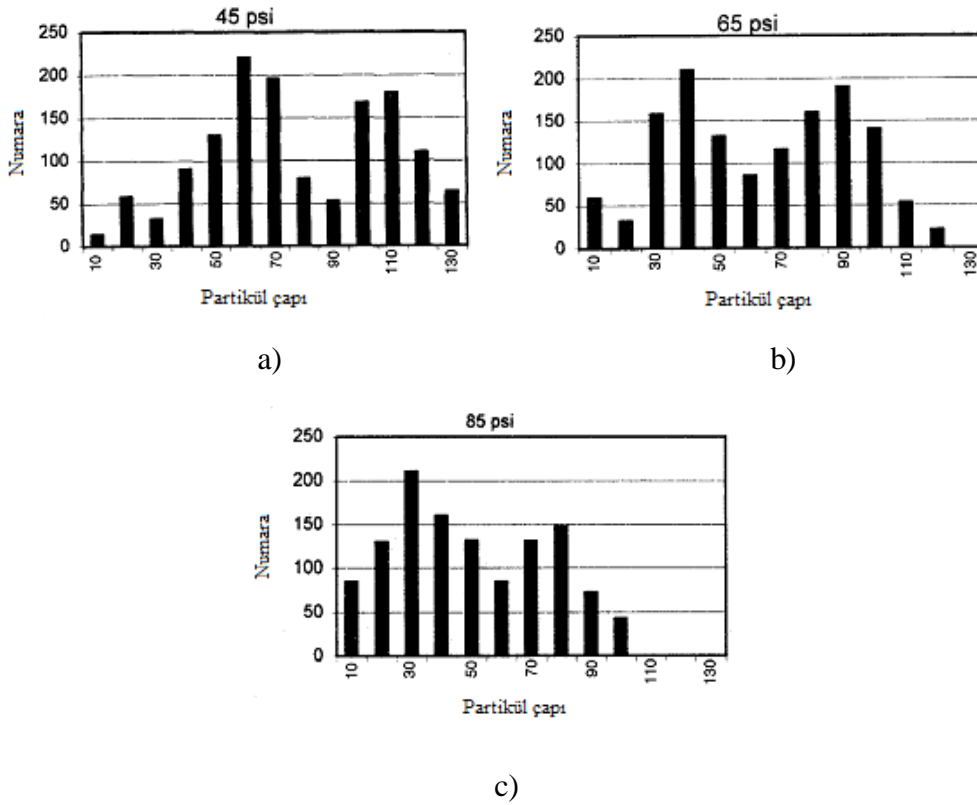
Gaz basıncının bir diğer etkisi anot ve katotta ergime davranışını değiştirmesidir. Anotta, gaz basıncı artırıldığında tel uzamasının sonunda metal aglomeresi meydana gelmektedir (Şekil 4.17a., Şekil 4.17b., Şekil 4.17c.). Anot ucunda baloncuk bir katman oluşacaktır. Baloncuk büyür ve bir noktada parçalanarak dağılır (Şekil 4.17d.). Ara basınçlarda bu etki en üst seviyededir (345 kPa / 50 psi). Daha yüksek basınçlarda baloncuk oluşumu ve kabuk gerilimi azalır hatta yok olur (Şekil 4.17e., Şekil 4.17f.). Katottaki kabuk daha uzun olmasına rağmen hala anottakinden kısadır. Şekil 4.17a.-Şekil 4.17b. ile Şekil 4.17e.-Şekil 4.17f. karşılaştırılırsa basınç artırıldığında ve değişik nozullar ile çalışıldığında (daralan-genişleyen) daha uzun boyutlarda eşit kabuk oluşumu elde edilebilecektir.

Düşük gaz basıncında da iki elektrotta ergime mekanizmasının kontrolü yapılabilir. Buda anot kabukta minimum oluşum ve katot kabuk oluşmadan meydana getirilecektir [15].



Şekil 4.17. Tel boşanımı esnasında anot ve katotta ergime davranışı [15]

Yüksek hızlı video grafikler ile yüksek hızlı atomize basıncın daha küçük partiküller ürettiği görülebilir. Sonuçlarda partikül boyut dağılımı grafiklerden görülebilir (Şekil 4.18.) [11].



Şekil 4.18. Al partikül boyut dağılımı a) Gaz basıncı 0,31 MPa b) Gaz basıncı 0,45 MPa c) Gaz basıncı 0,59 MPa [11]

Kaplamalarda %27( $\pm$ 4), %18( $\pm$ 4) ve %12( $\pm$ 3) değerleri, 0,31 Mpa, 0,45 MPa ve 0,59 MPa gaz basınçlarında elde edilmiştir. Görülebileceği gibi gaz basıncı, porozite için çok önemli bir parametredir. Kaplamalar, partiküllerin üst üste gelmesiyle oluşur. Bu sebeple, yüksek atomize gaz basınçlarında küçük partiküller yüksek çarpma hızlarında kaplamayı oluştururlar. Hızlı ergimiş partiküller yüksek kinetik enerji yayılımları ile çarpmada daha kolay deforme olurlar. Yani artan kaplama yoğunluğu ve azalan porozite meydana getirirler [11].

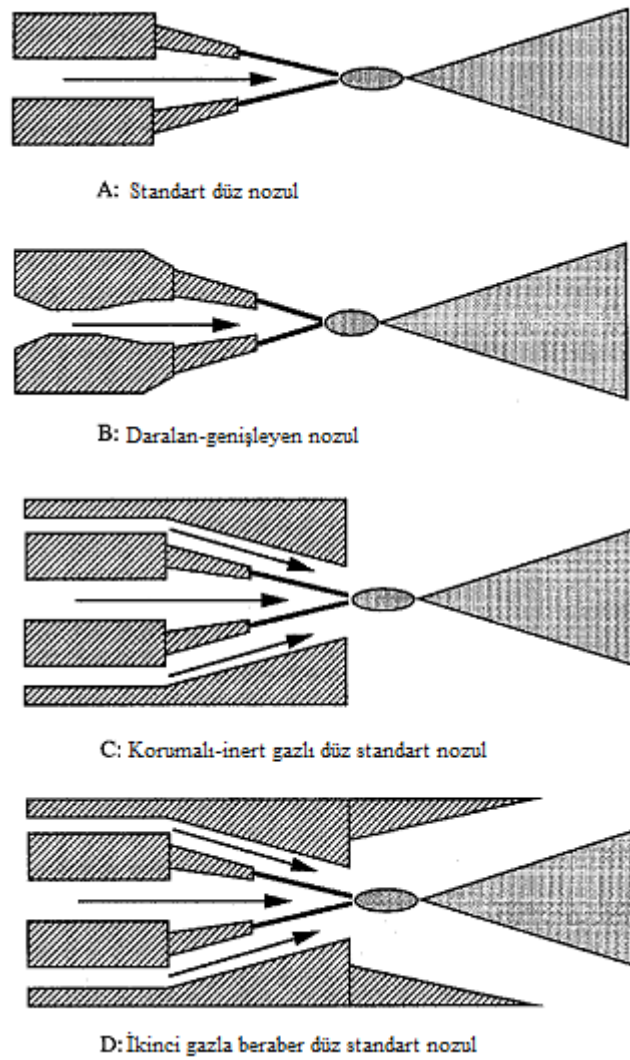
#### 4.5. Nozul Ve İkincil Gaz Basıncının Etkisi

Elektrik ark püskürtmede atomize gaz akımının görevi ergiyen ilk damlacıklarla beraber ergimiş metali ve atomize olmuş partikülleri yüzeye çok hızlı bir şekilde taşımaktır. Yüksek gaz atım hızlarında genellikle küçük damlacık oluşumu gözlenmiştir [11].

Tel ergitmedeki önemli bir gelişmede kapalı nozul sisteminin dizaynıdır. Böylece daha küçük partiküller elde edilir. Buda bize yüksek oksit içeriği sağlar [23].

Yapılan çalışmalarda farklı nozul ve kaplama çeşitlerinde kaplama üzerinde oluşan etki, eklenen özelliklerin partikül genişliğindeki etkileri, partikül hızları, kaplama mikroyapısı ve kompozisyonu ile kaplama yapışması incelenmiştir.

Nozul tiplerinden örnekler Şekil 4.19.'da görülebilir.



Şekil 4.19. Elektrik ark püskürtmede kullanılan bazı nozul tipleri [11]

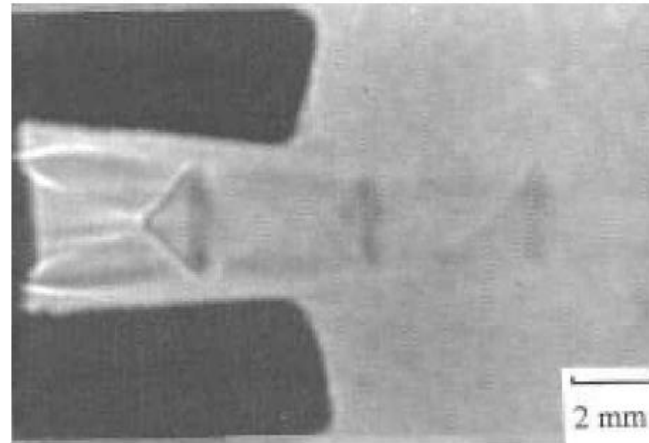
Nozullardan Şekil 4.19a. standart nozul, Şekil 4.19b. birleşip ayrılan tip nozuldur. İkincil gaz akışıyla kullanılan nozul Şekil 4.19c. ve yine ikincil gaz akışıyla

kullanılan fakat dış ağzı kapalı olan nozul Şekil 4.19d. olarak gösterilmiştir. Bu nozul tiplerinin kaplama yapısına etkisi ve verdiği değişik sonuçlar incelenmiş, bulunan sonuçlar tartışılmıştır. Sonuçta kaplama yapısının oldukça değiştiği gözlemlenmiştir.

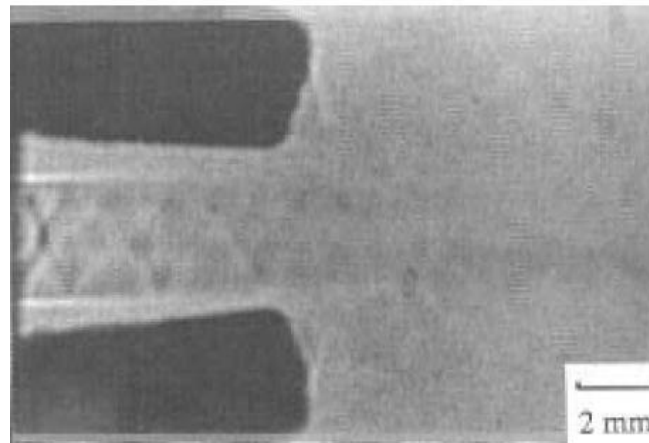
Birleşip-ayrılan tip nozul kullanımı ile çok yüksek hızlarda, yoğun ve yüksek yapışma mukavemetine sahip kaplamalar elde edilebilir. Mükemmel korozyon ve aşınma koruması sağlamak için kaplamanın minimum poroziteli ve yüksek yoğunlukta olması gerektirir.

Standart nozulla üretilen kaplama büyük oranda yüksek porozite ve düşük yapışma mukavemeti gösterecektir [11].

Şekil 4.20'de normal nozul ile CD (birleşip-ayrılan nozul) nozulun gaz akışı görülebilir.



(a)

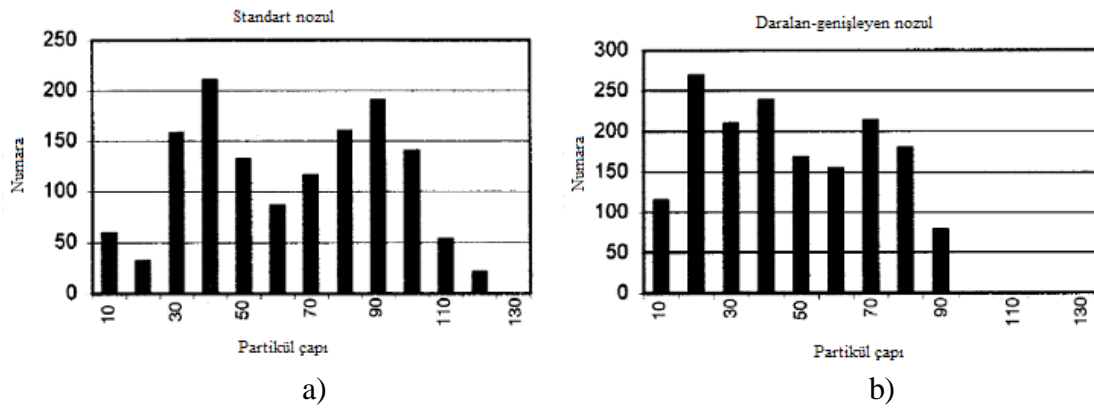


(b)

Şekil 4.20. Değişik nozullarda gaz akış şekli a) düz standart nozul b) CD nozul [11]

Standart nozulda gaz akımı bir şok yapısında ve düzensizdir. Bu sebeple yüksek hızlarda bozunma olur. Sonuçta yavaş şok yapısında olan ve yüksek hızlarda çalışmaya imkân veren CD nozul daha avantajlı görünmektedir. Ergimiş partikülleri altlığa götüren gaz akımı böylece daha uygun bir şekilde meydana getirilecektir.

İki farklı nozul tipi için partikül boyut dağılımı Şekil 4.21.'de verilmiştir. Açıkça görülebilir ki yüksek atım hızlarında CD nozulla oluşturulan partiküller, standart nozula nazaran daha küçük bir yapı meydana getirmektedirler.



Şekil 4.21. İki farklı nozul tipi için partikül boyut dağılımı a) Standart nozul b) CD nozul [11]

Partikül hızı ve sıcaklığı kaplama yapısının belirlenmesinde büyük rol oynar. Ergimiş partiküller yüzeyde yuvarlak biçimde yayılırlar. Bununla birlikte, gerçekte partiküller uniform bir şekilde yayılmazlar. Kaplama yüzeyi düz olmaz ve kalınlıklarda farklılık gösterir.

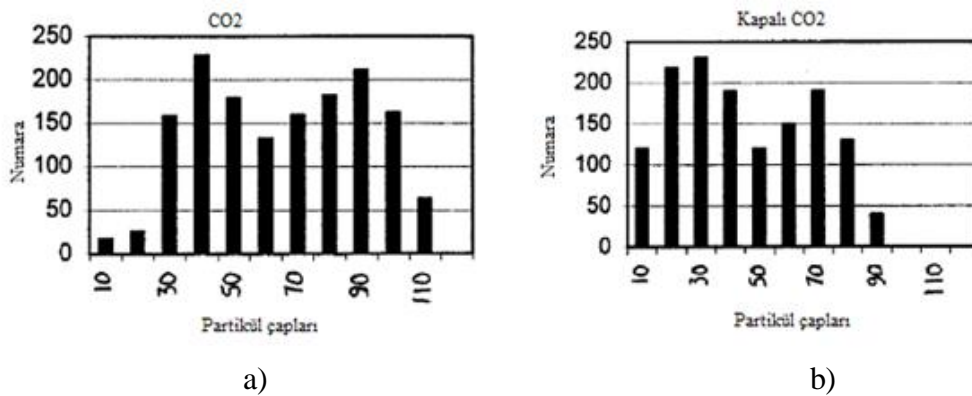
Ayrıca yüksek atomize gaz akış hızlarında, ergimiş partiküller yüksek hızlara ulaşırlar. Çarpışmada hız tek etken değildir. Partikülün sıcaklığında çok önemlidir. CD nozul ile yapılan kaplamalarda yüksek sıcaklık sonucunda düşük viskozite ve yüksek yapışma açısı sağlanarak daha iyi kaplamalar elde edilebilir.

Mikrosertlik, bize abrazif aşınma dayanımı hakkında bilgi verir. Kaplamalarda bulunan fazla porozite miktarı bu dayanımı aşağıya çeker. Sonuçta düşük sertlik görülür. Tam tersine oksit içeriği kaplamanın sertliğini yükseltecektir. Bu sebeple mikrosertlik değerleri geniş alanlarda ölçülür.

Kaplama yoğunluğu ve yapışma mukavemetinin iyi olması için partiküllerin yüksek hızlara ulaştırılması gerekir. Geleneksel ark sprey sistemlerinde bu hız genelde düşüktür ve yapışma mukavemeti ile kaplama yoğunluğu sınırlıdır. İkinci atomize gaz ile yapılan püskürtmelerde daha üniform partikül boyut dağılımı, yüksek partikül hızları ve gelişen kaplama özellikleri elde edilir. Modifiye nozullu ikinci atomize gaz kullanılan teknik Şekil 4.19c.'de görülebilir. Partiküller bu sayede yüksek hızlara ulaşır. İkincil ve birincil atomize gaz ergimiş partikülleri hızla yüzeye ulaştırırlar. İkincil gaz ilavesiyle yüksek yoğunluklu, düşük poroziteli ve yüksek yapışma mukavemetli kaplamalar üretilecektir.

Ölçülen değerlere göre birincil gaz kullanan nozulda (Şekil 4.19b.) gaz hızı  $530 \pm 15$  m/sn, ikincil gaz ile kullanılan nozulda ise (Şekil 4.19c.) gaz hızı  $610 \pm 22$  m/sn ölçülmüştür. Atomize olarak ikincil gazın kullanılması ergimiş partikülleri hızlandırdığı gibi küçük partikülleride peşinden götürür. Çarpma esnasında ortalama partikül hızı yaklaşık  $105\text{m/sn} (\pm 10)$  civarındadır. Tek atomize gaz kullanan sistemde ise bu hız  $70\text{ m/sn} (\pm 8)$ 'dir.

Partikül boyut dağılımı, püskürtme dondurma yöntemiyle belirlenmiş ve yapılar SEM mikroskopunda incelenmiştir. Püskürtülen bütün partiküllerin donduğunu varsayarak, CO<sub>2</sub> kullanarak yapılan boyut dağılımı Şekil 4.22.'de görülebilir. Küçük partiküllerin yüksek atomizasyon sayesinde oluştuğu buradan anlaşılabilir. Etrafı kapatılarak yapılan kaplamada daha geniş bir boyut dağılımı vardır [11].



Şekil 4.22. Hava şapkasının partikül çaplarına etkisi a) Örtülü olamayan b) Örtülü [11]



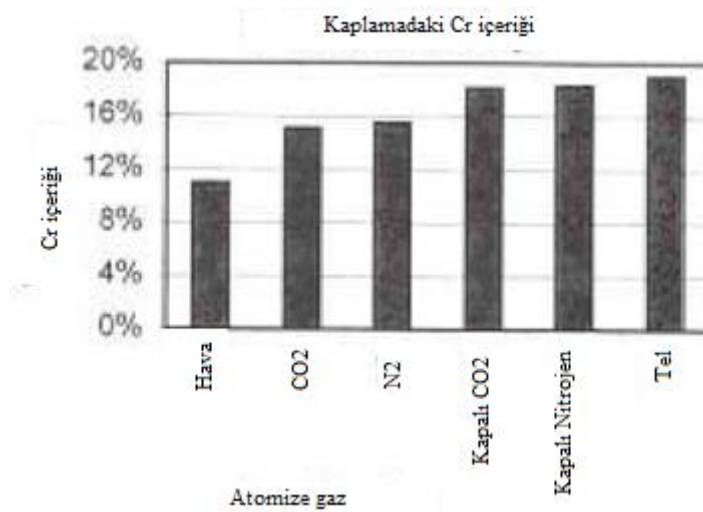
Porozite içeriği hava atomizesi kullanıldığında %17( $\pm$ 3), CO<sub>2</sub> kullanıldığında %12( $\pm$ 2), N<sub>2</sub> kullanıldığında ise %13( $\pm$ 2) çıkmaktadır. Örtülü olarak yapılan kaplamalarda CO<sub>2</sub> ile porozite %6( $\pm$ 2) çıkarken N<sub>2</sub>'ta ise %8( $\pm$ 2) çıkmaktadır. Bu iki faktör tarafından meydana gelebilir;

a) Etrafi kapatılarak (örtülü) yapılan kaplamada düşük oksit birikimi oluşmakta, ayrıca splatların daha üniform oluşu kaplamanın daha yoğun ve az poroziteli olmasını sağlar.

b) Etrafi çevrilmiş (örtülmüş) ikincil gaz kullanarak yapılan kaplama daha hızlı partiküllerin eldesine olanak verir ve partikülleri daha az soğutur. Kaplama yapısı yüksek hız ve sıcaklık ile yoğun ve porozitesiz olur. Arayüzeyde hata daha az olur ve daha iyi bir kaplama elde edilir.

Hava kullanılan kaplamalarda, birçok mikroçatlak oluşumu gözlenmekte ve buda oksitlerin kaplama içerisine iyice yerleşmesini sağlamaktadır. Birçok SEM fotoğrafında hava kullanılan kaplamalarda, inert gaz kullanılan kaplamalara nazaran daha çok çatlak görülmüştür.

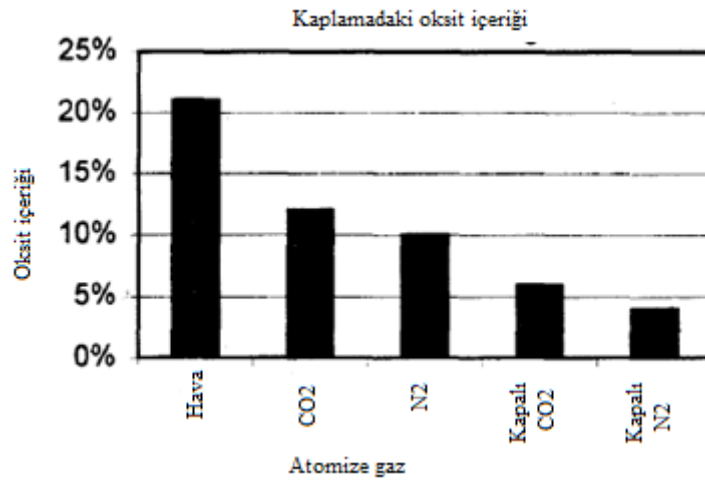
Şekil 4.23., AES'de hava, azot ve CO<sub>2</sub> püskürtülmüş paslanmaz telin kaplamadaki Cr içeriğini veriyor.



Şekil 4.23. Elektrik ark püskürtmede sisteminde hava, azot ve CO<sub>2</sub> püskürtülmüş paslanmaz telin kaplamadaki Cr içeriği [11]

Sonuçlar gösteriyor ki hava kullanıldığında Cr içeriği düşük olmaktadır. Cr içeriği %12 ile %19 arasında değişmektedir.

Şekil 4.24.'te değişik çalışmalarla yapılmış kaplama uygulamalarındaki oksit birikimi gösterilmiştir. Hava kullanımında oksit birikimi çok yüksek çıkmıştır. Azot ise en az oksit birikimini göstermiştir. Kapalı ve ikincil gazla yapılan kaplamalarda hava türbilansı engellendiği için oksit birikimi azdır.

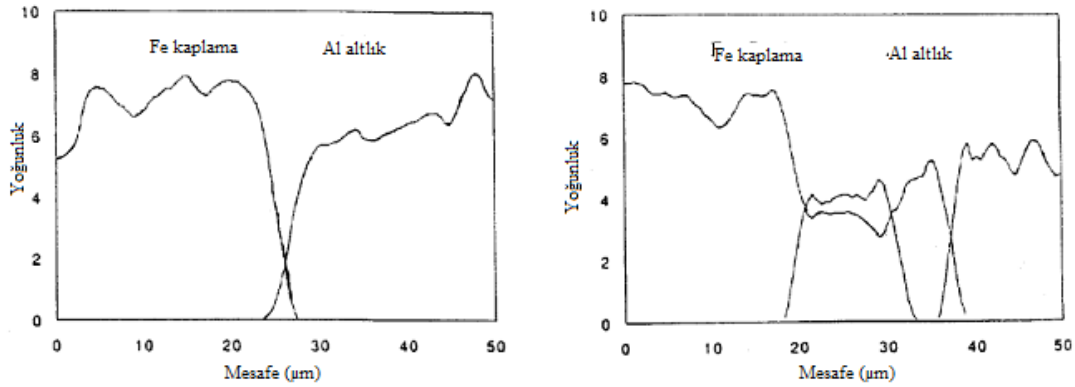


Şekil 4.24. Değişik uygulamalarla üretilmiş kaplamaların oksit içeriği[11]

İkincil gaz kullanarak elde edilen kaplamaların daha yoğun olduğunu söylemiştik. Sonuçta bu kaplamaların yapışma mukavemetlerinin de yüksek çıkması gerekmektedir.

Püskürtme kaplamalarda ergimiş partiküller hızla altlığa çarptıkları zaman deforme olur ve çabucak ısılarını kaybederler. Böylece üst üste lamel şeklinde gelen damlacıklarla yapı oluşur. Yapışma kaplama ve altlık yüzey arasında olan önemli bir parametredir. Düşük yapışma mukavemeti, yapılar arasında kötü bağlantı yapabilir ve buda düşük metalürjik bağ sonucunda yapıda yüksek iç stresler oluşturur.

Yapılan çalışmalar ikincil gaz kullanarak yapılan kaplamalarda yapışma mukavemetinin mekanik bağa değil, metalürjik bağa bağlı olduğunu göstermiştir. Şekil 4.25.'de kaplama ve arayüzey arasındaki çıkışlar görülebilir.



Şekil 4.25. a) Birincil gaz b) Birincil / İkincil gaz [11]

İkincil gaz kullanıldığında ise partiküller çok hızlı ve yüksek sıcaklıkta püskürtüleceği için yüzeye çarptıklarında yüksek deformasyona uğrayacaklardır. Kuvvetli yapışma mukavemeti altlık ile film arasındaki ilişkiye bağlıdır. Bununla birlikte Al kaplamalarda partiküller arası ısı transferi olabilmektedir. Sonuçta poroz yapı ergimiş partiküllerin yüzeye çarpmasından sonra meydana gelebilir. Ergimiş partiküller birbiri üzerine yapışır ve birikir. Buda metalürjik yapışmaya katkıda bulunur.

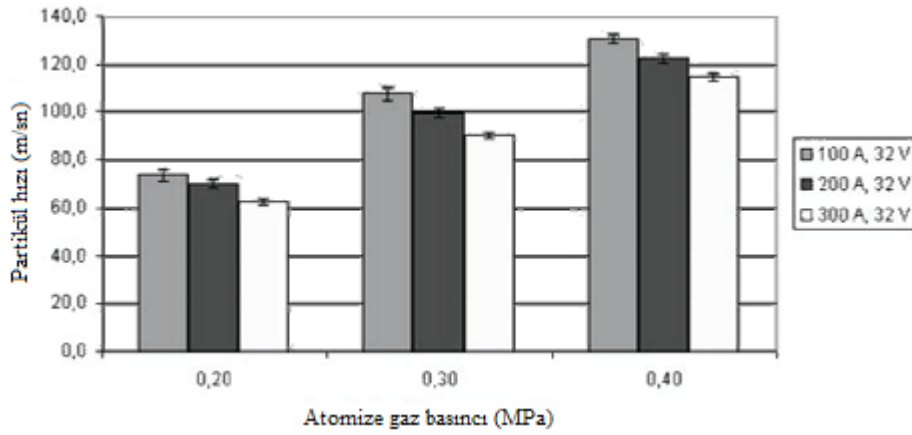
İkincil gaz ile üretilen kaplamaların yapışma mukavemetinin daha yüksek çıktığı açıktır. Burada üç tip yapışma mekanizma önemli rol oynar;

- Fiziksel yapışma; kaplama ve altlık arasında Van Der Waals bağı vardır
- Mekanik yapışma; ergimiş partiküller çok sert bir şekilde yüzeye çarpar ki buda kaplamanın topografisini belirler. Yüksek hız ve sıcaklık ikincil gaz kullanıldığında kaplamanın mekanik yapışmasını kuvvetlendirir.
- Metalürjik yapışma; ikincil gaz kullanarak metalürjik yapışma, ergime konveksiyonu, interdifüzyon ve intermetalik faz formasyonu sağlanabilir [11].

#### 4.6. Amperin Ve Voltajın Etkisi

Amper ve voltaj ark püskürtmede ki etkisinin önemli boyutlarda olduğu söylenebilir. Değerlerindeki artış ve azalma miktarı en önemli etkiyi partikül hızlarında göstermektedir.

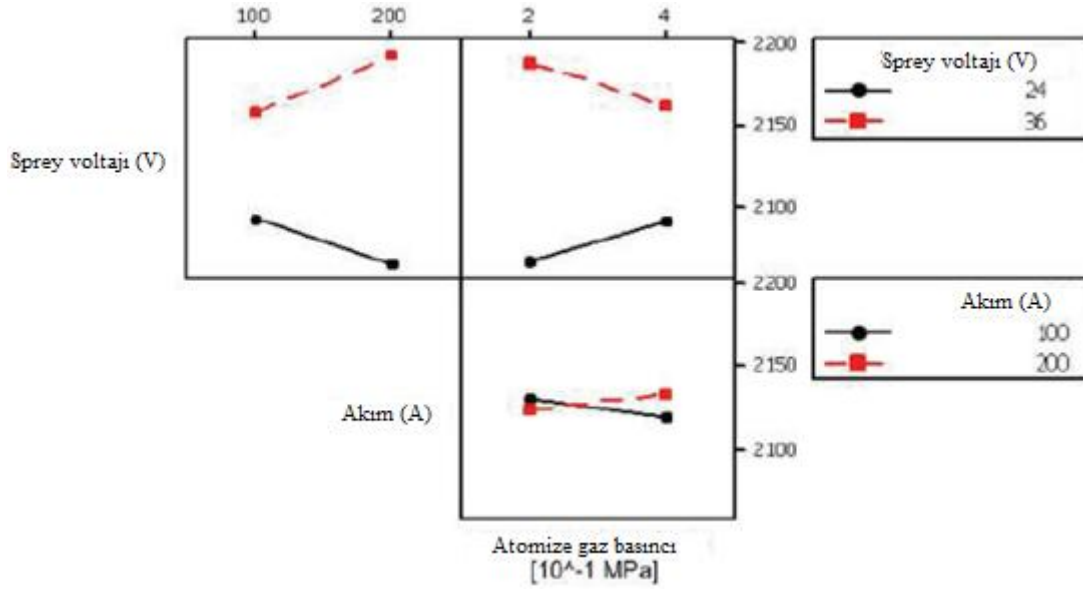
Artırılan akımla partikül hızının azaldığı Şekil 4.26.'da görülebilir. Sebep, akım ile besleme hızı arasındaki ilişkidir. Besleme hızı, yüksek akımlarda daha artmaktadır. Buda fazla malzemenin ergimesine olanak sağlayıp, ergime akışının değişimine sebebiyet verir ve sonuçta partikül hızı azalır [28].



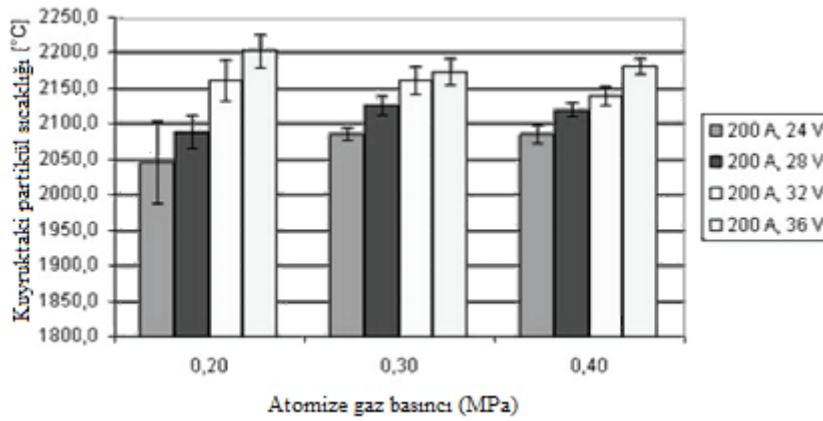
Şekil 4.26. Atomize gaz basıncı ile partikül hızları arasındaki ilişki [28]

Akışkan davranışı, ergime hızının viskozitesine ve partikül hızına önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek ark seviyelerinde uzun ark ile sıcaklık artar ve ergime havuzunda viskozite düşer. Yüksek voltaj seviyelerinde partikül hızı hemen hemen sabit kalmıştır.

Yüksek püskürtme voltajıyla uzun arklar oluşacak, bu nedenle de ergime havuzunun sıcaklığı artacaktır. Partikül sıcaklığı yüksek voltajda yüksek, düşük voltajda ise düşüktür. Şekil 4.27.'de bu etki görülebilir. Yine farklı voltajlarda, atomize gaz basıncıyla partikül sıcaklığı ilişkisi görülebilir (Şekil 4.28.).



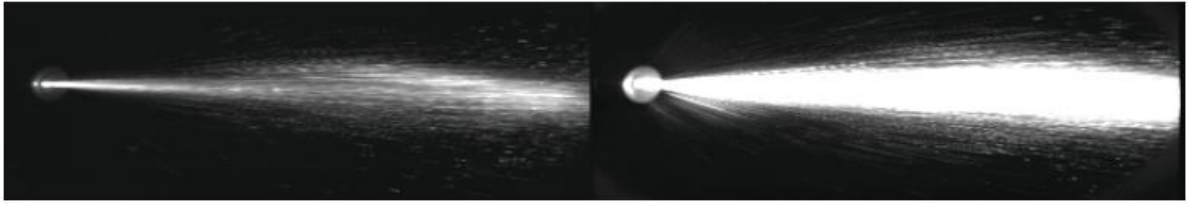
Şekil 4.27. Farklı voltaj ve akım ile partikül sıcaklığı ilişkisi [28]



Şekil 4.28. Farklı voltajlarda, atomize gaz basıncıyla partikül sıcaklığı ilişkisi [28]

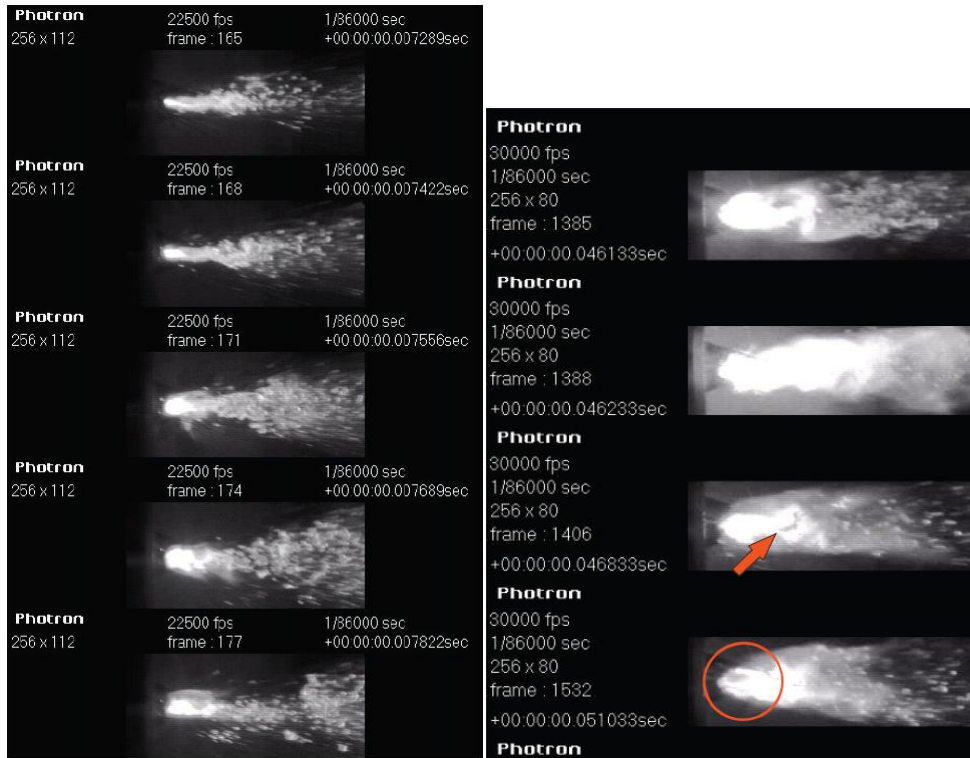
Artan akımla püskürtme genişliği çok artmıştır. Bu ergime miktarının ve tel boşalmasındaki ergime viskozitesinin etkisidir. Atomize gaz basıncı 0,2-0,4 MPa aralığında püskürtme dumanının merkezi farklılaşmıştır. Yüksek voltaj seviyelerinde gaz basıncının önemli bir etkisi olmamıştır fakat düşük seviyelerde etkisi dikkate alınmalıdır.

Duman boyutunun etkisi (Şekil 4.29.) küçük veya büyük alanlardaki uygulamalarda önemli bir etkiye sahiptir.



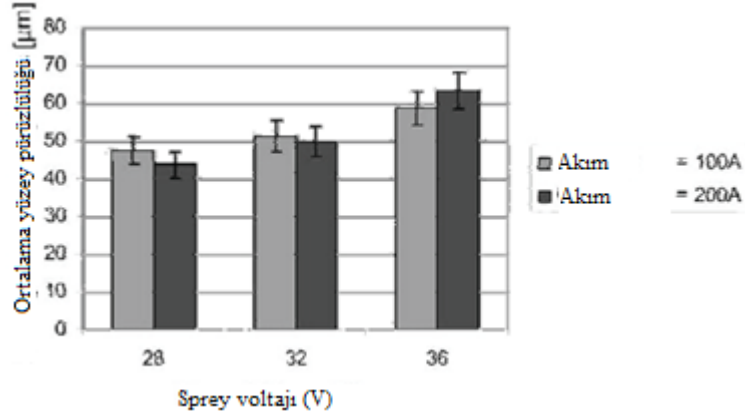
Şekil 4.29. 24 V ve 0,2 MPa operasyon parametrelerinde ark huzmesi; sol taraf 100 A, sağ taraf 200 A [28]

Şekil 4.30.'da tel besleme ve dalgalanmanın periyodik hareketi görülüyor. Sebebi yüksek akımda ve düşük voltaj seviyelerinde ergitmenin olmasıdır. Yüksek akımda ve düşük voltajda yüksek ergitme meydana gelecek ve akışkanda karışıklık meydana getirecektir. Yüksek ergitme miktarı ilkönce arkın önünde olacaktır. Bu nedenle de daha sonra dalgalanma püskürtme başına doğru geri gelecektir. Yüksek voltaj seviyelerinde uzun ark oluşacak (Şekil 4.30.) ve sıcaklıkla ergitme viskozitesi azalacaktır. Bununla beraber arkın hareketi tam olarak gözlenemiyor. Ark voltajının artmasıyla sabit bir oluşum yakalanıyor. Ayrıca küçük partiküllerin oluşumu sağlanmış oluyor [28].



Şekil 4.30. Tel besleme ve dalgalanmanın periyodik hareketi [28]

Sprey voltajı arttıkça pürüzlülükte artmıştır (Şekil 4.31.). Voltaj 28-36 V'da pürüzlülük %12 artmıştır. Sadece yüksek voltajda, düşük akımda daha düşük porozite çıkmış, diğerlerinde akım artışıyla pürüzlülük düşmüştür.

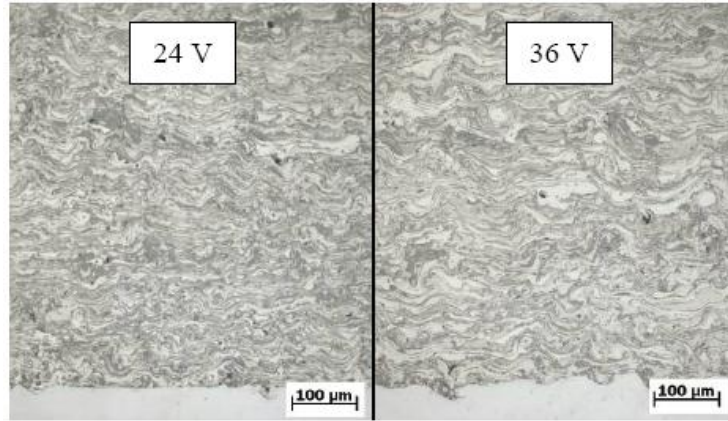


Şekil 4.31. Voltajın pürüzlülük ile ilişkisi [28]

Düşük voltaj ark sıcaklığını düşürecektir. Düşük voltajda artan akım ile ergime sıcaklığı azalır. Sebebi yüksek akımda, yüksek tel besleme hızıdır. Ergiyen tel artacak, kısa arkta partikül sıcaklıkları azalacaktır. Sadece küçük partiküller düşük vizkoziteyle hızlanıp yüzeye saçılacaktır.

Yüksek ark enerjisi ergitme için yeterli seviyelerdedir. Büyük partiküller yüksek bir vizkozite gösterir. Bu partiküller diğerlerine nazaran kısmen atomize olurlar ve bu şekilde yüzeye yapışma gösterirler. Düşük voltaja nazaran daha büyük yapışma mukavemeti gösterir.

Şekil 4.32.'de düşük poroziteli mükemmel yapışmış partiküller görülmektedir. Partikül boyutları voltaja bağlıdır. Düşük voltajda yuvarlak partiküller üretilmiştir [28].



Şekil 4.32. Elektrik ark püskürtme ile 200 A ve 0,4 MPa'da üretilen kaplama mikroyapıları [28]

#### 4.7. Altlık Sıcaklığının Etkisi

Termal sprey kaplamalarda kaplanacak altlık malzemenin belli bir sıcaklıkta olması gerekmektedir. Çünkü sıcaklık uygulama sırasında ve sonrasında kaplamanın özelliklerine doğrudan etki etmektedir. Elektrik ark püskürtmede kaplama partikülleri ark ile ergitilip yüzeye gönderilir. Sonuçta partiküller altlık yüzeye giderken belli bir ısıya sahip olarak gideceklerdir. Yüzeye ulaşır hızla çarpan partiküller hem deforme olup saçılacaklar, hem de içlerindeki ısıyı çok hızlı bir şekilde altlık malzemeye iletceklerdir. Bu sebeple kaplama altlığının çok soğuk olması kaplama-altlık arasında bir termal gerilme yaratabilir.

Bunu engellemek için termal sprey ile kaplama yapılacak malzemeler teorik olarak yaklaşık 200°C'ye ısıtılır. Yapılan bu tavlama işlemi altlık malzemenin hem kaplama sırasında hem de kaplama sonrasında termal gerilime uğramasını engellemek için yapılmakla beraber, ayrıca parça içerisindeki yağ, kir ve diğer istenmeyen yapıların uzaklaştırılması için yapılmaktadır. Tabii ki tavlama yapılan parçanın ergime sıcaklığının bu sıcaklıklara yakın olmaması mutlaka dikkate alınmalıdır. Aksi durumlarda parçada çatlama, burulma veya yamulma meydana gelebilir.

Altlık sıcaklığındaki değişim partiküllerin yüzeye çarptığındaki soğuma hızını ve yapışma mukavemetini değiştirecektir. Ayrıca splatların görünüşü ve katılaşma şeklide değişime uğrayacaktır.

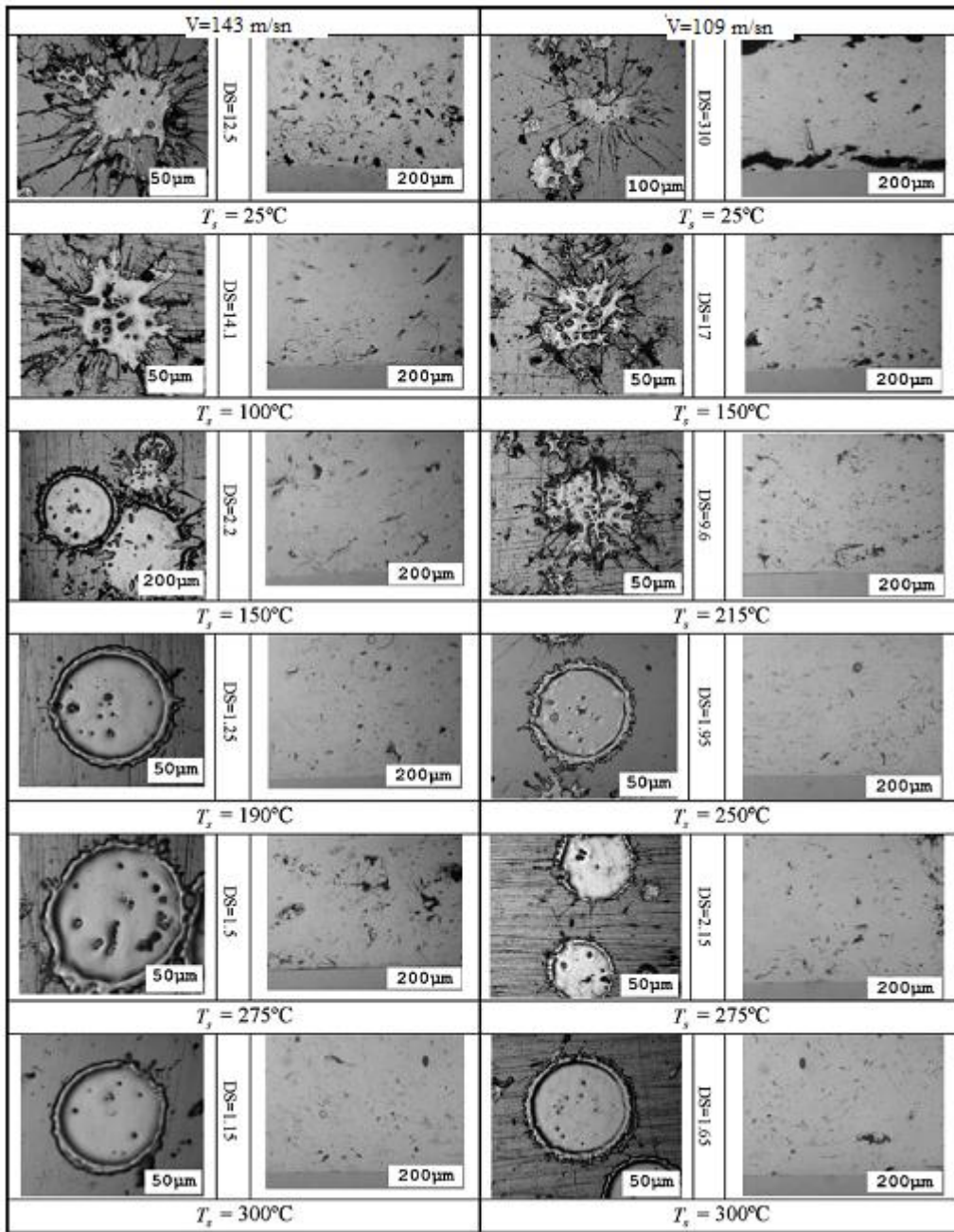


Yapılan bir çalışmada elektrik ark püskürtme ile farklı sıcaklıklarda ısıtılan (25–450°C) paslanmaz çelik altlık üzerine, farklı püskürtme hızlarda (109–143m/sn) yapılan Al kaplamanın özellikleri incelenmiştir [30].

Şekil 4.33.'de 25 – 300°C sıcaklıklarda paslanmaz çelik üzerine Al kaplamanın splat formasyonları görülebilir. Yüzey sıcaklığı 100°C olan splatlar büyük derecede saçılıma uğramıştır. Splatların merkezden dışarıya doğru parmak uzantılar şeklinde yapı meydana getirdiği görülebilir. Şekle göre katılma damlanın çevresinde başlamıştır. Splat merkezi ile uzantılar arasındaki boşluklar kaplama içerisindeki porozları meydana getirirler. 25°C'de de büyük boşluk ve porozlar görülebilir. Düşük yapışma hızlarında boşluklar daha fazladır. Özellikle bu boşluklar altlık-kaplama ara yüzeyinde görülür. Yapışma hızı arttıkça porozların azaldığı görülebilir. Yüksek hızda sıcaklık 100°C'ye yakınken yuvarlaklaşma ve parmaklaşma azaldığı, hatta yok olduğu görülebilir.

Tam geçiş sıcaklığı 143 m/sn püskürtme hızında  $100^{\circ}\text{C} < T_s < 250^{\circ}\text{C}$ , düşük püskürtme hızında ise (109 m/sn)  $215^{\circ}\text{C} < T_s < 250^{\circ}\text{C}$  olduğu görülmüştür. Altlık sıcaklığı yükseldiğinde boşluk sayısı azalmış, yoğunluk artmıştır.

Bütün kaplamalarda %5'ten daha az porozite olduğu görülmüştür. Düşük basınçlarda kaplama-altlık ara yüzeyde sık sık boşluk görülmüştür.  $T_s > 100^{\circ}\text{C}$  olduğunda bu sayı önemli bir ölçüde azalmıştır ve bu durum 200°C'ye kadar devam etmiştir. Fakat 200°C'den sonra tersi bir etki söz konusu olmuştur ve poroz yapı artmıştır [30].

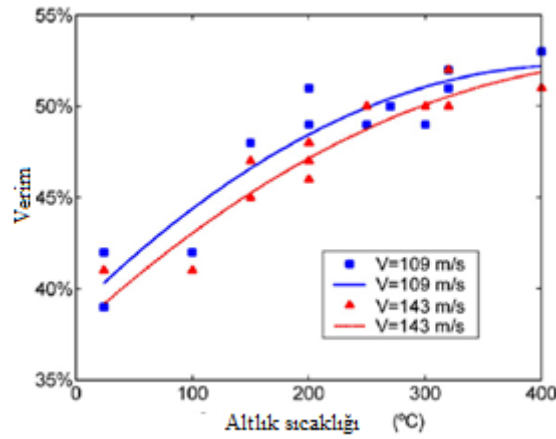


Şekil 4.33. 25 – 300°C sıcaklıklarda paslanmaz çelik üzerine Al kaplamanın splat formasyonları [30]

500 gr yükü yapılan mikro sertlik testlerinde 109 m/sn hızda ortalama  $51,2 \pm 4,2$  Rc, 143 m/sn hızda ise ortalama  $52,1 \pm 4$  Rc sertlik değeri bulunmuştur.

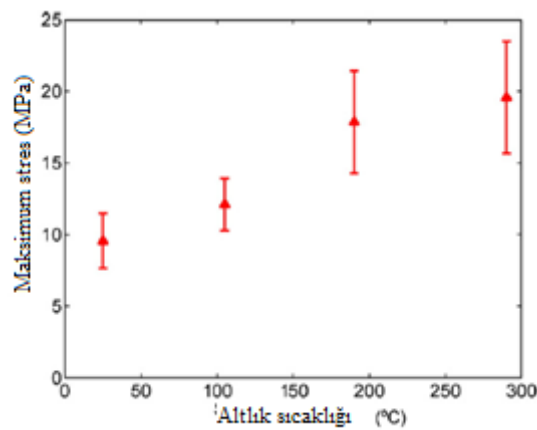
Kaplamanın yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde sıcaklık ve hızın pürüzlüğe etki etmediği görülmüştür ( $R_a = 15 \pm 2 \mu\text{m}$ ).

Birikme verimi altlık sıcaklığının artmasıyla artmaktadır. Şekil 4.34., birikme veriminin kuponların kaplama öncesi ve sonrası ağırlığını farklı sıcaklıklarda vermiştir. Oda sıcaklığında verim en düşük oranındadır (% 40). Altlık sıcaklığının artmasıyla (max %52 T 300°C) verimde yükselmiştir.



Şekil 4.34. Altlık sıcaklığı ile % verim ilişkisi [30]

Şekil 4.35. değişik yüzey sıcaklıklarında, 143 m/sn hızda üretilen kaplamaların yapışma mukavemetini vermektedir. Oda sıcaklığındaki kaplamalarda ortalama 9,5 MPa ve 100°C'de 12,1 MPa olarak artış göstermiştir. 200°C'de ise yapışma mukavemeti %86 (17,9 MPa) artmıştır.



Şekil 4.35. Altlık sıcaklığı ile yapışma mukavemeti ilişkisi [30]

Yapılan araştırmada görüldüğü gibi altlık sıcaklığı ark püskürtmede her ne kadar pürüzlük ve sertliği çok fazla etkilemese de yapışma mukavemeti ve yoğunluk

açısından önemli bir parametredir. Kaliteli bir kaplama yapısı için altlığın belli bir sıcaklığa kadar yükseltip tavllanması, uzun ömürlü-yoğun bir kaplama elde edilmesini sağlayacak ve parça kullanımının ömrünü uzatacaktır [30].

## **BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA**

### **5.1. Deney Amacı ve İşleyişi**

Deneyin amacı %13Cr'lu çelik teli farklı operasyon parametreleri ve atomizasyon gazları kullanarak kaplamalar üretmek ve parametrelerin kaplama kalitesi üzerine etkisini araştırmaktır. Çalışmanın hedefi %13Cr'lu çelik tel için optimum kaplama parametrelerinin belirlenmesidir.

Ayrıca farklı atomize gaz türlerinde oksit içeriği düşük kaplamalar üretilmiş ve korozyon ortamına karşı daha dayanıklı kaplama yapılarının oluşturulması amaçlanmıştır. Yine farklı nozul tipleriyle kaplamalar üretilerek, bu nozulların kaplama özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Bu amaç doğrultusunda %13Cr'lu çelik tel kullanarak değişik parametrelerde kaplamalar üretilmiş ve üretilen kaplamaları karakterize etmek için genel olarak aşağıdaki çalışmalar yapılmış ve konuyla ilgili sonuçlar elde edilerek, kaplama özellikleri analiz edilmiştir.

- Metalografik çalışma (hassas kesme, bakalite alma, zımpara ve parlatma vb.)
- Optik mikroskop incelemesi
- İmage analiz ( porozite ve oksit oran tayini)
- Mikro sertlik ölçümleri (Hv)
- Taramalı elektron mikroskobu incelemeleri (SEM)
- 3 nokta eğme testi

## 5.2. Kullanılan Kaplama Malzemeleri

### 5.2.1. Altlık malzemesi

Uygulamalarda altlık malzemesi olarak 3 mm kalınlığında St 37 çelik sac kullanılmıştır. 5x5 cm boyutlarındaki altlıklar boru şeklindeki tutucu aparat üzerine kaynatılmıştır. Numunelere el değmeden kumlama işlemi gerçekleştirilmiş sonrasında ise hemen kaplama işlemine geçilmiştir. Aparat bir tornaya bağlanarak belirli bir dönme hızında döndürülmüştür. Kaplama tabancası ise bir tutucuya bağlanmış olup x-y ekseninde hareket ettirilmiştir. Tabancanın ilerleme hızı olarak 20 mm/sn sabit tutulmuştur.

Kaplamalar yaklaşık 15-20 paso sayısında üretilmiş olup, toplamda yaklaşık 500 µm kaplama yüzeye biriktirilmiştir.

Kaplama uygulamalarında soğutma çok önemlidir. Kaplama süresince yeterli soğutulmayan altlık malzemesi termal genişmeden dolayı kalkma riskiyle karşı karşıya kalacaktır. Bu sebeple numunelere yakın bölgelerden hava hortumlarıyla ekstra soğutma işlemi yapılmıştır.

### 5.2.2. Kaplama teli

Kaplama üretimi 1.6 mm kalınlığında %13Cr'lu çelik tel ile yapılmıştır. Telin elementel analizi Tablo 5.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. %13Cr'lu çelik telin bileşimi [31]

| Elementler   | Fe    | C    | Si  | Mn  | Ni  | Cr |
|--------------|-------|------|-----|-----|-----|----|
| Bileşimi (%) | 85,15 | 0,35 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 13 |

Ticari olarak genellikle Metcoloy 2 olarak adlandırılan bu tel mükemmel endüstriyel kullanım için mükemmel bir aşınma direncine sahiptir. Kaplamada kullanılan

%13Cr'lu tel sanayide genellikle; aşınan parçalara dolgu amaçlı ve/veya aşınma direnci sağlanması amacıyla uygulanmaktadır.

### **5.3. İncelenen Özellikler**

Uygulama sonrası üretilen numunelerin kaplama kalınlıkları, homojen bir tabaka kalınlığı elde edilip edilmediğini bakmak için kumpas ile kontrol edilmiştir. Daha sonra sertlik değişimi parametrelere bağlı olarak mikrosertlik cihazında incelenmiştir. Mikroyapı incelemeleri numunenin değişik bölgelerinden farklı boyutlarda resimler çekerek yapılmıştır. Resimlere bakarak parametre etkileri hakkında temel fikirler oluşturulmuştur. Son olarak imaj analiz yapılarak mikroyapı resimleri içerisindeki porozite ve oksit içerikleri ortaya çıkarılmıştır. Bu sayede uygulanan operasyon parametrelerin etkileri daha iyi anlaşılmasına çalışılmıştır.

### **5.4. Deneyde Kullanılan Cihazlar**

- Kumlama cihazı
- Elektrik ark spreycihazı
- Kesme makinesi
- Bakalite alma cihazı
- Otomatik Parlatma cihazı
- Optik mikroskop
- Mikro sertlik cihazı
- Taramalı elektron mikroskobu (SEM)
- Çekme cihazı

#### **5.4.1. Kumlama Cihazı**

Numunelerin kumlanma işleminde Sapi marka basınçlı kumlama cihazı kullanılmıştır. Kumlama işlemi 30–36 gritlik alümina kullanılarak yapılmıştır. Maksimum yüzey pürüzlülüğü kumlama tabancasının, numune yüzeyine 90°'lik bir açı ile tutulmasıyla elde edilir.

#### 5.4.2. Elektrik ark püskürtme cihazı

Kaplama uygulamaları Sulzer Metco Smart Arc elektrik ark püskürtme cihazı ile üretilmiş. Şekil 5.1'de ark püskürtme cihazı görülmektedir.



Şekil 5.1. Elektrik ark püskürtme cihazı

#### 5.4.3. Kesme makinesi

Yapılan kaplamalar Struers Labotom 3 marka cihaz ile hassas olarak kesilmiştir.

#### 5.4.4. Bakalite alma cihazı

Numunelerin bakalite alma işlemi Struers Citopress-10 marka bakalite alma cihazı ile yapılmış.

#### 5.4.5. Otomatik parlatma cihazı

Bakalite alınan kaplanmış numuneler Struers Tegrapol-21 marka otomatik parlatma cihazı ile zımparalanıp daha sonra parlatılmıştır.



#### 5.4.6. Optik mikroskop

Kaplamaların metalografik incelemesi Zeiss AX10 marka optik mikroskop cihazı ile yapılmıştır. Kullanılan optik mikroskop cihazı Şekil 5.2.'de görülmektedir.

Kaplanan deney numuneleri mikroyapı incelemeleri için hazırlandıktan sonra uygulama sonuçlarına bakılmıştır. Etkilerin incelenebilmesi için değişik parametrelerde tatbik edilen kaplamaların mikroyapı resimleri çekilmiş, resimler üzerinden oksit ve porozite içeriği tespit edilmiştir. Kaplama sonuçları için farklı bölgelerden dört mikroyapı resmi çekilerek ortalama değerleri alınmıştır.



Şekil 5.2. Optik mikroskop resmi

#### 5.4.7. Mikro sertlik cihazı

Yapılan kaplamaların sertlikleri Struers Duramin A300 marka mikro sertlik cihazı ile ölçülmüştür.

Bakalite alınan numuneler üzerinde mikro sertlik incelemeleri yapılmıştır. Her numune üzerinden ayrı bölgelerden 10 iz alınmış, en büyük ve en küçük değerler çıkarıldıktan sonra kalan 8 değerın ortalaması uygun değer olarak belirlenmiştir.

#### **5.4.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)**

Üretilen kaplamaların SEM görüntüleri JEOL JSM marka taramalı elektron mikroskobuyla yapılmıştır. İnceleme için numunelerden bazıları seçilmiştir.

#### **5.4.9. Çekme cihazı**

Üretilen kaplamaların bağ mukavemetlerini gözlemlemek için Zwick/Roell Z050 çekme cihazında üç nokta eğme testi yapılmıştır.

### **5.5. Kaplamaların Üretilmesi**

#### **5.5.1. Altlık yüzeyinin hazırlanması**

Altlık malzemesinin yüzeyinin hazırlanması kaplamanın yapışmasında önemli rol oynamaktadır. Bu sebepten dolayı altlık malzemelerinin yüzeylerinin hazırlanması titizlik ve itina gerektiren bir iştir. Öncelikle malzeme yüzeyindeki yağ, pas ve kirin giderilmesi için altlıklar alkol ve aseton kullanarak silinmiştir. Daha sonra kumlama makinesinde yüzeyine alümina aşındırıcı kumları basınçla püskürtülerek altlık yüzeyi pürüzlü hale getirilmiştir. Termal sprey kaplamalarda yapışma mekanik şekilde gerçekleştiği için kaplanacak yüzeyin tamamının kumlanmış olmasına özen gösterilmiştir.

#### **5.5.2.Kaplama uygulaması**

Kaplanacak numuneler kendi hazırlamış olduğumuz numune tutucusuna elektrik kaynağı ile sabitlenmiş daha sonra ise kumlanmışdır. Kumlama işleminden sonra numune tutucusu torna makinesine bağlanarak, kendi eksini etrafında dönme işlemini yapabilecek şekilde ayarlanmıştır.

Kaplama işlemi gerçekleştirecek olan ark sprey tabancası ilerleme tablasına monte edilerek yazılan program sayesinde tek eksen otomatik olarak gidip gelmesi sağlanmıştır (Şekil 5.3.). Kaplama sırasında torna makinesi ve ilerleme tablası

birlikte çalıştırılarak homojen bir kaplama elde edilmeye çalışılmıştır. Uygulamalarda numunelerin sıcaklıkları kontrol edilerek 150°C'yi geçmemesi sağlanmıştır. Şekil 5.3.'de kaplama uygulaması görülmektedir.

Cihazın %13Cr'lu çelik tel için verilen genel kaplama parametreleri Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Elektrik ark püskürtme cihazında %13Cr'lu çelik tel için genel kaplama parametreleri

| Özellikler          | Parametreler |
|---------------------|--------------|
| Akım (amper)        | 200 – 350 A  |
| Ark Voltaj (volt)   | 28 – 32 V    |
| Püskürtme Mesafesi  | 10 – 15 cm   |
| Atomize Gaz Basıncı | 2,4 – 4 bar  |



Şekil 5.3. Kaplama uygulaması

Bu kaplama parametrelerine bağlı kalarak farklı koşullarda kaplamaların üretilmesine çalışılmıştır. Değişik kaplama parametrelerinde üretilen kaplamaların;

- Amper/voltaj değişiminin
- Atomize gaz basıncı değişiminin
- Değişik tipte nozul kullanımının
- Atomize gaz basıncı olarak farklı gaz türü kullanımının kaplama

özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

## 5.6. Üretilen Kaplamaların Parametre Değişimleri

### 5.6.1. Amper/voltaj değişiminin etkisi

Elektrik ark püskürtme sisteminde amper/voltaj değişimleri cihaz üzerindeki kontrol panosundan ayarlanmış ve kaplama özelliklerine etkisi incelenmiştir. İki farklı (2,4 – 4 bar) atomize gaz basıncı kullanılarak üretilen kaplamaların amper değişimleri Tablo 5.3’de verilmiştir;

Tablo 5.3. Elektrik ark püskürtme sistemiyle 2,4 bar ve 4 bar atomize gaz basıncında uygulanan amper/voltaj değişim parametreleri

| Nozul Tipi | Amper (A) | Voltaj (V) | Kaplama Mesafesi (cm) | Atomize Gaz Cinsi |
|------------|-----------|------------|-----------------------|-------------------|
| Fine       | 200       | 28         | 14                    | Hava              |
|            | 250       | 29         |                       |                   |
|            | 300       | 30         |                       |                   |
|            | 350       | 32         |                       |                   |

### 5.6.2. Atomize gaz basınç değişiminin etkisi

Elektrik ark püskürtme sisteminde iki farklı atomize gaz basıncı cihaz üzerinde uygulanmış ve kaplama özelliklerine etkisi araştırılmıştır. İki farklı basınç altında amper/voltaj değişimiyle etkisi de incelenen kaplamaların uygulama parametreleri Tablo 5.4.’de verilmiştir;

Tablo 5.4. Elektrik ark püskürtme sistemiyle farklı atomize gaz basıncı ve amper/voltaj koşullarında uygulanan kaplama parametreleri

| Nozul Tipi | Amper (A) | Voltaj (V) | Atomize Gaz Basıncı (bar) | Kaplama Mesafesi (cm) | Atomize Gaz Cinsi |
|------------|-----------|------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| Fine       | 200       | 28         | 2,4                       | 14                    | Hava              |
|            |           |            | 4                         |                       |                   |
|            | 250       | 29         | 2,4                       |                       |                   |
|            |           |            | 4                         |                       |                   |
|            | 300       | 30         | 2,4                       |                       |                   |
|            |           |            | 4                         |                       |                   |
|            | 350       | 32         | 2,4                       |                       |                   |
|            |           |            | 4                         |                       |                   |

### 5.6.3. Atomize gaz türünün değişiminin etkisi

Elektrik ark sprey sisteminde hava ve argon olmak üzere iki farklı atomize gaz cinsi kullanılmıştır. Bu gazlar ile 14 ve 25 cm kaplama mesafelerinde kaplamalar üretilmiş ve gazların kaplama özelliklerine üzerine etkisi incelenmiştir. İncelenen kaplamaların uygulama parametreleri Tablo 5.5’de verilmiştir;

Tablo 5.5. Elektrik ark püskürtme sistemiyle atomize gaz cinsi değiştirilerek farklı amper/voltaj koşullarında uygulanan kaplama parametreleri

| Nozul Tipi | Amper (A) | Voltaj (V) | Atomize Gaz Basıncı (bar) | Kaplama Mesafesi (cm) | Atomize Gaz Cinsi |
|------------|-----------|------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| Fine       | 250       | 29 V       | 4                         | 14                    | Hava              |
|            |           |            |                           |                       | Argon             |
|            |           |            |                           | 25                    | Hava              |
|            |           |            |                           |                       | Argon             |

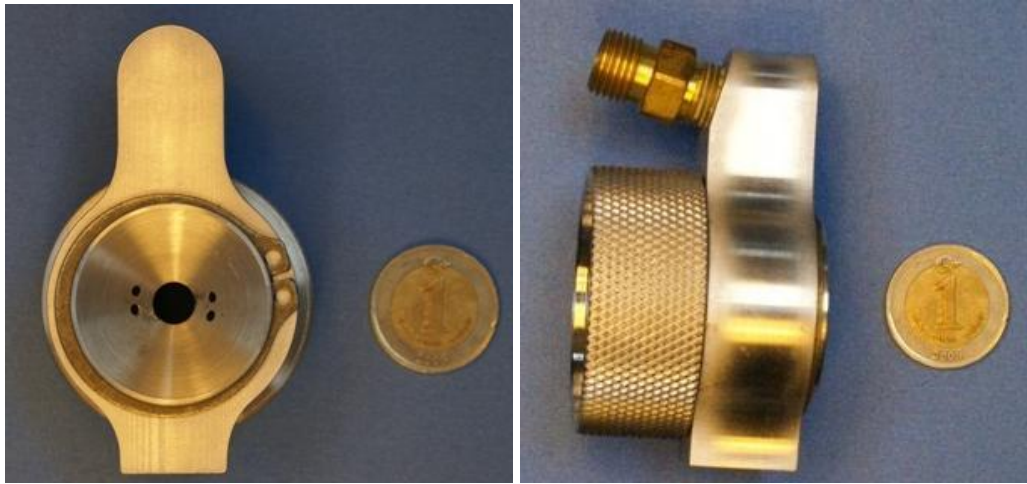
Ayrıca Focus nozulda ikincil gaz olarak mix gazı (Ar-%5H) kullanılarak iki farklı (hava ve argon) atomize gaz ile üretilmiş kaplamaların özellikleri incelenmiştir. Üretilen kaplamalara ilişkin parametreler Tablo 5.6.'da görülmektedir.

Tablo 5.6. Mix gazın ikincil gaz olarak kullanılarak üretilen kaplamaların sistem parametreleri

| Nozul Tipi | Amper (A) | Voltaj (V) | Atomize Gaz Basıncı (bar) | İkincil Gaz Basıncı (bar) | Kaplama mesafesi (cm) | Atomize Gaz Cinsi |
|------------|-----------|------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| Focus      | 200       | 28         | 2,4                       | 1,7                       | 14                    | Hava              |
|            |           |            |                           |                           |                       | Argon             |

#### 5.6.4. Nozul değişiminin etkisi

Elektrik ark püskürtme sisteminde farklı nozul tipleri kullanarak kaplamalar üretilmiş ve üretilen kaplamaların özellikleri incelenmiştir. Şekil 5.4., Şekil 5.5., Şekil 5.6. ve Şekil 5.7.'de nozul tipleri görülmektedir.



Şekil 5.4. FAN nozulun önden ve yandan görünüşü



Şekil 5.5. FOCUS nozulun önden ve yandan görünüşü



Şekil 5.6. Fine nozulun önden ve yandan görünüşü



Şekil 5.7. HV nozulun önden ve yandan görünüşü

Üretilen kaplamalara ilişkin parametreler Tablo 5.7.'de verilmiştir;

Tablo 5.7. Elektrik ark püskürtmede değişik nozul tipleriyle 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen kaplamaların operasyon parametreleri

| Nozul Tipi | Amper (A) | Voltaj (V) | Atomize Gaz Basıncı (bar) | İkincil Gaz Basıncı (bar) | Atomize Gaz Cinsi |
|------------|-----------|------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|
| Hv         | 200       | 28         | 2,4                       | -                         | Hava              |
| Fan        |           |            |                           | 1,7                       |                   |
| Focus      |           |            |                           |                           |                   |



## BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR

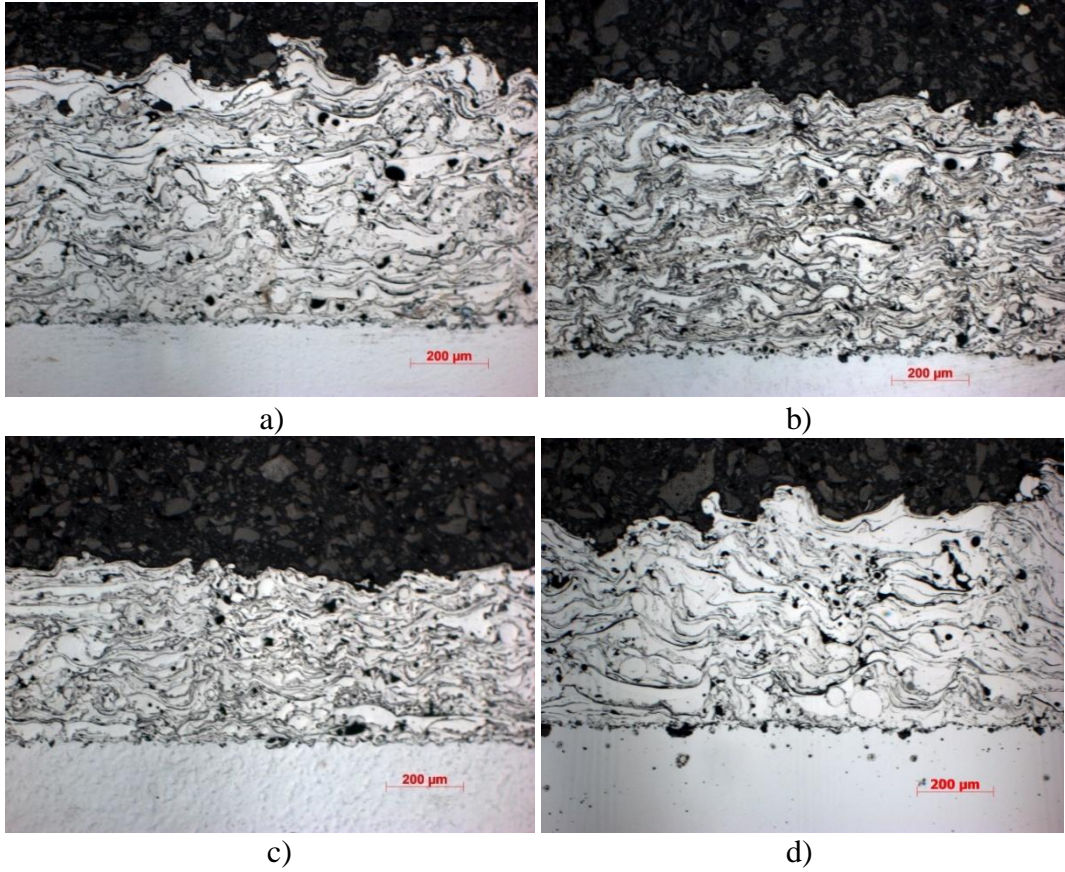
### 6.1. Amper / Voltaj Değişimlerinin Kaplama Özelliklerine Etkisi

Dört farklı amper / voltaj ve iki farklı atomize gaz basıncında üretilen kaplamaların özelliklere etkisi incelenmiştir. Bulunan mikrosertlik, porozite ve oksit sonuçları Tablo 6.1.'de görülebilir.

Tablo 6.1.Elektrik ark püskürtmede üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamanın iki farklı atomize gaz basıncında amper/voltaj değişimiyle mikro sertlik, porozite ve oksit içeriği değerleri

| Nozul Tipi | Amper (A) / Voltaj (V) | Atomize Gaz Basıncı (bar) | Sertlik (Hv) | Porozite (%) | Oksit (%) | Atomize Gaz Cinsi |
|------------|------------------------|---------------------------|--------------|--------------|-----------|-------------------|
| Fine       | 200 / 28               | 2,4                       | 497          | 4,76         | 13        | Hava              |
|            | 250 / 29               |                           | 578          | 4,47         | 17,81     |                   |
|            | 300 / 30               |                           | 548          | 4,97         | 10,14     |                   |
|            | 350 / 32               |                           | 516          | 6,86         | 8,23      |                   |
|            | 200 / 28               | 4                         | 522          | 3,41         | 19,82     |                   |
|            | 250 / 29               |                           | 596          | 1,95         | 19,72     |                   |
|            | 300 / 30               |                           | 635          | 1,7          | 22,3      |                   |
|            | 350 / 32               |                           | 538          | 2,08         | 18,87     |                   |

2,4 bar atomize gaz basınçta ve farklı parametrelerde üretilen kaplamaların mikroyapıları Şekil 6.1.'de görülebilir.



Şekil 6.1. Elektrik ark püskürtme sistemiyle üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamının 2.4 bar atomize gaz basıncında, 14 cm püskürtme mesafesinde mikroyapıları a) 200 A b) 250 A c) 300 A d) 350 A

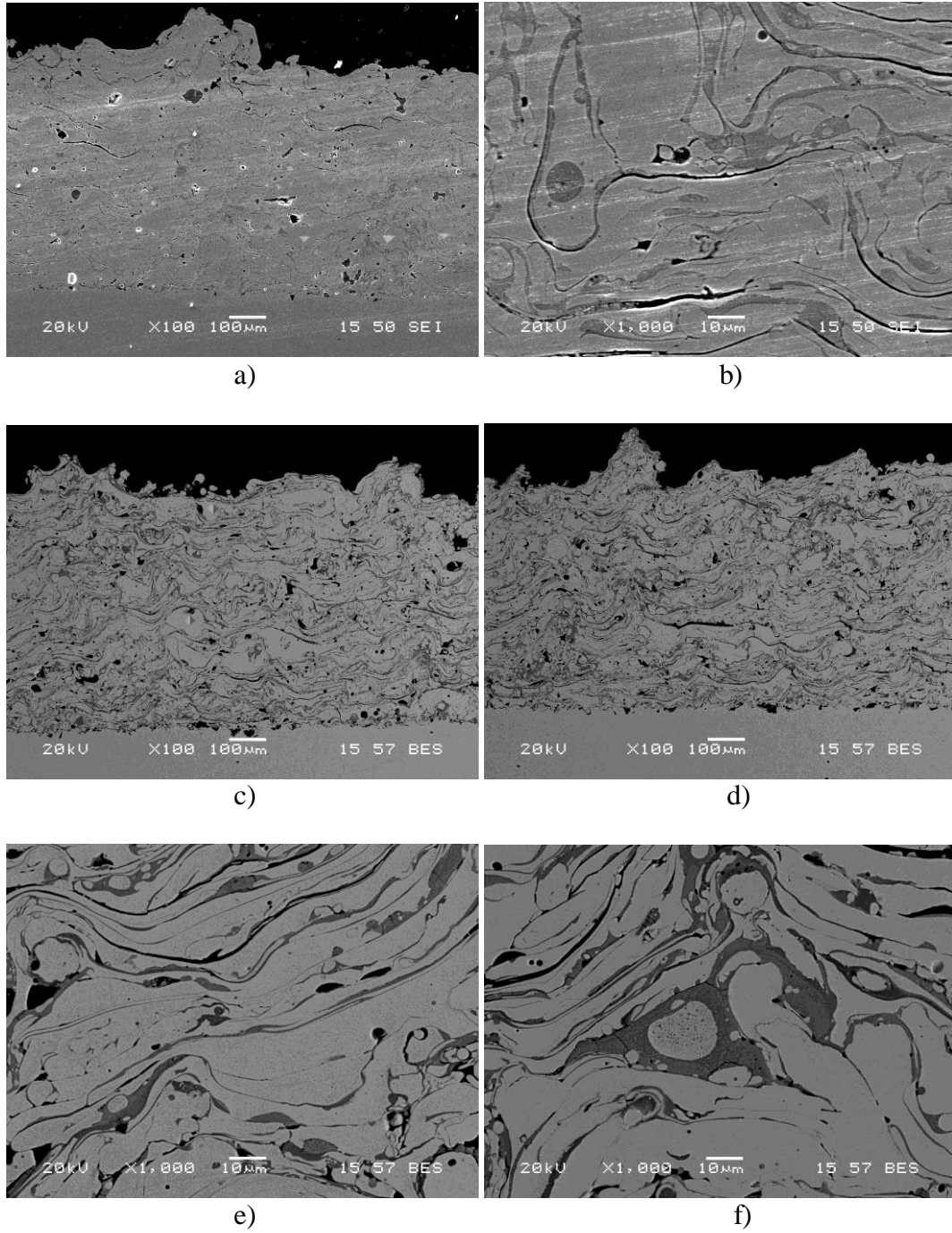
Mikroyapılardan da görülebildiği gibi kaplama yapısı amper ve voltajın artmasıyla daha iyi bir oluşum sergilemiştir. 2,4 bar ve 200 A / 28 V kaplama parametrelerinde üretilen mikroyapı (Şekil 6.1a.) diğer numunelerden daha düşük bir ark enerjisiyle oluşturulmuştur. Buda kaba bir yapının oluşmasına sebebiyet vermektedir. Kaplama yapısında lamel kalınlıkları 15-20 µm civarında olmasının sebebi de budur. Uygulanan parametre değerlerinde amper ve voltaj değerlerinin yükseltilmesiyle yapı homojen bir görünüm sergilemeye başlamıştır (Şekil 6.1b. ve Şekil 6.2c.). Ortalama lamel kalınlığı 6-12 µm civarındadır.

Artan enerjiyle beraber ark içerisindeki sıcaklık artacaktır. Böylece partikül sıcaklığı artacak ve altlık yüzeye çarptıklarında daha iyi bir saçılım göstereceklerdir. Üretilen yüksek enerji kaplama yapısını daha homojen yapmakla beraber, daha yüksek enerji değerlerinde yapının homojenliğini kaybettiği görülebilir (Şekil 6.1d.). Mikroyapıdan da görülebileceği gibi lamel kalınlıkları tekrar düzensiz ve kaba bir yapı sergilemektedir. Bunun sebebi artan enerjiyle beraber ark içerisinde oluşan

dalgalanmaların artmasıdır. Ergitilen iki tel ile ark arasındaki ilişki tel boşalmasında akışkan dinamiğinin oluşmasına sebebiyet verir. Buda bir girdap problemi yaratacaktır. Anot ve katodun jet akışında yarattığı bu dalgalanmalar kaplamada kullanılan parametreler ile doğrudan ilişkilidir. Amper ve voltaj değerleri yükseldikçe ergitilen partikül sayısı da artacaktır. Ergitme havuzu içerisindeki bu artışta jet akışındaki dalgalanmaların daha fazla oluşmasında sebebiyet verecektir. Sonuçta daha düzensiz bir ark oluşumu meydana gelecek ve yapı homojen bir görüntü sergilemeyecektir. Jet içerisindeki bu değişimi en aza indirmek için daha düşük güçlerde çalışılmalıdır. %13Cr'lu çelik tel ile yapılan bir çalışmada da benzer sonuçlar görülmüştür. Yine aynı çalışmada amper/voltaj değişimlerinin ark oluşumundaki etkisi de anlatılmıştır [28].

Düşük amper ve voltaj seviyesinde çalışıldığından partiküllere yeterli ısı girdisi yapılamamış, buda yapı içerisinde daha fazla ergiyip katılaştıran partiküllerin oluşmasını sağlamıştır. Düşük ark enerjisinde üretilen kaplama yapısında (Şekil 6.1a.) ergiyip katılaştıran partikül boyutunun daha büyük olduğu görülmektedir. Ark enerjisi yükseldikçe katılaştıran partikül boyutları azalmakta (Şekil 6.1b. ve Şekil 6.1c.), enerji çok yükseldiğinde ise (Şekil 6.1d.) kalıntı partikül boyutları artmaktadır. Ergiyip yüzeye atomize olan partiküller yeterli ısıyı alamadıklarından altlık yüzeye ulaşana kadar tekrar katılaşırlar. Ark enerjisi ile ısının artması sağlandığında ise partiküllere daha fazla ısı girdisi sağlanacağına tam olarak bir ergime sağlanmaktadır. Çok yüksek enerji seviyelerinde ise kalıntı partiküllerin büyük boyutlu olmasının sebebi yapıdaki jet dalgalanmalıdır. Çok yüksek ergimede ve tel besleme hızında düzensiz ark dalgalanmalarıyla beraber ergiyen telden çok büyük parçalar kopacaktır. Bu olay elektrik arkın karakteristik bir özelliğidir. Anot ve katot arasındaki düzensiz ergime davranışı ark enerjisi yükseldikçe artacaktır. Anot, katottan daha soğuk bir ergime yapısı oluşturacaktır. Bu sebeple anottan büyük, düzensiz partiküllerin kopması kaçınılmazdır. Kopan bu düzensiz partiküller tam olarak ergiyemeyecek ve yüzeye bu şekilde atomize olarak yapı içerisindeki homojenliği bozduğu gibi kaba yapılarında oluşumunu sağlayacaktır.

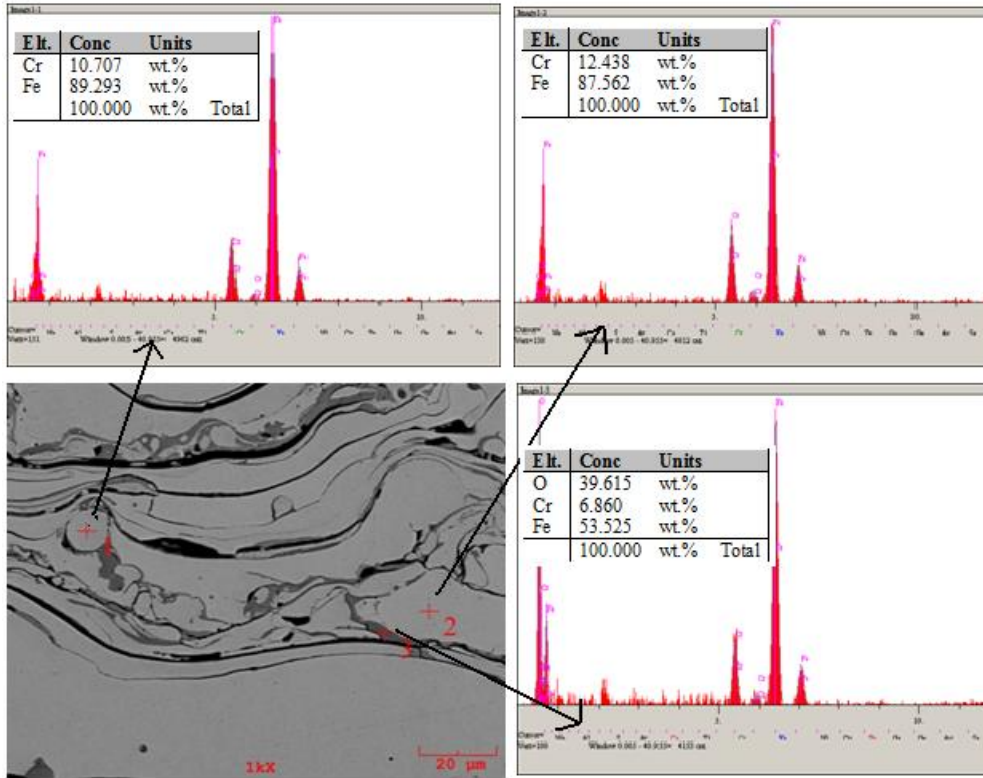
Şekil 6.2.'de inceleme için çekilmiş örnek SEM görüntüleri görülebilir.



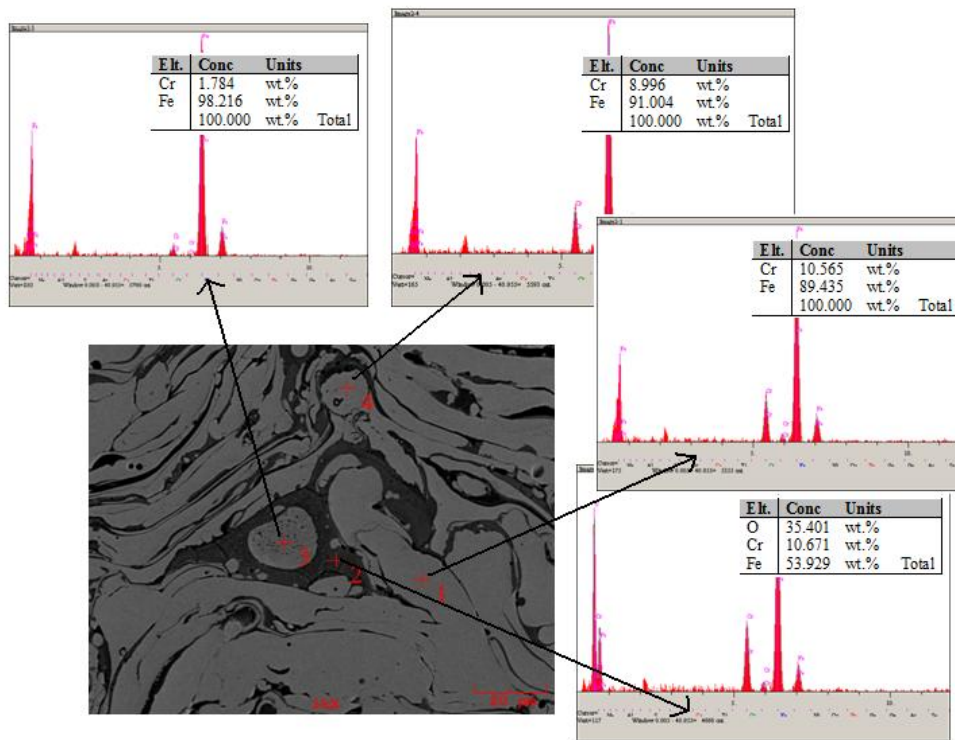
Şekil 6.2. 2,4 bar basınçta üretilen kaplamalardan örnek SEM resimleri a) 200 A 100x b) 200 A 1000x c-d) 250 A 100x e-f) 250 A 1000x

SEM görüntüleri dikkatli incelenirse yapı içerisinde oluşan oksit çatlakları görülebilir. Yapı içerisindeki oksitlerin fazla olması çatlak sayısını artıracak, bu da kaplamanın ilerde kalkmasına veya kırılmasına sebep olacaktır.

Şekil 6.3. ve Şekil 6.4.'de görüntülenen SEM resimlerinin EDS analizleri verilmiştir;



Şekil 6.3. 200 A ve 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen kaplamaların örnek EDS analizleri

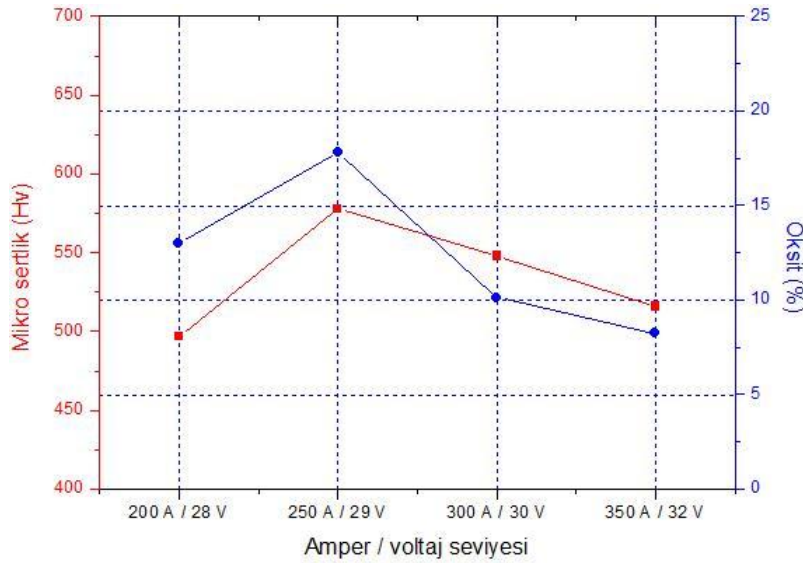


Şekil 6.4. 250 A ve 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen kaplamaların örnek EDS analizleri

Şekil 6.3.'ü incelediğimizde 1. ve 2. noktalarının birbirine benzer yapılar ortaya çıkardığı görülmektedir. İkisi arasında ciddi bir element yanması yoktur (%1 mertebesinde). 3. noktada ise oksit oluşumu görülmektedir. Yapı içerisinde Cr ve Fe oksidinin oluştuğu anlaşılıyor. Mikroyapılarda  $Cr_2O_3$  ve  $Fe_2O_3$  ayrı bir renk yapısı sergilememektedir.

Şekil 6.4.'de de benzer bir sonuç görülmektedir. 1. ve 4. noktalar benzer bir yapı sergilemekte, oksit bölgeden alınan 2. noktada oksit içeriği bulunmaktadır. İncelenen 3. noktadan alınan sonucun hatalı olduğu düşünülmektedir.

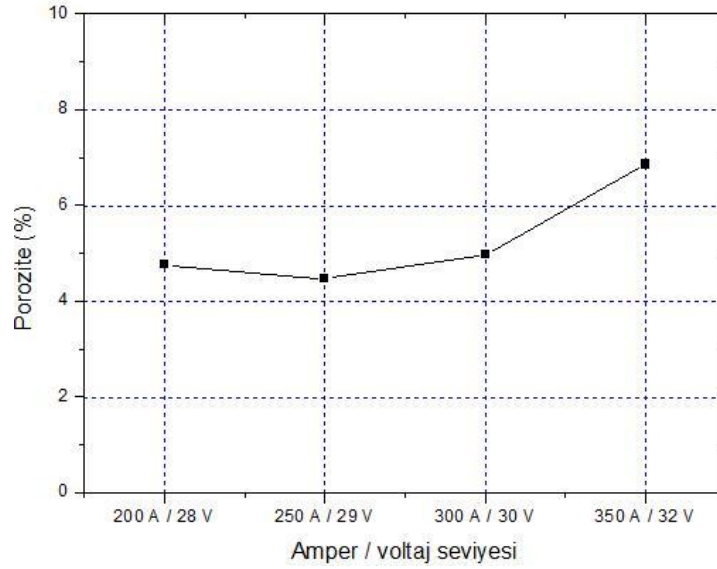
Şekil 6.5. 2,4 bar atomize gaz basıncında ve 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin, mikro sertlik ve oksit üzerine etkisi görülmektedir.



Şekil 6.5. Elektrik ark püskürtme sistemiyle 2,4 bar atomize gaz basıncında ve 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin, mikro sertlik ve oksit içeriğine etkisi

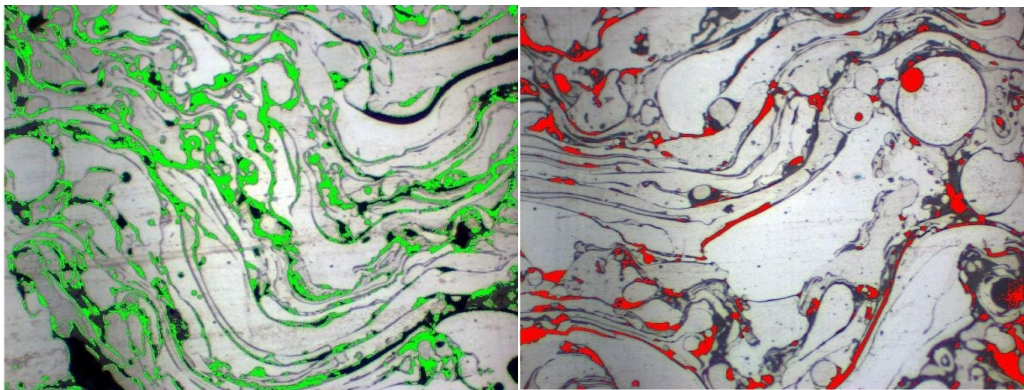
Şekil 6.5.'den görülebileceği gibi mikrosertlikler ile kaplamaların mikroyapıları arasında uyumlu bir sonuç ortaya çıkmıştır. Düşük ergitme enerjisinde mikrosertlik 497 Hv çıkarken, ark sıcaklığı arttıkça mikro sertlik değerinin arttığı görülebilir. Uygulanan 300 A ve 30 V parametresinde sertlik bir miktar düşüş sergilemekte, 350 A ve 32 V uygulamada ise mikrosertlik oldukça düşmektedir.

Şekil 6.6. 2,4 bar atomize gaz basıncında ve 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin porozite üzerine etkisi görülmektedir.



Şekil 6.6. Elektrik ark püskürtme sistemiyle 2,4 bar atomize gaz basıncında ve 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin porozite üzerine etkisi

2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen numunelerin örnek imaj analiz resimleri Şekil 6.7.'de görülebilir.



a)

b)

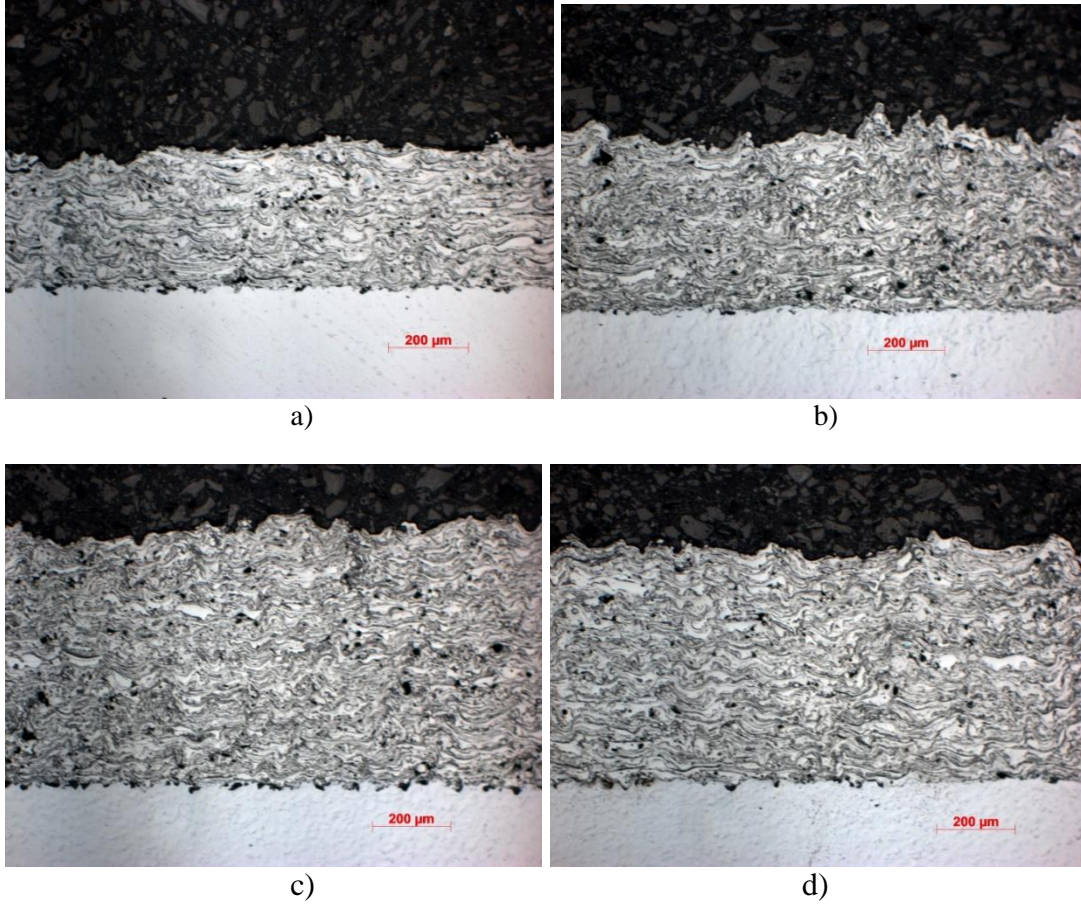
Şekil 6.7. 200 A, 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen numunelerin örnek imaj analiz resimleri a)Oksit b) Porozite

Poroz miktarı ark enerjisi arttıkça düşüş sergilemiş, düzensiz jet oluşumundan dolayı en yüksek ergitme seviyesinde ise artmıştır. Oksit içeriği yine ark enerjisinin artmasıyla yükseliş göstermiş, fakat enerji seviyeleri yükseldikçe düşmüştür. Porozite miktarının düşmesi daha ince lamel formasyonu ile açıklanabilir. Lamel yapıları ark enerjisi yükseldikçe incelmıştır. Fazla ısınan partiküller yüksek kinetik enerjiyle yüzeye ve tam olarak saçıldıkları için nispeten daha yoğun bir yapı oluşturmaları normaldir. Ark oluşumu çok yüksek ergitme seviyesinde (350 A / 32 V) düzensiz olduğu için boşluk miktarı daha fazla olacaktır. Jet yapısındaki düzensizlikler büyük parçaların kopmasına sebep olacak, buda porozite miktarını artıracaktır. Oksit içeriği 250 A / 29 V parametresinde en yüksek seviyede görülmektedir. Daha yüksek ergitme seviyelerinde oksit içeriği düşmeye başlamıştır. Lamel yapılarının 300 A / 30 V parametrelerinde yavaş yavaş büyümesi ve en yüksek uygulama seviyesinde oluşan çok kalın lameller bunun bir etkisidir. Enerji arttıkça kopacak daha iri partiküllerin yüzey alanları daha az olacaktır. Daha ince ve küçük partikül oluşumuna imkan veren 250 A ve 29 V uygulama parametresi bu sebeple daha fazla oksit birikimi gösterecektir.

Literatüre göre bulunan porozite miktarları benzer bir sonuç ortaya koymuştur [32]. Fakat deneysel numunelerde üretilen kaplamaların oksit miktarları daha fazla çıkmıştır. Oksit miktarındaki bu artış doğal olarak mikrosertlik değerlerinin de yüksek çıkmasını sağlamışlardır.

4 bar atomize gaz basınçta ve farklı parametrelerde üretilen kaplamaların mikroyapıları Şekil 6.8.'da görülebilir.

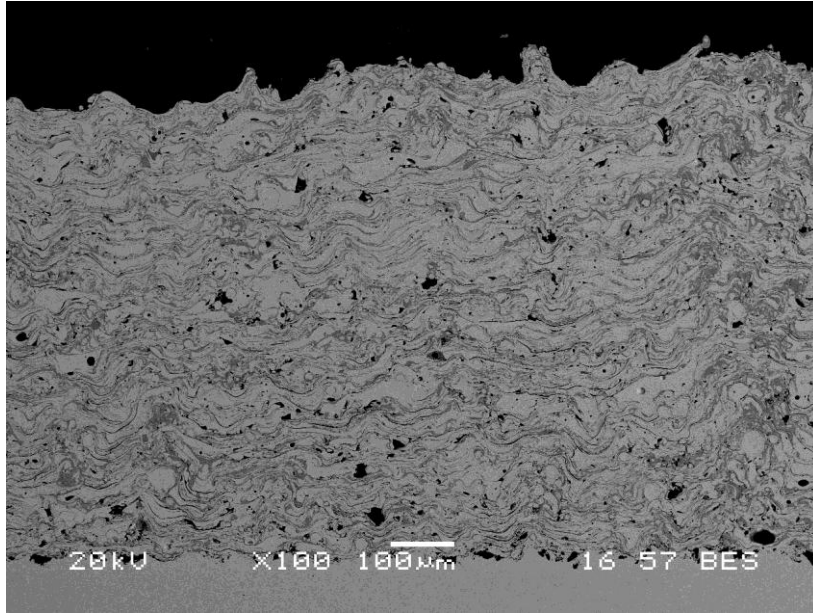




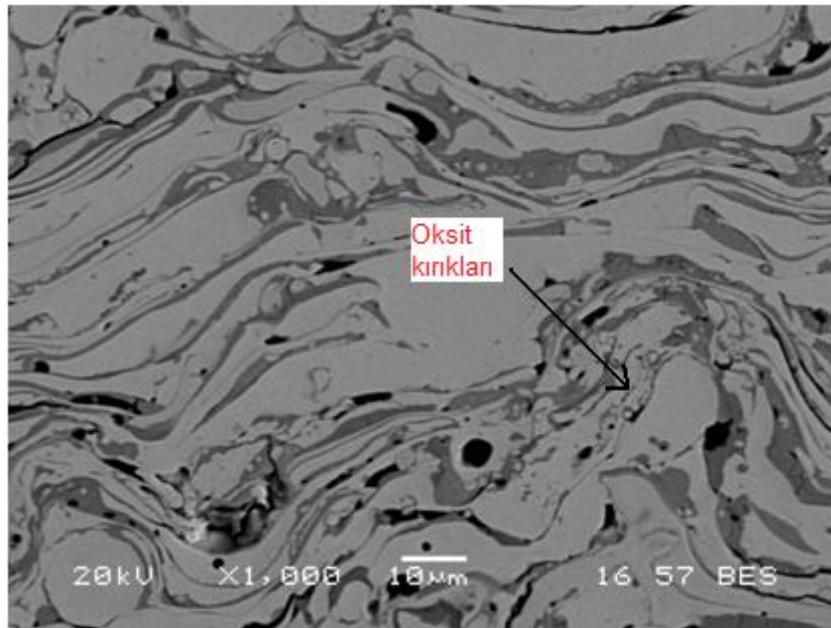
Şekil 6.8. Elektrik ark püskürtme sistemiyle üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamanın 4 bar atomize gaz basıncında , 14 cm püskürtme mesafesinde mikroyapıları a) 200 A b) 250 A c) 300 A d) 350 A

Mikroyapılar 2,4 bar atomize gaz basıncıyla üretilen kaplama yapılarına nazaran daha homojen ve yoğun bir görünüm sergilemektedir. Yine düşük ark enerjisinde üretilen kaplamanın lamel kalınlıkları daha yüksek ark enerjisiyle üretilen yapılara nazaran kalın bir oluşum sergilemiştir. Uygulanan ark enerjisi arttıkça lameller incelmış ve yapı daha yoğun bir görünüm sergilemiştir. Daha yavaş atomize gaz basıncıyla arasındaki fark ise optimum kaplama yapısının biraz daha yüksek enerjili parametrelerde elde edilmesidir. Ayrıca dikkat çekici özellik ark enerjisi çok yüksek seviyelerde bile (350 A / 32 V) kaplama yapısının düzgün görünmesidir. Bunun sebebi atomize gaz basıncının jet akışına olan etkisinden kaynaklanmaktadır. Atomize gaz basıncı arttıkça ark içerisinde oluşacak jet akışı daha düzenli olacaktır. Anot-katot arasındaki düzensiz ergime davranışı, gaz basıncıyla beraber azalmıştır. Böylece anottan daha az sayıda ve küçük boyutlarda partiküller kopacaktır. Sonuçta yüksek amper ve voltaj seviyelerinde bile uygun kaplama yapısı elde edilmiştir.

Şekil 6.9. İnceleme için çekilmiş örnek SEM görüntüleri görülebilir.



a)



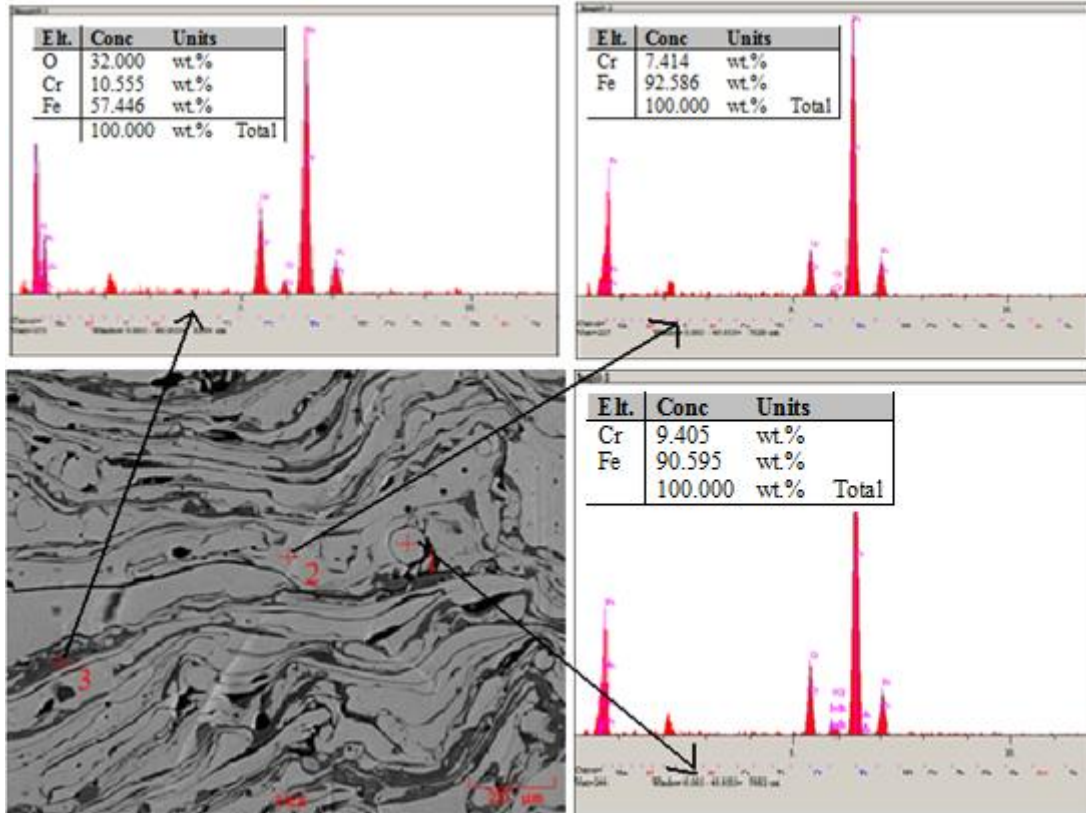
b)

Şekil 6.9. 4 bar basınçta üretilen kaplamalardan örnek SEM resimleri a) 300 A 100x b) 300 A 1000x

Şekil 6.9.'dan görülebildiği gibi mikroyapı yüksek basınçta daha yoğun bir yapı sergilemektedir. Ayrıca yüksek basınçla saçılan partiküller daha iyi saçıldığı için lamel boyutları daha uzundur.

Şekil 6.9b.'de oksit içerisinde kaplama parçacıkları görülmektedir. Yüksek hızla üstü üste binen partiküller çok şiddetli çarpışmalar sergilediği için, çarptıkları partikülden parçacıklar koparmışlardır. Bu parçacıklar oksit yapısı içerisinde görülebilir.

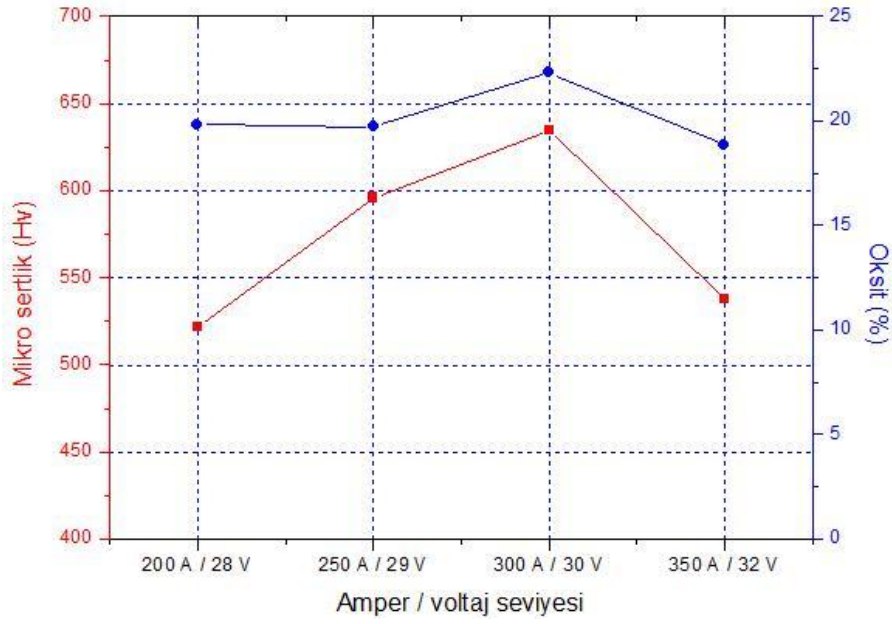
Şekil 6.10.'da görüntülenen SEM resimlerinin EDS analizleri verilmiştir;



Şekil 6.10. 300 A ve 4 bar atomize gaz basıncında üretilen kaplamaların örnek EDS analizleri

Görülebildiği gibi 1. ve 2. noktalardan alınan sonuçlar benzerlik göstermiş, 3. noktadan alınan sonuçta oksit içeriği görülmüştür.

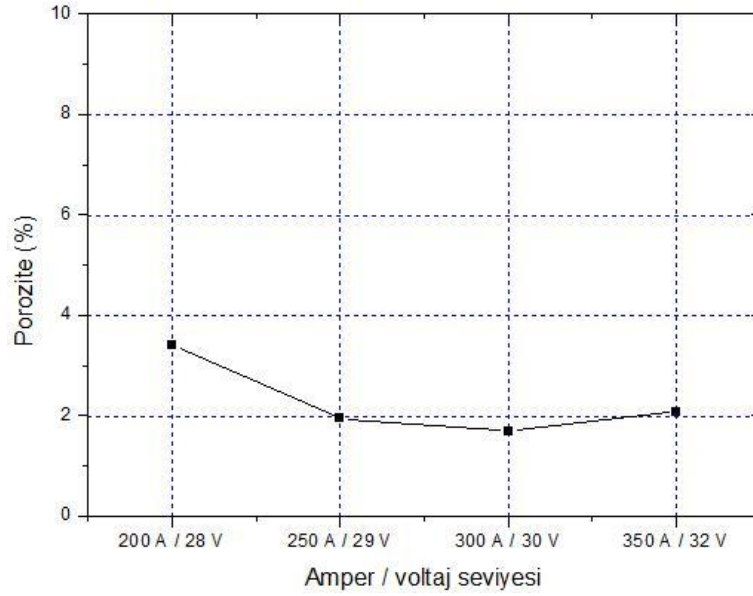
Şekil 6.11.'de 4 bar atomize gaz basıncında ve 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin, mikro sertlik ve oksit üzerine etkisi görülmektedir.



Şekil 6.11. Elektrik ark püskürtme sistemiyle 4 bar atomize gaz basıncında ve 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin, mikro sertlik ve oksit üzerine etkisi

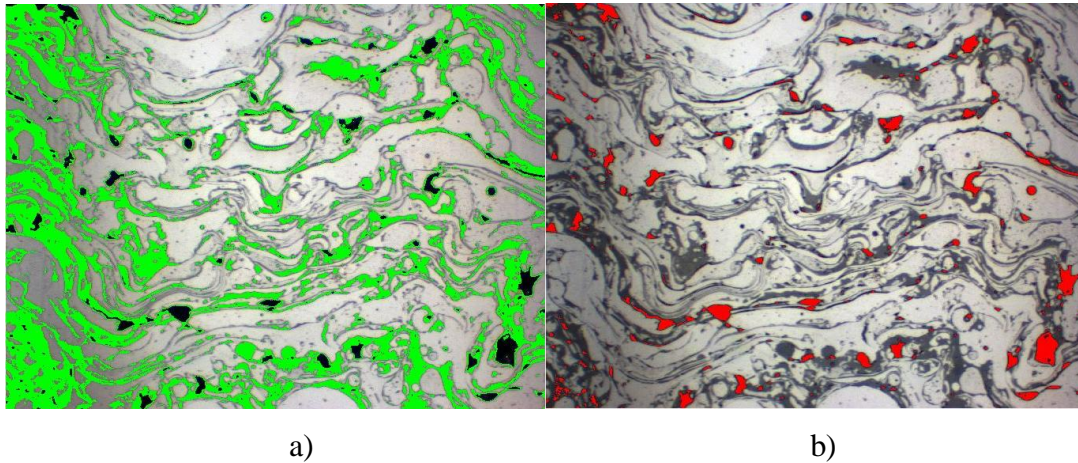
2,4 bar atomize gaz basınçta üretilen kaplamalara nazaran mikrosertlik artışı 300 A / 30 V seviyeelrine kadar devam etmiştir. Yine çok yüksek enerji seviyelerinde mikrosertlik düşmüştür. 200 A / 28 V ve 350 A / 30 V uygulama parametrelerinde kaplama yapısı hernekadar iyi görünsede mikrosertliğinin düşük çıktığı görülmektedir.

Şekil 6.12. 4 bar atomize gaz basıncında ve 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin porozite üzerine etkisi görülmektedir.



Şekil 6.12. Elektrik ark püskürtme sistemiyle 4 bar atomize gaz basıncında ve 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların amper/voltaj değişiminin porozite üzerine etkisi görülmektedir.

4 bar atomize gaz basıncında üretilen numunelerin örnek imaj analiz resimleri Şekil 6.13.'de görülebilir.



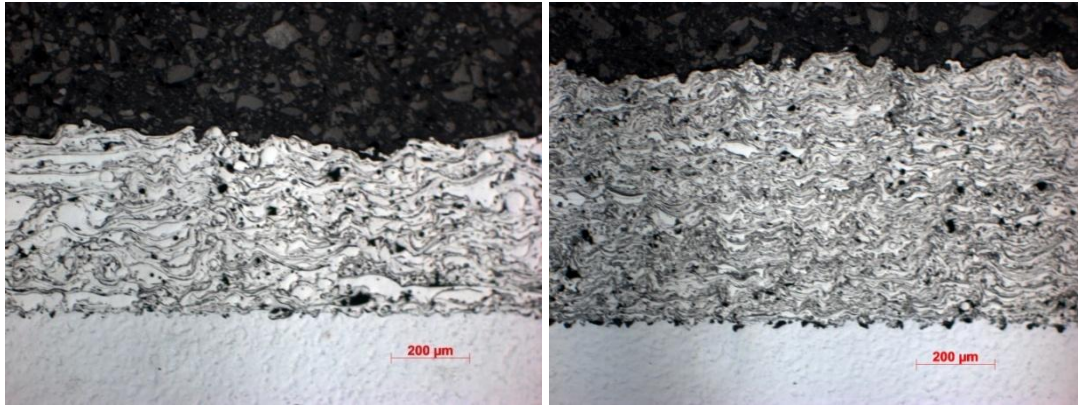
Şekil 6.13. 200 A, 4 bar atomize gaz basıncında üretilen numunelerin örnek imaj analiz resimleri a)Oksit b) Porozite

Poroz miktarı ark enerjisi yükseldikçe bir düşüş sergilemiştir. En yüksek enerji seviyesinde ise ark dalgalanmalarından dolayı bir miktar arttığı görülmektedir. Oksit içeriği ise bütün parametrelerde çok fazla değişmemekle beraber en yüksek 300 A / 30 V uygulama parametresinde görülmüştür. Artan ark enerjisinin yanında basınç

artışıda kaplama özelliklerinde etkili olmuştur. Aşınma dayanımı bakımından oksit içeriği bir miktar yüksek olsada daha sert bir yapı gösteren 300 A / 30 V uygulama parametresi en iyi sonucu vermektedir. Ayrıca 250 A / 29 V uygulama parametresinde çalışılması çok büyük bir fark yaratmayacaktır.

## 6.2. Atomize Gaz Basıncının Kaplama Özelliklerine Etkisi

Şekil 6.14.'de iki farklı atomize gaz basıncı kullanılarak 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların mikroyapıları verilmektedir. Şekil 6.14a.'da 2,4 bar atomize gaz basıncında, Şekil 6.14b.'de ise 4 bar atomize gaz basıncında çalışılmıştır.



a)

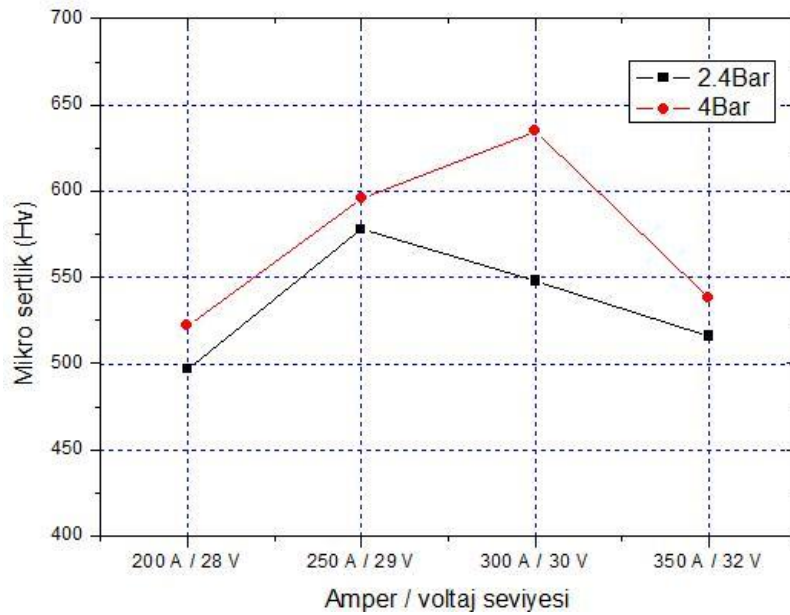
b)

Şekil 6.14. Elektrik ark püskürtme sistemiyle üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamanın iki farklı atomize gaz basıncında, 250 A / 29 V uygulama parametresi ve 14 cm püskürtme mesafesinde mikroyapıları a) 2,4 bar b) 4 bar

Mikroyapılar incelendiğinde ilk dikkati çeken görüntü kaplamaların lamel kalınlıklarıdır. 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen kaplama lamel kalınlıkları ortalama 6-12 µm civarında seyrederken, 4 bar atomize gaz basıncıyla üretilen kaplama lamel kalınlıkları 2-8 µm civarında ölçülmüştür. Buda kaplama oluşumunda lamel boyutunun oluşmasında atomize gaz basıncının etkisinin önemli boyutlarda olduğunu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Atomize gaz basıncı partikülleri daha yüksek kinetik enerjiyle altlık yüzeye püskürtmekte, buda partiküllerin daha iyi saçılmasına imkan vermektedir.

Farklı teller ile yapılan birçok araştırmada, atomize gaz basıncı artışıyla kaplamada homojen yapı oluşununun arttığı, lamel boyutunun uzun ve ince yapıda oluştuğu görülmüştür [11, 25, 26].

şekil 6.15.'de, iki farklı atomize gaz basıncı kullanılarak 14 cm pşkrtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu elik tel kaplamaların, amper değişiminin mikro sertlik üzerine etkisi görülebilir.

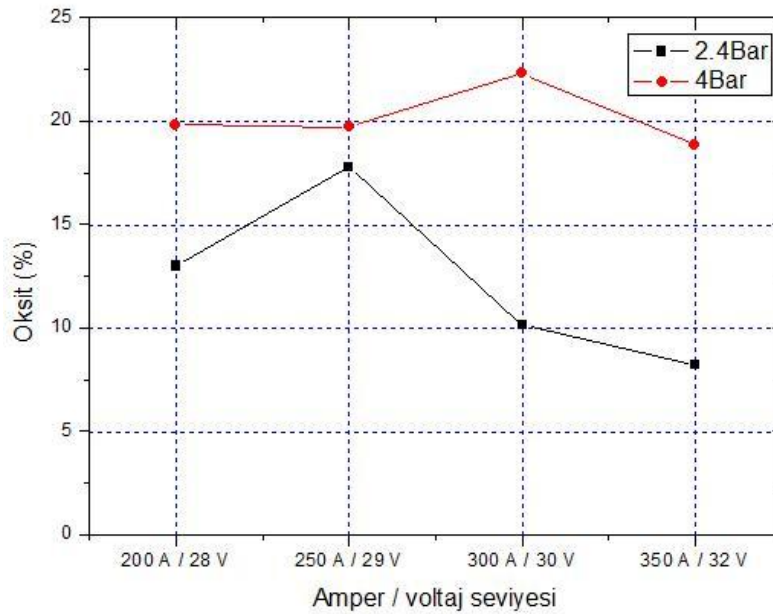


şekil 6.15. Elektrik ark pşkrtme sistemiyle iki farklı atomize gaz basıncı kullanılarak 14 cm pşkrtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu elik tel kaplamaların, amper değişiminin mikro sertlik üzerine etkisi

Görülebildiği gibi basınç artışıyla kaplama mikrosertliklerinin bütün uygulama parametrelerde artış sergilediği görülebilir. En belirgin artış 300 A/ 30 V ark enerjisinde elde edilmiştir. 4 bar atomize gaz basıncında üretilen kaplamaların mikrosertliği, 2,4 bar atomize gaz basıncında üretilen kaplamaların mikrosertliğinden % 14 daha yüksek bir sonuç vermiştir. Sertlikteki bu değişim büyük ölçüde partiküllerin hızlarıyla alakalıdır. Partikül hızları arttıkça daha hızlı ve daha yüksek kinetik enerjiyle altlığa yapışan partiküller daha iyi saçılım sergileyecekleridir. Buda ince lamel oluşmasını sağlayacak ve kaplamanın mikrosertliğini artıracaktır.

Şekil 6.16.'da iki farklı atomize gaz basıncı kullanılarak 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların, amper değişiminin oksit içeriği üzerine etkisi görülebilir.

Oksit içeriği, artan atomize gaz basıncıyla beraber bütün kaplamalarda yaklaşık olarak % 100 oranında artış gösterirken, sadece 250 A / 29 V ark enerjisinde benzer bir oksit içeriği sergilemişlerdir.

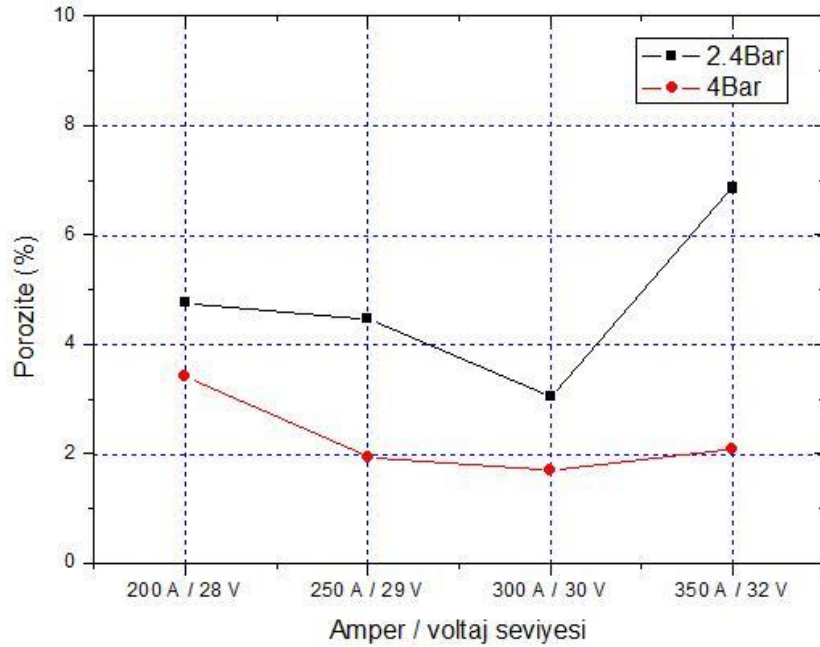


Şekil 6.16. Elektrik ark püskürtme sistemiyle iki farklı atomize gaz basıncı kullanılarak 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların, amper değişiminin oksit içeriği üzerine etkisi

Poroz miktarı atomize gaz basıncı artışıyla bütün uygulama parametrelerinde düşüş göstermiştir. Yine oksit miktarındaki değişimde atomize gaz basıncı artışıyla bütün uygulama parametrelerinde artış göstermiştir. Poroz miktarındaki artış büyük oranda partikül hızlarına bağlı olduğu için beklenen bir sonuçtur. Porozite, bütün kaplamalarda artan atomize gaz basıncıyla beraber yaklaşık % 50 oranında azalırken, en çok azalma 350 A/ 32 V ark enerjisinde (% 65) görülmüştür. Yüksek kinetik enerjiyle atomize olan partiküller daha yoğun bir yapının oluşmasını sağlayacaktır. Oksit içeriği ise görüldüğü gibi atomize gaz basıncının yükselmesiyle artmıştır.



Şekil 6.17.'de iki farklı atomize gaz basıncı kullanılarak 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların, amper değişiminin porozite üzerine etkisi görülebilir.



Şekil 6.17. Elektrik ark püskürtme sistemiyle iki farklı atomize gaz basıncı kullanılarak 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların, amper değişiminin porozite üzerine etkisi

Aslında partiküller çok daha hızlı altlığa ulaşmakta ve havayla daha az etkileşime girmektedir. Fakat atomize gaz basınç artışı sadece partikülleri yüzeye yüksek hızlarda götürmez. Atomize gaz hızı artırıldıkça partiküllerin daha küçük parçacıklara ayrıldığı görülmüştür. Bu olayda oksit miktarının artmasının sebebidir. Küçük partikül üretimi yüzey alanının daha fazla olmasına sebebiyet verecektir. Bu sebeple küçük partiküller hava ile daha fazla temas edeceğinden oksit miktarı, yüksek atomize gaz basıncında daha yüksek çıkacaktır. Daha küçük partikül üretimi yine poroziteyi düşürecek ve mikrosertliğide artıracaktır.

Farklı tellerle yapılan araştırmalarda da artan basıncın etkisiyle oksit içeriğinin arttığı, porozitenin düştüğü görülmüştür [11, 25, 27].

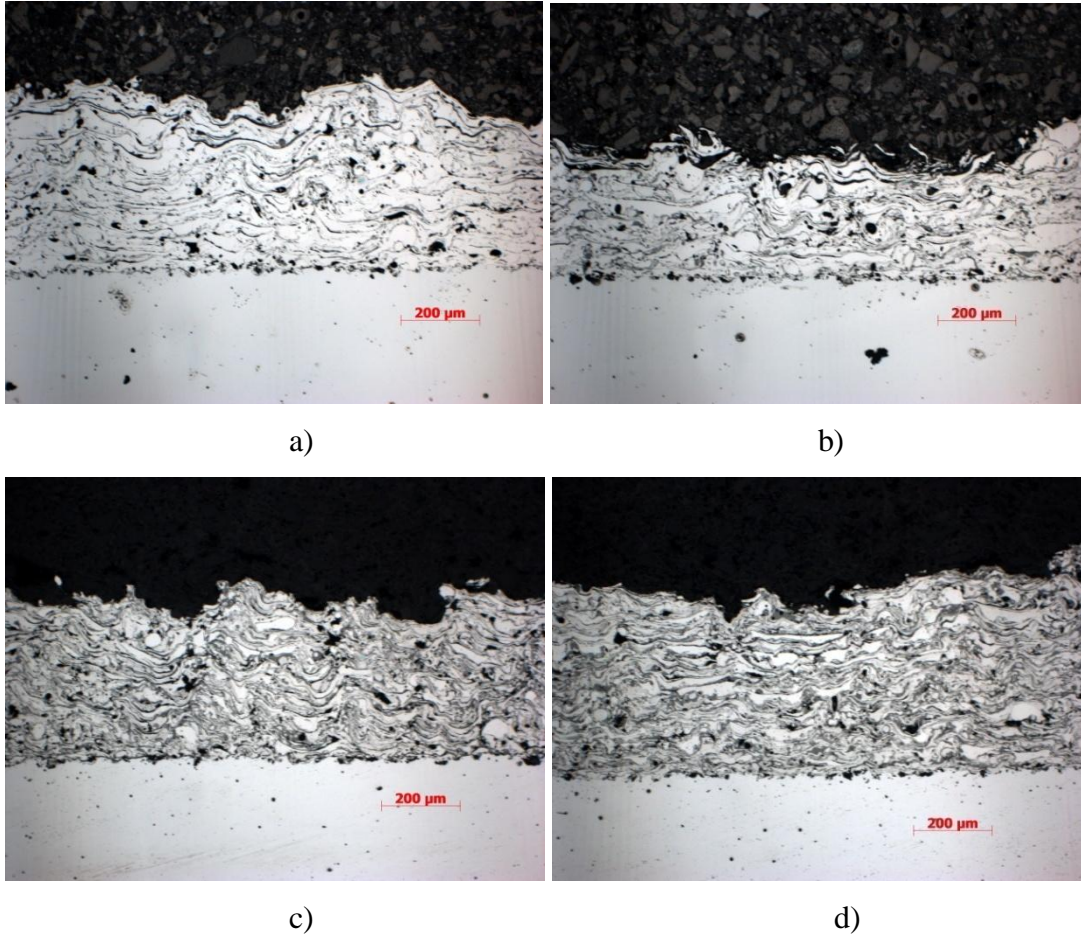
### 6.3. Atomize Gaz Türünün Kaplama Özelliklerine Etkisi

Elektrik ark püskürtme ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamanın iki farklı atomize gaz cinsinde/mesafede üretilen kaplamaların mikrosertlik, porozite ve oksit değerleri Tablo 6.2.'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Elektrik ark püskürtmede üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamanın farklı mesafe ve atomize gaz basınçlarındaki sertlik, porozite ve oksit değerleri

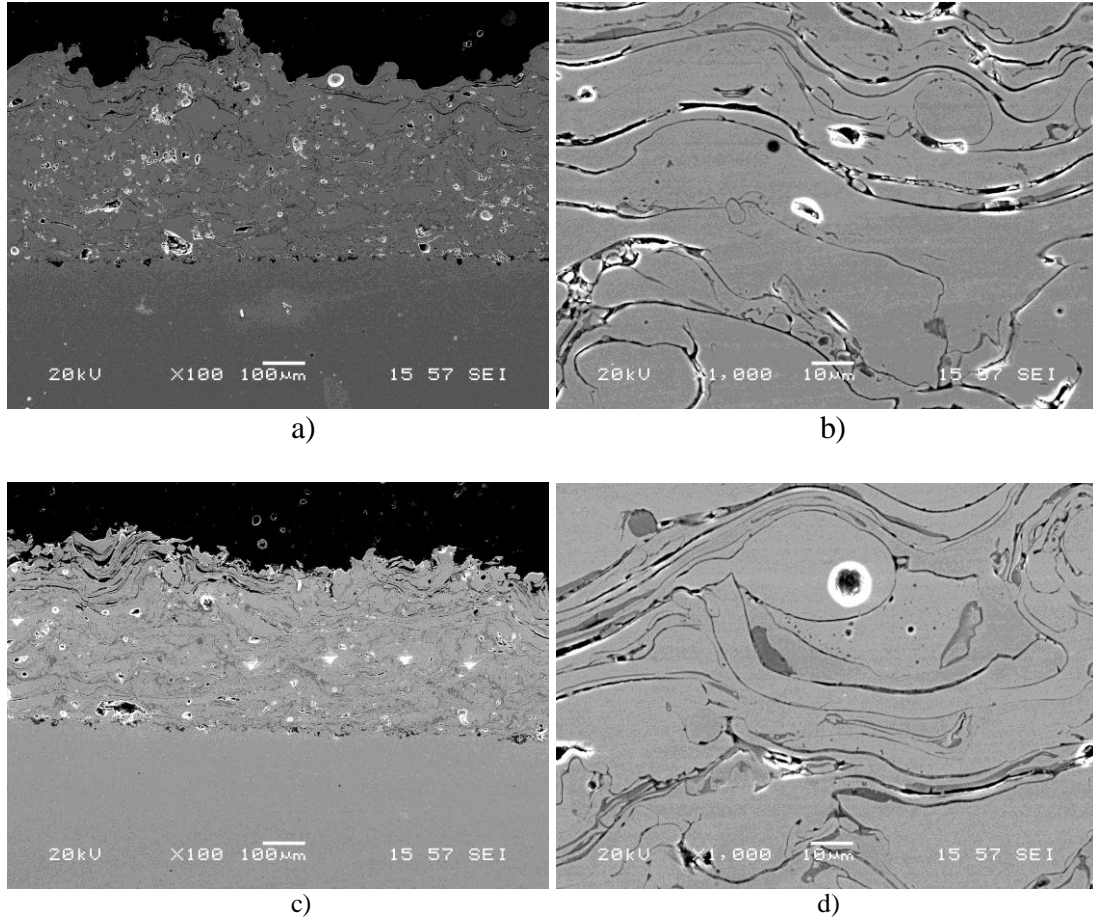
| Nozul Tipi | Amper (A)/<br>Voltaj (V) | Atomize Gaz<br>Basıncı (bar) | Atomize<br>Gaz<br>Cinsi | Mesafe<br>(cm) | Sertlik<br>(Hv) | Porozite<br>(%) | Oksit<br>(%) |
|------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Fine       | 250 / 29                 | 4                            | Hava                    | 14             | 584             | 2,4             | 18,5         |
|            |                          |                              | Argon                   |                | 487             | 6,54            | 3,06         |
|            |                          |                              | Hava                    | 25             | 575             | 2,73            | 21,78        |
|            |                          |                              | Argon                   |                | 481             | 6,78            | 7,88         |

Kaplamaların bu parametrelerdeki mikroyapıları Şekil 6.18.'de görülebilir. Mikroyapılardan görüldüğü gibi her iki püskürtme mesafesinde de argon atomizasyonu ile üretilen kaplamaların lamel kalınlıkları, hava atomizasyonu ile üretilen kaplamalardan daha kalın bir oluşum sergilemiştir. Mikroyapılardan argon atomizasyonu ile üretilen kaplamalarda daha fazla ergimemiş partikül olduğu görülebilir. Argon gazı ısı kapasitesi dolayısıyla daha çok soğutma sağlayacaktır. Buda argon atomizasyonunda partikül sıcaklıklarının düştüğünü göstermektedir. Lameller arasındaki ilişki SEM incelemesinde daha iyi görülmektedir.



Şekil 6.18. Elektrik ark püskürtme ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamanın farklı atomize gaz türlerinde ve mesafelerdeki mikroyapıları a) 14 cm püskürtme mesafesinde 4 bar atomize gaz basıncında argon atomizasyonu b) 25 cm püskürtme mesafesinde 4 bar atomize gaz basıncında argon atomizasyonu c) 14 cm püskürtme mesafesinde 4 bar atomize gaz basıncında hava atomizasyonu d) 25 cm püskürtme mesafesinde 4 bar atomize gaz basıncında hava atomizasyonu

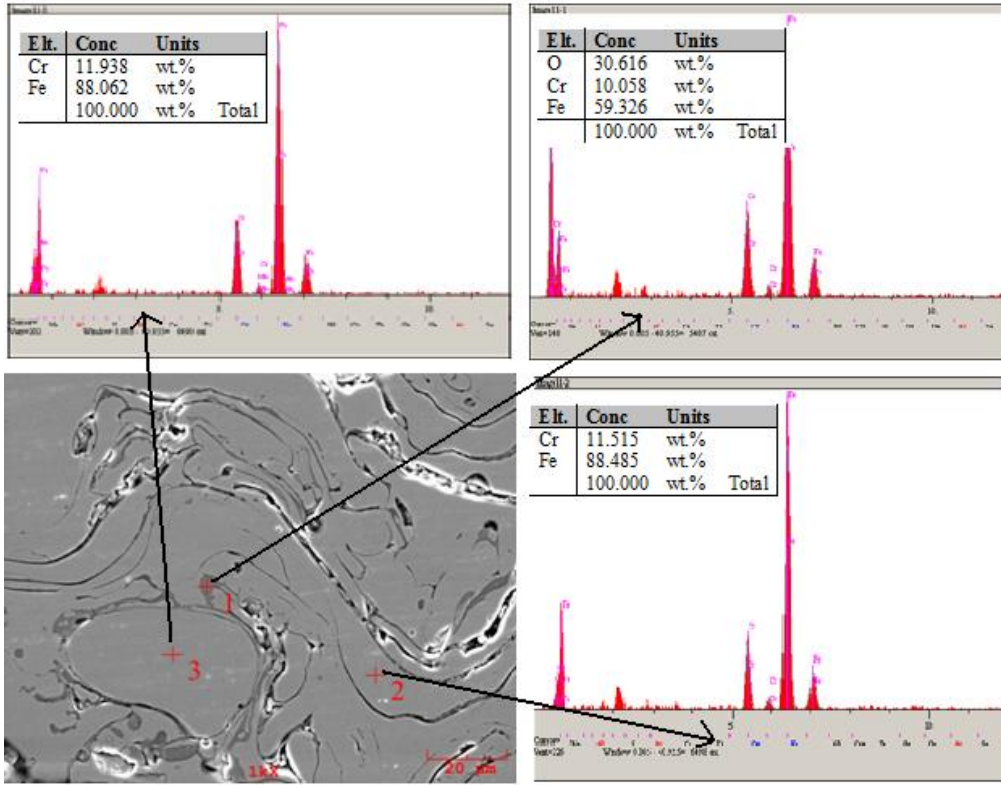
Şekil 6.19.'da inceleme için çekilmiş örnek SEM görüntüleri görülebilir.



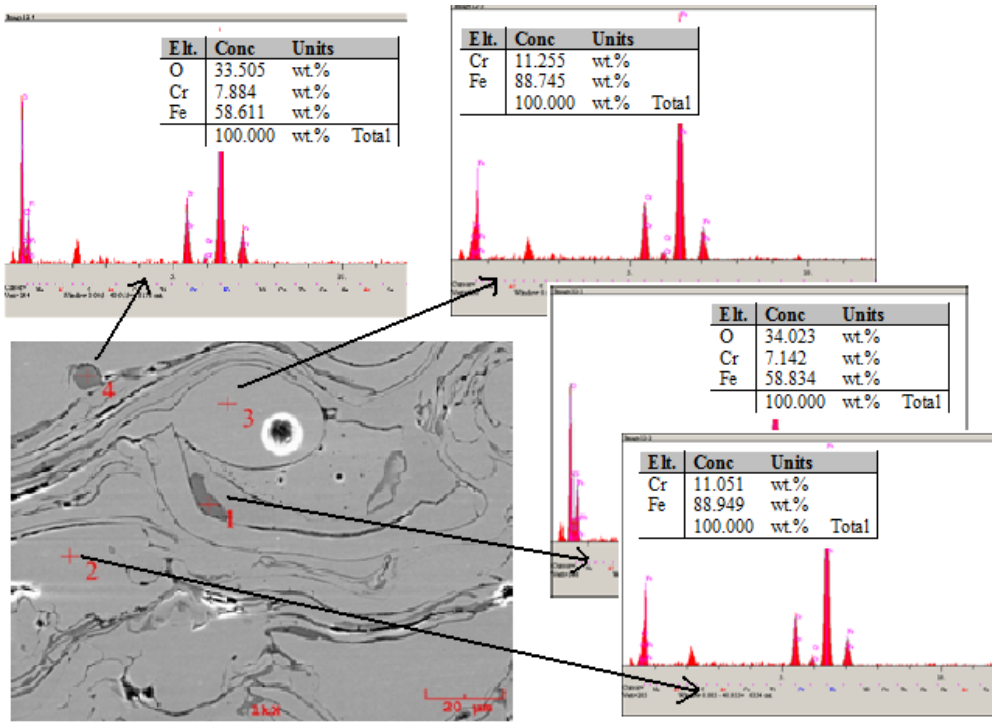
Şekil 6.19. Farklı püskürtme mesafelerinde, 4 bar basınçta, 250 A / 29 V güçte ve argon atomizasyonunda üretilen kaplamalardan örnek SEM resimleri a) 14 cm 100x b) 14 cm 1000x c) 25 cm 100x d) 25 cm 1000x

Argon atomizasyonu ile daha soğuk partiküller üretileceği için partiküller tam bir yayılım sergileyememişlerdir. Buda lameller arasındaki ayrılmaların sebebidir. Hava atomizasyonu ile daha sıcak partiküller üretileceği için tam bir yayılım sergilenen ve daha yoğun bir yapı elde edilecektir. Böylece daha ince ve geniş splat oluşumu meydana gelecektir.

Şekil 6.20. ve Şekil 6.21.'de görüntülenen SEM resimlerinin EDS analizleri verilmiştir;



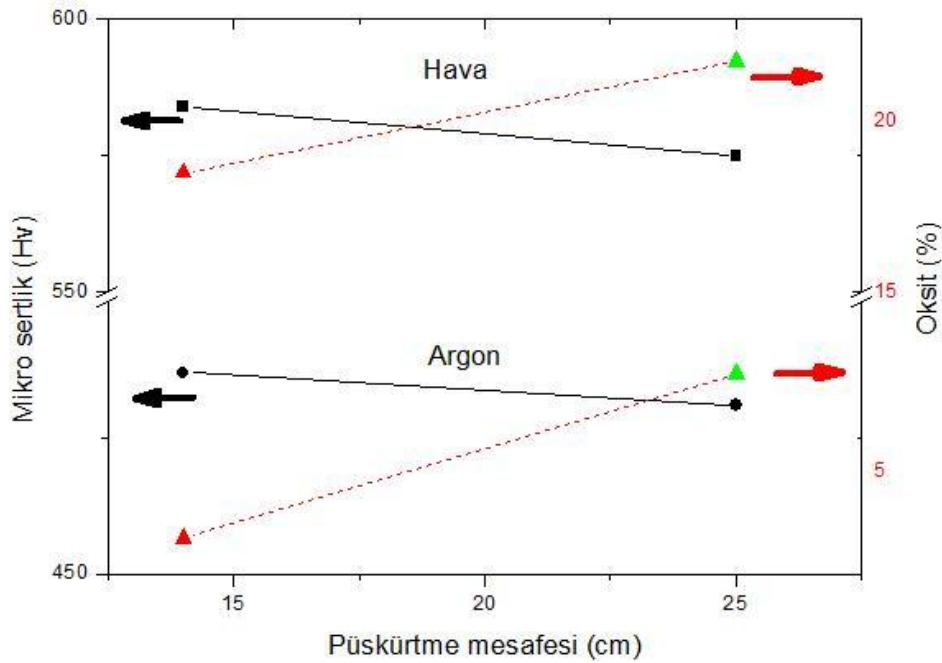
Şekil 6.20. 4 bar atomize gaz basıncında, 14 cm püskürtme mesafesinde ve Ar atomizasyonunda üretilen kaplamaların örnek EDS analizleri



Şekil 6.21. 4 bar atomize gaz basıncında, 25 cm püskürtme mesafesinde ve Ar atomizasyonunda üretilen kaplamaların örnek EDS analizleri

Şekil 6.20.'de görülebildiği gibi 2. ve 3. noktalar benzer bir yapı sergilerken, 1. nokta oksit içeriğini göstermiştir. Şekil 6.21.'de de benzer bir sonuç ortaya çıkmıştır. 2. ve 3. noktalar bezer bir yapı sergilerken, 1. ve 4. noktalar oksit içeriğini göstermiştir.

Şekil 6.22.'de elektrik ark püskürtme sistemiyle iki farklı püskürtme mesafesinde ve atomize gaz cinsinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların mikrosertlik ve oksit içerikleri görülebilir. Şekilden görülebildiği gibi her iki mesafede de hava atomizasyonu ile üretilen kaplamalar, argon atomizasyonu ile üretilen kaplamalara nazaran daha sert bir oluşum sergilemişlerdir.



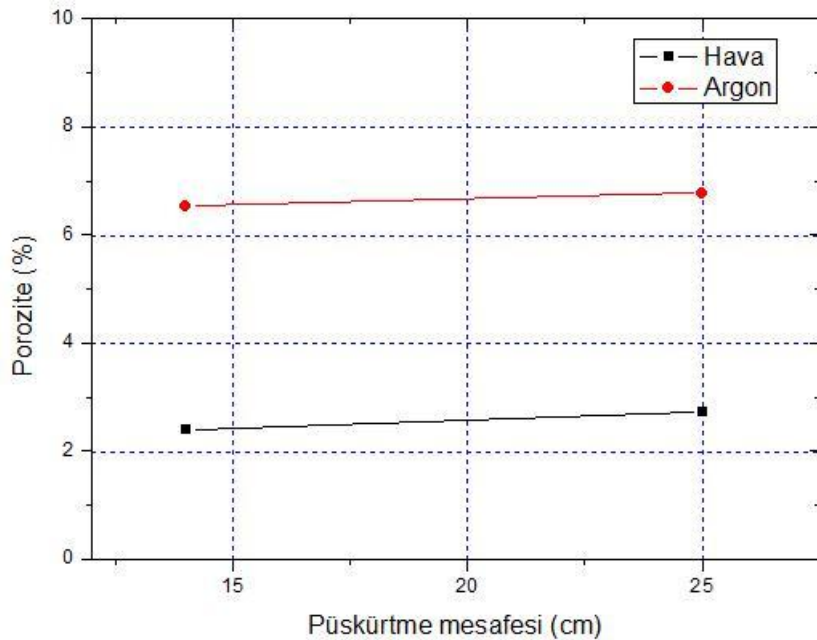
Şekil 6.22. Elektrik ark püskürtme sistemiyle iki farklı püskürtme mesafesinde ve atomize gaz cinsinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların mikrosertlik ve oksit içerikleri

İki farklı atomize gaz türüyle ilgili en önemli fark oksit içeriğinde görülmüştür. Oksit içeriği hava atomizasyonunda her iki püskürtme mesafesinde de oldukça yüksek çıkmıştır. Argon atomizasyonu ile üretilen kaplamalarda ise oksit içeriği yok denecek kadar azdır. Ergimiş partiküller ark içerisinde ergiyip yüzeye püskürtüldüklerinde yüzey alanlarına, atomize gaz cinsine ve mesafeye göre oksit içerikleri değişmektedir. Argon atomizasyonu ile üretilen partiküller altlık yüzeye ulaşana kadarki mesafede hava ile daha az temas halinde olacakları için oksit içerikleri daha düşük çıkacaktır. Ayrıca püskürtme mesafesi artırıldığında her iki atomize gaz

cinsinde de oksit miktarının artması doğal bir sonuçtur. Çünkü ergiyen partiküller mesafe arttıkça havada daha fazla kalacak, hava ile daha fazla temas halinde olan partiküllerde daha fazla oksitlenecektir.

Benzer bir çalışma azot gazıyla yapılmıştır. Atomize gaz olarak azot kullanıldığında kaplamaların mikrosertliğinin, düşük atomize gaz basıncında hava atomizasyonu ile üretilmiş kaplamanın mikrosertliğinden daha yüksek çıkarken, yüksek atomize gaz basıncında ise hava atomizasyonu ile üretilen kaplamanın mikrosertliği daha yüksek çıkmıştır. Tez çalışmasında yüksek atomize gaz basıncında da benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. Yine aynı şekilde oksit içeriğinin azot atomizasyonunda düşük çıkması, benzer sonuçlardan bir tanesidir. Fakat argon atomizasyonu ile üretilen kaplamaların mikrosertlikleri beklenenden düşük çıkmıştır. Sebebi ise partikül yayılımının tam olarak sağlanamaması ve homojen yapıdaki düzensizliklerdir [26].

Şekil 6.23.'de iki farklı püskürtme mesafesinde ve atomize gaz cinsinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların porozite içerikleri görülebilir.



Şekil 6.23. Elektrik ark püskürtme sistemiyle iki farklı püskürtme mesafesinde ve atomize gaz cinsinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların porozite içerikleri

Poroz miktarının argon atomizasyonunda daha fazla miktarlarda olduğu görülüyor. Bunun sebebi argonun yapısı itibariyle partikülleri soğutmasıdır. Dolayısıyla yeterli sıcaklığı ulaşamayan partiküller iyi saçılım sergileyemedikleri için yoğun bir yapı ortaya koyamamışlardır. Sonuçta hava atomizasyonu ile daha yoğun bir yapı elde edilmiştir.

Argon atomizasyonunda daha iyi bir kaplama yapısı için ark enerjisi yükseltilmelidir. Daha yüksek enerji seviyelerinde ark havuzu içerisindeki sıcaklık artacak, partiküller daha fazla ısınacağı için tam olarak bir saçılma gösterebilecektir. En önemli nokta oksit içeriğinin argon atomizasyonunda çok daha düşük olmasına rağmen mikrosertlik değerlerinin hemen hemen birbirine yakın olmasıdır. Argon atomizasyonu ile belki daha poroziteli ve daha yumuşak kaplamalar üretilmektedir. Fakat çok düşük oksit içeriği ile bu kaplamaların daha mukavemetli olması kaçınılmazdır.

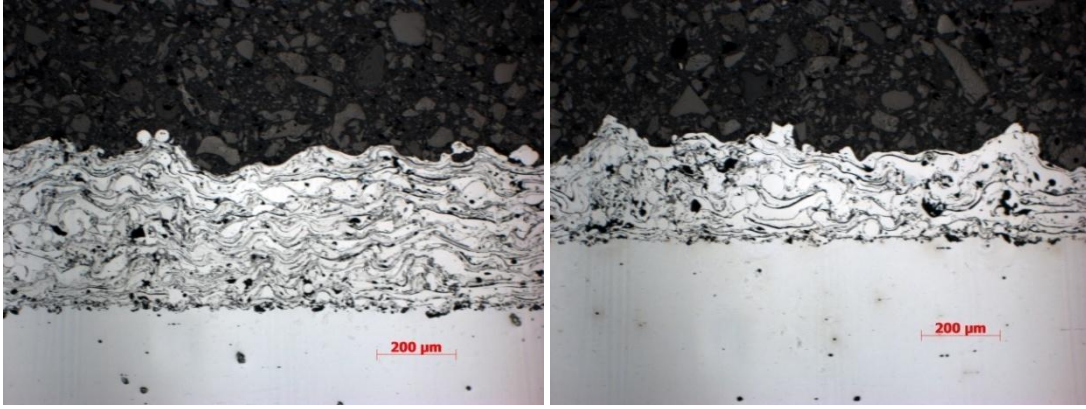
Tablo 6.3.'de elektrik ark püskürtmede focus nozulda ve mix (Ar-%5 H<sub>2</sub>) gaz ile, 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların sertlik, porozite ve oksit değeri verilmektedir.

Tablo 6.3. Elektrik ark püskürtmede focus nozulda ve mix gaz ile, 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların sertlik, porozite ve oksit değerleri

| Nozul Tipi | Amper (A) / Voltaj (V) | Atomize Gaz Basıncı Birinci (bar) | İkinci Gaz Basıncı (bar) | Sertlik (Hv) | Porozite (%) | Oksit (%) | Atomize Gaz Cinsi |
|------------|------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------|--------------|-----------|-------------------|
| Focus      | 200 / 28               | 2,4                               | 1,7                      | 445          | 4,35         | 16,4      | Hava              |
|            |                        |                                   |                          | 432          | 8,66         | 4         | Argon             |

Şekil 6.24.'de, elektrik ark püskürtme sistemiyle 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamasının focus nozulda, farklı atomize gaz cinslerinde, mix gaz ile oluşturulan mikroyapıları görülebilir.





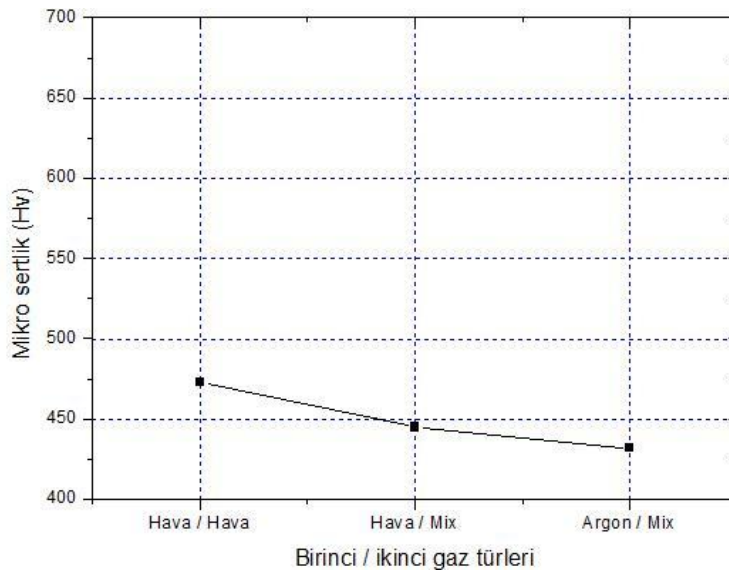
a)

b)

Şekil 6.24. Elektrik ark püskürtme sistemiyle 14 cm püskürtme mesafesinde üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamamın focus nozulda, farklı atomize gaz cinslerinde, mix gaz ile oluşturulan mikroyapıları a) Hava atomizasyonlu b) Argon atomizasyonu

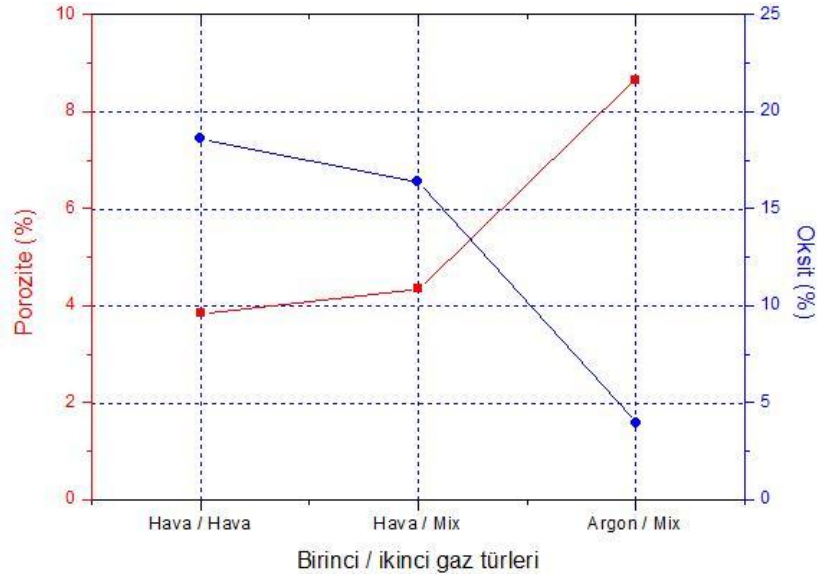
Argon atomizasyonu ile üretilen kaplamamın mikroyapısından da görülebildiği gibi lamel kalınlıkları, hava atomizasyonu ile üretilen kaplamaların lamel kalınlıklarından daha fazladır. Ayrıca daha fazla ergimemiş partikül mikroyapı içerisinde görülebilir.

Şekil 6.25.'de, elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, focus nozulda ve mix gaz ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların mikrosertlik değerleri verilmektedir.



Şekil 6.25. Elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, focus nozulda ve mix gaz ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların mikrosertlik değerleri

Şekil 6.26.'da, elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, focus nozulda ve mix gaz ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların porozite ve oksit değerleri verilmektedir.



Şekil 6.26. Elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, focus nozulda ve mix gaz ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların porozite ve oksit değerleri

Atomize gaz olarak hava, ikicil gaz olarak yine hava kullandığımız kaplama en sert sonucu vermiştir. En düşük sonucu atomize gaz olarak argon/ikincil gaz olarak mix gaz kullandığımızda bulmaktayız. Atomize gaz olarak hava seçildiğinde, ikincil gaz olarak havada da, mix gazda da oksit içeriği yüksek seviyelerdedir. Atomize gaz olarak argon/ikincil gaz mix kullanımında ise porozite miktarı artsada oksit içeriği oldukça düşmektedir. Partiküllerin argon gazı dolayısıyla daha az oksitleneceği zaten beklenen bir durumdu. Argon gazı atomizasyonu ve mix gazda daha oksitsiz ve hemen hemen yine aynı sertliklerde kaplamasa yapısı elde edilse de, kaplama birikiminin düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Daha yüksek basınç değerlerinde argon atomizasyonu ve mix gaz iyi sonuçlar ortaya koyabilir.

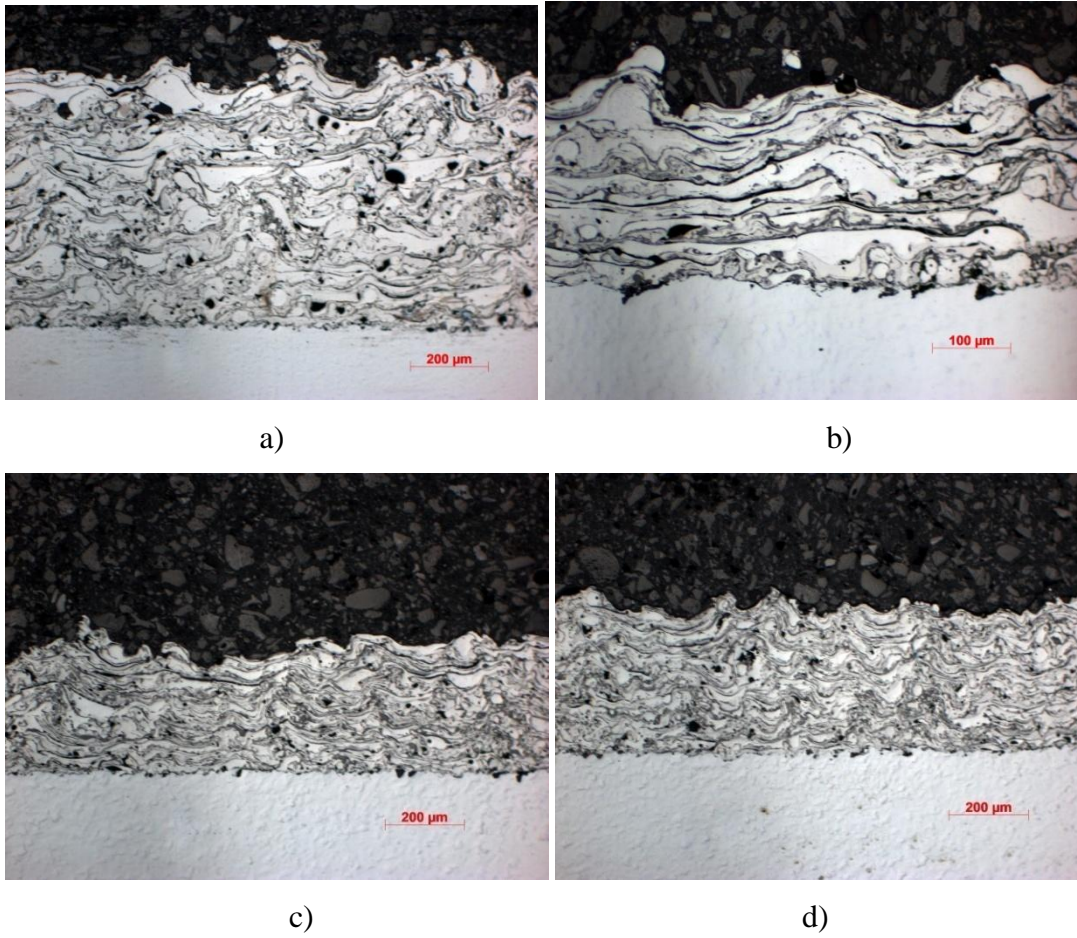
#### 6.4. Nozul Değişiminin Kaplama Özelliklerine Etkisi

Tablo 6.4.'de elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların serlik, porozite ve oksit değerlerini vermektedir.

Tablo 6.4. Elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların serlik, porozite ve oksit değerleri

| Nozul Tipi | Amper (A) / Voltaj (V) | Atomize Gaz Basıncı Birinci (bar) | İkincil Gaz Basıncı (bar) | Sertlik (Hv) | Porozite (%) | Oksit (%) | Atomize Gaz Cinsi |
|------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|-----------|-------------------|
| Fine       | 200 / 28               | 2,4                               | -                         | 497          | 4,76         | 13        | Hava              |
| Hv         |                        |                                   |                           | 421          | 4,29         | 11,16     |                   |
| Fan        |                        |                                   | 1,7                       | 521          | 3,35         | 16,8      |                   |
| Focus      |                        |                                   |                           | 532          | 3,84         | 18,61     |                   |

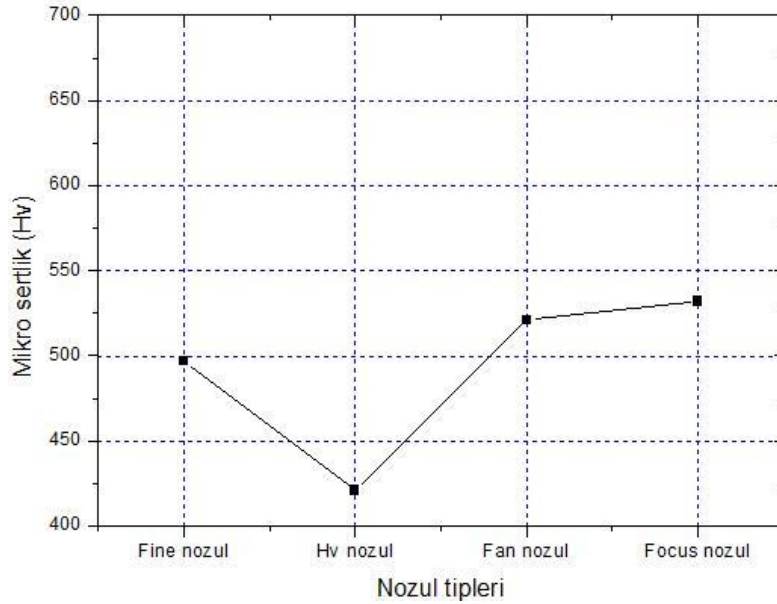
Şekil 6.27.'de elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların mikroyapıları görülebilir.



Şekil 6.27. Elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların mikroyapıları a) Fine nozul b) Hv nozul c) Fan nozul d) Focus nozul

Hv nozulda istenen kaplama kalitesi tam olarak yakalanamamıştır. Mesafenin optimum uzaklıkta olmadığı söylenebilir. Bu sebeple lameller arası ayrılma görülmektedir. Fakat dikkatle bakıldığında yayını gösteren splatların çok uzun lameller oluşturduğu görülmektedir. Mesafe artırılırsa daha iyi bir yapı elde edilebilir. Fan ve Focus nozul ile üretilen kaplamalar ikincil gaz basıncıyla beraber kullanıldığı için partikül hızlarını bir miktar artıracaktır. Özel uygulamalar için kullanılan bu nozullar ile istenilen yapı elde edilmiştir.

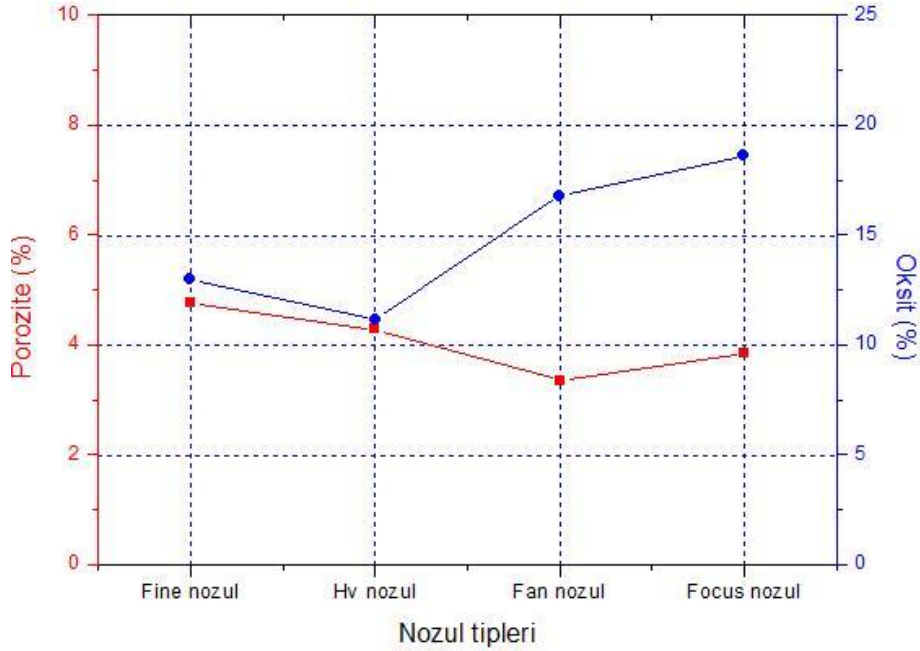
Şekil 6.28.'de elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların mikrosertlik değişimleri görülebilir.



Şekil 6.28. Elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların mikrosertlik etkisi

Focus nozul ile üretilen kaplama mikrosertliği, diğer nozul ile üretilenlere nazaran daha yüksek çıkmıştır. Hv nozul ile üretilen kaplama istenilen yapıda olmadığı için en düşük mikrosertliği gösterirken, Fan nozul ile üretilen kaplamanın mikrosertliği Focus nozula oldukça yakın çıkmıştır. Focus nozuldaki sertlik artımının asıl sebebi ikincil gaz etkisidir. Artan gaz basıncıyla beraber partikül hızları artacak, böylece daha yoğun bir yapı elde edilecektir.

Şekil 6.29.'da elektrik ark püskürtmede 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların oksit ve porozite etkileri verilmiştir.



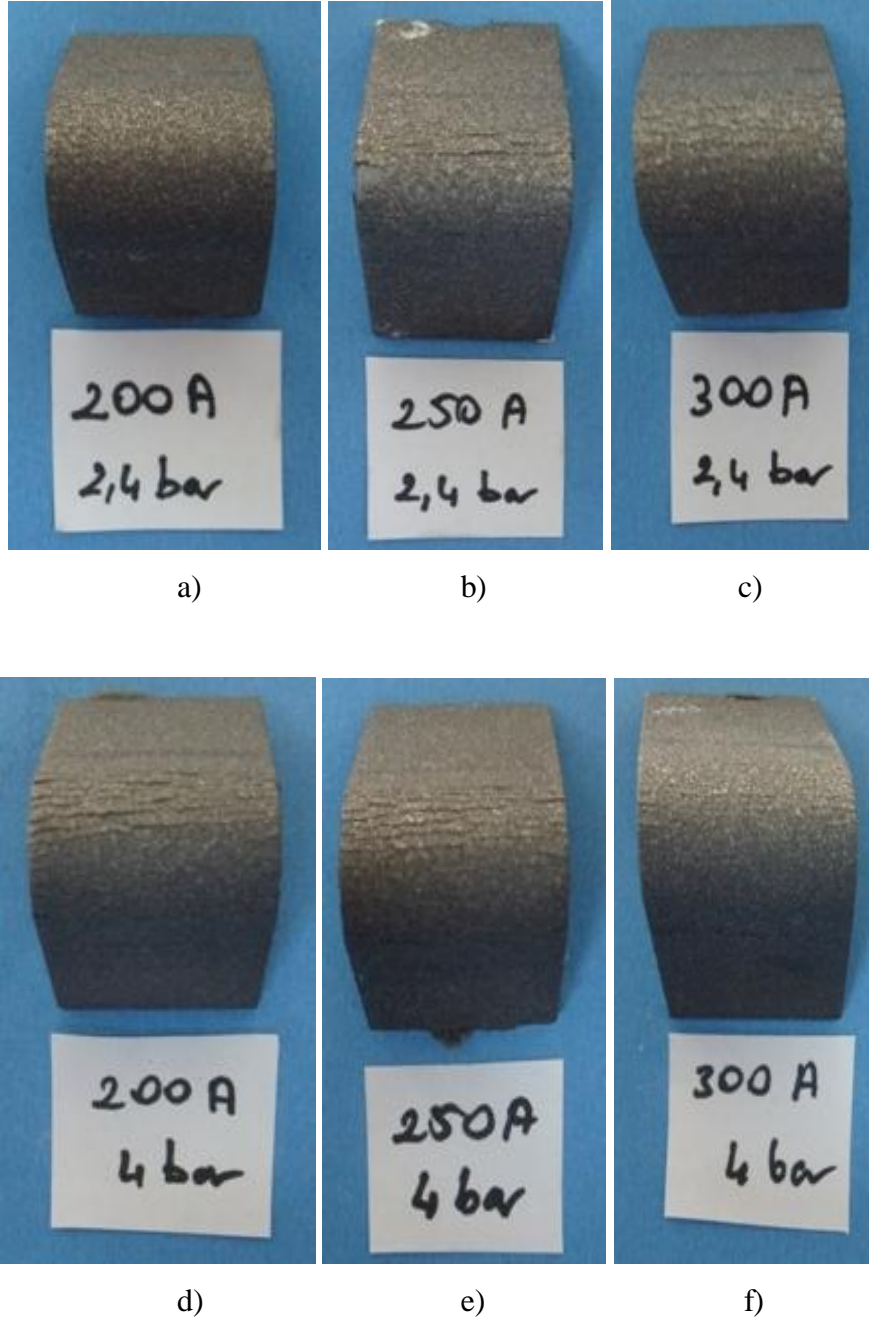
Şekil 6.29. Elektrik ark püskürtme sistemiyle 14 cm püskürtme mesafesinde, farklı nozullar ile üretilen %13Cr'lu çelik tel kaplamaların oksit ve porozite etkisi

Poroz değerleri nozul tiplerine göre değişmemekle beraber, oksit içeriği Focus nozulda en yüksek çıkmıştır. Focus ve Fan nozul ikincil gazla beraber kullanıldığı için ergitilen partiküller daha fazla hava ile temas ettiğinden, daha fazla oksit içeriği çıkaracaktır. Partikülleri en hızlı yüzeye gönderen nozul olan Hv nozul ise en az oksit çıkaran nozul tipi olmuştur. Partiküller aslında yüksek hızlarda daha küçük parçalara ayrılacaklardır. Fakat mesafe, partiküllerin daha küçük parçalara ayrılmasına imkân vermeyecek kadar kısadır. Sonuçta büyük partiküller havayla en az temasa girerek altlığa saçılacaklardır.

Yapılan araştırmalarda ikinci gaz takviyesiyle atomize gaz hızının arttığı, dolayısıyla partiküllerin daha çok hızlanıp altlığa yayıldığı gözlemlenmiştir [11]. Fan ve focus nozullar ile üretilen kaplamalarda ikincil gaz takviyesiyle sertliğin artması da yapıda benzer sonuçların alınmasını sağlamıştır.

### 6.5. Üç Nokta Eğme Testi

Şekil 6.30.'da, farklı atomize gaz basıncı ve amper / voltaj seviyelerinde üretilen kaplamaların üç nokta eğme testleri görülebilir.



Şekil 6.30. Elektrik ark püskürtme sistemiyle farklı atomize gaz basıncı ve amper / voltaj seviyelerinde üretilen kaplamaların üç nokta eğme testleri a) 200 A / 28 V / 2,4 bar b) 250 A / 29 V / 2,4 bar c) 300 A / 30 V / 2,4 bar d) 200 A / 28 V / 4 bar e) 250 A / 29 V / 4 bar f) 300 A / 30 V / 4 bar

Kaplamalardan da görülebildiği gibi bütün kaplamalarda iyi bir bağ mukavemetinin oluştuğu anlaşılmıştır. 4 bar atomize gaz basıncında üretilen kaplamaların, oksit içerikleri sebebiyle daha kırılğan bir yapıda olması beklenirken yine de iyi bir sonuç verdiği belirlenmiştir. Sonuçta iki atomize gaz basıncında da hemen hemen hiç kırılma görülmediği, üretilen kaplamaların istenen yapıda olduğu söylenebilir.

## **BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

### **7.1. Sonuçlar**

- Düşük (200 A / 28 V) ve çok yüksek (350 A / 32 V) operasyon parametrelerinde oluşturulan ark sıcaklıkları, mikroyapıda düzensizlikler yarattığı belirlenmiştir.
- Düşük operasyon parametresinde ark sıcaklığı çok düşük kalmış, sonuçta yapıda tam olarak ergime sağlanamayarak homojenizasyon sağlanamamıştır.
- Çok yüksek enerjili operasyon parametresinde ise tel besleme hızının çok artması sebebiyle ark oluşumunda düzensiz ergime davranışının arttığı belirlenmiştir. Bu sebeple ergime sırasında telden çok büyük ve düzensiz partiküller kopacak, sonuçta da homojen yapı bozulacaktır.
- Çok yüksek enerjili (350 A / 32 V) operasyon parametresinde, 4 bar atomize gaz basıncıyla üretilen kaplamada mikroyapıda homojenizasyonun düzeldiği ve ark dalgalanmalarının azaldığı belirlenmiştir. Yüksek atomize gaz basıncında çalışmanın bu düzensizlikleri azalttığı görülmüştür.
- Atomize gaz basıncı 2,4 bardan 4 bara artırıldığında, mikroyapıda lamellerin daha ince oluştuğu ve homojenliğin arttığı gözlemlenmiştir. Oksit içeriği, artan atomize gaz basıncıyla beraber bütün kaplamalarda yaklaşık olarak % 100 oranında artış gösterirken, sadece 250 A / 29 V ark enerjisinde benzer bir oksit içeriği sergilemişlerdir.
- Porozite, bütün kaplamalarda artan atomize gaz basıncıyla beraber yaklaşık % 50 oranında azalırken, en çok azalma 350 A/ 32 V ark enerjisinde (% 65) görülmüştür.



- Atomize gaz basıncının kaplama özelliklerine etki ettiği belirlenmiştir. Atomize gaz olarak argon kullanıldığında kaplamadaki oksit içeriği 5 kat düşmüştür. Buna karşın tam anlamıyla homojen kaplama yapısı oluşturulamadığı için porozite miktarı, hava atomizasyonu ile üretilen kaplamaya nazaran 3 kat artmıştır.
- İkinci gaz olarak mix gaz (Ar-%5 H) kullanıldığında focus nozulda hava atomizasyonuna benzer sonuçlar elde edildi.
- Farklı nozul çalışmalarında en sert kaplama yapısı ikincil atomize gaz takviyeli focus nozulda elde edilmiştir. İkinci gaz basıncı ilavesiyle kaplama yapılarında oksit içeriğinin % 50 oranında arttığı ve porozite miktarının da % 20 oranında düştüğü belirlenmiştir. Ayrıca kaplama mikrosertliklerinde ise yaklaşık % 10 arttığı belirlenmiştir.
- Farklı basınçlarda üretilen kaplamalar üstünde yapılan 3 nokta eğme testlerinde görüldüğü gibi, kaplamaların bağ mukavemetlerinin oldukça iyi olduğu belirlenmiştir.
- Üretim için en iyi sonucun düşük atomize gaz basıncında (2,4 bar) 250 A / 29 V, yüksek atomize gaz basıncında (4 bar) ise 250 A / 29 V ve 300 A / 30 V operasyon parametrelerinde elde edildiği belirlenmiştir.

## 7.2. Öneriler

- Cihazı daha verimli kullanım için değişik parametrelerde % verimin etkisi araştırılabilir. Böylece ne kadar sürede ne kadar kaplama malzemesi kullanılacağı ortaya konulacak, endüstriyel uygulamalar için kritik önem taşıyan bir sorun ortadan kalkacaktır.
- Uygulanan operasyon parametreleri daha da genişletilerek altlık sıcaklığı değişimi, havadaki partikül çapları, havadaki partikül hızları, ark ve çevresinde oluşan hava girdapları ve jet içerisindeki değişimler vb. etkiler incelenebilir. Bu sayede uygulanan parametrelerin etkileri tam olarak araştırılabilir.

- Uygulama parametreleri diğer kaplama malzemeleri için araştırılabilir. Böylece farklı tellerde optimum kaplama yapısı ortaya konacak, uygun operasyon parametreleri öğrenilecektir.
- Üretilen kaplamaların aşınma performansları incelenebilir.
- Argon atomizasyonuyla, farklı parametrelerde kaplamalar üretilip aşınma ve korozyon testleri yapılabilir.
- Mix gaz ile üretilen kaplamaların üretim parametreleri ve korozif ortama karşı gösterdiği dayanım araştırılabilir.
- Farklı nozullar ile üretim farklı parametrelerde denenip, aşınma testleri uygulanabilir.
- Hv nozul ile farklı mesafelerde kaplamalar üretilerek uygun parametreleri belirlenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] HUSSARY, N., Investigations into the wire arc spraying process, Thesis of Doctor of Philosophy, Univesrsity of Minnesota, May 2003.
- [2] DAVID, J.R Handbook of Thermal Spray Technology, ASM International 2004.
- [3] STOKES, J., Theory and Application of the High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Thermal Spray Process, Dublin City University, 2008.
- [4] GEORGE, M., ROBERT., JACK,R.,MERLE, T., Second National Conferance on Thermal Spray, 31 October-2 November, 1984.
- [5] PAWLOWSKI, L., The Science and Engineering of Thermal Spray Coating, Wiley & Sons, New York, NY, 1995.
- [6] LUH-MAAN, C., MAGED, E. G., Metalization of Steel Bridges:Research and Practice, Division of Construction Engineering and Management School of Civil Engineering, Purdue University, May 1999.
- [7] KRUGER, J., KNEPPER, M., Arc spray coating for industrial application, International Thermal Spray Conference, Essen, Germany, 4-6 March 2002.
- [8] Çelik Yüzeylerin Kaplanması, Erdemir Bilim Ve Teknoloji Serisi, 2006.
- [9] [http://www.weldtechtraining.com/services\\_ext.htm](http://www.weldtechtraining.com/services_ext.htm), Şubat 2009.
- [10] SACRISTE, D., GOUBOT, N., DHERS, J., DUCOS, M., VARDELLE, A., An Evaluation of the Electric Arc Spray and (HPPS) Processes fort he Manufacturing of High Power Plasma Spraying MCrAlY Coatings, Journal of Thermal Spray Technology, ASM International, SF. 352-358, June 2001.
- [11] WANG, X., HEBERLEIN, J., PFENDER, E., GEBERICH, W., Effect of nozzle configuration, gas pressure, and gas type on coating properties in wire arc spray, Journal of Thermal Spray Technology, Volume 8, pp. 565-575, December 1999.

- [12] NEWBERY, A.P., GRANT, P.S., Oxidation during electric arc spray forming of steel, *Journal of Materials Processing Technology* 178, pp. 259-279, 26 March 2006.
- [13] TRAM, T., The influences of preparation on the bond strenght of ZINC twin-wire arc spray coating on steel, A thesis of Master of Science, San Jose State University, August 2004.
- [14] GÜLEÇ, A., Termal Püskürtme Tekniği İle Yüksek Performanslı Zn/Al (85/15) Kaplamaların Üretimi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağustos 2006.
- [15] HUSSARY, N.A., HEBERLEIN, J.V.R., Atomization and particle-jet interactions in the wire-arc spraying process, *Journal of Thermal Spray Technology*, Volume: 10 (4), pp. 604–610, December 2001.
- [16] <http://www.praxair.com>, Şubat 2009.
- [17] SAMPSON, E.R., Thermal spray coating for corrosion protection: An Overview, *Materials Performance*, pp.27-30, December 1997.
- [18] DONNA, P.G., Oxidation Behavior Of In-Fligth Molten Aluminium Droplets In The Twin-Wire Electric Arc Thermal Spray Process, Doctor Of Philosophy, Idaho State University, May 2005.
- [19] TAKAYUKI, W., TADAYUKI S., ATSUSHI N., Electrode phenomena investigation of wire arc spraying for preparation of Ti-Al intermetallic compounds, Tokyo Institute of Technology, Japan 2002.
- [20] LIAO, H.L., ZHU, Y.L., BOLOT, R.C., CODDET, S.N., Size distribution of particles from individual wires and the effects of nozzle geometry in twin wire arc spraying, *Surface & Coatings Technology*, 16 March 2005.
- [21] YÜKSEK, E., Ark sprey teknolojisi ile şekilli parça üretimi, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağustos 2008.
- [22] BINSHI, X., WEI, Z., SHINING, M., BAOHONG, T., XIUBING, L., Structure and Properties of Coatings Deposited by High Velocity Arc Spray Technique, *Journal of Tribology*, JULY 2000.
- [23] STEFFENS, H.D., NASSENSTEIN, K., Influence of spray velocity on arc-sprayed coating structure, *Journal of Thermal Spray Technology*, Volume 8 (3), pp.454-560, September 1999.
- [24] NEWBERY, A.P., RAYMENT, T., GRANT, P.S., A partial image velocimetry investigation of in-flight and deposition behaviour of steel droplets during electric arc sprayforming, Department of Materials, University of Oxford, 27 January 2004.

- [25] JANDIN, G., LIA, H., FENG, Z.Q., CODDET, C., Correlations between operating condition, microstructure and mechanical properties of twin wire arc sprayed steel coatings, *Materials Science and Engineering*, pp. 298-305, 22 April 2002.
- [26] JANDIN, G., PLANCHE, H., LIAO, CODDET, C., BELFORD, F., Relationships between in-flight particle characteristics and coating microstructure for the twin wire arc spray process, 2003.
- [27] PLANCHE, M.P., LIAO, H., CODDET, C., BELFORD, F., Relationships between in-flight particle characteristics and coating microstructure with a twin wire arc spray process and different working conditions, *Surface and Coatings Technology*, p.p. 215–226, 15 April 2003.
- [28] WILDEN, J., BERGMANN, J.P., JAHN, S., KNAPP, S., VAN RODIJNEN, F., FISCHER, G., Investigation about the Chrome Steel Wire Arc Spray Process and the Resulting Coating Properties, *Thermal Spray 2007: Global Coating Solutions* (Ed.) Marple B.R., 2007.
- [29] DALLAIRE, S., Hard Arc-Sprayed Coating with Enhanced Erosion and Abrasion Wear Resistance, *ASM International*, p.p. 511-519, 14 February 2000.
- [30] ABEDINI, A., POURMOUSA, A., CHANDRA, S., MOSTAGHIMI, J., Effect of substrate temperature on the properties of coatings and splats deposited by wire arc spraying, Centre for Advanced Coatings Technology, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto, 9 July 2006.
- [31] <http://www.hvof.com/material.htm>, Mart 2008.
- [32] GARTNER, F., KIRSTEN, A., VOYER, J., KREYE, H., BUSCHINELLI, A.J.A., Schiefler Filho, M.F.O., Influence of Process Parameters on the Quality of Thermally Sprayed X46Cr13 Stainless Steel Coatings, II Brazilian Manufacturing Congress, 18-21 May 2003.

## ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Yalçın ŞEKER, 14.12.1981 yılında Merzifon'da doğdu. İlkokulu Kars/Digor, Sivas/Suşehri ve Giresun/Espiye ilçelerinde, ortaokulu Giresun/Espiye ve Amasya/Gümüşhacıköy ilçelerinde, liseyi ise Sakarya/Sapanca ilçesinde okudu ve 1998 yılında mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2002 yılında mezun oldu. Vatani görevini asteğmen olarak 2003-2004 yılları arasında Malatya'da yaptı. 2006-2008 yılları arasında termal püskürtme alanında çalışan SENKRON METAL KAPLAMA fabrikasında üretim ve kalite kontrol mühendisi olarak çalıştı. 2006 yılında Sakarya Üniversitesinde yüksek lisans yapmak için başvurdu ve öğrenimine devam etti. Termal püskürtme kaplamalar ile ilgili değişik dergilere makaleler yazdı.