

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT BİLİM DALI**

**DEMİR DIŞI ESASLI SERT DOLGULARLA KAPLANMIŞ 1.2714  
TAKIM ÇELİĞİNİN MİKROYAPI VE AŞINMA  
KARAKTERİZASYONU**

**Sarper DOĞAN**

**Danışman  
Prof. Dr. Nurşen SAKLAKOĞLU**



**MANİSA-2017**

Sarper  
DOĞAN

DEMİR DIŞI ESASLI SERT DOLGULARLA KAPLANMIŞ 1.2714 TAKIM ÇELİĞİNİN  
MIKROYAPI VE AŞINMA KARAKTERİZASYONU

2017

## TEZ ONAYI

Sarper DOĞAN tarafından hazırlanan "Demir Dışı Esaslı Sert Dolgularla Kaplanmış 1.2714 Takım Çeliğinin Mikroyapı ve Aşınma Karakterizasyonu" adlı tez çalışması 20/06/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**

**Prof. Dr. Nurşen SAKLAKOĞLU**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Çiçek ÖZES**  
Dokuz Eylül Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Hülya DURMUŞ**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Rasim İPEK**  
Ege Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Osman ÇULHA**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Sarper DOĞAN**



# İÇİNDEKİLER

|   | Sayfa |
|---|-------|
| İÇİNDEKİLER .....   | I     |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                              | III   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....  | IV    |
| TABLO DİZİNİ.....   | VI    |
| TEŞEKKÜR .....  | VII   |
| ÖZET .....  | VIII  |
| ABSTRACT .....  | IX    |
| 1. GİRİŞ.....   | 1     |
| 2. SICAK DÖVME KALIPLARI VE HASAR MEKANİZMALARI.....              | 4     |
| 2.1. Sıcak Dövme İşlemi.....                                      | 4     |
| 2.2. Sıcak Dövme Kalıp Çelikleri .....                            | 6     |
| 2.3. Sıcak Dövme Kalıplarının Hasar Çeşitleri .....               | 6     |
| 2.3.1. Mekanik Yorulma .....                                      | 7     |
| 2.3.2. Kalıcı Deformasyon.....                                    | 7     |
| 2.3.3. Isıl Yorulma .....   | 7     |
| 2.3.4. Aşınma .....   | 8     |
| 2.3.4.1. Adhesiv Aşınma.....                                      | 10    |
| 2.3.4.2. Abrasiv Aşınma.....                                      | 11    |
| 3. SERT DOLGU KAYNAK YÖNTEMİ.....                                 | 13    |
| 3.1. Sert Dolgu Kaynağı.....                                      | 13    |
| 3.2. Sert Dolgu Kaynağının Kullanıldığı Alanlar .....             | 14    |
| 3.3. Sert Dolgu Kaynağı Malzemeleri .....                         | 15    |
| 3.3.1. Demir Esaslı Sert Dolgu Alaşımları .....                   | 16    |
| 3.3.2. Demir Dışı Sert Dolgu Alaşımları .....                     | 16    |
| 3.3.2.1. Kobalt Esaslı Sert Dolgu Alaşımları.....                 | 17    |
| 3.3.2.2. Nikel Esaslı Sert Dolgu Alaşımları.....                  | 18    |
| 3.3.2.3. Bakır Esaslı Sert Dolgu Alaşımları.....                  | 19    |
| 3.4. Sıcak Dövme Kalıplarında Sert Dolgu Kaynağı Uygulaması.....  | 19    |
| 4. MATERYAL VE YÖNTEMLER .....                                    | 22    |
| 4.1. Materyal.....  | 22    |
| 4.1.1. Ana Malzeme .....  | 22    |
| 4.1.2. Kaynak İşlemi Sırasında Kullanılan Dolgu Malzemeleri ..... | 22    |
| 4.1.2.1. Dolgu Malzemesi-1.....                                   | 22    |
| 4.1.2.2. Dolgu Malzemesi-2.....                                   | 23    |
| 4.1.2.3. Dolgu Malzemesi-3.....                                   | 23    |
| 4.2. Sert Dolgu Kaynağı Uygulaması.....                           | 23    |
| 4.3. Sertlik Ölçümü.....  | 24    |
| 4.4. Mikroyapı İncelemesi .....                                   | 25    |
| 4.5. Aşınma Deneyi .....  | 28    |
| 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....                           | 32    |
| 5.1. Dolgu Malzemesi-1 .....                                      | 32    |
| 5.1.1. Dolgu Malzemesi-1 Mikroyapı İncelemesi.....                | 32    |
| 5.1.2. Dolgu Malzemesi-1 Sertlik İncelemesi.....                  | 38    |
| 5.1.3. Dolgu Malzemesi-1 Aşınma Dayanımı İncelemesi .....         | 39    |
| 5.2. Dolgu Malzemesi-2 .....                                      | 44    |
| 5.2.1. Dolgu Malzemesi-2 Mikroyapı İncelemesi.....                | 44    |
| 5.2.2. Dolgu Malzemesi-2 Sertlik İncelemesi.....                  | 52    |

|   |    |
|---|----|
| 5.2.3. Dolgu Malzemesi-2 Aşınma Dayanımı İncelemesi ..... | 52 |
| 5.3. Dolgu Malzemesi-3 .....                              | 56 |
| 5.3.1. Dolgu Malzemesi-3 Mikroyapı İncelemesi.....        | 56 |
| 5.3.2. Dolgu Malzemesi-3 Sertlik İncelemesi.....          | 65 |
| 5.3.3. Dolgu Malzemesi-3 Aşınma Dayanımı İncelemesi ..... | 65 |
| 5.4. Tartışma .....                                       | 70 |
| 5.4.1. Mikroyapı İncelemesi.....                          | 70 |
| 5.4.2. Sertlik Karşılaştırması .....                      | 70 |
| 5.4.3. Aşınma Dayanımı Karşılaştırması.....               | 71 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                 | 75 |
| KAYNAKLAR .....   | 78 |
| ÖZGEÇMİŞ .....  | 81 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>DM</b>               | Dolgu Malzemesi  |
| <b>EDS</b>              | Enerji Dağılımı Spektroskopisi   |
| <b>FIWH</b>             | Friction Induced Work Hardening (Sürtünmeye Bağlı Çalışma Sertleşmesi) |
| <b>HV</b>               | Vickers Sertliği   |
| <b>OM</b>               | Optik Mikroskop  |
| <b>SEM</b>              | Taramalı Elektron Mikroskobu   |
| <b>Wt</b>               | Ağırlık  |
| <b>XRD</b>              | X Işını Difraksiyonu   |
| <b><math>\mu</math></b> | Sürtünme Katsayısı   |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 2.1. Açık kalıpta dövme .....   | 5     |
| Şekil 2.2. Kapalı kalıpta dövme (a), (b); çapaklı dövme, (c), (d); çapaksız dövme .....                   | 5     |
| Şekil 2.3. Dövme kalıplarında meydana gelebilecek hasar mekanizmaları.....                                | 6     |
| Şekil 2.4. Sıcak dövme kalıplarında karşılaşılan hasar sıklığı .....                                      | 8     |
| Şekil 2.5. Tribolojik sistemin DIN 50320 standardına göre şematik gösterimi ..                            | 9     |
| Şekil 2.6. Dört aşınma tipinin şematik gösterimi .....  | 9     |
| Şekil 2.7. Abrasiv aşınma aşamaları .....   | 12    |
| Şekil 3.1. Sert dolgu kaynağı işlem adımları (a),(b),(c).....   | 14    |
| Şekil 3.2. Laves fazı .....   | 17    |
| Şekil 3.3. Sıcak dövme kalıbında sert dolgu kaynağı adımları .....  | 20    |
| Şekil 4.1. Kesim işlemi sonrası numunelerin görünümü .....  | 22    |
| Şekil 4.2. EFCO Elektrikli laboratuvar fırını .....   | 24    |
| Şekil 4.3. Kaynaklama işlemi sonrası numunelerin görünüşü .....   | 24    |
| Şekil 4.4. Future Tech FM700 dijital mikrosertlik cihazı .....  | 25    |
| Şekil 4.5. Metkon Forcipol 1V (specimen mover ) zımparalama cihazı.....                                   | 26    |
| Şekil 4.6. Struers otomatik parlatma cihazı.....  | 26    |
| Şekil 4.7. Nikon Eclipse LV150N mikroskop .....   | 27    |
| Şekil 4.8. XRD analizi cihazı .....   | 28    |
| Şekil 4.9. SEM cihazı .....   | 28    |
| Şekil 4.10. Struers Citopress-1 bakalit cihazı.....   | 29    |
| Şekil 4.11. CSM Instruments aşınma cihazı.....  | 30    |
| Şekil 4.12. Mitutoyo Surf Test SJ – 301 profilometre .....  | 30    |
| Şekil 4.13. Radwag PS 100-c-2 hassas tartı .....  | 31    |
| Şekil 5.1. DM-1 XRD grafiği .....   | 33    |
| Şekil 5.2. Kaplama bölgesi (a) 100x yüzey görünüşü, (b) 500x yüzey görünüşü, kesit (c) SEM görünüşü ..... | 35    |
| Şekil 5.3. DM-1 geçiş bölgesi SEM görüntüsü .....   | 35    |
| Şekil 5.4. DM-1 kesit boyunca çizgi analizi .....   | 36    |
| Şekil 5.5. Optik mikroskop nüfuziyet görünüşü.....  | 37    |
| Şekil 5.6. Kaplama yüzeyi mapping analizi Nb elementel dağılımı .....                                     | 38    |
| Şekil 5.7. DM-1 sertlik – mesafe grafiği .....  | 39    |
| Şekil 5.8 DM-1 ve anamalzeme sürtünme katsayısı – mesafe grafiği .....                                    | 39    |
| Şekil 5.9. Sertlik ve diskteki aşınma oranını birlikte gösteren grafik.....                               | 41    |
| Şekil 5.10. Aşınma testi sonrası SEM görüntüleri (a), (b), (c) .....                                      | 43    |
| Şekil 5.11. DM-1 ve ana malzemenin ağırlık değişimi değerleri .....                                       | 44    |
| Şekil 5.12. DM-2 XRD Grafiği .....  | 45    |
| Şekil 5.13. Kaplama bölgesi (a) 200x yüzey görünüşü, (b) 1000x yüzey görünüşü, (c) SEM görünüşü .....     | 47    |
| Şekil 5.14. DM-2 kaplamasının geçiş bölgesi SEM görüntüleri .....   | 47    |
| Şekil 5.15. DM-2 kesit çizgi analizi .....  | 48    |
| Şekil 5.16. Optik mikroskop nüfuziyet görünüşü.....   | 49    |
| Şekil 5.17. DM-2 için (a) genel, (b, c, d) grafiksel görünüş.....   | 51    |
| Şekil 5.18. DM-2 sertlik – mesafe grafiği .....   | 52    |
| Şekil 5.19. DM-2 ve ana malzeme sürtünme katsayısı – mesafe grafiği .....                                 | 53    |
| Şekil 5.20. Sertlik ve diskteki aşınma oranını birlikte gösteren grafik.....                              | 54    |
| Şekil 5.21. DM-2 aşınma SEM görüntüleri (a) Abraziv kanal (b) Adhezyon .....                              | 55    |



|   |    |
|---|----|
| Şekil 5.22. DM-2 ve ana malzemenin ağırlık değişimi değerleri .....                                     | 56 |
| Şekil 5.23. DM-3 XRD grafiği .....  | 58 |
| Şekil 5.24. Kaplama bölgesi (a) 500x yüzey görünüşü, (b) 1000x yüzey<br>görünüşü, (c) SEM görünüşü..... | 59 |
| Şekil 5.25. DM-3 geçiş bölgesi SEM görüntüleri .....  | 60 |
| Şekil 5.26. DM-3 kesit çizgi analizi .....  | 62 |
| Şekil 5.27. Optik mikroskop nüfuziyet görünüşü.....   | 62 |
| Şekil 5.28. DM-3 için spektrum analizi (a) genel, (b, c) grafiksel görünüş .....                        | 64 |
| Şekil 5.29. DM-3 kaplamasının sertlik – mesafe grafiği.....   | 65 |
| Şekil 5.30. DM-3 ve ana malzemenin sürtünme katsayısı – mesafe grafiği .....                            | 66 |
| Şekil 5.31. Sertlik ve diskteki aşınma oranını birlikte gösteren grafik.....                            | 67 |
| Şekil 5.32. Aşınma testi sonrası SEM görüntüleri (a), (b), (c) .....                                    | 68 |
| Şekil 5.33. DM-3 ve ana malzemenin ağırlık değişimi değerleri .....                                     | 69 |
| Şekil 5.34. Sertlik – mesafe grafiği .....  | 71 |
| Şekil 5.35. Sürtünme katsayısı – mesafe grafiği .....   | 71 |
| Şekil 5.36. Sertlik – diskteki aşınma oranı grafiği .....   | 72 |
| Şekil 5.37. Aşınma öncesi ve sonrası sertlik değerleri .....  | 73 |
| Şekil 5.38. Aşınma işlemi sonrası sertleşme oranları .....  | 73 |
| Şekil 5.39. Aşınma testi sonrası ağırlıkça değişim (%) .....  | 74 |

## TABLO DİZİNİ

|  | <b>Sayfa</b> |
|--|--------------|
| Tablo 3.1. Nikel esaslı sert dolgu malzemeleri .....           | 19           |
| Tablo 4.1. Ana malzemenin kimyasal kompozisyonu .....          | 22           |
| Tablo 4.2. DM-1 kimyasal kompozisyonu.....                     | 23           |
| Tablo 4.3. DM-2 kimyasal kompozisyonu.....                     | 23           |
| Tablo 4.4. DM-3 kimyasal kompozisyonu.....                     | 23           |
| Tablo 4.5. Kaynak işlemi parametreleri .....                   | 23           |
| Tablo 4.6. Dağlayıcılar .....                                  | 27           |
| Tablo 4.7. Aşınma testi parametreleri .....                    | 29           |
| Tablo 5.1. DM-1 ve ana malzeme kimyasal kompozisyonu.....      | 32           |
| Tablo 5.2. Yüze mapping analizi yüzdece elementel dağılım..... | 38           |
| Tablo 5.3. DM-1 ve ana malzeme FIWH oranları .....             | 40           |
| Tablo 5.4. Aşınma testi sonrası EDS spektrum analizi .....     | 43           |
| Tablo 5.5. DM-2 ve ana malzeme kimyasal kompozisyonu.....      | 44           |
| Tablo 5.6. Spektrum 1-2-3 kompozisyon.....                     | 51           |
| Tablo 5.7. DM-2 ve ana malzeme FIWH oranları .....             | 53           |
| Tablo 5.8. DM-2 aşınma bölgesinde spektrum analizi.....        | 56           |
| Tablo 5.9. DM-3 ve ana malzeme kimyasal kompozisyonu.....      | 57           |
| Tablo 5.10. Spektrum 1-2 kompozisyon.....                      | 64           |
| Tablo 5.11. DM-3 ve ana malzeme FIWH oranları .....            | 66           |
| Tablo 5.12. Aşınma testi sonrası EDS spektrum analizi .....    | 69           |

## TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nurşen SAKLAKOĞLU' na, bilgi ve tecrübeleri ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aőamalarında yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen sevgili hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Simge İRİZALP' e, yüksek lisans eğitimim sırasında desteği ve laboratuvardaki cihazları kullanma konusunda her türlü imkan ve desteği veren Sayın Gökhan EYİCİ' ye, çalıőmalarım sırasında yardımımı hiç esirgemeyen, hep yanımda olan ve manevi desteğini her zaman hissettiğim değerli arkadaőım Makine Mühendisi Gizem İLDAŞ' a, kaynak işlemlerini gerçekleştirme ve numune hazırlama konusunda yardımcı olan EGEMET firmasına, numunelerin ısıll işlemini gerçekleőtiren BODYCOTE İSTAŞ firmasına, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Sarper DOĞAN  
Manisa, 2017

## ÖZET

Yüksek Lisans

**Demir Dışı Esaslı Sert Dolgularla Kaplanmış 1.2714 Takım Çeliğinin Mikroyapı ve Aşınma Karakterizasyonu**

**Sarper DOĞAN**

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Nurşen SAKLAKOĞLU**

Bu tez çalışmasında, sanayide kullanılan sıcak dövme kalıbının, sert dolgu kaynağı yöntemi kullanılarak performansında ve ömründe iyileştirme yapılması hedeflenmiştir. Kalıpta sıcak dövme işlemi sırasında oluşan hasarlar incelenmiş ve iyileştirme için bir plan oluşturulmuştur. Sıcak dövme kalıbının malzemesi, 1.2714 sıcak iş takım çeliğidir. İyileştirme yapmak için ikisi nikel bazlı, biri kobalt bazlı olmak üzere üç farklı sert dolgu kaynağı elektrotu kullanılmıştır. Nikel bazlı olarak, Anti Crack 7015 ve Thermo Weld elektrotları, kobalt bazlı olarak ise Cobalt 1 isimli elektrot kullanılmıştır. Kaynak yöntemi olarak gazaltı ark kaynağı yöntemi seçilmiştir ve kaynak işlemi Ar-CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> gaz karışımı ile oluşturulan koruyucu atmosferde sabit akış hızında gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi sonrası yapılacak testler ve analizler için 4 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelerin biri kaynaklı ana malzeme, diğerleri ise kaynaklanmış numunelerdir. Numune özelliklerini karşılaştırma yöntemi olarak; sertlik ölçümü, mikroyapı incelemesi ve aşınma işlemi uygulanmıştır. Sertlik ölçümü için Vickers yöntemi kullanılmış, bir numuneden birden fazla ölçüm alınarak ortalama sertlik değerleri hesaplanmıştır. Mikroyapı incelemesi iki adımda gerçekleştirilmiştir. İncelemeden önce numunelere uygun dağlayıcılar hazırlanıp dağlama işlemi yapılmıştır. İlk adımda, optik mikroskopta nispeten küçük büyütme oranlarında içyapılar incelenmiştir. Bu incelemelerde porozite varlığı tespit edilmiştir. Sonrasında daha ayrıntılı bilgi edinebilmek için SEM incelemeleri yapılmıştır. Ek olarak içyapıda ki karbürleri ve fazları belirleyebilmek için XRD analizleri yapılmıştır. Aşınma testi metodu olarak “ball on disc” kullanılmıştır. Numuneler 500 m boyunca, 10 N yük altında aşındırılmıştır. Aşındırıcı bilya olarak 6 mm çapında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanılmıştır. Numunelerde genel olarak abrazyon aşınma görülmüştür, bunun yanı sıra, bazı aşınma bölgelerinde adhezyon tespit edilmiştir. Uygulanan karşılaştırma yöntemleri sonrasında elde edilen sertlik değerleri, mikroyapı özellikleri ve aşınma değerleri baz alınarak yorumlamalar yapılmıştır. İyileştirme için en uygun sert dolgu kaynağı elektrodunun hangisi olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sert dolgu kaynağı, demir dışı sert dolgu alaşımları, kobalt bazlı, nikel bazlı, aşınma

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **Microstructure and Wear Characterization of 1.2714 Tool Steel Coated with Non-Ferrous Hard Fillers**

**Sarper DOGAN**

**Manisa Celal Bayar University**

**Institute of Science**

**Mechanical Engineering Department**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nursen SAKLAKOGLU**

In this thesis study, it is aimed to improve the performance and life time of the hot forging die used in the industry by using hard filler welding method. Damage to the die during hot forging was investigated and a plan was drawn up for improvement. The material of the hot forging die is 1.2714 hot work tool steel. Three different hard filler electrodes, nickel based and cobalt based, were used for improvement. Nickel based, Anti Crack 7015 and Thermo Weld electrodes are used, and Cobalt 1 based electrode is used as cobalt base. Gas metal arc welding method was selected as the welding method and the welding process was carried out at a constant flow rate in the protective atmosphere formed by the Ar-CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> gas mixture. Four samples were prepared for the tests and analyzes to be made after welding. One of these samples is the base material, and the others are welded samples. As a method of comparing sample properties; Hardness measurement, microstructure examination and abrasion were used. For the hardness measurement, the Vickers method was used. Average hardness values were calculated by taking multiple measurements from one sample. Microstructure examination was carried out in two steps. Prior to examining, the appropriate solutions were prepared and the etching process was carried out. In the first step, internal structures were investigated in relatively small magnifications in an optical microscope. Porosity was detected in these examinations. SEM studies were then carried out to obtain further information. In addition, XRD analyzes were performed to determine the carbides and phases in the interior. "Ball on disc" was used as the wear test method. The samples were worn for 500 m under 10 N load. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with a diameter of 6 mm was used as abrasive balls. In general, abrasive wear was observed in the samples, as well as adhesion in some wear zones. Interpretations were made based on the hardness values, microstructure properties and wear values obtained after the comparison methods applied. It has been tried to determine which electrode is the most suitable hard filler electrode for improvement.

**Keywords:** Hardfacing, non-ferrous hardfacing alloys, cobalt based, nickel based, wear

## 1.GİRİŞ

Dövmeyi, düşey yönde uygulanan kuvvetin etkisi ile sıcak, yarı sıcak veya soğuk biçimde malzemeye plastik şekil verme metodu olarak tanımlayabiliriz [1].

Bu işlem eğer malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta yapılıyor ise sıcak dövme, yeniden kristalleşme sıcaklığının altında yapılıyor ise soğuk dövme olarak adlandırılır [2]. Sıcak dövme işlemi yapılacak olan malzeme, plastik şekil alacak kıvama gelinceye kadar ısıtılır. Bunun nedeni plastik duruma gelmiş metal malzemenin, dövme işlemine karşı direnç göstermemesidir. Sıcak dövme yöntemi kullanılarak üretilen parçalardan bazıları; çeki kancası, makine parçaları, çarklar ve bağlantı elemanlarıdır [3].

Sıcak dövme yönteminin diğer yöntemlere göre avantajı, doğru teknikler kullanıldığında yüksek şekilsel doğruluğa sahip ve mükemmel mekanik özellikli parçalar üretilebilmesidir [4].

Sert dolgu kaynağı yöntemi, sıcak dövme kalıplarında yapılan tamir-bakım uygulaması işleminde en çok tercih edilen yöntemdir. Kalıbın yeniden üretilme maliyetine kıyasla oldukça ekonomik olması en önemli tercih nedenidir. Bunun yanında sert kaplamaların tercih edilmesinin bir diğer sebebi, kalıbın yüzeyini korozyon ve aşınmaya karşı güçlendirmesidir [5]. Tabi sert kaplama yöntemi sadece sıcak dövme kalıplarında kullanılan bir yöntem değildir. Sanayinin birçok dalında tercih edilen bir yöntemdir. Bu dallardan bazıları, sondaj makineleri, madencilik, demir-çelik, döküm ve tarım makineleridir [6].

Sert dolgu kaynağı işlemi yapılırken genellikle demir bazlı elektrotlar tercih edilir. Bunun nedeni kaliteli özellik göstermesi, ekonomik olması ve piyasada kolay bulunabilir olmasıdır. Nikel bazlı ve kobalt bazlı elektrotların maliyetleri, demir bazlı elektrotlara kıyasla nispeten daha yüksektir. Genellikle özel durumlarda tercih edilirler. Maliyetlerine rağmen tercih edilmelerinin sebebi ise bütün aşınma türlerine karşı yüksek direnç göstermeleridir [7].

Bu tezin yazım aşamasında sert dolgu kaynağı yöntemi kullanılarak yapılmış benzer çalışmalar incelenmiştir. Bazılarının kısa özetleri şu şekildedir;

Kashani ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, H11 takım çeliğinin yüzeyini nikel bazlı Inconel 625, kobalt bazlı Stellite 6 ve yine kobalt bazlı Stellite 21 elektrotlarıyla kaplamıştır. Gerekli testleri yaptıktan sonra, sert dolgu yaptıkları kalıpları üretime alarak gerçek şartlarda analiz etmişlerdir. Ana malzeme olan H11 çeliği 4000 dövme işleminden sonra işlevini yitirirken, nikel bazlı Inconel 625 ile kaplanan kalıp 12000 dövmeden sonra, kobalt bazlı Stellite 21 ile kaplanan kalıp ise 16000 dövmeden sonra işlevini yitirmiştir. Diğer bir yandan bu elektrotların ağırlık kaybı değerlerine bakıldığında, oda sıcaklığında en çok ağırlık kaybeden kaplama Inconel 625 iken en az ağırlık kaybeden H11 ana malzemesidir. Çalışma sıcaklığı olan 550°C' ye bakıldığında ise durum tam tersidir. En az ağırlık kaybeden kaplama Inconel 625 iken en çok ağırlık kaybeden H11 ana malzemesidir [8].

Uğur Arabacı doktora tezinde, kobalt bazlı Stellite 1, Stellite F, Stellite 6 ve nikel bazlı Ni 60 elektrotlarıyla kaplama yapılmış 1.4718 takım çeliğinin özelliklerini incelemiştir. En yüksek aşınma direncine Stellite 1 ile kaplanmış malzemede ulaşmıştır. Stellite 1 elektrotu bu çalışmada kullanılan COBALT 1 elektrotuna oldukça yakın kimyasal bileşime sahiptir [9].

Apay ve ark. yaptıkları çalışmada, kobalt bazlı Stellite 6 elektrotunu, AISI 1015 çeliğinin üzerine kaplamışlardır. Yaptıkları aşınma testinin sonuçlarını incelediklerinde ise aşınma oranının, aşınma mesafesi ve uygulanan yük ile doğru orantılı olduğunu tespit etmişlerdir [10].

Murat Atabey yüksek lisans tezinde, bu çalışmayla benzer şekilde sıcak dövme kalıbına sert dolgu kaynağı uygulaması yapmıştır. Daha sonra yine benzer şekilde mikroyapı, sertlik ve aşınma incelemelerinde bulunmuştur. Yaptığı analizlerin sonucunu incelediği zaman, en yüksek aşınma direncine sahip olan malzemenin, en sert olan malzeme olduğunu tespit etmiştir. Dolayısıyla aşınma direncinin, sertlikle doğru orantılı olduğunu belirtmiştir [11].

Mehtap Hıdıroğlu yüksek lisans tezinde, demir-çelik sektöründe kullanılan mastarlara sert dolgu kaynağı uygulamıştır. Daha sonra yaptığı sertlik incelemesinde, kaynaklı numunelerin sertlik değerlerinin, ana malzemeye göre daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Ek olarak aşınma değerlerinin, sert dolgu elektrotlarının kimyasal bileşimine göre farklılık gösterdiğini tespit etmiştir [12].

Bu çalışmanın amacı, dövme sektöründe sıcak dövme kalıbı olarak kullanılan 1.2714 sıcak iş takım çeliğinin üzerine, çeşitli dolgu malzemeleriyle kaynak işlemi yaparak, kalıbın yeniden üretilme maliyetine kıyasla daha düşük maliyetlerle, tamir-bakım işlemini gerçekleştirebilmek ve kullanım ömrünü uzatmaktır.





## 2.SICAK DÖVME KALIPLARI VE HASAR MEKANİZMALARI

### 2.1.Sıcak Dövme İşlemi

Dövme işlemi, darbe veya basınç uygulanarak, demir veya demir dışı malzemelerin plastik deformasyona uğratarak istenilen boyuta getirilmesi, şekil verme, mekanik işlemlerini iyileştirmek amacıyla uygulanan bir metal şekil verme yöntemidir. Dövme işlemi ile civatalar, türbin milleri, paralar, perçinler, el aletleri, hava taşıt parçaları üretilmektedir.

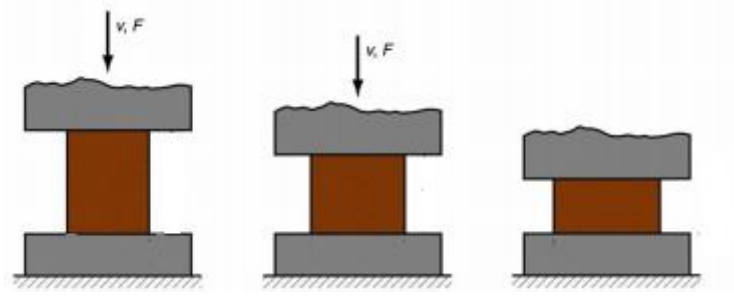
Dövme işlemi sıcak, yarı sıcak veya soğuk olarak gerçekleştirilir. Tüm malzemeler için bu ayırım aşağıda belirtilmiştir. Burada  $T_e$  malzemenin Kelvin ( $^{\circ}K$ ) cinsinden mutlak erime sıcaklığı,  $T$  ise şekil değiştirme sıcaklığıdır.

- 1- Soğuk Dövme:  $T < 0,3x T_e$
- 2- Ilık Dövme:  $0,3x T_e < T < 0,5x T_e$
- 3- Sıcak Dövme  $0,5x T_e < T$

Sıcak dövme ile elde edilen parçalar yüksek mukavemet değerlerine sahip olurlar. Bu sebeple birçok sektörde kullanılmaktadır. Sıcak dövme ayrıca karışık şekilli parçaların dövülmesinde de tercih edilir. Sıcak dövme işleminde sıcaklık parçanın cinsine göre değişmektedir. Genel olarak bu sıcaklık değeri ortalama 1200 – 1300 $^{\circ}C$  civarındadır. Soğuk dövme işlemi ise orta ve küçük boyutlu parçaların dövme işleminde tercih edilir.

Dövme işlemi için, parçalar uzun çubuklardan kesilir ve daha sonra indüksiyon tav fırınından geçirilerek dövme sıcaklığına kadar homojen olarak ısınması sağlanır. Dövme sıcaklığına gelen parçaların, kalıplar ile şekillendirme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemler kapalı veya açık kalıplar kullanılarak gerçekleştirilir [11].

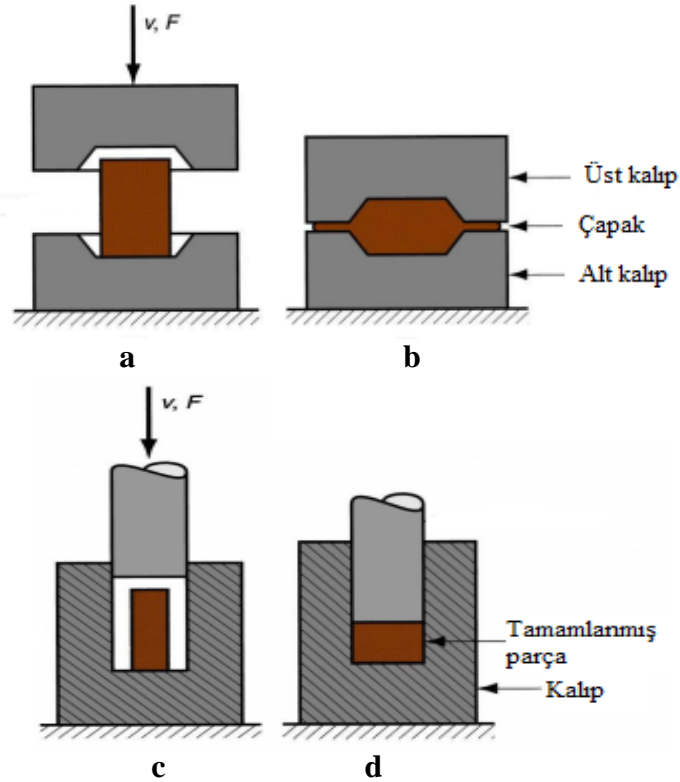
Açık kalıpta dövme işlemi, uygulanan kuvvetle dövme, yığılma tesiri ile şekil verme olarak adlandırılır. Bu işlem maliyeti yüksek olmasına rağmen malzemelerin özellikleri iyileştiği için tercih edilir. Açık kalıpta dövme ile üretilecek parçaların basit geometriye sahip parçalar olması ve miktar olarak az olmaları gerekir (Şekil 2.1.).



**Şekil 2.1.** Açık kalıpta dövme [13]

Kapalı kalıpta dövme işleminin çapaklı ve çapaksız olmak üzere iki tipi vardır. Çapaklı kapalı kalıpta parçaların imalatı sırasında kalıba malzeme biraz fazla konur ve çapak oluşumu sağlanır. Çapak oluşturulmasının nedeni, fazla malzemenin çıktığı emniyet valfi ve uygun basınç ile en ince kesitlerin doldurulmasının sağlanabilmesidir.

Çapaklı dövme işlemi ile yüksek imalat hızında parçalar üretilebilir, daha az malzeme kaybı gerçekleşir ve imal edilen parçalar yüksek mukavemete sahip olurlar. Çapaksız kapalı kalıpta dövme işleminde ise kalıba malzeme hacmi kadar malzeme konarak imalat işlemi gerçekleştirilir. Kompleks geometriler bu yöntem ile üretilir (Şekil 2.2.).



**Şekil 2.2.** Kapalı kalıpta dövme (a), (b); çapaklı dövme, (c), (d); çapaksız dövme[13]

## 2.2. Sıcak Dövme Kalıp Çelikleri

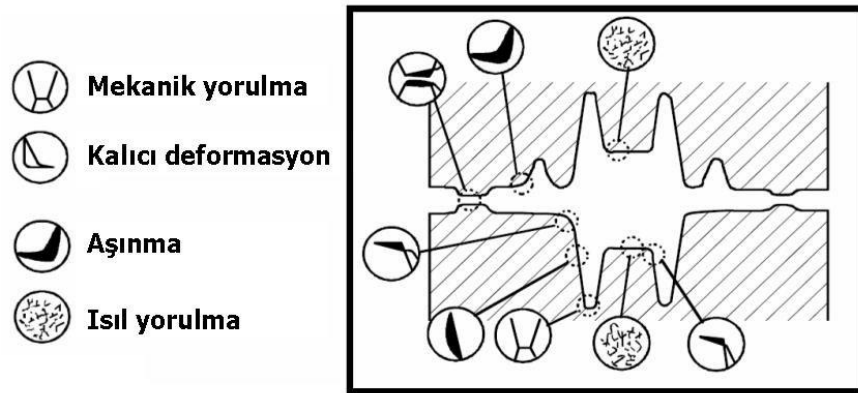
Sıcak dövme kalıp malzemelerinin belli başlı özelliklere sahip olması beklenir [14]. Bunlar;

- Aşınmaya karşı dayanımının yüksek olması
- Şekil değiştirmeden sertleşebilme özelliği
- Yüksek darbe ve basınca karşı dayanım
- Isıdan dolayı çatlamaya karşı dayanım

Sıcak dövme kalıp malzemesinin türü, dövülerek imal edilecek parçanın boyutlarına, uygulanacak dövme prosesine, kullanılacak dövme makinasına göre değişiklik gösterir. Dövme ile üretilen parça çok küçük ise blok kalıplar yerine çekirdek geçme kalıplar kullanılır. Blok kalıpların malzemesi genellikle 1.2714 sıcak iş takım çeliğidir. Çekirdek kalıplar için 1.2343 veya 1.2344 gibi daha pahalı ve kaliteli sıcak iş takım çelikleri tercih edilir. 1.2714 sıcak iş takım çeliği çekirdek kalıplar için kullanılan malzemelere oranla daha tok bir malzemedir [11].

## 2.3. Sıcak Dövme Kalıplarının Hasar Çeşitleri

Kalıplarda dövme işlemi sırasında bazı gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler sebebiyle kalıplarda hasarlar meydana gelir. Bu hasar çeşitleri ve meydana gelebilecekleri noktalar Şekil 2.3. te belirtilmiştir.



Şekil 2.3. Dövme kalıplarında meydana gelebilecek hasar mekanizmaları [4]

Mekanik yorulma en fazla yükün olduğu bölgelerde, kalıcı deformasyon köşeler ve çapak hattı bölgelerinde, aşınma kalıp ile malzeme arasında sürtünmenin en

çok olduğu bölgelerde, ısı yorulma ise kalıp ile malzeme arasında ki temas süresinin en fazla olduğu alt kalıp yüzeylerinde görülür.

### **2.3.1. Mekanik Yorulma**

Dövme işlemi yüksek basınçlarda gerçekleştirilir. Seri imalat durumlarında kalıplar yükte ve boşta olacak şekilde çalışırlar. Meydana gelen gerilimler sonucunda çatlak başlangıcı oluşur ve sürekli döngü içerisinde çatlaklar ilerler. Daha sonrasında kalıplar kırılarak kullanılamaz hale gelirler [11].

Mekanik yorulmanın önlenip kalıp ömrünün artırılması için tokluk önemli bir mekanik özelliktir. Tokluk, malzemenin plastik uzamalara karşı dayanımıdır ve tokluk artışı ile çatlak oluşumu azaltılarak kırılmaların önüne geçilebilir. Tokluk değerinin artırılması diğer hasar mekanizmalarına karşı dayanımı düşürür. Bu sebeple mekanik yorulmaya etki edebilecek özellikler iyileştirilip, daha sonrasında optimum özelliklere sahip malzeme seçilirse kalıp ömrü arttırılabilir.

Mekanik yorulma için kalıbın tasarımı da önemli bir etmendir. Keskin köşe ve pahlardan uzak durulması bunun yerine köşelerde radyüslerinin arttırılması tercih edilmelidir. Mekanik yorulma da ortam koşulları da etkili olduğu için temiz bir kalıp yüzeyi ile daha yüksek çevrimlerde çatlak oluşur, kalıp ömrü arttırılabilir.

### **2.3.2. Kalıcı Deformasyon**

Kalıbın yüksek basınç ve sıcaklıklara maruz kaldığı bölgeler meydana gelir. Kalıpta yüksek basınç ve sıcaklıkla meydana gelen gerilimlerin yerel akma mukavemetinden fazla olduğu bölgelerde kalıcı deformasyon görülür. Kalıpta bulunan ince bölgelerde basınç daha yüksek olduğu için kalıcı deformasyon genel olarak bu bölgelerde meydana gelir. Dövme sıcaklığı, parçanın boyutları ve geometrisi, kullanılan dövme çevrim süresi, ekipman ve dövme tipi kalıcı deformasyon etkileyen önemli etkenlerdir. Kalıp malzemesinin mekanik özellikleri iyi seçilerek, geometriden doğabilecek sorunları engelleyebilir [11].

### **2.3.3. Isıl Yorulma**

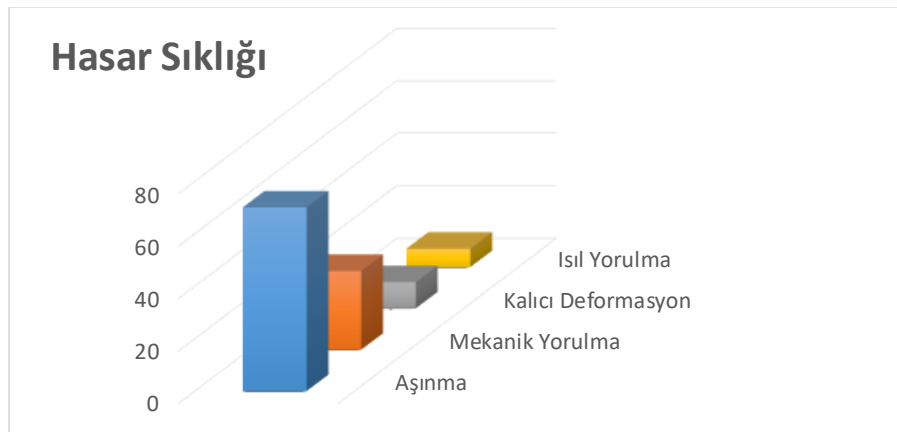
Sıcak veya yarı sıcak dövmede parça kalıbın üzerine bastırılarak şekil verilir. Bu durum kalıbın yüzeyinde sıcaklık artışına sebebiyet verir. Sıcaklıkta artış meydana

gelen bölgelerde genişleme meydana gelir. Kalıbın alt kısmı soğuk olduğu için bu genişlemeye engel olmaya çalışır. Parça çıkarılıp kalıp yağlanır ve bu döngüler sonucu kalıpta çatlama meydana gelirse bu durum ısıl yorulma olarak adlandırılır. Isıl yorulmanın azaltılması veya engellenmesi için, yüksek sıcaklıkta mukavemeti olan malzemeler seçilmeli ve kalıbın sertliğinde azalma olmaması için yüksek tavlama direnci olmalıdır.

#### 2.3.4. Aşınma

Aşınma; cisimlerin yüzeyinden mekanik etkenler sebebiyle mikro taneciklerin yüzeyden kopup ayrılması durumudur. Aşınmadan dolayı yüzeyde istenmeyen değişiklikler meydana gelir. Ayrıca aşınma; aralarında bir madde bulunan veya bulunmayan iki yüzeyin birbirlerine göre kayma, yuvarlanma, çarpma gibi hareketleri sonucu yüzeyden parça kopması ile istenilmeyen yüzey bozulması olarak tanımlanabilir [15, 16].

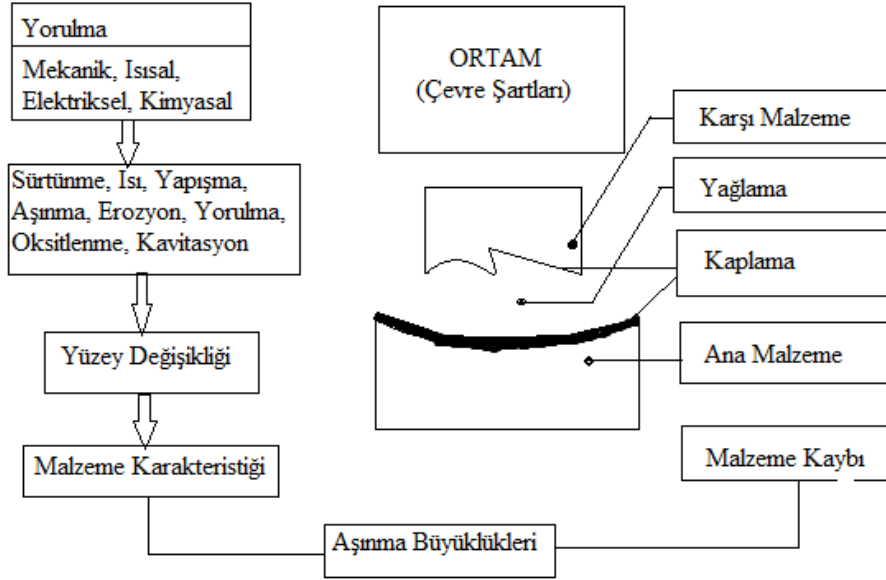
Aşınma dayanımını artırmak makinelerin kullanım ömürlerini uzatmak bakımından önemlidir. Aşınma dayanımının artırılması için birçok yöntem vardır. Sert dolgu kaynağı da bunların başında gelmektedir [17]. Sert dolgu kaynağının kullanıldığı sıcak dövme kalıplarında en çok karşılaşılan hasar aşınmadır. Sıcak dövme kalıplarındaki hasarların karşılaşımla sıklığı Şekil 2.4. te verilmiştir.



Şekil 2.4. Sıcak dövme kalıplarında karşılaşılan hasar sıklığı [4]

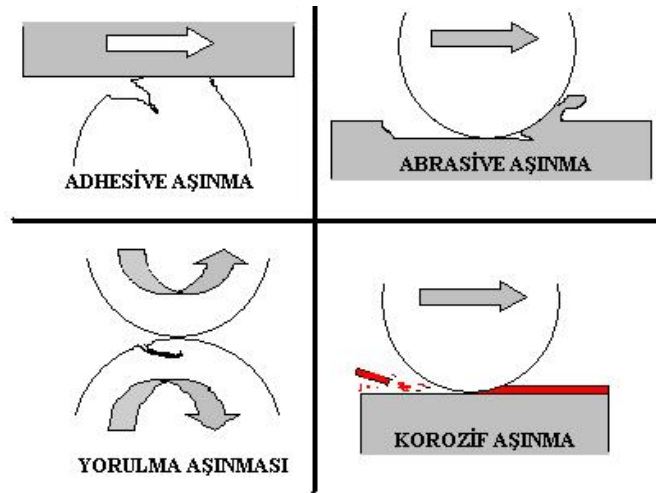
Tribolojik sistem; aşınan malzeme, aşındıran malzeme, varsa ara malzeme, hareket ve yük unsurlarını bulunduran sistemdir. Tribolojik sistemin şematik gösterimi Şekil 2.5. te verilmiştir.

## TRİBOLOJİK SİSTEM YAPISI



Şekil 2.5. Tribolojik sistemin DIN 50320 standardına göre şematik gösterimi [18]

Kuru ve yaş aşınma, adhezyon aşınması, düşük veya yüksek gerilimli, darbe gibi birçok aşınma türü bulunmaktadır. Bunlar kaymalı ve kaymasız olmak üzere iki başlık altında toplanabilir. Bunlar arasında en temel aşınma türleri Adhesiv, abrasiv, yorulma aşınması ve koroziyon aşınmasıdır (Şekil 2.6.) [19, 20].



Şekil 2.6. Dört aşınma tipinin şematik gösterimi

### 2.3.4.1. Adhesiv Aşınma

Adhesiv aşınma birbirine göre göreceli hareket eden yüzeyler arasında oluşur. İki yüzeyden birisinden kopan bir parçacığın diğer yüzeye yapışmasıdır. Adhezyon aşınmasında bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme taşınımı gerçekleşir. Adhesiv aşınma yapışma aşınması olarak da adlandırılır. Çok sık rastlanılan bir aşınma türü olmasına rağmen, hasarları hızlandırıcı etkisi yoktur [18, 21].

Temas halinde olan iki yüzeyin yapışma yatkınlığı bu iki malzemenin atomları arasındaki çekim kuvvetinden kaynaklanmaktadır. İki yüzey bir araya gelip ayrılır ise atomlardaki çekme kuvvetinden ötürü bir yüzey diğer yüzeydeki malzemeyi çekmeye çalışır. Bu durum ile birlikte yüzeyden malzeme transferi gerçekleşir ve malzeme kaybı oluşursa adhesiv aşınma boşluğu oluşur [11].

Temas halindeki iki parçanın temas noktaları yüksek basınca maruz kalırlar. Yüksek basınç değerleri akma sınırını aştığı takdirde temas noktalarında plastik deformasyon oluşur ve moleküller ve oksit tabakaları parçalanır. Birbiriyle temasa geçen moleküller temas noktalarında kaynak bağlarını meydana getirir. Yüzeyler birbirine göre hareket ettirildiği takdirde kaynak olan noktalar kopabilir. Eğer bu kopma kaynak noktasının ortasında gerçekleşirse aşınma olmaz. Fakat kopma yüzeyden kopar ise kopan parça diğer yüzeye yapışır ve böylece malzeme transferi gerçekleşir. Kaynak bağlarından kaynaklanan malzeme kaybı adhesiv aşınmayı ortaya çıkarır. Ayrıca sürtünmenin devam etmesi doğrultusunda yapışan malzeme kopup aşınma partiküllerini meydana getirir. Kaynak bağlarının kopması yumuşak malzemede gerçekleşir. Sert malzemenin yüzeyine yumuşak malzeme transferi gerçekleşir [17, 18, 22].

Adhesiv aşınma yüzeylerin bağıl kayma hızına, yüzey kalitesine ve kuvvetlere bağlıdır. Bu aşınma türü benzer malzemeler arasında meydana gelmektedir. Kolay alaşım yapabilen malzemelerde bu aşınmaya maruz kalabilmektedir. Pratikte yüksek hızlar ve yüklerde görülür [11, 17].

Adhesiv aşınmayı önlemek için alınabilecek önlemler aşağıda belirtilmiştir;

- Birlikte çalışan parçaların malzemelerini uygun seçmek
- Yağlama yöntemi ve uygun yağlayıcılar kullanmak

Sıcak dövme kalıplarında yağ ve oksidasyon tabakaları aşınmadan dolayı ortadan kalkar. Parça ve kalıp yüzeyleri birbirine direk temas eder. Parça kalıp üzerinde kayma hareketi yapar. Daha sonra parça çıkarılırken; genelde kalıp malzemesinin sertliği parçamnkinden daha sert olduğu için parçadan kalıba malzeme transferi gerçekleşir. Ayrıca sıcak dövmedeki adhezyon aşınması sıcaklık değerleri 1200°Cler de olduğu için kaynak işlemine benzerlik göstermektedir.

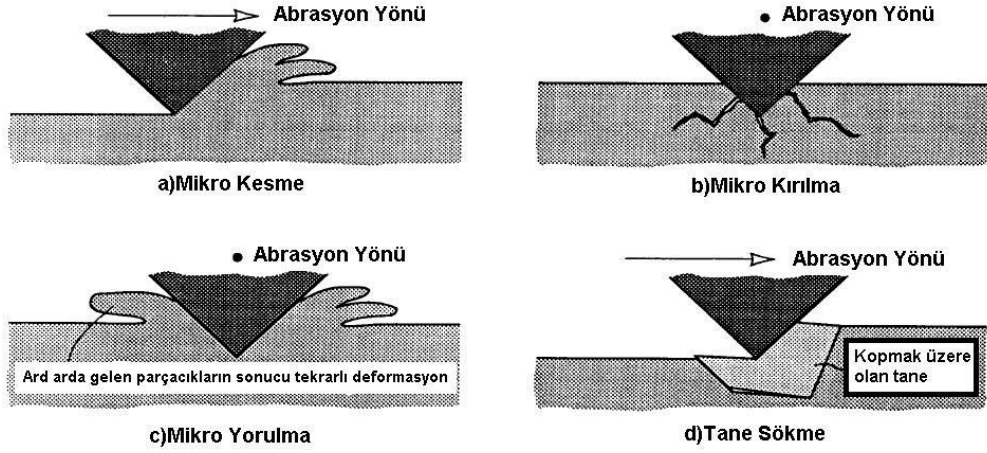
#### **2.3.4.2. Abrasiv Aşınma**

Abrasiv aşınma, yumuşak bir yüzeyin sert bir cisim ile tahrip edilmesidir. Temas halinde bulunan iki yüzeyin arasına dışarıdan giren bir parçanın veya oksitlenme sebebiyle sertleşen bir maddenin yüzeylerde kazıma etkisi yaratarak oluşturduğu hasardır. Sert partiküller, taşlama işleminde ki gibi kazıyıcı etki yaparak malzeme kaybına sebebiyet verirler. Sert parçada bulunan pürüzler kuvvet uygulandığında yumuşak yüzeye gömülür ve hareket sonucu bu sert pürüzler yumuşak yüzeyi kazırlar. Sert partiküllerin yüzeyi kazınması sonucu oluşan yarıklardaki malzemeler de yarıkların sırtlarında kalır ve kopmaya karşı koruması kalır [23, 24].

Abrasiv aşınmada, aşınan malzeme sertliği (Hm) ve aşındırıcının sertliği (Ha) olmak üzere bunların birbirine oranı önemlidir.  $Hm/Ha < 0.8$  olduğu durumlarda abrasiv aşınma yüksek oranlarda,  $Hm/Ha > 0.8$  den olduğu durumlarda ise az miktarda abrasiv aşınması gerçekleşir. Bu oranın 1 e eşit veya büyük olduğu durumlarda ise abrasiv aşınma olmadığı kabul edilir [25].

Abrasiv aşınma mikro kesme, mikro kırılma, mikro yorulma ve tane sökme olarak dört aşama da gerçekleşir (Şekil 2.7.).





**Şekil 2.7.** Abrasiv aşınma aşamaları [11]

Abrasiv aşınmayı önlemek için alınabilecek önlemler aşağıda belirtilmiştir;

- Saf metallerde abrasiv aşınma sertlik değerleriyle orantılıdır. Abrasiv aşınma dayanımını arttırmak için sertlik değeri artırılmalıdır.
- Parçalar kir, pas ve diğer pisliklerden temizlenmeli, talaştan korunmalıdır.
- Dışardan sert parçaların çalışan yüzeylerin arasına girip parçaları abrasiv aşınmaya uğratmasını önlemek için iyi bir sızdırmazlık düzeneği kurulmalıdır.

Sıcak dövme kalıplarında abrasiv aşınma ile kalıp malzemesi taşlamaya benzer şekilde malzeme kaybına uğrar. Kalıp malzemesinin abrasiv aşınmaya uğraması için aşınmaya neden olan parçacığın sertliğinin kalıbın sertliğine eşit veya daha sert olması gerekmektedir. Sıcak dövme kalıplarında meydana gelen abrasiv aşınmayı etkileyen en önemli etmenler; parça ve kalıbın sertliği, dövme basıncı, sıcaklık, kayma hızı ve darbedir [11].

### 3.SERT DOLGU KAYNAK YÖNTEMİ

#### 3.1. Sert Dolgu Kaynağı

Maruz kaldıkları aşınma ve yorulmaları ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için metal yüzeylere, çeşitli yüzey işlemleri uygulanır [26]. Sert dolgu işlemi, başta aşınma olmak üzere korozyon ve diğer yüzey bozulmalarına uğramış metal parçaların ekonomik şekilde yenilenmesine olanak verir [27].

Dolgu kaynağı, esas metalin üzerine, bir metal veya alaşımın metal püskürtme veya ergitme yöntemleri uygulanarak doldurulması veya kaplanması işlemidir [16]. Parçanın yüzeyini, kullanıldığı alana göre, en çok karşılaşılan yüzey problemi göz önüne alarak bu alanda daha dayanıklı bir malzemeyle kaplamak ekonomiktir. Tamir uygulamalarında uygulanan doldurma işleminde kullanılan dolgu malzemesi, genelde esas metalle aynı bileşime sahip olması ya da çok yakın bir bileşime sahip olması tercih edilir. Ama esas metale yeni özellikler kazandırılmak isteniyorsa, sert dolgu işleminde dolgu malzemesi farklı bileşime sahip olması istenir [24].

Aşınma şartları, sert dolgu uygulamasına karar verilirken göz önüne alınan en önemli faktördür. Aşınma şartları doğrultusunda dolgu malzemesinin seçimi gerçekleştirilebilir. Dolgu malzemesinin özellikleri, sert dolgu uygulanacak parçanın kullanıldığı alana ve bu alandaki aşınma şartlarına uygun olmalıdır. Sert dolgu yapılacak is parçasının kullanıldığı yerdeki aşınma şartlarına göre, kaynak metali uygun özelliklere sahip olmalıdır. Bu özellikler aşağıdaki şekilde sıralanabilir [24];

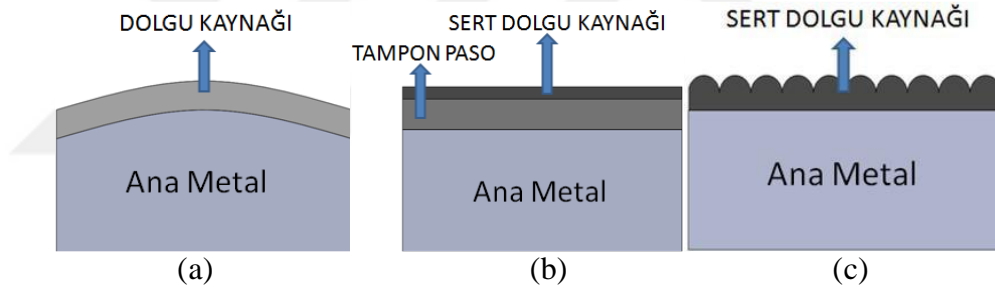
- Sertlik
- Sıcak haldeki sertlik
- Aşınmaya karşı dayanıklılık
- Abrasif aşınmaya dayanıklılık
- Korozyona dayanıklılık
- Sıcak halde oksidasyona dayanıklılık
- Darbelere dayanıklılık

Sert dolgu kaynağı yönteminin istenen koşulları sağlaması için, esas metal ile dolgu malzemesinin arasında uyuşmanın oluşması gerekir. Bu uyuşmanın sağlanması için dolgu kaynağının uygulama yöntemi, dolgu malzemesi ile dolgu yönteminin

uyumu, dolgu malzemesi ve kullanılan yardımcı maddeler uygun seçilmelidir [16]. Ayrıca bu yöntem ile bazı alaşımlar kullanılarak sert dolgu tabakası eldesi gerçekleştirilirken, bazı alaşımları kullanarak parçaların orijinal boyutlarına getirilmesi sağlanır [20].

Dolgu malzemeleri genellikle yüksek sertliğe sahiptir ve bu nedenle kaynak yöntemi sert dolgu kaynağı olarak adlandırılır. Yumuşak olan dolgu malzemelerinde ise, matrislerinin içerisinde abrasyon dayanımı arttıracak parçacıklar bulunur [24].

Sert dolgu işlemi genellikle dolgu, tampon paso ve sert dolgu olarak 3 adımda gerçekleştirilir (Şekil 3.1.). Aşınmaya maruz kalmış bölgelerin tok ve üst üste çok sayıda paso yapabilen kaynak malzemeleri ile doldurulmasına dolgu denir (Şekil 3.1.(a)) [28]. Ana malzemenin veya kaplamanın alaşım içeriğini seyreltmek için tampon paso işlemi uygulanabilir. (Şekil 3.1.(b)) Dolgu işleminin abrasyon aşınma dayanımını yükselttiği kaplamalar ise sert dolgu olarak adlandırılır (Şekil 3.1.(c)) [23].



Şekil 3.1. Sert dolgu kaynağı işlem adımları (a),(b),(c)

### 3.2. Sert Dolgu Kaynağının Kullanıldığı Alanlar

Sert dolgu kaynağı uygulandığı iki temel alan vardır. Bunlardan biri aşınan parçaları orijinal boyutlarına getirmek bir diğeri ise aşınmaya hassas parçaların aşınma dayanımı arttırmaktır. Aşınan parçaları orijinal boyutlarına getirmek için sert dolgu kaynağı veya sert dolgu tampon pasoları yöntemleri uygulanabilir. Doğru kaynak yöntemi ve dolgu malzemesi seçildiği durumda aşınmış parçalar birçok kez doldurularak kullanılabilir. Aşınma dayanımını arttırmak için yapılan sert dolgu yöntemi ile parçaların ömrü en az iki kat artar. Uygulanacak dolgu malzemesi parçaların maliyetini arttıracak yönde olsa da ana malzeme daha ucuz malzemelerden seçilmesi ile maliyeti azaltılabilir [28].

Aşınma dayanımı ve maliyeti yüksek olan malzemelerin kullanılması yerine, daha ucuz olan sünek malzemelerin yüzeyleri sert dolgu malzemeleri ile kaplanarak ekonomik ve aşınma dayanımı yüksek malzemeler elde edilebilir.

Sert dolgu kaynağı yöntemi, çimento işletmeleri, taş kırma ve mıcır işletmeleri, demir çelik sektörü, termik santraller ve madem işletmelerin de yoğun olarak kullanılmaktadır. Haddeler, miller, kepçe dişleri, vinç tekerlekleri dolgu kaynağının uygulandığı bazı parçalardır.

Sert dolgu işlemi uygulanırken dikkat edilecek hususlar vardır. Kaynak işleminden önce esas metalin kimyasal kompozisyonu bilinmelidir. Ne tür bir hasara maruz kaldığı bilinmelidir. Bunların doğrultusunda uygun dolgu kaynağı yöntemi seçilmelidir. Eğer yüzeyde dolgu kaynağından önce tampon tabaka ile doldurulması gerekiyorsa esas metale uygun bir alaşım seçilmelidir. Sert dolgu kaynağı her zaman dolgu malzemesinden daha yumuşak bir esas metalin üzerine gerçekleştirilmelidir. Esas metal daha sert ve kırılabilir olursa dolgular ufak parçalar halinde ufalıp dolguyu zayıflatabilir. Ayrıca dolgu sertliği arttıkça doldurma tabakaları az olabilir [17].

### **3.3. Sert Dolgu Kaynağı Malzemeleri**

Sert dolgu malzemeleri 5 ayrı grupta sınıflandırılmaktadır [29, 30]:

- Dolgu amaçlı alaşımlar; düşük alaşımlı perlitik çeliklerden ve yüksek alaşımlı östenitik manganlı çeliklerden oluşur. Bu tip sert dolgu alaşımları aşınma dayanımını artırmak için kullanılmamaktadır.
- Adhezyon aşınmasına karşı alaşımlar; havada sertleşen martenzitik çeliklerdir. Martenzitik çeliklerde soğuma hızı sertliği etkiler.
- Abrazyon aşınmasına karşı alaşımlar; yüksek kromlu beyaz demirlerdir.
- Tungsten karbürler
- Demir dışı alaşımlar; demir esaslı sert dolgu alaşımları kullanılarak elde edilemeyen özelliklerin eldesi için kullanılır. Demir dışı alaşımlar tüm aşınma tiplerine karşı aşınma dayanımı yüksektir. Fakat demir dışı alaşımların demir esaslı sert dolgu malzemelerine göre maliyeti daha yüksektir [31].

### 3.3.1. Demir Esaslı Sert Dolgu Alaşımları

Demir esaslı sert dolgu malzemeleri mikro yapılarına göre 3 ana grup da sınıflandırılabilir. Bu alaşımlar farklı aşınma türlerine direnç göstermektedir [27, 32].

○ Östenitik alaşımlar: Oda sıcaklığında mikro yapısı östenit olan alaşımlardır. %0.5 – 1 karbon elementi ve % 13 -20 alaşım elementleri bulunan çeliklerdir. Bu tip alaşımlar yüzey pürüzlülüğünün iyi olması beklenen dolgularda tercih edilir. Ayrıca karbürü alaşımlarla doldurulacak östenitik çeliklerde tampon tabaka olarak kullanılabilir. Östenitik alaşımlar tok bir yapıya sahiptir. Ayrıca soğuk sertleşme kabiliyeti iyidir. Bunların yanı sıra mükemmel darbe, orta seviyede abrazyon dayanımı ve gerilim çatlakları oluşturmama özelliklerine sahiptir. Bu alaşımlar 250 °C'nin üzerine çıkması durumunda gevrekleşir ve kırılır [32, 33].

○ Martenzitik alaşımlar: Düşük karbonlu ve alaşımlı martenzitik alaşımlar, sert dolgu kaplamalarında kullanılabilir. Martenzitik alaşımların toklukları yüksek, sıkışabilme dayanımları ve metal metale sürtünme dayanımları iyi olduğundan dolgu kaynağında ve daha sert malzemelerde ise tampon tabaka olarak kullanılabilir. Daha yüksek karbonlu ve alaşımlı çeliklerde, sertlik artışı için abrazyon dayanımı da artış gösterir, ama toklukta düşüş meydana gelir.

○ Karbürü alaşımlar: Aşınma tipi abrazyon olan durumlarda başlıca krom elementi olmak üzere diğer karbürleri minimum %12 oranında içeren dolgu alaşımıdır. Karbürler mükemmel derecede abrazyon dayanımı özelliğine sahiptirler. Bunun sebebi karbürlerin çok sert olmasıdır. Karbürü alaşımlar 650 °C ye kadar yüksek sıcaklıklarda iyi abrazyon direncine sahiptir [32].

### 3.3.2. Demir Dışı Sert Dolgu Alaşımları

Demir esaslı sert dolgu malzemeleri demir dışı sert dolgu malzemelerine oranla daha fazla tercih edilirler. Demir dışı sert dolgu alaşımlarının maliyeti yüksek olduğu için genelde özel malzeme özellikleri eldesi veya karbürü alaşımların kullanım sıcaklığının üzerinde olan servis sıcaklıklarında kullanılırlar. Demir dışı sert dolgu malzemeleri Nikel esaslı, Kobalt esaslı ve Bakır esaslı sert dolgu alaşımları olmak üzere 3 grupta incelenir [30].

### 3.3.2.1. Kobalt Esaslı Sert Dolgu Alaşımları

Kobalt esaslı sert dolgu malzemeleri düşük ve yüksek sıcaklıklarda içerdikleri alaşımlara bağlı olarak iyi derecede korozyon, oksidasyon ve aşınma direnci gösterir. Yüksek sertlik değerlerine ve yüksek tokluğa sahiptirler. Yapılarında hacimsel olarak büyük karbürler bulunduğu için sertlik değerleri yüksektir. Yüksek tokluk değerine sahip olmaları nedeniyle ağır ve mekanik darbeli çalışma ortamların da tercih edilirler.

Kobalt esaslı sert dolgu alaşımları yüksek sıcaklıklarda aşınma ve korozyon dirençlerinin yüksek olması sebebiyle türbin kanatları, cerrahi aletler, rotor, jet motorları vb. yapımında kullanılırlar [30, 34].

Genellikle, tungsten ve molibden elementlerine sahip alaşımlarda yüksek sıcaklıklarda dayanım artışı gözlemlenir. Yüksek sıcaklık dayanımı ile beraber aşınma dayanımının güçlü olması istenilen durumlarda kobalt esaslı sert dolgu malzemeleri tercih edilir. 1960'lı yıllarda Laves fazlarının, adhezyon aşınma direncini arttırdığı belirlenmiştir. Buna bağlı olarak, yüksek sıcaklık dayanımı ve aşınma dayanımının bir arada istendiği durumlarda bu fazlar kullanılır (Şekil3.2.). Fakat Laves fazlarının darbe dayanımı iyi değildir [30].



Şekil 3.2. Laves fazı [29, 30]

Kobalt esaslı sert dolgu alaşımları karbür içerikli alaşımlar ve Laves fazı içeren alaşımlar olmak üzere ticari iki türü vardır. Bu alaşımlar içerisinde ilk geliştirilene farklı karbürlere sahip Co-28Cr-4W-1.1C alaşımıdır. Karbür içeren alaşımlardaki en önemli fark karbon miktarlarıdır. Yüksek oranda tungsten elementine sahip

alaşımlarda tungstence zengin  $M_6C$  karbürünün yanı sıra kromca zengin  $M_7C_3$  karbürü vardır. Düşük karbon oranına sahip alaşımlarda ise  $M_{23}C_6$  karbürü bulunur [35].

Kobalt 6 (AWS A 5.13 R CoCr-A) en çok tercih edilen kobalt esaslı sert dolgu malzemesidir. Bu alaşım da kobalt – krom - tungsten alaşımları ve krom karbürler bulunur. Bu kobalt esaslı sert dolgu alaşımının yüksek sıcaklık, korozyon ve adhezyon aşınma dayanımını yüksektir. Kobalt 12 (AWS RCoCr-B) kobalt esaslı sert dolgu alaşımı Kobalt 6 ya oranla daha yüksek sertliğe ve daha iyi abrazyon ve adhezyon direncine sahip olmasına rağmen darbe ve korozyon direnci kötüdür. Kobalt 1: (AWS A 5.13 R CoCr-C) diğer alaşımlara göre daha yüksek karbür yüzdesine ve bununla birlikte yüksek sertlik değerine sahiptir. Yüksek sertlikle birlikte aşınma direnci iyi olsa da, darbe ve korozyona dayanımı kötüdür. Ayrıca kaynak işlemi sonrası gerilim çatlağı oluşma eğilimi yüksektir. Kobalt 21 (AWS A 5.13 R CoCr-E) mikro yapısında düşük oranda karbür içerir. Yüksek süneklik değerine, ısıl şoklara, oksidasyona ve erozyondan kaynaklı aşınma dayanımına sahiptir [36].

### 3.3.2.2. Nikel Esaslı Sert Dolgu Alaşımları

Nikel esaslı sert dolgu malzemeleri, iyi ısı ve korozyon mukavemetine sahiptirler. Koruyucu üst tabaka olarak tercih edilen nikel esaslı alaşımların en iyi uygulama yöntemi gaz altı ark kaynağıdır. En az beş tip nikel esaslı alaşım sert dolgu işleminde tercih edilir. Demir esaslı malzemelerin daha ekonomik olmasına rağmen Nikel esaslı alaşımlar yüksek sıcaklıklarda daha mukavemetli matrise ve yüzey korumasına sahiptirler.

Bazı durumlarda nikel bazlı sert dolgu malzemeleri kobalt bazlı sert dolgu malzemelerinin maliyetini azaltmak için kobalt elementi yerine kullanılır. Yüksek sıcaklık uygulamalarında nikel bazlı sert dolgu malzemeleri kobalt esaslı sert dolgu malzemelerinin ucuz alternatifleridir [28].

Nikel esaslı sert dolgu malzemeleri borür içeren, karbür içeren ve laves fazlı sert dolgu alaşımları olmak üzere üç ana grupta toplanabilir (Tablo 3.1.).

**Tablo 3.1.** Nikel esaslı sert dolgu malzemeleri [30]

| Alaşım                         | Fe(%) | Cr(%) | Mo(%) | W(%) | Si(%) | C(%) | B(%) | Co(%) | Ni(%) |
|--------------------------------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|
| <b>Borür İçeren Alaşımlar</b>  |       |       |       |      |       |      |      |       |       |
| ALLOY 40                       | 1.5   | 7.5   | -     | -    | 3.5   | 0.3  | 1.5  | -     | Kalan |
| ERNICR-B                       | 3     | 11    | -     | -    | 4     | 0.5  | 2.5  | -     | Kalan |
| ERNICR-C                       | 4     | 16    | -     | -    | 4     | 0.7  | 3.5  | -     | Kalan |
| <b>Karbür İçeren Alaşımlar</b> |       |       |       |      |       |      |      |       |       |
| ALLOY N-6                      | 3     | 29    | 5.5   | 2    | 1.5   | 1.1  | 0.6  | 3     | Kalan |
| ALLOY 716                      | Kalan | 26    | 3     | 3.5  | 1.5   | 1.1  | 0.5  | 11    | 23    |
| <b>Laves Fazlı Alaşımlar</b>   |       |       |       |      |       |      |      |       |       |
| T-700                          | -     | 16    | 33    | -    | 3.5   | -    | -    | -     | Kalan |

### 3.3.2.3. Bakır Esaslı Sert Dolgu Alaşımları

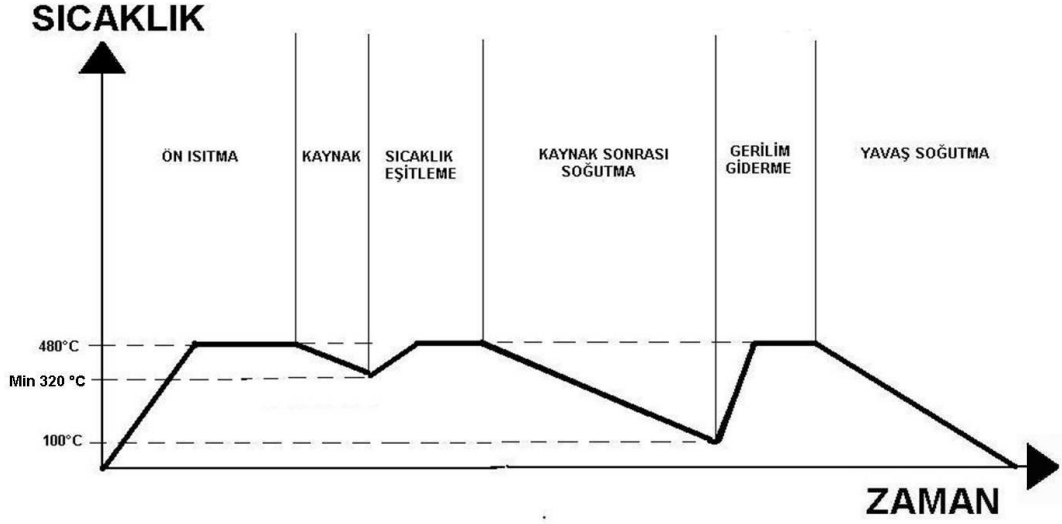
Bakır esaslı sert dolgu alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda kullanımını mekanik özelliklerin kötüleşmesine neden olduğu için 200°C'nin üzerinde çalışma koşulları olan alanlarda tercih edilmemelidir. Bu nedenle bakır esaslı sert dolgu alaşımlarının kullanım alanları sınırlıdır [29, 30].

Korozyona karşı dayanım istenen parçalarda paslanmaz elik, nikel esaslı alaşımların yanı sıra bakır esaslı sert dolgu alaşımları da tercih edilir.

### 3.4. Sıcak Dövme Kalıplarında Sert Dolgu Kaynağı Uygulaması

Sert dolgu yönteminin sıcak dövme kalıplarına uygulama yöntemi aşağıda sırasıyla belirtilecektir. Sıcak dövme kalıbında sert dolgu kaynağı uygulamasının sıcaklık-zamana göre değişimini veren grafik Şekil 3.3.' te verilmiştir.





**Sekil 3.3.** Sıcak dövme kalıbında sert dolgu kaynağı adımları [11]

Sert dolgu kaynağı işlemi uygulanmadan önce hangi parçaların daha kullanabileceği ve hangi parçaların yenilenmesi gerektiğini belirlemek için gözle muayene yapılmalıdır [28].

Sert dolgu uygulanacak yüzeydeki yağ, pas, kir uygun bir yöntemle temizlenmelidir. Parçanın yüzeyindeki çatlaklar ve mekanik olarak yorulmuş yüzeyler mekanik olarak işlenerek kaynağa uygun kalitede bir yüzey elde edilmesi gerekir. Sert dolgu yapılmayacak bölgeler uygun bir kaplama ile örtülerek bu bölgelerin oksitlenmesi engellenebilir [11, 28].

Yüzey temizliği gerçekleştirildikten sonra kaynak sırasında yüzeydeki sıcak kaynak tabakası ile soğuk ana kalıp malzemesi arasındaki sıcaklık farkından dolayı oluşabilecek gerilimler minimuma indirilmesi için ön ısıtma işlemi uygulanır. Çatlama olasılığı yüksek olan parçalarda tampon paso uygulanarak çatlama riski azaltılabilir. Ayrıca kaynak yapılacak yüzeyde nem olabilir. Ön ısıtma ile bu nem ortadan kaldırılarak kaynak esnasında hidrojenin kaynak metali içine hapsolüp katılaşma esnasında gözenek oluşumu riskini ortadan kaldırabilir [28].

Sert dolgu kaynağı sırasında sıcaklık kaynak malzemesin göre değişebilir. Fakat sıcaklık değeri minimum 320°C olmalıdır. Bu sıcaklığın altına düşerse kaynak malzemesi ile ana malzeme arasında sıcaklık farkı artar ve artan sıcaklık farkı

sebebiyle iç gerilmeler meydana gelir. Sonrasında ise parçalarda çatlama meydana gelir. Kalıp bu sıcaklık limitine yaklaştığında kalıp fırına koyularak ısıtılmalıdır.

Kaynak sırasında ana malzemenin sıcaklığı da önemlidir. Ana malzemenin sıcaklığı temperleme sıcaklığının üstüne çıkarsa malzemede yumuşama meydana gelir. Bu yüzden ana malzemenin sıcaklığının üst limiti göz önüne alınmalıdır.

Kaynak sonrası, yüksek sıcaklıklardan soğuması esnasında oluşan iç gerilmeleri azaltmak için havalı çekiç ile kaynak bölgesine basma gerilmesi uygulanır. Bu işlem sıcaklık farkından dolayı oluşabilecek çatlama riskini azaltır [11].

Kaynak işlemi gerçekleştirildikten sonra kaynak bölgesi ve kalıp gövdesi aynı sıcaklığı getirilmesi için boyutlarına göre 480°C bir fırında yarım saat ile bir saat arasında bekletilir. Daha sonra kalıplar fırında veya izolasyona sarılarak 100°C ye soğutulur. Bu işlem çok yavaş gerçekleştirilir. Bu işlemin yavaş olmasının sebebi, kalıp ile kaynak bölgesi sıcaklığının arasındaki farkın düşük kalmasının sağlanması ve böylece geçiş bölgesinde oluşabilecek çatlama riskini önüne geçmektir [11].

Kaynak sonrası dolgu tabakasında iç gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmelerin ortadan kaldırılması ve parçanın son sertliğe erişebilmesi için gerilim giderme ısı işlemi uygulanır. Bu işlemin şartları parçanın alaşımına bağlı olarak gerçekleştirilir.

## 4. MATERYAL VE YÖNTEMLER

### 4.1. Materyal

#### 4.1.1. Ana Malzeme

Bu çalışmada, üzerine dolgu kaynağı işlemi yapılacak çelik (ana malzeme) olarak 1.2714 sıcak iş takım çeliği seçilmiştir ve bu çeliğin kimyasal kompozisyonu Tablo 4.1. de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Ana malzemenin kimyasal kompozisyonu

| C             | Si            | Mn            | Cr            | Mo            | Ni            | V             | Fe    |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|
| 0.50-<br>0.60 | 0.10-<br>0.40 | 0.60-<br>0.90 | 0.80-<br>1.20 | 0.35-<br>0.55 | 1.50-<br>1.80 | 0.05-<br>0.15 | Kalan |

İlk olarak ana malzemeden 3 adet numune 30 mm x 30 mm x 80 mm boyutlarında olacak şekilde kesilmiştir (Şekil 4.1.). Bu numunelere ikisi nikel bazlı, diğeri kobalt bazlı olmak üzere 3 farklı elektrot ile dolgu kaynağı işlemi gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 4.1.** Kesim işlemi sonrası numunelerin görünümü

#### 4.1.2. Kaynak İşlemi Sırasında Kullanılan Dolgu Malzemeleri

##### 4.1.2.1. Dolgu Malzemesi-1

DM-1 olarak adlandırılan nikel bazlı elektrodun ticari adı ANTI CRACK 7015'dir ve kimyasal kompozisyonu Tablo 4.2. de verilmiştir.

**Tablo 4.2.** DM-1 kimyasal kompozisyonu

| C     | Si  | Mn  | Cr    | Ni    | S     | Nb  |
|-------|-----|-----|-------|-------|-------|-----|
| 0.025 | 0.4 | 5.5 | 16.00 | 76.10 | 0.010 | 2.0 |

#### 4.1.2.2. Dolgu Malzemesi-2

DM-2 olarak adlandırılan kobalt bazlı elektrodun ticari adı COBALT 1'dir ve kimyasal kompozisyonu Tablo 4.3. de verilmiştir.

**Tablo 4.3.** DM-2 kimyasal kompozisyonu

| C   | Cr | W  | Co    |
|-----|----|----|-------|
| 2.1 | 31 | 13 | Kalan |

#### 4.1.2.3. Dolgu Malzemesi-3

DM-3 olarak adlandırılan nikel bazlı elektrodun ticari adı THERMO WELD'dir ve kimyasal kompozisyonu Tablo 4.4. de verilmiştir.

**Tablo 4.4.** DM-3 kimyasal kompozisyonu

| C    | W  | Mn   | Cr    | Mo  | V  | Nb | Ni    |
|------|----|------|-------|-----|----|----|-------|
| <0.1 | <8 | <1.5 | 15-30 | <28 | <1 | <4 | Kalan |

#### 4.2. Sert Dolgu Kaynağı Uygulaması

Kaynak işlemi için gazaltı ark kaynağı (TIG) seçilmiştir ve işlem sırasında kullanılan parametreler Tablo 4.5. te verilmiştir.

**Tablo 4.5.** Kaynak işlemi parametreleri

| Parametre             | Değer   |
|-----------------------|---|
| Akım (A)              | 180   |
| Gaz Debisi (bar)      | 15  |
| Koruyucu Gaz Karışımı | %75-95 Ar + %4-22 CO <sub>2</sub> + %1-3 O <sub>2</sub> |

Kaynak öncesi numune ısıtma işlemi için, İstaş firması bünyesindeki EFCO elektrikli laboratuvar firmı kullanılmıştır (Şekil 4.2.).



**Şekil 4.2.** EFCO Elektrikli laboratuvar fırını

Numuneler öncelikle 300°C - 450°C aralığına ısıtılmıştır. Daha sonra Tablo 4.5.' te belirtilen parametreler kullanılarak dolgu kaynağı işlemi yapılmıştır. Kaynak işlemi sonrası numunelerin görüntüleri Şekil 4.3. de ki gibidir. Numunelere kaynak sonrası kontrollü soğutma uygulanmıştır. Son olarak kaynaklı numunelere EFCO elektrikli laboratuvar fırınında, 450°C de 6 saat boyunca gerilim giderme tavlaması yapılarak kaynak işlemi tamamlanmıştır.



**Şekil 4.3.** Kaynaklama işlemi sonrası numunelerin görünüşü

#### **4.3. Sertlik Ölçümü**

Sertlik ölçümü için Vickers türü Future Tech FM700 Dijital Mikrosertlik Cihazı (Şekil 4.4.) kullanılmıştır. Numunelerden, 50 gf ve 300 gf olmak üzere iki farklı yükte ölçüm alınmıştır. Ölçüm süresi 10 saniyedir. Numunelerin kesitinden, bir doğru

boyunca belirli aralıklarla birden fazla ölçüm alınmıştır. Bu ölçümlerin ortalaması alınarak, numunelerin kaynak bölgelerinin ve ana malzeme bölgelerinin ayrı ayrı sertlikleri hesaplanmıştır.



**Şekil 4.4.** Future Tech FM700 dijital mikrosertlik cihazı

#### **4.4. Mikroyapı İncelemesi**

Mikroyapı incelemesinin ilk adımı numune yüzeylerinin düzeltilmesidir. Düzeltme işlemi için zımparalama yapılır. Bu çalışmada zımparalama işlemi, Metkon Forcipol 1V (specimen mover) isimli cihaz (Şekil 4.5.) kullanılarak yapılmıştır. Başlangıçta 60 gritlik zımpara ile yüzeylerin kaba temizliği yapıлып, sonrasında sırasıyla 180, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik zımparalarla, her bir kademe 5 dakika sürecek şekilde hassas biçimde düzeltilmiştir. Her zımpara kademesi geçişinde numune 90 derece döndürülerek, bir önceki kademenin çizgilerinin giderilmesi sağlanmıştır. Finalde ayna gibi bir yüzey elde edilmiştir.



**Şekil 4.5.** Metkon Forcipol 1V (specimen mover) zımparalama Cihazı

Numune yüzeyleri ayna gibi olduktan sonraki işlem parlatmadır. Bu işlem Struers Otomatik Parlatma Cihazı (Şekil 4.6.) kullanılarak yapılmıştır. Yüzeyler sırasıyla 3 mikron ve 1 mikron çözeltiler kullanılarak, her bir kademe 5 dakika sürecek şekilde parlatılmıştır.



**Şekil 4.6.** Struers otomatik parlatma cihazı

Parlatma işlemi sonrası içyapının net bir şekilde incelenebilmesi için dağlama işlemi yapılmıştır. 3 adet numune için 3 farklı dağlayıcı hazırlanmıştır. Her bir numune için hazırlanan dağlayıcılar Tablo 4.6. de verilmiştir.

**Tablo 4.6.** Çalışmada kullanılan dağlayıcılar

| <b>Dolgu Malzemesi</b> | <b>Dağlayıcı</b>  |
|------------------------|---|
| Ana Malzeme            | 1 birim HNO <sub>3</sub> + 20 birim Etanol  |
| DM-1                   | 3 birim HCl + 3 birim CuCl <sub>3</sub> + 1 birim HNO <sub>3</sub>  |
| DM-2                   | 5 ml HNO <sub>3</sub> + 5 ml C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 20 ml HCl + 5 ml H <sub>2</sub> O |
| DM-3                   | 20 ml HNO <sub>3</sub> + 3 ml HF  |

Dağlama işlemi gerçekleştirildikten sonra, numunelerin mikroyapıları Nikon Eclipse LV150N Mikroskop (Şekil 4.7.) kullanılarak incelenmiştir.



**Şekil 4.7.** Nikon Eclipse LV150N mikroskop

Kaplama içyapısının da oluşan fazlar, Cu-K $\alpha$  radyasyonu, 30°-110° difraksiyon açısı aralığı ve 1.542 Å dalga boyuyla yapılan XRD analizi ile belirlenmiştir. Analiz, İYTE Malzeme Araştırma Merkezindeki cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.8.).





**Şekil 4.8.** XRD analizi cihazı

Kaynak işlemleri sonrası kaplamaların iç yapılarını daha yüksek büyütme oranlarında inceleyebilmek için ve aşınma testi sonrası yüzeyleri inceleyebilmek için, taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. SEM incelemeleri, İYTE Malzeme Araştırma Merkezinde ve Dokuz Eylül Üniversitesinde yapılmıştır. Kullanılan SEM cihazı Şekil 4.9. de verilmiştir.



**Şekil 4.9.** SEM cihazı

#### **4.5. Aşınma Deneyi**

Aşınma test cihazında ki numunelerin yerleştirildiği platforma uygun olması amacıyla, dikdörtgenler prizması şeklinde ki numuneler testten önce bakalite alınmış

ve daire haline getirilmiştir. Bakalite alma işlemleri Struers Citopress-1 bakalit cihazı (Şekil 4.10.) ile gerçekleştirilmiştir.



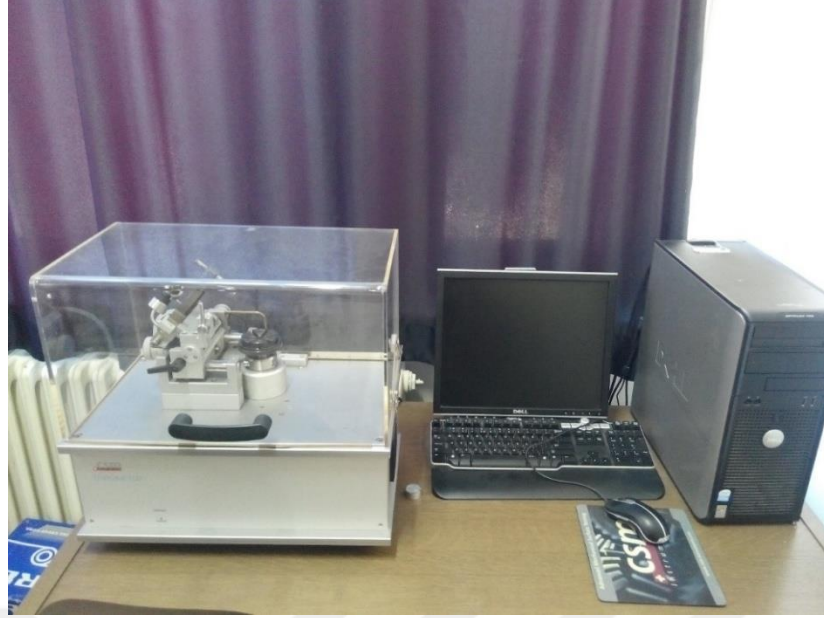
Şekil 4.10. Struers Citopress-1 bakalit cihazı

Bakalite alınmış numunelerin aşınma testleri, ball-on-disc tipi CSM Instruments marka aşınma cihazında (Şekil 4.11.) gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.7. de aşınma testinin parametreleri verilmiştir. Aşınma oranı Denklem 4.1. e göre hesaplanmıştır.  $W$  ( $\text{mm}^3/\text{Nm}$ ) aşınma oranı,  $\Delta V$  ( $\text{mm}^3$ ) aşınan bölgenin hacmi,  $N$  test boyunca uygulanan yük ve  $L$  (m) toplam aşındırma mesafesi, bu denklemde kullanılmıştır.

$$W = \frac{\Delta V}{N.L} \quad (4.1.)$$

Tablo 4.7. Aşınma testi parametreleri

| Yük (N) | Hız (rpm) | Mesafe (m) | Karşı eleman            | Karşı eleman çapı (mm) | Sıcaklık      |
|---------|-----------|------------|-------------------------|------------------------|---------------|
| 10      | 543       | 500        | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 6                      | Oda sıcaklığı |



**Şekil 4.11.** CSM Instruments aşınma cihazı

Test sonrası aşınan yüzeylerde, Mitutoyo Surf Test SJ – 301 marka profilometre (Şekil 4.12.) ile yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Cihazdan alınan çıktıların üzerinden aşınma alanları hesaplanmıştır.



**Şekil 4.12.** Mitutoyo Surf Test SJ – 301 profilometre

Son olarak, aşınma sırasında sürtünmeye bağlı sertleşme oranını belirtmek için kullanılan friction induced work hardening (FIWH) formülü, Denklem 4.2. de verilmiştir [37].

$$\text{FIWH (\%)} = \frac{\text{HVws} - \text{HVinit}}{\text{HVws}} \times 100 \quad (4.2.)$$

Aşınma öncesi ve sonrası numunelerin ağırlıkları Radwag PS 100-c-2 hassas tartı (Şekil 4.13) kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 4.13. Radwag PS 100-c-2 hassas tartı

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 5.1. Dolgu Malzemesi-1

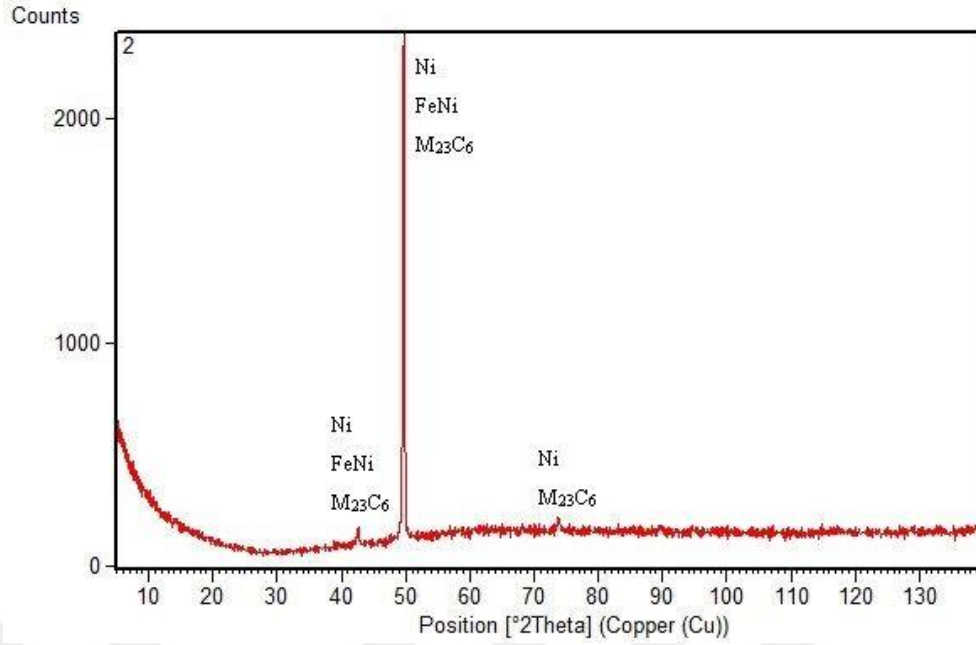
#### 5.1.1. Dolgu Malzemesi-1 Mikroyapı İncelemesi

Bu bölümde DM-1 kaplamasının sonuçları incelenecektir. Bu elektrodun sırayla katalog kimyasal kompozisyonu, EDS analizi ve bunlara ek olarak ana malzemenin katalog kimyasal kompozisyonu Tablo 5.1. de verilmiştir. Kimyasal kompozisyon incelendiğinde, elektrodun başlangıçta yüksek oranda Cr ve Nb elementleri içerdiği görülmektedir. Ayrıca kaynak işlemi sonrası yüksek miktarda C, Nb ve Fe elementlerinin takım çeliğinden dolgu malzemesine, Cr, Ni elementlerinin de dolgu malzemesinden takım çeliğine difüze olduğu anlaşılmaktadır.

**Tablo 5.1.** DM-1 ve ana malzeme kimyasal kompozisyonu

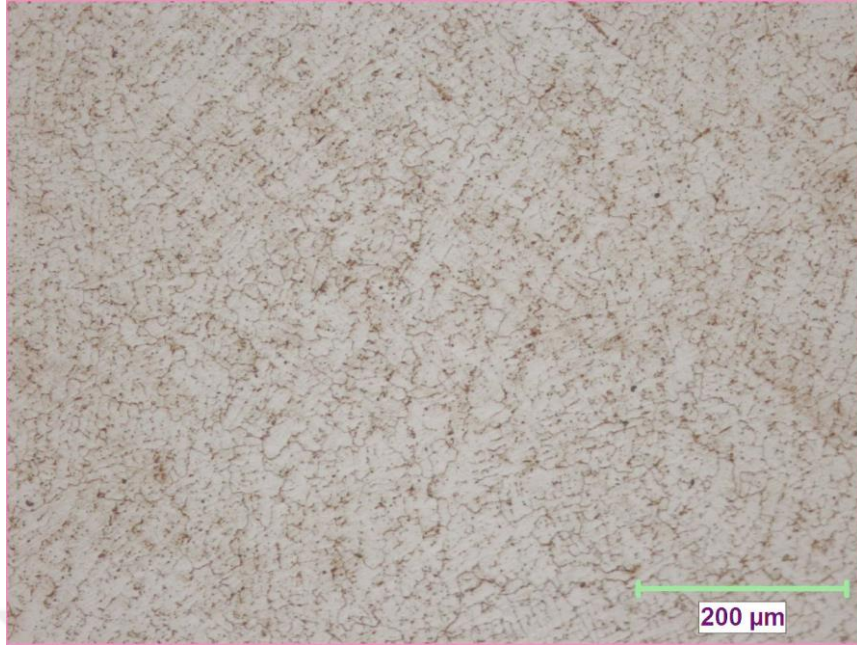
|                                     | <i>C</i> | <i>Si</i> | <i>Cr</i> | <i>Nb</i> | <i>Mn</i> | <i>Fe</i> | <i>Ni</i> | <i>Mo</i> | <i>V</i> |
|-------------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Kaynak Bölgesi Katalog Kompozisyonu | 0,025    | 0,4       | 16        | 2         | 5,5       | -         | 76,1      | -         | -        |
| Kaynak Bölgesi EDS analizi          | 2,416    | 0,778     | 11,119    | 12,074    | 4,553     | 34,517    | 34,543    | -         | -        |
| Ana Malzeme Katalog Kompozisyonu    | 0,714    | -         | 1,094     | -         | 0,568     | 94,969    | 1,423     | 1,094     | 0,138    |

DM-1 numunesinin XRD testinden elde edilen sonuçlar Şekil 5.1.' de görülmektedir. Kaplama bölgesinin yüzeyinden yapılan XRD analizi sonrası, 49.6834° ye denk gelen pikin Ni, Fe-Ni katı çözeltisi ve  $M_{23}C_6$  fazlarını içerdiği, 45,5532° ye denk gelen pikin Ni, Fe-Ni katı çözeltisi ve  $M_{23}C_6$  fazlarını içerdiği ve son olarak 73,8424° ye denk gelen pikin ise Ni ve  $M_{23}C_6$  fazlarını içerdiği görülmektedir. Yüksek Cr oranına sahip Nikel bazlı alaşımlarda,  $M_{23}C_6$  olarak adlandırılan karbürde ki M harfi genellikle "Cr" elementini temsil etmektedir [38].

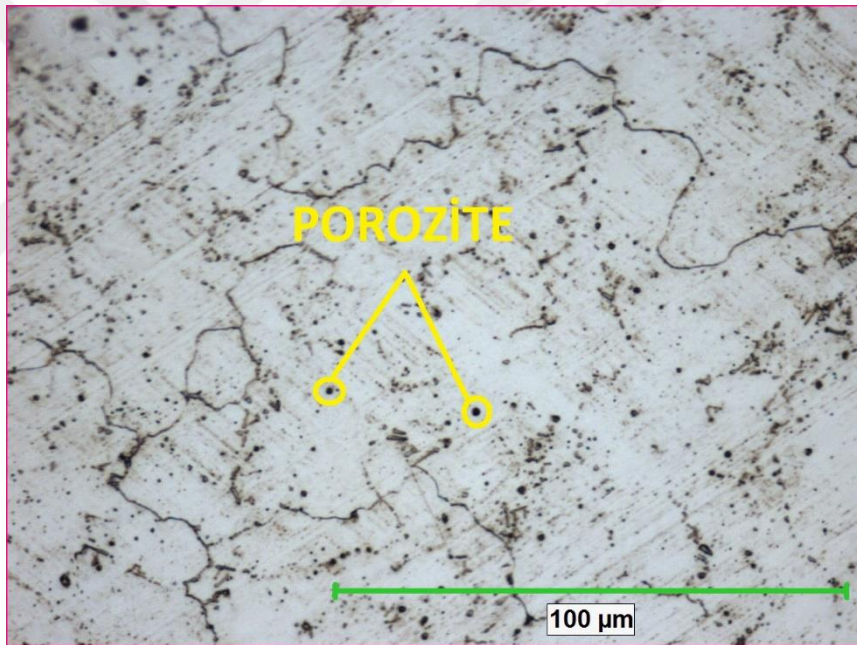


**Şekil 5.1.** DM-1 XRD grafiği

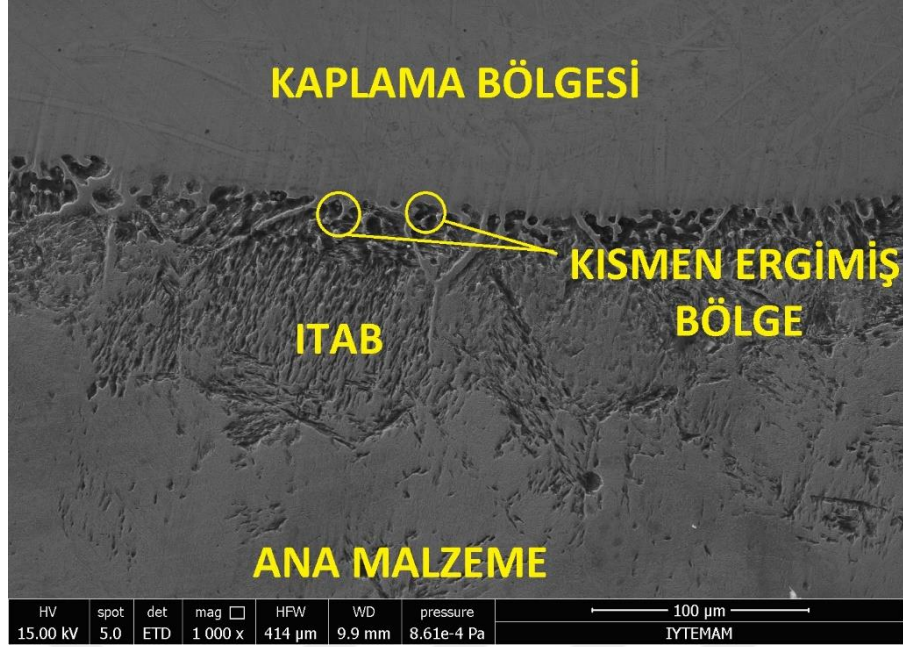
Mikroyapı incelemeleri için numunenin optik mikroskop ve SEM altında fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 5.2. (a) ve (b) de optik mikroskop görüntüleri, (c) de ise kesit SEM görüntüsü verilmiştir. Fotoğraflar incelendiğinde dolgu malzemesinin dendritik olarak katılaştığı görülmektedir [39]. Ayrıca katılaşma sırasında içyapıda oluşan baloncuklar malzemeyi terk edemediği için porozite oluşumu gözlemlenmiştir (Şekil 5.2. (b)) [40]. Yüzeyde çatlak tespit edilmemiştir. Şekil 5.2. (c)' de verilen kesit incelendiğinde dört bölümden oluştuğu görülmektedir. İlk bölge nikelce zengin dendrit fazına ve interdendritik fazına sahip olan kaplama bölgesidir. İkinci bölge kısmen ergimiş bölgedir. Üçüncü bölge ısı tesiri altında bölge olarak bilinen ITAB' tır. Dördüncü ve son bölge ise dövme işlemi için kullanılan ana malzemedir [41].



(a)



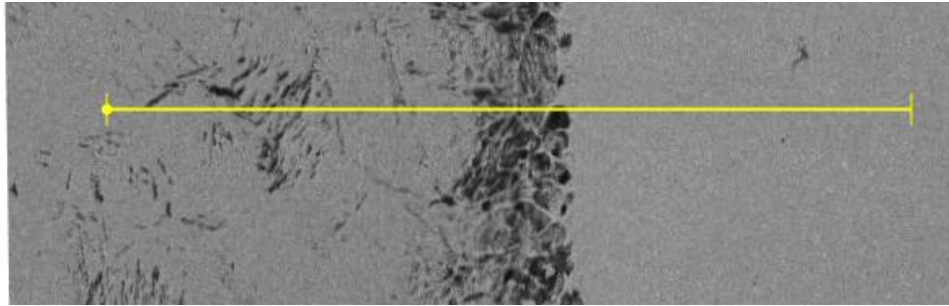
(b)



(c)

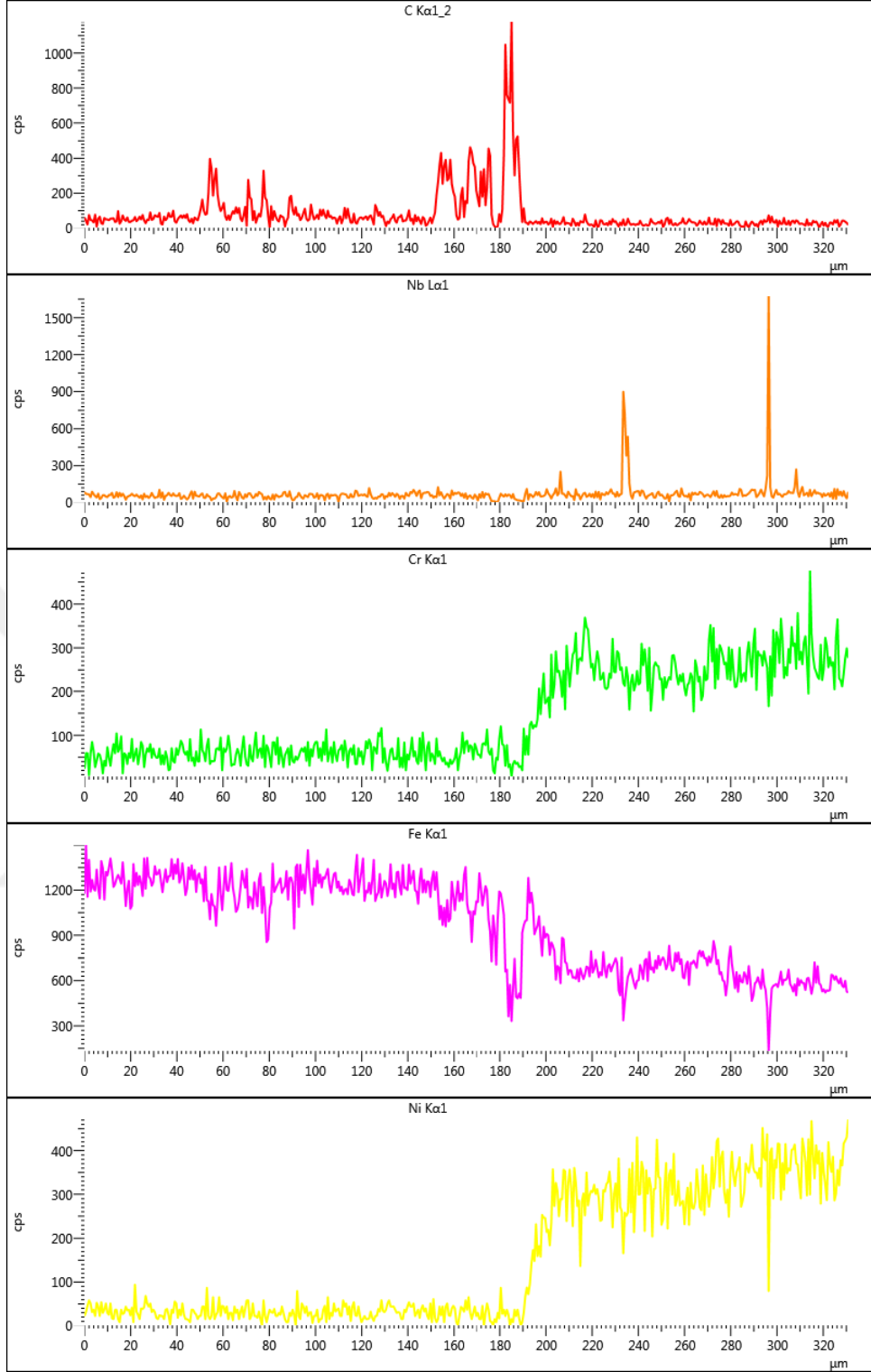
**Şekil 5.2.** Kaplama bölgesi (a) 100x yüzey görünüşü, (b) 500x yüzey görünüşü, kesit (c) SEM görünüşü

Kesit bölgesinde yapılan çizgi analizi incelendiğinde (Şekil 5.3. ve Şekil 5.4.), kaynak işlemi sırasında meydana gelen ısı artışı ile birlikte, C atomlarının geçiş bölgesine doğru difüze olduğu ve bu bölgede ki C miktarının artış gösterdiği görülmektedir. Bu artışın karbür oluşumunu desteklediği düşünülmektedir [42].



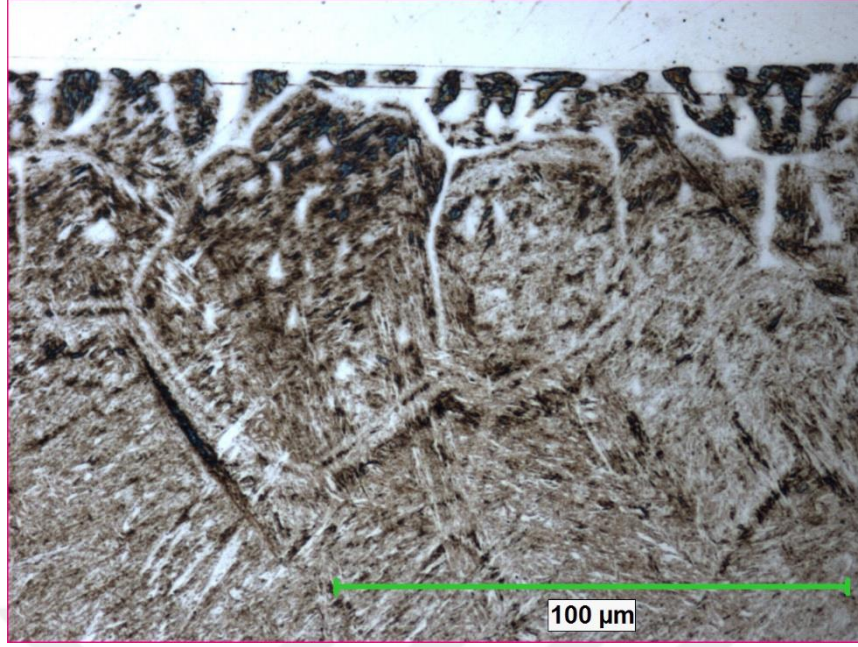
**Şekil 5.3.** DM-1 geçiş bölgesi SEM görüntüsü





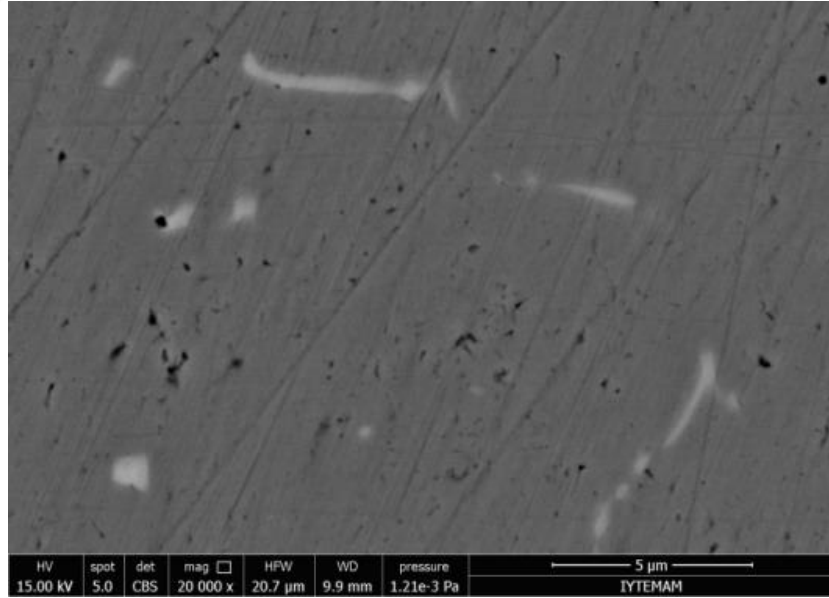
**Şekil 5.4.** DM-1 kesit boyunca çizgi analizi

Çizgi analizine ek olarak, optik mikroskop incelemesi sırasında kesitten alınan fotoğraflarda, nüfuziyeti açıkça göstermektedir (Şekil 5.5.).



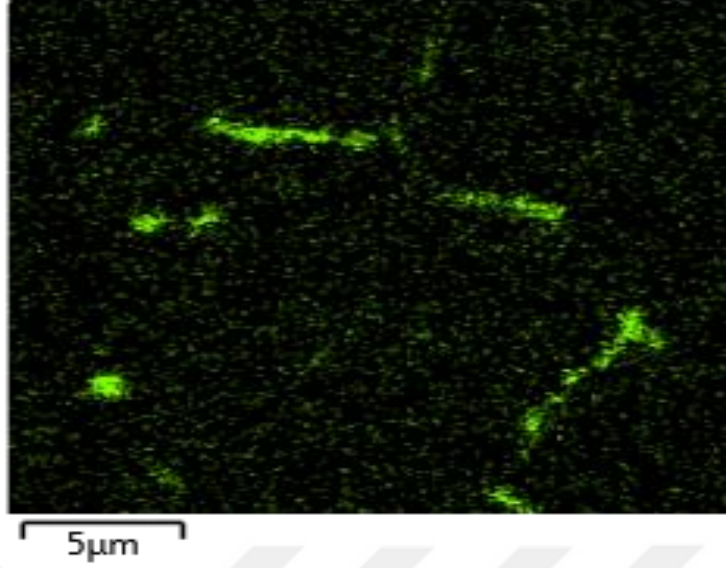
Şekil 5.5. Optik mikroskop nüfuziyet görünüşü

Şekil 5.6. (a) ve (b) de görüldüğü gibi kaplama bölgesi Nb elementince zengin bölgelere sahiptir. Ayrıca bu bölgelerde C oranının da yüksek olması (Tablo 5.2.) karbür oluşumu düşüncesini desteklemektedir.



(a)

### Nb L $\alpha$ 1



(b)

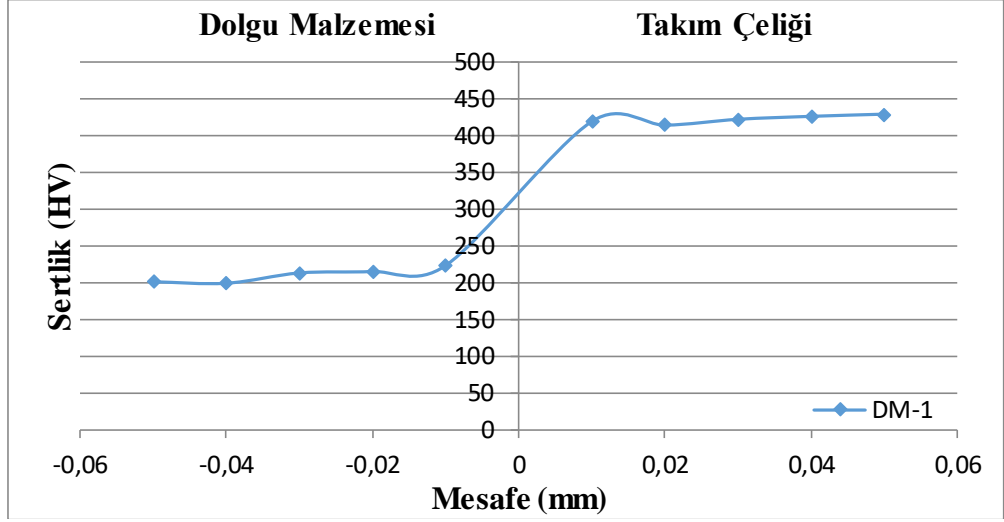
Şekil 5.6. Kaplama yüzeyi mapping analizi Nb elementel dağılımı

Tablo 5.2. Yüzey mapping analizi yüzdece elementel dağılım

|                | <b>Nb particle</b> |
|----------------|--------------------|
| <b>Element</b> | Wt%                |
| <b>C</b>       | 12.38              |
| <b>Si</b>      | 0.21               |
| <b>Cr</b>      | 6.65               |
| <b>Mn</b>      | 2.16               |
| <b>Fe</b>      | 13.30              |
| <b>Ni</b>      | 9.67               |
| <b>Nb</b>      | 55.63              |
| <b>Total:</b>  | 100.00             |

#### 5.1.2. Dolgu Malzemesi-1 Sertlik İncelemesi

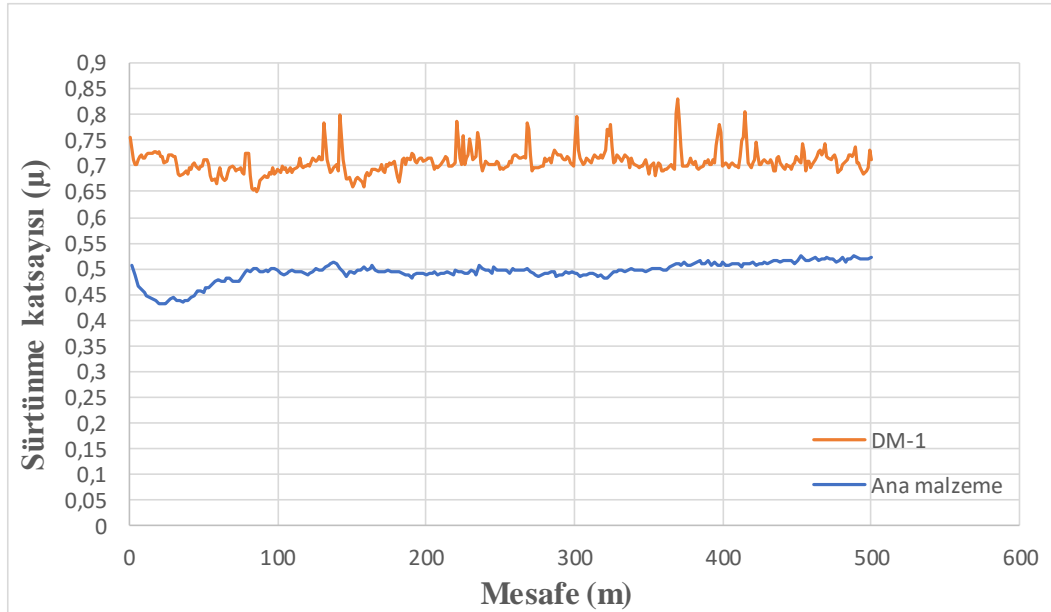
Kullanılan numuneler arasında en düşük sertliğe sahip olan numune DM-1'dir. Sertlik değeri ortalama 210 HV ölçülmüştür. Şekil 5.7. 'de mesafeye bağlı olarak çizilmiş sertlik grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde ana malzemenin sertliğinin de ortalama 436 HV olduğu görülmektedir.



Şekil 5.7. DM-1 sertlik – mesafe grafiği

### 5.1.3. Dolgu Malzemesi-1 Aşınma Dayanımı İncelemesi

Aşınma miktarı yorumlamasında kullanılan parametrelerden biri ortalama sürtünme katsayısıdır. Ortalama sürtünme katsayısı ile aşınma doğru orantılı değerlerdir. Şekil 5.8.' de ki sürtünme katsayısı mesafe grafiği incelendiğinde DM-1 in ortalama sürtünme katsayısı  $\mu = 0,706$  iken, ana malzemenin değeri  $\mu = 0,492$ ' dir.  $\mu$  değeri ile aşınma miktarı doğru orantılı olduğundan, DM-1' in ana malzemeden daha fazla aşındığı yorumu yapılabilir.



Şekil 5.8. DM-1 ve anamalzeme sürtünme katsayısı – mesafe grafiği

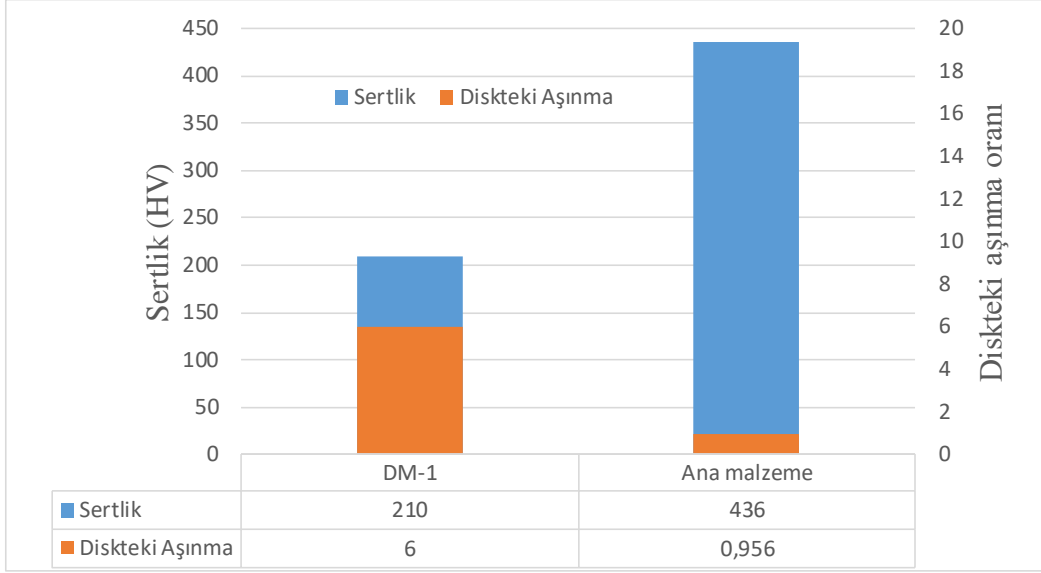
Dövme kalıbına kaynaklanacak elektrodun seçiminde kullanılan bir diğer özellikte, çalışma sırasında sertleşme oranı diyebileceğimiz FIWH (Friction Induced Work Hardening)'dır. Sertlik cihazında 300 gf' da aşınma testinden önce ve sonra alınan ölçümler sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.3.' te verilmiştir. Bu tabloya göre DM-1'in başlangıç sertliği 177 HV iken 500 m aşınma işleminden sonra sertlik değeri %72 artarak 630 HV ölçülmüştür. Ana malzemenin ise başlangıç sertliği 433 HV iken aşınma sonrası %22 artarak 558 HV olmuştur. Aşınma-sürtünme testi sırasında sürtünmenin tetiklediği soğuk deformasyon sertleşmesinin aşınma testi sonrası sertlik artışından sorumlu olduğu söylenebilir.

Başlangıçta DM-1 düşük sertliğe sahip olması nedeniyle kaynağa uygun görülmesi de, çalışma sırasında %70 oranında sertleşmesi ve buna bağlı olarak aşınma direncinin yükseleceğinin düşünülmesi nedeniyle tamir-bakım uygulamalarında tercih edilebilir konuma gelmiştir.

**Tablo 5.3.** DM-1 ve ana malzeme FIWH oranları

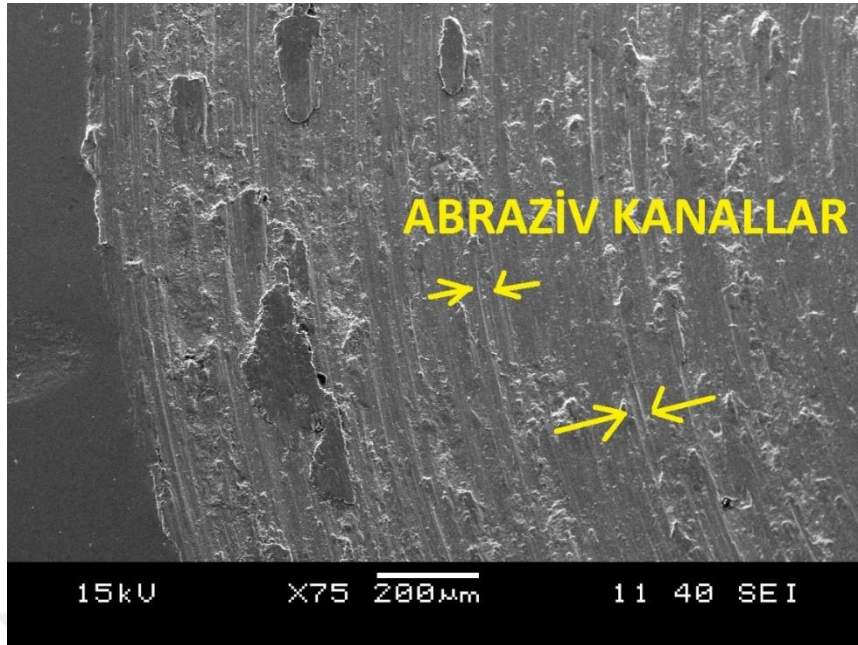
| NUMUNE             | Aşınma Öncesi Sertlik (300 gf) | Aşınma Sonrası Sertlik (300 gf) | FIWH (%) |
|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------|
| <b>DM-1</b>        | 177                            | 630                             | 72       |
| <b>Ana Malzeme</b> | 433                            | 558                             | 22       |

Sertlik ve diskteki aşınma oranını bir arada gösteren grafik Şekil 5.9. ' da verilmiştir. Hem DM-1 hem de ana malzemenin sertlik ve aşınma oranları incelendiğinde, sertliği düşük olan DM-1' in daha çok aşındığı görülmektedir.

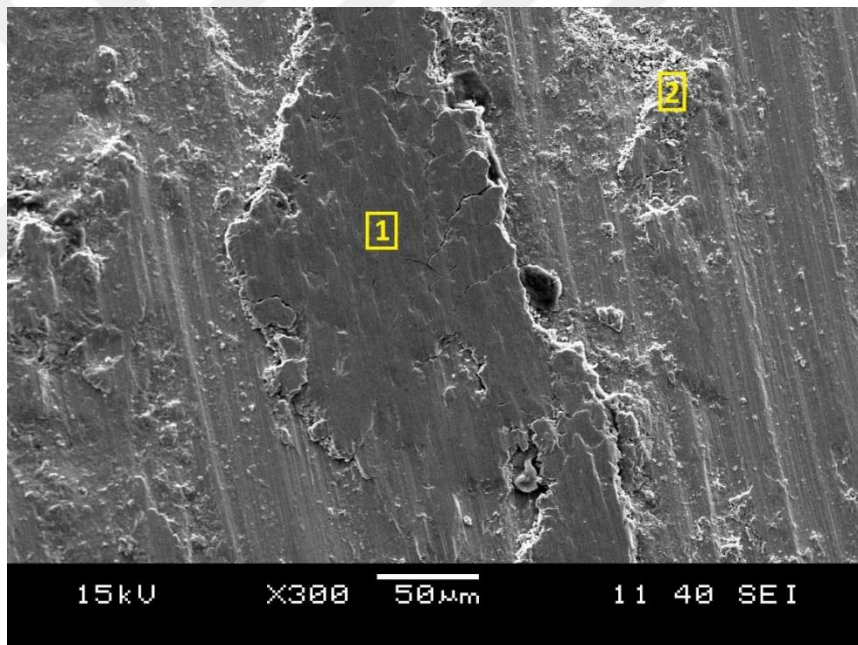


**Şekil 5.9.** Sertlik ve diskteki aşınma oranını birlikte gösteren grafik

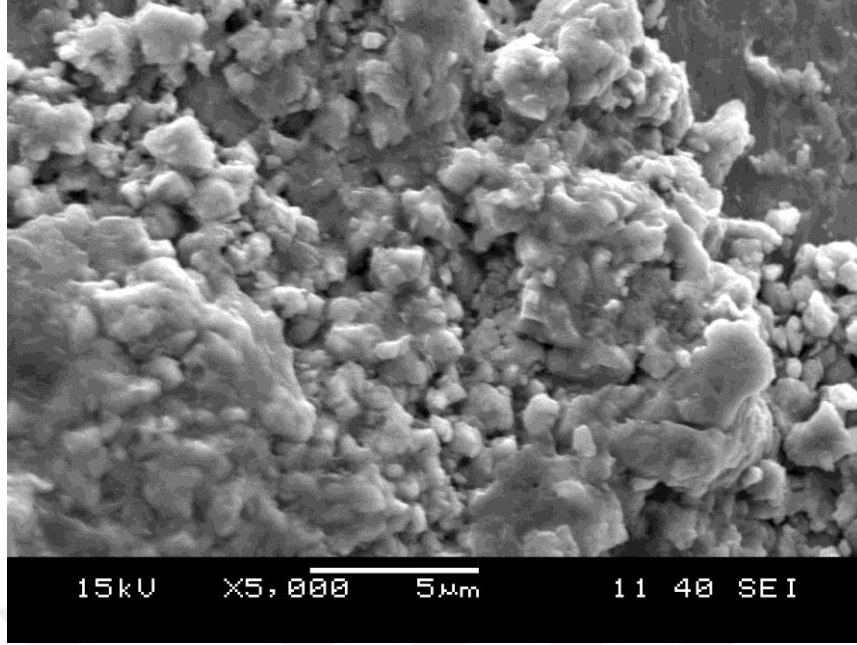
Aşınma testi sonrasında yapılan SEM incelemeleri Şekil 5.10. da verilmiştir. Şekil 5.10. (a) incelendiğinde numunenin yüzeyinde abraziv kanallar oluştuğu görülmektedir [41]. Genel olarak abraziv karakterli aşınma sergileyen DM-1 numunesinin, yüzeyinden tabakalar halinde parça koptuğu görülmektedir (Şekil 5.10. (b)). Ek olarak bazı bölgelerde de, kopan partiküllerin, tekrar numuneye yapıştığı görülmektedir (Şekil 5.10. (c)). Tablo 5.4. te ki EDS analizleri incelendiğinde, spektrum 1' de eser miktarda olan Al-O elementleri, spektrum' 2 de nispeten daha fazladır. Bu da, bilyadan kopan aşınma partiküllerinin spektrum 2 bölgesine yapıştığı düşüncesini ortaya çıkarmaktadır.



(a)



(b)



(c)

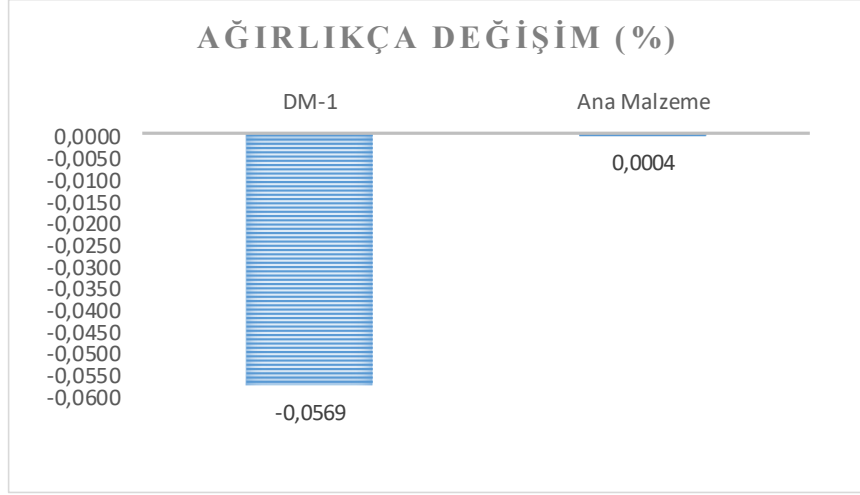
Şekil 5.10. Aşınma testi sonrası SEM görüntüleri (a), (b), (c)

Tablo 5.4. Aşınma testi sonrası EDS spektrum analizi

|               | Spektrum 1 | Spektrum 2 |
|---------------|------------|------------|
| Element       | Wt%        | Wt%        |
| C             | 2.234      | 7.856      |
| Si            | 1.159      | 1.107      |
| Cr            | 10.648     | 10.617     |
| Mn            | 4.058      | 3.941      |
| Fe            | 38.679     | 34.435     |
| Ni            | 30.834     | 28.020     |
| Nb            | 11.387     | 11.987     |
| Al            | 0.273      | 0.777      |
| O             | 0.728      | 1.260      |
| <b>Total:</b> | 100.00     | 100.00     |

Aşınmanın bir diğer ölçütü de ağırlık değişimidir. Daha çok aşınan malzeme daha çok ağırlık kaybeder diye düşünülebilir. Şekil 5.11. de ki grafiği sayısal olarak ifade edecek olursak, DM-1 % 0,0569 ağırlık kaybederken, ana malzemede % 0,0004 ağırlık artışı meydana gelmiştir. Sertliği düşük olan DM-1 numunesinin, ana malzeme numunesi karşısında daha çok ağırlık kaybetmesi beklenen bir sonuçtur.





**Şekil 5.11.** DM-1 ve ana malzemenin ağırlık değişimi değerleri

## 5.2. Dolgu Malzemesi-2

### 5.2.1. Dolgu Malzemesi-2 Mikroyapı İncelemesi

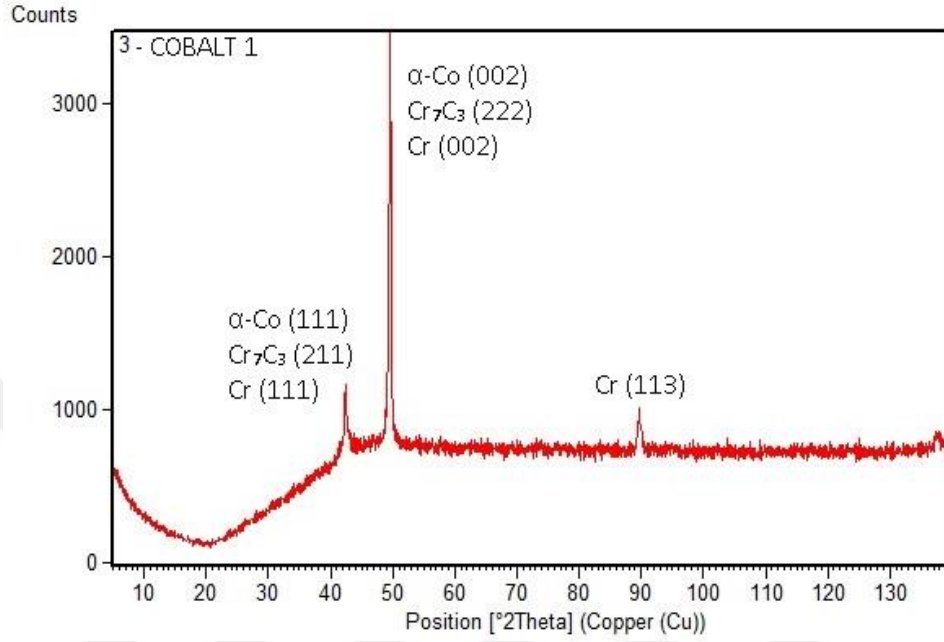
Bu bölümde DM-2 kaplaması incelenecektir. Elektrotun Tablo 5.5. te sırasıyla katalog kimyasal kompozisyonu, EDS analizi ve ana malzemenin katalog kimyasal kompozisyonu verilmiştir. Kaplamanın katalog kimyasal bileşimi incelendiğinde yüksek oranda Cr ve W içerdiği görülmektedir. Bu iki element de karbür yapıcı özelliğe sahiptir. Kaplamanın EDS analizi incelendiğinde ise kaynak işlemi sırasında artan sıcaklık yardımıyla yüksek oranda C ve Fe elementlerinin difüze olduğu açıkça görülmektedir. C elementinin artışı, karbür oluşumunu destekler niteliktedir. Artan karbür oranının da, sertliği ve aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir.

**Tablo 5.5.** DM-2 ve ana malzeme kimyasal kompozisyonu

|                                     | <i>C</i> | <i>W</i> | <i>Cr</i> | <i>Co</i> | <i>Mn</i> | <i>Fe</i> | <i>Ni</i> | <i>Mo</i> | <i>V</i> |
|-------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Kaynak Bölgesi Katalog Kompozisyonu | 2,1      | 13       | 31        | 53,9      | -         | -         | -         | -         | -        |
| Kaynak Bölgesi EDS analizi          | 7,55     | 11,70    | 21,78     | 30,34     | -         | 28,63     | -         | -         | -        |
| Ana Malzeme Katalog Kompozisyonu    | 0,714    | -        | 1,094     | -         | 0,568     | 94,969    | 1,423     | 1,094     | 0,138    |

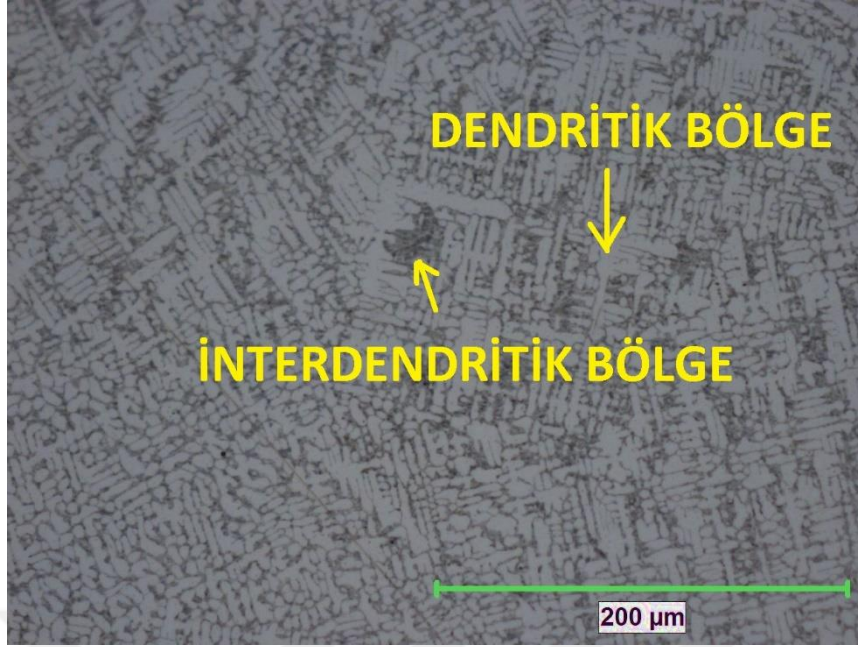
DM-2 elektrodunun XRD analizi Şekil 5.12. de verilmiştir. Analizde de görüleceği üzere kaplama  $\alpha$ -Co ve  $Cr_7C_3$  fazlarına sahiptir. Mikroyapı görüntüleri ile bağlantı kurulacak olursa, dendritik bölgelerin  $\alpha$ -Co fazı içerdiği, interdendritik

bölgelerin ise  $Cr_7C_3$  fazı içerdiği düşünülmektedir. Ayrıca DM-2 kaplamasının XRD analizinde gözükmemiş olsa da, içyapıda WC fazının olduğu da düşünülmektedir.  $Cr_7C_3$  ve WC karbürlerinin analiz sırasında aynı açıda yansıma vermesi nedeniyle WC' ün görülmediği düşünülmektedir.

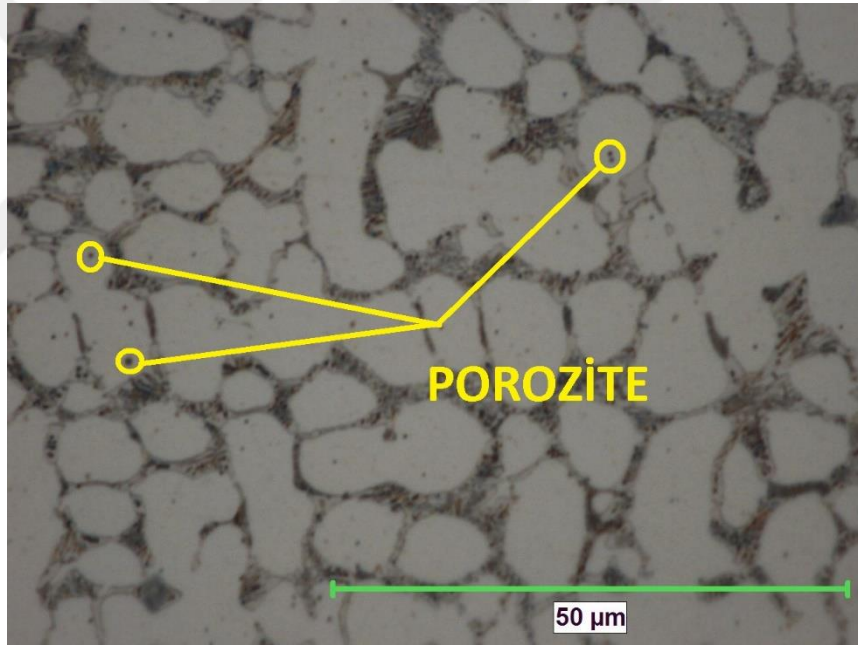


Şekil 5.12. DM-2 XRD Grafiği

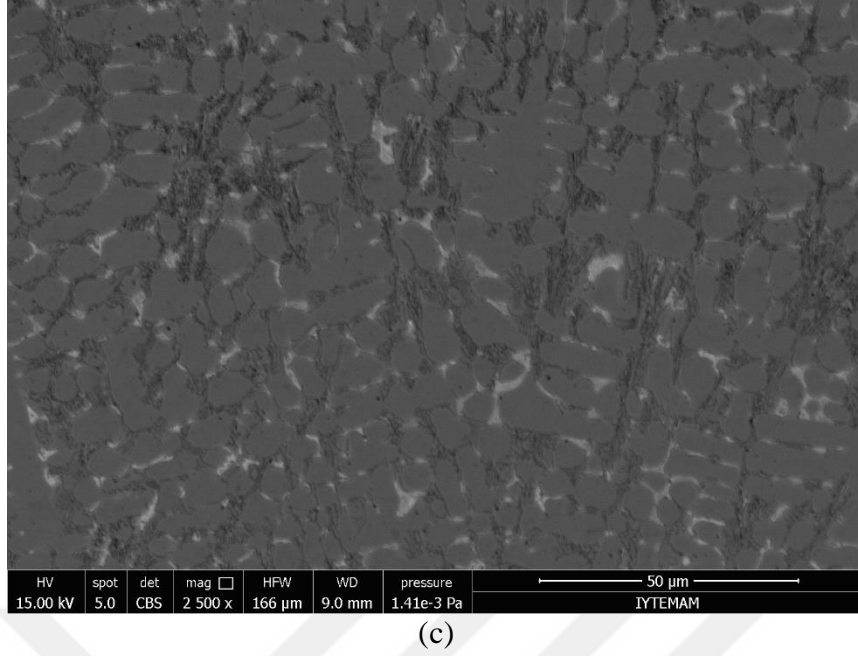
Kaplama malzemesinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.13. (a) - (b)' de, SEM görüntüsü ise Şekil 5.13. (c)' de verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde kaplamamın içyapısının dendritik özellik gösterdiği, interdendritik bölgelerde yüksek miktarda ikinci faz partiküllerinin olduğu (Şekil 5.13. (c) beyaz bölgeler) görülmüştür [43]. Ayrıca yüksek büyütmelede çekilen optik mikroskop görüntülerinde poroziteler tespit edilmiştir (Şekil 5.13. (b)) ve bu porozitelerin, dövme operasyonları sırasında delaminasyon oluşumunu arttıracakı düşünülmektedir.



(a)

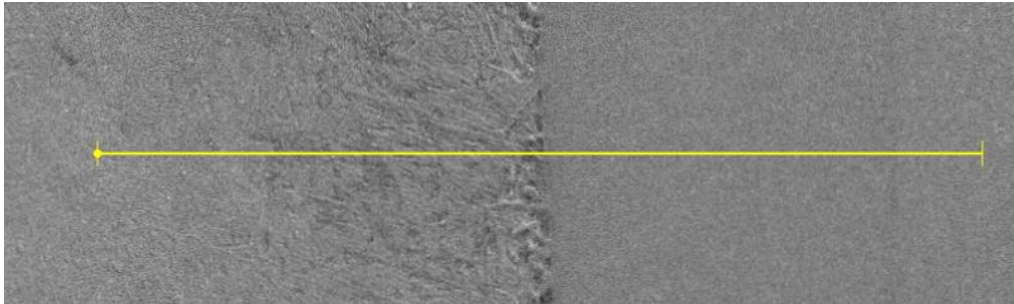


(b)

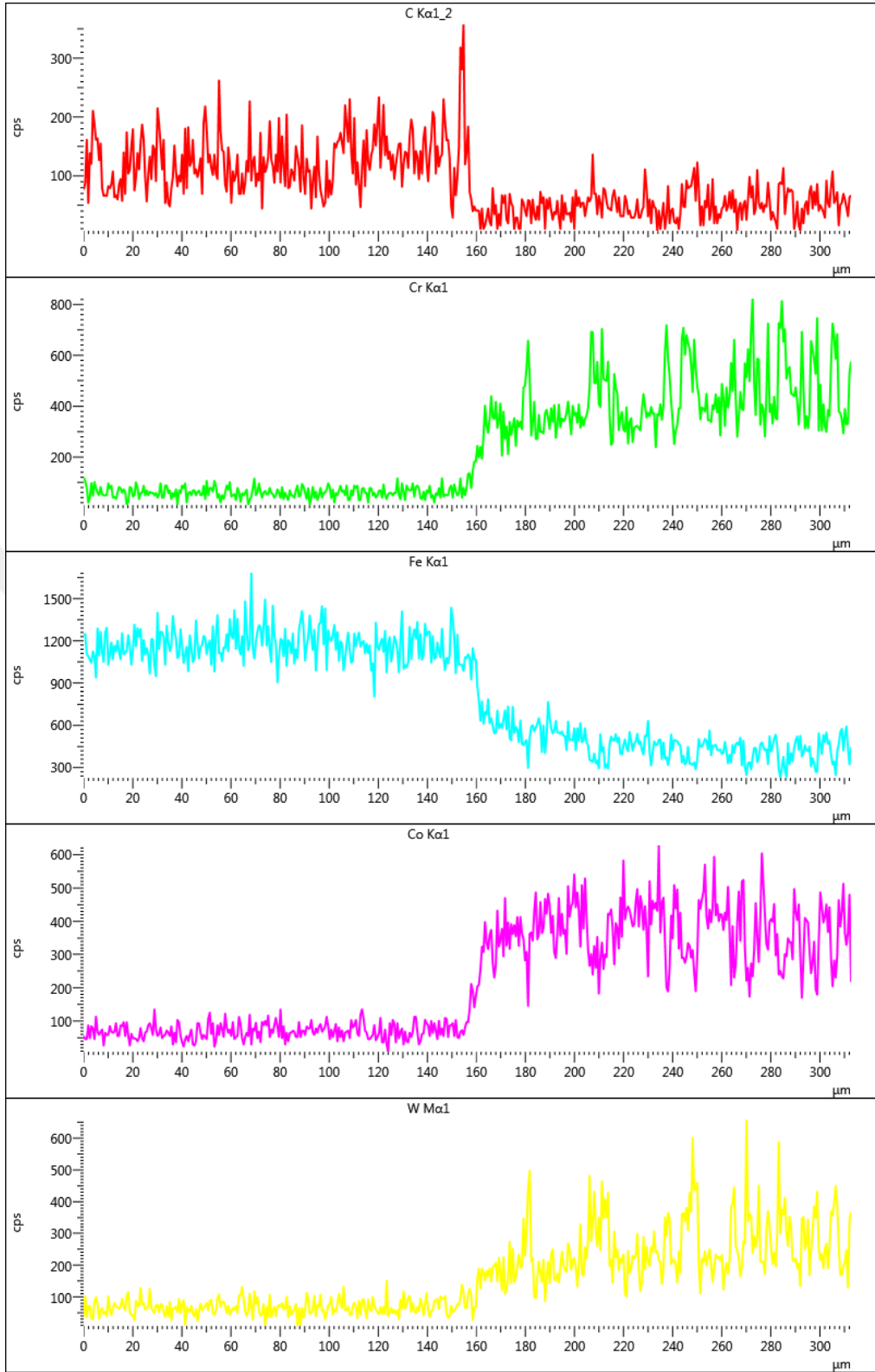


**Şekil 5.13.** Kaplama bölgesi (a) 200x yüzey görünüşü, (b) 1000x yüzey görünüşü, (c) SEM görünüşü

Şekil 5.14. ve Şekil 5.15. te DM-2 numunesinin kesitinden alınan çizgi analizi görülmektedir. Analize bakıldığında tam geçiş bölgesinde artan C oranı dikkat çekmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi difüzyon kaynaklı bu artış, XRD analizinde tespit edilen karbürleri doğrular niteliktedir ve arayüzeyde krom karbür ile tungsten karbürlerin oluşabileceğini göstermektedir.

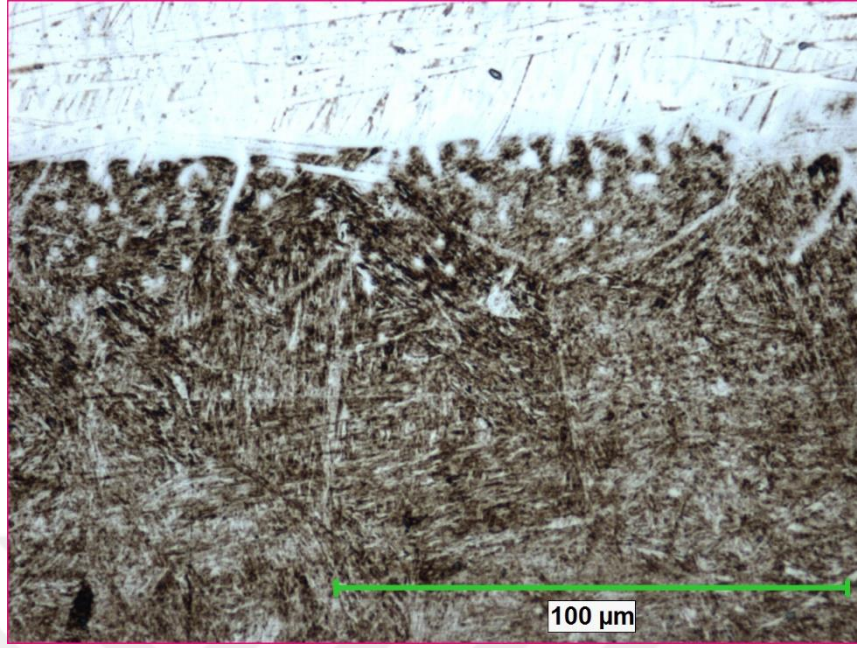


**Şekil 5.14.** DM-2 kaplamasının geçiş bölgesi SEM görüntüleri



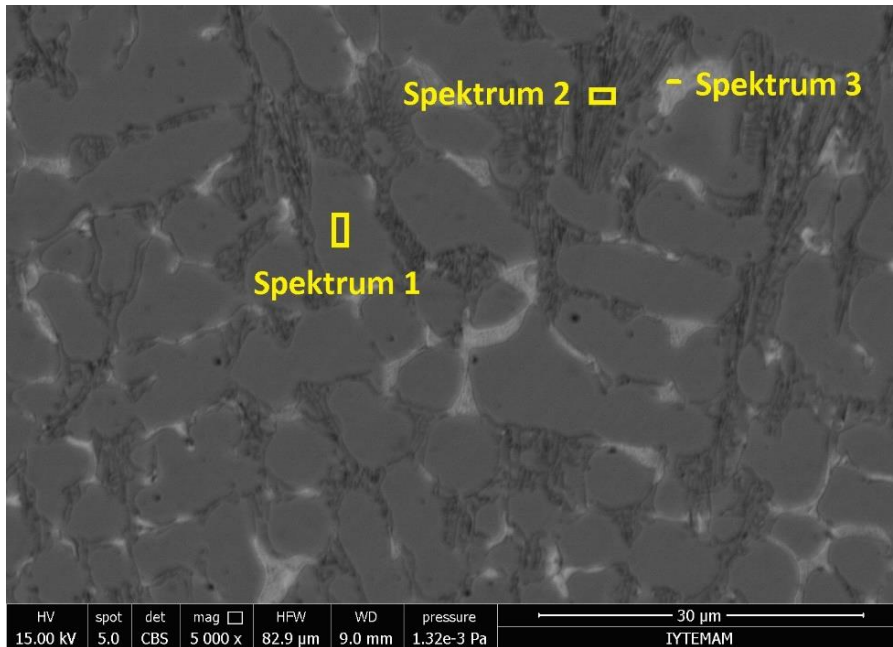
Şekil 5.15. DM-2 kesit çizgi analizi

Şekil 5.16. da ki optik mikroskop görüntüsü de difüzyonu desteklemektedir.

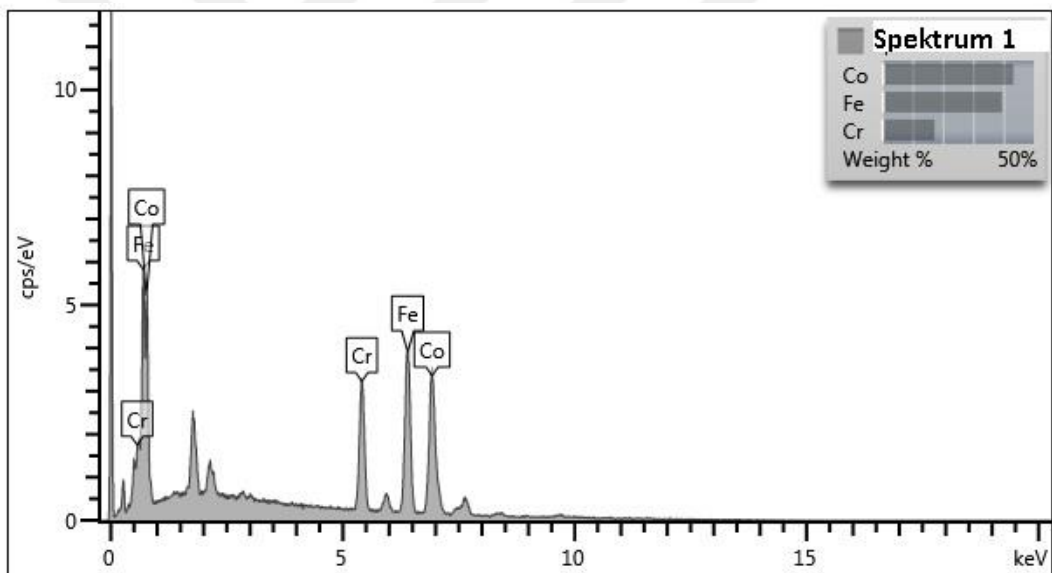


**Şekil 5.16.** Optik mikroskop nüfuziyet görünüşü

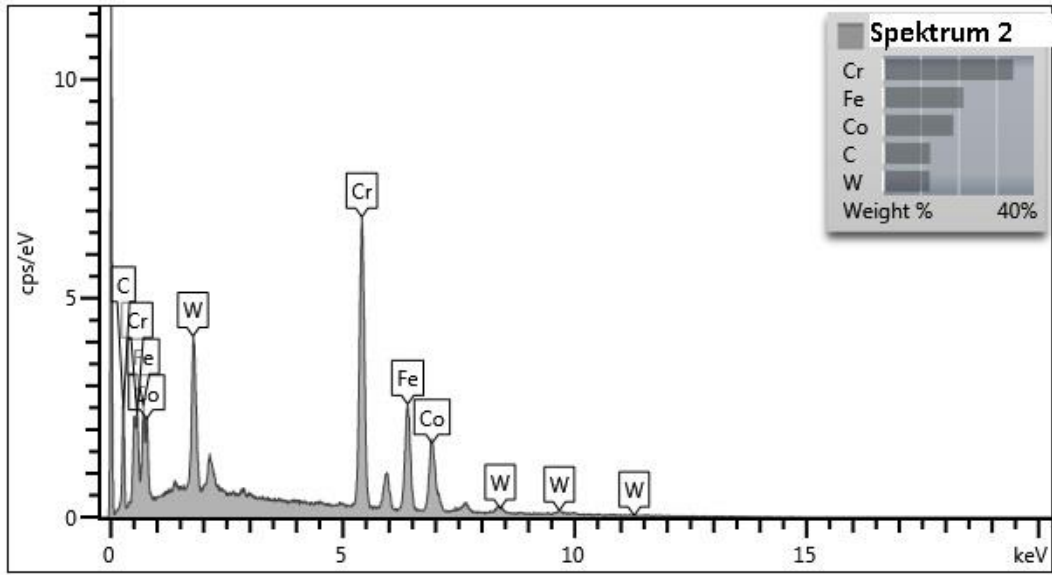
SEM analizi sırasında dolgu malzemesi yüzeyinden alınan EDS analizleri, Şekil 5.17. (a)' da verilmiştir. Spektrum 1 bölgesi (Şekil 5.17. (b)),  $\alpha$ -Co fazını temsil eden dendritik bölgedir. Bu bölgenin kimyasal kompozisyonu Tablo 5.6.' da verilmiştir. Spektrum 2 bölgesinin (Şekil 5.17. (c)) kimyasal kompozisyonu Tablo 5.6.' da verilmiştir. Tablo incelendiğinde bu bölgenin Cr, W ve C gibi elementlerce zengin, interdendritik bir bölge olduğu görülmektedir. XRD analizinde tespit edilen krom karbürlerin varlığı, yapılan spektrum analizi ile de desteklenmektedir. XRD analizi sırasında tungsten karbürün varlığı net bir şekilde tespit edilemese de, spektrum 3 noktasının (Şekil 5.17. (d)) elementel kompozisyonu (Tablo 5.6.) incelendiğinde beyaz bölgede W-ce zengin karbürlerin var olduğu anlaşılmaktadır. Özetle, Şekil 5.17. (a) incelendiğinde, koyu gri bölgeler krom karbürce zengin, açık gri bölgeler  $\alpha$ -Co' ca zengin, beyaz renkli bölgeler ise tungsten karbürce zengin denilebilir.



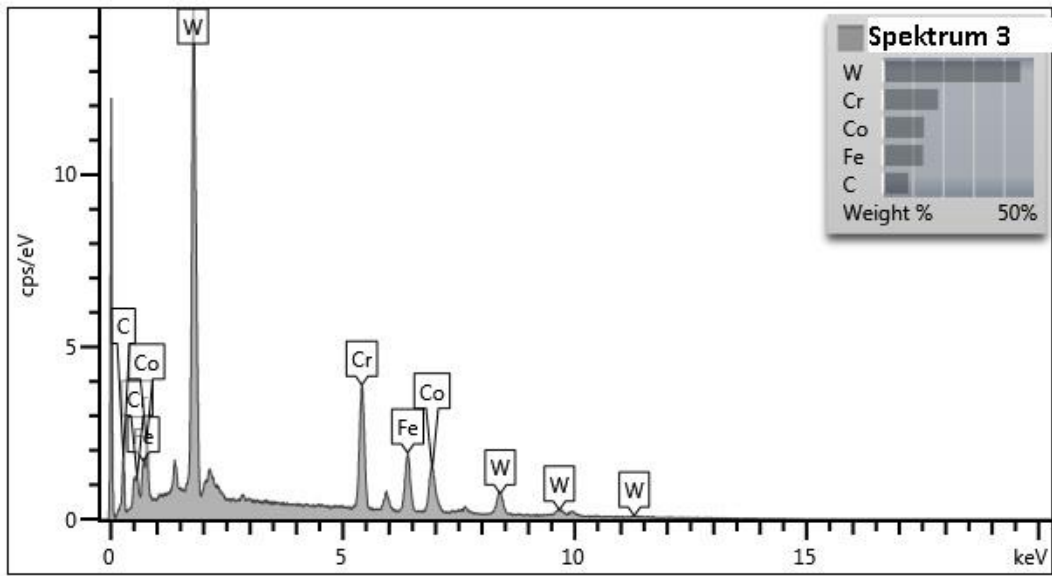
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.17. DM-2 için (a) genel, (b, c, d) grafiksel görünüş

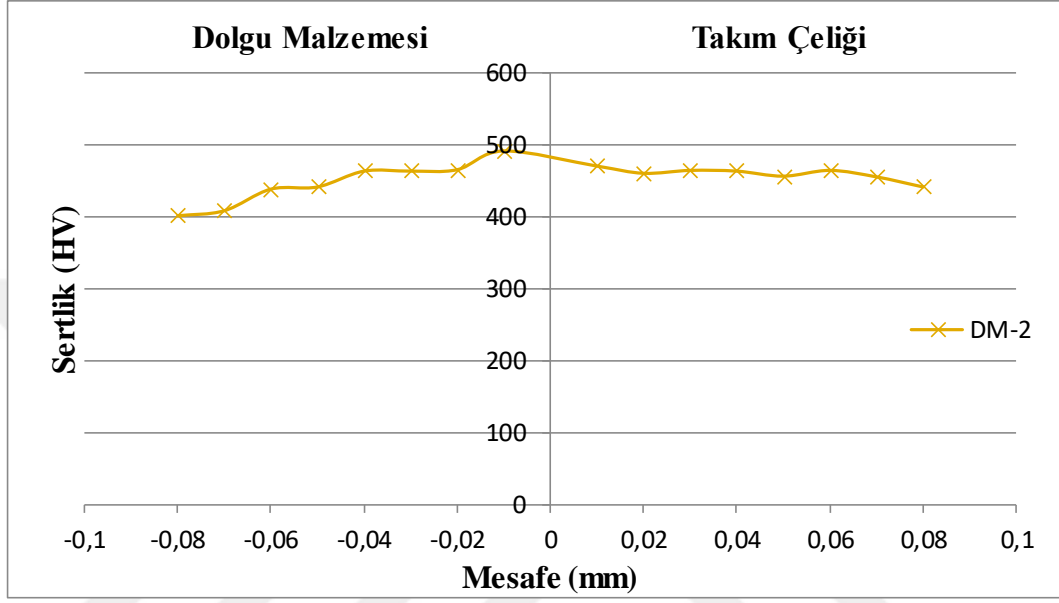
Tablo 5.6. Spektrum 1-2-3 kompozisyon

|               | Spektrum 1 | Spektrum 2 | Spektrum 3 |
|---------------|------------|------------|------------|
| Element       | Wt%        | Wt%        | Wt%        |
| C             | -          | 12.67      | 8.62       |
| Cr            | 17.26      | 34.60      | 18.45      |
| Fe            | 39.45      | 21.42      | 13.55      |
| Co            | 43.29      | 18.76      | 13.77      |
| W             | -          | 12.55      | 45.61      |
| <b>Total:</b> | 100.00     | 100.00     | 100.00     |



### 5.2.2. Dolgu Malzemesi-2 Sertlik İncelemesi

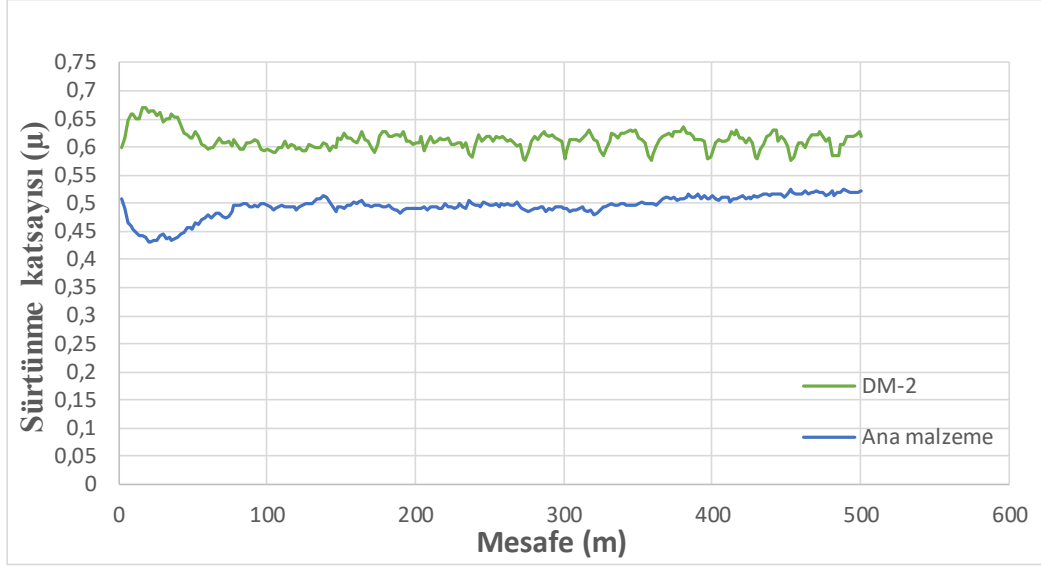
Sertlik – Mesafe grafiği Şekil 5.18. de verilen DM-2 numunesi, çalışılan numuneler arasında en yüksek sertliğe sahip numunedir ve ölçülen ortalama sertlik değeri 446 HV' dir. Daha önce belirtildiği gibi ana malzemenin ölçülen ortalama sertlik değeri ise 436 HV' dir.



Şekil 5.18. DM-2 sertlik – mesafe grafiği

### 5.2.3. Dolgu Malzemesi-2 Aşınma Dayanımı İncelemesi

DM-2 ve ana malzemenin sürtünme katsayısı – mesafe grafiği Şekil 5.19. da verilmiştir. Grafik incelendiğinde DM-2'nin sürtünme katsayısı yaklaşık 50 m boyunca artış eğilimindeyken, ana malzemenin ki azalma eğilimindedir. 50 m – 100 m arası her iki malzeme de başlangıç sürtünme katsayısı değerine doğru yönelmiştir. 100 m – 500 m arası ise başlangıç değerine yakın doğrultuda seyretmiştir.



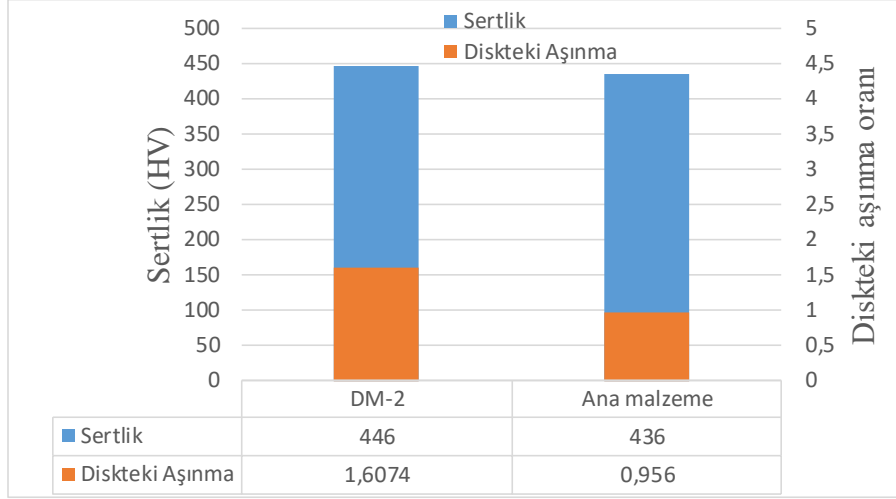
**Şekil 5.19.** DM-2 ve ana malzeme sürtünme katsayısı – mesafe grafiği

Çalışma sırasındaki sertleşme oranı (FIWH) DM-2 için Tablo 5.7. de verilmiştir. Tabloya göre başlangıç sertliği 445 HV olan DM-2 numunesinin, 500 m aşındırıldıktan sonra ki sertliği % 34 artarak 675 HV olmuştur. Benzer şekilde başlangıç sertliği 433 HV olan ana malzeme numunesinin, 500 m aşındırıldıktan sonra ki sertliği % 22 artarak 558 HV olmuştur. Sertleşmeye bağlı olarak, aşınma direncinin zamanla artacağı yorumu yapılabilir.

**Tablo 5.7.** DM-2 ve ana malzeme FIWH oranları

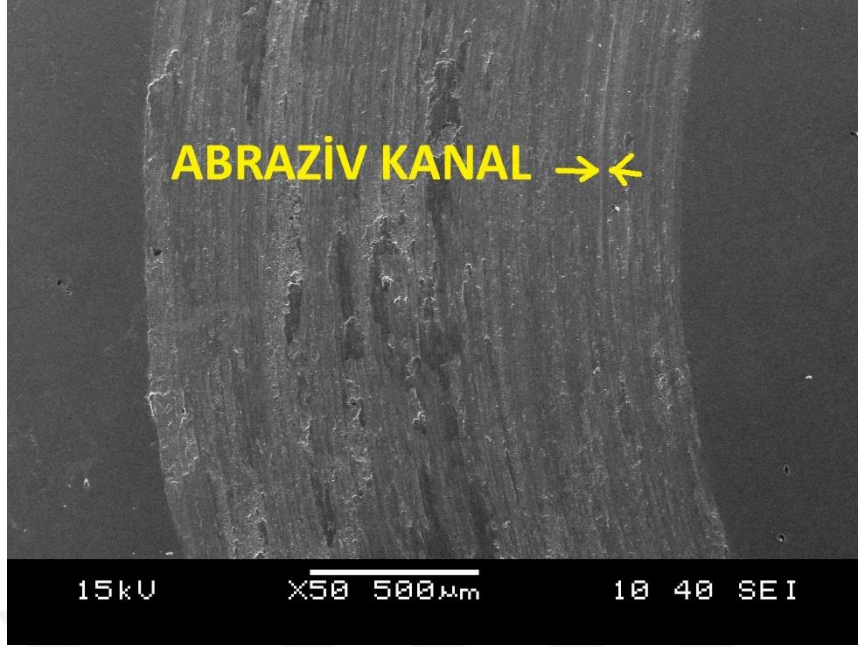
| NUMUNE      | Aşınma Öncesi Sertlik (300 gf) | Aşınma Sonrası Sertlik (300 gf) | FIWH (%) |
|-------------|--------------------------------|---------------------------------|----------|
| DM-2        | 445                            | 675                             | 34       |
| Ana Malzeme | 433                            | 558                             | 22       |

Şekil 5.20. de sertlik ve diskteki aşınma oranını bir arada gösteren grafik verilmiştir. Kaplama bölgesi ve takım çeliği birbirine yakın sertlik değerleri göstermelerine rağmen, kaplama bölgesi, takım çeliğinden 1.5 kat fazla aşınmıştır. Kaplama bölgesinden aşınma testi sırasında kopan sert partiküller, aşındırıcı etki yapmıştır.

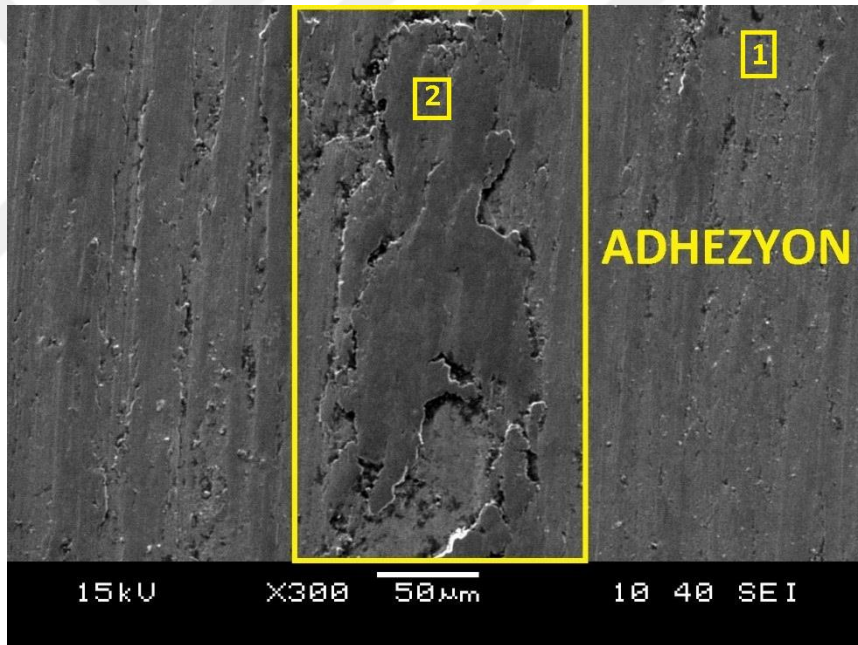


**Şekil 5.20.** Sertlik ve diskteki aşınma oranını birlikte gösteren grafik

Aşınma işlemi sırasında oluşan abraziv kanallar Şekil 5.21. (a)' da görülmektedir [41]. Şekil 5.21. (b)' de ise, işlem esnasında numune yüzeyine yapışan partiküller görülmektedir. Zaten aşınma sırasında iki yüzey arasında malzeme transferi olması bilinen bir durumdur. Şekil 5.21. (b)' de ki belirli bölgelerden yapılan spektrum analizi sonucu elde edilen veriler Tablo 5.8. de verilmiştir. Tablo incelendiğinde, spektrum 2 bölgesinde yüksek oranda Al-O elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. Bu duruma aşındırıcı bilyadan kopan partiküllerin, numunenin yüzeyine yapışmasının neden olduğu düşünülmektedir, bu tip aşınma-yapışma olayı da adhezyon olarak adlandırılmaktadır.



(a)



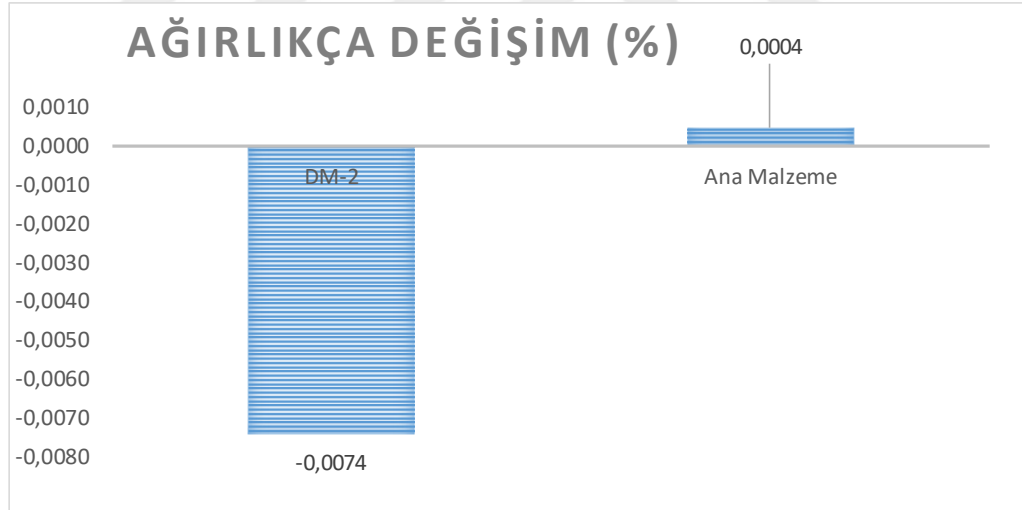
(b)

Şekil 5.21. DM-2 aşınma SEM görüntüleri (a) Abrasiv kanal (b) Adhezyon

**Tablo 5.8.** DM-2 aşınma bölgesinde spektrum analizi

|                | <b>Spektrum 1</b> | <b>Spektrum 2</b> |
|----------------|-------------------|-------------------|
| <b>Element</b> | <b>Wt%</b>        | <b>Wt%</b>        |
| <b>Co</b>      | 29.426            | 27.488            |
| <b>W</b>       | 8.770             | 10.196            |
| <b>Cr</b>      | 19.837            | 20.097            |
| <b>C</b>       | 0.943             | 1.643             |
| <b>Fe</b>      | 40.510            | 36.866            |
| <b>Mn</b>      | 0.430             | 0.269             |
| <b>Al</b>      | 0                 | 1.595             |
| <b>O</b>       | 0.084             | 1.846             |
| <b>Total:</b>  | 100.00            | 100.00            |

DM-2 ve ana malzemenin yüzde olarak ağırlık değişimi değerleri Şekil 5.22. de verilmiştir. DM-2 % 0,0074 ağırlık kaybederken, ana malzemede % 0,0004 ağırlık artışı meydana gelmiştir. Nispeten daha düşük sertliğe sahip DM-2 numunesinin, daha sert olan ana malzemeye göre daha çok ağırlık kaybı yaşaması beklenen bir durumdur. Ana malzemede ki ağırlık artışına, aşınma testi sırasında numuneden ve bilyadan kopan partiküllerin tekrar numuneye yapışmasının neden olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 5.22.** DM-2 ve ana malzemenin ağırlık değişimi değerleri

### 5.3. Dolgu Malzemesi-3

#### 5.3.1. Dolgu Malzemesi-3 Mikroyapı İncelemesi

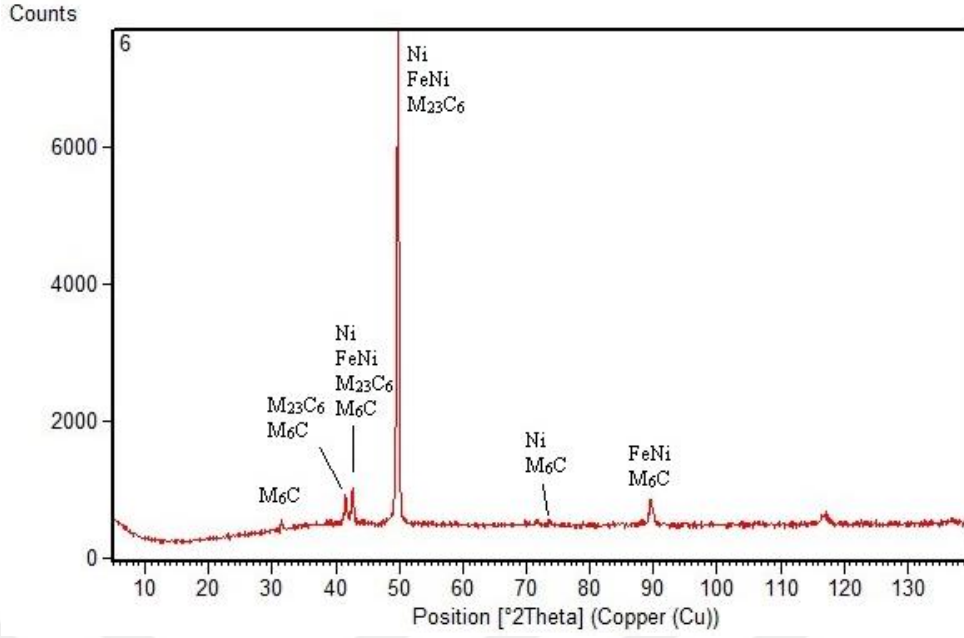
Bu bölümde DM-3 kaplamasının sonuçları incelenecektir. Elektrodun sırasıyla katalog kimyasal kompozisyonu, EDS analizi ve ana malzemenin katalog kimyasal kompozisyonu Tablo 5.9. da verilmiştir. Kaplamanın katalog kimyasal kompozisyonu incelendiğinde yüksek oranda Cr, W, Mo ve Nb elementlerini içerdiği görülmektedir.

Bu elementlerin ortak özellikleri karbür yapıcı olmalıdır. Kaplamanın EDS analizi ise, kaynak işlemi sırasında artan sıcaklık yardımıyla yüzeyler arasında karşılıklı malzeme transferi olduğunu göstermektedir. Tabloda ki değerler incelendiğinde kabaca takım çeliğinden dolgu malzemesine C ve Fe elementlerinin geçiş yaptığı söylenebilir.

**Tablo 5.9.** DM-3 ve ana malzeme kimyasal kompozisyonu

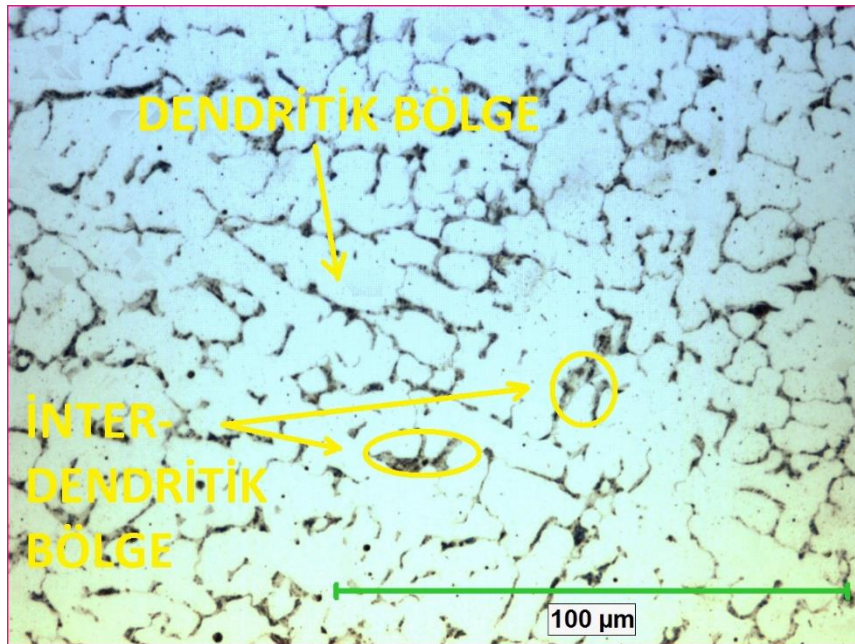
|                                     | <i>C</i> | <i>W</i> | <i>Cr</i> | <i>Nb</i> | <i>Mn</i> | <i>Fe</i> | <i>Ni</i> | <i>Mo</i> | <i>V</i> |
|-------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Kaynak Bölgesi Katalog Kompozisyonu | <0,1     | <8       | 15-30     | <4        | <1,5      | -         | Kalan     | <28       | <1       |
| Kaynak Bölgesi EDS analizi          | 0,828    | 3,414    | 13,733    | 1,663     | 0,415     | 24,186    | 32,513    | 22,596    | 0,447    |
| Ana Malzeme Katalog Kompozisyonu    | 0,714    | -        | 1,094     | -         | 0,568     | 94,969    | 1,423     | 1,094     | 0,138    |

DM-3 numunesinin XRD testinden elde edilen sonuçlar Şekil 5.23. te görülmektedir. Kaplama bölgesinin yüzeyinden yapılan XRD analizi sonrası, en büyük pikin Ni, Fe-Ni katı çözeltilisi ve  $M_{23}C_6$  fazlarını içerdiği görülmektedir. Diğer piklere denk gelen fazlar ise şeklin üstünde görülebilir. DM-1 kaplamasının açıklamasında belirtildiği gibi yüksek Cr oranına sahip Nikel bazlı alaşımlarda,  $M_{23}C_6$  olarak adlandırılan karbürde ki M harfi genellikle “Cr” elementini temsil etmektedir [38]. Bu kaplamada ki,  $M_6C$  karbüründe bulunan M harfi ise, “Mo” elementini temsil etmektedir [44].

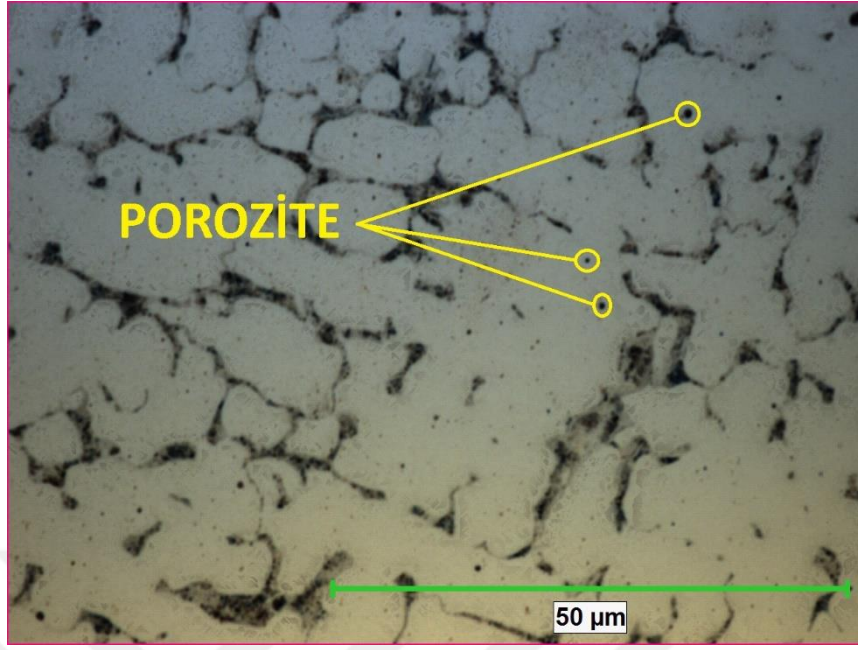


Şekil 5.23. DM-3 XRD grafiği

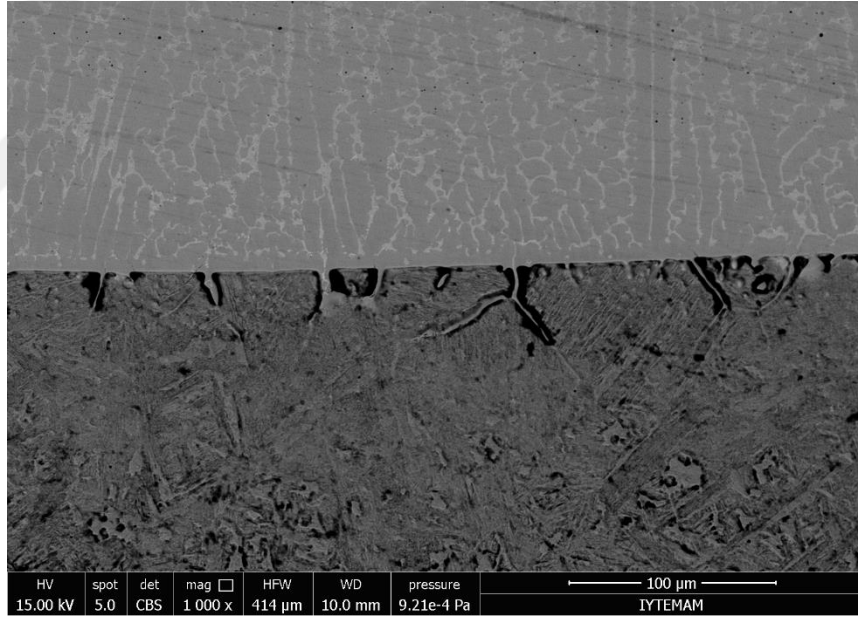
Kaplama bölgesinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.24. (a) - (b)' de, SEM görüntüsü ise Şekil 5.24. (c)' de verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde kaplamanın içyapısının dendritik özellik gösterdiği, aynı zamanda da interdendritik bölümler içerdiği görülmüştür [43]. Ayrıca yakından çekilen optik mikroskop görüntülerinde poroziteler tespit edilmiştir ve bu porozitelerin, dövme operasyonları sırasında delaminasyon oluşumunu arttıracakı düşünülmektedir.



(a)



(b)



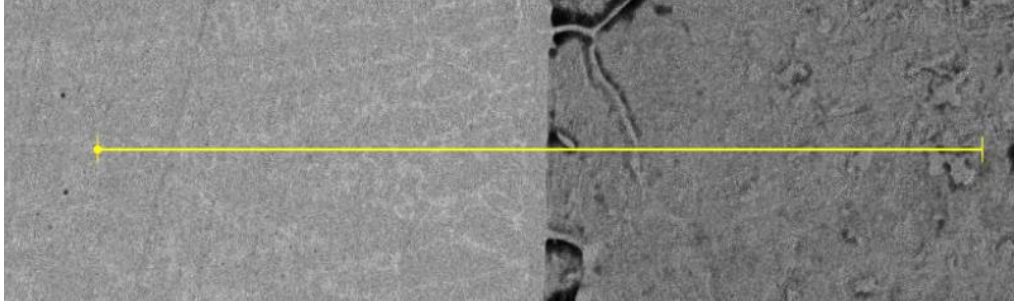
(c)

**Şekil 5.24.** Kaplama bölgesi (a) 500x yüzey görünüşü, (b) 1000x yüzey görünüşü, (c) SEM görünüşü

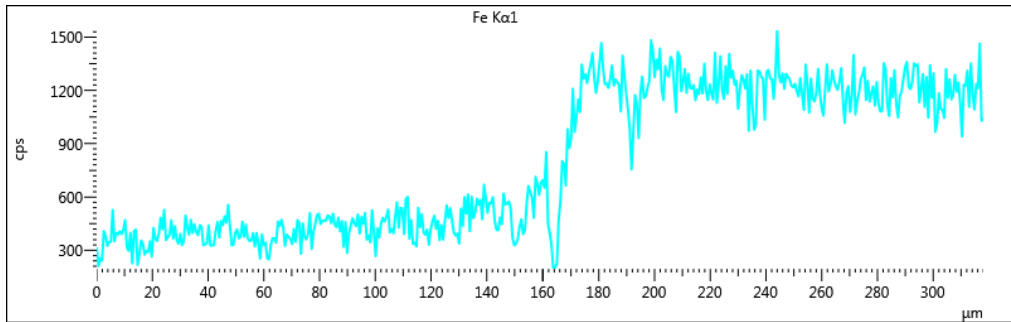
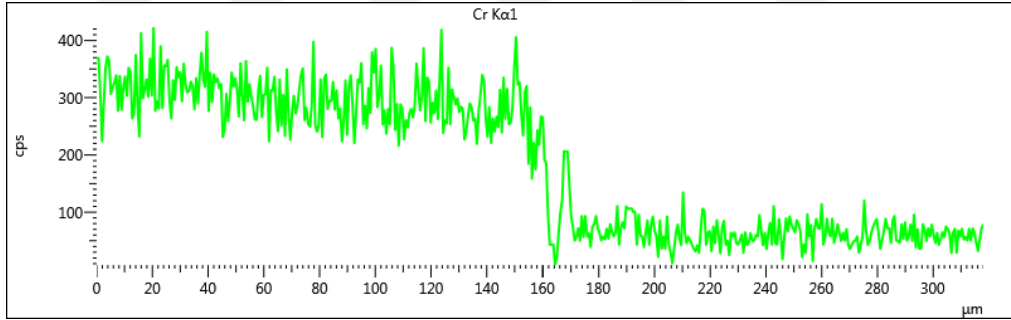
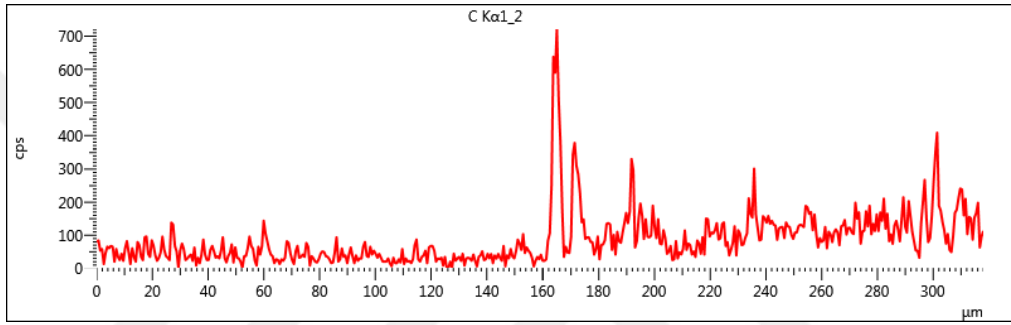
Kesit bölgesinde yapılan çizgi analizi incelendiğinde (Şekil 5.25.), aynı ilk nikel numunesinde ki (DM-1) gibi, kaynak işlemi sırasında meydana gelen ısı artışı ile birlikte, C atomları geçiş bölgesine doğru difüze olmuştur. Bu nedenle geçiş

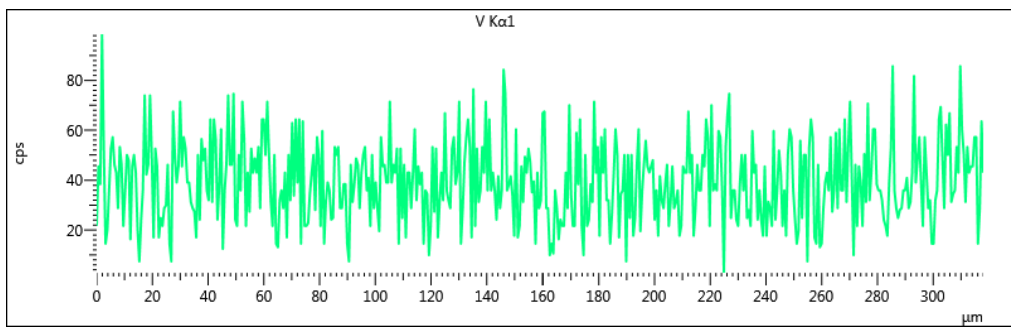
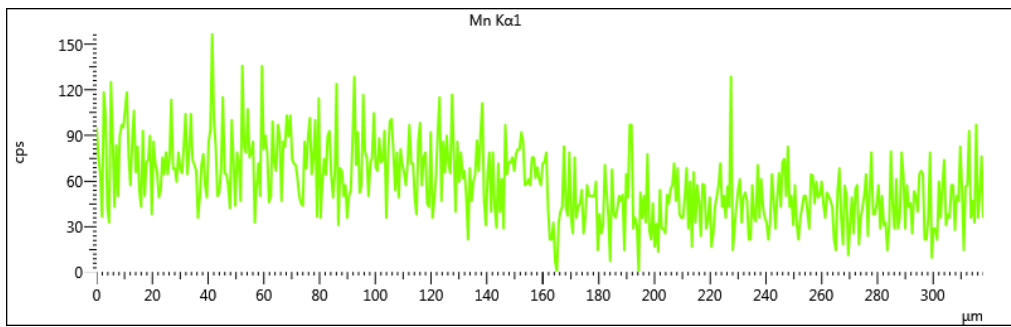
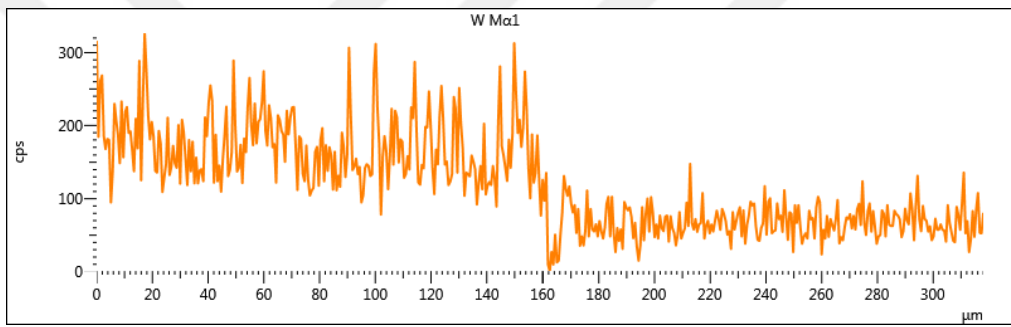
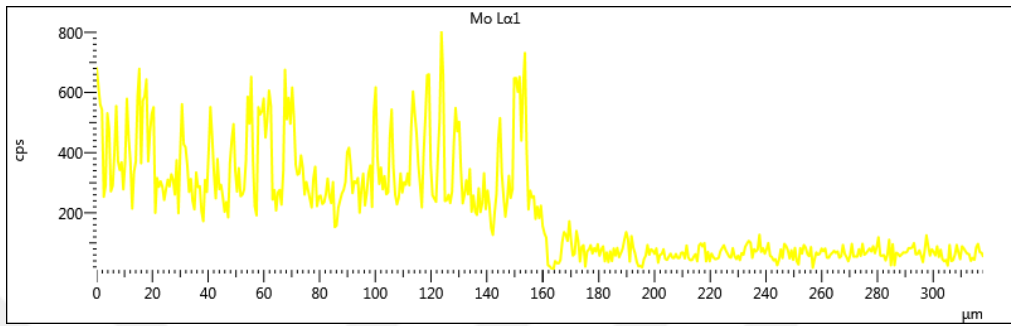
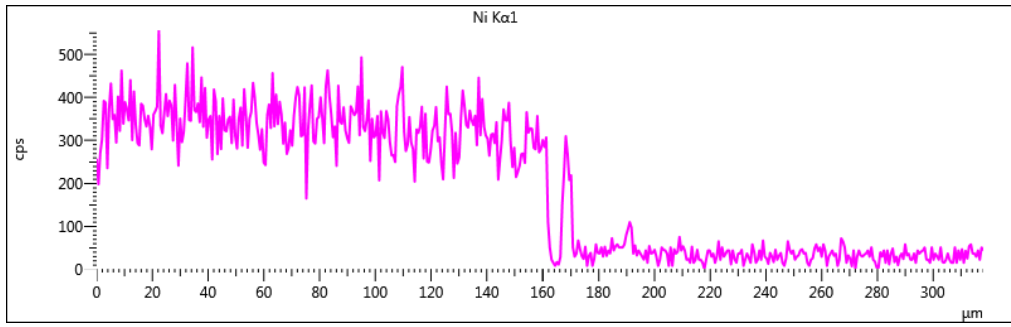


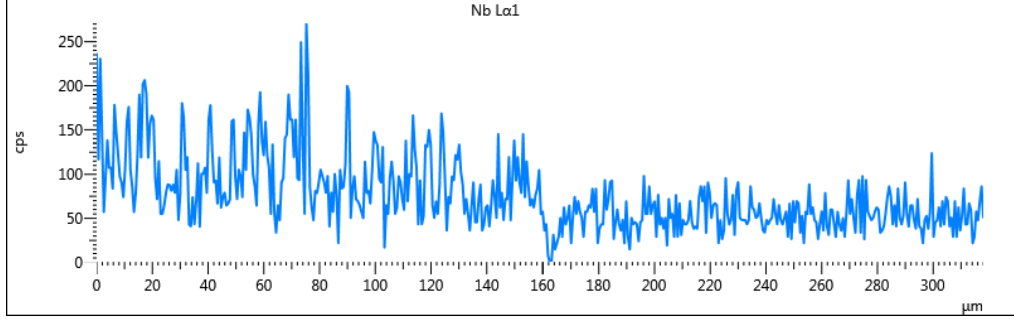
bölgesinde ki C miktarının artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 5.26.). Bu artışın da karbür oluşumunu desteklediği düşünülmektedir [42].



Şekil 5.25. DM-3 geçiş bölgesi SEM görüntüleri

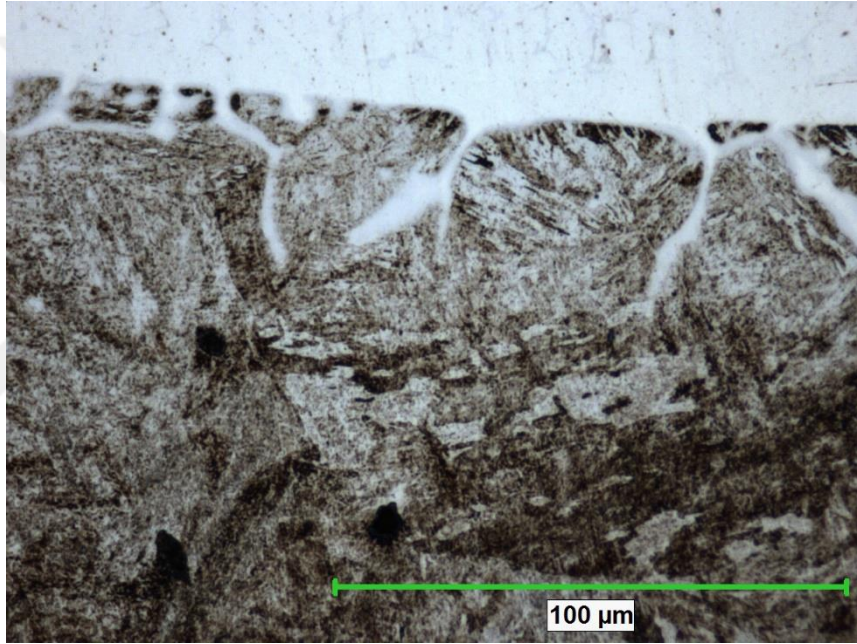






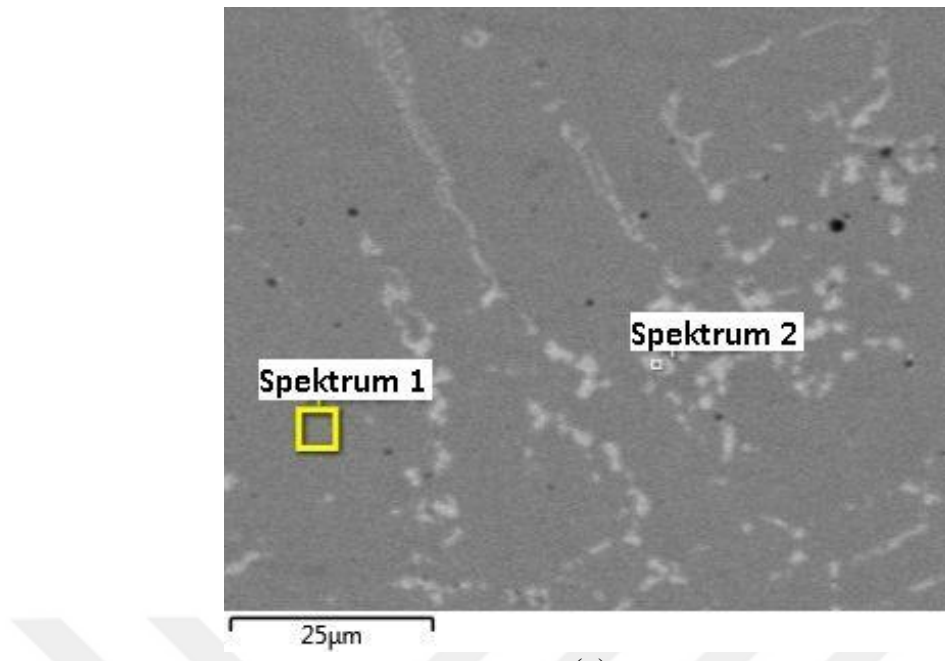
**Şekil 5.26.** DM-3 kesit çizgi analizi

Çizgi analizinin yanı sıra, optik mikroskop incelemesi de, nüfuziyeti açıkça göstermektedir (Şekil 5.27.).

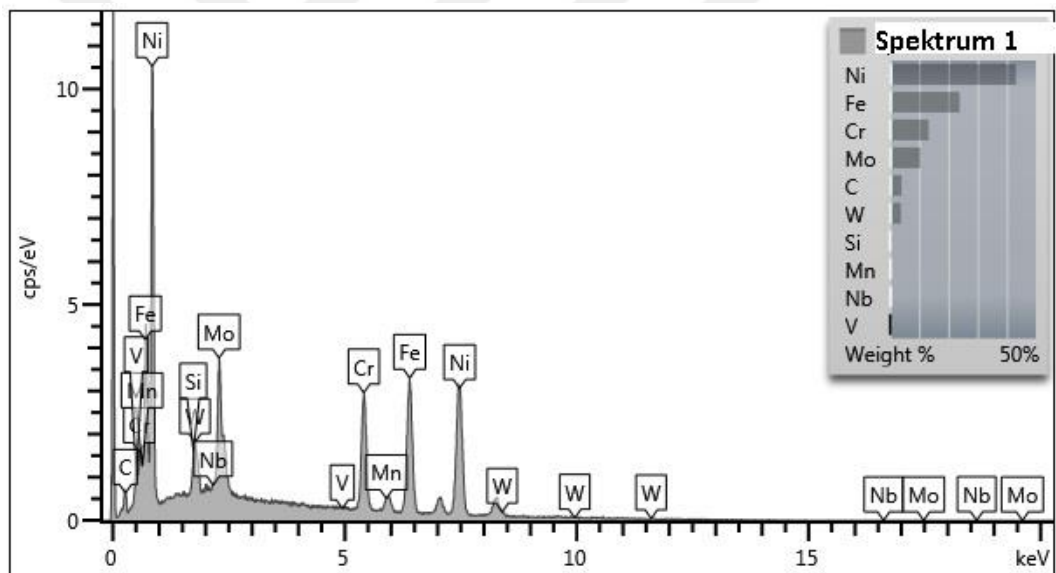


**Şekil 5.27.** Optik mikroskop nüfuziyet görünüşü

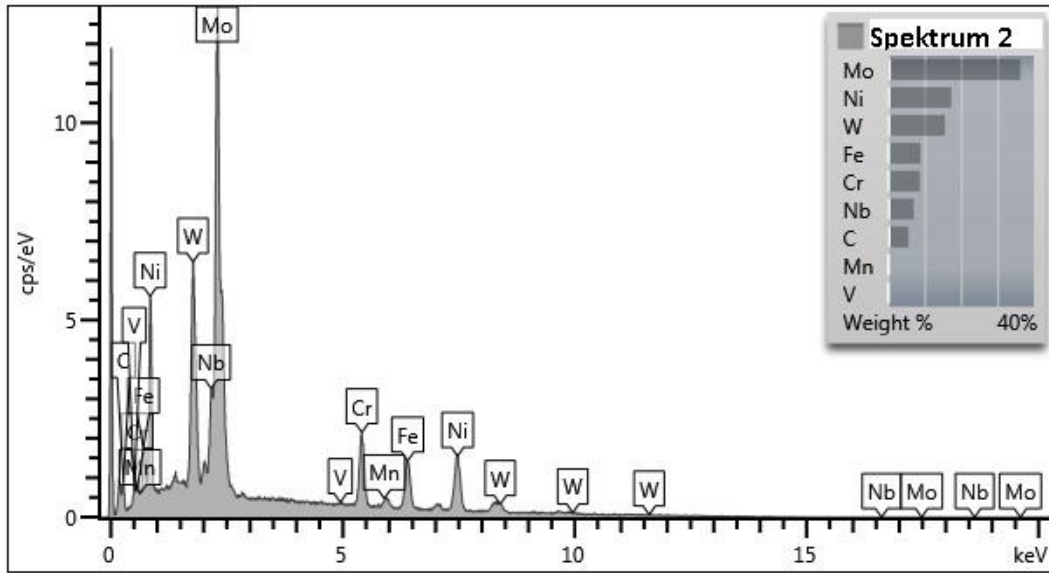
SEM analizi sırasında dolgu malzemesi yüzeyinden alınan EDS analizleri, Şekil 5.28. (a)' da verilmiştir. Spektrum 1 bölgesi (Şekil 5.28. (b)), Ni ve Fe-Ni katı çözültisi fazlarını temsil eden dendritik bölgedir. Bu bölgenin kimyasal kompozisyonu Tablo 5.10.' da verilmiştir. Spektrum 2 bölgesinin (Şekil 5.28. (c)), kimyasal kompozisyonu Tablo 5.10.' da verilmiştir. Tablo incelendiğinde bu bölgenin Mo, Cr, W, Nb ve C gibi elementlerce zengin, interdendritik bir bölge olduğu görülmektedir. İçyapıda bulunan  $M_{23}C_6$  ve  $M_6C$  karbürleri, daha çok bu interdendritik bölgelerde bulunmaktadır. Genelleme yapılacak olursa, gri renkli bölgeler Nikelce zenginken, beyaz renkli bölgeler karbürlerce zengindir denilebilir.



(a)



(b)



(c)

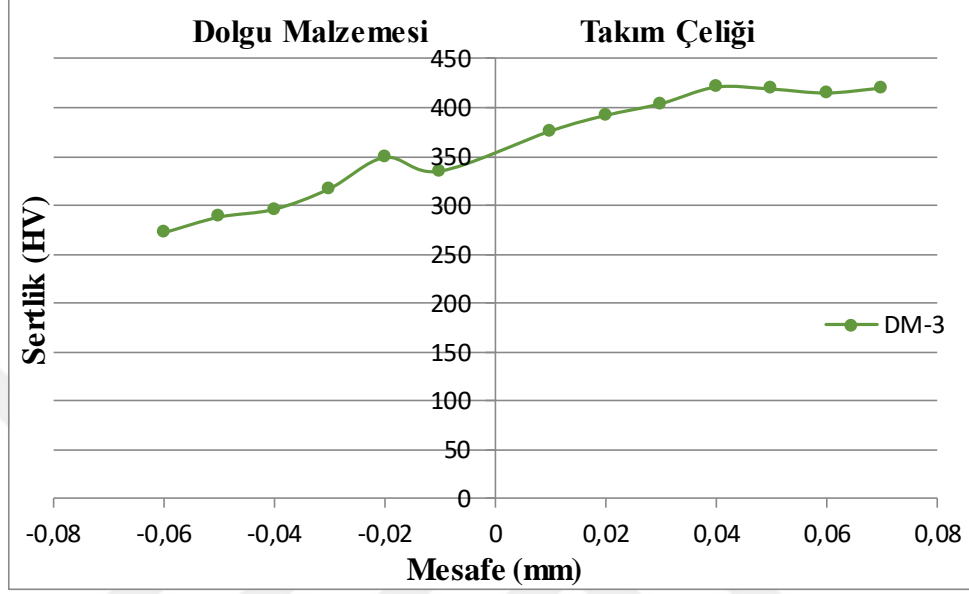
Şekil 5.28. DM-3 için spektrum analizi (a) genel, (b, c) grafiksel görünüş

Tablo 5.10. Spektrum 1-2 kompozisyon

|               | Spektrum 1 | Spektrum 2 |
|---------------|------------|------------|
| Element       | Wt%        | Wt%        |
| C             | 4.00       | 5.64       |
| Si            | 0.57       | -          |
| V             | 0.05       | 0.15       |
| Cr            | 13.24      | 8.72       |
| Mn            | 0.51       | 0.15       |
| Fe            | 23.87      | 8.95       |
| Ni            | 43.20      | 17.39      |
| Nb            | 0.42       | 7.06       |
| Mo            | 10.38      | 36.31      |
| W             | 3.77       | 15.65      |
| <b>Total:</b> | 100.00     | 100.00     |

### 5.3.2. Dolgu Malzemesi-3 Sertlik İncelemesi

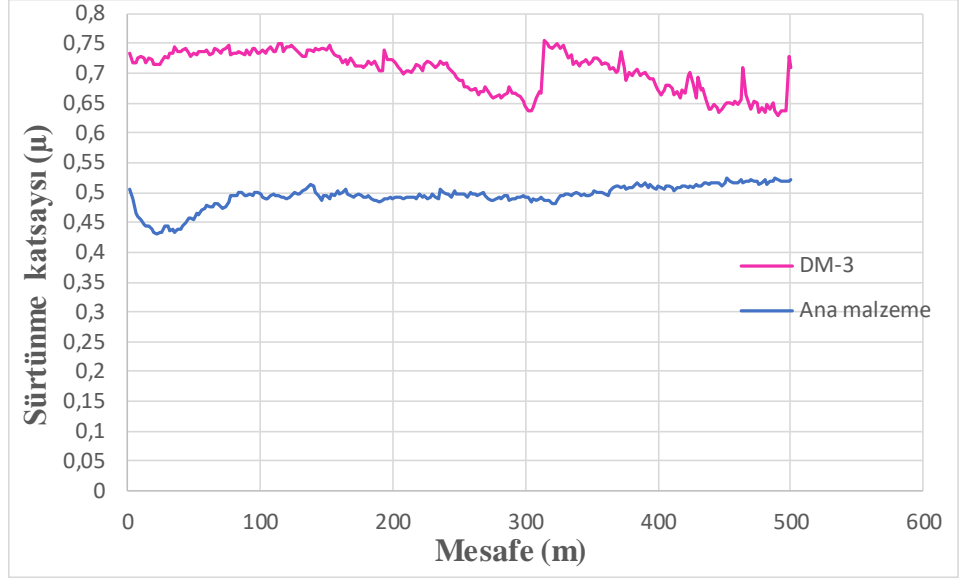
Şekil 5.29. da sertlik – mesafe grafiği verilen DM-3 numunesinin ortalama sertlik değeri 310 HV’ dir. Daha önce belirtildiği gibi, ana malzemenin ölçülen ortalama sertlik değeri 436 HV ’dir.



Şekil 5.29. DM-3 kaplamasının sertlik – mesafe grafiği

### 5.3.3. Dolgu Malzemesi-3 Aşınma Dayanımı İncelemesi

Daha önceki numunelerde aşınma miktarının, ortalama sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) ile doğru orantılı olduğu belirtilmişti. Şekil 5.30. da ki sürtünme katsayısı – mesafe grafiğine göre, DM-3 dolgu malzemesiyle kaplanmış malzemenin ortalama sürtünme katsayısı  $\mu = 0,701$ ’ dir. Ana malzemenin değeri ise daha önce verildiği gibi  $\mu = 0,492$  ‘dir. Bu değerlere bakıldığında da, ortalama sürtünme katsayısı değeri daha büyük olan DM-3 numunesinin daha çok aşınması beklenen bir sonuçtur.



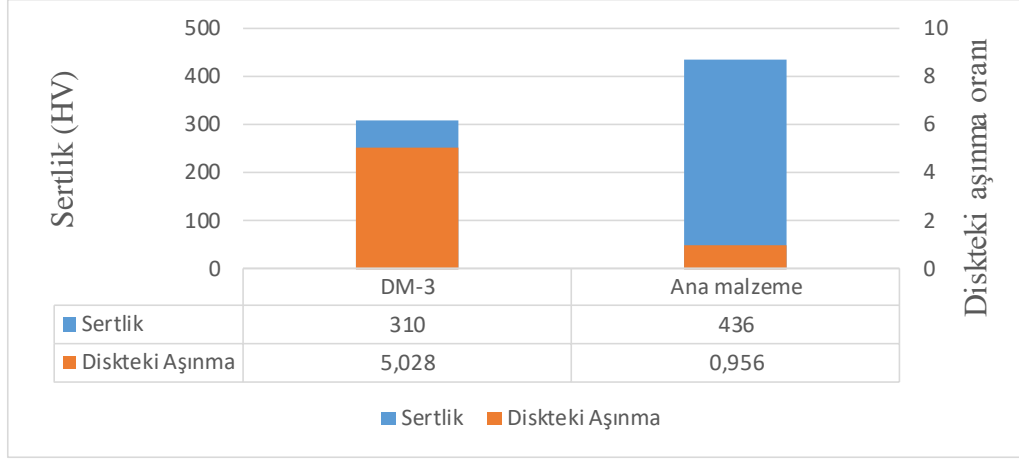
**Şekil 5.30.** DM-3 ve ana malzemenin sürtünme katsayısı – mesafe grafiği

DM-3 için FIWH değerleri Tablo 5.11.' de verilmiştir. Tabloya göre başlangıç sertliği 278 HV olan DM-3 numunesinin, 500 m aşındırıldıktan sonra ki sertliği % 32 artarak 410 HV olmuştur. Benzer şekilde başlangıç sertliği 433 HV olan ana malzeme numunesinin, 500 m aşındırıldıktan sonra ki sertliği % 22 artarak 558 HV olmuştur.

**Tablo 5.11.** DM-3 ve ana malzeme FIWH oranları

| NUMUNE      | Aşınma Öncesi Sertlik (300 gf) | Aşınma Sonrası Sertlik (300 gf) | FIWH (%) |
|-------------|--------------------------------|---------------------------------|----------|
| DM-3        | 278                            | 410                             | 32       |
| Ana Malzeme | 433                            | 558                             | 22       |

Sertlik ve diskteki aşınma oranını birlikte gösteren grafik Şekil 5.31. ' de verilmiştir. Hem DM-3 hem de ana malzemenin sertlik ve aşınma oranları incelendiğinde, sertliği düşük olan DM-3' ün daha çok aşındığı görülmektedir.



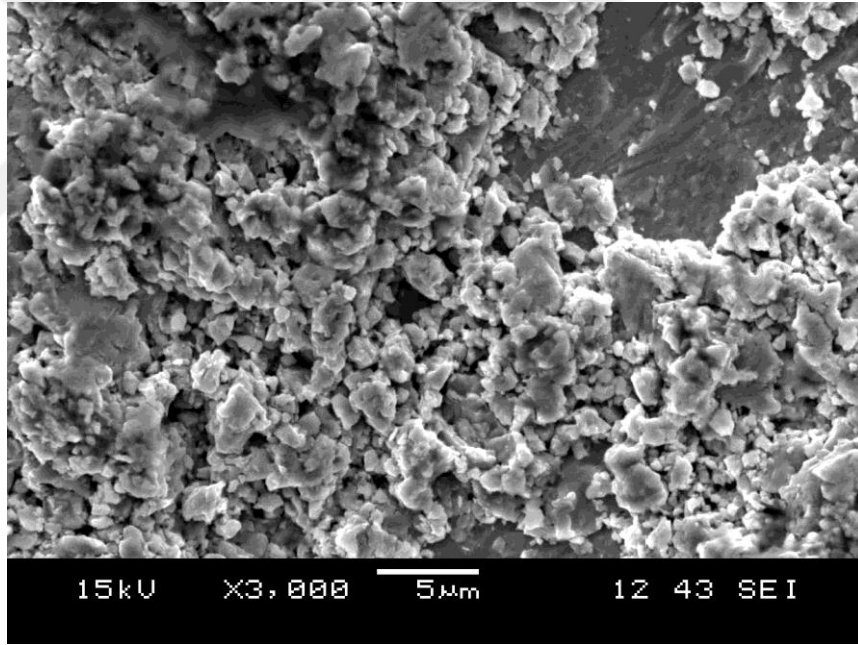
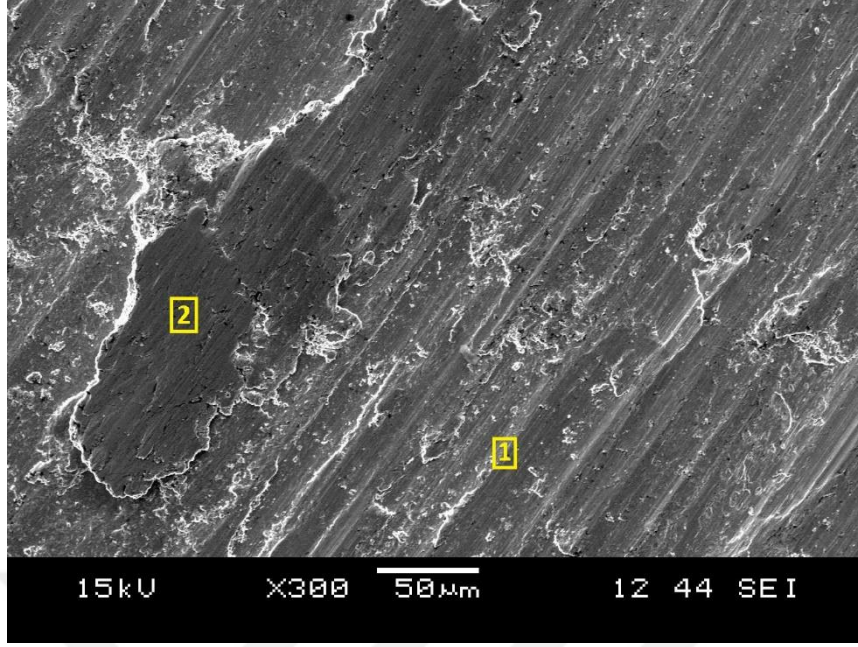
**Şekil 5.31.** Sertlik ve diskteki aşınma oranını birlikte gösteren grafik

DM-3 numunesi için yapılan SEM incelemeleri Şekil 5.32. de verilmiştir. Şekil 5.32. (a)' da numunenin yüzeyinde abrazyon kanalları oluştuğu görülmektedir [41]. Resimlere genel olarak bakıldığında, DM-3 numunesinin abrazyon karakterli aşınma sergilediği görülmektedir. Buna bağlı olarak da numune yüzeyinden tabakalar halinde parçalar koptuğu fark edilmektedir (Şekil 5.32. (b)). Ek olarak, bazı bölgelerde de kopan partiküllerin tekrar aşınma boşluklarına yapıştığı görülmektedir (Şekil 5.32. (c)). Tablo 5.12. de ki EDS analizleri incelendiğinde, spektrum 1' de eser miktarda olan Al-O elementleri, spektrum' 2 de nispeten daha fazladır. Bu da, aşındırıcı bilyadan kopan partiküllerin spektrum 2 bölgesine yapışmış olabileceği düşüncesini ortaya çıkarmaktadır.



(a)



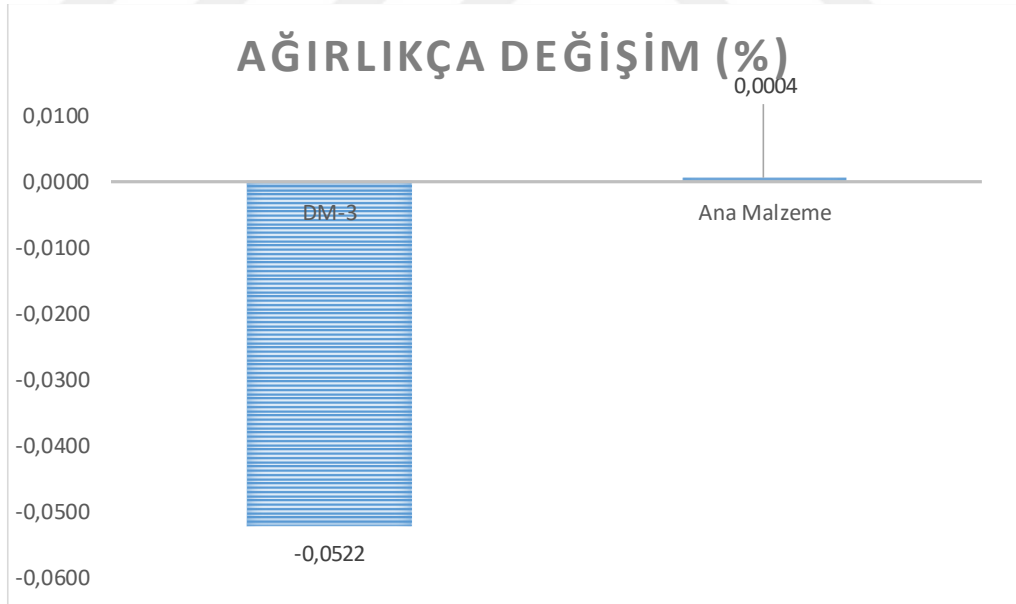


Şekil 5.32. Aşınma testi sonrası SEM görüntüleri (a), (b), (c)

**Tablo 5.12.** Aşınma testi sonrası EDS spektrum analizi

|               | Spektrum 1 | Spektrum 2 |
|---------------|------------|------------|
| Element       | Wt%        | Wt%        |
| C             | 1.008      | 0.039      |
| Mo            | 21.744     | 20.177     |
| Cr            | 13.102     | 12.998     |
| Mn            | 0.614      | 0.867      |
| Fe            | 24.926     | 29.393     |
| Ni            | 32.446     | 31.342     |
| Nb            | 1.910      | 1.219      |
| V             | 0.340      | 0.122      |
| W             | 3.899      | 2.697      |
| Al            | 0.000      | 0.344      |
| O             | 0.010      | 0.803      |
| <b>Total:</b> | 100.00     | 100.00     |

DM-3 ve ana malzemenin yüzde olarak ağırlık değişimi değerleri Şekil 5.33. de verilmiştir. DM-3 % 0,0522 ağırlık kaybederken, ana malzemede % 0,0004 ağırlık artışı meydana gelmiştir. Daha düşük sertliğe sahip DM-3' ün, daha sert olan ana malzemeye göre daha çok aşınması yani daha çok ağırlık kaybetmesi yine beklenen bir sonuçtur.



**Şekil 5.33.** DM-3 ve ana malzemenin ağırlık değişimi değerleri

## 5.4. Tartışma

### 5.4.1. Mikroyapı İncelemesi

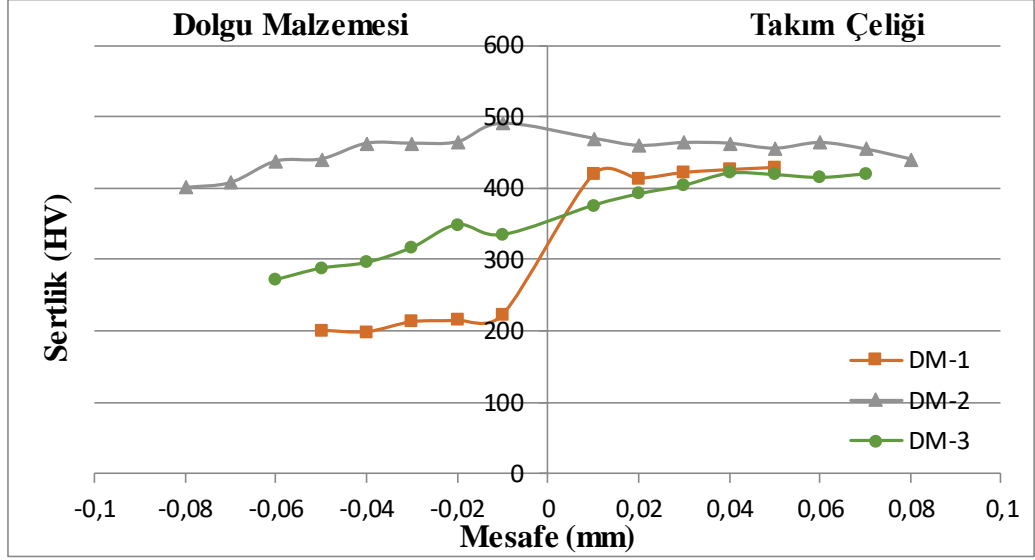
Yapılan mikro incelemeler sonucunda, üç kaplamanın da dendritik olarak katılaştığı ve katılma sırasında kaplamada poroziteler meydana geldiği belirlenmiştir. XRD analizleri incelendiğinde DM-1 kaplamasının dendritik bölgelerde Fe-Ni katı çözeltilisi ve Ni fazına, interdendritik bölgelerde ise  $M_{23}C_6$  karbür fazına sahip olduğu görülmektedir.

DM-2 kaplaması ise dendritik bölgelerde  $\alpha$ -Co fazına sahipken, interdendritik bölgelerde  $Cr_7C_3$  gibi karbürlere sahiptir. Ayrıca XRD analizinde WC karbürü tespit edilemese de EDS analizleri WC oluşumunu destekler niteliktedir.

DM-3 kaplaması, DM-1 kaplaması ile benzer özellik göstermiştir. Kaplamanın, dendritik bölgelerde Fe-Ni katı çözeltilisi ve Ni fazına, interdendritik bölgelerde ise  $M_{23}C_6$  ve  $M_6C$  karbür fazlarına sahip olduğu görülmektedir.

### 5.4.2. Sertlik Karşılaştırması

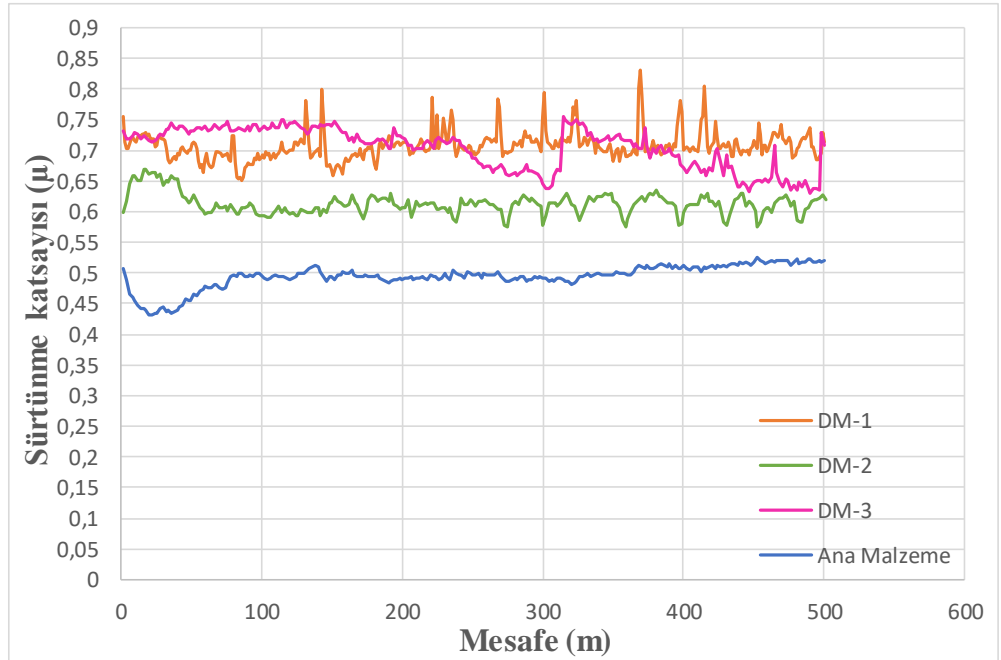
Üç kaplamanın mesafeye bağlı sertlik değişimi Şekil 5.34.' te verilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek sertliğe DM-2 kaplamasının sahip olduğu belirlenmiştir. DM-1 ve DM-3 kaplamalarının sertliğinin ana malzemeden az olduğu ve DM-2 kaplamasının sertliğinin ise ana malzemenin sertliğine yakın bir sertlik değeri gösterdiği belirlenmiştir. DM-2 kaplamasının içyapısında bulunan  $Cr_7C_3$  karbürlerinin yüksek sertliğe neden olduğu düşünülmektedir. Literatür incelendiğinde,  $M_{23}C_6$  ve  $M_6C$  karbürlerinin sertlik değerlerinin,  $M_7C_3$  karbürünün sertlik değerinden düşük olduğu görülmektedir [45, 46].  $Cr_7C_3$  karbürüne sahip olan DM-2 kaplamasının, diğer kaplamalardan daha yüksek sertliğe sahip olması bu şekilde açıklanabilir.



Şekil 5.34. Sertlik – mesafe grafiği

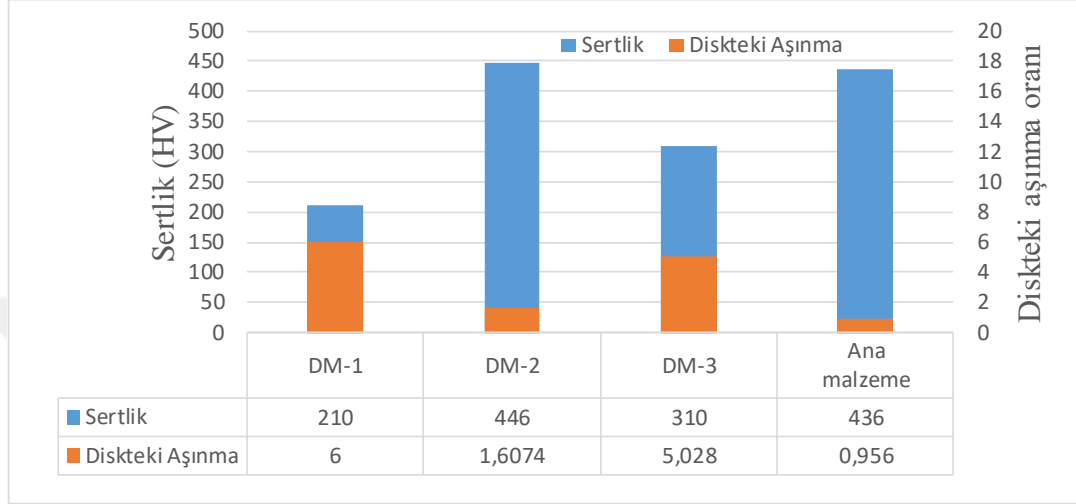
#### 5.4.3. Aşınma Dayanımı Karşılaştırması

Şekil 5.35. te üç farklı elektrot ile yapılan kaplamaların ve ana malzemenin aşınma deneyi sonrası mesafeye göre sürtünme katsayısı grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde Ni-esaslı kaplamaların (DM-1 ve DM-3) yüksek sürtünme katsayısına sahip olduğu, bütün kaplamaların sürtünme katsayısının ana malzemeden yüksek olduğu ve genel olarak tutma-bırakma (stick-slip) tipi sürtünme gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 5.35. Sürtünme katsayısı – mesafe grafiği

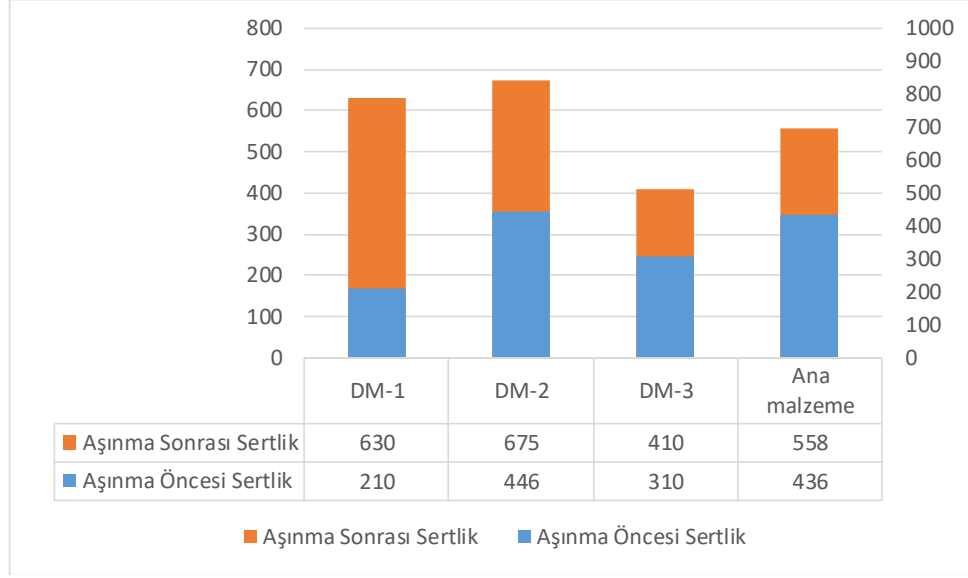
Diskteki aşınma oranı ve sertlik değerlerini gösteren grafik Şekil 5.36. da verilmiştir. En yüksek sertliğe sahip olan DM-2 kaplamasının en az aşınma oranına sahip olduğu belirlenmiştir. En düşük sertliğe sahip olan DM-1 kaplamasının ise en fazla aşındığı görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda sertlik artışı ile aşınma dayanımının arttığı belirlenmiştir [12, 47].



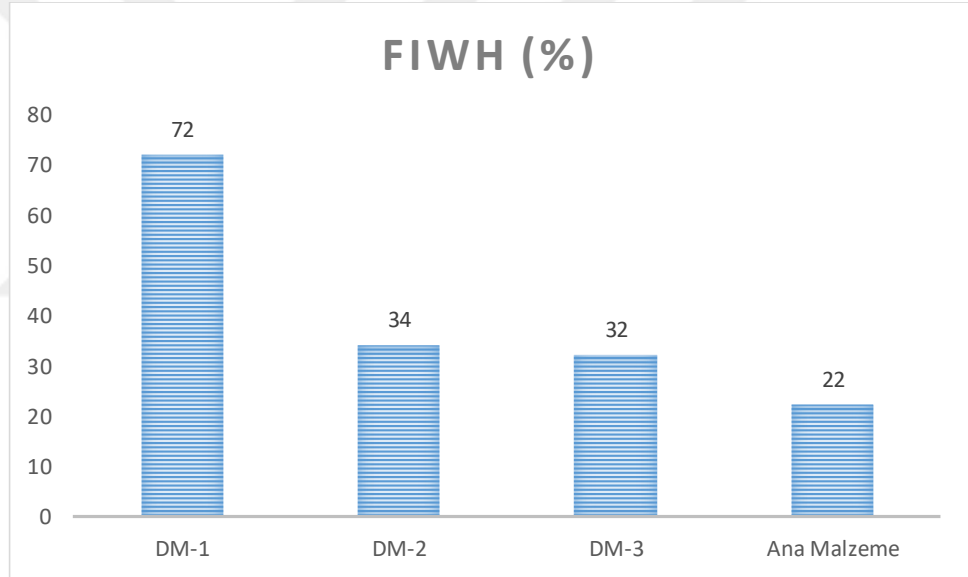
**Şekil 5.36.** Sertlik – diskteki aşınma oranı grafiği

Aşınma oranları, sertlik ve sürtünme katsayısı değerleri göz önüne alındığında; DM-1 en yüksek aşınma oranına ve en yüksek sürtünme katsayısı değerine sahiptir. DM-2 en yüksek sertlik en az aşınma oranı ve en düşük sürtünme katsayısı değerlerine sahiptir. Üç kaplamada da sertlik değeriyle orantılı olarak aşınma dayanımı artmış ve sürtünme katsayısı azalmıştır. Bu durum sertlik, sürtünme katsayısı ve aşınma oranı arasındaki bağlantı açısından beklenen bir sonuçtur [48].

Aşınma sonrası ve aşınma öncesi sertlik değerlerini gösteren grafik Şekil 5.37. de verilmiştir. DM-1 en düşük sertliğe sahip iken aşınma sonrası sertliği yükselmiştir. Sertleşme oranı %72 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.38.). Bu sertleşme oranına pekleşmenin sebebiyet verdiği bilinmektedir. Yumuşak alt tabaka üzerine pekleşme ile sert oksit tabakası oluşmuştur. Bu durum pamuk üzeri cam örneğine benzetilebilir. Çalışma devam ettikçe üst sert tabaka kırılabilir. Kırılma sonucu ortaya çıkan partiküller aşındırıcı görevi görüp aşınmayı arttırabilir [49, 50]. Sonuç olarak hem çok sertleşmesi hem de aşınma dayanımını arttırmaması nedeniyle, DM-1 kaplamasının yapılan deney şartlarında kullanılmasının uygun olmayacağı düşünülmektedir.

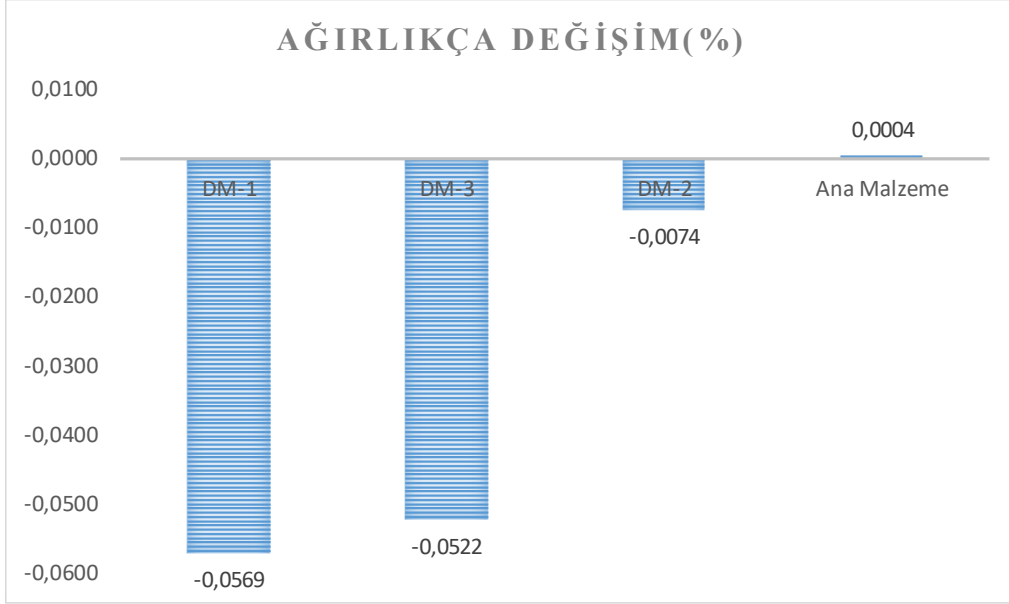


**Şekil 5.37.** Aşınma öncesi ve sonrası sertlik değerleri



**Şekil 5.38.** Aşınma işlemi sonrası sertleşme oranları

Ağırlıkça değişim grafiği Şekil 5.39. da verilmiştir. Grafik incelendiğinde Nikel bazlı DM-1 ve DM-3 kaplamalarının Cobalt bazlı DM-2 kaplamasına göre çok düşük sertliğe sahip olmaları nedeniyle daha çok aşınmaları ve buna bağlı olarak daha çok ağırlık kaybetmeleri beklenen bir sonuçtur. DM-3 kaplamasının, aynı DM-1 kaplaması gibi hem çok aşınması hem de çok ağırlık kaybetmesi nedeniyle yapılan deney şartlarında kullanılmasının uygun olmayacağı düşünülmektedir.



**Şekil 5.39.** Aşınma testi sonrası ağırlıkça değişim (%)

Tüm sonuçlar göz önüne alındığında DM-2 kaplamasının en yüksek sertliğe sahip olduğu ve aşınma direncinin diğer kaplamalara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumda kalıp ömrünü artırmak için bu kaplamanın tercih edilebileceği düşünülmektedir.

## 6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sıcak dövme işleminde kullanılan, yüksek sıcaklık ve basınca maruz kalan 1.2714 sıcak iş takım çeliği üzerine üç farklı elektrot ile sert dolgu kaynağı yapılmıştır. Sonrasında yapılan test ve analizlerle, kalıp daha kullanılmaya başlamadan önce yapılan dolguların, kalıbın aşınmaya karşı direncini ve ömrünü arttırıp arttırmayacağı ya da çalışma sırasında oluşan hasarlarda tamir-bakım yapmak için kullanılıp kullanılmayacağı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla kaplama işlemleri bölüm 4' te verilen parametrelerle prosedüre uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Yapılan test ve analizler laboratuvar ortamında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

Buna göre, çalışmadan çıkan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir,

1- Her üç dolgu malzemesinin mikroyapı incelemesinde porozite oluşumu tespit edilmiştir. Porozite oluşumu, kaynak işlem kalitesini belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Bunların varlığı nedeniyle, yapılan dolguların düşük kalitede olduğu söylenilebilir. Var olan poroziteler dövme işlemi sırasında ilerleyerek delaminasyona sebep olur. Bu da ilerleyen dönemlerde kalıpta çatlak oluşumu gibi hasarlara sebebiyet verir. Bu durumu engellemek için, kaynak işlemine başlarken ortam şartlarında ve parametrelerde iyileştirme yapılmalıdır.

2- Kesitten alınan çizgi analizlerinde, ana malzeme ile dolgu malzemesinin temas bölgesinde C oranının artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum, geçiş bölgesinde karbür oluşumuna işaret etmektedir. DM-2' de C oranı %2 civarındadır ve yüksek oranda Cr ve W gibi karbür yapıcı elementler içermektedir. Oluşan karbürlerin hem miktarca hem de sertlik açısından daha fazla olması, DM-2' nin yüksek aşınma direncini açıklamaktadır.

3- Yapılan sertlik ölçümlerinde, en yüksek sertliğe sahip dolgu malzemesinin kobalt bazlı DM-2 (COBALT 1 elektrotu) olduğu görülmüştür. Diğer iki nikel bazlı dolgu malzemesinin sertliklerinin, ana malzemedен düşük olduğu görülmüştür.



4- Aşınma test sonuçları incelendiğinde, dolgu malzemelerinin aşınma oranlarının sertlikle doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. En sert olan DM-2 en az aşınmayı gösterirken, en yumuşak olan DM-1 en çok aşınmayı göstermiştir.

5- FIWH (aşınma sonrası sertleşme oranı) değerleri karşılaştırıldığında, en çok DM-1' de sertlik artışı görülmüştür. En az sertlik artışı ise ana malzemede görülmüştür. Malzemelerin çalışma esnasında gerek sürtünmeye, gerekse ısınmaya maruz kalması durumlarında, yüzeylerinde oksit tabakalarının veya soğuk işlem tabakalarının oluşabileceği bilinen bir sonuçtur [49]. Bu çalışmada yapılan aşınma testinde yüksek sıcaklık olmamakla birlikte, sürtünme etkisiyle bu tür oksit tabakalarının oluştuğu gözlemlenmiştir. FIWH değerleri de bunu göstermektedir. DM-1' in en yüksek FIWH değerine sahip olması, içerdiği Nikel oranıyla açıklanabilir. Nikel oranının yüksek olması, özellikle sürtünme tabakasında oksitli yapıların varlığına işaret etmektedir. Bu tür sert tabakaların varlığı genellikle aşınma direncine olumlu katkı sağlamaktadır. Bizim çalışmamızda en yüksek FIWH değerini veren dolgu malzemesinin (DM-1) yüzeyi ile kaynak bölgesi arası oluşan sertlik farkı çok fazladır. Yumuşak bir yüzey üzerinde sert bir yüzey oluşması, pamuk üstüne cam yerleştirilmesine benzetilebilir [50]. Oldukça kırılıgandır ve gerçek çalışma şartlarında beklenenin aksine olumsuz etki yaratacaktır. Elde edilen sonuçlarda en yüksek aşınmanın DM-1' de gözlenmesi, bu bilgiyi destekler niteliktedir.

6- Bu çalışmaya konu olan malzemelerin kullanılıp kullanılmayacağına ilişkin en sağlıklı veriye, sertlik ve aşınma sonuçlarına bakılarak ulaşılabilir. Buna göre kobalt bazlı olan DM-2' nin en yüksek sertlik ve aşınma direncini sağladığı gözlemlenmiştir. Nikel bazlı malzemelerin sertliklerinin ve aşınma dirençlerinin düşük olması, bu uygulama için uygun olmadıklarını göstermektedir. Bu üç dolgu malzemesi içinde kobalt bazlı olanın, başlangıçta kalıbın ömrünü arttırmak için değil de, ancak tamir bakım uygulamaları için önerilebileceği, bu çalışmadan çıkarılan sonuçtur. Hem karbon oranının hem de karbür yapıcı elementlerinin oranının yüksek olması nedeniyle, kobalt bazlı malzemede ki aşınma direnci ve sertlik yüksektir. Bu tür uygulamalar için yüksek karbon ve yüksek karbür yapıcı elementleri içeren elektrotların daha uygun olacağını görülmüştür. Dolayısıyla benzer özelliklere sahip elektrotlarında araştırılması, bu çalışmadan çıkarılabilecek bir diğer öneridir. Ayrıca bu çalışmadaki testler ve analizler laboratuvar ortamında ve oda sıcaklığında

gerçekleştirilmiştir. Oysa kullanılan malzemeler yüksek sıcaklıkta çalışacak olan malzemelerdir. Bu nedenle malzemelerin yüksek sıcaklıklarda aşınma testlerinin yapılması, hatta gerçek çalışma ortamlarında gerekli testlerin yapılması önerilir.

7- Son olarak, H. Kashani ve arkadaşları çalışmalarında, bu çalışmaya benzer şekilde H11 takım çeliği üzerine kobalt bazlı Stellite 21 dolgusu yapmışlardır. Uyguladıkları aşınma testinde, oda sıcaklığında kaynaklı numune ana malzemeye göre 5 kat fazla ağırlık kaybederken, ortam sıcaklığı 550°C ye getirilip tekrar aşınma testi uygulandığında ana malzeme kaynaklı numuneye göre 4 kat daha fazla ağırlık kaybetmiştir [51]. Sıcak dövme işlemi çalışma sıcaklığına yakın olması nedeniyle elde ettikleri veri bu çalışma adına da ümit vermektedir. Gerçek çalışma koşullarında kalıpları denediklerinde ana malzeme 4000 dövme işleminde 2.5 mm ölçü kaybederken kaynaklı numune 16000 dövmede daha 0.5 mm' nin altında ölçü kaybetmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklıkta çalışan kalıpların yüzeyinde oluşan oksit tabakasının da aşınma direncine olan katkısı bilinmektedir. Bu bilgiler, DM-2' nin başarılı olması açısından oldukça umut vaat etmektedir.

## KAYNAKLAR

- 1 Çapan, L. Giriş, Dövülebilirlik, Açık Kalıpta Dövme. İstanbul Teknik Üniversitesi, Sakarya Mühendislik Fakültesi, Makine Bölümü. İstanbul, 1991.
- 2 Tekkaya, E. Metal Forming Technology-ME453. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Ankara, 2001.
- 3 <http://www.celikdovme.net/sicakdovme.html>
- 4 Terceelj, M., Panjan, P., Urankar, I., Fajfar, P., Turk, R. A Newly Designed Laboratory Hot Forging Test for Evaluation of Coated Tool Wear Resistance. Surface and Coatings Technology. 2005.
- 5 [http://www.oerlikon.com.tr/sert\\_dolgu\\_kaynaklari.html](http://www.oerlikon.com.tr/sert_dolgu_kaynaklari.html)
- 6 <http://www.mates-e.com/bilgi-sert-dolgu.php>
- 7 Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş. Sert Dolgu Rehberi: Sert Dolgu Alaşımları, Ürün Seçimi ve Uygulama. [www.oerlikon.com.tr](http://www.oerlikon.com.tr)
- 8 Kashani, H., Amadeh, A., Ghasemi, H.M. Room And High Temperature Wear Behaviors Of Nickel And Cobalt Base Weld Overlay Coatings On Hot Forging Dies. Wear. 2007, 262, 800-806.
- 9 Arabacı, Uğur. Supap Yüzeylerinin Tig Kaynak Yöntemi İle Kaplanması Ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 2009, 127. Doktora Tezi.
- 10 Apay S., Gülenç B. Wear Properties Of Aisi 1015 Steel Coated With Stellite 6 By Microlaser Welding. Materials And Design. 2014, 55, 1-8.
- 11 Atabey, M., Sıcak dövme kalıplarında sert dolgu kaynağı uygulaması ile İyileştirmeler. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme ve İmalat Anabilim Dalı, İstanbul, 2006, 57. (Yüksek Lisans Tezi)
- 12 Hıdıroğlu, M., Aşınan makine parçalarına uygulanan sert dolgu kaynağının aşınma özelliklerinin araştırılması. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük, 2012, 101s. (Yüksek Lisans Tezi)
- 13 Alsaran, A. İmalat Yöntemleri. <http://akgunalsaran.com>
- 14 Yiğitarıslan, E. Sıcak Dövme İşleminde Karşılaşılan Hatalar, Önlenmesi ve Maliyete Etkisi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009. (Yüksek Lisans Tezi)
- 15 Korkut, M. H. Sürtünmeye maruz, metalik disklerin aşınma bölgelerinde dolgu kaynak işleminden sonra aşınma özelliklerinin değişiminin deneysel araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, 1991. (Yüksek Lisans Tezi)
- 16 Dikicioğlu, A., Vural, M. Sert Dolgu Kaynağı İle Tamir Bakım, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, İstanbul, 1993.
- 17 Kisecek, İ. İ. Sertleştirilmiş ve Sert Dolgu Kaynağı Yapılmış AISI 1050 Çeliğinin Aşınma Direncinin Araştırılması. Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas, 2010, 69s. (Yüksek Lisans Tezi)
- 18 Varol, F. Trenlerde Kayma Plakalarına Uygulanan Dolgu Kaynağı Uygulamalarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006. (Yüksek Lisans Tezi)
- 19 Özel, S. Cu-Sn-Zn-Al Bronz Alaşımı Yüzeyine Ferromangan Kaplamasının Aşınma Direncine Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ, 2004, 1-96. (Yüksek Lisans Tezi)
- 20 Cavcar, M. M. Sert Dolgu Malzemelerine Genel Bir Bakış. Oerlikon Yayınları, İstanbul, 1997.
- 21 Yılmaz, F. Sürtünme ve Aşınma. 9. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, 1997, İstanbul (Cilt1, 229-256.)

- 22** Çiçek, B. Mg<sub>2</sub>Si Partikül Takviyeli Mg Alaşımlarının Aşınma ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2011. (Yüksek Lisans Tezi)
- 23** Öz Saraç, U. Raylı Taşıtlarda Teker Bandajı-Ray Sisteminde Dolgu Kaynağı ve Sabo Parçalarının Aşınma ve Yorulma Davranışlarının İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005, 218s. (Doktora Tezi)
- 24** Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E. Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı, Gedik Holding Yayını, İstanbul, 1991.
- 25** Boz, M. Toz metalürjisi ile üretilmiş bronz esaslı fren balata malzemelerinin sürtünme aşınma davranışlarının incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1999. (Yüksek Lisans Tezi)
- 26** Yıldız, T., Koç, A., Gür, A.K. AISI 4142 Çeliğinin Elektrik Ark Kaynağı ile Yüzey Modifikasyonu Sonrası Aşınma Davranışının İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2007, 19(3), 417-423s.
- 27** Buchely, M. F., Gutierrez, J. C., Leon, L. M., Toro, A. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. Wear. 2005.
- 28** Cavcar, M. M., Sert Dolgu Rehberi. Oerlikon Yayınları. İstanbul, 1998a, 31s.
- 29** Crook, P., Farmer, H. N. Friction and wear of hardfacing alloys. ASM International, ASM Handbook. 1992, 18, 758-765.
- 30** ASM Handbook, Welding, Brazing and Soldering, Vol.6, 10th.edition, ASM International, 1993, 2859s.
- 31** Antony, K.C. et al., Hardfacing, Welding, Brazing, and Soldering. 9th. edition., Vol. 6, Metals Handbook, American Society For Metals. 1983, 771-793s.
- 32** Cavcar, M. Demir bazlı sert dolgu malzemelerin metalürjik seçimi. Oerlikon Yayınları, İstanbul, 3-16, 1996.
- 33** Cavcar, M. Sert dolgu malzemelerine genel bir bakış–Bölüm 1, Oerlikon Yayınları, İstanbul, 3-9, 1996.
- 34** Çelik, H., İzciler, M. WC-Co esaslı kesici takımlarda tane büyüklüğü ve kobalt içeriğinin aşınma direncine etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, 1995, Denizli (416-424 s)
- 35** Brooks, R.C. Heat Treatment, Structure and Properties of Nonferrous Alloys, American Society for Metals. Metals Park. Ohio 44073, USA, 1982.
- 36** Ozan, S. Sert Dolgu Kaynağında Dolgu Alaşım Elementlerinin Aşınma Direnci, Mikroyapı ve Seyrelme Miktarları Üzerine Etkisi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2010, 171s. (Yüksek Lisans Tezi)
- 37** Fouilland, L., El Mansori, M.; Massaç, A. Friction-induced work hardening of cobalt-base hardfacing deposits for hot forging tools. Journal of materials processing technology. 2009, 3366-3373s.
- 38** Kara, S., Korkut M.H. Zırh Çeliklerinde Kaynak Ağzı Tasarımının Metalürjik ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi. 2012, 9(1), 35-45s.
- 39** Chakraborty, G., Kumar, N., Das, C. R., Albert, S. K., Bhaduri, A. K., Dash, S., Tyagi, A. K. Study on microstructure and wear properties of different nickel base hardfacing alloys deposited on austenitic stainless steel. Surface and Coatings Technology. 2014, 180-188s.
- 40** Zhang, T., Sun, R. (2015). Study on Pores and Crack Sensitivity of Ni-based Composite Coating by Laser Cladding. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015, 87(1).

- 41** Tabur, M., Zcler, M., Gül, F. Borlanmış Hardox 400 Çeliğinin Abrasiv Aşınma Davranışları. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
- 42** Jeshvaghani, R. A., Jaberzadeh, M., Zohdi, H., Shamanian, M. Microstructural study and wear behavior of ductile iron surface alloyed by Inconel 617. *Materials & Design* (1980-2015). 2014, 54, 491-497s.
- 43** Deng H. X., Shi H. J., Tsuruoka S., Yu H. C., Zhong B. Influence of welding technique and temperature on fatigue properties of steel deposited with Co-based alloy hardfacing coating. *International Journal of Fatigue*. 2012, 63–70s.
- 44** Ferrer, L., Pieraggi, B., Uginet, J. F. Microstructural Evolution During Thermomechanical. Processing of a-Alloy 625. *The Minerals, Metals & Materials Society*. Fransa, 1991
- 45** Ocelik, V., Hemmati, I., De Hossen. J.T.M. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 2015, WIT Press, 91, 93-103.
- 46** Vander Voort, G.F., Manilova, E.P. *Imaging Phases in Steels. Advanced Materials and Processes*. 2005, 163, 32-37.
- 47** Karataşoğlu, F. Demiryollarında çalışan mono blok tekerleklerin çalışmaları esnasında aşınan kısımlarının MIG-MAG kaynağı ile değişik elektrot kompozisyonlarında yapılan dolgu kaynağının aşınma özelliklerinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1997. (Yüksek Lisans Tezi)
- 48** Baştürk S., Erten M. Borlama ile Yüzey Sertleştirme Çalışmaları. *Mühendis ve Makine*. 2006, 47(563), 57-74.
- 49** Hardell, J., Hernandez, S., Mozgovoy, S., Pelcastre, L., Courbon, C., Prakash, B. *Wear*. 330-331, 2015, 223–229.
- 50** Glasser, W.A. *Characterization of Tribological Materials*. Ed: C. Richard Brundle, Charles A.Evans, Jr., Momentum Press, New York, Usa, 2010, 180.
- 51** Farhani, M., Amadeh, A., Kashani, H., Saeed-Akbari, A. The Study of Wear Resistance of a Hot Forging Die, Hard faced by a Cobalt-Base Superalloy. *In Materials forum*. 2006, 30, 212-218s.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sarper DOĞAN  
Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1991  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : sarper.dogan@hotmail.com

### Eğitim Durumu

Lise : Nevvar Salih İşgören Anadolu Lisesi, 2009  
Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2013  
Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,  
Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı, 2017

### Mesleki Deneyim

Manisa Özgür A.Ş., Üretim Planlama Mühendisi. (2013-2015)

### Yayımları

Saklakoglu, N., Dogan S., İrizalp S., Saklakoğlu, İ. E., Demirok S. Microstructural aspects of nickel-based surfacing deposited by gas metal arc welding (GMAW). International Conference on Engineering Technology and Innovation. March 22-26 2017, Sarajevo Bosnia and Herzegovina

Saklakoglu, N., İrizalp S., Dogan S., İldaş, G. Saklakoğlu, İ. E., Performance Of Fe-Based Hardfacing On Hot Forging Die: Experimental, Numerical And Industrial Studies, Kovové materiály - Metallic Materials. (Değerlendirme Aşaması)

Saklakoğlu, N., Doğan, S., Demirok, S., İrizalp, S. 1.2714 Takım Çeliğine Co-Esaslı Sert Kaplamanın Aşınma Dayanımının İncelenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi. (Değerlendirme Aşaması)

