

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

**DÜŞÜK KARBONLU YUMUŞAK ÇELİKLERİN Co ESASLI
SÜPER ALAŞIM ELEKTROTLARI İLE
KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mehmet YAZ

**DOKTORA TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**ELAZIĞ
2005**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞÜK KARBONLU YUMUŞAK ÇELİKLERİ Co ESASLI
SÜPER ALAŞIM ELEKTROTLARI İLE
KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet YAZ

DOKTORA TEZİ
METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 03.10.2005 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Halis ÇELİK

Üye: Prof. Dr. M. Mustafa YILDIZ

Üye: Doç. Dr. Mehmet ERGİL

Üye: Doç. Dr. Mehmet A. KORKUT

Üye: Doç. Dr. Mahmut İZCİLER

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 12/10/2005 tarih ve 2005/35-7 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Danışman
Prof. Dr. Halis ÇELİK

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında çok büyük katkıda bulunan danışman hocam sayın Prof. Dr. Halis ÇELİK'e II. Danışman hocam Doç.Dr. Mehmet EROĞLU'na, deney numunelerinin hazırlanmasında emeği geçen Yüksek Lisans Öğrencisi Ertuğrul ÇELİK'e, Teknik Bilimler MYO makine atölyesi teknikeri Halis COŞKUN'a ve yardımlarını esirgemeyen herkese teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bir proje olarak bu tezi destekleyen üniversitemizin değerli birimi F.Ü. Bilimsel Araştırma Birimi'ne (FÜBAP) de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
2. YÜZEY KAPLAMA İŞLEMLERİ.....	3
2.1. Sert Yüzey Kaplama.....	3
2.2. Dolgu Kaplama.....	4
2.2.1. Uygulama Şekli.....	4
2.3. Koruyucu Kaplama.....	5
2.4. Kademeli Kaplama.....	5
2.5. Sert Yüzey Kaplama İşlemi.....	6
2.6. Yüzey Kaplama Malzemeleri.....	7
2.7. Yüzey Kaplama Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	7
2.7.1. Dolgu Kaplama Alaşımları.....	7
2.7.2. Metal-Metal Aşınma Alaşımları.....	8
2.7.3. Metal-Toprak Abrasif Aşınma Alaşımları.....	8
2.7.4. Tungsten Karbürler	8
2.7.5. Demir Dışı Yüzey Kaplama Alaşımları.....	8
2.7.6. Kobalt Esaslı Sert Yüzey Kaplama Alaşımları.....	9
2.7.6.1. Kobalt Esaslı Alaşımların İçerdiği Karbürler.....	9
2.7.7. Laves Fazı İçeren Kobalt Esaslı Alaşımlar.....	11
2.7.8. Nikel Esaslı Alaşımlar.....	12
2.7.8.1. Bor içerikli Nikel Esaslı Alaşımlar.....	13
2.7.8.2. Karbür İçerikli Nikel Esaslı Alaşımlar.....	15
2.7.8.3. Laves Fazı içerikli Nikel Esaslı Alaşımlar.....	15
3. YÜZEY KAPLAMA KRİTERLERİ.....	16
3.1. Yüzey Kaplama Alaşım Seçimi.....	16
3.2. Yüzey Kaplama Yöntem Seçimi.....	18
3.2.1. Kaynak Çubuklarıyla El Oksi-Asetilen Yüzey Dolgusu.....	18
3.2.2 Tozlu Dolgu Metali İle El Oksi- Asetilen Yüzey Dolgusu.....	20
3.2.3 Yarı-Otomatik Oksi- Asetilen Yüzey Dolgusu.....	20
3.3. Isıl püskürtme İle Yüzey Dolgusu.....	20
3.3.1. Plazma Püskürtme.....	23
3.3.1.1. Gaz Sağlanması.....	24
3.3.1.2. Püskürtme Malzemesinin Sağlanması.....	25
3.4. Elektrik Ark Püskürtmesi.....	25
3.5. Patlatma Tabancası Yöntemi.....	27
3.6. Elektrik Ark Kaynağı İle Dolgu.....	27

3.6.1. Örtülü Elektrotlarla Elektrik Ark Kaynak Dolgusu.....	28
3.6.2. Yarı-Otomatik Elektrik Ark Kaynağı İle Dolgu.....	28
3.6.3. Otomatik Elektrik Ark Kaynağı İle Dolgu.....	28
3.7. Toz Altı Kaynağı İle Dolgu	29
3.8. TIG Kaynağı İle Dolgu.....	30
3.9. Plazma Ark İle Dolgu.....	31
3.10. Gaz-Metal-Plazma Ark (GMPA) Dolgu Yöntemi.....	31
3.11. Lazer İle Sert Yüzey Kaplama	34
3.11.1 Lazer Sert Yüzey Kaplama Uygulamaları.....	36
3.12. Özellik ve Kalite Gereksinimleri.....	37
3.13. Ana Malzemenin Fiziksel Özellikleri.....	40
3.14. Ana Metalin Metalurjik Özellikler.....	40
3.15. Yüzey Kaplama Ürün Şekilleri.....	41
4. KOBALT ESASLI ALAŞIMLAR.....	43
4.1. Kobalt Esaslı Alaşımların Oksidasyonu.....	44
4.2. Kobalt-Esaslı Alaşımların Mukavemetlendirilmesi.....	45
4.2.1. Katı Çözelti Mukavemetlendirmesi.....	45
4.2.2. Birincil Gama Fazı Çökmesi.....	46
4.2.3. İstif Hataları.....	51
4.2.4. Karbür Oluşumu.....	53
4.3. Ara Fazların Oluşumu.....	56
4.4. Ticari Kobalt-Esaslı Alaşımların Mikroyapısı.....	60
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	65
5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	65
5.2. Deney Numunelerinin Elektrik Ark ve TIG Kaynak Yöntemleri İle Kaplanması.....	65
5.2.1. Kaynak Şartları.....	66
5.3. Sertlik Deneyleri.....	67
5.4. Metalografik Çalışmalar.....	67
5.5. Taramalı Elektron Mikroskopu Çalışmaları.....	67
5.6. X-Ray Çalışmaları.....	68
6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ.....	69
6.1. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Mikroyapı İncelemeleri.....	69
6.2. Sertlik Deney Sonuçları.....	70
6.2.1. Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 Süper Alaşımları Kaplanmış Düşük Karbonlu Çelik Numunelerin Sertlik Açısından İncelenmesi	70
6.2.2. TIG Kaynak Yöntemi İle Stellite 12, Stellite 6 ve Stellite 1 Alaşımları Kaplanmış Düşük Karbonlu Çelik Numunelerin Sertlik Açısından İncelenmesi.....	72

6.2.3. Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 Süper Alaşımları	
Kaplanmış Orta Karbonlu Çelik Numunelerin Sertlik Açısından İncelenmesi	73
6.2.4. TIG Kaynak Yöntemi İle Stellite 1 Stellite 6 ve Stellite 12 Süper Alaşımları	
Kaplanmış Orta Karbonlu Çelik Numunelerin Sertlik Açısından İncelenmesi	74
6.2.5. Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 Süper Alaşımları	
Kaplanmış Paslanmaz Çelik Numunelerin Sertlik Açısından İncelenmesi	75
6.2.6. TIG Kaynak Yöntemiyle Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 Süper Alaşımları	
Kaplanmış Paslanmaz Çelik Numunelerin Sertlik Açısından İncelenmesi	76
6.3. Metalografik İncelemeler.....	77
6.3.1. TIG Kaynak Yöntemi Kullanılarak Yüzeyine Stellite 1, Stellite 6, Stellite 12 Süper	
Alaşımları Kaplanmış Düşük Karbonlu Numune.....	77
6.3.2. Elektrik Ark Kaynak Yöntemi Kullanılarak Yüzeyine Stellite 1, Stellite 6, Stellite 12	
Süper Alaşımları Kaplanmış Düşük Karbonlu Numune.....	78
6.3.3. TIG Kaynak Yöntemi Kullanılarak Yüzeyine Stellite 1, Stellite 6, Stellite 12	
Süper Alaşımları Kaplanmış Orta Karbonlu Numune.....	79
6.3.4. Elektrik Ark Kaynak Yöntemi Kullanılarak Yüzeyine Stellite 1, Stellite 6, Stellite 12	
Süper Alaşımları Kaplanmış Orta Karbonlu Numune.....	81
6.3.5. Elektrik Ark Kaynak Yöntemi Kullanılarak Yüzeyine Stellite 1, Stellite 6, Stellite 12	
Süper Alaşımları Kaplanmış Paslanmaz Çelik Numune.....	82
6.3.6. TIG Kaynak Yöntemi Kullanılarak Yüzeyine Stellite 1, Stellite 6, Stellite 12 Süper	
Alaşımı Kaplanmış Paslanmaz Çelik Numune.....	83
6.4. Taramalı Elektron Mikroskop(SEM) Sonuçları.....	84
6.4.1. Düşük Karbonlu Çeliğin Taramalı Elektron Mikroskobu Sonuçları.....	84
6.4.2. Orta Karbonlu Çeliğin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları.....	87
6.4.3. Paslanmaz Çeliğin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları.....	89
6.5. X-Işınları Analiz Sonuçları.....	91
6.5.1 Süper Alaşım Kaplama Malzemelerinin X-Ray Analiz Sonuçları.....	91
6.5.1.1. Stellite 1 Süper Alaşımın X-Işınları İncelemesi.....	92
6.5.1.2. Stellite 6 Süper Alaşımın X-Işınları İncelemesi.....	92
6.5.1.3. Stellite 12 Süper Alaşımın X-Işınları İncelemesi.....	93
6.5.1.4. Düşük Karbonlu Çeliğin X-Işınları İncelemesi.....	93
6.5.1.5. Orta Karbonlu Çeliğin X-Işınları İncelemesi.....	94
6.5.1.6. Cr-Ni'li Paslanmaz Çeliğin X-Işınları İncelemesi.....	95
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	96
KAYNAKLAR.....	98
ÖZGEÇMİŞ.....	102

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Düşük alaşımlı veya karbon çeliğine paslanmaz çeliği kaplamak için kademeli kaplama tekniği. a) kademeli kaplama için kenar hazırlığı , b) Dolgu metali ile yüzey kademeli kaplanmış yüzey, c) Kademeli kaplanmış yüzeyin kaynak için hazırlığı, d) Kaynak için yan yana getirilmiş parçalar, e) paslanmaz çelik dolgu metali ile birleştirme kaynağı.....	6
Şekil 2.2. Karbür içerikli kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının çift tabaka plazma ark kaplama mikroyapı görünümüleri (a) ERCoCr-C, (b) ERCoCr-A, (c) ERCoCr-E.425X.....	11
Şekil 2.3. ASTM G 65 Düşük gerilmeli abrasiv test yöntemi kullanılarak Laves fazı içerikli kobalt esaslı T -400 ve T -800 gibi demir dışı yüzey kaplama alaşımlarının abrasif aşınma dirençleri.....	12
Şekil 2.4. Laves fazı içerikli kobalt esaslı T-800 yüzey kaplama alaşımının mikroyapı görünümü (Çift tabaka plazma ark kaynak dolgusu).....	12
Şekil 2.5. ERNiCr-C plazma ark kaynağı ile çift tabaka kaplanmış bor içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımının mikroyapısı.....	14
Şekil 3.1. Oksi-asetilen kaynağı ile dolguda kullanılan karbürleyici alevin yaklaşık ölçüleri.....	19
Şekil 3.2 Alev püskürtmenin şeması (Toz).....	21
Şekil 3.3..Alev püskürtmenin şeması (Tel).....	21
Şekil 3.4 Bir plazma püskürtme tabancasının kesit resmi.....	23
Şekil 3.5. Isıl püskürtme teknikleri.....	26
Şekil 3.6. Plazma ark sıcak tel dolgu yöntemi.....	32
Şekil 3.7. GMPA kaynak yöntemi; 1-Plazma üfleci, 2- Tel sürgüsü.....	33
Şekil 3.8. Transfer olmuş ark plazmasının işleyiş prensibi: 1. Akım Kaynağı, 2. Kumanda birimi, 3. Alaşım dağıtıcısı, 4. Soğutma birimi, 5. Plazma üreten gaz, 6. Koruma gazı, 7. İş parçası, 8. Plazma üfleci, 9. Dolgu.....	33
Şekil 3.9. Hareketli toz besleyici kullanarak lazer sert yüzey kaplama işleminin şematik görünüşü (Courtesy of Quantum Laser Corporation).....	35
Şekil 3.10. Fe-28Cr-4Mo-O,4Mn-4,6C yüzey kaplama alaşımı mikroyapısına dilatasyonun etkisi a) Yumuşak çelik üzerindeki ilk tabaka metal dentritlerinin ve dentritler arası bölgenin ötektik altı yapısı (55 HRC) b) İkinci tabaka, büyük bir yüzdeye sahip ötektik üstü yapı (57 HRC) c) Üçüncü tabaka, ötektik matristeki birincil M_7C_3 karbürlerin kaba ötektik üstü yapısı (61 HRC) d) Beşinci tabaka, üçüncü ve dördüncü tabaka yapılarına benzer bir yapı (60HRC).....	40
Şekil 3.11. Bir ERCoCr-A yüzey kaplama alaşımının mikroyapısına kaynak işleminin etkisi (a- oksi-gaz kaynağı b- Plazma ark kaynağı c- TIG kaynağı d- Toz elektrot kaynağı e- Tozaltı ark kaynağı f- MIG kaynağı).....	42

Şekil 4.1. Ni- ve Co-esaslı süper alaşımların 1000-saat'lik kopma mukavemetlerinin karşılaştırılması.....	43
Şekil 4.2. Durgun havada oksitlenmiş Co ve Co-Cr alaşımları için parabolik oksidasyon sabiti.....	45
Şekil 4.3. Co'ın çekme mukavemeti özelliklerine 25 °C ve 925 °C'de çeşitli çözelti ilavelerinin etkisi.....	47
Şekil 4.4. İkili Co esaslı alaşımların sertliğine 25 °C'de Al ve Ti içeriğinin etkisi.....	48
Şekil 4.5. Co-Cr-X üçlü alaşımlarının 925 °C'de akma gerilmesine Mo, Ta ve W'ın etkisi.....	48
Şekil 4.6. Co-Al faz diyagramı.....	49
Şekil 4.7. Co-Ti faz diyagramı.....	50
Şekil 4.8. γ' fazı içeren bir kısım Co ve Ni esaslı alaşımların sıcaklığa bağlı akma mukavemetleri (Ni esaslı alaşımlarda γ' , Ni ₃ (Al, Cr); Co-esaslı alaşımlarda γ' , Co ₃ (Cr, Ti) dir).....	50
Şekil 4.9. Co-Cr faz diyagramı.....	52
Şekil 4.10 Alaşım elemanlarının, çözünürlükleri ile ilişkili olarak, Co' da HSP'den KYM'ye dönüşüm sıcaklığına etkisi.....	52
Şekil 4.11. İstif hatası ve çökelti karbürleri içeren Co-esaslı alaşımın transmisyon elektron mikroskobu görünümü.....	53
Şekil 4.12. C oranı % 0,1-0,6 arası Co-esaslı alaşımlarda genellikle bulunan karbür türlerine kimyasal bileşimin etkisi.....	54
Şekil 4.13. Co-C, Cr-C, Ti-C ve Mo-C faz diyagramları.....	55
Şekil 4.14. 800°C'de Co-Cr-C faz diyagramı. (K ₁ , Cr ₃ C ₂ dir; K ₂ , Cr ₂₃ C ₆ dir; K ₃ , (Cr, C ₆) ₇ C ₃ dir; K ₄ , (Cr, Co) ₂₃ C ₆ dir).....	56
Şekil 4.15. Farklı durumlar için Mar-M509'un mikro yapısı. Bu alaşımın içeriği: % 10 Ni, % 23,5 Cr, % 7 W, % 3,5 Ta, % 0,2 Ti, % 0,5 Zr, % 0,6 C.....	57
Şekil 4.16. 1200 °C'de Co-Cr-Ni ve Co-Cr-Mo üçlü faz diyagramları.....	57
Şekil 4.17. 1200 C' de tahmini üçlü faz diyagramları. Bu diyagramlarda şekillerin tepe noktası Co' dir. Her diyagramda bulunan geniş gölgeli bölgeler Co' ca zengin katı çözeltilerdir. Daha az gölgeli bölgeler TSP fazlarıdır (örneğin σ).....	58
Şekil 4.18. Cr ve Cr-10W alaşımları için polar faz diyagramları.....	58
Şekil 4.19. 870 °C'de yaşlandırma süresinin, 25 °C' deki gerilme testine tabi tutulan Laves fazı içerikli Co esaslı alaşımın mikroyapı ve kopma uzamasına etkisi.....	59
Şekil 4.20. Elektron boşluk numarasının bir fonksiyonu olarak Co-esaslı alaşımların TSP fazlarını oluşturma eğilimi. σ ve Laves fazı görülen alaşımlar kutu içinde gösterilmiştir.....	60
Şekil 4.21. Döküm yöntemiyle elde edilen X_45 alaşımının mikroyapısı.....	61
Şekil 4.22. Şekil 4.21 deki mikroyapıyı oluşturan katılaşma ve soğumanın şematik gösterimi.....	62
Şekil 4.23. Birincil γ' daki ötektik yapı ve karbür çökmesini gösteren tipik bölge. Çökelti karbürlere bitişik olana dağlanmış çukur bölgeler optik mikroskopta bu alanların karanlık görünmesine sebep olur (Şekil 4.21' ye bkz.).....	63

Şekil 4.24. Bir MnS kalıntısının çevresindeki ötektik yapının varlığını gösteren alan.....	63
Şekil. 5.1. Deney numunesi ölçüleri.....	66
Şekil 6.1 Kaplama malzemelerinin genel mikroyapıları (a-Stellite 1, b-Stellite 6, c-Stellite 12).....	69
Şekil 6.2 Deneylerde kullanılan ana malzemelerin mikroyapı fotoğrafları (a.- Orta karbonlu çelik, b.- Düşük karbonlu çelik, c.- Cr-Ni'li paslanmaz çelik).....	69
Şekil 6.3. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımları ile kaplanmış düşük karbonlu numunenin mikrosertlik değerleri.....	71
Şekil 6.4. TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşım kaplanmış düşük karbonlu numunenin mikrosertlik değerleri.....	73
Şekil 6.5. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımları ile kaplanmış orta karbonlu numunenin mikrosertlik değerleri.....	73
Şekil 6.6.TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımları ile kaplanmış orta karbonlu numunenin mikrosertlik değerleri.....	75
Şekil 6.7. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımları ile kaplanmış paslanmaz çelik numunenin mikrosertlik değerleri.....	76
Şekil 6.8. TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımları ile kaplanmış paslanmaz çelik numunenin mikrosertlik değerleri	77
Şekil 6.9. TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite süper alaşımı kaplanmış düşük karbonlu numune (a:Stellite 12; b: Stellite 6; c: Stellite 1)	78
Şekil 6.10. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak Stellite süper alaşımı kaplanmış düşük karbonlu numune (a:Stellite 12; b: Stellite 6; c: Stellite 1).....	79
Şekil 6.11. TIG kaynak yöntemi kullanılarak süper alaşımı kaplanmış orta karbonlu numune (a: Stellite 12; b: Stellite 6; c: Stellite 1).....	80
Şekil 6.12. Elektrik Ark kaynak yöntemi kullanılarak süper alaşım kaplanmış orta karbonlu numune (a: Stellite 12; b: Stellite 6; c: Stellite 1).....	81
Şekil 6.13. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak süper alaşım kaplanmış paslanmaz çelik numune (a: Stellite 12; b: Stellite 6; c: Stellite 1).....	82
Şekil 6.14. TIG kaynak yöntemi kullanılarak süper alaşım kaplanmış paslanmaz çelik numune (a: Stellite 12; b: Stellite 6; c: Stellite 1).....	83
Şekil 6.15. TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1 süper alaşımı kaplanmış düşük karbonlu çelik numunenin TEM fotoğrafı (a) ve noktasal analizleri (b,c,d,e)	85
Şekil 6.16. TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 6 süper alaşımı kaplanmış düşük karbonlu çelik numunenin TEM fotoğrafı (a) ve noktasal analizleri (b,c,d,e).....	86
Şekil 6.17. TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1 süper alaşımı kaplanmış orta karbonlu çelik numunenin EDS fotoğrafı (a) ve noktasal analizleri (b,c,d,e,f).....	88
Şekil 6.18. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1 süper alaşımı kaplanmış Cr-Ni'li paslanmaz çelik numunenin EDS fotoğrafı (a) ve noktasal analizleri (b,c,d,e,f).....	89

Şekil 6.19. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 6 süper alaşımı kaplanmış Cr-Ni’li paslanmaz çelik numunenin TEM fotoğrafı (a) ve noktasal analizleri (b,c,d,e).....	90
Şekil 6.20. Stellite 1 süper alaşımının X- ışınları incelemesi.....	92
Şekil 6.21. Stellite 6 süper alaşımının X-ışınları incelemesi.....	93
Şekil 6.22. Stellite 12 süper alaşımının X-ışınları incelemesi.....	94
Şekil 6.23. Düşük karbonlu çelik malzemenin X-ışınları incelemesi.....	94
Şekil 6.24. Orta karbonlu çelik malzemenin X-ışınları incelemesi.....	95
Şekil 6.25. Cr-Ni’li paslanmaz çelik malzemenin X-ışınları incelemesi.....	95



ÇİZELGELER (TABLOLAR)LİSTESİ

Tablo 2.1. Çeşitli kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının kimyasal bileşimi.....	9
Tablo 2.2. Çeşitli kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımların özellikleri.....	10
Tablo 2.3. Yüksek nikel içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının kimyasal bileşimi.....	13
Tablo 2.4. Çeşitli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının özellikleri.....	13
Tablo 2.5. Bor içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarında oluşan fazlar.....	14
Tablo 3.1. Püskürtme yöntemleri ve şartları.....	17
Tablo 3.2. Sert yüzey kaplama alaşımları, kullanım alanları ve üretici firmalar.....	36
Tablo 3.3. Yüzey kaplama alaşımları seçim tablosu.....	39
Tablo 4.1. Tahmini atom çap büyüklük farkı ve çeşitli çözümlerin Co ve Co-30Cr alaşımlarındaki tahmini çözünürlüğü.....	46
Tablo 4.2. Co-esaslı alaşımlardaki alaşım elemanlarının fonksiyonlarının açıklaması.....	64
Tablo 5.1 Ana malzemelerin kimyasal analizleri.....	65
Tablo 5.2 Kaplama malzemelerinin kimyasal analizleri.....	65

ÖZET

Doktora Tezi

DÜŞÜK KARBONLU YUMUŞAK ÇELİKLERİ Co ESASLI SÜPER ALAŞIM ELEKTROTLARI İLE KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet YAZ

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı

2005, Sayfa: 102

Çok çeşitli yüzey kaplama işlemleri vardır ve bunlardan biriside sert yüzey kaplama işlemidir. Sert yüzey kaplama işlemi genellikle abrasyon, erozyon, darbe, oksidasyon, kavitasyon vb. sebeplerle malzemelerde meydana gelen aşınma kaybını azaltmak amacıyla uygulanır. Aynı zamanda aşınmış parçaların kullanım ömürlerini uzatmak ve yeniden ekonomiye kazandırmak için de kullanılır. Co esaslı süper alışımlı malzemeler bu işlem için uygun malzemelerdir.

Bu çalışmada düşük karbonlu, orta karbonlu ve Cr-Ni'li paslanmaz çelik ana malzemelerinin yüzeyleri Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşım kaplama malzemeleri ile elektrik ark ve TIG kaynak yöntemleri ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi tek kat olarak yapılmıştır. Kaplama işleminden önce ana ve kaplama malzemelerin kimyasal analizleri yapılmıştır. Yapılan bu kaplamalardan uygun şekilde hazırlanan numuneler, metalografik incelemelere hazır hale getirilmiş ve incelenmiştir. Kaplanan tabaka ve geçiş bölgesi, mikroyapı, mikrosertlik, taramalı elektron mikroskobu ve X ışınları incelemelerine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen kaplamaların sertlik ve mikroyapı yönünden birbirlerini etkiledikleri görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Stellite, Cr-Ni'li çelik, sert yüzey kaplama, karbonlu çelik

ABSTRACT

Phd Thesis

THE INVESTIGATION OF HARDFACING OF LOW-CARBON MILD STEELS BY Co BASED SUPER ALLOYS ELECTRODES

Mehmet YAZ

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy Education

2005, Page: 102

There are several types of surfacing in coating technology branch, one of them is hardfacing. Hardfacing is applied to reduce the wear losses of material by abrasion, impact, erosion, oxidation, cavitation, etc. It can be also used to increase the life of abraded parts. Generally, Co-based alloys, commercial name is Stellites, are used for harfacing.

In this study low-carbon steel, medium-carbon steel and Cr-Ni stainless steel were coated with Stellite 1, Stellite 6 and Stellite 12 super alloy hardfacing materials by using electric arc welding and tungsten inert gas welding (TIG) techniques. One layer of a cobalt base alloy was hardfaced on to the steel plates. Appropriate samples were taken from the hardfaced materials and then the structures of samples were investigated experimentally. Hardfaced samples were investigated by optical microscopy, scanning electron microscopy, cemical analyses , X-Ray analyses and microhardness measurements. It was seen that the microstructures and the microhardness of the deposited layers and the main materials were affected from the coating process.

Keywords: Co-based alloys, Stellite, carbon steels, hardfacing, Cr-Ni steels

1. GİRİŞ

Yüzey kaplama, yeni bir yüzey tabakası elde etmek amacıyla kaynak yöntemleri kullanılarak ana metalden farklı özellikte ve kimyasal bileşimi bilinen bir metal veya alaşımın ana malzeme yüzeyine kaplanması işlemidir. Yüzey kaplama aşınmayı, yıpranmayı, darbeyi, erozyonu ve oyulmayı azaltmak veya bozulan parçaların tamiri amacıyla uygulanır. Yüzey kaplama işlemi ergitme kaynak yöntemleri, ısıl püskürtme veya lazer kaynak yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir.

Endüstride çeşitli yöntemler kullanılarak yapılan sert yüzey kaplama işlemi, bakım ve tamirat işlerinde çok önemli bir üretim tarzı olduğu gibi, imalat işlerinde de gittikçe artan bir öneme sahip olmaya başlamıştır. Çünkü bazı parçaların yüzeyi henüz üretim safhasının ilk aşamasında uzun ömürlü olması hedeflenerek kaplanmak suretiyle piyasaya arz edilmektedir. Uygulamada ise az bir masraf ile yapılan kaplama işlemi sonucunda çalışma ve kullanım ömrü uzatılan sayısız makine elemanı mevcuttur.

Yaygın olarak kullanılan dört çeşit sert yüzey kaplama yöntemi mevcuttur. Bunlar;

a-) Aşınma, çizilme, çarpma, erozyon ve oyulmayı azaltmak amacıyla uygulanan sert yüzey kaplama işlemi,

b-) Parçanın istenilen boyuta geri getirilmesi için ilave kaynak metalinin ana metal üzerine kaynak yöntemi ile takviye kaplanması veya dolgu kaplamadır. Bu kaplama yöntemi, uygun alaşımlar ile genellikle aşınmaya karşı direnç için değil aşınmış parçaları yeniden kullanılabilir hale getirmek, orijinal boyutlarına veya en son sert yüzey tabakalarına uygun destek sağlamak için kullanılır.

c-) Düşük alaşımlı veya düşük karbonlu çelik malzemeye korozyona karşı dirençli yüzey tabakası sağlamak amacıyla uygulanan giydirme kaplama veya koruyucu kaplamadır. Bu yöntemde genellikle 3 mm'den daha kalın korozyon dirençli yüzey tabakası oluşturmak amacıyla malzeme yüzeyine kaplama yapılır. Sert yüzey kaplama yönteminde bu yöntemle göre daha ince bir yüzey tabakası oluşur ve normalde onarım ve aşınma direncinin gerekli olduğu durumlar için uygundur. Koruyucu kaplama genel olarak ark kaynak yöntemi ile yapılır.

d-) Ana yüzeye veya bağlantı yüzeyine bir veya daha fazla kaynak metal tabakasının kademeli kaplamasıdır. Bu yöntemin takviye kaplamadan farkı bazı metalurjik özellikleri kazandırmaktır ve daha kalın kaplama kalınlığına sahiptir. Bu yöntem aslında farklı metal-ana metal birleştirmesi için kullanılır. Bu bakımdan takviye kaplama ile farklılık gösterir.

Yüzey kaplama işlemi uygulamalarında çeşitli metal ve alaşımlar kullanılır. Bu kaplama malzemelerinden birisi de "Stellite" olarak bilinen kobalt esaslı alaşımlardır (Çelik, 1991; Çelik ve diğ., 1992).

Kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımları yüksek sıcaklıklarda kullanım esnasında, iyi derecede aşınma, oksidasyon ve korozyon direnç özellikleri gerektiren uygulamaların tümünde kullanılmaktadır (Çelik, 1993; Çelik ve İzçiler, 1995). Ağır ve mekanik darbeli çalışma ortamlarında yüksek tokluk özelliklerinden dolayı başarılı bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bu alaşımlar yüksek hacim oranlarında karbür içerdikleri için serttirler. Söz konusu alaşımlar aynı zamanda jet motorlarında, rotor, türbin kanatları, valfler, dişçilik ve cerrahi takımlar, egzoz çıkış boruları ve benzeri yerlerde kullanılırlar.

Kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımları diğer alaşımlara göre daha pahalıdırlar, fakat sahip oldukları üstün özellikler nedeniyle bu malzemelerin kullanımı özellikle tercih edilmektedir.

Bu çalışma üniversitemizin değerli birimi FÜBAP tarafından 652 No'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

2. YÜZEY KAPLAMA İŞLEMLERİ

Yüzey kaplama, kaynak yöntemleri kullanılarak yeni bir yüzey tabakası elde etmek amacıyla, özelliği ana metalden farklı herhangi bir dolgu malzemesi ile ana malzeme yüzeyinin kaplanması işlemidir (Drapier vd., 1975). Yüzey kaplamanın farklı türleri vardır. Bunlar sert yüzey kaplama (hardfacing), dolgu kaplama (builtup), koruyucu kaplama (weld cladding) ve kademeli kaplama (buttering) işlemleridir.

2.1. Sert Yüzey Kaplama

Aşınma, çizilme, çarpılma, erozyon ve oyulmaları azaltmak amacıyla uygulanan bir yüzey kaplama işlemidir. Nispeten ince tabakalar (≤ 3 mm) için uygulanır. Sert yüzey kaplama, dolgu kaplama işlemine göre daha ince bir yüzey tabakası oluşturur ve normalde onarımın ve aşınma direncinin olduğu durumlar için uygundur. Kaynak, ısı püskürtme veya benzeri kaynak yöntemleri için gerekli yüzey için şartı, ısı işlemleri veya alevle yüzey sertleştirme, nitrürleme veya sert yüzey kaplama işlemi olan iyonlama gibi işlemlerle yapılan sert yüzey elde etme işlemlerinden farklıdır. Korozyon ve/veya yüksek sıcaklıkta meydana gelen tufallaşma, aşınma oranında ana etkiye sahip olmakla beraber sert yüzey kaplamalar için doğru malzeme seçiminde önemli bir faktör olabilir.

Aşınma kontrolü için yapılan sert yüzey kaplamalar çok geniş bir alanda kullanılır. Başlıca kullanım alanları taş kırma ve ezme makineleri metal-metal aşınmasını minimuma indirmek için gerekli yerler sayılabilir. Sert yüzey kaplama abrasiv aşınmayı kontrol etmek için de kullanılır. Bunlar haddelerde, kazıma takımlarında, ekstrüzyon vidalarında, kesme makaslarında, toprak işleri makinelerinin parçalarında ve kırma makinelerinin parçalarında rastlanmaktadır. Bu kaplamalar aynı zamanda yağlanmamış veya zayıf yağlanmış birbiri üzerinde kaygan metal-metal temasının olduğu kontrol valfleri, kepçe ve traktörlerin iniş takımları ve yüksek performans bilyelerinde kullanılmaktadır.

Sert yüzey kaplama aynı zamanda aşınma ve korozyonun birlikte görüldüğü yerlerde kullanılır. Bunlara örnek olarak da çamurlu ortamlarda kullanılan saban, pulluk gibi ziraat takımları, valfler ve pompalar korozyona neden olan sıvılar veya çimento karma makineleri gösterilebilir. En önemli örnekleri paslanmaz çelikten veya sade karbonlu çeliklerden yapılan parçalar, kendilerine özgü yeterli aşınma sağlayamayan malzemeler için önemli örneklerdir.

Sert yüzey kaplama alaşımları aşınmış parçaların yeniden değiştirilmesi sırasında veya orijinal parçaların aşınmalarını çözümlmek için kullanılırlar.

2.2. Dolgu Kaplama

Parçanın istenilen boyuta geri getirilmesi için ilave kaynak metalinin ana metal üzerine kaynak yöntemi ile kaplanmasıdır. Bu alaşımlar genellikle aşınmaya karşı direnç için değil aşınmış parçaları yeniden kullanılabilir hale getirmek veya orijinal boyutlarına geri getirmek veya aşınma etkisi altındaki tabakaya uygun destek sağlamak için kullanılır.

Dolgu kaplama terimi genellikle 3 mm'den daha kalın kaplamalar için kullanılır. Amacı yüzeye korozyon direnci sağlamaktır. Sert yüzey kaplama ise koruyucu kaplamaya nazaran daha ince kaplama kalınlığına sahiptir. Dolgu kaplama yapılmış ana metal parçalar, düşük alaşımlı çelik basınçlı kazanlar, üre reaktörleri, tüp levhalar, kağıt kazanları, nükleer reaktör kazanları, hidrolik kırma makineleri örnek olarak verilebilir. Kaplama malzemesi genellikle ostenitik paslanmaz çelik veya nikel esaslı alaşımlardır. Ancak bazen bakır esaslı alaşımlar da kaplama amaçlı kullanılabilir. Bazı özelleşmiş kaplamalar gümüş dolgu metali kullanılarak da yapılabilir.

Dolgu kaplama genellikle sualtı ark kaynak yöntemi kullanılarak yapılır. Bununla birlikte gazaltı, plazma ark ve elektrocuruf kaynak yöntemleri koruyucu kaplamalar için kullanılan uygun kaplama yöntemleridir. Dolgu malzemesi olarak örtülü elektrotlar, halka şeklinde kaynak telleri ve çıplak elektrotlar kullanılabilir (Thomas vd., 1983)

2.2.1. Uygulama Şekli

Koruyucu kaplama tekniği ana malzemenin yüzeyine istenilen özellikleri kazandırmak için mükemmel bir yöntemdir. Koruyucu kaplama yapılacağı zaman mutlaka göz önünde bulundurulması gereken birkaç zorluğa veya mümkün probleme sahip bir tekniktir. Gerekli yüzeyin kalınlığı kaplamanın kalınlığından az olmalıdır.

Kaynak pozisyonu da kaplama malzemesi ve yöntemi seçileceği zaman dikkate alınmalıdır. Bazı kaynak yöntemleri kendilerine has olan kaynak pozisyonları ile sınırlıdır. Örneğin sualtı ark kaynağı sadece düz konumda uygulanabilir ve yüksek oranlarda dolgu yapılacağı zaman büyük sıvı havuzu oluşur. Dikey konumda veya aşağıdan yukarı doğru kaynak zor veya mümkün olmayabilir. Bazı alaşımlar ötektik katılaşma gösterir. Bu ötektik katılaşma

sıvı halden katı hale geçerken büyük sıvı havuzlarının oluşmasına yol açar. Bazı malzemelerde düz konumlar hariç kaynak yapmak çok zordur.

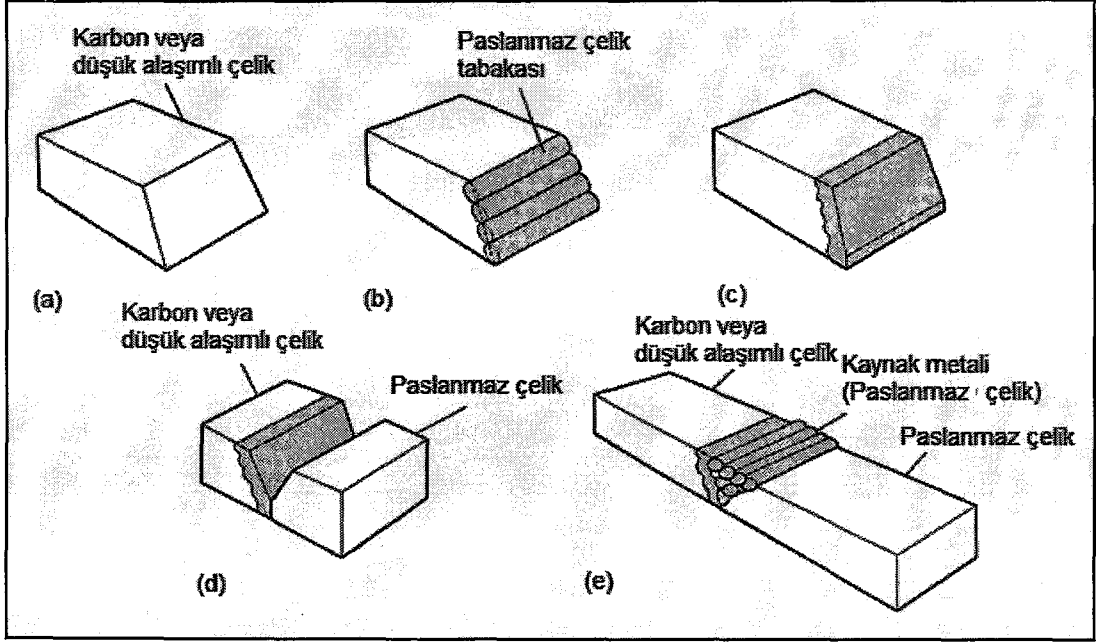
2.3. Koruyucu Kaplama

Düşük alaşımlı veya düşük karbonlu çelik malzemeye korozyona karşı dirençli yüzey tabakası sağlamak amacıyla uygulanır. Genellikle nispeten kalın tabakalar ($\geq 3\text{mm}$) korozyona dirençli sert yüzey tabakası elde etmek için uygulanır. Elektrik ark, toz altı, gaz altı ve plazma püskürtmeli kaynak yöntemleri kullanılabilir.

2.4. Kademeli Kaplama

Asıl yüzeye veya bağlantı yüzeyine bir veya daha fazla kaynak metal tabakasının kaplanmasıdır. Bu yöntemin koruyucu kaplama yönteminden farkı bazı metalurjik gereksinimlere ulaşılabilmesidir.

Bu yöntem ile gerçekte farklı metal-ana metal birleştirmeleri için uygulanır. Eğer ostenitik paslanmaz çelik dolgu malzemesinin ergimesi bir problem yaratıyorsa, karbon veya düşük alaşımlı bir çeliğin yüzeyine 309 veya 310 tipi bir veya iki tabaka bir paslanmaz çelik kaplanacağı zaman ilk kademe kaplama katı iyi kontrol edilebilmelidir (Şekil 2.1a ve Şekil 2.1b). İşlendikten sonra ve kaplandıktan sonraki muayene (Şekil 2.1c), kademeli kaplanmış çelik parça ile paslanmaz çelik kısmın arasındaki bağlantı geleneksel kaynak yöntemleri ve paslanmaz çelik ana metal kaynağı için uygun dolgu metali kullanılarak yapılabilir (Şekil 2.1d ve Şekil 2.1e). Düşük alaşımlı çelik bir parça kademeli kaplamadan sonra ısıtılabilir ve sonra paslanmaz çelik parçaya birleştirilir. Bu yöntem, ostenitik paslanmaz çeliği tane sınırı aşınmasına karşı hassas hale getiren daha sonraki kaynak ısıtılmasından korur.



Şekil 2.1. Düşük alaşımlı veya karbon çeliğine paslanmaz çeliği kaplamak için kademeli kaplama tekniği. a) kademeli kaplama için kenar hazırlığı, b) Dolgu metali ile yüzey kademeli kaplanmış yüzey, c) Kademeli kaplanmış yüzeyin kaynak için hazırlığı, d) Kaynak için yan yana getirilmiş parçalar, e) paslanmaz çelik dolgu metali ile birleştirme kaynağı.

2.5. Sert Yüzey Kaplama İşlemi

Sert yüzey kaplama, yukarıda da ifade edildiği gibi sert, aşınmaya karşı dirençli bir malzemenin başka bir cismin yüzeyine abrazyon, erozyon, kavitasyon ve çarpma ile oluşan malzeme kaybını azaltmak için kaynak, ısıl püskürtme işlemleri ile kaplanmasıdır. Kaynak ve ısıl püskürtme ile yüzeye alevle sertleştirme, nitrürasyon, sementasyon, ısıl işlem gibi yüzey sertleştirme işlemleri uygulanmaz. Korozyon ve yüksek sıcaklık, aşınma direnci üzerinde büyük etkiye sahip olabilir. Bu yüzden böylesi durumlarda uygun yüzey kaplama malzemesi seçimi önem kazanır.

Aşınmanın önlenmesi için yapılan yüzey kaplama işlemleri, çok büyük oranda aşınmanın meydana geldiği kayaların kırılmasından, metal-metal aşınmasının meydana geldiği en küçük düzeydeki aşınma durumlarında bile uygulanır (Çelik ve diğ., 1995).

Sert yüzey kaplama, karşılıklı olarak çalışan dövme çekiçleri, kazıcı aletler, helisel sıkıştırıcılar, kesici takımlar, toprak kazma makineleri, değirmen çarkları ve ezici araçlarda meydana gelen abrasiv aşınmanın tamirinde kullanılır. Birçok durumda sert yüzey kaplama işlemi uygulanan ana malzeme sade karbonlu çelik ya da paslanmaz çelikten yapılmıştır. Malzemeler tek başına etkili aşınma direnci sağlayamazlar. Yüzey kaplama alaşımları aşınan parçaların kritik aşınma bölgelerinde de uygulanır.

2.6. Yüzey Kaplama Malzemeleri

Yüzey kaplama malzemeleri çok çeşitli alaşımlar, karbürler ve bu malzemelerin bileşimlerinden oluşur. Geleneksel yüzey kaplama alaşımları ince tabaka yüzey kaplama malzemeleri olarak ta kullanılabilirler. Bu malzemeler, çelikler veya düşük alaşımlı demir esaslı malzemeler, yüksek kromlu beyaz dökme demir veya yüksek alaşımlı demir esaslı malzemeler, karbürler, nikel esaslı veya kobalt esaslı alaşımlar olarak sınıflandırılabilirler. Bazen az miktarda bakır esaslı alaşımlar yüzey kaplama işlemlerinde kullanılabilirler; fakat birçok parçada yüzey kaplama alaşımları demir, nikel ve kobalt esaslıdır. Yıllık yüzey kaplama alaşım tüketimi 18×10^6 kg' dır. Bunun % 90'ı demir esaslı alaşımlardır.

Mikroyapısal olarak yüzey kaplama alaşımları genellikle borürler, karbürler gibi sert çökelti fazlarının daha yumuşak demir, nikel ve kobalt esaslı alaşımlardan oluşan bir matris içinde yer aldığı bir kombinasyondur. Karbürler, demir ve kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarında sert faz olarak bulunurlar. Demir ve kobalt esaslı sert yüzey alaşımlarında karbon içeriği ağırlıkça % 4 civarındadır. Borürler de karbürler gibi nikel esaslı yüzey kaplama alaşımı içinde en çok rastlanan sert fazdır. Alaşımlarda karbon ve bor elementleri birlikte bulunuyorsa bunların ağırlıkça toplamı % 5 civarındadır. Birçok kobalt, nikel ve yüksek oranlı demir esaslı sert yüzey kaplama alaşımları genellikle % 35 üzerinde krom, % 30 üzerinde Mo ve % 13 üzerinde W ve az miktarda Si ve Mn içerir.

2.7. Yüzey Kaplama Alaşımlarının Sınıflandırılması

Yüzey kaplama alaşımları beş grupta toplanırlar (Crook ve Farmer, 1992). Bunlar;

- Dolgu kaplama alaşımları,
- Metal-metal aşınmasında kullanılan alaşımlar,
- Metal-toprak abrasiv aşınmasında kullanılan alaşımlar
- Tungsten karbür (aşırı derecede aşınmanın olduğu yerlerde kullanılan) alaşımlar,
- Demir dışı alaşımlardır.

2.7.1. Dolgu Kaplama Alaşımları

Düşük alaşımlı perlitik çelikler ve yüksek alaşımlı ostenitik manganlı çeliklerdir. Birçok parçada bu alaşımlar aşınmaya karşı direnç için değil, aşınmış bir parçayı geri kazanmak veya orijinal boyutlarına yakın hale getirmek ve gerçek yüzey kaplama malzemelerinin sonraki katlarına uygun destek sağlamak amacıyla üretilirler. Bununla beraber ostenitik manganlı

Çelikler az zorlanmalı aşınma ortamlarında aşınma dirençli malzemeler olarak kullanılırlar. Dolgu kaplama alaşımlarının kullanıldığı tipik örnekler demiryolları, demiryolları ray başları, elik paletler, düşük hızlı ve büyük kesitli dişli arklardır.

2.7.2. Metal-Metal Aşınma Alaşımları

Makine parçalarının aşınmış bölgelerine çatlaksız şekilde uygulanabilen martenzitik hava elikleridirler. Bu yüzden bu malzemeler genellikle makine elemanları için sert yüzey kaplama alaşımları olarak bilinirler. Bu alaşım ailesinin tipik uygulama alanları, traktörlerin taşıma mekanizmaları, elik merdaneler ve vinç tekerlekleridir.

2.7.3. Metal-Toprak Abrasiv Aşınma Alaşımları

Alaşımın katılaşması esnasında krom karbürlerin oluştuğu yüksek krom içerikli beyaz dökme demirlerdir. Metal-toprak işlemlerinde kullanılan alaşımlar yüksek oranda sürtünme ve kazıma direncine (yani düşük ve yüksek gerilmeli abrazyon) sahiptirler. Bu malzemelerin tipik uygulama alanları kepçe dişleri, kaya kırma aletleri ve sondaj matkaplarıdır.

2.7.4. Tungsten Karbürler

Gerçekte kompozit malzemelerdir, farklı tungsten karbür partikülleri kaynak arkı ile ergitilmiş haldeki kaynak banyosuna transfer edilir ve matris içinde yer alırlar (Armyanov, 1999). Tungsten karbürler aşırı derecede sertlik ve kesme durumlarındaki kullanımlar için tasarlanırlar. Tungsten karbürlerin tipik uygulama alanları kesici takımlar, kaya delgi matkap uçları, kazı ve sondaj aletleridir.

2.7.5. Demir Dışı Yüzey Kaplama Alaşımları

Demir esaslı yüzey kaplama alaşımlarının kullanımının uygun olmadığı korozif ortamlarda veya çok özel bir aşınmaya karşı yüksek direncin gerekli olduğu yerlerde kullanılırlar.

Bu alaşımlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar.

- Karbür ve Laves fazı içeren kobalt esaslı alaşımlar,
- Karbür, Laves fazı ve bor içerikli nikel esaslı alaşımlar,

—Bakır esaslı alaşımlar.

Demir esaslı yüzey kaplama alaşımları ve tungsten karbür kompozitler tarımsal uygulamalarda, kazı işlerinde, inşaat alanında ve çelik endüstrisinde geniş kullanım alanına sahiptirler. Demir dışı alaşımlar kimyasal reaksiyonların olduğu alanlarda, güç, otomotiv ve yağ endüstrisinde kullanılırlar ve bunların hepsinin aşınma direncine ilaveten şiddetli çevre şartlarına karşı dirençli olmaları gerekir. Kobalt esaslı alaşımlar deformasyona ve yüksek sıcaklıklardaki ($500\text{ }^{\circ}\text{C} < T \leq 900\text{ }^{\circ}\text{C}$) kimyasal olaylara karşı dirençlidir ve çelik endüstrisindeki kılavuz merdanelerinin kaplanması da kullanılırlar. Demir dışı yüzey kaplama alaşımlarının diğer uygulama alanları valf oturma yüzeyleri (hem kontrol valfleri hem de dizel egsoz valfleri) pompa parçaları, ekstrüzyon vidaları, kaya delgi matkapları, gemi yatakları ve cam ergitme mekanizmalarıdır.

2.7.6. Kobalt Esaslı Sert Yüzey Kaplama Alaşımları

Kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımların ticari olarak iki türü vardır; karbür içerikli alaşımlar ve Laves fazı içerikli alaşımlar (Drapier, 1975; Crook ve Farmer, 1992). Kobalt esaslı alaşımların bileşimleri ve özellikleri Tablo 2.1 ve 2.2’ de verilmiştir.

Tablo 2.1. Çeşitli kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının kimyasal bileşimi

Alaşımlar	Bileşim, % ağı.					
	Cr	Mo	W	Si	C	Co
Karbür içerikli alaşımlar						
ERCoCr-A	28	—	5	—	1,2	kalan
ERCoCr-B	29	—	8	—	1,5	kalan
ERCoCr-C	31	—	13	—	2,5	kalan
ERCoCr-E	27	—	6	—	0,2	kalan
Laves fazlı alaşımlar						
T-400	9	18	—	2,5	—	kalan
T-800	18	29	—	3,5	—	kalan

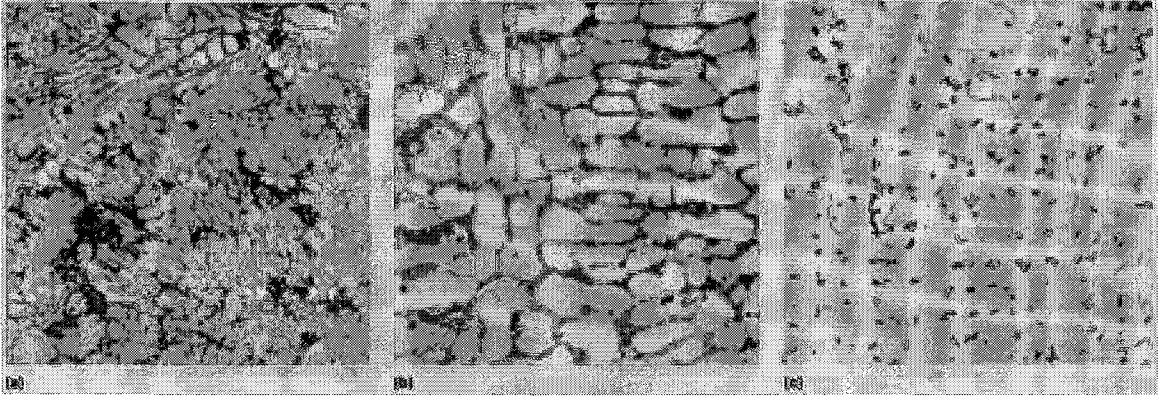
2.7.6.1. Kobalt Esaslı Alaşımların İçerdiği Karbürler

Karbür içerikli kobalt esaslı alaşımlardan ilk olarak geliştirilen ve Co-28Cr-4W-1,1 C bileşimi ile bilinen alaşım, 1900’lerden beri kullanılmaktadır. Co-Cr esaslı alaşımlar implant malzemesi olarak günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar (Placko vd, 1998). Çeşitli

karbür içerikli kobalt esaslı alaşımlar arasındaki temel fark karbon içeriğidir. Yüksek tungsten içerikli bu alaşımlarda tungstence zengin M_6C 'nin bulunmasına rağmen, kromca zengin M_7C_3 karbürü vardır ve düşük karbonlu alaşımlarda kromca zengin $M_{23}C_6$ daha çok bulunur. Şekil 2.1 karbür içerikli kobalt esaslı alaşımların (ERCoCr-A,-B,-C,-E) karbon içeriği ile düşük gerilmeli abrasiv aşınma direnci arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Buradaki düşük gerilmeli abrasiv veriler ASTM G 65 kuru kum/kauçuk tekerlekli abrasiv test yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Üç çeşit karbür içeren kobalt esaslı alaşımların plazma ark kaynak yöntemi ile çift katlı yüzey kaplama tabakasının mikroyapı fotoğrafları Şekil 2.2'de görülmektedir. Karbür hacim oranındaki ve geometrisindeki farklılıklar bu mikroyapı fotoğrafında belirgin olarak görülmektedir (Kuzucu ve diğ., 1997).

Tablo 2.2. Çeşitli kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımların özellikleri

Özellik	Alaşım 21(a)	RCoCrA	RCoCrB	RCoCrC	Tribaloy T-800
Yoğunluk, g/cm^3	8.3	8.3	8.6	8.6	8.6
En büyük basma direnci, Mpa	1295	1515	1765	1930	1780
En büyük çekme muk., Mpa	710	834	827	620	--
Uzama, %	8	1.2	1	1	--
Termal yayılma kats. $^{\circ}C^{-1}$	14.8×10^{-6}	15.7×10^{-6}	14×10^{-6}	13.1×10^{-6}	12.3×10^{-6}
Sıcak sertlik, DPH					
445 $^{\circ}C$	150	300	345	510	659
540 $^{\circ}C$	145	275	325	465	622
650 $^{\circ}C$	135	260	285	390	490
760 $^{\circ}C$	115	185	245	230	308
Aşınma					
Yağsız kayma aşınması (b), mm^3					
670 N	5.2	2.6	2.4	0.6	1.7
1330 N	14.5	18.8	18.4	0.8	2.1
Abrasiv aşınma (c), mm^3					
Oksi-Gaz	....	29	12	8	....
TIG	86	64	57	52	24
Çentiksiz Charpy darbe muk., J	37	23	5	5	1.4
Korozyon direnci (d)					
65 $^{\circ}C$ ' de % 65 nitrik asit	U	U	U	U	S
65 $^{\circ}C$ ' de % 5 sülfirik asit	E	E	E	E	...
400 $^{\circ}C$ ' de % 50 fosforik asit	U	E	E	E	E
(a)	Co-27Cr-5Mo-2.8Ni-0.2C.				
(b)	Aşınma değişen yüklerde uygulanan 2000 devir için 80 dev/dak'da 4620 çelik yüzüğe karşı Dow-Corning LFW-1'de yapılan testlerden ölçülmüştür.				
(c)	Aşınma kuru kum kauçuk tekerlek abrazyon testlerinden ölçülmüştür. American Foundrymen's Society kum testi ve 230 mm çapında kauçuk tekerlek kullanılarak 135 N yük altında 2000 devir için test edilmiştir.				
(d)	E, 2 mil/yıl'dan daha az; U, 50 mil/yıl'dan daha fazla; S, 20 mil/yıl'dan çok 50 mil/yıl'dan az				

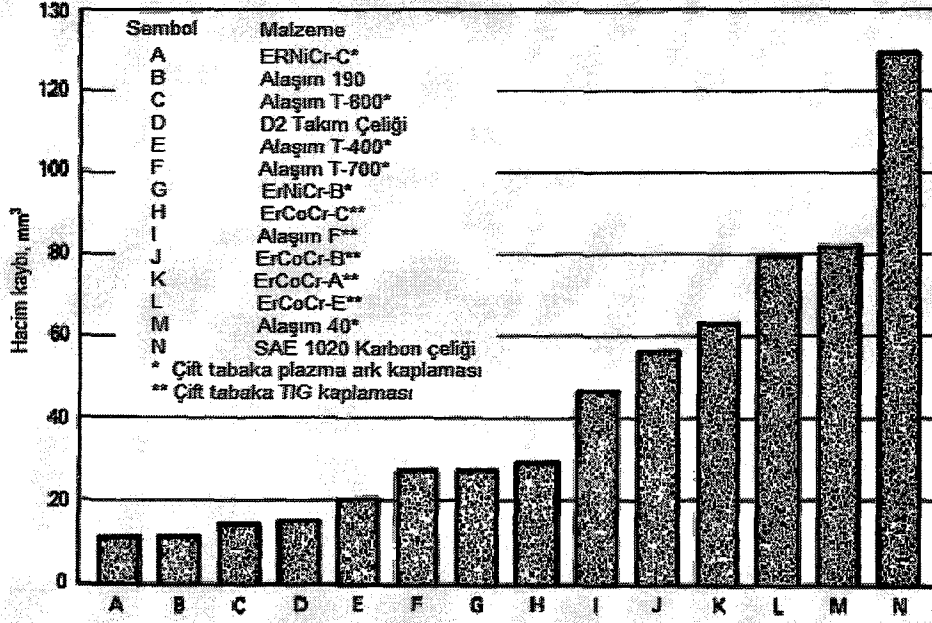


Şekil 2.2. Karbür içerikli kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının çift tabaka plazma ark kaplama mikroyapı görünümü (a) ERCoCr-C, (b) ERCoCr-A, (c) ERCoCr-E, 425X (Kuzucu ve diğ., 1997).

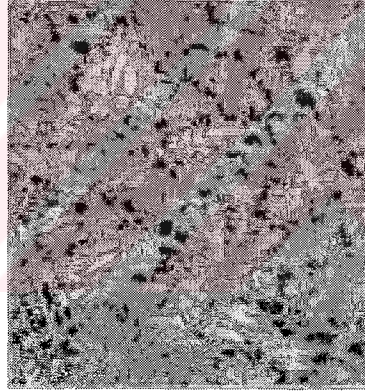
2.7.7. Laves Fazı İçeren Kobalt Esaslı Alaşımlar

Laves fazı, metaller arası topolojik sıkı paket (TSP) yapısına sahip bir bileşiktir. Daha önceleri metalurjistler mekanik özelliklere zararlı etkisinden dolayı birçok alaşımda Laves fazının varlığından kaçınmışlardır. Bununla birlikte 1960'lı yılların başında Laves fazının metal-metal aşınmasına karşı direnci keşfedilmiş, sonradan Laves fazını içeren ticari alaşımlar geliştirilmiştir. Tablo 2.1' de gösterildiği gibi yüzey kaplama işlemleri için Laves fazı içeren iki farklı kobalt esaslı ticari alaşım mevcuttur: Co-29Mo-9Cr-2.5Si (T-400) ve Co-29Mo-18Cr3.5Si (T-800). Bu alaşımların her ikisinde de hacimce en az % 50 Laves fazı vardır. Kobalt esaslı matristeki bağlanma krom ve molibden vasıtasıyla olur (Kuzucu ve diğ., 1998). Laves fazı, metaller arası bir faz olmasından dolayı bu alaşımlarda çok fazladır ve Laves fazı bütün malzeme özelliklerini etkiler. Bundan dolayı bu alaşımlardaki matris bileşiminin etkisi, karbür içerikli kobalt esaslı alaşımların durumlarından daha az belirgindir. Laves fazı özellikle önemli ölçüde abrasiv aşınma direnci sağlar, fakat malzeme sünekliğini ve kırılganlık mukavemetini sınırlı hale getirir. Bu alaşımlar ile ön tav uygulanmış küçük parçalar hariç tamamen çatlaksız bir kaplama yapmak çok zordur. Bundan dolayı termal püskürtme malzemeleri olarak daha başarılı bir şekilde kullanılmışlardır (Zordan, 1982).

Şekil 2.3'de ASTM G 65 Düşük gerilmeli abrasiv test yöntemi kullanılarak Laves fazı içerikli kobalt esaslı T -400 ve T -800 gibi demir dışı yüzey kaplama alaşımlarının abrasiv aşınma dirençleri karşılaştırılmaktadır. T -800 alaşımının plazma ark kaynağı ile doldurulmuş iki tabakasının mikroyapısı şekil 2.4' de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. ASTM G 65 Düşük gerilmeli abrasiv test yöntemi kullanılarak Laves fazı içerikli kobalt esaslı T-400 ve T-800 gibi demir dışı yüzey kaplama alaşımlarının abrasiv aşınma dirençleri (Crook ve Farmer, 1992).



Şekil 2.4. Laves fazı içerikli kobalt esaslı T-800 yüzey kaplama alaşımının mikroyapı görünümü (Çift tabaka plazma ark kaynak dolgusu)(Crook ve Farmer, 1992).

2.7.8. Nikel Esaslı Alaşımlar

Mevcut ticari nikel esaslı yüzey kaplama alaşımları üç guruba ayrılır; bor içerikli alaşımlar, karbür içerikli alaşımlar ve Laves fazı içerikli alaşımlar (Ocken ve Velan, 1935). Bazı tipik nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının bileşimi Tablo 2.3 'te gösterilmiştir. Bu alaşımların diğer özellikleri de Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Yüksek nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının kimyasal bileşimi (Crook ve Farmer, 1992).

Alaşım	Bileşim, % ağı.								
	Fe	Cr	Mo	W	Si	C	B	Co	Ni
Borür içerikli alaşımlar									
Alaşım 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
Karbür içerikli alaşımlar									
Alaşım N-6	3	29	5.5	2	1.5	1.1	0.6	3	kalan
Alaşım 716	kalan	26	3	3.5	1.5	1.1	0.5	11	23
Laves fazlı alaşımlar									
T-700	....	16	33	....	3.5	.....	.....	.....	kalan

Tablo 2.4. Çeşitli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının özellikleri (Crook ve Farmer, 1992)

Özellik	RNiCrC	RNiCrB	Hastelloy C (Ni-17Cr-17Mo-O,12C)	Tribaloy T-700
Yoğunluk, g/cm ³	7,8	8	8,6	8,6
Termal yayılma kats., °C ⁻¹	14,3	14,3	13,7	11,9
Sıcak sertlik, DPH				
425 °C	555	...	190	500
540 °C	440	...	185	485
650 °C	250	...	170	400
760 °C	115	...	145	280
Aşınma				
Yağsız kayma aşınması,mm ³				
610 N	0,15	0,3	0,4	0,1
1330 N	0,3	0,4	...	0,3
Abrasiv aşınma, mm ³				
Oksi-gaz	12	18	...	
TIG	11	12	105	
Çentiksiz Charpy muk, J	3	3	39	1,4
65 °C de korozyon direnci				
% 65 nitrik asit	U	U	E	E
% 5 sülfürik asit	U	U	E	E
% 50 fosforik asit	U	U	E	E
(U, 50 mil/yıl'dan daha fazla)		(E, 2 mil/yıl' dan daha az)		

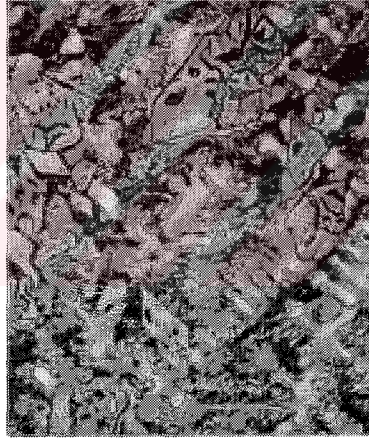
2.7.8.1. Bor İçerikli Nikel Esaslı Alaşımlar

Bor içerikli nikel esaslı alaşımlar önceleri püskürtme ve sinterleme tozları gibi ticari amaçla üretilmiştir. Halen bu alaşımlar birçok yüzey kaplama üreticisi tarafından piyasada farklı ticari isimler altında örtüsüz çubuklar, toz çekirdekli teller, plazma kaynağı ve elle yapılan torc kaynağı tozları gibi değişik formlarda bulundurulurlar. Bu alaşım grubu öncelikle nikel, krom, bor, silisyum ve karbon içerir. Genellikle bor içeriği, % 16 gibi yüksek oranda krom içeriğine

bağlı olarak, % 1.5-3.5 oranındadır. Yüksek kromlu alaşımlar büyük oranda bor içerirler ve bunlar yaklaşık olarak 1800 HV sertliğe sahip krom-bor alaşımlarını oluştururlar.

Bütün yüzey kaplama alaşımları gibi, bor içerikli nikel esaslı alaşımların mikroyapısı da çok karmaşıktır. Bu tip alaşımların yapısının karmaşıklığı ERNiCr-C çift plazma ark kaynak tabakası mikroyapı fotoğrafı Şekil 2.5'te net bir şekilde görülmektedir. Alaşım, demir, krom, bor ve karbon içeriklerine göre belirli özellik gösterir. Demir içeriği büyük oranda üretim sırasında ferro bileşiklerin kullanımına bağlıdır. Nikel ile beraber diğer üç element yapı içerisinde katılma esnasında sert fazın durumunu ve cinsini belirler; bor birincil sert fazı (nikel ve krom da burada aktif rol oynar) ve karbon ikincil sert fazı oluşturur. Bor içerikli nikel esaslı alaşımlarda krom içeriğine bağlı olarak oluşan gerçek fazlar Tablo 2.5' te gösterilmiştir.

Malzemede bulunan silisyumun asıl amacı bor ile beraber süneklik özelliği kazandırmaktır. Aynı zamanda bu, matris fazının önemli bir elementidir, metaller arası çöktillerin potansiyel oluşturucusudur ve alaşımların aşınma özelliklerinde güçlü bir etkisi vardır. Bor içeriği silisyumlu bileşiklerin (NbSi) oluşumu için gerekli olan silisyum düzeyini etkiler. Silisyumlu bileşikler en yüksek bor oranı ve en düşük silisyum oranında oluşurlar.



Şekil 2.5. ERNiCr-C plazma ark kaynağı ile çift tabaka kaplanmış bor içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımının mikroyapısı (Crook ve Farmer, 1992).

Tablo 2.5. Bor içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarında oluşan fazlar(Crook ve Farmer, 1992)

Krom içeriği	İkincil fazlar		
	Bileşik formu	Şartlar	Belirgin sert faz
Düşük (ağ.% 5)	Ni_3S	ağ. Si > % 3	Ni_3B
Orta (ağ.% 15)	Ni_3S	ağ. Si > % 2.5	Ni_3B ve krom borür (genellikle CrB formunda olup Cr_2B ve Cr_3B_2 formunda da bulunabilir)
Yüksek (ağ.% 25)	Ni_3S	ağ. Si > % 3	CrB ve Cr_5B_3
Bütün şartlarda	....	.....	$M_{23}C_6$ ve M_7C_3 tipi karbürlerin karışımı

Bor ve karbürün mikroyapı içinde dağılmalarından dolayı bor içerikli nikel esaslı alaşımlar üstün abrasiv aşınma direnci gösterirler. Düşük gerilmeli aşınma direnci genellikle bor ve karbon içeriği ile artar, bu yüzden sert fazın hacimce miktarı önemlidir. Sürtünme koşullarında performansı kobalt esaslı malzemeler kadar iyi olmasa da, bor içerikli nikel esaslı alaşımlar orta düzeyde aşınma direncine sahiptirler. Demir dışı malzemelerden olan bor içerikli nikel esaslı alaşımlar en düşük korozyon direncine sahiptirler.

2.7.8.2. Karbür İçerikli Nikel Esaslı Alaşımlar

Karbür içerikli nikel esaslı alaşımların kullanımı bir müddet sınırlı kalmıştır. Bununla beraber bu alaşımlar kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarına alternatif olmuşlardır. Özellikle nükleer güç endüstrisinde buna ihtiyaç duyulur, çünkü burada kobalt esaslı alaşımlar radyoaktif dönüşüme uğrarlar. En popüler olan ve yaygın bir şekilde kullanılan kobalt içermeyen alaşımlar Ni-Cr-Mo-C ve Ni-Cr-Fe-C sistemleridir.

Genellikle karbür içerikli nikel esaslı alaşımların oksii-asetilen ile kaynak edilebilirliği zayıftır ve ayrıca oksii-asetilen yöntemi yüzey kaplama işlemleri için uygun değildir. Ni-Cr-Mo-Co-Fe-W-C sistemi içerisinde karbür içeren nikel esaslı alaşımlar oksii-asetilen yöntemi ile daha kolay kaynak edilebilir ve kobalt esaslı alaşımlara alternatif olarak düşük maliyeti bir avantajdır. Bu alaşımlar içeriklerine bağlı olarak kobalt esaslı alaşımlara benzer bir şekilde M_7C_3 veya M_6C karbürlerini içerirler (Crook ve Farmer, 1992).

2.7.8.3. Laves Fazı İçerikli Nikel Esaslı Alaşımlar

Ticari olarak sadece bir tane Laves fazı içerikli nikel esaslı alaşım vardır. Bunun da kimyasal bileşimi Ni-33Mo-16Cr-3.5Si şeklindedir. Bu alaşım diğer birçok nikel esaslı alaşım gibi oksii-asetilen kaynak yöntemi ile zor kaynak edilir. Fakat TIG veya PA (Plazma Ark) yöntemleri ile kolaylıkla kaynak edilebilir. Aynı zamanda söz konusu alaşıma plazma püskürtme veya yüksek hızda oksii-gaz termal püskürtme teknikleri de uygulanabilir. Üstün metal-metal aşınma direncine ve orta düzeyde abrasiv aşınma direncine sahip olmasına rağmen, darbe direnci zayıftır (Crook ve Farmer, 1992) .

3. YÜZEY KAPLAMA KRİTERLERİ

3.1. Yüzey Kaplama Alaşım Seçimi

Yüzey kaplama alaşım seçimi önce aşınma ve maliyet göz önünde bulundurularak belirlenir. Bununla beraber ana metal, kaplama işlemi, çarpma, korozyon, oksidasyon ve termal şartlar gibi diğer çevresel ve üretim faktörleri de göz önüne alınmalıdır. Genellikle yüzey kaplama işlemine göre, yüzey kaplama veya dolgu metal ürün formu belirlenir.

Yüzey kaplama alaşımları genellikle örtüsüz çubuk, örtülü çubuk, uzun teller, toz özlü tel (örtülü, örtüsüz) veya tozlar şeklinde mevcuttur. Kaynak türlerine göre kullanım şöyledir:

Yüzey kaplama işlemleri

Kullanılan Formlar

Oksi-gaz / oksi-asetilen.....	Örtüsüz veya toz özlü tel
Elektrik ark kaynağı.....	Örtülü veya toz özlü çubuk (elektrot)
TIG kaynağı.....	Örtüsüz veya toz özlü çubuk
MIG-MAG kaynağı.....	Toz özlü veya sürekli tel
Toz özlü açık ark.....	Toz özlü tel
Tozaltı ark kaynağı.....	Toz özlü veya sürekli çubuk
Plazma ark kaynağı.....	Toz
Lazer ışın kaynağı.....	Toz

Genel olarak yüzey kaplama alaşımlarının karbür içeriği artarken sünekliği azalır. Sonuç olarak çarpma ve abrasiv aşınma direncinin birlikte istendiği durumlarda ikisi arasında denge sağlanmalıdır. Kırılabilirliğin çok önemli olduğu durumlarda ostenitik manganlı çelikler aşınan parçaları tamir için kullanılabilir. Kimyasal işlemler, petrol endüstrisi ve egzoz gazı bacalarında karşılaşılan asitli ve alkali ortamlarda demir esaslı yüzey kaplama alaşımlarının çok azı yeterli korozyon direncine sahiptir. Nikel veya kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımları, korozyon ve aşınma direncinin birlikte istendiği durumlarda tavsiye edilir. Örneğin; eğer bıçağın ağzı kobalt esaslı alaşımdan yapılsaydı, domates kesmede kullanılan bıçak çelikten yapılmış olan bıçaktan daha uzun süre dayanırdı.

Demir esaslı alaşımların oksidasyon ve sıcak korozyon direnci de genellikle zayıftır (Subramanyam ve diğ., 1990). Genellikle bor içerikli nikel esaslı alaşımlar matriste oksidasyona karşı direnç için yeterli miktarda krom içermezler. Bu yüzden aşınma direnci ile beraber oksidasyon veya sıcak korozyon direncinin gerekli olduğu durumlarda Laves fazı veya karbür içerikli nikel veya kobalt esaslı alaşımlar tavsiye edilir. Bir alaşımın yüksek sıcaklıklarda mukavemetini kaybetmemesi, sıcak dövme kalıpları veya valflerin 870 °C'de kullanımı ve kömürden gaz elde edilmesi/sıvı hale konması işlemlerinde olduğu gibi aşınmanın meydana

geldiği yerlerde önemlidir. Martenzitik yapıli demir esasli alaşımlar yüksek sıcaklıklarda sertliklerini kaybederler. Genellikle yüzey kaplama alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruması molibden ve tungsten içeriği ile artar. Yüksek sıcaklık mukavemeti ve aşınma direnci gerektiren uygulamalarda, kobalt esasli veya Laves fazı içerikli alaşımlar tavsiye edilir (Çelik ve Yaz, 2000; İzçiler ve Çelik, 2000).

Tablo 3.1. Püskürtme yöntemleri ve şartları (Unger, 1987).

	Alev Püskürtme	Patlatma Tabancası	Plazma ark	Elektrik Ark
Yakıt	Oksijen+Propan veya Asetilen, H ₂	Oksijen+Asetilen	Elektrik+ Asal gaz	Elektrik
Ergitilen Malzemeler	Metaller, Seramikler, sermetler, seçilmiş kompozitler, bazı polimerler	Başlıca oksit ve karbür seramikler ve sermetler	Metaller, seramikler, sermetler, kompozitler	Metaller, seçilmiş kompozitler
Beslenme Şekli	Toz, tel, çubuk, özlü tel	Toz	Toz	Tel, özlü tel
Alev Sıcaklığı °C	2600-3100	3100'e kadar	20000'e kadar	4000-6000
Atomizasyon Yöntemi	Basıncılı hava	Önceden atom.	Önceden atom.	Basıncılı hava
Parçacık Hızı (m/sn)	90-100	760'a kadar	600'e kadar	150-300
Püskürtme Tempusu (Kg/s)	1-10	1-3	0,5-10	1-50
Oksit Düzeyi	Gen.Yüksek	Çok alçak	Orta ile alçak	Orta ile alçak
Gözeneklik (%)	5-15	0,25-5	0,5-10	3-10
Kalınlık (mm)	0,1-15	0,05-0,3	0,05-1	0,1-50+
Yapışma Kuv. (N/mm ²)	20	170'e kadar	35-70+	28

Aşınma dirençli malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması genellikle alaşım içeriği ve çeşidine göre yapılır. Bu alaşım, istenilen alaşım özelliklerine bağlı olarak belirli bir düzeye kadar sertleştirilmiş matris içinde sert faz (karbürler, borürler, Laves fazları) bulunduran yapılara sahiptir.

Tablo 3.1'de yüzey kaplama alaşımlarının belirli avantajları, uygulama alanları ile birlikte geniş bir şekilde gösterilmektedir. Ayrıca bunun gibi yüzey kaplama üreticileri tarafından yapılan tavsiyeler de vardır. Yüzey kaplama alaşımları seçiminde aşağıdaki basamaklar izlenmelidir. Bunlar;

- . Çevresel aşınma şartları ve aşınma tipini belirlemek için çalışma şartlarının analizi,
- . Çeşitli ve olabilecek birkaç yüzey kaplama alaşımının seçimi,
- . Termal gerilme ve muhtemel çatlamaları göz önünde bulundurularak yüzey kaplama alaşımı ile ana metal uyumunun analizi,
- . Yüzey kaplama işlemi görmüş parçaların uygulama alan testi,

- . Maliyet ve aşınma ömrüne göre optimum bir yüzey kaplama alaşımının seçimi,
- . Aşınmış parçanın üretimi için yüzey kaplama işleminin seçimi, kaplama oranı, dilatasyon miktarı, kaplama, verimlilik ve bütün maliyetin göz önünde bulundurulmasıdır.

3.2. Yüzey Kaplama Yöntem Seçimi

Yüzey kaplama yöntem seçimi, mühendislik uygulamasına bağlı olarak yüzey kaplama alaşım seçimi kadar önemli olabilir. Çalışma performans gereksinimleri sadece yüzey kaplama alaşım seçimi ile bitmez, aynı zamanda yüzey kaplama işlem seçiminde de çok büyük etkisi vardır. Yüzey kaplama işlem seçimi ile ilgili olan diğer teknik faktörler, yüzey kaplama özelliği ve kalite gereksinimleri, iş parçasının fiziksel özellikleri, ana metalin metalurjik özellikleri, yüzey kaplama alaşımının şekli ve bileşimi ve kaynakçı becerisidir. Ekonomik faktörler de önemlidir. Yüzey kaplama terimi bazen hem dolgu malzemeleri hem de az miktarda ana malzemenin eritildiği ve metalurjik esaslar çerçevesinde birleştirildiği hallerde gerçek kaynak işlemlerini tanımlamada kullanılır.

Oksi-gaz ve lazer kaynak metotları gibi yöntemler, yüzey kaplama malzemesi ve ana metal arasında mükemmel bir bağlanma ve nispeten kalın kaplama gerektiren işlemler için tercih edilir. Termal püskürtme işlemleri minimum çalışma hatası, İnce ve sert katmanların istenildiği, yüzey kaplama malzemesi ile ana metal arasında kusursuz mekanik bağın olduğu uygulamalar için kullanılır.

3.2.1. Kaynak Çubuklarıyla El Oksi-Asetilen Yüzey Dolgusu

Bu yöntem, düzgün, pürüzsüz, hassas ve son derece yüksek kalite dolgu kaynağı için çok elverişlidir. Dolgu malzemesiyle ana metallerin, çelikler üzerine uygulanmış kobalt esaslı dolgu metalleri gibi birbirinden çok farklı oldukları hallerde ana metal karışmasından bağımsızlık çok önemli olabilir.

El oksi-asetilen dolgu kaynağında, yüksek kalitede dolgu kaynağı elde etmek kaynakçının yüksek ölçüde becerisine bağlıdır. Şöyle ki çubukla üfleç alevi, aynı zamanda ayrı ayrı idare edileceklerdir. Kaynakçı işlemi büyük ölçüde yakından kontrol edecektir. Çok küçük alanlar, oluk vs. girintiler hassasiyetle doldurulabilir ve çok ince tabakalara düzgünce uygulanabilir. Tungsten karbür içeren çubuklar, aşınmaya dayanıklı parçaların asgari erimesiyle ve kontrollü parçacık dağılımıyla kullanılabilir. Aşınma mukavemeti yüksek fakat

gevrek kaplamalarla bile, ön ısıtma ve yavaş soğutma, çatlamayı asgariye indirmeye yardımcı olur.

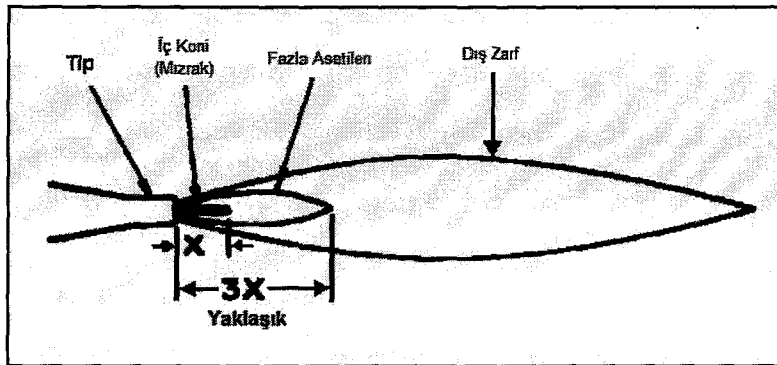
Bu yöntem buhar valfleri, otomotiv ve dizel motorlar supapları, odun ve plastik için kesme bıçakları, zincir testere çubukları, saban demirleri vs. tarım aletlerinin dolgusu için en tatminkâr olanıdır. Parçaların çalışma yerinde kolaylıkla uygulanabilir. Dişli çarkların kırılmış uçları, makine parçalarının uyumsuz yüzeyleri veya monel metal gibi demir dışı alaşımlardan yapılmış parçalar, ana metalle birleşim olarak aynı veya farklı bir metalle eski ölçülerine getirilebilir

Gerekli ergime davranışını ve beklenen dolgu metalinin niteliklerini sağlamak için alev ayarı, çubuk imalatçısının talimatı gereğince yapılır. Yüzey dolgu metallerinin çoğunda bir redükleyici alevle (Şekil 3.1) çalışılır; bu alev karbon kaybını önler.

Redükleyici alev fiilen, terk edilen metale bir miktar karbon da ekleyebilir. Alevin, terk edilen metalin bileşimi üzerindeki etkisi, imal sırasında kaynak çubuğunun bileşiminin tasarımında göz önünde bulundurulur.

Bu tür bir uygulamada, bir yüksek kromlu dökme demir ya da Cr-Co-W alaşımı gibi bir alçak ergime noktalı yüksek karbonlu dolgu metal, yüksek ergime noktalı alçak veya orta karbonlu bir çelik üzerine püskürtülür. 3X asetilen zarfı/mızrak oranlı bir alev (Şekil 3.1) kullanılarak ana metal küçük bir alanda düzgün olarak ön ısıtılır. Redükleyici alev yüzeyi karbürler ve ergime noktasını alçaltır ve nihayet yüzey üzerine bir film ergitir. Bunun işareti “terleme” ya da bir parlak görünüm şeklindedir. Alevin kenarında önceden ısıtılmış olması gereken dolgu çubuğunun ucu, artık alevin sıcak olan merkezine taşınıp ergitilmiştir. Alev, doldurulan alanın kenarına taşındığında, kaynak çubuğunun ucu önünde gider, gereği gibi çubuk ergitilir (sola kaynak). Sağa kaynak yönteminin kullanıldığı zaman ise ana metallin karışması asgariye indirilir.

Ana metalin özel hazırlığı faydalı olabilir. Doldurulacak alanda oluk ve çubukluklar taşlanabilir ya da talaşla kaldırılabilir ve ergimiş metalle doldurulabilir.



Şekil 3.1. Oksi-asetilen kaynağı ile dolguda kullanılan karbürleyici alevin yaklaşık ölçüleri

3.2.2 Tozlu Dolgu Metali İle El Oksi- Asetilen Yüzey Dolgusu

Gaz kaynağı yönteminin bu tipi, bir toz hunisi ve toz sürme kontrolü donatılmış bir oksi-asetilen üfleçini kullanır. Bu dolgu tozu gaz akımı tarafından emilir ve kendi içinde gazla birlikte üflecin ucundan dışarıya sevk edilir. Bunun sonucunda, yüzeye sadece mekanik olarak bağlantılı bir püskürtülmüş toz tabakası meydana gelir. Bununla birlikte uygun teknikle, ana metalin terlemesi ve dolgu alaşımının uygulanmasıyla bir ergime bağlantısı elde edilebilir. Yüzey dolgu alaşımının ana metalle ergimesi tek bir işlemde olur.

Bu yöntemin bir avantajı, kolaylıkla çubuk veya tel haline getirilemeyen birçok alaşım, uygun tozlar halinde elde edilebilir. Düzgün, ince, gözeneksiz kaplamalar yapılabilir; bunların kalınlıkları bir pasoda bir inç'in birkaç binde birinden 1/8" e kadar olur. Metal püskürtme temposu, üflecin boyuna bağlıdır. Kalınlık, tozun akış debisi ve üflecin hareketiyle denetlenir.

Kaplamanın mekanik olarak bağlantılı olması isteniyorsa, genellikle yüzeyi pürüzlendirmek için kum ya da çelik tane püskürtülerek bağlantıya yardımcı olunur. Bu zaman kaplama karakteristik olarak gözenekli olur. Yağlamalı aşınma bahis konusu olduğunda, sınır yağlaması durumunda gözenekler yağ depoları gibi olurlar. Örneğin çeliğin bir püskürtme çinko ile korozyondan korunması halinde olduğu gibi kaplamanın kendini feda ettiği yerlerde gözeneklerin bir sakıncası yoktur. Bununla birlikte, abrazyon mukavemeti bakımından mekanik bağlantılı kaplama uygun değildir. Bunun dışında kaplama bileşiminin uygun olası halinde, bunun performansı, ayrı bir işlemle yerinde ergitilerek yükseltilebilir.

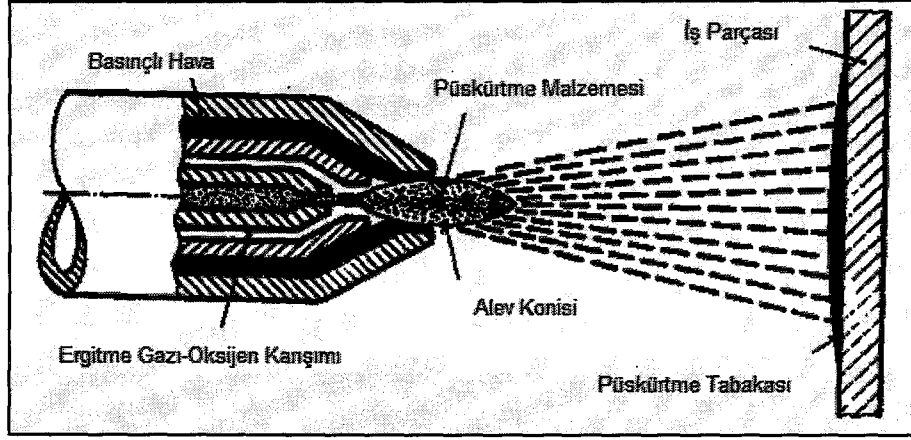
3.2.3 Yarı-Otomatik Oksi- Asetilen Yüzey Dolgusu

Düzenli bir ön ısıtma, kaynak işlemi ve son ısıtmanın tertiplenebileceği, parçaları sayı ve simetrisinin elverdiği hallerde, bir yarı-otomatik tesisin kurulması ekonomik olabilir. Bunda, özel olarak tasarlanmış üfleçler ve mekanize parça taşıma düzenekleri kullanılır. El becerisi burada daha az önemli olmakla birlikte, püskürtülen metalin kontrolü için iyi bir muhakeme kabiliyeti gereklidir. Motor pistonlarının dolgusu bunun için iyi bir örnek olarak verilebilir.

3.3 Isıl Püskürtme İle Yüzey Dolgusu

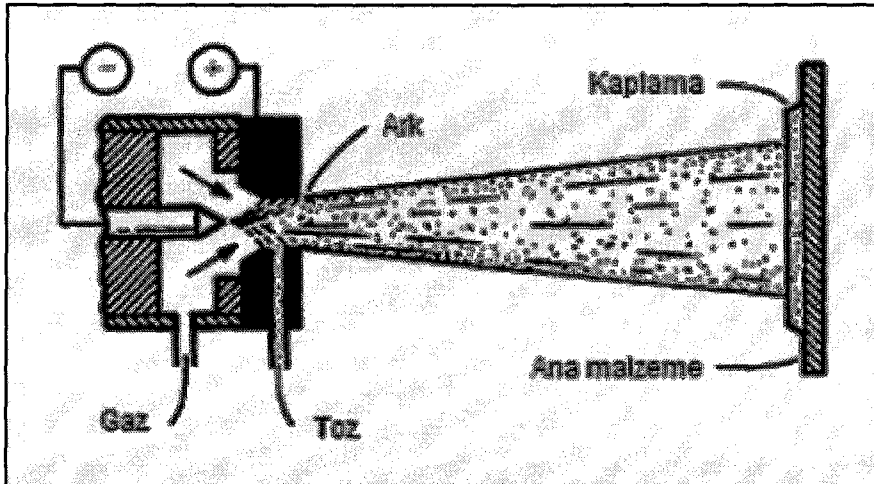
Isıl püskürtme, ince öğütülmüş metal, metalik oksit veya plastikleri, ergimiş veya bir yapısal şekil meydana getirmek üzere püskürtme yöntemidir. Yöntem daha sonra meydana gelen gelişmelere göre; yanma alevi, plazma, elektrik arkı veya patlatma şeklinde tanımlanmıştır. Bu yöntem temel malzeme şekline göre de guruplara ayrılır (Şekil 3.2).

Malzemenin başta ince öğütölmüş parçacıklar halinde olduğu toz halinde ve (Şekil 3.3) tel ya da çubuk halinde püskürtölme şekilleri görölmektedir.



Şekil 3.2 Alev Püskürtmenin Şeması (Toz) (Unger, 1987).

Toz püskürtmede ince parçacıklar çok yüksek ısınn içinden sevk edilirken ergimiş ya da yarı ergimiş hale gelirler; bir alt yapıya çarptıklarında yassılırlar veya ince katman haline gelerek yüzeyin herhangi bir düzensizliğine uyum gösterirler. Yüzey, bu işlem için önceden pürüzlendirildiğinde, bu düzensizlikler, terk edilen parçacıklar için takılma yeri olurlar. Bu parçacıklar, bu kez, arkadan gelenlere takılma yeri teşkil ederler. Böylece yapışmış dolgu meydana gelir. Bu mekanik bağlantı boyunca parçacıkların bazı nokta nokta ergimesi ve bazı oksit okside bağlantısı meydana gelirse de bağlantı mekanizması mekaniktir.



Şekil 3.3. Alev püskürtmenin şeması (Tel) (Unger, 1987).

Tel veya çubuk püskürtmede, katı malzeme bir yüksek basınçlı hava çevrimli bir ısının içine sürülür. Malzemenin yüzeyi alevin ısısı tarafından ertirilince hava akımı tarafından ince damlacıklar halinde atomize edilir ve bunlar altyapı üzerine sevk edilir. Uygun oksijen-yakıt birleşimi kullanıldığında ertime noktası 2750°C'nin altında bulunan az çok tüm metal ve seramikler bu yöntemle püskürtölerek kaplama yapılır.

2750°C'nin üstünde ertime noktalı malzemeler için ısı kaynağı olarak plazmaya başvurmak gerekir. Kendi ertime noktalarına ulaşmadan buharlaşmayan veya ayrıışmayan bütün bilinen malzemeler plazma ile püskürtölülebilirler. Tungsten karbürü, tantal ve tungsten gibi bazı malzemeler, patlatma ve plazma yöntemleri ile püskürtölülebilirler.

Isıl püskürtme ile kaplamada kullanılan metaller esas itibarıyla ilk kimyasal bileşimlerini muhafaza ederler ama alaşımları, kullanılan yöntemle göre önemli ölçüde değışebilir. Plazma ve elektrik arkı yöntemlerinde önemli alçak ertime noktalı bileşen kaybı meydana gelebilir. Kaplanan metallerin ve alaşımlarının fiziksel ve mekanik nitelikleri, ilk malzemelerinkinden hayli fark edilebilir. Meydana gelen iç yapı, lameller ve homojen olamayan bir iç yapıdır; ince oksit okside bağlantı ile mekanik kenetlenme suretiyle olur. Aynı malzemenin gerilmiş haldeki çekme mukavemetine göre püskürtölmesi alçak sıcaklıkta olur. Her ne kadar basma mukavemeti oldukça yüksek ise de süneklik alçak olup bütün püsküren metaller, ilk malzemedan daha az yoğun oluşur. Püskürtölerek kaplanan malzemeler, sinterlenmiş metallerin kuvvetli tipleriyle bezerlikler arz ederler ve bunlarla birlikte ayrı ve farklı metalurjik malzemeler olarak incelenirler.

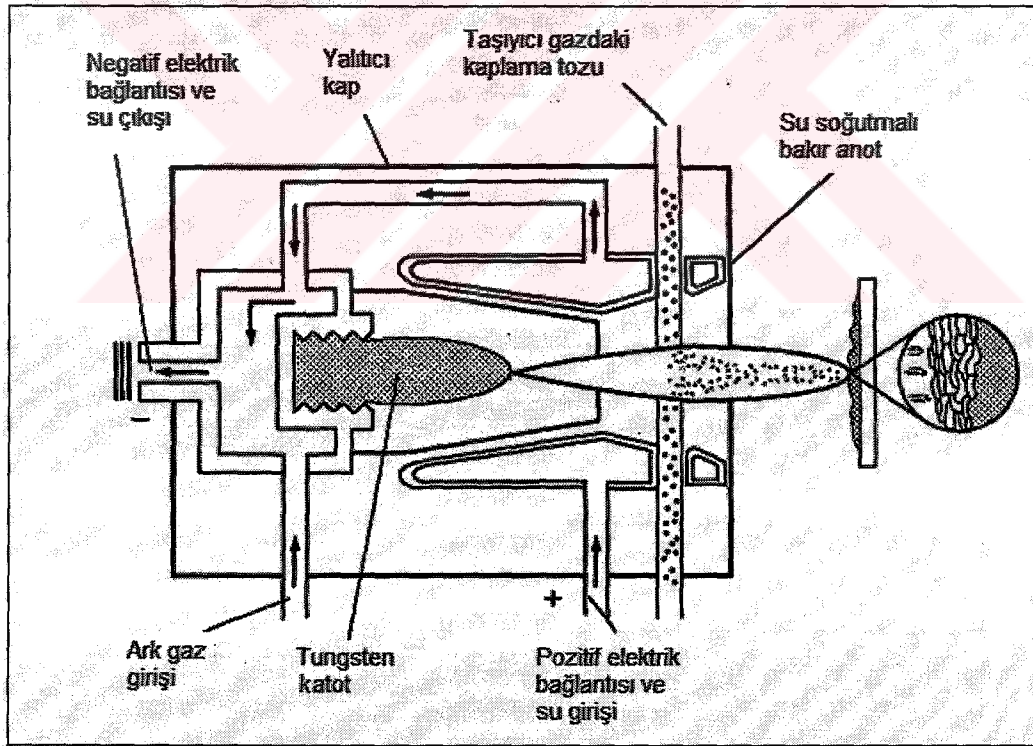
Seramiklerde oksitler, püskürtme anında kimyasal özelliklerini muhafaza ederler. Bununla birlikte bazı durumlarda kristal içyapıda bir değışme olabilir; örneğin başlarda alfa olabilen allumin, geçici kararlı gamaya dönüşebilir. Karbürler, silisidler ve borürler gibi reaktif seramikler, havada yanma alevi veya plazma ile püskürtöldüklerinde ilk kimyasal bileşimlerini korumazlar. Çünkü önemli miktarda sırasıyla karbon dioksit, silisyum karbür püskürtöldüğünde sadece silisyum dioksit verilmiş olur. Bu malzemelere plazma püskürtölmesi, ilk bileşimdeki değışmeyi asgariye indirmek için özel çevresel odalar ve özel uygulama tekniklerini veya her ikisini birden gerektirir. Plastikler de, yukarıdaki yöntemlerin biri veya birkaçı ile püskürtölülebilmektedir.

Isıl püskürtmenin en geniş kullanım alanı, makine parçalarıdır. Aşınmış veya hatalı işlenmiş parçalar, metal püskürtölerek eski gerekli ölçülerine getirilebilirler. Son zamanlarda uçak motoru parçalarında plazma püskürtme kaplamasının kullanımı büyük gelişme kaydetmiş olup sürekli genişlemektedir. Ertirilmiş metalle kaplama, aşınma sorunları olan her yerde geniş uygulama alanı bulmuş olup, son yıllarda seramik kaplamalar için de yeni kullanım şekilleri meydana getirilmiştir (Unger, 1987).

3.3.1 Plazma Püskürtme

Plazma, bir gaz içinde her elektrik deşarjında mevcut olup yükü aralık içinden taşıyan yüklü parçacıklardan ibarettir. Bir vakum tüpünde elektron ve iyonların akımı, bir plazma olarak söylenebilir. Aynı durum bir floresan lambada fosforu uyaran iyonize gaz için de geçerlidir. Ama bu sistemlerin çoğu alçak sıcaklıklarda çalışır. Plazma alanı gerçekte 5500°C'nin üstünde gerçekleşir. Şöyle ki burada atomların küçük bir kısmı bu yolla iyonlaşmaya başlar.

Alev püskürtme yönteminde kullanılan plazma düzeneği; yüksek sıcaklığını bir bekin deliği ile sınırlanmış bir arkın arasından uygun bir gazı geçirmek suretiyle, arkı çok sıcak, hızlı hareket eden, iyonize maddeden bir plazma jet oluşturmak üzere daraltmak ya da sıkıştırmak suretiyle meydana getirir. Ark genellikle metalden yapılmış küçük, silindirik bir hücre içinde tutuşturulur. Hücresinin bir ucu bir alın elektrotudur (anot) ya da bunu içerir. Bu elektrodun ortasında jet için bir delik bulunur. Öbür ucu arkasını veya başka elektrotu (katot) içerir; bu elektrot genellikle tungstendir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Bir plazma püskürtme tabancasının kesit resmi (Kulkarni ve Anand, 1984).

Elektrot ergimesi iç kısımlardan su dolaştırılmasıyla önlenir. Akım elektrotunun soğutulmuş cidarları, plazmanın dış bölgelerinde gazın sıcaklığını düşürür. Soğuma iyonlaşmayı

ve dolayısıyla dış bölgelerde gazların iletkenliğini azalttığından, deşarjdaki akım, daha sıcak merkez bölgesinde yoğunlaşma eğiliminde olur. Bu, akım yoğunluğunu artırır ve ısıl büzülme etkisi daha da ileri bir düzeyi aşınca, ikinci bir büzme etkisi işe karışır. Bu, manyetik büzme olup burada, aynı yönde akan şarjlı parçacıklar, kendi kendine meydana gelmiş manyetik alan tarafından birbirlerini çekerler. Parçacıklar birbirlerine çok yakın şekilde bir araya gelirler ve deşarjın bu sıkıştırması plazmayı daha da yüksek bir yoğunluğa getirir. Artık hücrede oluşmuş elektromanyetik kuvvetlerle yüksek basınç plazmayı delikten dışarı, yüksek derecede uyarılmış ve çıplak gözle bakılamayacak parlaklıkta parçacıklardan oluşmuş bir uzun hüzmeye halinde fırlatır (Kulkarni ve Anand, 1984).

3.3.1.1 Gaz Sağlanması

Plazma püskürtme sistemlerinde gazlar üç amaç için kullanılırlar. Bunlar; plazma meydana getiren gaz, arkı sürdürmek için yardımcı gaz, plazma meydana getiren gaza küçük oranlarda karıştırılan toz taşıyıcı gazlardır. Toz taşıyıcı gaz ile plazma meydana getiren gaz aynı kaynaktan olabilirler.

Tek veya çift atomlu gazlar plazma püskürtme cihazında kullanılabilir. Argon ile helyum en çok kullanılan tek atomlu gazlar olup azot, en genel şekilde kullanılan çift atomlu gazdır. Tek atomlu gazlarla birçok amaca yetecek kadar yüksek sıcaklıklar elde edilebilir. Bununla birlikte çok atomlu gazlar da daha büyük ısı içeriğine sahiptirler; bunlar sadece iyonlaştırma için gerekli enerjiyi açığa çıkarmakla kalmayıp ayrışma için de gerekli enerjiyi sağlarlar. Gazın seçimi plazmanın niteliklerini belirler. Bu gazların kalitesinin, plazma üflecinin bek ve elektrotunun ömrü üzerinde önemli etkisi vardır. Şöyle ki, bunların uzun ömürlü olmaları gazların saflık derecesine bağlıdır. Yine gazların çok düşük rutubet ve oksijen içerikli olmaları da aynı bakımdan çok önemlidir. Kuru gazlar tavsiye edilir ve çiğ noktası maksimum -60°C olmalıdır. Gazların oksijen içeriği % 0,3'ü aşmamalıdır.

Plazma püskürtmesinde kullanılan gazların avantaj ve sakıncaları da şöyle sıralanabilir.

Azot: Bu gaz ucuz, iki atomlu olduğu için geniş ölçüde kullanılmaktadır. Daha yüksek püskürtme hızları ve daha yüksek malzeme püskürtme verimi sağlar. Bekin ömrü daha kısa olursa da, gazın ucuzluğu karşısında bunun önemi yoktur.

Argon: Bu gaz, karbürlerin püskürtülmesinde en uygun şekilde kullanılan gazdır. Günümüzde, daha yüksek kaliteli karbür kaplamaları argon ile yapılır.

Helyum: Birçok plazma üfleçleri bu gaz ile çalışmaktadır. Buna rağmen bu gaz yardımcı gaz olarak kullanılmaktadır, nadiren esas gaz olur.

3.3.1.2. Püskürtme Malzemesinin Sağlanması

Plazma püskürtme malzemeleri toz olarak sağlanır. Aspiratör ve mekanik ölçüm olarak iki tip toz besleme mekanizması vardır.

Aspiratörlü tip başlıca bir kutu ya da huniden ibaret olup, jete hemen komşu olan ve tozu deşarj hattına emen bir gaz beki ya da deliği bulunur. Toz besleme temposu, delik çapı, aralığı ve gaz debisi tarafından belirlenir. Bu birimler herhangi bir basınç altında çalışmadığından, püskürtme işlemini durdurmadan herhangi bir zamanda doldurulabilir.

Mekanik ölçüm tipi ise en çok kullanılan besleme tipidir. Bu yöntemde hassas ölçülebilir toz miktarları bir vida ya da çark tarafından bir karbüratöre veya karışım hücresine gönderilir ve toz buradan taşıyıcı gaz akımına dahil olur. Bu birimler 40 ila 50 meş'ten 5 mikron boyutuna kadar malzemelerin besleme kabiliyetini arzederler. Beslenen malzeme, kutudaki miktar ne olursa olsun, sabit ve önceden belirlenen hızda sevk edilir.

Sistemin çalışması ise şu şekilde gerçekleşir; sistemin tümü plazma püskürtmesi dahil, kontrol masasından çalıştırılır. Kontrol masası plazma gaz akışının debisinin, ark akımı, başlama ve durdurma işlevleri ve bazı durumlarda, toz besleme biriminin çalışmasının ayarına imkân verir.

3.4. Elektrik Ark Püskürtmesi

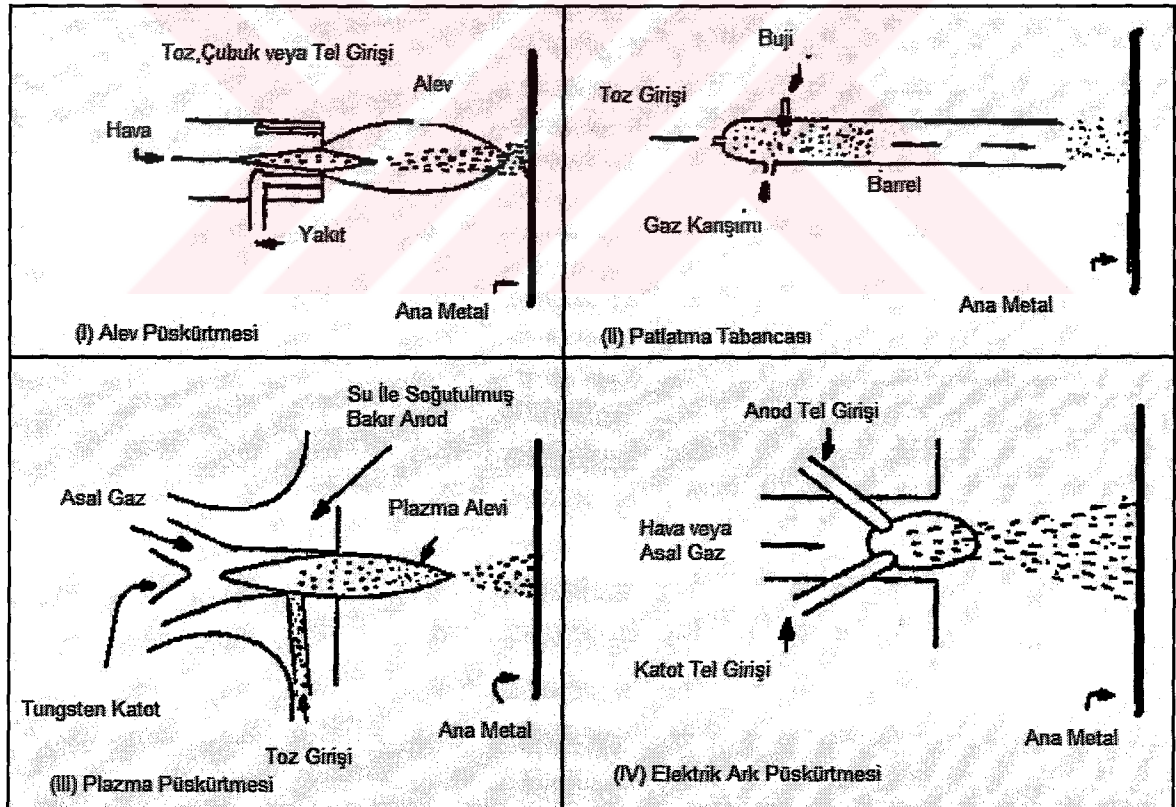
Püskürtülerek kaplanmış malzemelerin niteliklerinin, dökülmüş ya da şekillendirilmiş benzerlerinden belirgin olarak farklı oldukları genellikle kabul edilmektedir. Püskürtme sürecinin iyi denetlenmemesi durumunda, metalik kaplamalarda bileşimsel kayıplar % 50'yi bulabilir. Yoğunluklar, yeni püskürtülmüş malzemeninkinin % 80-85'ine yaklaşır. Bununla birlikte, kaplamanın sertliği genelde, malzemelerin homojen olmayan yapısı tarafından iyileştirilmektedir. Oksitler ve gözenekliliğin genellikle makro-sertlik değerini düşürdüğü doğrudur; ama bireysel sertlik değerleri çok daha yüksek sonuçlar gösterir. Örneğin bir % 0,2 karbonlu çelik ark yöntemi ile püskürtüldüğünde 220-240 HV'lik bir makro-sertlik arzeder. Kaplamanın metalik bölgelerinde sertlikler 400 HV'den yüksek değerlere varır ve bu tür kaplamaların aşınma mukavemetinin arandığı yerlerde kullanılmalarına imkân sağlar (Planche, vd., 2005).

Elektrik püskürtmesi şu şekilde gerçekleştirilir. Şekil 3.5'te şematik olarak görüldüğü gibi bu yöntemde, plazma ark yönteminde olduğu gibi, sürülen malzemeyi ergitmede elektrik akımı kullanılmaktadır.

Burada ark, sarf olan elektrot olarak görev yapan iki tel arasında tutuşur. Ark, telleri sürekli ertirir ve temas noktasının doğruca arkasından üflenerek basınçlı hava, erimiş damlacıkları atomize edip fırlatır. Oluşan darbe sonucu bu damlacıklar şekil değıştirerek kaplama olmak üzere yüzeye yapışır. Genel olarak bu yöntemle püskürtülen malzemeler, diğerk yöntemlerle püskürtülenlere göre, daha kuvvetli olup daha büyük kalınlıklarda kaplanabilirler.

Her ne kadar bu yöntemin büyük avantajları varsa ve bunun hammaddeleri tozdan daha kolay imal edilebiliyorlarsa da ark püskürtmesi, sürülen metalik malzemelerden ancak metalik kaplama yapmakla sınırlıdır.

Ark yöntemini alanını genişletmek amacıyla, farklı malzemelerden teller sürmek suretiyle birleşik kaplamalar yapmak yoluna da gidilmiştir. Bu yaklaşım şimdilik, her telden parçacıklar arasında çok az metalurjik etkileşimin bulunduğu ayrı mercimeğimsi parçacıklardan oluşmuş bir iki katlı kaplama gerçekleştirmekte başarılı olmuştur. Ana metalik ve metalik olmayan bileşenlerden oluşmuş yeni bir kompozit malzeme serisi meydana getirilmiştir. Bu ise iç kontrollü bir toz yüzdesi içeren özlü telin kullanımı ile elde edilmiştir (Jandin, vd., 2000).



Şekil 3.5. Isıl püskürtme teknikleri (Unger, 1987).

İki tip özlü tel “öz” ü olarak kullanılmıştır. Bunlar tungsten karbür-kobalt ve nikel-krom-bor’dur. Bunların her ikisi de sert, aşınma mukavemetli yüzeyler sağlayabilirler. WC-Co tozu için boru-telin malzemesi yumuşak çelik, Ni-Cr-B tozu için de nikel olmuştur. 6 mm kalınlığa kadar kaplamalar çeşitli püskürtme şartları altında kaplanabilir.

3.5. Patlatma Tabancası Yöntemi

Şematik olarak şekil 3.5’de görülen patlatma tabancası yöntemi, içinde ölçülü miktarlarda oksijen, asetilen ve azotla süspansiyon halinde kaplama malzemesi toz taneciklerinin bulunduğu hücrede bir özel namluyu kullanır. Saniyede dört kez bir kıvılcım karışımı patlatır ve tanecikleri plastik duruma getirecek sıcak ve yüksek hızlı bir gaz akımı meydana getirir. Tanecikler, tabanca namlusunun içinden 750 m/sn hızlı geçerken ısınır (Tablo 3.1). Bu ergimiş tanecikler iş parçasının yüzeyine çarpar ve burada bir mikroskobik kaynama etkisi, hem mekanik hem de metalurjik türden bir bağlantı meydana getirir. Birbiri ardına patlamalar, kaplama malzemesini özel uygulama için istenilen kalınlığa getirir.

Patlama tabancası ile yapılmış uygulamaların niteliğinin esası, toz taneciklerinin ana malzemeye çarptıkları yüksek hızda yatar. Tablo 3.1 diğer yöntemlerdeki hızlar verilmiştir. Kinetik enerji hızının karesinin bir fonksiyonu olduğuna göre tanecikler, bir oksit-asetilen püskürtme tabancasından çıkan enerjinin en az 25 katı enerjiyle ana metale çarpmaktadırlar. Sadece % 0,25 ila 1,0 gözenekli kaplamalar, tungsten karbürü ve krom karbürü malzemelerde sürekli uygulanmaktadır; bağlantı mukavemeti 560 ila 1750 N/mm² mertebelerindedir.

Ana malzemenin metalurjik özellikleri, kaplama işlemi sırasında değişmez. Hassas işlenmiş parçalarda çarpılma gibi boyut değişimi, soğutucu sıvı karbon dioksit püskürtmesi ile iş parçasında sıcaklığı aşağıda tutulduğu duruma göre az olur. Her ne kadar tabancada sıcaklıklar 3300 °C ’nin üstünde iseler de, kaplanan parçanın sıcaklıkları 150 °C ’nin altında kalır.

3.6. Elektrik Ark Kaynağı ile Dolgu

Tamir ve yenileme konusunda en uygun kaynak yöntemi konusunda evrensel bir cevap bulmak mümkün değildir. Bu nedenle avantaj ve sakıncalar, her özel durum için farklılıklar arzeder. Kaynak teknolojisine ek olarak, dolgu metallerinin özellikleri, mekanizasyon ihtiyacı vs. faktörle de rol oynarlar. Genel olarak bakıldığında kaynakla dolgu makine parçalarının ömrünü önemli ölçüde artırma imkânı vermektedir.

Dolgu yöntemlerinin, birbirinden farklı metallerin, bazı ağır sınırlamalar getirmekte olduğu hatırdan çıkarılmamalıdır. Metalurjik güçlüklerin yanı sıra demirli ana metaldeki demir

ve diğer elementlerle karışma problemi de işin içine girmektedir. Bununla birlikte doğru metal ark elektrotu dolgu metali kullanılarak, mükemmel dolgular elde edilebilir.

3.6.1 Örtülü Elektrotlarla Elektrik Ark Kaynak Dolgusu

Ucuz donanım maliyeti, her işe uygunluk, elle ark kaynağını çok yaygın hale getirmiştir. Günümüzde çıplak elektrotla ark kaynağı nadir olmakla birlikte, ostenitik manganez çeliği elektrotlarıyla yapılabilir. Kaynak az çok her konumda ve yerde küçük büyük her işte, her boyutta yapılabilir.

İşlem kaynakçının denetim ve gözetimi altında yapılır. Kaynakçının, çatlamayı asgariye indirmek için ark gücünü düşük tutması, dolgu malzemesinde pahalı alaşım elementi kaybını azaltmak için kısa arkla çalışması, aynı nedenle aşırı kaynak banyosundan kaçınması ve ana metalle karışmayı asgaride tutması ve özellikle alçak hidrojen elektrotlarıyla rutubet oluşmasını sınırlaması gibi önlemleri çok faydalı olmaktadır.

3.6.2. Yarı-Otomatik Elektrik Ark Kaynağı ile Dolgu

Diğer elle kaynak yöntemlerinden, durmadan uzun süre devam edebilir olması ve bundan dolayı da ark süresi yüzdesi ve dolgu temposu yüksek olabilir. Donanım maliyeti, diğer otomatik yöntemlere göre daha azdır. Çünkü güç kaynağı yerine sadece tel sürme mekanizmasına ihtiyaç vardır.

Bu yöntemde çıplak elektrot kullanılır. Bu nedenle bir koruyucu gaz sağlanmadıkça ark ile kaynak banyosu hava ile temastadır. Oksitlenmeye bağlı bazı problemleri önlemek için bazı elektrotlara oksitlenmeyi önleyen içerikler katılır. Dolguların çoğu boru şeklinde “açık ark” elektrotlarıyla yapılırlar. Böylece toz altı ark yöntemlerine göre kaynak banyosunun iyi görülebilirliği, ana malzemeye daha düşük ısı girişi, daha az nüfuziyet ve karışma ve daha az çarpılma etkisi elde edilir.

3.6.3 Otomatik Elektrik Ark Kaynağı ile Dolgu

Bu yöntemde ark durumu ve dolgu metalinin (genellikle kangal veya bobinden sürekli çekilen tel) motorlu beslenmesi için makine kontrolünün ve ark uzunluğunun denetimi için bir elektrik geri besleme kullanılır. Burada operatörün rolü, ayar ve kontrollerden ibarettir. Yöntem en iyi düz ya da simetrik kavisli yüzeylerle büyük ölçülü yüzeylerde elverişlidir. Basit yarı

otomatik tel sürme mekanizmasına kıyasla donanım ağır, genellikle taşınmaz ve daha pahalıdır. Başlıca avantajlı tarafı işçilikten tasarruftur.

3.7. Toz Altı Kaynağı ile Dolgu

Bu yöntemde elektrot dolu ya da boru şeklinde bir tel olup, ark bölgesi toz ile korunur. Elektrot bileşimleri uygun olarak toz ile çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Çok sayıda avantajı nedeniyle toz altı ark kaynak yöntemi günümüzde sert dolgu için geniş ölçüde kullanılan bir otomatik tekniktir. Yüksek akım şiddetleri kullanıp çok yüksek metal püskürtme hızına sahiptir. Kaplanan metaller yüksek kalitede olup birçok dolgu metali ile pratik açıdan boşluksuz dolgu elde edilebilir.

Ancak bu yöntem, derin nüfuziyeti ve koruyucu toz kaplamasıyla, diğer ark kaynağı yöntemlerine göre iş parçasına çok daha fazla ısı girişi yapmaktadır. Yer alan karışma, ergimiş tozdan çeşitli elementlerin kazancı veya kaybı nedeniyle dolgu metalinin tüm özelliklerine, iki ya da üç tabaka katı püskürtülmeden varılamaz.

Her ne kadar gözeneklik ve cüruf boşluklarının yokluğu anlamında kalite sağlanıyorsa da, yüksek ısı derecesi çatlamaya neden olabilir. Bunu önlemek için de bir ön ve son ısıtmaya ihtiyaç duyulabilir. Yüksek karbon, kromlu dökme demirler gibi bazı dolgularda, geniş ve büyük gerilmelere maruz parçalar üzerinde ince bir çatlama normaldir.

Ark bölgesine fazladan dolgu metali süren yöntemler, ark ısısından daha verimli faydalanma ve bu arada metal püskürtme hızını artırırken ana metale karışmayı azaltma avantajlarını sağlarlar. Bu fazladan dolgu metali bir daha çok tel veya şerit olabilir; şeritler başlıca paslanmaz çelikler ve nikel esaslı alaşımlar için kullanılır.

Genel olarak tozaltı kaynağı ile dolguda çatlamalar, salıntı tekniği de kullanılarak önlenmektedir. Yöntemin yüksek ısı girdisi, yeterince yavaş soğumayı sağladığından uzunlamasına çizgi çatlakları çoğu kez oluşmaz.

Yine toz altı dolgu kaynağında çatlamaları önlemenin bir yolu da, dikişlerin birbiri üzerine bindirmelerinin, bir önceki dikişin merkezinin yeniden ergitilmesine yetecek kadar artırılmasıdır.

Birden fazla elektrot kullanılması, metal püskürtme oranını artırır. Pratikte altıya kadar elektrot kullanılmaktadır. Elektrotlar tek bir güç kaynağına bağlıdır. Elektrot ya da elektrotların, kaynak ilerleme yönüne 90° salınması, daha geniş bir dikiş sağlayıp nüfuziyeti azaltır. Her elektrotta 50 mm'ye kadar geniş dikiş elde edilebilir. Birden çok elektrotla çalışıldığında bunlar, birinin dikişinin, ona komşu elektrotunkine bindirecek ve onda ergiyecek şekilde düzenlenir. Salıntılı çok elektrot kullanılarak, ark saat başına 45 kg kadar metal püskürtme olanağı sağlar.

Toz altı arkı ile yüzey dolgusunun bir başka yöntemi de, iki ya da daha fazla elektrot, her biri kendi öz kaynak kafasından beslenip güç kaynağına seri bağlanmışlardır. Bu, kaynak arkının elektrotla iş parçası arasında olduğu normal toz altı yöntemlerinden farklı olup, bunda kaynak arkı elektrotlar arasında oluşturulur. Elektrotların uçları üzerine dolgu yapılacak iş parçasının hemen üstünde birleşecek gibi ayarlanmıştır. Ark, iş parçasından bağımsızdır ve parça yüzeyine, ergimiş kaynak metalinin ana metale kaynamasına yetecek kadar yakındır. Bu teknikte ana metalde az nüfuziyet, karışma % 5 ile 10 kadar az olur. Normal toz altı yöntemlerinin tek elektrotununkiyle elde edilenden iki katı kaplanmış metal elde edilir.

Yine dolgu işlerinde kullanılan bir türünde uygun yuvarlak tel yerine elektrot olarak geniş, yassı, dolu ya da özlü şeritler kullanılır. 75 mm genişlik ve 2 mm kalınlığa kadar şeritler vardır.

Ark, aşağıya sürülen şeride salınma etkisiyle ergitirken hızla ileri geri geçer. Bu tek ark hareketi, şeridin ucunu, altındaki iş parçasının biçiminde ergitir ve böylece de, kaynak kafasının konumunu değiştirmeden düzgün olmayan şekilleri belli sınırlar içinde takip eder.

3.8. TIG Kaynağı ile Dolgu

TIG kaynağı ergimeyen elektrotlarla yapılır. Bu yöntem iş parçasının ısınmış bölgesi, ergimiş yüzey kaplama alaşımı ve ergimeyen elektrot torc içinden beslenen koruyucu gaz akışı ile atmosferin zararlı etkilerinden korunur. Toryumlu tungsten, ergimeyen elektrot malzemesi olarak kullanılır. Güç ayarları, damlama durumuna göre gerilim–akım değerleri yüzey kaplama işlemlerinde belirlenebilir.

Motorlu jeneratörler, sürekli yüksek frekans akımı üretmek için alternatif akım transformatörleri gibi kullanılabilir. Doğru akımda elektrodun negatif kutuba bağlanması tungstenin yüzey kaplama tabakasına geçişini en aza indirmek için kullanılır. Koruyucu gaz olarak genellikle argon kullanılır, fakat helyum da kullanılabilir. Özellikle geniş parçalar veya reaktif ana metaller söz konusu olduğu zaman TIG ile yüzey kaplama, oksî – gaz ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinden daha iyi sonuç verir. TIG kaynağı titanyum katkılı paslanmaz çelikler veya alüminyum içerikli nikel esaslı alaşımlar gibi reaktif ana metale yüzey kaplamasında tercih edilir. TIG kaynağı karbon varlığının kabul edilemez olduğu yüzey kaplama işlemlerinde veya dolgu malzemesi kullanılarak yapılan ve bu dolgu malzemesinin oksî–asetilen alevi etkisi altında kaynama eğiliminde olduğu işlemlerde de oksî–gaz ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde tercih edilir. Ana metal dilatasyonu torc hareketi ile, gereğinden fazla akım kullanılmayarak ve arkı iş parçasından ziyade yüzey kaplama tabakası üzerine

yoğunlaşarak en aza indirebilir. Yüzey kaplama tabaka oranları, ana metal dilatasyon oranındaki farka rağmen, elle yapılan TIG ve oksî-gaz kaynağı ile karıştırılabilir.

TIG ile yüzey kaplama işleminde torç, hareket eden mekanizmaya basitçe bağlanırsa işlem otomatik olarak başarı ile uygulanabilir ve mekanize edilmiş alet kullanılarak yüzey kaplama dolgu malzemesi arkın içine doğru gönderilir. Bu yöntem uzun dolgu çubukları ve sürekli tel gerektirir. Dolgu metali ergime oranı ve torç hareket hızı kontrol edilerek yapılan otomatik TIG kaynak yöntemi ile yüksek kaliteli ve tekrarlı yüzey kaplama tabakaları elde edilebilir. Akım geçirme kumanda cihazları yüzey kaplama tabakası içindeki son katılaşmayı kontrol etmek, fireyi ve krater çatlağını en aza indirmek için kullanılır. TIG'de arkın durumu, diğer ergiyen elektrotlarla ark kaynak işleminden daha düzgün ve daha sakindir, kaynak sıçraması daha azdır. Ayrı dolgu çubuğu veya teli kullanmak daha büyük operatör kontrolü gerektirir. TIG kaynağı küçük ve karmaşık şekilli parçaların yüzey kaplama işlemlerinde daha uygundur ve genellikle diğer yüzey kaplama işlemlerinden daha kaliteli sonuç verir.

3.9. Plazma Ark ile Dolgu

Plazma arkla alüminyum dışında her dolgu metali, sıcak tel dolgu tekniği ile kaplanabilir. Plazma sıcak tel dolgu tekniğinin başlıca uygulaması paslanmaz çelik alanında olmayıp daha yüksek Ni ve/veya Cu içerikli, örneğin Inconel gibi dolgu malzemesidir.

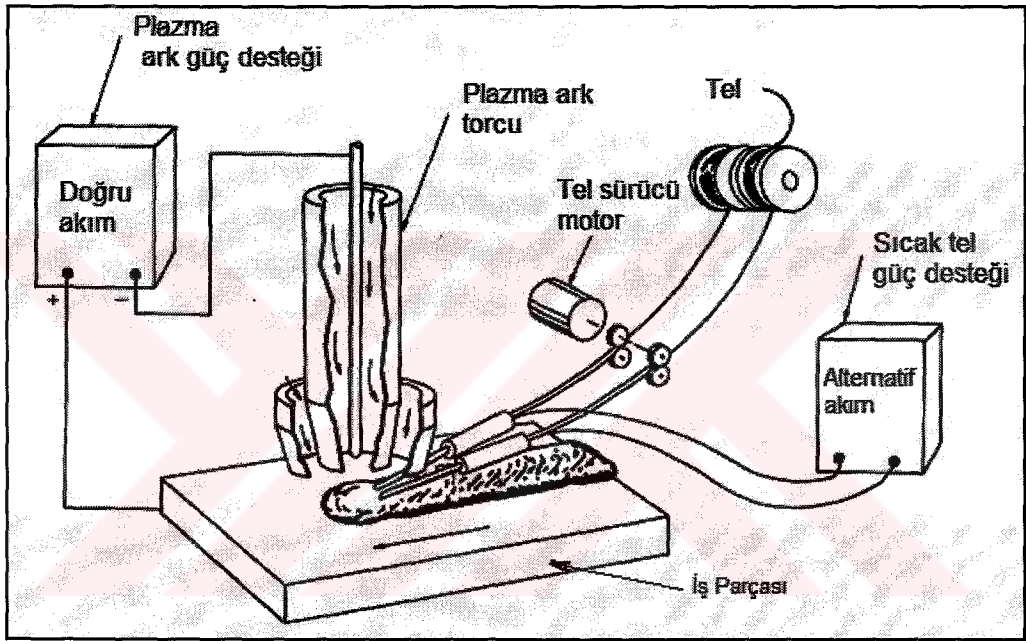
Bu yöntem, çok değişik alaşımlarla ekonomik olarak yüksek nitelikli dolgular yapmak imkânı sağlar. Özellikle ana metalde nüfuziyetin sıkı denetiminin ve asgari karışmanın arandığı durumlarda iyi sonuç verir.

Bu yöntemde, iki ısı kaynağı olup biri ana metal ile dolgu metalinin ergimesini sağlar. Başlıca ısı kaynağı, transfer olmuş plazma ark üflecidir. Doğru akım (DA) güç kaynağı ile üfleç, plazma ark ile kesme de kullanılan farklı değildir. Sadece çıkış ağzında ve üfleç içinde elektrotta bazı değişiklikler vardır. Diğer ısı kaynağı, bir alternatif akım (AA) güç kaynağı ile iki telin ısıtılmasından meydana gelir. Teller sürekli olarak iki ayrı kontakttan kaynak banyosuna sürülür ve burada elektrik devresi tamamlanmış olur. Teller, kontaktlardan itibaren kaynak banyosuna kadar 75 mm uzunluğa sahip olduklarından, rezistans ile beyaza ısıtılmış olurlar. Şekil 3.6'da sıcak tel dolgu tekniği şematik olarak görülmektedir.

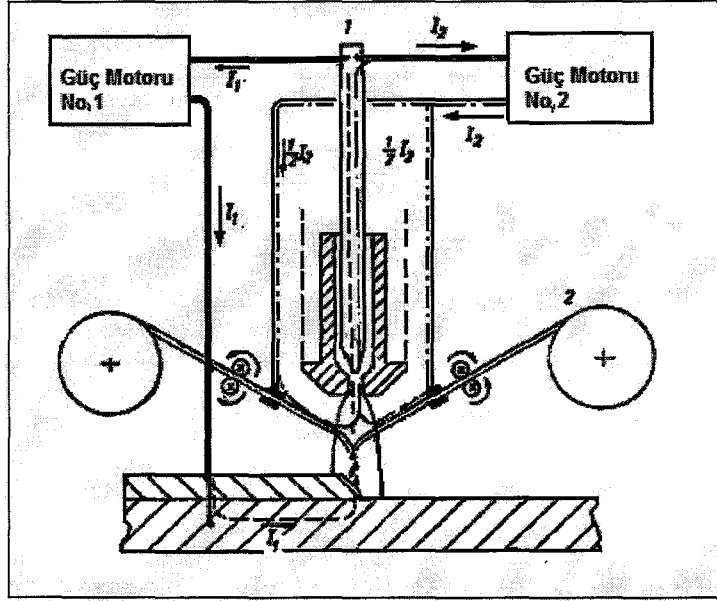
3.10. Gaz-Metal-Plazma Ark (GMPA) Dolgu Yöntemi

Bu yöntem MIG ile plazma ark kaynaklarının özelliklerini birleştirir. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi yöntem, asal gazla beslenen büzülmüş bir memenin çevrelediği bir tungsten elektrotla klasik bir plazma üflecinden ibarettir. 1 nolu güç kaynağı, üfleç elektrotuna ve iş

parçasına bağlı olup iş parçasıyla plazma üfleç elektrotu arasında bir ark aracılığı ile I_1 akımını gönderir. İki tel şeklinde dolgu malzemesi, klasik sürme düzeneği ile hemen üfleç memesinin altına, ark plazmanın içine sürülür. 2 nolu güç kaynağı, üfleç elektrodu ve her iki tel üzerinde bulunan birer kayar kontakta bağlı olup tellerin uç çıkıntılarından ve tel uçlarının ark plazmasının içinden üfleç elektroduna akım gönderir. Her tel ucundan üfleç elektroduna $1/2 I_2$ akımı gelmektedir. Teller sürekli olarak ergirler ve ergimiş metal damlacıklar halinde kaynak banyosuna ulaşırlar. Sıcak bölge asal veya hafifçe redükleyici gaz kılıfı ile havanın bulaşmasından korunur. Kaynak kafasına bir mekanizma, kaynak yönüne dikey yönde bir salınım hareketi yaptırır ve böylece iş parçası üzerinde geniş kaynak dikişi elde edilir.

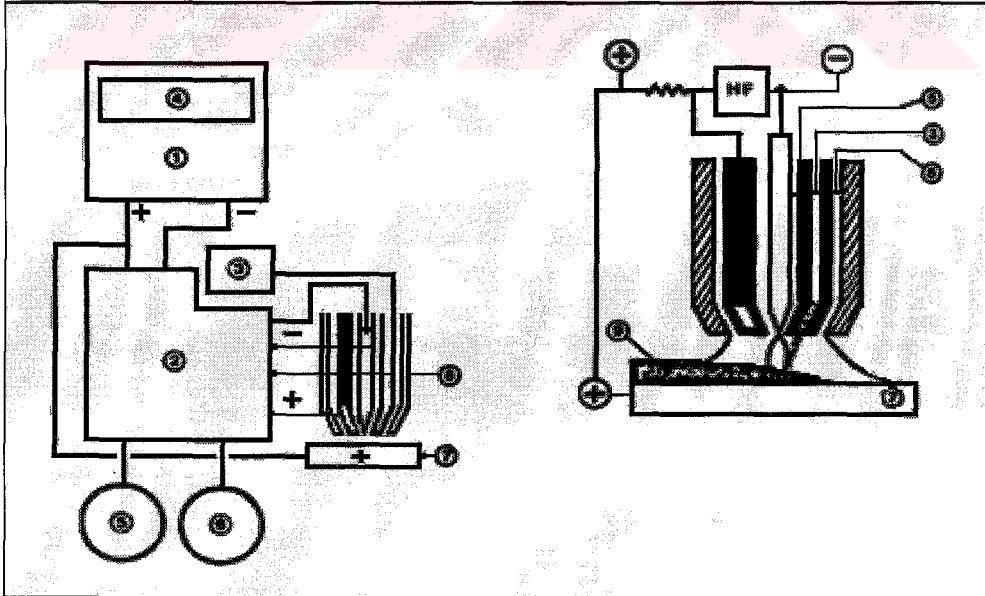


Şekil 3.6. Plazma ark sıcak tel dolgu yöntemi (Drapier vd., 1975).



Şekil 3.7. GMMA kaynak yöntemi; 1-Plazma üfleci, 2- Tel sürgüsü

Bu kaynak yönteminde ana metali ısıtmak için ark akım devresi ile dolgu metalini ergitmek için akım devresi tamamen ayrıdır. 1 nolu güç kaynağının ayarı, iş parçası yüzeyine, metal terk etme temposundan bağımsız olarak gelen ark akımını belirler. Tel sürme hızının ve 2 nolu güç kaynağının voltajının ayarını da tellerin ucuna gelen ark akımını belirler ve bununla metal dolgu hızını denetler (Hejwowski, 2002).



Şekil 3.8. Transfer olmuş ark plazmasının işleyiş prensibi: 1. Akım Kaynağı, 2. Kumanda birimi, 3. Alaşım dağıtıcısı, 4. Soğutma birimi, 5. Plazma üreten gaz, 6. Koruma gazı, 7. İş parçası, 8. Plazma üfleci, 9. Dolgu

Transfer olmuş (direkt) plazma arkla dolguda, karışma problemi nedeniyle iş parçasının ergimesini azami derecede azaltmak söz konusudur. Bundan dolayı bu tür uygulama için özgül bir üfleç geliştirilmiş olup dolgu alaşımı toz halinde ark sütununa ithal eder (Şekil 3.8).

Transfer olmuş ark yöntemi 1000–1900 °C aralığında ergime noktalı malzemelerin dogusu için geliştirilmiş olup iyi bir korozyon mukavemeti, yüksek sıcaklık nitelikleri (900 °C ye kadar) ve bir alçak sürtünme katsayısı elde etmek üzere başlıca kobalt esaslı alaşımlarla dolguda kullanılmıştır. Ama nikel esaslı alaşımlarla da bu teknikle dolgu yapılabilir.

Transfer olmuş ark yöntemi sanayi ve nükleer fittingsler, plastik ekstrüzyon teçhizatı, büyük dizel motorları, buhar türbinleri, sondaj delme donanımı ve kimya ve petrokimya teçhizatı imalatçıları tarafından kullanılmaktadır.

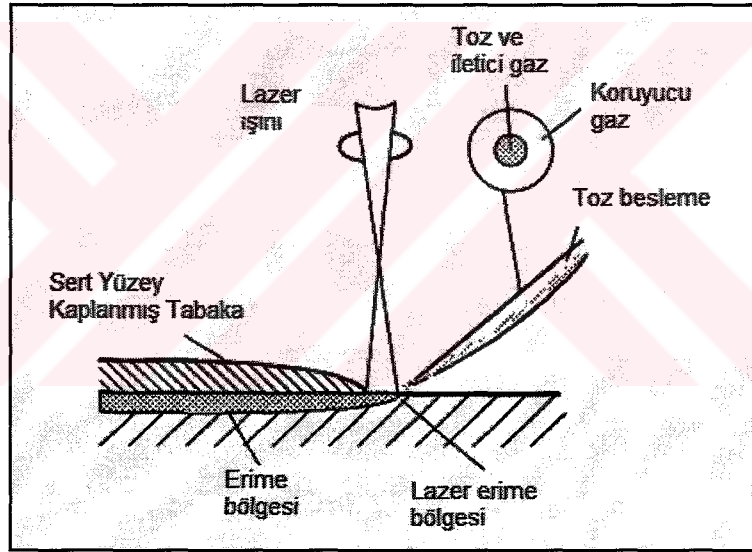
3.11. Lazer ile Sert Yüzey Kaplama

Lazer ile sert yüzey kaplama geleneksel kaplama yöntemlerinden az farklıdır. Temel fark, gaz alevi veya ark alevi yerine yüksek enerjili lazer ışınının ısı kaynağı olarak kullanılmasıdır. Lazer ışınları ince kaplamaların gerçekleştirilmesinde kolaylık sağlar. Elektrot veya torç ile yapılan sert yüzey kaplamalara göre lazer ışını ile yapılan kaplamalar daha düzgün gerçekleştirilebilir. Kobalt esaslı, nikel esaslı ve tungsten karbür esaslı sert yüzey kaplama alaşımları lazer ile yapılan sert yüzey kaplama alaşımları için uygun kaplama malzemeleridir. Diğer lazer sert yüzey kaplama malzemeleri, titanyum karbür, Fe-Cr-Ni-B alaşımları, alüminyum bronzları ve seramiklerdir. Ana malzemeler ise karbon ve düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel esaslı alaşımlar (süper alaşımlar dahil), alüminyum, dökme demirler ve takım çelikleridir (Blake, 2001).

Sert yüzey kaplama malzemelerinin seçimi, onun ana metal ile metalurjik uygunluğuna bağlıdır. Ana metal ile yarı iletken gevrek faz oluşturan alaşımlar lazer sert yüzey kaplamaya uygun olmayan ana metallerdir. Örneğin, kobalt titanyum ile zararlı yarı iletken oluşturur ve kobalt esaslı sert yüzey kaplama alaşımları titanyum alaşımlı ana kütleye uygun olmayabilir (Cooper, 1992).

İşlemler: Sert yüzey kaplama alaşımı bir lazer ışını ile eritilir ve ana malzemenin üzerine serbestçe yayılması sağlanır ve katılaşır. Işın aynı zamanda ana malzeme yüzeyini de çok ince bir tabaka olarak eritir. Bu erime sonucunda, sıvı haldeki kaplama malzemesi ile birleşir ve güçlü bir metalurjik bağ oluşturarak katılaşır. İyi bir birleşme bağlantısı sadece 10–20 µm kalınlığında bir dilatasyon bölgesi ile elde edilebilir.

Sert yüzey kaplama alaşımları birkaç şekilde olabilir. Örneğin, bağlayıcı ve bağlayıcısız olarak numune yüzeyine uygulanan ön alaşımlama yapılmış tozlar şeklinde, alev püskürtüldüğünde kendi kendine ergiyen tozlar, plazma püskürtmeli tozlar veya önceden yerleştirilmiş talaşlar şeklinde olabilir. Bu kaplamaların lazer takviyesi düzgün ve yoğunlaşmış bir yapı sağlar, iş parçası kanallarını elimine eder, kaplama ve ana madde arasındaki bağlantıyı iyileştirir ve boşlukları azaltır. Bu özelliklerin hepsi sert yüzey kaplama tabakasının güvenilirliğini ve mukavemetli olmasını sağlar. Lazer kaplama için işlem parametreleri etkileşim süresi 0,1–1 sn ve 10–100 MW/m² oranlarında güç şiddetidir. Koruyucu gaz soy gazlardan herhangi biri veya He/Ar ve H₂/Ar gibi gazların bileşimi olabilir. Bu güne kadar lazer ile yapılan sert yüzey kaplamaların en başarılı uygulamaları özel olarak dizayn edilmiş bir toz besleme aparatı kullanan özel markalı bir işlem içerir. Benzeri takımları kullanarak toz ve iletici gaz seramik uçtan kaynak bölgesine iletilir. Argon veya helyum koruyucu gaz seramik uçtan ayrıldığı anda toz-gaz karışımını çevreler (Şekil 3.9) (Cooper, 1992).



Şekil 3.9. Hareketli toz besleyici kullanarak lazer sert yüzey kaplama işleminin şematik görünüşü (Courtesy of Quantum Laser Corporation)

Toz dağıtma ucu, toz ile giriş kaynak havuzunu taşımak için uygun şekilde yerleştirilmiştir. Besleme açısı yatay ile 35- 45° arasındadır ve 3 mm çapındaki besleme tüpü ana maddeden 10-12 mm yüksekçe yerleştirilmiştir. Toz akış hızı 0.005 cm³/sn den 0.1 cm³/sn'ye kadardır. Tanecik hızı 1–2 m/sn ve taşıyıcı gaz hızı 3–7 m/s arasındadır. Gerekli olan erime % 3-8 arasındadır. Kaplama kalınlığı 0.15 mm'den 4 mm'ye kadar değişebilir. Tozların dengeli beslenmesi ile düzgün yüzeyler elde edilmesi sağlanır. Farklı plazma püskürtmeli kaplamalarda görülen, boşluklu ve erimemiş tabakalar lazer ile sert yüzey kaplamada hemen hemen hiç görülmez (Mingxi vd., 2004).

Lazer sert yüzey kaplama dolguları nispeten büyük halka şeklinde ışınlar ile yaygın olarak elde edilir veya biraz odaklanmış salınımlı ışınlar ile elde edilebilir. Bunlar istenen profilin doğru olmasını sağlar (Mingxi vd., 2005). Sert yüzey kaplama malzemesi çubuk, tel veya levha şeklinde ilave edilebilir. Fakat yansıma problemlerinden dolayı özel önlemlere ihtiyaç duyulur.

Kaynak metalindeki ısı gerilmeler zamanla zararlı çatlamaya neden olabilir, fakat bu durum uygun ön ısıtma ile önlenabilir. Düşük güç yoğunluğu, büyük ışın çapları ve yavaş numune değiştirme hızı çatlaksız dolgular için uygundur (Cooper, 1992).

3.11.1 Lazer Sert Yüzey Kaplama Uygulamaları

Lazer ile sert yüzey kaplamanın temel amaçlarından biri parçaların aşınma özelliklerini iyileştirmektir. Bu amaçla birkaç uygulama tekniği geliştirilmiştir (Tablo 3.2). Bu tekniklerin bazıları araştırma, bazıları deneme ve bazıları da üretim aşamasında geliştirilmiştir (Cooper, 1992).

Tablo 3.2. Sert yüzey kaplama alaşımları, kullanım alanları ve üretici firmalar (Cooper, 1992)

Parça	Sert Yüzey Alaşımı	Sert yüzey Kaplama Tekniği	Şirket
Petrol yatağı için çelik vanaları, Jeotermal, nükleer enerji üretimi ve kimyasal işlem tesisleri	Stellite 6	Toz besleme	W-K-M Div. of Joy Mfg., Houston, TX
Dizel motor valfi	Stellite SF6	Önceden yerleştirilmiş toz pasta	Cabot Corp., Kokomo, IN
Sürgülü vana yuvası	Deloro 60	Önceden yerleştirilmiş toz pasta	Cabot Corp., Kokomo, IN
Gaz türbin bıçağı "Z" dişli	Co-esaslı alaşım	Toz besleme	Quantum Laser, Edison, NJ
Türbin bıçaklarının ön kenarı	Co- esaslı alaşım	Toz besleme	Quantum Laser, Edison, NJ
Pompa kovanları ve pervaneleri	Co- esaslı alaşım	Toz besleme	Quantum Laser, Edison, NJ
Motor valf gövdeleri	Ni-Cr alaşım	Toz besleme	Quantum Laser, Edison, NJ
Traktör kovanları	WC and Co alaşım	Toz besleme	Quantum Laser, Edison, NJ
Türbin bıçakları ,	Stellite 6	Toz besleme	Quantum Laser, Edison, NJ
Pompa valf yuvaları	Stellite, Colmoly, karışık toz	Kendi ağırlığı ile besleme	Westinghouse, Pittsburgh, PA
Valf gövdeleri, valf kovanları, alüminyum bloklar	CrC ₂ , Cr, Ni, Mo/dökme Fe	Önceden yerleştirilmiş tozlar	Fiat, Turin, Italy
Kenardan uzak delme ve üretim parçaları, valf parçaları, kaynatıcı	Stellite, Colmonoy, alaşımlar/karbürler	Toz besleme	Combustion Eng., OH
Uzay araçlarının parçaları	Stellite, Tribaloy	Toz besleme	Rockwell Int., CA
Türbin bıçakları bağlantı kaplamaları	PWA 694, Nimonics	Önceden yerleştirilmiş talaş	Pratt & Whitney, West Palm Beach, FL

Ayers ve Gananamuthu (1983) aşığıdaki bazı malzemelerde lazer ile sert yüzey kaplamayı aşınma direncini iyileştirmek için uygulamışlardır. Bu malzemeler, ASTM A 387 çeliğı üzerine Tribolay T-800, AISI 4815 çeliğı üzerine yerleştirilmiş Haynes Stellite 1 dökme çubukları ve AISI 1018 çeliğı üzerine bağlayıcısız uygulanmış demir tozlarıdır.

Yumuşak çelik üzerine paslanmaz çelik kaplamasına ilave olarak, Steen (1986), yumuşak çelik üzerine nikel, bronz, Fe-B ve Stellite SF6; titanyum üzerine krom; alüminyum üzerine paslanmaz; paslanmaz üzerine yumuşak çelik ve pirinç üzerine Stellite lazer kaplamalarını başarılı şekilde gerçekleştirmiştir. Lazer sert yüzey kaplama ile ilgili diğer örnekler, manganez, karbon tozları ve krom karışımı ile AISI 1016 çelik kaplaması (Mazumder ve Singh,1986) ve krom karbür (Cr_3C_2), krom, nikel, silikon ve molibden toz karışımı ile gri dökme demir sert yüzey kaplamasıdır (Belmondo ve Castagna, 1981). La Rocca (1986) bir İtalyan otomotiv üreticisinde kobalt esaslı bir alaşım ile egsoz valflerinin sert yüzey kaplamasını tanımlamıştır. Kobalt esaslı tozlar lazer erime havuzuna akıtılmıştır. Lazer sert yüzey kaplama malzemesi düzgün mikro yapı ve düzgün bir dağılma, yapışma ve kalınlığın tekdüzeliğı açısından gaz altı tungsten ark kaynağı (GTAW) ile üretilen malzemeden daha üstündür. GTAW ile karşılaştırıldığında fazla malzeme % 10 ila % 15 oranında düşer. Bir İngiliz otomotiv üreticisi Tribolay veya Nimonic alaşımlarından birini toz besleme ile nikel esaslı türbin bıçaklarının lazer sert yüzey kaplamasında üretim basamağı olarak kullanmıştır (Macintyre, 1986). Öncelikle manuel kaynak eritme tekniğı kullanılmıştır. Lazer sert yüzey kaplama, kaplama zamanını 14 dakikadan 75 sn. ye düşürmüş, verimliliğı ve kaliteyi yükseltmiş, maliyeti % 85 düşürmüş ve kullanılan tozu da % 50 oranında azaltmıştır.

3.12. Özellik ve Kalite Gereksinimleri

Kaynak yöntemi ile yapılmış yüzey kaplama tabakası aslında değişebilir kompozisyonu ve mikroyapıdaki katılmaşma kinetiğı ile tanımlanan mini bir dökümdür. Bu tarif abartılı değildir ve bu yüzden kaynakla yapılmış kaplama tabakası özellikleri ve kalitesi alaşım seçimine bağılı olduğu gibi kaynak işlem ve tekniğıne de bağılıdır (Tablo 3.2).

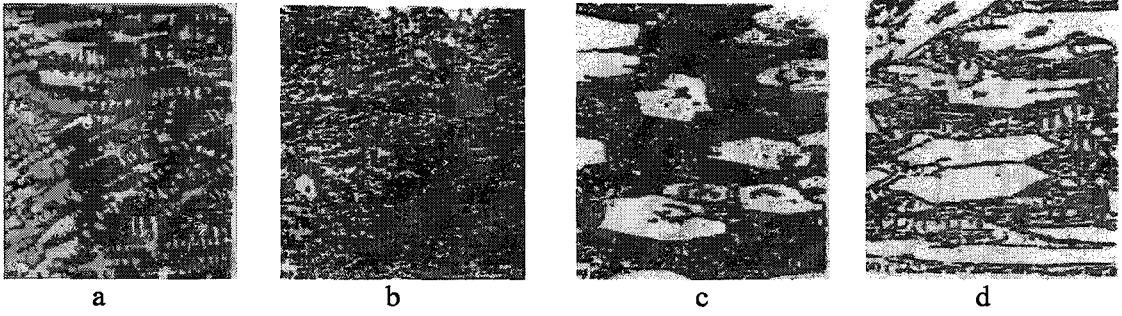
Oksi-gaz kaynak işlemlerinde karbonun açığa çıkması ve ark kaynak işlemleri sırasında ergiyen maddenin buharlaşması ilave faktörler olmasına rağmen kaynak sırasında bileşimin değişmesi de ana metal sıvılaşmasından bağımsız değildir. Sıvı çözelti (dilatasyon), yüzey kaplama alaşımı ve ana metalin ara alaşımıdır ve genellikle ana metalin yüzey kaplama kaplaması içindeki yüzdesi olarak ifade edilir. % 10'luk dilatasyon, kaplamanın % 10 ana metal ve % 90 yüzey kaplama alaşımı içerdiğini ifade eder. Yüzey kaplama alaşımının aşınma direnci ve diğer üstün özelliklerinin genellikle dilatasyon artarken azaldığı düşünülür. Kabul edilebilir

maksimum çözelti miktarı ise özel kullanım gereksinimlerine bağlıdır. Aynı zamanda kaynak işlem ve tekniği, en sert tabaka için dilatasyon miktarı % 20'den daha az olacak şekilde seçilmelidir. Uygulamada dolgu kaplama tabakası için daha fazla dilatasyon oranı kabul edilir. Dilatasyon termal püskürtme işlemlerinde bulunmaz ve geleneksel oksî-gaz kaynak işlemlerinde az miktarda var olduğu kabul edilir. Dilatasyon tabakası genellikle ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde büyük bir problemdir. Plazma ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde yaklaşık % 5 ve toz altı ark kaynağında yaklaşık % 50 gibi büyük bir değere ulaşır. Lazerle yüzey kaplama işlemlerinde dilatasyon azdır, genellikle % 1-10 arasındadır. Çok katlı tabakalar şeklinde uygulanabilen ve ince yüzey kaplama tabakası gerektiren uygulamalarda, yüksek dilatasyonlu kaynak işlemlerinin yapılmasına müsaade edilir. Şekil 3.1 düşük karbonlu çeliğin üzerine MIG kaynak yöntemi kullanılarak, birkaç tabaka kaplanmış yüksek krom içerikli beyaz dökme demir yüzey kaplama alaşımının mikroyapısına dilatasyonun etkisini göstermektedir. İlk tabakanın (Şekil 3.10a) mikroyapısı dentritler arası ötektik ile ötektik altıdır ve 55 HRC sertliğe sahiptir. İkinci tabaka (Şekil 3.10b) daha büyük bir yüzde ile ötektik içeren ince yapılı ötektik üstüdür ve sertliği 57 HRC' dir. Üçüncü (Şekil 3.10c) ve beşinci tabakaların (Şekil 3.10d) mikroyapıları aynıdır ve ötektik matris içerisindeki birincil M_7C_3 karbürlerinden oluşmuşlardır. Üçüncü ve sonraki tabakaların sertliği 60–61 HRC' dir.

Dökümde olduğu gibi yüzey kaplama tabakalarının mikroyapı ve mekanik özellikleri, dilatasyon tabakasının katılma kinetiğine bağlı olarak değişir. Bazı termal püskürtme işlemlerinde hemen hemen amorf yapıların meydana gelmesine rağmen termal püskürtmede katılma genellikle hızlıdır. Katılma kinetiği geleneksel kaynak yöntemleriyle yüzey kaplama işlemlerinde biraz yavaşlama eğilimi gösterir. Kural olarak oksî-gaz kaynak işlemleri ile oluşturulan yüzey kaplama tabakalarının katılma eğilimi ark kaynak işlemleri ile oluşturulanlara göre çok daha yavaştır. Katılma oranındaki bu farklılık, dilatasyon oranı ne olursa olsun, mikroyapıda ve özelliklerde büyük farklılık meydana getirir. Şekil 3.11 düşük karbonlu çelik yüzeyine kaplanan kobalt esaslı (ERCoCr-A) yüzey kaplama alaşımının mikroyapısına kaynak işleminin etkisini göstermektedir (Drapier vd., 1975).

Tablo 3.3. Yüzey kaplama alaşımları seçim tablosu (Weld Design and Fabrication, 1975)

Malzeme türü	Avantajlar	Uygulamalar
Düşük sertlik		
Perlitik çelikler	Düşük fiyat, çatlak direnci	Boyut onarımı için bir dolgu kaplama malzemesi veya yüzey kaplama işlemleri için düşük fiyat
Yumuşak çelikler	Üstün yüzey kaplama özelliği	
Düşük alaşımlı çelikler	Aşınmış bölgelerin dolgu kaplaması için dayanıklılık	
Ostenitik çelikler	Şiddetli çarpma üstünlüğü, dayan.	Ağır çarpma durumlarında metal-metal aşınması için
Düşük karbonlu Ni-Cr paslanmaz çelik	İyi korozyon direnci	Geniş tankların, nükleer depoların korozyon dirençli yüzey kaplaması
Yüksek karbonlu Ni-Cr paslanmaz çelik	Oksidasyon ve sıcak aşınma direnci	Kalorifer kazan parçaları, kızıl sıcaklık sürtünme aşınması
% 14 Mn, CrNi	Yüksek akma mukavemeti	Builtap, çatlak tamiri, mangan alaşımlarının veya manganın yumuşak çeliğe kaplanması
% 14 Mn, % 1 Mo	Uygun abrasiv ve korozyon direnci	Demiryolları raylarının dolgu kaynağı
% 14 Mn, % 3 Ni	Çalışma sertleşmesi	Builtap ve manganlı parçaların birleştirilmesi
Yarı Ostenitik çelikler	Düşük maliyet çatlak direnç malzemeleri	Yüzey kaplama işlemleri
Bakır alaşımları	Sürtünmeli aşınma durumlarında bağlanma direnci	Taşıma yüzeyinin builtap işlemlerinde
Orta sertlik		
Nikel esash alaşımlar	İyi korozyon direnci ve üstün sıcak sertlik	Sıcak sertliğin önemli olduğu uygulamalarda
Nikel-krom	Oksidasyon direnci	Korosiv aşınma durumlarında
Nikel-krom-molibden	Egzoz gaz korozyon direnci	Kamyon, otobüs ve uçak motor valflerinin yüzey kaplama işlem.
Nikel-krom- molibden-tungsten	Korozyon direnci özellikleri	Yüzey kaplama işlemlerinde
Nikel-krom-bor	Abrasiv direnç özellikleri gibi korozyon direnci	Pompalama işlemlerinde, özellikle petrol alanlarında
Krom-molibden	Hafif çarpmaya karşı koyarken abrasiv direnç	Hafif çarpmanın olduğu yada olmadığı tekrarlamalı metal-metal aşınmasına maruz kalan makine parçalarının builtap işlemlerinde
Krom-tungsten	Yüksek sıkıştırıcı mukavemetler	Hafif çarpmanın olduğu yada olmadığı erosiv aşınma durumlarında
Ostenitik alaşımlı demirler	Martenzitik alaşımlı demirlerden daha iyi çatlak direnç özellikleri	
Krom-molibden	İyi çatlak direnç kalitesi	Pompa ve türbin builtap işlemlerinde
Nikel-krom	Çatlak direnci, hafif çarpma	Hafif çarpmanın olduğu erosiv aşınma durumlarında
Martenzitik çelikler	Orta çarpma ile abrasiv direnç	Orta şiddette çarpmanın da olabileceği çeşitli abrasiv aşınmadır.
Düşük karbon (% 0,30'dan fazla C)	En az masraf, dayanım	
Orta karbon (% 0,30-0,65 C)	Orta çarpmaya karşı iyi direnç	
Yüksek karbon (% 0,65-1,7 C)	Uygun abrasiv direnç	
Yüksek sertlik		
Yüksek kromlu demirler	Üstün erozyon direnç özellikleri	Sıcak gazların veya malzemelerin olduğu genel kullanımlarda
Ostenitik	İyi abrasiv direnç kalitesi	Kumlu topraklarda çiftçilik ve toprak kazma araçlarında
Martenzitik	Isıl işlemle sonra tekrar sertleşme kabiliyeti	Sıcak erozyonun (595 °C) aşınma problemi oluşturduğu çelik ve rafinerilerdeki yüzey kaplama işlemlerinde
Krom-tungsten-kobalt alaşımları	Yüksek kızıl sertlik ,yüksek sıcak üst mukavemet ve sürtünme direnç kalitesi	Birçok yüzey kaplama işlemlerinde, fakat sıcak (650 °C) abrasiv aşınmanın olduğu uygulamalar için daha uygundur (Jet motor türbin kanatları, gaz motor egzoz valfi)
Düşük karbon (% 0,1 'den fazla C)	İyi oksidasyon direnci, dayanıklılık	
Orta karbon (% 1,4 C)	Abrasiv ve oksidasyon direnci	
Yüksek karbon (% 2.5 C)	İyi abrasiv direnç, gevrek	
Tungsten karbürler	Yüksek abrasiv aşınma direnci	Aşırı derecede abrasiv aşınma durumlarında
İri taneli tüp çubuk	Pürüzlü kesme yüzeyi	



Şekil 3.10. Fe-28Cr-4Mo-O,4Mn-4,6C yüzey kaplama alaşımı mikroyapısına dilatasyonun etkisi a) Yumuşak çelik üzerindeki ilk tabaka metal dentritlerinin ve dentritler arası bölgenin ötektik altı yapısı (55 HRC) b) İkinci tabaka, büyük bir yüzdeye sahip ötektik üstü yapı (57 HRC) c) Üçüncü tabaka, ötektik matristeki birincil M_7C_3 karbürlerin kaba ötektik üstü yapısı (61 HRC) d) Beşinci tabaka, üçüncü ve dördüncü tabaka yapılarına benzer bir yapı (60HRC) (Drapier vd., 1975).

3.13. Ana Malzemenin Fiziksel Özellikleri

Ana malzemenin büyüklüğü, şekli ve ağırlığı yüzey kaplama yöntem seçimini büyük oranda etkiler. Taşınması zor, geniş ve ağır iş parçaları, yüzey kaplama donanımı iş parçasının bulunduğu yere götürülerek elle veya yarı otomatik işlemler ile rahat bir şekilde kaplanır. Portatif araç-gereçleri hazır olarak bulunan MIG ve elektrik ark kaynak teknikleri, erişilmesi zor yüzeylerin ve taşınması zor iş parçalarının açık alan uygulamaları için çok uygundur. Termal püskürtme işlemleri ve araç-gereçleri de özellikle iş yerindeki yüzey kaplama işlemleri için uygundur. Yüzey kaplama işlem seçimi daha çok ana malzemenin yeterince küçük olduğu varsayılarak yapılır ve bu yüzden ana malzeme, kaynak araç-gereçlerinin olduğu yere kolaylıkla taşınabilir. Termal püskürtme işlemleri ve oksijen-gaz kaynağı, tozaltı kaynağı, TIG kaynağı, plazma ark kaynağı atölyedeki küçük iş parçalarının yüzey kaplama işlemleri için uygundur. Çok miktarda küçük malzemeler genellikle özel olarak üretilmiş tam otomatik yüzey kaplama araç-gereç ve donanımları ile ekonomik olarak kaplanabilir (Li ve Sun, 2002).

3.14. Ana Metalin Metalurjik Özellikler

Termal püskürtmeli yüzey kaplama işlemlerinde ana metal yüzeyinin hazırlanması önemlidir. Kaynak işlem seçiminde ana metal bileşimi, ergime sıcaklık aralığı, termal genleşme ve küçülme özelliklerinin önemli etkisi vardır. Çelikler yüzey kaplama için genellikle uygun ana metallerdir. Düşük alaşımlı ve % 0,4'ün üzerinde karbon içeren orta karbonlu çeliklere bütün kaynak işlemleri ile mükemmel bir şekilde yüzey kaplama işlemi uygulanabilir. Yüksek karbonlu çelikler, benzer şekilde, sorunsuz olarak yüzey kaplama işlemine tabi tutulabilirler, fakat ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) zararlı martenzitik reaksiyonu en aza indirmek için

ön tav gerekir. Ostenitik paslanmaz çeliklere ve birçok nikel esaslı alaşımlara, işlem hatası olmadığı takdirde, bütün kaynak işlemleri ile kolaylıkla mükemmel sonuç verecek şekilde yüzey kaplama işlemi uygulanabilir. Martenzitik paslanmaz çelikler, takım çelikleri, kalıp çelikleri ve dökme demirlere de kolaylıkla yüzey kaplama uygulanabilir. Fakat ön tav, geçiş sıcaklığı ve kaynak sonrası gerekli ısıtma işlemi çok dikkat edilmelidir. Yaşlandırma sertleşmesi işlemine tabi tutulmuş ana metaller bazı yüzey kaplama problemleri çıkarabilir ve ön tav, geçiş sıcaklığı ve son tav işlemlerine dikkat edilmesi gerekir.

Yüzey kaplama kaynak işlemleri, ana metalin erime sıcaklık aralığının yüzey kaplama alaşımınıninkinden daha yüksek veya en az eşit olmasını gerektirir. Diğer taraftan termal püskürtme işlemleri ana metal ergime sıcaklığının yüksek olmasını gerektirmez.

Ana metalin termal genleşme ve büzülme özellikleri katılma sonrası boyutlarını etkiler. Yüzey kaplama alaşım kaplama tabakasının çatlamasını önlemek için, iş parçası kaynak sırasında genellikle yüksek sıcaklıklara kadar düzenli bir şekilde ısıtılır. Kaynak işlem seçimi burada önemlidir. Çünkü bu seçim ısı girdisini ve ön tav koşullarını direkt olarak etkiler.

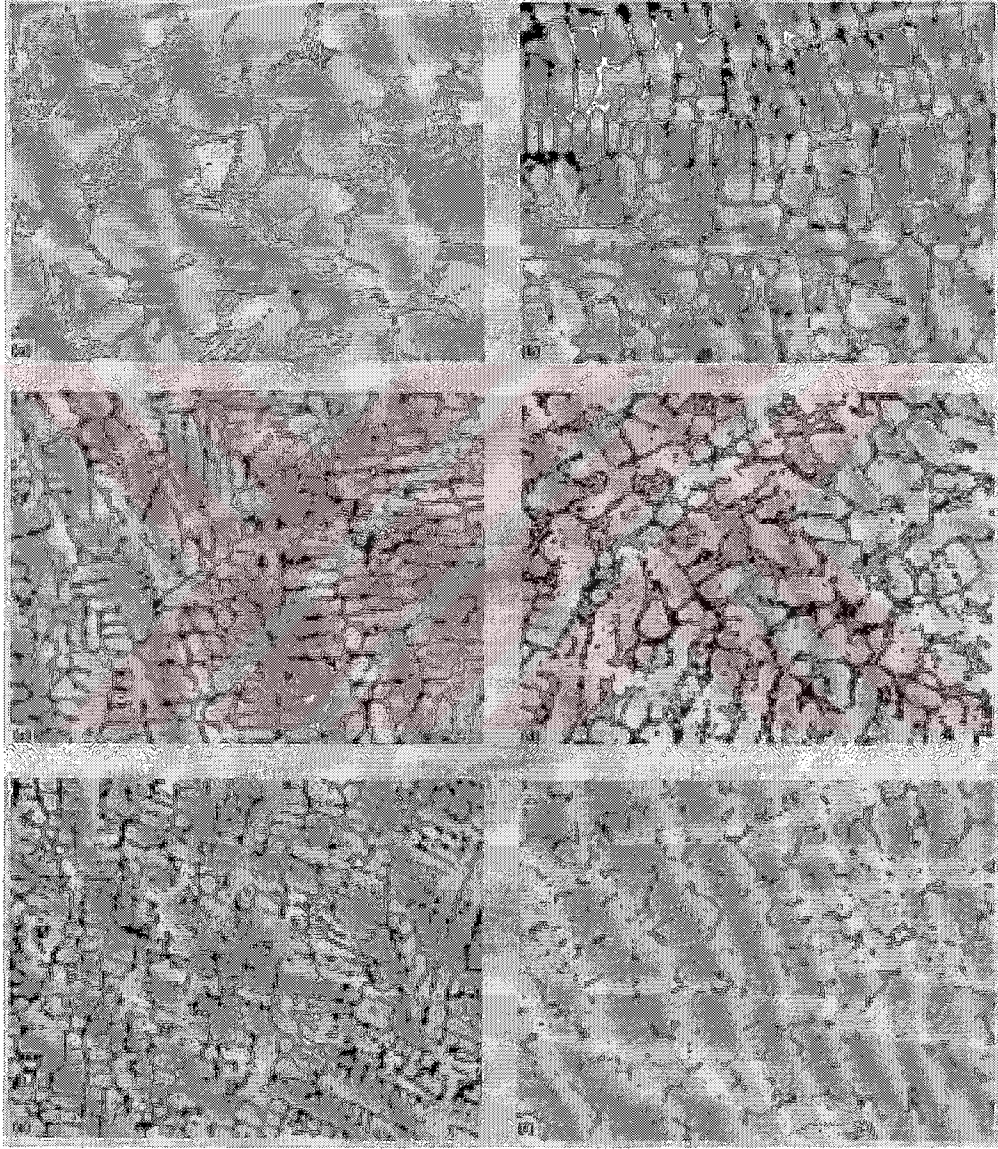
Yüzey kaplama alaşımı ve ana metal arasındaki genleşme ve büzülme farklılıkları termal çevrim koşullarını içeren uygulamalarda önemlidir. Büyük farklılıklar kaynak yapılan bölgede, termal püskürtme tabakasında kesme hatası veya kaynakla kaplanmış tabakada termal yorulma hatasına sebep olabilir. Ara kaplama tabakaları termal genleşme ve büzülme özelliklerindeki büyük farklılıkları önlemek için genellikle ana metal ve yüzey kaplama alaşımı arasına uygulanır. Genellikle zararlı olarak kabul edilen dilatasyon oranı kendi alanındaki ara tabakaları şekillendirmek ve termal yorulma hatasını en aza indirmek için iyi bir avantaj olarak kullanılabilir. Bu husus yüzey kaplama işlem seçiminde önemli bir yere sahiptir.

3.15. Yüzey Kaplama Ürün Şekilleri

Yüzey kaplama işlem seçimi genellikle ürünün şekli ile sınırlıdır. Yüzey kaplama alaşımları normal olarak örtüsüz çubuk, örtülü elektrot, tel ve toz şeklinde bulunurlar. Fakat bütün alaşımlar bütün ürün şekillerinde mevcut değildir.

Hemen hemen bütün yüzey kaplama alaşımları toz şeklinde ve birçoğu da çubuk şeklinde üretilir. Çubuklar genellikle örtüsüz çubuk veya tüp (toz dolgu metal boru) şeklinde bulunurlar. Örtüsüz çubuk çapları, alaşım özellikleri ve döküm şartlarına göre 3.2–8 mm arasında sınırlandırılır. Örtüsüz çubuk uzunlukları genellikle 250–700 mm arasındadır, fakat bazı yüzey kaplama alaşımları 3.2 mm çapında daha uzun veya sonsuz uzunlukta olabilir. Tüp şekilli çubuklar düşük alaşımlı kılıflar içine doldurulmuş, yüksek seviyede alaşımlandırılmış toz tanelerinden oluşur. Bu çubuklar farklı uzunlukta veya sürekli sargılı

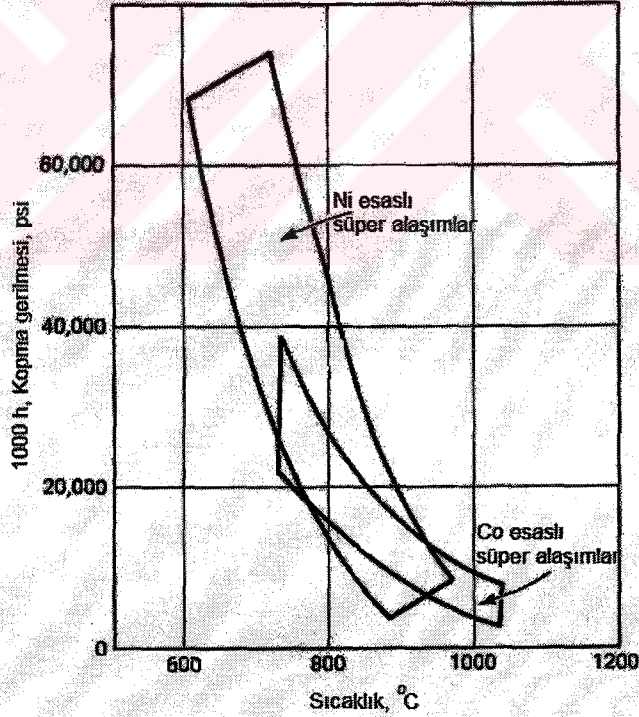
bobinler şeklinde üretilirler. Farklı uzunlukta boru şeklindeki çubuklar örtüsüz çubuk şeklinde olduğu gibi genellikle aynı çapta olurlar. Uzun boru şeklindeki çubuklar veya boru şeklindeki tel normal olarak 1.6–4.0 mm çaplarında bulunurlar. Daha sünek yüzey kaplama alaşımları tel çekme yöntemi ile üretilirler. Bir kısım gevrek yüzey kaplama alaşımları özel ekstrüzyon teknikleri kullanılarak üretildiğinden oldukça pahalıdır.



Şekil 3.11. Bir ERCoCr-A yüzey kaplama alaşımının mikroyapısına kaynak işleminin etkisi (a- oksigaz kaynağı b- Plazma ark kaynağı c- TIG kaynağı d- Toz elektrot kaynağı e- Tozaltı ark kaynağı f- MIG kaynağı) (Drapier vd., 1975).

4. KOBALT ESASLI ALAŞIMLAR

Kobaltın ergime sıcaklığı 1495°C ve nikelin 1455°C 'dir, Ergime sıcaklıklarındaki bu benzerlikten dolayı kobalt esaslı alaşımların yüksek sıcaklık özellikleri nikel esaslı alaşımlarınki ile karşılaştırılabilir. Kobaltın kristal yapısı 417°C 'nin üstünde yüzey merkezli kübik (YMK) bu sıcaklığın altında hegzagonal sıkı pakettir (HSP). Yüksek sıcaklıkta kobaltın kristal yapısı nikel gibi YMK'dir. Her iki elementin atomik yapısının benzerliğinden dolayı, mukavemet kazandırma işleminde çok önemli olan ve alaşım ilaveleriyle elde edilen düzenli γ' fazı, nikel esaslı alaşımlarda olduğu gibi kobalt esaslı alaşımlarda da oluşturulabilir. Bununla birlikte az sayıda kobalt esaslı alaşımlarda γ' formu oluşturulabilir ve elverişli mukavemetlendirme bu yöntem ile sağlanamaz. Şekil 5,1'de nikel esaslı ve kobalt esaslı alaşımların sürünme özellikleri karşılaştırılmaktadır. Bu diyagram, kobalt esaslı alaşımlar γ' çökeltisi oluşturamadığı için yaklaşık 900°C 'nin üzerinde nikel esaslı alaşımların kobalt esaslı alaşımlara göre daha üstün nitelikli olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte yaklaşık 900°C 'nin üstünde kobalt esaslı alaşımlar mukavemet bakımından nikel esaslı alaşımlara göre üstün olabilir.



Şekil 4.1. Ni- ve Co-esaslı süper alaşımların 1000-saat'lik kopma mukavemetlerinin karşılaştırılması (Brooks, 1990).

Kobalt esaslı alaşımların asıl üstünlüğü, nikel esaslı alaşımlara mukavemet kazandıran γ' fazının yüksek sıcaklıklarda çözülmeye başlaması ile ortaya çıkar. Kobalt esaslı alaşımlar, nikel

esaslı alaşımlarda olduğundan daha kararlı ve çok yüksek sıcaklıklarda çözünebilen karbür oluşumu ile mukavemetlendirilebilirler (Olson, 1985). Böylece yüksek sıcaklık aralığında kobalt esaslı alaşımların nikel esaslı alaşımlara tercih edilebileceği ortaya çıkar.

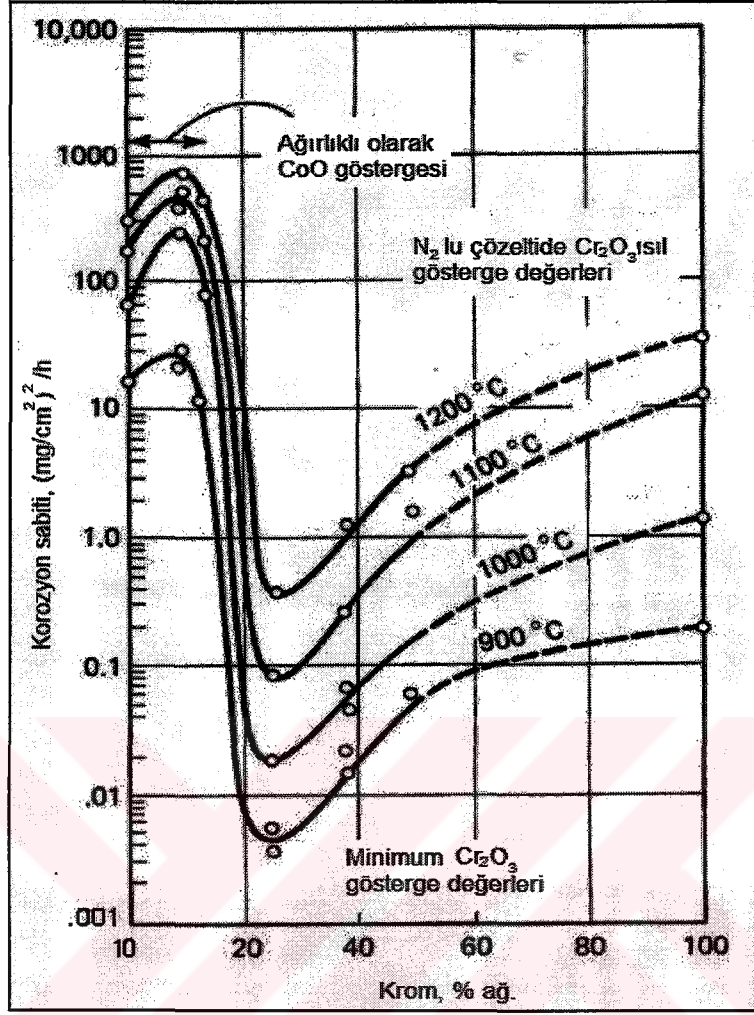
Yapılan araştırmalar sonucunda kullanılan mevcut kobalt esaslı alaşımların, nikel esaslı alaşımlara göre daha sınırlı olduğu görülmüştür. Birçok kobalt esaslı alaşımlar % 20-30 civarında krom içerirler, ayrıca alüminyum ve titanyum miktarı ya çok azdır ya da hiç yoktur. Bunlar, nikel esaslı süper alaşımlara göre daha fazla karbon içeriğine sahiptirler (Schwarz ve Warlimont, 1997).

4.1. Kobalt Esaslı Alaşımların Oksidasyonu

Nikel esaslı alaşımlarda olduğu gibi, kobaltın oksidasyon direncini iyileştirmek için katılan en önemli element kromdur. Şekil 4.2 kritik Cr içeriğinin % 20-30 arasında olduğunu gösterir ve orada parabolik oksidasyon için korozyon sabiti, kobalt içeriğinin büyüklüğüne göre dört yerde azalır (Co-30 Cr alaşımı vücut içine yerleştirilen cerrahi malzemelerde ve dişçilik takımlarında geniş şekilde kullanılan temel alaşımdır. Bu alaşım 25 °C' de en yüksek korozyon direncine sahiptir). Co-esaslı ticari süper alaşımların hepsi Cr içerir. Bunların birçoğunun Cr oranı yukarıda bahsedildiği gibi % 20-30'dur.

Statik, periyodik oksidasyon direnci ve sıcak korozyon direncine kromdan başka diğer, elementlerin etkisinin de incelenmesi gerekir (Sims, 1969). Co-5Si ve Co-10Al ikili alaşımları Co-Al alaşımları ile birlikte Co-Cr alaşımlarından daha iyi korozyon direnci gösterirler. Bununla birlikte ikili Co-Al alaşımları, geliştirilen Co alaşımlar için bu bileşim esas alındığında yeterli miktarda yüksek sıcaklık mukavemetine sahip değildir. 900–1100 °C arasında, hava ve oksijen ortamında ve 240 saatin üstünde yapılan testlerde Fe ve Ni'nin Co-20Cr alaşımlarına etkisi olmadığı, fakat Mn'nin kabuk halinde dökülme eğilimini artırdığı bulunmuştur. Bazı durumlarda Mo, V ve W'nun zararlı etkileri olabilir. Diğer önemli bir husus, Co-Cr esaslı alaşımları sıcak korozyon direnci kükürdün varlığından, nikel esaslı alaşımlarda olduğu gibi etkilenmez.

Nikel esaslı alaşımlarda olduğu gibi kobalt esaslı alaşımlarda da krom ana alaşım elementidir ve mukavemetlendirme için katılan diğer elementler aynı zamanda alaşımın oksidasyon ve sıcak korozyon direncine etki edebilirler. Bu bakımından da dikkatli bir şekilde incelenmelidirler.



Şekil 4.2. Durgun havada oksitlenmiş Co ve Co-Cr alaşımları için parabolik oksidasyon sabiti (Phalnikar vd., 1956).

4.2. Kobalt-Esaslı Alaşımların Mukavemetlendirilmesi

4.2.1. Katı Çözelti Mukavemetlendirmesi

Nikel esaslı alaşımlarda olduğu gibi, kobalt ve çözelti atom büyüklüğü arasındaki farklılıktan doğan ilişki ve maksimum çözünürlük, katı çözelti mukavemetlendirme etkisinin büyüklüğünü anlayabilmek için incelenebilir (Sims, 1972). Bu hususun Cr, Nb, W, Ta ve Mo için uygulanabilirliği Tablo 4.1' de görülmektedir. % 30 Cr içerikli üçlü alaşımda çözünürlüğü incelemek en mantıklısıdır ve bu incelemede W ve Mo'nin alaşıma iyi özellikler kazandıracağı görülmektedir (Ta ve Nb' nin etkileri için mevcut bir belirti görülmemektedir).

Şekil 4.3 ve 4.4 farklı çözeltilerin sertliğe etkisini göstermektedir ve bu bilgiler Tablo 4.1'deki bilgiler ile uyum sağlamaktadır. Şekil 4.5 üçlü Co-Cr-X alaşımlarında Mo, Ta ve W'ın

kuvvetli sertleştirici etkisini göstermektedir. Nb 'nin de bu üç elemente benzer bir etki göstereceği beklenebilir.

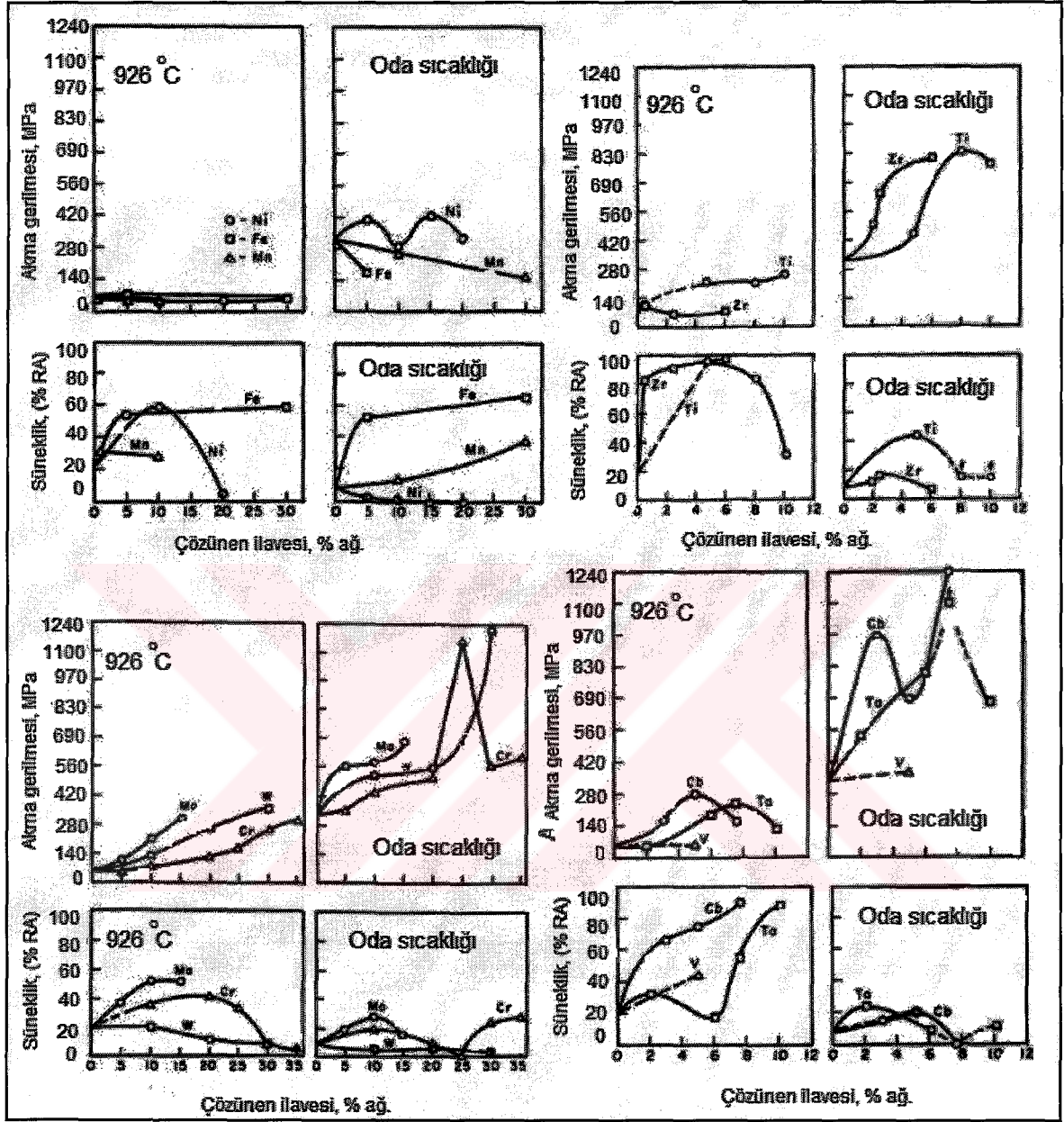
Tablo 4.1. Tahmini atom çap büyüklük farkı ve çeşitli çözümlerin Co ve Co-30Cr alaşımlarındaki tahmini çözünürlüğü (Sims, 1972).

Çözünen	Yaklaşık atom çap farkı, % (dCo -)/deo	1000 °C Co da yaklaşık çözünürlük, % ağı.	1200 °C da Co-30Cr alaşımında yaklaşık çözünürlük, % ağı.
Krom	-0.1	35	-
Nikel	+0.2	100	100
Demir	+0.6	100	30
Manganez	+10	76	-
Tungsten*	-10	25	15 (25 °C de)
Tantalyum*	-15	12	-
Molibden*	-9	20	100
Niobyum*	-15	3	-
Titanyum	-17	8	-
Alüminyum	-15	6	-
Karbon	+40	0.3	0.3
(*) İşaretli elementler en büyük atom çap farkına ve en yüksek çözünürlüğe sahiptirler. Aynı zamanda kuvvetli mukavemet kazandırıcı elementlerdir.			

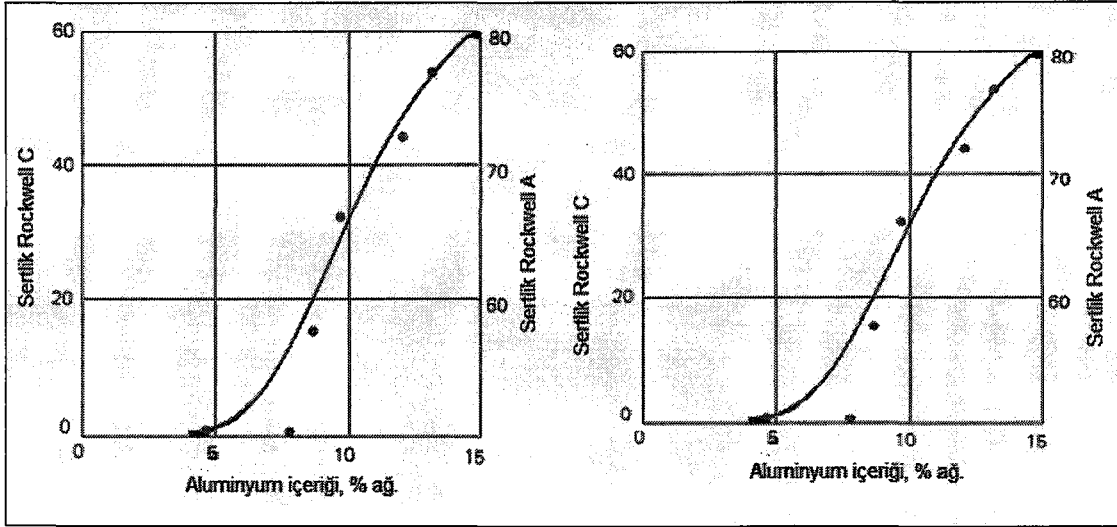
4.2.2. Birincil Gama Fazı Çökmesi

Nikel esaslı alaşımlarda ileri seviyede mukavemetlendirme için $Ni_3Al(\gamma')$ çökeltisi hakkındaki bulguları, içinde Co_3Al veya Co_3Ti çökeltilerin olduğu bir alaşım geliştirmek için de uygulayabiliriz. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 ne Co-Al, ne de Co-Ti sisteminde γ' tipi bir fazın çökelmeyeceğini göstermektedir. Co-Al sisteminde, Co' ca zengin katı çözeltide oluşan çökelti CoAl(ζ fazı) esaslıdır ve Co-Ti sisteminde de $Co_4Ti(\gamma')$ esaslıdır (Glennoy ve diğ., 1975). Bununla birlikte Cr' nin oksidasyon direnci için gerekli olacağını bilinmektedir. Bunun için Co-Cr-X üçlü faz diyagramları incelenebilir, fakat bu durum henüz açıklığa kavuşmamıştır. Şekil 4.7 Co-Cr-Ti alaşımlarında çökeltme sertleşmesinin varlığını ve çökeltinin γ' yapısında $Co_3(Cr,Ti)$ şeklinde olduğunu göstermektedir. Burada belirtilmesi gereken husus, ulaşılan mukavemetin γ' çökeltisine sahip Ni esaslı alaşımlarda olduğu gibi yüksek olmamasıdır.

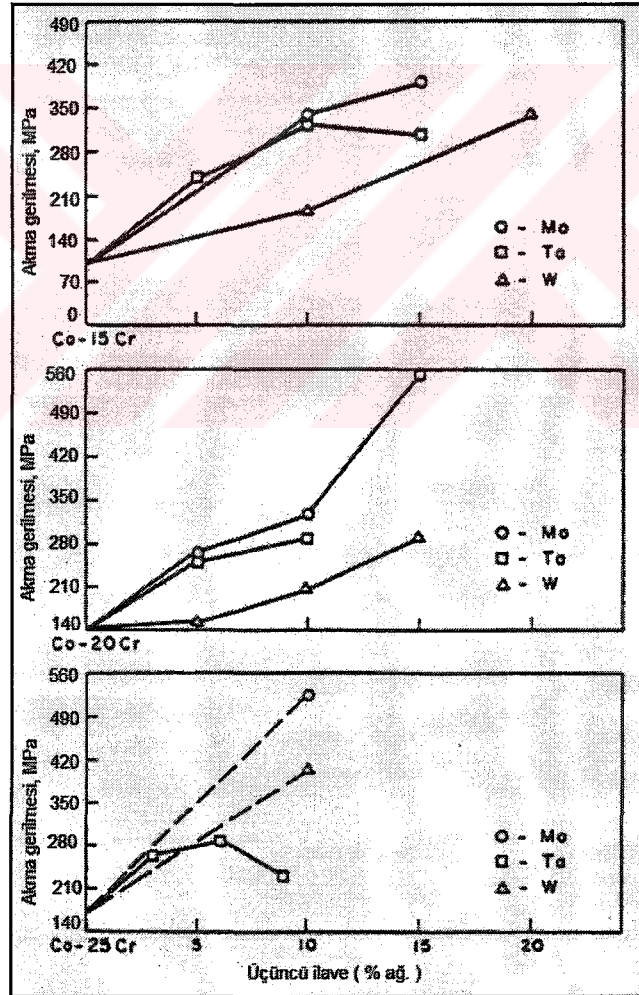
Co esaslı alaşımlarda bulunan γ' fazı Ni-esaslı alaşımlarda olduğundan daha düşük bir sıcaklıkta çözünür. Co-8.5Ti alaşımı da önemli mukavemete sahiptir fakat Cr'nin eksikliği bu alaşımın oksitleyici ortamda kullanımını engeller (Hammond ve Nutting, 1977).



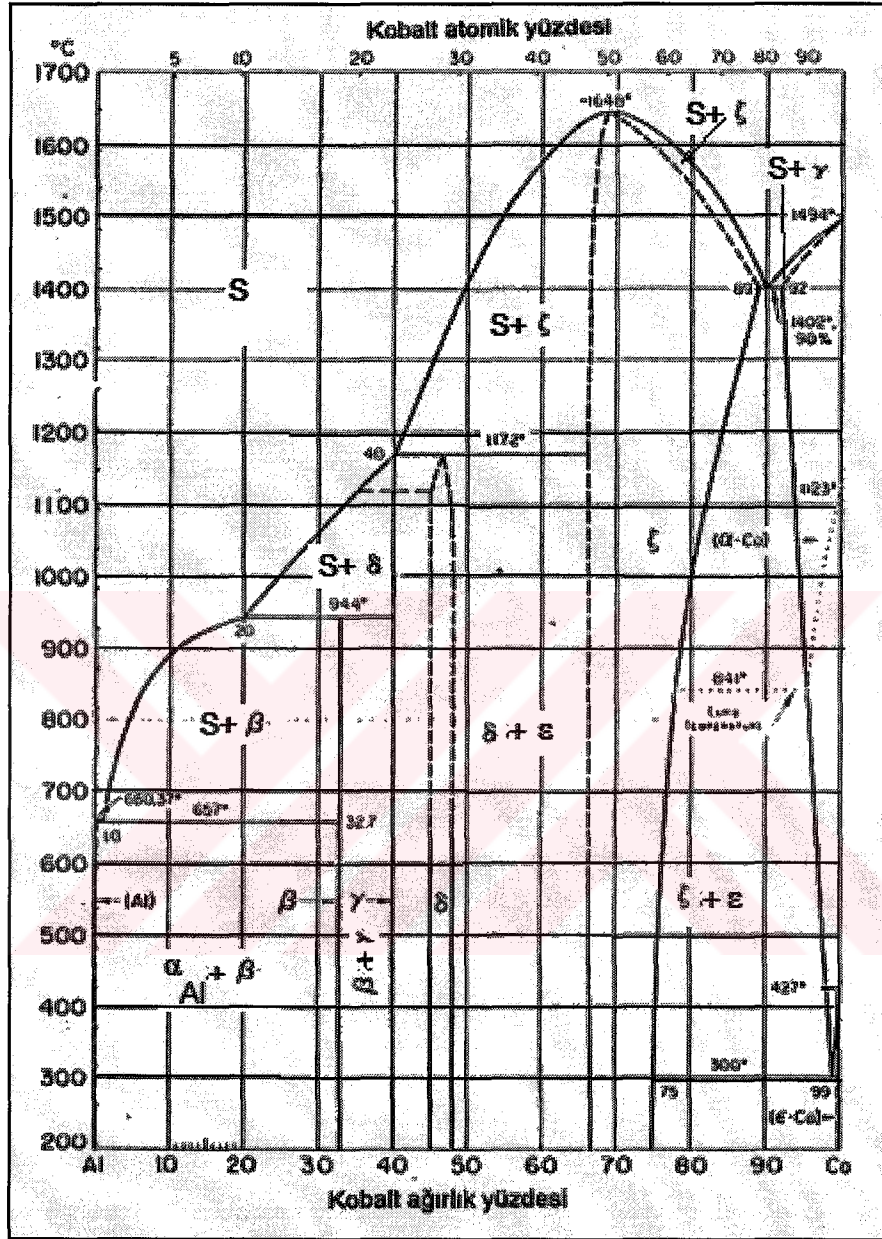
Şekil 4.3. Co'n çekme mukavemeti özelliklerine 25 °C ve 925 °C'de çeşitli çözelti ilavelerinin etkisi (Rausch vd., 1963)



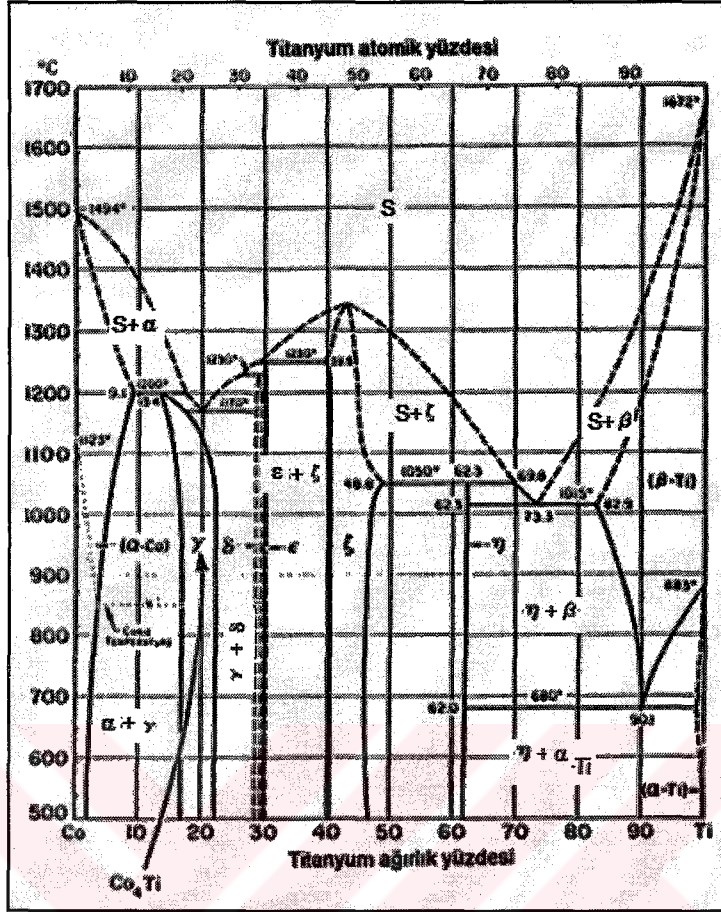
Şekil 4.4. İkili Co esaslı alaşımların sertliğine 25 °C’de Al ve Ti içeriğinin etkisi (Fritzen vd., 1958)



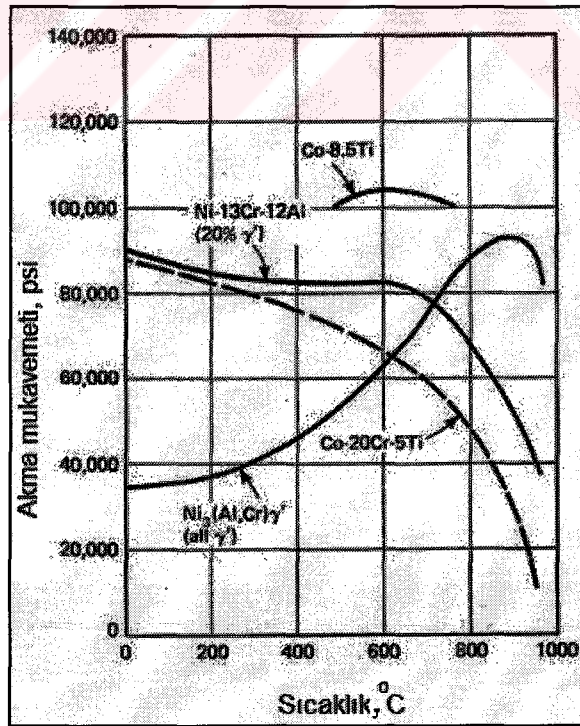
Şekil 4.5. Co-Cr-X üçlü alaşımlarının 925 °C’de akma gerilmesine Mo, Ta ve W’nin etkisi (Rausch vd., 1963)



Şekil 4.6. Co-Al faz diyagramı (Brooks, 1990).



Şekil 4.7. Co-Ti faz diyagramı (Brooks, 1990).



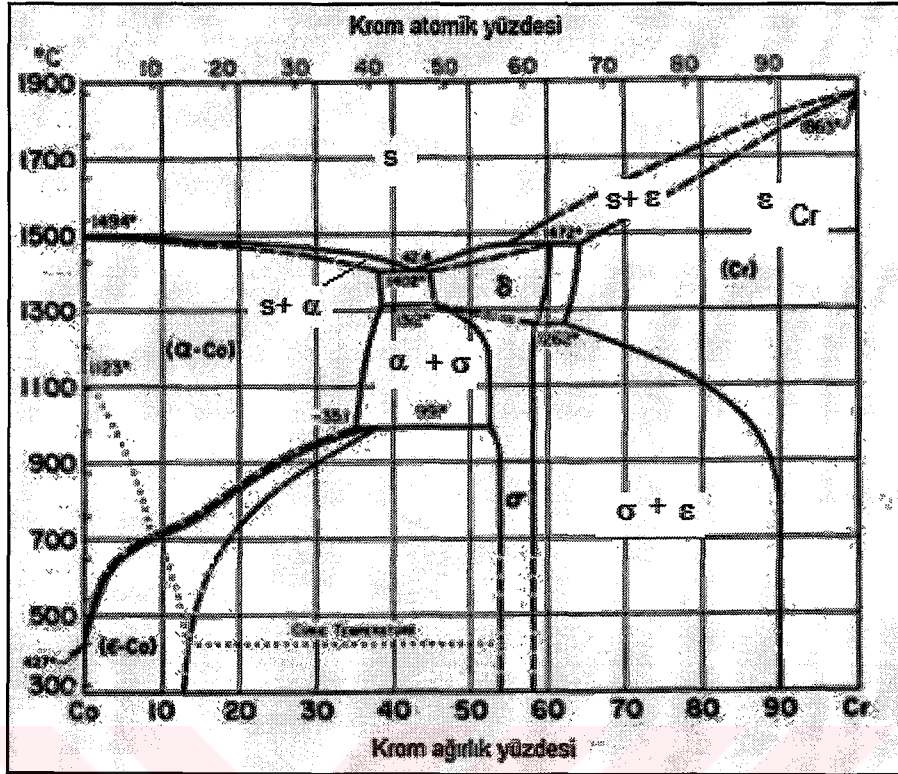
Şekil 4.8. γ' fazı içeren bir kısım Co ve Ni esaslı alaşımların sıcaklığa bağlı akma mukavemetleri (Ni esaslı alaşımlarda γ' , Ni₃(Al, Cr); Co-esaslı alaşımlarda γ' , Co₃(Cr, Ti) dir.) (Brooks, 1990).

4.2.3. İstif Hataları

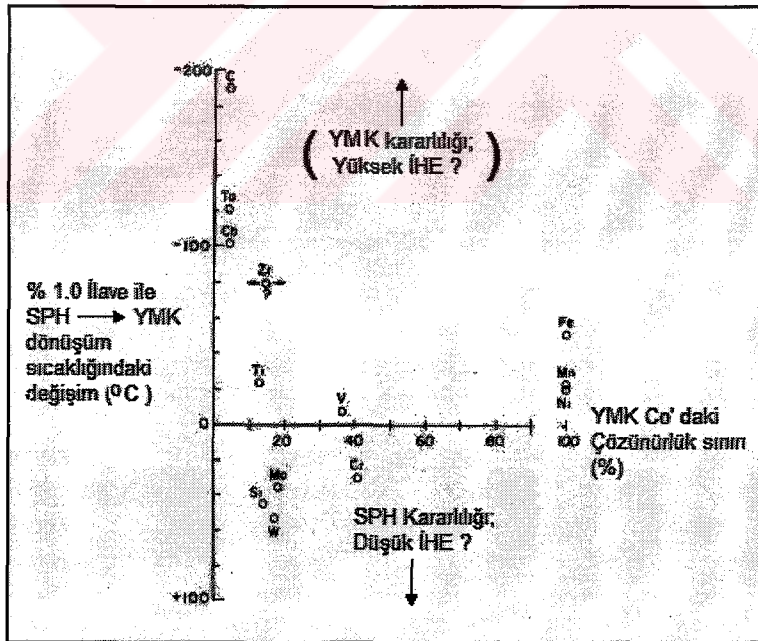
Yüzey merkezli kübik (YMK) alaşımlarda bir dislokasyon iki kısmi dislokasyona ayrılabilir, bu iki kısmi dislokasyon arasında üç atom tabakası kalınlığında ve hegzagonal sıkı paket kafes yapısında bir bölge oluşur. Kısmi dislokasyonların ayrılma mesafesi, dengesiz HSP bölgesinin oluşumu nedeniyle artan enerji ve dislokasyonların azalan elastik enerjisi arasında bir denge oluşturur. Daha az istif hata enerjisi daha büyük ayrılma sağlar. İstif hatası katı çözeltilerin mukavemetlendirilmesinde önemlidir, çünkü gerilme kısmi dislokasyonları etkileyecek yeterli bir değere ulaşmıncaya kadar kayma meydana gelmez. Böylece daha yüksek yığılma hata enerjisi ve daha mukavemetli alaşım oluşumu gerçekleşir.

Saf kobalt iki değişik kristal yapıda bulunur, 427 °C'nin üstünde YMK ve bu sıcaklığın altında HSP yapıdadır. Eğer istif hata enerjisi çok düşükse, bu durumda saf kobaltta YMK yapıda daha çok istif hatası görülebilir. Cr'un hem YMK ve hem de HSP fazlarında çözünürlüğü iyidir (Şekil 4.9). Bu yüzden Co'ca zengin Co-Cr alaşımlarında istif hataları kolayca oluşabilir. % 20-30 Cr oranında kararlı fazlar HSP ve σ fazıdır. Bununla birlikte bunların yüksek sıcaklıktaki YMK fazından oluşumu çok yavaştır, öyle ki yaşlandırma hariç, genel yapı daima YMK'dir.

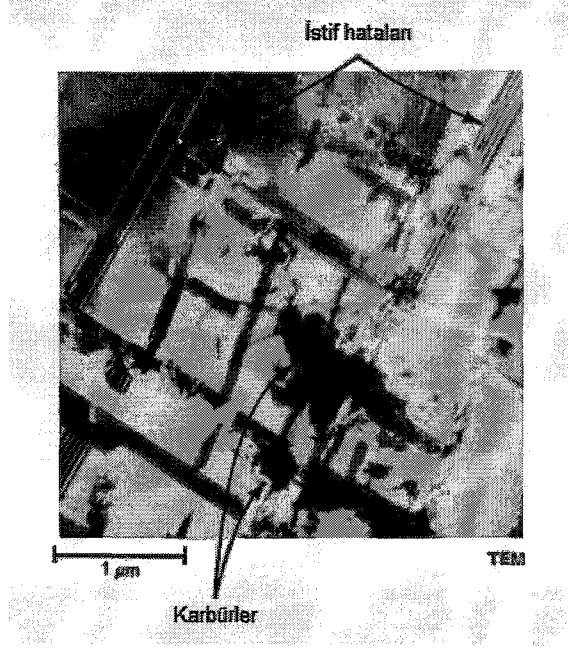
Alaşım elemanları istif hata enerjisini belirgin bir şekilde etkiler. Örneğin YMK formundaki Ni, YMK yapısını kararlı hale getirir ve istif hata enerjisini artırır. Bu ise dislokasyonların daha az olmasını sağlar. Alaşım elemanlarının etkileri saf Co'nin HSP fazından YMK fazına dönüşüm sıcaklığına etkilerinin incelenmesi ile bulunabilir. Bu durum Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Ni ve Fe'nin her yüzde ilavesinin temelde çok güçlü etkiye sahip olmamasına rağmen çok önemlidir, çünkü Co'daki çözünürlüğü oldukça yüksektir. Diğer taraftan Nb güçlü etkiye sahiptir, fakat çözünürlüğü azdır. Bu yüzden YMK matris içinde çok az çözünebilir ve bu sebepten söz konusu etkiden çok yararlanılamaz. Mo ve W gibi HMK yapılı elementler istif hata enerjisini azaltır, kısmi dislokasyonların yayılmasına katkı sağlar ve YMK matrisinin sünekliğini azaltır ve daha mukavim yaparlar. Alaşıma Ni veya Fe eklemek bu etkileri önler. YMK yapısını kararlı yapar ve kısmi dislokasyonlar arasındaki ayrılmayı azaltır. İstif hataları aynı zamanda karbür çökmesinde anahtar rol oynar. Co-esaslı alaşımlarda ve bazı ostenitik paslanmaz çeliklerde istif hatalarının karbürlerin çökmesi için çekirdek oluşumu vazifesi yaptığı bulunmuştur (Wagner ve Hall, 1962). Böylece aşırı yaşlandırma karbürlerin düzgün dağılımını sağlar, bu da sürünme ve çekme gerilmesi mukavemetine olumlu bir şekilde etki eder. Şekil 4.11 karbürlerin çökmesiyle oluşan Co-esaslı alaşımlardaki istif hatalarının mikroyapısını göstermektedir.



Şekil 4.9. Co-Cr faz diyagramı (Brooks, 1990).



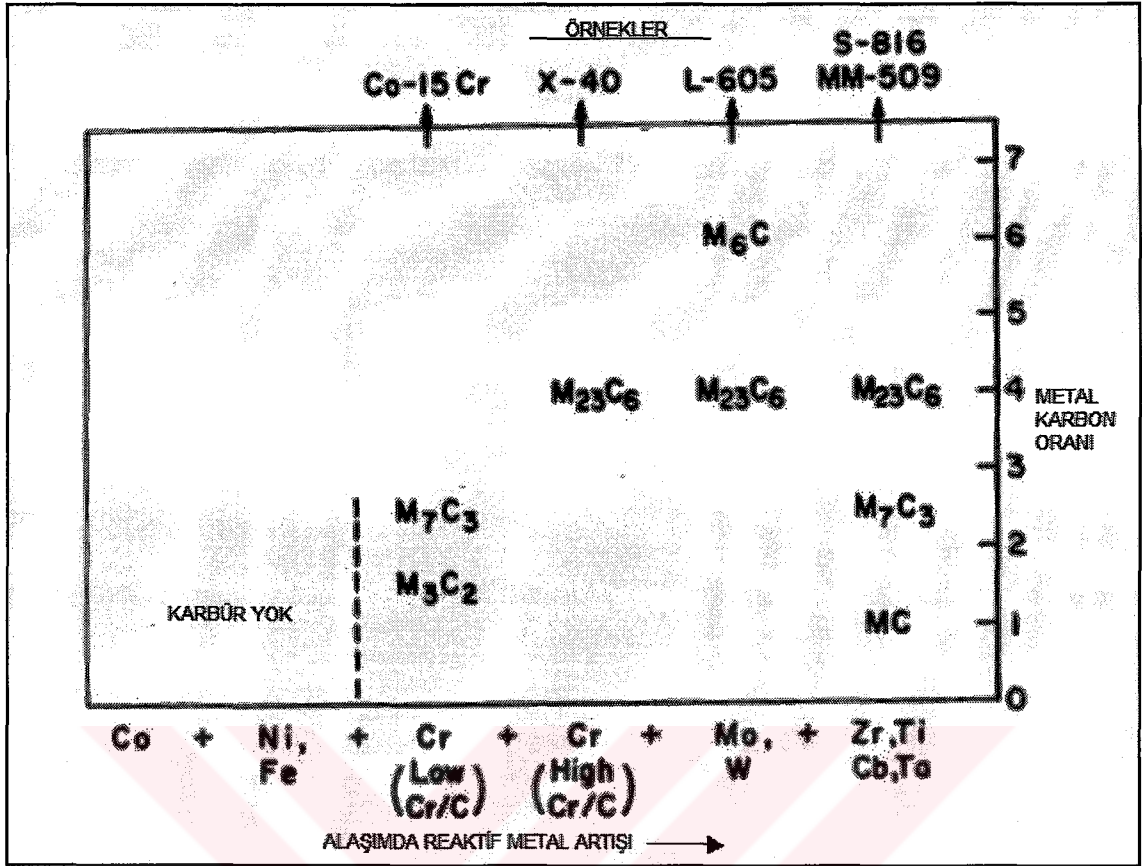
Şekil 4.10 Alaşım elemanlarının, çözünürlükleri ile ilişkili olarak, Co' da HSP'den YMK'ya dönüşüm sıcaklığına etkisi (Sims, 1969).



Şekil 4.11. İstif hatası ve çökelti karbürleri içeren Co-esaslı alaşımın transmisyon elektron mikroskobu görünümü (Sims, 1972).

4.2.4. Karbür Oluşumu

Co-esaslı alaşımlarda değişik karbürler, önemli ölçüde alaşımın kimyasal bileşimine bağlı olarak oluşabilirler. Alaşım elementleri, karbür dağılımı ve kararlılığını sağlayarak alaşımın özelliklerini iyileştirmek, özellikle yüksek sıcaklıkta sürtünme dayanımını geliştirmek için ayarlanır (Schwarz ve Warlimont, 1997). Şekil 4.12 oluşan karbürlerin türüne, kimyasal bileşimin etkisini göstermektedir. Bu alaşımlarda Cr içeriğinin genellikle yüksek olması nedeniyle (örneğin % 20'den daha fazla), M_7C_3 ve M_3C_2 karbürleri nadiren bulunur, bulunduğu zaman da yaşlandırma sonucu çözünürler. Şunu da belirtmek gerekir ki, Cr içeriği $M_{23}C_6$ türü karbürlerin oluşumunu sağlar ve bunlar en yaygın olan karbürlerdir. $M_{23}C_6$ tipi karbürün tam kimyasal bileşimi alaşımın özelliğine bağlıdır. MM-509 türü bir alaşımda bu karbür $[Cr_{.77}Co_{.27}W_{.03}(Ni+Ta)_{.03}]C_6$ şeklindedir ve bu formül yaklaşık olarak $[Cr_{18}Co_4(W,Ta)_1]C_6$ şeklinde gösterilebilir. Şekil 4.15 Zr, Ti, Nb ve Ta ilavesinin M_7C_3 ve MC (TaC gibi) tipi karbürlerin oluşumunu sağlayacağını göstermektedir. Mo ve W ilavesi M_6C tipi karbür oluşumunu sağlar. Bu etkiler Şekil 4.13'de gösterilen ikili faz diyagramlarının incelenmesi ile görülebilir. Co, karbür oluşturmaz, fakat Co-Cr-C faz diyagramları incelenirse (Şekil 4.14) genellikle Co-esaslı alaşımlarda karşılaşılan C ve Cr içerikleri nedeniyle (Örneğin % 0.2-1 C, % 10-30 Cr) kararlı $M_{23}C_6$ karbürü oluşabileceği görülebilir (Liao vd., 2000).

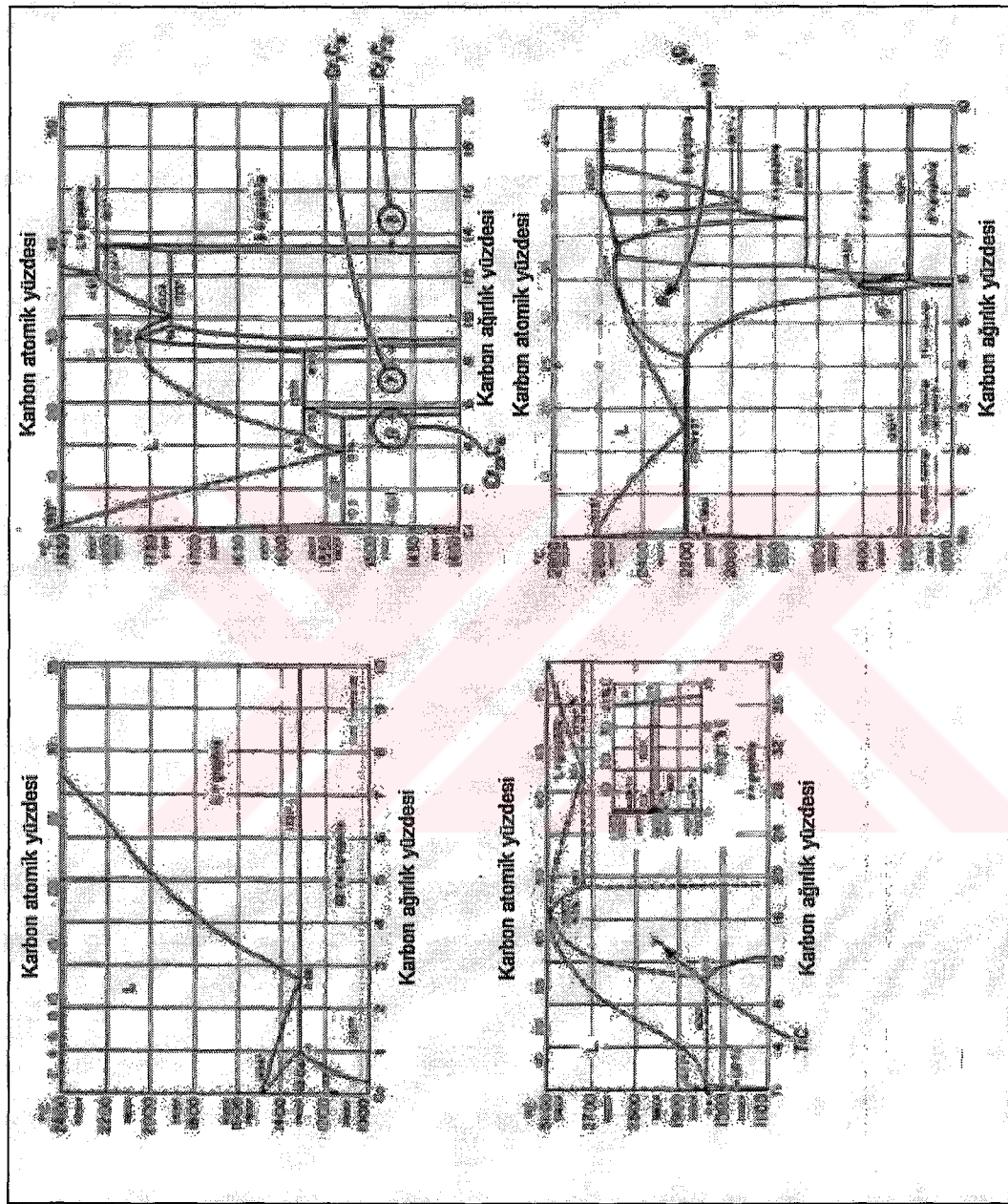


Şekil 4.12. C oranı % 0,1-0,6 arası Co-esaslı alaşımlarda genellikle bulunan karbür türlerine kimyasal bileşimin etkisi (Sims, 1969).

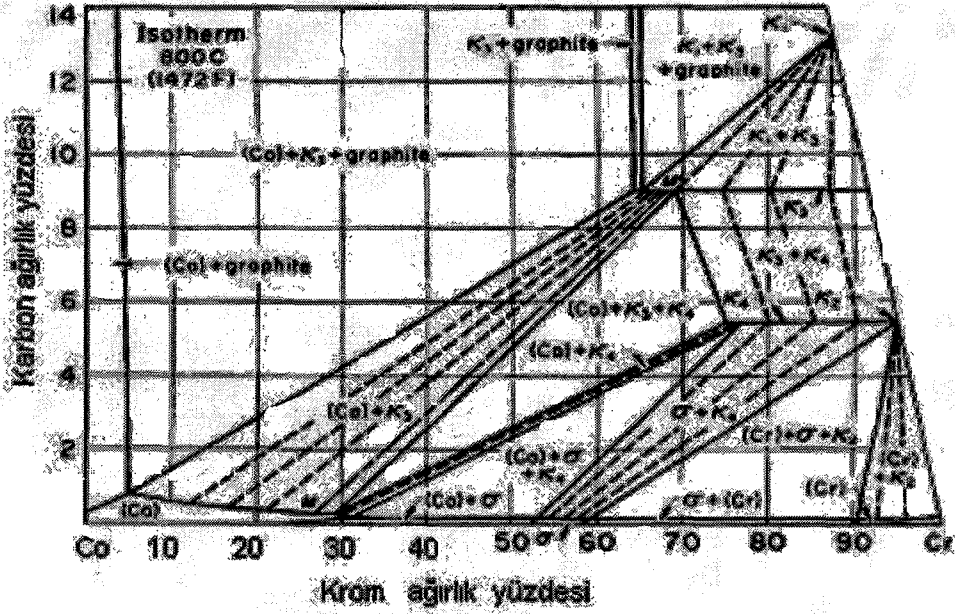
Şekil 4.15 döküm yoluyla elde edilen, MC ve $M_{23}C_6$ karbürlerinin her ikisini de içeren Mar-M 509 alaşımında karbür dağılımına ısıtılma işleminin etkisini göstermektedir. 1275 °C'de 4 saatlik bir ısıtılma işlemi sonunda, ağ örgüsü şeklindeki karbürler çözünerek M_6C karbürüne dönüşür, fakat bir kısmı da $M_{23}C_6$ olarak kalır. M_6C kararlılığı bu alaşımda W'nin bulunması ile sağlanır. 927 °C'de 24 saat yaşlandırma $M_{23}C_6$ karbürlerinin artmasını sağlar. Bazıları levhalar şeklinde ve YMK matrisinin {111} düzlemlerine paralel olarak bulunur, diğerleri ince partiküller şeklinde dağılmış vaziyette bulunurlar. Ayrıca MC karbürlerinin ince bir dağılımı ve yeniden çözünenler Şekil 4.15'te görülmektedir. Bu alaşımda bulunan Ti, Zr ve Ta, MC karbürlerinin oluşmasını sağlar. Karbürlerin bu ince ve kompleks dağılımı, alaşıma yüksek bir sürünme mukavemeti sağlar. Bununla beraber eğer yaşlandırılmış alaşım 1095 °C işletme şartlarında 723 saat kullanılırsa $M_{23}C_6$ karbürleri görülebilir oranda kabalaşırlar. Yaşlandırma sırasında çökelen ince MC karbürleri (özellikle WC) çözeltideki bir miktar Cr ile reaksiyona girerek daha çok $M_{23}C_6$ karbürleri oluşturur ve W'nin YMK matrise yeniden girmesini sağlar.

Arzu edilen karbür dağılımının alaşıma mukavemet kazandıracak incelikli bir yapıda olması, fakat fazla miktarda karbürden (bu genellikle C içeriğinin sınırlandırılması ile kontrol

edilir) ve sürekli veya yarı sürekli karbür filmlerinden sakınmakla sünekliğin korunması gerekir. Verilen bir alaşım için üstün bir karbür dağılımının geliştirilmesi, ısıtım işlem ile ilgilidir ve sonuçlar incelenmelidir. Bunu yapmak için kullanılan yararlı belli bir çalışma tarzı yoktur.



Şekil 4.13. Co-C, Cr-C, Ti-C ve Mo-C faz diyagramları (Brooks, 1990).



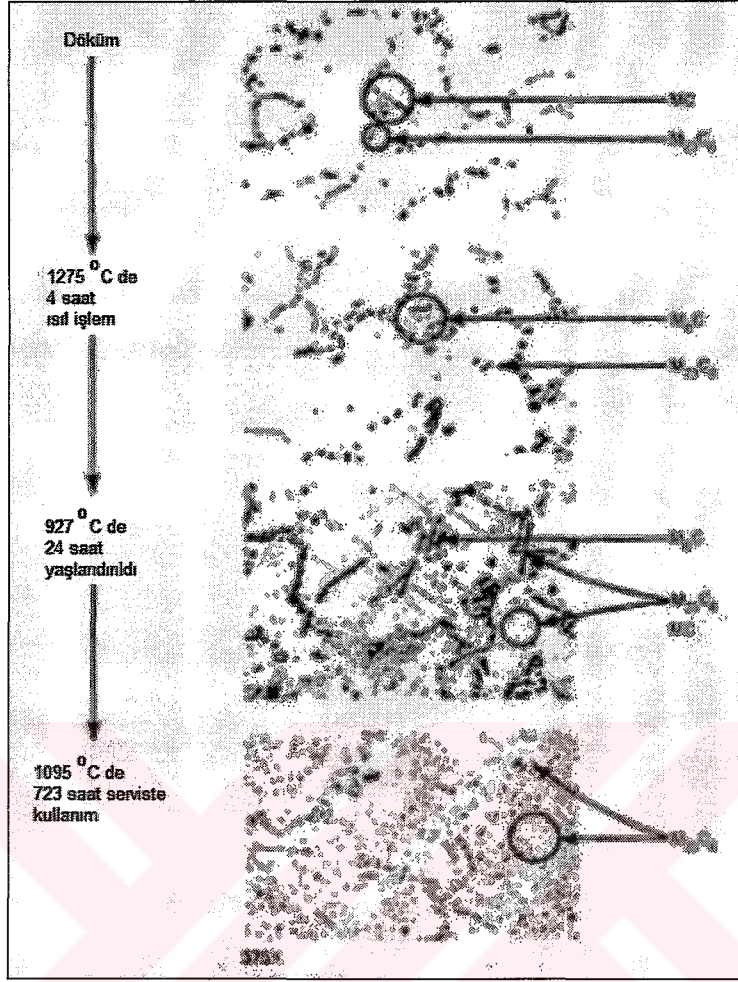
Şekil 4.14. 800°C'de Co-Cr-C faz diyagramı. (K_1 , Cr_3C_2 dir; K_2 , $Cr_{23}C_6$ dir; K_3 , $(Cr, C)_7C_3$ dir; K_4 , $(Cr, Co)_{23}C_6$ dir) (Brooks, 1990).

4.3. Ara Fazların Oluşumu

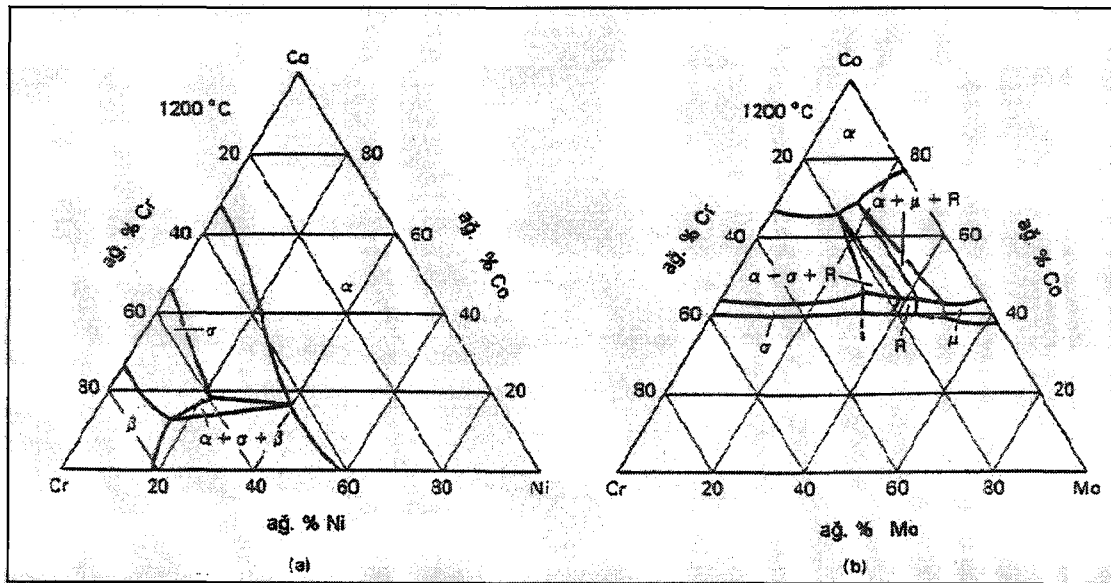
Nikel esaslı alaşımlarında olduğu gibi, kobalt esaslı alaşımlarda da sigma ve Laves türü topolojik sıkı paket (TSP) fazların oluşma ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır (Molins vd., 2003). Nikel esaslı alaşımlarda bunların oluşumu gevrekliğe, sürünme mukavemetinin azalmasına sebep olur ve oluşum tahmin metotları alaşım dizaynında kullanılır. Aynı yaklaşım kobalt esaslı alaşımlarda da bu fazların varlığının tahmininde kullanılır (Aoh ve diğ., 1999).

Sigma gibi fazların varlığı Şekil 4.16'da Co-Cr-Ni ve Co-Cr-Mo sistemleri için çizilen üçlü faz diyagramlarından tahmin edilebilir. % 30 Cr baz olarak alındığında, 1200 °C'de Co veya Ni'in herhangi bir miktarı için gama fazının kararlı olduğu açıkça görülür. Bununla birlikte Co-Cr-Mo sistemleri için (% 30 Cr) yüksek Mo içeriğinde bir kararlılığa rastlanmaz ve çözünürlük düşük sıcaklıklarda daha az olur.

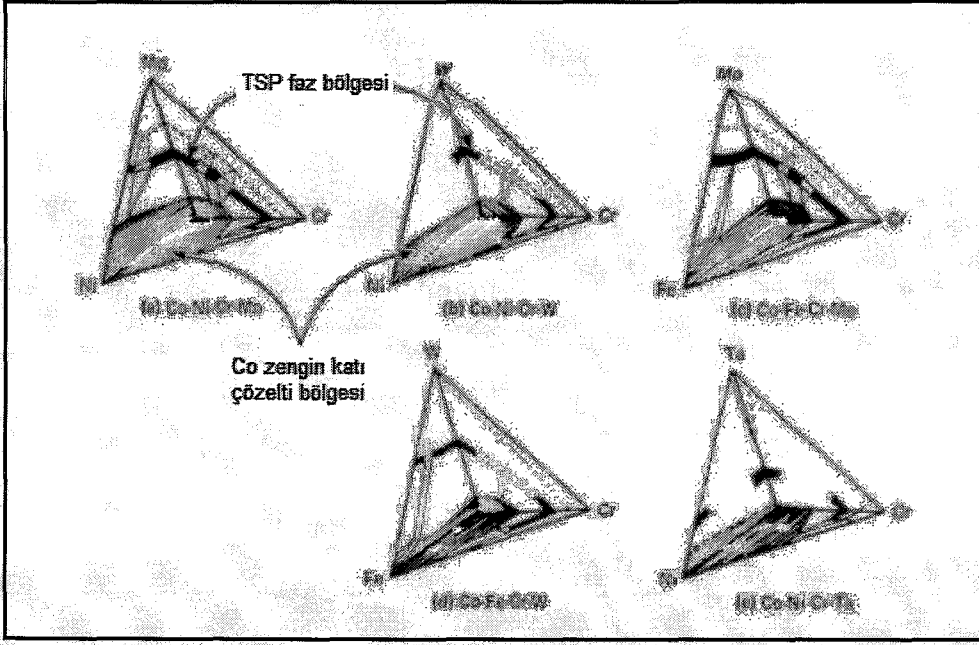
Böylece Mo düşük sıcaklıklarda Ni ile karşılaştırıldığında, σ gibi fazların kararlılığını artırır. Şekil 4.17 beş piramit ile gösterilen üçlü faz sistemleri için genel faz alanlarını tanımlamaktadır. Şunu da belirtmek gerekir ki, TSP fazları benzer kompozisyonlar için bu sistemlerin tamamında kararlıdır.



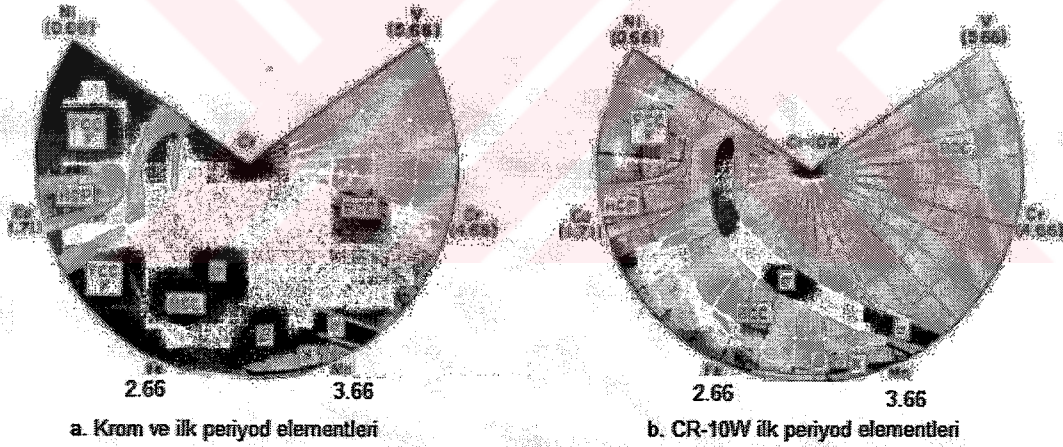
Şekil 4.15. Farklı durumlar için Mar-M509'un mikro yapısı. Bu alaşımın içeriği: % 10 Ni, % 23.5 Cr, % 7 W, % 3.5 Ta, % 0,2 Ti, % 0,5 Zr, % 0,6 C (Brooks, 1990).



Şekil 4.16. 1200 °C'de Co-Cr-Ni ve Co-Cr-Mo üçlü faz diyagramları (Brooks, 1990).



Şekil 4.17. 1200 C' de tahmini üçlü faz diyagramları. Bu diyagramlarda şekillerin tepe noktası Co' dır. Her diyagramda bulunan geniş gölgeli bölgeler Co' ca zengin katı çözeltilerdir. Daha az gölgeli bölgeler TSP fazlarıdır (örneğin σ) (Brooks, 1990).

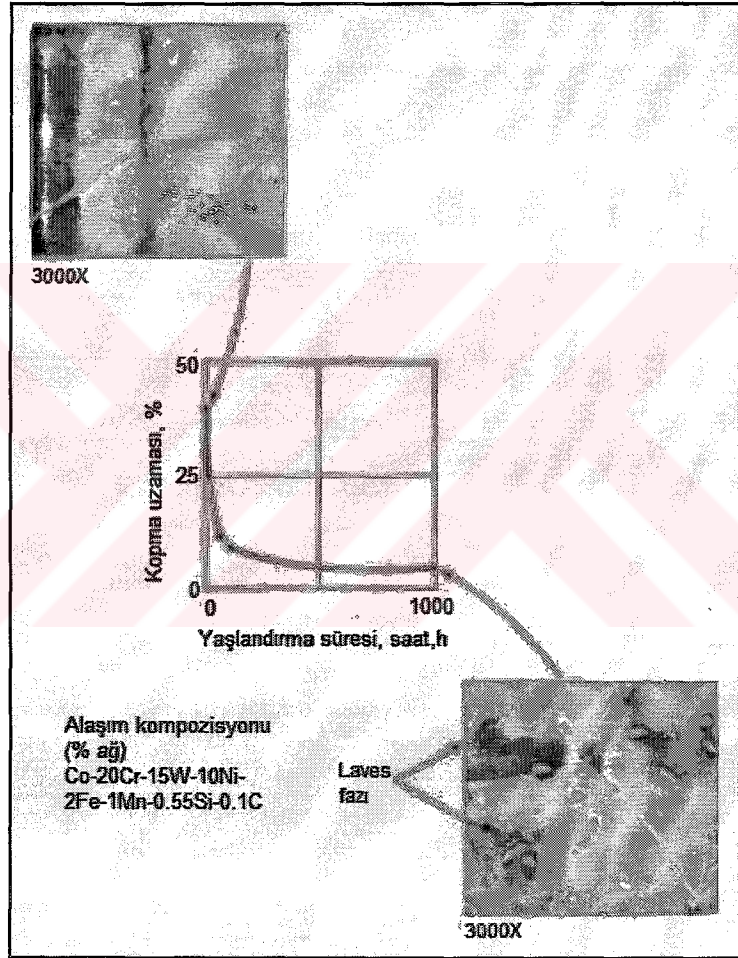


Şekil 4.18. Cr ve Cr-10W alaşımları için polar faz diyagramları (Brooks, 1990).

Polar faz diyagramları faz kararlılığı bileşim aralığı gösteriminde kullanılan faydalı bir metottur (Şekil 4. 18.). Üçgen izoterm sistem kullanmak yerine bölümler, dairenin dilimleri şeklinde gösterilir. Yaygın elementlerden birisi ile diğer üçlüye, diğer üçlü sistemin yanında dilime bitişik olarak gösterilir. Şekil 4. 17(a) Cr-Mn-Fe sisteminde orta kısımda bir σ bölgesini göstermektedir ve bu bölge yaklaşık % 20 Cr içeren Mn-Cr ikilisinden % 50 Cr içeren Fe-Cr ikilisine doğru hareket eder. Bu bölge Cr-Fe-Co sisteminin içine doğru uzanır ve Cr-Mn-Fe bölgesine bitişik gösterilmektedir. Şekil 4. 18(a) Fe, Mn, V ve Ni' nin σ fazının oluşumuna etkisini göstermektedir (Oluşum oranı düşük olabilmesine rağmen HSP ϵ fazının oranına dikkat

edilmelidir). Şekil 4.18(b) % 10 sabit W içerikli diyagramı göstermektedir. A noktası tipik ticari bileşimi 55Co-25Cr-10Ni-10W olan alaşımın yanında bulunur (Bu ağırlık yüzdesidir, fakat Şekil 4.18'deki atomik yüzdedir). Bu miktarda W, faz sınırlarında önemli miktarda bir kayma değişikliği yapmaz, fakat W miktarının daha fazla olması alaşımın faz sınırına yakın kritik bir yerde olmasına sebep olabilir. Bu sınırlarda sıcaklık kritik bir etkiye sahiptir.

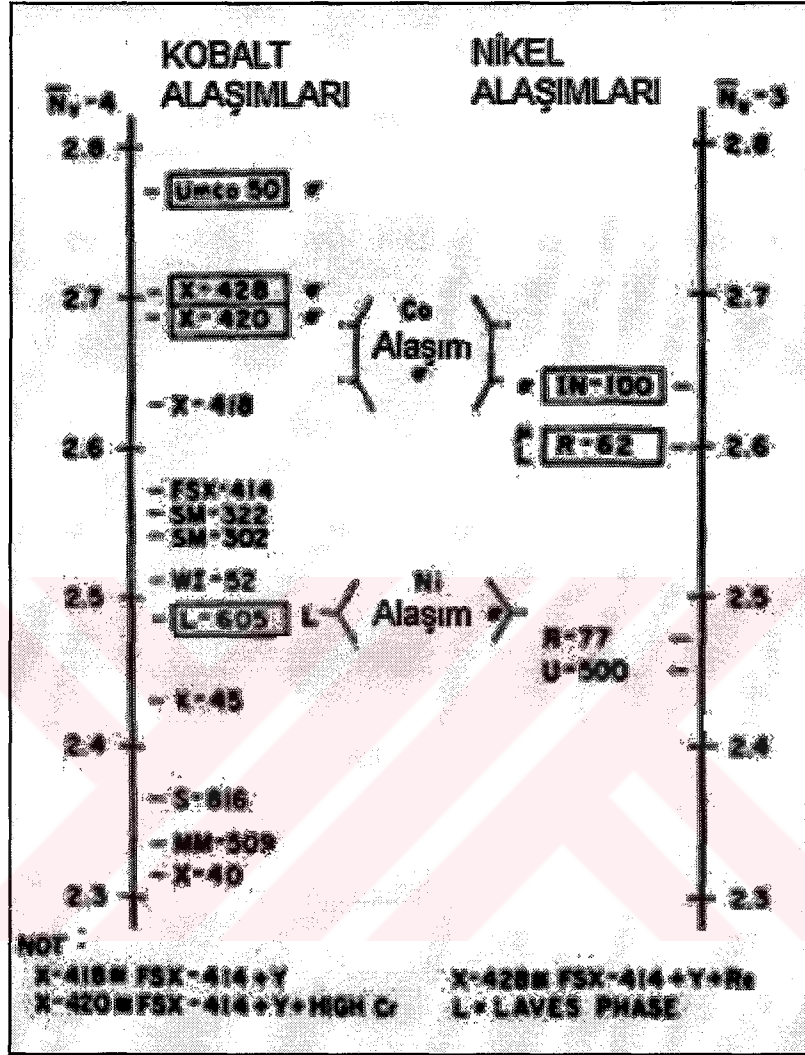
TSP fazının oluşum kontrolünün önemi ve bu alaşımda kırılabilirliğe sebep olan Laves fazlarının oluşumu Şekil 4.19'da şematik olarak gösterilmiştir. 870 °C'de yaşlandırma sırasında oluşan Laves fazının miktarı süneklik ile doğrudan ilişkilidir.



Şekil 4.19. 870 °C'de yaşlandırma süresinin, 25 °C'deki gerilme testine tabi tutulan Laves fazı içerikli Co esaslı alaşımın mikroyapı ve kopma uzamasına etkisi (Brooks, 1990).

TSP fazlarının oluşması Ni-esaslı alaşımlar için tanımlanan metotlara benzer şekilde ilişkilendirilmiştir. Alaşım bileşimi öncelikle karbürlerin oluşması göz önünde bulundurularak ayarlanır ve sonra kalan kompozisyon elektron boşluk numarası N_v 'yi hesaplamak için kullanılır. Deneyler kritik N_v değerlerinin yaklaşık 2,70 olduğunu göstermiştir. Bunun

üzerindeki değerlerde TSP fazları oluşacaktır. Nikel esaslı alaşımların sonuçları ile karşılaştırılması için bazı sonuçlar Şekil 4.20' de gösterilmiştir.

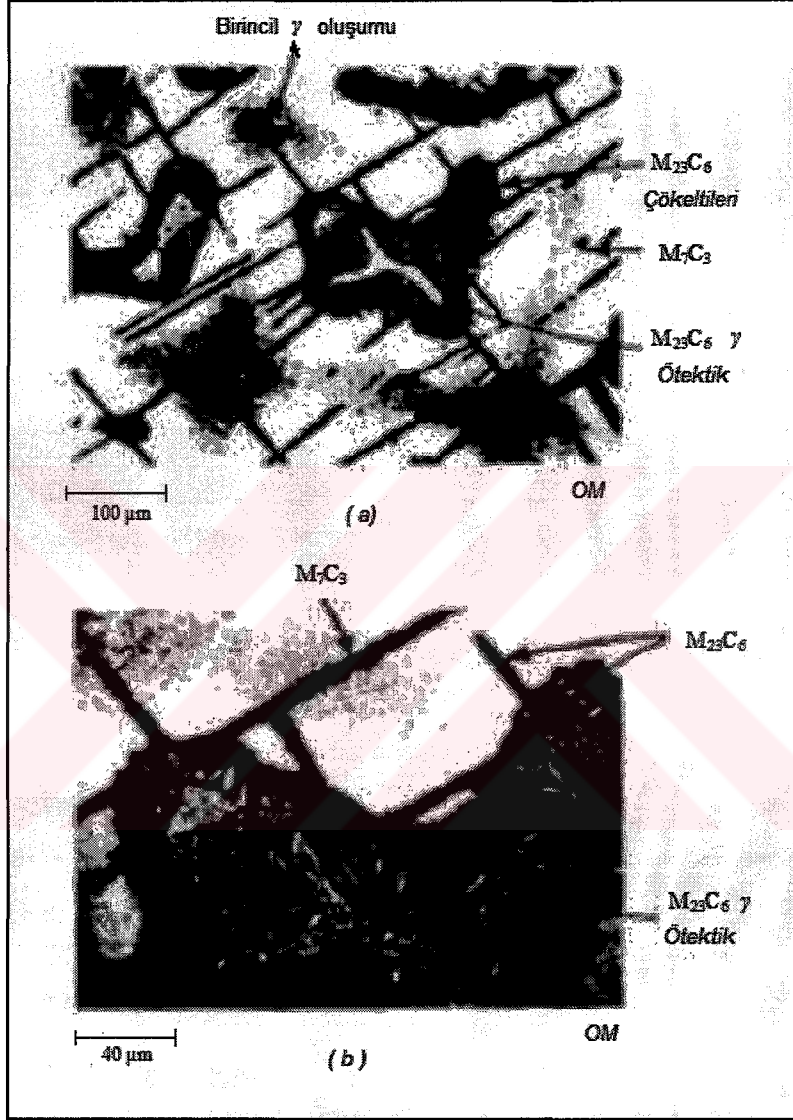


Şekil 4.20. Elektron boşluk numarasının bir fonksiyonu olarak Co-esaslı alaşımların TSP fazlarını oluşturma eğilimi. σ ve Laves fazı görülen alaşımlar kutu içinde gösterilmiştir (Brooks, 1990).

4.4. Ticari Kobalt-Esaslı Alaşımların Mikroyapısı

Co-esaslı alaşımlarda karbür morfolojisinin kompleksliğini göstermek için burada X-45 döküm alaşımının tipik mikroyapısı tanımlanmıştır. Bu alaşım yaklaşık (% 54.75 Co, % 25.5 Cr, % 10.5 Ni, % 7W, % 2Fe) içerir. Şekil 4.21 döküm malzemesinin mikroyapısının optik fotoğraflarını göstermektedir. Karbür morfolojisini ve dolayısıyla mikroyapı görünümünü etkileyen düzensizlikler çekirdekleşme ile oluşur. Her ne kadar bu alaşımın katılaşmasında ve soğumasındaki bütün basamaklar iyi anlaşılmasa da işlem şöyle olabilir; sıvı soğutulduğu

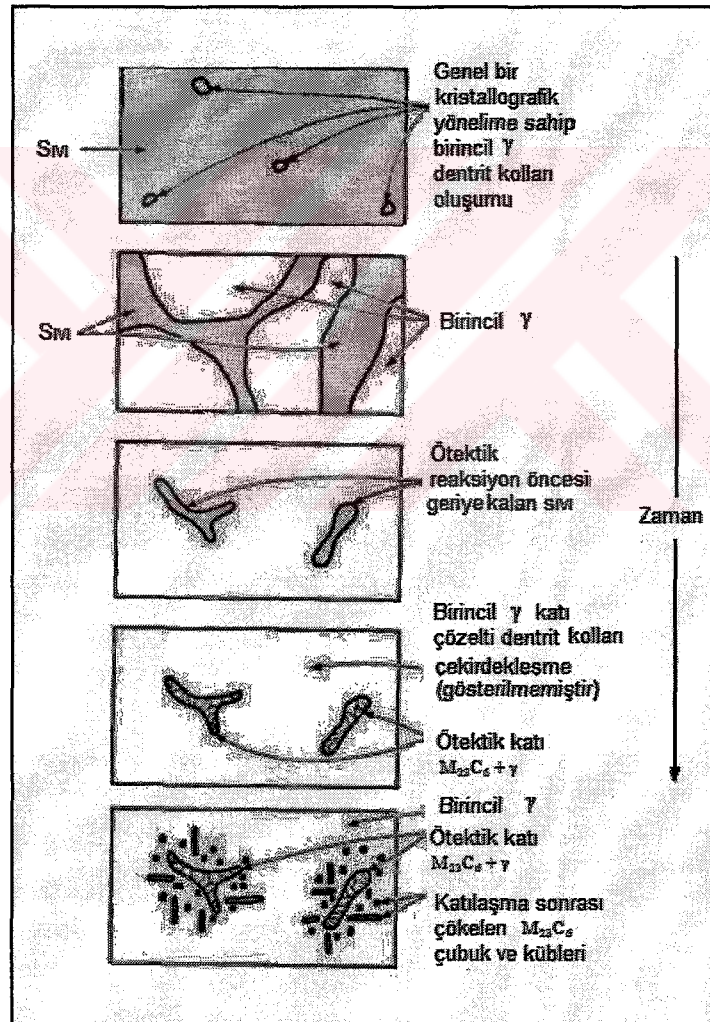
zaman YMK matris (γ) sıvı içinde çökeler (Şekil 4.22). Soğuma işlemi sırasında kristallerin büyüklüğü artar, fakat merkezi bölgeler ötektik sıcaklığa ulaşılmadan hemen önce oluşan dıştaki bölgelere göre kobaltça daha zengindir, karbonca ve diğer elementlerce daha fakirdir. Ötektik reaksiyon kobaltça zengin YMK fazının çift faz yapısı oluşumunu ve $M_{23}C_6$ tipi karbürleri içerir.



Şekil 4.21. Döküm yöntemiyle elde edilen X_45 alaşımının mikroyapısı (Brooks, 1990).

$M_{23}C_6$ tipi ilave karbürler, ya katılaşma sonrası çok yavaş soğutma ile yada çökelmeye imkan veren ısıtma ile katı hal reaksiyonları sonucu birincil γ fazından çökeltir (Şekil 4.22). Karbür çökmesinin karbon ve kuvvetli karbür yapıcılar (özellikle Cr ve W) bakımından çok zengin olan primer γ fazının bu bölgelerinde oluşma ihtimali daha yüksektir. Çünkü birincil γ kristalleri çekirdeklendiği ve içinde ilave $M_{23}C_6$ karbürlerinin çökeldiği bu bölge en son

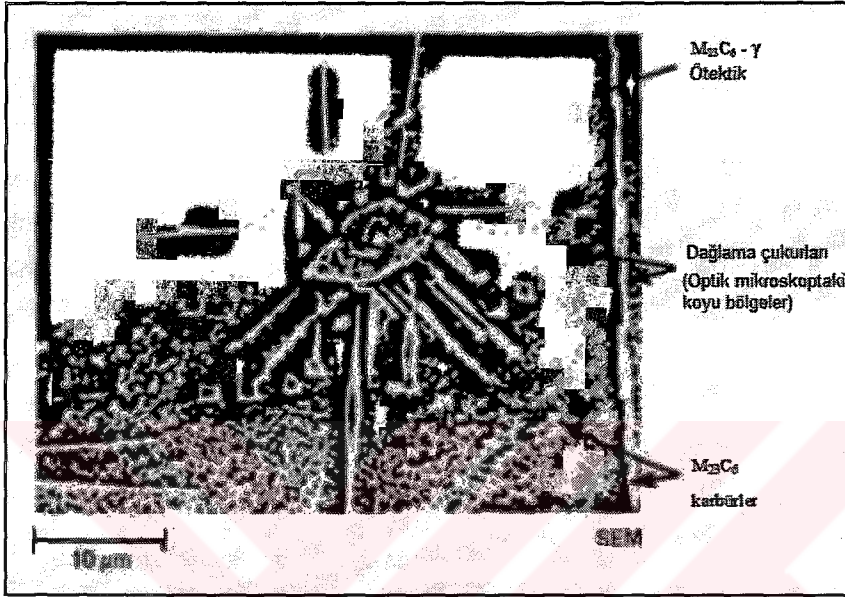
katılaşılan bölgedir ve ötektik bölgelerin çevresindedir. Bunun sebebi Şekil 4.21'de görülen karbür çökeltilerinin olmadığı alanlar ve ötektik bölgelerin çevresinde yoğunlaşmış karbürlerdir. Aynı zamanda birincil γ 'dan karbürlerin çökmesi, Cr ve W gibi elementler ve karbonca zayıflamış karbürlere bitişik γ 'yı ayırır ve bu yüzden farklı olarak dağılanan bu bölgeler Şekil 4.21'deki gibi karanlık görünür. Bu zayıflamış bölge özellikle uzun çubuklar şeklinde olan $M_{23}C_6$ nın etrafında belirgindir. Şekil 4.21'deki çubuklar dört grup paralel çubuklardan meydana gelir ve genellikle matrisin $\{111\}$ düzlemlerine paralel olarak bulunurlar. Bundan dolayı Şekil 4.21' de gösterilen birincil γ 'da belirgin tane sınırları yoktur ve bu dört grup karbür çubukları görünen bütün bölgenin üzerine dağılmıştır, şekilde gösterilen birincil γ 'nın genel bir kristalik yapıda olduğu açıktır.



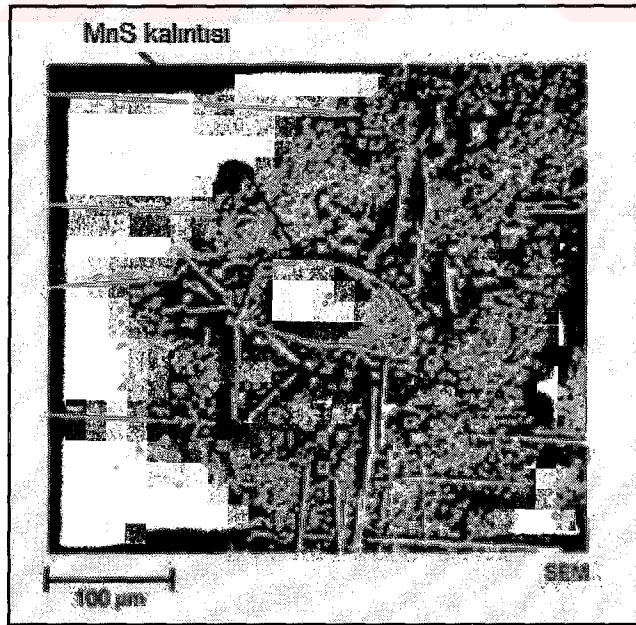
Şekil 4.22. Şekil 4.21 deki mikroyapıyı oluşturan katılma ve soğumanın şematik gösterimi (Brooks, 1990).

Şekil 4.23' de ince kübik karbürler açık bir şekilde gösterilmektedir. Bu büyütmede

karbür çökeltileri çevresindeki zayıflamış γ bölgeleri çukurdur ve bu yüzden optik mikroskopta karanlık görünür (Şekil 4.21). Bu alışımda, yeterince uzun yaşlandırma sonucunda $M_{23}C_6$ karbürlerini oluşturmak için M_7C_3 'ün γ ile reaksiyona girmesine rağmen M_7C_3 tipi karbürler yine de alışımda bulunur (Şekil 4.21a). Şekil 4.24 bir MnS kalıntısının bulunmasıyla sıvıda ötektik reaksiyonun gözle görülebilir bir şekilde başlatıldığı bir bölgeyi göstermektedir.



Şekil 4.23. Birincil γ 'daki ötektik yapı ve karbür çökmesini gösteren tipik bölge. Çökelti karbürlere bitişik olana dağılanmış çukur bölgeler optik mikroskopta bu alanların karanlık görünmesine sebep olur (Şekil 4.21'ye bkz.) (Brooks, 1990).



Şekil 4.24. Bir MnS kalıntısının çevresindeki ötektik yapının varlığını gösteren alan (Brooks, 1990).

Ni ve Co'nın benzerliğine rağmen Ni-esaslı alaşımlarda bulunan γ 'nın özelliklerine sahip bir çökeltinin bulunduğu kullanışlı Co-esaslı bir alaşım henüz geliştirilememiştir. Bu sebepten Co-esaslı alaşımlar genellikle Ni-esaslı alaşımlarda olduğu gibi γ 'nın çözündüğü sıcaklık aralığına kadarki yüksek sıcaklık uygulamaları için elverişli değildirler. Daha sonraları Co-esaslı alaşımlar yeterli hale getirilmiştir. Geliştirilen bu alaşımdaki yeterli yüksek sıcaklık mukavemeti katı çözelti mukavemetlendirilmesine ve düzenli dağılmış karbür yapısına bağlıdır. Bu ikinci etkiye yeterli C (örneğin % 0.3) ilavesi, karbür yapıcılar (örneğin Ti, Zr) ve uygun ısıtıl işlem seçimi ile ulaşılır. Co-esaslı alaşımlardaki alaşım elemanlarının etkisi Tablo 4.2'de özetlenmiştir. Co-esaslı alaşımlar hem dövme hem de döküm şartlarının her ikisinde de kullanılırlar

Tablo 4.2. Co-esaslı alaşımlardaki alaşım elemanlarının fonksiyonlarının açıklaması (Sims, 1969).

Elementler	Nikel	Krom	Tungsten	Titanyum, zirkonyum, kolumbium, tantal	Karbon
Temel fonksiyonlar	Ostenit kararlılığı	Karbür oluşumu, yüzey kararlılığı	Katı çözelti mukavemetlendirilmesi	Karbür oluşumu	Karbür oluşumu
Problemler (a)	-	TSP faz şekilleri	TSP faz şekilleri	Oksidasyon direnci için zararlıdır	Sünekliği düşürür
Örnekler, % ağırlık	10	25	7.5	-	0.45
MM-509	10	24	7.0	3.5Ta, 0.5Zr, 0.2Ti	0.60
L-605	10	20	15	-	0.10
HS-188	22	22	14	-	0.08
(a) Aşırı ilave edildiği zaman					

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda üretilen kaplamalı malzemeler üzerinde çeşitli test yöntemleri uygulanarak sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu yöntemler aşağıda sıralandığı gibidir:

1. Deney numunelerinin kaynak yöntemi ile kaplanması,
2. Sertlik deneyleri,
3. Metalografik çalışmalar,
4. Taramalı elektron mikroskobu çalışmaları,
5. X-ışınları çalışmaları.

5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada üç çeşit sert yüzey kaplama malzemesi ve üç çeşit ana malzeme kullanılmış ve bunların içerikleri Tablo 5.1’de gösterilmiştir. Sert yüzey kaplama malzemeleri kobalt esaslı süper alaşımlar olup Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 ticari isimleri ile bilinirler. Yüzeyleri kaplanan malzemeler ise karbonlu çelikler ve bir adet krom-nikel esaslı paslanmaz çeliktir. Kaplama malzemelerinin kimyasal analizleri Tablo 5.2’ de gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Ana malzemelerin kimyasal analizleri

Adı	Ana malzemelerin kimyasal analizleri % ağı.									
	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Fe
Orta C	0.38	0.24	0.03	0.01	0.71		0.08	0.02	0.001	98.42
Düşük C	0.29	0.13	0.02	0.01	0.69		0.03	0.01	0.002	98.79
Cr-Ni	0.22	0.71	0.03	0.02	1.10	10.74	11.30	0.01	0.020	75.86

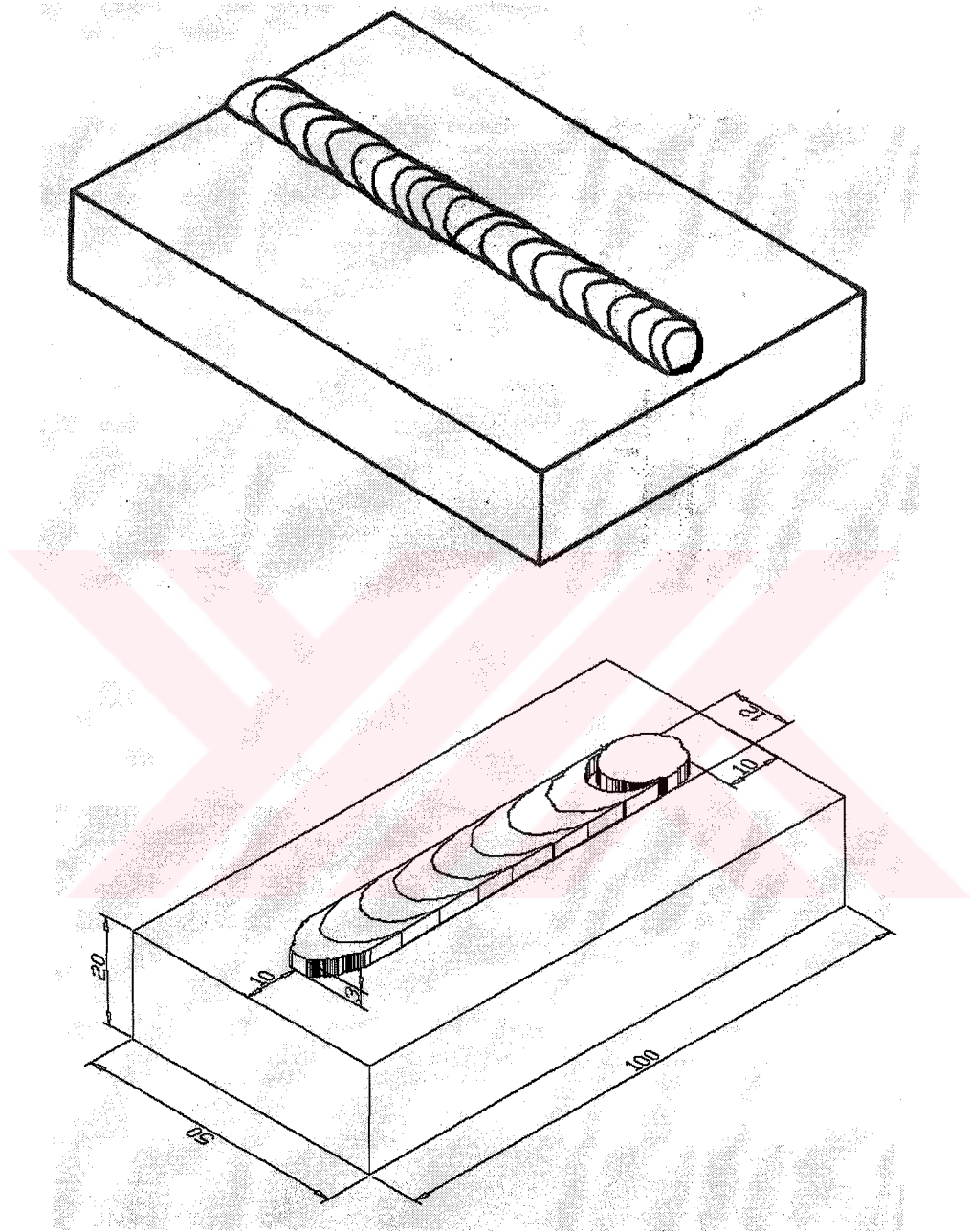
Tablo 5.2 Kaplama malzemelerinin kimyasal analizleri

Adı	Kaplama malzemelerinin kimyasal analizi % ağı.							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	Fe	Co
Stellite 1	2.5	1.0	1.0	28.0	2.0	11.5	3.5	Kalan
Stellite 6	1.2	1.0	1.0	28.0	2.0	5.0	3.5	Kalan
Stellite 12	1.6	1.0	1.0	28.5	2.0	8.5	2.7	Kalan

5.2. Deney Numunelerinin Elektrik Ark ve TIG Kaynak Yöntemleri ile Kaplanması

Deney numuneleri 20x50x100 mm boyutlarında seçilmiş (Şekil 5.1), yüzeylerini pas ve yağdan arındırmak için numune yüzeyleri freze ile talaş kaldırılarak temizlendikten sonra

elektrik ark ve TIG kaynak yöntemleri kullanılarak yüzey kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki kaynak yöntemi ile bütün numuneler süper alaşım elektrotları kullanılarak kaplanmıştır.



Şekil. 5.1. Deney numunesi ölçüleri

5.2.1. Kaynak Şartları

TIG kaynak yönteminde;

Kaynak hızı: 100 mm/dak.,

%0.02 Toryum'lu tungsten erimeyen elektrot çapı: 2.4 mm.,

İlave kaynak teli çapı: 3,2 mm.,
Gaz debisi: 12 lt/dak.,
Akım şiddeti: 140 A ,
Kullanılan koruyucu gaz: Argon (%99,9),
Ön ısıtma: Yok

Elektrik ark kaynak yönteminde;
Akım şiddeti: 140 A,
Kaynak hız: 100 mm/dak.,
Örtülü elektrot çapı: 3,25 mm.,
Ön ısıtma: Yok.

5.3. Sertlik Deneyleri

Yüzeyi kaplanan malzemeler hem kaynak yüzeyinden hem de kaynak yüzeyine dik kesit alınarak kaplama tabakasının dış yüzeyinden ana malzemeye doğru bir dizi sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca mikroyapıdaki fazların ve farklı bölgelerin sertlikleri de mikro sertlik ölçme cihazı ile ölçülerek matris ve dentrit sertlikleri tespit edilmiştir.

Sertlik ölçümleri “MHT-10 Microhardness Tester” isimli mikrosertlik test cihazı ile yapılmıştır. Mikrosertlik ölçüm işlemlerinde 10 gr. yük uygulanmıştır.

5.4. Metalografik Çalışmalar

Yüzeyi kaplanan malzemeler, yapılan kaynak doğrultusuna dik olarak kesilmiş ve daha sonra kesilen bu numuneler 15x15x15 mm boyutlarına getirilmiştir. Elde edilen yüzeylerin mikroskopik incelenmesi için 80 mesh zımparadan başlayarak 1200 mesh'e kadar aşındırılmıştır. Aşındırılan yüzeylerin son temizlik ve parlatma işlemi için 3 mikronluk elmas pasta kullanılmıştır. Dağlama işleminden önce numune yüzeyleri kimyasal artıklardan alkol ile temizlenmiştir. Parlatılmış yüzeylerin dağlanması için 5 ml HNO₃ + 5 ml C₂H₄O₂ + 20 ml HCl + 5 ml H₂O içeren çözelti kullanılmıştır.

5.5. Taramalı Elektron Mikroskobu Çalışmaları

Mikroskobik araştırmalar için hazırlanan numuneler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal analiz (EDS) incelemesine tabi tutulmuş ana malzeme ile kaplama

malzemesinin ayrı ayrı fotoğrafları çekilmiş ve noktasal analizleri de alınmıştır. Ayrıca kaynak bölgesinin de fotoğrafları çekilerek çeşitli bölgelerden noktasal analizler alınmıştır.

5.6. X-Ray Çalışmaları

Yüzeyleri kaplanan malzemeler X-ışınları incelemelerine de tabi tutulmuş ve böylece daha detaylı bir inceleme gerçekleştirilmiştir.

Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşım kaplama alaşımlarının X-Ray analizleri alınarak alaşımlarda mevcut olan karbürler tespit edilmiştir. X-ışınları incelemeleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde, SHIMADZU XRD-6000 cihazı ile Cu X-Işını tüpü ($\lambda=1.5405$ Angstrom) kullanılarak numunelerdeki bileşikler tespit edilmiştir.

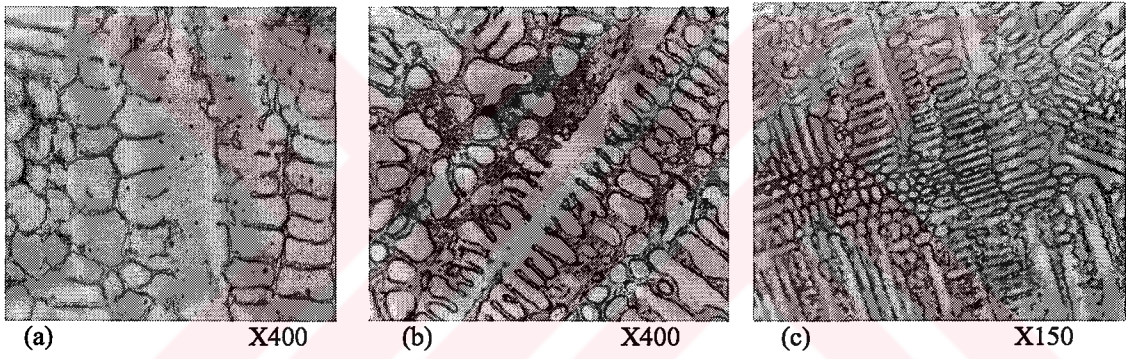


6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

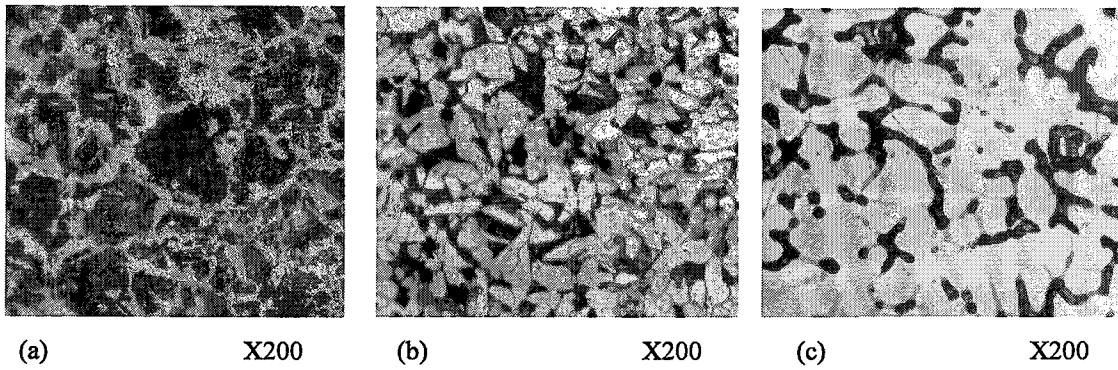
6.1. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Mikroyapı İncelemeleri

Deneylerde kullanılan malzemeler kaplama işlemi yapılmadan mikroskopik incelemeye tabi tutulmuş ve mikroyapı özellikleri tespit edilmiştir. Genel olarak kaplama malzemelerinin mikroyapısı dendritik bir yapı olup, dentrit kolları arasındaki matris fazı kobalt (α) ve karbürlerden oluşmaktadır. Kobalt (Co), normal şartlarda hsp kafes sistemine sahiptir. 417 °C ‘den sonra YMK kristal kafes sistemine dönüşürler (Brooks, 1990). Dentrit kolları arasında ise çökelmiş karbür tipinin Cr_7C_3 olup, bu durum X-ışınları analizleriyle de belirlenmiştir.

Şekil 6.1’de Co esaslı kaplama malzemelerinin, farklı alaşım içerikleri nedeniyle üç farklı dendritik yapı fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 6.1 Kaplama malzemelerinin genel mikroyapıları (a-Stellite 1, b-Stellite 6, c-Stellite 12)



Şekil 6.2 Deneylerde kullanılan ana malzemelerin mikroyapı fotoğrafları (a.- Orta karbonlu çelik, b.- Düşük karbonlu çelik, c.- Cr-Ni’li paslanmaz çelik)

Ana malzeme olarak kullanılan numunelerin mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.2’de görülmektedir. Şekil 6.2a orta karbonlu çeliğin mikroyapısını göstermektedir. Bu mikroyapı, perlit+ferrit’den meydana gelmiştir. Şekil 6.2b düşük karbonlu çeliğin mikroyapısını

göstermektedir. Bu mikroyapı da yine ferrit+perlit'den oluşmuştur. Şekil 6.2c ise ostenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısını göstermektedir.

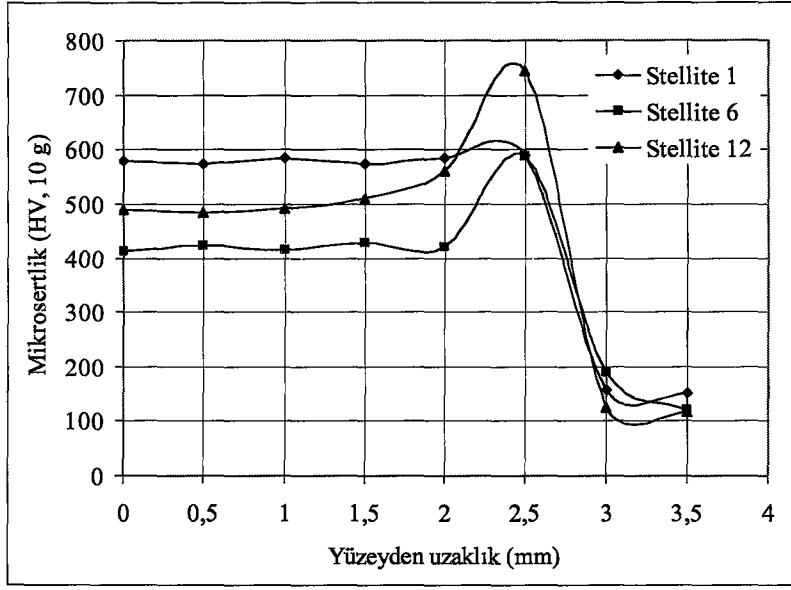
6.2. Sertlik Deney Sonuçları

Sert yüzey kaplama işlemi makine parçalarında dış zorlamalara karşı dirençli bir yüzey tabakası elde etmek amacıyla yöneliktir. Burada söz konusu olan dış etkiler, aşınmanın her türü, korozyon, çok yüksek veya düşük ısı, yüksek seviyeli gerilmeler vs. olabilir. Öyleyse bir yüzey kaplama işleminde, yüzey kaplama tabakasının sertliği birinci dereceden önem arzeder. Ancak kaplama tabakası nedeniyle dış yüzey sertliği yükselirken, tabaka içerisinde mikro çatlakların oluşmaması ve yüzey tabakasının dış etkenlere, çarpma ve darbelere karşı kırılğan olmaması yani tokluğun yüksek olması istenir. Kplama numunelerinden düşük karbonlu çelik yüzeyine sırasıyla Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımları önce elektrik ark yöntemi ve daha sonra TIG kaynak yöntemi ile kaplanmış ve bunun sonuçları incelenmiştir.

6.2.1. Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 Süper Alaşımları ile Kaplanmış Düşük Karbonlu Çelik Numunelerin Sertlik Açısından İncelenmesi

Şekil 6.3'de Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımlarının elektrik ark kaynağı yöntemi ile düşük karbonlu numune üzerine kaplanması sonucu oluşan sertlik değerleri grafiği görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi Stellite 12 süper alaşımının sertlik değeri 490 HV den başlamakta ve ana malzemeye doğru gidildikçe dengeli bir şekilde devam etmektedir. Daha derine inildiği zaman sertlik maksimum bir değere yükselmekte ve tekrar hızlı bir şekilde düşmeye devam etmektedir. Yüzeyden 3.5 mm derinlikte tamamen ana malzeme sertlik değerine ulaşılmaktadır. Ana malzemenin sertliği en düşük değerdedir. Sertlik değerinin maksimum olduğu 2.5 mm derinliğindeki bölgede çok ince bir tabaka halinde oluşan ve yüzey boyunca devam eden bir geçiş bölgesinin oluştuğu görülmüştür. Bu bölge ana malzemeye en yakın bölge olmasından dolayı yüksek soğuma hızı nedeniyle ve ana malzemeye kattığı alaşım içeriğiyle daha sert bir yapı oluşumuna maruz kalmış bir bölgedir.

Stellite 6 süper alaşımının yine aynı ana malzeme üzerine kaplandıktan sonra ölçülen mikrosertlik değerleri 410 HV den başlayarak dengeli bir şekilde devam etmiş, geçiş bölgesine gelindiğinde mikrosertlik değeri 590 HV değerine yükselmiştir. Isı tesiri altındaki bölgede yani geçiş bölgesine 0,5 mm yakınlarında mikrosertlik değeri ana malzemenin sertlik değerinden yüksek olarak ölçülmüş, 3.5 mm derinliğe inildiğinde ise ana malzemenin orijinal sertlik değeri olan 118 HV sertlik değeri elde edilmiştir.



Şekil 6.3. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımları ile kaplanmış düşük karbonlu çelik numunenin mikrosertlik değerleri

Stellite 1 süper alaşımının aynı yöntem ile aynı ana malzeme üzerine kaplandıktan sonra ölçülen mikrosertlik değerleri bu alaşımın Stellite 6 ve 12 'ye göre daha yüksek olduğu için kaplamanın en üstünden başlayarak elde edilen sertlik değeri de beklendiği şekilde yüksek çıkmıştır. Bu numunede de öncekilerde olduğu gibi sertlik yüzeyden başlayarak daha derine gidildikçe dengeli bir şekilde devam etmiş, geçiş bölgesine ulaşıldığında maksimum değere yükselmiş ve ama malzemeye ulaşıncaya da ana malzemenin orijinal sertlik değeri ölçülmüştür.

Stellite 1 süper alaşımı ile gerçekleştirilen kaplamada geçiş bölgesinin sertlik değeri yüksek çıkmazken Stellite 6 ve 12 süper alaşımları ile gerçekleştirilen kaplamalarda geçiş bölgesinin sertlik değeri yüzey sertlik değerlerine nispeten yüksek çıkmıştır.

Krom oranları, birbirine yakın, ancak tungsten oranları farklı, kobalt esaslı bu üç alaşımda parça yüzeyine yakın bölgede kobalt, demir ve tungsten oranlarındaki değişime göre, 2 mm'ye kadar olan derinliklerde oluşan tungsten karbür, kobalt karbür ve demir karbür içeriklerine göre farklı sertlik değerleri elde edilmiştir. 1.5-2.75 mm arasında kaynak sonrası tavlama etkisi ile özellikle krom karbür, demir karbür ve kobalt karbürün oluşması, burada her üç kaplama malzemesinde de sertlik artışına yola açmıştır. Ama malzemeye kaynak malzemesinin iyi nüfuz etmemesi de dar geçiş bölgesinin bitiminde sertliğin ani düşmesine neden olmuştur.

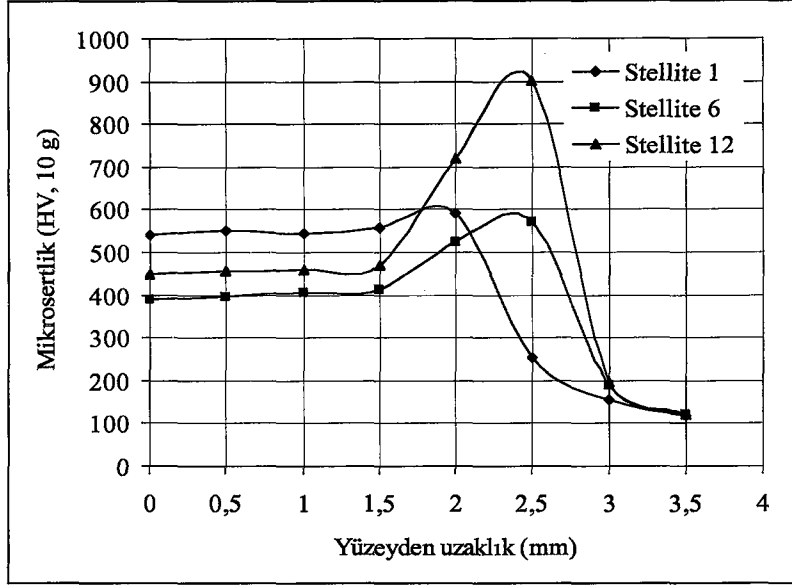
6.2.2. TIG Kaynak Yöntemi İle Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 Alaşımları ile Kaplanmış Düşük Karbonlu Çelik Numunelerin Sertlik Açısından İncelenmesi

Şekil 6.4'te Stellite 12 alaşımının TIG kaynak yöntemi ile düşük karbonlu numune üzerine kaplanması sonucu oluşan sertlik değerleri grafiği görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi ana malzemenin sertliği en düşük değerdedir. Kaplama malzemesi ana malzemeden daha sert olup 470 HV'den başlamaktadır. Yüzeyden ana malzemeye doğru gidildikçe kaplama malzemesinin orijinal sertlik değerine ulaşılmaktadır. Geçiş bölgesi olan 2.5 mm derinliğe inildiğinde ise sertlik değeri maksimum değerine yani 908 HV' ye ulaşmaktadır. Yüzeyden 3.5 mm derinliğine inildiğinde ise, tamamen ana malzemenin sertlik değerine ulaşılmaktadır.

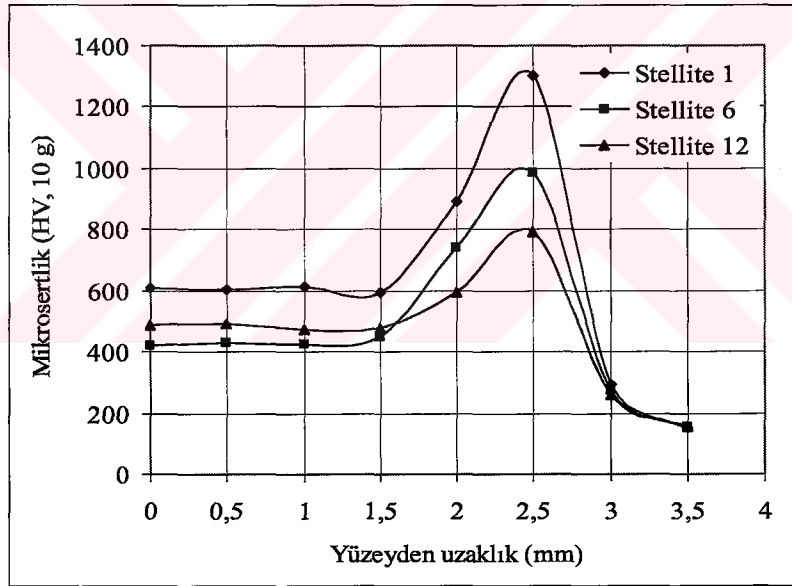
Stellite 6 alaşımının TIG kaynak yöntemiyle düşük karbonlu çelik üzerine kaplandıktan sonra ölçülen mikrosertlik değerleri 390 HV'den başlamakta ve 2.5 mm derinliğindeki geçiş bölgesine ulaşıldığında mikro sertlik değeri 580 HV seviyesine yükselmektedir (Şekil 6.4). Geçiş bölgesinin hemen yakınlarındaki mikrosertlik değeri ana malzeme orijinal mikrosertlik değerinden bir miktar daha yüksek çıkmıştır. Bu bölgenin sertlik değerinin yüksek olması ısı tesiri altındaki bölge olmasına bağlanmıştır. 3.5 mm derinliğe inildiğinde ise, ana malzemenin sertlik değerine ulaşılmıştır.

Stellite 1 alaşımının aynı malzeme yüzeyine aynı yöntemle kaplanması sonucunda ölçülen mikrosertlik değerleri 540 HV'den başlayarak geçiş bölgesine ulaşıldığında 600 HV değerine yükselmiştir. Ana malzemeye ulaşıldığında ise yine orijinal sertlik değeri ölçülmüştür. TIG kaynak yöntemiyle yapılan kaplamalarda elektrik ark kaynak yöntemi ile yapılan kaplamalara göre geçiş bölgelerinde daha düşük mikrosertlik değerleri ölçülmüşken, Stellite 12 süper alaşımı ile gerçekleştirilen kaplama oldukça yüksek bir sertlik değeri 900 HV mikrosertlik değerine ulaşılmıştır. Diğer iki numunede ise ara bölgenin mikrosertlik değerleri kaplama malzemesinin sertlik değerine yakın çıkmıştır.

TIG kaynağının elektrik ark kaynağından daha etkili olması, bir önceki deney sonuçları ile 1.5 mm'ye kadar yaklaşık aynı sonuçları verirken; 1.5-3.0 mm arasında daha çok krom, demir, kobalt ve tungsten karbürün ayrışması ile bir öncekinden daha yüksek bir sertlik değeri vermiştir. Ana malzemeye kaplama malzemesinin TIG kaynağında daha iyi karışması ile, ara bölge daha geniş olarak ortaya çıkmıştır. Ana malzemenin karbonca fakir olması; krom, kobalt ve tungstenin ana malzeme içerisindeki difüzyon hızının azlığı, demirin kaplama malzemesi yönündeki hızlı difüzyonu, ana malzeme tarafında daha fazla karbür bileşiğinin oluşmasını ve sertliğin daha geniş yelpazede artmasını engellemiş ve sertlikte ani düşmeye yol açmıştır.



Şekil 6.4. TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşım kaplanmış düşük karbonlu çelik numunenin mikrosertlik değerleri



Şekil 6.5. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımları ile kaplanmış orta karbonlu çelik numunenin mikrosertlik değerleri

6.2.3. Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 Süper Alaşımları ile Kaplanmış Orta Karbonlu Çelik Numunelerin Sertlik Açısından İncelenmesi

Şekil 6.5’de elektrik ark kaynak yöntemiyle Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımları kaplanmış orta karbonlu numunenin mikrosertlik değerleri görülmektedir. Stellite 12

süper alaşımı ile yapılan kaplamada 2.5 mm derinliğinde meydana gelen geçiş bölgesinin mikrosertlik değeri 790 HV olarak ölçülmüş, Stellite 6 süper alaşımı ile yapılan kaplamada ise geçiş bölgesinin mikrosertlik değeri 990 HV olarak ölçülmüştür. Stellite 1 alaşımı ile yapılan kaplamada ise geçiş bölgesinin mikrosertlik değerinde en yüksek mikrosertlik değerine ulaşılmıştır. Isı tesiri altındaki bölgesinde geçiş bölgesinden ana malzemeye doğru olan kısmın ana malzemeye göre daha sert olduğu, 3.5 mm derinliğe yani ana malzemeye tamamen inilince de ana malzemenin orijinal sertlik değerine ulaşıldığı görülmüştür.

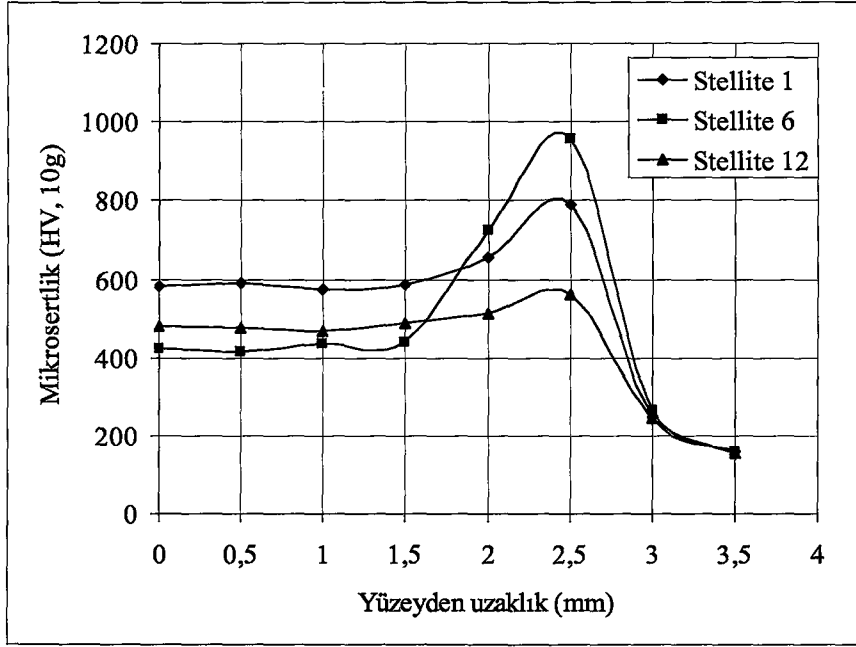
Orta karbonlu çelikteki karbon oranının, düşük karbonlu çeliğe oranla daha yüksek olması, başlangıçta diğer işlemlerdekilerle aynı sertlik dağılımı göstermelerine karşın, kaplama katından ana metale olan karbon difüzyonun azalması nedeniyle, özellikle Stellite 1 süper alaşımında daha fazla krom, kobalt, demir ve tungsten karbür oluşması sonucu, sertlik 1.5-3 mm'lik ara bölgede ani bir yükseliş göstermiştir. Tungsten, kobalt ve kromun ana metal yönünde difüzyon hızının yavaşlığı nedeniyle, ana metal tarafında sert karbürler oluşmadığı için sertlik aniden düşmüştür.

6.2.4. TIG Kaynak Yöntemi ile Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 Süper Alaşımları ile Kaplanmış Orta Karbonlu Çelik Numunelerin Sertlik Açısından İncelenmesi

Orta karbonlu çelik numune Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımlarıyla TIG kaynak yöntemiyle kaplanmıştır. Sertlik ölçümleri kaplamanın yüzeyinden başlayarak dentrit ve dentrit kolları içerisinde 0,5 mm aralıklı mesafelerde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.6'daki grafikte gösterilmiştir.

Şekil 6.6'ya bakıldığında kaplamaların sertlikleri yüzeyden başlayarak dengeli bir şekilde iç kısma doğru devam etmiş ve geçiş bölgesi civarında hızla yükselerek maksimum seviyelerine çıkmıştır. Stellite 1 süper alaşımı ile yapılan kaplamanın mikrosertlik değeri 800 HV civarına ulaşırken, Stellite 6 alaşımı ile yapılan kaplamada en yüksek değere yani 960 HV civarına yükselmiştir. Ana malzemeye ulaşıncaya sertlik değeri ana malzemenin orijinal sertlik değeri olan 160 HV değerine düşmüştür.

TIG kaynağı ile orta karbonlu çeliğe Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımlar ile kaplama yapılması durumunda; bu kaynak yönteminde demir, kobalt, karbon, krom ve tungsten difüzyonu için gerekli sıcaklık ve süre yeterli olduğundan, karbürler 1.5-3 mm arasında kalan bölgede kolaylıkla ve daha ve daha geniş aralıkta oluşmuş; daha dar bir bölgede krom ve tungsten birikimi olmadığından sertlik çok fazla artmamış ve daha geniş bir yelpazede sertlik dağılımı göstermiştir.



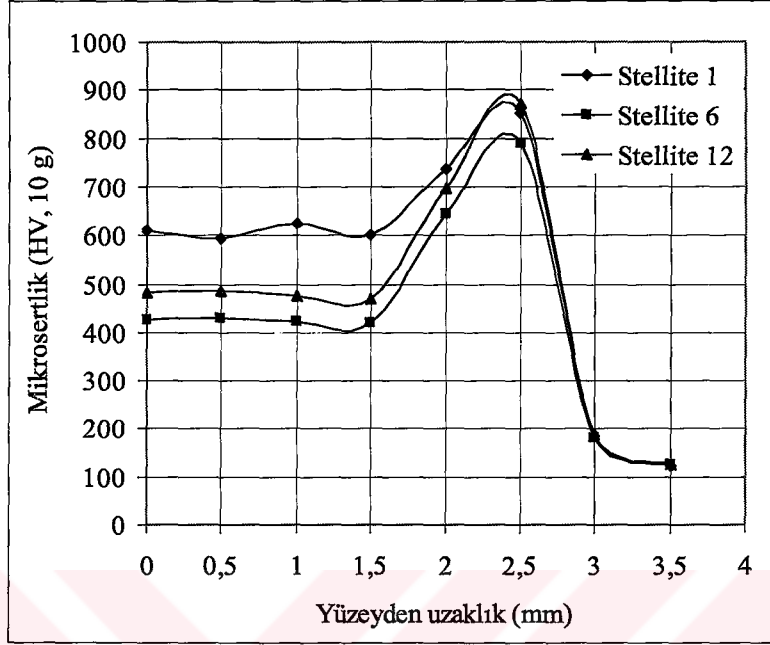
Şekil 6.6.TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımları ile kaplanmış orta karbonlu çelik numunenin mikrosertlik değerleri

6.2.5. Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 Süper Alaşımları Kaplanmış Paslanmaz Çelik Numunelerin Sertlik Açısından İncelenmesi

Tablo 5.1’de kimyasal analizi verilen Cr-Ni’li paslanmaz çelik ana malzemesinin yüzeyi düşük ve orta karbonlu çelik numunelere oluğu gibi Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımları ile elektrik ark ve TIG kaynak yöntemleri kullanılarak kaplanmışlardır. Şekil 6.7’de elektrik ark kaynak yöntemiyle yapılan kaplamadan sonra elde edilen mikrosertlik değerleri görülmektedir. Her üç süper alaşım kaplama numunesi de kaplama yüzeylerinden başlayarak geçiş bölgesine doğru orijinal yüzey sertlik değerlerinde başlamış ve geçiş bölgesinin hemen yanında yükseliş eğilimi göstererek geçiş bölgesinde maksimum seviyelerine ulaşmıştır. Yüzey sertlik değeri 470 HV olan Stellite 12 süper alaşımı en yüksek geçiş bölgesi mikro sertlik değerini (870 HV), Stellite 1 süper alaşımı 853 HV ve Stellite 6 süper alaşımı ise 790 HV mikrosertlik değerine ulaştığı görülmüştür. Ana malzemeye tamamen inildiğinde ise ana malzemenin yüzey sertlik değeri olan 124 HV sertlik değeri ölçülmüştür.

Krom-Nikel’li ostenitik paslanmaz çeliğin Stellite süper alaşımlarıyla elektrik ark kaynağı kullanılarak yapılan kaplama işleminde, bu alaşımın karbon oranı az olduğu ve nikel elementi ile karbür oluşturmadığı için ulaşılan sertlik değerleri, düşük karbonlu çelikte elde edilene benzemektedir. Burada kaplama katından ara bölgeye nüfuz eden demir, kobalt, krom ve tungstenle, paslanmaz çelikteki kromun çok az bir kısmı her üç alaşımda da aşağı yukarı aynı

oranlarda demir, kobalt, krom karbürler ve tungsten karbürün oluşmasını sağlamış; 1.5-2.75 mm derinliklerde sertliğin hemen hemen aynı olmasına yol açmıştır.

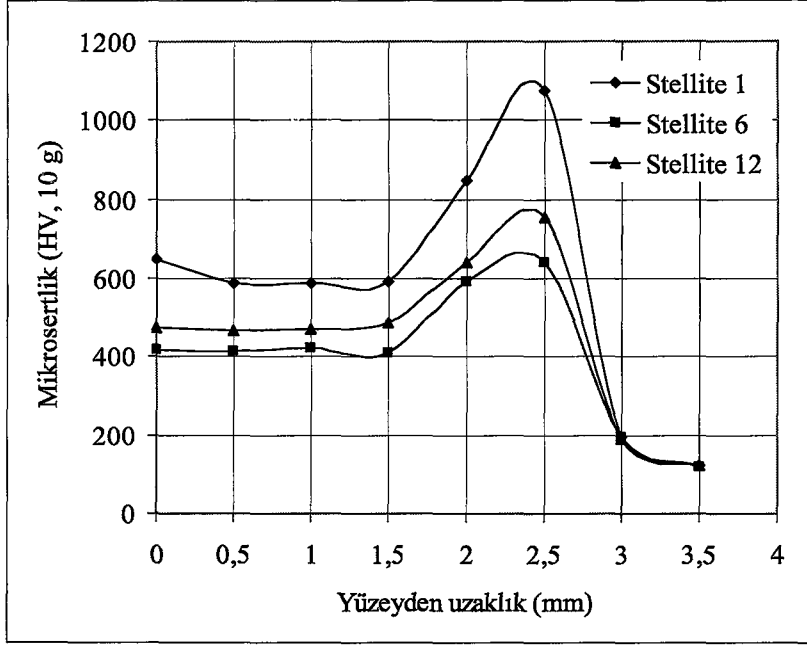


Şekil 6.7. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımları ile kaplanmış paslanmaz çelik numunenin mikrosertlik değerleri

6.2.6. TIG Kaynak Yöntemiyle Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 Süper Alaşımları ile Kaplanmış Paslanmaz Çelik Numunelerin Sertlik Açısından İncelenmesi

Şekil 6.8'de Cr-Ni'li paslanmaz çeliğin Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımlarıyla kaplandıktan sonra yapılan mikrosertlik ölçümlerinin sonuçları görülmektedir. Bu numunede de her üç kaplama malzemesi kaplama yüzeyinden başlayarak dengeli bir sertlik değerine sahip olduğu görülmüş ve geçiş bölgesinin hemen yakınında yükselerek geçiş bölgelerinde maksimum seviyelere ulaşmış ve hızlı bir düşüşle ana malzemenin yüzey sertlik değerine ulaşmıştır. Her üç numunenin de geçiş bölgesi mikrosertlik değerlerine bakıldığında Stellite 1 alaışımının en yüksek sertlik değeri olan 1076 HV, Stellite 12 süper alaışımının 756 HV ve Stellite 6 alaışımının da 640 HV mikrosertlik değerlerine ulaştığını görülebilir.

TIG kaynağında sıcaklığın ve buna bağlı olarak soğuma süresinin daha yüksek olması hem kaplama katından ara bölgeye kromun, kobaltın ve tungstenin ve hem de ana malzemelerden demirin ve kromun ara bölgeye nüfuziyetini sağlamış; demir, krom ve tungsten ara bölgede ayrıışan karbür oranlarına bağlı olarak sertliğin artmasına neden olmuştur.



Şekil 6.8. TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımları ile kaplanmış paslanmaz çelik numunenin mikrosertlik değerleri

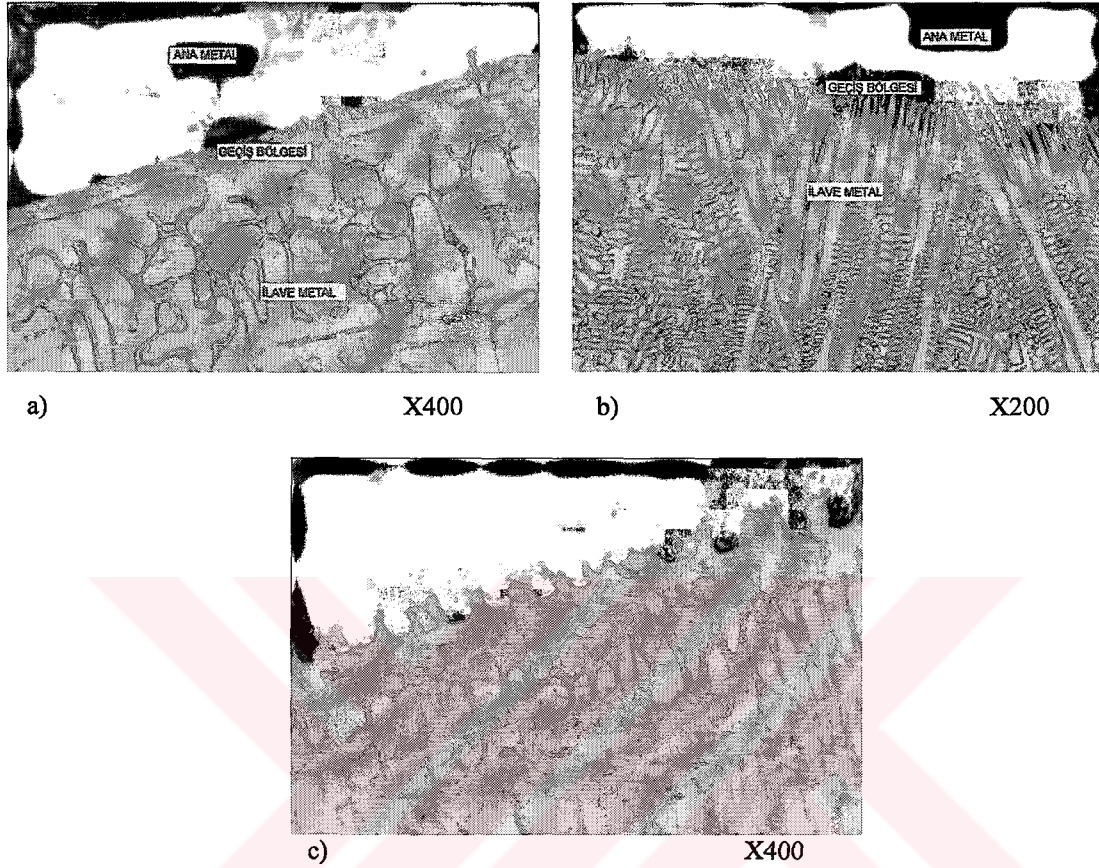
6.3. Metalografik İncelemeler

6.3.1. TIG Kaynak Yöntemi Kullanılarak Yüzeyine Stellite 1, Stellite 6, Stellite 12 Süper Alaşımları ile Kaplanmış Düşük Karbonlu Çelik Numune

Şekil 6.9a' da düşük karbonlu çeliğin yüzeyine TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 12 süper alaşımı kaplanması sonucunda elde edilen mikro yapı fotoğrafı görülmektedir. Bu fotoğraftan da görüleceği gibi, deney numunesinde üç farklı bölgenin varlığı dikkati çekmektedir. Bunlardan birincisi ana malzeme bölgesi, ikincisi kaplama malzemesi bölgesi ve üçüncüsü ise her iki bölge arasında, hızlı soğuma ve alaşımlama sonucu oluşan ince bir sert geçiş tabakasıdır. Kaplama tabakası tıpkı kaplama malzemesinin orijinal hali gibi dendritik bir yapıdan oluşmaktadır. Ana metal ise yine orijinal görünümüne sahiptir. Kaplama sonucunda ana metal ile kaplama malzemesi arasında fazla bir karışım meydana gelmemiş kaplama malzemesi sadece dar bir geçiş bölgesi ile ana malzemeye bağlanmıştır.

Şekil 6.9.b'de düşük karbonlu çeliğin yüzeyine TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 6 süper alaşımı kaplanması sonucunda elde edilen mikro yapı fotoğrafı görülmektedir. Fotoğraftan da anlaşılacağı gibi bu kaplamada geçiş bölgesi çok dağınık olup, tam bir bant teşekkülü görülmemektedir. Fakat belirgin olmamakla birlikte sertlik değerlerinde, yine de

burada bir gizli geçiş bölgesi olduğu anlaşılmaktadır. Burada orijinal malzemeye oranla daha ince taneli ve yönlendirilmiş dentritlerin varlığı dikkati çekmektedir.



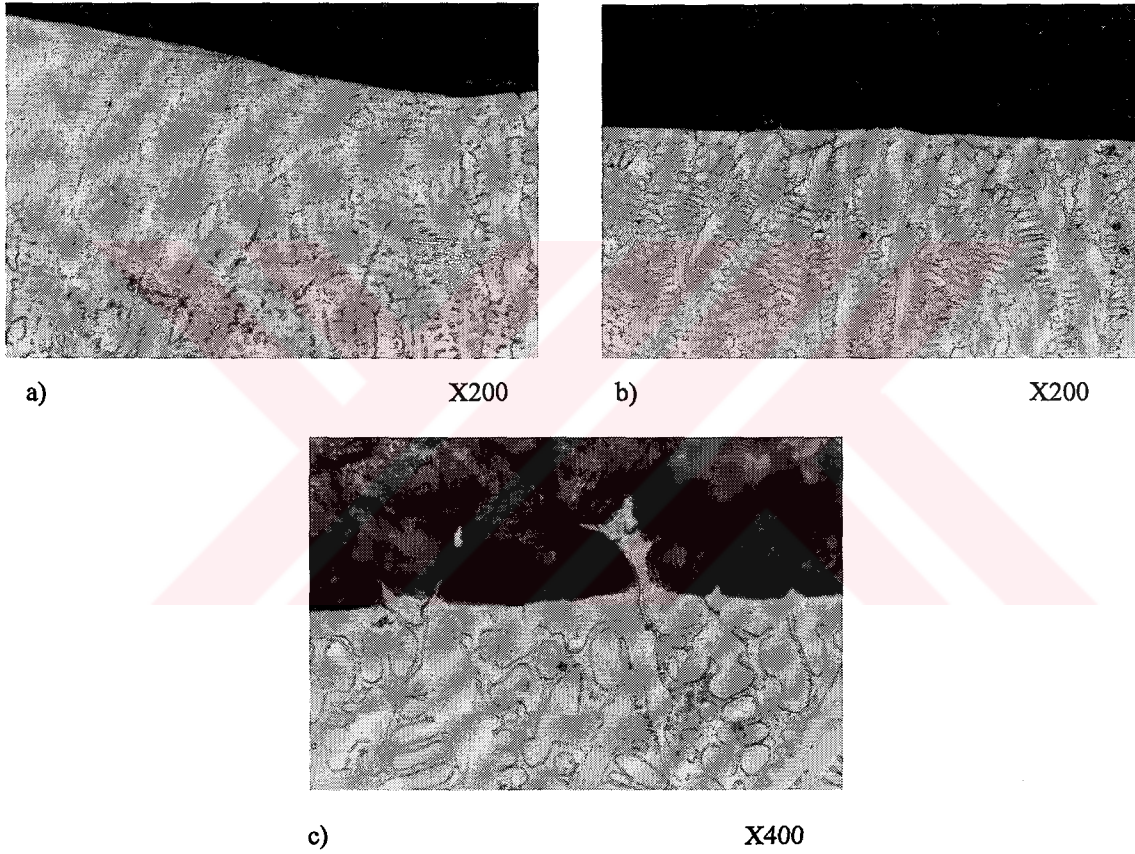
Şekil 6.9. TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite süper alaşımı kaplanmış düşük karbonlu çelik numune (a:Stellite 12; b: Stellite 6; c: Stellite 1)

Şekil 6.9c’de geçiş bölgesi önceki yapılardan daha farklı olup kaplama malzemesi dallantıları ana malzeme içine girmiş vaziyettedir. Yani burada geçiş bölgesi net bir görünüm arz etmemektedir. Geçiş bölgesinin belirgin olmadığı bu kaplamada, ana malzeme ile kaplama malzemesinin az çok birbirleriyle karıştıkları dikkat çekmektedir. Kaplamanın yapıldığı kaynak işleminde akım şiddeti 140 A; kaynak hızı 100 mm/d; ilave tel çapı 3.2 mm; tungsten elektrot çapı 2,4 mm; gaz akım hızı 7-8 l/d’ dir. İşlemde koruyucu gaz olarak argon gazı kullanılmıştır.

6.3.2. Elektrik Ark Kaynak Yöntemi Kullanılarak Yüzeyine Stellite 1, Stellite 6, Stellite 12 ile Süper Alaşımları Kaplanmış Düşük Karbonlu Çelik Numune

Şekil 6.10’da görülen fotoğraflarda çok net ve belirgin bir geçiş bölgesi görülmemesine karşın yine de bir geçiş bölgesinin bulunduğu yapılan mikrosertlik

ölçümlerinden anlaşılmıştır. Süper alaşımların her birinin kaplanması sonucunda mikroyapıda birbirlerine göre çok fazla karışık bir mikroyapı ortaya çıkmamış her üç mikroyapı fotoğrafı yaklaşık olarak benzer bir görünüm sergilemiştir. Kaplama bölgesi yine dendritik bir yapıda olup ana malzemenin yapısı ferrit+perlit görünümündedir. Burada ısının TIG’la yapılan kaynağa oranla yüksek olmayışı, fazla belirgin olmayan bir geçiş tabakasının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ayrıca sıcaklık fazla yükselmediği için taneler TIG yöntemindekinden daha küçüktür. Tungsten miktarının artması ile dentritler daha iri kol aralıkları kazanmıştır.



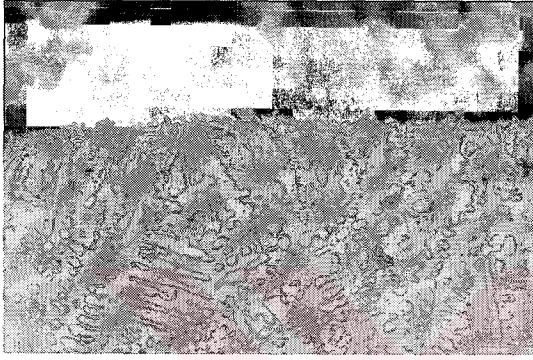
Şekil 6.10. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak Stellite süper alaşımı kaplanmış düşük karbonlu numune (a:Stellite 12; b: Stellite 6; c: Stellite 1)

6.3.3. TIG Kaynak Yöntemi Kullanılarak Yüzeyine Stellite 1, Stellite 6, Stellite 12 Süper Alaşımları Kaplanmış Orta Karbonlu Çelik Numune

Şekil 6.11a’ da orta karbonlu çeliğin TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 12 süper alaşımı ile kaplanması sonucunda elde edilen mikro yapı fotoğrafı görülmektedir. Bu

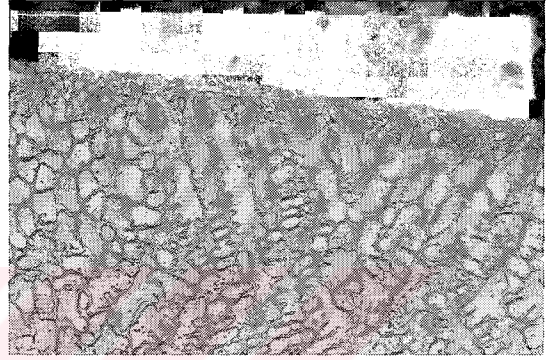
fotoğraftan da anlaşılacağı gibi deney numunesinde iki çeşit bölgenin varlığı dikkati çekmektedir. Bunlardan birincisi ana malzeme bölgesi, ikincisi kaplama malzemesi bölgesidir.

Bu numune de her iki bölge arasında, hızlı soğuma ve alaşımlama sonucu oluşan çok ince bir sert geçiş tabakası meydana gelmemiştir. Kaplama tabakası tıpkı kaplama malzemesinin orijinal hali gibi fazla iri olmayan dendiritik bir yapıdan oluşmaktadır. Ana malzemenin yapısı ferrit+perlit görünümündedir. Kaplama sonucunda ana metal ile kaplama malzemesi arasında az bir karışım meydana gelmiş net bir geçiş bölgesi meydana gelmeden ana malzemeye bağlanmıştır.



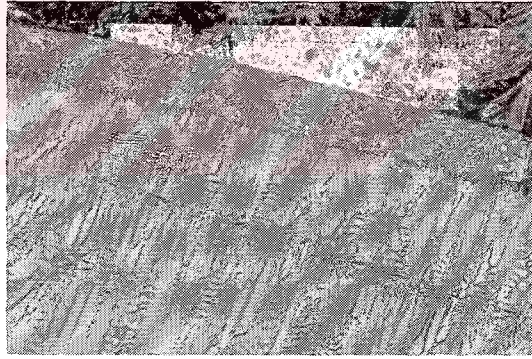
a)

X200



b)

X200



c)

X200

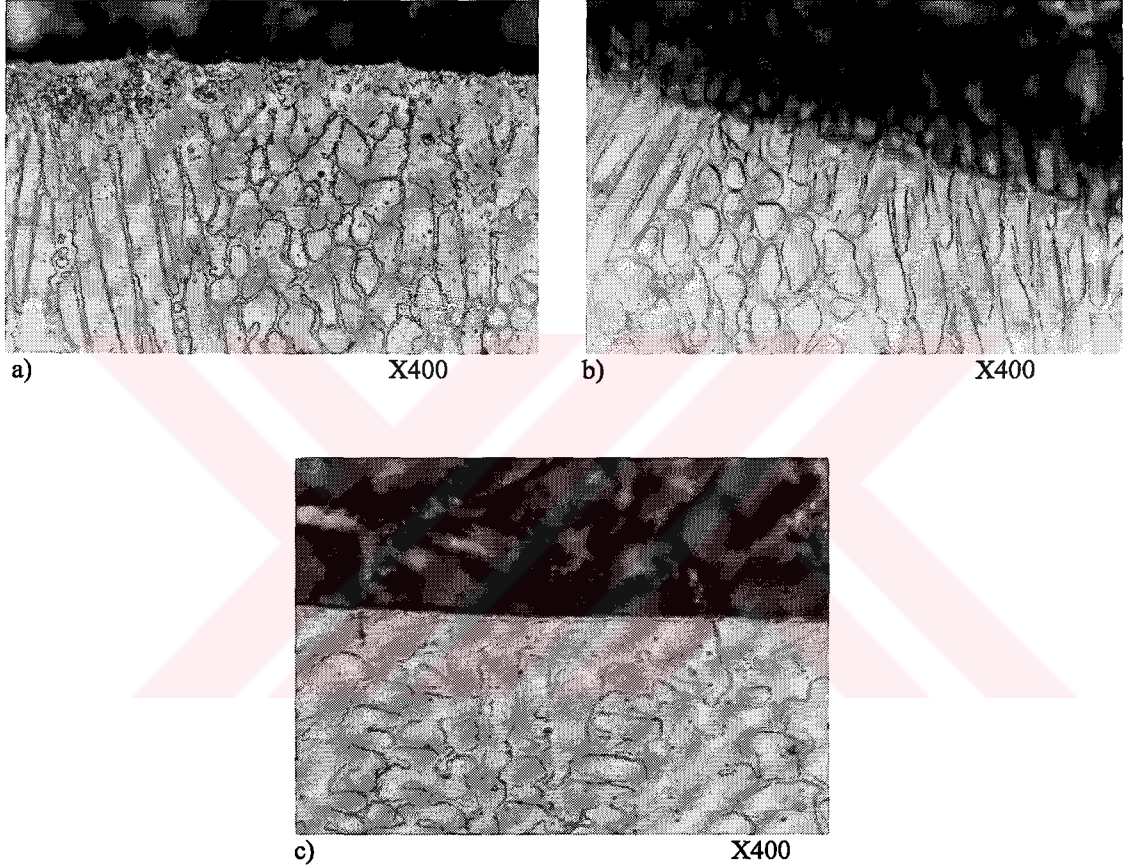
Şekil 6.11. TIG kaynak yöntemi kullanılarak süper alaşımı kaplanmış orta karbonlu çelik numune (a: Stellite 12; b: Stellite 6; c: Stellite 1)

Şekil 6.11b’de görülen orta karbonlu çelik ile Stellite 6 süper alaşımının TIG kaynak yöntemi ile kaplandıktan sonra çekilen mikro yapı fotoğrafında kaplama malzemesi dendiritik bir yapıya sahiptir. Kaynak geçiş bölgesi çok az bir kalınlıkta oluşmuş, kaplama malzemesi ve ana malzeme önemsiz derecede birbiri ile karışmamıştır.

Şekil 6.11c’ de görülen orta karbonlu çeliğin TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1 alaşımı kaplandıktan sonra elde edilen mikroyapı fotoğrafında ana malzeme ve kaplama malzemesinin birbiri içerisinde oldukça iyi karıştıkları görülmektedir. Kaplama ve ana

malzeme arasında bant şeklinde bir geçiş bölgesinin belirgin şekilde varlığı dikkat çekmektedir. Kaplama malzemesi küçük kol uzunluklu dendiritik bir yapıdadır. Ana malzemenin yapısı ferrit+perlit görünümündedir.

6.3.4. Elektrik Ark Kaynak Yöntemi Kullanılarak Yüzeyine Stellite 1, Stellite 6, Stellite 12 Süper Alaşımları Kaplanmış Orta Karbonlu Numune

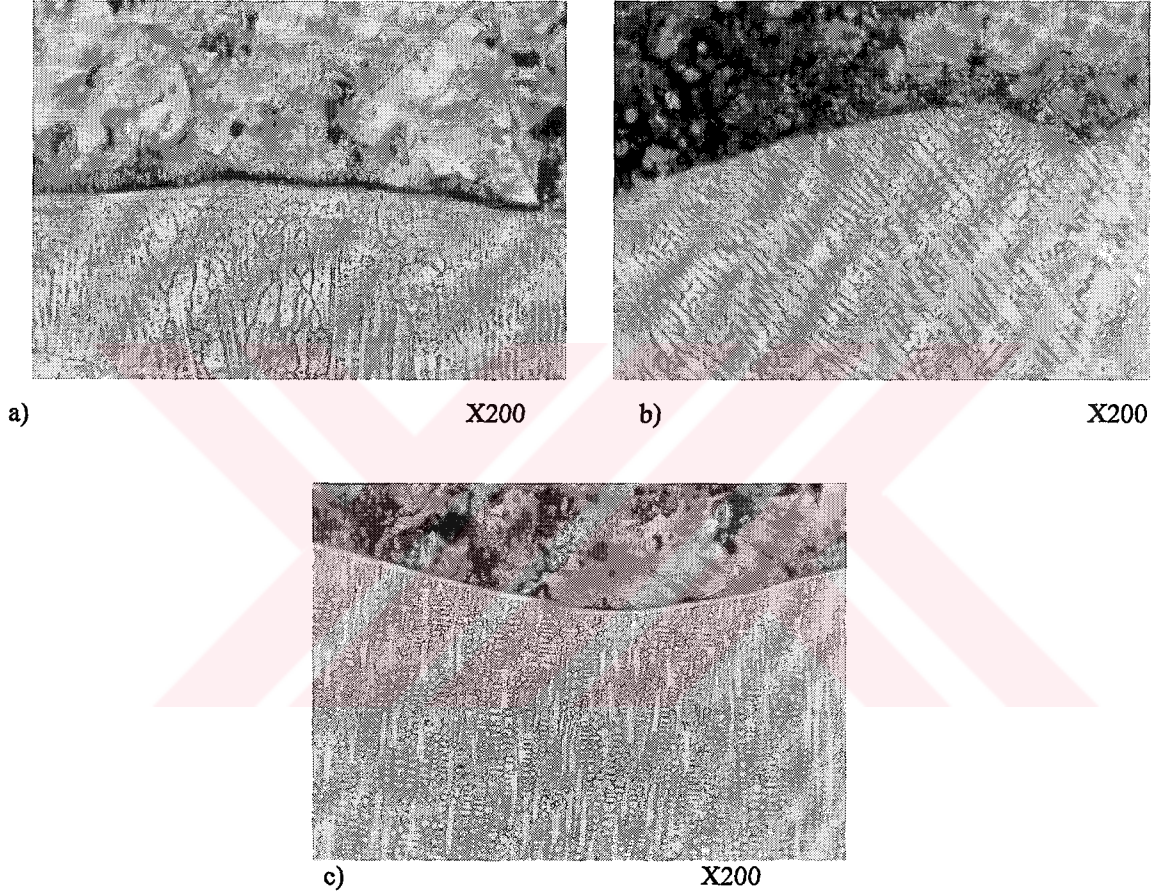


Şekil 6.12. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak süper alaşım kaplanmış orta karbonlu numune (a: Stellite 12; b: Stellite 6; c: Stellite 1)

Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 12 alaşımı kaplanmış orta karbonlu numunenin kaynak geçiş bölgesinin mikroyapı fotoğrafına (Şekil 6.12a) bakıldığında kaplama malzemesinin dendiritik bir yapıda olduğu görülmektedir. Kaplama malzemesi ve ana malzeme birbiri içerisine az çok karışmış, ancak net bir geçiş bölgesi oluşturamamıştır. Şekil 6.12c' de Stellite 6 alaşımının aynı malzeme üzerine kaplandıktan sonra çekilen mikroyapı fotoğrafında kaplama malzemesinin ve ana malzemenin birbiri içerisinde geçişikleri görülmektedir. Geçiş bölgesinde az çok belirgin bir bant oluşmuştur. Kaplama malzemesine benzer dendiritik bir yapı

sergilenmektedir. Şekil 6.12c de ise Stellite 1 alaşımının aynı ana malzeme üzerine kaplandıktan sonra elde edilen mikroyapı fotoğrafı görülmektedir. Bu resimde görüldüğü gibi çok net bir geçiş bölgesi meydana gelmiştir. Bu geçiş bölgesinde; kobalt, krom ve tungsten karbürlerin bیکrimi nedeniyle mikrosertlik değeri en yüksek olan geçiş bölgelerinden biri olmuştur.

6.3.5. Elektrik Ark Kaynak Yöntemi Kullanılarak Üstüne Stellite 1, Stellite 6, Stellite 12 Süper Alaşımları Kaplanmış Paslanmaz Çelik Numune



Şekil 6.13. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak süper alaşım kaplanmış paslanmaz çelik numune (a: Stellite 12; b: Stellite 6; c: Stellite 1)

Paslanmaz çeliğin kaplama işleminden sonraki mikroyapı fotoğrafı diğer numune fotoğraflarına benzer bir görünüm arz etmektedir (Şekil 6.13). Fotoğraflardan anlaşılabacağı gibi belli başlı üç bölgenin varlığı dikkat çekmektedir. Bunlardan birincisi ana malzeme tarafı, ikincisi kaplama malzemesinin kendisi, üçüncüsü ise geçiş bölgesidir. Geçiş bölgesi paslanmaz çelikte diğer numunelere göre biraz daha net bir görünüme sahiptir. Bütün numunelerde olduğu gibi yine ince bant şeklinde sert bir bölge mevcuttur. Kaplama malzemeleri orijinal mikroyapıları olan dendiritik yapıda oluşmuşlardır.

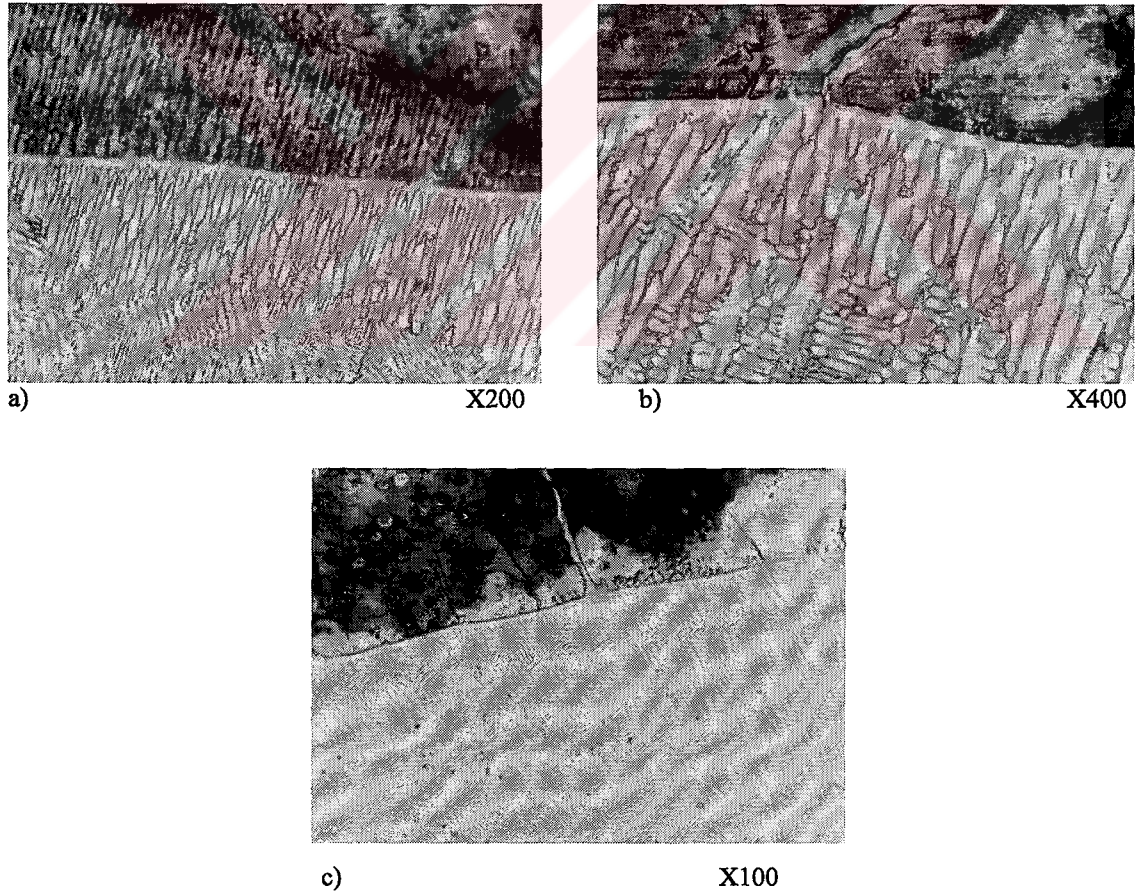
Stellite 12 süper alaşımının Cr-Ni'li paslanmaz çelik yüzeyine kaplandıktan sonra çekilen mikroyapı fotoğrafı Şekil 6.13a'da görülmektedir. Bu fotoğrafta da görüldüğü gibi net bir geçiş bölgesi ve sertliği yüksek çok ince bir bant meydana gelmiştir

Şekil 6.13b'de Stellite 6 süper alaşımının aynı ana malzeme yüzeyine elektrik ark kaynak yöntemi ile kaplandıktan sonra çekilen mikroyapı fotoğrafı görülmektedir. Bu mikroyapı fotoğrafında geçiş bölgesi çok net olmamakla beraber mikrosertlik değerinin yüksek çıkmasından gizli bir geçiş bölgesinin olduğu kolaylıkla söylenebilir.

Stellite 1 süper alaşımın kaplanması sonucu çekilen mikroyapı fotoğrafında çok ince bir geçiş bölgesinin varlığı görülmektedir (Şekil 6.13c).

Kaplama katlarındaki dendiritlerin ince dallı ve yönlenmiş olmaları bu kaplamaların en karakteristik yönüdür.

6.3.6. TIG Kaynak Yöntemi Kullanılarak Yüzeyine Stellite 1, Stellite 6, Stellite 12 Süper Alaşımı Kaplanmış Paslanmaz Çelik Numune



Şekil 6.14. TIG kaynak yöntemi kullanılarak süper alaşım kaplanmış paslanmaz çelik numune (a: Stellite 12; b: Stellite 6; c: Stellite 1)

Şekil 6.14’de Cr-Ni’li paslanmaz çelik numunenin yüzeyine Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımlarının TIG kaynak yöntemi ile kaplandıktan sonra mikroyapı incelemeleri için hazırlanan numunelerden çekilen mikroyapı fotoğrafları görülmektedir. Her üç mikroyapı fotoğrafları da daha önceki numune fotoğraflarından biraz farklı bir görünüm arz etmektedir. Bu farklılık kaplama malzemesindeki dendritik yapının ana malzemeye nüfuz etmiş olmasıdır. Buradan hareketle TIG yöntemi ile yapılan kaplamalarda diğer kaplamalara göre kaplama malzemesinin ana malzemeye daha mükemmel bağlandığı söylenebilir. Böylece TIG yönteminin yüksek sıcaklık ve ısının etkiye süresinden kaynaklanan diğer yöntemlere göre üstünlüğü de ortaya çıkmış olur.

6.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları

Yüzey kaplama işleminden sonra meydana gelen bölgelerin yapısının daha iyi anlaşılması için SEM çalışmaları yapılmıştır. Kaplama bölgelerinde oluşan yapının karakterinin anlaşılması amacıyla özellik arzeden belirli kısımlardan SEM analizleri alınmıştır.

6.4.1. Düşük Karbonlu Çeliğin Taramalı Elektron Mikroskobu Sonuçları

Düşük karbonlu çelik yüzeyi, TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1, Stellite 6, Stellite 12 süper alaşım kaynak elektrotları ile yaklaşık 120 mm/dak. kaynak hızı, 140 A akım şiddeti uygulanarak geniş paso şeklinde kaplanmıştır. Kaynak işlemi esnasında ana malzemeye herhangi bir ısı işlem uygulanmamıştır.

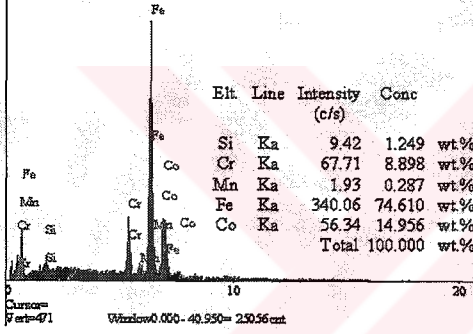
Şekil 6.15’de Stellite 1 süper alaşımının düşük karbonlu çelik yüzeyine kaplandıktan sonra çekilen SEM fotoğrafı ve kaplama malzemesi ile ana malzemenin birbirleri içerisinde karışma oranlarını belirlemek amacıyla yapılan noktasal analizler görülmektedir.

Şekil 6.15b, geçiş bölgesinin 1 nolu kısmının noktasal analiz değerlerini göstermektedir. Yoğun miktarda ana malzemedan kaplama malzemesine Fe geçişi bu bölgenin dendritik mikroyapısını biraz değiştirmiştir. Bu noktada görülen diğer elementler ise kaplama malzemesinin elementleri olan Cr ve Co’tır. Geçiş bölgesine daha yakın 2 nolu noktanın analiz değerlerinden bu noktanın geçiş bölgesine daha yakın olması sebebiyle Fe geçişi 1 nolu noktaya göre daha fazla olmuştur(Şekil 6.15c). Bu noktada görülen diğer elementler ise Cr, Co, Si, ve Mn’dır.



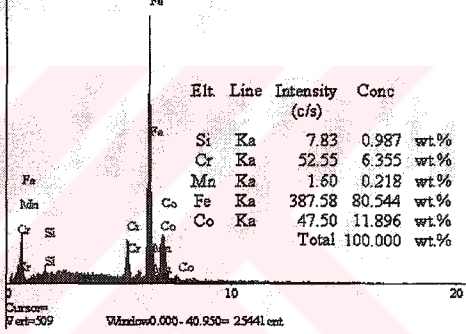
a)

Düşük karbonlu çelik No 1
Stellite 1 TIG



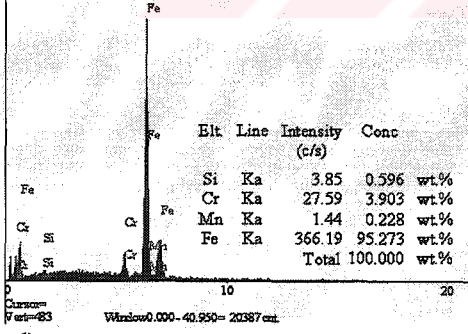
b)

Düşük karbonlu çelik No 2
Stellite 1 TIG



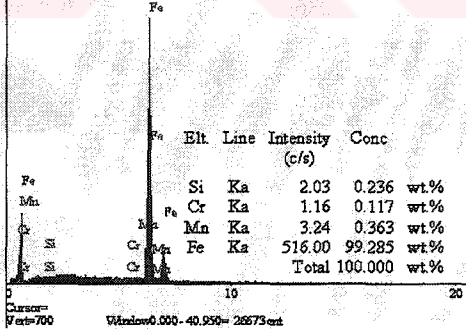
c)

Düşük karbonlu çelik No 3
Stellite 1 TIG



d)

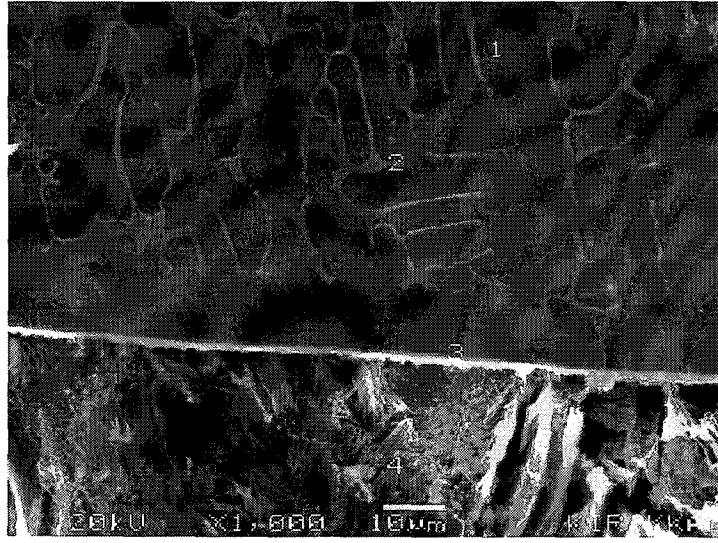
Düşük karbonlu çelik No 4
Stellite 1 TIG



e)

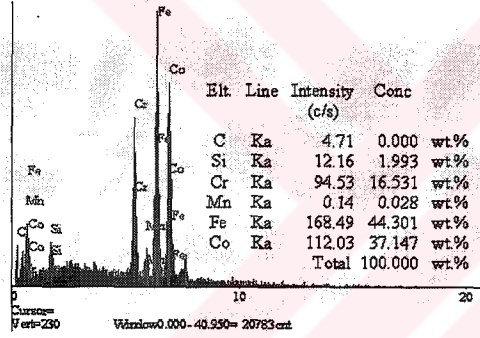
Şekil 6.15. TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1 süper alaşımı kaplanmış düşük karbonlu çelik numunenin SEM fotoğrafı (a) ve noktasal analizleri (b,c,d,e)

Geçiş bölgesinin tam üzerinden alınan 3 nolu noktanın analiz değerlerine göre yüksek oranda Fe daha sonra Cr, Si ve Mn elementleri görülmüştür (Şekil 6.15d). 4 nolu nokta ana malzeme üzerinden alınmış ve az miktarda kaplama malzemesinden bu malzemeye Cr geçişi olduğu görülmüştür (Şekil 6.15e).



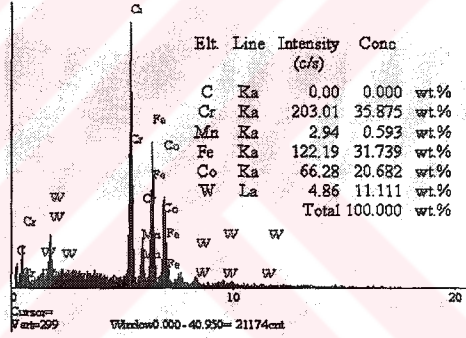
a)

Düşük karbonlu numune No 1
Stellite 6 TIG



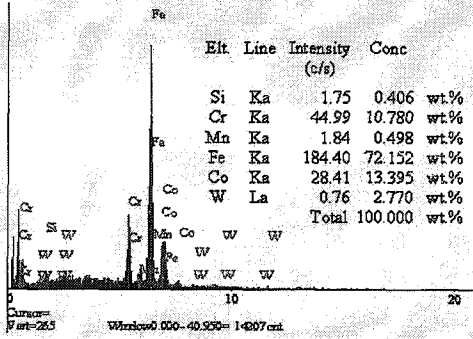
b)

Düşük karbonlu numune No 2
Stellite 6 TIG



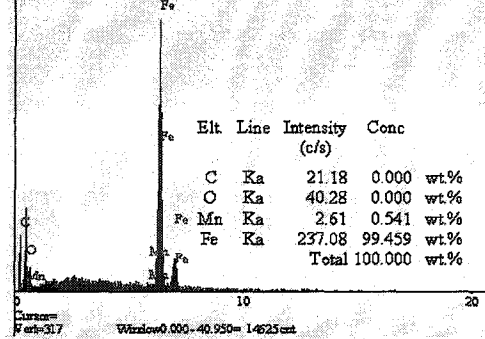
c)

Düşük karbonlu numune No 3
Stellite 6 TIG



d)

Düşük karbonlu numune No 4
Stellite 6 TIG



e)

Şekil 6.16. TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 6 süper alaşımı kaplanmış düşük karbonlu çelik numunenin SEM fotoğrafı (a) ve noktasal analizleri (b,c,d,e)

Şekil 6.16'da düşük karbonlu bir çelik yüzeyine TIG kaynak yöntemi ile Stellite 6 süper alaşımı kaplamanın mikroyapı fotoğrafı ve noktasal analizlerin alındığı yerler görülmektedir.

Şekil 6.16a’da görüleceği gibi sert kaplama yani yüzey kaplama tabakası dendritik bir yapıya sahip olup dentrit kolları arasında matris tabakası yer almaktadır.

Kaplama malzemesi tarafında 1 nolu noktanın analiz değerlerine bakıldığında yüksek miktarda ana malzemenin esas elementi olan Fe, kaplama malzemesine geçtiği görülmektedir (Şekil 6.16b). 2 nolu noktaya bakıldığında Fe içeriğinin 1 noktasına göre daha az olduğu Cr miktarının yükseldiği C’ görülmediği, Co miktarının biraz düştüğü Mn miktarının ise yükseldiği görülmüştür (Şekil 6.16.c). Geçiş bölgesinin üzerinden alınan noktasal analiz yani 3 nolu noktanın analiz değerlerine bakıldığında Fe seviyesinin yüksek süper alaşım kaplama malzemesinin esas elementleri olan Cr ve Co’nın ise düşük seviyelerde olduğu görülmüştür (Şekil 6.16.d). Bu bölgede ayrıca bir miktar Si elementinin bulunduğu belirlenmiştir. 1 nolu noktada en yüksek seviyede görülen Si elementi 3 ve 4 nolu noktalarda görülmemiştir. Ana malzeme tarafındaki 4 nolu kısmın noktasal analiz değerlerine bakıldığında yüksek oranda Fe ve az miktarda da Mn içerdiği görülmektedir (Şekil 6.16e). Kaplama malzemesinin ana elementlerinden Cr ve Co’nın ana malzemeye bu bölgede geçişmediği gözlenmiştir.

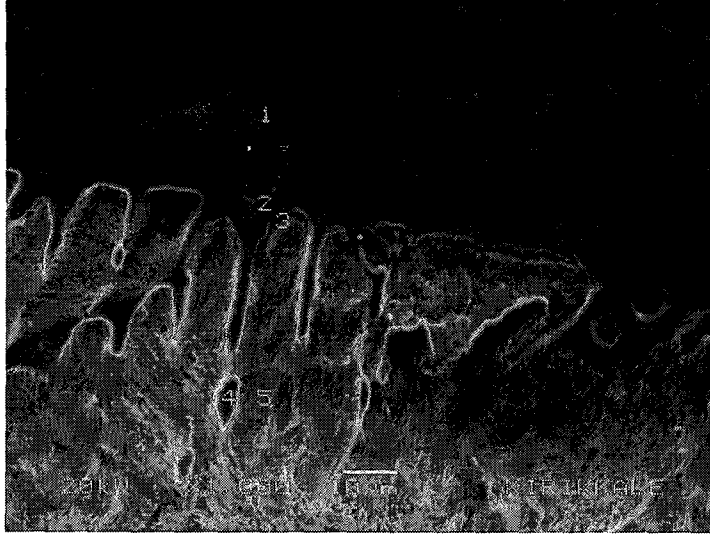
6.4.2. Orta Karbonlu Çeliğin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları

Şekil 6.17a’ da orta karbonlu çelik yüzeyinin Stellite 1 süper alaşımı ile kaplandıktan sonra çekilen SEM fotoğrafı ve alınan noktasal analizlerin yerleri görülmektedir. Kaplama tabakası dendritik bir görünüme sahiptir.

Şekil 6.17b’ de ana malzeme ile kaplama malzemelerinin birbirleri içerisinde dağılımının seviyesini belirlemek amacıyla alınan noktasal analizlerden 1 nolu noktanın analiz değerleri görülmektedir. Ana malzemeden bir miktar Fe kaplama malzemesine geçtiği açıkça görülmektedir. Ana malzemeden Fe geçişi kaplama malzemesinin mikroyapısında bir değişikliğe neden olmamıştır. 1 nolu noktada sırasıyla Cr, Fe, Co ve W elementlerinin oranları yüksek çıkmıştır. 2 nolu noktaya bakıldığında Fe elementinin kaplama malzemesine geçtiği burada da açıkça görülmektedir. 1 nolu noktaya göre Cr, Fe, Co ve W elementleri bu noktada da yüksek oranlarda görülmüştür (Şekil 6.17c).

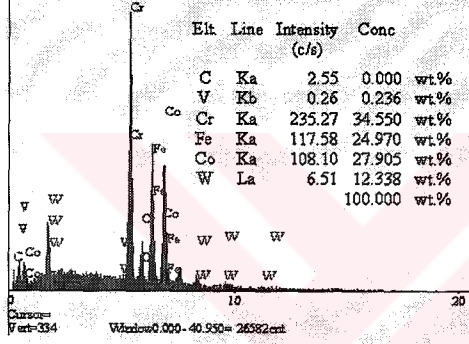
Geçiş bölgesi üzerinden alınan olan 3 nolu noktanın analizine bakıldığında Fe elementinin oranı daha yüksek çıkmış ancak Cr, Co, C, Si ve W elementlerinin yoğunluklarında düşüş görülmüştür (Şekil 6.17d).

Şekil 6.17e’de 4 nolu noktanın analizleri görülmektedir. Bu bölge geçiş bölgesine yakın fakat ana malzemeye ait bir bölge olup yoğun miktarda Fe içerdiği açıkça görülmektedir. Kaplama malzemesini elementlerinden olan Co ve Cr ve W’da bu noktada da görülmüştür. Bu noktada görülen diğer elementler ise ana malzemeye ait olan Mn ve Si elementleridir.



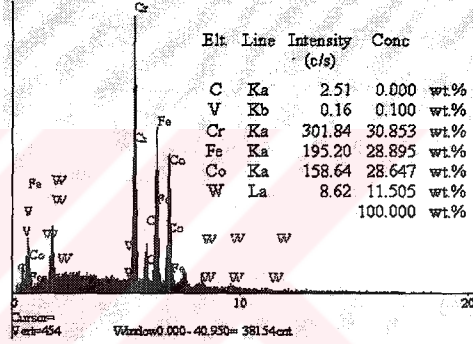
a)

Orta karbonlu çelik No 1
Stellite 1 TIG



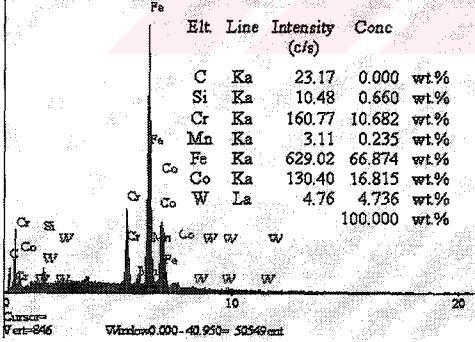
b)

Orta karbonlu çelik No 2
Stellite 1 TIG



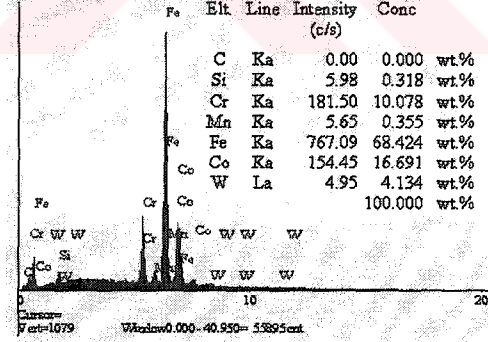
c)

Orta karbonlu çelik No 3
Stellite 1 TIG



d)

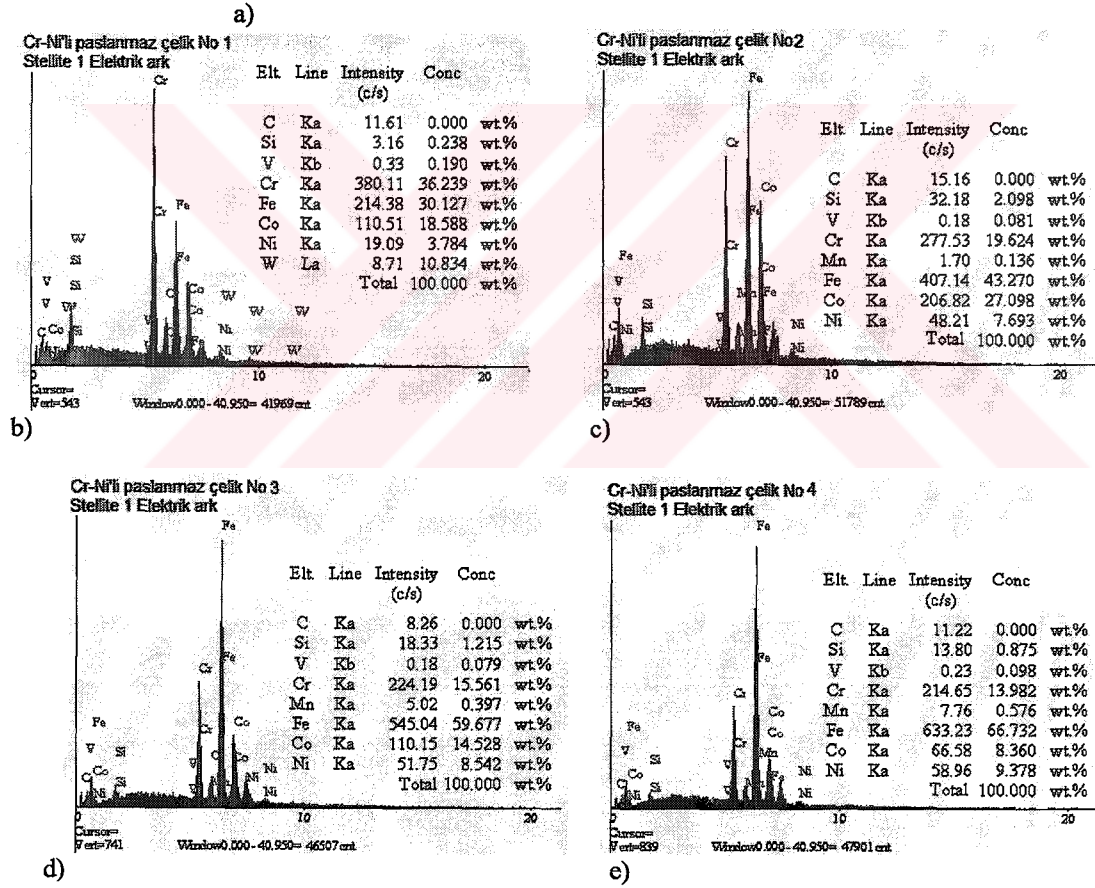
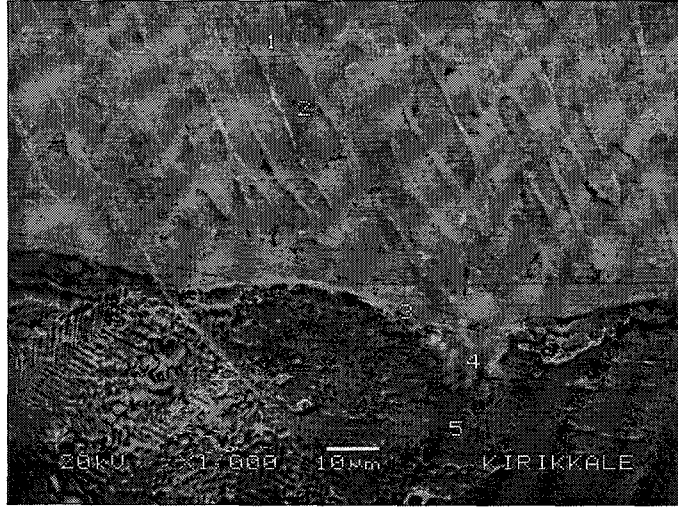
Orta karbonlu çelik No 4
Stellite 1 TIG



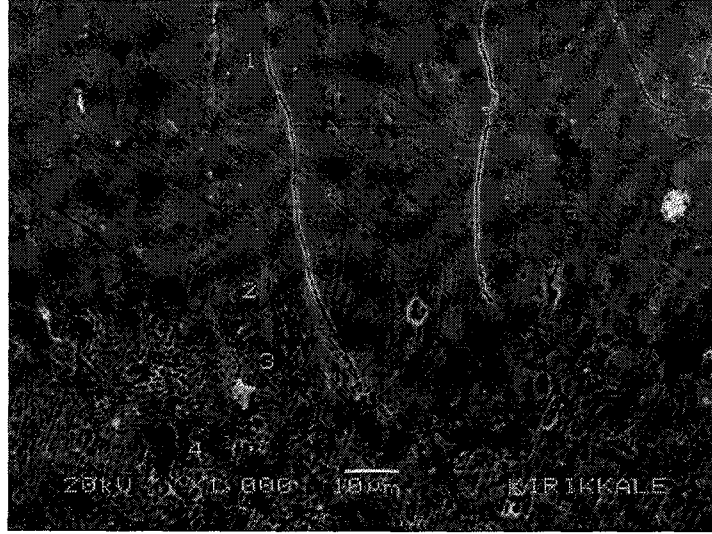
e)

Şekil 6.17. TIG kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1 süper alaşımı kaplanmış orta karbonlu çelik numunenin EDS fotoğrafı (a) ve noktasal analizleri (b,c,d,e,f)

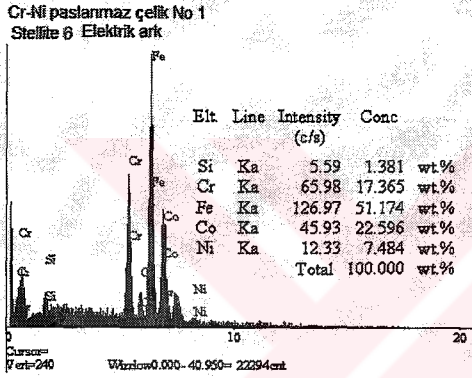
6.4.3. Paslanmaz Çeliğin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları



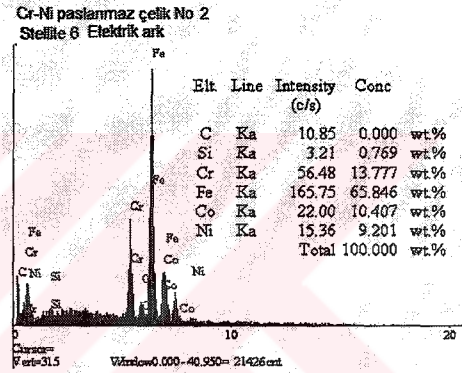
Şekil 6.18. Elektrik ark kaynak yöntemi kullanılarak Stellite 1 süper alaşımı kaplanmış Cr-Ni'li paslanmaz çelik numunenin EDS fotoğrafı (a) ve noktasal analizleri (b,c,d,e,f)



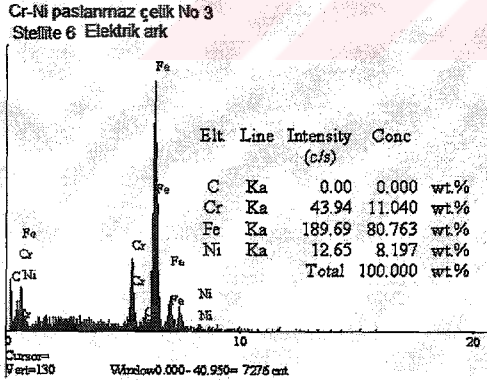
a)



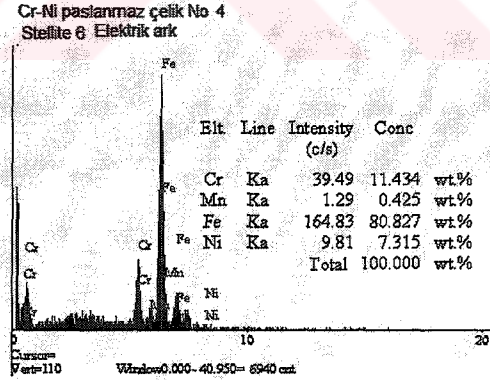
b)



c)



d)



e)

Şekil 6.19. Elektrik ark kaynağı yöntemi kullanılarak Stellite 6 süper alaşımı kaplanmış Cr-Ni'li paslanmaz çelik numunenin SEM fotoğrafı (a) ve noktasal analizleri (b,c,d,e)

Ana faz üzerinden alınan 1 nolu kısmın noktasal analizine göre ana malzemeden Fe ve Cr elementlerinin kaplama malzemesine karıştığı görülmüştür. Ana malzemeden Cr karışması, kaplama malzemesinin ana elementlerinden biri olan Cr'un en yüksek seviyede çıkmasına

neden olmuştur (Şekil 6.18b). 1 nolu noktada görülen diğer elementler ise sırasıyla kaplama malzemesinin esas elementi olan Co, C, Si ve W'dir.

Matris üzerinden alınan 2 nolu kısmın noktasal analizinden anlaşılabileceği gibi 1 nolu noktaya göre daha yüksek miktarda ana malzemeden buraya Fe geçişi olduğu görülmüştür. Bu bölgede görülen diğer elementler ise Cr, Co, Ni, Si, C, Mn ve çok az miktarda V'dir (Şekil 6.18c).

Geçiş bölgesinin üzerinden alınan 3 ve 4 nolu noktalarının noktasal analizleri birbirlerine benzerlik göstermektedir (Şekil 6.18d,e). Yoğunluklarında az bir fark olsa da yüzde oranlarına göre birbirlerine yakın seviyededirler ve sırasıyla Fe, Cr, Co, Ni, Si, C, Mn ve eser miktarda V elementleri görülmüştür.

Şekil 6.19a Stellite 6 süper alaşımının elektrik ark kaynak yöntemiyle kaplandıktan sonra hazırlanan numuneden alınan SEM fotoğrafını göstermektedir. Ana malzeme, geçiş bölgesi ve kaplama bölgesi üzerinden alınan noktasal analizlere bakıldığında 1 nolu noktada çoğunlukla Fe, Cr, Co, Ni ve Si elementleri görülmüştür (Şekil 6.19b). C bu bölgede hiç görülmemiştir. Şekil 6.19c' de 2 nolu noktanın noktasal analizine göre Fe, Cr, Co, Ni, C ve Si elementleri görülmüştür. Buradan da kaplama malzemesine ana malzemeden yoğun bir karışma olduğu söylenebilir.

3 nolu noktanın noktasal analizi Şekil 6.19d'de görülmektedir. Ana malzemenin elementlerinden Fe, Cr ve Ni içerdiği görülmektedir. Her iki malzemede C içermesine rağmen bu bölgede C görülmemiştir. 4 nolu kısmın noktasal analizine göre bu bölgede Fe, Cr, Ni ve az miktarda da Mn elementleri olduğu görülmüştür (Şekil 6.19e).

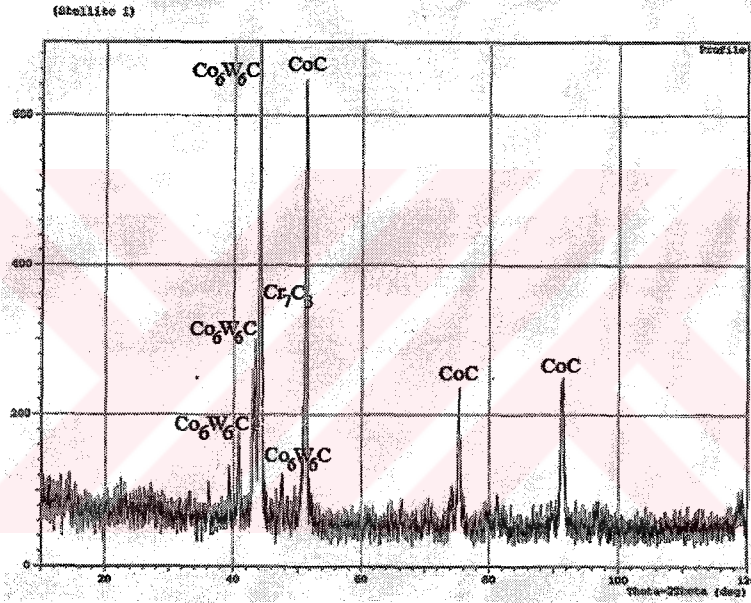
6.5. X-Işınları Analiz Sonuçları

6.5.1 Süper Alaşım Kaplama Malzemelerinin X-Ray Analiz Sonuçları

Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşım kaplama alaşımlarının X-Ray analizleri alınarak alaşımlarda mevcut olan bileşikler tespit edilmiştir. X-ışınları incelemeleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde, SHIMADZU XRD-6000 cihazı ile Cu X-Işını tüpü ($\lambda=1.5405$ Angstrom) kullanılarak numunelerdeki bileşikler tespit edilmiştir.

6.5.1.1. Stellite 1 Süper Alaşımın X-Işınları İncelemesi

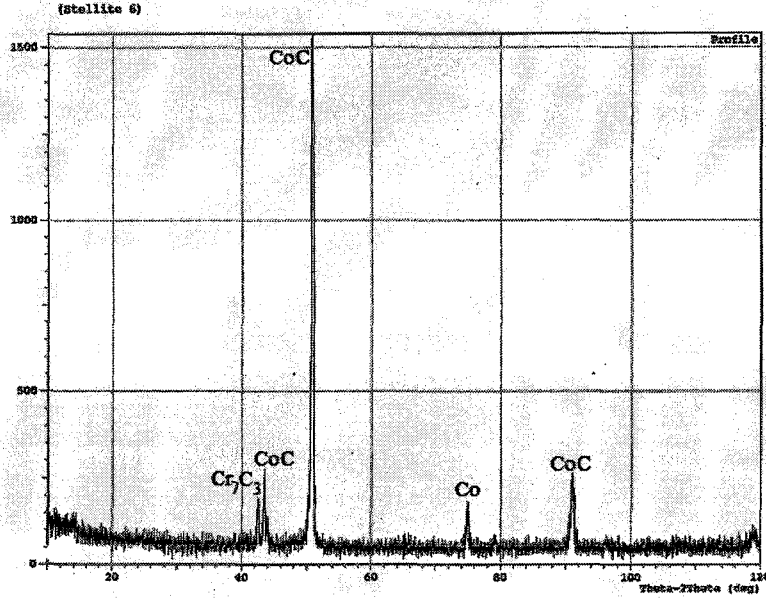
Stellite1 yüksek sıcaklıklardaki (Genellikle 500–800 °C, kısa süreli 1000 °C) abrasiv ve korozif aşınmalarda yaygın olarak kullanılan bir süper alaşımdır. Yüksek sertliğinden dolayı şokların düşük veya orta şiddette olduğu durumlarda kullanılan parçaların sert yüzey dolgularında kullanılır. Taşlama ile işlenebilirliği mümkündür. Sertlikleri 51-55 HRC civarındadır. Kobalt Tungsten Karbür ($\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$), Krom karbür (Cr_7C_3), ve Kobalt karbür (CoC) içerirler. Şekil 6.20’de X-ışınları taraması sonucu bünyesinde yüksek oranda mevcut olan karbür türleri görülmektedir. Böylece süper alaşımın orijinal özelliği kaplama yüzeyine nakledilmiş ve mekanik özellikleri yüksek derecede bir yüzey kaplama tabakası elde edilmiştir.



Şekil 6.20. Stellite 1 süper alaşımının X- ışınları incelemesi

6.5.1.2. Stellite 6 Süper Alaşımın X-Işınları İncelemesi

Stellite 6 alaşımı kullanılan diğer süper alaşımlardan farklı olarak elde edilen kaynak metalinin sertliği yanında sahip olduğu tokluk özelliği sebebiyle de ağır mekanik darbelere ve ısıl şoklara dayanabilen bir süper alaşım dolgu malzemesidir. İşlenebilirlikleri iyidir. Sertlikleri 40-44 HRC civarındadır. Bünyelerinde zengin oranda kobalt karbür (CoC) ve krom karbür (Cr_7C_3) içerirler. Bu durum X-Işınları incelemesinden de anlaşılmıştır (Şekil 6.21).



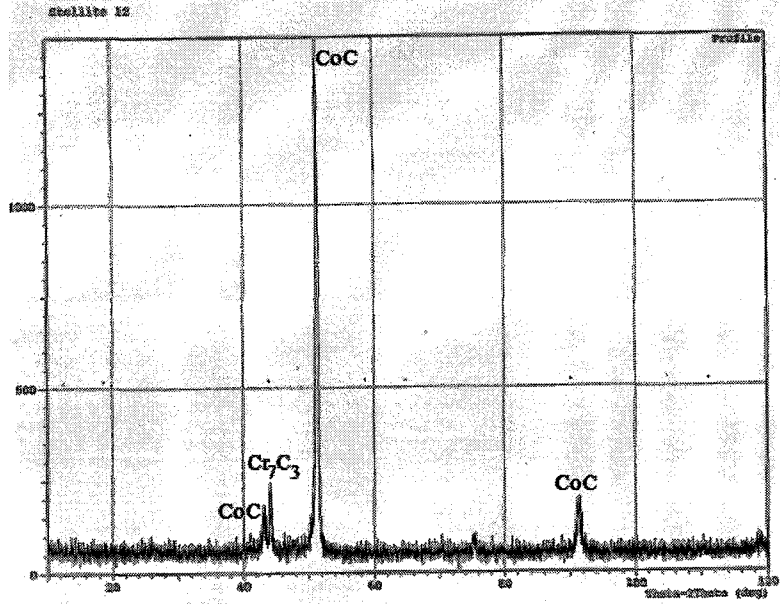
Şekil 6.21. Stellite 6 süper alaşımının X-ışınları incelemesi

6.5.1.3. Stellite 12 Süper Alaşımın X-Işınları İncelemesi

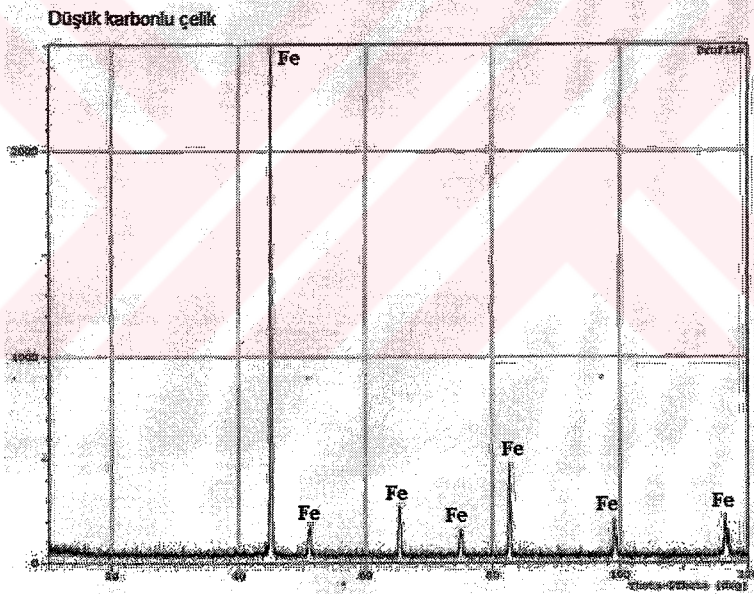
Stellite 6 süper alaşımı gibi ağır şartlarda metal-metal aşınması, Abrasiv aşınma, yüksek sıcaklıklardaki korozyon aşınma, kaynak metalinin sertliğinin ve tokluğunun yüksek olması sayesinde ağır mekanik darbelere ve ısı şoklarına dayanabilir. Sertlikleri 45-49 HRC civarındadır ve işlenebilirlikleri Stellite 6'ya göre zordur. Alaşımın bu özelliklerinin iyi anlaşılması amacıyla X-Işınları çalışmaları yapılmıştır.

6.5.1.4. Düşük Karbonlu Çeliğin X-Işınları İncelemesi

Düşük karbonlu çelik ana malzemesi kaplama işleminden sonra X-Işınları incelemesine tabi tutulmuştur. Ancak yapılan incelemede sadece ana malzeme kısmında Fe elementine rastlanmıştır. Şekil 6.23'te düşük karbonlu çeliğin X-Işınları incelemesi sonucu elde edilen grafik görülmektedir.



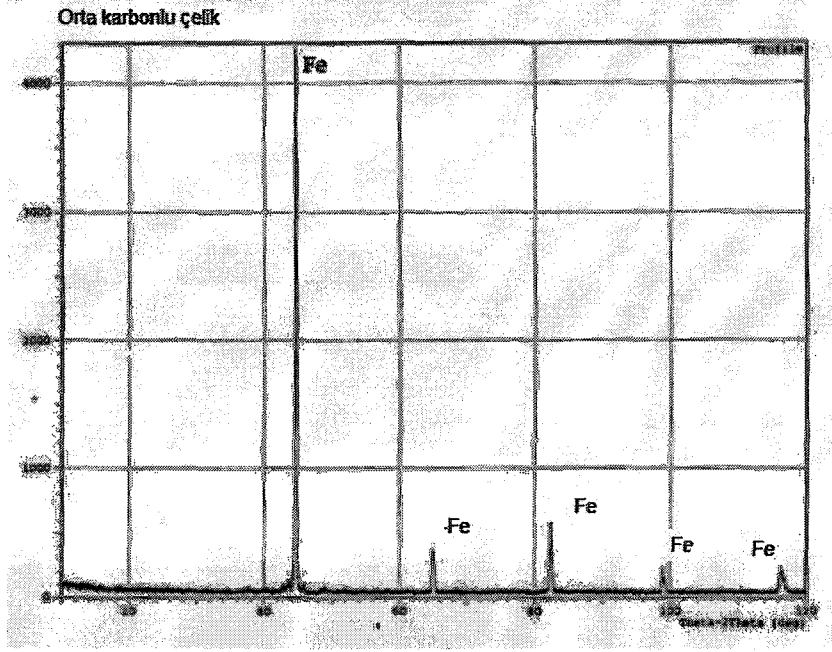
Şekil 6.22. Stellite 12 süper alaşımının X-ışınları incelemesi



Şekil 6.23. Düşük karbonlu çelik malzemenin X-ışınları incelemesi

6.5.1.5. Orta Karbonlu Çeliğin X-ışınları İncelemesi

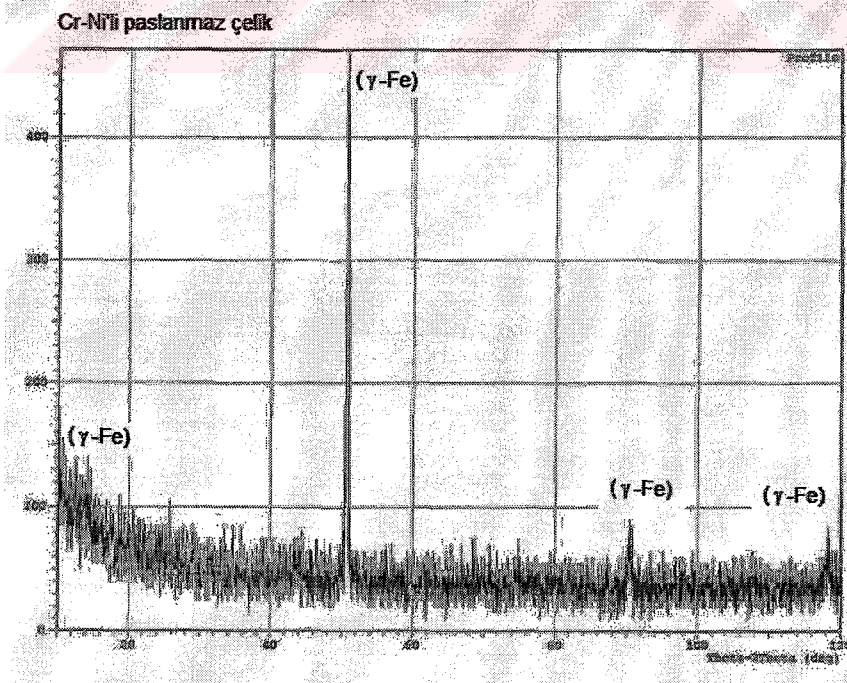
Orta karbonlu çelik ana malzemesi de kaplama işleminden sonra X-ışınları incelemesine tabi tutulmuş ve Şekil 6.24'te görülen X-ışınları grafiğine göre tespit edilen demir (Fe) görülmektedir.



Şekil 6.24. Orta karbonlu çelik malzemenin X-ışınları incelemesi

6.5.1.6. Cr-Ni'li Paslanmaz Çeliğin X-ışınları İncelemesi

Cr-Ni'li paslanmaz çelik ana malzemesi de kaplama işleminden sonra X-ışınları incelemesine tabi tutulmuş ve Şekil 6.25'te görülen X-ışınları grafiğine göre mikroyapı fotoğraflarında da tespit edilen ostenit (γ -Fe) görülmüştür.



Şekil 6.25. Cr-Ni'li paslanmaz çelik malzemenin X-ışınları incelemesi

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sert yüzey kaplama yöntemlerinden TIG ve elektrik ark kaynak yöntemi ile gerçekleştirilen düşük karbonlu, orta karbonlu ve Cr-Ni'li paslanmaz çelik ana malzemeleri yüzeylerine Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 ile yapılan yüzey kaplama işlemleri sonucunda önemli bulgular elde edilmiştir. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Düşük karbonlu, orta karbonlu ve Cr-Ni'li paslanmaz çeliğin yüzeyleri, Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 süper alaşımları, normal atmosfer şartlarında, herhangi bir ön ısıtma işlemi uygulanmadan elektrik ark kaynağı ve TIG kaynağı ile kaplanmıştır. Kaynak işlemlerinin yapılması esnasında herhangi bir sorun yaşanmamıştır. Buradan, söz konusu ana metallerin, Stellite esaslı alaşımlar ile ön ısıtma yapılmadan kaplanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.
2. Stellite alaşımları ile yapılan kaplama bölgesinde X-Işınları incelemeleri sonucunda yoğun miktarda Cr_7C_3 , Co_6W_6C ve CoC karbürlerinin bulunduğu gözlenmiştir.
3. Yüzey kaplama işlemi esnasında ana metal ile süper alaşım kaplama malzemeleri arasında ince bir bant şeklinde mikrosertlik değeri yüzey sertlik değerine göre oldukça yüksek bir geçiş bölgesi meydana gelmiştir.
4. Kaplama tabakasının sertliği, ulaşılması gereken en önemli hedeflerden birisi olup bütün kaplamalarda süper alaşım kaplama malzemelerinin orijinal yüzey sertlik değerlerine tek kat kaplama ile ulaşılmıştır. Geçiş bölgesine yaklaşıldığında sertlik değerinde yükseliş görülmüş ve geçiş bölgesinde maksimum seviyesine ulaşmıştır.
5. Yüzey kaplama tabakası mikroyapı incelemelerinde, kaplama tabakasının tipik Stellite alaşımları mikroyapısı gibi dendritik bir yapıda olduğu görülmüştür. Dendrit kollarının mikroyapıyı çok sık bir şekilde kapladığı, dendrit kolları arasının yani matris tabakasının mikroyapıda az bir yer kapladığı mikroyapı fotoğraflarından anlaşılmıştır.
6. Yüzey kaplama işlemi sırasında meydana gelen ve yüksek sertlik değerine sahip olan ince bir şerit şeklindeki ara tabakanın ayrıca incelenmesi ve bu tabakanın elde edilen ürünün yorulma dayanımını nasıl etkileyeceğinin araştırılması gerekli ve önemli bir husustur.
7. SEM fotoğraflarında ve geçiş bölgesinde kaplama malzemesi ile ana malzemenin birbirleri içerisinde karışma oranlarını belirlemek amacıyla alınan noktasal analizlere göre bütün kaplamalarda ana malzemedan kaplama malzemesine yoğun bir geçişin olduğu ancak kaplama malzemesinden ana malzemeye pek geçiş olmadığı gözlenmiştir.
8. TIG kaynak ile yapılan ilave metal ve elektrik ark kaynak yöntemi ile yapılan örtülü elektrot kaplamaları karşılaştırıldığında, TIG ile yapılan kaplamalarda ana malzeme ile

kaplama malzemelerinin geçiş bölgelerinde daha iyi bir karışım meydana getirdikleri görülmüştür.

9. Elektrik ark kaynak yöntemi ile yapılan kaplamalarda, TIG’la yapılan kaplamalara göre geçiş bölgelerinin mikrosertliği daha yüksek çıkmıştır.
10. X-Işınları incelemelerinde süper alaşım kaplama malzemelerinde zaten var olan ve alaşıma sertlik kazandıran Cr_7C_3 , Co_6W_6C ve CoC gibi karbürlerin kaplama işleminden sonra da varlığını koruduğu gözlenmiştir.
11. Kobalt esaslı süper alaşım elektrotlar ile farklı çeliklerin (düşük ve orta karbonlu, paslanmaz) malzemelerin elektrik ark ve TIG kaynak yöntemleri ile her hangi bir ön ısıtma işlemi yapmadan tek kat veya daha fazla kat sert yüzey kaplama işlemi her hangi bir problem yaşanmadan gerçekleştirilebilir. Böylece hem aşınmış özellikle büyük ebatlı makine parçalarının yeniden ekonomiye kazandırılması hem de ucuz malzemelerden daha uzun ömürlü makine parçaları imal edilebilir. Fakat Stellite 1 süper alaşımının işlenebilirliğindeki zorluğun göz önünde bulundurulması da gerekir.



KAYNAKLAR

- Aoh, J.N., Jeng, Y.R., Ehu, E. L., Wo, L.T., "On the Wear Behaviour of Surface Clad Layers Under High Temperature", *Wear* 225-229 (1999)2, 1114-1122.
- Aoh, J.N., Chen, J.C., "On the Wear Characteristics of Cobalt-based Hardfacing Layer After Thermal Fatigue and oxidation", *Wear*, 250(2001) 1-12, 611-620.
- Armyanov, S., "Crystallographic Structure and Magnetic Properties of Electrodeposited Cobalt and Cobalt Alloys", Institute of Physical Chemistry, Bulgarian Academy of Sciences, 1999, 113-118
- Avery, H.S., Chapin, H.J., 1952, *Welding Journal.*, 31(1952), 917-920.
- Ayers J.D. and Gnanamuthu D.S., "Hardening of Metal Surfaces by Laser Processing, Welding, Brazing, and Soldering", 9th ed., Vol 6, *ASM Handbook*, American Society for Metals, 1983, p 793-803
- Belmondo A. and M. Castagna, "Sourcebook on Applications of The Laser in Metalworking", E. Metzbower, Ed., American Society for Metals, 1981, p 310
- Blake, Y., "Sliding Wear Prediction of Ductile Materials", *J.of Materials Processing Technology*, 118(2001) 1-3, 205-211.
- Brooks, R.C., "Heat Treatment, Structure and Properties of Nonferrous Alloys", 4.th., American Society for Metals, 1990, 229-252.
- Cooper, K.P., "Laser Surface Processing, Friction, Lubricant and Wear Technology", Vol. 18, *ASM Handbook*, ASM International, 1992, 861-872.
- Crook, P., Farmer, H.N., "Friction and Wear of Hardfacing Alloys, Friction, Lubricant, and Wear Technology", Vol. 18, *ASM Handbook*, ASM International, 1992, 758-765.
- Çelik H., Çimenoglu H., Kayalı E.S., "Abrasive Wear Properties of Some Stellite Alloys", *ESDA, European Joint Conference on Engineering Systems Design and Analysis*, 361-365. 1992,
- Çelik H., Osma A., Çimenoglu H., Kayalı E. S., "Kobalt Esaslı İki Alaşımın Yüksek Sıcaklıklardaki Aşınma Davranışları", 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Ankara, 1993, 1055-1066.
- Çelik H., İzçiler M., "WC-Co Esaslı Kesici Takımlarda Tane Büyüklüğü ve Kobalt içeriğinin Aşınma Direncine Etkisi", P.Ü., Müh. Fak., 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, 1995, 416-424.
- Çelik H., Osma A., Çimenoglu H., Kayalı E.S., "Stellite 6 Alaşımının Yüksek Sıcaklıktaki Aşınma Davranışına Silisyumun Etkisi", *TMMOB Metalurji Müh. Odası*, 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 1995, 286-291.
- Çelik, H., "Investigation of Machinability in Co and Cr Containing Hard Materials Heated by Plasma Arc", P. Ü., Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 2, Sayı 2, 1996, 123-127.

Çelik H., Yaz M., “Klinker Öğütme Silpeps'lerinin Alaşım Katkı Oranlarına Bağlı Abrasiv Aşınma Davranışlarının Araştırılması”, 10. th International Metallurgy and Materials Congress, Istanbul, Turkey, 2000, 893-900.

Çelik H., “Kaynak Edilebilen Kobalt ve Demir Esaslı Alaşımların Yüksek Sıcaklıklardaki Aşınma Davranışları”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 1991, İstanbul.

Dissimilar Metals, Welding Handbook, 7th ed., Vol 4, American Welding Society, 1982, p 514-547

Drapier, J.M. , Davin, A. , Magnee, A. , Coutsouradis, D. , Habraken, L., “Abrasion and Corrosion Resistant Cobalt Base Alloys For Hardfacing”, Wear, Volume 33(1975)2, 271-282.

Glenoy, K.J.E., Northwood, J.E. and Burwood-Smith, a., “Materials for Gas Turbines”, International Metalurgical Rewies, 1(1975)20, 1-7.

Hammond, C., Nutting, J., “The Physical Metallurgy of Super alloys and Titanium Alloys”, Metal Science, Vol. II, 2(1977), 474.

Hejwowski, T., “Wear Resistance of Graded Coatings”, Vacuum, 27 May 65(2002)3-4, 515-520.

İzciler, M., Çelik, H., “Two- and Tree-body Abrasive Wear Behaviour of Different Heattreated Boron Alloyed High Chromium Cast Iron Grinding Balls”, Journal of Materials Processing Technology 105, (2000)3,237-245.

Jandin, G., Liao, H., Coddet, C., "Mechanical Properties of The Arc Spraying Coatings". Proceedings ITSC 2000, Montréal-Canada, 2000.

Kulkarni, K.M., Anand,V., “Metal Powder Used for Hardfacing, Powder Metallurgy”, 9th. ed., Vol. 7, ASM Handbook, American Sociaty for Metals, 1984, 823-836p.

Kuzucu, V., Ceylan, M., Çelik, H., Aksoy, İ., “Microstructure and Phase Analyses of Stellite 6 plus 6 % wt. Mo Alloy”, Journal of Materials Processing Technology, 69(1998),257-263.

Kuzucu, V., Ceylan,M., Çelik, H., Aksoy, İ., “Phase Investigation of a Cobalt Base Alloy Containing Cr, Ni, W and C”, , Journal of Materials Processing Technology 74(1998), 137-141.

Kuzucu, V., Ceylan, M., Çelik, H., Aksoy, İ., “An Investigation of a Stellite-6 Alloy Containing 5.0 wt % Silicon”, Journal of Materials Processing Technology 79(1998),,47-51.

Liao, H., Normand, B., Coddet, C. J., "The Influence of Coating Microstructure on The Abrasive Wear Resistance of WC/Co Cermet Coatings", Surface and Coating Technology, 124(2000), 235-242.

Macintyre R.M., “Proc. NATO Advanced Study Institute on Laser Surface Treatment of Metals”, C.W. Draper and P. Mazzoldi, Ed., Martinus Nijhoff, 1986, p 545.

Mazumder, J. and Singh, J., "Proc. NATO Advanced Study Institute on Laser Surface Treatment of Metals", C.W. Draper and P. Mazzoldi, Ed., Martinus Nijhoff, 1986, p 297.

Mingxi, L., Yizhu, H., Guoxiong, S., "Laser Cladding Co-based Alloy/SiCp Composite Coatings on IF Steel", *Materials and Design*, 25(2004)4, 355-358.

Mingxi, L., Yizhu, H., Xiaomin, Y., "Effect of Nano-Y2O3 on Microstructure of Laser Cladding Cobalt-based Alloy Coatings", *Applied Surface Science*, Maanshan, 2005, 120-125.

Molins, R., Normand, B., Rannou, G., Hannoyer, B., Liao, H., "Interlamellar Boundary Characterization in Ni-based Alloy Thermally Sprayed Coating" *R. Materials Science and Engineering A*, 351(2003)1-2, 325-333.

Ocken, H., Velan, A.K., "Laboratory Evaluation of Cobalt-free, Nickel-Based Hardfacing Alloys for Nuclear Applications", Report NP-4993, 1987, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, 1935.

Oliveira, R., Vilar, C., Feder, G., " High Temperature Behaviour of Plasma Transferred Arc and Laser Co-based Alloy Coatings", *Applied Surface Science*, 201(2002)1-4, 154-160.

Olson, D.L., "Prediction of Austenitic Weld Metal Microstructure and Properties", *Weld Journal*, Vol. 64, 1985, 2185-2195.

Phalnikar, C.A., Evans, E.B., Baldwin, W.M., "Silicon Contamination Effects in The Oxidation of Carbide-Containing Cobalt-Chromium Alloys", *Material Corrosion*, Germany, 49(1999) 12 , 855 – 863.

Placko, H. E., Brown, Stanley A., Payer, H. J., "Effects of microstructure on the corrosion behavior of CoCr porous coatings on orthopedic implants", *Journal of Biomedical Materials Research*, 39(1998)2, 292 – 299.

Planche, M., Liao, H., Coddet, C., "Study on The Behaviour of The In-Flight Particle of Arc Spraying", Basel Switzerland, 2005.

Rausch, J.J., McAndrew, J.B., Simcoe, C.R., "In High Temperature Materials II", Gordon and Breach, New York, 1963, 123-127.

Rocca A.V. La, "Proc. NATO Advanced Study Institute on Laser Surface Treatment of Metals", C.W. Draper and P. Mazzoldi, Ed., Martinus Nijhoff, 1986, p 521.

Schwarz, W., Warlimont, H., "A New Series of Co-based Amorphous Alloys and Their Application as Cladding Materials", *Materials Science and Engineering A*, 226-228(1997), 1098-1101.

Sims, C.T., "A Contemporary View of Cobalt-based Alloys", *Journal of Metals*, 21(1969), 27-32.

Sims C.T., *Cobalt Base Alloys*, Mc Graw Hill Co., New York, 1972.

Steen W.M., "Proc. NATO Advanced Study Institute on Laser Surface Treatment of Metals", C.W., Draper and P. Mazzoldi, Ed., Martinus Nijhoff, 1986, p 369.

Subramanyam, D.K, Swansiger A.E. and Avery, H.S., "Austenitic Manganese Steels, Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance Alloys", Vol. 1, ASM Handbook, ASM International, 1990, 822-840.

Thomas R.D., "Weld Overlays, Welding, Brazing, and Soldering", 9th ed., Vol 6, Metals Handbook, American Society for Metals, 1983, p 804-819.

Unger, R.H., "Thermal Spray Coatings", Corrosion, 9th ed., Vol 13, ASM Handbook, ASM International, 1987, 459-462.

Wagner, H.J., Hall, A.M., "The Physical Metallurgy of Cobalt-base Super Alloys", Defense Metals Information Center, Battelle Memorial Institute, Colombus, Ohio, 1962.

Wang, X.H., Zou, Z.D., Qu, S.Y., Soug, S.I., "Microstructure and Wear Properties of Fe-based Hardfacing Coating Reinforced by TiC Particals", J. Of Materials Processing Technology, 168(2005)1, 89-94.



ÖZGEÇMİŞ

1962 yılında Eskişehir’de doğdu. Evli ve 2 çocuk babasıdır. İlk ve orta öğrenimini Eskişehir’de tamamladı. 1986 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim ABD’den mezun oldu. 5 yıl MEB Kayseri ve Bozüyük’te öğretmen ve idareci olarak çalıştı. 1991 yılında YÖK Dünya Bankası II. Endüstriyel Eğitim projesinden Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Makine programına Öğr. Gör. olarak atandı ve aynı yıl İngiltere’ye 9 ay süreyle kursa gitti. 1999 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimini tamamlayarak Doktora eğitimine başladı. 2005 yılı Eylül ayında Doktora tezini tamamlayarak aynı enstitüye teslim etti. Halen F.Ü. Teknik Bilimler MYO’ da Öğr. Gör., Makine program koordinatörü ve MÜD. Yrd. olarak görevini sürdürmektedir.

