



**DUPLEKS PASLANMAZ ÇELİĞİN FeMo/B₄C ve FeMo/FeCrC ile PLAZMA
TRANSFER ARK YÖNTEMİNDE YÜZEY MODİFİKASYONU**

Önder KESKİN

**Yüksek Lisans Tezi
Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil DİKBAŞ
AĞUSTOS-2019**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DUPLEKS PASLANMAZ ÇELİĞİN FeMo/B₄C ve FeMo/FeCrC İLE
PLAZMA TRANSFER ARK YÖNTEMİNDE YÜZEY
MODİFİKASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Önder KESKİN

(Enstitü no: 091122109)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 10 Temmuz 2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 02 Ağustos 2019

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Halil DİKBAŞ (F.Ü.)



Doç.Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ (F. Ü.)



Doç. Dr. Ömer GÜLER (Mersin Ü.)



AĞUSTOS 2019

ÖNSÖZ

“Dupleks Paslanmaz Çeliğin FeMo/ B4C İle Plazma Transfer Ark Yönteminde Yüzey Modifikasyonu” başlıklı bu çalışma Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi A.B.D. yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın her safhasında bana yol gösteren ve yakın ilgisi ile büyük destek sağlayan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi. Halil DİKBAŞ’ a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamla ilgili bilgi birikimini benden esirgemeyen ve bana yol gösteren Prof. Dr. Mustafa TAŞKIN’ a, Doç Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ’ ne ve Doç. Dr. Ali Kaya GÜR’ e çok teşekkür ederim. Tezin optik mikroskop (OM) görüntülerinin alınması, mikrosertlik ölçümleri, XRD ve aşınma deneylerinde bana yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Ömer GÜLER ve Arş. Gör. Dr. Turan GÜRGENÇ’ e de ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem İlmayet KESKİN’e, babam İrfan KESKİN’e tezim boyunca manevi desteklerinden ötürü eşim Suzan KESKİN’e. teşekkürü bir borç bilirim.

Önder KESKİN
ELAZIĞ-2019

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
TABLolar LİSTESİ	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. KAPLAMALAR VE YÜZEY İŞLEMLERİ.....	8
3.1. Kaplamanın Tanımı ve Yapısı	8
3.1.1. Kaplama Türleri	8
3.2.9.5. Plazma Transfer Ark Kaynağı.....	11
3.2.9.5.1. PTA Kaynağında Plazmanın Oluşumu.....	12
3.2.9.5.2. PTA Kaynağında Arkın Oluşturulması	14
3.2.9.5.3. Plazma Arkı İle Kaynak	16
3.2.9.5.4. Uygulama Özellikleri	17
4. PASLANMAZ ÇELİKLER	19
4.1. Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel Özellikleri	19
4.2. Paslanmaz Çelik Türleri	20
4.2.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler	21
4.2.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler	22
4.2.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler	23
4.2.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler.....	23
4.2.5. Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler	24
5. MATERYAL VE METOT	26
5.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler	26
5.2. Plazma Transfer Ark (PTA) Yöntemiyle Yüzey Kaplama İşlemi	27
5.2.1. Yüzey Kaplama İşlemi İçin Numunelerin Hazırlanması	27
5.2.2. Plazma Transfer Ark (PTA) Yöntemiyle Yüzey Kaplama İşlemi	29
5.3. Mikroyapı Numunelerinin Hazırlanması ve İncelenmesi	31
5.4. Sertlik Ölçümleri	32

5.5.	Adhesiv Aşınma Testi	32
6.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR	33
6.1.	Mikroyapı Sonuçları.....	33
6.2.	Mikrosertlik ve Aşınma Sonuçları	47
7.	GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER	53
8.	KAYNAKLAR.....	54
	ÖZGEÇMİŞ	61



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1 Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel Özelliklerinin Normal Çelikler İle Karşılaştırılması.....	19
Tablo 4.2. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri	24
Tablo 5.1 Kaplamada kullanılan AISI 2205'in spektral analiz bileşim sonucu	25
Tablo 5.2 PTA Kaplamada üretim parametreleri.....	28



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1	Yüzey Modifikasyon Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	10
Şekil 3.2	Plazma transfer ark kaynağının şematik görünüşü.....	12
Şekil 3.3	Maddenin plazma haline geçişi.....	13
Şekil 3.4	PTA plazmasının ısı dağılımı.....	13
Şekil 3.5	PTA kaynağında nozul ve elektrod.....	14
Şekil 3.6	PTA kaynağında pilot ark (Transfer olmamış ark)	15
Şekil 3.7	PTA kaynağında transfer olmuş ark	16
Şekil 3.8	Plazma transfer ark kaynağının şematik görünüşü.....	17
Şekil 4.1.	Değişik paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr miktarları	21
Şekil 5.1	Numunenin kaplama öncesi şematik şekli ve boyutları.....	27
Şekil 5.2	Numunenin kaplama öncesi dijital resmi.....	28
Şekil 5.3.	Kaplama tozlarının yapıştırılmasının hazırlanma aşamasının şematik görünümü	28
Şekil 5.4. a.	Kaplama işlemi dijital resmi ve pilot ark b. İşlemin şematik görüntüsü ve torcun kısımları	30
Şekil 5.5.	Thermal Dynamic/Ark Plazma Transfer Ark (PTA) kaynak makinesinin tüp bağlantıları ve kontrol panosu	31
Şekil 6.1.	PTA yöntemi ile kaplanmış numunelerin makro fotoğrafları.	34
Şekil 6.2.	N1 numunesine ait OM görüntüsü.	35
Şekil 6.3.	N2 numunesine ait OM görüntüsü.	35
Şekil 6.4.	N3 numunesine ait OM görüntüsü.	36
Şekil 6.5.	N4 numunesine ait OM görüntüsü.	36
Şekil 6.6.	N5 numunesine ait OM görüntüsü.	37
Şekil 6.7.	N6 numunesine ait OM görüntüsü.	37
Şekil 6.8.	N7 numunesine ait OM görüntüsü.	37
Şekil 6.9 .	XRD analiz sonuçları a) N1, b) N3 ve c) N6 numunesi.	38

Şekil 6.10. N1 numunesine ait SEM görüntüsü.	40
Şekil 6.11. N2 numunesine ait SEM görüntüsü.	41
Şekil 6.12. N3 numunesine ait SEM görüntüsü.	42
Şekil 6.13. N4 numunesine ait SEM görüntüsü.	43
Şekil 6.14. N5 numunesine ait SEM görüntüsü.	44
Şekil 6.15. N6 numunesine ait SEM görüntüsü.	46
Şekil 6.16. N7 numunesine ait SEM görüntüsü.	47
Şekil 6.17. Kaplanmış numunelerin mikrosertlik dağılımları.	48
Şekil 6.18. Kaplanmış numunelerin ve altlık malzemenin aşınma kayıpları.	49
Şekil 6.19 . AISI2205 çeliği aşınma yüzey SEM görüntüsü.	49
Şekil 6.20. N1 numunesinin aşınma yüzey SEM görüntüsü.	50
Şekil 6.21. N2 numunesinin aşınma yüzey SEM görüntüsü.	50
Şekil 6.22. N3 numunesinin aşınma yüzey SEM görüntüsü.	51
Şekil 6.23. N4 numunesinin aşınma yüzey SEM görüntüsü.	51
Şekil 6.24. N5 numunesinin aşınma yüzey SEM görüntüsü.	53
Şekil 6.25. N6 numunesinin aşınma yüzey SEM görüntüsü.	53
Şekil 6.26. N7 numunesinin aşınma yüzey SEM görüntüsü.	53

ÖZET

Bu çalışmada, AISI 2205 dupleks paslanmaz çeliğinin yüzeyi farklı oranlarda karıştırılan FeMo, B₄C ve FeCrC alaşım tozları ile plazma transfer ark (PTA) kaynak yöntemi ile kaplandı. Yüzey kaplama işlemi 0.15 m/dk ilerleme hızı, 130 A akım değerinde ve argon atmosferinde gerçekleştirildi. Elde edilen numunelerin kaplanmış yüzey tabakaları mikroyapıları optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve enerji dağılımlı X-ışınları (EDS) yöntemleriyle analiz edildi. Mikrosertlik ölçümleri mikrosertlik test cihazında gerçekleştirildi. Kuru kaymalı aşınma özellikleri blok-on-disk tip aşınma deney cihazı kullanılarak belirlendi. Aşınma testleri 30 N yükte ve 900 m kayma mesafesinde gerçekleştirildi.

Yapılan deneylerde, toz karışım oranına göre farklı mikroyapıların oluştuğu tespit edildi. FeMo kaplanan numunenin kaplama tabakasında Cr₂C₃, MoNi₄, CrNi ve Cr₂Fe₁₄ fazları, FeMo-B₄C kaplanan numunenin kaplama tabakasında B₂O₃, Fe₅C₂, Cr₆Fe₁₈Mo₅, Cr₇C₃, Cr₂₃C₆ ve B_{41,33}C_{4,45} fazları, FeMo-FeCrC kaplanan numunede ise Ni₆Mo₆C ve Cr₇C₃ fazları tespit edildi. Kaplanmış numunelerin sertlik değerlerinin AISI 2205' den daha yüksek olduğu ve en yüksek sertlik değerinin FeMo-75B₄C ile kaplanan numunede 318 HV olduğu belirlendi. Kaplanmış numunelerin sertliklerinin B₄C ve FeCrC oranının artmasıyla arttığı tespit edildi. Kaplanmış numunelerin aşınma dirençleri altlık malzemeden daha yüksek olduğu ve en yüksek aşınma direncine sahip numunenin FeMo-75B₄C ile kaplanan numune olduğu tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: AISI 2205, Plazma Transfer Ark (PTA) kaynağı, Yüzey Kaplama, FeMo, B₄C, FeCrC, Aşınma.

SUMMARY

Surface Modification of Duplex Stainless Steel with FeMo / B₄C and FeMo/FeCrC Powders by Plasma Transfer Arc Method

In this study, the surface of AISI 2205 duplex stainless steel was coated with FeMo, B₄C ve FeCrC alloy powders mixed in different ratios by plasma transfer arc (PTA) welding method. The surface coating was carried out at a feed rate of 0.15 m/min, a current of 130 A and an argon atmosphere. Coated surface layers microstructures of the obtained samples were analyzed by optical microscope (OM), scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD) and energy dispersive X-ray (EDS) methods. Microhardness measurements were performed on microhardness tester. Dry sliding wear properties were determined using block-on-disc type wear tester. Wear tests were performed at 30 N load and 900 m sliding distance.

In the experiments, different microstructures were determined according to the powder mixture ratio. Cr₂C₃, MoNi₄, CrNi and Cr₂Fe₁₄ phases were determined in the coating layer of FeMo coated sample, B₂O₃, Fe₅C₂, Cr₆Fe₁₈Mo₅, Cr₇C₃, Cr₂₃C₆ and B_{41,33}C_{4,45} were determined in the coating layer of FeMo-B₄C coated sample and Ni₆Mo₆C ve Cr₇C₃ were determined in the coating layer of FeMo-FeCrC coated sample. The hardness values of the coated samples were higher than AISI 2205 and the highest hardness value was 318 HV in FeMo-75B₄C coated sample. The hardness of the coated samples increased with increasing B₄C and FeCrC ratio. It was determined that the wear resistance of the coated samples was higher than the substrate material and the sample with the highest wear resistance was FeMo-75 B₄C coated sample.

Keywords: AISI 2205, Plasma Transfer Arc (PTA) Welding, Surface Coating, FeMo, B₄C, FeCrC, Wear.

1.GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle, metal yüzeylerinin her türlü zararlı ortamdan korunması, buna bağlı olarak kullanım alanlarının maruz kaldıkları korozyon, sürtünme, yorulma ve aşınmalara karşı mukavemetli olmaları amacıyla yüzey mühendisliği ön plana çıkıyor ve önemi gün geçtikçe artıyor. Endüstri ortamında gerek duyulan ve kullanılan metalik malzemelerin uzun ömürlü olmaları istediğinden bilimsel çalışmalar bu yönde ağırlık kazanıyor. Mekanik ve kimyasal olayların malzemeye yönelik zararlı etkilerini önlemek veya minimize etmek için yüzey modifikasyonu yöntemlerine ihtiyaç duyulur. Yüzey kaplama sonucu oluşan katmanlar, metalik malzemenin mekanik özelliklerini geliştirerek kullanılacak ortama karşı daha dayanıklı hale getirir.

1970’li yıllarda malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla iyon implantasyonu üzerinde çalışmalar yapılmış, bundan önemli ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Çalışmalar, özellikle çeliklerin sertlik ve aşınma dayanımı (tribolojik performans) gibi yüzey özelliklerinin iyon implantasyonu yoluyla geliştirilebilirliği üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Son 20 yıllık süreçte iyon – çelik kombinasyonu ile ilgili bir çok araştırma yapılmıştır. Bu alanda en göze çarpan işlemler; azot elementiyile, krom veya titanyum gibi metallerin implantasyonudur (Islak. 2003).

Malzeme yüzeyinin mekaniksel özelliklerinin geliştirilmesin kolay yolu yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirmeksizin yapılan yüzeyin sertleştirme işlemidir. Malzeme yüzeyinin sert ve aşınmaya dayanıklı, alt tabakanın ise sünekliği ve yeterli mukavemet elde edilmesi istendiğinde yüzeyin sertleştirme veya yüzeyin kaplaması metotları seçilebilir (Yıldırım ve diğ., 2001). Bu metotla malzeme yüzeyi sert ve aşınma direnci yüksek, iç kısımda ise yeterli dayanıklılık ve enerji absorbe edebilecek şekilde tokluğu yüksek bir malzeme elde edilmiş olur. Ayrıca difüzyon esaslı yöntemlerle de yüzey başkalaşımı sağlanabilir. Bu metotda N, B ve C gibi atom çapı küçük elementler malzeme yüzeyine difüzyon yoluyla geçiş sağlar (Yıldırım ve diğ., 2001; Topbaş, 1998).

Bunların haricinde, lazer ve plazmayla yüzey kaplama, plazma nitrürleme, fiziksel ve kimyasal yolla buhar depolama ve metal toz püskürtme yoluyla; yüzeyleri aşınmaya, korozyona ve yorulmaya dayanıklı malzemeler üretilmektedir (Orhan, 2008; Islak, 2003). Kaplama tekniklerini; buhar fazı, elektrolitik yöntem, termal püskürtme ve ergitme esaslı yöntemler olarak sınıflandırılabilir.

Gaz transfer ark yöntemi (GTA) yöntemiyle, yüksek yoğunluklu lazer ve termal sprey yöntemlerine göre kullanımda kolaylık ve maliyet oranlarını düşürdüğünden dolayı tercih edilme sebebidir. GTA yöntemi uygulanan yüzey kaplamaları incelendiğinde; mikroyapıları ince taneli ve hızlı katılma özelliğine sahip oldukları görülür. Son zamanlarda GTA yönteminin alternatifi olarak plazma transfer ark (PTA) yöntemi de kaplama tekniklerinde kullanılmış ve istenilen sonuçlar alınmıştır. PTA yöntemi (Papadimitriou ve diğ., 2007), ilke olarak GTA yöntemi gibi uygun bileşime ait alaşımın tozu veya tozların alt tabakasının malzeme yüzeyi ile bütünleşmesi yoluyla yapılan bir birleştirme yöntemidir (Korkut ve diğ., 2002). İki malzemenin ergimesi aynı anda oluşur ve sıvılaştıran bölge hızlıca katılır, modifikasyon yapılan esas malzeme ile kaplama malzemesi birbirlerine metalurjikselsel açıdan bağlanır (Buytoz ve diğ., 2003; Korkut ve diğ., 2002).

PTA yöntemi, GTA yöntemiyle kıyaslama yapıldığında; maliyet bakımından daha yüksektir fakat enerji girdisinin sürekli oluşu, ergime bölgesinde lokal olarak meydana gelen yüksek ısı, kaplanan malzemelerde çarpılma oluşmaması, insan etki faktörünün ortadan kaldırılması ve oluşabilecek hataların minimize edilmesinden dolayı tercih edilir.

Bu çalışmanın amacı; AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğe, plazma transfer ark (PTA) yöntemiyle yüzey özelliklerinin değiştirilerek, mikroyapısının ve oluşan fazların incelenmesi, kaplama bölgesinin sertliğinin deneysel araştırılması yapılmıştır. Bu nedenle AISI 2205 çeliğine yüzey modifikasyonu tekniklerinden plazma transfer ark (PTA) yöntemiyle kaplama yapılmıştır. Mikroyapı inceleme işlemlerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM), noktasal analiz tekniği (EDS), X-ışını difraktogramı (XRD) ve optik mikroskop (OM) 'lerden yararlanılmıştır. Yüzeyde modifiye sonucu edilen kaplama tabakasının sertliği, mikrosertlik cihazlarıyla ölçülmüştür.

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Teknolojinin gelişmesiyle beraber malzemelerden istenilen özelliklerde çok çeşitli hale gelmiştir. Bu özelliklerin birçoğu, ekonomik ve kolay uygulanabilirliğinden dolayı sadece modifikasyon işlemi ile yapılabilmektedir.

Yüzey modifikasyonu işleminin en önemli amacı, malzemelerin aşınma ve korozyon direncini yükselterek servis ömürlerini uzatmaktır. Bu amaçla seçilen bir alt yüzey malzemesinin üzeri uygun kaplama tekniklerinden birisi kullanılarak, koruyucu bir tabaka ile kaplanır. Yüzey modifikasyonunda kullanılan malzemeler toz ya da tel şeklinde olabilir. Bu işlem orijinal parça üretiminde kullanılabileceği gibi hasar görmüş malzemelerin onarımında da başarı ile kullanılmaktadır. Sert, ince ve aşınma dayanıklı yüzey elde edebilmek için kaplama uygulaması ve yüzey modifikasyon yöntemleri sırasıyla; karbürleme, borlama, nitrürleme, karbonitrürleme (Modenesi ve diğ., 2000), plazma esaslı fiziksel buhar depolama (Molinari ve diğ., 2001; Zhong ve diğ., 2002; Lu ve diğ., 2004), plazmayla (Berns ve Fischer, 1997; Deuis ve Subramanian, 1998), toz püskürtme (Perchlik ve diğ., 2001) yöntemleriyle yapılmaktadır (Buytoz, 2004; Korkut., 2002).

PTA ile yapılan yüzey kaplamaları incelendiğinde, Fe-B₄C kompozit tozunu PTA ile kaplanmış ve Fe esaslı yüzey kaplama alaşımındaki B₄C'ün metalürjik davranışı incelenmiştir (Xibao, 2005). Yüzeye verilen akımının fazlaştıracısıyla daha fazla B₄C tanesinin ergiyeceğinden ve sıvı demir (Fe) esaslı alaşım ile daha çok tepkimeye gireceğini bildirmişlerdir. PTA yüzey kaplama şartlarında Fe-B₄C kompozitinin tozu üretim sırasında karbürler olarak Fe ile tepkimeden çok grafit olarak katılaşmaya eğilim gösterdiğini, fakat B₄C tanesinin sayısının artması; ergime ve daha sonrasında katılaşma sonucu malzeme yüzeyinde oluşan B₄C karbürlerin haricinde C (grafit) oluşumunun arttığı izlenmiştir.

Papadimitriou ve Bourithis'in (2003) yaptığı çalışmaların ilkinde, GTA yöntemiyle, TiC ve WC tozlarıyla orta C'lu çeliğe uygulanan kaplamalarda Fe-B ve Fe-Cr-B kaplamalarında boritler ve ötektik bölgeler içerdiği ayrıca aşınım dirençlerinin mükemmel olduğu gözlemlenmiştir. Diğer yöntemde ise; PTA yöntemi ile yapılan Fe-Cr-B ve Fe-B kaplamalarında; bor içeren alaşımlanmış yüzey tabakası ve ötektik bölgeler elde edilmiş olup her iki kaplamada da mükemmel aşınma direnci ve yüksek sertlik göstermiştir.

Hejwowski tarafından (2006), PTA kaynak yöntemi ile Co ve Fe-Ni esaslı alaşımların kaplaması yapılmış ve kaplama tabakalarına aşınma testi uygulanmıştır. Sonuçta olarak;

SEM ve EDS incelenmesinde tespit edilen oksitli tabakaların, metal-metal temasını engellediği gözlemlenmiştir. Ni-Co ve Ni alaşımlarının potansiyel farkları 40,4 ve 64,3 şeklinde tespit edilmiştir. Ayrıca Ni alaşımına ait aşınma direnci Co alaşımına ait aşınma direncinden 2 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Hou ve arkadaşları (2006) plazma kaynağı ile yapılan Fe-Cr-C-Cu kaplaması çalışmasında altlık olarak Q₂₃₅ karbon çeliğini kullanılmıştır. Cu oranı ağırlıkça %3'tür. Kaplamalar daha sonra 35 saat boyunca 773⁰K sıcaklığında yaşlandırılmıştır. Yaşlandırılmış tabakanın mikroyapı özellikleri; kübik hacim merkezli kristal yapılı ve α -fazlı (martenzit) olduğu, M₂₃C₆ fazının kübik yüzey merkezli mikro yapıya sahip olduğu ve M₇C₃ fazının ortorombik kristal yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Martenzit matris içinde tercih edilen yönde (110) kristal yüzeyde yüksek yoğunluklu dislokasyonların olduğu bulunmuştur. 773⁰K sıcaklığında 35 saat boyunca yapılan yaşlandırma işlemi sadece M₇C₃ tane sınırlarında ϵ -Cu faz çökmesine sebep olduğu gibi zengin Cr karbürlerin ağırlıkça %22,8 den %28,7 artmasına sebep olmuştur. Bu tabakanın mikrosertliği ve kayma aşınma direnci; ϵ -Cu fazının çökmesiyle ve Cr- zengin karbürün artmasıyla yükseldiği sonucuna ulaşılmıştır.

Xibao ve arkadaşları, (2005) Fe-Ti-B-C kompozitlerine PTA kaynak yöntemiyle yapılan kaplamada; sertlik ve çatlak oluşumlarını incelemiştir. TiB₂ whiskerler in-situ işlemiyle üretilmiş olup şekli, sürtünme hacmi ve oranının B/Ti oranına ve ark enerjisinin yoğunluğuna bağlı olduğu tespit edilmiştir. Bunların arasında ve ayrıca çatlama direnci arasında bir doğrusal oran vardır.

Dauis ve arkadaşları, (1997) yaptıkları çalışmada, PTA yöntemiyle metal-matrisli kompozit kaplamaları incelenmiştir. PTA kaplama yöntemi hakkında genel bilgiler verilmiştir. PTA kaplamanın işlem parametreleri, metalik alaşımlama, MMC kaplama, PTA kaplama uygulamaları ve uygulamaların aşınma davranışları, PTA kaplamanın endüstriyel uygulama alanları hakkında genel bilgiler vermişlerdir.

Wang ve arkadaşları (2006) yapılan bir çalışmada; TiB₂ içerikli Fe-B-C kompozit malzemesine PTA kaynak yöntemiyle kaplama yapılmıştır. Farklı sürelerde ve farklı sıcaklıklarda aşınma direncine bakılırken farklı kaynak akımları da kaynak parametresi seçilmiştir. Kaplamalara ait ısıl kabiliyetleri; ark plazma direncine ve aşınma direncine bağlı olduğu ayrıca kaplamaların yüksek sıcaklıkta çok iyi performans sergilediği saptanmıştır. Sonuç olarak; en iyi aşınma direncinin 600°C'de, ısıl direncinde 900°C'de

meydana geldiği tespit edilmiştir. Daha iyi kaplama şartlarının 7 s–120 A ark direncinde olduğu tespit edilmiştir.

Gatto ve arkadaşları, (2004), PTA yöntemiyle ASTM A105/97 standardında sade karbonlu çelik yüzeyine 90°'lik köşe ve bozulmuş kama yuvasına uygulanmıştır. Kaplama tozu olarak, aşınma ve korozyon dayanımları iyi olan Ni esaslı Hastelloy C–276 ile İnconel 625 ve Co esaslı Stellite 6 tozları kullanılmıştır. 90°'lik köşe dolgusunda Hastelloy C–625 ile yapılan kaplamada maksimum mikrosertlik 235 HV, İnconel 625 ile yapılan kaplamada maksimum mikrosertlik 282 HV ve Stellite 6 ile yapılan kaplamada maksimum mikrosertlik 625 HV çıkmıştır. Kama yuvası dolgusunda Hastelloy C–625 ile yapılan kaplamada maksimum mikrosertlik 196 HV, İnconel 625 ile yapılan kaplamada maksimum mikrosertlik 218 HV ve Stellite 6 ile yapılan kaplamada maksimum mikrosertlik 433 HV çıkmıştır.

Branagan ve iki arkadaşının (2006) yaptığı bir çalışmada; demir esaslı metal alaşımlı PT 4 çubuğa plazma transferli ark kaynağı (PTAW) ile yüzey sertleştirme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta geleneksel dentritik katılaşmasının, birleştirilen bir çubuğun ötektoid büyüme biçimi boyunca metalürjik tane/faz boyutlarının artmadığı görülmüştür. Rc 66 malzemesi üzerinde sertlik artışı, B₄C fazının bir miktar yükselmesiyle elde edilmiştir. Birleştirilen bir çubuğun morfolojisinde, yumuşak demirle B₄C fazlarının etkili dağılımı, çatlak köprü kurması için özellikle gerekli olduğu ve yüksek sertlikle beraber yüksek sertliğin bileşimlerinin elde edilmesinin sağlanacağı görülmüştür. PTAW alaşımların yüzeyini sertleştirdiği için, tanelerin yeni büyüme biçimi ve yeni mikroyapısının, elde edilmesi için bu sistem bir buluştur ve yüzey serleştirme işlemlerinde yenidir. Böylece, bu yeni PTAW sert yüzey sınıfı alaşımlarından, yüksek aşınma direnci ve yüksek darbenin gerekli olduğu uygulamalar için yararlı olacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Iakovou ve arkadaşları, (2002), PTA yöntemiyle Uddeholm Calmax takım çeliğinin yüzeyini borla kaplamışlardır. Kaplama tabakasının kalınlık maksimum 1,5 mm kalınlığında, mikrosertlik ise 1000–1300 HV civarında çıkmıştır. Mikroyapıda ikincil Fe₂B tipi borürler ile martenzit ve borürlerin karışımı ötektikler elde edilmiştir. Ötektik bölgede bazı mikro çatlaklar görülse de aşınma davranışına olumsuz bir etkisi olmamıştır. Kaplama tabakasının yapılan aşınma davranışında çok iyi aşınma oranları elde edilmiştir.

Liu ve arkadaşları, (2006), PTA yöntemi ile uygulanan (Cr,Fe)₇C₃ / γ -Fe seramik kompozitlerin kaplama bölgesinin adhesiv aşınma direncini ve mikroyapıları incelemişler. Çalışmalarında alt tabaka 0,45 C'lu çeliğinin yüzeyine PTA yoluyla FeCrC kaplaması

yapılmıştır. Kaplamanın tabakasında hızlıca katılaştan seramik ikincil dentritler $(Cr,Fe)_7C_3$, ve dentritler arası $(Cr,Fe)_7C_3 / \gamma\text{-Fe}$ içeren ötektik faz meydana gelmiştir. Kaplamaya ait işlem 120 A ve Ar atmosferinde uygulanmıştır. Meydana gelen M_7C_3 ve M_7C_3 / γ fazlarından dolayı kaplama tabakasına ait aşınma direnci oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Kaplama tabakasına ait aşınma davranışı alt malzeme % 0,45 C'lu çelikten 35 kat yüksek olduğu ortaya çıkmıştır ve kaplama tabakasına ait maksimum mikrosertlik yaklaşık 850 HV çıkmıştır.

Bourithis ve Papadimitriou, (2005), PTA yöntemiyle AISI 1118 çeliğinin yüzeyine dört farklı kombinasyona sahip kaplama yapılmıştır. Bu kaplamalar;

- I. % 4.1 C, % 33.4 Cr, % 12.5 Mo, % 50.0 TiC
- II. % 3.4 C, % 23 Cr, % 28.7 Mo, % 30.5 WC, % 14.4 VC
- III. % 100 B
- IV. %100 CrB_2 , bileşikleridir.

Bu kaplama tabakaları daha sonra abrasiv aşınma testine tabi tutulmuştur. I. Kaplama grubunda TiC, östenit ve martenzit yapılar; II. Kaplama grubunda M_2C ve M_6C karbürleri; III. Kaplama grubunda Fe_2B ve FeB karbürleri; IV. Kaplama grubunda Fe_2B ve ferritler görülmüştür. Kaplamaların mikrosertlikleri I. ve II. Nolu grupta $700\text{ Hv} \pm 70$, III. Nolu grupta $1200\text{ HV} \pm 150$, IV nolu grupta $20\text{ HV} \pm 100$ çıkmıştır.

Zhao ve arkadaşları, (2002), PTA yöntemiyle AISI 1020 çeliğinin yüzeyine Ni esaslı Stellite Ni60 alaşımıyla kaplamışlardır. İşlem 150 A'de Ar atmosferinde yapılmıştır. İşlem sonunda kaplama tabakasında $M_{27}C_6$, M_7C_3 , Ni_3B karbürleri ile $\gamma\text{-Ni} + \text{Ni}(\text{B},\text{Si})$ dentritler arası ötektik ve $\gamma\text{-Ni}$ katı çözelti fazı oluşmuştur. Kaplama tabakasında ortalama mikrosertlik 780 HV civarında çıkmıştır.

Bourithis ve arkadaşları, (2002), PTA işleminin Calmax takım çeliğinin (% 0.60 C, % 0.80 Mn, % 0.35 Si, % 4.50 Cr, % 0.20 V, % 0.50 Mo) yüzeyine olan etkisi incelenmiştir. Takım çeliğinin ısıtma işlemi (yumuşatma tavlı) mikrosertliği 220 HV'dir. Çalışma 75 ve 80 A olmak üzere iki farklı akımda ve Ar atmosferinde yapılmıştır. 75 A'de işlem hızı 3.0 m/sn, koruyucu gazın debisi 1.7 m³/sn, 80 A'de işlem hızı 2.5 m/sn, koruyucu gazın debisi 1.2 m³/sn olarak seçilmiştir. Çalışma üç bölgede incelenmiştir. I. Esas metal, II. ITAP, III. Erimiş bölgedeki martenzit yapıları bölge. III. bölgenin XRD analizleri yapılmış ve bu bölgede östenit ve martenzit yapıları görülmüştür. İşlem sonunda III. bölgenin sertliği 850 HV'ye çıkmıştır. PTA işlem dikişi görmüş yüzeyin aşınma direnci de yüksek çıkmıştır. Yüksek soğutma hızlarına rağmen dikiş yüzeyinde çatlaklar gözlenmemiştir.

Darabara ve arkadaşlarınca 2006 yılında yapılan çalışmada; çeliğin yüzeyinde Fe-B-TiB₂ metal matrisli kompozit üretimi gerçekleştirmişler ve bu kaplamada kaynak yöntemi uygulanmıştır. Kaplamanın tabakalarına ait mikroyapı, aşınma test sonuçları incelenip ve sonuç olarakta; mikroyapı B ve TiB₂'den meydana gelirken artan B içeriğine bağlı olarak hipoötektik, ötektik veya hiperötektik FeB denge diyagramında değişken yapılar belirlenmiştir. B takviyeli tabakada matris ile kıyaslandığında da mekanik gerilme aşınma karakteristiğinde artma belirlenmiştir.

Bourithis ve arkadaşlarınca, (2003), PTA yöntemiyle AISI 1018 çelik yüzeyine Fe esaslı FeB ve Fe esaslı FeBCr alaşımlı iki farklı tozla kaplama yapmışlardır. FeB alaşımıyla yapılan kaplama tabakasında α -Fe, Fe₂B, FeB fazları, FeBCr alaşımıyla yapılan kaplama tabakasında α -Fe, Fe₂B fazları tespit edilmiştir. AISI 1018 çeliğinin mikrosertliği 180 HV'den; FeB ile yapılan kaplama işleminden sonra kaplama tabakasının mikrosertliği 1000–1300 HV arasında, FeCrB ile yalpan kaplama işleminde ise kaplama tabakasının mikrosertliği 900 HV civarında çıkmıştır. Kaplama tabakası 1900 HV sertliğinde Al₂O₃ küre tarafından adhesiv aşınma testine tabi tutulmuştur. FeB ile kaplanan tabakanın sürtünme katsayısı uygulanan yük ve mesafeye bağlı olarak 0.8–0.2 arasında; FeCrB ile kaplananda ise 0.15'ten düşük bulunmuştur.

3. KAPLAMALAR VE YÜZEY İŞLEMLERİ

3.1.Kaplamanın Tarifi ve Yapısı

Kaplama; malzemelerin dış yüzeyinin özelliklerini geliştirme işlemidir. Üretimi yapılan bir iş parçasının dış yüzeyinin, görülen ve karşılaşılabileceği her türlü koşullara dayanıklılığının geliştirilmesi önem arz eder. Yani kaplama; malzemelerin dış yüzeylerinin olumsuz etkilerini ve etkileşimlerini ortadan kaldırmak ve aşınmaya dayanıklı hale getirmek için bilinçli ve kontrollü olarak malzemelerin dış yüzeyindeki fiziksel ve kimyasal değişim olarak adlandırılabiliriz. Kaplama, malzemelerin özelliklerinin gelişmesini sağlar.

Kaplamaların yapısı; kaplamanın uygulama şekline göre farklılık gösterirler. Günümüzde en çok metalik kaplamalar koruma amaçlı ve ergitme yada difüzyon esaslı kaplamalar kullanılmaktadır. Yapılacak kaplamanın amacı, uygulanan malzemenin cinsi, kaplama kalınlığının ölçüsü, uygulanan yöntemin maliyeti ve uygulanış kolaylıkları gibi birçok sebep kaplama yapısının farklılığını ortaya koymaktadır.

3.1.1. Kaplama Türleri

Kaplama türleri geniş detaylarıyla Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

A. Malzeme Çeşidine Göre Kaplamalar

- 1. Metalik Olan Kaplamalar**
- 2. Metalik Olmayan Kaplamalar**

B. Uygulama Alanına Göre Kaplamalar

- 1. Koruyucu Kaplamalar**
- 2. Dekoratif Kaplamalar**

C. Üretim Yöntemlerine Göre Kaplamalar

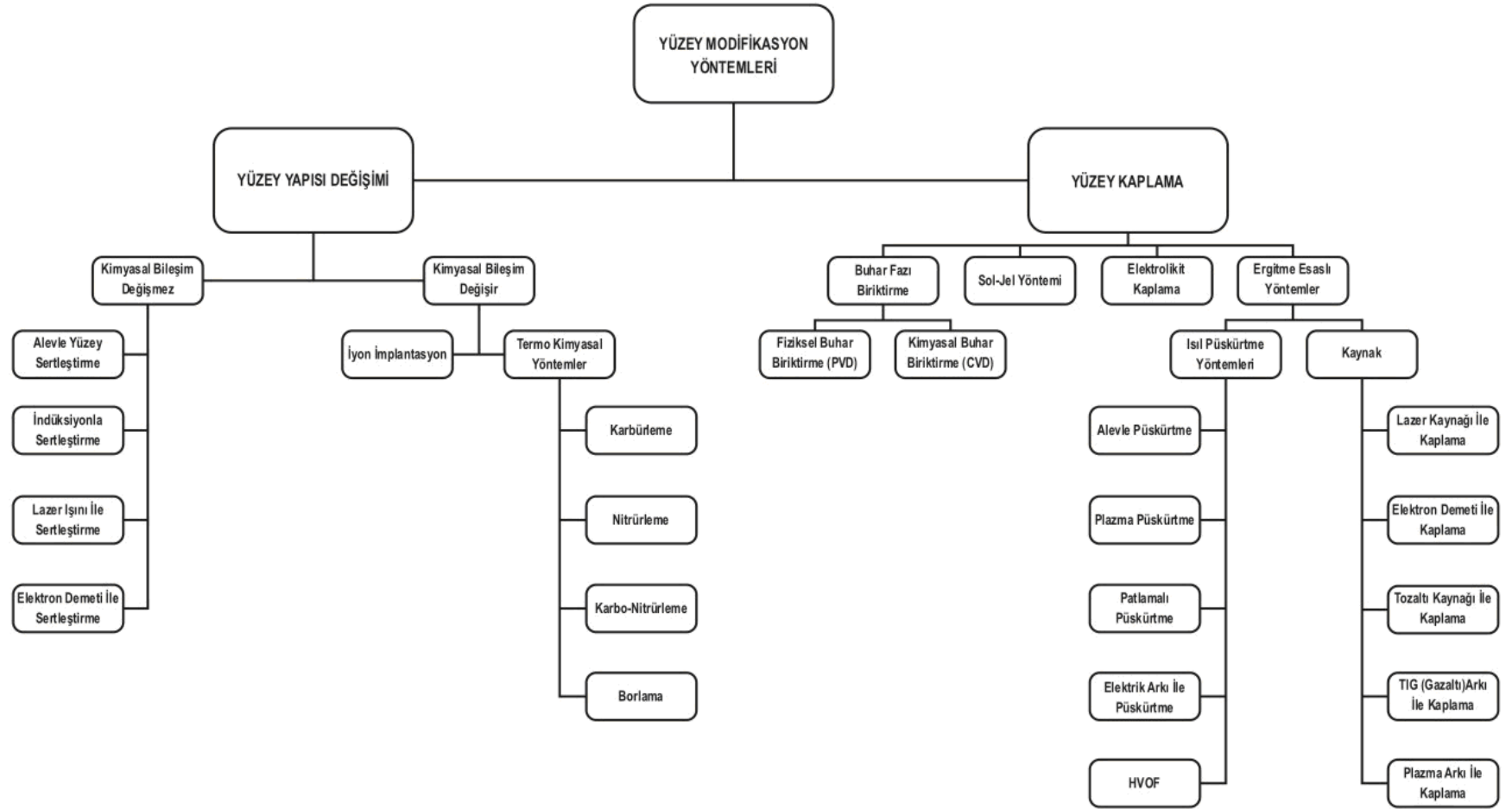
- 1. Plazma Esaslı Kaplamalar**
- 2. İyon Işını Esaslı Kaplamalar**
- 3. Elektron Işını Esaslı Kaplamalar**
- 4. Lazer Esaslı Kaplamalar**
- 5. Sprey (Püskürtme) Esaslı Kaplamalar**
- 6. Sürtünme Esaslı Kaplamalar**
- 7. İndüksiyon Esaslı Kaplamalar**

8. Difüzyon Esaslı Kaplamalar

- a) Karbürleme**
- b) Nitrürleme**
- c) Karbonitrürleme**
- d) Kromlama**
- e) Borlama**

9. Ark Esaslı Kaplamalar

- a) Gaz Tungsten Ark Kaynağı**
- b) Gaz Metal Ark Kaynağı**
- c) Plazma Ark Kaynağı**
- d) Toz Altı Ark Kaynağı**
- e) Elektro Cüruf Kaynağı**

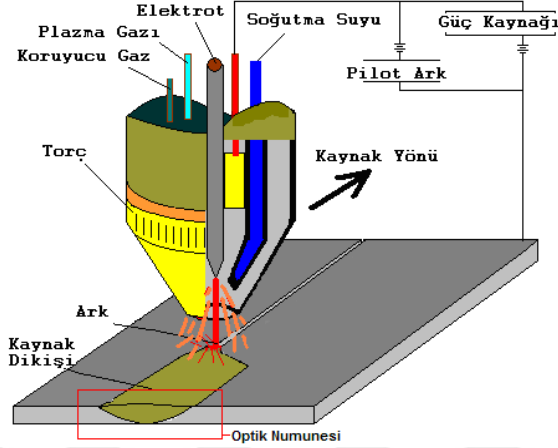


Şekil 3.1 Yüzey Modifikasyon Yöntemlerinin Sınıflandırılması (Orhan, 2006)

3.2. Plazma Transfer Ark Kaynağı

Bu açıklamadan; atomlardan, moleküllerden ve elektrotlardan oluşan kızdırılmış gaz anlaşılır. Plazma uygulamasında farklı iki ark düzeni kullanılır. Bunlar taşıyıcı olmayan ark ve taşıyıcı olan arktır. Taşıyıcı olmayan, ergimeyen tungsten elektrot ve suyla soğutulan bakır memenin arasında yanar. Bakır meme, arkı odaklayıcı, güç yoğunluğunu arttırıcı ve buna bağlı olarak plazma demetinin sıcaklığını yükseltici bir etki yapar. Tungsten elektrot negatif ve bakır memede pozitif olarak kutuplanmıştır. Bu şekildeki bir tertip plazmayla yapılan püskürtmede kullanılır. Buna karşılık arklı sistemde, tungsten elektrotun katot, memenin anot olarak bağlandığı, toryum oksitle alaşımlandırılmış tungsten elektrot ile ışın demetini odaklayan ve suyla soğutulan bakır memenin içerisinden geçerek iş parçası arasında yanar. Plazma gazı elektrotla meme arasındaki silindirik hacimde püskürtülür. Bu sistem birleştirme kaynağında ve plazma ile yapılan kesmede kullanılır. Taşıyıcı ark, yüksek frekans üzerinden geçirilen yardımcı ark ilk elektrot ve meme arasında yakılır. Taşıyıcı ark tutuştuğunda yardımcı ark söner. Yalnız mikro plazma kaynağında, kaynak işlemi esnasında yardımcı ark muhafaza edilir. Bir direnç vasıtasıyla yardımcı ark üzerinden akan akımın değeri sınırlanır. Plazma birleştirme kaynağında, plazma gazına ilaveten, kaynak banyosunu atmosferin tesirlerine karşı koruyan ikinci bir gaz akımı (% 99, 5 argon) kullanılır. Plazma kaynağı cihazlarının büyük bir çoğunluğunda üçüncü bir gaz akımı, plazma demetini odaklayıcı meme dışında daraltma için odaklayıcı gaz { Argon (Ar) + Helyum (He), Argon (Ar)+Hidrojen (H₂), Argon (Ar)+ Azot (N₂) } olarak kullanılmaktadır. 3 mm. kalınlıktan itibaren sacların plazma birleştirme kaynağında plazma demeti iş parçasına nüfuz edip, bir anahtar deliği oluşturur. İlerleyen kaynakla birlikte bu delik birleştirilecek sacların kaynak alınları boyunca hareket eder. Kaynak banyosunun ve delikteki buhar basıncının yüzey gerilimi nedeni ile erimiş malzeme deliğin hemen ardından birleşir ve kaynak dikişini oluşturur. Plazma doldurma kaynağında her iki arkın kombinasyonu kullanılır. Bu usulde düşey karakteristikli akım membaı kullanılmaktadır. Birinci akım membaı elektrot ile parça arasında ve ikinci akım elektrot ile parça arasına bağlanmıştır. Elektrot negatif, meme ve iş parçası pozitif olarak kutuplanmıştır. Taşıyıcı olmayan ark yüksek frekans üzerinden tutuşturulur ve tungsten elektrot ile iş parçası arasındaki taşıyıcı arkı iletir. Her iki ark kaynak işlemi sırasında yanar. Taşıyıcı arkın ayarı ile nüfuziyet miktarı ve onunla birlikte esas malzeme vasıtasıyla doldurma bölgesinin bileşim etkilenir. Genellikle toz halindeki doldurma malzemesi bir

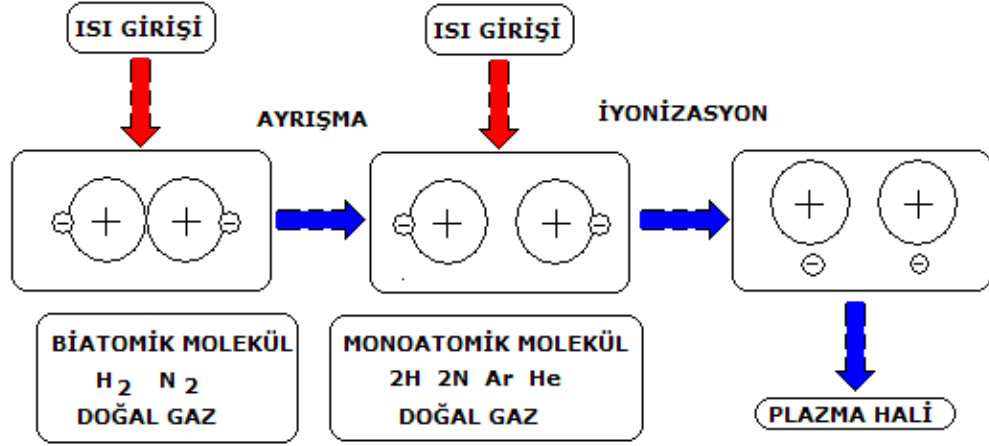
gaz akımı (% 99,95 Argon) üzerinden kaynak cihazına iletilir; plazma demetinde eritilir ve taşıyıcı arkla esas malzemeye kaynak edilir. Üçüncü bir gaz akımı da (%99,95 Argon) kaynak banyosunu atmosferin etkilerinden korur. Plazma arkının şematik olarak görünüşü Şekil 3.2’de görülmektedir (Anık ve Tülbentçi 1966).



Şekil 3.2 Plazma transfer ark kaynağının şematik görünüşü (Gür ve diğ. 2009)

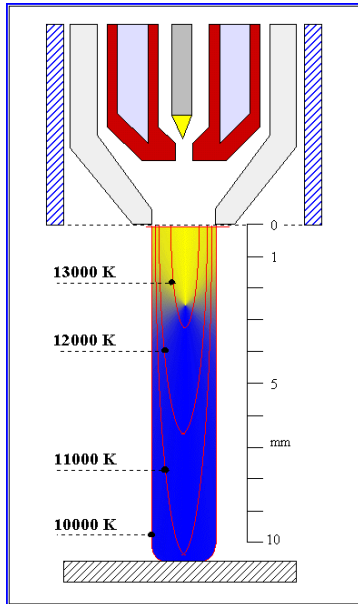
3.2.1. PTA Kaynağında Plazmanın Oluşumu

Bütün maddeler gaz fazında bulunduğu zamanlarda türü, özeliğine göre değişen bir sıcaklık derecesine kadar ısıtıldıklarında, moleküllerin hareketlenmesi sebebiyle atomlar dışındaki kabuğa ait elektronları yitirir ve pozitif yüklü iyonlar haline geçerler. Sıcaklık arttıkça, iyonlaşmanın derecesi de artar, sıcaklık birkaç 10000 ⁰C gibi maddeye göre değişen bir eşik değerinden sonra ortamda sadece pozitif yüklü iyonlar ve serbest elektronlardan meydana gelmiş bir karışım bulunur. Elektriksel açıdan nötr ve yüklü parçacıklardan oluşması sebebiyle iletken olan bu karışım plazma olarak adlandırılır. Gaz halinde bulunan madde; elektron bombardımanı, radyasyon ya da ısıtılarak iyonize edilebilir. Maddenin plazma haline geçişi Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3 Maddenin plazma haline geçişi (Gür ve diğ. 2009)

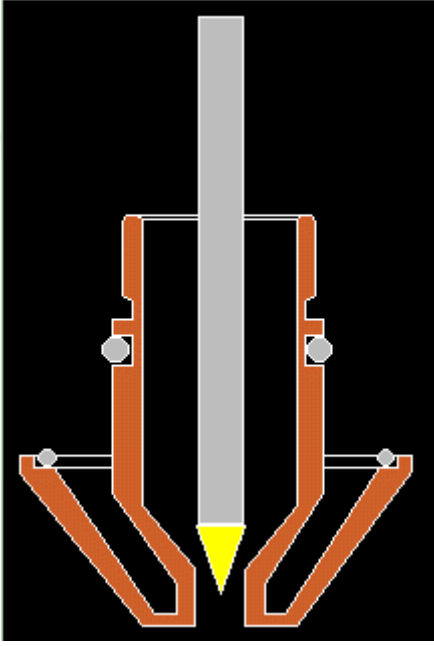
Plazmanın arkına ait sıcaklık, çeliği, asbest çimentosunu, kristal korrondumu ve karbonkorrondumu eritmeye yetecek derecede yüksektir. Bazı metalleri kesme, tavlama, yüzeyin hazırlanması, kaynak ağzı açma, metal püskürtmeyle yüzeyin doldurma ve kaynak işlemlerinde, özellikle refrakter metallerin ince saclarının kaynağında çok iyi sonuçlar verir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 PTA plazmasının ısı dağılımı (Gür ve diğ. 2009)

3.2.2. PTA Kaynağında Arkın Oluşturulması

Standart plazma ark torcunun ucunda küçük bir deliği bulunan memeye bu memenin merkezinde bulunan tungsten bir elektrottan mevcuttur. Plazma gazı, iç içe geçmiş dairesel memeyele elektrotun arasından geçerek delikten dışarı doğru çıkar. Elektrotla meme ya da iş parçasının arasında ark sütunu oluştuktan sonra, basınçlı plazma jetinin meydana gelmesi için iyonize gaz delikten dışarı püskürtülür (Şekil 3.5)



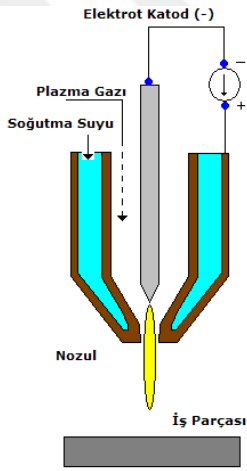
Şekil 3.5 PTA kaynağında nozul ve elektrod (Gür ve diğ. 2009)

Arkın sütununa ait dış yüzey soğutulduğundan sütun yoğunlaşmış olur ve dolayısıyla iç kısma doğru büzülür ve büzülmüş sütun içindeki sıcaklık birdenbire 10.000 K ile 30.000 K arasında bir sıcaklık derecesine yükselir. Dairesel bir alandan geçen gaz, yüksek bir iyonlaşma düzeyine ve göreceli olarak yüksek bir enerjiye sahip olup bu enerji, kaynak ve diğer ısı işlemlerde iş parçasının tavlama sırasında kullanılır.

PTA kaynak donanımları kalın sacları birleştirmede, folyo ve mikro elemanların kaynak edilmesinde kullanılır. Kaynak makinaları su ile soğutulur. Bir plazma birleştirme kaynağı donanımı, hortum grubu, akım membaı, ateşleme cihazı, kumanda cihazı ve çeşitli gazlar için basınçlı gaz tüplerinden oluşur. Plazma ile doldurma kaynağında kaynak cihazı, ateşleme ve kumanda birbirlerinin yanında olmak üzere iki tane DC akım membaı kullanılır. Kaynak cihazları 10 kW-15 kW güç çekimi için hazırlanmıştır. Plazma ile

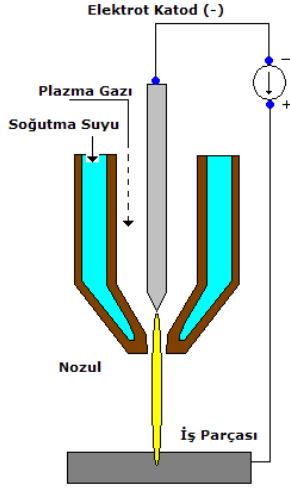
birleştirme kaynağı büyük sac kalınlığına sahip malzemelerin (I) küt alın birleştirmelerinde ilave metal kullanmadan uygulanır. Ostenit özellikli çeliklerin alın kaynağında yapılabilecek maksimum sac kalınlığı yaklaşık 8 mm - 10 mm kadardır. Burada kaynak hızı TIG usulüyle ulaşılabilenden % 100 kadar fazladır (Anık ve Tülbentçi, 1966). Metot da plazma arkı çeşitli yollarla oluşturulabilir.

- **Pilot Ark:** Elektrik devresi memeye tungsten elektrod arasında tamamlanırsa, ark elektrodla suyla soğutulan bakır meme arasında yanar ve memeden bir gaz akımı ile zorlanarak dışarı sürülür. Pilot ark olarak adlandırılan bu düzenlemede iş parçası ark devresi içinde değildir(Şekil 3.6).



Şekil 3.6 PTA kaynağında pilot ark (Transfer olmamış ark) (Gür ve diğ. 2009)

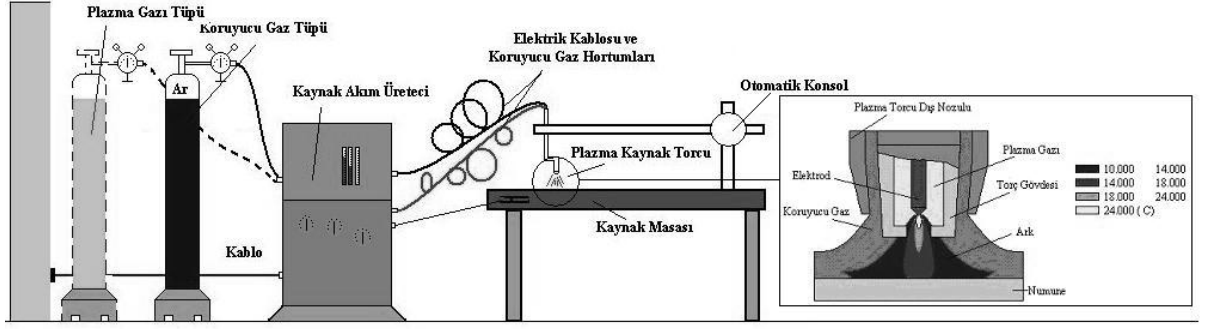
- **Transfer Olmuş Ark:** Diğer uygulamada ise, elektrik devresi tungsten elektrotla iş parçasının arasında tamamlanır ve arkın akımı iş parçasının üzerinden geçer. Buna da transfer olmuş ark ya da direkt ark olarak denilir(Şekil 3.7).



Şekil 3.7 PTA kaynağında transfer olmuş ark (Gür ve diğ. 2009)

3.2.3. Plazma Arkı İle Kaynak

Plazma arkıyla kaynak; metalleri, metal olmayan malzemeleri ve bunların kombinasyonlarını birleştirme ve doldurmasında kullanılır. Plazma arkıyla kaynak işleminde, direkt ark kullanılır. Fakat transfer olmuş ark yüksek frekans üzerinden geçirilen yardımcı arkla meme ve elektrodun arasında yakılır. Transfer olmuş ark, tuttuğu esnada yardımcı ark söner. Fakat mikrop plazma kaynağında, kaynak işlemi esnasında yardımcı ark korunur. Plazma arkıyla birleştirme kaynağında, plazma oluşturan gaza ilave olarak, kaynak banyosunu, atmosferin dış tesirlerine karşı koruyan ikinci bir gaz akımı (% 99,95 Ar) kullanılır. Plazma arkına ait şematik görünüş Şekil 3.8’de görülmektedir (Anık ve Tülbentçi, 1966).



Şekil 3.8 Plazma transfer ark kaynağının şematik görünüşü (Gür ve Orhan 2007)

3.2.4. Uygulama Özellikleri

PTA kaynak makinaları, kalın sacları birleştirmede, mikro ve folyo elemanların kaynak işlemleri dahil geniş bir alanda kullanılırlar. Kaynak makinaları su ile soğutulur. Bir plazma arkı ile birleştirme kaynağı donanımı; hortum grubu, akım üretici, ateşleme cihazı, kumanda cihazı ve çeşitli gazlar için basınçlı tüplerden oluşur. Plazma arkı doldurma kaynağında; kaynak cihazı, ateşleme ve kumanda birbirleri yanında olmak üzere iki tane doğru akım üretici kullanılır. Bunlarda ayrıca, doldurma için, toz depolu bir toz sevk birimi de bulunur. Kaynak cihazları genellikle, 1015 kW güç çekişi için imal edilmişlerdir. Plazma ark kaynak yöntemiyle alaşımsız çelikler, düşük ve yüksek alaşımlı çelikler, nikel ve nikel alaşımları, zirkonyum, bakır ve bakır alaşımları, alüminyum ve alüminyum alaşımları kaynak edilebilir. Büyük sac kalınlığına sahip malzemelerin küt alın birleştirmesinde ilave metal kullanmadan uygulanabilir. Kalınlıkları 0,03 mm'den 25 mm'ye kadar parçalar tek pasoda kaynak edilebilir ve bu yöntem şimdilik, bu kalınlık aralığında sınırlıdır. Ostenit paslanmaz çeliklere ait alın kaynağı yapılabilecek, azamî sac kalınlığı da 810 mm'dir. Kaynak bağlantıları, mekanik özellikler bakımından gayet iyidir ve gözenekli değildir. Plazma ark kaynağında gaz seçimi, kaynak edilecek metallere bağlıdır. Yüksek akım şiddetiyle kaynak halinde, plazma gazı ile koruyucu gaz genelde aynı seçilir; fakat iki farklı gaz kullanıldığı zaman, arkın kararlılığını sağlamak zorlaşır. Çeşitli metallerin yüksek akım şiddetiyle kaynağında; genellikle kullanılan gazlar, karbonlu ve az alaşımlı çelikler için saf argon, diğerlerinde % 7,5' a kadar hidrojen karıştırılmış argondur. Karbonlu çelikler, yüksek mukavemetli çelikler ve titanyum, tantal, zirkonyum alaşımları gibi reaktif metalleri, kaynak yapmak için saf argon kullanılır.

Bunların kaynağında kullanılan gazda, eser miktarda bile hidrojen bulunması süngerleşme, çatlama veya mekanik özelliklerde azalma meydana getirir.

PTA kaynağı; nükleer, uzay, gemi inşaatı, elektronik ve diğer birçok endüstri dalında kullanılan bir kaynak metodudur. Serbestlik ve ekonomi sağlamanın yanı sıra, yüksek kalite ve güvenilirliğe sahip bir yöntemdir. İşlemlerde, düşük akım şiddetli plazma ark kaynağıyla, ince tel elekler, ince tellerin uç uca kaynağı, röle kutusu imali, ince cidarlı basınçlı kaplar, vakum tüpü elemanları, otomatik yüksek akım şiddetli kaynaklarda ise; paslanmaz ve titanyum borular, roket yakıt tankları, türbin motor elemanları rahatlıkla kaynak edilmektedir. Plazma doldurma kaynağıyla esas olarak sert metaller demir, nikel ve kobalt esaslı alaşımlar püskürtülür. Böylelikle dış yüzeye ait aşınma mukavemeti ve korozyon davranışını iyileştirmek mümkün kılmaktadır. Doldurma tabakası kalınlığı 0,256 mm. arasında değişebilir ve bu teknik ile toz halindeki doldurma malzemesi saatte 5 kg. kadar yığılabılır (Gür, 2009).

3.3. Yüzey Modifikasyon Yöntemlerine Göre Yüzey Kaliteleri

Bilimin her geçen gün akıl almaz bir şekilde ilerlemesi karşısında malzemelere olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. İstenilen özelliklerde malzeme elde etmek veya mevcut malzemeler yeni ve üstün özellikler katmak bu ihtiyaca kısmen cevap vermek anlamına gelmektedir. Şuana kadarki anlatımlarımızda yüzey modifikasyon yöntemlerini hakkında detaylı bilgi verdik. Anlatılan bu yöntemlerin ne zaman, nerede, niçin ve nasıl uygulanacağı konusunda ortaya çıkan karışıklıkları aşağıdaki ana başlıklar halinde inceleyeceğiz. Buradaki amaç yöntemlerin bir biriyle olan kıyaslaması ve bu kıyas sonunda edilecek verilen değerlendirilmesi neticesinde ortaya yöntemlerin yüzey kaliteleri hakkında bilgi verme ihtiyacı hasıl olmuştur. Bu nedenle şu şekilde guruplandırma yaparak yüzey kaliteleri hakkında bilgi verelim.

- 1. Buhar Fazı Yöntemlerine Göre Yüzey Kaliteleri**
- 2. İyon İmplantasyon Yöntemlerine Göre Yüzey Kaliteleri**
- 3. Termal Püskürtme Yöntemlerine Göre Yüzey Kaliteleri**
- 4. Kaynak Yöntemlerine Göre Yüzey Kaliteleri**

4. PASLANMAZ ÇELİKLER

Her geçen gün kullanım alanlarını arttıran paslanmaz çeliklerin kullanımlarının temel sebepleri; korozyon ortamlarda, mekanik özelliklerini kaybetmeden gösterdikleri yüksek korozyon dirençleridir. Bazı korozyon faktörlerine karşı dirençli olmaları, parlaklıklarını korumaları ve yüzeylerinin kolaylıkla çevresel etkilerin altında kalmaması gibi üstün özellikleri sebebiyle kullanım alanları geniş yer tutmaktadır. Paslanmaz çelikler; min. % 12 Cr içeriğine sahip “paslanmazlık” özelliği gösteren malzemelerdir. Genellikle bu malzemeler incelendiğinde Fe-Cr, Fe-Cr-C ve Fe-Cr-Ni denge sistemlerine sahip oldukları görülmektedir. Bu çeliklerin yüksek korozyon dayanımını oluşturan öge; yüzeye kuvvetle tutunmuş, yoğun, sünek, çok ince ve saydam bir oksit tabakasının bulunmasıdır. Çok ince olan bu amorf tabaka sayesinde paslanmaz çelikler kimyasal reaksiyonlara karşı pasif davranarak indirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı dayanım kazanırlar (Lippold, 1993).

4.1. Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel Özellikleri

Paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerini, korozyon dirençlerini, talaşlı işlenebilme ve biçimlendirilebilme özelliklerini, kaynak edilebilirliklerini ve uygulama alanlarını iyileştirmek amacı ile katılan alaşım elementleri bu tür çeliklerin fiziksel özelliklerini de önemli ölçüde etkiler. Özellikle kaynak edilebilmeleri açısından büyük bir önem taşıyan bu fiziksel özelliklerin az karbonlu çelikler ve diğer türler ile karşılaştırılması Tablo 4.1’de verilmiştir (Kaluç ve Tülbentçi, 1995).

Tablo 4.1 Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel Özelliklerinin Normal Çelikler İle Karşılaştırılması(Kaluç ve Tülbentçi, 1995)

Çelik Türü	α X10 ⁻⁶	λ W/mC	Ω nΩm	E KN/mm ²
Karbonlu çelikler (1016)	13	47	150	205
Feritik (S44400)	12.5	24	600	225
Feritik-östenik (32)	13.5	20	850	205
Östenitik	1 .5	15	700	200
α : 20–800 °C’ de ısı genleşme katsayısı λ : Isıl iletkenlik (20 °C) Ω : Elektrik direnci (20 °C) E: Elastiklik modülü (20 °C)				

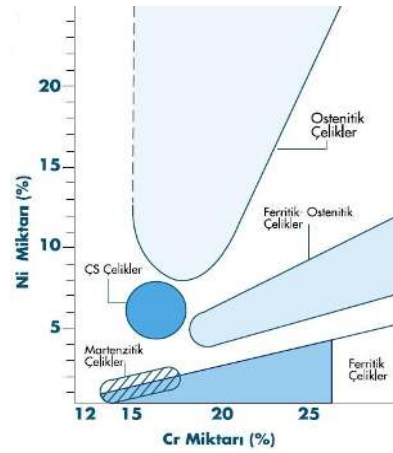
En önemli özelliklerden biri olan manyetikleşme özelliğine bakıldığında özellikle sade krom içeren türler manyetikler buna karşın östenitik kromnikelli paslanmaz çelikler antimanyetik özellik gösterir. 100⁰C-500⁰C aralığında östenitik paslanmaz çeliklerin ısı genleşme katsayıları ferritik paslanmazlara nazaran %60 daha fazladır. Bu durum sadece kaynakçıyı değil, konstrüktörü de yakından ilgilendirir. Özellikle kaynaktan sonra yüksek kendini çekme gerilmeleri oluşur ki bu da çatlak oluşumuna yol açabilir. Bu açıdan parçaların montaj pozisyonunda kaynak edilmeleri ve tamamen soğuyana kadar çözülmeleri tavsiye edilir.

Ferritik paslanmaz çeliklerin ısı iletkenlikleri karbonlu çeliklerin yaklaşık %50 altındadır. Isı iletkenlik östenitlere nazaran %40 daha yüksektir. Bu durum, kaynak bölgesinin uzun süre yüksek sıcaklıkta kalacağını gösterir ki, bu da bazı metalurjik problemlerin ortaya çıkmasına neden olur. Ferritik paslanmaz çeliklerin, östenitik paslanmaz çeliklere nazaran elektrik iletme dirençleri %20, özgül ısıları da %10 daha düşüktür. Ancak tüm paslanmaz çeliklerin elektrik dirençleri karbonlu çeliklerinkinden yaklaşık 4–7 kat daha fazladır. Bu nedenle paslanmaz çelik elektrotlar ferritik normal elektrotlara nazaran %25 daha az bir akım şiddeti ile yüklenirler. Ferritik kromlu çeliklerin 7,7X10⁴ N/m³ olan yoğunlukları, östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin 7, x10⁴ N/m³ olan yoğunluklarından daha düşüktür. Bunların elastiklik modülleri de oda sıcaklığından %10 daha yüksektir (Kaluç ve Tülbentçi, 1995).

4.2. Paslanmaz Çelik Türleri

Paslanmaz çelikler demir, krom ve çoğu zaman da nikel içeren alaşımlar olup başlıca özelliklerini krom elementine borçludurlar. Çelik içeriğinde bulunan kromun koruyucu becerisi, krom ile oksijenin arasındaki çekimden ileri gelir. Kromun miktarı yeter derecede büyük olduğu zaman çeliğin yüzeyinde ince bir oksit tabakası oluşturur. Bu oksit tabakası yüzeyi aktif olmayan bir hale getirir ve etkilere karşı korur. Çelikler yapılarında bulundurdıkları karbon (C) oranına göre; düşük C'lu çelik (% 0,05–0,3 C), orta C'lu çelik (% 0,3–0,8 C), yüksek C'lu çelikler (% 0,8–1,7 C) olmak üzere 3 grupta incelenirler (Yıldırım ve diğ.,2001). Paslanmaz çeliklerde iç yapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre Cr, Ni, Mo, ve Mn dir. Bunlardan öncelikle Cr ve Ni iç yapının ferritik veya östenitik olmasını belirler. Genel olarak bu malzemeler incelediğinde Fe-Cr, Fe-Cr-C ve Fe-Cr-Ni denge sistemlerine sahip oldukları görülür. İçerdikleri katkı

elementlerine göre değişim gösteren ve tamamen östenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan beş farklı çeşit paslanmaz çelik türü vardır.



Şekil 4.1. Değişik paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr miktarları

1. Östenitik Paslanmaz Çelikler
2. Ferritik Paslanmaz Çelikler
3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler
4. Çift Fazlı (Dupleks) Paslanmaz Çelikler
5. Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çeliklerdir (Lippold, J. C., 1981).

4.2.1. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerin en geniş ve en çok kullanılan ürün yelpazesini oluştururlar. Ferritik alaşımlarda olduğu gibi ısıl işlemle sertleştirilemezler. Östenitik paslanmaz çelikler manyetik değildir ve mikroyapıları yüksek sıcaklıklarda (900°C - 1400°C) bile yüzey merkezli kübiktir. Bu tip çelikler mükemmel yumuşaklık, şekillendirilebilirlik ve tokluğa sahiptir. Ayrıca soğuk işleme ile önemli ölçüde sertleştirilebilirler. Östenit yapısını kararlı halde tutabilmek için kullanılan başlıca element nikel olmasına rağmen, karbon ve azot da bu işlem için kullanılmaktadır.

Bu çelikler, geniş bir sıcaklık aralığında tek fazlı KYM bir kristal kafes sistemine sahiptirler. Bu alaşımlardan AISI 300 serisi, genellikle % 8-20 Ni ve % 16-25 Cr içerir (Brooks, J. A., Lippold, J. C., 1993).

Paslanmaz çelikler içerisinde korozyon direnci en yüksek olan östenitik paslanmaz çeliklerdir. Nikel kuvvetli bir östenit yapıcı olduğundan, bu tip çeliklerde katılaşma esnasında östenit meydana gelir. Bu durum oda sıcaklığının altında dahi östenit devam

eder. Soğuma esnasında faz değişimi olmadığından bunlar da sertleştirilemezler. Bu grup içerisinde en fazla tanınanı 18/8 çeliğe diye adlandırılan %18 Cr ve %8 Ni ihtiva eden tipidir. Genel olarak korozyon mukavemetini arttırmak gayesiyle bir miktarda molibden ilave edilir (Anık ve Tülbentçi, 1966). Bu çeliklerin en önemli özelliği şunlardır;

- Isıl iletkenlik katsayıları oda sıcaklığında az alaşımlı ve sade karbonlu çeliklerin 1/3' ü kadardır.
- Isıl genleşme katsayıları sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin yaklaşık 1,5 katıdır.
- Alaşımsız karbonlu çeliklere göre elektrik iletme direnci 5 ila 7 kat daha büyüktür.

Bu özellikleri nedeniyle Cr-Ni' li çeliklerin kaynağında daha fazla kendini çekme oluşur. Kaynak dikişinin soğuma sırasında, büyük çekme oluşmasından dolayı, bu bölgede oluşan iç gerilmeler çatlamaya yol açar. Bu tür paslanmaz çeliklerin özellikle çift taraflı dikişlerinde sıcak çatlakların oluşması ihtimali fazladır. Bu fiziksel olayların yanı sıra iki önemli metalurjik faktör de Cr-Ni östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağını zorlaştırır. Bunlardan birincisi delta ferrit fazının oluşumu diğeri ise karbür çökmesidir (Kurt, 1988).

4.2.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Bu çeliklerin tamamı ergime sıcaklığından oda sıcaklığına kadar ferritik olarak bilinen KHM kristal kafes sistemine ve genellikle % 11 ile % 28 arasında Cr içeriğine sahiptirler. Orta ile iyi dereceli korozyon dayanımı Cr miktarının artmasıyla iyileşir. Ferritik paslanmaz çeliklerde ısıl işlem ile dayanım arttırılamaz ve sadece tavllanmış durumda kullanılırlar. Aynı zamanda manyetik olan bu çelik türünün kaynak edebilme kabiliyetleri düşüktür ve kolay şekillendirilemezler (Krysiak ve diğ.,1993).

Düşük krom içeriğine (% 11) sahip ferritik paslanmaz çelikler zayıf oksidasyon ve korozyon direncine sahiptirler. İşlenebilirlikleri oldukça iyidir ve maliyetleri düşüktür. Otomobillerin eksoz sistemlerinde sıkça kullanılırlar.

Orta seviyede krom içeriğine (% 16 - %18) sahip ferritik paslanmaz çelikler otomotiv sistemleri ve pişirme kaplarında kullanılırlar. Düşük tokluğa ve işlenebilirliğe sahiptirler.

Yüksek seviyede krom içeriğine (% 1 - %30) sahip ferritik paslanmaz çelikler yüksek seviyede korozyon ve oksidasyon ihtiyacı olan yerlerde kullanılırlar. Bu tip çelikler alüminyum, molibden, çok düşük oranda da karbon ihtiva ederler. Hassaslığı ve kaynak

edilebilme yeteneğini arttırmak için tantal, titanyum ve niobyum gibi karbür oluşumunda kararlılık sağlayan elementler katılır.

4.2.3. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Bu çelik türleri, KHM ya da sertleştirilmiş halde tetragonal kristal kafes sistemine sahip olan Cr - C alaşımlarıdır. Martenzitik paslanmaz çelikler atmosferik korozyona karşı dirençli olup, Cr içerikleri genellikle % 11 - %18, C değeri ise % 1,2'ye kadar çıkabilir. Martenzitik paslanmaz çelikler orta derecede korozyon dayanımına sahiptirler ve ısıtılabilir. Böylece yüksek dayanım ve sertlikler elde edilebilir. Kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür (Davis,1993)

Martenzitik paslanmaz çeliklerde ısıtılabilir ile mukavemet artırma, alaşımların karbon oranına bağlıdır. Artan karbon içeriği ile birlikte mukavemet artar, ancak yumuşaklık ve tokluk değerleri düşer. Bu çeliklerin aşınma dirençleri de karbon içeriği ile yakından ilişkilidir.

4.2.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Bu çelikler; Fe, Cr, Ni sistemine dayalı iki fazlı alaşımlardır. Bu çelikler mikroyapılarında eşit oranda KHM ferrit ve KYM östenit barındırırlar. Dupleks paslanmaz çelikler düşük karbon içeriği ve Mo, N, W, Cu katkıları ile bilinirler. Genel olarak %20-30 Cr ve % 5-10 Ni içerirler. Dupleks paslanmaz çeliklerin geleneksel 300 serisi paslanmaz çeliklerden üstün özellikleri; gerilmeli korozyona karşı kırılma dayanımları, mukavemet ve oyuklaşma korozyonu dayanımlarıdır. Bu malzemeler asitler ve sudan kaynaklanan klora karşı direncin gerektiği orta dereceli sıcaklık (-60 ile +300 °C) alanlarında kullanılırlar. Dupleks paslanmaz çeliklerin alaşım katkıları hem östenit hem de ferrit oluşturmalarıdır. Dupleks paslanmaz çeliklerde kullanılan ana alaşım elementleri İçerisinde Cr ve1 Mo ferrit oluşturmaları, Ni, C, N ve Cu östenit oluşturmalarıdır. Östenit ve ferrit oluşturmaları alaşım elementlerinin dengesi malzeme mikroyapısını oluşturmaktadır.

Dupleks paslanmaz çeliklerin sahip olduğu yüksek alaşım içeriği ve ferritik bir matrisgevrekleşmesine karşı hassasiyeti ve mekanik özellik kaybını ve özellikle de tokluğu düzeltir. Bu çelikler daha çok yağ, gaz, petrokimya ve kâğıt endüstrisi gibi uygulama alanlarında kullanılmaktadır (Noble, 1993).

4.2.5. Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler

Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler, 585-795 MPa akma gerilmesi ve sertleşebilir 400 serisi paslanmaz çeliklere göre daha üstün korozyon direncine sahip Fe-Cr-Ni alaşıımıdır. Bu alaşımlarda, Cu, Al, Ti, Nb ve Mo gibi elementlerin biri ya da birkaçı kullanılarak çökelme sertleşmeli östenitik ve martenzitik hale gelirler. Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler, martenzit başlama ve bitiş sıcaklıklarına dayanarak martenzitik, yarı ostenitik ve ostenitik olmak üzere üç ayrı isimde gruplandırılabilir. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir (Pollard, 1993).

Tablo 4.2. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri (Pollard, 1993)

Tipi	% Bileşim								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Diğer	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)
Martenzitik Tip									
PH 13-8 Mo	0.05	0.1	0.1	12-15	7.5-8.5	2.0-2.5	0. -1.3 Al	1410	1520
15-5 PH	0.07	1.0	1.0	14-15	3.5-5.5	-	2.5-4.5 Cu	1170	1310
17-4 PH	0.07	1.0	1.0	15-17	3.0-5.0	-	3-5Cu,0.3 Nb	1170	1310
Custom 450	0.05	1.0	1.0	14-16	5.0-7.0	0.5-1.0	1.5Cu,0.4Nb	655	8 5
Custom 455	0.05	0.5	0.5	11-12	7.5- .5	0.5	2Cu,1.2Ti,0.5 Nb	1520	1620
Yarı Ost. Tip									
PH 15-7 Mo	0.0	1.0	1.0	14-16	6.5-7.7	2.0-3.0	0.75-1.5Al	1210	1380
17-7 PH	0.0	1.0	1.0	16-18	6.5-7.7	-	0.75-1.5Al	1030	1275
AM-350	0.0	0.5	0.5	16-17	4.0-5.0	2.5-2.5	0.1 N	610	1380
AM-355	0.15	0.5	0.5	15-16	4.0-5.0	2.5-3.5	0.1 N	1070	1170
Ostenitik Tip									
A-286	0.08	2.0	1.0	13-16		1.0-1.5	2Ti,0.3Al,0.3V	105	724
JBK- 75 (b)	0.015	0.02	0.02	13-16		1.5	2Ti,0.2Al,0.2V	-	

5. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Dupleks 2205 çeliğinin yüzeyine, plazma transfer ark (PTA) yöntemiyle yüzey kaplama işlemi gerçekleştirilerek elde edilen numunelerin modifikasyon bölgeleri incelenmiştir.

İncelenen numunelere aşağıdaki deneyler uygulanmıştır.

- AISI 2205 çeliğinin PTA yöntemiyle yüzeyinin kaplanması
- Numunelerin OM ve SEM görüntülerinin alınması,
- Kplama bölgesinin mikrosertliklerinin incelenmesi,
- Adhesif aşınma testi yapılması

Bu çalışmada PTA işlemi tek yüzeyden sabit amper (130 A) ve sabit kaynak hızı (0.15 m/dak) ile argon gazı atmosferi altında yapılmıştır. Kplamanın tek yüzeyde yapılmasındaki amaç, modifikasyonlu bölge ile ana malzeme arasındaki farkı daha iyi görebilmektir. Yüzey alaşımlamada PTA yönteminin kullanılmasının nedeni ise, diğer yüzey alaşımlama tekniklerine göre daha yeni bir uygulama alanı olması, daha yüksek sıcaklıklarda çalışılabilmesi, uygulanmasında otomatik tezgahlar kullanılması dolayısıyla elde edilen verilerin (GTA uygulamalarında ki gibi insan faktörünün çok olduğu sistemlere göre daha) daha güvenilir olmasından seçilmiştir.

5.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, altlık malzeme olarak 60x14x10 mm boyutlarındaki AISI 2205 çeliği kullanılmıştır. Tablo 5.1’de spektral analizi yapılmış numune sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.1 Kplamada kullanılan AISI 2205’in spektral analiz bileşim sonucu

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	V
65,3	0,03	1	2	0,03	0,02	22	5,5	3	0,14	0,35

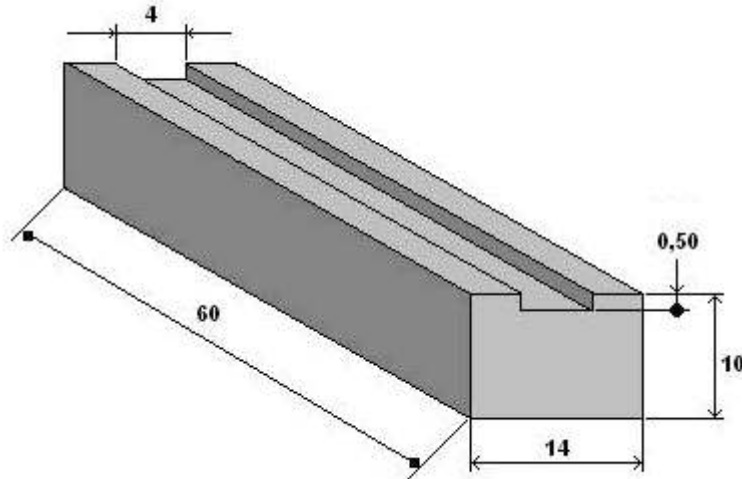
Kplama malzemesi olarak ferromolibden (FeMo), bor karbür (B₄C) ve ferrokrom (FeCrC) tozları kullanılmıştır.

5.2. Plazma Transfer Ark (PTA) Yöntemiyle Yüzey Kaplama İşlemi

PTA yöntemiyle yapılan kaplamalarda, kaplama parametreleri olan akım, amper, kaplama hızı ve nüfuziyetin belirlenmesi için ön çalışma yapılmıştır. Ön çalışmada; yüzey kaplama işlemi için numunelerin hazırlanması, PTA yöntemiyle yüzey kaplama işleminde üretim parametrelerinin tespiti ve bu işlemlerden sonra yüksek lisans çalışmasına ait kaplama işlemlerinin yapılmasını kapsamaktadır.

5.2.1. Yüzey Kaplama İşlemi İçin Numunelerin Hazırlanması

PTA ile yüzey kaplama işleminde 60x14x10 mm boyutlarındaki orta karbonlu AISI 2205 çelik kullanılmıştır. Kaplama yapılacak AISI 2205 çelik, belirlenen ölçülerde; Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Bölümü Atölyesi'ndeki takım tezgâhlarında istenilen ebatlarda kesildi. Kesilen AISI 2205 çelik malzemelerin yüzeyine freze tezgâhında 4 mm' lik parmak freze çakısıyla 750 devir/dakika dönme hızında ve 0,2 m/dakika ilerleme hızında $\approx 0,5$ mm (y) derinliğinde mekanik talaş kaldırma yöntemiyle kanallar açıldı. Şekil 5.1'de numunenin şematik resmi ve boyutları görülmektedir.



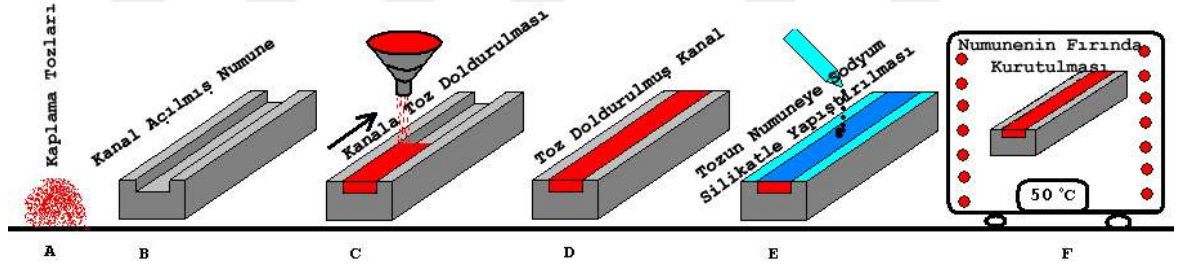
Şekil 5.1 Numunenin kaplama öncesi şematik şekli ve boyutları

Kanal açma işleminden sonra numunelerin yüzeyleri, kir ve yağdan arındırılmak için, kaplama işlemine geçilmeden aseton banyosunda 1 saat bekletilerek temizlenip kurutulmuştur. Temizlenmiş numunenin dijital resmi Şekil 5.2'de görülmektedir.



Şekil 5.2 Numunenin kaplama öncesi dijital resmi

Kaplama tozları Şekil.5.2 ‘de gösterilen numunelere kanalı dolduracak şekilde doldurulmuş PTA kaplama işlemi esnasında tozların gazın debisiyle uçmaması için, tozların üst yüzeyinde sodyum silikatla ince bir film katmanı oluşturulmuştur. Numuneler, sodyum silikatın kuruması için 50 °C sıcaklıkta, 60 dakika süreyle fırında kurutulmuştur. Şekil 5.3’te fırında kurutulmuş numuneler görülmektedir (Gür, A.K., 2009).



Şekil 5.3. Kaplama tozlarının yapıştırılmasının hazırlanma aşamasının şematik görünümü (Gür, A.K., 2009)

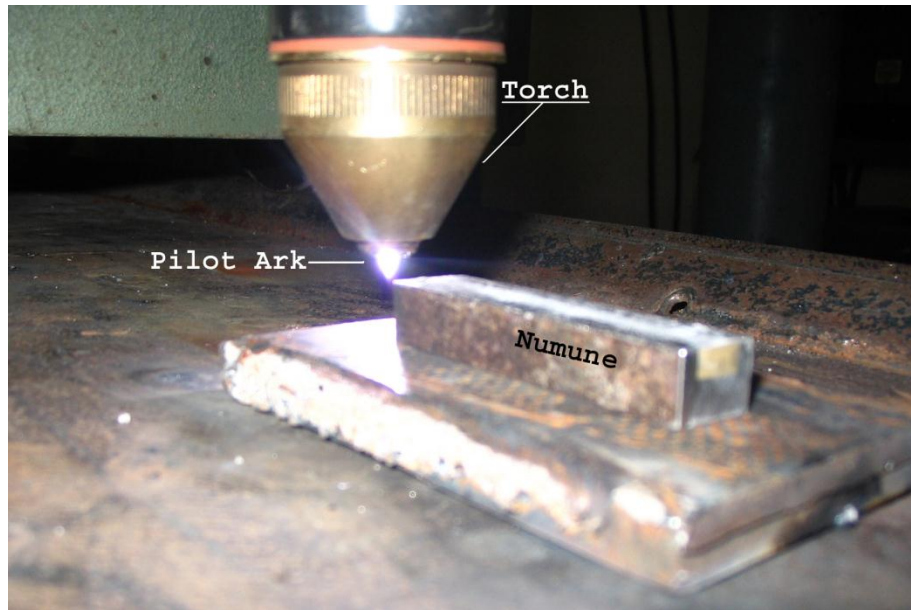
5.2.2. Plazma Transfer Ark (PTA) Yöntemiyle Yüzey Kaplama İşlemi

PTA yöntemiyle yapılacak kaplama çalışmalarında uygulanacak PTA kaplama parametreleri, Tablo 5.2’de olduğu gibi belirlenmiştir.

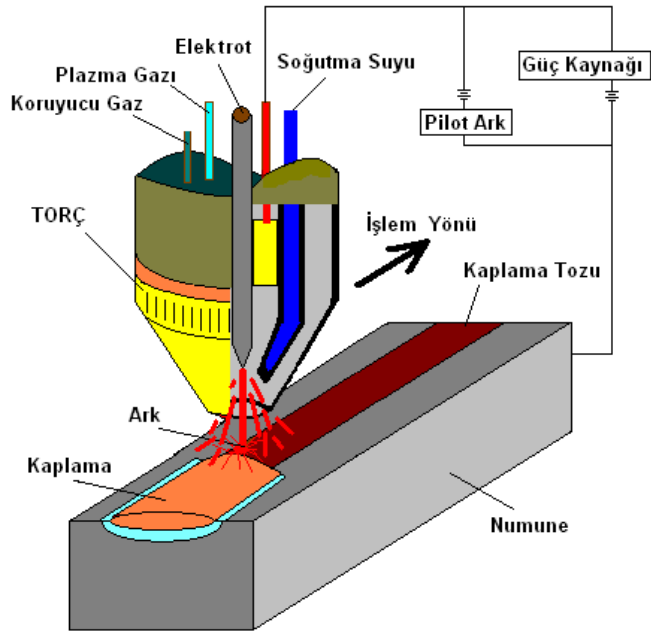
Tablo 5.2 PTA Kaplamada üretim parametreleri

Akım (I)	130
Gerilim (V)	17
Koruyucu Gaz Debisi (m³/h) Ar + (N₂)	25
Plazma Gazı Debisi (m³/ h) Ar	0,5
Elektrot Çapı (mm)	4,7
Elektrot	% 2 thoryumlu tungsten elektrot
Torç Malzeme Arası Mesafe (mm)	3≈4
İlerleme Hızı (m/dak)	0.15
Torç Uç Çapı (mm)	3,25
Set-Back (mm)	4

Bu parametreler ışığında, PTA kaplama işleminin Şekil 5.4’te dijital resmiyle, torcun şematik görüntüsü ve torcun kısımları görülmektedir. Dijital resimde pilot ark görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.4. a. Kaplama işlemi dijital resmi ve pilot ark b. İşlemin şematik görüntüsü ve torcun kısımları



Şekil 5.5. Thermal Dynamic/Ark Plazma Transfer Ark (PTA) kaynak makinesinin tüp bağlantıları ve kontrol panosu

5.3. Mikroyapı Numunelerinin Hazırlanması ve İncelenmesi

Mikroyapı analizleri için gerekli olan numuneler, yüzeyi kaplanan numunelerin kaplama yüzeyine dik doğrultuda ve ortasından 10x10x10 mm ölçülerinde Struers marka Al_2O_3 kesme diskiyle kesildi. Sonra bu numuneler sırasıyla 60, 120, 180, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 meshlik SiC zımpara kâğıtlarıyla zımparalandı ve 3 μm ' lik elmas pasta kullanılarak çuha ile parlatıldı. Parlatılan numuneler alkolle yıkandı ve kurutuldu. Bu işlemten sonra numuneler vilella reaktif olarak da adlandırılan (100 ml etanol, 5 ml HCl ve 1 gr picric asit) dağlayıcı ile dağlandı. Dağlanan numuneler sabunla yıkandıktan sonra alkolle temizlendi ve sıcak hava ile kurutuldu. Dağlanan kaplanmış yüzey tabakaları tabakaları Nikon Eclipse NA200 marka optik mikroskop (OM) ile incelendi. Yapıyı oluşturan fazların taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ZEISS EVO-MA10 SEM cihazı kullanılarak elde edildi. Kaplanmış yüzeyleri meydana getiren bileşiklerin kimyasal kompozisyonu ZEISS EVO-MA10 SEM cihazına bağlı Bruker marka EDS dedektörü kullanılarak ölçüldü. Alaşımlandırılmış yüzeyleri oluşturan fazların çeşidi ise, BRUKER AXS D8 ADVANCE marka X-ışını kırınımı (XRD) cihazında bakır α -ışını

tüpüne sahip cihazda 1.5406 Å dalga boyunda $2\theta = 20-80$ derece açısında, 40 kV ve 40 mA' de Cu-K α radyasyonu kullanılarak tespit edildi.

5.4. Sertlik Ölçümleri

Kaplanmış yüzey tabakalarının sertliği EMCO TEST marka mikrosertlik test cihazı kullanılarak alaşım tabakasının üst yüzeyinin orta noktasından ana malzemeye doğru 0.50 mm aralıklarla 200 gr kuvvet uygulanarak ölçüldü.

5.5. Adhesiv Aşınma Testi

Adhesiv aşınma testi için gerekli numuneler yüzeyi kaplanmış numunelerin orta noktasına yakın bölgelerinden 10x10x10 mm ölçülerinde kesildi. Aşınma testinden önce numunelerin kaplanmış yüzeyleri 400 meshlik zımpara ile zımparalandı ve alkol ile temizlendi. Aşınma testleri blok-on-disk tip adhesif aşınma test cihazında kuru şartlarda 30 N normal yükte gerçekleştirildi. Aşındırıcı olarak 40 mm çapında AISI 52100 rulman çeliği kullanıldı. Numuneler her bir yükte toplam 900 m kayma mesafesinde aşındırıldı. Ağırlık kayıpları her 300 m' de bir 10^{-5} g hassasiyetinde terazi ile ölçüldü. Son olarak aşındırılan numunelerin aşınma yüzeyleri SEM mikroskobu kullanılarak analiz edildi. Tüm deneysel işlemler oda sıcaklığında gerçekleştirildi.

6. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

6.1. Mikroyapı Sonuçları

Şekil 6.1.’ de kaplanmış numune yüzeylerinin makro fotoğrafları görülmektedir. Görüldüğü gibi kaplama tozları altlık malzeme ile birlikte ergiyerek yüzeyin kaplandığı görülmüştür. Kaplama yüzeylerinde gözle görülür bir çatlğa rastlanmamıştır.

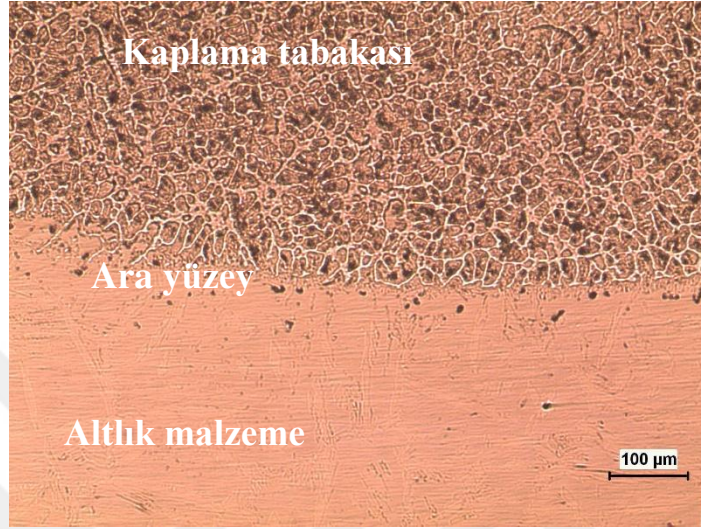




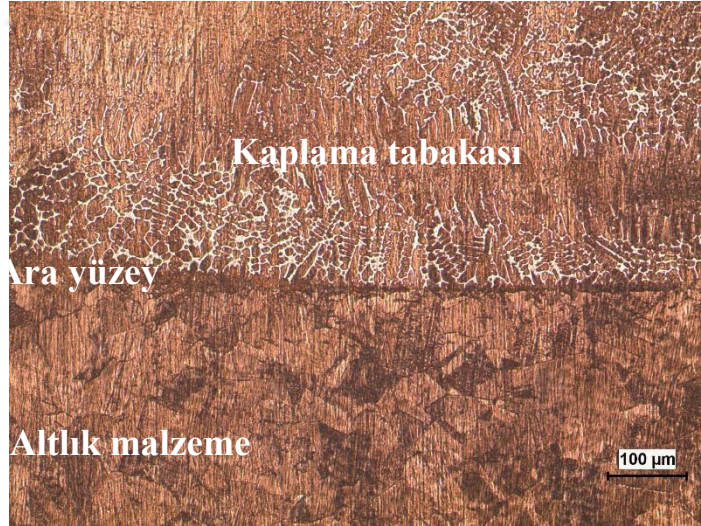
Şekil 6.1. PTA yöntemi ile kaplanmış numunelerin makro fotoğrafları.

Şekil 6.2.-6.8.’ de sırasıyla N1-N7 numunelerine ait OM görüntüleri görülmektedir. Görüldüğü gibi numunelerin kaplama tabakası mikroyapıları hızlı soğumanın da etkisiyle ince taneli dendritik olarak katılaşma göstermiştir (Gürgenç, T. 2017). Dendritler arasında kalan bölgelerde ise ötektik fazlar bulunmaktadır. Ayrıca birincil dendrit kollarının yatay yönde yönelmiş şekilde oluştukları ve dendritlerin yüzey alaşımlama tabakası içerisinde

neredeyse homojen bir dağılım gösterdikleri görülmektedir. Yine dendritler altlık malzemeden kaplama tabakasına doğru yönlenmiştir (Özel, C. 2018). Ayrıca kaplama tabakası altlık malzeme ile geçiş tabakası oluşturacak şekilde katılmıştır.



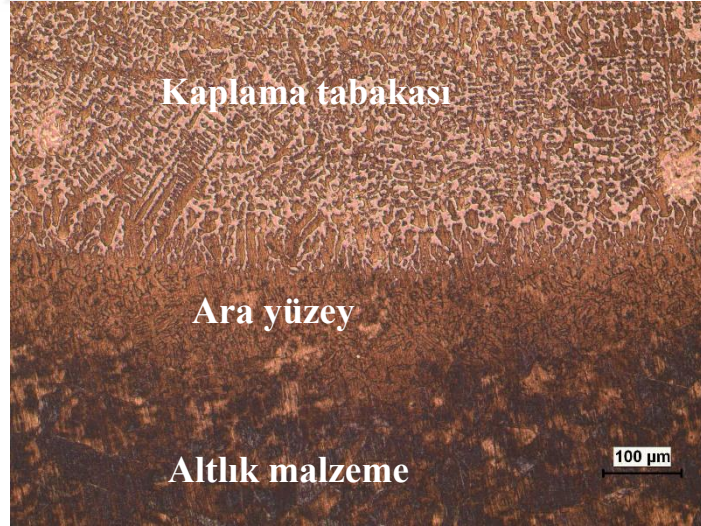
Şekil 6.2. N1 numunesine ait OM görüntüsü.



Şekil 6.3. N2 numunesine ait OM görüntüsü.



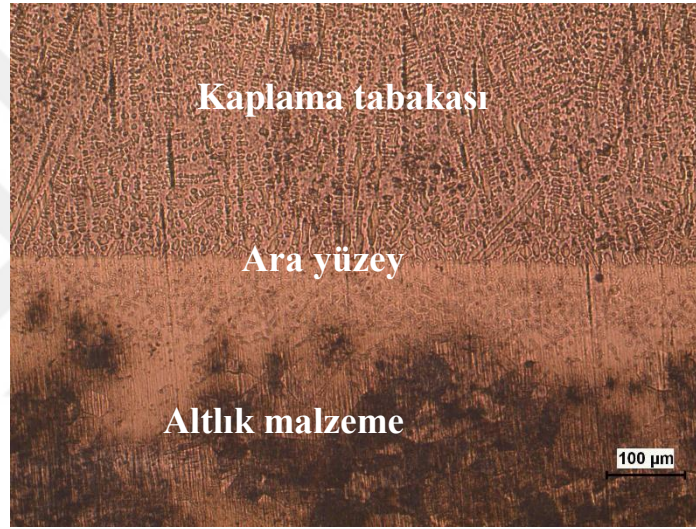
Şekil 6.4. N3 numunesine ait OM görüntüsü.



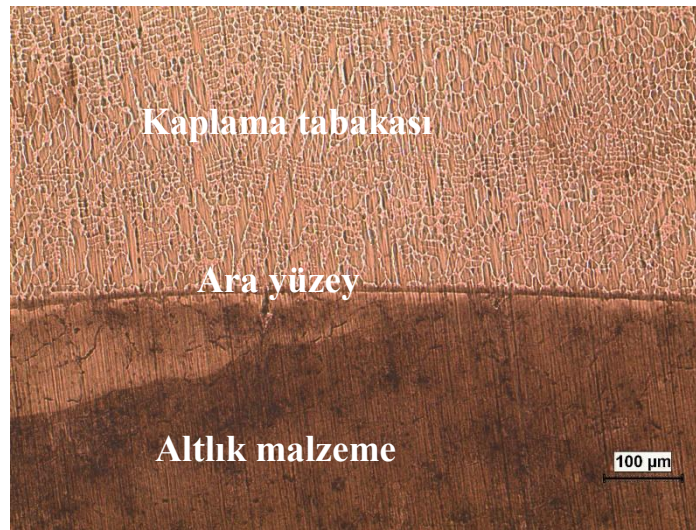
Şekil 6.5. N4 numunesine ait OM görüntüsü.



Şekil 6.6. N5 numunesine ait OM görüntüsü.

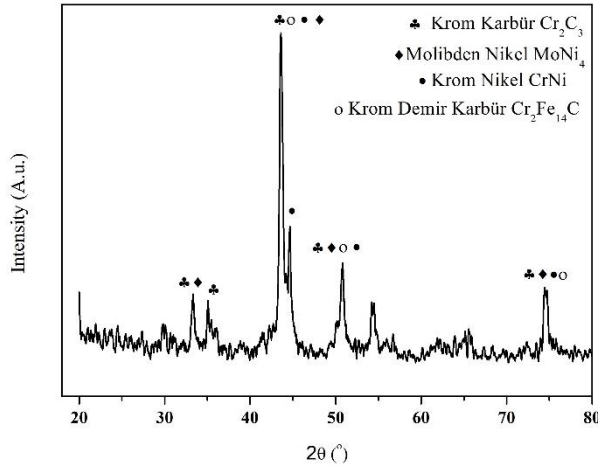


Şekil 6.7. N6 numunesine ait OM görüntüsü.

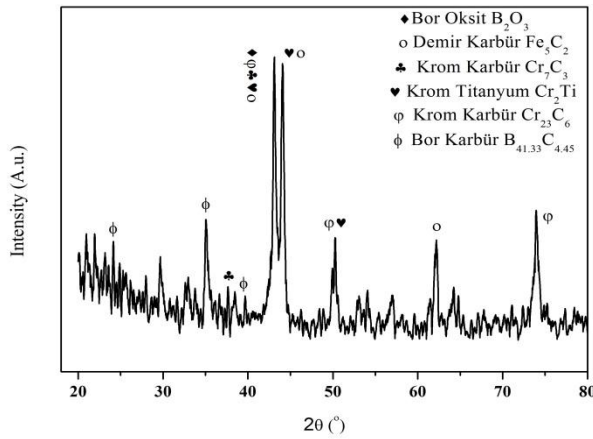


Şekil 6.8. N7 numunesine ait OM görüntüsü.

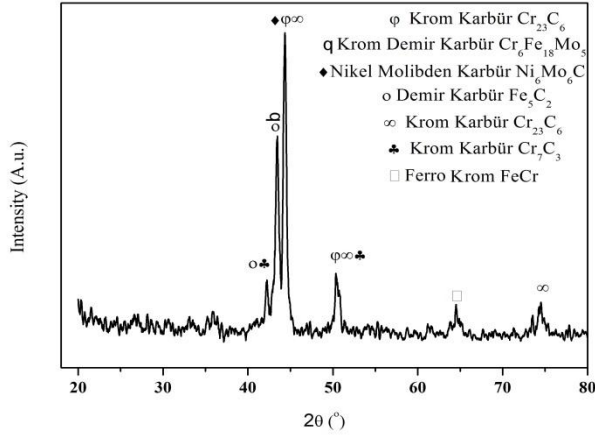
N1, N3 ve N6 numaralı numunelerin XRD analiz sonuçları Şekil 6. 9.' da verilmiştir. Diğer karışımlarda da fazlar benzer şekilde olduğu için XRD grafikleri verilmemiştir. XRD sonuçlarına göre N1 numunesinde Cr_2C_3 , MoNi_4 , CrNi ve $\text{Cr}_2\text{Fe}_{14}\text{C}$ fazları, N3 numunesinde B_2O_3 , Fe_5C_2 , $\text{Cr}_6\text{Fe}_{18}\text{Mo}_5$, Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 ve $\text{B}_{41,33}\text{C}_{4,45}$ fazları, N6 numunesinde ise $\text{Ni}_6\text{Mo}_6\text{C}$ ve Cr_7C_3 fazları tespit edilmiştir.



a) N₁ numunesi



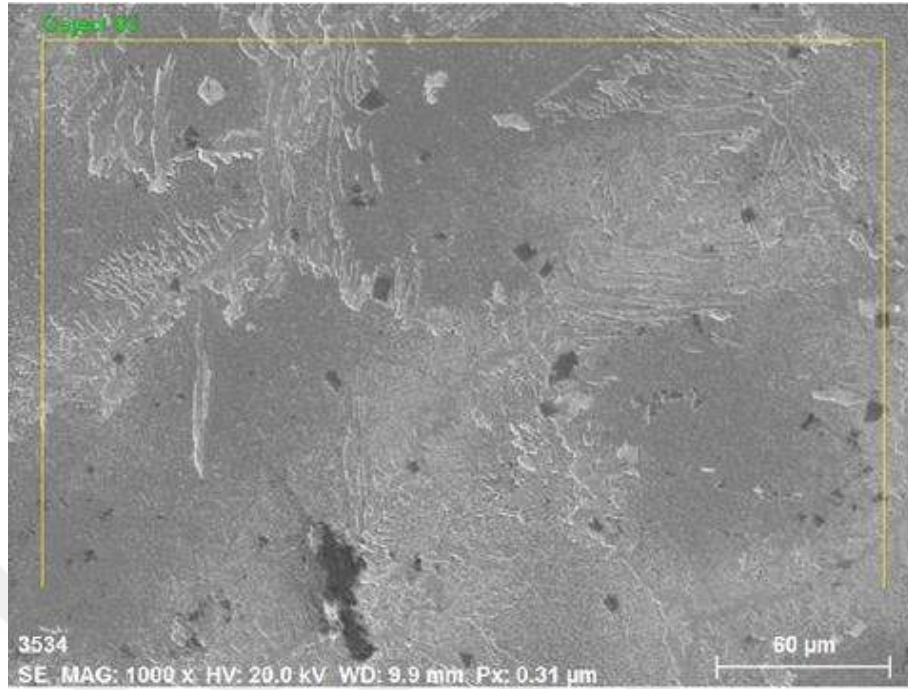
b) N₂ numunesi



c) N6 numunesi

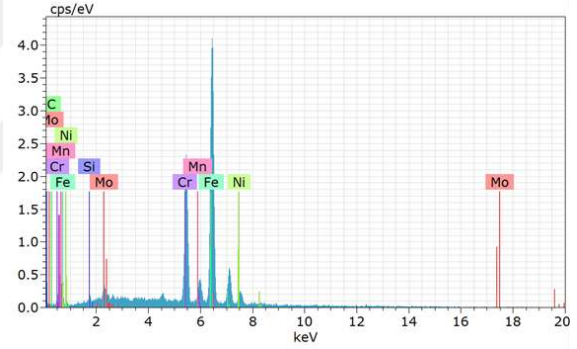
Şekil 6.9. XRD analiz sonuçları a) N1, b) N3 ve c) N6 numunesi.

Şekil 6.10.-6.16.'de sırasıyla N1-N7 numunelerinin kaplama bölgelerine ait SEM görüntüleri ve EDS analizleri verilmiştir. N1 numunesinde açık renkli bölgeler dentritik yapıları, gri renkli bölgelerin ise matris fazı olduğu düşünülmektedir. EDS analiz sonuçlarından görüldüğü gibi kaplama tozları birlikte ergiyerek yüzey modifiye edilmiştir.



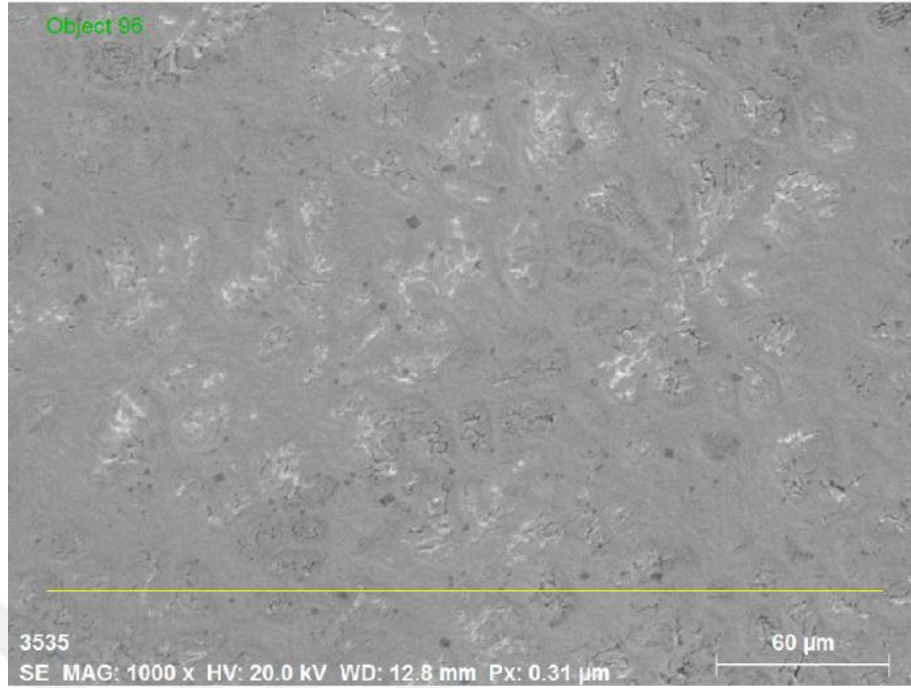
Spectrum: Object 93

El	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
Fe	26	K-series	5446	51.50	64.71	61.83
Cr	24	K-series	2969	17.23	21.66	22.22
Mn	25	K-series	549	4.17	5.24	5.09
Ni	28	K-series	304	4.16	5.22	4.75
Mo	42	L-series	227	1.42	1.78	0.99
C	6	K-series	19	0.78	0.97	4.33
Si	14	K-series	79	0.33	0.42	0.79
Total:			79.57	100.00	100.00	



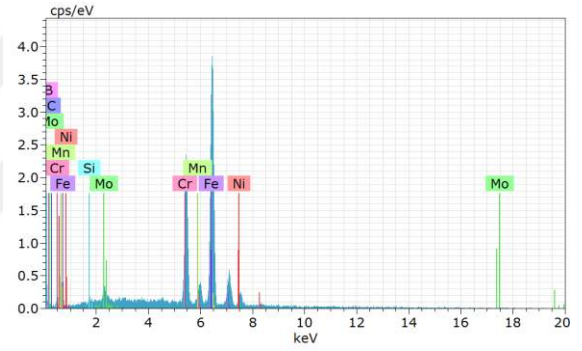
Şekil 6.10. N1 numunesine ait SEM görüntüsü.

N2-N4 numuneleri farklı oranlarda FeMo-B₄C toz karışımları ile kaplanmıştır. Görüldüğü gibi kaplama tozları ve altlık malzeme birlikte ergiyerek yüzey modifiye edilmiştir. Kaplama tabakaları açık renkli dendritler ve gri renkli matrislerden oluşmaktadır. Kaplama tabakalarının kimyasal kompozisyonları kaplama tozlarının karışım oranları değiştikçe farklılaşmıştır. Yüzey kaplama bölgelerindeki bor ve karbon atomlarının atom numaraları ve atom çapları birbirine çok yakın olduğu için bor EDS ile tespit edilememiştir. EDS cihazının boru karbon olarak analiz ettiği düşünülmektedir.

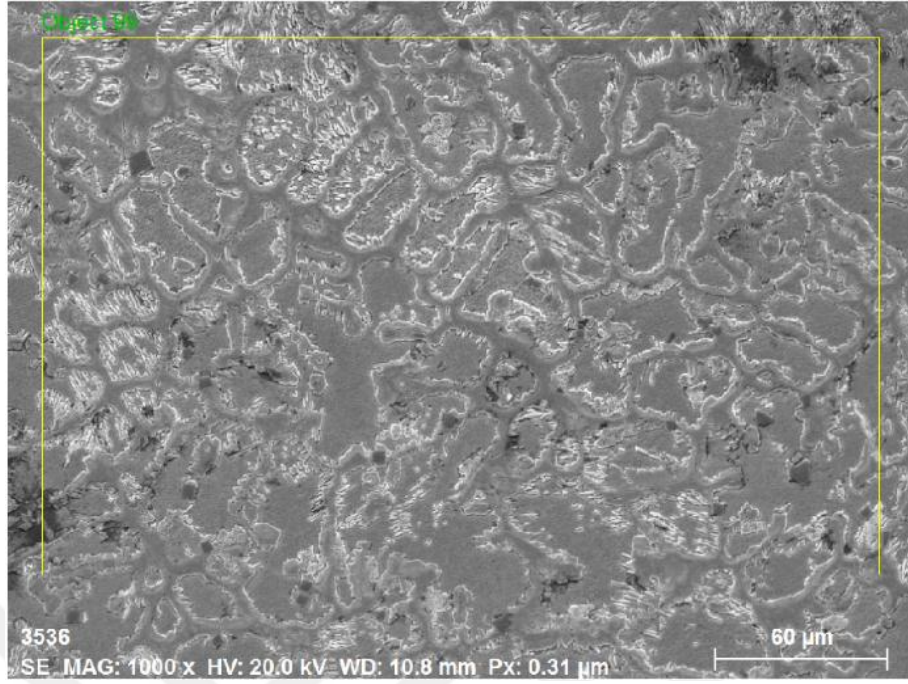


Spectrum: Object 96

El	AN	Series	Net unnn.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
Fe	26	K-series	4417	49.67	63.76	59.54
Cr	24	K-series	2522	17.43	22.37	22.44
Mn	25	K-series	438	3.95	5.07	4.82
Ni	28	K-series	220	3.58	4.59	4.08
Mo	42	L-series	221	1.62	2.09	1.13
C	6	K-series	26	1.27	1.63	7.10
Si	14	K-series	76	0.37	0.48	0.89
B	5	K-series	0	0.00	0.00	0.00
Total:			77.89	100.00	100.00	

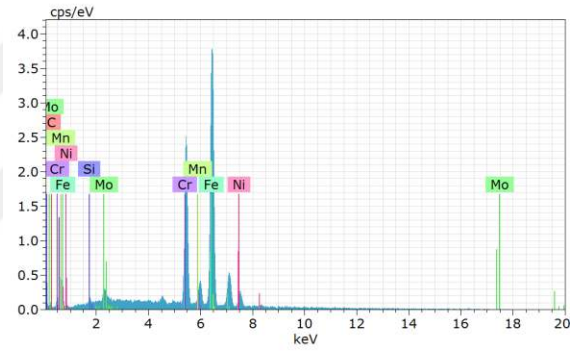


Şekil 6.11. N2 numunesine ait SEM görüntüsü.

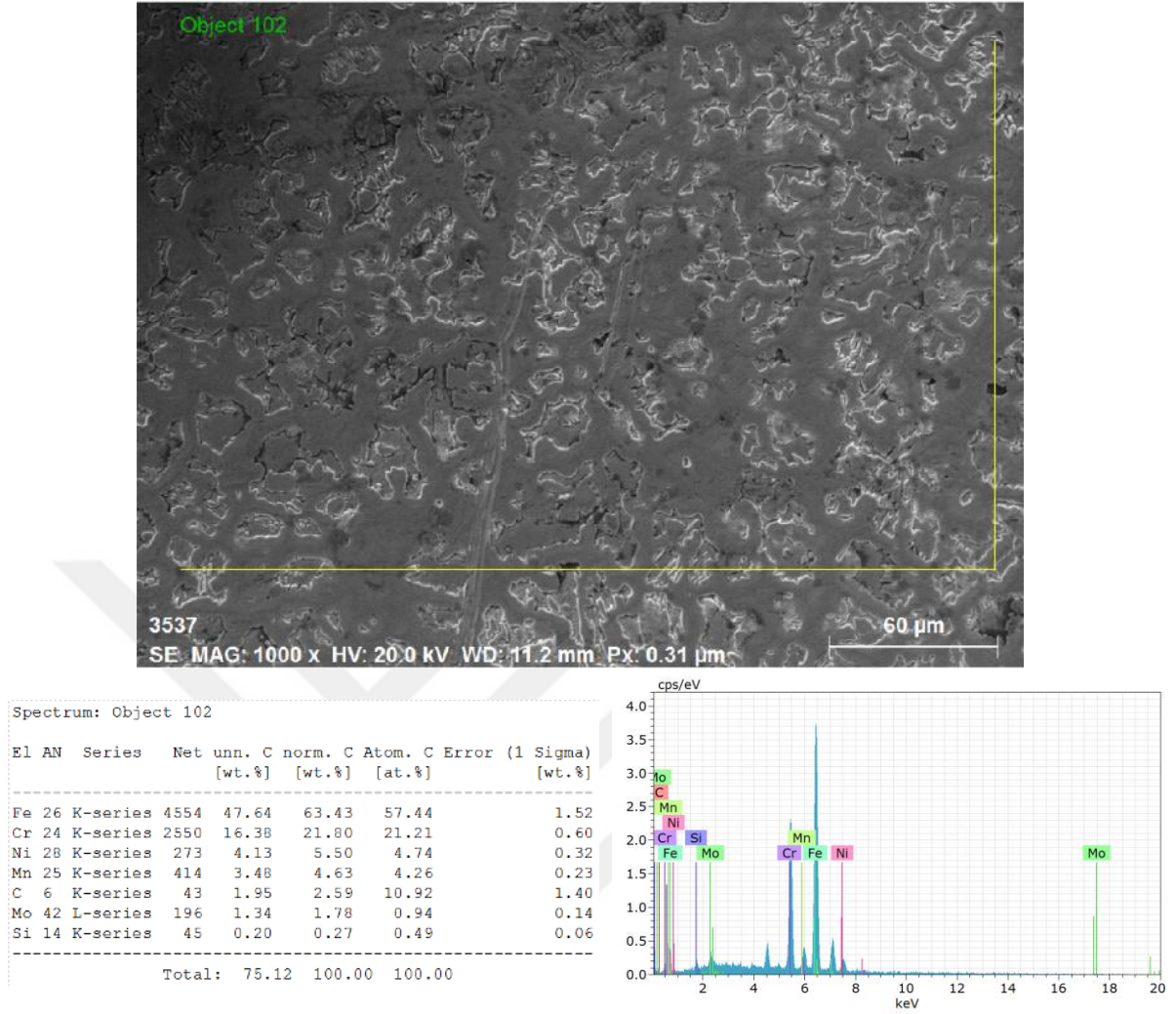


Spectrum: Object 99

El	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
Fe	26	K-series	11744	52.11	63.35	57.79
Cr	24	K-series	6723	18.32	22.27	21.82
Ni	28	K-series	670	4.30	5.23	4.54
Mn	25	K-series	1105	3.93	4.78	4.43
C	6	K-series	101	1.93	2.35	9.96
Mo	42	L-series	493	1.42	1.73	0.92
Si	14	K-series	127	0.25	0.30	0.54
Total:			82.26	100.00	100.00	

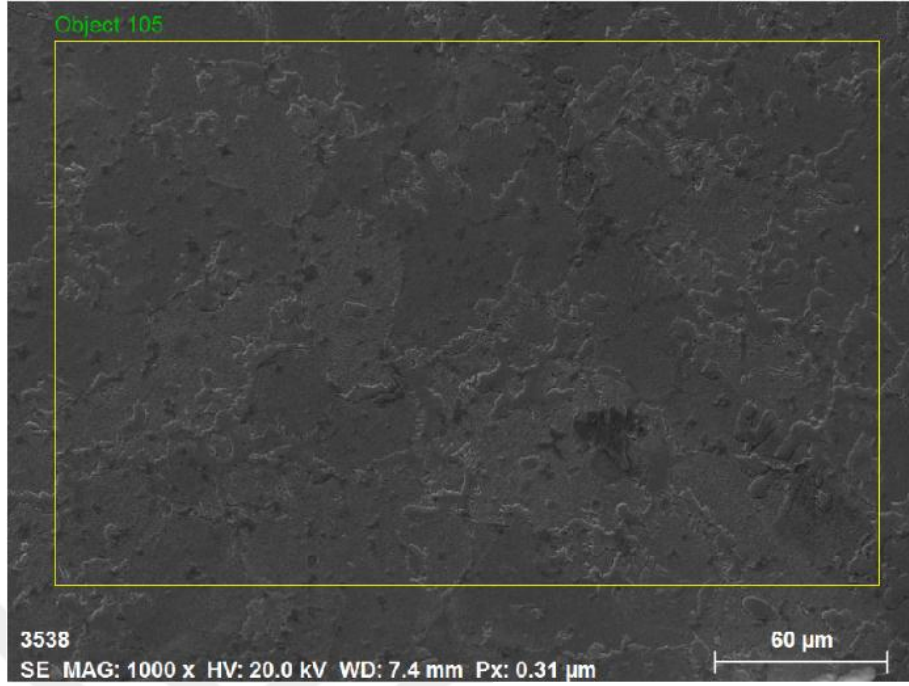


Şekil 6.12. N3 numunesine ait SEM görüntüsü.



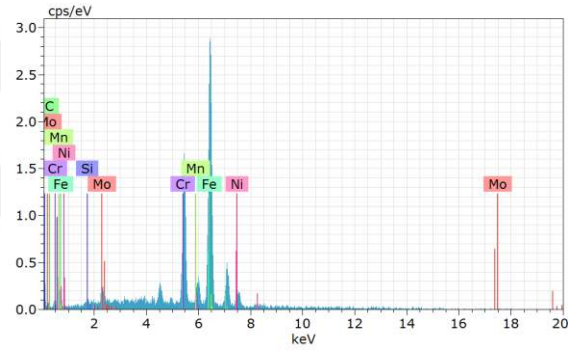
Şekil 6.13. N4 numunesine ait SEM görüntüsü.

N5-N7 numuneleri farklı oranlarda FeMo-FeCrC toz karışımları ile kaplanmıştır. Görüldüğü gibi kaplama tozları ve altlık malzeme birlikte ergiyerek yüzey modifiye edilmiştir. Kaplama tabakaları açık renkli dendritler ve gri renkli matrislerden oluşmaktadır. Kaplama tabakalarının kimyasal kompozisyonları kaplama tozlarının karışım oranları değiştikçe farklılaşmıştır.

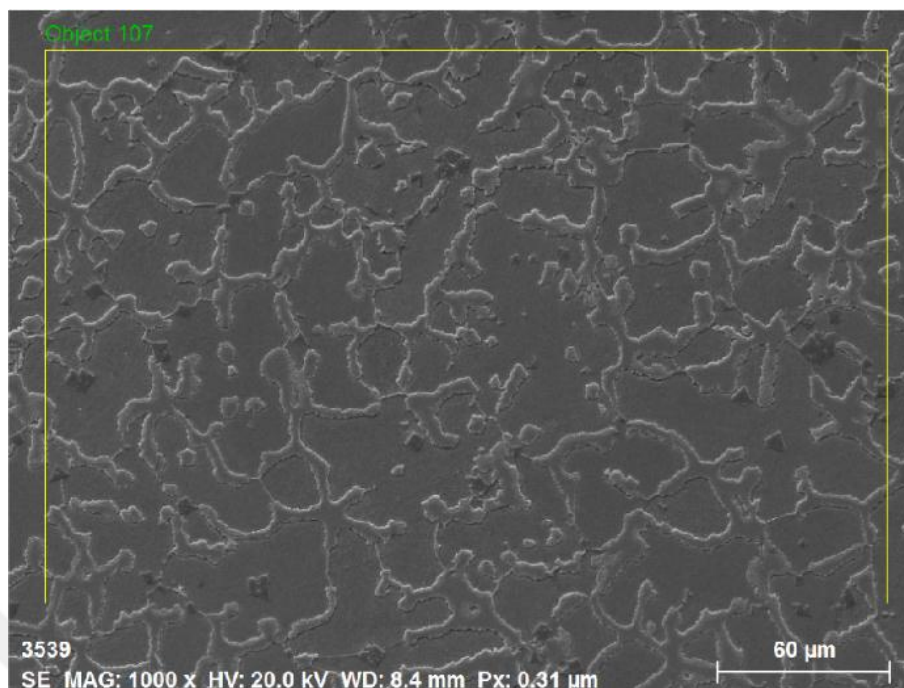


Spectrum: Object 105

El	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
Fe	26	K-series	2157	55.09	63.31	59.14
Cr	24	K-series	1153	18.13	20.83	20.90
Ni	28	K-series	137	5.06	5.81	5.17
Mn	25	K-series	233	4.80	5.51	5.23
Mo	42	L-series	130	2.17	2.50	1.36
C	6	K-series	14	1.54	1.77	7.68
Si	14	K-series	22	0.24	0.28	0.52
Total:			87.02	100.00	100.00	

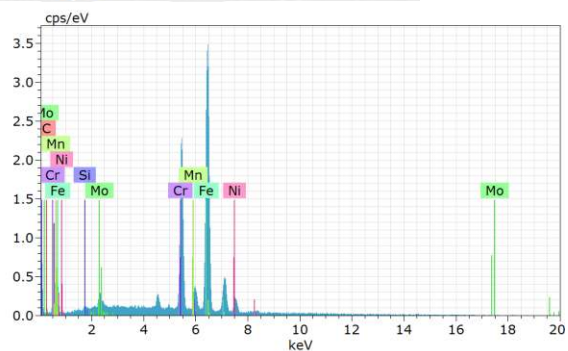


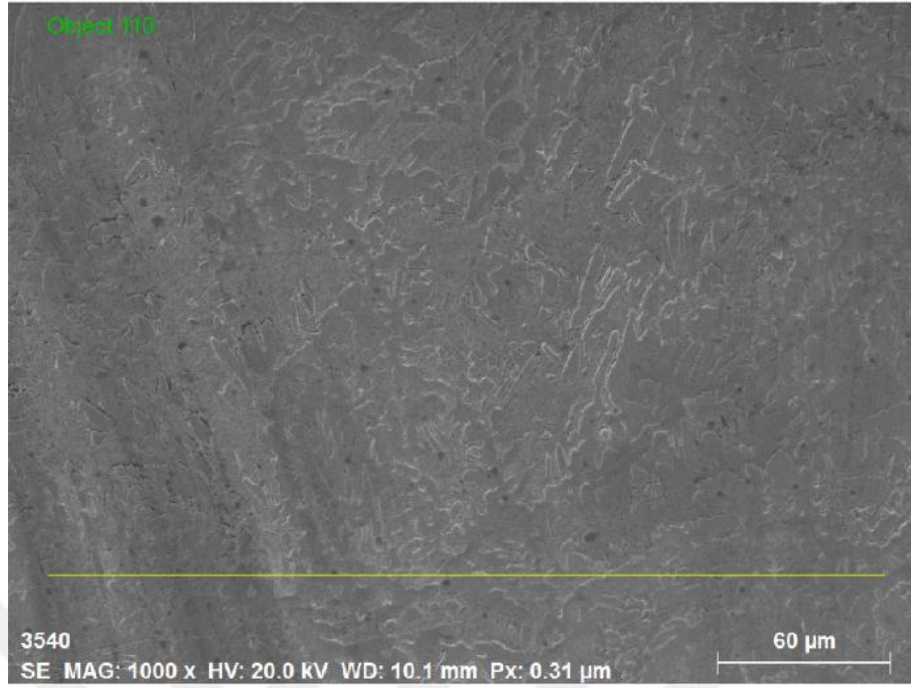
Şekil 6.14. N5 numunesine ait SEM görüntüsü.



Spectrum: Object 107

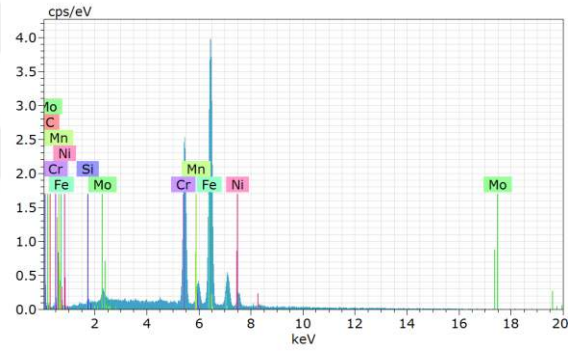
El	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
Fe	26	K-series	11573	52.47	63.11	58.27
Cr	24	K-series	6761	18.86	22.68	22.49
Ni	28	K-series	716	4.69	5.64	4.95
Mn	25	K-series	1034	3.76	4.52	4.24
C	6	K-series	86	1.68	2.02	8.66
Mo	42	L-series	512	1.51	1.82	0.98
Si	14	K-series	91	0.18	0.22	0.40
Total:			83.15	100.00	100.00	



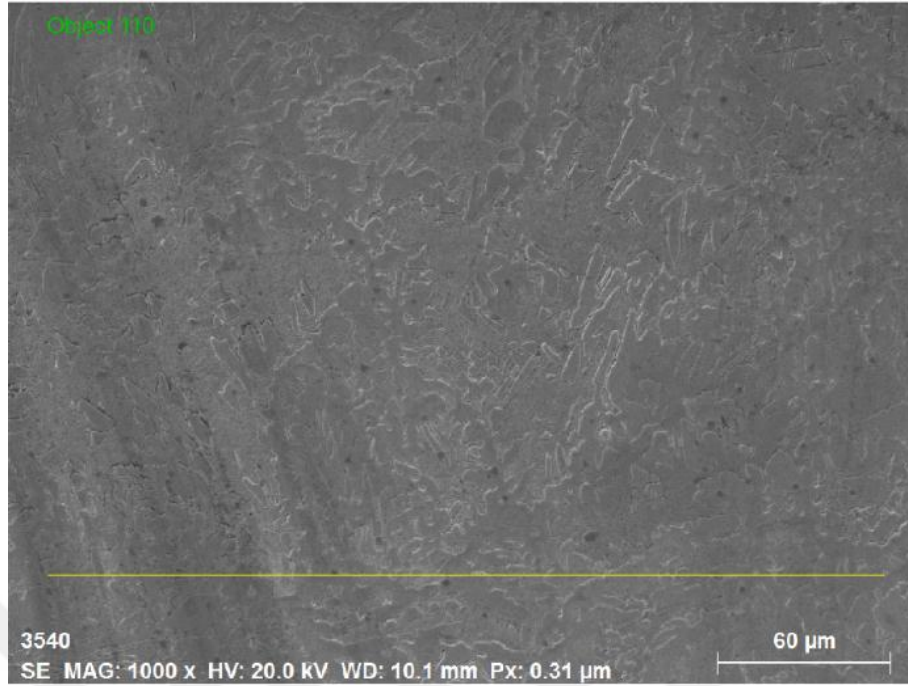


Spectrum: Object 110

El	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
Fe	26	K-series	11816	51.27	63.81	58.93
Cr	24	K-series	6780	18.05	22.46	22.28
Ni	28	K-series	642	4.03	5.01	4.41
Mn	25	K-series	1127	3.92	4.88	4.58
C	6	K-series	83	1.55	1.93	8.28
Mo	42	L-series	432	1.23	1.53	0.82
Si	14	K-series	161	0.31	0.38	0.70
Total:			80.35	100.00	100.00	

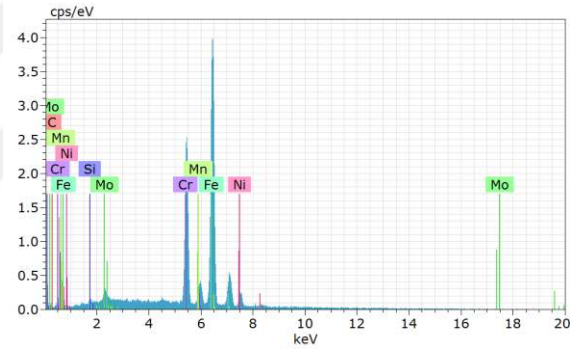


Şekil 6.15. N6 numunesine ait SEM görüntüsü.



Spectrum: Object 110

El	AN	Series	Net un.	C norm.	C Atom.	C Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
Fe	26	K-series	11816	51.27	63.81	58.93
Cr	24	K-series	6780	18.05	22.46	22.28
Ni	28	K-series	642	4.03	5.01	4.41
Mn	25	K-series	1127	3.92	4.88	4.58
C	6	K-series	83	1.55	1.93	8.28
Mo	42	L-series	432	1.23	1.53	0.82
Si	14	K-series	161	0.31	0.38	0.70
Total:			80.35	100.00	100.00	

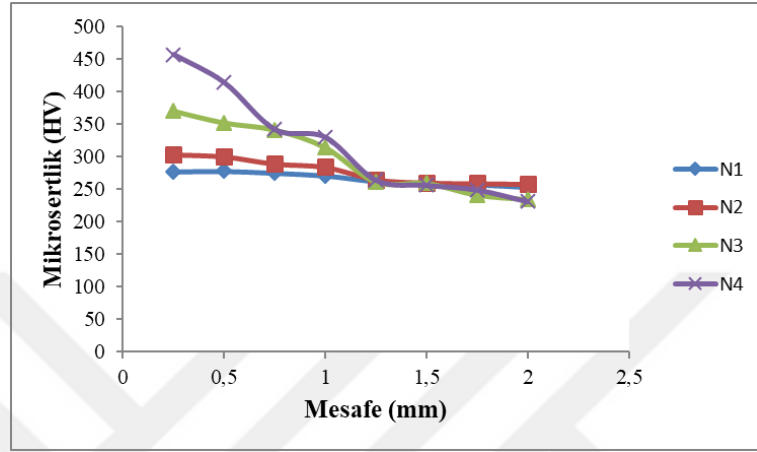


Şekil 6.16. N7 numunesine ait SEM görüntüsü.

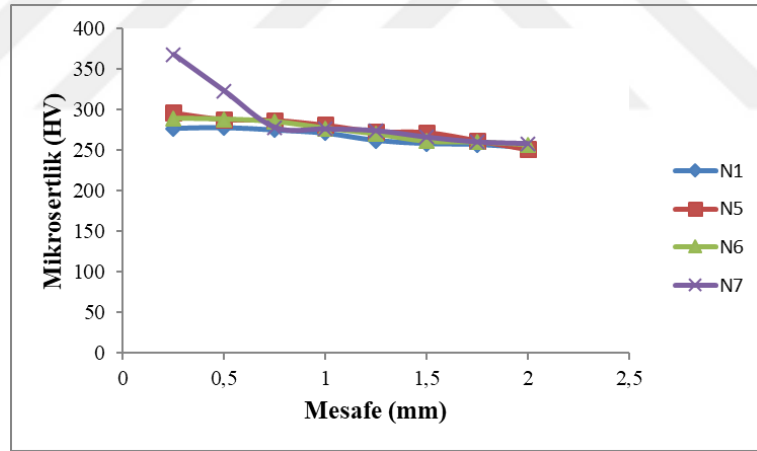
6.2. Mikrosertlik ve Aşınma Sonuçları

Şekil 6.17.' de kaplanmış numunelerin mikrosertlik sonuçları görülmektedir. N1 numunesinin kaplama tabakası ortalama mikrosertlik değeri 267 HV, N2 numunesinin kaplama tabakası ortalama mikrosertlik değeri 278 HV, N3 numunesinin kaplama tabakası ortalama mikrosertlik değeri 297 HV ve N4 numunesinin kaplama tabakası ortalama mikrosertlik değeri 318 HV' dir. Görüldüğü gibi B₄C oranının artmasıyla mikrosertlik değeri de artmıştır. Bunun nedeninin B₄C' nin sertliğinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. FeMo tozuna FeCrC katkısıyla kaplanan N5 numunesinin kaplama tabakası ortalama mikrosertlik değeri 273 HV, N6 numunesinin kaplama tabakası ortalama mikrosertlik değeri 276 HV ve N7 numunesinin kaplama tabakası ortalama

mikrosertlik değeri ise 287 HV' dir. Buradada FeCrC oranı arttıkça mikrosertlik değeri artmıştır. Bunun nedeninin de FeCrC oranının artmasıyla karbür oluşumun artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Görüldüğü gibi kaplanmış numunelerin mikrosertlik değerleri altlık malzeme olan AISI 2205 dupleks paslanmaz çeliğin sertlik değeri olan 222 HV' den daha yüksektir.



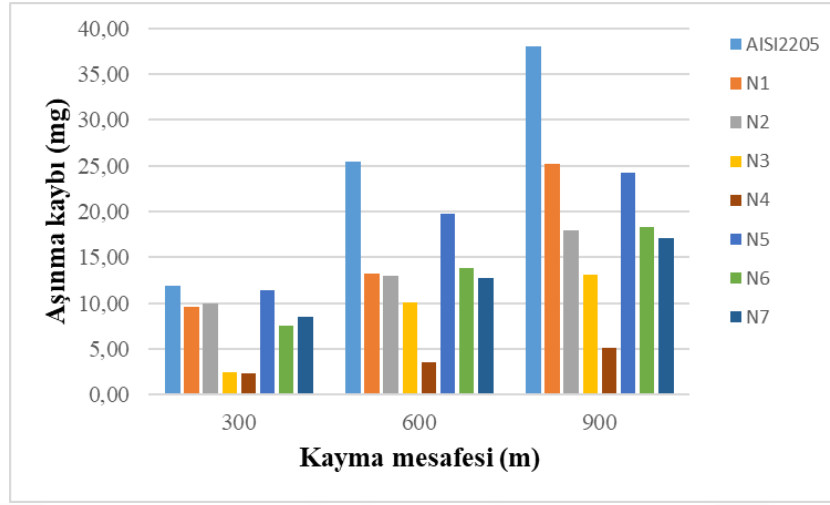
a)



b)

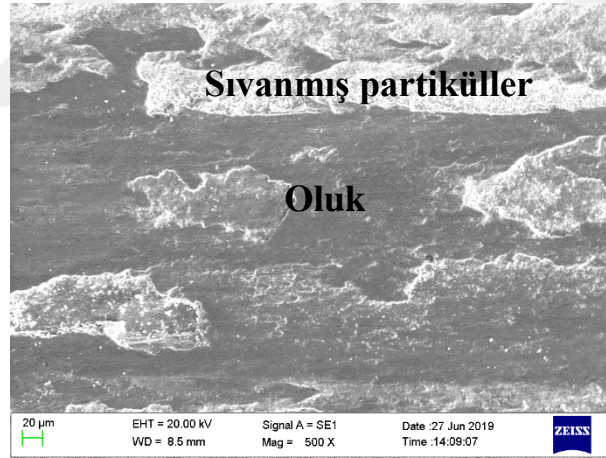
Şekil 6.17. Kaplanmış numunelerin mikrosertlik dağılımları.

Şekil 6.18.' de kaplanmış numunelerin ve altlık malzemenin aşınma kayıplarının mesafeye bağlı değişim grafiği görülmektedir. Görüldüğü gibi altlık malzemenin aşınma kaybı kaplanmış numunelerden daha fazladır. Bunun nedeni olarak kaplanan numunelerde oluşan sert karbür fazlarının sertlik değerlerinin altlık malzemedan yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine kaplamaların ortalama sertlik değerleri arttıkça aşınma dayanımları iyileşmiştir. Aşınma direnci en iyi olan numune sertlik değeri de en yüksek numune olan N4 numunesidir.



Şekil 6.18. Kaplanmış numunelerin ve altlık malzemenin aşınma kayıpları.

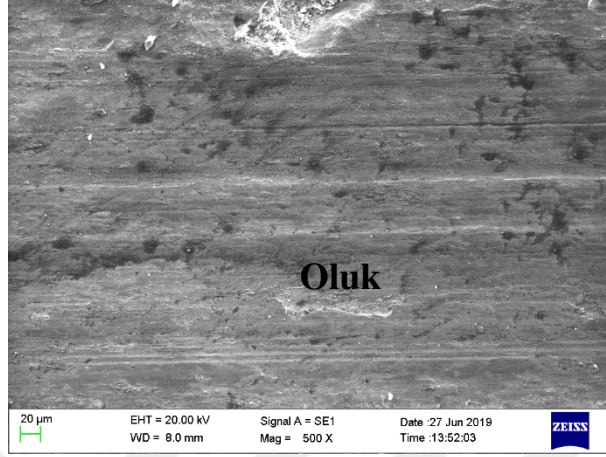
Şekil 6.19.' da AISI 2205 çeliğinin aşınma yüzey görüntüsü verilmiştir. Görüldüğü gibi yüzeyde oluklar görülmektedir. Yine yüzeyden kopan bazı parçacıklar yüzeye yer yer ısırında etkisiyle sıvanmıştır.



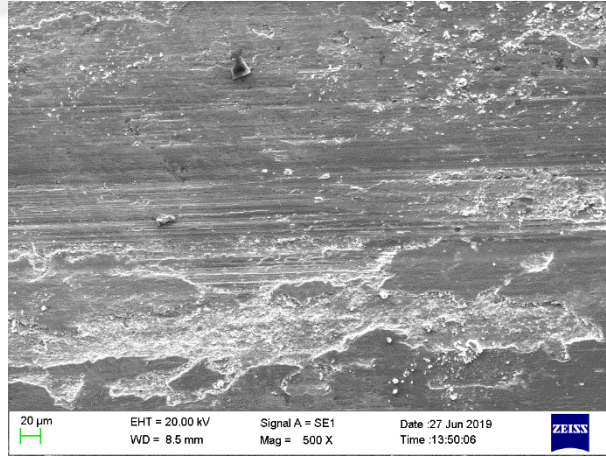
Şekil 6.19 . AISI2205 çeliği aşınma yüzey SEM görüntüsü.

Şekil 6.20.-6.26.' da N1-N7 numunelerinin aşınma yüzey SEM fotoğrafları görülmektedir. N1 numunesi kaplanmış numuneler içerisinde en fazla aşınan numune olduğundan aşınma yüzeyi neredeyse düzleşmiştir. Yine aşınan yüzeyde oluklar gözlemlenmektedir. B₄C katkılı numunelerin (N2-N4) aşınma yüzeyleri incelendiğinde aşınmanın genellikle yüzeyden parça kopması şeklinde gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeninin karbürlerin sertliklerinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. FeCrC katkılı numunelerin (N5-N7) aşınma yüzeyleri incelendiğinde, ikinci ve üçüncü en

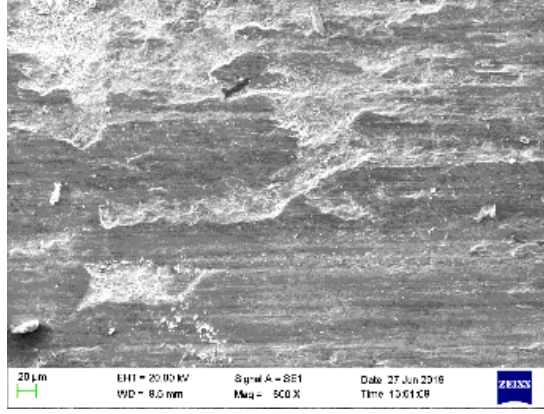
kötü aşınma direncine sahip olan numuneler olan N5 ve N6' nın aşınma yüzeyleride N1' e benzer şekilde düzleşmiştir. N7 numunesinde de aşınma genellikle parça kopması şeklinde gerçekleşmiştir.



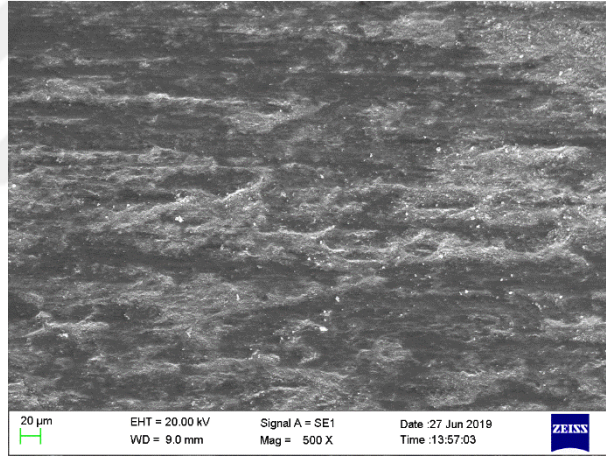
Şekil 6.20. N1 numunesinin aşınma yüzey SEM görüntüsü.



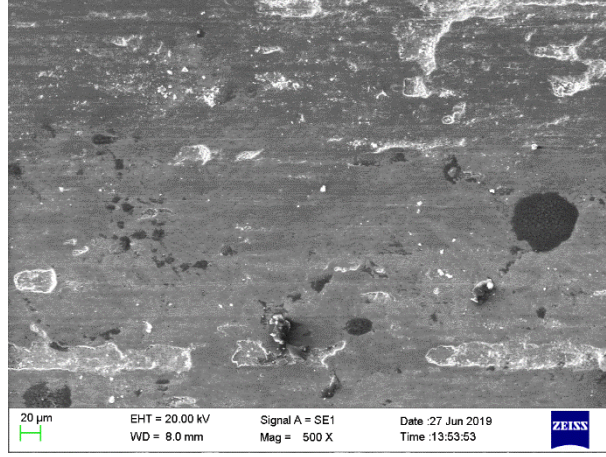
Şekil 6.21. N2 numunesinin aşınma yüzey SEM görüntüsü.



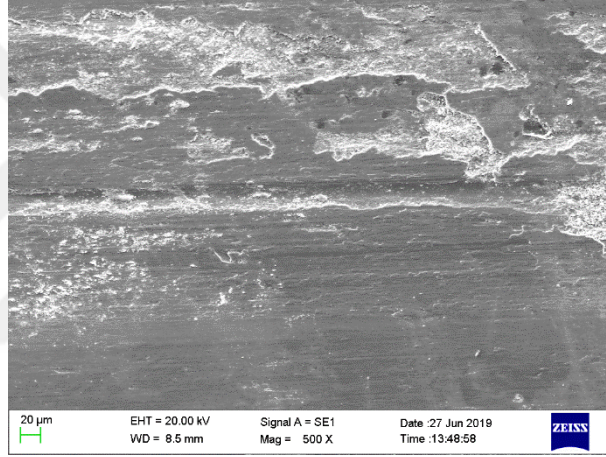
Şekil 6.22. N3 numunesinin aşınma yüzey SEM görüntüsü.



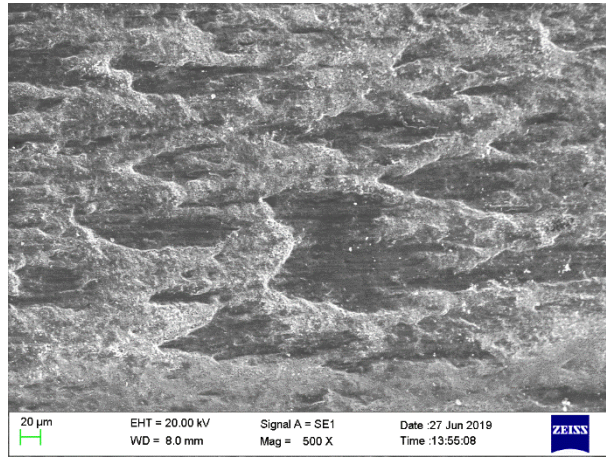
Şekil 6.23. N4 numunesinin aşınma yüzey SEM görüntüsü.



Şekil 6.24. N5 numunesinin aşınma yüzey SEM görüntüsü.



Şekil 6.25. N6 numunesinin aşınma yüzey SEM görüntüsü.



Şekil 6.26. N7 numunesinin aşınma yüzey SEM görüntüsü.

7. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğinin yüzeyi FeMo ve farklı oranlarda karıştırılan, FeMo-B₄C ve FeMo-FeCrC tozları ile PTA yöntemi ile kaplanmıştır. Yapılan mikroyapı incelemeleri, mikrosertlik ölçümleri ve aşınma testleri neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğinin kullanılarak FeMo, FeMo-B₄C ve FeMo-FeCrC tozları ile kaplanabileceği görülmüştür.
2. Kaplama yüzeylerinde gözle görülür bir çatlğa rastlanmamıştır.
3. FeMo kaplanan numunenin kaplama tabakasında Cr₂C₃, MoNi₄, CrNi ve Cr₂Fe₁₄ fazları, FeMo-B₄C kaplanan numunenin kaplama tabakasına B₂O₃, Fe₅C₂, Cr₆Fe₁₈Mo₅, Cr₇C₃, Cr₂₃C₆ ve B_{41,33}C_{4,45} fazları, FeMo-FeCrC kaplanan numunede ise Ni₆Mo₆C ve Cr₇C₃ fazları tespit edilmiştir.
4. Kaplanmış numunelerin sertlik değerleri AISI 2205' den daha yüksektir.
5. En yüksek sertlik değeri FeMo-75B₄C ile kaplanan numunede 318 HV ölçülmüştür.
6. Kaplanmış numunelerin sertlikleri B₄C ve FeCrC oranının artmasıyla artmaktadır.
7. Kaplanmış numunelerin aşınma dirençleri altlık malzemedenden daha yüksektir.
8. En yüksek aşınma direncine sahip numune FeMo-75B₄C ile kaplanan numunedir

İleriki çalışmalarda FeMo, FeMo-B₄C ve FeMo-FeCrC kaplı numunelerin korozyon dayanımları incelenebilir. Kaplanmış numunelerin abrasif aşınma ve yağlı ortamda aşınma davranışları incelenebilir.

8. KAYNAKLAR

- [1]. Akbaş, N., 2000, İyon implantasyonu yöntemiyle yüzeyi modifiye edilmiş 1.2080 soğuk iş takım çeliğinde implantasyon parametrelerinin mekanik ve tribolojik özellikler üzerine etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [2]. Akbaş, N. ve Saklakoğlu, İ.E., 2001, İmplantasyon prosesinde kullanılan iyon ışını ekipmanları, Mühendis ve Makine Dergisi, cilt:42 (497), 30-34
- [3]. Anık, S. ve Tülbentçi, K., 1966, Kaynak Metalurjisi (Çelikler İçin), Yazar:Baggerud A., İskender Matbaası, İstanbul.
- [4]. Artem, V.P., 2001, Effect of ion nitriding on the wear resistance of alloys, Materials Science and Heat Treatment, Vol:43, 10-11.
- [5]. ASM Handbook., (1992), Failur Analysis and Prevention, volume:11, U.S.A..
- [6]. Audy, J., Strafford, K.N. and Subramanian, C., 1995, The efficiency of uncoated and coated tool systems in the machining of low carbon steel assessed through cutting force measurements, Surface and Coatings Technology, Vol:76-77 (2), 706-711.
- [7]. Avner, H., 1984, Introduction of Physical Metallurgy, printed in Printing House of METU, Ankara/Turkey, 2. ed., 351-357.
- [8]. Berns, H. and Fischer, A., 1997, Microstructure of Fe-Cr-C hardfacing alloys with additions of Nb, Ti and B, Materials Characterization, 3 , 4 -527.
- [9]. Blau, P.J. and Budinski, K.G., 1999, Development and use of ASTM standards for wear testing, Wear, Vol: 225-22 (2), 115 -1170.
- [10]. Bourithis E., Tazedakis A., Papadimitriou G., 2002, A Study On The Surface Treatment Of “Calmax” Tool Steel By Plasma Transferred Arc (PTA) Process. Mater Process Technology;128, 16 –77.
- [11]. Bourithis, L., Milonas, A., Papadimitriou, G.D., 2003, Plasma transferred arc surface alloying of a construction steel to produce a metal matrix composite tool steel with TiC as reinforcing particles, Surface and Coatings Technology, 286–2 5.
- [12]. Bourithis, L., Papadimitriou, G., 2005, Three Body Abrasion Wear Of Low Carbon Steel Modified Surfaces,Wear 258, 1775–1786
- [13]. Bourithis, L. and Papadimitriou, G., 2003, Boriding a plain carbon steel with the plasma transferred arc process using boron and chromium diboride powders: microstructure and wear properties, Materials Letters, Vol:57 (12), 1835-183 .
- [14]. Brunner L., (2003), “Pinpointing Future Laser Welding Markets”, The Fabricator.

- [15]. Bruno, G., Fanara, C., Guglielmetti, F. and Malard, B., 2006, Characterization and residual stress analysis of wear resistant mo thermal spray coated steel gear wheels, *Surface & Coatings Technology*, volume:200 (14-15), 4266-4276.
- [16]. Bunshah, R.F., 1988, Hard coatings, *Vacuum*, Vol:3 , 55- 65.
- [17]. Buytoz, S., Yılmaz, O., 2003, GTA yöntemi kullanılarak FeCrC ve WC kaplanmış sade karbonlu SAE 1020 malzemesinin aşınma davranışının araştırılması, *Mühendis ve Makine*, Sayı 51 .
- [18]. Buytoz, S., 2004, AISI 4340 çeliğin nitrürasyon ve GTA kaynak yöntemi ile yüzey modifikasyonu işlemleri sonrası mekaniksel davranışlarının araştırılması, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [19]. Buytoz, S., Yildirim, M.M., Eren, H., 2005, Microstructural and microhardness characteristics of gas tungsten arc synthesized Fe-Cr-C coating on AISI 4340, *Materials Letters*, volume:5 (6), 607-614.
- [20]. Buytoz S., Ulutan M., Yildirim M.M., (2005), “Dry sliding wear behavior of TIG welding clad WC composite coatings”, *Applied Surface Science*, volume:252, pp:1313–1323.
- [21]. Buytoz, S., 2006, Microstructural properties of M_7C_3 eutectic carbides in a Fe-Cr-C alloy, *Materials Letters*, Vol:60 (5), 605-608.
- [22]. Cary, H. B. 1984, *Modern Welding Technology*, 3rd ed., Prentice-Hall Inc., 417, London.
- [23]. Cabeo, E.R., Laudien, G., Biemer, S., Rie, K.T. and Hoppe, S., 1999, Plasma-assisted boriding of industrial components in a pulsed D.C. glow discharge, *Surface and Coating Technology*, volumes:116-117, 22 -233.
- [24]. Chen, X.Q., Newaz, M., 2001, Oxidation and damage of EBPVD thermal barrier coatings under thermal cycling, *Journal of Materials Science Letters*, 20, 3- 5.
- [25]. Choy, K.L., 2003, Chemical vapour deposition of coatings, *Progress in Materials Science*, volume:48 (2), 57-170.
- [26]. Çakan, A. 2006, AISI 1070 çeliğinden üretilen işlemsiz, yüzey işlemleri ve sert yüzey kaplamalı kesici takımların mekanik özelliklerinin, mikroyapı ve kesme performanslarının incelenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [27]. Çalık A., Somunkıran İ., (2006), “Borlanmış AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin kırılma tokluğunun deneysel belirlenmesi”, 11. Uluslararası Denizli Malzeme Sempozyumu, sayfa:204-208, Denizli.
- [28]. Çay, V.V., 2009, . Sade Karbonlu Çeliklerin TIG ve Plazma İle Yüzey Kaplamasında Koruyucu Gaz Ve Tozların Yüzey Modifikasyonuna Etkilerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- [29]. Darabara, M., Papadimitriou, G.D., Bourithis, L., 2006, Production of Fe-B-TiB₂ Metal matrix composites on steel surface, *Surface & Coatings Technology*, 201 (6), 3518-3523.
- [30]. Desai, V.M., 1 84, Effect of carbide size on the abrasion of cobalt base powder metallurgy alloys, *Wear*, 4 (1), 347-376.
- [31]. Daus, R. L., Yellupb, J. M., Subramanian, C., 1998, Metal-Matrix Composite Coatings By PTA Surfacing, *Composiws Science and Technology*, 58, 2 -30
- [32]. D'Oliviera, A.S.C.M., Vilar, R., Feder, C.G., 2002, High Temperatura Behavior of Plasma Transferred Arc and Co-based Alloy Coating, *Applied Surface Science*, 201, 154-160
- [33]. Edenhofer, B., Grafen, W. and Muller, Z.J., 2001, Plasma-carburising-a surface heat treatment process for the new century, *Surface and Coating Technology*, 142-144, 225-234.
- [34]. Eryılmaz, O.L., 1993, PVD, CVD kaplama yöntemleri ve ARK-PVD yöntemiyle hazırlanmış TiN ve Cr kaplamalarının korozyona dayanım özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [35]. Fan, C., Chen, M.C., Chang, C.M. and Wu, W., 2006, Microstructure change caused by (Cr,Fe)₂₃C₆ carbides in high chromium Fe-Cr-C hardfacing alloys, *Surface and Coatings Technology*, 201 (3-4), 08- 12.
- [36]. Frangini, S., Masci, A., Bartolomeo, A.D., 2002, Cr₇C₃-based cermet coating deposited on stainless steel by electrospark process: structural characteristics and corrosion behavior, *Surface and Coatings Technology*, 14 (2-3), 27 -286.
- [37]. Gatto, A., Bassoli, E., Fornari, M., 2004, Plasma Transferred Arc Deposition of Powdered High performances alloys: Process Parameters Optimisation as a Function of Alloy and Geometrical Configuration, *Surface and Coating Technology*, 187, 265-271
- [38]. Gür, A.K., 2009. Plazma (PTA) yöntemiyle düşük karbonlu çeliğin yüzey modifikasyonuna koruyucu gazların etkisi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [39]. Gür, A.K., Orhan, A., 2007, PTA Yöntemiyle AISI 1040 Çeliğinin Yüzey Modifikasyonu Sonrası Mikroyapıların İncelenmesi, *Metal Makine Dergisi*, 164, 3 5-3 7.
- [40]. Gür, A.K., Taşkın, M., Orhan, A. Çalgül, U., Dikbaş, H., 2009, Ti6Al4V Alaşım Çiftinin PTA Yöntemiyle Kaynak Edilebilirliği, *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük Üniversitesi, Kabul Edildi, Karabük/Türkiye
- [41]. Gürgeç, T. ve Özel C. (2017). Effect of Heat Input on Microstructure, Friction and Wear Properties of Fe-Cr-BC Coating on AISI 1020 Surface Coated by PTA Method. *Fırat University Turkish Journal of Science & Technology*, 12(2), 43-52.
- [42]. Haboudou, A., Peyre, P., Vannes, A.B., Peix, G., 2003, Reduction of porosity content generated during Nd:YAG laser welding of A356 and AA5083 aluminium alloys, *Materials Science and Engineering A*, 363 (1-2), 40-52.

- [43]. Hass, D.D., Slifka, A.J. and Wadley, H.N.G., 2001, Low thermal conductivity vapour deposited zirconia microstructures, *Acta Materialia*, 4 (6), 73- 83.
- [44]. He, L., Zhang, X. and Tong, C., 2006, Surface modification of pure titanium treated with B4C at high temperature, *Surface & Coatings Technology*, 200 (9), 3016- 3020.
- [45]. Hejwowski T., (2006), "Sliding wear resistance of Fe-, Ni- and Co-based alloys for plasma deposition", *Vacuum*, volume:80, pp:1326–1330.
- [46]. Hisakado, T., 1976, The influence of surface roughness on abrasive wear, *Wear*, 41 (1), 17 -10.
- [47]. Hokkirigawa, K., Kato, K., 1988, An experimental and theoretical investigation of ploughing, cutting and wedge formation during abrasive wear, *Tribology Int.*, 21(1), 51-57.
- [48]. Holmberg, K., Mattiasson, A., Ronkainen, H., 1988, Coating tribology-contact mechanisms and surface design, *Tribology International*, 31 (1-3), 107-120.
- [49]. Hou, Q.Y., He, Y.Z., Zhang, Q.A., Gao, J.S. Influence Of Molybdenum On The Microstructure And Wear Resistance Of Nickel-Based Alloy Coating Obtained By Plasma Transferred Arc Process, *Materials and Design.*, accepted 7 april 2006
- [50]. Hou, Q., He, Y., Gao, J., 2006, Microstructure and properties of Fe-C-Cr-Cu coating deposited by plasma transferred arc process, *Surface & Coatings Technology*, volume:201 (6), 3685-3690.
- [51]. Howes, C.P., 1994, Thermal spraying: processes, preparation, coatings and applications, *Welding Journal*, 4, 47-51.
- [52]. Hutchings, I.M., 1992, *Tribology: friction and wear engineering materials*: Edward Arnold, *Materials & Design*, 13 (3), 187.
- [53]. Iakovou, R., Bourithis, L., Papadimitriou, G., 2002, Synthesis Of Boride Coatings On Steel Using Plasma Transferred Arc (PTA) Process And Its Wear Performance, *Wear* 252, 1007–1015
- [54]. Internet adresi: www.plasmateam.com - Plazma Team SNC. –İtalya, Mario Marcioni,
- [55]. Islak, S., 2005, 45mn5 Islah Çeliğinin Isıl İşlem Ve Ergitme Yöntemleri İle Yüzey Modifikasyonu İşlemleri Sonrası Mekaniksel Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [56]. Jennings P., (1971), "Some properties of dissimilar metal joints made by friction welding", *The Welding Institute, Abington Hall, Cambridge*, pp 147-153.
- [57]. Jin, H.W., Rhyim, Y.M., Hong, S.G., Park, C.G., 2001, Microstructural evolution of the rapidly quenched Fe-Cr-B alloy thermal spray coatings, *Materials Science and Engineering A*, 304-306, 106 -1074.
- [58]. Kaestner, P., Olfe, J., Rie, K.T., 2001, Plasma-assisted boriding of pure titanium and Ti6Al4V, *Surface and Coating Technology*, 142-144, 248-252.

- [59]. Kaluç E., Tülbentçi K., (1995), Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği, Kocaeli Üniversitesi, Kaynak Teknolojisi Araştırma Eğitim ve Uygulama Merkezi, Kocaeli.
- [60]. Kaluç, E., Taban E., 2005 Plazma Arkı ile Kaynak ve Endüstriyel Uygulamaları MakineTek, 84, 116-123
- [61]. Kanlıdağ M., Kurt A., (2002), “Toz metal malzemelerin PVD tekniği ile kaplanabilirliğinin incelenmesi”, Politeknik Dergisi, Cilt:4, sayfa:5 -64.
- [62]. Karadeniz S., (1990), “Plazma tekniği”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, yayın no:117, Ankara.
- [63]. Kayaba, T., Kato, K., Hokkirigawa, K., 1983, Theoretical analysis of the plastic yielding of a hard asperity sliding on a soft flat surface, Wear, 87 (2), 151-161.
- [64]. Kempton, K., 1991, Where thermal spray coatings are most cost effective, Welding Journal, 70, 41-44.
- [65]. Kim, J.H., Hong, H.S. and Kim, S.J., 2007, Effect of boron addition on the cavitation erosion resistance of Fe-based hardfacing alloy, Materials Letters, 61 (4-5), 1235-1237.
- [66]. Korkut, M.H., 1997, Ferritik paslanmaz çeliklerin mikro yapısı ve aşınması üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [67]. Korkut M.H., Yılmaz O., Buytoz S., (2002), “Effect of aging on the microstructure and toughness of the interface zone of a gas tungsten arc (GTA) synthesized Fe–Cr–Si–Mo–C coated low carbon steel”, Surface and Coatings Technology, Volume:157, pp:5–13.
- [68]. Kurt U., (1 88), Paslanmaz Çelik Kaynak Özelliklerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimi Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [69]. Kuhn K.J., Hilton P., (1998), “Laser Engineering-Carbon Dioxide Laser”, Upper Saddle River, NJ:Prentice Hall, TWI.
- [70]. Kuwana, T. Kokawa, H., Saotome, M. 1 5, Quantitive prediction of nitrogen absorpsion by stell during gas tungsten arc welding, 3nd İnternational Seminar on the Numerical Analysis of Weldability, Graz-Seggau, Austria, 25-27 September
- [71]. Liu Y.F., Xia Z.Y., Han J.M., Zhang G.L., Yang S.Z., (2006) “Microstructure and wear behavior of (Cr,Fe)₇C₃ reinforced composite coating produced by plasma transferred arc weld-surfacing process”, Surface & Coatings Technology, volume:201, pp:863-867.
- [72]. Lu, S., Kwon , O., Kim, T. and Kim, K., 2004, Microstructure and wear property of Fe-Mn-Cr-Mo-V alloy cladding by submerged arc welding, Journal of Materials Processing Technology, 147, 1 1—1 6.
- [73]. Lyttle, K. A., 1 8, Shielding Gases, In: Materials Handbook of ASM, 6, 64.
- [74]. Manedov G., Sabchevski S., (2001), “Potential distribution and space charge neuthralization in technological intense electron beams an overview”, Vacuum, volume:62, pp:113-122.

- [75]. Manna, I., Majumdar, J.D., Chandra, B.R., Nayak, S., Dahotre, N.B., 2006, Laser surface cladding of Fe-B-C, Fe-B-Si and Fe-BC-Si-Al-C on plain carbon steel, *Surface & Coatings Technology*, 201 (1-2), 434-440.
- [76]. Modenesi, J.P., Apolinário, R.E., Pereira, M.I., 2000, TIG Welding With Single-Component Fluxes, *Journal of Materials Processing Technology*, , 260-265.
- [77]. Molinari, A., Tesi, B., Bacı, T., 2001, Plasma nitriding and Nitrocarburising of sintered Fe-Cr-Mo and Fe-Cr-Mo-c Alloys'', *Surface and Coatings Technology*, 140 pp. 251-225.
- [78]. Oğuz, B., 1989, Elektrosag (Elektrocuruf) Kaynağı, Oerlikon Yayınları, İstanbul.
- [79]. Oğuz B., (1990), "Demirdışı Metaller Kaynağı", Oerlikon Yayınları, Erdini Basım ve Yayınevi, sayfa:864, İstanbul.
- [80]. Orhan, A., 2003, Al matrisli parçacık takviyeli kompozitlerin sürtünme kaynak yöntemiyle kaynak edilebilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [81]. Orhan, A., 2008, , "Gaz Tungsten Ark Kaynak Yöntemiyle Üretilen Fe Esaslı Kaplama Tabakalarının Aşınma ve Mikroyapı Karakteristiklerinin Araştırılması" Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [82]. Özbek, İ., 1999, Borlama yöntemi ile AISI M50, AISI M2 yüksek hız çeliklerinin ve AISI W1 çeliğinin yüzey performanslarının geliştirilmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [83]. Özcan M., Tarakçıoğlu N., Kahramanlı Ş., (2004), "Saç malzemelerin lazer kaynak parametreleri", Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Teknik Online Dergi, cilt:3, sayı:1.
- [84]. Özel, C. ve Gürgeç, T. (2018). Effect of heat input on microstructure, wear and friction behavior of (wt.-%) 50FeCrC-20FeW-30FeB coating on AISI 1020 produced by using PTA welding. *PloS one*, 13(1), e01 0243.
- [85]. Pessin M.A., Tier M.D., Strohaecker T.R., Bloyee A., Sun Y., BellT., (2000), "The effect of plasma nitriding process parameters on the wear characteristics of AISI M2 tool steel" *Tribology Letters*, volume:8, pp:223-228.
- [86]. Perchlik, L., Sampath, S., Gutleber, J., Bancke, G., Ruff, A. W., 2001, Friction and wear properties of WC-Co and Mo-Mo₂C based functionally graded materials, *Wear* 24 , 1103-1115.
- [87]. Peters, M., Leyens, C., Schulz, U., Kayser, W.A., 2003, EB-PVD thermal barrier coatings for aero engines and gas turbines, *Advanced Engineering Materials*, 3, 1 3-204.
- [88]. Preauchaat, B., Drawin, S., 2001, Properties of PECVD deposited thermal barrier coatings, *Surface and Coatings Technology*, 142-144, 835-842.

- [89]. Salman, S., Kose, R., Urtekin, L., Findik, F., 2006, An investigation of different ceramic coating thermal properties, *Materials and Design*, 27 (7), 585-590.
- [90]. Savaşkan, T., 2000, *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, sayfa 213-217.
- [91]. Schaaf, P., 2002, Laser nitriding of metals, *Progress in Materials Science*, 47(1), 1-161.
- [92]. Sert H., (1997), “PVD ile Kaplanmış Alüminyum Ekstrüzyon Kalıplarının Yüzey Özellikleri ve Aşınma Performanslarının Deneysel İncelenmesi”, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.
- [93]. Smith W.F, (1993), *Structure and Properties of Engineering Alloys*, University of Central Florida, volume:1, pp:321–330, Toronto.
- [94]. Stachowiak, G.W. and Batchelor, A.W., 1996, Surface hardening and deposition of coatings on metals by a mobile source of localized electrical resistive heating, *Journal of Materials Processing Technology*, 57(3-4), 288-297.
- [95]. Stokes, J., 2003, Production of coated and free-standing engineering components using the HVOF (High Velocity Oxy Fuel) thermal spray process, Doctor Thesis, Dublin University, Dublin.
- [96]. Stokes, J., 2006, The theory and application of the HVOF thermal spray process, Publisher Dublin University, Dublin.
- [97]. Şen, U., 1997, Küresel grafitli dökme demirlerin borlanması ve özellikleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [98]. Tokmanoğlu, K., 1992, PVD-ARK teknik ile yapılan kaplamaların özellikleri ve üretim üzerindeki katkıları, *Makine ve Metal Teknolojisi*, 36-3 .
- [99]. Topbaş, M.A., 1998, Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı, Prestij Yayınevi, 88- 5, İstanbul.
- [100]. Toyserkani, E., Khajepour, A., Corbin, S., 2002, Application of experimental-based modeling to laser cladding, *Journal of Laser Applications*, 14, 165-173.
- [101]. Tur, K., 1993, İyon implantasyonu teknolojisinin metallerin yüzey özelliklerinin geliştirilmesinde kullanımı, V. Denizli Malzeme Sempozyumu, 532-53 , Denizli.
- [102]. Tusek, J., Suban, M. 2000, Experimental Research of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas in Arc Welding of High-Alloy Stainless Steel, *International of Hydrogen Energy*, 25 (4), 36 -376
- [103]. Türküz C., Tokmanoğlu K., (1998), “Kesici takım sanayine yönelik ince seramik kaplamaların önemi ve uygulama sonuçları (2)”, *Yüzey İşlemler Dergisi*, cilt:6, sayfa:300–304.
- [104]. Ulutan, M., 2007, AISI 4140 çeliğin yüzey sertleştirme işlemleri ve kaplama yöntemleri sonrası mekanik davranışlarının araştırılması, Doktora Tezi, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- [105]. Ustel, F., 2006, PVD Yöntemi ile üretilen nano ölçekli çok katmanlı (Ti,Al)N/AlN kaplamaların oksidasyon davranışının incelenmesi, 13th International Metallurgy & Materials Congress, Ankara/Türkiye.
- [106]. Villat, M., 1986, Functionally effective coatings using plasma spraying, Sulzer Technical Review, 3, 41-45.
- [107]. Wang, X.H., Zhang, M., Zou, Z.D., Song, S.L, Han, F., Qu, S.Y., 2006, In situ production of Fe-TiC surface composite coatings by tungsten-inert gas heat source, Surface & Coatings Technology, 200 (20-21), 6117-6122.
- [108]. Xibao, W., 2005, The metallurgical behavior of B₄C in the iron-based surfacing alloy during PTA powder surfacing, Applied Surface Science, 252 (5), 2021-2028.
- [109]. Xibao, W., Xiaofeng, W., Zhongquan, S., 2005, The composite Fe-Ti-B-C coatings by PTA powder surfacing process, Surface & Coatings Technology, 1 2(2-3), 257- 262.
- [110]. Xibao, W., Yong, L., Songlan, Y., 2001, Formation of TiB₂ whiskers in laser clad Fe-Ti-B coatings, Surface and Coatings Technology, 137(2-3), 20 - 216.
- [111]. Xu, G., Kutsuna, M., Liu, Z., Yamada, K., 2006, Comparison between diode laser and TIG cladding of Co-based alloys on the SUS403 stainless steel, Surface and Coatings Technology, 201 (3-4), 1138-1144.
- [112]. Yıldırım, M.M., Buytoz, S., Ulutan, M., Microstructural Changes to SiC Coated Metallic Surfaces Produced by the TIG Welding Process on a 45Mn5 Steel Practical Metallography, 44, (2007) 2, 5 -6
- [113]. Yıldırım, M.M., 1989, Galvanizleme Tekniği, Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Yayın No:133, Fırat Üniversitesi Basımevi, 45-52, Elazığ.
- [114]. Yıldırım, M.M., Doğan, Z.S., Çakan, A. ve Pakdil M., 2001, Mühendislik malzemesi, M.K.Ü. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, cilt:I, 114-135, İskenderun.
- [115]. Yılmaz, R., Barlas, Z., Paslanmaz Çelikler N Gazaltı Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesinde Koruyucu Gaz Kompozisyonunun Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi 2005 11(3), 3 1-400 Technology, 201(3-4), 1568-1575.
- [116]. Zhang, L., Sun, D., Yu, H., Li, H., 2007, Caracteristic of Fe-based Alloy Coating Produced By Plasma Cladding Process, Materials Science and Engineering A. 457, 31 -324
- [117]. Zhao, C., Tian, F., Peng, H.R., Hou, J.Y., 2002, Non-Transferred Arc Plasma Cladding of Stellite Ni60 Alloy On Steel, Surface and Coatings Technology, 55, 80-84

ÖZGEÇMİŞ

Önder KESKİN; 14.12.1983 tarihinde Mersin’de dünyaya geldi. İlk, orta ve lise öğrenimini Mersin’de tamamladı. 2003 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği Bölümünü kazanıp lisans eğitimine başladı. 2007 yılında bu bölümden mezun oldu. 2009 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılından itibaren İskenderun Demir Çelik Fabrikası’nda görev yapmaktadır. Evli ve üç çocuk babasıdır. Yabancı dili İngilizce’dir.

