

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜZEYİ MODİFİYE EDİLMİŞ FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİĞİN AŞINMA
DİRENCİNİN TAGUCHİ METODUYLA OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNAN KAYA

(112122102)

Anabilim Dalı: Metalurji Eğitimi

Programı: Malzeme

Danışman: Doç. Dr. Ali Kaya GÜR

OCAK-2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜZEYİ MODİFİYE EDİLMİŞ FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİĞİN AŞINMA
DİRENCİNİN TAGUCHİ METODUYLA OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNAN KAYA

(112122102)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28.12.2016

Tezin Savunulduğu Tarih : 26.01.2017

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ali Kaya GÜR (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Vedat Veli ÇAY (Jüri Başkanı) (D.Ü.)

Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ (F.Ü.)

OCAK-2017

ÖNSÖZ

Tez konusunun önerilmesinde, yönlendirilmesinde ve tez çalışmalarım süresince her türlü desteği veren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ali Kaya GÜR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney çalışmalarımda yardımlarını ve zamanını esirgemeyen Yüksek Lisans Öğrencisi arkadaşlarım Metalurji ve Malzeme Müh. Semih TAŞKAYA , Metalurji ve Malzeme Müh. Muhammet Hulusi CENGİZ' e ve bugünlere gelmemde emeği geçen tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme teşekkür ederim.

Sinan KAYA
ELAZIĞ-2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. PASLANMAZ ÇELİKLER.....	3
2.1.PASLANMAZ ÇELİKLERİN TARİHÇESİ.....	3
2.2.PASLANMAZ ÇELİĞİN TANIMI VE ÇEŞİTLERİ	3
2.2.1.Feritik Paslanmaz Çelikler	4
2.2.2.Martenitik Paslanmaz Çelikler	5
2.2.3.Östenitik Paslanmaz Çelikler	7
2.2.4.Feritik-Ostenitik (dubleks) çift fazlı paslanmaz Çelikler.....	8
2.2.5. Çökeltme Sertleşme Özelliği Gösteren Paslanmaz Çelikler.....	9
3. KAPLAMALAR VE YÜZEY İŞLEMLERİ.....	10
3.1. KAPLAMANIN TARİFİ VE YAPISI	10
3.1.1.Kaplama Türleri.....	10
3.1.1.1.Malzemeye Göre Kaplamanın Sınıflandırılması	10
3.1.1.1.1. Metalik Kaplamalar	10
3.1.1.1.2. Metalik Olmayan Kaplamalar	10
3.1.1.2. Uygulama Alanına Göre Kaplamalar	10
3.2. ÜRETİM YÖNTEMİNE GÖRE KAPLAMALAR	11
3.2.1. Plazma Esaslı Termal Kaplamalar.....	11
3.2.2.İyon İmplantasyonu	12
3.2.3. Elektron Işını Yöntemi	13
3.2.3.1. Elektron Işını Destekli Fiziksel Buhar Depolama Yöntemi (EBPVD)	13
3.2.4. Lazer Esaslı Yüzey İşlemleri	15
3.2.5.Püskürtme Yöntemiyle Yüzey Modifikasyonu	16
3.2.5.1. Alevle Püskürtme	17
4. AŞINMA.....	19
4.1.AŞINMANIN TANIMI	19
4.2.AŞINMA TÜRLERİ	19
4.2.1.Abrasif Aşınma.....	20
4.2.2.Adezif Aşınma.....	21
4.2.3.Yorulma Aşınması.....	22
4.2.4.Korozyon Aşınması	22
4.3.AŞINMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	23

5. PLAZMA TRANSFER ARK KAYNAĞI	25
5.1.PLAZMA ARK KAYNAĞINDA KULLANILAN TELLER	25
5.2.PLAZMA ARK KAYNAĞINDA KULLANILAN TORÇLAR.....	26
5.3.PLAZMA ARK KAYNAĞINDA KULLANILAN GAZ NOZULU	26
5.4.PTA KAYNAĞINDA PLAZMANIN OLUŞUMU.....	26
5.5.PTA KAYNAĞINDA ARKIN OLUŞTURULMASI.....	27
5.6.PTA KAYNAĞINDA KULLANILAN ELEKTRODLAR.....	28
5.7. PLAZMA ARKI İLE KAYNAK.....	29
5.8. YÜKSEK FREKANS DALGA ÜNİTESİ VE DONANIMLARI	29
5.9. UYGULAMA ÖZELLİKLERİ	30
5.9.1 Ergitme Tekniği.....	31
5.9.2 Anahtar Deliği Tekniği.....	31
6. DENEY TASARIMI VE MODELLEME TEKNİKLERİ	32
6.1.TAGUCHİ METODU	33
6.2.TAGUCHİ METODUNUN GELİŞİMİ	34
6.3.TAGUCHİ FELSEFESİ	35
6.4.TAGUCHİ’NİN KALİTE KONTROL SİSTEMİ.....	35
6.4.1.Sistem Tasarımı	36
6.4.2.Parametre Tasarımı.....	36
6.4.3.Tolerans Tasarımı	37
6.4.3.1.En Büyük En İyi	37
6.4.3.2.En Küçük En İyi	38
6.4.3.3.Hedef Değer En İyi.....	38
6.5.TAGUCHİ METODUNDA PARAMETRE TASARIMI	38
6.5.1.Temel Çalışma Biçimi	38
6.5.2.Deney Tasarımı.....	40
6.5.2.1.Statik Sonuçlu Tasarım.....	40
6.5.2.2.Dinamik Sonuçlu Tasarım	41
6.5.2.3.Dinamik Sonuçlu Tasarım	41
6.5.3.Uygulama İşlemleri	42
6.5.3.1.Problemin Belirlenmesi	42
6.5.3.2.Hedeflerin Belirlenmesi.....	43
6.5.3.3.Kalite Değişkenleri ve Ölçüm Sisteminin Belirlenmesi.....	43
6.5.3.4.Kalite Değişkenlerini Etkileyen Faktörlerin Seçimi ve Seviyelerinin Tespit.....	43
Edilmesi.....	43
6.5.3.5. Faktörlerin kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olarak ayrılması...	43
6.5.3.6.Etkileşimlerin Belirlenmesi	44
6.5.3.7.Uygun Ortogonal Dizin Seçimi	44
6.5.3.7.1.Ortogonal Diziler.....	44
6.5.3.7.2.Ortogonal dizi seçimi.....	45
6.5.3.8.Kontrol Faktörleri ve Etkileşimlerin Sütunlara Atanması	46
6.5.3.9.Deneylerin Yapılması ve Sonuçların Kaydedilmesi.....	46
6.5.3.9.1.Deneylerin Yapılış Sırası.....	46
6.5.3.9.2.Deneylerin Tekrarlanma Sayısı	47

6.5.3.10. Veri Analizi ve Kontrol Edilebilen Değişkenlerin En İyi Değerlerinin Belirlenmesi.....	47
6.5.3.11. Doğrulama deneyinin yapılması.....	47
6.5.4. Varyans Analizi	48
6.5.4.1. Kareler Toplamı.....	49
6.5.4.2. Serbestlik Derecesi	49
6.5.4.3. Varyans.....	51
6.5.4.4. F Testi.....	52
7. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	53
8. DENEYSEL YÖNTEM.....	55
8.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER.....	55
8.2. YÜZEY KAPLAMA İŞLEMİ İÇİN NUMUNELERİN HAZIRLANMASI.....	56
8.3. PLAZMA TRANSFER ARK (PTA) YÖNTEMİYLE YÜZEY KAPLAMA İŞLEMİ	58
8.4. PLAZMA TRANSFER ARK YÖNTEMİNDE ISI GİRDİSİ VE ENERJİ GİRDİSİNİN HESAPLANMASI	60
8.5. MİKROYAPI VE MİKROSERTLİK İNCELEMELERİ	60
8.6. SEM, EDS VE XRD İNCELEMELERİ	61
8.7. ABRASİV AŞINMA VE TAGUCHİ DENEYSEL TASARIM.....	61
9. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	64
9.1. PLAZMA TRANSFER ARK (PTA) YÖNTEMİYLE YÜZEY KAPLAMA İŞLEMİ	64
9.2. PTA YÖNTEMİYLE YÜZEY KAPLAMA İŞLEMİ YAPILAN NUMUNELERİN MİKROYAPI VE MİKROSERTLİK İNCELEMELERİ.....	66
9.2.1 Mikroyapı İncelemeleri	66
9.2.2. Mikrosertlik İncelemeleri:	73
9.3. PTA YÖNTEMİYLE YÜZEY KAPLAMA İŞLEMİ YAPILAN NUMUNELERİN ABRASİVE AŞINMA DİRENÇLERİNİN TAGUCHİ METODUYLA ANALİZİ	74
9.3.1. N1-N3 Numuneleri İçin Taguchi Dizaynı	75
9.3.2. N4-N11 Numuneleri İçin Taguchi Dizaynı	79
10. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	84
KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ	94

ÖZET

Yüzeyi Modifiye Edilmiş Ferritik Paslanmaz Çeliğin Aşınma Direncinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu

Bu çalışmada AISI 430 paslanmaz çeliğin yüzeyi B_4C - SiC - $FeCrC$ tozları kullanılarak plazma transfer ark (PTA)kaynak metoduyla alaşımlandırılmış yüzeyin abrasive aşınma davranışı analiz ve optimize edilmiştir. Kaplama tabakası; optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışın difraktogramı (XRD) ve X ışını enerji dağılım spektrometresinden (EDS) faydalanılarak incelenmiştir. Optik mikroskop ve mikroyapı incelemeleri neticesinde, kaplama tabakası ile alt tabakanın birbirlerine metalurjik olarak bağlandığı ve yapıda ostenit (γ), $Fe-Cr$, $Fe_{23}(C)_6$, ile Cr_7C_3 faz ve karbürleri tespit edilmiştir. Taguchi metodu, işlem parametrelerinin optimizasyonunda maliyeti artırmadan yüksek kalite elde etmek için önemli bir yöntemdir. Taguchi metodunda kontrol edilebilen işlem parametrelerinin maksimum etkileri ve control edilemeyen işlem parametrelerinin minimum etkilerinin ortogonal düzlemleri kullanılır. Yüzeyi farklı kombinasyonlarda alaşımlandırılmış AISI 430 altlık malzemenin, kaplama tabakası 16-60-220 grid aşındırıcıda 6-10-16 N yük ve 10-20-30 metre mesafelerdeki kütle kaybı abrasive aşınma davranışı incelenmiştir. Aşınma davranışının belirlenmesinde önemli bir ölçüt olan en düşük aşınma davranışına etkileri Taguchi metodunun en düşük-en iyi control karakteriği ile optimize edilmiş olup sonuçlar grafiksek yöntemlerle analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plazma Transfer Ark Kaynağı, B_4C / SiC / $FeCrC$, Taguchi, ANOVA

SUMMARY

The Optimization with Taguchi Methods of Wear Behavior of Ferritic Stainless Steel in Surface Modification

In this study, analysis and optimization examined of abrasive wear behavior of AISI 430 stainless steel surface alloying with B_4C - SiC - $FeCrC$ powders using plasma transferred arc (PTA) weld surfacing process. The coating layer was analysed using optical microscope (OM), scanning electron microscope (SEM), X-ray diffractogram (XRD) and X-ray energy dispersive spectrometer (EDS). As a result of optical microscope and microstructure analyses, it was determined that the coating layer and the sub-layer were connected to each other metallurgical and there were austenite (γ), $Fe-Cr$, $Fe_{23}(C)_6$, and Cr_7C_3 phase and carbides the structure. Optimization of process parameters is the key step in the Taguchi Method to achieve high quality without increasing cost. The Taguchi method uses the orthogonal arrays to maximize the effect of controllable parameters and to minimize the effect of uncontrollable process parameters. The abrasive wear behavior of AISI 430 substrate material whose surface was coated with different combination alloys and the coating layer were investigated under 16-60-220 grid wear, 6-10-16 N load and at 10-20-30 meter distances. The effect of wear loss on the lowest wear behavior, which is a most important criterion in determining the wear behavior, was optimized with the lowest-the best control characteristics of the Taguchi method and the results were analyzed with graphical methods.

Keywords: Plasma Transfer Arc Welding, B_4C / SiC / $FeCrC$, Taguchi, ANOVA

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması.....	3
Şekil 2.2. Paslanmaz Çeliklere Ait Mikroyapı Görüntüleri	4
Şekil 2.3. Martenzitik Paslanmaz çeliğe ait mikroyapı görüntüsü.....	6
Şekil 2.4.Östenitik Paslanmaz çeliğe ait mikroyapı görüntüsü.....	7
Şekil 2.5. Dupleks paslanmaz çeliğin mikroyapısı	8
Şekil 3.1. Maddenin dördüncü hali plazma.....	12
Şekil 3.2. İyon ışını donanımları.....	13
Şekil 3.3. EBPVD nin şematik resmi.....	14
Şekil 3.4. EBPVD kaplamanın mikroyapısı.....	14
Şekil 3.5. Lazer ışınıyla kaynağın şematik resmi.....	15
Şekil 3.6. Isıl Püskürtmenin İşlem Sırası	17
Şekil 3.7. Alevle Püskürtmenin görünüşü.....	17
Şekil 3.8.Alev püskürtme ile yüzey kaplanmış numuneler	18
Şekil 4.1. Genel aşınma mekanizmaları a)Adezif Aşınma b)Abrasive Aşınma c)Yorulma Aşınması d)Korozyon Aşınması	20
Şekil 4.2.Abrasive aşınma mekanizması	20
Şekil 4.3. Adheziv aşınma mekanizması a)Yüzeyde kaynak bağlantıları b) A'dan B'ye malzeme transferi c) Kopan parçaların serbest hali.....	21
Şekil 4.4.Adezif Aşınma gösterimi FN:Normal Kuvvet, FT: Temas Kuvveti, α :Hareket açısı.....	21
Şekil 4.5. Kayan ve yuvarlanan hareket altında meydana gelen yorulmaya bağlı çatlak	22
Şekil 4.6. Şematik korozyif aşınma gösterimi	23
Şekil 5.1. Plazma Transfer ark Kaynağının şematik görünüşü	25
Şekil 5.2. Plazma Ark Kaynak Nozulu	26
Şekil 5.3. Maddenin Plazma Haline Geçiş.....	27
Şekil 5.4. Plazma transfer ark alevi.....	27
Şekil 5.5. PTA kaynağında nozul ve elektrod.....	28
Şekil 5.6. PTA kaynak torcunda gaz akış yolları	28
Şekil 5.7.Elektrod bağlantısının şematik görünümü	29
Şekil 5.8. Plazma transfer ark kaynağının şematik görünüşü	29
Şekil 5.9. PTA kaynak makinesi ve donanımları.....	30
Şekil 6.1.Prosesin genel modeli	32
Şekil 6.2. Taguchi Kalite Kontrol Sistemi	35
Şekil 6.3. Taguchi Metodunun Sistematiği	36
Şekil 8.1. Kaplamada kullanılan tozların morfolojisi, SEM resmi ve EDS analizi (a.FeCrC Tozu, b. SiC Tozu, c.B ₄ C Tozu,).....	56
Şekil 8.2. Numunenin kaplama öncesi şematik şekli ve boyutları.....	56
Şekil 8.3. Numunenin kaplama öncesi dijital resmi.....	57
Şekil 8.4. Kaplama işlemi için numunelerin hazırlanma aşamasının şematik görünümü	57
Şekil 8.5. a. Kaplama işlemi dijital resmi	58
b. İşlemin şematik görüntüsü ve torcun kısımları	58
Şekil 8.6. Thermal Dynamic/Ark Plazma Transfer Ark (PTA) kaynak makinesinin tüp bağlantıları ve kontrol panosu	59
Şekil 8.7. Optik mikroskop, aşınma, mikrosertlik ve XRD numunesinin alınması mikroyapı inceleme numunesi.....	61
Şekil 8.8. Aşınma numunesinin alınışının şematik görüntüsü boyutları.....	62
Şekil 8.9. Abrasive aşınma aparatı ve numunesi	62
Şekil 9.1. PTA kaplamanın şematik görünümü, dijital resmi	64

Şekil 9.2. PTA kaplaması yapılan numunelerin makro görüntüsü.....	65
Şekil 9.3. PTA kaplanmış numunelerin Optik Mikroyapısı.....	69
Şekil 9.4. Kaplama tabakalarına ait XRD analiz grafikleri.....	70
Şekil 9.5. Fe-C-B ikili ve üçlü faz diyagramları.....	72
Şekil 9.6. N1-N3 numunelerinden alınan mikrosertlik değerleri.....	73
Şekil 9.7. N4-N11 numunelerinden alınan mikrosertlik değerleri.....	73
Şekil 9.8 S / N oranları için ana etki grafiği (dB).....	77
Şekil 9.9. Ana ağırlık kütle kaybı grafiği.....	77
Şekil 9.10. Kütle kaybının kalan parametrelerle Contour Plot grafiği.....	78
Şekil 9.11. Kontrol faktörlerinin aşınma direncine yüzde olarak etkileri.....	78
Şekil 9.12. S / N oranları için ana etki grafiği (dB).....	81
Şekil 9.13. Ana ağırlık kütle kaybı grafiği.....	82
Şekil 9.14. Kütle kaybının kalan parametrelerle Contour Plot grafiği.....	82
Şekil 9.15. Kontrol faktörlerinin aşınma direncine yüzde olarak etkileri.....	83



TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Ferritik Paslanmaz çeliklerin içerikleri.....	5
Tablo 2.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	6
Tablo 3.1. Yüzey modifikasyon yöntemlerinin sınıflandırılması	11
Tablo 4.1. Malzeme özelliklerinin adezif aşınmaya etkisi	22
Tablo 6.1. Taguchi ve tam faktöryel tasarım için kombinasyonlar	40
Tablo 6.2. Taguchi'nin Sinyal/Gürültü oranları	41
Tablo 6.3. 2 ^k ve Taguchi dizaynı deney planları	45
Tablo 8.1. AISI 430 paslanmaz çeliğinin kimyasal bileşimi	56
Tablo 8.2. PTA Kaplamada üretim parametreleri.....	58
Tablo 8.3. PTA Kaplamada deney numuneleri parametreleri	59
Tablo 8.4. Kaynakta verimlilik katsayıları (η) değerleri (Mario Marcioni, Plasma Team, 2005, Italy)	60
Tablo 9.1. Uygun üretim parametreleri belirleme çizelgesi	64
Tablo 9.2. PTA Kaplamada deney numuneleri parametreleri	75
Table 9.3. Kontrol faktörleri ve onların seviyeleri	75
Table 9.4. Kaplama tabakasının kütle kaybı oranlarının deneysel olarak S/N oranının hesaplanması.....	76
Table 9.5. Kaplama Tabakasının S/N oranları tablosu	76
Table 9.6. Kaplama tabakası kütle kaybı için varyans analizi sonuçları	78
Table 9.7. N4-N11 Kontrol faktörleri ve onların seviyeleri	80
Table 9.8. N4-N11 Kaplama tabakalarının kütle kaybı oranlarının deneysel olarak S/N oranının hesaplanması	80
Table 9.9. Kaplama Tabakasının S/N oranları tablosu	81
Table 9.10. Kaplama tabakası kütle kaybı için varyans analizi sonuçları	82

1.GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde çok sayıda paslanmaz çelik bulunmaktadır. Isı ve korozyona karşı dayanımı ve kolaylıkla şekillendirilmeleri birçok alanda kullanılmalarına olanak kılmıştır. Paslanmaz çeliklerin üstün kılan özelliği korozyona karşı dayanımını sağlayan yapısındaki kromdur. Paslanmaz çelikler genel olarak ferritik, martenzitik, östenitik, çift fazlı ve çökelme sertleşmeli olmak üzere 5 grupta toplanabilir. Endüstride kullanım alanına göre metalik malzemelerde oluşan korozyon, aşınma ve sürtünme gibi mekanik ya da kimyasal olayların zararlı etkilerini önlemek veya kısmen azaltıp minimuma indirmek için yüzey modifikasyonu (kaplama) yöntemlerine ihtiyaç vardır. Çeşitli işlemler sonucu elde edilen yüzey katları; yüzeyin mekanik özelliklerini geliştirirken, onların kullanılacakları ortama karşı daha dayanıklı olmalarını ve istenmeyen olumsuz etkilerin ortadan kalkmasını sağlarlar. Yüzey kaplamacılığı uygulandıkları metallerin sadece mekanik özelliklerini geliştirmekle kalmaz aynı zamanda kaplanan malzemelere dekoratif açıdan güzel bir görünüm kazandırmak için de yapılabilir.

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 birçok araştırma yapılmıştır. Bu alanda en göze çarpan işlemler; azot elementiyle, krom veya titanyum gibi metallerin implantasyonudur. Malzeme yüzeyinin mekanik özelliklerini geliştirmenin en basit ve ekonomik yolu, yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirmeden yapılan yüzey sertleştirme işlemidir. Bu yolla; metal yüzeyinin sert ve aşınmaya dayanıklı, iç kısmının ise yeterli dayanımda ve enerji absorbe edecek şekilde tok olarak kalması sağlanır. Ayrıca difüzyon esaslı yöntemlerle de yüzey başkalaşımı sağlamak mümkündür. Burada C, N ve B gibi küçük atom çaplı elementler yüzeye yayılım yolu ile geçirilir. Bunların dışında, 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. Kaplama tekniklerini ana hatlarıyla; buhar fazı biriktirme, elektrolitik yöntem, sol-jel ve ergitme esaslı yöntemler şeklinde sınıflandırılabilir.

Son yıllarda kullanılmaya başlanan plazma transfer ark (PTA), GTA yöntemi yüksek yoğunluğa sahip olan lazer ve termal sprey yöntemleriyle kıyaslandığında; onlara karşı maliyetinin düşük olması, kullanımının kolaylığı ve yeni bir kullanım alanı olmasından dolayı tercih edilmektedir. Son yıllarda GTA yöntemiyle yapılan yüzey modifikasyonlarıyla, hızlı katılaşabilen ince taneli mikroyapılara sahip kaplamaların üretilmesine neden olmuştur. Fakat GTA yöntemine alternatif olarak PTA yöntemi ile de yüzey modifikasyonu yapılabilir. PTA yöntemi, ilke olarak

GTA yöntemi gibi uygun bileşime sahip alaşım tozu veya tozlarının alt tabaka malzemesinin yüzeyi ile bütünleşmesi yoluyla yapılan bir birleştirme yöntemidir. Ergime, her iki malzemede de aynı anda gerçekleşir ve sıvılaştıran bölge hızla katılaşıp, modifikasyon yapılan kaplama malzemesi ile esas malzeme birbirlerine metalürjik olarak bağlanır. Yeni bir yöntem olan PTA yöntemi, GTA yöntemiyle kıyaslandığında; maliyeti daha yüksek olan bir sistem olmasına karşın; sürekli enerji girdisi, ergime bölgesinde oluşan lokal; yüksek ısı, kaplanan numunelerde çarpılmanın oluşmaması ve genellikle otomatik sistemlerle çalışıyor olması ve insan faktörünü ortadan kaldırması ve oluşabilecek hataları minimuma indirmesinden dolayı tercih edilmektedir. Paslanmaz çelikler savunma sanayisinde, gıda endüstrisinde, otomobil sanayisinde, kimya sanayisinde, mobilya sanayisinde, tank yapımında, boru üretiminde, türbin kanatlarında, beyaz eşya, tıp alanında, gemi ve uçak yapımlarında ve daha pek çok alanda tercih edilirler.

Optimum aşınma şartlarını tanımlamak için gerçek sonuçlar veren matematiksel modellerin kurulması gerekmektedir. Modellerin verimliliğini uygunluğunu sağlamak için ise deneysel tasarım teknikleri kullanılarak, seçilen bir işlem üzerinde aşındırıcı- aşınan numune kombinasyonlarını içeren aşınma deneylerinin yapılması ve elde edilen verilerin matematiksel olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Matematiksel modelin elde edilmesinden sonra ise modelin test edilmesi ve geçerliliğinin belirlenmesi gereklidir. Deneysel tasarım ve modelleme tekniklerini içeren bir çalışma yapmakla, deneysel çalışma sonucu elde edilen verilerden faydalanılarak optimal parametreler belirlenecek ve maliyetler azalacaktır. Taguchi metodu özellikle 2.dünya savaşından sonra Japonlar tarafından geliştirilmiş bir analiz yöntemidir. Bu yöntem sayesinde daha az deney yaparak optimum sonuçlar elde edilebilmekte ve bu sayede maliyette de önemli ölçüde katkılar sağlanmaktadır. Bu program sayesinde daha hızlı sonuçlara varılabilmektedir. Ülkemizde mühendislik ve metalürji alanında son yıllarda kendine yer bulmaya çalışmış bir programlama metodudur.

Bu çalışmada, AISI 430 ferritik paslanmaz çelik yüzeyine B₄C, SiC ve FeCrC tozu plazma transferli ark kaynak kaplama yöntemiyle alaşımlandırılmıştır. Yüzeyi üç farklı karbürle kaplanmış AISI 430 altlık malzemenin, kaplama tabakaları 5-10-15 N yük ve 10-20-30 metre mesafelerdeki , abrasive aşınma kütle kayıpları Taguchi dizayn metoduyla incelenmiştir. Abrasive aşınma test sonuçları Taguchi metodunun en düşük-en iyi kontrol karakteristiği ile optimize edilmiş olup sonuçlar grafiksek yöntemlerle analiz edilmiştir. Taguchi metodu, işlem parametrelerinin optimizasyonunda maliyeti artırmadan yüksek kalite elde etmek için önemli bir yöntemdir. Taguchi metodunda kontrol edilebilen işlem parametrelerinin maksimum etkileri ve kontrol edilemeyen işlem parametrelerinin minimum etkilerinin ortogonal düzlemleri kullanılmaktadır.

2.PASLANMAZ ÇELİKLER

2.1.Paslanmaz Çeliklerin Tarihçesi

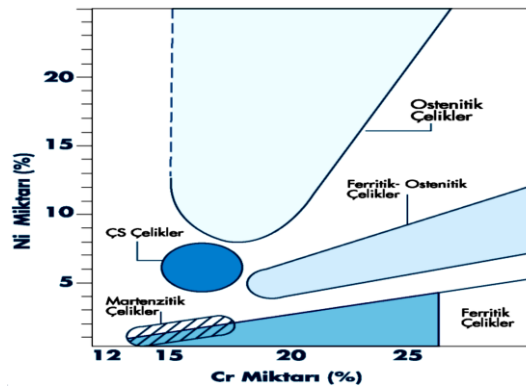
1.Dünya Savaşı sonrası Avrupa’da bir hurdacı paslı hurdaların içinde parlayan bir top mermisi bulur. Yaptığı araştırmalar sonunda çeliğin içinde yüksek oranda krom olduğunu öğrenir ve bu keşiften sonra Avrupa’da paslanmaz çelik üretimine başlanır. 1911’de G.E.(General Elektrik) şirketi ışık ampulünde rezistans olarak kullanılan %14-16 krom içerikli Fe-Cr alaşımı imal etmiştir. Birleşik krallık’ta Harry Brearley çatal,kaşık ve bıçak üretiminde %12,8 Cr içeren bir alaşım üretmiştir. Uzun çalışmalar sonucunda V2A çeliği (%20 Cr, %7 Ni, %0,25 C) içeren ilk paslanmaz çeliği üretmişlerdir [1].

2.2.Paslanmaz Çeliğin tanımı ve çeşitleri

Paslanmaz çelikler içerisinde %10,5’den daha yüksek oranda krom içeren çoğu ortamlarda üstün korozyon direnci gösteren bir çelik türüdür. Paslanmaz özelliğini kromun yüzeyinde bulunan ince oksit filminden almaktadır. Oksit filmi ortamda oksijenin varlığında sürekli olarak kendisini yeniler [2].

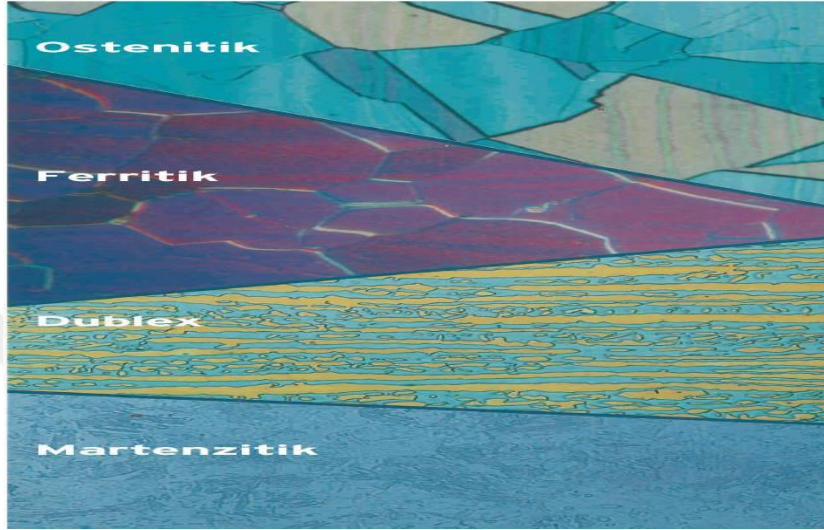
Paslanmaz çeliklere korozyon direncini artırıcı Nikelde katılır. Ancak maliyeti yüksektir. Çeliğin korozyona dayanıklılığı korozyona sebep olduğu kütle kaybının günde 2,4 g/m² değerinden az olmalıdır. Paslanmaz çeliklerin ısı iletim özelliği karbon içerikli çeliklerinden farklıdır. Yüksek kromlu çelikler ısıyı iletmede karbon çeliklerinin yaklaşık yarısıdır [3].

Endüstride 170 den fazla paslanmaz çelik türü bulunmakta değişik amaçlarda oldukça yaygın kullanım alanı bulmuşlardır. Paslanmaz çelikleri iç yapılarına göre beş grupta toplanır. 1-Ferritik 2-Martenzitik 3-Östenitik 4-Ferritik-Östenitik(dubleks)=Çift Fazlı, 5-Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen çelikler diye adlandırılır. Şekil 2.1. de görüldüğü gibi paslanmaz çelikler krom ve nikel miktarına bağlı olarak sınıflandırılırlar.



Şekil 2.1. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması [4]

Paslanmaz çeliklerde iç yapıyı belirleyen alaşım elementleri mangan, molibden, krom ve nikelidir. Krom ve Nikel iç yapının ferritik veya östenitik olması beklenir. Şekil 2.2. de gösterilen mikro yapı görüntülerinde görüldüğü gibi östenitik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı östenit tanelerden, ferritik paslanmaz çeliklerin yapısı ince ferrit tanelerden oluşur. Martenzitik paslanmaz çeliklerin yapısı ise ferrit tane yapısı içindeki karbür dağılımları görülmektedir. Dublex paslanmaz çeliklerin yapısı östenit matrix içinde uzanmış ferrit levhalarından oluşur [4].



Şekil 2.2. Paslanmaz Çeliklere Ait Mikroyapı Görüntüleri. [4]

2.2.1.Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler, Tablo 2.1. de görüldüğü gibi yapısında %15-30 arasında krom içerir ve kübik hacim merkezli (KHM) tane yapısına sahiptir. Faz dönüşümü gerçekleşmediğinden sertleştirilemezler. Kromun yüksek oluşu korozyon ve oksidasyon dirençlerinin daha iyi olmasını sağlar. Ferritik paslanmaz çelikler özel korozyon ve ısı direncinin istendiği malzemelerdir. Soğuk ve sıcak ortamlarda şekillendirilirler [3].

Ferritik paslanmaz çeliklerin istenmeyen bir durum olan sünekliliğini gidermek için düşük karbonlu ve azot içeren yeni ferritik paslanmaz çelikler geliştirilmiş ve ticari olarak üretilmiştir. Bu alaşımlar düzenlenmiş korozyon mukavemeti ve kaynaklanabilirliğe sahiptir [1].

Ferritik paslanmaz çelikler mikroyapısından dolayı isimlendirilirler. Bu çelikler oda sıcaklığında ferrittirler. Bu alaşımlar oda sıcaklığında manyetik olup 768 °C ye kadar bu özelliğini korurlar. %12 Cr'lu ferritik paslanmaz çelikler uygun maliyette imalat ve yüksek korozyon direnci sağlar. Bu çelikler otomotiv egzost sistemlerinde ve diğer alanlarda kullanılırlar. Orta dereceli krom alaşımları otomotiv aksesuarı, şeritler, mutfak eşyaları, çaydanlık , tencere ve cezve yapımında kullanılır [5].

Tablo 2.1. Ferritik Paslanmaz çeliklerin içerikleri [6]

AISI	FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN % ELEMENT İÇERİKLERİ									
	C	S	P	Si	Cr	Ni	Cu	Mn	Mo	Nb
409L	0,03 max	0,03 max	0,04 max	1 max	10,5-11,7	0,5 max	0,5 max	1 max	0,5 max	0,4-0,6
410L	0,03 max	0,03 max	0,04 max	1 max	11,5-13	0,5 max	0,5 max	1 max	0,5 max	-
416L	0,03 max	0,15 -0,3	0,04 max	1 max	11,5-13	0,5 max	0,5 max	1 max	0,5 max	-
430L	0,12 max	0,03 max	0,04 max	1 max	16-18	0,5 max	0,5 max	1 max	0,5 max	-
434L	0,03 max	0,03 max	0,04 max	1 max	16-18	0,5 max	0,5 max	1 max	0,5 max	-
436	0,03 max	0,03 max	0,04 max	1 max	16-18	0,5 max	0,5 max	1 max	0,5 max	0,4-0,6
439	0,03 max	0,03 max	0,04 max	1 max	16-18	0,5 max	0,5 max	1 max	0,5 max	0,4-0,6
441	0,03 max	0,03 max	0,04 max	1 max	16-18	0,5 max	0,5 max	1 max	0,5 max	1
446	0,03 max	0,03 max	0,04 max	1 max	23-27	1 max	0,5 max	1 max	-	-

2.2.2.Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çeliklerin yapısında %12-18 Cr içerirler. Östenitli bölgede su verildiğinde Şekil 2.3. de görüldüğü gibi martenzit mikro yapı oluşur. Aynı zamanda % 0,15 ile 1 arasında Karbon bulunur. Martenzitik Paslanmaz çelikler hızlı soğutulduğunda Yüzey Merkezli Kübik yapı Hacim Merkezli yapıya dönüşür. Bu tip çeliklerin iç yapılarında tavlanmış halde östenit de bulunur. Östenit oluşum sıcaklığı 950-1050 ° C sıcaklık arasında değişir. 950-1050 sıcaklık aralığında çeliğe su verilirse martenzitik bir iç yapı oluşur. 950-1050 sıcaklık aralığında yapıda ferrit bulunmamalıdır. Martenzitik paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımını ve tokluğunu arttırmak için Molibden ve Nikel eklenir. Ni yapıda sertleştirme kabiliyetini artırır. Molibden katılması ise martenzite dönüşmeyen artık östenitlerin oluşmasını önler. Martenzitik paslanmaz çelikler manyetik özelliğe sahiptirler [6].

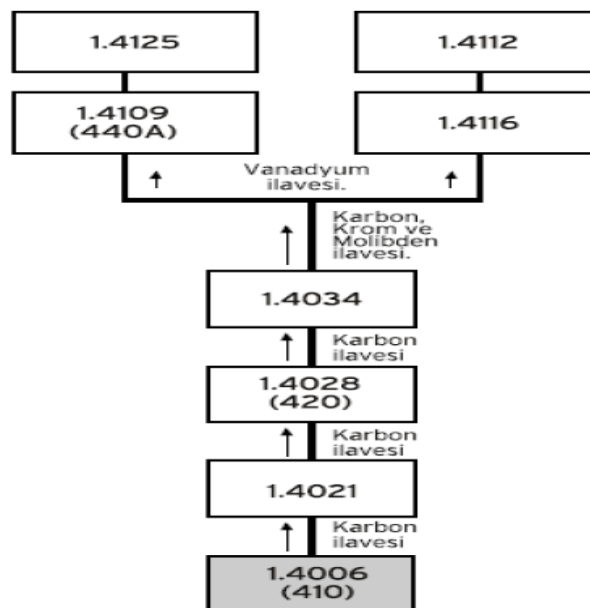
Martenzitik paslanmaz çelikler kalıp içine dökülürken soğuma esnasında bile martenzite dönüşebilirler. Kolayca sertleşirler. Sertlik değeri yaklaşık 60 HRC değerindedir. Sertleştirme sonrası temperleme ile mekanik özellikler yükselir ve korozyon direnci artar.



Şekil 2.3. Martenzitik Paslanmaz çeliğe ait mikroyapı görüntüsü [7]

Temperleme sıcaklığı 480 C civarındadır. Eğer temperleme 540 C ve üzeri yapılacak olursa o zaman baskın faz (sigma) ortaya çıkar ve malzemenin mekanik özelliğine zarar verir. Krom oranı yüksek olduğundan düşük alaşımlı takım çeliklerine nazaran daha hassastır. Martenzitik paslanmaz çeliklerin Tablo 2.2. de verilenlere göre korozyon direncini arttırmak için Mo ve V elementleri ilave edilir. Aşınma direnci ve yüzey sertliğini arttırmak için nitrürleme yapılır. Bu çeliklere 1100 C de sıcak şekillendirme işlemi yapılır. Çünkü bu sıcaklıkta tamamen östenitiktir. Bu çelikler yüksek mukavemet , aşınma direnci gerektiren yerlerde, tekstil, gıda, kağıt, boya sanayisinde, kesici ve karıştırıcı elaman yapımında, türbin kanatları, pompa ve konkasör çekiçleri gibi parçaların imalinde kullanılır [5].

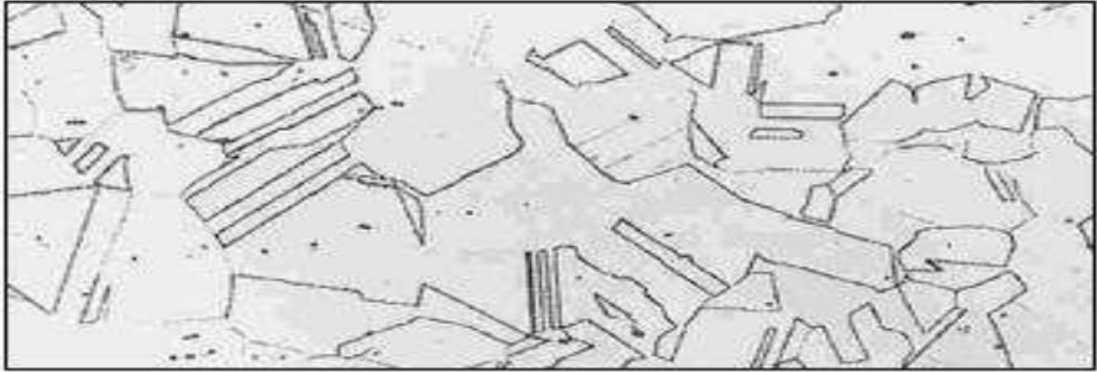
Tablo 2.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler [6]



2.2.3.Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Manyetik değildir. Normalleştirme ve sertleştirme ısı işlemi yapılmaz. Düşük sıcaklıklarda toklukları, şekillendirmeleri kabiliyeti ve süneklikleri olağanüstüdür. Dayanımları sadece soğuk şekillendirme ile artırılabilir. Yapılarında %16-%26 Cr, %35 Ni ve %20 ye kadar Mn bulundurulur. Nikel ve Mangan ostenit oluşturu elementlerdir [4].

Östenitik paslanmaz çelikler yüzey merkezli kübik (ymk) kristal yapısına sahiptir. Korozyona dayanıklı çeliklerin en önemlilerindendir. Cr'nin ferrit yapı oluşturma etkisi östenit yapıcı alaşım elementleri eklenerek oluşturulur. Şekil 2.4. de görüldüğü gibi paslanmaz çeliklerin %70 i östenitik çeliklerden oluşur. Korozyon dayanımı iyidir. Genelde nemli ortamlarda kullanılır. Östenitik paslanmaz çelikler düşük alaşımlı ve düşük karbonlu çeliklere göre daha zor işlenirler. Düşük karbon içeren ve düşük alaşım içeren çeliklere kıyasla dayanımları ve süneklik değerlerinin fazla olması daha fazla deformasyon sertleşme isteği ve düşük ısı iletkenlikleri östenitik paslanmaz çeliklerin zor işlenmelerinin sebebi olarak düşünülmektedir [7].

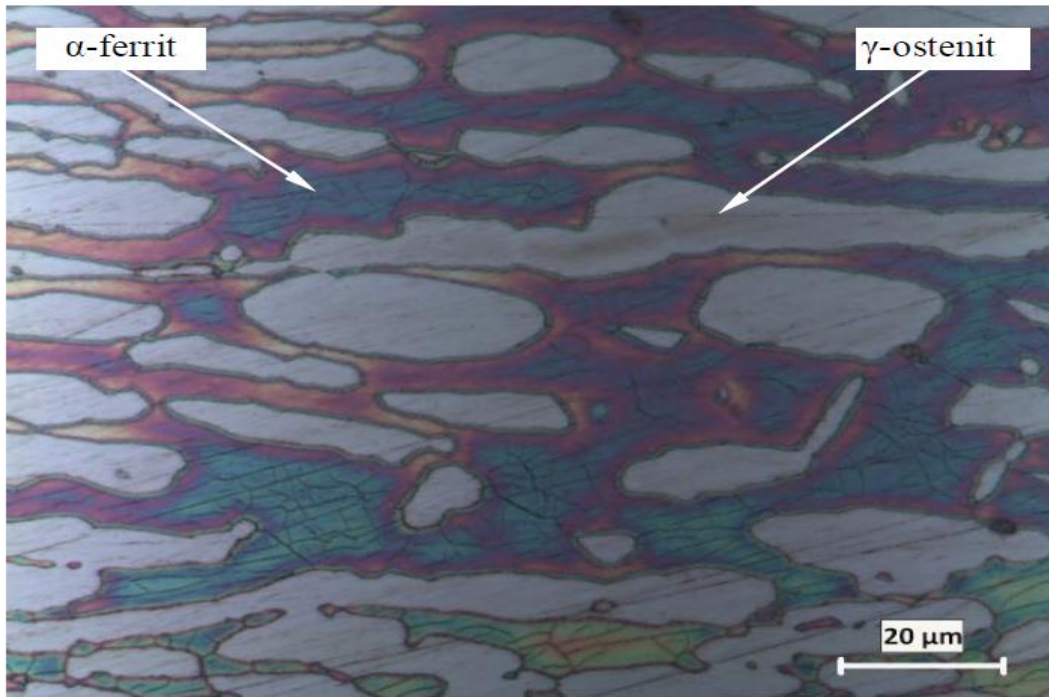


Şekil 2.4.Östenitik Paslanmaz çeliğe ait mikroyapı görüntüsü [7]

Ostenitik paslanmaz çeliklere Si, Mo, Ti, Ni ve Ta gibi stabilize elementler ilave edilir. Ayrıca ostenit fazını oda sıcaklığına kadar indiren ve kararlı duruma getiren alaşım elementi krom ve niktir. Bu çelikler düşük sıcaklıklarda plastik deformasyonla işlerken sertleşirler. Döküm sıcak veya soğuk şekillendirme ile üretilen bu malzemeler 450-800 ° C sıcaklık aralığında krom karbürün çökmesinden dolayı korozyon meydana gelir. Bunu önlemek için 1100 C sıcaklıkta bir süre bekletilip hızlı soğutma yapılır. Isı ve korozyon gerektiren yerlerde ısı iletim katsayıları %30 daha fazladır. Bu yüzden kaynak yapılırken dikkatli olunmalı ve Nb içeren ostenitik elektrotlar kullanılır [5].

2.2.4.Ferritik-Ostenitik (dubleks) çift fazlı paslanmaz Çelikler.

Çift fazlı paslanmaz çelikler östenit ve ferrit fazlarının bir arada olduğu çeliklerdir. Faz dengesi yaklaşık %50-50 dir. Ostenit/ferrit oranı eşit değilse mikroyapıda problem ortaya çıkar. Ostenitin fazlalığı dayanımı düşürür korozyon direncini kötüleştirir. Dubleks paslanmaz çelikler ferritik ve ostenitik çeliklerin ortak bazı özelliklerini taşır. Yüksek elastik limitleri, çekme dayanımları, oyuk korozyon ve taneler arası korozyona karşı yüksek direnç gösterir. Bu yüzden yüksek Cr ve düşük Ni içeriğine sahiptir. Şekil 2.5’ de dubleks paslanmaz çeliğin mikroyapısı gösterilmiştir [8].



Şekil 2.5. Dubleks paslanmaz çeliğin mikroyapısı [8]

Dubleks paslanmaz çelikler superplastiklik çalışmasının sonucu geliştirilmiştir. %20-30Cr, %3-13 Ni içeren dubleks paslanmaz çeliklerin mikroyapıları %50 ostenit %50 ferritten oluşur. Çok iyi mukavemet ve korozyona sahiptir. 370-540 °C sıcaklıkta tavlandığında mukavemetinde artma tokluğunda düşme olur. 545-800 C sıcaklık aralığında tavlınırsa sigma fazı teşekkül etmiş olur ve yapı kırılganlaşır. Sıcak işlem genelde 1000-1200 C arasında kontrollü yapılmalıdır. Bu çelikler gerilmeli korozyon ve taneler arası korozyona karşı direnç gösterdiklerinde korozyon direnci ve yüksek sıcaklık gerektiren yerlerde kullanılır [5].

Dubleks paslanmaz çelikler üstün özelliklerinden dolayı endüstrinin değişik alanlarından kullanılır. Gemi pervanesi ve parçaları, vana yapımında, döküm pompalarda, basınçlı kaplarda,

deniz petrol platformlarında, Isı eşanjörü, petrol gaz ve deniz suyu borularında, gaz kuyularında, jeotermal sistemlerde, kimyasal araç üretiminde ve arıtma fabrikalarında kullanılır [1].

2.2.5. Çökelme Sertleşme Özelliği Gösteren Paslanmaz Çelikler

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler yüksek korozyon direncine sahip Ni, Cr, Fe, alaşımıdır. Bu alaşımlar Ti, Cu, Nb, Al elementlerden biri yada birkaçı kullanarak çökelme sertleşmeli östenitik ve martenzitik hale girerler. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler martenzitik başlama ve bitiş sıcaklıkları östenitik, martenzitik ve yarı östenitik ve olmak üzere 3 şekilde gruplandırılır [9].

Çökelme sertleşmesi alaşım elementlerinin çözeltiye alma ısı işleminden sonra hızlı soğumaya bırakılan yaşlandırma işlemidir. 1700 MPa değerine kadar çıkan akma dayanımına sahiptir. Günümüzde deniz taşıtları yapımında, füze gövdelerinde, yakıt tanklarında, uçakların iniş parçalarında, millerde, pompalarda, cıvata, somun, kesici araç yapımında ve uçakların dış yüzeyinde kullanılırlar [10].

3. KAPLAMALAR VE YÜZEY İŞLEMLERİ

3.1. Kaplamanın Tarifi ve Yapısı

Kaplamalar malzemelerin dış yüzeylerinin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak ve aşınmaya dayanıklı hale getirmek için dış yüzeyinde fiziksel ve kimyasal olarak değişimdir. İmal edilen bir iş parçasının dış yüzeyinin her türlü koşullara dayanıklılığının geliştirilmesi önemlidir.

Kaplama, malzemelere çeşitli üstünlükler sağlar. Bunlar yüzey aşınması, mukavemet dayanımı, sertlik ve paslanmaya karşı dayanıklılığın yanında dekoratif amaçlarda da olabilir.

3.1.1.Kaplama Türleri

Kaplama çeşitleri aşağıda Tablo 3.1 de geniş hatlarıyla belirtilmiştir.

3.1.1.1.Malzemeye Göre Kaplamanın Sınıflandırılması

Yüzey kaplamaları malzemenin cinsine göre gruplandırılırsa;

1. Metal içeren kaplamalar,
2. Metal içermeyen kaplamalar olmak üzere iki gruba ayrılır.

3.1.1.1.1. Metalik Kaplamalar

Metalik kaplamalar elektro kaplama, sıcak daldırma, difizyon ve mekanik dış yüzey kaplama gibi yöntemlerle yapılır. Korozyona karşı Zn yada Al kaplama kullanılır. Sıvı metal daldırma yönteminde başlıca çeliğin Zn , Sn, Cd, Al veya Pb ile kaplanması yöntemin sanayide geniş alan bulmaktadır.

3.1.1.1.2. Metalik Olmayan Kaplamalar

Metal olmayan kaplamalar boya ve organik madde içeren metalik malzemenin yüzeyinin korunması güzel görünüm sağlanması ve metal malzemeyi korozyondan korumak için kullanılır.

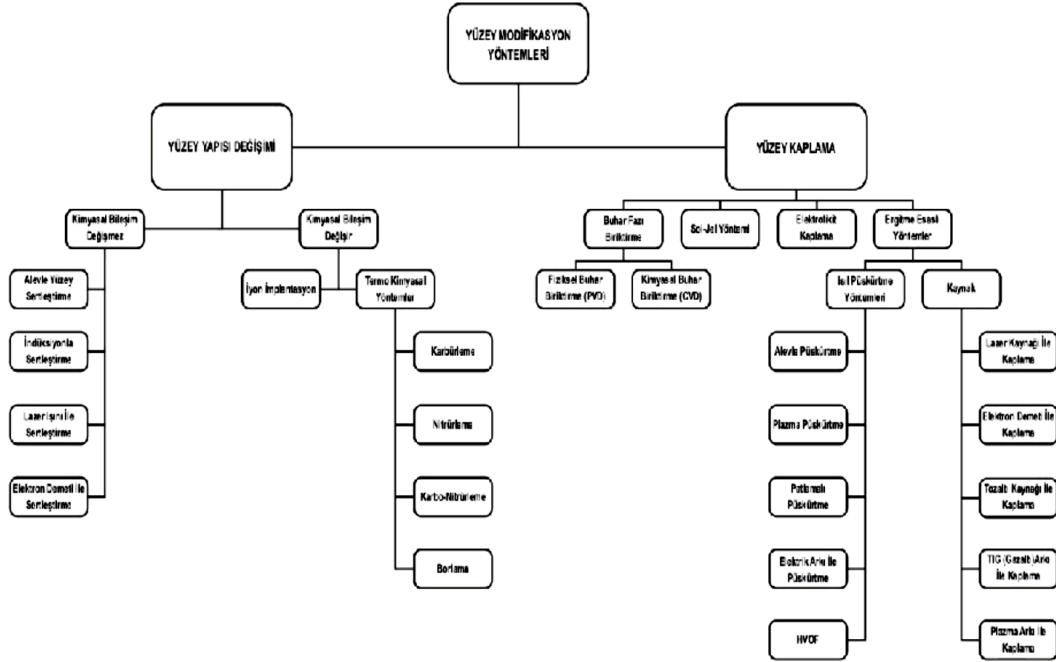
Metal malzemeler içersinde bulundukları ortamla reaksiyona girmesi sonucu yüzeyleri oksit tabası ve toz oluşur. Bu tabaka koruyucu kaplama görevi üstlenir.

3.1.1.2. Uygulama Alanına Göre Kaplamalar

Malzemelerin ve metallerin dış ortamda kalması sonucu özelliği değişmektedir. Buda istenmeyen özellikler oluşturur. Olumsuz özellikleri ortadan kaldırmak ve malzemeyi korumak için yüzeyine kaplama işlemi uygulanır. Kaplanan malzeme çevrenin olumsuz ve dış etkilerinden korunurken dekoratif ve estetik görünümde aranır. Metaller uygulama alanlarına göre;

- Koruyucu kaplamalar
- Dekoratif kaplamalar olmak üzere iki grupta incelenir.

Tablo 3.1. Yüzey modifikasyon yöntemlerinin sınıflandırılması [11]



3.2. Üretim Yöntemine Göre Kaplamalar

Kaplamalar ; Üretiminde kullanılan yöntemlere göre ayrılırlar. Bu yöntemlerde ısıya dayalı olup ısı enerjisine ihtiyaç duyulur. Bu ısı yöntemi adı verilen sistemler tarafından üretilir. Kullanılan sistemler şunlardır;

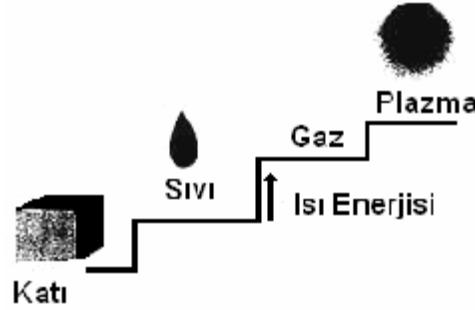
3.2.1. Plazma Esaslı Termal Kaplamalar

Plazma, bir ark içinde geçen yüksek sıcaklığa ve elektrik iletkenliğine sahip gaz sütununu fiziksel açıklamasıdır. Plazma bir ark içinde sıcaklık yaklaşık olarak 10000-30000 C arasında maddeye bağlı olarak değişen bir ilk değerden sonra ortamda yalnız pozitif iyonlar ve negatif yüklü serbest halde elektronlar içerir. Elektriksel açıdan nötr ve yüklü parçacıkların oluşması nedeni ile iletken olan bu yapıya plazma adı verilir.

Plazma maddenin dördüncü hali ve iletken olarak yüksek sıcaklıklar üretmesiyle bu durumda faydalanma düşüncesi yer almaktadır. Bu durumda bir ısı kaynağı olan plazma metallerin ertilmesi, kaplanması, kesilmesi ve kaynak edilmesi gibi birçok alanda yer almaktadır.

Plazma maddenin üç hali olarak bilinen katı, sıvı ve gaz harici bir yapı olduğundan maddenin sıcaklık ölçeğinde dördüncü hali olarak tanımlanır (Şekil 3.1). Plazmalar çok yüksek

veya düşük ısılarda elektromanyetik alanlarda üretilir. Plazma reaktif iyon, elektron ve serbest radikallerin bulutlarından meydana gelir. Galakside güneş, yıldızlar, kozmik ışınlar, yıldırımlar ve elektrik boşalmalarında bu hal görülür.



Şekil 3.1. Maddenin dördüncü hali plazma

Plazma transferli ark kaplamalarla, Plazma sprej kaplamaları birbiriyle karşılaştırırsak; sprej kaplamalarda basma ve çekme iç gerilmeleri meydana gelir. Bu olay kaplamada çatlamaya ve ana malzemeden ayrılmasına yol açar. Bu iç gerilmelere;

- Sprej malzemenin üniform olmayan dağılımı,
- Ana malzeme ile kaplama arasında meydana gelen termal genişleme farklılığı,
- Ana malzemenin ısıtılmasıyla meydana gelen şekil ve boyut özellikleri neden olmaktadır.

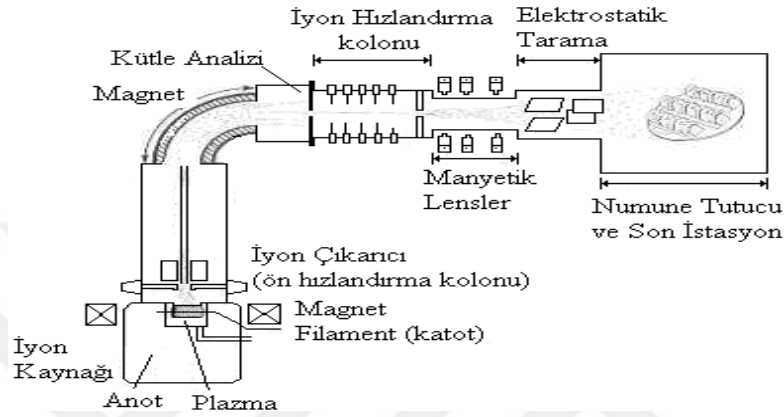
Ara tabaka uygulaması ve sprej esnasında ana malzemenin ön ısıtılması veya soğutulması iç gerilmeleri azalmasına yardımcı olur. Plazma transferli ark kaplamalarda olay tamamen kimyasal bir reaksiyon olduğu için bu durum söz konusu değildir. Kaplama mukavemeti daha iyidir. Plazma sprej kaplamalarda kaplama kalınlığı artarsa, kaplamanın ana malzemeden ayrılması kolaylaşmakta ve mukavemetini azaltmaktadır. Yapının gözenekli olması mukavemeti olumsuz yönde etkileyecektir [12].

3.2.2.İyon İmplantasyonu

Vakumlu sistemde iyonlarla uygulanan yüzeylerde, iyon implantasyonu ve iyon kaplamalı yöntemlerle yapı değiştirilebilir. İyon implantasyonu, 0,01-1 mm oranlarda değişen derinliklerde yabancı atomların girmesiyle yeni bir yapı meydana gelir. Bunun meydana gelmesi katot elementinin atomlarından e^- uzaklaştırarak iyonlar üretilir. (+) yüklü bu iyonlar daha fazla elektrik alan potansiyelinde hızlandırılırlar. Genelde ışıını sabitlemek ve iletme için manyetik alan dan yararlanılır. Işın arzulanan malzemede implantasyon yoğunluğuna gelinceye kadar uygulanır. Yüzey özellikleri iyon enerjilerinin kontrolü ve implant edilen iyonlarla geniş bir aralıkta oluşturulur [13].

Aşağıdaki Şekil 3.2’de iyon implantasyonunun donanımı şu ana parçalardan oluşur. Bunlar;

- 1- Sıvıları, katıları, yada gazları iyonize eden iyon kaynakları,
- 2- İyonları üst kinetik enerjili duruma getiren hızlandırıcı sistem,
- 3- İyonları ağırlıklarına göre ayıran analiz sistemi,
- 4- Uygulanacak yüzey iyonları homojen olarak dağıtan sistem.



Şekil 3.2. İyon ışını donanımları [14]

3.2.3. Elektron Işını Yöntemi

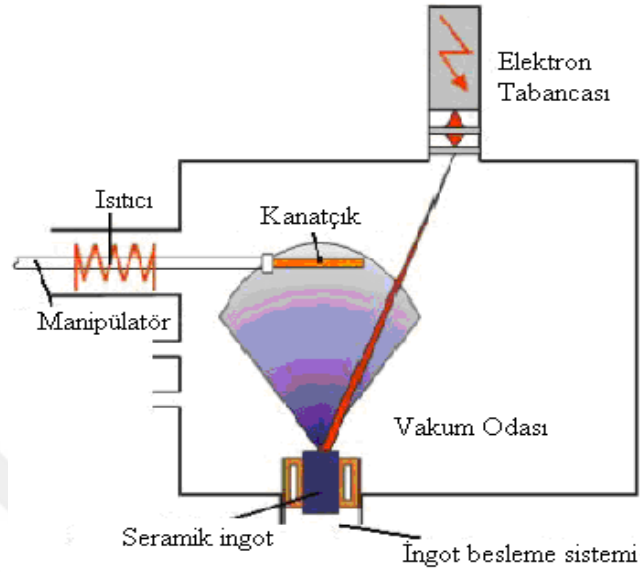
Bu yöntemde gerekli ısı elektron ışınlarında sağlanır. Elektron ışını, aynı hızda ve aynı yönde hareket eden elektron akımıdır. Bu yöntemde iki gerilim aralığı kullanılır. Düşük gerilimli sistemlerde anot ile katot arasındaki gerilim farkı 15-30 kV iken yüksek gerilim makinelerinde bu fark 70-150 kV’dir. Tabancalarda kullanılan gerilim değerlerinde elektronlar katottan, bir kısmını topladığı anoda hızla hareket eder. Diğerleri anodun merkezindeki delikten geçerek katı bir cisimle karşılaşınca kadar hareketlerine devam ederler. Karşılaşma sonucunda kinetik enerjileri ısıya dönüşür.

3.2.3.1. Elektron Işını Destekli Fiziksel Buhar Depolama Yöntemi (EBPVD)

Elektron ışını destekli fiziksel buhar depolama yöntemi genellikle seramik üst kaplamalarda kullanılır. EBPVD MCrAlX tipi bağ kaplamalarda paket sementasyon kullanılır [15].

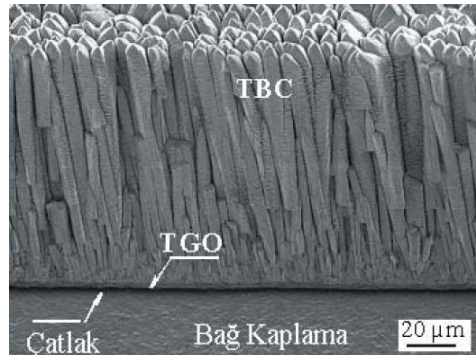
EBPVD işleminde vakum odasında yüksek enerjili elektron demeti seramik kaynak ingotu eritip buharlaştırır (Şekil 3.3). Kaplamanın artması için buharlaşma esnasında ingotlar alttan potaların içine verilir. Belirli bir zirkonyum elde edebilmek için çöktürme odasının içine O^2 verilir.

Hazırlanmış ısıtılmış altlıklar buhar bulutu içine yerleştirilir. Bu buhar yaklaşık 100-250 mm/sn'lik hızda malzeme üzerine çarptırılır [16].



Şekil 3.3. EBPVD nin şematik resmi [16]

Şekil 3.4. de görüldüğü gibi EBPVD yöntemiyle yapılan seramik kaplamalarda kolonlu bir yapı gözlenir. Bu yapının alt malzeme ile kimyasal olarak iyi bağlanmasına rağmen yüksek uzama ve kolonlar arası bağ zayıfladığı görülür.



Şekil 3.4. EBPVD kaplamanın mikroyapısı[17]

EBPVD kaplamalar son derece yüksek sıcaklık ve mekanik yüklere maruz kalan malzemelerin kaplamasında kullanılır. Ancak bu yöntemin dezavantajı yüksek maliyeti ve kaplanacak yüzey cihaz tarafından görülmesine karmaşık yapılı malzemelerin uygun olmamasıdır [18].

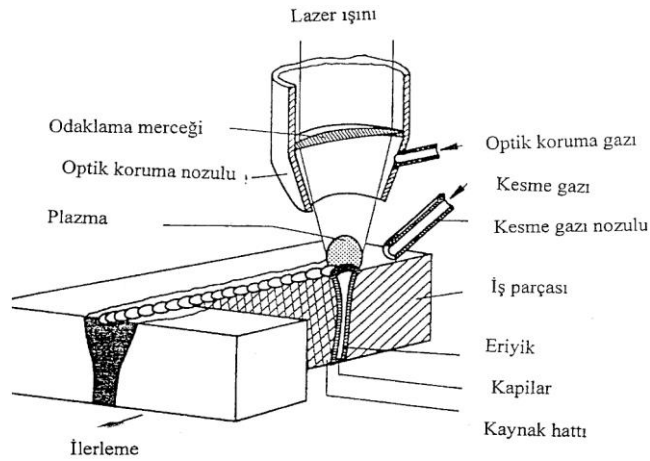
3.2.4. Lazer Esaslı Yüzey İşlemleri

Lazer esaslı yüzey işlemlerde sistem lazer üzerine kurulu olup ısı kaynağı olarak kullanılır. Lazer ışını temassız çalışan, takım ile iş parçası arasında mekanik hiçbir temasın olmadığı bir sistemdir.

Lazer kaynağı, lazer ışınıyla yapılan kaynakta tek dalga boyunda yüksek enerji kullanarak malzemenin ergitilip buharlaştırılmasıyla yapılan birleştirme işlemidir. Dikiş oluşumu elektron ışın kaynağına benzemektedir. Endüstride bu yöntem kesme, delme ve ısıl işlemlerde kullanılmaktadır.

Kaynak bölgesini oksidasyondan korumak için kullanılan gaz, ergiyik haldeki malzemeyi kaynak bölgesinden uzaklaştırmamak için düşük basınçla püskürtülür. Lazer ışınıyla kaynak metodunda en önemli noktalardan biri, ışının malzeme içini ve tüm noktaları etkilemesidir. Bu özelliğiyle lazer ışını malzeme içlerine nüfuz ederek malzemenin et kalınlığı boyunca enerji geçişini sağlamasıdır. Ark kaynak yönteminde bilindiği üzere enerji geçişi yüzeysel olmaktadır. Lazer ışınıyla yapılan kaynakta, distirsiyonsuz kaynak dikişi elde edilebildiği için daha hassas kaynak imkânı sağlar [19].

Kaynağın malzemeye nüfuziyeti, kaynak hızına ve güç yoğunluğuna bağlıdır. Malzemeye uygulanan güç arttırılırsa kaynak hızı azalır nüfuziyet daha iyi olur. Yapılan çalışmalarda istenilen güç yoğunluğu denemelerle bulunur. Çoğu zaman Lazer kaynağında yapılması gereken işlem basamakları seçilirken denemelerden ve geçmişte yapılan tecrübelerden faydalanılır [20]. Şekil 3.5. da lazer kaynağının şematik resmi görülmektedir.



Şekil 3.5. Lazer ışınıyla kaynağın şematik resmi [20]

3.2.5.Püskürtme Yöntemiyle Yüzey Modifikasyonu

Püskürtme yöntemiyle yüzey modifikasyonu farklı bir malzemenin ilave malzemesi olarak çeşitli cihazlar yardımıyla kaplanacak yüzeye püskürtülerek yapılan işlemdir. Metallerden oksitlere, oksit seramik malzemelerden camsı malzemelerde dahil olmak üzere büyük bir dağılım aralığındaki malzemeleri içeren ısıl sprej püskürtme yöntemi, başta üreticiler olmak üzere herkesin endüstriyel alanda cazip bir hal almıştır. Malzemeyi bütünüyle yenilemek için yapılacak giderlerin az bir bölümü ile çeşitli püskürtme yöntemleri uygulanan yeni yüzey malzemesi, malzemenin ömrünü arttırmakta ve daha güzel görünümlü olmasını sağlar [21].

Isıl püskürtme, küçük parçalar haline getirilmiş metal, metal oksit ya da plastikleri ergimiş veya yarı ergimiş durumda uygun bir sistemle malzeme üzerine yapılan kaplama ve yapısal şekil oluşturmak amacıyla yapılan dolgu yöntemidir. Yöntem iki temel malzeme şekline göre sınıflandırılır.

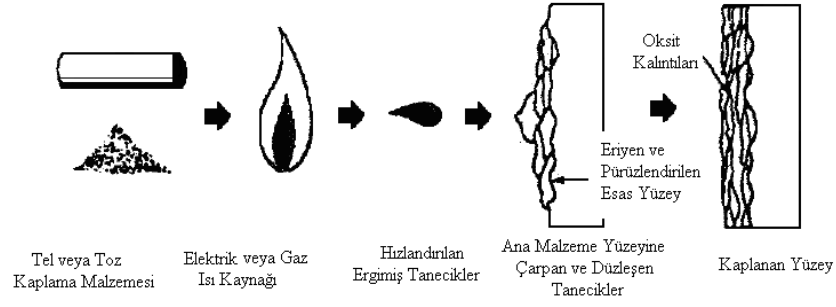
- 1- Öğütülmüş toz olarak,
- 2- Metaller tel, seramikler ise çubuk durumunda olanlar.

Toz püskürtmede ince parçacıklar yüksek ısı kaynağının içinden geçerek ergimiş ya da yarı ergimiş duruma gelir. Ergimiş durumda olan toz parçacıkları yüzeye belirli bir hızla çarptırılarak düzgün olmayan yüzeye yapışarak dolgu oluştururlar. Yüzey daha iyi yapışması için daha önceden pürüzlendirilir.

Tel ya da çubuk püskürtmede ise katı malzeme bir yüksek basınçlı hava ile çevrili bir ısı kaynağının içine alınır. Malzeme yüzeyi alevin ısısı tarafından hava akımı ile ince damlacıklar kaplanacak metal üzerine gönderilir. Bu sıcaklığın üzerindeki malzemeler içinde ısı kaynağı olarak plazma kullanılır. Malzemeler ergime noktalarına ulaşmadan buharlaşmayan veya ayrışmayan bütün malzemeler plazma ile püskürtülebilir. Bırakılan metal ve alaşımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri ilk malzemelerinkinden farklıdır. Meydana gelen içyapı, oldukça fazla lamelli ve homojen olmayan yapıdadır. Aynı malzemenin çekilmiş durumundaki çekme dayanımına göre bırakılanınki düşük olur.

Kaplama malzemesi toz, çubuk ya da tel biçiminde olabilir. Isıl püskürtme tabancası, kaplama malzemesini ergitmede gerekli olan ısıyı yanıcı gazlardan, elektrik arkından ve plazma arki ile elde edilir [22].

Soğuk olan metal yüzeyine ergitilen kaplama malzemesi püskürtülür. Yüzeye darbe etkisiyle çarpan tanecikler, düzleşir ve esas metale ısı transferiyle soğuyarak, katılaşarak ve birbiriyle temas haline gelerek tabaka oluştururlar (Şekil 3.6) [23].



Şekil 3.6. Isıl Püskürtmenin İşlem Sırası [23]

Kaplama malzemesi metal ile iyi bir birleşim sağlaması için kaynak kabiliyetine ve birbiri ile tabaka oluşturmaya bağlıdır. Kaplamalar mekanik bağlanma ve bölgesel olarak çeşitli sınıflarda kimyasal bağ kuvvetleri ile oluşmaktadır [24].

3.2.5.1. Alevle Püskürtme

Thermal püskürtme yöntemlerinde kaplama malzemesinin ergitilmesinde ısı kullanılması gerektiğinden en fazla kullanılan yöntem alev püskürtme yöntemidir (Şekil 3.7). Şekil 3.8. de görüldüğü gibi merdane, mil, yatak ve bunlara benzer malzemelerin onarımında ve sertleştirilmesinde kullanılır. Alev püskürtme uygulamalarında tel malzeme yanma ile elde edilen kimyasal enerji ya da toz yardımıyla ertirilir. Yakıcı gaz olarak sıkıştırılmış hava ya da oksijen kullanılır. Asetilen gazı maliyeti düşük olduğundan yanıcı gaz olarak tercih edilir. Ergitme için hidrojen, propan ya da doğal gazda kullanılır. Alevle eritilen malzeme aktif hale getirilir ve ergimiş küçük zerreciklere dönüşür. Hızlandırma için sıkıştırılmış havanın varlığı oksidasyona sebep olduğu için argon ya da azot tercih edilmelidir. Alevle püskürtmede alev sprej lülesi, yakıt gazı ve oksijen desteği düzeneğinden oluşur. Güvenliği açısından kapalı sprej başlığı ve eksoz çıkışı kullanılır.



Şekil 3.7. Alevle Püskürtmenin görünüşü



Şekil 3.8. Alev püskürtme ile yüzey kaplanmış numuneler

4.AŞINMA

4.1.Aşınmanın tanımı

Aşınma; Sürtünme halinde birbirlerine temas eden yüzeylerde malzemenin mekanik etkenler etkisiyle kopup ayrılmasıdır [25].

Teknik anlamda aşınma; Cisimlerin yüzeylerinde, mekanik etkenlerle mikro taneciklerin kopup ayrılması sonucu istenilmeden malzemede meydana gelen değişiklik olarak adlandırılır [26].

Moor'a göre aşınma; Malzeme yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması sonucunda malzemenin yüzeyinde küçük parçaların kopmasıyla yüzeyin tahribatlaşmasıdır.

Yüzeylerde talaş kaldırılarak işlenmesi, taşlanması, parlatılması aşınma olayı olarak nitelendirilmemesinin sebebi işlemlerin istenilerek ve kontrollü yapılmasıdır. Kimyasal, termal elektriksel ve fiziksel nedenlerle eskime, yüzeyden parçaların ayrılması da aşınma olarak söylenemez. Mühendislikte malzemelerin aşınma olarak sayılması için aşağıdaki şartları yerine getirmesi gerekir [27].

- 1- Mekanik etken olması,
- 2- Hareketin devamlı olması,
- 3- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana gelmesi,
- 4- Sürtünmenin (bağıl hareketin) olması

4.2.Aşınma Türleri

Aşınma türleri Şekil 4.1. de görüldüğü gibi 4 ana başlıkta ele alınır.

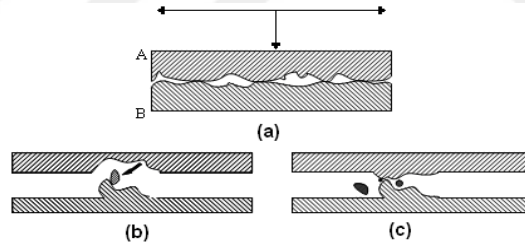
- 1-Abrasif aşınma,
- 2-Adezif aşınma,
- 3-Yorulma aşınması,
- 4-Korozyon aşınması.

Abrasif aşınmada, abrasif aşındırıcının sertliği oldukça önemlidir. Malzemenin sertlik oranı, aşındırıcının sertlik değerinin altında ise, sertlik oranı içindeki aşınma yükselmesi, aşındırıcı malzemenin aşınma şiddetinin düşmesine sebep olacaktır [31].

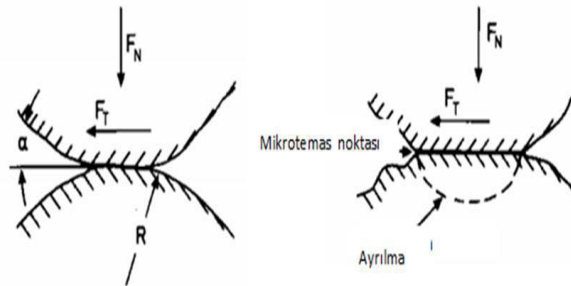
4.2.2.Adezif Aşınma

Adezif aşınma kayma ve yapışma olarak bilinen bir aşınma türüdür. İki katı cisim yağ yada yağsız ortamda teması ile meydana gelir. Bu tip aşınmada Şekil 4.3. de gösterildiği gibi, eş çalışan yüzeyler arasında yükü taşıyan yüzey pürüzlülükleri arasında oluşan mikro kaynakların kesme olayı sonucunda oluşur [32]. Yüzeyden kopan parçalar diğer yüzeye yapışırlar. Kayma devam ettiğinde diğer yüzeye yapışan parçalar tekrar orijinal yüzeye yapışırlar. Tablo 4.1. de gösterildiği gibi kafes yapıları aynı metallerin korozyon ile aşınmasıyla meydana gelir. Farklı kristal yapıya sahip aşınma çiftlerinde kaynaklaşma olayı düşünülmemelidir [33].

Diğer bir ifade ile Adezif aşınma; Şekil 4.4. de olduğu gibi iki metal bir kuvvet etkisi altında birbirine sürtünürken, yüzeyleri oluşturan küçük tepcikler geçici olarak birbirine yapışıp kaynak olurlar. Kaynak olan bu tepcikler iki metalin hareketlerinin devam etmesi sonucu koparlar ve küçük parçacıklar serbest kalırlar. Böylece malzeme kaybı aşınma meydana gelir [29].



Şekil 4.3. Adeziv aşınma mekanizması a)Yüzeyde kaynak bağlantıları b) A'dan B'ye malzeme transferi c) Kopan parçaların serbest hali



Şekil 4.4. Adeziv Aşınma gösterimi FN:Normal Kuvvet, FT: Temas Kuvveti, α:Hareket açısı

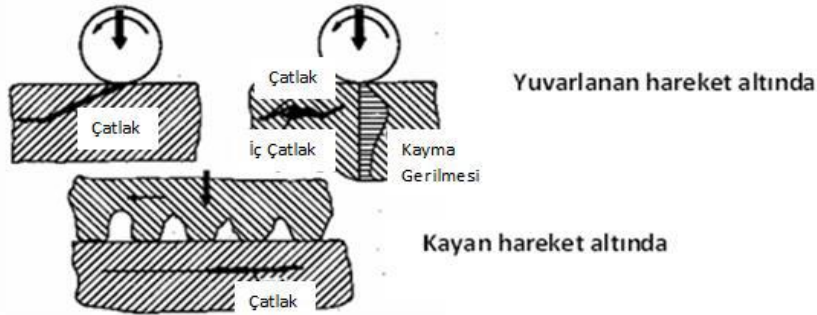
Tablo 4.1. Malzeme özelliklerinin adezif aşınmaya etkisi [34]

Malzeme Özellikleri	Adezif Aşınma
Oksitli yüzey	Az
Kübik kristal yapı	Çok
Hegzogonal kristal Yapı	Az
Yüksek deformasyon sertleşmesi	Çok
Yüksek sertlik	Çok
Yüksek elastiklik modülü	Çok
Yüksek ergime noktası	Çok
Yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı	Çok
Küçük atom yarıçapı	Çok

4.2.3.Yorulma Aşınması

Şekil 4.5. de görüldüğü gibi bu aşınmada temas eden yüzeylere tekrarlı yüklemeler etki ettiğinde ortaya çıkan yorulmadır. Temas halinde iki yüzey birbirleriyle sürekli yük altında periyodik olarak temas ettirildiğinde yüzeyler arasında adezif aşınma olmaz aynı zamanda yorulma aşınması da oluşabilir [33].

Yorulma aşınması yuvarlanma hareketi yapan parçaların yüzeylerinde ortaya çıkan bir malzemenin yorulması olayıdır. İki türlü yorulma aşınması vardır. Basit yorulma, çukurcuklar küçük olup yüzeye yayılmazlar. Makine elemanının normal çalışmasını engellemezler. Tahrip edici yorulma aşınmasında ise çukurcuklar büyür yayılır ve elamanı işe yaramaz hale getirir [27].



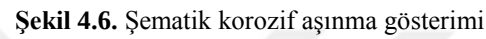
Şekil 4.5. Kayan ve yuvarlanan hareket altında meydana gelen yorulmaya bağlı çatlak [34]

4.2.4.Korozyon Aşınması

Metal ve alaşımların çevreyle reaksiyona girerek içyapısını zayıflatarak metallerin kopmasıdır [35].

Korozif aşınma sıcaklık ve ortama göre sekiz şekilde meydana gelebilir [36].

- 1- Oksitlenme
- 2- Nitrürlenme
- 3- Karbürlenme ve metal tozlaşması
- 4- Halojen Korozyonu
- 5- Sülfürlenme



- 1- Oksitlenme
- 2- Nitrürlenme
- 3- Karbürlenme ve metal tozlaşması
- 4- Halojen Korozyonu
- 5- Sülfürlenme
- 6- Kül (tuz) çökeleği korozyonu
- 7- Sıvı metal korozyonu
- 8- Erimiş tuz korozyonu

- 1- Oksitlenme
- 2- Nitrürlenme
- 3- Karbürlenme ve metal tozlaşması
- 4- Halojen Korozyonu
- 5- Sülfürlenme
- 6- Kül (tuz) çökeleği korozyonu
- 7- Sıvı metal korozyonu
- 8- Erimiş tuz korozyonu

Aşınmaya etki eden faktörler değişik şekillerde gruplandırılır. Bu faktörler 4 grup halinde verilmiştir [29].

Aşınmaya etki eden faktörler değişik şekillerde gruplandırılır. Bu faktörler 4 grup halinde verilmiştir [29].

- 23

2-Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi

3-Ortamin etkisine bağlı faktörler

-Sıcaklık

-Nem

-Atmosfer

4-Kullanım şartları bağlı faktörler

-Basınç

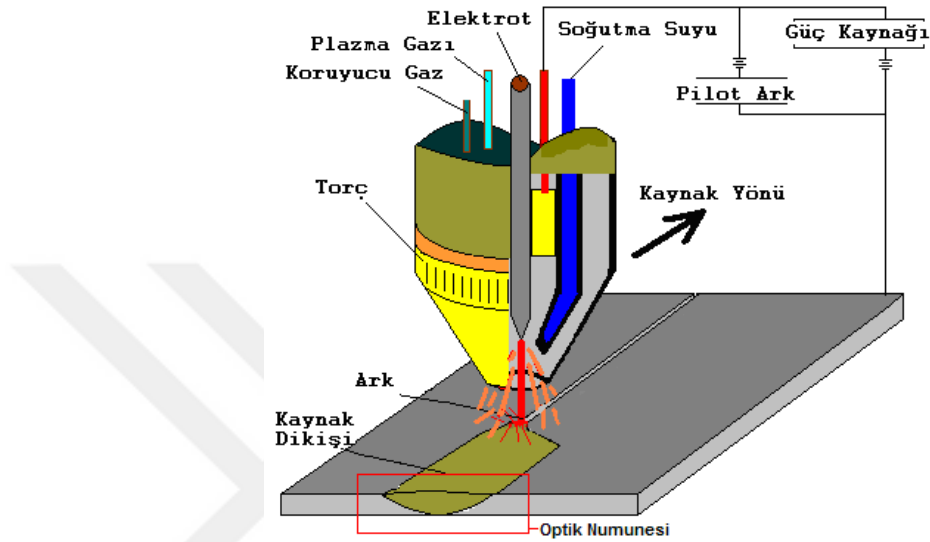
-Hız

-Kayma Yolu



5. PLAZMA TRANSFER ARK KAYNAĞI

Plazma kaynağı, TIG kaynağının özel bir şeklidir. Tungsten elektrod, yüksek hızda inert gaz (Argon) demetinin bir ark demeti oluşturmak üzere ark bölgesine odaklanan bir nozul içinde kullanılır. 28000 C dereceye ulaşan sıcaklık ve yüksek enerji yoğunluğu ile etkin bir birleşme gerçekleşir [37].



Şekil 5.1. Plazma Transfer ark Kaynağının şematik görünüşü [38]

Plazma TIG kaynağında başlıca, 2 değişik ark sistemi kullanılır. Bunlardan ilki ergimeyen tungsten elektrot, taşıyıcı olmayan ark, ve su soğutmalı bakır meme arasında oluşmaktadır. Bakır meme; güç yoğunluğunu, ark odaklayıcı, güç yoğunluğu arttırıcı ve dolayısıyla plazma demetinin sıcaklığını yükselten bir etki oluşturur. Tungsten elektrot neğatif kutupda, bakır meme ise pozitif kutupda olarak kullanılır. Diğer ark sistemlerinde ise (taşıyıcı ark); ark toryumla alaşımlama işlemi yapılmış bir ışını toplayan bakır memenin içinden geçen tungsten elektrot ve ana iş parçası arasında olmaktadır. Plazma gazı, elektrot ile meme arasındaki silindirik havuza tatbik edilir. Bu sistem Şekil 5.1 üzerinde plazmalı birleştirme ve plazma yardımıyla yapılan kesme işleminde kullanılmaktadır. Taşıyıcı ark, yardımcı ark, elektrot ve meme arasında tutuşturulur. Taşıyıcı ark yakıldığı zaman, yardımcı ark pasif duruma geçer [37].

5.1. Plazma Ark Kaynağında Kullanılan Teller

İnce sacların kaynağı haricinde plazma ark kaynağında TIG yöntemine benzer harici kaynak metali olarak dolgu tel elektrotlar kullanılır ve el ile yapılan kaynak işleminde kaynak bölgesine kaynak işçisi tarafından yada otomatik yapılan kaynak işleminde bir kanaldan tel sürme sistemi yardımıyla kaynak bölgesine tatbik edilir.

TIG kaynağında Tel seçimi işlemi yapıldığı gibi ana metalin muhtevasına ve uygulanacak olan işlemin amacına göre değişir [39].

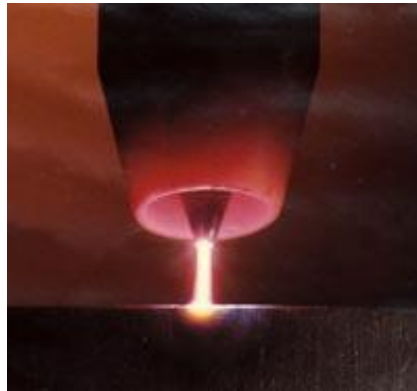
5.2.Plazma Ark Kaynağında Kullanılan Torçlar

PTA kaynağında elle tutularak kullanılan kaynak torçları, TIG kaynağında kullanılan torçlara nazaran daha komplike yapıya sahip oldukları için daha ağırdırlar. Bununla birlikte, mekanize plazma ark kaynağında kullanılmak üzere makine torçları da geliştirilmiştir. Otomatik kaynak uygulamaları için üretilmiş olan plazma ark kaynak torçları, 50 ile 500 A akım şiddetlerinde kullanılacak biçimde hem DTK hem de DDK ya da kare dalgalı değişken kutuplamalı alternatif akımda kullanıma uygun olarak üretilirler.

Torçların soğutulması önemli bir durumdur, çünkü oluşan ark çok yüksek sıcaklığa sahip olduğu için iyi bir soğutma, hem tungsten elektrotun, koruyucu gaz nozulunun hem de memenin uzun kullanımı için önem arz etmektedir.

5.3.Plazma Ark Kaynağında Kullanılan Gaz Nozulu

Şekil 5.2. de görüldüğü gibi plazma ark kaynağının nozul kısmı bakır gereçlerden üretilmektedir. Kullanım zamanı ilk zamanda ark oluşum sayısı ile elektrod ucunun teşhisatıyla sınırlıdır. Nozul deliğinin çapına bağlı olarak akımın doğru kullanılması da önemlidir (aksi durumda çift ark oluşması sonucu ve nozulun bozulmasına sebep olacaktır). Soğutma işlemi de nozul ömrü için önemlidir [40].

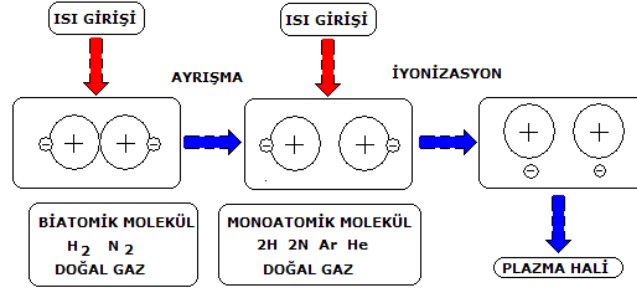


Şekil 5.2. Plazma Ark Kaynak Nozulu [41]

5.4.PTA Kaynağında Plazmanın Oluşumu

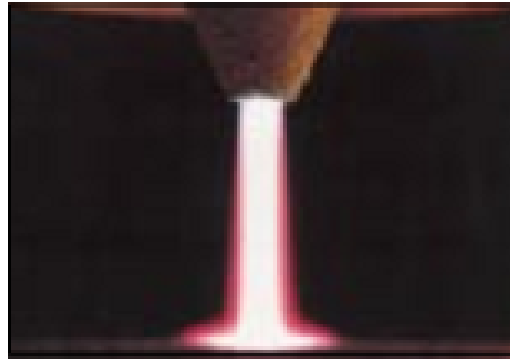
Her madde gaz fazında bulunduğu bir süre boyunca ısıtılınca, moleküllerinin hareketlenmesi sonucuyla atomlar dış tarafındaki elektronlarını kaybederek pozitif yüklü iyonlara dönüşürler. Sıcaklık arttıkça, iyonlaşma derecesi buna bağlı olarak artar, sıcaklık 10000 °C üzerindeki sıcaklık değerinden sonra, ortamda sadece pozitif yüklü iyonlar ve negatif yüklü serbest

elektronlardan oluşan bir karışım oluşur. Elektriksel açıdan pozitif yüklü iyonlarla negatif yüklü iyonların eşitlenmesi sonucuna iletken ışıma plazma denir. Şekil 5.3’de maddenin plazma haline geçişi verilmiştir.



Şekil 5.3. Maddenin Plazma Haline Geçişi

Kaynak yapılırken plazmada gaz, elektrik arkı vasıtasıyla ısıtılarak iyonize olmaktadır. Buna göre ark kaynağı sistemlerinde elektrik arkı bir plazma oluşturmaktadır (Şekil 5.4).

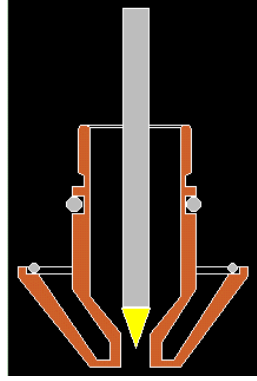


Şekil 5.4. Plazma transfer ark alevi[29]

Plazma arkının sıcaklığı, çeliği, asbest çimentosunu, kristali (yaklaşık 2323 K) ve karbonu (yaklaşık 2473 K) eritmeye yetecek sıcaklığa ulaşabilir. Metallerin kesme, yüzey hazırlık, tavlama, kaynak işlemlerinde, kaynak ağzı açma işleminde, metal püskürtme yardımıyla yüzey doldurmada çok iyi sonuçlar vermektedir.

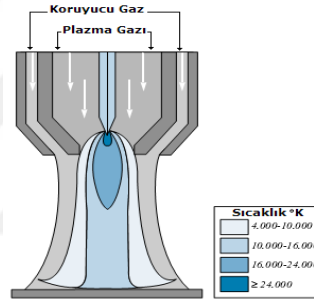
5.5.PTA kaynağında Arkın Oluşturulması

Standart bir plazma ark torcunu oluşturan elemanlar, uç kısmında ufak bir delik bulunduran meme ve memenin merkezindeki tungsten bir elektrottur. Bir birinin içine geçmiş oval meme ile elektrot arasından plazma gazı dışarı çıkar.



Şekil 5.5. PTA kaynağında nozul ve elektrod[29]

Dış yüzeyi soğuyan ark stunu oluşturur, dolayısıyla içe doğru büzülme olur. Büzülmüş sütunun içinde sıcaklık 10.000–30.000 K sıcaklığına çıkar. Şekil 5.5. da dairesel kısımdan geçen gaz, göreceli olarak değişen yüksek enerji ve yüksek iyonlaşma düzeyine ulaşır, kaynak ve diğer yapılmakta olan ısı işlemlerde malzemenin tavlanması için kullanılır.



Şekil 5.6. PTA kaynak torcunda gaz akış yolları[29]

Şekil 5.6. da plazma kaynağı teçhizatında, hortum kısmı, ateşleme aygıtı, akım membaı, kumanda aygıtı ve değişik gazlar için basınçlı gaz tüplerinden oluşur. Plazma doldurma kaynağında kaynak teçhizatı, ateşleme ve kumanda birbirleriyle bitişik olmak üzere iki adet doğru akım membaı kullanılır. Kaynak cihazları 10 ilâ 15 kW güç absorbe ederler. Plazma birleştirme kaynağı kalın sacların kalınlığında, malzemelerin (I) küt alın birleştirmesinde ek metal olmadan uygulanır. Östenitik çeliklerde alın kaynağı 8-10 mm kalınlığındaki saclar için kullanılabilir. Burada kaynak hızı TIG kaynak yöntemine nazaran iki katı kadar fazladır [42].

5.6.PTA kaynağında Kullanılan Elektrotlar

Plazma arkı kullanılan kaynak işleminde, TIG kaynak yöntemine benzer şekilde ergime sıcaklığı 3369 C olan saf Tungsten elektrot dışında DAEN kutuplama yöntemiyle kullanılabilen toryum ve zirkonyum ile alaşımlanmış ergimeyen elektrotlar da kullanılır. Bu yöntemle ergimeyen tungsten elektrotlar, EN26848 ve AWS A5.12 standartlarına göre sınıflandırılmıştır. Uygulamada genellikle 2,4 mm çapında elektrotlar 150 A'e kadar olanlar genellikle kaynak işlerinde 150 A'in

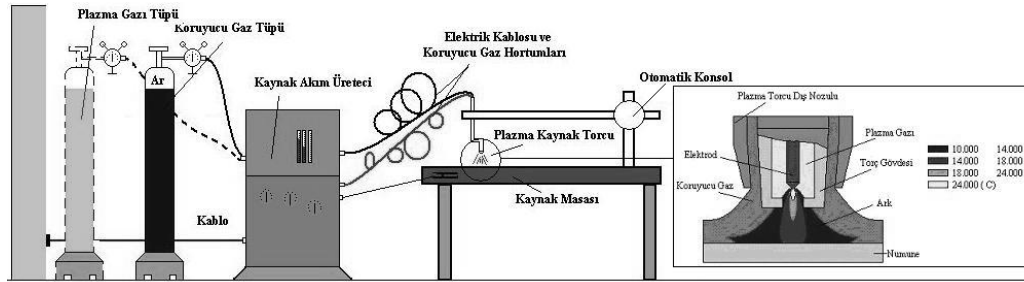
üzerinde olanlar ise 5 mm çapında elektrotlar arzu edilmektedir. Önerilen elektrot biçimi, elektrot uc kısmının aşırı ısınmasını önlemek, daha fazla akım toplayabilme oranını sağlamak için hazırlanmalıdır. Elektrotun aşınması söz konusu olduğu durumlarda ise taşlama makinelerinde belli bir mastara göre yapılmalıdır [40]. Şekil 5.7 de Elektrot bağlantısının şematik görünümü görülmektedir.



Şekil 5.7. Elektrod bağlantısının şematik görünümü

5.7. Plazma Arkı İle Kaynak

Plazma arkında; metal-metal olmayan malzemelerin doldurma ve birleştirme kaynağında kullanılır. Transfer olmuş ark yöntemi ile plazma kaynağı yapılır. Aktarım olmuş ark, yüksek frekans üzerinden iletilen yardımcı ark ile meme ve elektrot arasında yanar. Aktarım olmuş ark yandığında yardımcı ark sönmüş olur. Mikropilazma kaynağında, kaynak esnasında yardımcı ark sönmez. Ark akımın değeri bir direnç vasıtasıyla sınırlanır. Plazma arkının şematik olarak görünüşü Şekil 5.8’de görülmektedir [42].

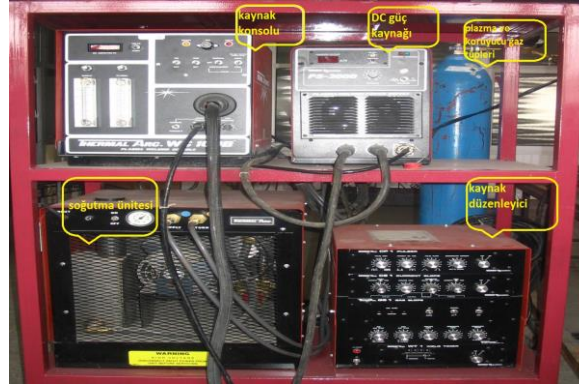


Şekil 5.8. Plazma transfer ark kaynağının şematik görünüşü [43]

5.8. Yüksek Frekans Dalga Ünitesi ve Donanımları

Pilot arkı ve transfer olmuş arkı ateşlemek-tutuşturmak için kullanılan, doğrudan katot tungsten elektroda ve anod nozula bağlı olan, sisteme yüksek frekansta dalgalar yollayan parçadır. Diğer Elemanlar:

- İki kademeli DC güç kaynağı,
- Su soğutma sistemi, anodik nozul gibi kritik parçalarda kullanılmak üzere, argon tüpleri
- Tungsten elektrotlar koruyucu aletler vb.(Şekil 5.9).



Şekil 5.9. PTA kaynak makinesi ve donanımları

5.9. Uygulama Özellikleri

Kaynak cihazları su soğutmalıdır. Plazma kaynak ekipmanı; akım üretici, hortum grubu ateşleme ekipmanı, kumanda aracı ve yanıcı gaz tüplerinden oluşur. Plazma doldurma kaynağında; ateşleme, kaynak cihazı, ve kumanda birimlerinin yanında iki tane de DA üretici bulunmaktadır. Buna ek olarak, doldurma için, toz deposu bulunan bir toz sevk ünitesinden meydana gelir. Plazma ark kaynağı ile nikel ve nikel alaşımları, alaşımsız, hafif ve yüksek alaşımlı çelikler, zirkonyum, bakır ve bakır alaşımları, alüminyum ve alüminyum alaşımları birleştirilebilir. Ostenitik paslanmaz çeliklerde, alın kaynağı 8-10 mm lik kalınlıklara kadar uygulanır. Kaynak bağlantıları, mekanik özellikler açısından iyi sonuçlar verir ve gözenek oluşmaz. Plazma ark kaynağında kaynak edilecek metallerle göre gaz seçimi yapılır. Yüksek akım uygulanan kaynak uygulamalarında, plazma gazı ve koruyucu gaz aynı alınır; çünkü iki farklı gaz kullanımı durumunda arkın kararlılığı zorlaşır. Diğer metallerin yüksek akım şiddeti uygulanan birleştirmelerde; çoğu zaman kullanılan gazlar, karbonlu ve az alaşımlı çelikler için saf Ar gazı, diğerlerinde ise % 7,5' a kadar hidrojen karıştırılmış argon gazıdır. USA sanayisinde genel olarak kullanılan He gazı ülkemizde ulaşılması zordur. Düşük akım ile uygulanan plazma kaynağında, hidrojen muhtevası en çok % 5'tir. Saf argon, karbonlu çelikler, yüksek mukavemetli çelikler ve tantal, titanyum, zirkonyum alaşımları gibi reaktif metalleri, kaynak yapmak amacıyla kullanılır. Bu metallerin uygulanmasında gaz, çok düşük miktarda bile hidrojen bulunması çatlama veya mekanik özellikleri olumsuz etkiler.

PTA kaynağı; nükleer, uzay, gemi inşaatı, elektronik, ve daha birçok endüstri alanında kullanılan bir yöntemdir. Bu işlem ekonomik olmasıyla birlikte, büyük oranda kalite ve güvenilirlik barındırır. Düşük akım şiddetli plazma ark kaynağıyla, ince tel elekler, ince tellerin uç uca kaynağı, röle kutusu üretimi, ince kalınlıklı basınçlı kaplar, vakum tüpü elemanları, yüksek akım şiddetli kaynaklarda ise; titanyum ve paslanmaz borular, türbin motor elemanları, roket yakıt tankları, yüksek güvenlik ile derinlemesine nüfuziyetli kaynaklar elde edilebilir. Plazma doldurma kaynağı ile, demir, nikel ve kobalt esaslı alaşımlar püskürtülür. Böylece yapılan kaplama ile yüzeyin aşınma

mukavemetini ve korozyon dayanımını iyileştirmek mümkün olmaktadır. Doldurma tabakası kalınlığı 0,25-6 mm. arasında değişebilir ve bu teknikle toz halindeki doldurma malzemesi saatte 5 kg. kadar yığılabılır.

Plazma arkı ile kaynakta sık kullanılan iki teknik, ergitme tekniği (melt-in mode) ve anahtar deliği tekniği (key hole mode) olmaktadır.

5.9.1 Ergitme Tekniği

Akım şiddetleri 50-400 A aralığında olan kaynak işlemlerinde genel olarak ergitme tekniği kullanılır. Tungusten İnert Gaz yöntemine benzer bir kaynak dikişi oluşturulur. Bilhassa, otomatik sistem uygulamalarda, TIG yöntemi tercih edilebilir. Yüksek akım şiddeti ve Ark kararlılığı daha nüfuziyetli kaynak dikişleri oluşturulur ve kaynak sırasında arkı kontrol etmek daha kolaydır, yine kaynak süresini de kısaltan bir yöntemdir. İlave kaynak metalinin kullanımı, malzeme kalınlığına bağlı olarak belirlenir [40].

5.9.2 Anahtar Deliği Tekniği

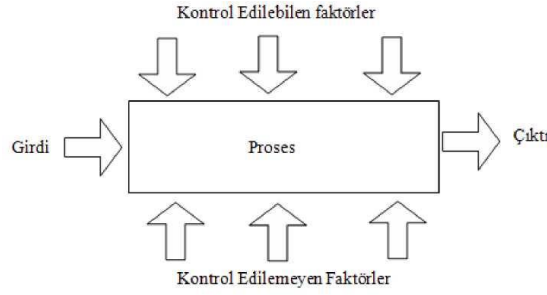
Plazma arkı kaynağında metalden metale değişmekte olan bir kalınlık aralığında, kullanılan akım şiddeti, gaz akımı, ve kaynak hızının uygun ayarlanması ile malzemeyi derinliğine kat eden bir delik ve küçük bir kaynak banyosu oluşturulabilir. Anahtar deliği işlemi yatay pozisyonda 1.5-10 mm kalınlık aralığındaki malzemelere de kullanılır. Uygun kaynak parametreleri sağlanarak bazı metal kalınlıklarında da değişik pozisyonlarda kaynak yapılabilir. Bu özelliği gösteren tek yöntem plazma arkı ile kaynak yöntemidir.

Anahtar deliği tekniğinde, anahtar deliği oluşturmak plazma arkı için parçanın derinliğine doğru girdiğinden, ergiyen metal parçanın yüzeyine doğru hareket eder. Torç, kaynak dikişi doğrultusunda hareket ettiğinde arkın ön kısmında bulunan ergimiş metal plazma arkının kenarlarından dolaşarak geriye doğru hareket eder ve orada buluşarak katılaşır. Anahtar deliği tekniğinin avantajı, kaynağın tek paso ile yapılabilmesidir.

Anahtar deliğinin iç kısmında bulunan ergimiş haldeki metal filmi içindeki kalıntılar ve gazlar parçanın yüzeyine hareket eder. Ergiyik kaynak banyosunun kökteki dikiş profili ve en yüksek hacmi , yüksek oranda ergimiş kaynak metalinin yüzey gerilimi, iyonize olmuş plazma gazının hızı ve plazma arkının akım şiddeti tarafından belirlenir. Kesmede plazma gazının debisi, sadece ergiyen metali o bölgeden uzaklaştıracak derecede yüksektir. Kaynakta plazma gaz hızının düşük olması, yüzey gerilimi oluşması sonucu ergimiş metali kaynak ağzında tutar. Dolayısıyla plazma gaz hızı kritik bir değer içermektedir ve iyi bir şekilde kontrol altında tutulmak zorundadır. 0.12 l/dk' dan daha yüksek gaz debileri önerilmez ve bu da oldukça düşük bir değerdir.

6. DENEY TASARIMI VE MODELLEME TEKNİKLERİ

Deney tasarımı, prosesi deneyde kullanılan faktörler değiştirilerek proses etkisinin izlenmesinden oluşan çalışmalardır. Şekil 6.1’de gösterildiği gibi özel proses ya da sistemler hakkında bir takım bilgiler elde etmek için kullanılır [44, 48].



Şekil 6.1. Prosesin genel modeli [48]

Proses; makinelerin kombinasyonu, metotlar, insanlar veya çıktı üreten diğer kaynaklar topluluğu olarak tanımlanabilir. Faktörler diğer adıyla deney değişkenleri ise deney sonucunu etkileyen kontrol altında olan ve olmayan çevre değişkenleridir. Faktörler, kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Deneyde kullanılacak faktörlerin tiplerinin belirlenmesi deneyin planlama prosesini doğrudan etkileyeceğinden dolayı büyük önem taşımaktadır. Deneyi etkileyen kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği ve kesici takım uç yarıçapı gibi faktörler kontrol edilebilen faktörlerdir. Kontrol edilmeyen faktörler ise deneyi yaparken kontrol altında olmayan faktörlerdir. Takım aşınması, sıcaklık, nem gibi faktörler kontrol edilmeyen faktörlerdir [48].

Deney tasarım metotları birçok disiplinde uygulama alanı bulmaktadır. Deneyisel tasarım mühendislik çalışmalarında üretim prosesinin performansını geliştirmede önemli rol oynamaktadır. Prosesin geliştirilmesinde deneyisel tasarım tekniklerinin uygulanması ile ürün geliştirilir, değişkenlik azalır ve hedef gereksinimlere yakın sonuçlar sağlanır ve maliyetler düşürülür.

Deneyisel bir çalışmadan en iyi çıktı sistematik bir yaklaşım dikkate alındığı zaman elde edilir. Farklılıklar olmasına rağmen genel olarak deneyisel bir çalışma; problemin tanımı, bağımlı ya da yanıt değişkenlerinin seçimi, bağımsız değişkenlerin seçimi, bağımsız değişkenlerin seviyelerinin belirlenmesi ve etken düzeylerinin nasıl birleştirileceği basamaklarını içermektedir. Deneyisel tasarım; alınan gözlemlerin sayısı, deney sırası, kullanılacak rastgeleleştirme yöntemi ve deneyi tanımlayan matematiksel model temel bileşenlerinden oluşmaktadır. Çözümleme ise; veri toplama ve işleme, deney istatistiklerinin hesaplanması ve sonuçların yorumlanmasını içerir.

Matematiksel modelleme, bir fiziksel sistemin ya da işlemin temel özelliklerinin eşitlik ya da formül şeklinde verilmesidir. Bir matematiksel model genel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

Bağımlı Değişken= f (Bağımsız değişken, parametreler, etkili fonksiyon)

Bağımlı değişken, sistemin durumunu ya da davranışlarını yansıtan bir özellik olup eşitliğin sağındaki değerlere bağlı olarak değişmektedir. Bağımsız değişken ise, sistemin durum ya da davranışlarının belirlendiği zaman veya uzay gibi boyutlardır. Parametreler, sistemin özelliklerini ya da yapısını belirleyen katsayılardır. Etkili fonksiyonlar ise sistem üzerine etkisi olan dış kuvvetlerdir [48, 49].

Talaş kaldırmada yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde deneysel tasarım ve modelleme teknikleri olarak genellikle;

1. Adım adım uygulanan istatistiksel geleneksel teknikler,
2. Merkezi Kompozit Tasarım (MKT) ile birlikte Yanıt Yüzey Tekniği (YYT),
3. Faktöriyel Tasarım Teknikleri,
4. Taguchi Tekniği (TT),
5. Digraph ve Matris Metodu,
6. Stokastik Teknikler,

kullanılmıştır [50]. Bu çalışmada deneysel tasarım ve modelleme tekniği olarak Taguchi tekniği kullanıldığı için detaylıca açıklanmıştır.

6.1.Taguchi Metodu

Üretim yapılmakta olan işletmeler, ürünlerini müşterilerinin beklentilerini karşılamak ve bu beklentilerini ileri düzeye çıkarabilmek için sürekli rekabet içerisindeyler. Bu işletmelerin, müşterilerine bağıntıyı yerine getirebilen, daha ucuz, daha kaliteli ve daha hızlı ürünler ulaştırabilmek için gösterdikleri çaba, kalitenin gelişmesine ve ilerlemesine sebep olmuştur. İşletme yöneticileri işletmelerinin verimliliklerini arttırmak ve rekabet üstünlüklerini arttırmak için, kalitenin yalnız üretim bölümünde değil malzeme ve proses tasarımı kısımlarının da doğru bir şekilde planlanmasının gerektiği bilincindedirler [51, 52].

Rekabete dayanan pazarda, işletmelerinin varlıklarını devam ettirebilmeleri ve pazar paylarını arttırabilmeleri için kalitelerini yükseltme çalışmalarına önem vermeleri gerekmektedir. Kalitelerini yükseltme ve geliştirme, bir çok organizasyonda rekabet edebilmek ve piyasaya tutulabilmesi için en temel faaliyetler haline gelmiştir [53].

Bu doğrultuda üretim yönetimi araçlarında da gelişmeler olmuş ve günümüz gereksinimleri için teknikler ortaya konmuş, yâda yıllardır teoride kalmış yöntemler uygulama

alanına geçirilmiştir. Bunlardan biri de, özellikle sanayileşmiş ülkelerde kullanılmakta olan deney tasarım teknikleridir. Tasarım için teklif edilen istatistiksel deneyler, ürün parametrelerinin ve parametre sayılarının artması sonucu, ürün maliyetinin yükselmesine ve hızlı bir şekilde neticeye ulaşamadığından dolayı da uygulanabilirliğini tamamen yitirmektedir. Ancak Taguchi uzun yıllar yaptığı çalışmalar sonucunda, çok az deneme ile çok iyi neticeler veren ortogonal dizileri geliştirmiştir [52].

Ortogonal diziler, faktör seviyelerini, teker teker değiştirmek yerine, eş zamanlı değiştirmeyi önermektedir. Bu sayede, deney tasarımında Taguchi yaklaşımı kimya ve elektronik sektöründe olduğu gibi üretim sektöründe kabul görmüştür. Taguchi, deneysel tasarlama yöntem açısından önemli bir yenilik getirmemesine rağmen, sanayi uygulamalarına yönelik yeni fikirler ortaya atarak ve başarılı uygulamalar sergileyerek, deney tasarımı yönteminin imalat sektöründe kabul görmesinde büyük katkılarda bulunmuştur [53].

Taguchi metodunun esas amacı; kontrol edilebilen değişkenlerin belirli seviyelerde zaman ve maliyet açısından etkin, aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin tüm kombinasyonlarına karşı duyarsız ürünler/prosesler tasarlamaktır. Taguchi deney tasarım tekniği; ürünlerin kalitesinin olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkânı vermektedir [52].

6.2.Taguchi Metodunun Gelişimi

Taguchi metodunun 1920 li yıllarda İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında çalışmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. İngiliz istatistikçi ayrıca deney verilerinin analizi "varyans analizi" (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Kullanılan bu yöntem Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi uygulanmış ve Amerika'nın tarım alanında dünyada lider konuma gelmesine büyük katkı sağlamıştır. Ürünler üzerinde verimliliği arttırmak için tarımsal çalışmalarda , sulama alanlarında ürünlere üzerindeki etkileri izlenmiş ve başarılı değerler alınmıştır [53].

Japonya ikinci dünya savaşının sonlarına doğru günümüze kadar gelişmesinin temelleri atılmıştır. Bu yıllardaki en önemli projelerden biri Japon iletişim sisteminde gelişmiştir. Amerika Bell Enstitüsünde kullanılan telefon sisteminin benzerini Japonya da kurulmuştur. Ancak Bell laboratuvarına göre hacimce daha az bir alana sahipti. Telefon sisteminin kurulumu yaklaşık yirmi yıl beklenirken taguchi yöntemiyle proje dört yılda bitirildi ve Taguchi çok ünlü oldu [51].

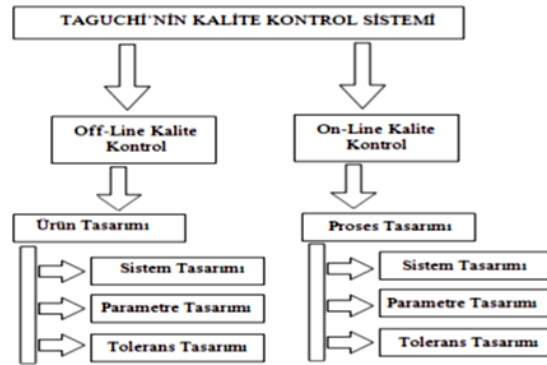
6.3.Taguchi Felsefesi

Taguchi'nin felsefesi yedi başlıkta sıralanır;

- > Üretilen bir ürünün kalitesi toplumda meydana getirdiği kayıpla ölçülür. Toplumsal kayıp ürünün tüketici gereksinimlerine uygunsuzluğu ve kullanımda ortaya çıkan zararlar olarak tanımlanır.
- > İşletmenin kalıcılığı ve ayakta durması için kaliteyi devamlı geliştirmeli ve maliyeti azaltmalıdır.
- > İyi bir kalite geliştirme programında ürün ve hedef değerinde sapmanın az olmasıyla sağlanır.
- > Ürünün kalitesinde tüketicide meydana gelen memnuniyetsizlik sapmanın karesiyle bağlantılıdır.
- > Ürünün iyi nitelikte olması tasarım ve üretimiyle bağlantılıdır.
- > Ürün performansı olumsuz etkileri en aza indirmeli sapmaları kontrol altına almamız gerekir.
- > İstatistik yapılan çalışmalar ürün veya proseslere ait sapmalarını azaltmak için kullanılır [51].

6.4.Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi

Kalite için yapılan çalışmalar iki kısımda incelenir. Bunlar Çevrim İçi (On-Line) ve Çevrim dışı Off-Line dır. Deney tasarımı, Bu sistemin kalite kısmında, off-line kalite kontrol içinde, proses, ve tasarımı kısımlarında kullanılmaktadır. Bu hal Şekil 6.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Taguchi Kalite Kontrol Sistemi[51]

Çevrim içi kalite kontrol; Üretime başlanan ürünün muayene yöntemleri ile kalitesinin sağlamaya çalışılması aşamasıdır.

Çevrim dışı kalite kontrol; Ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi, pazar araştırması çalışmalarını kapsar. Yapılan bu çalışmalar ürüne direkt müdahale yerine, üretimden önce amaçlanan tasarım çalışmalarıdır [53]. Çevrim dışı (Off-line) kalite kontrol metotları ürünlerin daha uzun süre kullanılması, maliyetinin azaltılması , üretebilirlik ve iyi bir ürün geliştirmek için kullanılır. Taguchi Off-line üç aşamalı bir yöntemle güvenilirlik sağlanmıştır. Kalitede hem ürün tasarımı hemde proses tasarımı açıklanan kalite basamakları;, parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımıdır [52]. Taguchi metodunun kalite parametreleri Şekil 6.3.'te gösterilmiştir.



6.4.1.Sistem Tasarımı

Taguchi Metodunun ilk aşamasını oluşturur. Burada amaçlanan yapıları gözlemlenmesidir. İstenilen özellikte ürün elde etmek için teknolojik çalışmalar belirlenir ve bunlar içinde uygun olanlar seçilir. Çalışmanın konusunu ürünle ilgili buluşların değerlendirilmesi verilerin toplanması pazarın istekleri malzeme maliyet kullanılan ekipmanlar oluşturur. Malzeme alımında parçaların özelliklerinin iyileştirilmesinde bir takım kararlar alınması önemli rol oynar [52].

Kaliteli bir ürünün üretilmesi ve yatırıma dönük olması beklenir. Burada önemli olan mamül üretimde maliyetin düşük olması önemlidir. Bunun için fiyat araştırması iyi yapılmalı , teknolojik gelişmeler ve bilimsel buluşlardan faydalanılmalıdır [51].

6.4.2.Parametre Tasarımı

Parametre tasarımı yapılabilmek için Taguchi sistemine göre, malzeme kalitesini geliştirmede en önemli kısımdır. Malzeme parametre tasarımı, malzeme değerleri, ürün hesaplama değerleri, farklı boyutlar, yüzey uygulamaları gibi, en uygun değerlerin tespit edilmesi anlamına gelmektedir [54].

Proses değişken ve ürün değişken tasarımında asıl amaç, malzemede ve sistemde varyasyon (hedef değerden uzak yani kaliteli olmayan) yaratan kontrol edilemeyen değerleri , üzerinde kontrol edilebilen (değişkenlerin) değerlerini en uygun belirleyerek, ürün ve işlemdeki değişimleri en aza dūřürmektir. Taguchi, bu sisteme sağlam tasarım adını vermiştir.

Isı, nem, toz, gibi etkiler, alıcının kullanımındaki etkenler ve ürünlerdeki farklılıklar kontrol edilemeyen faktörlerdir. İyi bir üretim basamakları, kalitesizliğe neden olan kontrolü mümkün olmayan bir faktörün etkisi, kontrolü mümkün olan diğer değişkenlerin düzenlenmesi sonucu azaltılabilir.

Malzeme ve işlem parametre üretim aşamalarında, en uygun parametrelerin belirlenmesi ve en uygun ayarların yapılması bir çok sayıda faktör bulunmaktadır. Bununla birlikte bu faktörlerin birçoğu kendi aralarında bağlantılıdır. Kontrol edilebilen-edilemeyen değişkenlerin, ürün ve ürünün başarıma olan etkilerini istatistiksel deney tasarımı kullanılır. Deney tasarımı yöntemiyle, birçok etkenin ürün üzerindeki değerlerini ekonomik olarak belirleyerek varyasyonu yaratan faktörlere karşı önlemlerin alınmasıdır [53].

6.4.3.Tolerans Tasarımı

İşlem basamakları istenilmeyen değişkenleri dūřürmek yeterli olmadığı şartlarda tolerans tasarımı yönteminden faydalanılır. Üretim oluşturmada düşük maliyetli, büyük bir oranda değişen bileşenler veya faktörler kullanılabilir. İstenilmeyen durumları istenilen değere getirmek için bileşenlerin kalitesinin geliştirip tolerans tasarlama sistemi kullanılır. Tolerans tasarımında üç farklı kalite değişken bulunur.

Bu değişkenler sırasıyla

- *En küçük en iyi ,
- * En büyük en iyi,
- * Hedef değer en iyi olmak üzere 3' e ayrılmaktadır.

6.4.3.1.En Büyük En İyi

Yapılan deneylerde kalite değerlerinde bir üst sınır olmadığından hedeflenen bir sonuçta olmaz. Ölçünün büyümesi durumunda verimlilik artacaktır. Örnek vermek gerekirse malzemelerin dayanıklılığı verilebilir.

6.4.3.2.En Küçük En İyi

Bu yöntemde alt sınırın olması istenir. Negatif yönde bir etki göstermez. Tolerans azalması durumun daha iyi olmasını sağlar. En iyi örnek üretim aşamasında oluşan hurda kayıp malzeme miktarı verilebilir.

6.4.3.3.Hedef Değer En İyi

Bu kısımda sapmalar iki çeşittir. Vasıtasıyla iki kademedeki toleransa sahiptir. Bu ifadeye en iyi örnek olarak boyut kriterleri verilebilir.

6.5.Taguchi Metodunda Parametre Tasarımı

Parametre dizaynının liderlerinden biri olarak Genichi Taguchi kabul edilmektedir. Parametre üretimi, üretim ve işlem üretimi sırasında, istenmeyen özelliklerin ve kontrolü mümkün olmayan faktörlere karşı olan isteği azaltmak için kullanılan çalışmadır. Taguchi metodu yerinde kullanıldığında güzel sonuçlar alınır.

Güvenilir işlem basamaklarının tasarımında en öncül ilke, işlem istenilen değerini korurken istenilmeyen değerleri azami seviyeye indirgenecek etkileri belirlemektir. Varyasyona etki eden faktörleri belirledikten sonra, kontrol edilebilir değişkenler üzerinde çalışmalar yapılabilir. Kontrol edilmesi mümkün olmayan faktörler ise etkisini minimum seviyeye indirmeye çalışılır. Proses tasarımında önemli olan sürekli aynı değere ulaşmaktır [52].

6.5.1.Temel Çalışma Biçimi

Bu yöntem, birden fazla sayı da faktöre dayalı olduğu ürün ve işlemin kalitesini artırmak amacıyla tasarlanmıştır. Bütün etki eden faktörlerin tüm bileşenleri test edilerek kurulumu yapılır. Bilimsel yapılan çalışmalarda çok sayıda faktör içerdiği için, oluşabilecek sonuçlar fazladır. Bunun yanında yapılan özel projelerde etkileşim olması deneme miktarını çoğaltmaktadır. Test kombinasyonlarını indirmede çoğu zaman kısmi faktöriyel tasarım kullanılmaktadır. Taguchi faktöriyel çalışmalarda ortogonal dizilerden oluşan bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem dizaynların kullanılması verilen faktörlerin en az sayıda deney yapılması bütün değişkenlerin değişmeyen seviyeli olduğu ve etkilenmesi önem taşımadığı durumlarda standart ortogonal diziler kullanılmaktadır. Faktörlerin değişen seviye ve etkileşimlerin incelendiği hallerde ortogonal dizilerin dizayn edilmesi gerekmektedir. Birden fazla faktörün olduğu durumlarda birinci deney tasarımı planının ileriye sürülmesi İngiliz olan Sir R. A. Fisher 1920’de faktöriyel üretim olarak çalışmıştır. Tam faktöriyel üretiminde verilen deney seti için tüm olanakları ele alınmıştır. Deneylerin bir çoğu çok sayı da faktör içerir. Tam faktöriyel tasarımda çok geniş çalışma alanı doğurur. Mesela tam

faktöryel tasarımda 7 faktörlü olmakla birlikte her faktörün 2 seviyeli olduğu bir test işlemi için tam $128 (2^7)$ deney yapılmalıdır [51].

Ayrıca Kısmi faktöryel üretimin deneylerinde belli bir grup seçilerek incelenir. Kısmi faktöryel hesabı kısa bir yol olarak yapılsada uygulama ve analiz için belli bir kural yoktur. Taguchi metodu ile yapılan çalışmada iki önemli açığı tamamlamıştır.

Bunlar;

- > Deney ortamlarına uygun olarak belirlenen ortogonal diziler açık bir şekilde belirlenmiştir.
- > Sonuçların tespitinde belirli metotlar belirlenmiştir.

Taguchi uygulamasında analiz metotlarının ve standart deney tasarımı tekniklerinin birleşimi ele alınır. Bu birleşimde kombinasyon diğer istatistiksel yöntem çalışmalarıyla üretimi test edilebilir. Bu deney kombinasyonlarının nasıl oluştuğunu açıklamak faydalı olacaktır.

Mesela bir A(sıcaklık) faktörünü düşünürsek. A faktörünün eğer 2 seviyesi varsa (200°C ve 400°C) her iki seviye için ayrı ayrı çalışma yapmak gerekir.

Faktör A: Seviye 1 = $A_1(200^{\circ}\text{C})$ Seviye 2 = $A_2(400^{\circ}\text{C})$

Faktör sayısını 2'ye çıkardığımızda ve her bir faktörde 2 seviye olduğu durumda, kombinasyon sayısı aşağıda gösterildiği şekilde 4'e çıkar.

A_1B_1, A_1B_2, A_2B_1 ve A_2B_2

Faktör sayısı 3 seviye durumu 2 olduğu durumda $2^3=8$ deneme ile karşı karşıya kalırız. Bunlar;

$A_1B_1C_1, A_1B_1C_2, A_1B_2C_1, A_1B_2C_2, A_2B_1C_1, A_2B_1C_2, A_2B_2C_1, A_2B_2C_2$

Görüldüğü gibi bütün kombinasyonların denendiği tam faktöryel tasarımda, faktör seviyesi arttarsa , deney sayısı 2 seviyeli deneylerde ikinin kuvvetleri şeklinde artmaktadır. Farklı faktör ve seviyeli deneyler için tam faktöryel tasarım ve Taguchi metodu için gerekli deneme sayıları Tablo 6.1. de verilmiştir. Burada deney sayılarındaki farklılık bariz bir şekilde görülmektedir [51].

Tablo 6.1 Taguchi ve tam faktöryel tasarım için kombinasyonlar [51].

Faktör	Seviye	Deney Sayısı	
		Tam Faktöryel Tasarımı	Taguchi Metodu
2	2	$4(2^2)$	4
3	2	$8(2^3)$	4
4	2	$16(2^4)$	8
7	2	$128(2^7)$	8
15	2	$32768(2^{15})$	16
4	3	$81(3^4)$	9

6.5.2. Deney Tasarımı

Deney tasarımı içerisinde geçen tasarım yapılan planları ve projeleri açıklar. Tasarım farklı durumlarda meydana gelir. Mühendislikte tasarım, proses dizaynı ve ürün tasarımı anlaşılır [53].

Deney tasarımına başlamadan ürün ve takip sürecinde iyi bir bilgi birikimine sahip olmamız gerekir. Kullanılacak yöntemleri etkileri belirlenmelidir. Faktörler iyi tanımlamak için bilgi alışverişi yapılmalıdır. Taguchi tüm faktörlerin ve bunların seviyelerinin belirlenmesinde fikir paylaşımı tekniğinin önemli bir adım olarak görmüştür.

Taguchi tasarımı seçilirken;

- Kontrol faktörü sayısı
- Her bir faktörün seviye sayısı
- Deney çalıştırma sayısı
- Diğer şartların sisteme etkileri (maliyet, zaman, üretebilme durumu) göz önüne alınır.

Deneyler dinamik ve statik sonuçlu olmak üzere 2 türlü yapılabilmektedir. Statik sonuçlu deneylerde kalite değişkenleri sabittir. Dinamik sonuçlu deneylerde ise kalite değişkenleri verilen değer arasındadır [53].

6.5.2.1. Statik Sonuçlu Tasarım

Taguchi metodunda önemli iki hedef ulaşılması planlanır. Bunlar;

- 1- Kalite değişkenini hedefe mümkün olduğunca yaklaştırmak,
- 2- Varyansı, yani hedef değerden sapmayı azaltmaktır.

Statik sonuçlu tasarımlar kalite değişkeninin sabit seviyeli olduğu tasarımlardır. Bu tür tasarımlarda hedef değerden sapmayı minimize etmek için bir değişim ölçüsü gerekmektedir. İşte bu noktada Taguchi deney sonuçları S/N (Signal/Noise) oranlarını arasındaki farkı azaltmak için tasarlanmıştır [52].

Statik bir tasarımda Taguchi tarafından belirlenmiş S/N oranları iyi analiz edilmeli ve istenen hedeflerde çalışılabilir. Seçilebilecek S/N oranları Tablo 6. 2.' de verilmiştir [53].

Tablo 6.2 Taguchi'nin Sinyal/Gürültü oranları [51].

Seçim	Amaç	Sonuç
En Büyük En İyi $S/W = -10(\log(\Sigma Y)/n)$	Sonucun maximize edilmesi	Pozitif
Hedef Değer En İyi $S/N = -10(\log(s^2))$	Sadece standart sapmanın azaltılması	Pozitif, sıfır ya da negatif
Hedef Değer En İyi $S/N = 10(\log(Y^2/s^2))$	Standart sapmanın ve ortalamanın belli bir hedef değerinde olması	Ortalama sıfır olduğu zaman standart sapma da sıfır
En Küçük En İyi $S/W = -10(\log \Sigma V/n)$	Sonucun minimize edilmesi	Pozitif

6.5.2.2.Dinamik Sonuçlu Tasarım

Kalite değişkeninin belli bir değer aralığı kapsadığından sabit değildir. Dinamik sonuçlu bir çalışmada işleme anı ile sonuç arasındaki ilişkiyi değerlendirmek ve geliştirmek için kullanılır. Genel olarak gürültü faktörünün, kalite değişkenlerinin sistemin giriş anına bağlı olarak belirli değerler aldığı durumlarda kullanılır. Buna örnek olarak otomobilin ivmelenmesi verilebilir. Burada işleme başlama durumu otomobilin gaz pedalına basılmasıyla başlar ve dinamik sonuç otomobilin hızıdır. İdeal olarak işleme başlama anı ile sonuç arasında doğrusal bir ilişki olması gerekir. Duyarsızlık bu ilişki içerisinde gürültü faktörleri yüzünden minimum varyasyona ihtiyaç duyar. Bu yüzden dinamik tasarımlarda mümkün olduğunca deneme sayısı fazla tutulmalıdır [53].

6.5.2.3.Dinamik Sonuçlu Tasarım

Kalite değişkeninin belli bir değer aralığı kapsadığından sabit değildir. Dinamik sonuçlu bir çalışmada işleme anı ile sonuç arasındaki ilişkiyi değerlendirmek ve geliştirmek için kullanılır. Genel olarak gürültü faktörünün, kalite değişkenlerinin sistemin giriş anına bağlı olarak belirli değerler aldığı durumlarda kullanılır. Buna örnek olarak otomobilin ivmelenmesi verilebilir. Burada işleme başlama durumu otomobilin gaz pedalına basılmasıyla başlar ve dinamik sonuç otomobilin hızıdır. İdeal olarak işleme başlama anı ile sonuç arasında doğrusal bir ilişki olması gerekir. Duyarsızlık bu ilişki içerisinde gürültü faktörleri yüzünden minimum varyasyona ihtiyaç duyar. Bu yüzden dinamik tasarımlarda mümkün olduğunca deneme sayısı fazla tutulmalıdır [53].

6.5.3.Uygulama İşlemleri

Taguchi metodunun uygulama işlemleri sırasıyla aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- a) Problemin belirlenmesi.
- b) Hedeflerin belirlenmesi.
- c) Kalite değişkenleri ve ölçüm sisteminin belirlenmesi.
- d) Kalite değişkenlerini etkileyen faktörlerin seçimi ve seviyelerinin tespit edilmesi.
- e) Faktörlerin kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olarak ayrılması.
- f) Etkileşimlerin belirlenmesi.
- g) Uygun ortogonal dizinin seçimi.
- h) Kontrol faktörleri ve etkileşimlerin sütunlara atanması.
- i) Deneylerin yapılması ve sonuçların kaydedilmesi.
- j) Veri analizi ve kontrol edilebilen değişkenlerin en iyi değerlerinin belirlenmesi.
- k) Doğrulama deneyinin yapılması [51].

6.5.3.1.Problemin Belirlenmesi

Tasarlanan bir bilimsel çalışmanın en önemli ayağı Problemin belirlenmesi ve tanımlanması oluşturur. Çalışmanın başında yapılacak hatanın telafisi olurken sonraki aşamalarda telafisi hem maddi hem zaman açısından olumsuzluğa yol açar. Müşteriler ve mühendislik birimleriyle görüşülüp fikirleri alınmalıdır.

Problemin tespiti yapılırken öncelikle daha önceden belirlenmiş kalite değişkenleri kullanılır. Eğer mümkünse müşteri görüşleri ve eğilimlerinden faydalanılarak hedef daha da hassaslaştırılır. Çalışmada meydana gelecek olumsuzluklar ve değer sapmaları tam olarak netleştirilir. Meydana gelen sapmaların ne gibi kayıplar getirdiği iyice belirlenir. Söz konusu kayıplar itibar kaybı, maliyetin artması, müşteri tatminsizliği vs. olabilir. Bunlar arasında maliyet kaybını ölçmek kolay iken diğerlerini ölçmek zordur.

Etkileri uzun dönemde ortaya çıkar. Taguchi' nin deneyinde amaç uzun dönemde ortaya çıkacak kayıpların önüne geçmektir. Ekonomideki rekabet şartlarında itibarda ve dolayısıyla müşteride meydana gelebilecek kayıplar uzun dönemde ciddi hasarlar işletmelere bırakabilir. Bu nedenle ilk olarak bu tür kayıpların önüne geçilmeli ve müşteri memnuniyeti azami derecede sağlayabilmesine özen göstermek gerekir [52].

Problem belirlenirken küçük gözüken problemler ileriki dönemlerde büyük etkiler doğurabilir [51]. Taguchi yönteminin bundan sonraki dönemlerini ekip çalışması yapılarak verimliliği arttırılmalıdır.

6.5.3.2.Hedeflerin Belirlenmesi

Her işletmenin uygulamalarında belirli metodu ve amacı bulunmaktadır. Bu amaç ve metod belli bir üretim sayısına erişmek, alıcının memnuniyeti, bedeline düşürmek vb. olabilir. Bu açıdan incelenirse Taguchi metodunun iki önemli faktör vardır. Bunlar kalite çıtasını yükseltmek ve varyasyonu en az seviyeye indirmektir [51].

Kalite konuları düşünülecek olursa varyasyon, istenilen değerden uzaklaşma olarak açıklanabilir. İmalat değişkenleri testte belirtilen seviyelerde yapıldığında, bu değişkenlerin ortalama değeri optimize olacaktır. Ancak ürünün kalitesinde, grup ortalaması yerine, grup dağılımı sayesinde temsil edilir. Meselâ, kaynak direnimi ortalama değeri, min. anlamı sınırının üstünde olduğu halde, grubun önemli oranı (%30-%40 gibi) testi geçemeyip reddedilebilir [53].

6.5.3.3.Kalite Değişkenleri ve Ölçüm Sisteminin Belirlenmesi

Kalite değişkeni alıcı tarafından üründe istenilen kaliteyi yakalamaktır. Bu basamakta arzulanan kalite değişkenleri tespit edilir. Bununla birlikte kalite değişkenlerinin ölçümü yapılırken ölçme yöntem ve mühendislik birimlerine başvurulabilir [53].

6.5.3.4.Kalite Değişkenlerini Etkileyen Faktörlerin Seçimi ve Seviyelerinin Tespit Edilmesi

Bu değişkenleri etkileyen faktörleri tespit ederken bu alanda önder kişiler ve kalite teknik elemanlarla çalışılmalıdır. Yapılması gereken en iyi yöntem beyin fırtınası tekniğidir. Bununla birlikte akış şeması ve sebep-sonuç diyagramlarından da yararlanılmalıdır [52].

Karşılıklı fikir alış verişi çalışma tekniğinde problemin uzman personellerin bir araya gelerek çözüm önerilerini vermeleri ve oylama işlemiyle etkili olan doğru çözüm belirlenir. Oylamada her personelin görüşü ele alınıp değerlendirilir. Etkili faktörler belirlenerek doğru çözüm bulunur [51].

6.5.3.5. Faktörlerin kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olarak ayrılması.

Faktörler kontrol edilebilen faktörler ile kontrol edilemeyen faktörler olmak üzere iki bölümde incelenir. Taguchi işlemi kontrol edilebilen faktörleri kullanarak kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini düşürmeye çalışacaktır. Seçilen faktörler min. iki seviyeli olmalıdır. Seviye sayıları ölçülebilen ve bununla birlikte seviyelerinin ayarlanması kolay olan faktörler kontrol edilebilir faktörler, seviyesi olmayan veya kontrolü güç olan faktörler ise kontrol edilemeyen yani hata faktörleri olarak ayrılmaktadır.

6.5.3.6.Etkileşimlerin Belirlenmesi

Taguchi Dizaynları ana etkileri üstünde çalışmak için kullanılmıştır. Arzulandığı takdirde 2 yönlü etkileşimler üzerinde de çalışılabilir. İki faktörün etkileşimli olması, faktörlerden birinin etkisinin diğerine bağımlı olmasıdır. A faktörünün etkisinin B faktörünün etkisini değiştirmesi gibi. Bu işlem $A*B$ şeklinde gösterilir. Mesela sıcaklıkla nem arasında insanlık için rahatlık açısından güçlü bir etkileşim vardır. Sıcaklıktaki artış küçük bir olumsuzluk verebilirken nemin artması daha büyük rahatsızlık verir.

Deneye başlamadan önce faktörlerin birbiri üzerindeki etkileri belirlenebilir. Bu noktada çok dikkatli çalışılmak gerektiği gibi doğru kararlar alınmalıdır [51].

6.5.3.7.Uygun Ortogonal Dizin Seçimi

6.5.3.7.1.Ortogonal Diziler

Ortogonal diziler hangi denemede faktörün hangi seviyesini kullanılacağını belirler. İlk olarak Ünlü Fransız matematikçi Jacques Hadamard tarafından bir buluş olarak ortaya konmuştur.

Ortogonal düzenin en önemli faktörü, birden fazla özelliği min. sayıda test ile değerlendirilmesini sağlaması ve alışlagelmiş metottun haricinde faktör basamakları birer birer değiştirme yapma yerine birlikte değiştirme yapmayı önermesidir. Normal 2^k değişkenlerde bir deneysel tasarım kurulacaksa tam faktöriyel oluşumu gereği 2^k tür deneyi yapılması gerekir. İşlem basamaklarından bir tanesiyle oynayıp diğer değeri sabit tutularak deney yürütülür. Gelişen çalışmalar sonucunda Taguchi benzer deneme planları geliştirerek bu planların vereceği sonuçla 2^k denemenin sonuçları aynı olacağını ortaya attı. Bu fikrinde haklı olduğunu da deneyleriyle ispatladı. Bu standart deneme planlarının esası eş zamanlı olarak birden fazla faktörün kademelerini değiştirerek deneme sayısında aşırı bir azalma yapmasına dayanmaktadır.

Mesela yedi faktörün tespit edildiği bir deney için $2^7 = 128$ adet uygulamayı gerçekleştirme gerekir. Oysa Taguchi metodunda bu işlem için 8 uygulama yeterli olmaktadır. Bu şekilde açıklanabilir. Tablo 6.3'de 2 uygulama planı görülmektedir. Buna işleme göre 1 ilk seviyeyi, 2 ise ikinci seviyeyi gösterir. İlk 6 değişken sabit iken 7. faktörde seviye değişikliği yapılmaktadır. Bu şekilde bütün faktörler sırayla denenmektedir. Sonuçta 128 işlem uygulanması gerekir. Taguchi dizaynına göre birinci denemeden ikinciye geçilince 7 faktörden 4'ü değiştirilmektedir. Akabinde diğer denemeler için de 4'ü 2.seviyede, 3'ü 1. seviyede olmak üzere her aşamada değişiklik yapılmaktadır. Bunda da toplam 8 deneme ulaşılabilir. Taguchi sonuçta yüksek oranda düşük maliyet ve zaman tasarrufu getirmektedir [52].

Tablo 6.3. 2^k ve Taguchi dizaynı deney planları

Deneme No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	2
3	1	1	1	1	1	2	1
4	1	1	1	1	1	2	2
5	1	1	1	1	2	1	1
6	1	1	1	1	2	1	2
:	:	:	:	:	:	:	:
128	2	2	2	2	2	2	2

2^k Dizaynı

Deneme No	Faktör No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Taguchi Dizaynı

Bu dizilere her faktörde aynı miktarda farklı seviye bulundurduğundan ortogonal dizi denilmektedir. Ortogonal dize üçe ayrılmaktadır. Bunlar 3 seviyeli, 2 seviyeli ve 2 ve 3 seviyelidir. Belirlenen bu diziler standart olup Taguchi metodunun işlem basamaklarını oluştururlar. Taguchi metodu kullanılarak yapılacak tüm deney bu standart dizilerden birini seçip kullanmak zorundadır. Aksi takdirde başlangıçta faktörlere uygun dizi bulunamadıysa, faktörlerde bir takım yeni düzenlemeler yapıp dizilerden birini bulmak gerekmektedir. Sıklıkla kullanılan diziler 2 seviyeliler için L_4 , L_8 , L_{12} ve L_{32} iken 3 seviyeliler için L_9 , L_{18} , L_{27} dizileri bulunmaktadır. Her iki seviyenin karıştırıldığı dizilerden bazıları L_{18} , L_{36} , L_{54} dizileridir [51].

6.5.3.7.2. Ortogonal dizi seçimi

Ortogonal dizi seçimi seviye sayısı ve toplam serbestlik derecesi kullanılarak yapılır. Seviye sayısı önemlidir. Seviyelerin karışık olması durumunda bu karışıklık giderilip düzeltmeler yapıldıktan sonra toplam serbestlik derecesine incelenir. Bir dizinin toplam serbestlik derecesini bulmak için her bir faktörün ayrı ayrı serbestlik derecelerinin toplamak gerekir. Dizide sütunlara atanan faktörlere tek başına faktör yada iki faktörün etkileşimi olabilmektedir. Serbestlik dereceleri sırasıyla şu şekilde hesaplanmaktadır.

V_A : A faktörünün serbestlik derecesi V_A*B : A ve B etkileşiminin serbestlik derecesi k_A : A faktörü seviye sayısı

Faktör grubunun serbestlik derecesini bulmak için ise tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamak gerekir Bu aynı zamanda toplam deney sayısından bir çıkarmakla da bulunur.

V_T : Dizinin toplam serbestlik derecesi

N : Dizideki toplam deney sayısı

$$V_T = N - 1$$

(4.1)

Serbestlik derecesi hesaplandıktan hemen sonra ortogonal dizi seçimi yapılır. Dizinin deneme sayısına hangisi uygun düşerse o derece serbestlik derecesini vermektedir. Toplam serbestlik derecesi en fazla seçilecek olan dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Aksi takdirde eşit olması durumunda bir üst diziyi seçmek zorunlu olacaktır. Dolayısıyla mevcut serbestlik derecesine 1 eklendiği durumda eldeki dizilerden hangisine eşit olursa o seçilmelidir. Ancak hiç birine eşit olmaması durumunda ve herhangi ikisinin arasında kalıyorsa bir alt değil bir üstteki seçilir [52].

6.5.3.8.Kontrol Faktörleri ve Etkileşimlerin Sütunlara Atanması

Kontrol ve etkileşimlerin sütunlara ataması yapılmadan önce etkileşimler atanır. Aksi takdirde bazı sütunlar etkileşim olan diğer sütunlarla karıştırılabilir. Bunun anlamı bağımsız olarak değerlendirilemeyebilir. İki yönlü etkileşimler ele alınırken sütunlardan bazılarına faktör atanmaz. Taguchi dizaynı bir etkileşim tablosu bulunur. Etkileşim tabloları etkileşimlerin olduğu sütunları gösterir. Bu etkileşimler sütunlara atanırken etkileşim tabloları kullanılır [51].

6.5.3.9.Deneylerin Yapılması ve Sonuçların Kaydedilmesi

Ortogonal dizinin sütunlarına değişenler yerleştirildikten daha sonra deney düzeni, kurulmuş olur ve testleri gerçekleştirmek için gereken fiziksel şartlar sağlanmaktadır. Akabinde deneylerin hangi sırayla yapılacağı belirlenir. Burada rassallığın sağlanması gerekir [51].

6.5.3.9.1.Deneylerin Yapılış Sırası

Deneylerin yapılış sırası belirlenirken en çok tercih edilen yöntem Rassallaştırma yöntemidir. Rastgele yapılan denemelerin yapılış sırasının, numara sırasına göre olmayıp belli bir rastgele şekilde yapılmasıdır. Uygulamadan oluşan sonuçların işlem sırası rassallık içermelidir. Bu şekilde test anında oluşabilecek ve sonuçları negatif yönde etkileyebilecek, fakat başta tahmin edilmemiş olan değişkenlik kaynaklarına karşı korunabilmek olasıdır. Rassallaştırma farklı biçimde yapılabilir. En çok kullanılan yöntemler;

- 1- Tamamen rassallaştırma,
- 2- Bloklar içinde tamamen rassallaştırmadır.
- 3- Basit tekrar

Tamamen rassallaştırma işleminde tüm testler seçilmede aynı şansa sahiptir. Bu yüzden ilk olarak arzu edilen deney yapılır. Akabinde deneyler rastgele sayılar tablosu kullanılarak belirlenen

deney sırasıyla yapılır. Yineleme söz konusu olduğunda bir test sonuçlanana kadar bütün testler rassal olarak seçilir ve ikinci tekrar yapılırken deney sırası rassal olarak bir öncekinden farklı sırada seçilir. Deneyler tamamlanana kadar bu halde uygulanır. Basit tekrarda da bütün deneyler ilk test olarak seçilebilmek için aynı şansa sahiptir. Ancak ötekilerinden farkı, tekrarlar söz konusu olduğunda, seçilen deney için gerekli tüm tekrarlar art arda test edilir. Bu yöntem ucuz olmayıp, deneyin hazırlanışının zor ve zaman alıcıdır [51].

6.5.3.9.2.Deneylerin Tekrarlanma Sayısı

Çin en az bir deney yapılmalıdır. Birden fazla yapılan deneyin ortalamasında ortaya çıkacak küçük değişkenlerin belirtilmesi sağlanacaktır. Kimi deneyler kolay ve ekonomik kimi deneyler de fazla maliyet ve zaman alıcıdır. Maliyeti yüksek deneyler pahalı ise bir deneme için bir test, ucuzsa bir deneme için birden fazla deney yapılır [52].

Test sonuçlarının çıktıları bilgisayar ortamında düzenlenen formların kullanılmasıdır. Minitab Release on beş sistem programı deney sonuçlarının kaydedilmesi için hazır bir form vermektedir [51].

6.5.3.10.Veri Analizi ve Kontrol Edilebilen Değişkenlerin En İyi Değerlerinin Belirlenmesi

Optimum faktör seviyelerinin tespit edilmesi beş yöntemle kontrol edilir. Bunlar;

- 1- Sıralama metodu
- 2- Gözlem metodu
- 3- Varyans analizi metodu
- 4- Sütun farkları metodu
- 5- Faktör etkilerinin grafiksel gösterimi (FEGG) metodudur [51].

6.5.3.11. Doğrulama deneyinin yapılması

Son aşamada deney seçilen en iyi şartlar altında tekrarlanır. Bu doğrulama deneyleri sonucunda elde edilen değerler beklenen güven aralığının içinde ise bulunan faktör-seviye kombinasyonu en iyi performans karakteristiği değerini veren kombinasyondur ve deney tasarımı amacına ulaşmıştır. Ancak doğrulama deneyi sonuçları belirlenen güven aralığı değerleri içerisinde değilse o zaman yapılan deney tasarımında bir başarısızlık vardır. Bu durumda proses tekrar incelenir ve hatalar tespit edilmeye çalışılır. Hataların bulunması ile deney tasarımı tekrar başlatılarak en iyi faktör-seviye kombinasyonu bulunmaya çalışılır.

Yapılan bu çalışmada varyans analizi kullanıldığından bu metot kısaca açıklamıştır.

6.5.4.Varyans Analizi

Ürün veya proses geliştirmenin amacı; müşteri beklentileri ve ihtiyaçları ile ilgili olan ürün veya prosesin performans karakteristiğini geliştirmektir. Deneylerin amacı ise malzemelerin yada işlem farklılıklarını denetlemek ve azaltmaktır. Sonra da başarıyı etkileyen parametrelerin hangileri olduğu ile ilgili bir karar verilmelidir. Kalite ile ilgili tartışmaların büyük bir bölümü varyans ile ilgili olduğundan dolayı, deneysel verilerin yorumlanmasında ve gerekli kararların verilmesinde varyans analizi (ANOVA) istatistiksel metotları kullanılmaktadır. ANOVA test edilen parça gruplarının ortalama performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için kullanılan istatistiğe dayalı bir araçtır. Varyans analizi toplam varyasyonu bileşenlerine ayıran matematiksel bir tekniktir ve serbestlik derecesi, karelerin toplamı, ortalama kareler (varyans) vb. gibi niceliklerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Üretim esasında kontrol edilmeyen değişkenlerin analizine dayanmaktadır. İşlem 1929’larda İngiliz istatistikçisi Fisher sayesinde geliştirilmiştir. İsmi baş harfinden esinlenerek yöntem F testi diyenlerde bulunur. Varyans analizi tek faktörlü, iki faktörlü ve çok faktörlü olmak üzere geniş bir kullanım yelpazesi sunmaktadır. Taguchi ortogonal dizileri iki ve üç kademeli olduklarından çoğunlukla ikili veya üçlü kademe için varyans analizi bu aşamada kullanılır [55, 56].

Faktör etkilerinin belirlenmesinde kullanılan varyans analizi hesaplamalarında kullanılan notasyonlar şöylece sunulabilir.

SST: Tüm değerlerin kareleri toplamı

SS_A : A faktörü için kareler toplamı

SS_0 : Hata kareleri toplamı

V_T : Toplam serbestlik derecesi

V_A : A’nın serbestlik derecesi

$V_{A \times B}$: A ve B interaksiyonunu serbestlik derecesi

V_0 : Hata varyansı

N : Elde edilen toplam veri sayısı

n_A : A faktörü için veri sayısı

T : Mevcut tüm verilerin aritmetik ortalaması

y_i : Gözlenmiş değer

k_A : A faktörünün kademe sayısı

6.5.4.1.Kareler Toplamı

Toplam varyansı bileşenlerine ayırırsak üç çeşit varyasyonla karşılaşılır.

1. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlere göre (A, B, C ...) varyasyon.
2. Bu faktörlerin etkileşimlerine göre varyasyon,
3. Hataya göre varyasyondur.

Eğer A ve B gibi iki faktörümüz ve bu faktörler arasında bir etkileşim varsa toplam varyasyon aşağıdaki gibi yazılır.

$$SST = SSA + SSB + SS_{AXB} + SSo \quad (4.2)$$

$A \times B$, A ve B faktörleri arasındaki etkileşimi temsil etmektedir.

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (4.3)$$

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (4.4)$$

Hata varyasyonunu hesaplarken, toplam kareler toplamından tüm faktörler ve etkileşimlerin kareler toplamının çıkarmalıyız.

$$SSo = SST - SSA - SSB - SS_{AXB} \quad (4.5)$$

Ortogonal düzende sütunların toplam kareler toplamı SS_T 'yi verir.

$$SS_T = \sum SS_{SÜTUN} \quad (4.6)$$

6.5.4.2. Serbestlik Derecesi

ANOVA hesaplarını tamamlamak için bir diğer özellik olan serbestlik dereceleri dikkate

alınmalıdır. İstatistiksel olarak serbestlik derecesi, verilerden elde edilen her bir parça bilgi ile ilişkilendirilmektedir [74]. Genel bir tanımlamada bir sonuca varabilmek için yapılması gereken bağımsız karşılaştırmaların sayısıdır. Kareler toplamı gibi serbestlik derecelerinin toplamı da toplam serbestlik derecesini verir [56].

İki faktör ve bunların etkileşimleri göz önüne alınırsa:

V_T = Toplam Serbestlik derecesi

$$V_T = V_A + V_B + V_{AXB} + V_O \quad (4.7)$$

Toplam serbestlik derecesi deneme sayısının bir eksiğine eşittir.

$$V_T = N - 1 \quad (4.8)$$

Bir faktör ya da sütunun serbestlik derecesi de seviye sayısının bir eksiğidir.

$$V_A = k_A - 1 \quad (4.9)$$

$$V_B = kg - 1 \quad (4.10)$$

Etkileşimin serbestlik derecesi ise etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir.

$$V_{SXB} = (V_A) * (V_B) \quad (4.12)$$

Hata serbestlik derecesi de; toplam serbestlik derecesinden tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri çıkartılarak bulunur.

$$V_O = V_T - V_A - V_B - V_{AXB} \quad (4.13)$$

Denemelerin tekrarları söz konusu olduğunda ise toplam serbestlik derecesi $V_T = \text{Deneme sayısı} \times \text{Tekrar sayısı} - 1$

$$(4.14)$$

6.5.4.3. Varyans

ANOVA tablosundan hesaplanabilen bir değer tanımlayıcısı istatistikte varyanstır. Hata varyansı, genellikle varyans olarak bilinir ve hata kareleri toplamının hata serbestlik derecesi ile bölümünden elde edilen değere eşittir.

V_e = Hata varyansı

Hata varyansı, hata (kontrol edilemeyen) faktörlerden kaynaklanan değişimin ölçüsüdür ve deneylerdeki ölçüm hatalarını da içine almaktadır. Faktörler ve etkileşimlerinin varyanslarında aynı şekilde hesaplanmaktadır.

A faktörü için varyans:

$$V_A = \frac{SS_A}{V_A} \quad (4.16)$$

B faktörü için varyans:

$$V_B = \frac{SS_B}{V_B} \quad (4.17)$$

AxB etkileşimi için varyans:

$$V_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{V_{AxB}} \quad (4.18)$$

şeklinde bulunur.

Ortogonal düzende atama yapılmamış olan sütunların toplam kareler toplamı, hata kareler toplamını vermektedir [55]. Sütunların hata varyansının kestiriminde kullanılması yaklaşımı tüm sütunlara faktörler atandığında da kullanılabilir. Deneyler yönlendirilmeden önce performans karakteristiğini etkileyeceği düşünülen faktörler gerçekte önemli olmayabilirler. Bu faktörlerin atandığı sütunların varyansı küçük olacağından bunlar hata varyansının kestiriminde kullanılırlar. Bir faktörün deney sonucuna katkısı yüzde olarak küçük bir rakamsa, analiz hesaplamalarında göz ardı edilmesi tasarımda daha büyük önem taşıyan faktörlerin belirlenmesi için gereklidir. Yüzdesel etkinin yanı sıra, kareler toplamında hata varyansının hesaplanmasında hangi sütunların birleştirileceğinin belirlenmesi için kullanılabilir. Hata varyansı için sütun belirleme işlemi yapılırken F-testi de uygulanabilir. Buna göre; etkisi en çok olan sütunu takip eden küçük etkili

sütuna göre önemli olup olmadığını görmek için F-testi uygulanır. Eğer önemli bir F oranı ortaya çıkmazsa, bu iki sütunun etkisi bir sonraki küçük etkili sütunla karşılaştırılmak üzere birleştirilir. Bu işlem önemli bir F oranı buluncaya kadar devam eder [56].

6.5.4.4.F Testi

Testler yapıp varyanslar hesaplandıktan sonra F-testi uygulanır. Standart F-testi uygulanırken, hataların eşit sapmalarla normal dağıldığı ve bağımsız olduğu varsayılmaktadır. F-testi varsayımları yerine getirilmediği takdirde, önem derecesi hesapları doğru sonuçları yansıtmayabilir. Bununla birlikte standart F testinin varsayımlardan sapmalara karşı duyarsız olması nedeniyle bazı varsayımları sağlamasa da kullanılabileceği belirtilmektedir [57]. F- testi uygulanırken analiz sırasında hesaplanan F değerleri ile belirlenen güven seviyesindeki F tablo oranları karşılaştırılarak, tablo oranından büyük F değerine sahip faktörlerin performans karakteristiği üzerinde etkili olduğu düşünülür. Verilerden elde edilen F değeri faktör ya da etkileşimi varyansının hata varyansına oranıdır [58].

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad (4.19)$$

7. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Gür A.K. (2013) yaptığı çalışmada düşük karbonlu çeliğin yüzeyini PTA metoduyla farklı kombinasyonlara FeCrC/B4C tozlarıyla kaplamıştır. Kaplama tozlarının kullanılan altlık malzemenin yüzey sertliğine önemli ölçüde etki ettiğini gözlemlemiştir. Kaplama tabakasının abresive aşınma direncini değerlendirirken Taguchi dizaynından faydalanmış ve optimum değerleri hesaplamıştır.

Yıldız T ve Gür A.K. (2011) yaptığı çalışmada düşük karbonlu çeliğin yüzeyini PTA metoduyla sabit ısı girdilerinde yüksek karbonlu FeCrC tozuyla kaplamıştır. PTA kaplama işleminde koruyucu Ar gazına ilaveten farklı oranlarda N₂ gazı ilave etmiştir. Kaplama tabakasında N₂ gazı ilavesiyle oluşan nitrür bileşikleri sayesinde altlık malzemede sertlikte belirgin artışlar olduğunu gözlemlemiş ve bu çalışmada mikroyapı ile mikrosertlik arasında ki bağıntıyı değerlendirmiştir.

Gur, A. K., Ozay, C., Orhan, A., Buytoz, S., Caligulu, U., & Yigitturk, N. (2014) yaptığı çalışmada AISI 316 paslanmaz çeliğin yüzeyini PTA metoduyla farklı ısı girdilerinde ve farklı kombinasyonlara FeCrC/B4C tozlarıyla kaplamıştır. Kaplama tozlarının kullanılan altlık malzemenin yüzey sertliğine önemli ölçüde etki ettiğini gözlemlemiştir. Kaplama tabakasının abresive aşınma direncini değerlendirirken Taguchi dizaynından faydalanmış ve optimum değerleri hesaplamıştır.

Buytoz, S., Orhan, A., Gur, A. K., & Caligulu, U. (2013) yaptığı çalışmada AISI316 paslanmaz çeliğin yüzeyini PTA metoduyla farklı ısı girdilerinde ve farklı kombinasyonlara FeCrC/B4C tozlarıyla kaplamıştır. Çalışmada kaplama tabakasında oluşan karbür ve borür fazları tespit edilmiştir. Ayrıca kaplama tabakasının altlık malzemede sertlikte belirgin artışlar olduğunu gözlemlemiş ve bu çalışmada mikroyapı ile mikrosertlik arasında ki bağıntıyı değerlendirmiştir.

Ali Kaya GÜR (2009), yaptığı doktora çalışmasında düşük karbonlu çeliğin yüzeyini PTA metoduyla sabit ısı girdilerinde, özellikle nitrür oluşturuucu Ti, Si, Mo ve Cr tozuyla kaplamıştır. PTA kaplama işleminde koruyucu Ar gazına ilaveten %1-3-5 N₂ gazı ilave etmiştir. Kaplama tabakasında N₂ gazı ilavesiyle oluşan nitrür bileşikleri sayesinde altlık malzemede sertlikte belirgin artışlar olduğunu gözlemlemiştir. Çalışmada mikroyapı ile mikrosertlik arasında ki bağıntıyı değerlendirmiştir. Bütün numunelerin farklı yük ve mesafelerde abresive aşınma dirençleri incelenmiştir.

Liu F.Y ve arkadaşları (2006) orta karbonlu çeliği Fe-Cr-C-Ni tozlarını plazma kaynak yöntemiyle kaplamış ve kaplama tabakasında sertmetal karbürler olan (Cr,Fe)₇C₃ karbür takviyeli kompozit kaplamalarını üretmişlerdir.

Wang Xibao ve arkadaşları (2005), sade karbonlu çeliğin yüzeyini Fe, Ti ve B₄C karbür tozları altlık malzeme yüzeyinde ergitilerek kaplama tabakaları üretilmiştir. Bu tabakalarının mikroyapıları ve mekanik özellikleri enerji girdisi yoğunluğuna, kaplama tozunun miktarı ve boyutundan önemli derecede etkilendiği belirlenmiştir.

Yao M.X ve arkadaşları, (2005) plazma transferli ark kaynak metoduyla Co esaslı Cr-W-C-Mo Stellite alaşımlarıyla ürettikleri, kaplama tabakalarının abrasiv, adhesiv ve erozif aşınma gibi mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Ayrıca bu kaplama tabakalarının korozyon direncini incelemişlerdir. Bu çalışmada, Co esaslı kaplama tabakasının mikroyapısında ötektik üstü ve ötektik altı karbürlerin varlığı sayesinde aşınma ve korozyon direncinin ana malzemeye göre oldukça iyi olduğunu belirlemişlerdir.

Zhang L. ve arkadaşları, (2007) plazma transferli kaynak yöntemiyle düşük karbonlu çeliğin yüzeyini Fe esaslı alaşımlarla kaplamışlar ve üretilen kaplama tabakasının karakteristiklerini incelemişlerdir. Kaplama tabakasında östenit ve hiperötektik yapılar elde edilmiştir. Kaplama tabakasında birincil fazlar, dentritik östenit γ -Fe ile (Fe,Cr)₇(C, B)₃ ve (Fe,Cr)₃C₂ elde edilmiştir. γ -Fe fazı dengesiz katı çözültü fazıdır. Fe esaslı kaplama tabakası abrasiv aşınma testi sonuçlarında, kaplama tabakasının aşınma direncinin düşük karbonlu çelikten çok yüksek çıktığı tesbit edilmiştir. Buna dağınık dentritik östenitler, sert karbür ve borürler katkıda bulunmuştur. Kaplama tabakasının maksimum mikrosertliği 780 HV çıkmıştır.

Liu Y.F. ve arkadaşları,(2006) PTA yöntemiyle yapılan (Cr,Fe)₇C₃ / γ -Fe seramik kompozit kaplamaların adhesiv aşınma direnci ve mikroyapılarını incelemişlerdir. Çalışmada alt tabaka olarak 0,45 C'lu çelik yüzeyine PTA metoduyla FeCrC kaplanmıştır. Kaplama tabakasında hızlı katılan seramik ikincil dentritler (Cr,Fe)₇C₃, ve dentritler arası (Cr,Fe)₇C₃ / γ -Fe içeren ötektik fazlar oluşmuştur. Kaplama işlemi 120 A'de ve Ar atmosferinde yapılmıştır. Oluşan M₇C₃ ve M₇C₃ / γ fazlarının varlığından dolayı kaplama tabakasının aşınma direnci oldukça yüksek çıkmıştır. Kaplama tabakasının aşınma davranışı alt malzeme olan % 0,45 C'lu çelikten 35 kat daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca kaplama tabakasının maksimum mikrosertliği 850 HV civarında çıkmıştır.

Bu çalışmada AISI 430 paslanmaz çeliğin yüzeyi B₄C- SiC and FeCrC tozları kullanılarak farklı kombinasyonlarda, plazma transfer ark (PTA)kaynak metoduyla alaşımlandırılmış yüzeyin abrasiv aşınma davranışı analiz ve optimize edilmiştir. Taguchi optimizasyonu yanı sıra ANOVA ile etki oranlarıda tespit edilmiştir.

8. DENEYSEL YÖNTEM

Bu çalışmada, AISI 430 ferritik paslanmaz çelik yüzeyine plazma transfer ark (PTA) yöntemiyle yüzey kaplama işlemi yapılmıştır. Yüzeye PTA yöntemiyle FeCrC, SiC ve B₄C tozları hem yalnız ve hem de farklı kombinasyonlarda geçirilmiştir. PTA kaplama işlemi sonucu kaplama tabakalarının mikroyapı, mikrosertlik ve kaplama tabakalarının abrasiv aşınma direnci incelenmiştir. Abrasiv aşınma direncinde Taguchi deneysel tasarım metodundan faydalanılmıştır. Bu amaçla deneyler dört aşamada yapılmıştır. Bunlar;

1. AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin PTA yöntemiyle yüzey kaplaması,
2. Kaplama numunelerinin mikroyapılarının incelemeleri,
3. Kaplama tabakasının mikrosertlik incelemeleri,
4. Kaplama numunelerinin abrasiv aşınma davranışlarının Taguchi deneysel tasarımla belirlenmesi

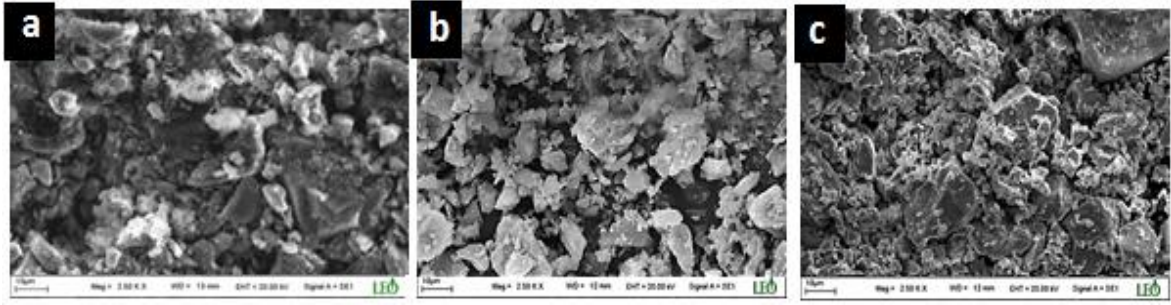
AISI 430 paslanmaz çelik malzemenin yüzeyinin kaplama malzemesi olarak seçilmesinin sebebi, bu paslanmaz çeliklerin ucuz olmaları, kolay bulunabilmeleri, yeterli sertlik ve mukavemete sahip olmaları, imalat sanayi ve teknolojik olarak aşınma dirençlerinin düşük olmasıdır. PTA yönteminin kullanılmasının nedeni ise, geleneksel olarak kullanılan yüzey alaşımlama tekniklerine göre daha yeni bir uygulama olması, yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi, uygulanmasında otomatik tezgâhlar kullanılmasıdır. Taguchi deneysel tasarım metodunun kullanılmasının nedeni ise; çok fazla sayıda numunenin tamamını aşındırmak yerine daha az sayıda numuneyi çok daha fazla faktör seviyelerinde farklı parametrelerde aşındırabilme kolaylığı sağlamasındandır.

8.1. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, altlık malzemesi olarak 60x14x10 mm boyutlarındaki AISI 430 paslanmaz çeliği kullanılmıştır. Tablo 8.1’de AISI 430 paslanmaz çeliğin, FeCrC, SiC ve B₄C tozlarının kimyasal bileşimi verilmektedir. Şekil 8.1’de ise FeCrC, SiC ve B₄C tozlarının SEM mikro yapılarındaki morfolojisi görülmektedir.

Tablo 8.1 AISI 430 paslanmaz çeliğinin kimyasal bileşimi

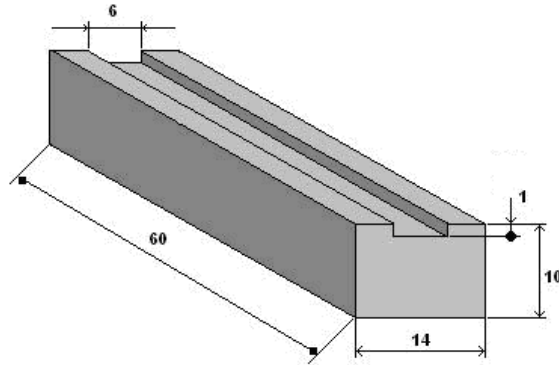
	Ağırlık (%) Kompozisyonu									
	Fe	Cr	C	Ni	Si	Mn	Mo	P	S	B
AISI 430 Paslanmaz Çelik	Kalan	12-14	0,08	-	1	1	-	0,04	0,03	-
FeCrC Tozu	16.27	70.21	12.44	-	1.08	-	-	-	-	-
SiC Tozu	% 99 saflıkta									
B ₄ C Tozu	% 99 saflıkta									



Şekil 8.1. Kaplamada kullanılan tozların morfolojisi, SEM resmi ve EDS analizi (a.FeCrC Tozu, b. SiC Tozu, c.B₄C Tozu,)

8.2. Yüzey Kaplama İşlemi İçin Numunelerin Hazırlanması

PTA ile yüzey kaplama işleminde 60x14x10 mm boyutlarındaki AISI 430 paslanmaz çelik kullanılmıştır. Kaplama yapılacak AISI 430 paslanmaz çelik, belirlenen ölçülerde; Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Atölyesi'ndeki takım tezgâhlarında istenilen ebatlarda kesilmiştir. AISI 430 paslanmaz çelik numuneler yüzeyine freze tezgâhında 6 mm'lik parmak freze 1 mm derinliğinde kanallar açıldı. Şekil 8.2'de numunenin şematik resmi ve boyutları görülmektedir.



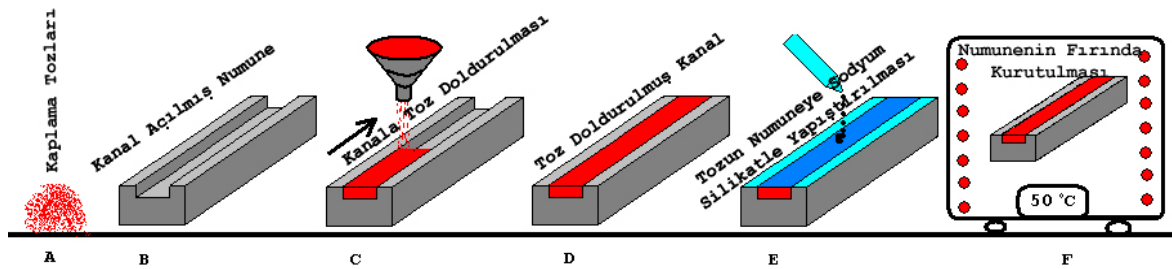
Şekil 8.2 Numunenin kaplama öncesi şematik şekli ve boyutları

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 8.3’de görülmektedir.



Şekil 8.3 Numunenin kaplama öncesi dijital resmi

PTA Kaplama yapılmadan önce kaplanacak metal tozları numune yüzeyine açılan kanallara doldurulmuş, kaplama kaynak işlemi esnasında tozların gazın debisiyle uçmaması için, tozların üst yüzeyinde sodyum silikatla ince bir film katmanı oluşturulmuştur. Numunelere serilen tozların, alkolün ve sodyum silikat film tabakasının kuruması için 50 °C sıcaklıkta, 60 dakika süreyle fırında kurutulmuştur. Şekil 8.4’te bu işlem şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 8.4. Kaplama işlemi için numunelerin hazırlanma aşamasının şematik görünümü

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

PTA yöntemiyle yapılacak kaplama çalışmalarında uygulanacak PTA kaplama parametreleri, Tablo 8.2’de ki gibi belirlenmiştir.

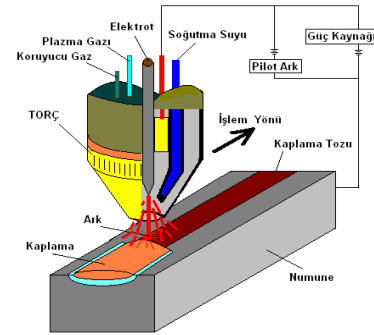
Tablo 8.2 PTA Kaplamada üretim parametreleri

Akım (I)	150
Gerilim (V)	19
Koruyucu Gaz Debisi (m ³ /h) Ar	25
Elektrot Çapı (mm)	4,7
Torç Malzeme Arası Mesafe (mm)	3~4
Elektrot	% 2 thoryumlu tungsten elektrot
Plazma Gazı Debisi (m ³ / h) Ar	0,5
İlerleme Hızı (m/dak)	0.15
Torç Uç Çapı (mm)	3,25
Set-Back (mm)	4

Bu parametreler ışığında, PTA kaplama işleminin Şekil 8.5’te dijital resmiyle, torcun şematik görüntüsü ve torcun kısımları görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 8.5. a. Kaplama işlemi dijital resmi

b. İşlemin şematik görüntüsü ve torcun kısımları

Deney çalışmalarında kaplama parametrelerinin çokluğu nedeniyle, deney sonuçlarını daha kolay irdelemek ve değerlendirmek amacı ile tüm parametreler Tablo 8.3’de verilmiştir.

Tablo 8.3. PTA Kaplamada deney numuneleri parametreleri

Numune No	Kaplama Oranı (Ağırlıkça % Bileşim)		
	FeCrC	SiC	B ₄ C
1	100	-	-
2	-	100	-
3	-	-	100
4	10	80	10
5	10	70	20
6	10	60	30
7	10	50	40
8	10	40	50
9	10	30	60
10	10	20	70
11	10	10	80

PTA kaplama işlemi Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü atölyesinde bulunan ve Şekil 8.6'da ki dijital resimde görülen Thermal Dinamik/Ark marka plazma tungsten ark kaynak makinesinde yapılmıştır.



Şekil 8.6. Thermal Dynamic/Ark Plazma Transfer Ark (PTA) kaynak makinesinin tüp bağlantıları ve kontrol panosu

8.4. Plazma Transfer Ark Yönteminde Isı girdisi ve Enerji Girdisinin hesaplanması

Plazma transfer ark yönteminde ısı girdisi ve enerji girdisinin hesaplanması, enerji yoğunluğuna, kaynak hızına ve malzeme cinsine göre en yüksek sıcaklık yüksek veya daha düşük ve esas malzemelerin sıcaklığına düşüş, hızlı veya yavaş olabilir. Esas metalin, kaynak metalinin ısının tesiri altındaki bölgesindeki (ITAB) sıcaklık dağılımının ve soğuma hızının bilinmesi halinde, kaynaktan sonra bu bölgede meydana gelebilecek mikro yapı kontrol edilebilmektedir. Tablo 8.4'te değişik kaynak türleri için verimlilik katsayısı η değerleri verilmiştir.

Kaynaktaki ısı girdisi ;
 $Q = U \cdot I \cdot t / V$ (J/cm).....(8.1)

Kaynaktaki enerji girdisi ise;
 $Q_w = \eta \cdot Q = \eta \cdot U \cdot I \cdot t / V$ (J/cm).....(8.2)

$Q_w = \eta \cdot Q = (\eta \cdot U \cdot I \cdot 60 / V \cdot 1000)$ (KJ),..... formülüyle hesaplanmıştır.
Burada;

- Akım I (A): Amper cinsinden PTA kaynağı çalışma akımını,
- Gerilim U (V): Volt cinsinden çalışma akımına denk gelen gerilimi,
- Üretim Zamanı t (dk): Dakika cinsinden kaynağın başlangıç ve bitiş süresini,
- Üretim Hızı V (mm/dk): V = dakika başına denk gelen milimetrik ilerleme hızını,
- Verimlilik Katsayısı : η = Joule cinsinden kaynak bölgesine aktarılan enerjiyi göstermektedir. η = (Mario Marcioni, Plasma Team, 2005, Italy)

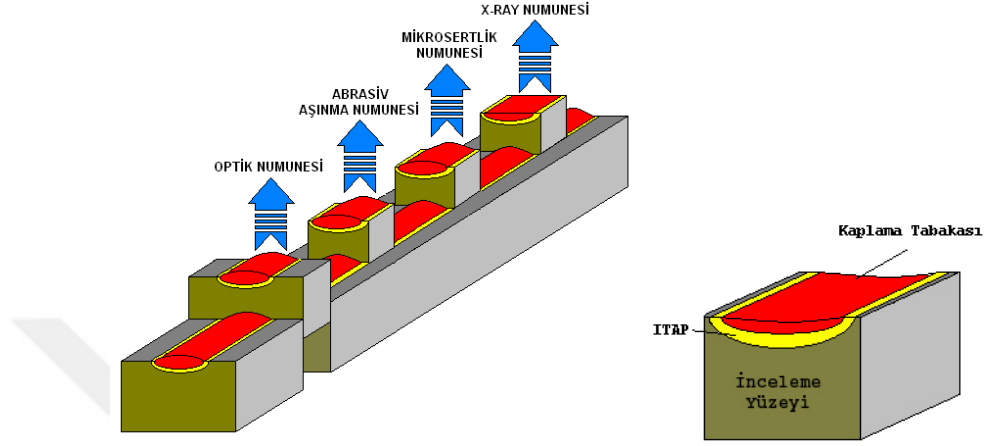
Tablo 8.4. Kaynakta verimlilik katsayıları (η) değerleri (Mario Marcioni, Plasma Team, 2005, Italy)

Kaynak Yöntemi	Verimlilik Katsayısı (H) %
PTA (PAW)	50–60
TIG (GTAW)	25–50
Mıg/Mag (GMAW)	60–70
Elek. Ark (SMAW)	65–85
Erg. Kayn. (SAW)	95–98

8.5. Mikroyapı ve Mikrosertlik İncelemeleri

Mikroyapı, mikrosertlik, abrasiv aşınma ve XRD numuneleri Şekil 8.7'deki gibi numuneden çıkartılmıştır. Metalografik incelemeler için numunelerin yüzeyleri sırasıyla 200-1200 mesh'lik zımparalarda temizlendikten sonra 1 ve 3 μ m'lik elmas pasta ile parlatılmış ve mikro yapı için hazırlanmıştır. Parlatılan numuneler 15 gr FeCl₃, 25 ml HCl, 100 ml H₂O dağlayıcıda 30-45 sn sürelerde dağlama işlemine tabi tutulmuştur. . Mikrosertlik ölçümleri 200 gr. yük uygulanarak 10 saniye bekleme süresinde 0,1 mm mesafelerle, numunenin altlık paslanmaz çelik tarafından başlayarak sırasıyla ITAB, geçiş bölgesi ve kaplama tabakası olacak şekilde alınmıştır.

Mikroyapı ve mikrosertlik incelemeleri Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji Malzeme Mühendisliği, Prof.Dr.Nuri Orhan laboratuvarında Eğitimi Bölümü'ndeki ekipmanlar kullanılmıştır.



Şekil 8.7. Optik mikroskop, aşınma, mikrosertlik ve XRD numunesinin alınması mikroyapı inceleme numunesi

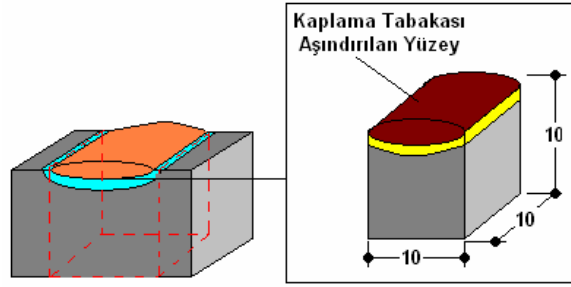
8.6. SEM, EDS ve XRD İncelemeleri

PTA yöntemiyle yüzeyi kaplanan numunelerin mikroyapısında görülen karbürlerin, fazların, matrisin ve önemli görülen noktaların noktasal analizleri alınmıştır. SEM (Scanning Electron Microscope) ve EDS (Enerji Dispersive Spektograph) incelemeleri Fırat Üniversitesi, Teknoloji ve Uygulama Laboratuvarı'ndaki LEO 440 marka cihazla yapılmıştır. Bu cihaz B ve C'ü sağlıklı okuyamadığı için incelemelerde B ve C okutulamamıştır.

Yüzey modifikasyonu işlemine tabi tutulan numunelerde oluşan karbürlerin ve fazların cinsini belirlemek için X-RAY cihazı kullanılmıştır. XRD (X - Ray Diffraction) analizleri İnönü Üniversitesi, Teknoloji ve Uygulama Laboratuvarı'nda bakır α ışını tüpüne sahip cihazda 1,5406 Å dalga boyunda 2 θ açısında, 40 kV ve 40 mA'de Cu-K α radyasyonu kullanılarak elde edilmiştir.

8.7 Abrasiv Aşınma ve Taguchi deneysel Tasarım

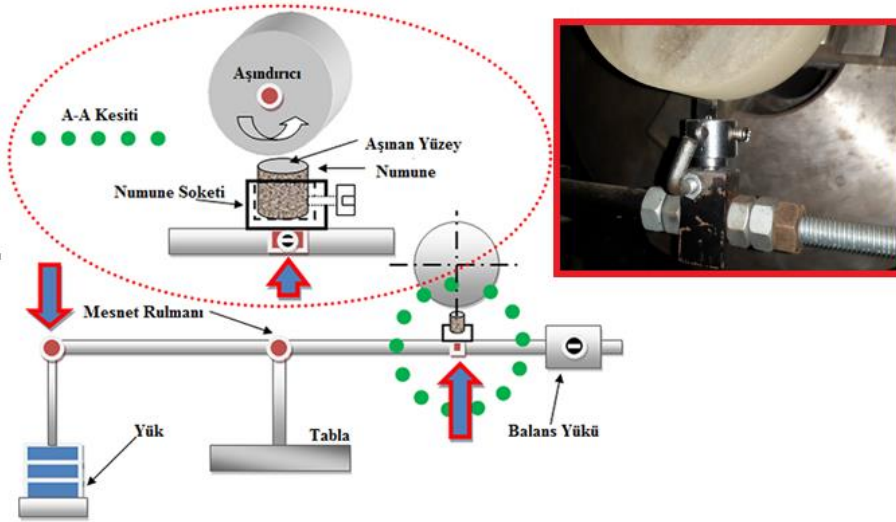
Aşınma deneyi abrasiv yöntemde yapılmıştır. Aşınma numuneleri Şekil 8.7'deki gibi numuneden çıkarılmış ve Şekil 8.8'deki şematik resim haline getirilip 10×10×10 boyutlarına getirildikten sonra kaplama tabakasından aşındırılmıştır.



Şekil 8.8 Aşınma numunesinin alınışının şematik görüntüsü boyutları

Şekil 8.9’da abrasiv aşındırıcı aparatı ve kısımları şematik resmi görülmektedir. Abrasiv aşınma deneyi numunenin kaplama tabakasının aşındırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Deneyler block-on-disc sistemine sahip; Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Atölyesi’ndeki bulunan abrasiv aşınma aparatında yapılmıştır.

Abrasiv aşındırma numuneleri; Taguchi dizaynlarında verilen parametrelerin dizaynına göre seviyeleri, 16-60 ve 220 mesh’lik SiC zımpara taşı ile 6 N, 10 N ve 16 N’luk üç farklı yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her yük altında 10, 20 ve 30 m’lik mesafelerde ayrı ayrı aşınma deneyi yapılmıştır. Torna tezgâhında gerçekleştirilen abrasiv aşınma deneylerinde devir sayısı 16 devir/dakika olarak seçilmiştir. Aşındırıcı zımpara yüzeyinde kat edilen toplam yol vida adımı ve devir/dakika hesabıyla tespit edilmiştir.



Şekil 8.9 Abrasiv aşınma aparatı ve numunesi

Ancak aşınma işlemleri Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak devam edilmiştir. PTA yüzey kaplama işleminde dört farklı parametre ve her bir parametreninde üç farklı seviyesi

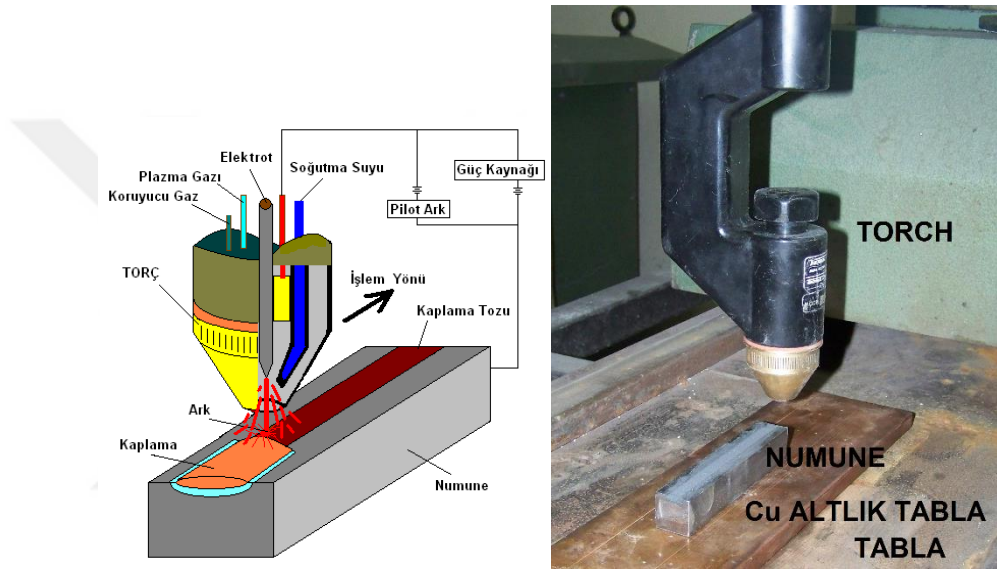
kullanıldı. Aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma kütle kayıpları ve S/N oranları verilmektedir. Bunlar, kaplama tabakası, aşındırıcı tane boyutu, aşınma mesafesi ve uygulanan yüküdür.



9. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

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

Bu çalışmada; kaynak gücü, plazma gazı ve koruyucu gaz debileri literatür incelemesinden sonra en uygun olan değerlerin kullanılmasına karar verilmiştir [59-62]. Şekil 9.1’de PTA kaplama işleminin şematik görünümü ve makro resminde numune ve torch görülmektedir. PTA kaplama işleminde uygulanan parametreler Tablo 9.1.’de verilmiştir [63].



Şekil 9.1. PTA kaplamanın şematik görünümü, dijital resmi

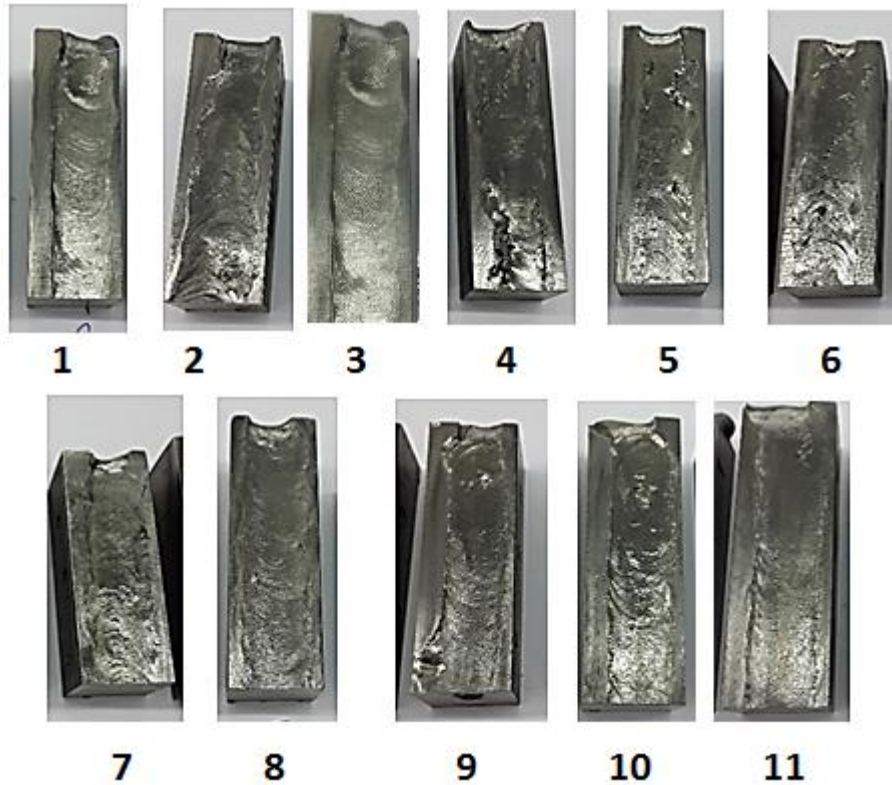
Tablo 9.1. Uygun üretim parametreleri belirleme çizelgesi

Akım (A)	150
Gerilim(V)	19
Koruyucu Gaz Debisi (m ³ /h)	25
Plazma Gazı Debisi (m ³ / h)	0,5
Elektrot Türü	% 2 thoryumlu tungsten elektrot
Elektrot Çapı (mm)	4,7
İlerleme Hızı (m/dak)	0.15
Torç Malzeme Arası Mesafe (mm)	3~4
Set Back (mm)	4
Torç Uç Çapı (mm)	3,25
Enerji Girdisi (KJ) Q _w	$Q_w = \eta \cdot Q$
Isı Girdisi (KJ) Q	$Q = U \cdot I \cdot 60 / V \cdot 1000$

PTA kaynak yöntemiyle yüzey modifikasyonunda, yüzeye yapıştırılan tozların, ergimeyen tungsten elektrot ile kaplanacak bölgeye enerji aktararak AISI 430 paslanmaz çelik tabakasına

nüfuziyeti ergitilerek sağlanmıştır. Bu işlem esnasında, ergimiş hale gelen toz ve AISI 430 paslanmaz çelik tabakası (kaynak havuzunda) hapsedilerek alaşımlandırılması sağlanmıştır. Alaşımlamada kullanılacak tozun kanallar arasında oluşu ergitme işlemi sırasında kaynak banyosunun ergiyen metalin numune dışına akmasını engellemiş ve ana metal üzerinde kalmasına sebep olmuştur. Yüzey kaplama yani alaşımlama işleminden sonra numuneler havada soğutulmuştur. Yüzeyi alaşımlanan numuneler aynı parametrelerde ve Ar koruyucu gaz atmosferinde yapılmıştır. Kaplama tabakasının üst görüntüsü Şekil 9.2’de görülmektedir.

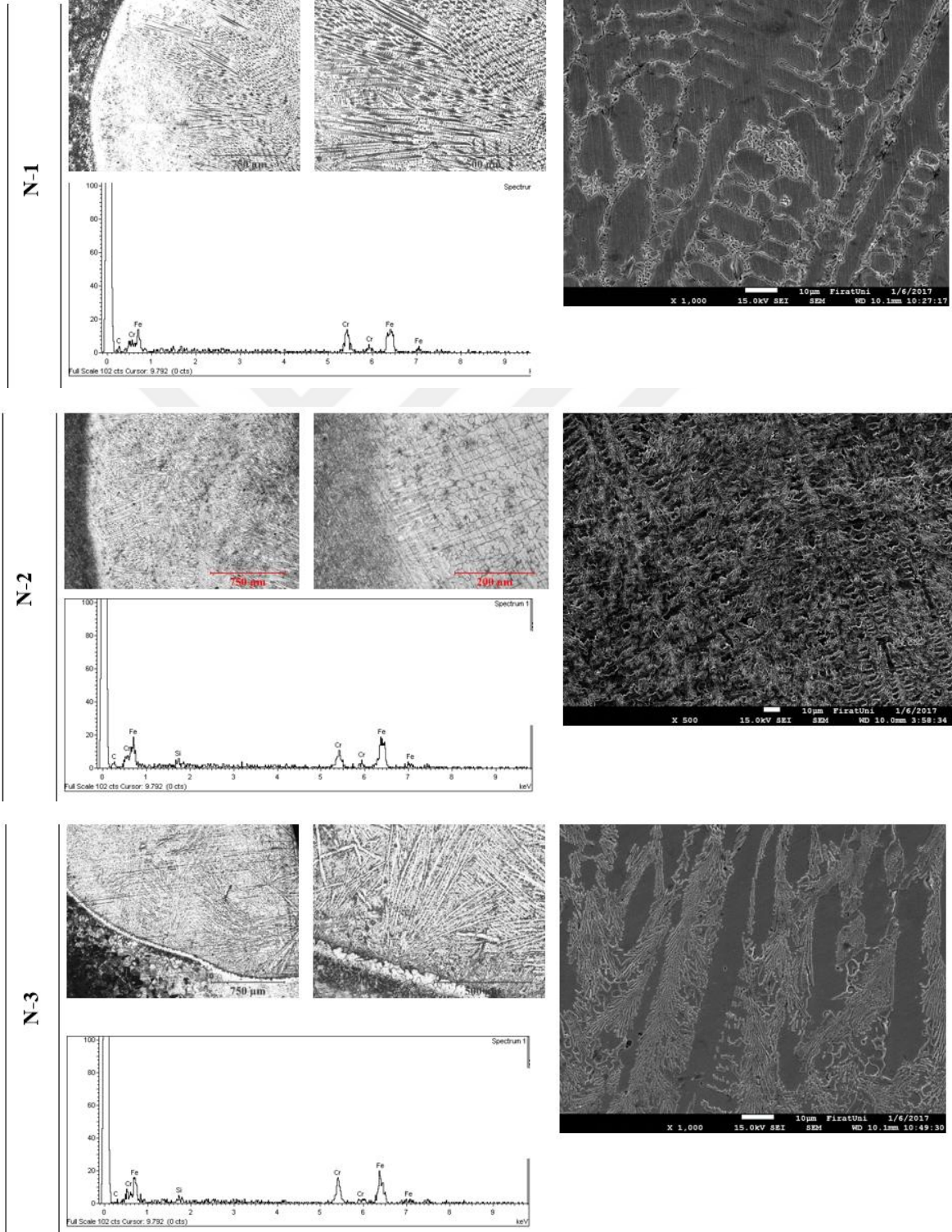
Şekil 9.2.’de ki yüzeyi alaşımlanmış numunelerin makro resimleri vardır. Bu resimler incelendiğinde alaşımlanmış kaplama tabakasının başlangıç ve bitiş noktalarında kaynak baş ve sonunda oluşan kraterleri oluşmuştur. Kaplama tabakasında hızlı soğuma sonucu oluşması muhtemel herhangi bir çatlağa rastlanmamıştır. Bütün numunelerde, kaplama tabakası düzgün ve homojen oluşmuştur. Numunelerin tamamında kaplama işleminin başladığı ilk noktalarda, kaplama tozu işlem sırasında ergiyik bölgede plazma ve koruyucu gazın oluşturduğu türbülansın çok fazla etkilenmemiş ve numune boyunca özellikle inceleme amacıyla çıkarılacak merkeze yakın bölgelerinde üniform yapı oluşmuştur.



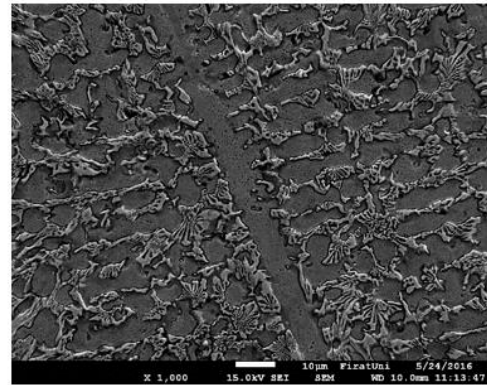
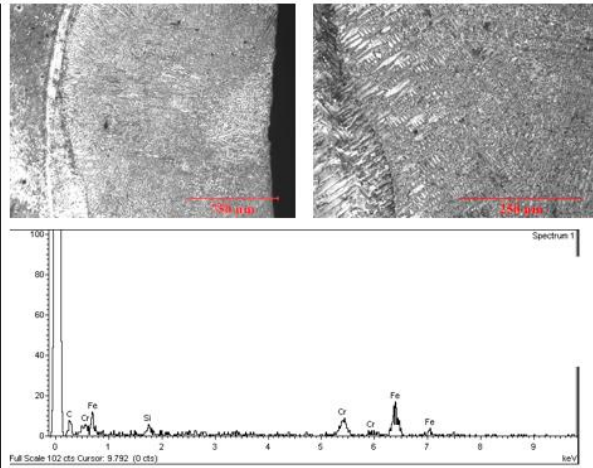
Şekil 9.2. PTA kaplaması yapılan numunelerin makro görüntüsü

9.2. PTA Yöntemiyle Yüzey Kaplama İşlemi Yapılan Numunelerin Mikroyapı ve Mikrosertlik İncelemeleri

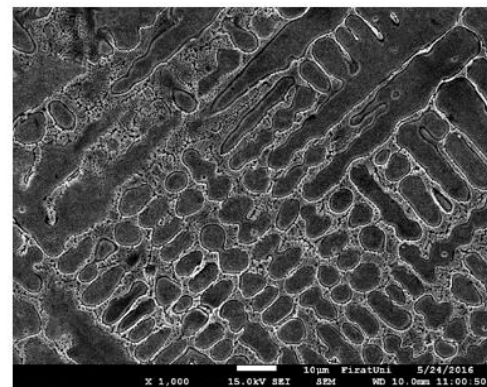
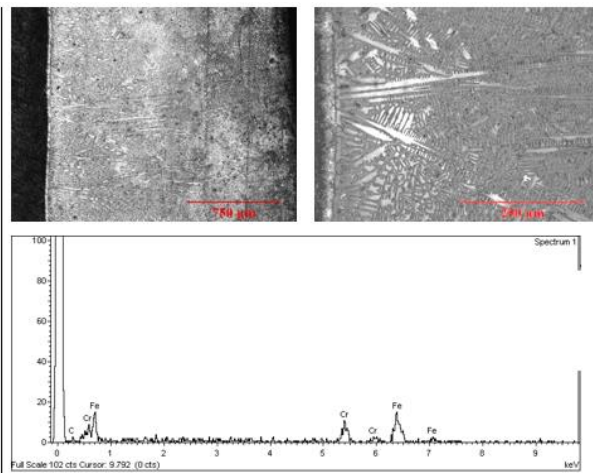
9.2.1 Mikroyapı İncelemeleri



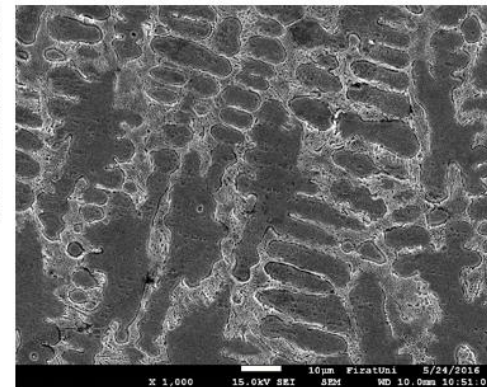
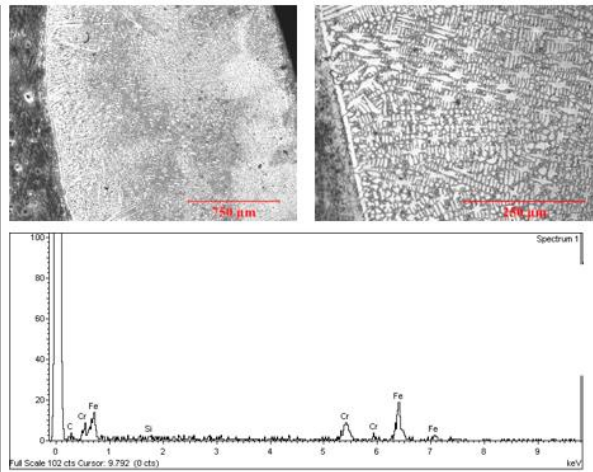
N-4



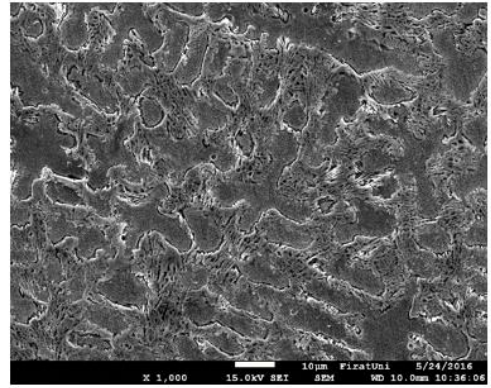
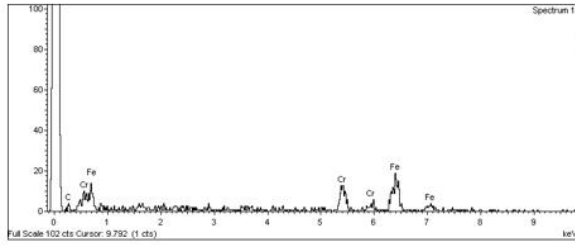
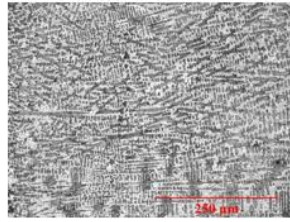
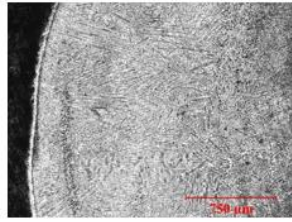
N-5



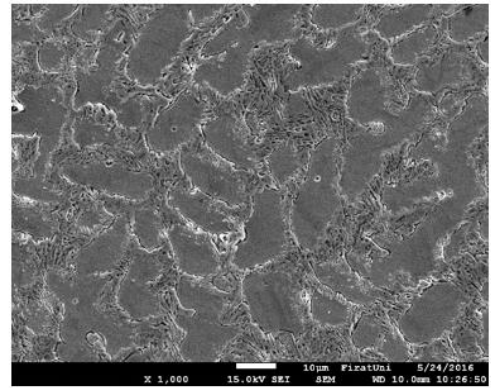
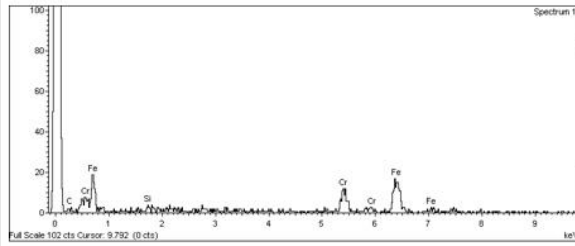
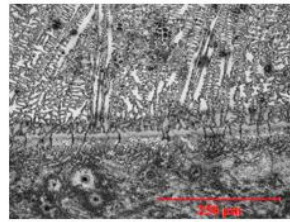
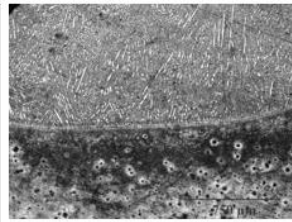
N-6



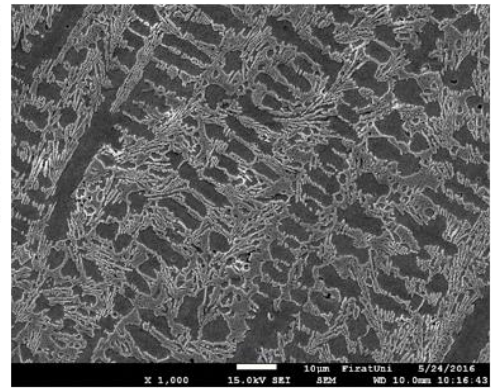
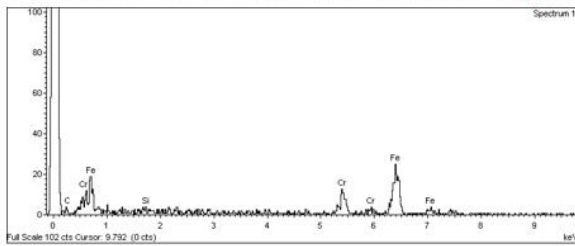
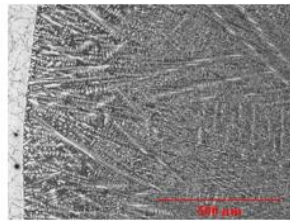
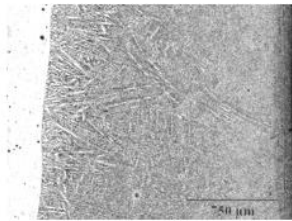
N-7

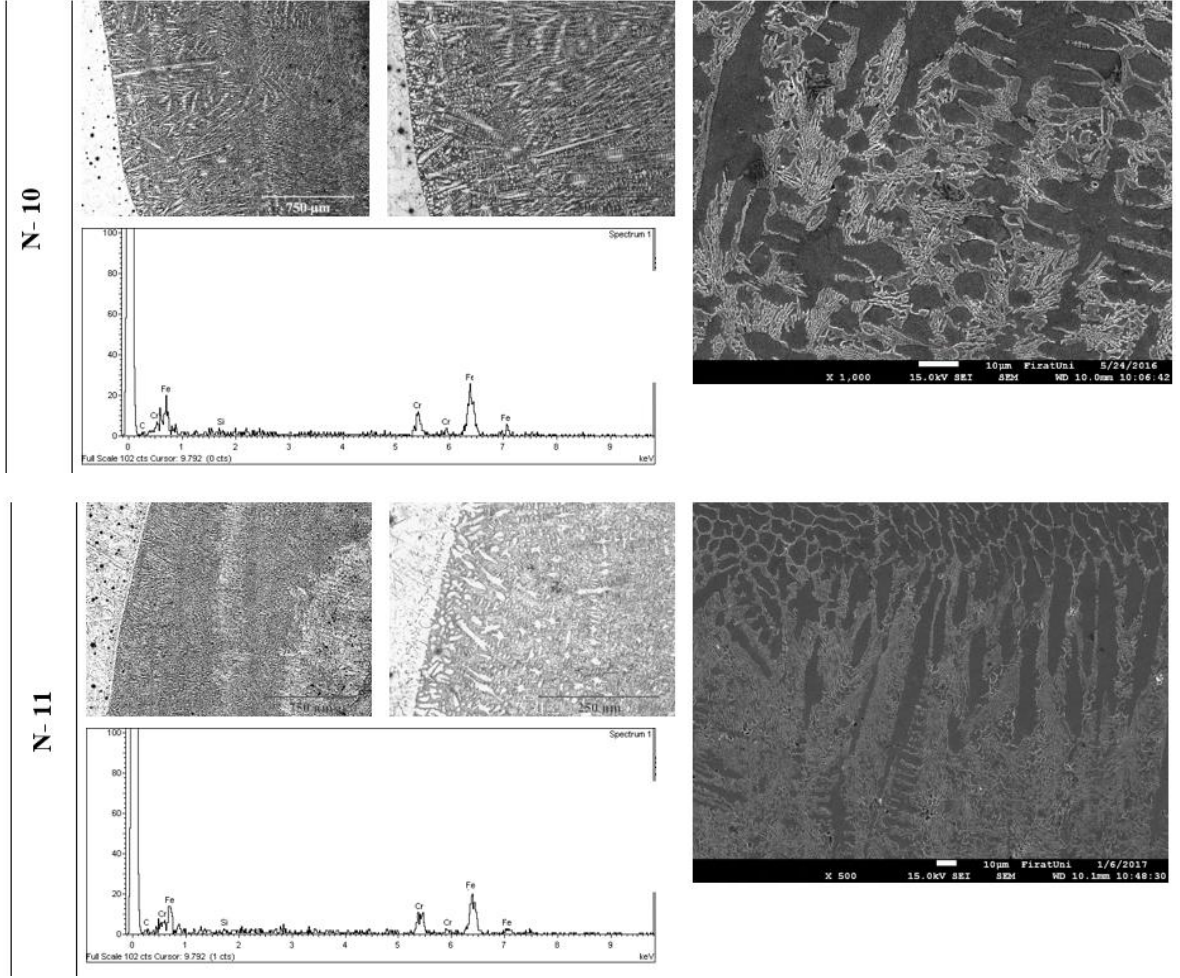


N-8



N-9





Şekil 9.3. PTA kaplanmış numunelerin Optik Mikroyapısı

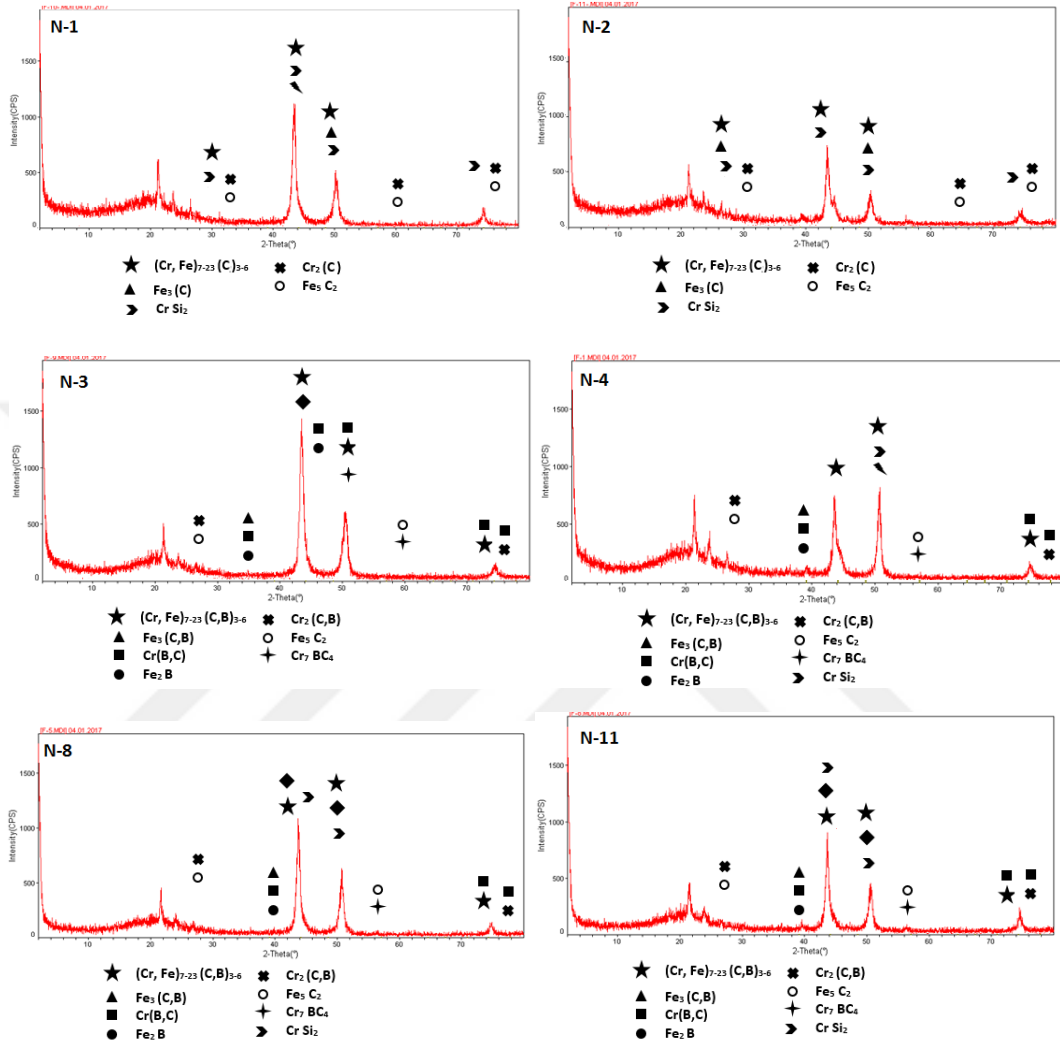
Şekil 9.3’de kaplama yapılan numunelerin tamamının optik görüntüsü görülmektedir. Bu resimlerden birincisi ana malzeme ve kaplama tabakasını içerir. İkincisi ise kaplama tabakası ve kaplama çizgisini (ara bölge) gösteren resimdir.

Numunelerin kaplama tabakasının kalınlığı 1,5–2,5 mm kadardır. PTA yüzey kaplama işleminde kullanılan ilerleme hızı ve akım şiddeti kaplama tabakasında, kaplama malzemelerini ergitip AISI 430 paslanmaz çeliğinin yüzeyinde yeterli bağ kuvvetini oluşturmuştur. Kaplama tabakalarında herhangi bir çatlağa veya boşluğa rastlanmamıştır.

Katılaşma işlemi sonrasında katılaşma dentit kolları şeklinde ana tabakadan yüzeye doğru ikincil ve yer yer üçüncül dentritleri oluşturarak devam etmiştir. B₄C oranı arttıkça dentrit kolları genişlemekte ve MC oranlarında artışlar görülmektedir.

PTA işlemi sonrasında kaplama tabakasının oval bir şekil aldığı maksimum nüfuziyetin ortada olduğu kenar bölgelerinde ise kalınlığın incelendiği görülmüştür. Bunun sebebinin enerji yoğunluğunun elektrot ucuna dik olan doğrultuda daha yoğun şekilde meydana gelmesidir. Kaplama tabakalarında çözünmemiş FeCrC, SiC ve B₄C yapısına rastlanmamıştır. Dolayısıyla bu

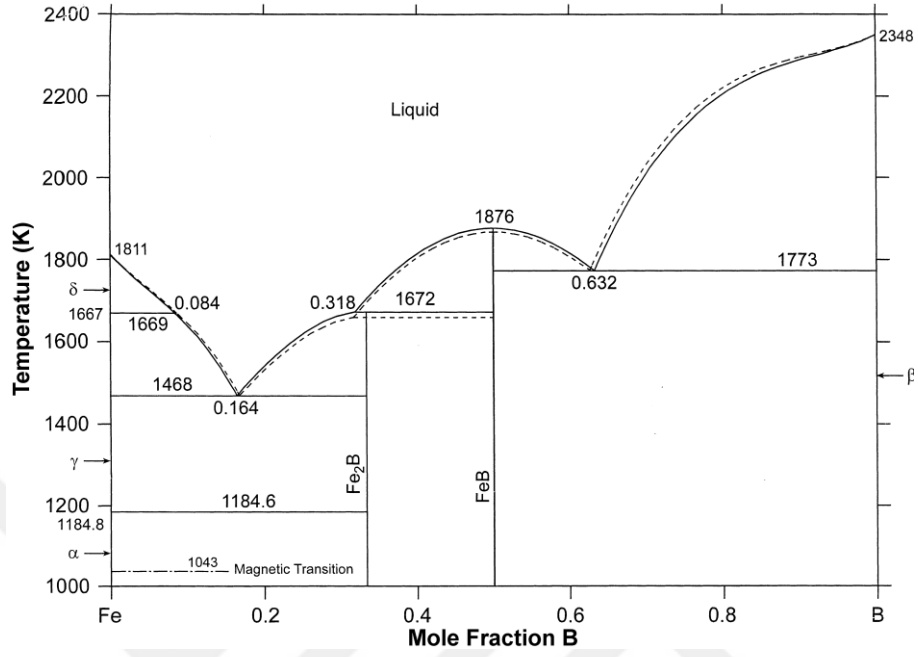
tozların verilen enerjiyle çözündüğü ve katılaşma sırasında C ve B'nin metal matrislerle birleşerek MC veya BC bileşiklerini oluşturduğu düşünülmektedir ve bu durum XRD analizlerinde tespit edilmiştir.

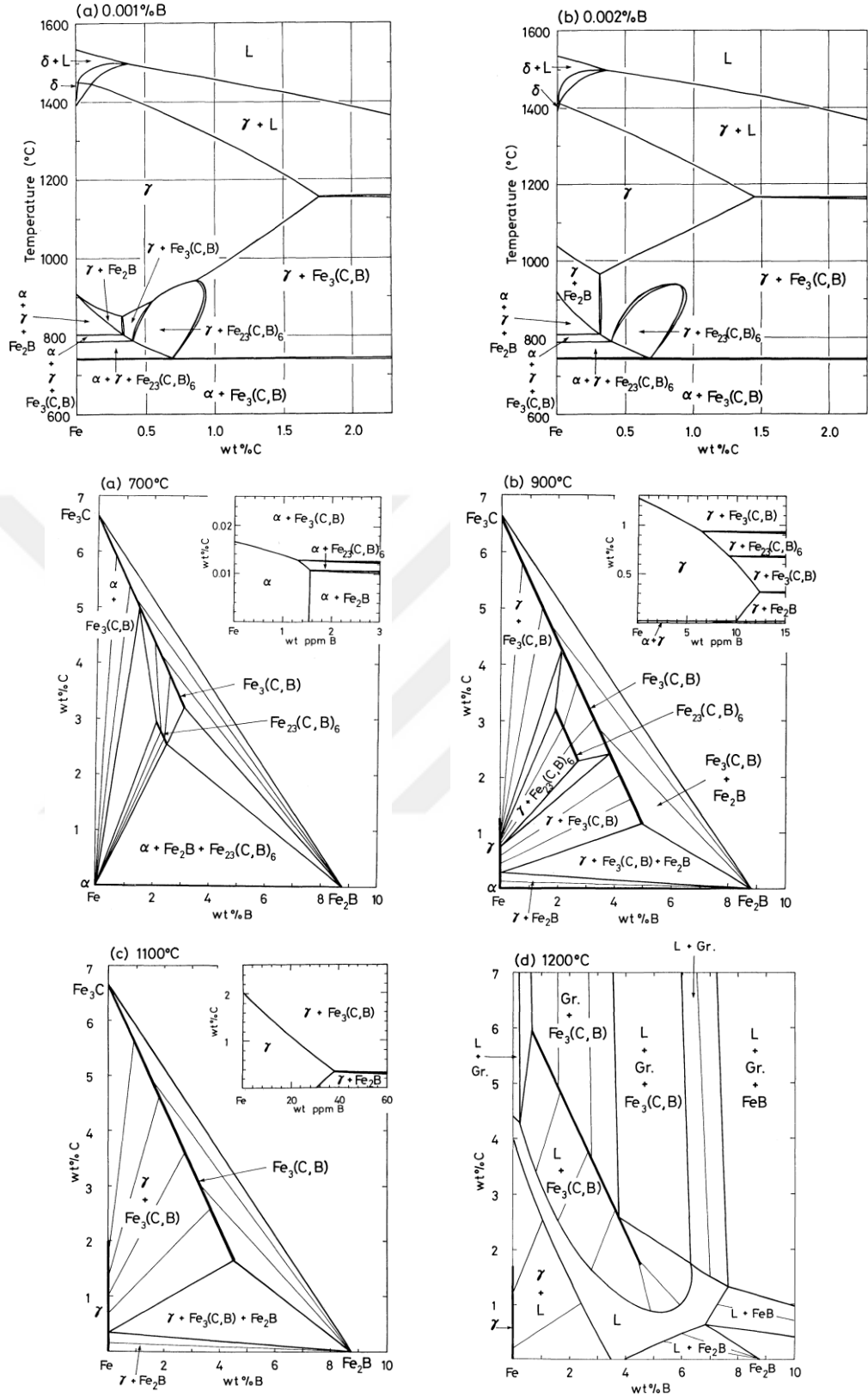


Şekil 9.4. Kaplama tabakalarına ait XRD analiz grafikleri

Numunelerin XRD incelemeleri sonucunda ortaya çıkan fazların bileşimlerini daha iyi anlayabilmek için gerekli görülen yerlerden EDS analizleri alınmıştır. Şekil 9.4'de verilen XRD analizi N1-N2-N3 ve N4-N8-N11 numunelerinden olmak üzere iki grup halinde alınmıştır. PTA yöntemiyle yüzeyi alaşımlandırılmış numunelerin, kaplama tabakalarının XRD analizleri Şekil 9.4'de görülmektedir. Şekil 9.4'de de görüldüğü gibi, kaplama tabakalarının östenit y-Fe, metastabil M (Cr, Fe)₇₋₂₃(C, B)₃₋₆, sert fazlarının PTA kaynak kaplama yöntemi ile AISI 430 paslanmaz çelik yüzeyinde oluşturulmuştur. Fe-C-B ve Fe-Cr-C üçlü faz diyagramları göz önüne alındığında [69-70], bu mikro yapıların bu faz diyagramları ile iyi uyum içinde olduğu görülebilir. X-ışını analiz sonuçlarına göre, yapıda karbür fazlarının olduğu düşünülmektedir. Şekil 9.5 incelendiğinde Fe, B, C ve Cr'dan oluşan ikili ve üçlü faz

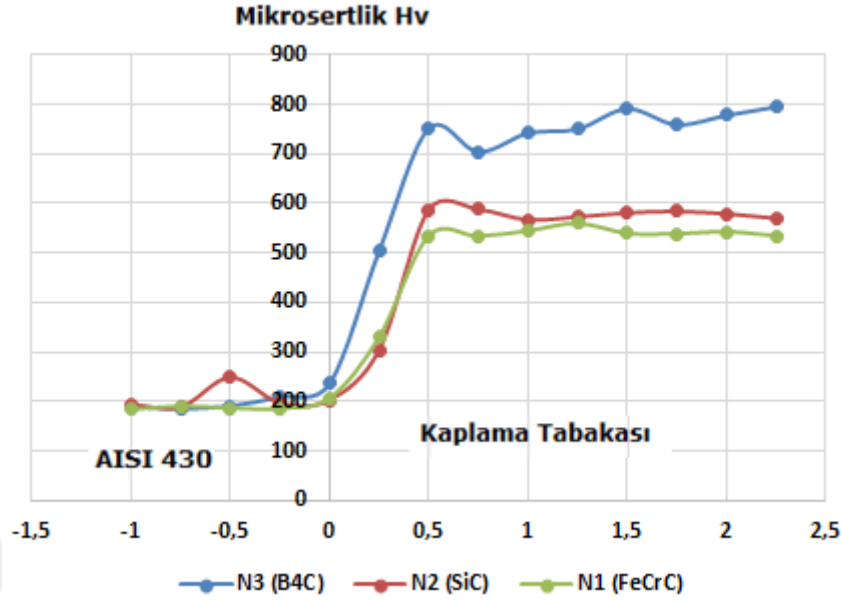
diyagramlarında, oluşması muhtemel fazlar görülmektedir. Artan alaşım elementi ilavesiyle oluşması muhtemel ve XRD analizlerinde tespit edilen fazların sayısının da arttığı görülmektedir.



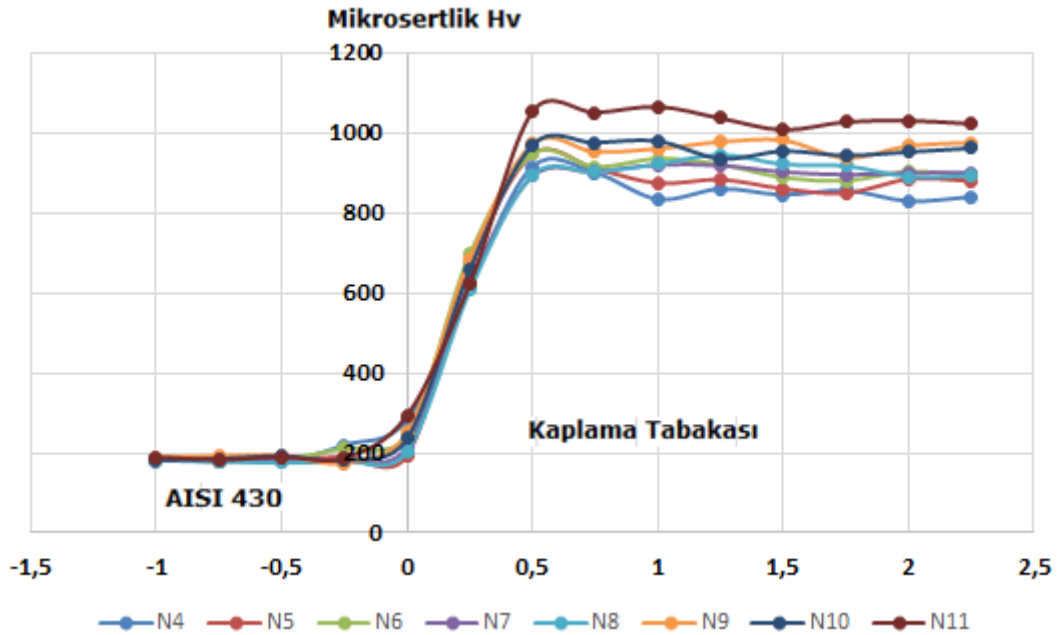


Şekil 9.5. Fe-C-B ikili ve üçlü faz diyagramları [70]

9.2.2. Mikrosertlik İncelemeleri:



Şekil 9.6. N1-N3 numunelerinden alınan mikrosertlik değerleri



Şekil 9.7. N4-N11 numunelerinden alınan mikrosertlik değerleri

PTA yöntemleri kullanılarak FeCrC, SiC ve B₄C tozu ile alaşımlandırılan N1-N3 numunelerin HV yöntemi ile yüzeyden alınan sertlik değerlerini gösteren grafik Şekil 9.6 verilmiştir. Grafik incelendiğinde saf halde kaplanan numunelerden tamamında bir sertlik artışı vardır. Ancak gerçek manada sertleşmenin B₄C kaplanan numunede elde edildiği görülmektedir.

Çünkü ilave tozlardan sadece B4C bileşiğinin kaplama sonrasında yüzeye nüfuz ettiği ve arayer fazı oluşturması sebebiyle sertleşmeyi artırdığı düşünülmektedir. Ayrıca yüksek enerji girdisine sahip PTA yönteminin yine mikroyapıda oluşan karbürlerin ergimesine yardımcı olmasıyla mikroyapıda karbürlerin homojen bir şekilde yapıya dahil olmasına sebep olup sertlik değerlerini olumlu yönde etkilemiştir. Bu değerlerin yüksek çıkmasında oluşan MC ve B4C'lerin oluşması etkili olmuştur. Alaşım elementlerinden silisyum ferrit içerisinde çözünbilme özelliğine sahip olduğu için malzemenin süneklik ve tokluğunu düşürmeden, dayanımı ve sertliği artırır. Yüksek silis içeren çeliklerin ısı dayanımı da yüksektir. Dönüşüm hızlarını da yavaşlatarak sertlik derinliğini de aynı oranda artırır. Genel olarak sertleşebilirliği, aşınma dayanımını ve elastikiyeti yükseltmesine karşın yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Silisyum miktarı arttıkça çeliğin tane büyüklüğü de artar. Krom, Çelikte, oksidasyona ve korozyona karşı dayanımı, aşınma direncini ve serleşebilirliği artırır. Çeliğe ilave edilen krom Cr_7C_3 ve $Cr_{23}C_6$ gibi sert karbürler oluşturarak sertliği direkt olarak artırır. Bor, düşük ve orta karbonlu çeliklerin sertleşebilirliğini en etkin artırır özelliğe sahiptir. Sakinleştirilen çeliklere 0.0005 – 0.003 kadar düşük oranda katılırlar. Şekil 9.7'de N4-N11 numunelerinden topluca alınmış mikrosertlik değerleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde görüleceği gibi numunelerin tamamında ciddi bir sertlik artışı vardır. En yüksek sertlik değere B4C oranı ilavesi fazla olan N11 numunesinde çıkmıştır. Artan karbür yapıcı tozların ilavesiyle kaplama tabakasında oluşan MC, FeB ve BC [59,61] bileşiklerinin oluşumu bu durumu oluşturmuştur.

9.3. PTA Yöntemiyle Yüzey Kaplama İşlemi Yapılan Numunelerin Abrasive aşınma Dirençlerinin Taguchi Metoduyla Analizi

Bu çalışmada, AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin yüzeyi PTA metoduyla B_4C , SiC ve FeCrC tozlarıyla aynı parametrelerde kaplanmıştır. Taguchi dizaynı, 11 numune için Minitab 14 paket programında yeterli sayıda varyasyona sahip olmadığından iki basamakta yapılmıştır. Bu işlem Tablo 9.2 'de verilen parametrelerde iki ayrı Taguchi dizini oluşturulmuştur. Bu dizinler N1,N2 ve N3 için ayrı N4-N11 için ise ayrı olacak şekilde farklı parameter ve seviyelerinde değerlendirilmiştir. Kaplama tabakalarında kullanılan ya tek başlarına yada toz karışımları şeklinde kaplandığı için ikiye bölünüp değerlendirmeye tabi tutulmuşlardır.

Tablo 9.2. PTA Kaplamada deney numuneleri parametreleri

Numune No	Kaplama Oranı (Ağırlıkça % Bileşim)			Taguchi Dizaynı Grubu
	FeCrC	SiC	B ₄ C	
N1	100	-	-	L ₂₇ (3*4)
N2	-	100	-	
N3	-	-	100	
N4	10	80	10	L ₁₈ (6*1, 3*3)
N5	10	70	20	
N6	10	60	30	
N7	10	50	40	
N8	10	40	50	
N9	10	30	60	
N10	10	20	70	
N11	10	10	80	

Kaplama tabakalarının abrasiv aşınma direnci, orthogonal dizin kullanılarak en düşük en iyi kontrol özelliğiyle deneysel ve teorik olarak optimize edilmiştir. Taguchi metoduyla elde edilen veriler, parametere ve seviyelerinin sonuçlarına göre grafiksel analizleriyle değerlendirilmiştir.

9.3.1. N1-N3 Numuneleri İçin Taguchi Dizaynı

Bu çalışmada; yüzey kaplama işleminde kaplama tabakası, aşındırıcı tane boyutu, aşınma mesafesi ve uygulanan yük dört ayrı kontrol faktörü kullanılmıştır. Bu dört faktöründe hepsinin üç tane seviyesi seçilmiştir. Bu çalışmada kullanılan parametreler ve bunların seviyeleri Tablo 9.3’de verilmiştir. Parametre ve seviyeleri eşit olduğundan orthogonal L₂₇ (3*4) dizinini seçilmiştir.

Table 9.3. Kontrol faktörleri ve onların seviyeleri

Sembol	Test Parametresi	Seviye I	Seviye II	Seviye III
A	Kaplama Tabakası	FeCrC	SiC	B ₄ C
B	Aşındırıcı Tane Boyutu	16	60	220
C	Aşınma Mesafesi (mt)	10	20	30
D	Uygulanan Yük (N)	6	10	15

Tablo 9.4’de ki parameter ve seviyesine göre yapılan abrasiv aşınma işlemleri orthogonal L₂₇ (4*3) dizinine göre yapılmıştır. Abrasiv aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma kütle kayıpları ve S/N oranları verilmektedir. Tablo 9.4’de abrasiv aşınma işlemi sonunda elde edilen en küçük en iyi ilkesiyle çalışan sisteme göre, faktör seviyelerine göre S/N oranları verilmektedir. İşlemde S/N oranlarının ortalaması 43,89623214 dB olarak hesaplanmıştır.

Table 9.4. Kaplama tabakasının kütle kaybı oranlarının deneysel olarak S/N oranının hesaplanması

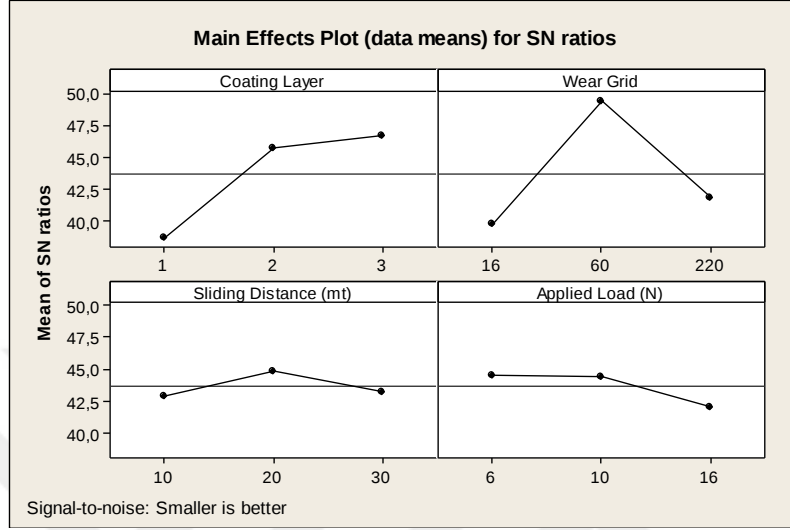
Sıra No	Kontrol Faktörleri				Ölçülen kütle kaybı (gr)	S/N oranı
	A	B	C	D		
1	FeCrC	16	10	6	0,0184	34,70364354
2	FeCrC	16	10	6	0,0171	35,34007779
3	FeCrC	16	10	6	0,0185	34,65656543
4	FeCrC	60	20	10	0,0053	45,51448261
5	FeCrC	60	20	10	0,0041	47,74432287
6	FeCrC	60	20	10	0,0049	46,1960784
7	FeCrC	220	30	16	0,0170	35,39102157
8	FeCrC	220	30	16	0,0193	34,28885382
9	FeCrC	220	30	16	0,0181	34,8464285
10	SiC	16	20	16	0,0088	41,11034656
11	SiC	16	20	16	0,0078	42,15810795
12	SiC	16	20	16	0,0091	40,81917215
13	SiC	60	30	6	0,0032	49,89700043
14	SiC	60	30	6	0,0017	55,39102157
15	SiC	60	30	6	0,0025	52,04119983
16	SiC	220	10	10	0,0039	48,17870786
17	SiC	220	10	10	0,0089	41,01219987
18	SiC	220	10	10	0,0055	45,19274621
19	B4C	16	30	10	0,0074	42,61536561
20	B4C	16	30	10	0,0065	43,74173287
21	B4C	16	30	10	0,0070	43,0980392
22	B4C	60	10	16	0,0028	51,05683937
23	B4C	60	10	16	0,0032	49,89700043
24	B4C	60	10	16	0,0035	49,11863911
25	B4C	220	20	6	0,0051	45,84859648
26	B4C	220	20	6	0,0038	48,40432807
27	B4C	220	20	6	0,0045	46,93574972

Table 9.5. Kaplama Tabakasının S/N oranları tablosu

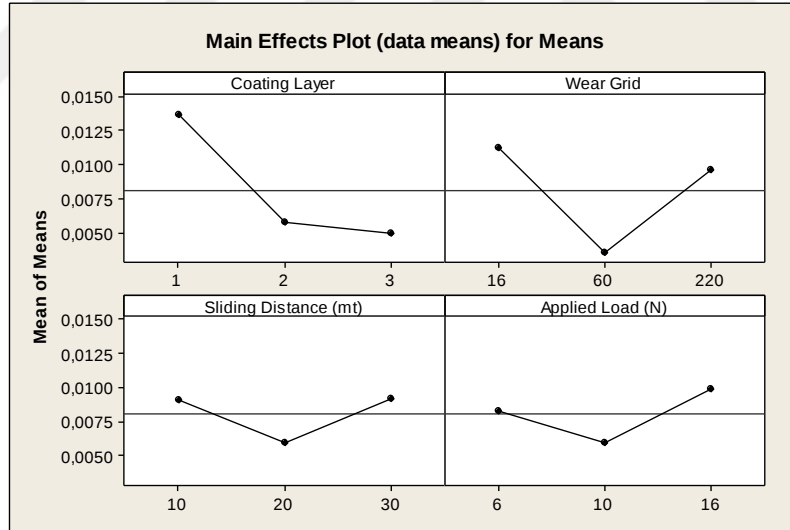
Sembol	S/N oranı		
	Seviye I	Seviye II	Seviye III
A	38,74	46,20	46,75
B	39,80	49,65	42,23
C	43,24	44,97	43,48
D	44,80	44,81	42,08

Tablo 9.4 ve Tablo 9.5’de kontrol faktörü olarak seçilen verilerin, abrasive aşınma direnci sonucu elde edilen kütle kayıpları hesaplanarak S/N oranları tablosu yapılmıştır. Herhangi bir parametre için en iyi değer o parametrenin tüm seviyeleri içerisinde elde edilen en büyük S/N oranına göre bulunmuştur[59-61]. Dolayısıyla A3B2C2D2 denklemi optimum şartların sağlandığı değerlerdir. S/N değerinin büyük olduğu seviye tüm faktörlerin seviyeleri arasında optimum

seviyedir. Şekil 9.8’da çalışmanın S/N oranlarının, kontrol faktörleri ve seviyeleri arasındaki ilişki gösterilmektedir. Şekil 9.9’da ile PTA yöntemiyle yüzeyi FeCrC, SiC ve B₄C kaplanmış, AISI 430 paslanmaz çeliğin kaplama tabakası Taguchi dizaynına göre aşındırıldıktan sonra, bu numunelerin faktör ve seviyelerin abrasiv aşınma direncinde kütle kaybına etkileri görülmektedir.

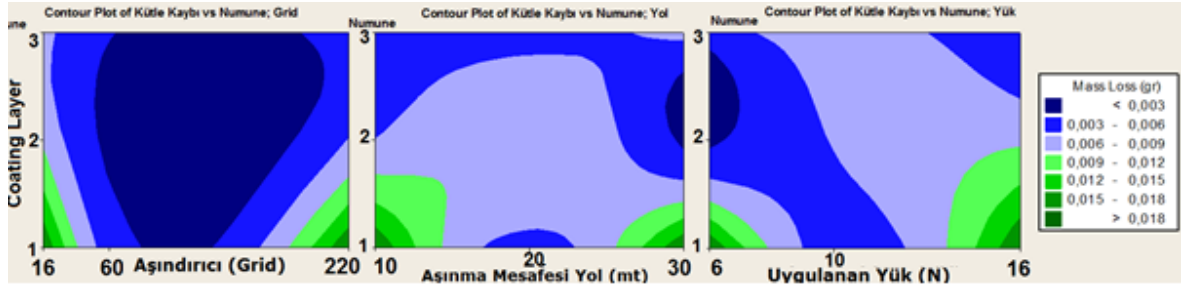


Şekil 9.8 S / N oranları için ana etki grafiği (dB)



Şekil 9.9. Ana ağırlık kütle kaybı grafiği

Şekil 9.10’de kütle kaybının kontrol faktörleri üzerindeki etkisi countour plot renk dağılımı metoduyla verilmiştir. Bu grafiklerde kaplama tabakasının diğer her bir kontrol faktörünün kütle kaybına olan etkisi harita olarak verilmiştir.



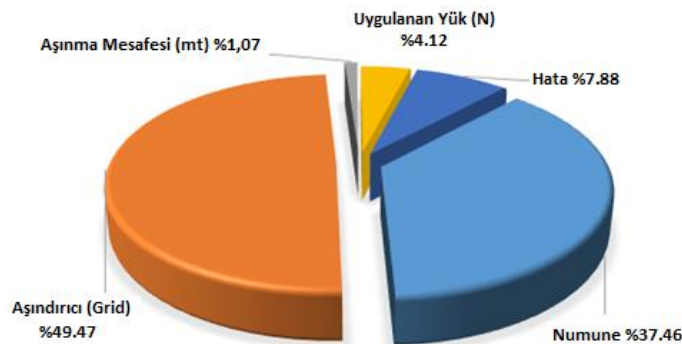
Şekil 9.10 Kütle kaybının kalan parametrelerle Contour Plot grafiği

Abrasiv aşınma davranışının yapılan varyans analizleri sonuçlarında faktörlerin aşınma direnci üzerindeki etkileri sayısal olarak hesaplanmıştır. Varyans analizi sonuçları Tablo 9.6’te verilmiştir.

Tablo 9.6. Kaplama tabakası kütle kaybı için varyans analizi sonuçları

Sembol	Df	ss	Variance	F	p^a (%)
Kaplama Tabakası	2	359,9312	179,9656	62,797 ^b	37,45613
Aşındırıcı Tane Boyutu (Grid)	2	473,5796	236,7898	82,62517 ^b	49,47428
Aşınma Mesafesi (mt)	2	15,82683	7,913416	2,761299	1,06755
Uygulanan Yük (N)	2	44,71597	22,35798	7,80157 ^b	4,122537
Hata	18	51,58496	2,865831	0	7,879502
TOPLAM		945,6386			
Df ; Serbestlik derecesi; ss; Kareler Toplamı; aKatkı Oranı, b 99 % Güven seviyesi					

Ayrıca kontrol faktörlerinin aşınma direncine yüzde olarak etkileri ve hata yüzdesi grafiksel olarak Şekil 9.11’de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde bütün faktörlerin sonuç üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi uygulanan mesafe %69 oranıyla en büyük etkiye sahiptir.



Şekil 9.11. Kontrol faktörlerinin aşınma direncine yüzde olarak etkileri

S/N oranı grafikleri incelendiğinde en optimum seviyelerin A3B2C2D2 olduğu görülmektedir. Bu seviyelerdeki optimum S/N oranının elde edilmesinde 4 nolu denklem kullanılmıştır.

$$\eta_{opt} = \eta_m + \sum_{i=1}^j (\eta_i - \eta_m) \quad (4)$$

η_{opt} , optimum S/N oranını, η_m , ortalama S/N oranlarının ortalaması, η_i her bir parametrenin ideal olan seviyesinin S/N oranını göstermektedir. Yapılan hesaplamada optimum S/N oranı 32,17434299 bulunmuştur. Bu denklemden elde edilen optimum S/N oranı en küçük en iyi kalite karakteristiğine göre 5 nolu denklem kullanılarak optimum ortalama aşınma miktarının hesaplanması sağlanmıştır.

$$Ra_{opt} = \sqrt{10^{-\frac{\eta_{opt}}{10}}} \quad (5)$$

5 nolu denklemden $Wear_{opt}$, optimum ortalama aşınma miktarını ifade etmektedir. Optimum ortalama aşınma miktarı 0,024619705 gr olarak hesaplanmıştır.

9.3.2. N4-N11 Numuneleri İçin Taguchi Dizaynı

Bu bölümde; PTA yüzey kaplama işleminde kaplama tabakası, aşındırıcı tane boyutu, aşınma mesafesi ve uygulanan yük dört ayrı kontrol faktörü kullanılmıştır. Bu dört faktöründe hepsinin farklı seviyeleri seçilmiştir. Karmaşık L_{16} (8×1 , 2×3) dizinini ya da L_{18} (6×1 , 3×3) dizinini seçmemiz gerekiyor. Ancak varyans analizi yapabilmek için numune parametrelerinin en çok altı tane olması gerekiyordu. Bunun için N5 (%10FeCrC %70SiC %20B₄C) ve N10 (%10FeCrC %20SiC %70B₄C) numunelerini işleminden çıkardık. Böylelikle diğer parametrelerinde ilk grup numunelerle denkliğinin sağlanabilmesi için bu yol seçilmiştir. Böylelikle; kaplama tabakası faktörünün altı diğer üç faktörün ise üçer tane seviyesi seçilmiştir. Bunu belirlemede Minitab 14 programında daha uygun bir dizin bulunmaması etkili olmuştur. Bu çalışmada kullanılan parametreler ve bunların seviyeleri Tablo 9.7’de verilmiştir. Parametre ve seviyeleri eşit olmadığından karışık orthogonal L_{18} (6×1 , 3×3) dizinini seçilmiştir.

Table 9.7. N4-N11 Kontrol faktörleri ve onların seviyeleri

Sembol	Test Parameteresi	Seviye I	Seviye II	Seviye III	Seviye IV	Seviye V	Seviye VI
A	Kaplama Tabakası	%10FeCrC %80SiC %10B4C	%10FeCrC %60SiC %30B4C	%10FeCrC %50SiC %40B4C	%10FeCrC %40SiC %50B4C	%10FeCrC %30SiC %60B4C	%10FeCrC %10SiC %80B4C
B	Aşındırıcı Tane Boyutu	16	60	220			
C	Aşınma Mesafesi (mt)	10	20	30			
D	Uygulanan Yük (N)	6	10	16			

Tablo 9.7’de ki parameter ve seviyesine göre yapılan abrasive aşınma işlemleri orthogonal L_{18} ($6*1$, $3*3$) dizinine göre yapılmıştır. Abrasive aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma kütle kayıpları ve S/N oranları verilmektedir. Tablo 9.8’de abrasive aşınma işlemi sonunda elde edilen en küçük en iyi ilkesiyle çalışan sisteme göre, faktör seviyelerine göre S/N oranları verilmektedir. İşlemden S/N oranlarının ortalaması 53,47037222 dB olarak hesaplanmıştır.

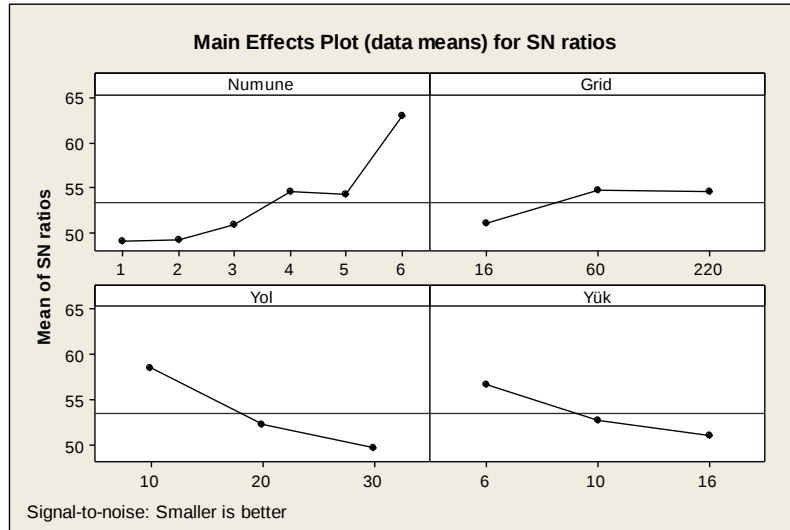
Table 9.8. N4-N11 Kaplama tabakalarının kütle kaybı oranlarının deneysel olarak S/N oranının hesaplanması

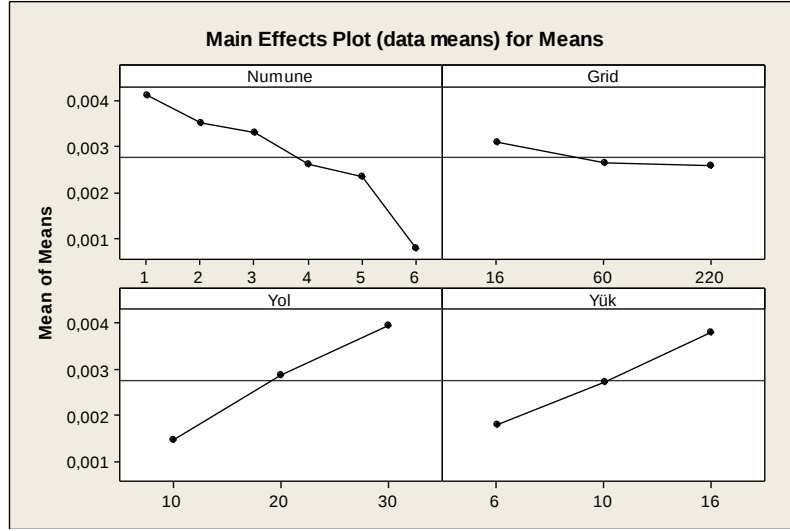
Sıra No	Kontrol Faktörleri				Ölçülen kütle kaybı (gr)	S/N oranı
	A	B	C	D		
1	1	1	16	10	0,002	-53,97940009
2	2	1	60	20	0,0031	-50,17276612
3	3	1	220	30	0,0072	-42,85335007
4	4	2	16	10	0,0032	-49,89700043
5	5	2	60	20	0,0043	-47,33063089
6	6	2	220	30	0,003	-50,45757491
7	7	3	16	20	0,0028	-51,05683937
8	8	3	60	30	0,0056	-45,03623946
9	9	3	220	10	0,0015	-56,47817482
10	10	4	16	30	0,005	-46,02059991
11	11	4	60	10	0,0006	-64,43697499
12	12	4	220	20	0,0022	-53,15154638
13	13	5	16	20	0,0043	-47,33063089
14	14	5	60	30	0,0017	-55,39102157
15	15	5	220	10	0,001	-60
16	16	6	16	30	0,0012	-58,41637508
17	17	6	60	10	0,0005	-66,02059991
18	18	6	220	20	0,0006	-64,43697499

Table 9.9. Kaplama Tabakasının S/N oranları tablosu

Sembol	Mean S/N ratio						
	Test Parametresi	Seviye I	Seviye II	Seviye III	Seviye IV	Seviye V	Seviye VI
A	Kaplama Tabakası	49,00	49,23	50,86	54,54	54,24	62,96
B	Aşındırıcı Tane Boyutu	51,12	54,73	54,56			
C	Aşınma Mesafesi (mt)	58,47	52,25	49,70			
D	Uygulanan Yük (N)	56,63	52,78	51,01			

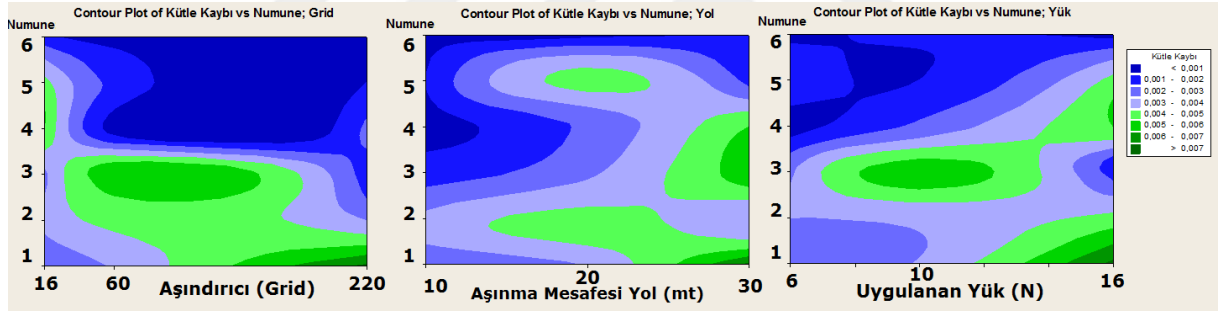
Tablo 9.9 ve Tablo 9.10’de kontrol faktörü olarak seçilen verilerin, abrasiv aşınma direnci sonucu elde edilen kütle kayıpları hesaplanarak S/N oranları tablosu yapılmıştır. Herhangi bir parametre için en iyi değer o parametrenin tüm seviyeleri içerisinde elde edilen en büyük S/N oranına göre bulunmuştur[59-61]. Dolayısıyla A6B2C1D1 denklemi optimum şartların sağlandığı değerlerdir. S/N değerinin büyük olduğu seviye tüm faktörlerin seviyeleri arasında optimum seviyedir. Şekil 9.12’de çalışmanın S/N oranlarının, kontrol faktörleri ve seviyeleri arasındaki ilişki gösterilmektedir. Şekil 9.13’de ile PTA yöntemiyle yüzeyi B₄C, SiC ve FeCrC kaplanmış, AISI 430 paslanmaz çeliğin kaplama tabakası Taguchi dizaynına göre aşındırıldıktan sonra, bu numunelerin faktör ve seviyelerin abrasiv aşınma direncinde kütle kaybına etkileri görülmektedir.

**Şekil 9.12** S / N oranları için ana etki grafiği (dB)



Şekil 9.13. Ana ağırlık kütle kaybı grafiği

Şekil 9.14’de kütle kaybının kontrol faktörleri üzerindeki etkisi countour plot renk dağılımı metoduyla verilmiştir. Bu grafiklerde kaplama tabakasının diğer her bir kontrol faktörünün kütle kaybına olan etkisi harita olarak verilmiştir.



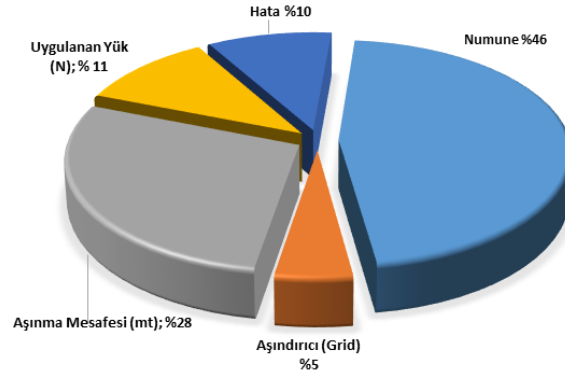
Şekil 9.14. Kütle kaybının kalan parametrelerle Contour Plot grafiği

Abrasiv aşınma davranışının yapılan varyans analizleri sonuçlarında faktörlerin aşınma direnci üzerindeki etkileri sayısal olarak hesaplanmıştır. Varyans analizi sonuçları Tablo 9.10’da verilmiştir.

Tablo 9.10. Kaplama tabakası kütle kaybı için varyans analizi sonuçları

Sembol	Df	Ss	Variance	F	p ^a (%)
Kaplama Tabakası	5	409,607	81,9214	17,2257 ^b	46,39982
Aşındırıcı Tane Boyutu (Grid)	2	49,93851	24,96925	5,250312 ^b	4,861761
Aşınma Mesafesi (mt)	2	244,3671	122,1835	25,69166 ^b	28,2438
Uygulanan Yük (N)	2	99,08229	49,54114	10,41707 ^b	10,77181
Hata	6	28,5346	4,755766	0	9,722809
TOPLAM		831,5295			
Df ; Serbestlik derecesi; ss; Kareler Toplamı; a Katkı Oranı; b 95 % Güven seviyesi					

Ayrıca kontrol faktörlerinin aşınma direncine yüzde olarak etkileri ve hata yüzdesi grafiksel olarak Şekil 9.15’de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde bütün faktörlerin sonuç üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi numunenin etkisi faktörü %46 oranıyla en büyük etkiye sahiptir.



Şekil 9.15. Kontrol faktörlerinin aşınma direncine yüzde olarak etkileri

S/N oranı grafikleri incelendiğinde en optimum seviyelerin A6B2C1D1 olduğu görülmektedir. Bu seviyelerdeki optimum S/N oranının elde edilmesinde 4 nolu denklem kullanılmıştır.

$$\eta_{opt} = \eta_m + \sum_{i=1}^j (\eta_i - \eta_m) \quad (4)$$

η_{opt} , optimum S/N oranını, η_m , ortalama S/N oranlarının ortalaması, η_i her bir parametrenin ideal olan seviyesinin S/N oranını göstermektedir. Yapılan hesaplamada optimum S/N oranı 40,40905432 bulunmuştur. Bu denklemden elde edilen optimum S/N oranı en küçük en iyi kalite karakteristiğine göre 5 nolu denklem kullanılarak optimum ortalama aşınma miktarının hesaplanması sağlanmıştır.

$$Ra_{opt} = \sqrt{10^{-\frac{\eta_{opt}}{10}}} \quad (5)$$

5 nolu denklemden $Wear_{opt}$, optimum ortalama aşınma miktarını ifade etmektedir. Optimum ortalama aşınma miktarı 0,009539976 gr olarak hesaplanmıştır.

10. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; AISI 430 ferritik paslanmaz çelik yüzeyi FeCrC, SiC ve B₄C tozu kullanılarak plazma transferli ark kaynak kaplama yöntemiyle sabit enerji girdisi ve ilerleme hızında alaşımlandırılmıştır. Kaplama tabakasının mikroyapı ve mikrosertlik incelemeleri incelenmiştir. Kaplama tabakaları üç farklı aşındırıcı, yük ve mesafede abrasiv aşınma direncine olan etkisi, Taguchi yöntemi kullanılarak bu kaplama tabakalarının abrasiv aşınma direncine etkisi araştırılmıştır. Varyans Analizi (ANOVA) kullanılarak ortalama en düşük aşınma değeri üzerinde parametre seviyelerinin etkileri analiz edilmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

1. Deney çalışmalarında alt tabaka malzemesi olan AISI 430 ferritik paslanmaz çelik malzemenin yüzeyinin özellikleri PTA yöntemiyle değiştirilmiş ve geliştirilmiştir.
2. Kaplama tabakasında, ergimeye bağlı olarak çubuk şekilli ve bazen az dentritik yapı kısmen belirginleşirken, kolların uzantılarının yaklaşık 5-15 µm kadar uzunlukta ve kısa olduğu gözlenmiştir. Homojen olmayan difüzyonla element geçişleri, altlık malzemesinde tane sınırları içerisine doğru gerçekleşmiştir.
3. Yüzey modifikasyonu işleminde, malzeme seçimi kadar üretim parametrelerinin de önemli bir role sahip olduğu görülmüş ve bunun belirlenmesinde kaplama malzemesi, yüzeyi kaplanan malzeme ve kaynak parametrelerinin birlikte göz önünde bulundurulması gerektiği ortaya konmuştur.
4. Kaplama tabakasının verilen enerjiyle çözündüğü ve katılaşma sırasında karbür yapıcı metal elementlerle birleşerek FeCr(σ -fazı), Fe₇C₃, Cr₂₃C₆ ve martenzit fazları tespit edilmiştir. Esas itibari ile Cr₂₃C₆ ve çok az oranda da silisyum ve demir karbürleri içerdiği ve demirin belli bir miktarının krom karbür bünyesinde eridiği anlaşılmaktadır.
5. Bütün numunelerde metal karbür ve metaller arası bileşiklerin oluşumu hızlanmış ve sonuç olarak; bu sert fazların oluşumu ve homojen dağılması sonucunda aşınma direnci yükselmiştir.
6. Tüm kaplanan numunelerde; kaplama malzemesi yüzeyinden başlayarak oluşan bileşik fazların sertlik ve dağılımına bağlı olarak ara tabaka ve kaplamanın alt kısmında sertlik olmakta ve noktadan noktaya fazla bir değişim göstermemektedir.

N1-N3 numuneleri için Taguchi dizaynı sonuçları;

7. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda seçilen parametrelerin her birinin birbirinden bağımlı ve bağımsız olarak etkisi tesbit edilmiştir.
8. Yapılan varyans analizi sonuçlarında bütün parametrelerinin aşınma direnci üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğu % olarak tespit edilmiştir. Ancak, kaplama tabakası ve aşındırıcının tane boyutu bu çalışmada en önemli iki etken olarak ANOVA analizi ile tespit edilmiştir.
9. Kaplama tabakası, uygulanan yük ve aşınma mesafesi değerlerinde %99'un üzerinde bir güvenilirlik değerine ulaşılmıştır.
- 10.Taguchi yöntemi ile yapılan optimizasyon işleminde A3B2C2D2 parametre seviyelerinin kullanılmasıyla ile optimum aşınma direnci değerinin elde edildiği belirlenmiştir.
11. Bu gruptaki numunelerde, en uygun değer ortalama aşınma miktarı 0,024619705 gr olarak hesaplanmıştır.

N4-N11 numuneleri için Taguchi dizaynı;

- 12.Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda seçilen parametrelerin her birinin birbirinden bağımlı ve bağımsız olarak etkisi tespit edilmiştir.
- 13.Yapılan varyans analizi sonuçlarında bütün parametrelerinin aşınma direnci üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğu % olarak tespit edilmiştir. Ancak, kaplama tabakası ve aşındırıcının tane boyutu bu çalışmada en önemli iki etken olarak ANOVA analizi ile tespit edilmiştir.
- 14.Seçilen parametrelerin tamamı değerlendirildiğinde bütününde %95'un üzerinde bir güvenilirlik değerine ulaşılmıştır.
- 15.Taguchi yöntemi ile yapılan optimizasyon işleminde A6B2C1D1 parametre seviyelerinin kullanılmasıyla ile optimum aşınma direnci değerinin elde edildiği belirlenmiştir.
- 16.Bu grupta ki numunelerde en uygun değer ortalama aşınma miktarı 0,009539976 gr olarak hesaplanmıştır.

Mikroyapı, sertlik ve abrasiv aşınma dirençlerinden hareket ederek, PTA yöntemi AISI 430 feritik paslanmaz çeliklerin yüzeylerine alaşım elementleri modifiye edilerek yüzey özelliklerinin değiştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte; bu numuneler üzerinde aşağıdaki uygulamaları gerçekleştirmek mümkündür.

1. Farklı alaşım elementleri kombinasyonları daha dar aralıklarda ve hassas oranlarda seçilerek kaplama tabakasına etkisi incelenebilir.
2. PTA kaplama yönteminin kolaylığı, maliyetinin düşüklüğü ve her boyuttaki metal grubuna otomatik sistemlerde uygulanabilirliği yöntem için kaplamacılıkta tercih nedeni olarak alınabilir.
3. PTA kaplama yönteminde farklı enerji girdileri ve kaynak parametreleri kullanılarak numunelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri araştırılabilir.
4. PTA kaplama uygulanmış numunelere normalizasyon veya gerilim giderme tavlama ısı ışlemleri uygulanarak, Taguchi dizaynı ile bu ısı ışlemlerin kaplama tabakasını nasıl etkilendiğı araştırılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] Osmanoğlu,T., (2012), “AISI304 ve 430kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapılarına, Mekanik Özelliklerine ve Korozyon davranışlarına soğuk deformasyonun etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [2] Çelik,Ö., (2010), “Paslanmaz Çeliklere Uygulanan Düşük Sıcaklık Nitrürleme İşleminin Mekanik ve korozyon özelliklerine etkisi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [3] Karasakal,E., (2005), “Ferritik, östenitik ve stabilize paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetlerinin araştırılması ve karşılaştırmalar”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [4] Akkaş,M.,(2013), “Östenitik Paslanmaz Çeliğin Bor Katkılı Ni3Al ile kaplanabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- [5] Korkut,M.H.,(1997),”Ferritik Paslanmaz Çeliklerin mikroyapısı ve aşınması üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması”,Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- [6] Ak,H.D.,(2014),” Geleneksel Toz Metalurjisi Yöntemiyle üretilen AISI 304L ve AISI 316 L Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Özelliklerine Sinterleme koşullarının etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [7] Kükürtçü,G.E.,(2014), “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti ve Mekanik özelliklere etkilerinin incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- [8] Tümer,M.,(2012), “Koruyucu Gaz Kompozisyonunun Özlü Tel Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Paslanmaz Çeliklerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine etkisi,”Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- [9] Pollard,B.,(1993), “Selection of wrought precipitation-hardening stainless steels, ASM metals Handbook”, V:6, 482-493

- [10] Teker, T., (2010), "AISI 430/AISI 1040 Çelik Çiftinin Anahtar Deliği Plazma Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi, Mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- [11] 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.
- [12] Kaluç, E., Taban E., (2005) "Plazma Arkı ile Kaynak ve Endüstriyel Uygulamaları "Makine Tek, 84, 116-123
- [13] Akbaş, N., (2000), "İyon İmplantasyonu 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
- [14] N. Akbaş, İ. E. Saklakoğlu (2001), "İmplantasyon Prosesinde Kullanılan İyon Işını Ekipmanları, Mühendis ve Makine", Haziran 2001, Cilt 42, sayı 497, sayfa 30
- [15] Hass, D. D., Slifka, A. J. and Wadley, H. N. G., (2001), "Low thermal conductivity vapour deposited Zirconia microstructures", Acta Materialia, 49(6), 973-983
- [16] Peters, M., Leyens, C., Schulz, U., Kayser, W. A., (2003), "EB-PWD thermal barrier coatings for aero engines and gas turbines, Advanced Engineering Materials", 3, 193-204.
- [17] Chen, X. Q., Newaz, M., (2001), "Oxidation and damage of EBPVD thermal barrier coatings under thermal barrier coatings under thermal cycling, Journal of Materials Science Letters", 20, 93-95.
- [18] Preauchat, B., Drawin, S., (2001), "Properties of PECVD deposited thermal barrier coatings, Surface and Coatings Technology", 142-144, 835-842.
- [19] 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.

- [20] Özcan, M., “Tarakçıoğlu, N., Kahramanlı, Ş., (2004), Saç malzemelerin lazer kaynak parametreleri”, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Teknik Online Dergi, 3 (1)
- [21] Kempton, K., (1991), “Where thermal spray coatings are most cost effective, Welding Journal”, 70, 41-44.
- [22] Hutchings, I.M., (1992),” Tribology: friction and wear engineering materials: Edward Arnold, Materials & Design”, 13 (3), 187.
- [23] Howes, C.P., (1994), “Thermal spraying: processes, preparation, coatings and applications, Welding Journal”, 4, 47-51.
- [24] Villat, M., (1986), “Functionally effective coatings using plasma spraying, Sulzer Technical Review”, (3), 41-45.
- [25] Ludema, C.K.(1996), “ Friction, Wear, Lubrication, A textbook in Tribology”, 107-108.
- [26] Gediktaş, M., (1970), “Sürtünme ve Aşınım” a , İ.T.Ü. Dergisi, 28, 27-30.
- [27] Akkurt M. (1986) ,” Makine Elemanları ve Konstrüksiyonu Kürsüsü”, Cilt 2, İstanbul: Birsen Yayınevi.
- [28] TMMOB, (2003), “II. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi: Bildiriler Kitabı”, Yay. No:E/2003/336, Ankara
- [29] Gür, A.K., (2006),” Aşınma Mekanizmaları” , Doktora Semineri, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [30] E. Atar, H. Cimenoglu, (2003). E.S. Kayalı, “Hardness Characterisation of Thin Zr(Hf,N) Coatings”, Surface and Coatings Technology, 162, 167-173,
- [31] 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
- [32] Lipson, C.(1967). “Wear Considerations in Design”. Michigan üniversitesi yayınevi Hall Inc.
- [33] Bhushan, B.(2000). “Modern Tribology Handbook”, CRC Yayınevi.

- [34] Owsalou, R.G., (2012), “Aşınmaya Maruz Parçaların Aşınma Dayanımlarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [35] Karadeniz, S.(2005) “Tamir Bakım Kaynağında Dolgu Maddesi Seçimi”. II. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi.
- [36] Kobrick, R.L.(2010). “Characterization and Measurement Standardization of Lunar Dust Abrasion for Spacecraft Design and Operationns, A thesis submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Colorado in partial”, Doktora tezi Uzay bilimler departmanı.
- [37] Anık, S. (1981).” Kaynak Tekniği”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, 35-75
- [38] Gür, A. K., Orhan, A.(2007) ; “PTA Yöntemiyle AISI 1040 Çeliğinin Yüzey Modifikasyonu Sonrası Mikroyapıların İncelenmesi” Metal Makine Dergisi Sayı:164, 395-397. ISSN:1303-6378.
- [39] Gür A.K., Orhan A., Yıldız, T., “The Examination Of Microhardness And Microstructure Of FeCrC-B4C-Ti Layer” Electronic Journal of Machine Technologies, (2009), (6) 49-58
- [40] Kaluç, E., Taban, E. (2004), “Plazma Arkı ile Kaynak ve Endüstriyel Uygulamaları MakinaTehnolojileri”, Sayı 84.
- [41] URL,” www.pro-fusiononline.com”, (2009)
- [42] Anık, S., Anık, E.S., Vural, M., (1993), “1000 Soruda kaynak teknolojisi el kitabı”, Cilt: 1, Birsen Yayın evi, İstanbul.
- [43] Manganello, S. J., Wilson, A. D., “Direct Quenching and its Effects on High-Strength Armor Plate”, Int. Symp. Low Carbon Steels for the 90’s, Ed. R. Asfahani, G. Tither, The Minerals, Metals & Materials Society, 235-241, (1993).
- [44] Şahin, Y.: (2001). “Talaş Kaldırma Prensipleri 2”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [45] Çiftçi, K.; (2005). “ Mikroalaşımli çeliklerin frezelenmesinde kesme parametrelerinin talaşlı işlenebilirliğe etkisinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Marmara üniversitesi makine eğitimi anabilim dalı, İstanbul.

- [46] Özses B.; (2002). “Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgâhlarında Değişik işleme koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, s 6-25.
- [47] Bayrak M.; (2002). “Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, s. 1 -35.
- [48] Hicks, R.C., (1985). “Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler”, Çeviri Muluk, Z., Toktamış, Ö., Kurt, S. ve Karaağaoğlu, E., Akademi Matbaası, Ankara, s. 1-10 .
- [49] Muluk, Z., Saraçbaşı, T., Aktaş, S. ve Başar, Ç., (1998). “Taguchi Üzerine Araştırma”, 94K120340/2 nolu DPT Projesi, Devlet Planlama Teşkilatı, p.71-80, Ankara.
- [50] Benardos, P.G. and Vosniakos, G.C., (2003). “Prediction surface roughness in machining: a review”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43, p. 833-844
- [51] Canıyılmaz, E., (2001). “Kalite geliştirmede taguchi metodu ve bir örnek “uygulama”, Yüksek lisans tezi.
- [52] Kayı, Y.; 2006. “Plastik enjeksiyon prosesindeki parametrelerin çekme problemine Etkilerinin taguchi metodu ile incelenmesi “, *Yüksek Lisans Tezi*.
- [53] Şirvancı, M., “Kalite İçin Deney Tasarımı , Taguchi Yaklaşımı ”, Literatür Yayıncılık,
- [54] Birinci , A., (1997). “Plastik Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- [55] Ross P. J., 1988. “Taguchi Tachniques for Quality Engineering”, McGraw - Hill, p.1 - 278, Newyork .
- [56] Durmaz, S.;;(2008). “Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması “, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya.
- [57] Phadke M. S., (1989). “Quality Engineering Using Design of Experiments, Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method”. *Edited by K. Dehnad, Wadsworth & Brooks / Cole*, p.31 - 32, California .

- [58] Çetin ÖZAY (2009), “Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde işleme parametrelerinin teorik ve deneysel olarak araştırılması”, Doktora Tezi Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ELAZIĞ
- [59] Gür, A. K. (2013).” Investigating the wear behaviour of FeCrC/B₄C powder alloys coating produced by plasma transferred arc weld surfacing using the Taguchi method. *Materials Testing*”, 55(6), 462-467.
- [60] Yildiz, T., & Gür, A. (2011). “Microstructural characteristic of N₂ shielding gas in coating FeCrC composite to the surface of AISI 1030 steel with PTA method”. *Archives of Metallurgy and Materials*, 56(3), 723-729.
- [61] Gur, A. K., Ozay, C., Orhan, A., Buytoz, S., Caligulu, U., & Yigitturk, N. (2014). “Wear Properties of Fe-Cr-C and B₄C Powder Coating on AISI 316 Stainless Steel Analyzed by the Taguchi Method. *Materials Testing*,” 56(5), 393-398.
- [62] Buytoz, S., Orhan, A., Gur, A. K., & Caligulu, U. (2013). “Microstructural Development of Fe–Cr–C and B₄C Powder Alloy Coating on Stainless Steel by Plasma-Transferred Arc Weld Surfacing. *Arabian Journal for Science and Engineering*,” 38(8), 2197-2204.
- [63] Ali Kaya GÜR (2009), “Plazma (PTA) Yöntemiyle Düşük Karbonlu Çeliğin Yüzey Modifikasyonuna Koruyucu Gazların Etkisi”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ELAZIĞ
- [64] Yuan-Fu Liu, Zhi-Ying Xia, Jian-Min Han, Gu-Ling Zhang, Si-Ze, (2006) “Yang, Microstructure and wear behavior of (Cr,Fe)₇C₃ reinforced composite coating produced by plasma transferred arc weld-surfacing process, *Surface and Coatings Technology*”, 201,(3,4,5), 863-867
- [65] Wang Xibao, Wang Xiaofeng, Shi Zhongquan, “The composite Fe–Ti–B–C Coatings by PTA powder surfacing process, *Surface and Coatings Technology*,” 192(2-3), 257-262
- [66] M.X. Yao, J.B.C. Wu, W. Xu, R. Liu, (2005)” Metallographic study and wear resistance of a high-C wrought Co-based alloy Stellite 706K, *Materials Science and Engineering*”: A, 407(1-2), 291-298

- [67] Zhang, L., Sun, D., Yu, H., Li, H., (2007), “Characteristic of Fe-based Alloy Coating Produced By Plasma Cladding Process, *Materials Science and Engineering*” A. 457, 319-324
- [68] Liu, Y.F., Han, J.M., Li, R.H., Li, W.J., Xu, X.Y., Wang, J.H. and Yang, S.Z., (2006), “Microstructure and dry-sliding wear resistance of PTA clad (Cr, Fe)₇C₃/γ-Fe ceramal composite coating, *Applied Surface Science*,” 252(20), 7539-7544.
- [69] Raynor, G.V., Rivlin, V.G.:” Phase equilibria in iron ternary alloys. The Institute of Metals, The Bath Press”, UK (1988)
- [70] H. Ohtani, M. Hasebe, K. Ishida, T. Nishizawa, Trans. Iron Steel Inst. Jpn., 28 (1988), pp. 1043–1050



ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Keban’da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Keban’da tamamladım. 1998 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Bilgisayar Programcılığı bölümünden, 2004 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal İşleri Öğretmenliğinden mezun oldum.

2001 Yılında Elazığ Milli Eğitim Müdürlüğüne memur olarak atandım. Sonra 2005 yılında Erzurum Aşkale Endüstri Meslek Lisesine Metal İşleri Öğretmeni olarak atandım. Sırasıyla Pütürge / MALATYA Endüstri Meslek Lisesi, Bahçe/ OSMANİYE Endüstri Meslek Lisesinde görev yaptım. 2013 yılında Baskil Halk Eğitim Merkezine tayin oldum. 2014 ten bu yana Müdür Yardımcısı olarak görev yapıyorum. Evli ve 2 çocuk babasıyım.

Sinan KAYA