

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI ÇİFTLERİNİN ADHEZYON
ÖZELLİKLERİNİN PLAZMA YÜZEY İŞLEMLERİ İLE
İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYYÜCE TECİR TORAMAN

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : DOÇ. DR. EKREM ALTUNCU

TEMMUZ 2021

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

AYYÜCE TECİR TORAMAN

28/07/2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren her konuda ışık tutup yolumu aydınlatan değerli danışman hocam Doç. Dr. Ekrem ALTUNCU'ya minnetle teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Fatih Üstel'e ve TESLAB laboratuvar ekibine teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmama destek veren Assan Alüminyum Ar-Ge merkezi çalışanlarına Dr. Onur BİRBAŞAR'a ve yüzey topografi analizlerinde desteğini esirgemeyen İncekaralar A.Ş. Ufuk DOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu zamana kadar verdikleri maddi, manevi destek, gösterdikleri ilgi, sabırla bu günlere gelmemde harcadıkları sonsuz emek dolayısıyla babam Önder TECİR, annem Yasemin TECİR'e aynı zamanda varlıklarıyla bana her zaman güç veren kardeşlerim Aybike TECİR ve Aysemin Umay TECİR'e ve bu süreçte her zaman bana destek olan değerli eşim Mete TORAMAN'a tez çalışmamda desteğini esirgemeyen değerleri dostlarım Zekeriya KOLBASAR'a ve Rumeysa CİHANGİR'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	viii
SİMGELER	ix
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	1

BÖLÜM 1.

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	3
1.1. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	
1.2. Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri	4
1.2.1 Al 1XXX serisi özellikleri	4
1.2.2 Al 2XXX serisi özellikleri	4
1.2.3 Al 3XXX serisi özellikleri	5
1.2.4 Al 4XXX serisi özellikleri	5
1.2.5 Al 5XXX serisi özellikleri	6
1.2.6 Al 6XXX serisi özellikleri	6
1.2.7 Al 7XXX serisi özellikleri	7
1.2.8 Al 8XXX serisi özellikleri	7
1.3. Alüminyum Alaşımlarının Uygulama Alanları.....	7

BÖLÜM 2.

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANAN YÜZEY İŞLEMLERİ.....	19
2.1. Alüminyum Alaşımlara Uygulanan Yüzey Kaplama Türleri.....	20
2.1.1 Eloksal kaplama	20
2.1.2 Kromatlama ve fosfatlama	26
2.1.3 Akımsız nikel kaplamalar	30
2.1.4 PTFE (politetrafloraetilen) kaplamalar	31
2.1.5 Boya ve astar kaplamalar (sol-jel yöntemi)	32
2.2. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Yapıştırma İşlemlerinde Kullanılan Ön Yüzey İşlemler	34
2.2.1 Yüzey temizleme.....	34
2.2.2 Bir çözücü kullanara yüzey temizleme	35

2.2.3 Kimyasal yöntem kullanarak yüzey temizleme	36
2.2.4 Mekanik ön işlem ile yüzey temizliği	38
2.2.4.1 Yüzey pürüzlülüğünün ıslanabilirlik üzerindeki etkisi	43
2.2.5 Enerji kullanarak ön temizleme	47

BÖLÜM 3.

PLAZMA YÜZEY AKTİVASYONU	50
3.1. Plazma ve Yüzey	51
3.2. Plazma Teknolojisi	52
3.3. Plazma Yüzey Temizliği	53
3.4. Yüzey Aktivasyon Yöntemleri	54
3.5. Proses Gereksinimleri ve Parametreler	56
3.6. Literatürde Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Plazma İşlemleri	57

BÖLÜM 4.

ALÜMİNYUM - ALÜMİYUM YAPIŞTIRMA YÖNTEMLERİ	63
4.1. Yapıştırıcı Türleri ve Yapıştırıcıların Sınıflandırılması	70
4.1.1 Yapıştırıcıların sınıflandırılması	71
4.1.1.1 İki aşamalı akrilik yapıştırıcılar	73
4.1.1.2 İki komponentli (bileşenli) akrilik yapıştırıcılar	73
4.1.1.3 Siyanoakrilatlar	74
4.1.1.4 Epoksi yapıştırıcılar	74
4.1.1.5 Sıcakta eriyen yapıştırıcılar	77
4.1.1.6 Etilen vinil asetat (EVA) bazlı yapıştırıcılar	78
4.1.1.7 Poliamid bazlı yapıştırıcılar	78
4.1.1.8 Poliüretan yapıştırıcılar	79
4.1.1.9 Elastomerik yapıştırıcılar	81
4.1.1.10 Plastizol yapıştırıcılar	82
4.1.1.11 Kauçuk yapıştırıcılar	83
4.1.1.12 Modifiye fenolikler yapıştırıcılar	83
4.1.1.13 Basınca duyarlı yapıştırıcılar	84
4.2. Yapıştırıcıların Kürlenmesi	85
4.2.1 Yapıştırıcıların mekanik ve termal özellikleri	86
4.3. Yapıştırıcı Seçimi	87
4.4. Yapıştırıcıların Kimyası ve Metallere Yapışma Teorisi	91
4.4.1 Yapıştırıcının birleşme yeri ile oluşturduğu arayüzler	92
4.4.2 Yapışma mekanizmaları : yapışma teorileri	94
4.4.2.1 Yapıştırıcının mekanik kitlenme teorisi	97
4.4.2.2 Adsorpsiyon teorisi	99
4.4.2.3 Difüzyon veya interdifüzyon teorisi	100
4.4.2.4 Elektrostatik çekim teorisi	101
4.4.2.5 Zayıf sınır tabaka modeli teorisi	102
4.4.2.6 Kimyasal ve moleküler bağ teorisi	103
4.4.2.7 Termodinamik yapışma teorisi	104
4.4.3 Yüzey gerilimi veya yüzey serbest enerjisi (katı, sıvı)	104
4.4.4 Islatma, ıslatma kriterleri ve ıslanabilirlik	105
4.5. Yapıştırıcı Arıza Türleri	107
4.6. Yapışkan Bağlantıları İçin Tasarım Yöntemleri	110

BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... 117

5.1. Yüzey Hazırlığı ve Yüzey Ön İşlemler	118
5.1.1 Kum püskürtme işlemi	118
5.1.2 Zımparalama işlemi.....	122
5.2. Alüminyum Yüzey Kaplama İşlemi.....	125
5.2.1 Kaplanmış malzemelerin optik yüzey görüntüleri	130
5.2.2 Malzemelerin pürüzlülük ölçümü	135
5.3. Islatma Açısı Ölçümü.....	137
5.4. Plazma ile Yüzey Aktivasyonu	142
5.5. Yapıştırma İşlemi	143
5.6. Numunlerin Çekme Testi	145
5.6.1 Çekme deneyi sonuçları	147

BÖLÜM

6. SONUÇLAR 154

6.1. Genel Sonuçlar ve Öneriler	158
---------------------------------------	-----

KAYNAKLAR 161

KISALTMALAR

SEM	: Search Engine Optimization
Al	: Alüminyum
GMAW	: Gaz Metal Ark Kaynağı
GTAW	: Gaz Tungsten Ark Kaynağı
Hs	: Sıcak Damgalama
CRFP	: Karbonfiber Malzeme
PTFE	: Poli Tetra Flora Etilen
AAO	: Anodik Alüminyum Oksit
PAA	: Fosforik Asit Anadizasyonu
SE	: İkincil Elektron
BSE	: Geri Saçılan Elektron
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BIW	: Araçlarda Beyaz Gövde Elemanı
Li	: Lityum Elementi
Si	: Silisyum Elementi
Mg	: Magnezyum Elementi
Zn	: Çinko Elementi
Mn	: Mangan Elementi
Cu	: Bakır Elementi
Bar	: Basınç birimi

SİMGELER

%	: Yüzde
Sn	: Saniye cinsinden zaman
Dk	: Dakika cinsinden zaman
z	: Zımparalama
k	: Kumlama
p	: Plazma
MPa	: Kuvvet birimi
μm	: Mikrometre
o	: Derece
$^{\circ}\text{K}$	: Kelvin derece
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat derece

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1: Alüminyum serileri ve alaşım elementleri.....	4
Tablo 2.1: Metal yüzey hazırlığının yapıştırıcı ile bağlanan mukavemete etkisi.	49
Tablo 3.1: Plazma gazlarına bağlı olarak kullanım alanları.....	57
Tablo 4.1: Yapıştırıcı türüne göre değişen camsı geçiş sıcaklıkları.....	89
Tablo 4.2: Bir epoksi yapıştırıcısının belirli sıcaklıklarda gösterdiği mekanik özellikleri.	90
Tablo 5.1: Al 5754 alaşımlı levha kimyasal kompozisyonu.	117
Tablo 5.2: Kumlama mesafelerine göre yüzey pürüzlülük sonuçları.	136
Tablo 5.3: Zımparalanmış yüzeylerin yüzey pürüzlülük sonuçları.....	137
Tablo 5.4: Ön işlem uygulanan numunelerin çekme testi sonuçları	149
Tablo 5.5: Plazma işlemi yapılmış Al numunelerin çekme test sonuçları.	151
Tablo 5.6: Kaplanmış numunelerin çekme test sonuçları.	153

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Saf alüminyum; a. 1350 Al ile elektrikli kalıp montajı b. Saf alüminyum ambalaj tepsileri.	8
Şekil 1.4: a. Uçak iç yapısı ekstrüzyonları b. Ağır dökümü ve tank kamyon ve treyler kamyon yapısal üyeleri.	9
Şekil 1.2: a. Uzay mekiğinin güçlendirici roketleri b. Uzay mekiği yakıt tankları 2219 ve 2419 alaşımları..	9
Şekil 1.3 Yüksek mukavemetli dökme alüminyumdan yapılmış uçak bileşenleri ..	10
Şekil 1.4: a. Otomotiv radyatör ısı eşanjörleri b. Ticari santral ısı eşanjöründe alaşım 3003 boru.	11
Şekil 1.5: İçecek kutuları gövdeleri 3004 veya 3104 alaşımları.	11
Şekil 1.6: Al 4xxx serisi buzdolabı soğutma sıvısı sirkülasyon sistemi.	12
Şekil 1.7: Alaşım 4043 serisi, otomatik gövde yapısı.	12
Şekil 1.8 : Alüminyum 5xxx serisi kullanım alanları.	13
Şekil 1.9: Alüminyum 6xxx serisi ekstrüzyon örnekleri.	14
Şekil 1.10: 5xxx alaşım levha ile kaplanmış genellikle 6063 veya 6061 ekstrüzyon alaşımları kullanılmıştır.	14
Şekil 1.11: Uçak kanadı yapıları genellikle 7xxx alaşımlı levha örneği.	16
Şekil 1.12: 7175-T736 alaşımının premium dövme uçak parçası örneği.	16
Şekil 1.13: Alüminyum-lityum alaşım 8090- dövme helikopter bileşeni T852.	17
Şekil 1.14: Alüminyum ürünler: külçe, kanca, levha, kütük, Al potaları.	17
Şekil 2.1: a. Kimyasal, b. Enerji ve c. Fiziksel alüminyum altlık malzemesinin modifikasyonları.	20
Şekil 2.2: Yüzey morfolojisi farklı su temas açılarıyla örnekleri.	23
Şekil 2.3: Epoksi modu infiltrasyonu (sızma) ile ilgili gözenekli alüminyum yüzeyi: a. 1 modu; b. mod 2.	23
Şekil 2.4: Elokсалı levhalar üzerinde 4 µl su damlacıklarının temas açısı.	24
Şekil 2.5: A6061'in farklı anotlama süresi altında yüzey durumu a. eloksol olmadan, b.5 dakika, c.10 dakika, d.20 dakika, e.30 dakika, f.40 dakika ve g.50 dakika ..	25
Şekil 2.6: a.Aşınma, b.Alkalın, c.Dağlama d. P ₂ aşındırma ile işlenmiş 1000 × A1050 alaşımında SE (sol) ve BSE (sağ) dedektörleri ile elde edilen SEM mikrografları. ..	28
Şekil 2.7: a. Al-2xxx ve a.korozyon bölgesi şemaları, b. alüminyum alaşımı için bir bariyer kaplama ile korunma görüntüleri.	29
Şekil 2.8: Ön işleme daldırma aşamasına giren hafif kamyon.	29
Şekil 2.9: Fosforik asitte anodize edilerek üretilen ince anodize film (enine kesit ve yüzey).	30
Şekil 2.10: Akımsız Ni-P kaplamanın SEM görüntüleri.	31
Şekil 2.11: Bir uçak kaplama sistemini oluşturan bileşenlerin şeması.	33
Şekil 2.12: Fosforik asit anodizasyonu (PAA) için kurulumun şematik gösterimi. ..	37
Şekil 2.13: Yüzey morfolojisi önceden tedavi edilen alüminyum alaşımı levha.	37

Şekil 2.14: Üstteki şekiller ön işlemsiz alüminyum plaka ve alt taraftaki şekiller kimyasal işlem sonucunda yüzeyde belirginleşen çukurlar ile temizleme işlemi yapılması sonucundaki SEM görüntüleri.	38
Şekil 2.15: Kumlanmış malzemelerinin SEM mikrografları. a. Al_2O_3 çapı 110 ile toz um (x 200); b. Al_2O_3 çapı 50 ile toz um (x 200), c. çapı 150–300 μm (x 200) olan cam boncuklar, d çapı 45–75 μm (x 200) olan cam boncuklar, e. çapı 250 μm (x 100) olan alüminyum tanecikler, f. 44 μm (x 200) çapında alüminyum kum taneleri.	40
Şekil 2.16: Kum püskürtme sonrası ara yüzeylerin şematik görüntüsü.	41
Şekil 2.17: Ölçülen kum püskürtmeli çelik yüzeyin 3D ve 2D yüzey profilleri.	42
Şekil 2.18: Ortalama yüzey pürüzlülüğü, hesaplanması R_a ve ortalama zirve girinti-çukurluk yüksekliği, R_z , değerleri.	44
Şekil 2.19: Zımpara kağıdı uygulanmış (A-0) a. yüzey pürüzlülüğü, b. pürüzlülük profili.	45
Şekil 2.20: Farklı kumlama parametreleri ile işlenmiş Al-Li alaşımlı levhaların yüzey pürüzlülüğü (sol) ve pürüzlülük profili (sağ) : a. A-1, b. A-2, c. A-3, d. A-4, e. A-5, f. A-6, g. A-7, h. A-8, i. A-9.	46
Şekil 2.21: a. Aseton ile temizlenmiş b. Pürüzlendirme işlemi yapılmış yüzey görüntüleri.	46
Şekil 3.1: Plazma oluşumu.	51
Şekil 3.2: Atmosferik basınç plazma sisteminin bileşenleri.	52
Şekil 3.3: Elektriksel olarak nötr plazma ışını, ultra ince temizlik, yüksek aktivasyon.	53
Şekil 3.4: Plazma ile yüzey temizliği örnekleri.	54
Şekil 3.5: DIN EN ISO 2409 standardına göre kareleme testi sonucu a. Yüzey aktivasyonu yok, b. Plazma yüzey aktivasyonu görmüş (Plasma Treatment).	55
Şekil 3.6: a. Yüzey temizleme b. Yüzey aktivasyon c. Yüzey kaplama simülasyon görüntüsü.	55
Şekil 3.7: a. Plazma torç, b. plazma işlemi, c. plazma işlemi sonrası tampon yüzey aktivasyonu.	56
Şekil 3.8: Alüminyum folyaya uygulanan plazma işlemi.	58
Şekil 3.9: He/ O_2 plazmaya maruz kalma süresinin bir fonksiyonu olarak AA6061-T6 alüminyum alaşımında su temas açısının (CA) değişimi.	59
Şekil 3.10: a. aseton silme, b. zımparalama, c. sol-jel, d. sol-jel ile He/ O_2 plazma aktivasyonu ile bağ astarı e. zımparalama ve ardından sol-jel ile He/ O_2 plazma aktivasyonu.	61
Şekil 3.11: Dünyada bir ilk: Griesser'de bobin kaplama işleminde plazma kullanımı	61
Şekil 4.1: Otomotiv sektöründe kullanılan yapıştırma işlemi.	66
Şekil 4.2: Temiz Yüzey Gerekli Kritik yüzey gerilimi > 1000 mN / m b) Yapıştırıcı yüzeyi ıslatır Kritik yüzey gerilimi $\approx$ 30 mN / m Yapıştırıcı yağ üzerinde "yüzer", alüminyuma temas etmez.	69
Şekil 4.3: Otomotiv sektörü için yapıştırıcı uygulamaları.	69
Şekil 4.4: Test edilmiş yapışkanla bağlanmış alüminyum bağlantılarından alınan A1 ve A2 yapıştırıcıların termogramları.	70
Şekil 4.5: iki bileşenli epoksi reçine 2: İki bileşenli poliüretan 3: İki bileşenli akrilik 4: Tek bileşenli poliüretan yapıştırıcıların Elastik ve plastik özellikleri ile kimyasal bileşimleri arasındaki ilişki.	71
Şekil 4.6: Yapışkan kütleme yöntemlerinin gösterimi.	72
Şekil 4.7: Yapıştırıcı türlerinin performansla ilişkisi.	72

Şekil 4.8: Düşük ila yüksek viskoziteli yapıştırıcılar için ekstrüzyon pompaları.	74
Şekil 4.9: Alüminyum şok kulesi üzerinde epoksi yapıştırıcının çelik raya çok malzemeli uygulama sunumu.	76
Şekil 4.11: Sıcakta eriyen yapıştırıcıların uygulanması.	79
Şekil 4.12: Alüminyum bir kapak üzerine robotik olarak dağıtılan sıvı conta sızdırmazlık yapıştırıcısı.	82
Şekil 4.13: Fren balataları modifiye fenolikler kullanılarak bağlanır.	83
Şekil 4.14: Dekoratif şeritlerin yapışkan bantlarla tutturulması.	84
Şekil 4.15: Yapısal yapıştırıcılar için sertleştirme sıcaklıkları.	85
Şekil 4.16: Yapıştırılmış alüminyum eklemlerinde çekme mukavemeti.	86
Şekil 4.17: Tek turlu eklemlerin boyutları (a) ve üç tipik kırılma formu (b).	92
Şekil 4.18: A1 yapıştırıcı ile yapıştırılmış bindirmeli alüminyum bağlantılar için yapışkan kırılma modu ve (b) A2 yapıştırıcısı bindirmeli kesme yapıştırıcısı.	95
Şekil 4.19: Yukarıdaki şekilde kare bölge içerisindeki yapıştırıcının SEM görüntüsü	95
Şekil 4.20: a. Yapıştırıcı ile bağlanmış bir bağlantı şeması, b. bir enine kesit, c. A1 yapıştırıcı ile yapıştırıcı ile bağlanmış Alüminyum malzemenin enine kesiti, d. yapıştırıcının enine kesiti- Alüminyum kesitinin enine kesiti A2 yapıştırıcı ile yapıştırmıştır.	95
Şekil 4.21: Adezyon ve kohezyonun iş parçası üzerinde şematik görüntüsü.	96
Şekil 4.22: İki alt tabaka arasındaki mekanik bağlantının gösterimi.	97
Şekil 4.23: Üç tür yüzey düzensizliği.	98
Şekil 4.24: a.yeterli ıslanma b. zayıf ıslanma.	98
Şekil 4.25: Yapıştırıcı yüzey düzensizliklerinin mekanik kilitleme görüntüsü.	99
Şekil 5.26: Yapışma difüzyon teorisi a. Yapıştırıcı ve b. substrat moleküllerinin interdiffüzyonu.	100
Şekil 4.27: Polimer-metal arayüzlerde elektriksel çift katman.	102
Şekil 4.28: Zayıf sınır katmanlarının sınıflandırılması.	103
Şekil 4.29: Denge durumunda katı yüzeydeki sıvı damlası, Young denkleminde denge kuvveti dengesini gösterir	105
Şekil 4.30: a. İyi ve b. Kötü örnekleri: bir yüzeye yayılan zayıf ıslatıcı yapışkanlar.	106
Şekil 4.31: Yapışkan bağ modlarının şemaları a.yapışkan hatası b. yapışkan tabakada kohezyon hatası c.yapışkan kısımda kohezyon hatası.	107
Şekil 4.32: Tek bindirmeli kesme bağlantısı tasarımı.	109
Şekil 4.33: Yapıştırıcı ile bağlamada başarısızlık modları.	109
Şekil 4.34: Yapışkan bağlantılara avantajlı ve dezavantajlı yükleme.	111
Şekil 4.35: Sonrasında uygun bağlantı ve yapıştırma tekniğinin seçimi.	111
Şekil 4.36: Yapıştırılarak birleştirilen bağlantılar için tasarlanmış alüminyum ekstrüzyonlar.	112
Şekil 4.37: Gerilimde a. ve sıkıştırmada b.eklem gerilme dağılımı	112
Şekil 4.38: Kesme gerilimi dağılımı.	113
Şekil 4.39: a. Bölünme b. soyma stresi	113
Şekil 4.40: Gerilim altında T soyma gerilimi.	113
Şekil 4.41: Otomotiv sektöründe kullanılan birleştirme düzenekleri.	114
Şekil 4.42: Bir eklemin kenarlarındaki gerilimi azaltmak için değiştirilen bindirmeli eklemler.	115
Şekil 4.43: Farkı noktalar ve damla desenleri.	115
Şekil 4.44: Yapıştırıcı teknolojisinde çeşitli uygulama yöntemleri.	116
Şekil 4.45: Geniş yuva uygulama yöntemi.	116
Şekil 4.46: Spiral püskürtme ve kısa damlaların uygulama teknolojisi.	116

Şekil 5.1: Kumlama kabinin dış ve iç görüntüleri.....	119
Şekil 5.2: a.Kumlama öncesi numune yüzeyleri b. Kumlama sonrası numune yüzeyleri.	119
Şekil 5.3: 10 cm mesafeden kumlanmış yüzey SEM görüntüleri.	120
Şekil 5.4: 25 cm mesafeden kum püskürtülen alüminyum SEM görüntüsü.	121
Şekil 5.5: 40 cm mesafeden kumlanmış yüzey SEM görüntüleri.	121
Şekil 5.6: Farklı boyutlardaki zımpara görüntüleri.	122
Şekil 5.7: Zımparalama işleminden sonra alüminyum plakalarda yüzey görüntüsü a. 80'lik b.320'lik c. 500'lik.	123
Şekil 5.8: 80'lik zımpara ile zımparalanmış yüzeyler SEM görüntüleri.	123
Şekil 5.9: 320'lik zımpara ile zımparalanmış yüzeyler SEM görüntüleri.	124
Şekil 5.10: 500'lik zımpara ile zımparalanmış yüzeyler SEM görüntüleri.	124
Şekil 5.11: 5-8 mikron kaplama SEM görüntüleri.	126
Şekil 5.12: 20-25 mikron eloksal kaplama SEM görüntüleri.	126
Şekil 5.13: 30-35 mikron sert eloksal kaplama SEM görüntüleri.	127
Şekil 5.13: 40-50 mikron siyah sert eloksal kaplama.	128
Şekil 5.14: 35-40 mikron sert eloksal kaplama + PTFE.	129
Şekil 5.15: 10-15 mikron akımsız nikel kaplama SEM görüntüsü.	130
Şekil 5.16: Optik yüzey metroloji ölçüm cihazı görüntüsü.	131
Şekil 5.17: Ölçüm anında cihazın görüntüsü.	131
Şekil 5.18: 10-15 mikron akımsız nikel 3D görüntüsü.	132
Şekil 5.19: 20-25 mikron eloksal kaplama 3D görüntüsü.	132
Şekil 5.20: 30-35 mikron eloksal kaplama.	133
Şekil 5.21: 35-40 mikron Sert Elokmal + PTFE kaplama 3D görüntüsü.	133
Şekil 5.21: 35-40 mikron eloksal + PTFE kaplama 3D görüntüsü.	134
Şekil 5.22: Pürüzlülük ölçüm cihazı	135
Şekil 5.24: Yüzey işlemine tabi tutulmamış Alüminyum ıslatma açısı görüntüleri.	138
Şekil 5.25 :10 cm mesafeden kum püskürtülmüş numunenin ıslatma açısı ölçüm konumu ve ıslatma açısı görüntüsü.	139
Şekil 5.26: 25 cm mesafeden kum püskürtülmüş numunenin ıslatma açısı ölçüm konumu ve ıslatma açısı görüntüsü.	139
Şekil 5.27: 40 cm mesafeden kum püskürtülmüş numunenin ıslatma açısı ölçüm konumu ve ıslatma açısı görüntüsü.	139
Şekil 5.28: 80 meshlik zımparalama işlemi ıslatma açısı görüntüsü.	140
Şekil 5.29: 320 meshlik zımparalama işlemi ıslatma açısı görüntüsü.	140
Şekil 5.30: 500 meshlik zımparalama işlemi ıslatma açısı görüntüsü.	140
Şekil 5.31: Kaplanmış yüzeylerin ıslatma açısı ölçüm sonrasında damla görüntüleri.	141
Şekil 5.32: Kaplanmış numunelerin ıslatma açısı ölçüm sonuçları.	141
Şekil 5.33: a. Plazma öncesi ıslatma açısı b. plazma sonrası ıslatma açısı Al5754 yüzey ıslatma açısı görüntüleri.	142
Şekil 5.33: Deneysel çalışmamızda kullanılan plazma aktivasyon cihazı.	142
Şekil 5.34: İşlenmiş Alüminyum Yüzeyde Plazma İşlemi Öncesi ve Sonrası Temas Açısı Ölçümlerinin Sonuçları.	143
Şekil 5.34 :Yapıştırıcı ile sertleştiricinin karıştırılması.	144
Şekil 5.35: Yapıştırıcının plakalara uygulanması.	144
Şekil 5.36: Yapıştırılan plakaların katmanlı klipsler ile tutturulması.	145
Şekil 5.37: Plakaların kurlenmesi için oda sıcaklığında bekletilmesi.	145
Şekil 5.38: Yapıştırma bağlantılarının test ölçüm standardı.	146
Şekil 5.39: Yapıştırma bağlantılarının mukavemet hesaplaması.	146

Şekil 5.40: Çekme test cihazına yerleştirilen numune.	146
Şekil 5.41: Çekme testi sonrası yüzey görseli a. al 5754 b. Plazma1 c. Plazma 2... 147	
Şekil 5.42: Zımparalanmış yüzeylerin çekme testi sonrası yüzey görüntüleri a. 80'lik zımpara b. 320'lik zımpara c. 500'lük zımpara.	147
Şekil 5.43: Kumlanmış yüzeylerin çekme testi sonrası görüntüleri a. 10cm mesafe b. 25cm mesafe c.40cm mesafe.....	148
Şekil 5.44: Kaplanmış yüzeylerin çekme testi sonrasındaki görüntüleri a. 5-8 mikron eloksal b. 20-25 mikron eloksal c. 10-15 mikron eloksal d. 35-40 mikron sert eloksal e. 35-40 mikron sert eloksal +PTFE e. 40-50 mikron sert eloksal.....	148
Şekil 5.45: Kumlama ve zımparalama işlemlerinin çekme testi sonuçları diyagramı.....	150
Şekil 5.46: Plazma aktivasyon işlemi uygulanmış ve uygulanmamış alüminyum çekme testi sonucu diyagramı.	151
Şekil 5.47: Plazma+ kumlama+ ön temizleme işlemlerinin çekme testi sonucu diyagramı.....	152

5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI ÇİFTLERİNİN ADHEZYON ÖZELLİKLERİNİN PLAZMA YÜZEY İŞLEMLERİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Kaynak veya bağlantı malzemeleri kullanarak birleştirme yöntemlerine alternatif olarak yapıştırma yöntemleri hafiflik, tasarım esnekliği ve pratik uygulama avantajı gibi bir çok fırsat sunmaktadır. Farklı malzeme çiftlerinin birleştirilmesinde oldukça fazla avantaj sağlamaktadır. Bu uygulamalar otomotiv, havacılık, gemi, uzay ve diğer birçok sanayide yaygın bir kullanım alanı göstermektedir. Al-Mg alaşımlarının üstün korozyon dayanımı özelliklerinden dolayı hem otomotiv hemde denizcilik endüstrisinde bir çok yapısal uygulamada kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında Al 5754 serisi alüminyum alaşımı plaka malzemelerin birleştirilmesi üzerine farklı ön yüzey işlem teknolojileri ile yapışma dayanımını artırıcı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ön yüzey hazırlama, temizleme ve yüzey modifikasyonu işlemleri arasında plazma ile yüzey aktivasyonu son yıllarda hızla yaygınlaşan bir teknoloji olup, yapışma özelliklerini etkin bir şekilde iyileştirmekte kullanılmaktadır. Yüzeylerin ıslatma açısı plazma etkisi ile değiştirebilir, böylelikle çevreci, hızlı ve malzeme yüzeyinde zarar vermeyen bir yapışma iyileştirici yöntemi olarak kullanılabilir. Al alaşımı çifti arasına epoksi bazlı yapıştırıcı kullanarak farklı ön yüzey işlem yöntemleri sonrasında yapıştırılmış ve yapışma dayanımları ASTM D 1002 standardlarında ölçülmüştür. Alüminyum alaşımı yüzeylerine çok çeşitli ön yüzey işlemleri ve kaplamalar (kumlama, zımpara, plazma işlemi, eloksal ve akımsız nikel kaplama) uygulanmıştır. Pürüzlülük ve yüzey enerjisi artışının yapışma kuvvetine önemli ölçüde etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Plazma yüzey aktivasyonunun yapışma mukavemetini % 15 oranında artırdığı ve yapıştırıcı kullanımını azalttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, yapışma, yüzey işlem, pürüzlülük, plazma aktivasyonu

IMPROVEMENT OF THE ADHESION PROPERTIES OF 5754 ALUMINUM ALLOY PAIRS BY PLASMA SURFACE TREATMENTS

SUMMARY

As an alternative to joining methods using welding or connecting materials, bonding methods offer many opportunities such as lightness, design flexibility and practical application advantage. It provides many advantages in combining different material pairs. These applications are widely used in automotive, aviation, ship, space and many other industries. Due to the superior corrosion resistance properties of Al-Mg alloys, they are used in many structural applications in both the automotive and marine industries. In this thesis, experimental studies were carried out to increase the adhesion strength with different front surface treatment technologies on the joining of Al 5754 series aluminum alloy plate materials. Surface activation with plasma is a technology that has become widespread in recent years, among the pre-preparation, cleaning and surface modification processes, and it is used to effectively improve adhesion properties. The wetting angle of the surfaces can be changed by the plasma effect, so it can be used as an environmentally friendly, fast and non-damaging adhesion improving method on the material surface. Using epoxy-based adhesive between the pairs of Al alloys, they were bonded after different pre-treatment methods and their adhesion strength was measured in ASTM D 1002 standards. A wide variety of front surface treatments and coatings (sandblasting, sanding, plasma treatment, anodizing and electroless nickel plating) have been applied to aluminum alloy surfaces. It has been observed that the increase in roughness and surface energy has a significant effect on the adhesion strength. It has been determined that plasma surface activation increases the adhesion strength by 15% and reduces the use of adhesive.

Keywords: Aluminum, adhesion, surface treatment, roughness, plasma activation

BÖLÜM 1. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum alaşımları, endüstrinin birçok farklı alanlarında özellikle de havacılık sanayinde; döküm, sac, plaka, boru gibi birçok formda üretilerek, kullanılmaktadır. Bu alaşımların avantajları; hafif olmaları, yüksek korozyon direncine sahip olmaları, çok iyi termal direnç ve iyi elektrik iletkenliğine sahip olmalarıdır. Belirtilen faktörlerin yanı sıra bunlara artı olarak bu alaşımların bazılarının sünek bir yapıya sahip olması ve yapısal olarak çeliğe benzer bir tavlama işlemi ile ısıtılarak işlem görüyor olabilmeleri oldukça iyi bir avantaj olmaktadır. Bu durum çeşitli uçak ve füze parçalarının alüminyum alaşımlarından imal edilmesini cazip hale getirmektedir. Alüminyum alaşımlı levhalar, yüksek mukavemet, korozyon direnci ve kaynaklanabilirlik gibi mükemmel özelliklerinden dolayı; otomobil, gemi yapımı ve havacılık endüstrilerinde çelik levhalar ve fiber takviyeli plastik panellerin yerine kullanılmaktadır. Aynı zamanda otomotiv sektöründe de hafif araçlar, araç performansından, konforundan ve pazarlanabilirliğinden ödün vermeden çevresel etkiyi en aza indirme ve yakıt ekonomisini en üst düzeye çıkarma konusundaki endişelerin artması nedeniyle otomobil üreticileri için önemli bir hedef haline gelmiştir. Alüminyum endüstrisindeki gelişmeler neticesinde çeşitli alaşım elementleri eklenerek alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, bu alaşımların otomotiv ve havacılık endüstrilerindeki uygulama alanını artırmıştır [1]. Otomotiv ve havacılık endüstrilerinde hafif yapısal metallere yönelik artan ihtiyacı karşılamak için alüminyum alaşımının kullanımına yönelik artan talepler oldukça artmaktadır [1-3].

1.1 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımlarını tanımlamak için kullanılan mevcut sistem, dört basamaklı tanımlama sistemidir. Her tip için ana alaşım elemanı ilk hane ile belirtilir, yani 1xxx minimum % 99.00 alüminyum; 2xxxx, bakırın ana alaşım elementi olduğunu

göstermektedir. 3xxx için mangan, 4xxx için silisyum, 5xxx serisi için magnezyum elementi olduğunu göstermektedir. 6xxx serisi Al-Mg-Si alaşımlarında bulunan alüminyum alaşımı, zorlu yapısal uygulamalar için kullanılan ana ilave elementler olarak magnezyum ve silisyum içermektedir. 7xxx serisi Al-Zn-Mg-Cu elementleri içerir bu alüminyum alaşımların yüksek mukavemetlidir ve büyük ölçüde ihtiyaç duyulmaktadır. 8xxx serisi Al-Li-Cu-Mg alaşım elementi içermektedir [1-4]. Tablo 1.1’de alüminyum serileri ve alaşım elementleri gösterilmektedir.

Tablo 1.1: Alüminyum serileri ve alaşım elementleri [4].

Seri tanımı	Alaşım Elementleri
1XXX	Al
2XXX	Al-Cu
3XXX	Al-Mn
4XXX	Al-Si
5XXX	Al-Mg
6XXX	Al-Mg-Si
7XXX	Al-Zn-Mg
8XXX	Al-Li-Cu-Mg

1.2 Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri

1.2.1 Al 1XXX serisi özellikleri

Bu serideki bileşimler, düşük mukavemete sahiptir. Bununla birlikte, son derece yüksek süneklik ve şekillendirilebilirlik özelliğine sahiptirler ve bu nedenle kolaylıkla işlenebilir veya imal edilebilmektedirler. 1xxx serisi alüminyumlar ayrıca son derece yüksek elektrik iletkenliğine ve her türlü korozif ortama karşı dirence sahiptirler. Farklı uygulamalar ile birleştirilerek sanayi uygulamalarında kullanılabilmektedirler [5].

1.2.2 Al 2XXX serisi özellikleri

Bu serinin ana alaşım elementi olarak bakır kullanılmaktadır. Bakır, çökelme sertleşmesi kabiliyeti sağladığı için nispeten yüksek mukavemet sağlar. Birçok ticari alüminyum alaşımı %1 ila 10'luk konsantrasyonlarda ana alaşım elementi olarak bakır içerir. Bu

alaşımlar oda sıcaklığında yaşlandığından, doğal olarak çözelti ısıl işleminden bittikten hemen sonra metalin gerekli herhangi bir şekilde işlenmesi veya şekillendirmesine avantaj sağlamaktadır. Tamamen sertleştirilmiş (yaşlandırılmış) durumda, 2xxx serisi alaşımları genellikle diğer alaşımlardan daha düşük sünekliğe sahiptir ve atmosferik korozyona karşı dirençleri saf alüminyum veya ısıl işlem görmeyen alüminyum alaşımları kadar iyi değildir. Son yıllarda, yeni alüminyum alaşım türleri, özellikle alüminyum-lityum alaşımı, geleneksel 2024 alüminyum alaşımından daha mükemmel hasar toleransı sergilemektedir. Alüminyum-lityum alaşımının daha düşük yoğunluk, daha iyi mukavemet ve daha yüksek sertlik dahil çekici performansı, havacılık endüstrisindeki geniş uygulamalarını kolaylaştırmaktadır [5].

1.2.3 Al 3XXX serisi özellikleri

Bu serinin ana alaşım elementi olarak mangan kullanılmaktadır. Bu serideki alaşımlar yük altında sertleştiğinde bile sadece az bir mukavemet artışı sağlamaktadır. Ancak nispeten yüksek şekillendirilebilirlik ve süneklik ve neredeyse tüm ortamlarda korozyona karşı çok yüksek direnç sağlar. 3xxx serisinin alaşımları kolayca kaynaklanabilir ve lehimleme uygulamaları için en iyi alaşımlardan birisidir. Ticari, alüminyum mangan alaşımları % 1.2' ye kadar mangan içerir, ancak manganın, mukavemeti arttırmak için diğer serilerin alaşımlarında ek bir alaşım elementi olarak yaygın kullanıldığını belirtmek uygundur [5].

1.2.4 Al 4XXX serisi özellikleri

Bu serinin ana alaşım elementi olarak silisyum kullanılmaktadır. Bu seride iki tip silisyum içeren alüminyum alaşım vardır: İlki tek başına silisyum içeren alaşımlardır. Bu alaşımlar mukavemeti çok yüksek olmayan, ancak mükemmel döküm ve yüzey özellikleri ve son işlem gerektirmeyen alaşımlardır. Bir diğeri ise alaşım elementi olarak bakır ve / veya magnezyumun yanı sıra silisyum elementi içeren alaşımlardır. Bu alaşımlar, çözelti ısıl işlemi ve yaşlanma ile mukavemet kazanırlar. 4xxx serisi alaşımları atmosferik korozyona karşı yüksek dirençli değildir ve nemli ortamlarda zamanla “gri” olma eğilimindedir. İlginç bir şekilde, bu karakteristik özelliği çeşitli zengin gri tonları elde etmek için eloksal gibi yüzey işlem tekniklerinden yararlanmak için kullanılmaktadır.

Silisyum çalışma sırasında "akış" karakteristiklerini arttırdığından, pistonlar gibi karmaşık veya ince ayrıntılı dövme parçaları için bazı 4xxx alaşımları örneğin 4032 kullanılmaktadır. 4xxx alaşımları kolayca kaynaklanır ve yüksek akışkanlıklarının bir başka sonucu olarak aslında en yaygın olarak kullanılan kaynak dolgu alaşımlarının bazılarını içermektedir [5].

1.2.5 Al 5XXX serisi özellikleri

Bu serinin ana alaşım elementi olarak magnezyum elementi kullanılmaktadır. Bu seri, ısı işleme görmeyen en yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları arasındadır. Ayrıca bu alaşımlar dayanımı son derece yüksektir. Kırılma esnasında çok fazla enerji absorbe eder ve bu nedenle üstün tokluğun hayati olduğu kritik uygulamalarda kullanılmaktadır. 5xxx serisinin alaşımları ticari uygulamalarda kolayca kaynaklanabilmektedir. Genel olarak, 5xxx alaşımları, şiddetli deniz ortamlarında kullanılabilecekleri kadar atmosferik dirence sahiptir. Deniz suyu korozyonuna karşı mükemmel dirence sahiptir. Bununla birlikte, %3'ten daha fazla magnezyuma sahip alaşımlar, sıcaklığa karşı bir miktar duyarlılık geliştirebileceğinden, yüksek sıcaklığa önemli ölçüde maruz kalılabileceği servis sıcaklıkları için önerilmez. Bu tip uygulamalar için, daha az magnezyum içeren 5052, 5454 ve 5754 gibi alaşımlar tavsiye edilmektedir [5].

1.2.6 Al 6XXX serisi özellikleri

Bu serinin ana alaşım elementi olarak magnezyum ve silisyum elementleri kullanılmaktadır. Hem magnezyum hem de silisyum beraber mevcut olduğunda; alüminyum, magnezyum, silisyum sisteminin Mg_2Si fazı ile yarı ikili bir faz oluşturur ve bu da mükemmel çökeltme sertleştirme kabiliyeti sağlar. Bu, genellikle mükemmel korozyon direnci ile birlikte ısıyla işlenemeyen alaşımlara göre, mümkün olandan daha yüksek mukavemet sağlamaktadır. 6xxx tipi alaşımlar, ekstrüde edilmesi en kolay alüminyum alaşımları arasındadır ve bu nedenle, bu şekilde üretilen karmaşık (örneğin, çok oyuklu veya kanatlı) şekiller için yaygın olarak kullanılır. Ek olarak, neredeyse tüm ticari süreçlerde kolayca birleştirilirler. 2xxx serisinde olduğu gibi, çökeltme sertleşmesi ısı işleminde hemen sonra bazı doğal yaşlanma başlar, bu nedenle şekillendirme işlemleri malzeme ergitildikten hemen sonra planlanmalıdır [5].

1.2.7 Al 7XXX serisi özellikleri

Bu serinin ana alaşımlar elementleri olarak çinko elementleri kullanılmaktadır. Çinko içeren alüminyum alaşımları, özellikle bakır ve magnezyum ile birleştirildiğinde, herhangi bir ticari serinin en yüksek mukavemetini sağlar. Bu seri alaşımları, diğer alüminyum alaşımlarına kıyasla nispeten daha zayıf atmosferik korozyon direncine sahiptir. Diğer alüminyum alaşımlarına göre daha az sertliktedir ve gerilme altında çatlama direnci daha düşüktür. Bu problemler için özel yöntemler geliştirilmiştir ve özellikle bu alaşımlar yük altında kullanıldığında kısa süreli enine gerilmelere maruz kaldığında önem taşımaktadır. 2xxx ve 6xxx serilerinde olduğu gibi, 7xxx alaşımları ısıtıl işleminden sonra doğal olarak yaşlanır, bu nedenle şekil verme işlemlerinin hızlı programlanması önemlidir. Yüksek mukavemet ağırlık oranları nedeniyle, dövme alüminyum-çinko-magnezyum-bakır AA7000 serisi alaşımlar, havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımların mukavemeti, çöktürme sertleştirme işlemi ile geliştirilmiştir [5,6].

1.2.8 Al 8XXX serisi özellikleri

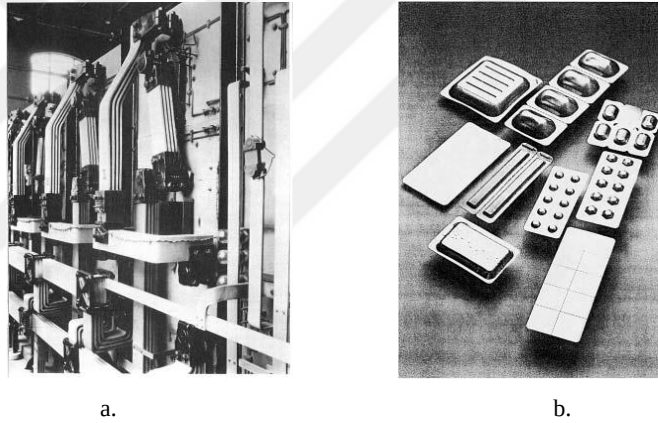
8xxx alüminyum alaşımlarında yeni geliştirilmiş bir alüminyum alaşımdır ve sürünme deformasyonuna karşı iyi direnci, ince termal kararlılığı ve büyük elektrik iletkenliği nedeniyle elektrik uygulamalarında zaten kullanılmaktadır. Üçlü ötektik içeriğin yakınında demir ve mangan içeren AA 8xxx serisinin alüminyum alaşımları, oda sıcaklığında ilginç bir güç ve süneklik kombinasyonu ve yüksek sıcaklıklarda korunan mukavemet ile karakterize edilmektedir [7].

1.2 Alüminyum Alaşımlarının Uygulama Alanları

Otomotiv araçları yakıt tüketimi nedeniyle CO₂ gazı yayar ve bu da çevre kirliliğine yol açmaktadır. Otomotiv araçlarının hafifliği yakıt tüketimini azaltarak CO₂ emisyonlarının azalmasına yardımcı olmaktadır. Alüminyum alaşımlarının yüksek bükülme özelliği ve mukavemet / ağırlık oranı, önemli bir konu olan korozyon direnci ile birleştiğinde, otomotiv endüstrisindeki ağır çelik muadillerinin yerine almak için ideal adaylar olarak belirlenmiştir. Son yirmi yılda, yakıt tüketimi, gaz emisyonları ve ürün geri dönüştürülebilirliği konusundaki artan sıkı düzenlemeler, otomotiv endüstrisinin

dikkatini, otomobil gövdesinin hafif yapı sac parçalarının ve gövde içi malzemelerin imalatı için yüksek mukavemetli alüminyum alaşımların kullanımına odaklamıştır. Alüminyum alaşımları çelikler, plastikler ve kompozitler gibi diğer malzemelerden güçlü bir rekabet almaktadır ve yenilikçi hafif bir malzeme olarak ortaya çıkmıştır [8-10.].

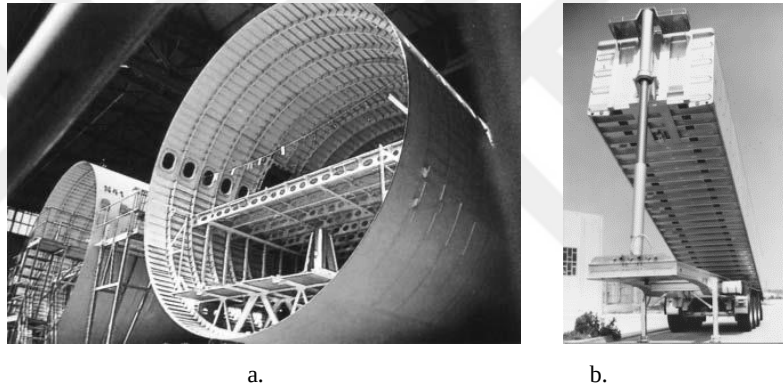
1xxx serisinin birincil kullanımları, aşırı yüksek korozyon direnci ve şekillendirilebilirlik kombinasyonunun gerekli olduğu uygulama alanlarıdır. (örneğin, ambalajlama için folyo ve şerit, kimyasal ekipman, tank arabası veya kamyon gövdeleri, bükülmüş içi boş aletler ve ayrıntılı sac metal işleri). Elektriksel uygulamalar, başta 1350 olmak üzere 1xxx serisinin en önemli kullanımlarından birisi yüksek elektriksel iletkenliktir. Alüminyumun doğal hafifliğiyle birleştiğinde, elektrik sektöründe bakırdan önemli bir ağırlık avantajı sağlar ve dolayısıyla bu durum da maliyet avantajı anlamına gelmektedir. Şekil 1.3’de saf alüminyumun kullanım alanlarının resimleri görülmektedir [5].



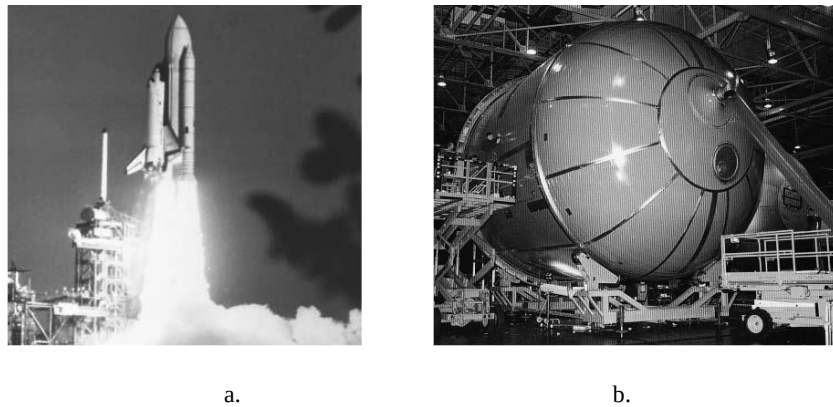
Şekil 1.1: Saf alüminyum; a. 1350 Al ile elektrikli kalıp montajı b. Saf alüminyum ambalaj tepsileri [5].

2XXX serisi ısıtılabilir kabiliyetine sahiptir. Oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet gerekli alanlarda kullanılır. Tipik nihai gerilme mukavemeti aralığı: 190 ila 430 MPa’dır. Genellikle mekanik olarak birleştirilir, ancak bazı alaşımlar kaynaklanabilir özelliktedir. Diğer bazı alüminyum alaşımları kadar atmosferik korozyona karşı dayanıklı değildir. Bu nedenle genellikle ek koruma için boyalı veya kaplanmış olarak kullanılırlar. Birincil Kullanımları; Yüksek mukavemetli 2xxx alaşımları, genellikle cıvatalı veya perçinli yapılarda, uçak örneğin 2024 ve kamyon gövdesi (örn; 2014) uygulamalarında kullanılmaktadır. Serinin belirli alaşımları (örn; 2219 ve 2048) gaz metal ark kaynağı (GMAW) veya gaz tungsten ark kaynağı (GTAW) ile kolaylıkla birleştirilir ve bu nedenle bu yöntemin tercih edilen bir birleştirme yöntemi

olduğu için havacılık uygulamalarında kullanılmaktadır. 2195 alaşımı, uzay uygulamaları için 2219 alaşımı kadar yüksek mukavemet ve kaynaklanabilirlik ile birlikte çok yüksek elastikiyet modülü sağlayan yeni bir lityum alaşım elementi içeren alüminyum alaşımıdır. Çok yüksek mukavemet artı yüksek kırılma tokluğu gerektiren uygulamalar için, hepsi özel olarak geliştirilmiş, ani kırılmaya karşı direnci azaltabilecek safsızlıklar üzerinde daha sıkı kontrole sahip olan bazı alaşımların (örneğin, 2124, 2324 ve 2419) yüksek tokluk versiyonları vardır. Bu durum uçak endüstrisi için kullanım alanı sağlamaktadır. Alaşımlar 2011, 2017 ve 2117, bağlantı elemanları ve vida makinesi stoğu için yaygın olarak kullanılmaktadır. 2xxx serisi alaşımlar için uygulamaların örnekleri arasında uçak iç ve dış yapıları , ağır damperli ve tank kamyonların ve treylerlerin yapısal kirişleri, yakıt tankları ve uzay mekiğinin güçlendirici roketleri ve iç demiryolu vagonu yapısal elemanları mevcuttur [5]. Bu kullanım alanları Şekil 1.4 ve şekil 1.5’de görülmektedir.



Şekil 1.4: a. Uçak iç yapısı ekstrüzyonları b. Ağır dökümü ve tank kamyon ve treyler kamyon yapısal üyeleri [5].



Şekil 1.2: a. Uzay mekiğinin güçlendirici roketleri b. Uzay mekiği yakıt tankları 2219 ve 2419 alaşımları [5].

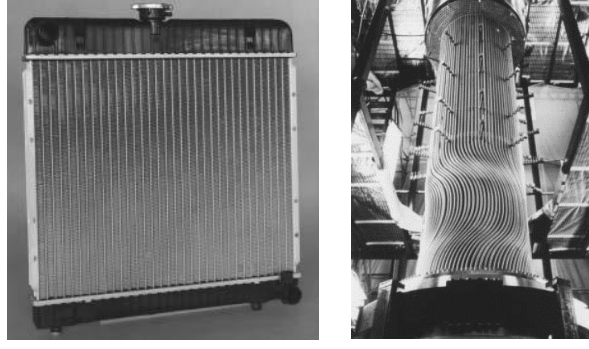
Standart alüminyum döküm alaşımlarının yanı sıra, örneğin motor piston kafaları, entegre motor blokları veya rulmanlar için belirli bileşenler için özel alaşımlar vardır. Bu

uygulamalar için, seçilen alaşım iyi aşınma direncine ve düşük sürtünme katsayısına ve ayrıca yükseltilmiş servis sıcaklıklarında yeterli mukavemete ihtiyaç duymaktadır. Buna iyi bir örnek, bugüne kadar yaklaşık 200 °C'de en yüksek mukavemete sahip alüminyum döküm alaşımı olan alaşım 2030 alaşımıdır. 2xxx alaşımları için bir uygulama örneği, yüksek mukavemetli alaşım 2010-T6 alaşımlarında yapılan bir hava taşıtı bileşenidir. Şekil 1.3'de gösterilmiştir [5].



Şekil 1.3 Yüksek mukavemetli dökme alüminyumdan yapılmış uçak bileşenleri [5].

3xxx serisi alüminyum alaşımları orta dayanımlı, yüksek şekillendirilebilirlik ve korozyon direncinin olduğu yerlerde kullanılır. Gerilme mukavemeti aralığı: 110 ila 285 MPa'dır. Tüm ticari prosedürlerde kolayca üretilebilir ve kullanılabilir. 3xxx serisi alaşımların birincil kullanım alanları zorlanabilir, mükemmel korozyon direncine sahiptir ve kolayca kaynaklanır. Aynı zamanda lehimlenebilir uygulamalardır. Alüminyum 3003, birçok gıda ve kimyasalın işlenmesinde üstünlüğü nedeniyle mutfak aletleri ve kimyasal ekipmanlarda ve üstün korozyon direnci nedeniyle inşaat sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. Alaşım 3105, çatı ve cephe kaplaması için kullanılan bir alaşımlardır. Birleştirme kolaylığı ve esnekliği nedeniyle, 3003 ve 3xxx serisinin diğer serileri, taşıtlarda ve enerji santrallerinde ısı eşanjörleri için levha ve boru şeklinde formda yaygın olarak kullanılmaktadır. Alaşım 3004 ve modifikasyonu 3104, bira ve alkolsüz içeceklerin içecek kutuları için çekilmiş ve preslenmiş kutu gövdelerinin imalatında kullanılır. Bu da onu endüstrideki en büyük hacimli alaşım kombinasyonu haline getirmektedir. 3xxx alaşım serisinin tipik uygulamaları, otomotiv radyatör ısı eşanjörlerini ve ticari enerji santral ısı eşanjörlerindeki boruları içermektedir [5]. Şekil 1.4 ve şekil 1.5'de alüminyum 3xxx serisinin kullanım alanları örnekleri görülmektedir.



a.

b.

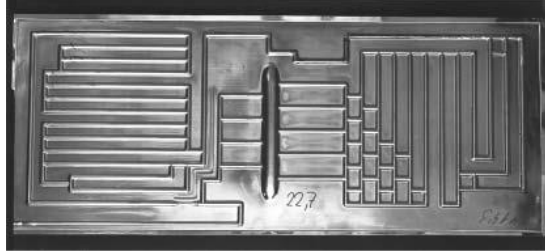
Şekil 1.4: a. Otomotiv radyatör ısı eşanjörleri b. Ticari santral ısı eşanjöründe alaşım 3003 boru [5].



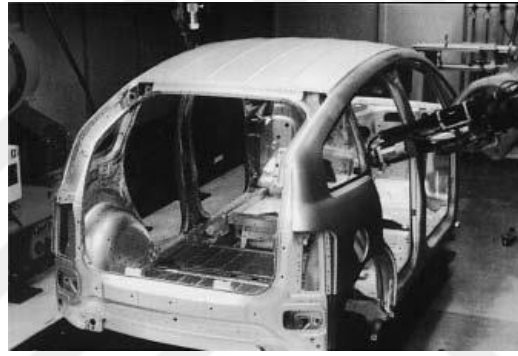
Şekil 1.5: İçecek kutuları gövdeleri 3004 veya 3104 alaşımları [5].

4xxx serisi orta mukavemetli bir alüminyum alaşımı serisidir. Gerilme mukavemeti aralığı: 175 ila 380 MPa'dır. Kolayca lehimlenmektedir. Bu alanlarda kullanımı yaygındır. Birincil kullanım alanları; 4xxx serisinin nispeten yüksek silisyum elementi içerdiği için mükemmel akış özelliği mevcuttur. Bu alaşım serisi ile üretilen iki ana kullanım alanı vardır. Birincisi dövme prosesleri içindir: Fazla iş yükü altında çalışan alaşım serisi dövme uçak pistonları gibi uygulamalarda kullanılan orta yüksek mukavemetli, ısıya karşı mukavemetli işlenebilir bir alaşım olan 4032'dir. İkinci büyük uygulama alanı ise iyi bir kaynak dolgu alaşımı olmalarıdır. Arabaların gücü, yapısal ve otomotiv uygulamaları için GMAW and GTAW 6xxx alaşımları için kullanılan alüminyum alaşımı 4043'tür. Yüksek silisyum içeriği tarafından sağlanan iyi akış her iki uygulamada da kullanım avantajına sebep olur. Dövme işlemi durumunda, bu iyi akış karmaşık kalıpların tam ve hassas bir şekilde doldurulmasını sağlar; kaynak durumunda birleştirilecek elemanlardaki olukların tamamen doldurulmasını sağlamaktadır. Aynı nedenden ötürü, 4xxx alaşımlarının diğer varyasyonları, bağı tamamlamak için akan bileşen olan sert lehim sacındaki kaplama için kullanılmaktadır. Yüksek silisyum sert

lehimleme alaşım tabakasının lehimli bir birimindeki bir soğutucu soğutucu sirkulasyon sistemini gostermektedir. Alaşım 4043, otomatik gövde yapısının otomatik kaynağı gibi uygulamalarda kullanılan en yaygın kullanılan kaynak tellerinden biridir [5]. Al 4xxx serisi için kullanım alanı örnekleri şekil 1.6 ve şekik 1.7’ de sunulmaktadır.



şekil 1.6: Al 4xxx serisi buzdolabı soğutma sıvısı sirkulasyon sistemi [5].



şekil 1.7: Alaşım 4043 serisi, otomatik gövde yapısı [5].

5xxx serisi mkemmek korozyon direnci, tokluk, kaynaklanabilirlik; orta mukavemet özelliği içerir. Bu durum 5xxx serisinin inşaat ve yapı ,otomotiv, havacılık ve denizcilik uygulamalarında kullanım avantajı sağlamaktadır. Temsili alaşımlar: 5052, 5083 ve 5754’dr. Gerilme mukavemeti aralığı: 125-350 MPa’dır. 5xxx serisinin alüminyum magnezyum alaşımları gerinim sertleşebilir ve tuzlu suda bile orta derecede yüksek mukavemete, mkemmek korozyon direncine ve yüksek sıcaklıklarda bile mutlak sıfıra yakın çok yüksek tokluğa sahiptir. Birincil kullanım alanı olarak, 5xxx alaşımları bina ve inşaatta geniş uygulama alanıdır. Bunun yanı sıra köprüler, depolama tankları ve basıncılı kaplar dahil karayolu yapıları; çok düşük taneleme ve -270 C kadar düşük veya mutlak sıfıra yakın sıcaklıklar için sistemler ve denizcilik uygulamalarıdır. Alaşımlar 5052, 5086 ve 5083, gittikçe daha yüksek magnezyum içeriğiyle ilişkili olduğuunda daha yüksek mukavemete sahip olan yapısal açıdan daha fazla korozyon direncine sahiptir. 100C'nin üzerindeki sıcaklıklara sürekli maruz kaldıkları uygulamalarda % 3'ten fazla

Mg içeriğine sahip 5xxx alaşımlarının kullanılmamasına dikkat edilmelidir. 5454 ve 5754 gibi alaşımlar, yüksek sıcaklığa maruz kalmanın muhtemel olduğu uygulamalar için önerilir. Yüksek hızlı, tek gövdeli gemilerde, tekneler, gövde takviyeleri, zemin kaplaması ve üstyapı için 5083-H113 / H321 işlenmiş plaka kullanılır. Tek veya çok gövdeli yüksek hızlı feribotlar, tamamen kaynaklı yapıya sahip plaka olarak birkaç alüminyum-magnezyum alaşımları, 5083, 5383 ve 5454 kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan 5xxx serisi alaşımlar için diğer uygulamalar Şekil 1.8’de görülebilir. Kuzey Norveç’teki Foresmo Köprüsü, yerleşik kiriş sistemleri için alüminyum-magnezyum alaşımlarının kullanımına mükemmel bir örnektir. Alaşım 5083, sıvılaştırılmış doğal gazın gemide taşınması için 32 m (125 ft) çaplı küreler için kullanılan bir alüminyum alaşımı serisidir. Tamamen kaynaklı yapı, yatay çapta 200 mm (8 inç) kalınlığındadır [5]. Yüksek üretim hacimleri ve ekonomik rekabet gücü (pahalı ön işlemlerin olmaması nedeniyle daha düşük malzeme maliyetleri sayesinde), Sıcak Damgalama (HS) teknolojisinin alüminyum 5xxx serisine uygulanabilirliğinin araştırılmasını önermektedir [10]. Şekil 1.8’de bu serinin kullanım alanlarına örnek gösterilmektedir.



Şekil 1.8 : Alüminyum 5xxx serisi kullanım alanları [5].

6xxx serisi alüminyum alaşımlar magnezyum silisyum elementleri içermektedir. Gerilme mukavemeti aralığı: 125-400 MPa’dır. Belirli yöntemleri ile kolayca kaynaklanabilme özelliğine sahiptir. 6xxx alaşımları ısıyla işlenebilir ve mükemmel korozyon direncine sahip orta derecede yüksek mukavemete sahiptir. En yüksek çekme ve basınç gerilmelerini en verimli şekilde kullanıldığı seridir. Bu özellik, sertlik kritikliğinin önemli olduğu mimari ve yapısal elemanlar için önemli bir avantajdır. Birincil kullanım alanı 6063 alaşımı, ekstrüzyon kabiliyeti nedeniyle belki de en yaygın kullanılan seri 6xxx serisidir. Sadece mimari ve yapısal eleman için ilk tercih değil, aynı zamanda otomotiv, uzay çerçeve sektörleri gibi bir çok alanda da tercih edilmektedir. Daha yüksek

mukavemete sahip olan 6061 alaşımları ekstrüzyon ve levha şeklinde, kamyon ve gemi şasilerinde, demiryolu araçları ve boru hatları gibi kaynaklı yapı elemanlarında geniş kullanım alanına sahiptir. Serideki özel alaşımlar arasında: dövme için yüksek mukavemetli 6066-T6; 6xxx ekstrüzyonlarında bulunan en yüksek mukavemet için 6070; ve yüksek mukavemetli elektrik trafolarında ve elektrik iletken teli için sırayla 6101 ve 6201 alaşımları kullanılmaktadır [5]. Şekil 1.9'da ekstrüzyon örnekleri gösterilmektedir. Şekil 1.10'da ise 5xxx serisi ve 6xxx serisi alüminyumun beraber kullanıldığı bir arenin görseli sunulmaktadır.



Şekil 1.9: Alüminyum 6xxx serisi ekstrüzyon örnekleri [5].

Alüminyum 6xxx serisi için diğer en önemli uygulamalardan bazıları, Şekil 1.13'de gösterilen arenalar ve spor salonları için geniş açıklıklı çatı yapılarının yapısal uygulamalarıdır [5].



Şekil 1.10: 5xxx alaşım levha ile kaplanmış genellikle 6063 veya 6061 ekstrüzyon alaşımları kullanılmıştır [5].

AA5xxx ve AA6xxx serisinin, örneğin düşük yoğunluklu ve iyi mukavemeti, korozyon direnci ve kaynaklanabilirliği ve en önemlisi çelik ile karşılaştırıldığında daha düşük maliyet nedeniyle mühendislik özelliklerinden dolayı ve havacılık uygulamaları için en

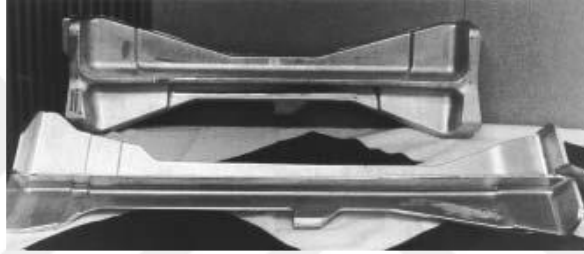
iyi adaylar olan alaşımlar olduklarını kanıtlamışlardır. Bununla birlikte, geleneksel sac metal şekillendirme işlemlerinde olduğu gibi oda sıcaklığında oluşturulduklarında, AA5xxx ve AA6xxx serisi, karmaşık parçaları geometriyle damgalamak için çok düşük şekillendirilebilirlik ve belirgin geri yaylanma sergilemektedir [9]. AW-5xxx ve 6xxx serisi alaşımlar gibi orta mukavemetli alüminyum alaşımları, Avrupa otomobillerinde otomotiv yapısal parçaları ve beyaz gövde (BIW) parçaları için yaygın ve kanıtlanmış alaşımlardır. Bununla birlikte, korozyon, Al alaşımı için ne olursa olsun zor bir problemdir. Atmosferik korozyona karşı sınırlı koruma sağlayan, kendiliğinden oluşan bir pasif tabakanın varlığı agresif ortamda Al alaşımlarının korozyon direncini artırmak için, nadir elementler ekleyerek yeni alaşımlar geliştirilebilmekte yüzey dönüşüm kaplamaları yapılabilmektedir. 6xxx serisi Al bu kaplama türleri için uygun bir alaşım türüdür [9,10].

7xxx serisi alüminyum alüminyum çinko alaşımlarıdır. 7xxx'in temel özellikleri ısıtılma işlem kabiliyeti, oldukça yüksek mukavemet, özel yüksek tokluk değerlerine sahip olmasıdır. Gerilme mukavemeti aralığı: 220-610 MPa'dır. Mekanik olarak birleştirmede kullanılmaktadır. Yüksek mukavemet / ağırlık oranları nedeniyle, işlenmiş alüminyum çinko magnezyum bakır 7xxxx serisi alaşımları havacılık ve uzay endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. 7xxx alaşımları ısıyla işlenebilir ve özellikle alüminyum çinko magnezyum bakır versiyonları arasında tüm alüminyum alaşımlarının en yüksek mukavemetine sahiptirler. Birincil kullanım alanı ve tarihsel olarak en geniş uygulaması, kırılma kritik tasarım konseptlerinin yüksek tokluğa sahip alaşım gelişimi için itici güç sağladığı uçak endüstrisinde olmuştur. Seride, özellikle 7150, 7175 ve 7475 gibi yüksek toklukları için üretilen birkaç alaşım vardır; bu alaşımlar için, özellikle demir ve silisyum gibi kontrollü safsızlık seviyeleri, mukavemet ve kırılma tokluğu kombinasyonunu en üst düzeye çıkarmaktadır. 7xxx alaşımlarının atmosferik korozyon direnci, 5xxx ve 6xxx alaşımlarının atmosferik korozyon direnci kadar yüksek değildir. Bu nedenle bu tür kullanımlarda genellikle kaplama işlemine tabi tutulmaktadır. Mukavemet arttırmak amacıyla özel temperleme uygulamaları kullanılır. Temperleme sonrasında özellikle atmosferik veya daha şiddetli ortamlara maruz kalma sırasında yüksek kısa enine (kalınlık boyunca) streslerin olabileceği durumlarda kullanılması önerilmektedir. 7xxx alaşımlarının uygulamaları arasında, entegre olarak sertleştirilmiş alüminyum ekstrüzyonların Şekil 1.11'de kritik uçak kanadı yapıları, uzun boylu sondaj borusu şekil

1.12’de gösterilen alaşım 7175-T736 (T74) 'un uçak kısmında kullanılmaktadır. Sertleştirilmiş ekstrüzyon yapısı; alaşım 7075-T73 veya 7050 veya 7475 gibi yüksek tokluklu alaşımlar temel seçenekler arasındadır [5,6].



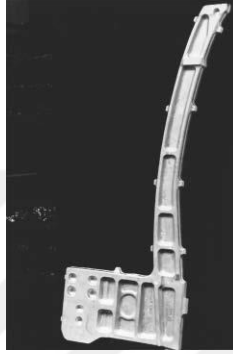
şekil 1.11: Uçak kanadı yapıları genellikle 7xxx alaşımlı levha rneği [5].



şekil 1.12: 7175-T736 alaşımının premium dövme uçak parçası rneği [5].

8xxx serisi alaşımlara ısıl işlem yapılabilme özelliği vardır. Yüksek iletkenlik, mukavemet ve sertlik gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Gerilme mukavemeti aralığı: 120-240 MPa’dır. 8xxx serisi, demir, nikel ve lityum gibi daha az kullanılan alaşım elementlerine sahip alaşımlar için kullanılır. Birincil kullanım alanı demir ve nikel, elektrik iletkenliğinde az kayıpla g sağlayan ve iletkenlik için 8017 alaşımı ile türevleri kullanılmaktadır. 8090 alaşımındaki lityum, son derece yüksek mukavemet ve modül sağlar ve bu alaşım, yüksek mukavemet ile birleştirilen sertlikte artışların bileşen ağırlığını azalttığı havacılık uygulamaları için kullanılır. Alüminyum lityum alaşım 8090-T852'nin dövme helikopter bileşeni şekil 1.13’de görülmektedir [5]. Ticari olarak 8xxx serisi alüminyum ambalaj uygulamaları için uygun bir seridir. Çünkü şekillendirilebilirlik, yumuşama davranışı, mukavemet ve süneklik dahil olmak üzere çeşitli temel malzeme özellikler alaşım elementlerinden ya katı çözelti halinde ya da keltirilmiş biçimde, malzemelerin mikro kimyasından etkilenmektedir [11]. Al 8030 alaşımı sürünme deformasyonuna karşı direnci, iyi elektrik iletkenliği nedeniyle elektrik ana sanayisinde kullanılmaktadır [7]. Ayrıca Al-Li alaşımı , diğer benzer alüminyum

alaşımlarına kıyasla yüksek mukavemete, iyi kırılma tokluğuna ve iyi korozyon direncine sahip yeni bir alüminyum alaşımı türüdür ve özellikle havacılık endüstrisinde kullanılmaktadır. Geleneksel alüminyum alaşım kombinasyonları genellikle perçinleme, cıvatalama ve malzemenin birlikte kaynaklanmasını içerir; ancak perçinler ve cıvatalar ekipmana ekstra ağırlık katarak hafiflik gereksinimlerine aykırıdır ve kaynak işlemleri malzemede kolayca deformasyon ve çatlaklar oluşturabilir [12]. Şekil 1.14’de alüminyum farklı formlarına örnekler görülmektedir.



Şekil 1.13: Alüminyum-lityum alaşım 8090- dövme helikopter bileşeni T852 [5].



Şekil 1.14: Alüminyum ürünler: külçe, kanca, levha, kütük, Al potaları [5].

Şu anda, otomotiv, denizcilik, uzay, yapı ve havacılık endüstrileri dahil olmak üzere birçok endüstriyel sektörde, hafif malzeme olarak alüminyumun önemli bir kullanımı vardır ve bu da sonunda maliyet tasarrufu ve düşük yakıt tüketimi ile sonuçlanmaktadır. Alüminyum ve alaşımları, yüksek özgül mukavemete, iyi işlenebilirliğe ve şekillendirilebilirliğe ve korozyon direncine sahiptir, ancak bunların zayıf yapışma özellikleri, düşük sertlik, düşük aşınma direnci ve yağlama zorluğu gibi bazı önemli dezavantajları, ticari amaçlı kapsamlı uygulamalarını sınırlamaktadır. Çok sık olarak,

istenen bir alüminyum yapı kaynaklama, perçinleme veya sert lehimleme yerine yapıştırma ile imal edilir. Bu bağlamda alüminyum alaşımlarının yapıştırma veya boyama öncesinde ön işleminden geçirilmesi çok önemli bir faktördür [13].

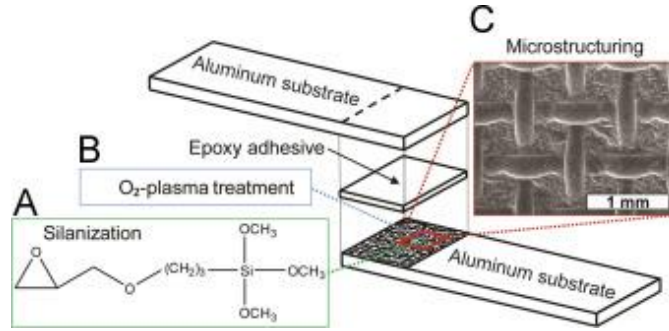
Çelikten sonra, alüminyum en çok üretilen metaldir ve en çok üretilen demir dışı metaldir ve diğer tüm demir dışı metallerin birleşiminden daha yüksek bir hacimde üretilir. Alüminyum, özellikle havacılık ve otomotiv endüstrilerinde çelik bileşenlerin yerine kullanılmaktadır. Yumuşak çeliğin, yüksek mukavemetli çeliğin ve dökme demirin yerini alan her bir kilogram alüminyum için 13–20 kg GHG emisyonunu önlediği bildirilmektedir. Bina, ambalaj, otomotiv, havacılık ve elektrik dağıtım endüstrilerindeki yaygın kullanım ve göreceli değeri, en çok geri dönüştürülen mallardan biri olduğu anlamına geliyor. Alüminyum Derneği'ne göre, bina ve otomotiv parçalarındaki alüminyumun % 90'ı kullanım ömrü sonunda geri dönüştürülmektedir. Dahası, tarihsel olarak üretilen alüminyumun % 75'i bugün hala dögüsel olarak dolaşmaktadır [14].

Alüminyumun bu denli önemli bir yapısal metalik malzeme olması sonucunda bazı çalışmalar alüminyum-alüminyum yapıştırma işlemi kullanılarak birleştirme tekniklerine yoğunlaşılmasına neden olmuştur. Bu konu ile ilgili bir çok çalışma yapılmıştır ve bu çalışmalarda alüminyum alaşımlarının yapışma öncesi ön işlem uygulamaları ve alüminyum yüzey işlemin kritik bir parametre olduğu ile sonuçlanmıştır. Bu nedenle bu tezin ana malzemesi olarak alüminyum 5754 serisi tercih edilmiş ve 2. Bölümde alüminyum alaşımlarına uygulanan yüzey işlem ve yapıştırma öncesi alüminyum yüzey işlemleri incelenmiştir.

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANAN YÜZEY İŞLEMLERİ

Yüzey işlemler, yapıştırıcı kullanarak yapıştırma işlemi uygulanan bağlantıların dayanımını kontrol eden en önemli faktörlerden biridir. Yapıştırıcı yöntemi kullanarak birleştirilecek malzemeler için çok sayıda ön işlem yöntemi mevcuttur. Yapıştırıcı kullanılarak malzemeleri birbirine bağlama tekniği 1940'larda İngiltere'de uçak endüstrisi tarafından tanıtılmıştır. O dönemlerde Adams ve arkadaşları yapışkan bağlantılarla ilgili kısa bir kılavuz yayınlamıştır. Deneyimler ve yapılan çalışmalar, uzun vadeli servis kabiliyetine ulaşmak için yapıştırma öncesi yüzey işleminin göz ardı edilemeyecek en kritik adım olduğunu göstermektedir [15,16].

İlk yapışma mukavemetini ve yapışkan bağlantıların uzun vadeli stabilitesini sağlamak için bir ön gereklilik olarak, özellikle haddelenmiş ve ekstrüde alüminyum alaşımlar için yüzey ön işlemi uzun zamandır uygulanmaktadır. Ön işlem süreçleri, en çok kullanılan yöntemler olarak dört gruba ayrılabilir: Kum püskürtme ve yüzey pürüzlendirme gibi mekanik işlemler; lazer ve plazma tedavisi gibi fiziksel süreçler; kimyasal aşındırma ve dönüşüm kaplamalarına dayalı kimyasal işlemler; ve anadizasyon gibi kaplama yöntemlerini kapsayan elektrokimyasal süreçleri oluşturmaktadır. Genellikle, mekanik işlem ile kimyasal veya elektrokimyasal işlemin kombinasyonu pratikte benimsenmektedir. Geleneksel olarak, uzun vadeli performansı iyileştirmek için havacılık endüstrisinde kimyasal ve elektrokimyasal ön işlem prosesleri geliştirilmiştir. Alüminyum alaşımlarının kimyasal olarak işlenmesi, yapışkan ile bağlama için kullanımı kolay ve ekonomik bir işlem olarak benimsenmektedir. Bu nedenle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.1'de alüminyum yüzeyine yapılan yüzey işlemlerin alüminyum altlık malzemesinin ve epoksi yapıştırıcı arasındaki yapışmayı geliştirmek için farklı yaklaşımları gösterilmiştir [17,18].



Şekil 2.1: a. Kimyasal, b. Enerji ve c. Fiziksel alüminyum altlık malzemesinin modifikasyonları [18].

Farklı yüzeyler arasında güçlü ve dayanıklı bir yapışkan bağlantı oluşturmak için yüzey işlemi gereklidir. Yüzey işlemi, yüzey gerilimini arttırmak, yüzey pürüzlülüğünü arttırmak veya yüzeyin kimyasını değiştirmek gibi çeşitli yollarla yapıştırılacak malzemenin yüzeyini değiştirerek yapışma gücünü arttırmaktadır [19]. Alüminyum yüzeyin kimyasal bileşimi, hidrofiliklik, yapışma ve bağ dayanıklılığı dahil olmak üzere malzemenin birçok özelliğini etkiler. Yüzeyin bileşimi ve yapısı, hazırlama işlemine bağlı olarak oldukça değişkendir. Alüminyumun yüzey özelliklerinin anlaşılması, alüminyum malzemelerin özelliklerinin tanımlanması için büyük önem taşımaktadır [20.].

2.1 Alüminyum Alaşımlara Uygulanan Yüzey Kaplama Türleri

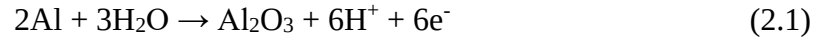
Alüminyum (Al) ve alaşımlarının endüstride yaygın olarak kullanılması için bir çok avantaj vardır. Bununla birlikte, saf Al ve alaşımlarının nispeten düşük sertliği ve aşınma direnci, yüksek sürtünme katsayıları ile birlikte çoğu mühendislik uygulamasında daha geniş kullanımlarını engellemektedir. Bu dezavantajların üstesinden gelmek ve alüminyum malzemelerin hizmet ömrünü uzatmak için kaplama yöntemlerine başvurulmuştur [21].

2.1.1 Eloksal kaplama

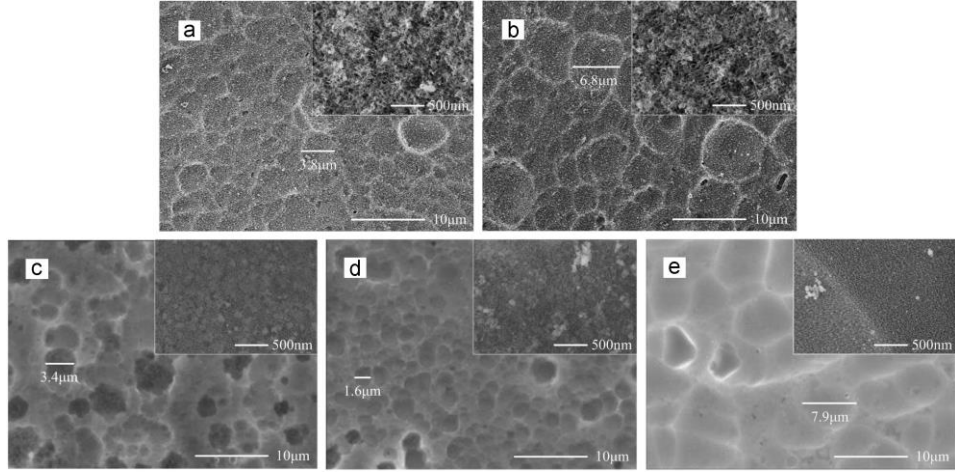
Eloksal işlemi, dekoratif amaçlı veya korozyon ve aşınmaya karşı koruma sağlamak için yaygın olarak kullanılan bir yüzey işlemidir. Eloksal işlemi üretimine odaklanan en yaygın, endüstriyel ve uygun maliyetli yöntemlerden biridir. Anodik alüminyum oksit (AAO) kaplamalar, elektrokimyasal işlem sırasında, optimum akım yoğunluğu veya

voltajı, tipi (oksalik, sülfürik, borik asit vb.), elektrolitin konsantrasyonu ve sıcaklığı gibi uygun anotlama koşulları altında alüminyum oksitine dönüştüğünde oluşmaktadır. Bu kaplama türü, birkaç nanometre kalınlığında kompakt bir katman ve birkaç mikrometre kalınlığında gözenekli bir katman içeren dubleks bir yapıya sahiptir. Gözenekli tabakanın oluşmasının nedeni olan mekanizma, uygulanan elektrik alanının etkisi altında O_2^- ve Al_3^+ iyonlarının difüzyonu ile ilgilidir. İlk önce alüminyumun yüzeyinde ince bir oksit tabakası oluşur. Daha sonra, yüksek potansiyel değer, elektrolitin nüfuz ettiği ve gözenekli tabakanın oluşmasına sebebiyet veren küçük gözenekler oluşturan bir dielektrik kırılmayı teşvik eder. AAO kaplamalar, alüminyum ve alaşımlarının kimyasal, mekanik ve tribolojik özelliklerini iyileştirmek ve boyama işleminden önce boya yapışmasını artırmak için kullanılır. Prensip olarak, elektrolit tipine bağlı olarak iki tip AAO kaplama yapılmaktadır: Bunlar eloksal ve sert eloksaldir. Sert anotlama işlemi, alüminyum alaşımlarının korozyon ve aşınmaya karşı koruma özelliklerini iyileştirmek için en yaygın kullanılan yüzey işlemlerinden biri olmuştur. Sert eloksal kaplamalar yüksek sertlik değerlerine ve düşük aşınma değerlerine sahiptir. Alüminyum alaşımı AA1050, düşük bir intermetalik bileşik içeriğine sahip homojen mikro yapısı nedeniyle anodizasyon amaçları için en çok kullanılan ticari olarak en büyük pastalık dilime sahip alüminyum serisi olmaktadır [21,22]. Yapılan çalışmalarda asitle aşındırmadan sonra alüminyum yüzey yapıştırmadan önce anotlanırsa, korozyon duyarlılığı azalmıştır. Bu nedenle, düşük maliyet ve yüksek stabilite avantajları ile anotlama yoluyla iyi bir yapışma özelliği elde edilebilir. Yiwei Xu ve arkadaşlarının (2016) eloksal tekniğine dayalı olarak alüminyum alaşımlı levha ve epoksi arasındaki yapışma performansının iyileştirilmesi çalışmalarında; alüminyum alaşımlı levha ile fiber metal laminatların epoksisi arasındaki yapışma performansını incelediklerinde anotlama tekniğine dayalı olarak geliştirilebilir sonucunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca alüminyum alaşımlarının eloksal kaplanmasında voltaj, sıcaklık ve zaman parametreleri eloksal yapılısını etkilemektedir sonucuna ulaşmışlardır. Eloksalın elektrokimyasal reaksiyonu sırasında alüminyum alaşımlı levha yüzeyinde yoğun bir oksit filmi oluşturur. Gözenekli oksidin büyümesi birkaç aşamadan oluşur. Bir anodik voltaj uygulandığında, alüminyum alaşımlı levhanın yüzeyinde bir bariyer alümina tabakası oluşur. Daha sonra oksit / elektrolit arayüzünde küçük çatlaklar belirir ve gözeneklere doğru genişler. İşlem, harici bir elektrik alanı tarafından

yönlendirilen oksit film büyümesini ve çözünmesini içerir; Denklem (2.1) Denklem (2.2)'de görüldüğü gibi ifade edilebilir.

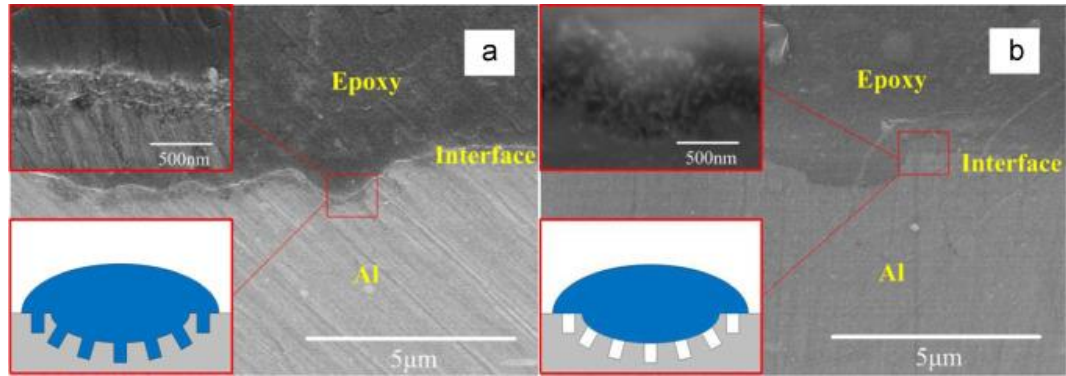


Reaksiyon, sabit bir çözünme hızına ulaşabilir ve bir denge durumuna ulaşır. Bu tür iyi gelişmiş bir gözenek yapısı, metal yüzeye dik bir merkezi gözeneğe sahip yakından paketlenmiş altıgen hücrelerden ve ince kompakt bariyer oksit tabakasından oluşmaktadır [16]. Yiwei Xu (2016) ve arkadaşları eloksal tekniğine dayalı olarak alüminyum alaşımlı levha ve epoksi arasındaki yapışma performansının iyileştirilmesi çalışmasında; ön işlem esas alınarak eloksal yapılmıştır. Yapılan çalışmada eloksallı filmin kalınlığı yaklaşık 550 nm'dir. Farklı ıslatma açılarına sahip beş adet numune üzerinde çalışılmıştır ve yüzey morfolojileri aşağıdaki Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Eloksal işlemi yapılmış alüminyum alaşımlı levhalarda bazı üniform çukurların ve nanometre ölçekli gözeneklerin olduğu açıktır. Epoksi, sızma işlemi sırasında birkaç mikron büyüklüğündeki tek tip çukurlara nüfuz edebilir. Kurlenmeden sonra epoksi ile alt tabaka arasındaki mekanik kenetlenme etkisi, yapışmanın iyileştirilmesi için faydalıdır. Bu arada, nanometre ölçeğindeki gözeneklerin boyutları, yaklaşık on nanometre çapındadır ve anotlama parametrelerine göre değişmektedir. Gözenek boyutunun görünen yüzey üzerinde büyük etkisi vardır. Enerji yani daha küçük gözenek boyutlu yüzey daha yüksek görünür yüzey enerjisine sahiptir. Bu nedenle, gözenek yapısı, epoksinin tabaka yüzeyindeki sızma davranışını ve ıslanma durumunu etkileyerek yapışma özelliğinin değişmesine neden olabilir sonucuna ulaşmışlardır [16]. Şekil 2.2'de eloksal kaplama sonucunda değişen ıslatma açısı görüntüleri mevcuttur.



Şekil 2.2: Yüzey morfolojisi farklı su temas açılarıyla örneklerin : a. 6 °, b. 12 °, c. 22 °, d. 35 °, e. 50 ° [16].

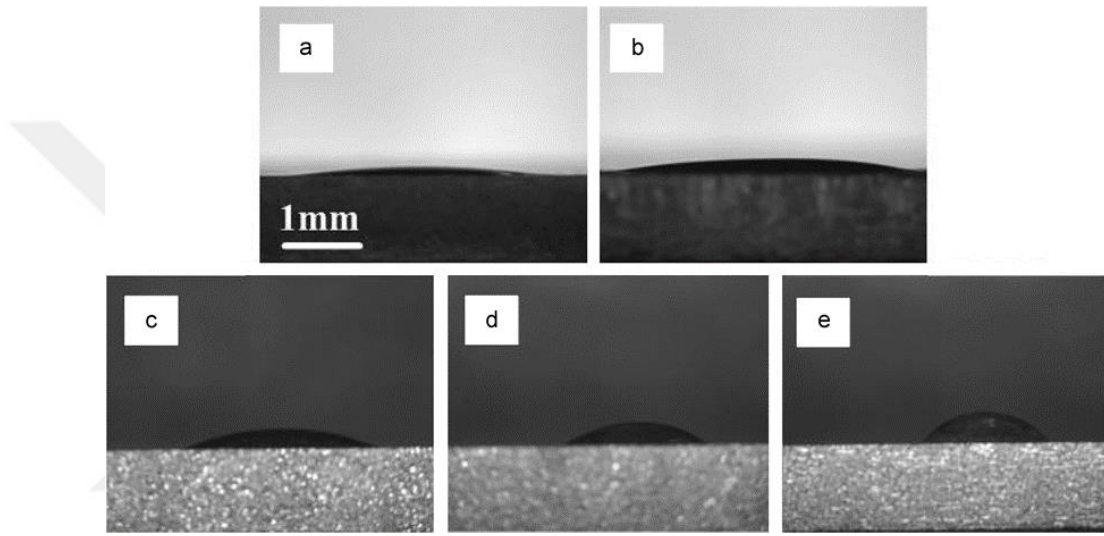
Epoksi ve anodize alüminyum alaşım levha arasındaki arayüzün morfolojileri aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Epoksinin gözenekli alümina yüzeyine infiltrasyonunun iki farklı moda sahip olduğu açıkça görülmektedir. Epoksi infiltrasyonu örnekler 3. 4. ve 5. resim için mod 1'i takip ederken, epoksi infiltrasyonu örnekler 1. ve 2. resim için mod 2'yi izlemektedir. Eloksal sırasında tabakalarda tek tip çukurlar ve nanometre ölçekli gözenekler oluşur. Epoksi çukurlara kolayca sızabilir, ancak her zaman nanometre ölçeğindeki gözeneklere sızamaz çünkü gözeneklerin boyutu ıslatma davranışını etkileyebilir [16]. Şekil 2.3'de epoksinin eloksal kaplanmış numune üzerindeki sızma davranışı görülmektedir.



Şekil 2.3: Epoksi modu infiltrasyonu (sızma) ile ilgili gözenekli alüminyum yüzeyi: a. 1 modu; b. mod 2 [16].

Epoksinin gözlenen sızma sürecini açıklamak için gözeneklerin kılcal ıslanmasına dayalı bir mekanizma uygulanmaktadır. Kapiler kuvvet epoksi deliğe nüfuz için itici güç olarak kabul edilir: Gözenek yüzeyinin kılcal ıslanması iki kritik faktör tarafından kontrol edilebilir: Gözenek çapının gözenek aralığına oranı ve gözenek derinliğinin gözenek

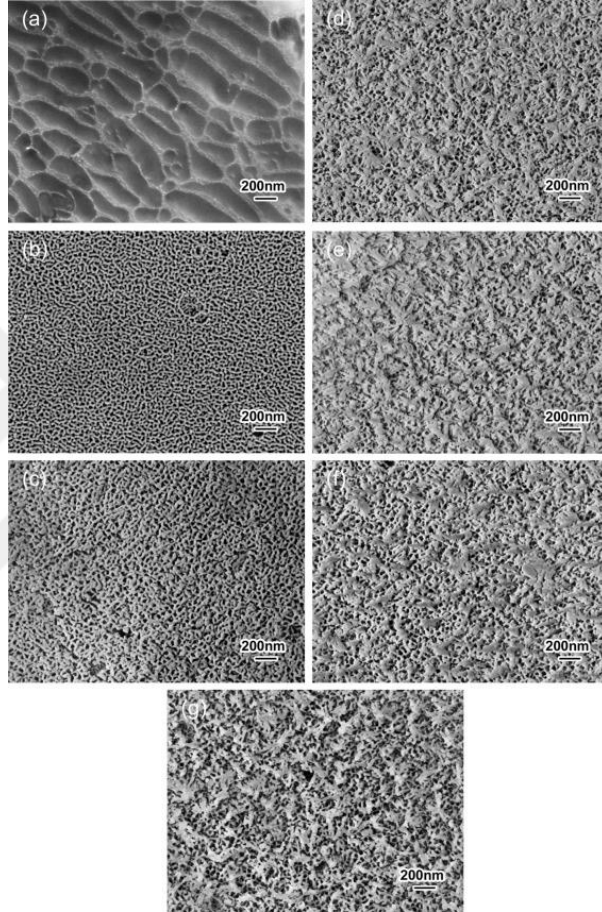
apına oranıdır. Dolayısıyla kılcal ıslatma mekanizması mikro yapıya göre değişmektedir. Epoksi sadece çukurlara sızmakla kalmaz, aynı zamanda kılcal kuvvet altında nanometre ölçeğindeki gözeneklere de nüfuz eder. şekil 2.3’ de yine de, epoksinin nanometre ölçekli gözeneklere 1 ve 2 numaralı numuneler için sızamayacağı açıktır. Gazlar gözeneklerde bulunur ve epoksinin mod 2 şeklinde daha fazla nüfuz etmesini önlemektedir. Eloksal kaplaması yapılmış alüminyum parçalar için oldukça umut verici bir çalışma olmuştur [16]. şekil 2.4’de bu çalışmadaki numunelerin ıslatma açısı görüntüleri mevcuttur.



şekil 2.4: Eloksallı levhalar üzerinde 4 µl su damlacıklarının temas açısı a. 6°, b. 12°, c. 22°, d. 35°, e. 50° [16].

Aynı zamanda bu çalışma ile eloksallı kaplanmış alüminyum levhalar üzerine ıslatma açısının da etkisi incelenmiştir. Eloksal kaplamanın daha düşük su temas açısına sahip hidrofilik yüzey oluşturduğu ve daha yüksek görünür yüzey enerjisine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yukarıdaki şekilde görünür yüzey enerjisinin azalması ile su temas açısı kademeli olarak 0°’den 50°’ye artar. Bu da epoksinin yapışma performansına olumlu etkisini göstermektedir. Eloksal kapmalama ile yüzeyin ıslanabilirliği değiştirilebilir sonucuna ulaşılmıştır [16]. Benzer şekilde, çeşitli anotlama işlemlerinin yapışkan bağlantıların yapışması ve dayanıklılığı üzerindeki etkisini araştırırken, Astrid ve arkadaşları ayrıca farklı anotlama koşulları altında alüminyumun gözenek boyutunun arayüzde hem yapışkanın penetrasyonunu hem de mekanik kenetlenmeyi etkileyebileceği tahmininde bulunmuştur. Yaptıkları alışma ile bunu mekanik kilitleme teorisine bağlamışlardır. Zhou Zhang ve arkadaşlarının (2017) yapmış olduğu çalışmada Eloksal

ön işleminin CFRP'yi alüminyum alaşım A6061'e lazerle birleştirmeye etkisini incelemişlerdir ve bu çalışmada eloksal kaplama yaparken uygulanan sürenin ve kaplama kalınlığının, anotlama süresi, oksit tabakasının morfolojileri ve fiziksel özellikleri üzerinde belirgin bir etki yaratıtığını gözlemişler ve yapıştırıcı bölgelerindeki çekme mukavemetini olumlu yönde etkiler sonucuna ulaşmışlardır [23]. Şekil 2.5'de eloksal kaplama süresinin farklılıkları sonucunda numunenin yüzey görüntüsü görülmektedir.



Şekil 2.5: A6061'in farklı anotlama süresi altında yüzey durumu a. eloksal olmadan, b.5 dakika, c.10 dakika,d.20 dakika, e.30 dakika, f.40 dakika ve g.50 dakika [23].

Eloksal yönteminin parametreleri gözenek çapı, ara mesafe, gözeneklilik, gözenek yoğunluğu ve oksit tabakasının kalınlığı gibi gözenekli anodik alüminanın karakteristik parametreleri, elektrolit tipi, anotlama potansiyeli (potansiyostatik rejimde), akım yoğunluğu (galvanostatik olarak) gibi anotlama koşullarının ayarlanmasıyla kolayca kontrol edilebilir.), işlemin sıcaklığı ve süresini oluşturmaktadır [24]. Eloksal işkeminin malzeme yüzeyinde oluşturduğu kalınlık kimyasal işleme ve kullanılan alaşıma bağlı olarak değişmektedir. Mikronu düşük anodize filmler, AC veya DC ile çalışan bir

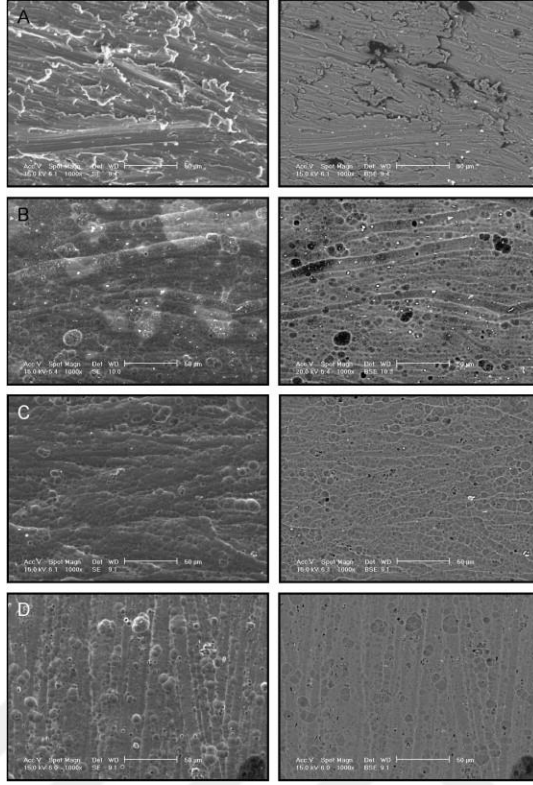
elektrolitik işlem kullanılarak üretilir ve geleneksel kimyasal temizleme ve ön işlem yöntemlerine göre çeşitli avantajlara sahiptir. Tamamen alüminyum oksitten oluşurlar ve bu nedenle krom veya diğer geçiş metali bazlı ön işlemlere çevre dostu bir alternatif sunmaktadırlar. Ek olarak, ince anodize filmlerin kalınlığı ve morfolojisi, değişen hücre voltajı ve uygulanan akım ile yakından kontrol edilebilir. Oluşan oksit film, malzemenin korozyon direncini artıran amorf bir bariyer tabakasından ve yapıştırıcılara, astarlara mükemmel yapışma sağlayan gözenekli bir koruyucu tabakadan oluşmaktadır [25].

2.1.2 Kromatlama ve fosfatlama

Alüminyum yüzeyde organik kaplamaların güvenilir yapışma özelliklerini elde etmek için alüminyum yüzeyde doğal olarak oluşan oksit tabakası kaldırılmalı ve yeni ve korozyona dayanıklı bir oksit tabakası ile değiştirilmelidir. Oksit tabakasını çıkarmak için en başarılı ve yaygın olarak kullanılan yöntem alkali temizlemenin ardından asidik solüsyona daldırmadır. Bunlar; oksit tabakasını, alkali temizleme işlemi sırasında oluşan çözünmeyen oksitleri ve ayrıca metaller arası malzemelerdir. Hughes ve arkadaşları alüminyum alaşımı 2024-T3'ün çeşitli asit kombinasyonlarıyla yüzey işlemini incelemiştir. İşleme çözümlerinin kimyasını değiştirmenin alüminyum özelliklerini önemli ölçüde etkileyebileceğini bulmuşlardır. Bir sonraki adım, alüminyum yüzeyin uygun dönüşüm kaplamalarıyla yüzey işlemedir. Dönüşüm kaplamasının metal alt tabakanın korozyon direncini artırabileceği ve boya yapışmasını artırabileceği bildirilmiştir. Alüminyumun dönüşüm kaplamalarıyla yüzey işleminin organik kaplama yapışma özelliklerini iyileştirmek için başarılı bir yöntem olduğu bulunmuştur. Kromat ve fosfat bazlı dönüşüm kaplamaları, alüminyum ve alaşımlarının yüzey işlemlerinde yaygın olarak kullanılan en popüler kimyasal işlem türüdür. Ancak, bu tür dönüşüm kaplamalarının kullanımı, toksisiteleri ve kanserojen yapıları nedeniyle son yıllarda kademeli olarak azaltılmıştır. Alüminyumun bu dönüşüm kaplamalarıyla yüzey işleminin, akrilik boyanın alaşım yüzeyindeki korozyon davranışının ve yapışma özelliklerinin gelişmesine neden olduğu bulunmuştur [26].

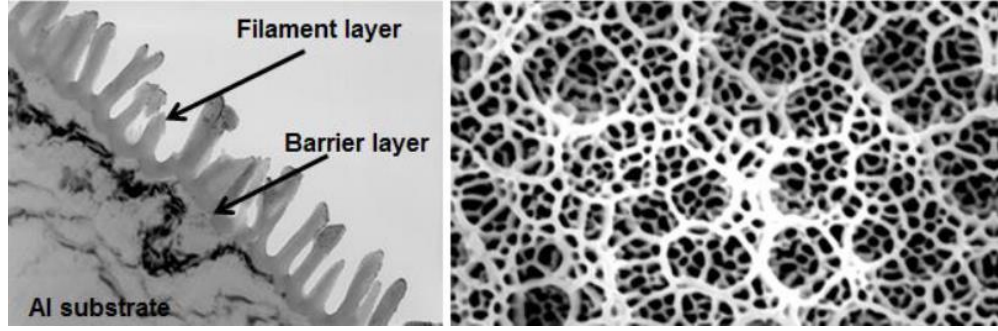
Tamer Sinmazçelik ve arkadaşlarını (2011) Fiber metal laminatlara yapılan yapıştırma türleri ve uygulanan test yöntemleri hakkında bir inceleme yapmışlardır. Bu uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan üç elektrokimyasal işlem fosforik asit

anotlama, kromik asit anotlama ve sülfürik asit anotlamadır. Kromatlama ve fosfatlama işlemleri havacılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Tipik olarak kimyasal işlem, yani asitle dağlama, yağ giderme, alkali temizleme ve elektrokimyasal işlem arasında bir ara üretim aşamasıdır. Asitle aşındırma ile muamele edilen yüzeylerin tutarlı bir şekilde anotlanmış yüzeyler tarafından yapılmadığı bildirilmiştir bu işlemler sonucunda yapıştırıcı ile yapıştırma işleminden olumlu sonuç aldıklarını bildirmektedirler. Alüminyum yüzeyler alkali çözeltiler veya organik çözücüler içinde yağdan arındırıldığında ve ardından sulu kromik-sülfürik asit çözeltilerinde aşındırıldığında metal ve yapıştırıcı arasında iyi bir yapışma elde edilebilir. Bununla birlikte, bu yüzey ön işleminin, korozyonun meydana geldiği bazı bağlanmamış alanlarda yetersiz olduğu bulunmuştur. Kromik-sülfürik asit aşındırma işleminden sonra alüminyum yüzey yapıştırmadan önce anotlanırsa, korozyon duyarlılığı azalmaktadır. Yapıştırıcı ile bağlanmış alüminyum bağlantıların optimum dayanıklılığını elde etmek için, havacılık endüstrisinde yaygın olarak anotlama işlemleri kullanılmaktadır. Eloksal, yine yüksek derecede mikro pürüzlülük ve hidrasyona karşı oldukça dirençli bir oksit formu ile ince bir oksit film oluşturmaktadır. Kromik asit anotlama (kromatlama) veya fosforik asit anotlama (fosfatlama) çözeltilerindeki anodik oksidasyon, uçak bileşenleri gibi kritik uygulamalarda yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının yapısal yapışkan bağlanması için tercih edilen stabilize edici işlemlerini oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalar ile kromik asit anotlama (kromatlama) 'nın nispeten ince ve sünek bir oksit tabakası sağladığı bulundu ve kullanımda iyi dayanıklılık özelliklerine sahip yapışkan bağlama için etkili bir ön işlem olarak tespit edilmiştir. Avrupa havacılık endüstrisi hala bu yöntemi kullanmaktadır [27]. SG Prolongo ve arkadaşları (2009 yılında) “Yüzey ön işleminin epoksi-alüminyum birleşim yerlerinin yapışma mukavemetine etkisi” çalışmasında sülfürik asit-ferrik sülfat aşındırmaya dayalı bir kromatsız işlem yapmıştır ve diğer aşındırma yöntemleri ile kıyasladığında daha yüksek yapışma mukavemeti değerleri sunduğunu sonuçlamışlardır [28]. Şekil 2.6’da farklı ön işleme tabı tutulmuş Alüminyum yüzeyin SEM görüntüleri görülmektedir.



Şekil 2.6: a.Aşınma, b.Alkalin, c.Dağlama d. P₂ aşındırma ile işlenmiş 1000 × A1050 alaşımında SE (sol) ve BSE (sağ) dedektörleri ile elde edilen SEM mikrografları [28].

Kimyasal işlemlerle aşındırılan tüm alüminyum yüzeyler, aşındırma işlemi ile oluşturulan karakteristik çukurları sunar; aksine mekanik aşınmaya maruz kalanların yüzeyi daha kompakttır. Bu, kimyasal aşındırma yoluyla oluşan oksit tabakasının doğal alümina filminden daha gözenekli olduğu anlamına gelir. Asit işlemleriyle kazınmış alüminyum alaşımlarının yüzeyleri bileşimsel olarak homojen görünmektedir. Genel olarak, incelenen serbest krom aşındırma ön işlemi, bir sülfürik asit-ferrik sülfat çözeltisine dayalı olarak, yaygın dikromat-sülfürik asit aşındırma işleminden daha yüksek güç değerleri sağlar. Bu, oluşan oksit tabakasının daha yüksek gözenekliliği nedeniyle olumlu sonuçlar doğurmaktadır [28]. Şekil 2.7’de kaplama işleminin yüzeyde oluşturduğu reaksiyonlar görülmektedir. Şekil 2.8’de ise kaplama öncesinde ön işleme tabi tutulan bir otomotiv görülmektedir.



Şekil 2.9 : Fosforik asitte anodize edilerek üretilen ince anodize film (enine kesit ve yüzey) [25].

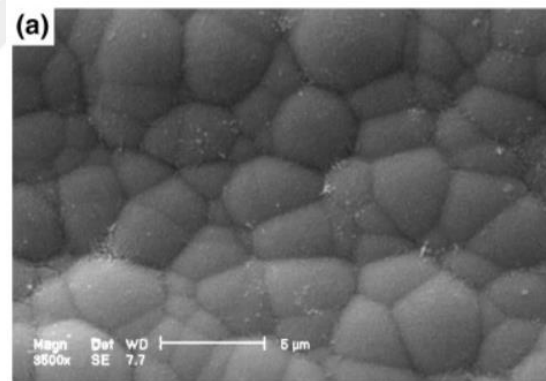
Gözenekli yüzey, düşük viskoziteli yapıştırıcılar ve astarlar ile kullanıldığında idealdir. Sülfürik asit anotlama teknikleri, alüminyum alaşımlı yüzeylerin ön işlemden geçirilmesi için de kullanılabilir, ancak ortaya çıkan daha kalın oksit film, daha düşük bir yapışkan kuvveti ve dayanıklılığa yol açmaktadır. Sülfürik asit ile anotlama, en iyi korozyon ortamlarında hafif gerilimli eklemler için elastik yapıştırıcılarla kullanılır. Yapıştırıcı bağlamaya daha yatkın daha açık bir yapı ortaya çıkarmak için anodik oksit tabakasının bir kısmını çözmek üzere bir fosforik asit çözeltisine daldırılarak anotlanmış bileşenlerin bir miktar iyileştirilmesi mümkündür [25].

2.1.3 Akımsız nikel kaplamalar

Pek çok çekici özelliğe rağmen, yetersiz korozyon ve aşınma direnci nedeniyle bazı uygulamalarda alüminyum alaşımları kısıtlanmıştır. Bu eksikliklerin üstesinden gelmek ve bu malzemelerin hem işlevsel hem de dekoratif uygulamalarını genişletmek için, elektriksiz nikel fosforlu kaplamalar sıklıkla alüminyum yüzeylere uygulanır. Akımsız nikel biriktirme, sulu bir çözelti içindeki karmaşık katalitik nikel iyonlarının kimyasal olarak indirgendiği ve çökeltinin kendisinin katalitik etkisiyle sürekli Ni birikimiyle katalitik olarak aktif bir malzeme üzerine kaplandığı kendi kendine başlayan, otokatalitik bir süreçtir. İndirgeyici madde olarak sodyum hipofosfit kullanıldığında, biriken katman nikel ek olarak her zaman fosfor içermektedir. Kaplanmış bir yüzeyin iyi performansı için öne çıkan parametrelerden biri, kaplama ile alüminyum alt tabakalar arasındaki yapışma mukavemetini artırmak için büyük ilgi gören yapışma seviyesidir.

Alüminyum yüzey, havada olduğu gibi suda da kolayca oksitlenir; İnce bir oksit filmi, metali atmosferik korozyondan koruyan yüzeyi kaplar. Bu ince tabakanın mukavemeti, alternatif kaplamanın başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için çıkarılması gerektiğinden,

diğer kaplamaların üretiminde ciddi bir olumsuz faktördür. Sonraki işlemler için temiz, oksitsiz, metal bir yüzeyin gerekli olduğu her yerde oksidi yüzeyden çıkarmak için güçlü asitler veya alkaliler kullanılmalıdır. Bunu etkilemek için özel teknikler kullandıktan sonra bile, metal atmosfere maruz kalır kalmaz oksit film yeniden oluşur. Bu nedenle, bir kaplama ile alüminyum malzeme arasında iyi bir yapışma elde etmek için, oksit filmi çıkarmak veya kaplama çökeltmeden önce değiştirmek için yerinde bir işlem uygulanmalıdır. Akımsız Ni-P kaplamaların alüminyum malzemelere yapışmasındaki gelişmeleri incelemek için birçok çaba gösterilmiştir. Çok önemli bir süre boyunca, yapıştırıcı bağlamanın temel temeli teorilerini gözden geçirirken, dört farklı mekanizmayı birbirinden ayırmak olağandı; mekanik kilitleme, adsorpsiyon etkileşimleri, elektrostatik kuvvetler ve difüzyon mekanizmaları esasen, yüzeyin düzensizlikleri içinde kaplamanın mekanik olarak birbirine kenetlenmesi fikri, yapışkan bağlanma olgusunun en eski ve en basit açıklamasıdır ve yapışmayı artırmak için yüzeylerin pürüzlendirilmesi fikrine yol açmaktadır. Akımsız nikel metodu ile bu teoriye uygun yüzeyler oluşmaktadır [30]. Şekil 2.10'da akımsız nikel sonucunda yüzeyin SEM görüntüsü görülmektedir.



Şekil 2.10: Akımsız Ni-P kaplamanın SEM görüntüleri [30].

2.1.4 PTFE (politetrafloraetilen) kaplamalar

Bu katkıda, elektrolitin kimyasal bileşimi ve sıcaklığı ve akım yoğunluğu ve Al_2O_3 ve PTFE parçacıklarının doğrudan elektrolitten eloksallı kaplamasına dahil edilmesi dahil olmak üzere belirli anotlama koşullarının etkisine ilişkin orijinal bir takım çalışmalar bulunmaktadır. Kaplanmış ve kimyasal olarak ön işlemden geçirilmiş AA1050 yüzeyler üzerindeki gözenekli eloksallı kaplamaların morfolojisi, kalınlığı, mikro sertliği, aşınma direnci ve sürtünme katsayısı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgulara Al_2O_3

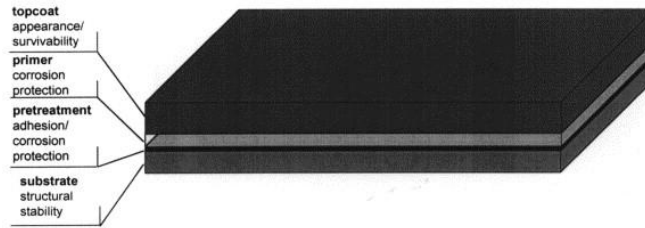
kombinasyonunun eklenmesinin ve PTFE parçacıkları üretilen kaplamaların sertliğini artırabilir ve aşınma direncini ve sürtünme özelliklerini geliştirebileceği gözlenmiştir [21]. Teflon kaplamalar olarak bilinen PTFE kaplamalar yüzeyde ıslanabilirliği arttırır ve yapıştırma işlemi için gerekli yüzey oluşturabilmektedir. Bu kaplamalar korozyon direncine de sahip oluşları yapıştırma için uygun kaplama yöntemi olabilir mi sorusunu oluşturmaktadır. Bu kaplama yöntemi ile ilgili çalışma bölüm 5'te araştırılıp sonuçlanmıştır.

2.1.5 Boya ve astar kaplamalar (sol-jel yöntemi)

Çevre dostu olan birleştirme tekniklerinin, yani silan veya sol-jel gibi mevcut nesil malzemelerle kullanılabilen, yani astar ve film yapıştırıcısı geliştirilmesine yönelik devam eden bir ihtiyaç olduğu bilinmektedir. Silan bazlı ürünler, ön arıtma biriktirme için ilginç bir malzeme haline gelmektedir, çünkü çevresel uyumluluk için kromatlar gibi geleneksel ön işlemlerin ikame maddeleri olarak kullanılabilirler. Silan kaplamalar, alüminyum ve alaşımları, bakır, demir ve çelik, çinko ve magnezyum içeren alaşımlar gibi çeşitli metallerde kullanım için düşünülen çevreye duyarlı, çok metalli yüzey ön işlemleridir. Çok sayıda çalışmanın, yapısal alüminyum bağlarının dayanıklılığını geliştirmek için bir primer olarak kullanıldığında p-glisidoksi propiltrimetoksisilan gibi silanların yararlılığını gösterdiğini belirtmek yeterlidir. Bu, metal (oksit) ve silan arasında kararlı, kovalent bağların oluşumuna ve metal ile polimer arasında gerilim transferini kolaylaştıran bir ara modül bölgesi veren fazlar arası oluşum olasılığına atfedilmiştir. Silanlar bağımsız işlemler olarak veya daha karmaşık bir ön işlemin parçası olarak kullanılabilir. Fedel ve arkadaşları, su bazlı silan ön işlemlerinin galvanizli çelik üzerindeki etkisini incelemiştir. Ön işlem birikimi için üç farklı silan kullanılmıştır. (glisidoksi propiltrimetoksisilan, tetraetoksisilan ve metiltrioksisilan). Elektrokimyasal testler, silan tabakasının sadece inorganik malzeme ve organik kaplama arasında bir bağlama maddesi olarak işlev görmediğini, aynı zamanda su ve oksijene karşı iyi bir bariyer etkisi sağladığını gösterdi. Binici ve Arnott silan tabakasının, yapıştırılarak bağlanan bağlantının hidrolitik stabilitesini arttırdığını ve çekme testlerinde daha fazla dayanıklılığa yol açtığını bulgulamıştır. Sol-jeller, elektronik, optik ve koruyucu kaplamalar olarak uygulamalar bulan, başta silanlar olmak üzere alkoksit öncüllerinin

hidroliz /yoğunlaşma reaksiyonları ile oluşan organik-inorganik polimerlerdir. Bu kaplamalar, kimyasal stabilite, fiziksel güç ve çizilme direnci gibi önemli özelliklere sahiptir. Sol-jel işlemi, oksitlenmeye, korozyona ve aşınmaya metallere daha dirençli ve aynı zamanda iyi termal ve elektriksel özelliklere sahip olan nano yapıları inorganik filmler (genel kalınlıkta 200 nm ila 10 µm) oluşturmak için kullanılabilir. Bu süreçte, zirkonyum metalik yüzeyle reaksiyona girerek kovalent bir kimyasal bağ oluşturur, epoksi-silan ise yapıştırıcıyla bağlanmak için reaktif bir organik grup sunmaktadır [27].

Astar, korozyon korumasının ana sağlayıcısıdır. Tipik formülasyonlar, bir epoksi reçinesi ile sarılmış hem kromatlı hem de kromatsız pigmentlerden oluşur. Son olarak, aşırı iklimler ve ultraviyole ışınlar gibi çevresel etkilere karşı ana bariyer görevi gören ve uçağa dekorasyon ve kamuflaj sağlayan bir üst kat uygulanmaktadır. Tipik bir üst kaplama, bir poliüretan reçine kullanılarak formüle edilir ve uygulama kalınlığı 50 ila 200 µm arasında değişir [29]. Şekil 2.11’de bir uçak yapısının kaplama sistemlerini oluşturan bileşenleri görülmektedir.



Şekil 2.11: Bir uçak kaplama sistemini oluşturan bileşenlerin şeması [29].

Modern bobin işleme hatları, yeterli astar yapışmasını ve korozyon direncini sağlamak için gerekli olan uygun bir kimyasal ön işlem aşamasının ardından organik bir kaplamanın uygulanmasına izin verir. Hem iletken hem de iletken olmayan astarlar mevcuttur. İletken olmayan astarların kullanılması, otomobil üreticisine yüzey bitirme işlemi adımlarını kaydetme imkanı sunmaktadır. İletken astarlar, karışık metal yapılarda, yani alüminyum ve çelik ve / veya galvanizli çelikte galvanik korozyona karşı koruma için özellikle yararlıdır. Kaplanmış malzemenin diğer avantajları arasında, örneğin nakliye ve kullanım sırasında yüzey koruması, geliştirilmiş şekillendirilebilirlik ve iyi yapışkan bağlama özellikleri bulunmaktadır. Bununla birlikte, bazı dezavantajlar da vardır, örn. astar kaplı alüminyum levhanın kaynağı mümkün değildir. Alüminyumun yapıştırılmasından önce astarlamanın temel amacı, yüksek viskoziteli ve hızlı sertleşen yapıştırıcılar

kullanılacaksa yüzeyi doldurmaktır (mühürlemektir). Alüminyumun aşındırıcı bir ortamda kullanılması gerektiği ve korozyon direncini arttıran hiçbir yüzey işleminin (örneğin anotlama) düşünülmediği durumlarda astarlama daha önemli hale gelmektedir [25]. Özetle alüminyuma yapılan kaplama işlemleri malzemenin servis ömrünü arttırarak korozyon direncini attırmaktır. Aynı zaman yapıştırma için etkili parametre oluşturmaktadır.

2.2 Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Yapıştırma İşlemlerinde Kullanılan Ön Yüzey İşlemler

Yapıştırıcı kullanarak bağlantı oluşturma işleminde alüminyum yüzeyler ön işlem uygulanmasının amaçları şunlardır; ısıt işlem veya nemli atmosfere maruz kalma ile oluşan zayıf oksit tabakaları dahil olmak üzere diğer yüzey katmanlarının yanı sıra yağ, gres ve diğer kirletici maddelerin uzaklaştırılması, bağlamadan önce altlık malzemenin yüzeyini koruyarak ve yapışkan ile malzeme yüzeyi arasındaki yakın moleküler temas derecesini en üst düzeye çıkartmak, optimum mekanik kenetleme için kararlı bir yüzey topografyası oluşturulma, yapıştırılarak bağlanan bağlantının dayanıklılığını ve korozyon direncini iyileştirerek; hem nemin çevresel saldırılarına karşı direnç hem de geniş bir pH aralığında kimyasal stabilite sergileyen iç yapışma kuvvetlerinin oluşumunu teşvik etmek, korozyon direncinin artırılmasına dayanmaktadır [25].

Alüminyum yüzeylerin zayıf bir doğal oksit tabakasına sahip olduğu bilinmektedir. Bu tabaka ve alüminyum arasındaki bağ, yapıştırıcı ile oksitinkinden daha zayıftır. Herhangi bir yüzey işlemi yapılmadan, bu oksit katmanı genellikle yapıştırıcı hatalarından (adezyon ve kohezyon) sorumlu olan alüminyum alt tabakadan çıkarılmaktadır. Yüzey işlemin amacı, en iyi yapıştırma koşullarını elde etmek için metal yüzeyin değiştirilerek iyileştirilmesine dayanmaktadır [10]. Yüzey işlemleri genellikle yapışma mukavemetini ve bağlanma performansını artırmak için kullanılmıştır [12].

2.2.1 Yüzey temizleme

Yapıştırma için en uygun yüzey ön işleminin seçimi, maliyet, üretim, performans, uyumluluk, dayanıklılık ve çevre hususları gibi hususlara dayanmaktadır. Yapıştırıcı kullanarak yapıştırma bağlantıları oluşturmak oldukça avantajlı bir işlemdir. Bununla

birlikte, yapışma süreci çok karmaşıktır ve büyük ölçüde yapıştırıcıların yüzey hazırlığına bağlıdır. Bu noktada malzemelere yapılan ön işlem oldukça önem arz etmektedir [31,32]. Çözücünün yağdan arındırılması önemlidir, çünkü kimyasal bağların oluşumunu engelleyen kirletici maddeleri ortadan kaldırır. Bununla birlikte, solventli yağ giderme temiz bir yüzey sağlarken, daha uzun süreli bağ dayanıklılığı için kabul edilebilir yüzey koşullarının oluşumunu desteklemez. Yağdan arındırma aşamasında genellikle trikloroetilen, 1,1,1-trikloroetan, perkloroetilen veya diklorometan gibi klorlu solventler veya alternatif olarak metil etil keton, metanol, izobütanol, toluen veya aseton dahil klorsuz solventler kullanılmaktadır [27]. İyi bir yapışkan bağ elde etmek için temiz bir yapışan yüzeyle başlamak önemlidir. Kir, yağ, nem ve zayıf oksit tabakaları gibi yabancı maddeler çıkarılmalıdır, aksi takdirde yapıştırıcı alt tabakadan ziyade bu zayıf sınır tabakalarına bağlanacaktır. Zayıf sınır katmanlarını kaldırabilecek veya güçlendirebilecek çeşitli yüzey işlemleri vardır. Bu işlemler genellikle fiziksel veya kimyasal işlemleri veya her ikisinin bir kombinasyonunu içermektedir. Aseton çözeltisi ile kimyasal olarak bir yüzey ön temizleme işlemi yapılabilir ve yapıştırıcıdaki göreci reçineyi kum püskürtme ile oluşturulan mikro boşluklara derinlemesine taşıyarak ve yapışkan bağlantı arasında mikro boşluklar veya boşluklar olacak şekilde mikro kalıntıları etkili bir şekilde kaplayarak ve ıslak hale getirmektedir. Yüzey ıslandığı zaman alt tabakanın ıslalabilirlik özelliği iyileşmektedir. Aseton, mükemmel yüzey ıslatılabilirliği nedeniyle laboratuvarlarda temizlik maddesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Sertleştiricisiz reçine, aseton içinde kolayca çözülebilir ve bu daha sonra aseton-reçine çözeltisi ile arayüz bölgesinin mikro çatlaklarının derinliklerine alınabilmektedir [33,34].

2.2.2 Bir çözücü kullanara yüzey temizleme

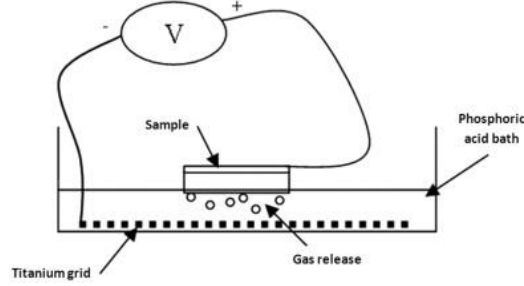
Çözücü ile temizleme, temizlenen malzemeyi fiziksel veya kimyasal olarak değiştirmeden kirin organik bir çözücü ile yüzeyden uzaklaştırılması işlemidir. Bu, buharlı yağdan arındırma, püskürtme, daldırma ve mekanik veya ultrasonik fırçalama gibi yöntemlerini içermektedir [33].

2.2.3 Kimyasal yöntem kullanarak yüzey temizleme

Kimyasal işlemler, farklı yüzey kaplamaları oluşturabildikleri için oldukça çok yönlüdür. Genel olarak bu yöntemler, özel atık bertarafı ve damıtılmış suyla kapsamlı durulama gerektiren güçlü asitler veya bazlar kullanır. Bu maddelerin tehlikeli doğası nedeniyle bu işlemler çevre mevzuatı nedeniyle daha sıkı bir şekilde kontrol edilmektedir [31]. Alüminyum yapıştırıcılara uygulanan çoğu kimyasal ön işlem, doğal alümina tabakasını eritmek, alüminyum yüzeyini temizlemek ve etkinleştirmek ve iyi olacak yeni bir gözenekli alümina tabakasının oluşturulmasına yardımcı olmak için asit veya alkali ortamlardan kaynaklanan korozyon süreçlerine dayanır. Yüzey ön işlemi, alüminyum alaşımlarına bağlı epoksi reçinelerinin yapışma mukavemetini yöneten en önemli faktörlerden biridir. Genellikle çok aşamalı prosedürler olan çok sayıda alüminyum ön işlem prosedürü vardır. Alkali yağ giderme, altlık malzemenin uygun bir alkali çözeltiye daldırılmasından oluşmaktadır. Uygun bir oksit tabakası oluşturmak için kimyasal veya elektrokimyasal işlemler uygulanmaktadır [12,13].

En yaygın olarak uygulanan kimyasal işlemler kromik-sülfürik asit kullanarak asitle aşındırmaya dayanmaktadır. Bu işlem, altlık malzemenin bir sülfürik asit ve potasyum dikromat çözeltisine daldırılmasını içermektedir. Farklı kromik sülfürik asit kullanarak yüzey temizlenen işlemlerde vardır ve bileşiklerin konsantrasyonu; kullanılan sıcaklık ve daldırma süresinde farklılık göstermektedir. Bu yöntem dağlama yöntemi olarak da bilinmektedir. Düşük kromat konsantrasyonları ve kısa sürede yüzeyin temizlenmesi sağlamaktadır. Otomotiv ve havacılık endüstrileri hala bu yöntemi yapıştırmadan önce tek başına bir yöntem olarak veya anodize edilmiş yani eloksal kaplanmış alüminyumun yapıştırma işleminden önce bir ön yüzey işlemi olarak kullanmaktadır. Elektrokimyasal olmayan süreçler arasında en iyi temizleme yöntemlerinden birisi de; P_2 olarak bilinen sülfürik asit-ferrik sülfat bazlı yüzey temizleme gibi görünmektedir. Başlangıçta P_2 asidi ile yüzeyi dağlamak, kromik sülfürik asit tedavisi ile elde edilenlerle karşılaştırılabilir sonuçlar sağlamaktadır. Bununla birlikte, daha sonraki araştırmalar, her iki işlemle yüzey temizlenen yapıştırıcıların yapışma kuvveti ve dayanıklılığı ile ilgili anlaşmazlıkları göstermektedir. Bu, alüminyum alaşımı ve epoksi reçinesinin doğasının etkisiyle ve ayrıca işleme koşullarına bağlı olarak oluşan oksidin yapısının ve bileşiminin değişkenliği ile ilişkili olmalıdır. Durulama ve kurutma koşulları bile oksidin doğasını ve kalınlığını

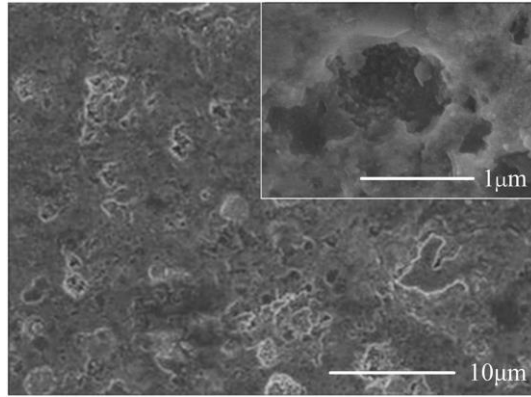
ve dolayısıyla yapışkan bağlantısındaki performansı etkileyebilir. Ayrıca, her iki ön temizleme başarısının eklem geometrisine bağlı olduğu görülmektedir [11]. Şekil 2.12’de fosforik asitle anotlama işleminin şematik görüntüsü mevcuttur.



Şekil 2.12: Fosforik asit anodizasyonu (PAA) için kurulumun şematik gösterimi [35].

Bazı kimyasalların temizlik için kullanılması çevresel sorunlara yol açabilir ve bu da etkili yedek parçalar bulmak için devam eden çalışmalara neden olabilmektedir. [31].

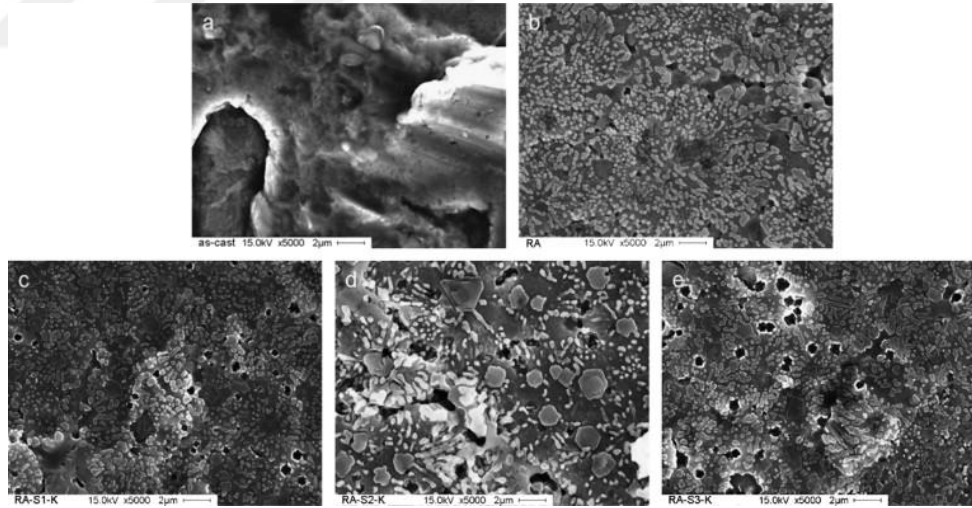
Yüzey morfolojisi önceden tedavi edilen alüminyum alaşımlı levha gösterilmektedir. Şekil 2.13’de nitrik asit ile aşındırma işlemi sonrasında yüzeyin SEM görüntüsü görülmektedir. Şekile göre nitrik asit elektrolitinin korozyon etkisinden dolayı levha yüzeyinde bazı düzensiz çukurlar olduğu açıktır. Çukurların varlığı, bağlanma alanını artırarak yapışma mukavemetini bir dereceye kadar artırabilmektedir [16].



Şekil 2.13: Yüzey morfolojisi önceden tedavi edilen alüminyum alaşımı levha. [16.]

Jianmin Shi ve arkadaşları (2015) Yüksek basınçlı döküm alüminyum alaşımının kimyasal ön işlem ve yapışkan bağlama özellikleri: AlSi10MnMg adlı çalışmalarında buldukları sonuca göre kimyasal ön işlemin; morfoloji ve yüzey kimyasal bileşimlerindeki değişiklikler ile yapışkan bağlantıların 70 ° C'ye maruz kaldıktan sonraki dayanıklılığı analiz edilerek dört farklı kimyasal arıtma işlemi tasarlanmışlar ve

değerlendirilmiştir. 4 hafta boyunca, % 100 bağıl nem. Alkalın solüsyonlarda yağ giderme, asidik solüsyonlarda deoksidasyon ve dönüşüm kaplama solüsyonlarına daldırma dahil kimyasal arıtma işlemlerinin, AlSi10MnMg alaşım yüzeylerindeki artık yağlayıcıların uzaklaştırılması ve korozyonun önlenmesi yoluyla uzun vadeli performans sağlayabildiği bulunmuştur. Yüzey karakterizasyonu ve dayanıklılık testinden elde edilen birleşik bilgiler, kimyasal arıtma işleminin, yani NaOH çözeltilerinde yağ giderme, florür içeren sülfürik asit çözeltilerinde deoksidasyon ve heksaflorotitanik asit çözeltilerine daldırmanın en etkili ön işlem olduğunu göstermiştir. Artık yağlayıcıları ve oksitleri gidermek ve deoksidasyon adımıyla mikro ölçekte pürüzlü yüzey desenleri oluşturmak için güçlü aşındırma etkisi olduğunu ve hem morfolojideki hem de yüzey kimyasal bileşimlerdeki değişikliklerden, kimyasal işlem süreci en etkili ön işlem sürecidir sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda şekil 2.14’ de kimyasal ön temizleme sonucunda malzeme yüzeyinin çukurlarındaki artış meydana gelmiş ve epoksi bazlı yapıştırıcının nufuziyetini artırarak daha mukavemetli yapışma sağlanmıştır sonucuna ulaşılmıştır [17]. Şekil 2.14’de üst taraftaki iki resimde ön işlemsiz alüminyum plaka ve alt taraftaki üç resimde ön işlem sonrasında yüzey SEM görüntüleri görülmektedir.



Şekil 2.14: Üstteki şekiller ön işlemsiz alüminyum plaka ve alt taraftaki şekiller kimyasal işlem sonucunda yüzeyde belirginleşen çukurlar ile temizleme işlemi yapılması sonucundaki SEM görüntüleri [17].

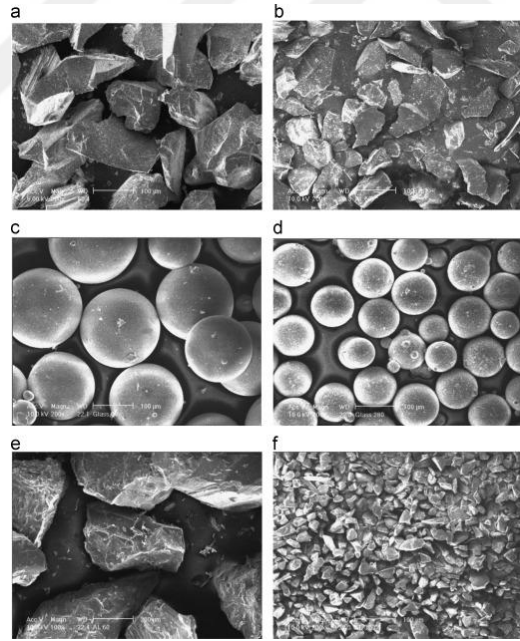
2.2.4 Mekanik ön işlem ile yüzey temizliği

Mekanik yöntemler otomotiv, havacılık, gemi ve imalat endüstrisindeki yapıştırıcı kullanarak yapıştırma işlemlerinde mevcut yüzey ön işlemleri oldukça önemlidir, ayrı

ayrı veya kombinasyon halinde çözücü temizleme, işlemi yapıldıktan sonra mekanik pürüzlendirme yöntemi ile devam eden yüzey hazırlık yöntemini içermektedir. Mekanik pürüzlendirme teknikleri, yüzeylerin pürüzlülüğünü artırmak ve kirleticileri yüzeyden uzaklaştırmak için yüzeyde aşındırma oluşturan yöntemlerdir. Bu aşındırma yöntemleri ile pürüzlendirme oluşturmak için, manuel aşındırma ve kum püskürtme yöntemleri kullanılmaktadır. Aşındırıcı zımpara kağıtları ile döner mekanizmalar veya manuel olarak aşındırma gerçekleştirilir. Ardından malzemelerin, vakumlu temizlik ve ardından bir çözücü bez ile temizlenmesi ve ardından kurumaya bırakılması sonucunda işlem tamamlanmaktadır. Kum püskürtme yöntemi ise, yüzeyi pürüzlendirmek ve yüzey üzerinde kir oluşturan kirleticileri çıkarmak için basınçlı hava kullanarak bir yüzeye aşındırıcı malzeme yani kum partikülleri aktararak püskürtüldüğü başka bir mekanik aşındırma biçimidir [31]. Bir başka mekanik işlem de scotchbrite aşınması ile bir pürüzlendirme işleminden oluşmaktadır. Yapılan literatür çalışmalarında pürüzlülük artışı çoğu zaman yapışmayı artırmaktadır sonuçlarına ulaşılmıştır [12,13].

Yaygın olarak kullanılan bir mekanik işleme yöntemi olan kumlama, temiz yüzeyler hazırlamak ve kontrol edilebilir pürüzlü yüzeyler oluşturmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı tip ve boyutlarda aşındırıcılar kullanılarak farklı pürüzlülük elde edilebilir [36]. Mekanik kumlama, malzeme boyutu gerekliliği, karmaşık işletim prosedürleri, kirlilik olmaması ve daha düşük işletme maliyetleri içermeyen benzersiz avantajları nedeniyle belirtilen diğer temizleme yöntemlerine göre hedeflere ulaşmak için en doğrudan ve etkili yöntem olabilmektedir. Kum püskürtme, alt tabakalarının yüzey pürüzlülüğünü ve mekanik özelliklerini, bu işlemi ve kum tipi ve boyutu gibi farklı ilişkili parametreleri değiştirerek eklem bağlantılarının yapışma gücünü artırabilir. Kumlama mesafesi, kumlama basıncı ve kumlama açısı, birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Pan vd. ve arkadaşları tanecik boyutu ve bağ mukavemeti arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Sonuç olarak büyük tanecik boyutlarının yüzey pürüzlülüğünü iyileştirebileceğini ve yapışma bağlantılarındaki sıyrılma mukavemetini büyük ölçüde artırabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, daha büyük tanecik boyutlarının kesme mukavemeti üzerinde küçük etkilere sahip olduğu bulunmuştur. Rudawska ve arkadaşları kumlama basıncının ve aşındırıcı malzemenin etkisini incelediği çeliğin yapışma özellikleri üzerine, yüzey özelliklerinin basınçtan çok aşındırıcı malzeme türünden etkilendiğini bulmuşlardır. Horodek ve arkadaşları ise farklı basınç ve zamanda kumlama

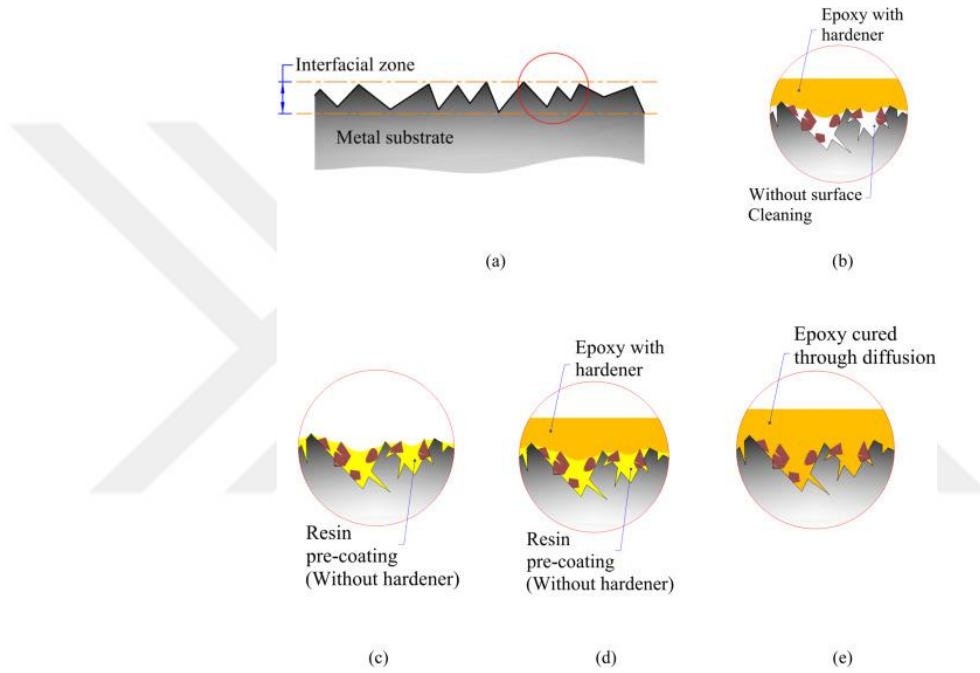
işlemine tabi tutulan paslanmaz çeliği incelemişler, basıncın yüzey pürüzlülüğüne zamandan çok daha fazla etkisi olduğunu bulmuşlardır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar çoğunlukla, farklı parametrelerde kumlama ile elde edilen yüzey morfolojisi ve yapışma mukavemetine odaklanmıştır. Kumlama mekanizmasının sistematik bir anlayışı yeni yeni yapışma mukavemetini arttırmak için uygulanmıştır [12]. Kumlama, yüzey mukavemetinin artırılması, yüzey modifikasyonunun değiştirilmesi ve metal yüzeyinin temizlenmesi gibi farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Kumlama yüzeyi temizlerken ve oksit tabakasını yüzeyden uzaklaştırırken, aynı zamanda yüzeyde yerel bir plastik deformasyon ve tane modifikasyonu da yaratmaktadır [37]. Aşağıda bulunan şekilde farklı tane boyutlarına sahip alümina kumlanmış yüzey yapıları görülmektedir. Yapılan çalışmada plaka ve kumlama torcu arasındaki mesafe 10 mm'de sabit tutulmuştur, kumlama süresi 15 saniye ve sabit 3.4 bar basınç altında işlem gerçekleştirilmiştir [38]. Şekil 2.15'de kumlanmış malzemelerin SEM görüntüleri mevcuttur.



Şekil 2.15: Kumlanmış malzemelerinin SEM mikroagrafları. a. Al_2O_3 çapı 110 ile 200 μm (x 200); b. Al_2O_3 çapı 50 ile 200 μm (x 200), c. çapı 150–300 μm (x 200) olan cam boncuklar, d çapı 45–75 μm (x 200) olan cam boncuklar, e. çapı 250 μm (x 100) olan alüminyum tanecikler, f. 44 μm (x 200) çapında alüminyum kum taneleri [38].

Etkili bir yüzey işlemi için uyulması gereken temel gereksinimler, yapıştıracak altlık malzemenin yüzeyindeki yapıştırıcının yapışkan ve mekanik kenetlenmesi ile yüksek kimyasal reaktiviteye sahip bir yüzey elde etmeyi mümkün kılmaktadır. Başka bir

deyişle, kimyasal bağlanma için mevcut alanda bir artış sağlayan bir yüzey pürüzlülüğü elde etmenin yanı sıra yapıştırıcının nüfuz edebileceği topografyalar oluşturulmalıdır. Aynı zamanda pürüzlülük, yapışkan bağlar geliştirilirken her zaman dikkate alınan bir parametre olarak yerine getirilmesi gereken önemli bir ön koşul olmuştur. Bu ön koşul oluşan reaksiyonlara altlık malzeme/yapışkan arayüzünün zayıflamasına neden olabilecek kirleticiler içermeyen bir yüzeyin olmasıdır [32]. Şekil 2.16’da kum püskürtme işlemi sonrasında ara yüzeylerin şematik görüntüsü mevcuttur. Şekiller enine kesit formundadır.

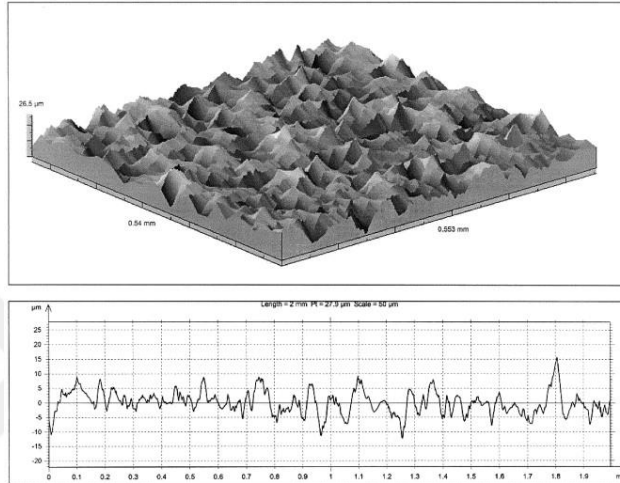


Şekil 2.16: Kum püskürtme sonrası ara yüzeylerin şematik görüntüsü [32].

Şekil 2.16’da a.10 μm derinlikte kum püskürtmeden sonra ara yüzey bölgesi, b. sertleştiricili epoksi yapıştırıcı mikron çatlaklarına nüfuz etmesi kötü ıslanabilirlik, c. sertleştiricisiz yaklaşık ağırlıkça %10 reçine içeren aseton , bu mikron altı boşluklara derinlemesine nüfuz etmesi ve ıslanabilirlik sağlaması, d. sertleştiricili epoksi yapıştırıcı, daha sonra iyileştirilmiş yüzey ve iyi ıslanabilirlik, e. reçine ön kaplama epoksi yapışkan bağlantının bir parçası haline gelir kürlenme sonrasında difüzyonu yoluyla mümkün olan maksimum yüzey temas alanı kullanılmaktadır [32].

Tatmin edici bir yapışma mukavemeti düzeyine ulaşmak için hemen hemen her zaman bir tür alt tabaka ön işlemi gereklidir. Hemen hemen tüm işleme yöntemleri, yüzey pürüzlülüğünde bir dereceye kadar değişiklik getirir, ancak kum püskürtme genellikle

istenen yüzey pürüzlülüğü ve eklem mukavemetini kontrol etmek için en etkili yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Kum püskürtme sadece zayıf sınır katmanlarını ortadan kaldırmakla kalmaz, aynı zamanda yapıştırıcıların kimyasal özelliklerini de değiştirebilmektedir [39]. Şekil 2.17’de kum püskürtme sonrasındaki çelik yüzeyin 3D ve 2D görüntüleri mevcuttur.



Şekil 2.17: Ölçülen kum püskürtmeli çelik yüzeyin 3D ve 2D yüzey profilleri [39].

Kumlama, taşlama işlemine benzer etkiler yaratsa da, kumlanmış yüzeyler, taşlama işlemlerine tabi olanlara göre daha az pürüzlü ve daha düzenli bir yapıdadır. Ayrıca düzensiz şekilli yüzeylere kumlama uygulanabilir. Yapışan yüzeylerin pürüzlülüğü, yapışkan bağlantılar için tasarım parametreleri olarak sıklıkla kullanılmaktadır [15]. Ayrıca, kum püskürtülmüş metal yüzeyler, mümkün olan en iyi yapıştırma koşullarını sağlamak için daha sonrasında laboratuvarlarda ultrasonik olarak temizlenebilir [34]. Yiwei Xu ve arkadaşlarının (2016) Eloksal tekniğine dayalı olarak alüminyum alaşımlı levha ve epoksi arasındaki yapışma performansının iyileştirilmesi çalışmalarında; pürüzlülüğün değişimi, görünen yüzey enerjisinden farklıdır. Veriler, yaklaşık $0.720 \mu\text{m}$ pürüzlülük değerine sahip numunenin optimum yapışma özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. Epoksinin sızması, pürüzlülük değeri nispeten düşük olduğunda yapışma mukavemetinin azaldığının yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla arttığı bulunmuştur. Çünkü artan pürüzlülük, yapışma alanını genişleterek mekanik kenetlenme etkisinin geliştirilmesini desteklemektedir sonucuna ulaşmışlardır. Epoksinin sızması, pürüzlülük değeri nispeten düşük olduğunda yapışma mukavemetinin değerlerinin altında yüzey

pürüzlülüğünün artmasıyla arttığı bulunmuştur, çünkü artan pürüzlülük, yapışma alanını genişleterek mekanik kenetlenme etkisinin geliştirilmesini desteklemektedir sonucuna ulaşmışlardır [16].

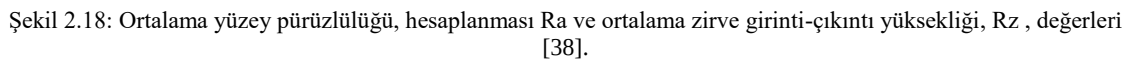
2.2.4.1 Yüzey pürüzlülüğünün ıslanabilirlik üzerindeki etkisi

Yapışan yüzeylerin pürüzlülüğü, yapışkan bağlantıları için bir tasarım parametresi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Bir dizi araştırmacı, çeşitli yapıştırıcılar kullanarak yapışkan bağlantıların mukavemeti ve dayanıklılığı üzerindeki etkisini incelemiştir. Bununla birlikte, yüzey pürüzlülüğü parametrelerini eklemlerin mukavemetiyle ilişkilendiren yayınlanmış çok fazla nicel veri yoktur. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve profilometri kullanılarak yapışan yüzeylerin incelenmesi, moleküler ölçeğe yaklaşıldığında tüm mühendislik malzemesi yüzeylerinin her zaman pürüzlü olduğunu ortaya koymaktadır. Aslında, yapısal ve kimyasal çalışmalara dayanarak, mühendislik malzemelerinin yüzeylerinin neredeyse hiçbir zaman yığınla aynı yapı veya bileşime sahip olmadığı sonucuna varabiliriz. Sonuç olarak, bir yüzeyin hem kimyasal hem de fiziksel yapısı yapışmada çok önemlidir. Bu iki etkiyi ayırmak genellikle zordur. Kimyasal yapı, yüzeyin yapıştırıcıya karşı reaktivitesini etkiler. Yüzey serbest enerjisi ve temel ıslatma özellikleri de yapışma mukavemetini ve stabilitesini etkilemektedir [40].

Sancaktar ve Gomatam'ın (2001 yılında) “Yüzey pürüzlülüğünün tek turlu bağlantı yerlerinin dayanımı üzerindeki etkileri” üzerine bir çalışma yapmışlardır ve bu çalışmada belirttikleri gibi, yapışmayı iyileştiren birçok yüzey işlemi, ilgili yüzeyi pürüzlendirme etkisine sahiptir. Örneğin, aşındırma ve dağlama gibi yüzey ön işlemleri de zayıf sınır katmanlarını kaldırarak, yüzeyin reaktivitesini artırır ve ıslatma davranışını iyileştirmektedir. Etkili yapıştırma için, sıvı yapıştırıcıların birleştirilecek tüm yüzeye yayılması gerekir. Yapıştırıcının viskozitesi, yüzeye nüfuz etme davranışında da önemli bir rol oynamaktadır. Ancak yayılma ve penetrasyon, yüzeyde bulunan boşluklardan havanın uzaklaştırılmasını sağlamaz.

Shahid ve Hashim'in (2002 yılında), yüzey pürüzlülüğünün yapıştırıcı eklemlerinin mukavemetine etkisi belirttiği gibi , hemen hemen tüm yüzey ön işlem yöntemleri yüzey pürüzlülüğünde bir dereceye kadar değişiklik getirir, ancak kum püskürtme genellikle istenen yüzey pürüzlülüğü ve eklem mukavemetini kontrol etmek için en etkili

Yüzey pürüzlülüğünün ıslatılabilirlik üzerindeki etkileri, Wenzel pürüzlülük faktörü ve benzeri gibi yüzey pürüzlülüğü faktörlerini kullanan birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün sıvılarla temas açısı üzerindeki etkisini modellemek için girişimlerde bulunulmuştur. En iyi bilinen tedavi Wenzel'dir. Wenzel, bir yüzeyi aşağıdaki gibi karakterize etmek için bir 'r' parametresi önermiştir. Bu parametrede genel yüzey alanı, istenen geometrik alana bölerek bulunmuştur. Wenzel , pürüzlendirme arttıkça r'nin değerinin arttığını varsaydı. Genel olarak görünen temas açısının artan pürüzlülük değerleri ile azaldığına inanılmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü olarak ölçmenin bir başka yolu, 'aritmetik ortalama pürüzlülüğü' parametresi kullanılarak Ra değerini tanımlamıştır.

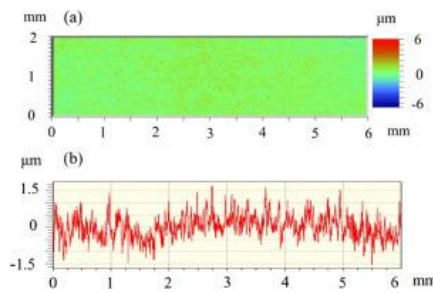


44

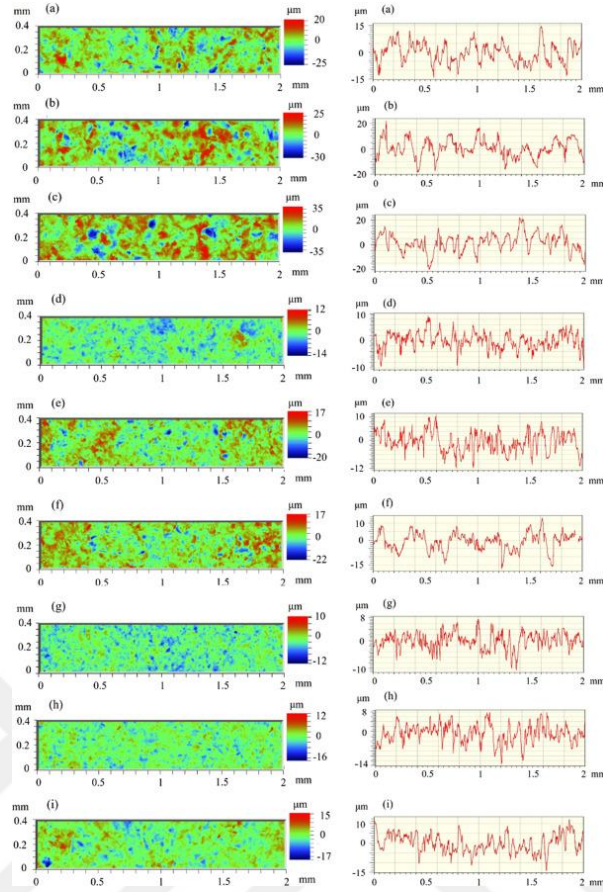
değişkenliği hakkında fikir verir. Rz'nin Ra ile karşılaştırılması, örneğin $Rz / 2 Ra$, profil dalga boyunun etkisi ve dalganın şekli hakkında bilgi sağlar, çünkü bu dalga boyu içinde daha büyük dalga boyları ve küçük yükseklik-pürüzlülük dağılımı daha küçük sonuç verir. Ra değerleri ve büyük $Rz / 2 Ra$ değerleri pürüzlülük ölçümü için kritik değerlerdir. Bununla birlikte, çok yumuşak yapıştırıcılar için, ara yüzeyde hapsolmuş küçük hava kabarcıkları çekiş üzerine emme etkileri oluşturabileceğinden, altlık malzemenin yüzey pürüzlülüğü doğal olarak da ara yüzün gücünü artırabilir [40]. Pürüzlülük ve yapışma arasındaki ilişki çok basit değildir. Optimum yüzey profili bir yapışkandan diğerine değişir ve uygulanan gerilme tipine bağlıdır. Yüzey pürüzlülüğünün olası olumlu etkilerinden, yüzey alanındaki artış, moleküller arası bağların artmasına ve mekanik yapışma için mekanik kilitlenmeye neden olur. Bu da, arıza yolunu arayüzden yapışkanın büyük bir kısmına yönlendirebilir. Bununla birlikte, pürüzlü arayüzdeki gerilmenin gerçek mikroskobik dağılımı karmaşıktır [38].

M. Shahid ve arkadaşları (2002 yılında) yapmış oldukları “yüzey pürüzlülüğün eklem mukavemetine etkisi” çalışmasında yapışan yüzeyin pürüzlülük seviyesi ve profil alanı ile çekme mukavemetinin arttığını gözlemlemişlerdir [39].

Aşağıdaki şekillerde zımpara kağıdı ve kumlama yöntemi ile pürüzlendirilmiş yüzeyin şematik görüntüsü gösterilmektedir. Şekil 2.19’da zımpara kağıdı uygulanmış pürüzlülük profilleri görülmektedir. Şekil 2.20’de ise farklı kumlama parametreleri sonucunda elde edilen pürüzlülük görüntülerinin profilleri görülmektedir.

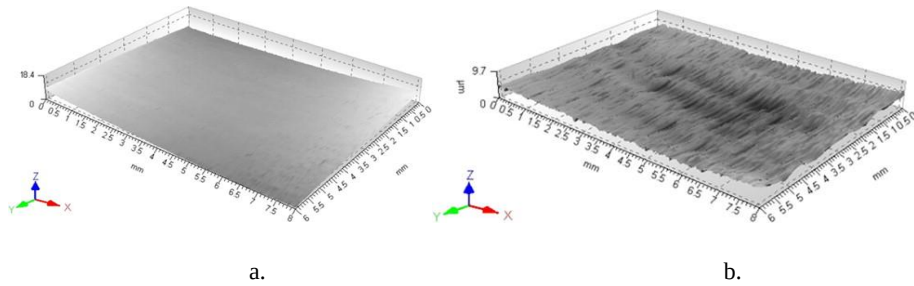


Şekil 2.19: Zımpara kağıdı uygulanmış (A-0) a. yüzey pürüzlülüğü, b. pürüzlülük profili [38].



Şekil 2.20: Farklı kumlama parametreleri ile işlenmiş Al-Li alaşımlı levhaların yüzey pürüzlülüğü (sol) ve pürüzlülük profili (sağ) : a. A-1, b. A-2, c. A-3, d. A- 4, e. A-5, f. A-6, g. A-7, h. A-8, i. A-9 [38].

Jian Li ve arkadaşları (2018 yılında) kumlama performanslarını incelemiş olduğu çalışmasında kum püskürtme yüzeyinin temas açısı, zımpara kağıdı uygulanmış yüzeyin temas açısı önemli ölçüde daha düşük olduğunu gözlemlemiştir [12]. Şekil 2.21’de aseton ile temizlenmiş ve temizlenmemiş yüzeylerin 3D görüntüleri görülmektedir.



Şekil 2.21: a. Aseton ile temizlenmiş b. Pürüzlendirme işlemi yapılmış yüzey görüntüleri [41].

Özetle metal yüzeyin ön işleminden geçirilmesi, pürüzlülük oluşturur ve prepolimerik epoksi reçinesi ve sertleştirici arasında çatlaklara ve gözeneklere nüfuz etmesine izin

verir. Polimerizasyonun ardından kaplama, metal yüzeye veya yüzey oksit yapısına mekanik olarak gömülü hale gelir. Yüzey hazırlığı sırasında oluşan boşluklar ve gözenekler, elektrokimyasal reaksiyonlar için daha geniş bir yüzey alanı sağlar (iyonların, reaktif çelik ve uygun bir indirgenebilir madde ile elektrolit boyunca göç etmesi), kaplamanın yapışma gücünü daha da arttırmaktadır [42].

2.2.5 Enerji kullanarak ön temizleme

Yüzey ön işlemlerinin diğer kategorisi; plazma, alev, lazer, vb. gibi yöntemleri içermektedir. Bu fiziksel ön işlemler, yüksek enerjili türlerin yapışkan yüzeyle etkileşimi ile ortaya çıkan yapıştırıcıların yüzey kimyasında bir değişikliğe neden olmaktadır. Bu enerjik işlemler, yüzey ile temas gerektirmeme ve kuru olma avantajlarına sahiptir. Plazma, moleküller, serbest radikaller, elektronlar ve iyonlar içeren uyarılmış bir gazdır. Aynı zamanda maddenin dördüncü hali olarak da adlandırılır. Plazma, bir gazı ısıtarak veya onu güçlü bir elektromanyetik alana maruz bırakarak üretilebilir. İkincisi, bir lazer veya mikrodalga jeneratör ile elde edilebilir. İşlenen her malzeme türü için işlem parametresini bulmak önemlidir. İşlem parametresi, materyallere zarar vermek yerine yapışma davranışını iyileştiren ve dolayısıyla özelliklerini azaltan plazma işleminde yer alan parametrelerin kombinasyonu anlamına gelmektedir [31].

Kimyasal ıslak işlem sürecinin yerini almak üzere alüminyum alaşımlı yüzeyler için çeşitli kuru işlemler geliştirilmiştir: lazer, plazma püskürtmeli kaplama ve iyon demeti geliştirilmiş biriktirme gibi işlemler enerji kullanarak temizleme olanağı sağlamaktadır [27]. Bir alüminyum altlık malzemesinin morfolojisini ve mikro yapısını değiştirmek için lazer işlemi uygulanan bir çalışma sonucunda artan bir bağlanma mukavemeti ve dayanıklılığı ile sonuçlandığı gözlemlenmiştir. Vakum altında yüksek enerjili argon iyonları ile püskürtülerek yüzeyi temizleyen ve değiştiren bir işlemdir. Bu işlem, önce bir yüzey aktivasyon aşaması, özellikle kum püskürtme gerektirir. Bazı çalışmalar sonucunda iyi yapışma mukavemetleri elde edildiği gözlemlenmiştir. İşlem yapılmamış alüminyum ile karşılaştırıldığında çekme testi sonucunda mukavemet üzerinde iyileşmeler bulunduğu gözlemlenmiştir. Havacılık endüstrisinde, alüminyum alaşımlı yüzeylerin hem ıslatılabilirliğini hem de yapışkan özelliklerini geliştirmek için karmaşık ve kritik bir işlem kullanılmaktadır. Bu işlem soğuk plazma işlemidir. Soğuk plazma işlemi, çevresel

etki açısından geleneksel işlemlere bir alternatiftir. Plazma; elektronlar, iyonlar, atomlar, moleküller ve radikaller gibi hem yüklü hem de nötr parçacıkları içeren iyonize bir gazdır. İki tür plazma vardır: soğuk ve sıcak. Soğuk bir plazmanın çalışma basıncı, genellikle düşük sıcaklıklarda ($<773\text{ }^{\circ}\text{K}$) kimyasal reaktif türlerin üretimine izin veren atmosfer basıncından daha düşüktür. Sıcak plazma basıncı atmosfer basıncından daha yüksek olduğundan, sıcaklık yaklaşık $104\text{-}105\text{ }^{\circ}\text{K}$ 'dir. Soğuk plazma işlemi, alüminyum yüzeyleri etkinleştirmek için verimli, temiz ve ekonomik bir alternatiftir. Plazma sprej kaplamalar ayrıca yapıştırıcı bağlamadan önce ön işlemler olarak kullanılmaktadır. Davis ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, $60\text{Al} - \text{Si} / 40$ polyester (ağırlıkça) plazma sprej kaplamanın özel uygulamalar için tasarlanabileceğini ve kimyasal kaplama işlemine eşdeğer bir performans sağlayarak alüminyum altlık malzemenin yapıştırma işlemi için daha uygun olduğunu sonuçlamışlardır [27].

Bu bölüm ile ilgili özetle ve sonuç olarak; Yüzey ön işlemi, yapıştırma işleminin ilk ve en önemli teknolojik aşamalarından biri olmaktadır. Uygun bir yüzey ön işlem yönteminin seçimi bu verilere bağlı olduğundan, yapıştırıcı bağlama için bir malzeme yüzeyinin özelliklerinin, tipinin ve geometrik yapısının analizinden önce gelmektedir. Yapıştırıcı bağlamada, birleştirilen elemanların yüzeyi, bir yapıştırıcı ile etkileşimlerin meydana geldiği malzeme parçası olarak tanımlanmaktadır. Bu hem etkileşim alanı hem de derinliği ile bağlantılıdır. Güçlü yapışkan bağlantılar oluşturmak için, yapışkan bağlama için yüzey ön işlemleri aşağıdakileri sağlamalıdır.

- Yapıştırıcı bağlantı mukavemetini önemli ölçüde azaltabilecek tüm kirleticilerin (yağlayıcılar, tozlar, gevşek korozyon tabakaları, mikro organizmalar gibi) yapıştırılacak yüzeylerden uzaklaştırılması,
- İyi yüzey ıslatılabilirliği,
- Özelliklerin tekrarlanabilirliği,
- Doğru yüzey gelişimi,
- Bağlanan elemanların yüzeylerin aktivasyonu.

Bu yöntemler, korozyon ürünleri gibi yapışkanla bağlanmış yüzeylerde oluşan hem organik hem de inorganik kirleticileri ortadan kaldırmayı ve geometrik yapı oluşturmayı amaçlamaktadır [41].

Aşağıda bulunan tablo yüzey alüminyuma yapılan epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan ve farklı yüzey işlemlerden bazılarının mukavemete etkisini gösteren bir tablo sunulmaktadır. Tablo 2.1’de yüzey işlemin yapıştırma mukavemetine etkisini gösteren bir tablo bulunmaktadır.

Tablo 2.1: Metal yüzey hazırlığının yapıştırıcı ile bağlanan mukavemete etkisi [41].

Malzeme	Yapıştırıcı	Uygulama	MPa
Alüminyum	Epoksi	Yüzey işlemsiz	3.06
		Yag giderme	5.77
		Kumlama	12.1
		Asit ile aşındırma	19.0

Tabloda görüldüğü üzere yüzey işlemsiz alüminyum ön işlem kullanılarak mukavemete iyileştirme sağlanmıştır. Bu iyileştirme genel olarak yüzey işlemin yapıştırma öncesi önemli bir parametre olduğunu vurgulamaktadır.

BÖLÜM 3. PLAZMA YÜZEY AKTİVASYONU

Yapıştırılacak bir alt tabakanın yüzeyinin kum püskürtme yoluyla pürüzlendirilmesi ve daha sonra yapışma için mümkün olan en iyi yüzey koşulunu elde etmek için ultrasonik temizleme ile iyice temizlenmesi gerekmektedir. Kum püskürtmeli yüzey üzerindeki mikro boyuttaki kirliliklerinin çıkarılması gerektiğine dikkat çekilmiştir aksi takdirde kum püskürtmenin faydalarından ödün verilmek zorunda kalınacaktır [34]. Bu nedenden dolayı tezin bu bölümünde plazma yüzey aktivasyonuna yer verilmiştir.

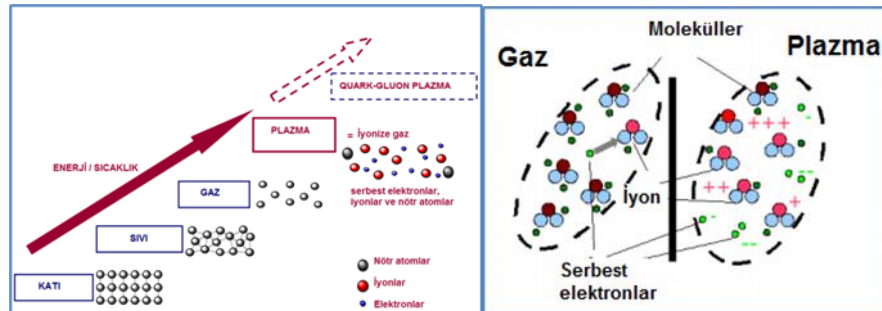
Plazma yüzey işlemleri 1950 yıllarında Danimarkalı Bilim İnsanı Verner Eisby adlı kişi tarafından bulunmuştur. Hızla gelişen teknoloji sonucunda günümüzde birçok sanayi uygulamalarında iş parçasının yüzey gerilimini, ıslatma kabiliyetini ve yapışma direncini kontrol eden ileri teknolojiye sahip yüksek enerjili bir proses olarak kullanımı artmaktadır. Plazma yüzey teknolojisi aracılığıyla yüzey temizleme, sterilizasyon rahatlıkla yapılabilmektedir. Nano veya mikron boyutlu gözle görülemeyen kirlilikler yüzeyden hızla buharlaştırılarak yüzeyden uzaklaştırılmaktadır. Bunun yanında çeşitli adheziflerin, boyaların, ve kaplamaların yüzeyde daha iyi tutunmalarını sağlamaktadır. Yüzey gerilimi artırılmak koşuluyla yüzey ıslatma açısı düşürülebilmektedir. Bu sayede boya, vernik, tutkal ve benzeri adhezifler yüzeye daha yüksek yapışma, atmosferik koşullara direnç sağlamaktadır. Kullanım amacına bağlı olarak yapışmaz yüzeyler de elde edilmektedir. Bu sayede kalıplardan parça ayrılması veya ayrılma esnasında hasar oluşması engellenmektedir. Gerektiği takdirde yüzeyde dağlama yaparak yüzey yapısı değiştirilebilmektedir. Plazma teknolojisi plastiklerden, metallerde, seramiklerden cam yüzeylere ve ahşap yüzeylerden tekstil ürünlerine kadar çok çeşitli malzeme yüzeylerine uygulanabilmektedir [43].

Aslında, soğuk plazma teknolojisi 1960'lı yılların sonlarından bu yana elektronik endüstrisi tarafından ince film materyallerinin biriktirilmesi ve yarı iletkenlerin, metallerin ve polimerlerin plazma ile aşındırılması için kullanılmaktadır [31].

Çevre dostu yüzey temizleme yöntemleri üzerinde araştırmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Plazma teknolojisi yüzey temizleme uygulamaları için aday yöntemlerden bir tanesidir. Plazma; yüzeyin fiziko kimyasal yapısını modifiye eden aktif bir atmosfer oluşturmaktadır. Bu atmosferde enerji yüklü nötronlar, iyonlar ve elektronlar yer almaktadır. Plazma tabancası aracılığıyla oluşturulan plazma ile yüzey temizleme, yüzey dağlama, yüzey aktivasyonu ve yüzey modifikasyonu gerçekleştirilebilmektedir [44].

3.1 Plazma ve Yüzey

Plazma; en basit haliyle maddenin katı-sıvı- gaz halinin dışında maddenin yüksek enerjili 4. hali olarak tanımlanmaktadır. Gaz fazından yeterli bir enerji seviyesine ulaşılması durumunda gaz moleküllerinin iyonize olarak plazma konumuna geçmesi esnasında yüksek ısı ve ışık (UV) kaynağı ortaya çıkarmaktadır. Yüksek enerji yoğunluğu (W/cm^2) nedeni ile yüzey de bir hasar oluşumu söz konusu değildir. Yüzeyde nano seviyesinde bir deformasyon oluşturmaktadır ki gözle görülmesi ve hatta mikroskopla gözlenmesi oldukça zordur. Ancak yüksek hassasiyetli gelişmiş yüzey analiz ve mikroskoplar (SEM, AFM, TEM) aracılığıyla algılanabilmektedir. Plazma yüzey ile temas etmesi durumunda yüzey reaksiyonlarını başlatan veya hızlandıran bir enerji transferi sağlamaktadır. Bu enerji transferi etkisiyle yüzeyin kimyasal ve fiziksel özellikleri değiştirilebilmektedir. Yüzeye plazma uygulanması ile yüzey daha inert veya daha reaktif hale getirilebilmektedir. Plazma oluşumunda kullanılan gaz kompozisyonları ve plazma oluşumu ve yüzeye etki şartlarına bağlı olarak plazma yüzey etkileşimi yüksek enerjili iyon transferi aracılığıyla kontrol edilebilmektedir [43]. Şekil 3.1’de plazma oluşumunun şematik görüntüsü görülmektedir.

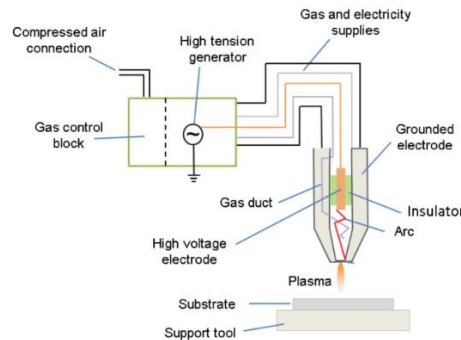


Şekil 3.1: Plazma oluşumu [43].

Plazma pozitif, negatif ve nötr partiküllerden oluşmaktadır. Plazma yapısındaki negatif yükler ile pozitif yükler birbirine eşittir. Enerji yüklü bir elektron nötr gaz molekülüne çarpıtıldığında, disosiye olmakta ve serbest radikaller ve iyonlar açığa çıkmaktadır. Örneğin oksijen ile oluşturulan plazma da dissosiye prosesi sonucunda serbest radikal atomik oksijenler ortaya çıkmaktadır. Bu reaktifler C-C bağlarının kırılarak yüzeyin temizlenmesine yardımcı olmaktadır [44].

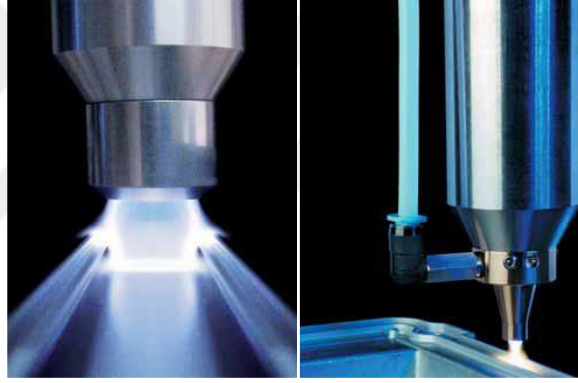
3.2 Plazma Teknolojisi

Farklı malzemelerin plazma ön işlemi, düşük basınçta ve atmosferik basınçta gerçekleştirilebilir. Düşük basınçlı plazma sistemlerinin dezavantajlarından biri, işlemde geçirilecek malzemelerin, bileşenlerin boyutunu sınırlandıran bir vakum odasına yerleştirilmesi gerekliliğidir ve parçaların ön işleme tabi tutulması daha sonra sürekli bir işlemde işlenemezler olmalarıdır. Diğer bir dezavantaj, gereken güç tüketiminin oldukça yüksek olmasıdır ve bu durumda işlemi nispeten pahalı hale getirir [31]. Düşük basınçlı plazma teknolojisinde plazma; yüksek frekanslı bir jeneratör kullanılarak üretilmektedir. Bu teknoloji, gaz / plazma bileşimi, güç, işlem süresi vb. açısından son derece kontrol edilebilmektedir. İşlem tamamlandığında ve oda atmosfer basıncına geri döndüğünde, kapı açılabilir ve numuneler hazneden çıkarılabilir. Atmosferik basınçlı teknolojisinde plazma, yüksek gerilim jeneratörü ile üretilir. Plazmayı oluşturmak için kullanılan gaz farklı kaynaklardan gelebilir. Düşük basınçlı plazma teknolojisine göre daha az kontrol edilebilir bir sistemdir [31]. Şekil 3.2’de atmosferik basınçlı plazmanın bileşimi sisteminin şematik görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3.2: Atmosferik basınç plazma sisteminin bileşenleri [31].

Plazma maddeye yüksek, dengesiz enerji düzeyinde verilen isimdir. Enerji, her zaman ısı şeklinde maddenin katı, sıvı ve gaz halleriyle girilir. Bir elektrik deşarjı yoluyla, elektronları daha yüksek enerji seviyelerine uyarmak için malzemeye ek enerji verilebilir. Bu olduğunda elektronlar atomik kabuklarını bırakabilir ve moleküler bağlar kırılabilir. Bu, serbest elektronların yanı sıra, elektronları kaybetmiş atomlardan oluşan iyonların ve moleküler parçaların oluşumuyla sonuçlanmaktadır. Bu durum, serbest elektronların yanı sıra, elektronları kaybetmiş atomlardan oluşan iyonların ve moleküler parçaların oluşumuyla sonuçlanır. Sadece sıfır potansiyelde çalışan atmosferik basınç plazma prosesi, bu "plazma" maddesinin endüstriyel amaçlar için kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Plazma jetlerinin geliştirilmesi ve kullanılmasıyla bu durum bir üretim hattında başarıyla kullanılmaktadır [45]. Şekil 3.3'de ve şekil 3.4'de nötr plazma ışının temizleme esnasında görüntüleri görülmektedir.



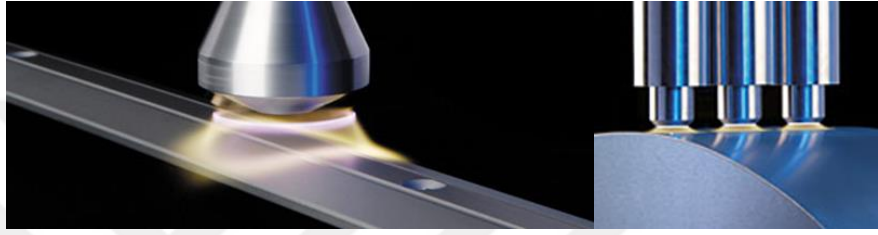
Şekil 3.3: Elektriksel olarak nötr plazma ışını, ultra ince temizlik, yüksek aktivasyon [45].

3.3 Plazma Yüzey Temizliği

Plazma ile yüzey temizliği basit ve yaygın bir yöntem olup, yüzeyden istenmeyen kirliliklerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Genel olarak plazma ile yüzey temizleme tekniği kuru bir temizleme yöntemi olup, yaş yöntemlere nazaran daha yüksek yatırım maliyeti çıkarmasına karşın işletme maliyetleri daha düşük seviyededir. Atmosferik plazma ile kuru plazma yüzey temizliği proses akışında eş zamanlı olarak gerçekleştirilebilmektedir. Yüzey temizleme tüm yüzeyler için diğer yöntemlere göre etkili ve ekonomiktir. Plazmanın yüksek enerjisi nedeniyle kimyasal ve organik yapılar yüzeyden kolaylıkla uzaklaştırılabilmektedir. Ultra temizlik uygulamalarında (Hijyen) da

yüksek performans sergilemektedir. Bu özelliği sonucunda kaplamalar için uygun bir zemin elde edilmiş olacaktır [44].

Mekanik ön işlemlerin yerine kuru, gaz fazlı prosesleri (plazma gibi) kullanma imkanı, birçok endüstride devrim yaratabilir. Plazma ön arıtma, önemli maliyet ve zaman tasarrufu, daha az enerji tüketimi, uygulama doğruluğu sağlar, işlem sırasında enkaz / toz oluşmaz ve kolayca otomatikleştirilebilir. Bu durumda havacılık, otomotiv, denizcilik, savunma dahil bir çok endüstride özellikle bakım ve onarım departmanlarında bu teknolojiye olan ilgiyi arttırmıştır [31].

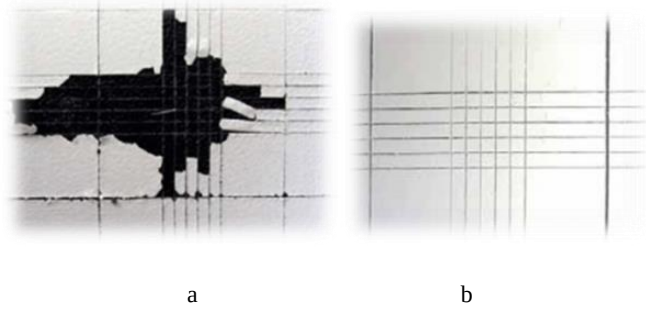


Şekil 3.4: Plazma ile yüzey temizliği örnekleri [44].

3.4 Yüzey Aktivasyon Yöntemleri

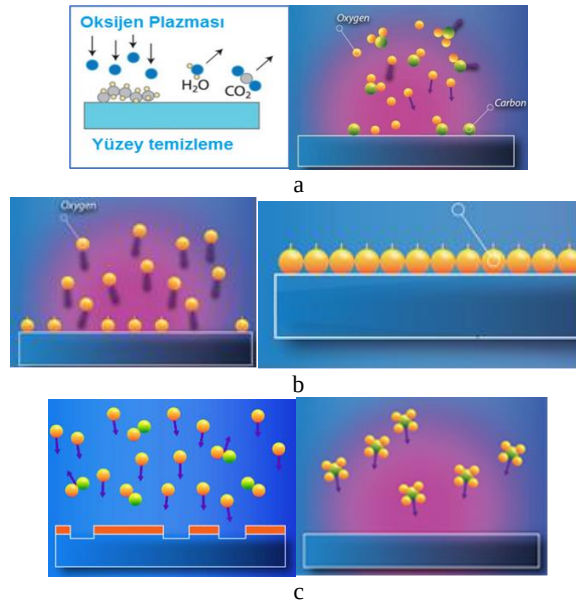
Endüstriyel boya, kaplama, yapıştırma ve birleştirme işlemlerinde yüzey aktivasyonu yapılması prosesin başarısını ve performansını artırmaktadır. Yüzeyin fiziksel ve kimyasal yapısı değiştirilerek yapışma ve ıslatma özellikleri kontrol altına alınabilmektedir. Özellikle son yıllarda otomotiv sektöründe yaygın olarak yüzey aktivasyon yöntemlerinden faydalanılmaktadır.

Genel olarak yüzey aktivasyonunun amaçları: Yüzeyin kimyasal kompozisyonunu değiştirerek yapışma özelliklerini artırmak, yüzey topoğrafyasını ve kristalin yapı morfolojisini değiştirmek, yapışmayı olumsuz etkileyen süreksizlikleri ortadan kaldırmak, yüzeyi kaplama/astarlama işlemleri için uygun iletkenliğe getirmek, malzemenin kütleli özelliklerini koruyarak yeni yüzeyler oluşturmak, farklı yüzey işlemler (kuru veya yaş halde uygulanan) yüzeyin bir ya da daha fazla özelliğini (pürüzlülük, oksidasyon, ıslatma, yüzey gerilimi vb.) değiştirmektedir [43].



Şekil 3.5: DIN EN ISO 2409 standardına göre kareleme testi sonucu a. Yüzey aktivasyonu yok, b. Plazma yüzey aktivasyonu görmüş (Plasma Treatment) [43].

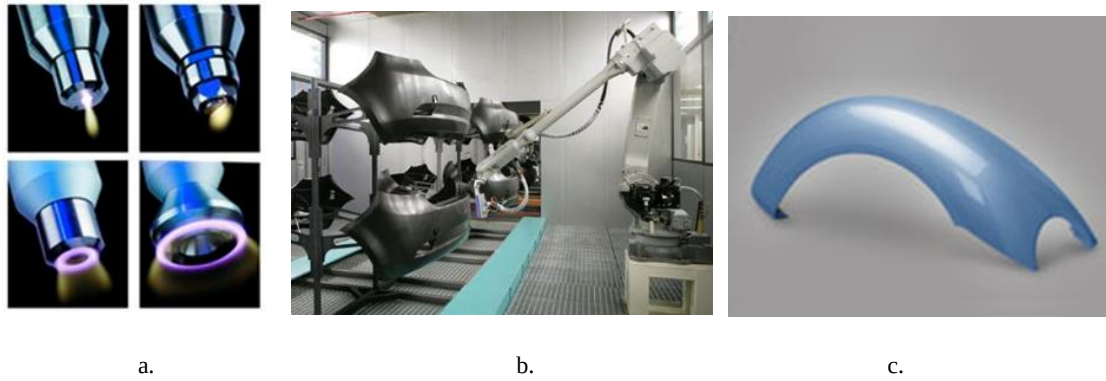
Şekil 3.5’de plazma aktivasyonu ile temizlenen yüzey ve temizlenmeyen yüzey arasındaki fark görülmektedir. Şekile göre plazma yüzey aktivasyonu sonucunda yüzeyde iyileşme görülmektedir. Yöntem seçiminde prosesin yüzeyden beklentileri en üst düzeyde karşılaması (düşük ısılatma açısı) yanında pratik ve ekonomik olması ve çevre dostu olması gerekmektedir. Prosesin tekrar edilebilirliği oldukça önem taşımaktadır. Bu bağlamda yüzeyin temiz ve kuru olması önem taşımaktadır. Oksijen plazması ile yüzeyde istenmeyen kirlilikler, yağlar, uçucu bileşikler hızla uzaklaştırılabilmektedir. Bunun yanında gerektiğinde yüzeye dağlama uygulanarak yüzey dokusu da değiştirilebilmektedir. Plazma gaz kompozisyonuna bağlı olarak yüzey tekstürü verilebilmektedir. Aşağıdaki şekilde plazma işleminin şeması gösterilmiştir [43]. Şekil 3.6’da plazma aktivasyonun kullanım amacına göre yüzeyde oluşan simülasyon görüntüleri görülmektedir.



Şekil 3.6: a. Yüzey temizleme b. Yüzey aktivasyon c. Yüzey kaplama simülasyon görüntüsü [43].

3.5 Proses Gereksinimleri ve Parametreler

Yüzey temizleme işlemleri kapsamında lazer, elektron bombardımanı ve plazma ışınları ile yüzeyden kir, pas veya boya temizleme işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Genel esas yüzeyde şok dalgalarının (Düşük frekans, Rf, Mikro dalga) oluşturulması, buharlaştırma ve yüzeyden uzaklaştırmaktır. Yüzeyi temizleme seviyesi ışın tipine ve enerjisine bağlıdır. Yüksek enerjili plazma ışını ile yüzey de kir tabakası ısıtılarak buharlaştırma yoluyla uzaklaştırılabilmektedir. Plazma temizleme işlemlerinde O₂, N₂, Ar, H₂, ve CF₄ gazları tekil veya karışım halinde kullanılabilir. Bu sayede yüzey temizleme, dağlama ve yüzey modifikasyonu gerçekleştirilebilmektedir. Plazma yüzey aktivasyon işlemi optimizasyon çalışmaları ile hedeflenen yüzey özellikleri elde edilebilmektedir. Şekilde tampon yüzeylere plazma yüzey aktivasyonu robotik uygulama esnasında sergilenmektedir. Yüzeye uygun plazma torç türleri tasarlanmakta ve proses parametreleri ile uygun yüzey gerilimleri elde edilebilmektedir [43,44]. Plazma sürecini farklı parametreler etkilemektedir. Bu parametreler arasında süreyi (işlem hızı ve geçiş sayısı), gücü, gaz akış hızını (gazların kombinasyonu) ve mesafeyi vurgulamak önemlidir. Her uygulama ve her malzeme için, bu parametrelerin plazma ile yüzey arasındaki etkileşim olarak tanımlanması gerekir ve yüzey yoğun bir şekilde malzeme özelliklerine bağlıdır [31]. Şekil 3.7’de plazma aktivasyonun kullanım alanları görülmektedir.



Şekil 3.7 : a. Plazma torç, b.plazma işlemi, c. plazma işlemi sonrası tampon yüzey aktivasyonu [43].

Plazma yüzey aktivasyonu için etkin parametreler: Plazma gücü, Plazma gaz kompozisyonu, gaz akış hızı, tutma süresi, plazma jeneratörü tipi ve torç geometrisi, tarama hızı, altlık ile mesafesi, malzeme kalitesi (nem oranı ,yüzeydeki kiri, türü, kalitesi), ortam [43].

Plazma yüzey aktivasyonunda plazma gazları yapışma özelliklerinin kontrolünde etkin parametrelerden bir tanesidir. Aşağı bulunan Tablo 3.1’de de görüleceği üzere gazın türüne bağlı olarak uygulamalar ve performansları farklılık göstermektedir. Yüzey aktivasyonunda O₂ ve Azot gazları tercih edilmektedir [43]. Tablo 3.1’de plazma gazı ve plazma işlemi arasındaki kullanımın uygulama alanları sunulmaktadır.

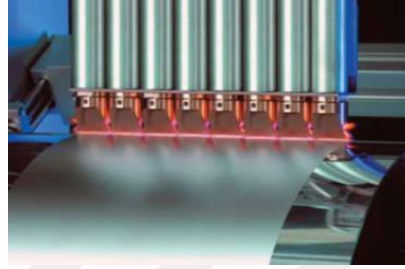
Tablo 3.1: Plazma gazlarına bağlı olarak kullanım alanları [43].

Plazma gazı	Plazma İşlemi
Argon (Ar)	Yüzey temizleme, Çapraz bağlama/ polimerizasyon
Oksijen (O ₂)	Yüzey Temizleme, Oksidasyon, Yüzey aktivasyon, Yüzey dağlama
Azot (N ₂)	Yüzey aktivasyon
Hidrojen (H ₂)	Yüzey temizleme, Redüksiyon
CF ₄ /O ₂ veya SF ₆ /O ₂	Yüzey dağlama

3.6 Literatürde Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Plazma İşlemleri

Alüminyum ve alaşımları, havacılık da dahil olmak üzere birçok endüstriyel sektörde hafif malzemeler olarak yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak bu malzemeler zayıf yapışma özellikleri, düşük sertlik ve düşük aşınma direnci sergilemektedir. Alüminyum alaşımlarının yapıştırma veya boyamadan önce yüzey modifikasyonu, yüksek korozyon direnci, bağlantı mukavemeti ve yapışkan bağlantıların dayanıklılığı açısından çok önemli bir rol oynamaktadır. İnce film kaplamaların alüminyum üzerinde güçlü arayüzey bağlanması sergileyen plazma birikimi, geleneksel kanserojenik kromat bazlı tedavilere bir alternatif sağlayabilir. Plazma ile kaplanmış kaplamalar, korozyona karşı koruma sağlar ve güçlü, dayanıklı yapışkan bağlar için yüksek yüzey serbest enerjili (ıslanabilirlik) bir yüzey sağlar. Soğuk plazma, alüminyum yüzeylerin temizlenmesi, aktif hale getirilmesi ve böylece yapışma özelliklerinin artırılması için verimli, kirletici olmayan ve ekonomik bir yoldur. Bu nedenle, soğuk plazma, yapıştırıcı bağlamadan önce astar uygulama ihtiyacını ortadan kaldırır ve böylece işlemi çok daha basit hale

getirmektedir. Buna ek olarak, kompozit yamanın metalik yapılardaki çatlakları onarmak için yapıştırılması, havacılık ve otomotiv endüstrilerinde kabul gören bir teknolojidir. Plazma elektrolitik oksidasyon (PEO) işlemi, aynı zamanda, yüksek tribolojik özelliklere sahip alüminyum alaşımları üzerine oksit katmanları dahil etmek için önemli bir teknolojidir [13]. Şekil 3.8’de alüminyum folyo üzerine uygulanan plazma işlemi görülmektedir.



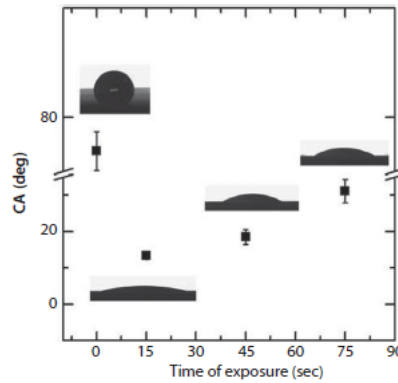
Şekil 3.8: Alüminyum folyo üzerine uygulanan plazma işlemi [45].

Tüm ürün ve bağlantı bazlı gereksinimler (yüksek mukavemet-ağırlık oranı, yüksek hasar toleransı, yüksek dayanıklılık, tasarım esnekliği, çevre dostu ve düşük maliyetli üretim süreci, vb.) ve plazma yüzey modifikasyonunun büyük yeteneği; ıslanabilirlik ve yapışmanın iyileştirilmesi, iyileştirilmiş korozyon direnci, iyileştirilmiş yapışma ve yorulma direnci ve iyileştirilmiş sertlik ve aşınma direnci gibi çeşitli mekanik ve malzeme özelliklerinin geliştirilmesinde çeşitli plazma yüzey işlemlerinin etkilerini titizlikle gözden geçirilmektedir. Plazma elektrolitik oksidasyon (PEO), hafif metal (Al, Ti ve Mg alaşımı) oksidasyonuna artan bir ilgi kazanmıştır. Alüminyum alaşımlarının PEO muamelesi, alt tabakaya kalın, sert ve iyi yapışan bir oksit tabakası geliştirir. Sert anodik oksit ve plazma elektrolitik oksit kaplamaların alüminyum alaşımlarının yorulma dayanımı üzerindeki etkisini Partel tarafından incelenmiştir [13]. Atmosferik basınçlı plazma teknolojisi alüminyum yeniden işlenmesinde devrim yaratmakta ve aynı zamanda örnek bir şekilde çevrenin konmasını sağlamaktadır. Alüminyum işlemede yüzeyi aşınmış levhalar, sac levhalarda haddeleme yağlarından kaynaklanan artık kirlenme ve bu tür durumlarla başa çıkma için kullanılan çevreye zararlı kimyasallar yaygın problemler arasında bulunmaktadır [45].

Yapıştırıcı ve arayüz boyunca arıza önlenmeli ve bağlantıda kohezif arızalar elde edilmelidir. Örneğin Williams ve arkadaşları plazma yoluyla ön işleme tabi tutulmuş çelik numuneler ve işlenmiş numunelerin kohezif başarısızlığının, işlenmemiş numunelerde

elde edilen %30'a kıyasla başarısızlık yüzeyinin % 97'e yükseldiği gözlemlenmiştir. Çalışılan malzemenin endüstriyel açıdan bakıldığında, tercih edilen ön arıtma işlem süresini ve enerji tüketimini azaltan olacaktır. Endüstriyel bileşenlerin geometrisi daha karmaşık hale geldikçe, tercih edilen ön işlem sanayileşme potansiyeline sahip olmalı, bu da operasyonu nispeten basit ve tutarlı hale getirmelidir. Endüstriyel işlemler sırasında tutarlılık, nihai bileşenin güvenilir performansı için çok önemlidir. Performans, seçilen işlem parametrelerinden de etkilenecektir. Yanlış parametrelerin seçilmesi, alt tabakalara zarar verebilir ve bu nedenle son montajın mukavemetini etkileyebilmektedir [31].

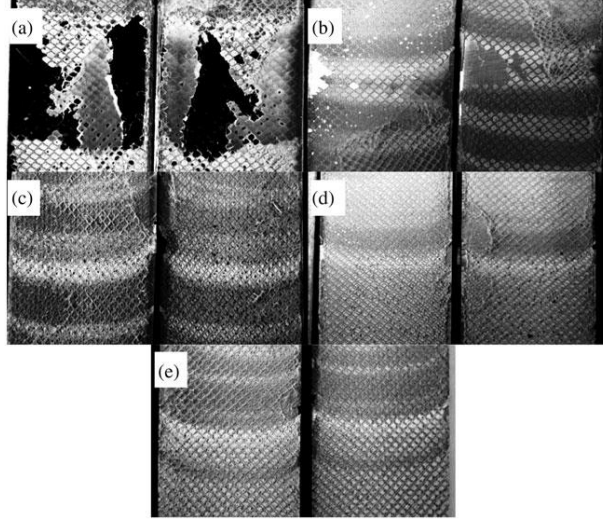
Vinay Kumar Patel ve arkadaşının 2017 yılında yapmış olduğu Yapışmayı Teşvik Etmek İçin Alüminyum Alaşımlarının Plazma İşlenmesi: Kritik Bir İnceleme konulu çalışma sonucunda, iki bileşenli bir epoksi reçinesi ile bağlanmadan önce atmosfer basıncında He-O₂ plazmasını oda sıcaklığında işleme tabi tutmuştur. Epoksida kohezyon başarısızlığına yol açan çok kısa bir süre (sadece 15 sn) He / O₂ plazma maruziyetinden sonra 24 ± 1 MPa'lık çok yüksek yapışma gücüne ulaşılmıştır. He/O₂ plazma okside yüzeylerde su teması açısındaki (WCA) varyasyonun doğası, yalnızca asetonla silinen yüzeyinkiyle karşılaştırıldığında saniye cinsinden maruz kalma süresinin bir fonksiyonu olarak şekilde gösterilmektedir. Asetonla silinen alüminyum yüzeyler üzerinde $77 \pm 1.7^\circ$ WCA, 15 saniye boyunca oksijen plazmasına maruz kaldıktan sonra $13 \pm 0.7^\circ$ 'ye keskin bir şekilde düştü, bu da düşük su teması açısındaki yüzeyde yüzeylerde yapışkanın daha iyi akış ve ıslanabilirliği nedeniyle mükemmel yapışma bağı mukavemeti ile sonuçlanmıştır [13]. Şekil 3.9'da Al 6xxx serisinin plazmaya maruz kalma süresine göre görünen ıslatma açıları görülmektedir.



Şekil 3.9: He/O₂ plazmaya maruz kalma süresinin bir fonksiyonu olarak AA6061-T6 alüminyum alaşımında su temas açısının (CA) değişimi [13].

Miguel Angel'in 2017 yılında Alüminyum ve kompozit bağlayıcı eklem bağlantılarına plazma işleminin etkisi: Kesme yükü testi sonuçları çalışmasında farklı alüminyum ve kompozit kuponlara farklı ön işlemler uygulayarak plazma işleminin alüminyum ve kompozit yüzeyler üzerindeki etkisi, malzemenin yüzey tabakası ile etkileşime girerek, yapışmanın mekanik mukavemetinde ilgili değişiklikler anlamına gelen etkiler üretmektedir sonucuna ulaşılmıştır. İzopropil alkol temizliği ile alüminyum numuneler üzerinde yapılan alüminyum kayma mukavemeti testleri, "olduğu gibi" gruplar ve hafif asit muamelesi ile, bağlama üzerine plazma uygulandığında, ortalama çekme mukavemetinde %24 ila %30 anlamlı bir artış ortaya koymaktadır [46].

Thomas S. Williams ve arkadaşlarının 2013 yılında yapmış oldukları Alüminyum 2024 serisinin yapışkanla bağlanması için yüzey ön işlemi olarak atmosferik basınçlı plazma aktivasyonu çalışmada plazma ile aktive edilen numunelerin çekme mukavemeti deneyleri sırasında zımparalanmış alüminyumdan biraz daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca Atmosferik basınçlı helyum / oksijen plazmalarının kullanımı, alüminyumun bağlanmasından önce yüzey aktivasyonu için etkili bir tekniktir. He / O₂ plazma ile 5 saniye aktivasyonun ardından, 2024 alüminyum alaşımının WCA'sı 79°'den 38°'ye düşürüldü. Bağlanmış alüminyum 2024 numuneleri 33 ± 1 MPa'lık bir çekme mukavemeti göstermiştir. Yapılan bu çalışmada zımparalanmış alüminyum için çekme mukavemeti 30 ± 2 MPa idi. Dahası, zımparalama sadece % 86 kohezyon hatası vermiştir. Epoksi ile bağlanmış bağlantıların performansının, oksit tabakasının kalınlığı ve hidroksit işlevselliklerinin konsantrasyonu ile ilişkili olduğu gösterilmiştir sonucuna ulaşılmaktadır. Şekil 3.10'da farklı ön işlemler sonucunda plazma aktivasyon görüntüleri görülmektedir [46].



Şekil 3.10: a. aseton silme, b. zımparalama, c. sol-jel , d. sol-jel ile He/O₂ plazma aktivasyonu ile bağ astarı e.zımparalama ve ardından sol-jel ile He/O₂ plazma aktivasyonu [46].

Zbigniew Mirski ve arkadaşlarının 2017 yılında yapmış oldukları alüminyum, magnezyum ve titanyum alaşımlarının hazırlanmasının yapıştırıcı yapıştırılmış birleşme noktalarındaki özelliklerine etkisi çalışmasında düşük sıcaklıklı plazma uygulaması, mekanik mukavemeti sadece mekanik işlemle elde edilen mukavemete kıyasla %15 ila 25 arttırıldığı gözlemlenmektedir [47]. Şekil 3.11’de bobin kaplama işleminde plazma kullanımı görülmektedir. Plazma işlemi ile büyük hacimlerde ıslak kimyasallar yöntemler gereksiz hale gelmiştir.



Şekil 3.11: Dünyada bir ilk: Griesser’de bobin kaplama işleminde plazma kullanımı [47].

Akılda tutulması gereken önemli bir faktör, gelen alüminyum yüzeyin tipik olarak önceki işlemten dolayı çok sayıda yüzey kimyası göstermesidir. Bu, yağlayıcılar, oksitler, toz ve kir dahil, ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere, inorganik ve organik kirlilik içerebilir. Bu kirletici maddeler yapıştırıcının ana malzemeye yapışmasını önleyecek ve yüzeyi

yapışmaya hazırlamak için çıkarılmalıdır. Yapıştırıcı tipik alüminyum yüzeye basit bir şekilde uygulanacaksa, yapıştırıcı ana malzemeye uzun süreli bir bağ oluşturmayacak, fakat yüzeyinde bulunan kirliliklere ve reaksiyon ürünlerine yapışacaktır. Yüzey kirlilikleri, yapıştırıcının uygun bir bağ oluşturma yeteneğine müdahale ederek (daha zayıf bir bağ veya azaltılmış bir bağ alanı ile sonuçlanır) bağlanma gücünü azaltacaktır. Bu nedenle, alüminyum esaslı malzemeler normal olarak yapıştırmadan önce uygun bir temizleme ve yüzey işlemine tabi tutulur. Öncelikle, tanımlanmamış kalınlıktaki bir yüzey tabakasındaki (yani toz, kir, yağ, gres, yağ, su) kirleri çıkarmak kesinlikle gereklidir. Ayrıca, yabancı moleküller (yani su, gazlar) tarafından yaratılan altlıktaki inaktif yüzeye tutunma tabakası da giderilmelidir. Ayrıca, hem atıl hem de homojen olmayan doğal (ısıyla üretilen) oksit tabakası (reaksiyon tabakası) da genel olarak değiştirilmelidir [25].

Elde edilen bu çalışmalar sonucunda plazma aktivasyonunun yapışma üzerine olumlu etkisi olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 4. ALÜMİNYUM - ALÜMİYUM YAPIŞTIRMA YÖNTEMLERİ

Yapıştırıcı bağlantılar, otomotiv ve havacılık endüstrisinde geleneksel kaynak ve mekanik bağlantılar yerine yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapıştırıcı bağlantıların, tasarım esnekliği, hafiflik, hızlı ve kolay üretim süreci, tüm bağlanmış alan üzerinde eşit yük dağılımı ve farklı malzemeleri birleştirme yeteneği gibi birçok avantajı vardır. Diğer herhangi bir yöntemde olduğu gibi, yapıştırıcı birleştirme yöntemlerinin de dezavantajları vardır; örneğin kimyasalların kullanımından kaynaklanan çevresel zarar, yapıştırıcıların sınırlı raf ömrü ve sıklıkla ısıyla kürlenme gereksinimidir. Dahası, yapışkan bağlantıların soyulma kuvvetlerine karşı yüksek bir mukavemeti yoktur ve bu nedenle iyi yapışma elde etmek için yapışan yüzeylerin ön işlemden geçirilmesini gerektirmektedir. Yapıştırıcı ile alt tabaka arasındaki yapışmayı iyileştirirken, yapışma üzerinde etkisi olan faktörlerin bilinmesi önemlidir [18]. Yapıştırıcı bağlama, ısıyla yapıştırma, lehimleme veya kaynaklama gibi diğer yapıştırma yöntemlerine bir alternatif olabilir. Yapıştırıcı bağlamanın sayısız avantajlarından biri, farklı fiziksel ve geometrik özelliklere sahip malzemeleri, bu malzemelerin yapısında herhangi bir değişikliğe neden olmadan yapıştırmak için yeni olanaklar sunmasıdır. Yapıştırıcı bağlama, temel yapıştırma işlevinin yanı sıra sızdırmazlık, yenileme ve eleman sabitleme işlemlerinin yanı sıra teknik ekipmanların onarımlarını da geliştirmektedir. Ayrıca, eklem bölgesinin mukavemetini artırmak için yapıştırıcıyı diğer yapıştırma yöntemleriyle birleştirmek mümkündür [41].

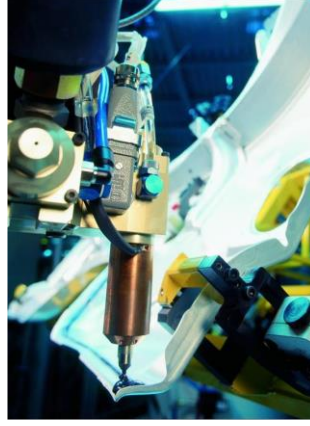
Alüminyum ve alaşımları bugün çeşitli nedenlerle metallerin en avantajlılarından biri olarak kabul edilmektedir. Düşük maliyeti, hafifliği ve modern görünümü, yaygın kullanımının başlıca nedenleri arasındadır. Alüminyum yanmaz özelliği, elektriksel olarak ve termal olarak iletken olması, manyetik olmaması ve kimyasal olarak dayanıklı olması da bu avantajları arasındadır. İmalat kolaylığı, toksik madde oluşturmaması,

sanayi ve deniz ortamlarının aşındırıcı ortamlarına direnci nedeniyle inşaat, deniz ve uçak endüstrilerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden yapıştırıcı kullanılan birleştirme işlemlerinde alüminyum ve alaşımları tercih edilen önemli malzeme haline gelmiştir. Üretim alanında yapıştırıcılarla birleştirmenin önemi artmaktadır, çünkü diğer birleştirme yöntemlerine kıyasla birçok avantajı vardır. Yapıştırıcı ile metalleri birbirine bağlama, geniş alanlarda yapıştırma, farklı kalınlıktaki farklı malzemelerin yapışması, daha hafif ağırlık ve genellikle ısınmadan kaynaklanan herhangi bir termal bozulmayı veya malzemelerdeki gerilmeleri ortadan kaldırarak bir yapışkan bağlantı oluşturmak için daha az ısı kullanımı gibi özellikleri ile avantaj sunmaktadır [48].

Metalleri yapıştırıcı kullanarak birbirine bağlama fikri, başlangıçta ahşabın yapıştırılmasında kullanılan fenolik yapıştırıcıların revize edilmesi ve makinelerde kauçuk metal bağlantıların kullanılmasından ilham alınmıştır. 1942'de fenol formaldehit modifiyeli yapıştırıcı, yapıştırıcının gücünü ve çevresel etkilere karşı direncini artıran metil polivinil toz geliştiricili Redux 775, metal endüstrisinde ilk kez havacılık alanında metal parçaları birleştirmek için uygulanmıştır. Bu yapıştırıcı bugüne kadar uçak yapımında kullanılmıştır. Metal yapıştırmadaki atılım, 1946'da İsviçre şirketi CIBA tarafından epoksi reçinelerinin kullanılması ile başlamıştır. Esas olarak havacılık mühendisliğinde, özellikle birleştirilmiş yüzeylere kromik asit vasıtasıyla dağlama tekniğinin geliştirilmesinden sonra uygulanmıştır. Yapısal yapılarda yapıştırıcıların başarılı bir şekilde uygulanmasının bir örneği, Almanya'daki Marl yakınlarındaki Lippe Seiten kanalı üzerindeki çelik köprü olmuştur. Yapıştırıcı kullanarak bağlama hatası durumunda yapıştırıcı bağlantılarının civatalarla desteklendiği ilk "yapıştırıcı kullanılan" köprüdür. Köprü 1950 yılında inşa edilmiş ve 2001 yılına kadar zarar görmeden kullanılmıştır. İkinci örnek, 1963'te Mainz 'de inşa edilen aynı kanal üzerinden "yapıştırıcı kullanılarak" yapılan bir köprüdür. Yapıştırıcı ile bağlama, kaynak tekniğindeki hızlı ilerlemeler nedeniyle geçen yüzyılın 19'unun altmışlı yıllarının sonundan beri gerilemektedir. Günümüzde, yapıştırıcı ile bağlanma güçlendirme aracı olarak giderek daha önemli hale gelmektedir. Uzun yıllar süren uygulamalardan elde edilen ve bu çalışmada deneysel olarak teyit edilen sonuçlar, yapıştırıcı kullanılan bağlantıların bu alanda ekonomik ve teknik açıdan etkili olduğunu göstermektedir. Alüminyum yapılar ayrıca esas olarak havacılık ve uzay endüstrisinde, gemi yapımında ve otomotiv endüstrisinde, ikincil elemanların birleştirilmesinde yapıştırıcı ile birleştirilebilir. Bazı

yapılarda cephelerin dış panellerini bağlamak için de yapıştırıcı ile yapıştırma tekniği kullanılmaktadır [49].

Yapıştırıcı kullanarak birleştirme tekniği, metallerin, plastiklerin, kompozitlerin ve diğer malzemelerin birleştirilmesi için kullanılan güvenilir, kanıtlanmış ve yaygın bir tekniktir. Ek olarak, yapıştırıcı ile yapıştırma tekniği yenilikçi tasarımların özellikle de yüksek mukavemetli çelikler, demir dışı metaller, plastik ve daha fazla hafiflik sağlayan kompozitler dahil olmak üzere karışık malzeme tasarımlarının gerçekleşmesine izin vermektedir. Havacılık sektöründe uçak yapılarında 50 yılı aşkın bir süredir yapıştırıcı ile yapıştırma yöntemi uygulanmaktadır. Perçinleme ve mekanik birleştirme tekniklerine alternatif olarak kullanılmaya da devam etmektedir. Yapıştırıcı kullanarak birleştirme işlemi uçaklarda; kirişlerin hem gövde hem de kanat konstrüksiyonlarında, kaplamalara ve asansörlerde, kanatçıklar, tırnaklar ve rüzgarlıklar için kaplamalara metalik peteklerin yapıştırılması, yapıştırıcıların uçak sanayisinde ana kullanım alanlarıdır. Son yıllarda, yapıştırıcı ile yapıştırma işlemi, otomotiv sektöründe de otomotivin kapakları ve yapısal modüller dahil olmak üzere çeşitli bileşenleri bir araya getirmek için giderek kullanımı artan bir teknik haline gelmiştir. Ayrıca, yapıştırıcı ile yapıştırma tekniği, hasarlı bileşenlerin onarımında hayati bir süreç taşımaktadır. Konveksiyonel birleştirme teknolojileri yerine veya yanında ek olarak yapıştırıcı kullanarak yapıştırma uygulamaları araçların ağırlıklarının azaltılmasına, gövde sertliğinin artmasına, gelişmiş çarpışma performansının iyileşmesine avantaj sağlamaktadır. Bu durum sonucunda da araçlarda yeni ve verimli montaj fırsatları sunulmasını sağlamaktadır. Aslında, otomobil üretiminde yapıştırıcı ile bağlamanın eklenmesi, alüminyum kapakların ve tamamen alüminyum araba gövde yapılarının üretimi için gereklilik sağlayan teknolojilerden biri olarak görülebilir. Geneliyle bakıldığında, bugün özel olarak birleştirilen yapıştırıcı dolguları sadece yapısal amaçlarla uygulanmaz. Yapıştırıcı ile bağlı metaller mekanik birleştirme işlemine göre avantajlar sunar, çünkü iki yüzey arasında sürekli bir bağ oluşturur, stresi en aza indirir ve darbeyi emmek için metal ile plastik arasında tampon görevi görür. Bununla birlikte, bazı otomobil üreticileri, kendinden delen perçinler, punta kaynakları veya diğer birleştirme teknikleri ile birlikte yapıştırıcılar kullanılarak birleştirilen alüminyum gövdelerin geleneksel sertlik gereksinimlerine eşit veya daha fazla olduğunu göstermiştir [50,51]. Şekil 4.1’de otomotiv sektöründe yapıştırıcı kullanımı ile ilgili görsel bulunmaktadır.



Şekil 4.1: Otomotiv sektöründe kullanılan yapıştırma işlemi [25].

Geleneksel birleştirme teknolojileri yerine veya bunlarla birlikte yapışkanlı yapıştırma uygulaması, aracın ağırlığının bir şekilde azaltılmasına, gövde sertliğinin artmasına, gelişmiş çarpışma performansının / güvenliğinin ve geliştirilmiş özelliklerinin elde edilmesini sağlar. Aslında, otomobil üretimine yapışkanlı bağlamanın eklenmesi, alüminyum kapakların ve tamamen alüminyum araba gövde yapılarının üretimi için anahtar sağlayan teknolojilerden biri olarak görülebilmektedir. Montaj yöntemlerinin kombinasyonu, yüksek yorulma mukavemeti sağlar ve ekonomik faydalar sağlar, çünkü yapıştırıcının polimerizasyonu sırasında fiştlere gerek yoktur ve tamamen yapıştırıcı yapıştırma ile karşılaştırıldığında montaj süreleri kısaltılabilmektedir [25].

Belirli bir uygulama için en uygun birleştirme tekniğinin seçilmesi, eklem bölgesinde sağlaması beklenen hizmet bilgisi ile birlikte farklı parametrelerin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirmektedir. Yapıştırıcı bağlama, havacılıkta (özellikle uçak tamiri) ve otomotiv endüstrisinde mekanik sabitlemenin yanında yaygın olarak kullanılmıştır, ancak birincil yapılarda tek başına kullanılmamıştır. Yapıştırıcı bağlama işleminin niteliği (dayanıklılık ve yapışma gücü açısından), havacılık ve uzay endüstrisi tarafından birincil yapılarda yapışkan bağlamanın uygulanmasına izin vermeden önce araştırılması ve çözülmesi gereken bir sorun olduğu belirlenmiştir. İkincil yapılarda da yapışkan bağlama yaygın olarak kullanılan bir uygulamadır. Yapıştırıcı bağlama, alt tabakalar (yapıştırılan malzemeler) arasında sürekli bir bağ sağlar, gerilimi en aza indirir ve yapının ağırlığını azaltır. Bu nedenle, yapıştırıcı kullanarak malzemeleri birbirine bağlama, mekanik bağlama ve kaynaklama işleminden kaynaklanan dezavantajları önlemek için mükemmel bir alternatiftir. Kaynak işleminde yüksek ısı gerekir ve ısıyla

bozunan parçaların kaynak edilmesi mümkün değildir. Yapıştırma yöntemi bu konuda avantaj sağlamaktadır. Kaynak ve mekanik tutturma ile karşılaştırıldığında yapışkan bağlamanın dezavantajları, esas olarak birleştirilecek bileşenlerin yüzey hazırlığı ve ayrıca yapıştırıcının sertleşme süresidir. Bu süre kürlenme süresi olarak geçmektedir [31].

Aşağıda yapıştırıcı ile yapıştırma işleminin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır

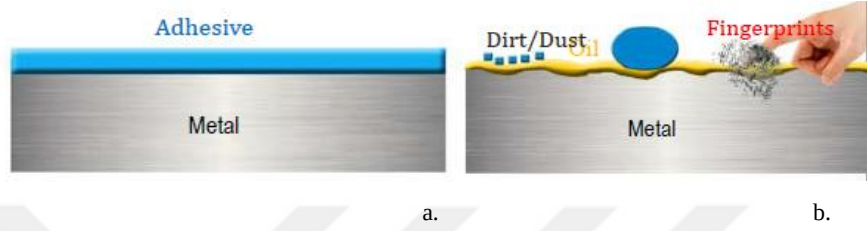
Avantajları; düzgün yüzey dağılımı ve daha büyük gerilim taşıma alanı, herhangi bir şekle sahip ince veya kalın materyalleri birleştirilmesi, benzer veya farklı malzemeleri birleştirilmesi, farklı malzemeler arasındaki elektrokimyasal (galvanik) korozyonu en aza indirilmesi veya tamamen önlenmesi, yüksek yorulma direnci, pürüzsüz kontrollü birleşme bölgelerinin sağlanması, çeşitli ortamlara karşı sızdırmazlık conta görevi görmesi, ısı transferine ve elektriksel iletkenliğe karşı yalıtkan olması (bazı durumlarda yapıştırıcılar bu tür iletkenliğe göre tasarlanmıştır), eklemi ayarlamak için gereken ısı genellikle metal parçaların mukavemetini azaltmak için çok düşük olması, titreşimi sönmelenmesi ve darbeyi absorbe edilmesi, çekici bir güç / ağırlık oranı sağlar mekanik bağlantıdan daha hızlı ve / veya daha ucuz şekillendirme sağlamaktadır, maliyeti düşük olması, anında mukavemet göstermesi, düşük işçilik maliyeti ve kalifiye eleman gerekmemesi, çıkarılabilirlik ve geri döndürülebilir, ön işlemi pratik olmasıdır [33]. Kaplama yapılmış yüzey işlemlerin birbiri ile bağlanmasını sağlayarak korozyon önleme yöntemlerinde malzeme yüzeyini zayıflatmaz, diğer birleştirme işlemlerinin aksine malzeme yapıştırma işleminin büyük bir kısmına dahil değildir, yapıştırıcı bağlantısı bir yüzeye tutturulur ve alüminyum metalurjisine müdahale etmez veya termal veya mekanik olarak zayıflamış metal bölgelere neden olmaz, geleneksel olarak birleştirilen bir yapı ile karşılaştırıldığında, eklemdaki tüm arayüzey yüzeyi birleştirilebilir, özellikle diğer birleştirme yöntemleri ile kombinasyon halinde, vücut yapısında ek bir ağırlık azalmasına izin vererek (örn. daha düşük malzeme göstergelerinin uygulanmasıyla) yapışkan bağlama ile çarpışma performansı ve yorulma mukavemeti de geliştirilir, yapıştırıcılar ayrıca basınç veya sıvı kaybını önleyen ve yoğunlaşma suyunun nüfuzunu engelleyen sızdırmazlık ürünleri olarak da işlev görebilir, uygun boşluk doldurma, çatlak korozyonunu ortadan kaldırır ve farklı bağlantıların galvanik korozyonu, bir yalıtım tabakasının varlığı nedeniyle engellenir, görünür kaynak dikişleri, perçin başları veya renk değişiklikleri yoktur ve önceden işlenmiş yüzeyler zarar görmez, böylece, yapışkanlı

bağlama taşlama ve parlatma gibi ikincil işlemleri en aza indirebilir veya ortadan kaldırabilir. En faydalısı da boşluk doldurma potansiyelidir, yapıştırıcılar paneller arasındaki büyük boşlukları kapatabilir ve diğer birleştirme yöntemlerine kıyasla genel görünümü iyileştirebilir. Bu nedenle, birçok durumda birleştirme ve sızdırmazlık işlemleri birleştirilebilir, nokta kaynağı ve perçinleme lokalize stres zirvelerine neden olurken, yapışkanlı bağlama gerilim yüklerinin eşit dağılımını ve emilimini sağlar, sertleşen yapıştırıcı, gelişmiş yorgunluk performanslarıyla güçlü ve sert eklemlere yol açan düzgün bir gerilim dağılımı sağlar, benzer şekilde homojen olmayan stres dağılımları, diğer karmaşık birleştirme yöntemleriyle gözlenir, ek olarak, yapışkanlı yapıştırma, çatlak yayılmasına karşı minimum hassasiyetle pürüzsüz dış yüzeylerin ve entegre sızdırmaz birleşme yerlerinin tasarımına olanak tanır, tasarım kolaylığı tanımaktadır, otomotiv için hızlı ve kolay otomatik olarak uygulanıyor olması bir avantajdır [25].

Dezavantajları: bağ, yapışma alanının görsel incelemesine izin vermiyor (yapışkan kısımlar şeffaf olmadıkça), korozi kimyasallarla dayanıklı bağlar elde etmek için dikkatli yüzey hazırlığı gereklidir, özellikle yüksek kür sıcaklıklarının kullanılmadığı yerlerde uzun kürlenme sürelerine ihtiyaç duyulabilir, tutturma aparatları, presler, fırınlar ve genellikle diğer sabitleme yöntemleri için yeniden sarılmış olanlar, yapıştırıcı bağlama için gerekliliklerdir, üst servis sıcaklıkları çoğu durumda yaklaşık 177 °C ile sınırlıdır, ancak genellikle daha pahalı olan sprecaik yapıştırıcılar 371 °C ile sınırlı kullanım için mevcuttur, çoğu yapıştırıcı için temizliğe vurgu dahil olmak üzere katı proses kontrolü gereklidir, yapıştırıcı bağlantının kullanım ömrü, maruz kaldığı ortama bağlıdır, doğal veya bitkisel kaynaklı yapıştırıcılar bakteri küfü, kemirgen veya haşarat saldırısına maruz kalır, temizlik veya çözücü yapıştırımda kullanılan çözücülere maruz kalma sağlık sorunları yaratabilir, alt tabakada bozulması, görünür bağ çizgisi, alt tabakada malzeme yorgunluğu, boyalı yüzeylere zarar verebilir, olası korozyon sebebiyeti yüksektir, lokalize modül (mukavemet) varyasyonlarının “okunabilir” olarak bilinen görünüm kaygıları potansiyelini artırabileceği ince metal otomotiv panelleri üzerinde yapışkan birleştirme kullanılmasına dikkat edilmelidir, en büyük problem, yapıştırıcı yeterince sertleşene kadar birleştirilmiş bağlantıların desteklenmesi gerektiğidir, bu yapışkan bağların montajı ve işlenmesi sırasında orantılı yavaş mukavemet artışına izin vermek gerektiğinden

montaj işlemini önemli ölçüde yavaşlatabilir. Bir alternatif, montaj işlemi ile birlikte gelen geçici armatürleri kullanmaktır.

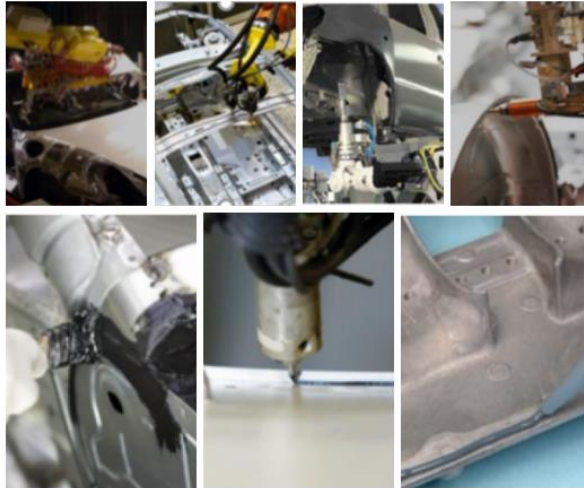
İyi bir yapıştırıcı bağ oluşturmak için gerekli şartlar vardır: yüzey temizliği, uygun yapıştırıcı seçimi, birbirine yapıştırılacak yüzeylerin ıslatılması, iyi bir tasarım planı, uygun yapıştırma işlemi (katılaşma ve sertleşme) [33]. Şekil 4.2’de ıslanabilirliğin yapıştırıcı üzerine etkisini gösteren bir görsel bulunmaktadır.



Şekil 4.2: Temiz Yüzey Gereklilikleri Kritik yüzey gerilimi > 1000 mN / m b) Yapıştırıcı yüzeyi ıslatır Kritik yüzey gerilimi ≈ 30 mN / m Yapıştırıcı yağ üzerinde "yüzer", alüminyuma temas etmez [53].

Yapıştırıcı ile yapıştırılmış metallerin birleşme bölgesindeki temel olarak üç farklı bileşen tarafından belirlenmektedir;

1. Birleştirilecek yüzeylerin ıslanma davranışı
2. Yapıştırıcının birleştirilen bileşene yapışması
3. Yapıştırıcının iç mukavemeti yani kohezyon kuvveti [25].

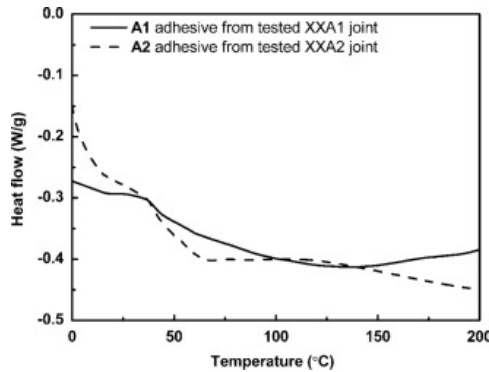


Şekil 4.3 Otomotiv sektörü için yapıştırıcı uygulamaları [25].

Şekil 4.3’de otomotiv sektöründe yapıştırma işleminin uygulama alanları görülmektedir.

4.1 Yapıştırıcı Türleri ve Yapıştırıcıların Sınıflandırılması

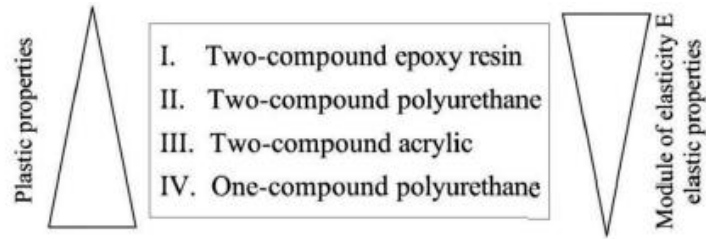
Yapıştırma fonksiyonu; Yapıştırıcıların birincil işlevi parçaları birbirine birleştirmektir. Yapıştırıcılar, gerilmeleri bir elemandan diğerine, gerilimleri çok daha homojen bir şekilde dağıtacak şekilde ileterek bu hedefi gerçekleştirir, daha sonra mekanik tutturucularla elde edilebilir. Esnek yapıştırıcılar, yapıştırıcıların ısı genleşme katsayılarındaki farklılıkları barındırabilir ve bu nedenle sert sabitleme sistemleri kullanıldığında oluşabilecek hasarı önleyebilir. Sızdırmazlık, yapışkan birleştirmenin bir başka önemli işlevidir. Sürekli yapıştırma, yapışkan (veya sızdırmazlık maddesi) yapıştırıcılara / sızdırmazlık maddelerine saldırmayan sıvıları veya gazları sızdırmaz hale getirir, genellikle katı veya hücresel contalar yerine kullanılır. Bir yapıya, bu amaç için formüle edilmiş yapıştırıcılar kullanılarak mekanik sönümleme uygulanabilir. İlgili bir karakteristik, yorulma direnci, bu tür yapıştırıcıların döngüsel katmanlara ve şok yüklere çatlama olmaksızın dayanma kabiliyetiyle geliştirilebilir. Düzgün tasarlanmış bir birleşme noktasında, yapıştırıcılar genellikle bozulmadan önce yorulmadan başarısız olurlar. İnce veya kırılğan parçalar da yapışkanla bağlanabilir. Yapıştırıcı eklemler, ısı kaynaklı distorsiyondan perçinlemede olduğu gibi, yapışkan kısımlara genellikle ağır yükler uygulamaz [33]. Rui Zheng ve arkadaşlarının (2015 yılında) yapmış oldukları çalışma sonucunda farklı tür yapıştırıcıların farklı kürlenme sıcaklıkları olduğunu göstermişlerdir. Aynı zamanda yetersiz kürlenmenin yapışkan bağlantılarının mukavemetini etkilediğini ortaya koymuşlardır [54]. Şekil 4.4’de farklı yapıştırıcıların aynı malzeme üzerinde etkisini inceleyen bir termogram sonucu gösterilmektedir.



Şekil 4.4 : Test edilmiş yapışkanla bağlanmış alüminyum bağlantılarından alınan A1 ve A2 yapıştırıcıların termogramları [54].

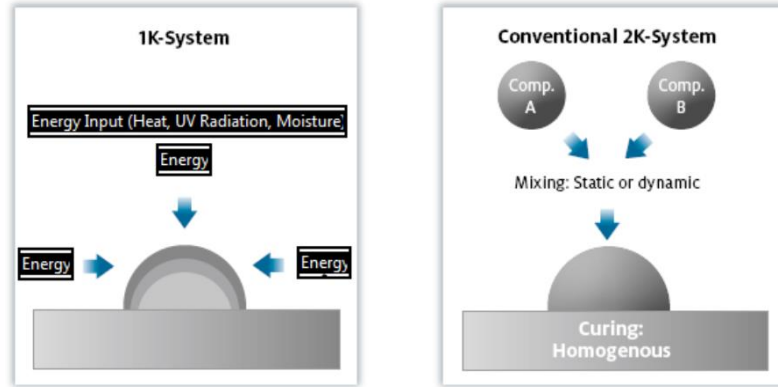
4.1.1 Yapıştırıcıların sınıflandırılması

Yapıştırıcı malzemeler kimyasal yapıları ve işlevsellikleri gibi çeşitli şekillerde sınıflandırılabilirler. İki ana gruba ayrılırlar: Doğal ve sentetik yapıştırıcılar. Sentetik grup ayrıca iki ana gruba ayrılmaktadır: endüstriyel ve özel bileşikler. Doğal yapıştırıcılara kauçuk sentetik yapıştırıcılara da epoksi örnek verilmektedir. Piyasada çok sayıda yapıştırıcı bulunmaktadır. Bu yapıştırıcıların anlaşılmasını ve kullanılmasını kolaylaştırmak için ortak özelliklere sahip gruplar halinde organize edilmesine yardımcı olur. Yapıştırıcılar, evrensel olarak hiçbir sınıflandırma tanınmasa da, çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Sınıflandırmalar; kaynak, işlev, kimyasal bileşim, fiziksel biçim ve uygulamayı içerir. Yapıştırıcıların sınıflandırılması çeşitli kriterlere göre yapılabilir, örn. temel kimyasal bileşenler (inorganik, organik, doğal organik, sentetik organik); kıvam (sıvı, plastik, katı) ve sertleştirme (kimyasal sertleştirme, hibrit, fiziksel sertleştirme) özelliklerine göre farklı çeşitlerde sınıflandırılmaktadırlar. Bahsedilen yapıştırıcılara ek olarak, polimerizasyon ile sertleştirilmiş iki bileşik yapıştırıcı metal yapılarda en büyük önemi kazanmıştır. İki bileşik yapıştırıcı, polyester veya akrilik ester, özellikle epoksi ve poliüretan yapıştırıcıların yanı sıra bir bileşik poliüretan yapıştırıcılara dayanmaktadır. Bağlayıcılar; ön bileşendir ve bağı oluşturma işlevine sahiptir, böylece alt tabakaları bir arada tutar. bağlayıcı genellikle yapıştırıcının adının türetildiği bileşendir. Örneğin bir epoksi yapıştırıcı birçok bileşene sahip olabilir, ancak ana bileşen bağlayıcıdır, yani epoksi reçinedir. Sertleştiriciler; kataliz veya çapraz bağlanma yoluyla yer alarak kürleme reaksiyonunu desteklemek için bir yapıştırıcıya eklenen bir maddedir [34]. Şekil 4.5’de iki yapıştırıcının elastik, plastik özellikleri ile kimyasal bileşimleri arasındaki ilişkiyi inceleyen bir görsel bulunmaktadır.



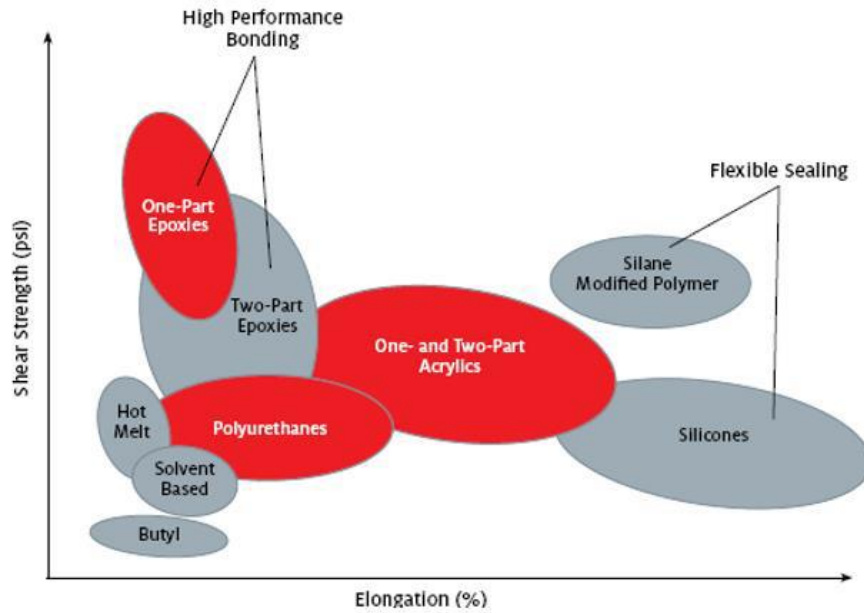
Şekil 4.5: iki bileşenli epoksi reçine 2: İki bileşenli poliüretan 3: İki bileşenli akrilik 4: Tek bileşenli poliüretan yapıştırıcıların Elastik ve plastik özellikleri ile kimyasal bileşimleri arasındaki ilişki [34].

En yaygın iki tip sert kür yapıştırıcısı bir ve iki bileşenli (kompanat) sistemlerdir. Tek bileşenli sistem yapıştırıcıları, bir miktar dış enerjiye (ısı, radyasyon veya nem) maruz kaldığında sertleşen kullanıma hazır bir formda sağlanır. İki bileşenli sistem yapıştırıcıları, malzemelerin polimerizasyonuna (sertleşmesine) neden olan kimyasal bir reaksiyon yaratan iki farklı malzemenin karıştırılmasıyla kullanılmaktadır [25].



Şekil 4.6: Yapışkan kürleme yöntemlerinin gösterimi [25].

Şekil 4.6’da yapışkanın kürlenme yöntemi görülmektedir. En güçlü yapıştırıcılar kimyasal reaksiyon ile katılaşır, daha az güçlü tipler fiziksel bir değişiklik ile sertleşir. Aşağıda, en önemli yapıştırıcı türleri kısaca açıklanmaktadır [25]. Şekil 4.7’de yapıştırıcı türlerinin performansını gösteren bir diyagram bulunmaktadır.



Şekil 4.7: Yapıştırıcı türlerinin performansla ilişkisi [25].

4.1.1.1 İki aşamalı akrilik yapıştırıcılar

İki aşamalı akrilik yapıştırıcılar bir reçine ve bir aktivatörden (sertleştirici) oluşur. Reçine bileşeni çözücüsüz, yüksek viskoziteli bir sıvıdır, aktivatör tipik olarak düşük viskoziteli bir sıvıdır. Reçine ve aktivatör birbirine temas ettiğinde, boşluk genişliğine bağlı olarak reçine oda sıcaklığında çok hızlı bir şekilde kürleşmeye başlar (tipik fikstür süreleri 15 saniye ile birkaç dakika arasındadır). Reçine, ışık veya ısı ile tamamen kürlenebilir (tipik ısı kürleme süresi 150 °C'de 10-20 dakika). Isı ile kürleme normalde daha yüksek yapışma mukavemeti, gelişmiş termal direnç ve daha iyi kimyasal direnç sunmaktadır. İki aşamalı akrilik yapıştırıcılar hafif kirlenmiş (yağlı) yüzeylere karıştırma ve yapıştırma gerektirmez. Sertleştirici genellikle bir yüzeye, yapışkan ise diğer yüzeye yayılır. Bu tür yapıştırıcılar, yüksek aşınma mukavemeti ve tokluğu ve iyi çevresel direnç gösterir. Bir dizi malzemeye iyi yapışırlar, ancak boşluk doldurmanın gerekli olduğu yerlerde özellikle uygun değildirler. Bunun yanı sıra küçük ila orta büyüklükteki yüzeyler için en uygundur [25].

4.1.1.2 İki komponentli (bileşenli) akrilik yapıştırıcılar

İki parçalı akrilik yapıştırıcılar, her ikisi de normalde yüksek viskoziteli sıvılar olan bir reçine ve bir aktivatörden oluşur. Aktivatör kimyasal olarak iki aşamalı bir akrilikle benzerdir, ancak yüksek viskoziteli bir sıvı olarak verilir. İki bileşen dağıtımdan hemen önce karıştırılır, yani homojen bir tek bileşenli malzeme dağıtılır. Sertleşme süreleri, iki aşamalı akriliklerle elde edilebilecek sürelerden biraz daha uzundur. Bu yapıştırıcılar bu nedenle yapışma bölgeleri daha kalın birleşme bölgeleri için de kullanılabilir. Yüksek hacimli uygulamalar için sayaç karışımı dağıtım ekipmanı kullanılmaktadır. İki parçalı akrilikler oda sıcaklığında (5-30 dakika) kürlenir, ancak kürlenme süresi ısı ile hızlandırılabilir. Bileşenler güçlü bir kokuya sahip olduğundan temassız kullanım ve iyi havalandırma gereklidir. İki bileşenli akrilik yapıştırıcılar, yüksek soyulma ve darbe dayanımının yanı sıra iyi çevresel direnç ve orta derecede kirlenmiş yüzeylerde bağ sağlar. Sonuç olarak, akrilik yapıştırıcılar gittikçe yaygınlaşmaktadır [25]. Şekil 4.8'de yapıştırıcının kullanım alanı görülmektedir.



Şekil 4.8: Düşük ila yüksek viskoziteli yapıştırıcılar için ekstrüzyon pompaları [25].

4.1.1.3 Siyanoakrilatlar

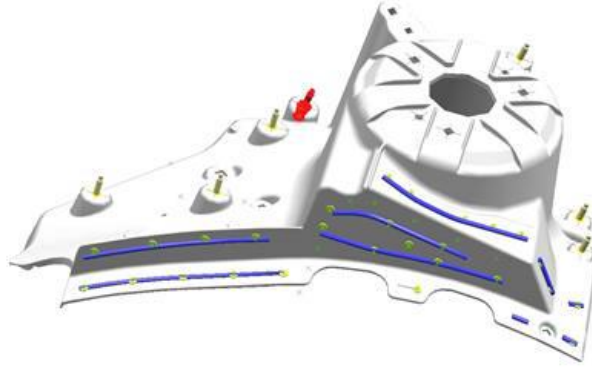
Siyanoakrilatlar, nemle temas ettiğinde çok çabuk sertleşen tek parçalı, oda sıcaklığında sertleşen yapıştırıcılardır. Su gibi ince yapılı sıvılardan tiksotropik jellere kadar değişen viskozitelerde mevcuttur. İki yüzey arasında ince bir filme bastırıldığında, yapıştırıcıda bulunan nem, yapıştırıcının çoğu altlık malzemede mükemmel yapışma ile sert bir termoplastik oluşturmasına neden olur. Tipik fiksür süreleri 5 ila 30 saniyedir. Siyanoakrilatlar özellikle alüminyumun plastik parçalara ve kauçuğa yapıştırılması için uygundur. İki alüminyum yüzey arasındaki bağın sertleşmesi, alüminyum ve plastik veya kauçuk malzemeler arasındaki bağdan daha uzun sürer. Bununla birlikte, siyanoakrilatların soyulma ve darbe mukavemeti oldukça zayıftır, ayrıca solvent direnci nispeten düşüktür. Bu nedenle, siyanoakrilatlar, metal parçaların bir otomobildeki yapıştırılması için uygun değildir. Araca özgü çevresel koşullar (neme maruz kalma, sıcaklık değişimleri, benzin veya yağ gibi çözücüler, tuz spreyi, ultraviyole ışık, vb.) Bağlı eklemin ciddi şekilde bozulmasına yol açacaktır. Standart siyanoakrilatlara ek olarak, biraz geliştirilmiş performans özelliklerine sahip birçok özel formülasyon vardır. Yeni iki parçalı siyanoakrilat yapıştırıcılar daha büyük boşluk doldurma yetenekleri, daha hızlı kürlenme ve açık / kapalı boşluk tedavi potansiyeli sağlayabilmektedirler [25].

4.1.1.4 Epoksi yapıştırıcılar

Epoksi yapıştırıcılar bir epoksi reçine artı bir sertleştiriciden oluşur. Püskürtülebilen ince sıvılardan pompalanması gereken tiksotropik macunlara kadar viskoziteye sahip bir ve iki parçalı sistemler olarak tedarik edilirler. Çok iyi boşluk doldurma özelliklerine sahiptirler. Sertleştikten sonra epoksiler tipik olarak çok çeşitli altlık malzemelerde

yüksek yapışma ve iyi çevresel dirence sahip sert termoset polimerler oluşturur. Yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında, epoksi yapıştırıcılar lastik haline gelebilir, ancak bir termoplastik malzeme gibi eriyemez. Epoksi yapıştırıcıların büyük bir avantajı, çok çeşitli ticari olarak temin edilebilen reçineler, sertleştiriciler ve dolgu maddelerinin olmasıdır. Böylece, epoksi yapıştırıcıların performans özellikleri hemen hemen her uygulamanın özel gereksinimlerine göre ayarlanabilir. Temel olarak, iki tip epoksi yapıştırıcı vardır: Sertleştirilmiş (esnek) epoksiler ve camsı matris (sert) epoksiler. Camsı matris epoksiler son derece güçlü ve serttir ve çok yüksek kuvvet seviyelerinde kesilmeye karşı dirençlidirler. Sertleştirilmiş epoksiler daha esnektir, ancak daha düşük kesme kuvvetleri altında kırılır ve bağ oldukça ısıya duyarlıdır. Sertleştirilmiş epoksiler, kırılma ve darbe direncini arttıran dağınık, fiziksel olarak ayrılmış, ancak kimyasal olarak tutturulmuş kauçuk bir faz içerir. Pek çok yapısal uygulamada başarıyla kullanılırlar, çünkü uygun bir tokluk ve dayanıklılık dengesi sunarlar. Hem sert hem de elastik, iki bileşenli epoksi esaslı yapıştırıcılar vardır. Tek parçalı bir ısıyla sertleştirme sistemi kullanıldığında, reçine ve gizli bir sertleştirici zaten karışık bir halde tedarik edilir ve buzdolabında uzun raf ömrüne (depolama) sahip olabilir. Sistemi ısıtarak, latent sertleştirici etkinleştirilir ve kürün başlatılması sağlanır. Epoksi normal olarak 125-150 °C sıcaklık aralığında hızla kürleşmeye başlar; 150 °C'lik kürleme sıcaklıkları ve 30 ila 60 dakikalık süreler tipiktir. Isı ile kürlenme ayrıca genel olarak bağlanma mukavemetlerini, termal direnci ve kimyasal direnci artırır. İki parçalı bir sistem kullanıldığında, reçine ve sertleştirici ayrı ayrı paketlenir ve kullanımdan hemen önce karıştırılır. Bu, daha aktif sertleştiricilerin kullanılmasına izin verir, yani iki parçalı epoksiler, ortam koşullarında hızla sertleşir. İki parçalı sistemler normalde bir karıştırma ucundan geçirilerek karıştırılır ve tek, homojen bir sıvı halinde dağıtılır. Bununla birlikte, oda sıcaklığında sertleşen iki bileşenli epoksi yapıştırıcılar, nadiren 80 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yüklenebilir. Oldukça yüksek ısı direncine sahip epoksi yapıştırıcılar ısı ile kürlenmeyi gerektirir, fakat aynı zamanda daha yüksek mukavemet ve geliştirilmiş dayanıklılık sunar. Epoksi reçineleri, istenen yapışma özelliklerini olumsuz etkilemeden önemli miktarda dolgu maddesi, vb. Herhangi bir tek özellik (soyulma mukavemeti, kayma mukavemeti, dayanıklılık) alternatif bir kimya seçilerek geliştirilebilir, ancak genellikle özelliklerin genel dengesine zarar verir. Özel uygulama gereksinimlerini karşılamak üzere formüle edilmesi, iyi kimyasal direnç, mükemmel yapışma, iyi mekanik özellikler ve az büzülme, aynı zamanda optimum

kürleme ve diğer işleme koşullarını içeren çok çeşitli özelliklere sahip epoksi yapıştırıcılar sağlar. Ek olarak, epoksi yapıştırıcılar iletken veya yalıtkan olarak formüle edilebilmektedir [25]. Şekil 4.9'da epoksi bazlı yapıştırıcının raya uygulaması görülmektedir.



Şekil 4.9: Alüminyum şok kulesi üzerinde epoksi yapıştırıcının çelik raya çok malzemeli uygulama sunumu [25].

Görünür mükemmel dayanıklılık performanslarına rağmen, fenolik yapıştırıcıları, üretim sorunlarının çoğunu ortadan kaldıracak daha basit bir reçine sistemi ile değiştirme arzusu, epoksi yapıştırıcıların geliştirilmesi ile mümkün hale gelmiştir. Bu yapıştırıcılar 150 °C'nin altındaki sıcaklıklarda sertleştirilebilir ve polimerizasyon bir çoklu-bağlama reaksiyonu yoluyla yapıldığı için, sertleştirme sırasında sadece nispeten düşük basınçlar gerekli olmuştur (tipik olarak 0.1 MPa veya daha az). Epoksi yapıştırıcılar 1960'lı yılların başında kolayca temin edilebilir hale getirilmiş ve modifiye edilmiş disiyandiamid ve / veya üre türevleri ile kürlenmiş epoksi reçinesinden oluşmuştur. On yıl boyunca yeni plastikleştiricilerin ve taşıyıcı malzemelerin geliştirilmesi yoluyla giriş, soyulma gerilmelerine karşı mukavemetlerini ve dirençlerini daha da geliştirdi. Bununla birlikte, kısa sürede epoksi bağlı eklemlerin dayanıklılık performansının çevresel koşullara, özellikle de dağılmış suya maruz kaldığında yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Bu problem, altlık malzemelerin gerçek yapışmasından önce çok ince tabakalar halinde uygulanan primer sistemlerin geliştirilmesi ile kısmen aşılmıştır. Modern epoksi yapıştırıcılar, yapıştırıcıların arızalanma mekanizmaları hakkında daha fazla bilgi sahibi olarak geliştirilmiştir ve sonuç olarak geliştirilmiş bir tokluk kapasitesine sahiptir. Bu, epoksi reçinesinin içinde, ayrı bir hammadde olarak ilave edilen veya üretim işlemi sırasında önceden polimerize edilen elastomer bileşenlerinin eklenmesi ile gerçekleştirilir. Böylece

elastomer fazı, epoksi reçinesini sertleştirebilir, böylece mekanik yükleme sırasında çatlak büyümesine daha fazla dayanabilmektedir [55].

Mükemmel mekanik özelliklerinden dolayı havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanıldığından, seçilen yapıştırıcı ailesi epoksidir. Ayrıca mükemmel ıslatma özellikleri sunmaktadırlar [56]. Epoksiler, daha iyi ıslatma kabiliyetleri, mükemmel mekanik özellikleri ve yüksek kimyasal ve ısı dirençleri nedeniyle yapısal yapıştırıcılar alanında hakimdir. Bununla birlikte, tamamen kürlenmiş epoksi reçineler, nemli ortamlarda uygulamalarını sınırlayan yüksek kırılgenlik ve yüksek su alma kapasitesi sunar [57]. Epoksi reçinelerin çapraz bağlanması, iki farklı reaksiyon mekanizması yoluyla elde edilebilir: ilave yoluyla polimerizasyon ve en yaygın kürlenme süreci, bir sertleştiricinin ilave reaksiyonuna dayanır. Çapraz bağlayıcı maddeye bağlı olarak, epoksi ağının nihai özellikleri farklıdır. Sertleştirme elemanı alifatik bir amin olduğunda, kürlenme işlemi sıklıkla oda sıcaklığında gerçekleşir, ancak yavaş ve eksiktir. Bu nedenle, elde edilen ağlar düşük cam geçiş sıcaklığı sunar (T_g) ve karbonatlama ve suyu emme yeteneği yüksektir. Öte yandan, aromatik aminlerle kürlenmiş epoksi reçineler genellikle iyi termal ve kimyasal direnç gösterirken, anhidrit sertleştiricilerin avantajları düşük büzülme, viskozite ve mükemmel termal dirençtir. Ancak epoksi-anhidrit ağları yüksek su alma kapasitesi sunar [57]. Epoksinin yapışma sağlamasının başlıca iki sebebi vardır. (i) kimyasal yapışma ve (ii) mekanik kilitlemendir. Alifatik hidroksil ve eter gruplarının varlığından dolayı, epoksi reçine zinciri ile kürlenmiş epoksi polimer arasında yüksek polarite farklılıkları vardır. Tüm metal malzemelerde, oksijenle temas ettiklerinde yüzeylerinde kendiliğinden ince bir birincil oksit tabakası oluşur. İşlenmiş yani ön işlem uygulanmış metal yüzeyde metal oksitlerin varlığı, metal ve epoksi malzemeler arasında çok güçlü bir elektrostatik çekime neden olmaktadır [42]. Otomotiv sektöründe onarım yapıştırma işlemleri için epoksi bazlı yapıştırıcı seçilmektedir. Epoksi yapıştırıcılar gibi kürlenmiş yapıştırıcılar darbe direncine sahip yapıştırıcılardır [25,33].

4.1.1.5 Sıcakta eriyen yapıştırıcılar

Sıcakta eriyen yapıştırıcılar (sıcak eriyikler) çoğunlukla oda sıcaklığında katı olan tek parçalı, solventsiz termoplastik karışımlarıdır. Dağıtım sıcaklıklarında (tipik olarak 175° C'den yüksek), düşük ila orta viskozite gösterirler ve kolayca işlenebilirler. Dağıtımdan

sonra, sıcakta eriyen yapıştırıcılar serin ve hızlı bir şekilde iç mukavemetlerini arttırır ve verimli bir montaj ve daha ileri işlem sağlar. Ancak yüksek kürleme hızının bir dezavantajı vardır. Sıcak yapıştırıcı soğuk bir yüzeyle karşılaştığında, ayar genellikle yapıştırıcının yüzeyi düzgün şekilde ıslatmayacağı kadar hızlı olur. Islatma etkisi, yüzey ve yapışkan arasındaki sıcaklık farkının yanı sıra altlık malzemenin artan termal iletkenliği ile daha belirgindir. Bu nedenle, metaller bazen sıcak eriyikler ile bağlanmadan önce ısıtılır. Sertleşmiş durumda, sıcakta eriyen yapıştırıcılar fiziksel özelliklerde yumuşak, lastikli ve çok yapışkanlıdan sert ve sertliğe kadar değişebilir. Sıcak eriyikler mükemmel uzun süreli dayanıklılığa ve neme, kimyasallara, yağlara ve sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklıdır. Genellikle hafif yükler için tasarlanmıştır, sadece poliamidler ve polyesterler yüksek sıcaklıklarda sürünme olmaksızın sınırlı yüklere dayanabilir. Termoplastik sıcakta eriyen yapıştırıcılar genellikle çok hızlı ayarlandığından plastiklere yapışma iyidir, ancak metaller için zayıftır. Sıcak eriyiğin performansı kimyalarına göre büyük ölçüde değişir [25].

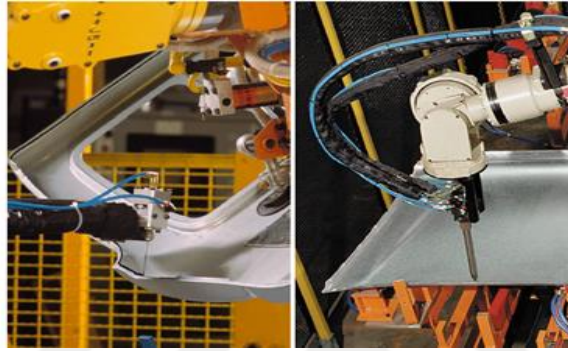
4.1.1.6 Etilen vinil asetat (EVA) bazlı yapıştırıcılar

Sıcak eriyikleri, “orijinal” sıcak eriyiktir. Birçok alt tabaka için iyi bir yapıştırıcıya, en düşük maliyete sahiptirler, ancak tipik olarak en düşük sıcaklık direncine sahiptirlerdir. Üst servis sınırı yaklaşık 50 °C'dir. Bu durumda aşınma ve sıcaklığa maruz kalınan ortamlarda tercih edilmezler [25].

4.1.1.7 Poliamid bazlı yapıştırıcılar

Poliamid veya polyester sıcak eriyikleri daha yüksek maliyetlidir, iyi sıcaklık direncine sahip 150 °C'ye kadar daha yüksek performanslı yapıştırıcılardır, ancak 70-80 °C'de uzun süreli mukavemet zaten oldukça düşüktür. Bu yapıştırıcı türü için uygulama sıcaklığı yaklaşık 250 °C, yani bir koruyucu gaz genellikle kullanılmalıdır, çünkü bu sıcaklıkta yapışkan oksijenle temas ettiğinde bozulur. Poliolefin sıcak eriyikleri, plastiklere yüksek yapışma için özel olarak formüle edilmiştir. Sıcak eriyikler termoplastik polimerlere dayandığı için eritmek için tekrar tekrar ısıtılabilir ve katılaşmak için soğutulabilir. Böylece, termal olarak çıkarılabilir olan ve daha sonra tekrar takılabilen bağlı eklemler oluşturmak için kullanılabilirler. Bununla birlikte, bu eşsiz özellik, sıcak eriyik bağların

sıcaklık direncini sınırlar ve sürekli strese veya yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında sürünme eğilimlerini açıklar. Birçok termoplastik sıcakta eriyen yapıştırıcı soğuk ortamlarda da kırılgan hale gelmektedir. Bugün, sıcakta eriyen yapıştırıcıların kürlenmesi de mevcuttur. Bu yapıştırıcılar nem ile temas ettiğinde sertleşen poliüretanlara dayanmaktadır. Kürlleme işlemi başlamadan önce sağlamdırlar. Poliüretan esaslı sıcak eriyiklerin uygulama sıcaklığı, termoplastik sıcakta eriyen yapıştırıcılardan çok daha düşüktür [25]. Şekil 4.11’de sıcakta eriyik halde bulunan yapıştırıcının uygulaması görülmektedir.



Şekil 4.11: Sıcakta eriyen yapıştırıcıların uygulanması [25].

4.1.1.8 Poliüretan yapıştırıcılar

Poliüretan yapıştırıcılar, kendiliğinden yayılan sıvılardan kaymayan macunlara kadar viskozitede değişen bir ve iki parçalı sistemler olarak tedarik edilir. Kimyasal içeren üretan polimerlerden yapırlar izosiyanat grubuna dayanmaktadır. Üç farklı poliüretan yapıştırıcı türü vardır: (i) İki bileşenli poliüretan yapıştırıcılar; (ii) Isı ile sertleşen tek bileşenli poliüretan yapıştırıcılar (sert); (iii) Nemle sertleşen tek bileşenli poliüretan yapıştırıcılar (elastik). Poliüretan yapıştırıcılar son derece çok yönlüdür ve sertleşmiş formda oldukça elastik elastomerlerden sert termosetlere kadar değişebilir. Elastik poliüretan yapıştırıcılar nemle kürlenirken, sert poliüretan yapıştırıcılar ısı girdisiyle sertleştirilir. Tek bileşenli sistemler tipik olarak uçucu olmayan üretan ön polimerlerinden oluşmaktadır. Elastik bileşenli sistemler poliadisyon ile iyileştirilir ve bu şekilde nem sertleştirici görevi görür. Kür polimerden yayılan neme bağlı olduğundan, kürlenme nispeten yavaştır (saatler alır) ve makul sürede elde edilecek maksimum kür derinliği yaklaşık 10 mm ile sınırlanmaktadır. Bununla birlikte yapılan çalışmalar sonucunda sertleşme süresi esas olarak nem konsantrasyonuna bağlı olduğundan, bir karıştırma

bölgesinde çoğunlukla su içeren bir ürünün ilave edilmesiyle sertleştirilebilir. Homojen ve hızlı kürlenir. Sertleştirme sıcaklığının sertleştirme süreleri üzerinde sadece küçük bir etkisi vardır ve 70 °C pratik bir üst sınırdır. Nemle sertleşen poliüretan yapıştırıcılar, kırılmaya %600'e kadar bir uzama gösterir, ancak mukavemet seviyeleri sadece yaklaşık 8MPa'ya ulaşır. Sert tek bileşenli sistemlerde, poliüretan üretmek için gerekli izosiyanat gruplarının kilidini açmak için 100 °C - 200 °C aralığındaki sıcaklıklar gereklidir. Isı ile kürlenme, nemle kürlenenden poliüretan yapıştırıcılara kıyasla daha düşük bir sertleşme oranıyla sonuçlanır, ancak yaklaşık 15 MPa'lık bir mukavemete,% 20'nin üzerinde kırılmaya karşı maksimum uzamaya ve yüksek yorulma direncine sahip, yüksek oranda çapraz bağlı bir termoset polimer üretir. Yenilikçi geçmeli tek bileşenli hibrit poliüretan montaj operasyonlarında daha kısa çevrim sürelerini kolaylaştırmak için teknolojiler tanıtılmaktadır. İki bileşenli poliüretan yapıştırıcılar, yapıştırıcının tamamen kuruduktan sonra elde ettiği yapıya bağlı olarak elastik veya sert olabilir. Reçine için düşük molekül ağırlıklı polioller kullanılmaktadır. Sertleştirici için izosiyanat uçlu düşük moleküler ağırlıklı ön polimerler. İki bileşenin doğru oranlarda karıştırılmasından sonra, yapıştırıcının sertleştirme işlemi hemen başlar. Hızlı kürlenme genellikle yapıştırıcının makine ile uygulanması gerektiği anlamına gelir. Elastik varyant (elastomer yapı) durumunda, tek bileşenli varyanta kıyasla iki bileşenli sistemin ana avantajı çok iyi bir sürünme direncidir. Sert iki bileşenli poliüretan yapıştırıcı (termoset yapısı), iyi bir kırılma tokluğu ile sonuçlanan ilginç bir yapışma mukavemeti (yaklaşık 25 MPa) ve esneklik (%50'nin üzerinde maksimum uzama uzaması) kombinasyonu sunar. Spesifik bir avantaj, yapıştırıcı özelliklerinin, yakl. -30 °C ila +80 °C. Bazı iki bileşenli ortamlar sertleşen poliüretan yapıştırıcı, bazı yüzey topraklarına ön temizleme veya oksit çıkarmaya gerek kalmadan uygulanabilir. İki bileşenli poliüretan yapıştırıcıların tercih edilen bir uygulaması montaj alanında, yani elektro kaplama ve / veya boyamadan sonra, özellikle farklı malzemelerin örn. metallere plastiklere ve elyaf takviyeli kompozitlere veya önceden boyanmış metallere kombinasyonu için yapısal bağlanmadır. Bunun nedeni, kürlenme için yüzey ön işlemine veya harici ısıtmaya gerek olmamasıdır. Büyük boşlukları olan birleşme bölgelerini doldurmak da mümkündür. Başlangıçta, poliüretan yapıştırıcılar, sağlık ve güvenlik nedenleriyle epoksi yapıştırıcıların olası yedekleri olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte, izosiyanatların riskleri, epoksilerden daha güvenli bir

seçenek olarak grlemeyecekleri anlamına gelir. Epoksi kullanırken, cilt alerjileri en büyük risktir, poliüretan yapıştırıcılar için nefes alma zorlukları baskın gelmektedir [25].

4.1.1.9 Elastomerik yapıştırıcılar

Elastomerik yapıştırıcılar, özellikle silan ile modifiye edilmiş polimerler ve silikonlar, tek parçalı nemle sertleştirme sistemlerinde ve aynı zamanda kendiliğinden yayılan sıvılardan kaymayan macunlara kadar viskozitede değişen iki parçalı statik karışım sistemlerinde mevcuttur. Kürlenme sırasında mkemmek termal dirence sahip yumuşak termoset elastomerler oluştururlar. Silan ile modifiye edilmiş polimerler ve silikonlar birçok malzemede iyi yapışma sağlar, ancak yapısal yapıştırıcılar olarak uygulanabilirlikleri düşük yapışma mukavemeti ile sınırlıdır. Elastomerik yapıştırıcılar tipik olarak oda sıcaklığında ortam nemi ile reaksiyon yoluyla sertleştirilir, ancak ısı, iki bileşenin karıştırılması veya ultraviyole ışığa maruz bırakılarak iyileştirilebilen formülasyonlar da mevcuttur. Nemle sertleşen elastomerlerin kürlenmesi, elastomerik matris boyunca yayılan neme bağlı olduğundan, kr oranı ortamdaki bağlı nemden kuvvetle etkilenir ve maksimum kr derinliği yaklaşık 10 mm ile sınırlıdır. Tam kürlenme film kalınlığına bağlıdır ve birkaç gün sürebilir. Bunun nedeni, polimer üzerindeki reaktif gruplar ile altlık yüzeyi üzerindeki reaktif gruplar arasındaki reaksiyonun, ürün gruplarının kendileri ile çapraz bağlanma reaksiyonundan daha yavaş olmasıdır. Silikonlar düşük sıcaklıklarda (-75 C) oldukça elastik kalır ve aynı zamanda çok iyi sıcaklık stabilitesine sahiptir; 200 C'ye kadar sürekli maruz kalma ve 300 C'ye kadar kısa süreler. Silikonların zellikleri bu sıcaklık aralığında neredeyse hiç değişmeden kalır. Silikonlar kimyasallara karşı neredeyse inerttir ve neme ve hava koşullarına karşı mkemmek dirence sahiptir. Bununla birlikte, silikonlarla yapılan bağlar sadece nispeten küçük mekanik yüklere maruz bırakılabilir. Bu yüzden esas olarak sızdırmazlık maddesi olarak kullanılırlar. Düşük bağlanma mukavemeti, yüksek esneklik ve düşük sıcaklıklara karşı direnç ile dengelendiğinde metali yapıştırmak için kullanılırlar. Yapışma koşullarına ve alt tabakalara bağlı olarak birkaç çeşit nemle sertleşen silikon mevcuttur [25]. şekil 4.12'de sızdırmazlık amaçlı kullanılan yapıştırıcının robetik uygulaması görülmektedir.



Şekil 4.12: Alüminyum bir kapak üzerine robotik olarak dağıtılan sıvı conta sızdırmazlık yapıştırıcısı [25].

Çeşitli özelliklere ve kür oranlarına sahip iki bileşenli silikon yapıştırıcılar mevcuttur. Başlangıç mukavemeti ve mukavemet artış hızı tipik olarak nemle sertleşen silikonlardan daha yüksektir. Sertleşme reaksiyonu 24 saate kadar sürebilir. Sayaç karıştırma ekipmanı, iki bileşeni bir karıştırma elemanı yoluyla pompalamak için kullanılır. Karıştırılan yapıştırıcı daha sonra damak şeklinde dağıtılır. Çeşitli özelliklere ve kür oranlarına sahip iki bileşenli silikon yapıştırıcılar mevcuttur. Başlangıç mukavemeti ve mukavemet artış hızı tipik olarak nemle sertleşen silikonlardan daha yüksektir. Sertleşme reaksiyonu 24 saate kadar sürebilir. Sayaç karıştırma ekipmanı, iki bileşeni bir karıştırma elemanı yoluyla pompalamak için kullanılır. Karıştırılan yapıştırıcı daha sonra damak şeklinde dağıtılır [25].

4.1.1.10 Plastizol yapıştırıcılar

Plastisoller, bir sıvı plastikleştiricide dağılmış katı polivinilklorür (PVC) parçacıklarından oluşan bir macun olarak uygulanan tek bileşenli yapıştırıcılardır. Bir bağ oluşturmak için, uygulanan yapışkan, termoplastik PVC'nin şişmesi ve plastikleştiriciyi alabilmesi için ısıtılır. İki fazlı sistem, plastikleştiriciyi şişmiş polimere dahil ederek tek fazlı bir sisteme dönüşür. Bu işlem 150 ila 180 ° C arasındaki bir sıcaklıkta gerçekleşir ve plastikleştirilmiş bir polimerden oluşan yapışkan bir film ile sonuçlanır. Sertleşen ürün yumuşak, kauçuk benzeri bir malzeme veya sert bir katı olabilir. Aşırı ısındığında, örneğin punta kaynağı sırasında, hidroklorik asidi serbest bırakma riski de vardır. Plastisoller için tipik bir uygulama alanı araç karoseri yapımıdır. Yapışma fonksiyonlarının yanı sıra, eklemleri neme karşı sızdırmaz hale getirmeye, titreşimleri azaltmaya ve vücudun sertliğini arttırmaya hizmet ederler. Plastisoller, ön işleme tabi tutulmamış metal levhaları yağ alma

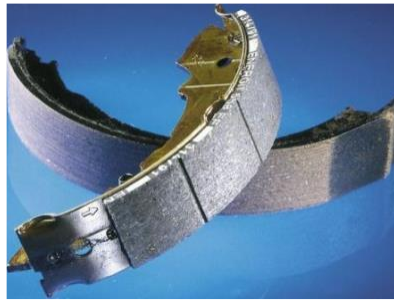
kabiliyetine sahip olduklarından bağlamak için de kullanılabilir. Bunun yanı sıra, PVC plastisoller bağlı bileşenleri geri dönüştürürken çevre sorunlarına yol açar ve sonuç olarak giderek daha fazla yerini epoksi reçineleri gibi alternatif yapıştırıcılar almıştır [25].

4.1.1.11 Kauçuk yapıştırıcılar

Çözeltiler veya latekslere dayanarak, kauçuk yapıştırıcılar çözücü veya su kaybı ile katılaşır. Kauçuk, esnekliği nedeniyle özellikle bir bağlayıcı eleman olarak uygundur. Çoğu durumda, sızdırmazlık malzemeleri genişleyebilmeli ve büzüşebilmelidir, çünkü bazen sıcaklık değişimleri olan parçalarda kullanılırlar. Stiren, otomobil imalatında yaygın olarak kullanılan bir tür kauçuk yapıştırıcıdır, çünkü sıcaklık ve basınç değişikliklerine iyi uyum sağlamaktadır. Ancak, sürekli yük için uygun bulunmamaktadır [25].

4.1.1.12 Modifiye fenolikler yapıştırıcılar

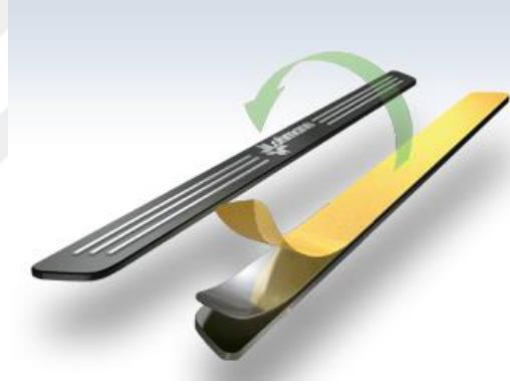
Fenol-formaldehit yapıştırıcılar, yapıştırıcının bileşimine bağlı olarak 100 ila 140 °C arasındaki sıcaklıklarda kürlenir. Kürlenme sırasında yapıştırıcıdan su çıkarılır. Sertleştirme işlemi 100 °C' nin üzerindeki sıcaklıkları gerektirdiğinden, serbest kalan su gaz halinde bulunur. Köpürmeyi önlemek için fenolik reçineler basınç altında sertleştirilir. Saf fenolik reçineler çok kırılgandır ve soyulma stresine duyarlıdır, bu nedenle elastikiyeti arttırmak için katkı maddeleri içeren modifiye fenolik reçine yapıştırıcılar genellikle kullanılır. İyi mekanik özellikler ve sıcaklık stabilitesi sunarlar. Otomobilde, fren ve debriyaj balatası malzemelerinin yapıştırılmasında kullanılmaktadırlar [25]. Şekil 4.13'de fren balatalarında yapıştırıcı kullanımı görülmektedir.



Şekil 4.13: Fren balataları modifiye fenolikler kullanılarak bağlanır [25].

4.1.1.13 Basınca duyarlı yapıştırıcılar

Basınca duyarlı yapıştırıcıların özelliği, katı bir malzeme oluşturmak için katılaşmamaları, ancak viskoz kalmalarıdır. Sonuç olarak, kalıcı olarak yapışkan kalırlar ve temas ettiklerinde yüzeyleri ıslatabilirler. Bağlar, yapışkan filmi malzeme ile temas ettirerek ve basınç uygulayarak yapılır. Yetersiz basınç uygulanırsa veya işlem sıcaklığı çok düşükse, kabarcıklar veya ayrılma gibi yapıştırma hataları oluşabilir. Bu yapıştırıcılar gerçek katılar olmadığından, basınca duyarlı yapıştırıcıların gücü sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Basınca duyarlı yapıştırıcılar ayrıca yüklere maruz kaldıklarında sürünme eğilimi gösterirler. Tipik olarak doğal kauçuktan, bazı sentetik kauçuklardan ve poliakrilatlardan formüle edilirler. Basınca duyarlı yapıştırıcılar genellikle montaj sırasında bileşenleri geçici olarak yerinde tutmak için kullanılmaktadırlar [25]. Şekil 4.14’de dekoratif şeritlerin yapışkan batlarla tutturulması görülmektedir.

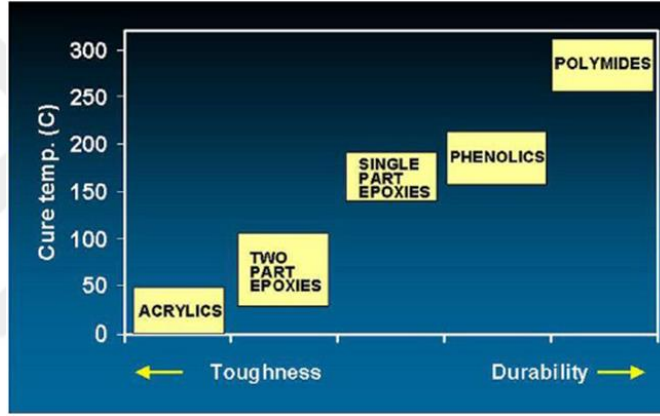


Şekil 4.14: Dekoratif şeritlerin yapışkan bantlarla tutturulması [25].

Çatı ve dekoratif kaplamalar genellikle araca yapışkan şeritler kullanılarak yapıştırılır. Bir yandan, trim tüm sıcaklıklarda ve tüm hava koşullarında güvenilir bir şekilde bağlanmalıdır. Öte yandan, yapışkan bant kozmetik nedenlerle görünmez kalmalıdır. Bant, kaplamanın ve kaportanın termal genleşme özelliklerine mükemmel bir şekilde uyulanmalıdır. Trim genellikle ısıda daha fazla genişlediğinden ve soğuk havalarda bağlı olduğu metal veya plastiğe göre daha fazla büzüştüğünden, bant bu farklılıkları telafi edebilmelidir [25].

4.2 Yapıştırıcıların Kürlenmesi

Yapısal yapıştırıcılar genellikle ihmal edilebilir kasılma ile farklı şekillerde sertleşir. Çeşitli yapıştırıcı tipleri için uygulanabilir sertleştirme yöntemleri yukarıda açıklanmıştır. Genel olarak, otomotiv imalatındaki yapısal yapışkan bağlar ısıtılarak sertleştirilir bazı durumlarda, ortam sıcaklığında ön-sertleştirme, örneğin iki bileşenin karıştırılması veya nemle temas sonucunda gerçekleşir. Kürlenme çoğunlukla otomotiv uygulamalarında boya fırını çevrimleriyle eş zamanlı olarak bir fırın kürü ile elde edilir. Sertleştirici ve yapıştırıcı arasında temas yoluyla sertleştirme ve UV ışığı ile sertleştirme nispeten nadiren kullanılmaktadır. Şekil 4.15’de yapısal yapıştırıcılar için sertleştirme sıcaklıkları görülmektedir.

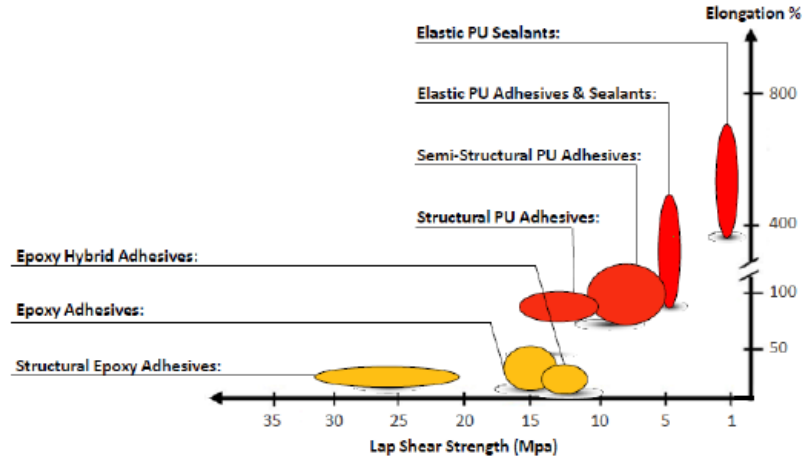


Şekil 4.15: Yapısal yapıştırıcılar için sertleştirme sıcaklıkları [25].

Kural olarak, daha yüksek bir kür sıcaklığı, daha fazla çapraz bağlanma ve daha yüksek çevresel direnç, ancak daha az tokluk anlamına gelir. Tek parçalı epoksiler genellikle geniş bir özellik yelpazesi ile iyi bir uzlaşmayı temsil eder, ancak 100 °C'nin üzerinde iyi bir şekilde kürlenmesi gerekir. İki bileşenli epoksi yapıştırıcılar (kürlemenin zaten oda sıcaklığında olduğu yerlerde), yüksek sıcaklıklarda kürlenme ile daha yüksek mukavemete ve geliştirilmiş dayanıklılığa sahip birleşme bölgeleri elde edilebilir. Sertleştirme süreleri, sıcaklıktaki her 10 °C'lik artış için sertleşme süresi kabaca yarıya indiği için de önemli ölçüde azaltılabilir. Nihai yapışma ve mekanik özellikler, polimer zincirinin uzatılması ve zincirler arasında çapraz bağlanma ile elde edilir, çapraz bağlanma sonucunda meydana gelen polimeri bir termoset haline getirmektedir. Reaksiyon genellikle ekzotermiktir, ısı verir ve tedaviyi daha da geliştirir. Yan ürün yoktur, yani potansiyel gaz çıkışı sorunları önlenabilmektedir [25].

4.2.1 Yapıştırıcıların mekanik ve termal özellikleri

Yapıştırıcıların yapısal mekanik ve termal özellikleri hakkında ayrıntılı bilgi genellikle ilgili tedarikçilerden elde edilebilir. Ancak yapıştırıcıların genel mekanik özellikleri, yapıştırılmış bir bağlantının mukavemet performansını tam olarak temsil etmez. Bununla birlikte, toplu özellikler hala önemli parametrelerdir. Alüminyum için uygun yapısal yapıştırıcılar, 10 ila 60 MPa'lık doğal bir yığın gerilme mukavemetine ve 1 ila 5 GPa'lık bir elastik modülüne sahiptir [25]. Alüminyum üzerindeki iyi bir yapışkan bağın kayma mukavemeti, teknik veri sayfasında bildirilen yapışkan malzemenin toplu çekme mukavemeti 40-50 MPa olsa bile yaklaşık 30 MPa'ya ulaşmaktadır. Otomotiv uygulamaları için yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları, 300 MPa'ya yaklaşan akma dayanımı seviyesine ve yaklaşık 70 GPa'lık bir elastik modülüne sahiptir. Çelikler ve elyaf takviyeli kompozitler için elastik modül önemli ölçüde daha yüksektir. Sonuç olarak, yapışkanın mekanik özellikleri her zaman birbirine bağlanan malzemelerinkinden daha düşük olacaktır. Bu nedenle, alüminyum üzerindeki bir yapışkan bağın yapışkanın kendisinde dahili olarak başarısız olabileceğini (ve yapması gerektiğini) varsaymak mantıklıdır ("kohezyon hatası"). Şekil 4.14'de alüminyum birleştirmelerin çekme mukavemetine etkisi görülmektedir.



Şekil 4.16: Yapıştırılmış alüminyum eklemlerinde çekme mukavemeti [25].

Çoğu yapıştırıcı için termal genleşme katsayısı, alüminyum alaşımlarından (yaklaşık 20-25 ppm/°C) biraz daha yüksektir (30-40 ppm/°C). Yapıştırıcının daha düşük bir esneklik modülüne sahip olması nedeniyle, bu uyumsuzluk genellikle yönetilebilir. Ancak uyumsuzluk, çelik için olanın yaklaşık üç katı (12 ppm/°C) ve karbon fiber takviyeli

kompozitler için olanın (10-20 ppm/°C) iki katıdır. Bu nedenle, karışık malzeme bağlantı tasarımında, termal gerilme etkilerine izin vermek önemlidir. Termal gerinim, bağ kesme dayanımını aşarsa bağlantı başarısız olacaktır. Benzer şekilde, artık gerinim veya çalışma yükü ile birlikte eklenen diğer herhangi bir gerinim, bağlantı tasarımında telafi edilmelidir. Bir yapıştırıcının özellikleri büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Bir yapıştırıcının elastik modülü, artan sıcaklıkla azalır. Bir noktada yapışkan visko-elastik olmayı bırakır ve plastik olarak deforme olur. Bu nedenle, daha fazla ısıtma veya mekanik yüklerle gerildiğinde, ortaya çıkan gerilim kalıcı deformasyona yol açar. Kalıcı deformasyonun meydana geldiği sıcaklığa cam geçiş sıcaklığı denir. Yapısal bir eklemenin termal olarak kararlı olması için, en iyi beklenen en yüksek çalışma sıcaklığından 10-15 °C daha yüksek bir cam geçiş sıcaklığına sahip bir yapıştırıcı seçmek en iyisidir. Birçok yapıştırıcı için, gerilmeli bağlanmış bağlantıların pratikte kullanılabileceği maksimum sıcaklık 60 ile 80 °C arasındadır. En yüksek ısı direnci yaklaşık 150-250 °C, ısıyla sertleşen yapıştırıcılarla elde edilmektedir. Silikon yapıştırıcılar ayrıca ısıyla sertleştirme olmaksızın yaklaşık 250 °C'lik bir ısı direnci sağlayabilmektedir. En kritik nokta, yapıştırıcıların yüksek sıcaklıklarda düşük sünme direnci ve düşük sıcaklıklarda gerilme konsantrasyonlarına ve şok yüklerine karşı artan hassasiyettir. Aynı grup içinde bile farklı yapıştırıcılar sıcaklıktan farklı derecelerde etkilenebilir. Yapıştırılan malzemeler, yüksek sıcaklıklarda uzun süreli çekme yüklerine maruz kalacaksa, uygulanan yapıştırıcının sürünme mukavemetinin gereksinimleri karşıladığından emin olmak için uygulamaya özel testler genellikle gerekli olacaktır [25].

4.3 Yapıştırıcı Seçimi

Malzemeleri yapıştırmak için çok sayıda yapıştırıcı mevcuttur. Yapıştırıcı türünün ve şeklinin seçimi, yapıştırmanın niteliğine, son kullanımın performans gereksinimlerine ve yapıştırıcı bağlama işlemine bağlıdır [33]. Uygun bir yapıştırıcının tanımlanması, mevcut yapıştırıcıların çeşitliliği ve özel uygulama gereksinimleri nedeniyle karmaşık bir işidir. Bu gereksinimler arasında yük iletimi, ortam maruziyeti, sızdırmazlık, elektrik iletkenliği, ısı iletkenliği ve sönümleme gibi spesifik yapısal ve çevresel performans yer alabilir. Bu, tasarım ve yüzey ön işlemeden ilgili üretim sürecine entegrasyona kadar tüm sürecin bütüncül bir şekilde değerlendirilmesini gerektirmektedir [25]. Belirli bir

uygulama için en uygun yapıştırıcının seçimi, yapıştırma işleminde dikkate alınması gereken bir diğer önemli parametredir. Mevcut çok çeşitli ticari ürünler nedeniyle bu seçim zor olabilmektedir. Birleştirme işleminin gereksinimlerinin bilinmesi bu süreci kolaylaştırmaktadır [31]. Belirli bir uygulama için bir yapıştırıcı seçildiğinde, seçilen yapıştırıcının tüm mühendislik ve servis gereksinimlerini (uygulanan malzemelere iyi yapışma), statik ve dinamik mukavemeti (çevresel maruziyetten sonra tanımlanmış güç tutma seviyeleri ile) karşıladığından emin olmak önemlidir. Bununla birlikte, darbe, çekme mukavemeti (özellikle düşük sıcaklıklarda), sünme (yükü sıcaklıkta taşıma kabiliyeti), vb. yapıştırıcı yeterli akışkanlığa ve kendini malzemenin yüzey topografyasına kalıplamak için gerekli süreye sahip olmalıdır. Hızlı kürlenene, yüksek viskoziteli yapıştırıcılar nadiren buna izin verir. Bu durumda, önce düşük viskoziteli bir astar uygulanması tavsiye edilebilir. Diğer ilgili işleme özellikleri, yapıştırıcının uygulama ve sertleştirme özellikleri ile ilgilidir [25].

Yapıştırıcı seçiminde dikkat edilmesi gereken parametreler: yapıştırılacak eklem noktasının tipi ve işlevi, hizmet için koşullar, mekanik performans, maliyet, bağ çizgisi kalınlığı, kürlenme süresi, sıcaklık sınırları, sağlık ve güvenlik sorunları, yapışkan formu, kullanılacak malzemeye uygunluk, üretim koşulları [31].

Yapıştırıcı seçimi yapılırken şu sorulara cevap aranması gerekmektedir;

1. Ne tür bir dağıtım ekipmanı gereklidir; yapıştırıcı otomatik olarak mı uygulanmalı manuel olarak mı uygulanmalıdır, hangi yöntem ile yüzey üzerinde kolayca dağıtılabilir?
2. Özel olarak kürlenme ekipmanı gerekli midir? (Fırın, UV ışık kaynakları)
3. Çevresel faktörlerin yapıştırıcının kürlenme hızına etkisi nedir? (Nem, sıcaklık)
4. Montaj işleminden bir sonraki adıma geçmek için yapıştırıcının yeterli mukavemet geliştirmesi için ne kadar zamana ihtiyacı vardır ? [31].

Yapıştırıcı seçiminde dikkat edilmesi gerek hususlardan bazıları da yapıştırma işlemi yapılacak bağlantıların tasarımı, yapıştırıcının temel mekanik özellikleri yani kopma mukavemeti, gerilme, elastikiyet modülü kesme modülü vb özellikleridir. Bir diğer önemli kriter yüksek sıcaklıklarda uygulanacak bir yapıştırıcının uygunluğunun değerlendirilmesi de önemli bir seçim parametresidir. Reçine yumuşamaya başladığı

zaman mekanik özelliklerinin bozulduğu camsı geçiş sıcaklığıdır (T_g) . Aşağıdaki tabloda yapı sektörü için tipik camsı geçiş sıcaklık aralığı örnek olarak sunulmaktadır [49]. Tablo 4.1’de yapıştırıcı türüne göre yapıştırıcıların camsı geçiş sıcaklıkları görülmektedir.

Tablo 4.1: Yapıştırıcı türüne göre değişen camsı geçiş sıcaklıkları [49].

No	Yapıştırıcı Türü	Yapıştırıcı Markası	Camsı Geçiş Sıcaklığı T _g (°C)
1	Anaerobik	Monolith	150°-200°
2	Siyanat – Akrilit	Monolith	95°
3	2 bileşenli matakrlit	MA	170°
4	2 bileşenli epoksi	Monolith EP	250°
5	2 bileşenli poliüretan	-	190°
6	2 bileşenli değiştirilmiş epoksi reçine	Neopoxe 30	51°

Yukarıdaki tabloda sonuçlandığı üzere yapıştırıcı türüne göre yapıştırıcının camsı geçiş sıcaklığı değişmektedir. Bu da çalışma ortamına göre kritik bir önem arz etmektedir. Polimerlerin mekanik özellikleri büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır ve yüksekliği ile bozunmaya uğrar sonucuna ulaşılmaktadır. Aşağıdaki tabloda epoksi bazlı yapıştırıcının farklı sıcaklıklar üzerindeki mukavemet ve gerilme değişiklikleri gösterilmektedir [49].

Tablo 4.3’de bir epoksi bazlı yapıştırıcının farklı sıcaklıklarda sergilediği mekanik özellikleri görülmektedir.

Tablo 4.2 : Bir epoksi yapıştırıcısının belirli sıcaklıklarda gösterdiği mekanik özellikleri [49].

Sıcaklık	Nihai Mukavemet (MPa)	MPa’a karşılık gelen gerilme (mm/mm) ϵ
-40°	25	0,006
-10°	42	0,013
23°	53	0,024
50°	42	0,025
80°	30	0,025
120°	2	0,025

Yapıştırıcı seçimi yapılırken dikkat edilmesi gerek başka bir kritik konu da yapıştırıcı ile bağlanmış yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlardır. Bu koşullar; yükleri taşımak için yeterli yüzey sağlamak, kopma ve yırtılma yüklerini önlemek gerilme gerilimlerini sıkıştırıcı olanlarla değiştirmek gerilimi önlemek için bir eklemenin uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir [49].

Yapıştırıcı seçimindeki bir diğer kritik konulardır birisi de yapıştırıcının bağ çizgisidir. Çünkü bağ çizgisinin birleştirme bölgesinin mukavemetini etkileyen önemli bir parametredir. Çok ince bir bağ çizgisi, zorlu durumlarda düzgün bir şekilde performans göstermesi için bağ hattında yeterli yapıştırıcı olmadığından, zayıf bağlar oluşturacak ve erken bozulmaya yol açacaktır. İnce bağ çizgisi, zayıf ıslak alanlar yaratacaktır. İdeal olarak, maksimum bağlantı mukavemetini elde etmek için yapıştırıcıların yüzeyi yapıştırıcı ile tamamen ıslatılmalıdır. Bunun tersi senaryo, çok kalın bağ çizgisine sahip olmaktır. Kalın bağ çizgisi de, bağlantı kuvvetini azaltan ek yerlerinin kenarlarında yüklere ve yüksek gerilme konsantrasyonuna neden olur. Bu kalın bağ çizgisinin, eklem içinde arzu edilmeyen "ekstra" bir malzeme tabakası yaratacaktır. Yapıştırıcı türüne bağlı

olarak, bağ çizgisinin kalınlığı önemli ölçüde değişebilir. Bağ çizgisi kalınlığı yapıştırıcı türüne göre değişmektedir. Dikkate alınması gereken bir diğer önemli parametre, yapışkan tabakadaki kusurların türüdür. Yapıştırıcıdaki uçucular veya hava hapsolması nedeniyle boşluklar görünebilir. Yapıştırıcının veya kirlenici maddelerin yanlış karıştırılmasından dolayı hatalı kürlenme meydana gelebilmektedir. Bazı durumlarda, ısı büzülme veya kürlenme nedeniyle yapışkan tabakada çatlaklar gözlemlemek mümkündür. Bu kusurlar, eklem nihai mukavemetinde bir etkiye sahip olabilir. Bağ hattındaki bu kusurları tespit etmek için, ultrason veya bilgisayarlı tomografi (CT) taramaları gibi farklı tahribatsız yöntemler kullanılabilir [31].

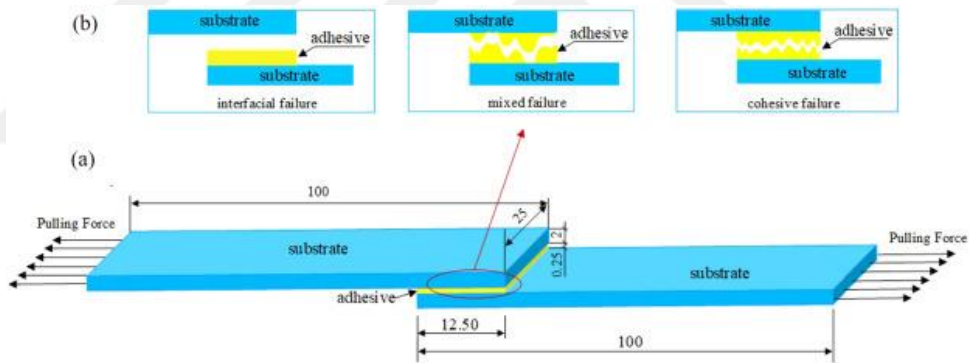
Rui Zheng ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma sonucunda yapıştırıcı özelliklerinin yapıştırıcı ile bağlanmış alüminyumun mukavemetine etkisi araştırılmış ve tartışılmıştır. Birleşme mukavemetinin sadece yapışma mukavemetine değil, aynı zamanda yapıştırıcının yapışmasına (kohezyon) da bağlı olduğu bulunmuştur. Verilen seçilmiş alüminyum alt tabakalar için, kohezif kopma modunu ve tutarlı birleşme mukavemetini sağlamak için, yapıştırıcı ile yapıştırıcı arasındaki yapışma yapışmasından daha zayıf veya buna benzer bir mukavemete sahip olan bir yapıştırıcı seçmek gereklidir sonucuna ulaşılmaktadır [54]. Dolayısıyla, yüksek yapışma kuvvetlerine ulaşmak için gerekli bir koşul, yapıştırıcının malzeme yüzeylerini kendiliğinden ve muntazam bir şekilde ıslatabilmesidir. Bu, uygun bir viskoziteye ve yapıştırılan malzemeden malzemelere göre daha düşük bir yüzey gerilimi olan bir yapıştırıcının seçilmesiyle elde edilebilir [25].

4.4 Yapıştırıcıların Kimyası ve Metallere Yapışma Teorisi

Yapışmayı mümkün kılmak için, arayüz boyunca içsel yapışma kuvvetleri oluşturmak gereklidir. Bu çok bileşenli malzemelerin nihai performansı veya kullanım özellikleri, katılar arasında oluşan ara yüzün kalitesine önemli ölçüde bağlı olduğundan, pratik uygulamalar için daha iyi bir yapışma olgusu bilgisinin gerekli olduğu anlaşılabilir bir durumdur. Yapışma mekanizmalarının incelenmesi 1930'lara kadar izlenebilse de, yapışma alanı bilim çevrelerinde yalnızca yaklaşık 60 yıl önce gerçek bir ilgi yaratmaya başladı. O zamandan beri hatırı sayılır araştırmalar yapılmış olsa da, yapışma mekanizmaları hakkındaki temel bilgiler hala yeterince geliştirilmemiştir ve tek bir küresel teori veya model tüm yapışma davranışı veya mekanizmaları açıklayamamıştır.

Bunun nedeni, polimer ve yüzey kimyası, kırılma mekaniği, malzeme mekaniği, termodinamik ve diğer konularda multidisipliner bilgi içermesi nedeniyle yapışmanın çok karmaşık bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Georges Fourche (1965 yılında) yapmış olduğu incelemesinde, bazı önemli yapışma modellerini, karşılık gelen mekanizmaların ayrıntılı olarak incelemesi ile açıklamıştır. Bu modeller, iki alt tabaka arasında meydana gelen olayları daha iyi anlamamıza yardımcı olabilmektedir. Bu nedenle, yapışma kendi başına bilimsel bir konu haline geldi, ancak teori ile pratik arasındaki boşluk önemli ölçüde daraltılmış olmasına rağmen, deneycilik ve teknolojinin bilimin biraz ilerisinde olduğu bir konu olmuştur [40].

Aşağıdaki şekilde çekme testinden sonra tek turlu eklemlerin üç tipik kırılma modunu gösterir, en iyi başarısızlık modu ayrılma noktasındaki, altlık malzemenin güçlü bir yapışma özelliğine sahip olduğunu gösteren kohezif başarısızlıktır. Bu durumda istenen kohezif ayrılmadır [12]. Şekil 4.17’de malzemenin çekme testi sonrasında ayrılma hataları görülmektedir.



Şekil 4.17: Tek turlu eklemlerin boyutları (a) ve üç tipik kırılma formu (b) [12].

4.4.1 Yapıştırıcının birleşme yeri ile oluşturduğu arayüzler

Arayüzler genellikle bağlı bağlantılarda yük aktarımı zincirinde zayıf bir halka oluşturmaktadır. Ayrıca, malzeme özelliklerinin süreksizliği, gerilim dağılımında ani değişikliklere ve ayrıca arayüzlerin kenarlarında gerilim süreksizliklerine neden olmaktadır. Yapışma bilimcileri arasında çok fazla destek kazanan bir kavram, iki temas fazının herhangi birinden yapı ve özellikler bakımından farklı olan iki temas eden katıya orta bir bölge olarak gevşek bir şekilde tanımlanan bir “ fazlar arası ” nın varlığıdır. Arayüzler, yapışkan bağlantılar, kaplama altlık malzemenin sistemleri ve fiber veya

partikül takviyeli kompozitler gibi birçok makro sistemde mevcuttur; bu sistemlerin genel mekanik davranışını kontrol edebileceklerini; ve bunların hesaba katılmaması muhtemelen kusurlu modellere yol açacaktır. Yüzeyler ayrıca mikro yapıların incelenmesi, sürtünme ve aşınma, tüm malzemelerin her şekilde birleştirilmesi, kimyasal reaksiyonların katalizlenmesi, oksidasyon, korozyon, küçük veya ince cisimlerin mekanik davranışı, elektronik cihazların tasarımı arayüz bölgesinde etkilidir. Fazların yüzeyleri, faz sınırlarında ve bu sınırların yakınında meydana gelmesi gereken hızlı yapısal değişiklikler nedeniyle, her zaman fazların kendi davranışlarından farklıdır. Yığın halindeki bir molekül üzerindeki kuvvetler, yüzeydeki bir molekül üzerindeki kuvvetlerle karşılaştırılırsa, toplu molekül üzerindeki kuvvetler birbirini götürürken, yüzey molekülü üzerindeki kuvvetler dengesizdir. Bu dengesizlik kuvvetinin bir sonucu olarak, denge bağlama düzenlemeleri bozulur ve bu da aşırı enerjiye (yani, yüzey serbest enerjisi, γ), yeni bir yüzeyin birim alanını oluşturmak için gerekli enerji veya bir molekülü yığıntan yüzeye taşımak için gereken enerji olarak tanımlamaktadır. Bu nedenle, bir damla sıvı, yüzey alanını ve dolayısıyla yüzey serbest enerjisini en aza indirmek için küresel bir şekil alma eğiliminde olacaktır. Tek fazlı katılarda benzer yüzeyler mevcuttur. Bunlar, farklı kristalografik yönelimlere sahip tanecikler arasında bulunan tane sınırlarıdır.

Polimerlerin yüzey özellikleri, arayüzey özelliklerini ve teknolojik uygulamalarını belirler. Islatılabilirliği malzemelere yapışmayı iyileştirmek için polimerlerin yüzeylerini modifiye etmek için birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin, plazma teknolojisi, yüksek enerjili iyon ışını ışınlaması, kimyasal işlem ve diğer teknikler, zayıf polimer yapışması için çözümler sağlamak üzere polimer yüzeylerin yüzey morfolojisini iyileştirmek için kullanılmıştır. Bu konu hakkında detaylı bilgi bölüm 2 ve bölüm 3'te mevcuttur.

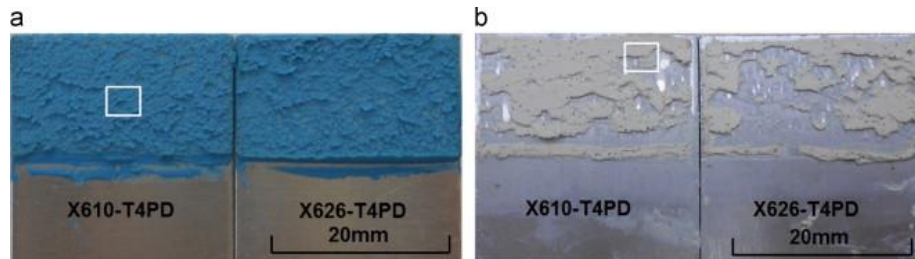
Polimer yüzeylerin, düşük yüzey enerjisi, uyumsuzluk, kimyasal inertlik veya kontaminantların ve zayıf sınır tabakalarının varlığı nedeniyle ıslanması ve yapıştırılması genellikle zordur. Yukarıda bahsedildiği gibi, yüzey ön işlemleri bu nedenle kimyasal bileşimi değiştirmek, yüzey serbest enerjisini artırmak, kristalin morfolojisini ve yüzey topografisini değiştirmek veya kirleticileri ve zayıf sınır katmanlarını ortadan kaldırmak için kullanılır. Yüzey serbest enerjisini ölçmek için bildirilen iki ana yaklaşım vardır. İlk yaklaşım, yüzey serbest enerjisinin yalnızca bir temas açısı ölçümü kullanılarak hesaplanabileceği bir durum denklemi (yani, termodinamik yapışma teorisi

kullanılmaktadır. İkinci yaklaşım, yüzey gerilimi veya yüzey serbest enerjisinin (a) dispersiyon kuvvetleri (van der Waals kuvvetleri) ve (b) polar kuvvetlerin (hidrojen bağı) bir kombinasyonu olarak kabul edildiği bileşenler yaklaşımıdır [40].

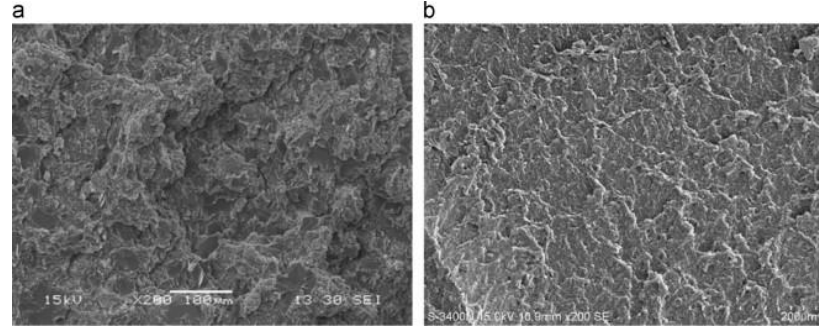
4.4.2 Yapışma mekanizmaları: yapışma teorileri

Yapışma, iki yüzeyin arayüzündeki atomlar arası ve moleküller arası etkileşimdir. Çeşitli şekillerde difüzyon, mekanik, moleküler ve kimyasal ve termodinamik yapışma olaylarına dayanan bir dizi adhezyon mekanizması şu anda literatürde tartışma konusudur. Bu tartışma, onların ayrıntılı açıklamasını gerektirir. Yapışma mekanizması çalışması, 1920'lerde MacBain ve Hopkins'in mekanik kenetlenme modelini tanıtmasıyla başlamıştır. Yapışma sürecini açıklayabilecek altı ana mekanizma veya model (veya teori) vardır, her biri yapışkan bağlamayla ilişkili belirli olayları açıklamada özellikle yararlı görünmektedir. Bu teoriler: mekanik kilitleme modeli, elektronik teori veya elektrostatik teori, zayıf sınır tabakası teorisi, adsorpsiyon teorisi, difüzyon veya interdifüzyon teorisi, kimyasal bağlanma teorisi [40].

Rui Zheng ve arkadaşlarının (2015 yılında) yapmış oldukları “yapıştırıcı özelliklerinin yapıştırıcı ile bağlanmış alüminyum alaşımlarının statik mukavemetine etkisi” çalışmasında iki adet alüminyum alt tabaka kullanarak bir yapışma bağlantısı elde etmişlerdir. Bu çalışma sonucunda belirli bir yapıştırıcı için, yapıştırıcı özelliklerinin yanı sıra, bağlantı mukavemeti diğer faktörlere bağlıdır (yani, sertleşme derecesi, yapışkan tabaka ve bağ yapışması arasındaki farklılıklar). Bu faktörlerin eklem gücü ve başarısızlık modundaki farklılığı katkıda bulunduğu tespit etmişlerdir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi a) kohezif bir yapışma sergilerken b) karışık kohezif bir yapışma yüzeyi sergilemektedir. Bunun sonucunda yapıştırıcının malzeme yüzeyine etkisi görülmektedir [54].

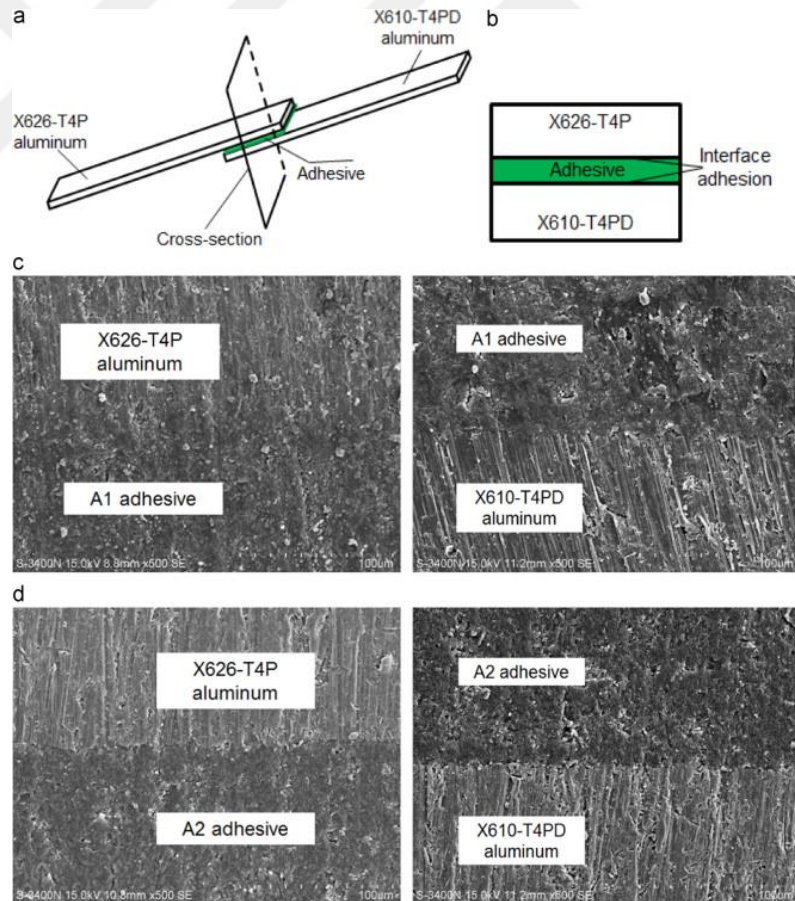


Şekil 4.18: A1 yapıştırıcı ile yapıştırılmış bindirmeli alüminyum bağlantılar için yapışkan kırılma modu ve (b) A2 yapıştırıcısı bindirmeli kesme yapıştırıcısı [54].



Şekil 4.19: Yukarıdaki şekilde kare bölge içerisindeki yapıştırıcının SEM görüntüsü [54].

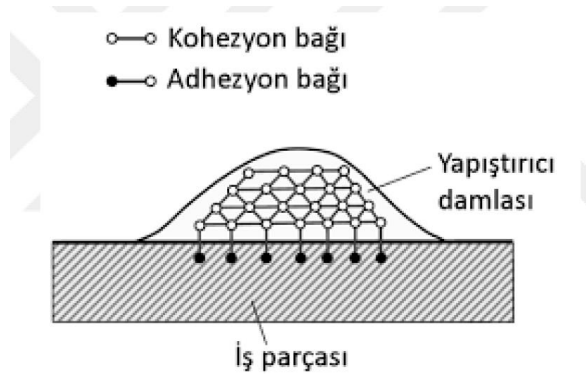
Şekil 4.18’de yapıştırma sonrasında uygulanan çekme testi ardından kırılma modlarının makro görüntüsü görülmektedir. Şekil 4.19’da ise bu modların SEM görüntüleri görülmektedir. Şekil 4.20’de farklı yapıştırıcıların adezyona etkisi incelenmiştir. Yüzeyin şematik görüntüsü ve SEM sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.20: a. Yapıştırıcı ile bağlanmış bir bağlantı şeması, b. bir enine kesit, c. A1 yapıştırıcı ile yapıştırıcı ile bağlanmış Alüminyum malzemenin enine kesiti, d. yapıştırıcının enine kesiti- Alüminyum kesitinin enine kesiti A2 yapıştırıcı ile yapıştırmıştır [54].

Güçlü yapışkan bağlantılar oluşturmak için, altlık malzeme ile yapışkan arasında yakın moleküler temasın kurulmasının kritik bir gereklilik olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, herhangi bir alt tabakaya bir yapıştırıcı uygulandığında, yüzeydeki herhangi bir kirletici maddeyi ve havayı çıkarabilmelidir. Yapıştırıcının bu koşulları karşılaması için bir dizi gereksinimi karşılaması gerekirken, aynı zamanda yapıştırılacak yüzey üzerine kolayca yayılabilmesi gerekmektedir. Birincisi, yapışkan sıvı olduğunda sıfıra yakın bir temas açısı sergilemelidir ve bağlama işlemi sırasında belirli bir zamanda sadece birkaç yüzde bir poise (vizkozite akışkanlık birimi) bir viskoziteye sahiptir. İkinci olarak, yapışkan, alt tabaka yüzeyinde bulunan herhangi bir hapsolmuş hava ve kirletici maddelerin yer değiştirmesini teşvik edecek şekilde alt tabaka ile bir araya getirilmektedir. Herhangi bir yapıştırıcı altlık malzeme kombinasyonunun bu gereksinimleri karşılama yeteneğini değerlendirmek için, ıslatma işleminin kinetiğinin yanı sıra sistem için ıslatma dengesinin de incelenmesi gerekmektedir [55].

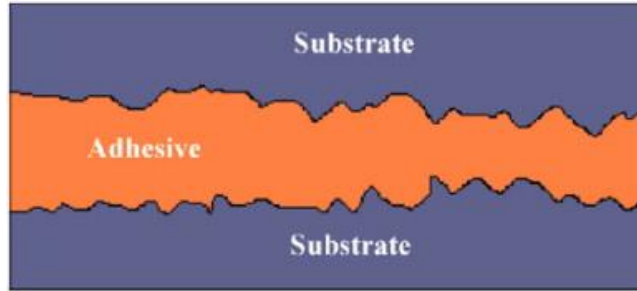
“Yapıştırma işlemindeki bir diğer önemli husus bir teorilerin içerisinde bulunan adezyon ve kohezyon kuvvetleridir. Yapıştırıcının birbiri ile yapmış olduğu birleşme kuvveti kohezyon kuvveti denir. Bu kuvvet sayesinde tüm yapıştırıcı molekülleri birbirine tutunmaktadır, yapıştırıcı ve altlık malzemenin yapmış olduğu birleşme kuvveti ise adezyondur.” Şekil 4.21’de adezyon ve kohezyon kuvvetinin şematik anlatımı görülmektedir.



Şekil 4.21: Adezyon ve kohezyonun iş parçası üzerinde şematik görüntüsü [58].

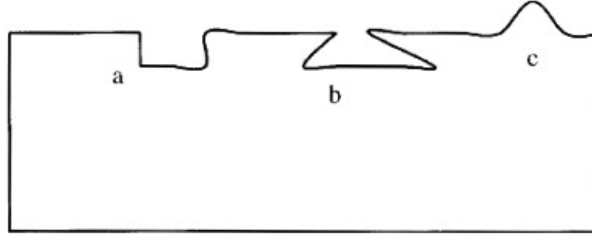
4.4.2.1 Yapıştırıcının mekanik kitlenme teorisi

Mekanik kitleme veya birleştirme (veya kancalama) modeli, en eski yapışma teorilerinden biridir; MacBain tarafından 1925'te tanıtılmıştır. Mekanik kitleme modeli veya teorisi, içsel yapışmanın ana kaynağının, yapıştırıcının yapıştırılan yüzeyin düzensizliklerine mekanik olarak kilitlenmesi olduğunu ileri sürmektedir. Başka bir deyişle, bu en eski yapışma teorisi, yapışmayı bir polimer yapıştırıcının gözeneklere ve bir alt tabakanın diğer yüzeysel pürüzlerine mekanik olarak kenetlenmesinin bir sonucu olarak kabul etmektedir. Altlık malzemelerin pürüzlülüğü ve gözenekliliği, yalnızca yapıştırıcı tarafından ıslatılabilirliğin yeterli olduğu durumda uygun faktörlerdir. Bu nedenle, mekanik yapışma, pürüzlülük derecesi ve bunun sonucunda yapışan yüzeyin sürtünmesi ile ilgilidir. Belirli bir miktarda bağlanma, yalnızca mekanik kitlemeden, kimyasal bağlama için mevcut toplam yüzey alanının artmasından ve yapıştırıcının yapışan yüzey üzerindeki çatlaklara nüfuz ettiği kıvrımlı bir kırılma yolu oluşturmasından beklenebilir. Bağıın gerilme mukavemeti, yapışan yüzey üzerindeki yarık açlarına bağlı olabilse de, artan pürüzlülük ile yapıştırıcının çekme mukavemeti önemli ölçüde artar. Bununla birlikte, mekanik kenetlenme moleküler düzeyde bir mekanizma değildir. Yapıştırıcının malzemeler üzerinde adsorpsiyonunu arttırmak sadece teknik bir yoldur [40]. Şekil 4.22'de mekanik kitlenme modelinin şematik görüntüsü mevcuttur.



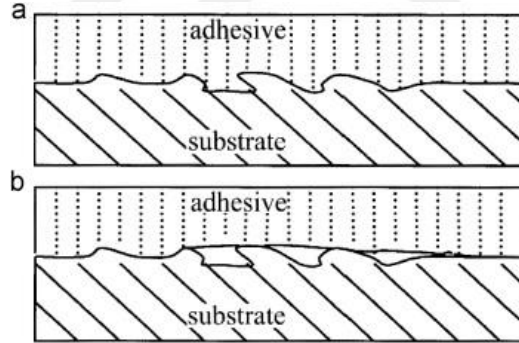
Şekil 4.22: İki alt tabaka arasındaki mekanik bağlantının gösterimi [40].

Model, makroskopik düzeyde kürlenmiş yapıştırıcı ile malzeme yüzeyinin düzensizlikleri arasındaki mekanik (fiziksel) kenetlenmeyi içermektedir. Van Leeden ve Frens'in önerdiği gibi, üç tip düzensizlik mümkündür. Şekil 4.23'de gösterildiği gibi ancak sadece tip b mekanik kitlemeyi oluşturabilir. A veya b tiplerinin yüzey düzensizlikleri durumunda, yapışma mukavemeti uygulanan kuvvetin yönüne bağlıdır çünkü sadece mekanik birleştirme mevcuttur. Şekil 4.23'de yüzey düzensizlikleri görülmektedir.



Şekil 4.23: Üç tür yüzey düzensizliği [40].

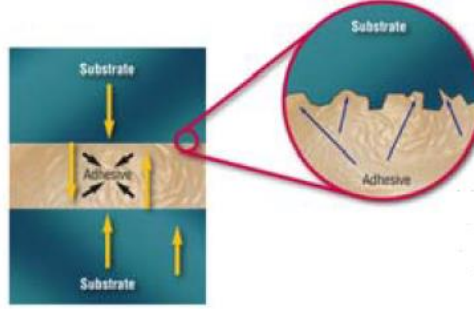
Bu nedenle, yukarıdaki tartışmadan mekanik kenetlenmeyi etkileyen ana faktörler, yüzeyin pürüzlülüğü, gözenekliliği ve düzensizlikleridir, ancak yalnızca altlık malzemenin yapıştırıcı tarafından yeterince ıslatılmasıyla sağlanır. Aslında, malzemelerin yüzeylerinin ıslanmaması, yapışkan bağların oluşmasını tamamen engelleyebilir. Bu nedenle, Maeva ve arkadaşları, güçlü yapışma için yapıştırıcının sadece alt tabakayı ıslatmakla kalmayıp aynı zamanda makul bir sürede gözeneklere nüfuz etmek için uygun reolojik özelliklere sahip olması gerektiğini belirtmişlerdir. Düşük yapışkan viskozitesi, mikro boşluklara ve gözeneklere daha hızlı ve daha tam nüfuz etmesi nedeniyle daha fazla arayüz mukavemeti sağlamaktadır. Şekil 4.24'de yeterli ve zayıf ıslanabilirliğin şematik görüntüleri görülmektedir.



Şekil 4.24. a.yeterli ıslanma b. zayıf ıslanma [40].

Açıkça çekiciliğine rağmen, mekanik kenetlenme modeli evrensel bir yapışma teorisi olarak kabul edilemez çünkü mükemmel şekilde pürüzsüz yüzeyli alt tabakalar arasında bile iyi yapışma meydana gelebilir. Ayrıca bu teori, yapışkan ve altlık malzeme arayüzünde moleküler düzeyde meydana gelen herhangi bir faktörü dikkate almaz. Mekanik kenetlenme, yapışma mekanizmalarının genel görünümünde yalnızca bileşik bir özellik olarak düşünülmelidir. Bu model, alt tabakaların yapıştırıcıya karşı geçirimsiz olduğu ve alt tabakanın yüzeyinin yeterince pürüzlü olduğu durumlarda etkili bir şekilde

uygulanabilmektedir [40]. Şekil 4.25’de yapıştırıcının yüzey düzensizliklerindeki mekanik kilitlenmesi görülmektedir.



Şekil 4.25: Yapıştırıcı yüzey düzensizliklerinin mekanik kilitlenme görüntüsü [53].

Bu teoriye göre yapışma, yapıştırıcıların alt tabakanın yüzeyindeki gözeneklere, boşluklara ve diğer yüzey düzensizliklerine nüfuz etmesiyle oluşur. yapışkan, ara yüzdeki hapsolmuş havanın yerini alır. Bu nedenle, iki yapıştırıcının yüzey pürüzlülüğüne giren bir yapıştırıcının bunları bağlayabileceği sonucuna varılmıştır. Yapıştırıcı bağlanma mukavemetine pozitif bir uyum, yapıştırıcının ve yapışanların "mekanik kenetlenmesinden" kaynaklanır. Yapıştırıcılar sık sık gözenekli aşınmış yüzeylere düz yüzeylere göre daha güçlü bağlar oluşturur. Bir yüzeyin aşındırıldıktan sonra artan yapışma durumu mekanik kilitlenme ile alakalıdır [33].

4.4.2.2 Adsorpsiyon teorisi

Adsorpsiyon teorisi en genel kabul gören modeldir; Sharpe ve Schonhorn tarafından tanıtılmıştır. Adsorpsiyon teorisi, yapışkanın yüzeylerindeki atomlar ve moleküller ile yakın temastan sonra yapıştırılacak malzemeler arasında oluşan atomlar ve moleküller arası kuvvetler nedeniyle malzemelerin yapışacağını belirtmektedir. Yapıştırıcı ve alt tabaka arasındaki bu kuvvetler şunları içerir;

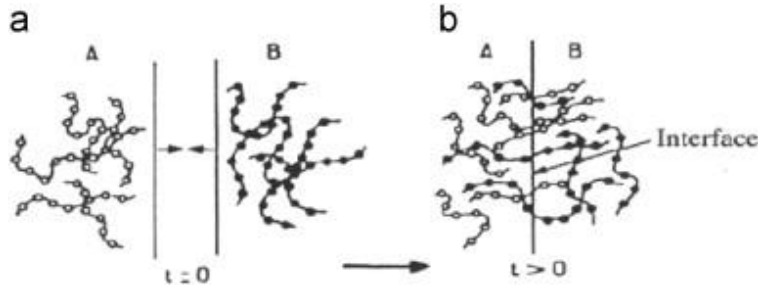
- (a) İkincil bağlar: (i) van der Waals kuvvetleri ve (ii) Hidrojen bağları,
- (b) Birincil bağlar: (i) Kovalent, (ii) İyonik, (iii) Metalik ve
- (c) Donör-alıcı etkileşimleri ikincil ve birincil bağlar arasındaki güçte orta düzeydedir (asit-baz etkileşimi).

Teori, bazen ayrı teoriler olarak kabul edilen birkaç model içermektedir: ıslatma, reolojik ve kimyasal yapışma modelleri. Adsorpsiyon teorisi aynı zamanda termodinamik teori olarak da bilinmektedir. Islatılabilirlik ve asit-baz teorisi olarak da adlandırılmaktadır.

İyi adsorpsiyon için etkili ıslatmanın yapıştırılacak iki malzemenin arasında yakın temas sağlamak için gerekli olduğu iyi bilinmektedir. Temas açılarının ölçülmesi, fiziksel adsorpsiyonla yapışmayı araştırmanın bir yoludur. Bunlar, yapışkan bağlara katkıda bulunan en zayıf kuvvetlerdir, ancak güçlü bağlantılar yapmak için oldukça yeterlidir. Sonuç olarak; bu teori, bir yapıştırıcının başarılı olabilmesi için yapıştırılacak yüzeyi ıslatılması gerektiğini belirtmektedir (yapıştırıcı olarak adlandırılır). Bu teori, yapışandan daha düşük yüzey gerilimine sahip malzemelerin geliştirilmesine yol açmaktadır [40].

4.4.2.3 Difüzyon veya interdiffüzyon teorisi

Difüzyon teorisi, yapışmayı aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi arayüzde iki polimerik malzemenin makromoleküllerinin karşılıklı difüzyonunun sonucu olarak açıklayan Voyutski tarafından önerilmiştir. Difüzyon teorisine göre hem yapışkan hem de altlık malzeme ile karşılıklı olarak karışabilen ve uyumlu olan polimerler olmalıdır. Şekil 5.26'da difüzyon teorisinin şematik görüntüsü görülmektedir.



Şekil 5.26: Yapışma difüzyon teorisi a. Yapıştırıcı ve b. substrat moleküllerinin interdiffüzyonu [40].

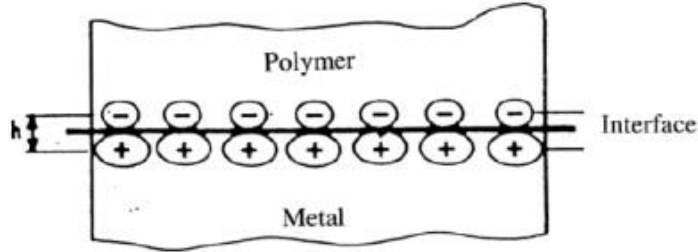
Difüzyon teorisi, iki makromolekülün yakın temasta yapışmasının, yüzeysel tabakaların moleküllerinin karşılıklı difüzyonundan kaynaklandığını belirtilmektedir. Bu interdiffüzyon, yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi bir geçiş bölgesi veya "arayüz" oluşturur. Polimer otohezyonu durumunda, yani iki özdeş polimer numunesi durumunda, sabit bir montaj basıncı altında yapışma, Fick yasasına göre sıcaklık ve temas süresinin bir fonksiyonudur. Bu modelin uygulaması, uyumlu polimerlerin yapışması ve ayrıca termoplastiklerin kaynağı ile sınırlıdır. Polimerin bir metale karşılıklı olarak içsel

yapışması durumunda, polimer / metal arayüzünde difüzyon, bazı metaller polimerik malzemeler üzerinde buharlaştığında meydana gelmektedir. Difüzyon teorisi, sabit bir montaj basıncı altında temas halinde yerleştirilen iki polimer numunesinin Fick'in difüzyon yasalarına göre birlikte yayılacağına dair varlıklardır. Yoğunluğu zamanla sabit (kararlı durum difüzyon: Fick'in difüzyon birinci kanunu) kalır halinde akışı, ($K \times$ yönünde) X , c konsantrasyonu gradyanı ile orantılıdır [40]. Fick'in ikinci yasası difüzyon sabiti değerleri hesaplanabilmektedir. Vaseenin, Fick'in birinci yasasına dayanarak kinetik yapışma kavramını geliştirmiştir. Bu nicel model, bir arayüz boyunca belirli bir yöndeki malzeme difüzyon miktarının, sabit zaman ve konsantrasyon gradyanı ile orantılı olduğunu belirtir. Bu teori, yapışmanın, yapışkan ve yapışkan arasında moleküllerin karşılıklı difüzyonu yoluyla geliştirildiğini ileri sürer. Difüzyon teorisi öncelikle hem yapıştırıcı hem de yapıştırıcı hareket kabiliyetine sahip nispeten uzun zincirli moleküller olduğunda uygulanabilmektedir. Malzemelerin doğası ve yapıştırma koşulları, çözülmenin gerçekleşip gerçekleşmediğini ve ne ölçüde gerçekleştiğini etkileyecektir [33]. Yapışma difüzyon teorisi sadece polimerlerin kendilerine yapışması (oto-yapıştırma) için geçerlidir, çünkü bu teori bağların moleküller arasında bağ arayüzü boyunca karşılıklı yayılmasının bir sonucu olarak bağlanma sonucunu savunmaktadır. Bu nedenle, bunun meydana gelmesi için birbirine bağlanacak polimerlerin makromoleküllerinin karşılıklı olarak çözünür olması ve difüzyona izin verecek yeterli hareketliliğe sahip olması gerekmektedir. Açıkçası, bu teori alüminyumun yapışkanlı yapışması için geçerli değildir, ancak bu gibi birleşme yerleri içindeki kurlanmış primerler ve yapışkan reçine sistemleri arasındaki esaslı yapışma için bir açıklama olarak görülebilir. Bununla birlikte, bu bölgede hiçbir yapışma probleminin ortaya çıkmadığı görülmektedir [55].

4.4.2.4 Elektrostatik çekim teorisi

Elektrostatik çekim teorisi (veya elektriksel yapışma mekanizması) aynı zamanda elektriksel çift veya elektronik veya paralel plaka kapasitör teorisi olarak da bilinmektedir. Bu mekanizma, iki farklı bant yapısına sahip arayüzde birleşen iki malzemeye dayanmaktadır, öyle ki temas halinde karşılıklı bir elektron paylaşımı var olmaktadır. Bu model, yapıştırılacak malzemelerin sistemini, plakaları farklı yapıdaki iki

malzeme birbirine temas ettiğinde oluşan elektriksel çift katmandan oluşan bir plaka kondansatörü olarak ele alır, Aşağıdaki şekilde bu model yalnızca uyumsuz malzemeler, örneğin bir polimer ve bir metalik malzeme birleştirilmesi durumunda uygulanabilir. Şekil 4.27’de elektrostatik teorinin şematik görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4.27: Polimer-metal arayüzlerde elektriksel çift katman [40].

Bu teori, yapıştırıcı ve yapışmanın etkileşiminin bir sonucu olarak, arayüzde elektrostatik olarak yüklü bir çift iyon tabakasının geliştiğini varsaymaktadır. Başka bir deyişle, asit-baz etkileşimleri ve iyonik bağlanma durumunda olduğu gibi, bir yüzey net bir pozitif yük taşıdığı ve diğer yüzey net bir negatif yük taşıdığı iki yüzey arasında çekim kuvvetleri oluşur. Bir yapıştırıcı malzeme yüzeyinden soyulduğunda elektriksel deşarjların gözlemlenmesi gerçeği, bu çekici kuvvetlerin kanıtı olarak gösterilmektedir. Arayüzdeki bileşenler arasındaki elektrostatik yük farkı, çekim bağının kuvvetine katkıda bulunabilir. [40].

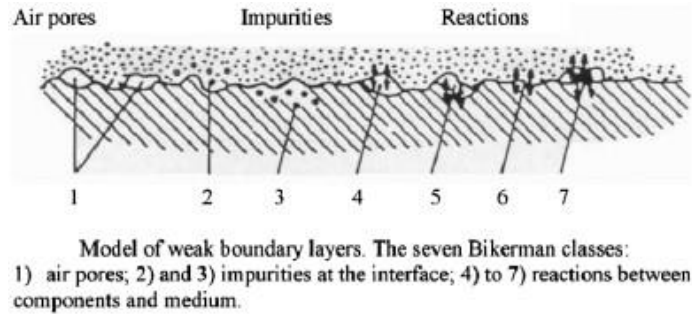
Bu teori, yapışmanın yapıştırıcı ve yapıştırıcı arasındaki elektrostatik etkiler nedeniyle gerçekleştiğini önermektedir. Elektronik bant yapılarının aksine elektron transferinin yapıştırıcı ile yapıştırıcı arasında gerçekleşmesi beklenir. Bir elektriksel çift katman şeklindeki elektrostatik kuvvetler, böylece yapışkan yapışma arayüzünde oluşturulur. Bu kuvvetler birleşme sonrasında ayrılığa karşı direnci açıklar. Bu teori, bir yapıştırıcı bir yüzeyden soyulduğunda elektriksel deşarjların fark edilmiş olmasından destek almaktadır [33].

4.4.2.5 Zayıf sınır tabaka modeli teorisi

Zayıf sınır tabakaları teorisi, başlangıçta yapışkan ve alt tabaka arasındaki ara yüzün başarısız olmayacağı düşünüldüğü için önemlidir, ancak bu başarısızlık zayıf bir sınır tabakasının oluşumundan kaynaklanmaktadır. Gerçek yapıştırıcılar genellikle polimerik olduğundan ve arayüzün zincir dolanmaları ve çapraz bağlantılar içerdiğinden, bu durum,

arayüz arızası için çok daha büyük bir kuvvetin gerekmesine neden olduğu için şiddetle çürütülmüştür. Yakın zamanda plazma işlemi de dahil olmak üzere yüzey morfolojisinin genellikle polimerik malzemeleri bozarak zayıf bir sınır tabakasının oluşumuna neden olduğu belirtilmelidir.

Zayıf sınır tabakası teorisi, bir yapıştırıcının tatmin edici bir şekilde çalışması için zayıf sınır tabakasının ortadan kaldırılması gerektiğini savunmaktadır. Örneğin pullu oksit tabakasına sahip metallerde sınırdaki arıza meydana gelir. Tutarlı bir oksit tabakasına sahip alüminyum için sorun mevcut değildir. Benzer şekilde, polietilen durumunda, yapı boyunca zayıf, düşük moleküler ağırlıklı bir katkı maddesi mevcuttur ve bu, zayıf bir arayüze yol açar. Her iki durumda da potansiyel olarak zayıf tabakalar, yüzey ön işlemleri ile çıkarılabilir. Yapılan çalışmalar, bir montajın ayrılmasında; hatanın yayılmasının tam olarak arayüzde gerçekleşmesinin pek olası olmadığını göstermektedir. Kırılma aslında temas halindeki her iki katıda kohezif olarak yayılır. Bu nedenle, montaj oluşumunu yöneten mekanizma ne olursa olsun, montajın gücü yalnızca substratların toplu özelliklerine bağlıdır. Ayrıca çalışmalarda, kırılma iki malzeme arasında bulunan zayıf bir arayüz tabakasında ileri doğru hareket ettiğinde başka bir arıza mekanizmasının meydana gelebileceğini belirtilmiştir [40]. Şekil 4.28’de zayıf sınır katmanlarının şematik görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4.28: Zayıf sınır katmanlarının sınıflandırılması [40].

4.4.2.6 Kimyasal ve moleküler bağ teorisi

Kimyasal bağ teorisi, tüm bağlanma teorilerinin en eski ve en iyi bilinenidir. Kimyasal bağın doğası, maddenin fiziksel ve kimyasal davranışının anahtarıdır. Moleküler bağlanma, yakın temas halindeki iki yüzey arasındaki yapışmayı açıklamak için en yaygın kabul gören mekanizmadır. Yapışkan ve altlık malzeme arasında, dipol-dipol

etkileşimleri, van der Waals kuvvetleri ve kimyasal etkileşimler (yani, iyonik, kovalent ve metalik bağ) gibi moleküller arası kuvvetleri gerektirir. Yapıştırıcı-altlık malzeme arayüzünde oluşan kimyasal bağların, iki benzer veya farklı malzeme arasındaki yapışma seviyesini büyük ölçüde artırabileceği kolayca anlaşılabilmektedir. Bu bağlar, ikincil kuvvet etkileşimleri olarak adlandırılan Van Der Waals gibi fiziksel etkileşimlerle karşılaştırıldığında genellikle birincil bağlar olarak kabul edilir. Birincil ve ikincil terimi, her bir etkileşim türünün bağıl gücü veya bağ enerjisinden kaynaklanır. Moleküler veya kimyasal bağlanma mekanizmaları, iki malzeme arasında yakın bir temas gerekmektedir. Bununla birlikte, tek başına yakın temas, kusurların, çatlakların ve hava kabarcıklarının varlığı nedeniyle, arayüzde iyi bir yapışma için genellikle yetersizdir. Yapışkan yüzey üzerindeki bir kimyasal grupta ile yapıştırıcıdaki uyumlu bir kimyasal grup arasında kimyasal bir bağ oluşur. Kimyasal bağın gücü, bağların sayısına ve türüne bağlıdır ve arayüz arızası, bağ kırılmasını da içermelidir. Atomik veya moleküler taşıma, difüzyonel süreçlerle kimyasal bağlanmada rol oynar. Ara yüzeyde katı çözelti ve bileşik oluşumu meydana gelebilir ve bu da belirli bir kalınlığa sahip bir reaksiyon bölgesi ile sonuçlanmaktadır. Bu durum her tür kovalent, iyonik ve metalik bağları kapsamaktadır. Bir oksit tabakası veya organik kirlilik yapışkan bağlantıların yapışma performansını büyük ölçüde azaltabilir [40].

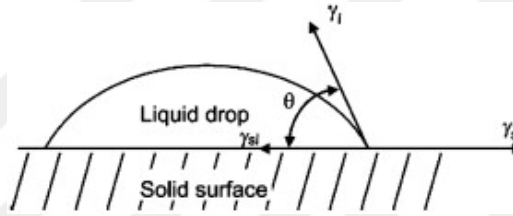
4.4.2.7 Termodinamik yapışma teorisi

"Yapışma işi" açısından yapışma gücünü ölçme kavramı ilk olarak 1928 yılında "Yüzey enerjisi ilişkileri ile ortaya çıkan yüzey enerjisi ve yüzeylerdeki moleküllerin yönelimi" çalışması ardından Harkins tarafından ortaya atılmıştır. Yapışmayı mümkün kılmak için, arayüz boyunca içsel yapışma kuvvetleri oluşturmak gereklidir. Bu kuvvetlerin büyüklüğü ve doğası çok önemlidir. Termodinamik bir bakış açısından, arayüzün gerçek yapışma (veya içsel özelliği) çalışması, bağlanan malzemelerden serbest yüzeyler oluşturmak için gereken enerji miktarını oluşturmaktadır [40].

4.4.3 Yüzey gerilimi veya yüzey serbest enerjisi (katı, sıvı)

Yapıştırıcı ve substratlar arasındaki içsel yapışma, tüm malzemelerin atomları ve molekülleri arasında etki eden çekim kuvvetlerine sahip olmasından kaynaklanır ve bu

atomlar arası ve moleküller arası kuvvetlerin doğrudan ölçüsü yüzey gerilimidir. Bu nedenle Kinloch yapmış olduğu çalışma sonucunda, yüzey tabakalarındaki gerilimin, yüzey tabakası için dökme malzemenin çekilmesinin bir sonucu olduğunun altını çizmiştir ve bu çekim, yüzey bölgesindeki molekül sayısını azaltarak moleküller arası bir artışa neden olduğunu ortaya koymuştur. Bu artış, işin yapılmasını gerektirir ve normal bir konfigürasyona dönüldüğünde sisteme çalışma döndürür. Bu, yüzey geriliminin neden var olduğunu ve neden bir yüzey serbest enerjisi olduğunu açıklar. Temel kavramı yüzey serbest enerjisi bir yüzey varlığı ile ilişkili aşırı enerji olmasıdır. Birim alan başına ifade edilir. Biçimsel tedavilerde, bunların Gibbs G veya Helmholtz F serbest enerjileri, terimleriyle tanımlanabileceklerini kabul etmek gerekir. Şekil 4.29'da Young denkleminin şematik görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4.29: Denge durumunda katı yüzeydeki sıvı damlası, Young denklemine denge kuvveti dengesini gösterir [40].

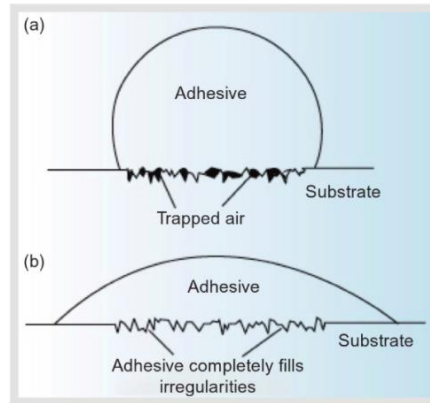
Yüzey enerjileri ile ilgili hususlar, genellikle adhezyonun anlaşılması için temel olarak kabul edilir. Yüzey enerjileri, yapışkan bağın oluşumu ile ilişkilidir. Yapışma için bir ön koşul, bağ oluşturulan fazlar (yani katı ve sıvı) arasındaki temasıdır. Sıklıkla yapıştırıcı sıvı olarak uygulanır ve katı ile temas açısı θ Young denklemi tarafından yüzey enerjileriyle ilişkilidir [40].

4.4.4 Islatma, ıslatma kriterleri ve ıslanabilirlik

Katı yüzeylerdeki sıvıların ıslatılması, yaygın teknolojik sonuçları olan en temel ilgi konusudur. Yapıştırıcının yüzey enerjisinden daha az yüzey enerjisine sahip olan yapıştırıcılar, yüzeyi kolayca ıslatacak ve iyi bağlar oluşturmaktadır. Yapıştırıcı ile yapıştırıcı arasında yeterince yakın temas sağlanırsa, iki yüzeyin atomları arasında ıslanma ile sonuçlanan fiziksel bir etkileşim gelişir. Fiziksel bir etkileşim veya bağın oluşumu, oldukça lokalize moleküller arası kuvvetlerden kaynaklanır. Islanma; (a) asit-baz etkileşimleri, (b) zayıf hidrojen bağı veya (c) van der Waals kuvvetleri (dipol-dipol ve dağılım kuvvetleri). Islanma derecesi, katı, sıvı ve sonraki ara yüzün yüzeyden

bağımsız enerjilerindeki farklılıklara bağlıdır. Yapışma, yüzeysel fiziko-kimyasal bir olgudur. Yapışma bir yüzey olgusu olduğu için, yapışkan bağlantının fiziksel özelliklerinin büyük ölçüde alt tabakanın yüzeyinin karakterine ve yapışkanın bu yüzeye nasıl etkileşime girdiğine bağlı olduğu sonucu çıkmaktadır. Bu nedenle, uygun olmayan bir yüzeye sahip bir alt tabakanın yapıştırıcının ve altlık malzemenin mekanik özelliklerinden tahmin edilebilecek olandan daha düşük birleşme mukavemetine yol açabilmektedir. Islanma ve yapışma terimleri özünde ilişkilidir. Çoğu sıvı, esas olarak van der Waals kategorisinin ikincil, fiziksel bağlarına bağlı olarak, katılarla veya diğer (karışmayan) sıvılarla yüzey gerilimleri ve ara yüzey gerilimleri gösterir (asit-baz etkileşimlerinin ve hidrojen bağının önemi giderek daha fazla kabul görmektedir [40].

Bu teori, yapışmanın iki malzeme arasındaki moleküler temastan ve gelişen yüzey kuvvetlerinden kaynaklandığını ileri sürmektedir. Bağ oluşumundaki ilk adım, yapıştırıcı ile alt tabakalar arasında ara yüzey kuvvetleri geliştirmektir. Yapıştırıcı ile yapıştırıcı arasında sürekli temas kurma işlemine ıslatma denir. Bir yapışkanın katı bir yüzeyi ıslatması için, yapışkanın katının kritik yüzey geriliminden daha düşük bir yüzey gerilimine sahip olması gerekir. Buradan çıkan sonuç yapıştırıcıların yapışma mukavemetlerinin değişkenlik göstermesinin sebebi ıslatma özelliklerinin farklılığıdır. Epoksi en iyi ıslanabilirlik özelliğine sahiptir. Tam ıslatma, en yüksek yapışma mukavemetine ulaşır. eksik ıslatma, ara yüzey kusurlarına neden olur, böylece yapışkan bağ mukavemetini azaltır [33]. Şekil 4.30'da zayıf ıslatma sonucunda yapışkan yüzeyin görüntüsü mevcuttur.

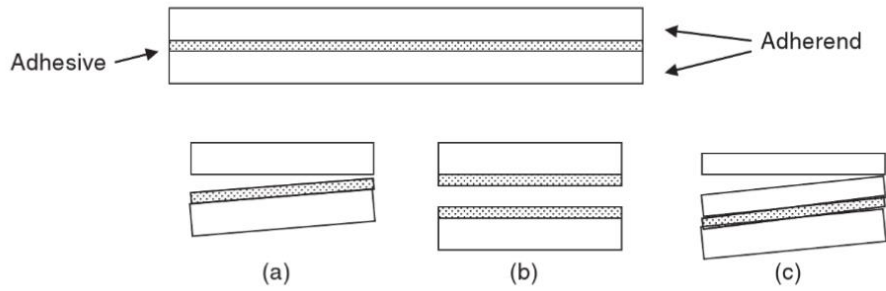


Şekil 4.30: a. İyi ve b. Kötü örnekleri: bir yüzeye yayılan zayıf ıslatıcı yapışkanlar [33].

Katı sıvı arayüzündeki kuvvetler veya denge dengesi, Young'ın sıfırdan büyük temas açıları denklemi ile verilir. Daha küçük temas açısı, daha fazla sıvının belirli bir sıvı hacmi için bir alana yayıldığı anlamına gelir; dolayısıyla sıvının yüzeyde ıslanabilirliği yüksektir, daha sonra sıvının yüzey gerilimi alt tabakanın kritik yüzey gerilimine eşittir. Büyük temas açıları zayıf ıslanabilirlik ile ilişkilidir [48].

4.5 Yapıştırıcı arıza türleri

Başarısızlığın ortaya çıkması için farklı olasılıklar vardır. Bağ başarısızlığına karışan yüzeylere arıza yeri denir. Yapıştırıcı tabakalar ile yapışanlardan biri arasında yapışma hatası meydana gelirse buna yapışkan hatası denmektedir. Şekil 4.31'de yapışma hataları görülmektedir.



Şekil 4.31: Yapışkan bağ modlarının şemaları a.yapışkan hatası b. yapışkan tabakada kohezyon hatası c.yapışkan kısımda kohezyon hatası [33].

a: Ayrılmanın her iki yapışkan yüzeyin yapışkanla kaplı kalacağı şekilde meydana geldiği bir arızaya yapıştırıcıda kohezif bozulma denir.

b: Bazen yapışkan bağ o kadar güçlüdür ki, yapışkanlardan birinde kopma meydana gelir ve bağdan uzaklaşır. buna yapışık şekillerde birleşik başarısızlık denir.

c: Bağ arızaları genellikle birden fazla arıza modunu içerir ve kohezif veya yapışkan olarak başarısız olan kohezif veya arzu edilmeyen temas yüzeyine bir yüzde olarak atfedilir. Yapışkan bağlantılar yapışkan veya kohezif olarak başarısız olabilir. yapışkan hatası, yapışkan ve yapışkan arasında bir ara yüzey bağ hatasıdır. Kohezif bozulma, bir kırılma bir yapışkan tabakasının her iki yüzeyde kalmasına izin verdiğinde ortaya çıkar. Yapışkan kısım, yapışkandan önce başarısız olduğunda, yüzeydeki kohezyon arızası olarak bilinir. Şekil 4.31'de çeşitli başarısızlık modları gösterilmektedir. Yapıştırıcı veya

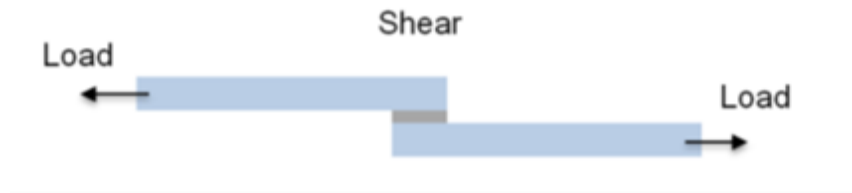
yapışanlardan biri içindeki kohezyon ayrılma arızası ideal arıza türüdür çünkü bu tür bir arıza ile bağlantıdaki malzemelerin maksimum gücüne ulaşılmıştır. Bozulmaya karşı test edilmiş bir yapıştırıcı eklemi analiz ederken, bozulma modu genellikle şekil 4.31-b'deki gösterildiği gibi kohezyon veya yapışkan arıza yüzdesi olarak ifade edilir. ideal başarısızlık, yapışma katmanındaki % 100 kohazif bir başarısızlıktır [33].

Arıza modu, kullanışlı bir bağlantı için tek kriter olarak kullanılmamalıdır. bazı yapıştırıcı-yapışma kombinasyonları yapışkan olarak başarısız olabilir, ancak kohezifliği bozan daha zayıf bir yapıştırıcıyla bağlanan benzer bir ek yerine göre daha fazla mukavemet sergiler. Bir noktanın nihai gücü, eklem başarısızlığının modundan daha önemli bir kriterdir. Yine de, başarısızlık modunun analizi, arızanın zayıf bir sınır tabakasından mı yoksa yanlış yüzey hazırlığından mı kaynaklandığını belirlemede son derece yararlı bir araç olabilir [33].

Zamansız yapıştırıcı arızasının tam nedenini belirlemek çok zordur. yapışkan, altlık malzeme yüzeyini tamamen ıslatmazsa, yapışma mukavemetinin maksimumdan daha az olacağı kesindir. Yapıştırıcının sertleşme sırasında çekme eğiliminin doğal olması ve yapıştırıcı ile alt yüzeyin fiziksel özelliklerindeki farklılıklar nedeniyle yapışkan bağlantılarda iç gerilmeler meydana gelir. Yapıştırıcının ve yapışmanın termal yayılma katsayısı, termal döngü sırasında veya yükseltilmiş bir sıcaklıkla kürleşmeden sonra oluşabilecek gerilmeleri en aza indirmek için mümkün olduğu kadar yakın olmalıdır. Fiiller genellikle yapıştırıcıların ısı genleşme özelliklerini değiştirmek ve iç gerilmeleri sınırlamak için kullanılmaktadır. Bu gerilmeleri karşılamanın başka bir yolu, nispeten elastik yapıştırıcı kullanmaktır.

Tamamlanmış bağlara etki eden gerilim türleri, bunların yapıştırıcıya yönelimleri ve uygulandıkları oranlar, bağın dayanıklılığının belirlenmesinde önemli faktörlerdir. Uzun süreli yükler, yaşlanma testi yapıldığında benzer yüksüz eklemler yeterli güç sergileyebilse bile, hizmette erken arızalara neden olabilmektedir. Bazı yapıştırıcılar, özellikle ısıya veya neme maruz kaldıktan sonra, yük altında hızla bozulur. Bir dizi yapıştırıcı, eklemin gerilme hızına karşı hassastır. Sert, kırılğan yapıştırıcılar bazen mükemmel gerilme veya kesme dayanımına sahiptir, ancak çok zayıf darbe dayanımına sahiptir. çalışma ortam faktörleri, yapışkan bir eklemi çeşitli şekillerde bozabilmektedir. Eğer birden fazla çevresel faktör (örneğin ısı ve nem) numuneye etki ediyorsa, bunların

birleşik etkisinin, azalan yapışkan mukavemetinin sinerjik bir sonucunu üretmesi beklenebilir. Mümkün olduğunda, aday yapışkan eklemeleri bağlantının karşılaşması beklenen gerçek ortamda simüle edilmiş işletim yükleri altında değerlendirilmelidir [33]. Şekil 4.32’de tek bindirmeli kesme tasarımının şematik görüntüsü görülmektedir.

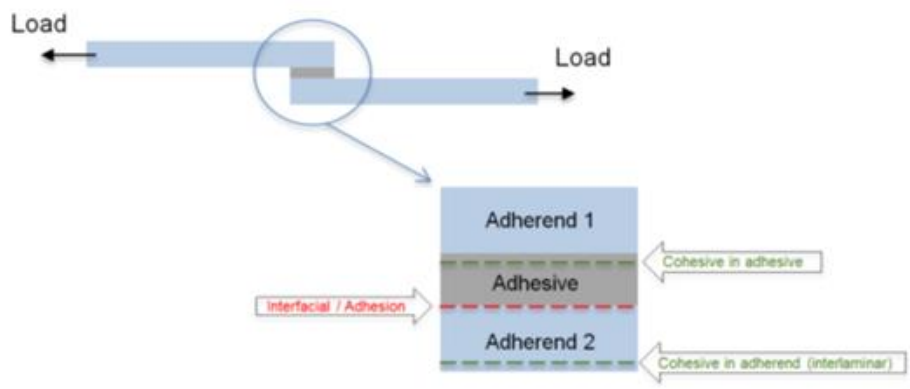


Şekil 4.32: Tek bindirmeli kesme bağlantısı tasarımı [31].

Tek bidirmeli bağlantılarda, ilk yükleme, bağlanan yapıştırıcıların hattı boyunca kesme olarak taşınır. Yük arttıkça, eklem (birleşme noktasının) üst üste binmesinin uçlarında sıyrılma kuvvetleri görünmeye başlar. Buna ek olarak, bağlantı boyunca çekme yükleri önemli hale gelir ve bu nedenle yapışkanın eklem noktasından arıza meydana gelebilmektedir:

- Yapıştırıcı hatası - kohezyon hatası.
- Yapıştırıcı ile yapışkan arasındaki arayüzde hata - yapışkan hatası.
- Taraftarlardan birinin başarısızlığı - ana malzeme hatası.

Başarısızlık modları ve bağ kuvveti ile ilişkisi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir [31]. Şekil 4.33’de yapışma hatalarının şematik görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4.33: Yapıştırıcı ile bağlamada başarısızlık modları [31]

Yapıştırıcı hatası, birleştirilen yapıştırıcılardan birinin yüzeyindeki yapıştırıcının bozulmasıdır (Şekil 4.33’de kırmızı çizgi). Zayıf bir bağın sonucu olarak kabul edilir ve

kaçınılmalıdır (havacılık endüstrisi tarafından kabul edilemez). Bu tür bir arıza, yetersiz veya zayıf yüzey hazırlığı veya malzeme uyumsuzluğu nedeniyle meydana gelebilmektedir [31]. Yapıştırıcıda veya yapıştırıcılarda yapışkan bozulma meydana gelebilir. Yapıştırıcıdaki kohezif bozulma (Şekil 4.33'deki üst yeşil çizgi), yük yapıştırıcı gücünü aştığında meydana gelir ve yapıştırıcı kadar güçlü bir bağ sağlar. Bu tür bir arıza, uygunsuz bir tasarım veya geçersiz içerik nedeniyle ortaya çıkabilir. Yapışkan malzemedeki kohezif arıza (kompozitler söz konusu olduğunda ana malzeme arızası veya laminat arası arıza olarak da adlandırılır, Şekil 4.33'deki alt yeşil çizgi) laminatın kendisi kadar güçlü bir bağ sağlar. Kohezif başarısızlık (yapıştırıcıda veya yapışmada), yapışkan bağlar için kabul edilebilir başarısızlık türüdür. Bazı durumlarda, aynı bağda kohezyon ve yapışkan kopması meydana gelebilir [31]. Normal olarak, sıvının ıslatılabilirliği, alüminyum alaşımlı levhanın yüzeyindeki sıvının temas açısı ölçülerek elde edilebilir. Bununla birlikte, epoksinin temas açısının ölçülmesi zordur çünkü epoksi, yüksek viskozite ve zayıf hareketlilik özelliklerine sahiptir. Bu nedenle, epoksinin alüminyum alaşımlı levha üzerindeki gözenekli yapıya basınç olmaksızın sızması zordur [16].

4.6 Yapışkan Bağlantıları İçin Tasarım Yöntemleri

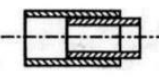
Seçilmiş geometri durumlarında ve birçok basitleştirmeyeyle bağlantıların yüklenmesinde eksiksiz analitik çözümlere ulaşılmıştır. Özellikle, bu tür çözümler aşağıdakilerle bilinmektedir: bindirme eklemleri, bükülmüş bindirme eklemleri, değişken çekme kuvvetine sahip eksantrik olarak yüklenmiş bindirme bağlantıları, genişliğe paralel yüklenen bindirme bağlantıları, çift tur eklemler, termal özellikleri hesaba katan elastik-plastik aralığındaki gerilmelere sahip çift bindirmeli bağlantılar, elastik-plastik aralığında gerilmeli ve eklemin taşıma kapasitesini belirleyen çift bindirmeli eklemler, bir alt tabakanın kısmen diğerinin üzerine yerleştirilmesiyle oluşturulan bindirme (üst üste binme) ek yeri, bindirme eklemine benzer ofset bindirme eklemi, kayış eki (tek veya çift), üst üste binme ve alın eklemine bir kombinasyonu, iki nesnenin uç uca birleştirilmesiyle oluşan arka eklem, eşarp eklemi (köşeli arka eklemi), eklem açılı kesilmesi yüzey alanını artırır, silindirik mafsallık, iki silindirik mafsallık arasında bir alın mafsallık.

Şekil 4.34'de yapışkan bağlantılarının avantajlı ve dezavantajlı yüklenmesinin şematik görüntüsü görülmektedir. Şekil 4.35'de uygun tasarım seçimi ile ilgili görseller

görülmektedir. Şekil 4.36’da ekstrüzyon alüminyuma uygulanan yapıştırma tasarımı görülmektedir.

Equally distributed stresses		Non-equally distributed stresses	
Shear “favourable”		Shear and tearing “unfavourable”	
Compression “favourable”		Tearing “unfavourable”	
Tension “less favourable”		Splitting “unfavourable”	

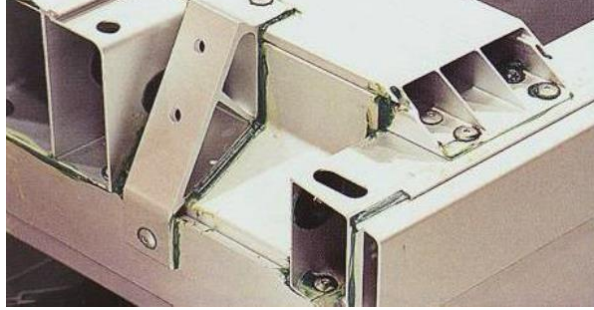
Şekil 4.34: Yapışkan bağlantılara avantajlı ve dezavantajlı yükleme [25].

Joint type		Drawing	Joint type		Drawing
Sheet joints	Butt		Cylindrical joints	Parallel shaft	
	Bevel			Tapered shaft	
	Step		Angular joints	T-joint	
	Single butt strap			T-joint grooved	
	Double butt strap			Corner angle (external)	
Cylindrical joints	Sleeved tube (internal)			Corner angle reinforced (external)	
	(double sleeved tube)			Corner angle (internal)	
	Tubular lap			Corner angle reinforced (external)	

Şekil 4.35: Sonrasında uygun bağlantı ve yapıştırma tekniğinin seçimi [25].

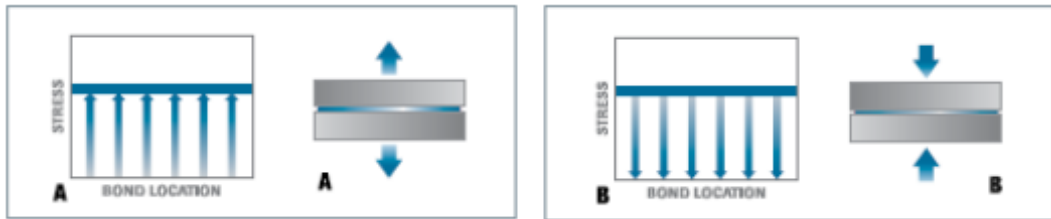
Yapışkan yapıştırma uygulamaları tasarlanırken bağlantı bölgelerinin tasarımının optimize edilmesi önemli bir husustur. Yapışkan bir bağlantı, bir sıkma etkisi sağlamak için eşleştirme iş parçaları arasında yeterli yüzey teması gerektirmektedir. Uygulama için çeşitli olası ortak tasarımlar anlaşılması optimum bağlama çözüm bulma için önemli bir

adıdır. Tasarım aşamasında potansiyel mekanik yüklere (statik ve dinamik) özellikle dikkat edilmelidir. Ayrıca, ortak bir tasarım teklif edilirken montaj, üretim metodolojisi ve maliyet faktörleri de dikkate alınmalıdır [25].



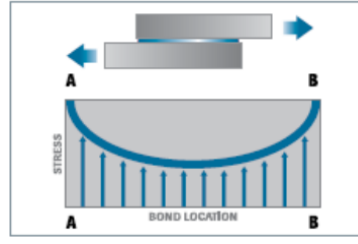
Şekil 4.36: Yapıştırılarak birleştirilen bağlantılar için tasarlanmış alüminyum ekstrüzyonlar [25].

Yapıştırılmış bir eklem, yapıştırıcının tam mekanik avantajı için kullanılabileceği şekilde tasarlanması gerekmektedir. Kaynak, perçinleme ve vidalı tutturma üzerine yapışkan birleştirmenin ana avantajı, yükün yükleme yönüne dik açılarda daha eşit dağılmasıdır. Bununla birlikte, yükleme yönünde, bu sadece onarılması gereken bağlantılar için geçerlidir. Belirli bir yapı içinde, bağ en güçlü yönünde gerilecek şekilde hizalanmalıdır. Tasarım, çekme, sıkıştırma ve kesme gerilmelerini güçlendirmelidir. Maksimum mukavemet için, yarıлма ve soyulma gerilmeleri mümkün olduğunca eklemlerden tasarlanmalıdır. Bir yapışkan bağ bir gerilme veya sıkıştırma gerilimi ile karşılaştığında, eklem gerilimi dağılımı düz bir çizgi olarak temsil edilir. Stres tüm bağ boyunca eşit olarak dağılır [25]. Şekil 4.37’de yapışma bölgelerindeki dağılımın şematik görüntüsü görülmektedir.



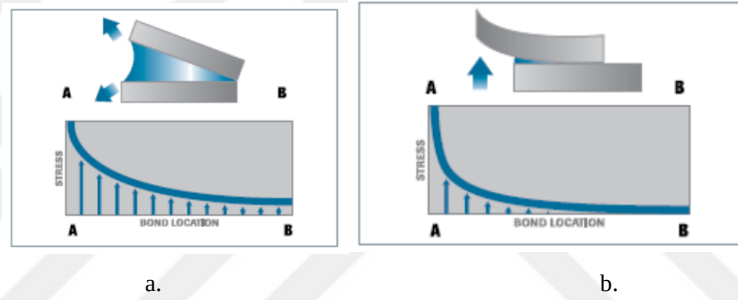
Şekil 4.37: Gerilimde a. ve sıkıştırmada b. eklem gerilme dağılımı [25] .

Kesme gerilimi iki yüzeyin birbiri üzerinde kaymasına neden olur. Gerilme, en yüksek bağın kenarlarında gerilmeye ve bükülmeye neden olmaktadır. Yapıştırıcılar, geniş bir aktif bağlantı alanı olduğu için Yapıştırıcılar kesme mukavemeti yüksek yüklere uyum sağlamaktadır.



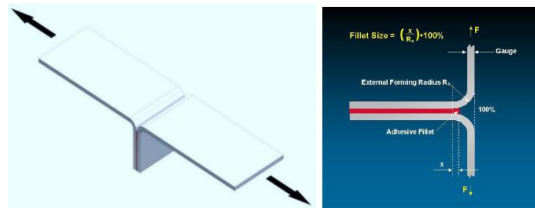
Şekil 4.38: Kesme gerilimi dağılımı [25] .

Bir uçta iki sert alt tabaka açıldığında bir bölünme stresi oluşur. Esnek bir altlık diğer altlığın kaldırıldığında (soyulduğunda), bir soyma stresi gelişmektedir. Bölünme ve soyulma yükü, uygulanan kuvveti bir uçta tek bir yüksek stres hattına konsantre eder [25]. Şekil 4.38’de kesme gerilme dağılımı görülmektedir. Şekil 4.39’da soyma mukavemeti görülmektedir.



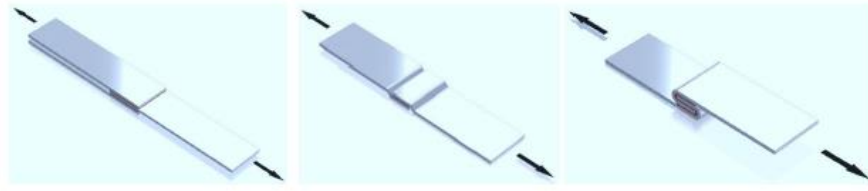
Şekil 4.39: a. Bölünme b. soyma stresi [25] .

Ayrıca, yapıştırma veya yarıлма soyulmasına neden olan gerilme yüklemesi, yapışkan bağlama için arzu edilmez. Öte yandan, punta kaynağı veya perçinleme için tasarlanan birçok bağlantı, kaynak ve perçinlerin soymada nispeten iyi performans gösterdiği için soyma modu yüklemesini vurgulamaktadır. Örnek olarak, standart T mafsal yapışkan yapıştırma için uygun bir tasarım değildir. Bu nedenle, mevcut bir birleştirme sisteminin yapışkan bağlamaya doğrudan dönüştürülmesi iyi bir yaklaşım olduğu düşünülmemektedir [25]. Şekil 4.40’da T şeklindeki bağlantıların soyma gerilmeleri görülmektedir.



Şekil 4.40: Gerilim altında T soyma gerilimi [25].

Çoğu durumda, bir T eklemi boyunca stres dağılımı, az miktarda reçine sıkma bırakarak ve keskin, dik açılı uçları çıkarmak için üst üste bindirerek geliştirilebilir. Köşe derzleri, kapalı kesitli profil eklemleri ve boru eklemleri için de en başarılı olan uygun tasarım konseptleri mevcuttur. Bununla birlikte, otomotiv yapılarının imalatında, ek bir birleştirme yönteminin (örneğin kenetleme, kendiliğinden delen perçinleme, sürtünme karıştırma noktası kaynağı, lazer dikiş kaynağı) uygulanmasını sağlamak için yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantıların büyük bir yüzdesi soyma tipi eklemler olacaktır. Şekil 4.41’de otomotiv sektöründe kullanılan birleştirme düzenekleri görülmektedir .



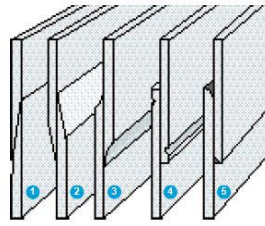
Şekil 4.41: Otomotiv sektöründe kullanılan birleştirme düzenekleri [25].

Özetle yapıştırıcı kullanarak yapışkan bir bağlantı elde etmek için tasarlanırken dikkate alınması gereken aşağıdaki tasarım yönergeleri şu şekildedir: Kesmeyi en üst düzeye çıkarın / soyulmayı ve bölünmeyi en aza indirmek, gerekçe gerilim dağılımı eğrisinden gelir. Kesme durumunda, bağın her iki ucu da gerilime direnirken, gerilim, kopma ve sıyrılma için bağ hattının bir ucunda bulunur, kesmeyi en üst düzeye çıkarın / gerilmeyi en aza indirin, sıkıştırma ve çekme için, gerilim bağ boyunca eşit olarak dağıtılır. Çoğu yapışkan filmde, basınç mukavemeti çekme mukavemetinden daha büyüktür. Bu nedenle, yapışkan bir eklem baskı altında başarısız olma olasılığı, gerilim altında olduğundan daha azdır, birleşen eklem genişliği üst üste binmekten daha önemlidir, bağın uçları, bağın merkezinden daha yüksek bir gerilim seviyesi gösterir. Bağ genişliği artırılırsa, her uçta gerilim azalır ve genel sonuç daha güçlü bir bağlantıdır. Bununla birlikte, üst üste binen uzunluk büyük ölçüde artarsa, bağ mukavemetinde çok az değişiklik olur (örtüşme alanı yerine eklem genişliğini artırın) [25].

Yapışkan birleştirilmiş birleşme yerleri tasarlanırken göz önünde bulundurulması gereken bir diğer husus, bağlanma mukavemetinin artan sıcaklıkla azalmasıdır. Uygulanan yapıştırıcının uygun şekilde seçilmesi yardımcı olur, ancak kaynak veya mekanik birleştirme gibi geleneksel birleştirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, yapışkanla birleştirilmiş eklemlerin termal bozulması yine de önemlidir. Bir yapıştırıcının

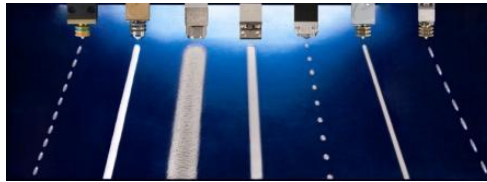
oda sıcaklığında kauçuk gibi davranabileceğini, ancak sıfır altı koşullarda cam gibi olabileceğini de belirtmek önemlidir.

Bağlı eklemler stresi nispeten iyi dağıtmaktadır. Bununla birlikte, stres, bağlı bir eklemın tüm yüzey alanı boyunca nadiren eşit olarak dağıtılır. Genellikle, eklemın kenarlarında stres en büyüktür. Sonraki yükleme stresinin lokal konsantrasyonu, seçilen yapıştırıcı ne kadar yüksek olursa o kadar sert olmaktadır. Yapıştırıcı ve yapıştırılmış yüzey üzerinde gereksiz yere yüksek gerilimi önlemek için, seçilen yapıştırıcı gereğinden fazla sert olmamalıdır. Ayrıca daha kalın bağlanmış eklemler, eklemın kenarlarındaki stres konsantrasyonunu azaltmaktadır. Bu nedenle, özellikle sert bir yapıştırıcı kullanıldığında, tasarımın kenar etkilerini azaltmak için yapıştırılmış bağlantı boyunca herhangi bir yükü eşit olarak yayması önemlidir. Tasarım yapıştırıcı kullanarak bağlama işleminde en önemli parametrelerden birisidir [25]. Şekil 4.42’de bir birleşme noktasının gerilimini azaltmak için bindirilen eklemlerin şematik görüntüsü görülmektedir.



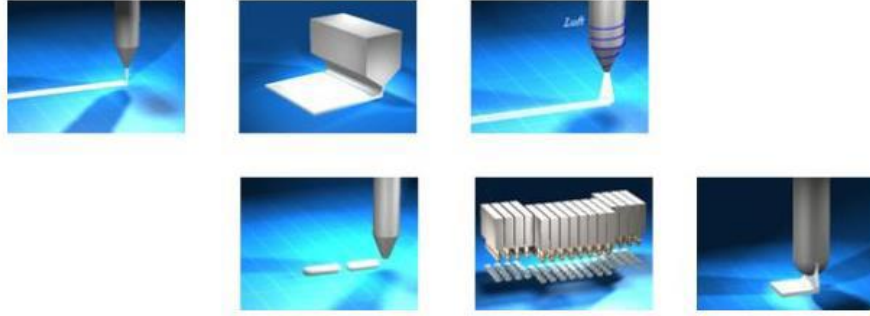
Şekil 4.42: Bir eklemın kenarlarındaki gerilimi azaltmak için değiştirilen bindirmeli eklemler [25].

Endüstriyel çalışmalar da yapıştırılan malzemelerin tasarımları oldukça kritik ve dikkat gerektiren bir konudur. Yapıştırıcının uygulanması robotik kontrol sistemleri ve ölçüm, dağıtım ve izleme ekipmanları sayesinde son derece otomatik, kontrollü ve tekrarlanabilir bir süreç haline getirmiştir. Bununla birlikte, tutarlı ve güvenilir yüksek kaliteli bağ oluşturmak için çeşitli önlemler alınmaktadır. Şekil 4.43’de farklı nozullardan farklı damla oluşturma türlerinin şematik görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4.43: Farklı noktalar ve damla desenleri [25]

Şekil 4.44’de yapıştırma teknolojisinin kiriş bölgeleri için çeşitli uygulamaları görülmektedir.



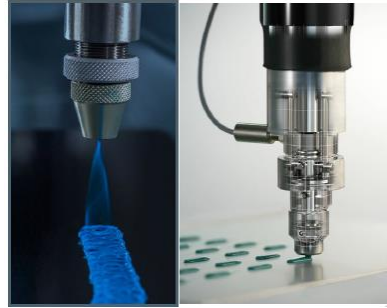
Şekil 4.44: Yapıştırıcı teknolojisinde çeşitli uygulama yöntemleri [25].

Şekil 4.45’de geniş uygulamalar için kullanılan teknoloji görülmektedir.



Şekil 4.45: Geniş yuva uygulama yöntemi [25].

Şekil 4.46’da püskürtme ve damla ile yapışkan püskürtme nozulları görülmektedir.



Şekil 4.46: Spiral püskürtme (solda) ve kısa damlaların uygulama teknolojisi (sağda) [25] .

Yapıştırıcının türüne ve parça tasarımına göre türüne göre uygulama tipi belirlenerek cihaz seçimi yapılmalıdır. Tasarım bu konuda kritik bir parametredir.

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu deneysel çalışmada 180mmx25.4mmx2mm boyutlarında 5754 alüminyum alaşımlı levha kullanılmıştır. Yapılan çalışmada alüminyum 5xxx serisi tercih edilmiştir. Bu alaşımı kullanılmasının sebebi şu şekilde açıklanabilir.

Alüminyum-magnezyum alaşımları, özellikle deniz suyuna ve endüstriyel olarak kirli atmosferlere karşı mükemmel korozyon direncine sahiptir. Al 5754, çok iyi kaynak kabiliyeti, mükemmel korozyon direnci, üstün soğuk şekillendirme ve çok iyi anotlama kabiliyeti gibi birçok özelliği bir araya getirmesi nedeniyle endüstrinin hemen her alanında kullanım alanı bulmaktadır. Havacılık veya denizcilik uygulamalarında kritik koşullara dayanmak için, dönüşüm kaplamaları, anotlama ve kromatizasyon gibi bazı kimyasal işlemler, korozyon direncini iyileştirmek ve yapışma özelliklerini geliştirmek için genellikle Al 5xxx alaşımları için ön işlem olarak uygulanır. Alüminyum alaşımlarının yüzey özellikleri dikkate alınacak ve etkili yapıştırma için yüzeyi modifiye etmek için çeşitli işleme yöntemleri kullanılmaktadır. 5754 alüminyum korozyon direncini artırmak için yüzeyi genellikle boya gibi koruyucu kaplamalarla kaplanır. Alaşımın kimyasal bileşimi ve özellikleri Tablo 5.1'de gösterilmektedir [58].

Tablo 5.1 : Al 5754 alaşımlı levha kimyasal kompozisyonu [58].

Element	%
Si	0.4
Fe	0.4
Mn	0.5
Mg	2.6-3.2
Al	Balance
Özellik	Değer
Akma gerilmesi	60-160 Min MPa
Gerilme direnci	200- 300 MPa

Uzama A50 mm	6 Min %
Sertlik Brinell	70-90 HB

5.1 Yüzey Hazırlığı ve Yüzey Ön İşlemler

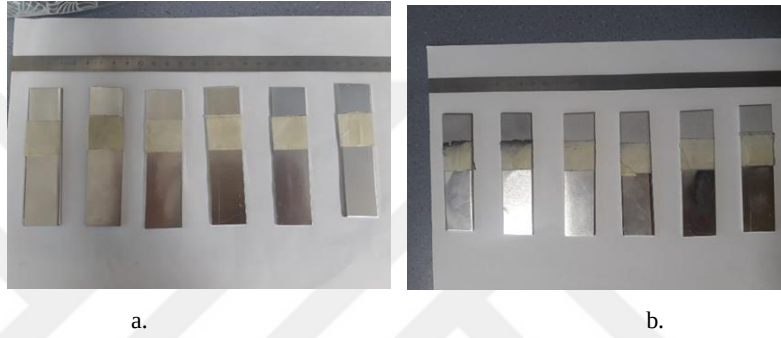
Deneyisel çalışma malzeme yüzey hazırlığı ile başladı. İncelenen literatür çalışmaları sonucunda yapıştırma yöntemi ile birleştirilecek alüminyum alaşımlarında yüzey ön işlemlerin kritik bir parametre olduğu ve yapışma mukavemetine etkisi üzerine bölüm 2’de detaylı bir çalışma mevcuttur. Yapılan çalışmalar sonucunda alüminyum plakalara farklı yüzey işlemler uygulandı. Plakalar öncelikle aseton ile temizlendi. Zımpara kağıdı kullanarak manuel olarak aşındırıldı, kum püskürtme yöntemi ile yüzey aşındırıldı, özel bir şirket tarafından alüminyum numunelere akımsız nikel, farklı mikron kalıklarında eloksal, sert eloksal, eloksal üzerine teflon kaplama işlemleri uygulandı ve yüzey plazma ön işleme tabi tutuldu. Her bir ön işlem çalışmaları aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır. Numunelerin yüzey karakterizasyonları; pürüzlülük ölçümü, ıslatma açısı ölçümü, SEM görüntüleri, çekme test cihazı kullanılarak yapılmıştır.

5.1.1 Kum püskürtme işlemi

Kumlama prosesi kullanılarak malzeme yüzeyinde pürüzlülük oluşturulmuştur. Oluşturulan pürüzlülük yapışmayı ve yapıştırıcının yüzey tutunmasını kolaylaştırır. Yaptığımız çalışmada farklı kumlama parametreleri ile farklı pürüzlülük değerleri elde edilerek pürüzlülüğün yapışmaya etkisi incelenmiştir. Malzemeler 80 mesh alümina kum ile 10 cm, 25 cm ve 40 cm mesafelerden 6 bar basınç ile püskürtülmüştür. Püskürtme süreleri tüm plakalarda eşit ve 6 sn olarak belirlendi. Kumlama işlemi sonrasında yüzeyler SEM ile incelenmiştir. Şekil 5.1’de kumlama yapılan kabinin dış ve iç görüntüleri gösterilmektedir.

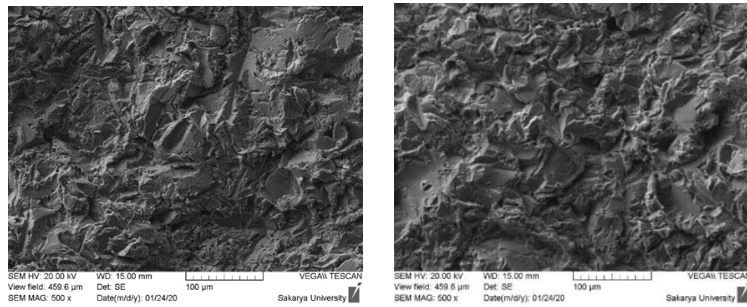


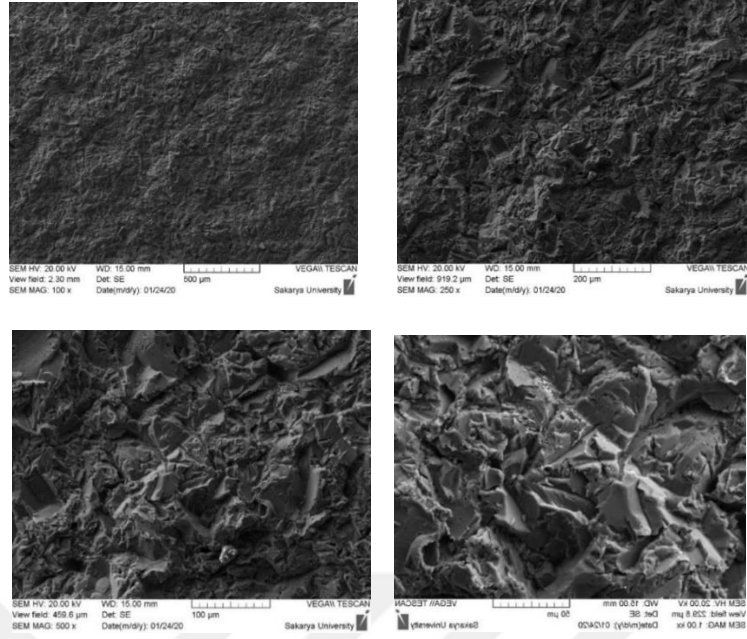
Şekil 5.1: Kumlama kabinin dış ve iç görüntüleri.



Şekil 5.2: a.Kumlama öncesi numune yüzeyleri b. Kumlama sonrası numune yüzeyleri.

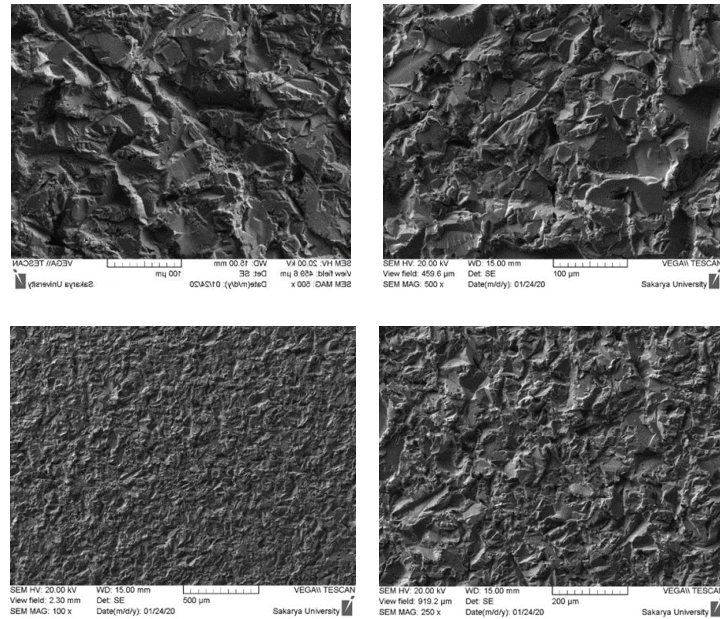
Şekil 5.2’de kumlama öncesi ve kumlama sonrası numune yüzeylerinin görüntüleri gösterilmektedir. Maskelenmiş yüzeylerin üstünde kalan bölgeler kumlama işlemine tabi tutulmuştur. Bunun sebebi yapıştırma işleminin bu bölgelerden yapılacak olmasıdır. Şekil 5.3’te, şekil 5.4’de ve şekil 5.5’de kumlama mesafesinin numunelerin yüzeylerine etkisini gözlemlemek için yapılan SEM görüntüleri mevcuttur.

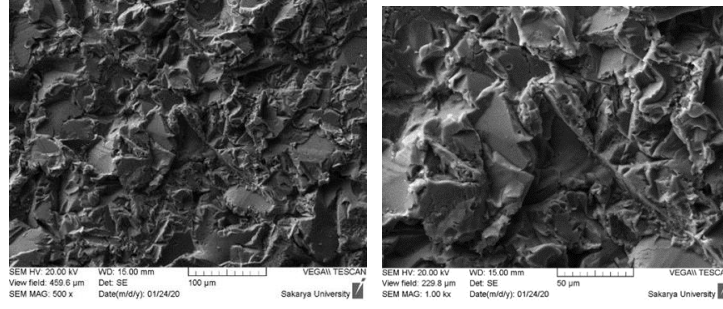




Şekil 5.3: 10 cm mesafeden kumlanmış yüzey SEM görüntüleri.

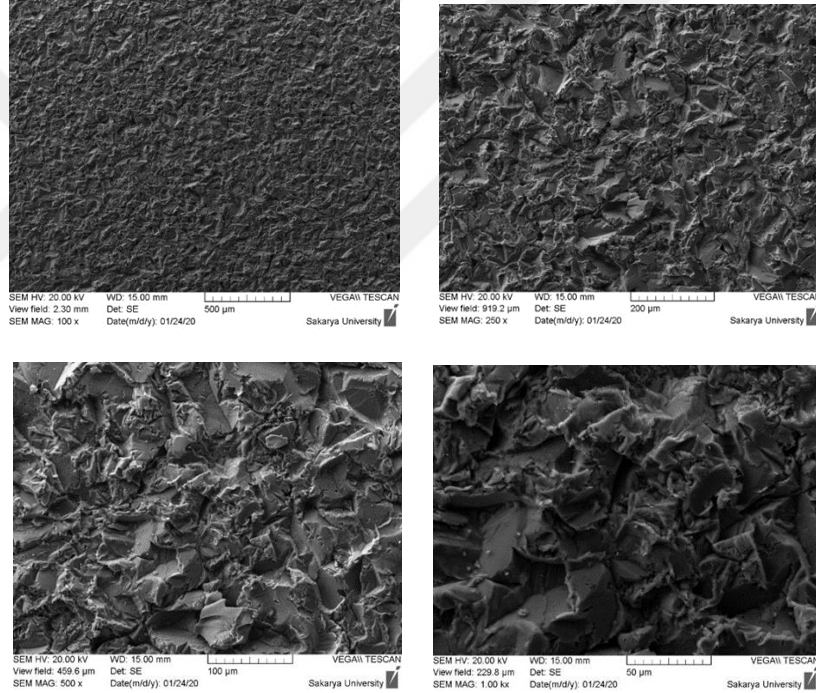
Elde edilen SEM görüntülerinde göre 10 cm mesafeden yapılan kumlama işleminin sonucunda malzeme yüzeylerinde kumların tutunduğu gözlemlenmektedir. Bu mesafeden yapılan kum püskürtme işleminde yüzeyde derinlikler (çukurlar) oluşmuştur. Oluşan derinliklerin fazla olmasının pürüzlülüğü arttırması beklenmektedir. Çukara sızan epoksinin mekanik kilitlenme oluşturarak kohezyon kuvvetinin arttırılması beklenmektedir.





Şekil 5.4: 25 cm mesafeden kum püskürtülen alüminyum SEM görüntüsü.

Elde edilen SEM görüntüsünde 25 cm mesafeden püskürtülen kumlama görüntüsü mevcuttur. Yüzeyler incelendiğinde süreksizlerin 10 cm mesafeye göre daha az olduğu ve kumlar arasında oluşan çukurların daha az derinlikte olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda daha az mekanik kilitlenme beklenmektedir.



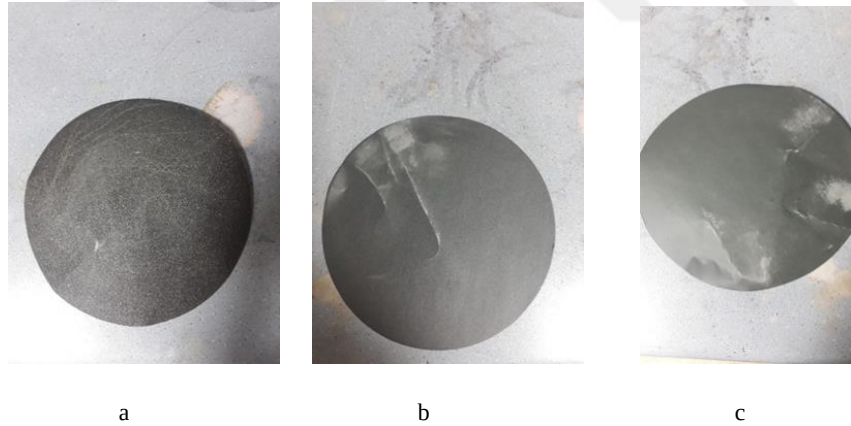
Şekil 5.5: 40 cm mesafeden kumlanmış yüzey SEM görüntüleri.

Elde edilen SEM görüntülerinde 40 cm mesafeden püskürtülen kumlanmış yüzeylerin pürüzlü görüntüsü daha az olduğu gözlenmektedir. Yüzey süreksizlikleri diğerlerine göre daha az olduğu için pürüzlülük katsayılarının daha düşük olduğu beklenmektedir. Kumlar arasında oluşan çukurların derinliğinin daha az olması da yapıştırıcının nüfuz ettiği alanı azaltarak mekanik kilitlenme teorisinin uygulanmasını azaltmaktadır. Genel olarak bakıldığında; Sem görüntüleri sonuçlarına göre kumlama işlemi başarılı bir şekilde

uygulanmıştır. Silis kumları yüzeye tutunmuş olup, istenilen yüzeyler elde edilmiştir. 10 cm mesafeden yapılan püskürtme sonrasında yüzey 25 cm'den ve 40 cm'den yapılan püskürtmelere göre daha pürüzlü görünmektedir.

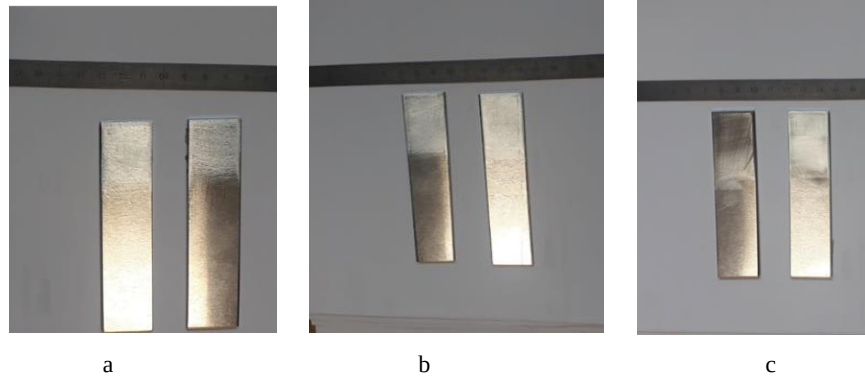
5.1.2 Zımparalama işlemi

Zımparalama işleminde mekanik aşınma oluşturularak pürüzlü yüzeyler elde edilmiştir. Kumlamada elde edilen pürüzlülüğten farklı olarak kumlama yüzeyinde kumların yuvarlak formundan dolayı noktasal yüzey, zımparalama işleminde düzlemsel formda pürüzlü yüzey elde edilmiştir. İşlem 80'lik, 320'lik, 500'lük SiC zımparalar yüzeye sürtünme yöntemiyle uygulanmıştır. Zımparalama işleminin ardından yüzeyler SEM ile incelenmiştir. Numune yüzeyleri mat gri renge dönene kadar aşındırıldı. Bu işlem saat yönünde 10 sn, saat yönünün tersinde 10 sn ve daha sonrasında yüzey üzerinde 5 sn kadar dairesel hareketlerle aşındırma işlemi gerçekleştirildi. Aşınma ön işleminin ardından yüzey üzerinde oluşan partiküllerin yüzeyden uzaklaşması için solvet bazlı çözücü ile yani aseton ile temileme işlemi gerçekleştirildi. Aseton uygulaması sonrasında 15dk kurumaya bırakıldı.



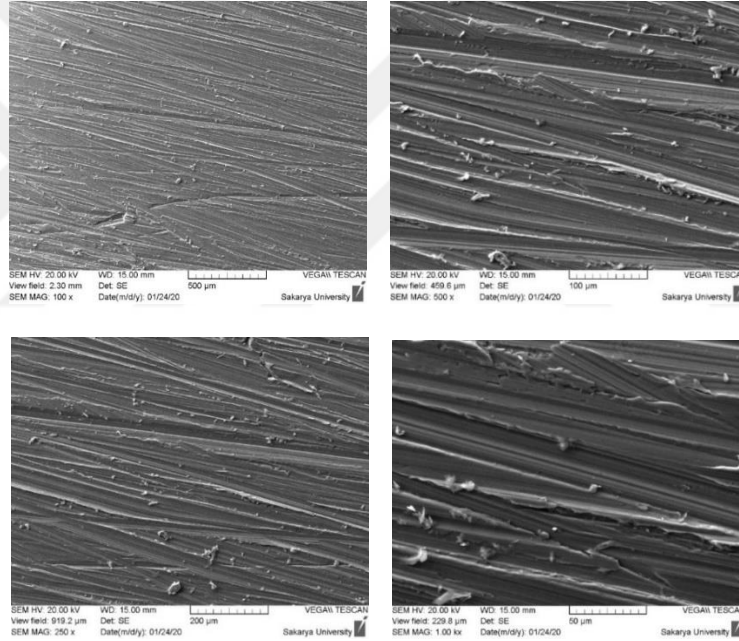
Şekil 5.6: Farklı boyutlardaki zımpara görüntüleri a. 80'lik z., b.320'lik z.,c.500'lük z.

Şekil 5.6'da zımparaların farklı boyutlardaki görüntüleri gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi zımparanın mesh sayısı arttıkça yüzey daha az pürüzlü hale gelmiştir. Bu durumda 80 meshlik zımparanın malzeme yüzeyinde daha fazla pürüzlülük oluşturması beklenmektedir.



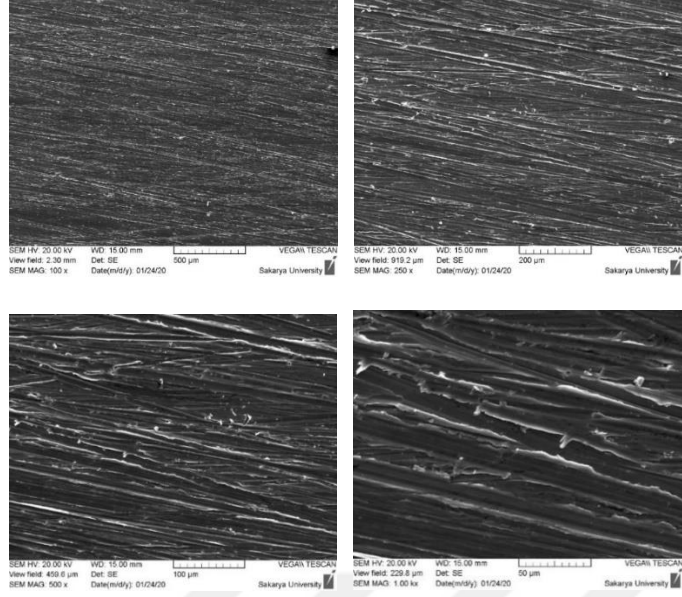
Şekil 5.7: Zımparalama işleminden sonra alüminyum plakalarda yüzey görüntüsü a. 80'lik b.320'lik c. 500'lik.

Şekil 5.7'de zımparalanmış alüminyum plakaların zımparalama sonrasında yüzey görüntüleri görülmektedir. Yüzeylere kabaca bakıldığında zaman 80 meshlik zımpara kağıdı ile yapılan işlemde sonra yüzeyde daha sık ve daha fazla çizgiler gözlenmektedir.



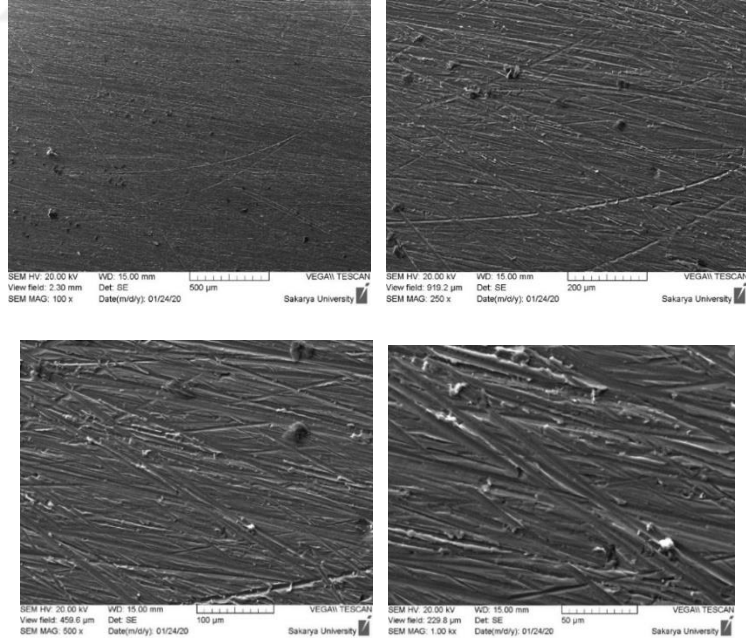
Şekil 5.8: 80'lik zımpara ile zımparalanmış yüzeyler SEM görüntüleri.

Şekil 5.8'de 80 meshlik zımpara kağıdının SEM görüntüleri vardır. Yüzey üzerinde gerekli pürüzlülük sağlanmıştır. 80'lik zımpara kağıdı ile yapılan zımparalama işleminde yüzeyde oluşan çizgilerin geniş olduğu görülmektedir. Yüzey üzerindeki kılcal damarların ve geniş boşlukların yapıştırıcının yüzeye daha fazla nüfus etmesi beklenmektedir. Bu beklentinin sebebi mekanik kilitleme teorisi.



Şekil 5.9: 320'lik zımpara ile zımparalanmış yüzeyler SEM görüntüleri.

Şekil 5.9'da 320 meshlik zımpara kağıdının malzeme yüzeyinde bıraktığı aşınma izlerini görmekteyiz. 80 meshlik zımpara kağıdına göre daha az pürüzlü bir yapı görülmektedir. Yapıştırıcının sızması gereken derinliğin daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda 80 meshlik zımpara kağıdından daha düşük bir Ra ve Rz değeri beklenmektedir.



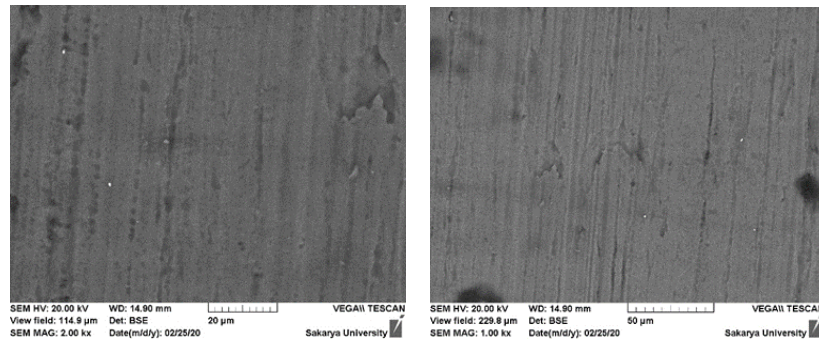
Şekil 5.10: 500'lük zımpara ile zımparalanmış yüzeyler SEM görüntüleri.

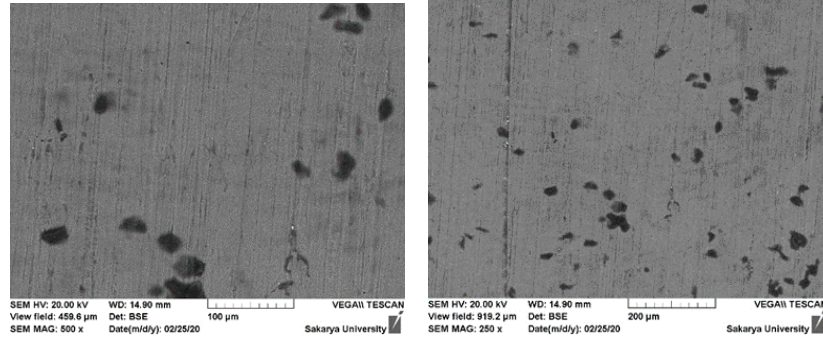
Şekil 5.10'da 500 meshlik zımpara kağıdının yüzey üzerinde bıraktığı aşınma izleri görülmektedir. Aşınma derinliklerinin diğerlerine göre daha az olduğu görülmektedir.

Yapıştırıcının aralara sızarak tutunması için daha az alan söz konusudur. Bu durumda; Sem görüntülerine göre zımparalama işlemi sonrasında aşınma yüzeyleri elde edilmiştir. 80'lik zımpara ile yapılan zımparalama işleminde çizgilerin altlığı doğru genişliği en fazla olandır. 320'lik zımpara ile yapılan zımparalama işleminde yüzeyde çizgiler arası kısa mesafe vardır. 500'lük zımparalama ile yapılan zımparalama işleminde çizgiler arası mesafe diğerlerine göre oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda en pürüzlü yüzey 80'lik zımpara ile elde edilmiştir. Bu da yapıştırıcının girebileceği ve yayılabileceği daha çok alan olduğunu göstermektedir. En iyi yapışma performansı 80 meshlik zımpara kağıdı ile yapılan pürüzlendirme işleminin ardından beklenmektedir.

5.2 Alüminyum Yüzey Kaplama İşlemi

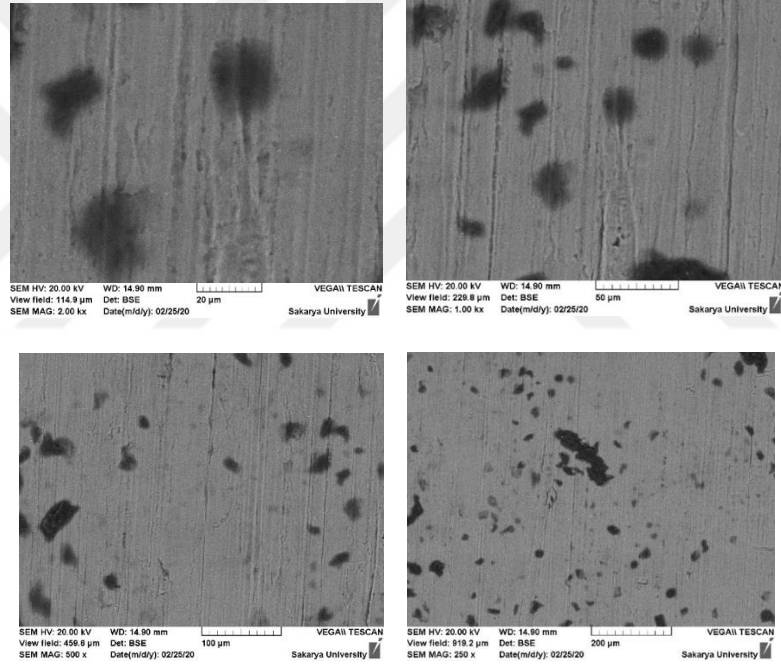
Alüminyum malzemelerinin korozyon direnci nispeten düşüktür. Alüminyum alaşımlarının korozyon direncinin çeşitli metodlar kullanarak korozyon direnci artırılabilir. Bu konu ile alakalı bölüm 2'de detaylı bilgi mevcuttur. Alüminyum alaşımlarının kullanılma yelpazesinin daha da genişletmek malzemelerin yüzeyine eloksal, akımsız nikel ve PTFE kaplama yaparak mümkündür. Bu çalışmada alüminyum yapıştırma öncesinde hem kaplanmış malzemelerin yapıştırma mukavemetine etkisi var mı hem de kaplanmış malzemelerin korozyona karşı direnci mevcut mudur sorularına cevap aranmıştır. Alüminyum plakalar özel bir şirket tarafından çeşitli mikron kalınlıklarında eloksal kaplandı. Ardında sert eloksal kaplama da yapıldı. Malzemelere akımsız nikel ve sert teflon üzerine PTFE (poli tetra flora etilen) kaplama da uygulanarak SEM görüntüleri alındı. Kaplanmış bölgelerin incelenmesi için numuneler kesitten alınarak incelenmiştir. Şekil 5.11'de 5-8 mikron kalınlığında eloksal kaplama yapılmış alüminyumun yüzey görüntüsü mevcuttur.





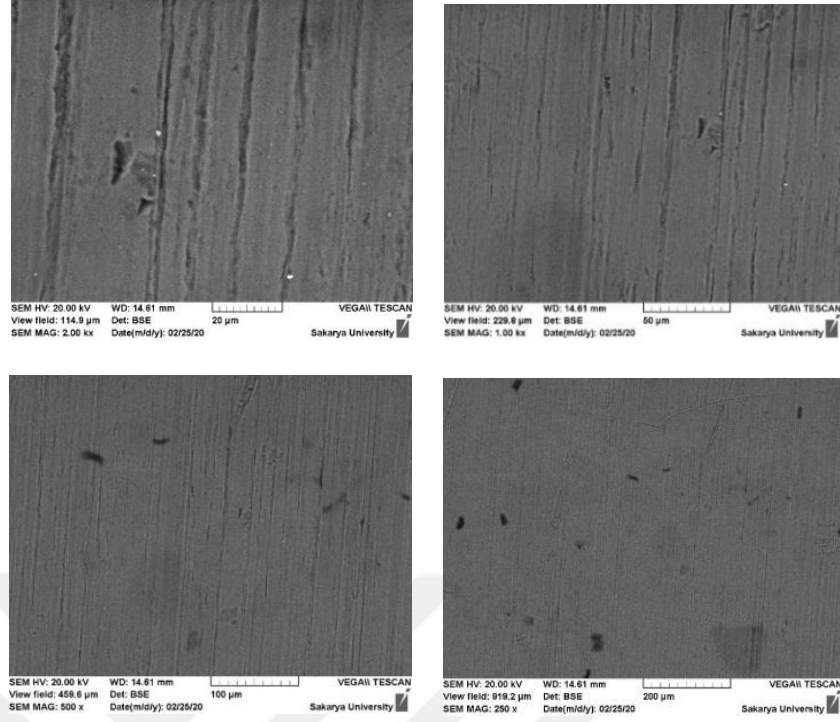
Şekil 5.11: 5-8 mikron kaplama SEM görüntüleri.

Yüzey üzerinde bazı çukurlar görülmektedir. Oluşan bu çukurlar eloksallı kaplama işleminde asit banyolarının aşındırması sonucunda oluşmaktadır. Yüzeyde pürüzlülük meydana getirerek Ra ve Rz değerlerinin yükselmesine sebep olmaktadır.



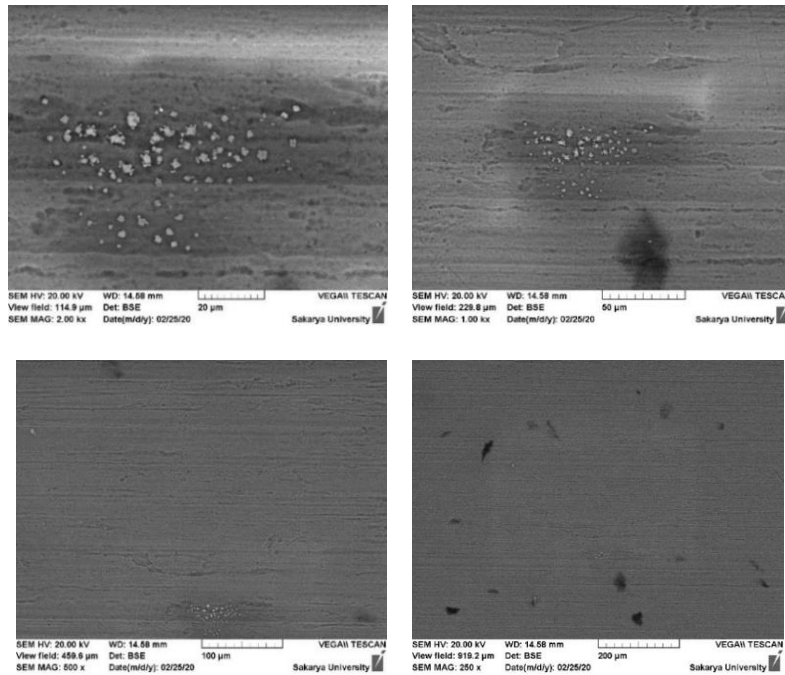
Şekil 5.12 : 20-25 mikron eloksallı kaplama SEM görüntüleri.

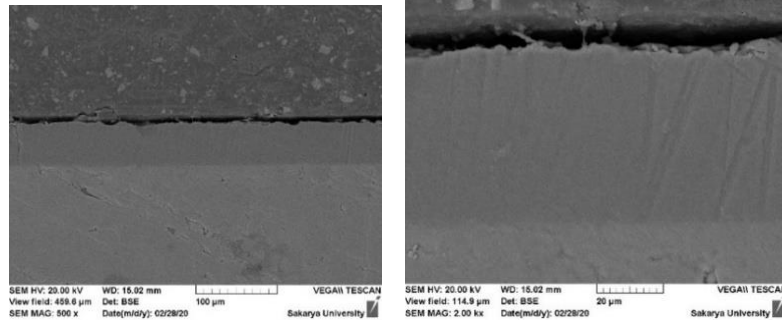
Şekil 5.12’de 20-25 mikron arasında eloksallı kaplamanın SEM görüntüsü mevcuttur. Elde edilen resimlerde malzeme yüzeyde yapıştırıcının nüfuz ederek kohezyon oluşturabileceği boşluklar gözlenmektedir.



Şekil 5.13: 30-35 mikron sert eloksal kaplama SEM görüntüleri.

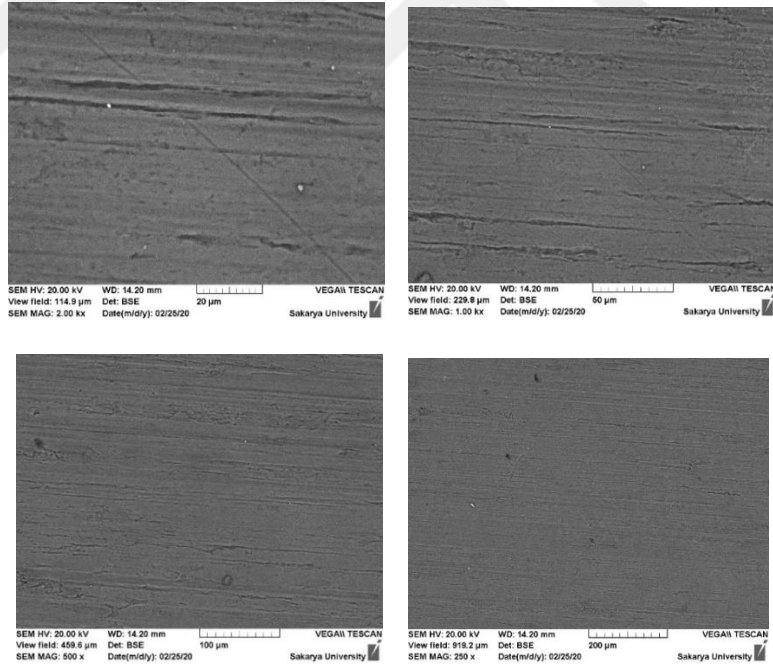
Şekil 5.12’de 30-35 mikron kalınlıklarında sert eloksal kaplama işleminin SEM görüntüsü görülmektedir. Bu görüntülere göre istenilen yüzeylere ulaşılmıştır. Yüzey üzerinde daha kalın bir kaplama tabakası mevcuttur. Aynı zamanda yüzeyde kılcal çatlaklar mevcuttur. Bu durum malzeme yüzeyinde pürüzlülük sağlamaktadır. Yapıştırıcının nüfus etmesi için gerekli boşluklar elde edilmiştir.

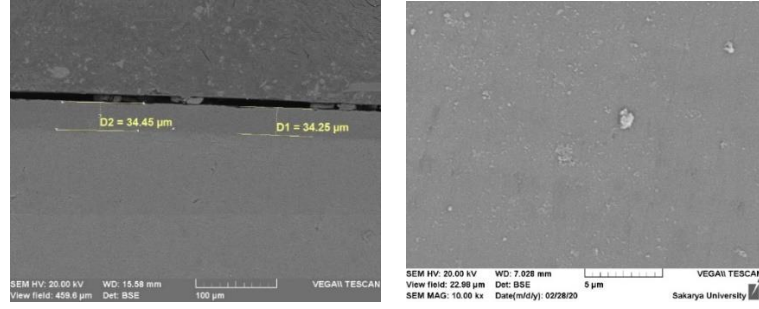




Şekil 5.13: 40-50 mikron siyah sert eloksallama.

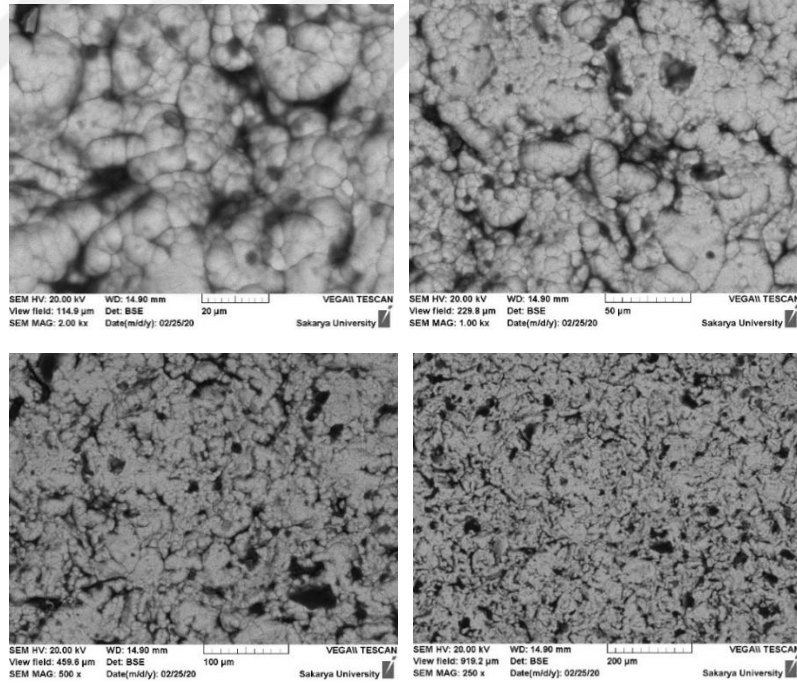
Şekil 5.13’de 40-50 mikron sert siyah eloksallama SEM görüntüsü mevcuttur. Sert eloksallama işleminde eloksallama kaplamanın tümü yüzeye eşit olarak dağılmaktadır. Sert eloksallama sonucunda yüzey sürtünmeye karşı dirençli hale gelmektedir. Malzeme yüzeyi doğal oksit tabakası ile sertleştirilmektedir. Yüzeydeki çukurların ve aşınmaların azaldığı görülmektedir. Yüzey üzerindeki beyaz noktalar asit tuzunun yüzeyde kalmasından oluşmuştur. Yüzeyde aşınmaya sebep olmuştur. Ancak bu aşınma görüntüleri yapıştırıcının sızabileceği kadar çok değildir.

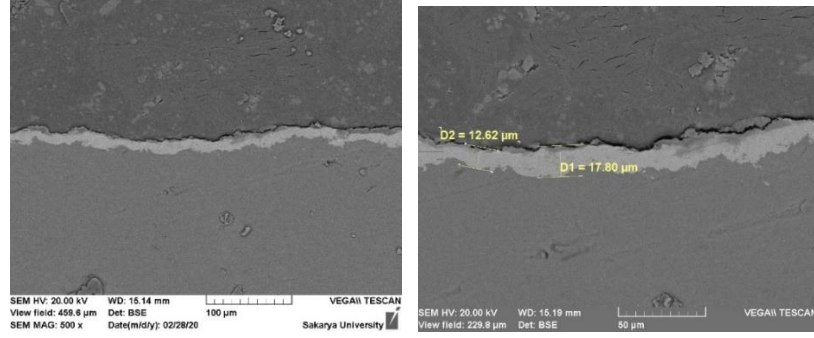




Şekil 5.14: 35-40 mikron sert eloksal kaplama + PTFE.

Şekil 5.14’de 35-40 mikron sert eloksal üzerine PTFE kaplama yapılmıştır. Alınan kalınlık mesafesinden görüldüğü üzere malzeme yüzeyinde istenilen kalınlık ölçülerine ulaşılmıştır. D1 ve D2 mesafeleri kaplanmış yüzeyin kesit görüntüsünden alınan ölçün sonuçlarıdır. Alüminyum plaka üzerindeki yüzeyde PTFE’lerin görüntüleri de görülmektedir. PTFE kaplamalar yapışmazlık özelliğini ve doğal olarak ıslanabilirliği etkilemektedir. Yüzey üzerindeki pürüzlülük oldukça az olduğu görülmektedir.





Şekil 5.15: 10-15 mikron akımsız nikel kaplama SEM görüntüsü.

Şekil 5.15’de 10-15 mikron arası akımsız nikel kaplama SEM görüntüsü mevcuttur. Bu kaplama sonucunda kaplama kalınlığının istenildiği mikron seviyesinde olduğu görülmektedir. Alüminyum malzeme üzerinde bir katman oluşmuştur. D1 ve D2 mesafesi kaplanması yapılmış numunenin kesit görüntüsünden alınmıştır. Oluşan bu katmanın alüminyum üzerinde bir bariyer oluşturarak su, nem, tuz vb ortam koşullarına karşı malzeme üzerinde koruyucu katman olduğu görülmektedir. Aynı zamanda yüzeydeki derin boşluklar ve kılcal ilerlemeler dikkat çekmektedir. Bunun sebebi işlemin fosfor banyolarında gerçekleşmesi olabilir. Malzeme yüzeyi aşındırılarak yapıştırıcının sızarak kohezyon tutunması yapabileceği noktalar açıkça görülmektedir.

Genel olarak SEM görüntülerinde malzeme yüzeylerinde aşınma bölgeleri görülmektedir. Yapıştırıcı ile yapıştırılan bağlantılarda hem yapışma mukavemeti bunun yanı sıra korozyona karşı alüminyum yüzeyleri elde ederek yapışma mukavemeti elde edebilecek olmamızdır.

5.2.1 Kaplanmış malzemelerin optik yüzey görüntüleri

Kaplanmış alüminyum numulere optik yüzey metrolojisi görüntüleri almak için Polytec marka cihaz kullanıldı. Bu cihaz 2D ve 3D olarak malzemeye temas etmeden malzeme yüzeyinden görüntü almaktadır. “X-Y-Z koordinatları üzerinde nanometre hassasiyetinde ölçüm yapmaktadır. Bu cihaz aynı zamanda pürüzlülük ve kaplama kalınlığı ölçümü yapmaktadır. Cihaz sayesinde elde edilen görüntüler sonucunda kaplama ve altlık malzeme arasındaki düzlemsel ve paralellik ilişkisi veya tam tersi olan eğrilikler ve kasıvlerin var olup olmadığı belirlenebilir.” Bu çalışmanın yapılmasındaki amaç; malzeme yüzeyine zarar vermeden kaplama sonrasında pürüzlülük oluşturulup oluşturulmadığı aynı zamanda SEM’de de kontrol edilen kaplama kalınlıklarının

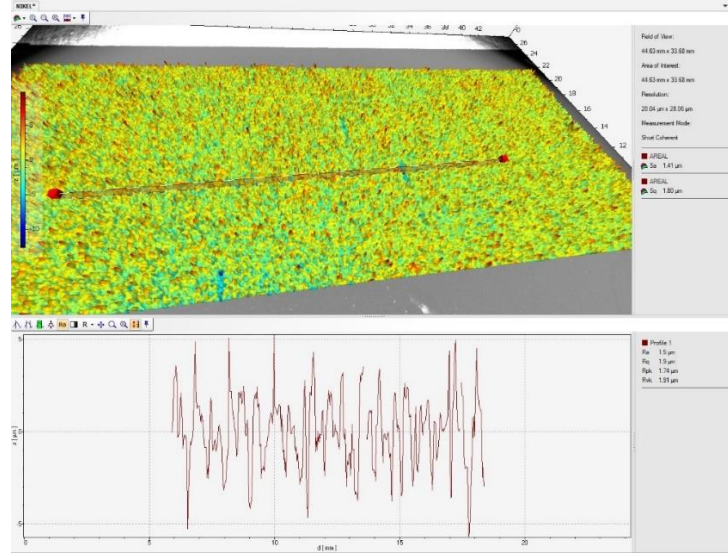
doğruluğunun sağlanmasıdır. Kaplamanın altlık malzemesi ile paralel olarak tüm yüzeye dağılmış vaziyette yayılmış olması gerekmektedir. Kaplama üzerindeki pürüzlülüğü pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçmüş olsaydık malzeme yüzeyinde hasar oluşturacak bu sebeple kaplama bölgesinde alüminyuma kadar aşınmaya neden olacaktı. Bu durumda yapıştırıcının kaplama yüzeyindeki performansının incelenmesinde net sonuçlara ulaşılmayacaktı. Bu cihaz malzeme yüzeyinde deformasyon oluşturmadığı için büyük bir avantaj sergilemektedir. Şekil 5.16 ve şekil 5.17’de optik yüzey metroloji ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 5.16: Optik yüzey metroloji ölçüm cihazı görüntüsü.

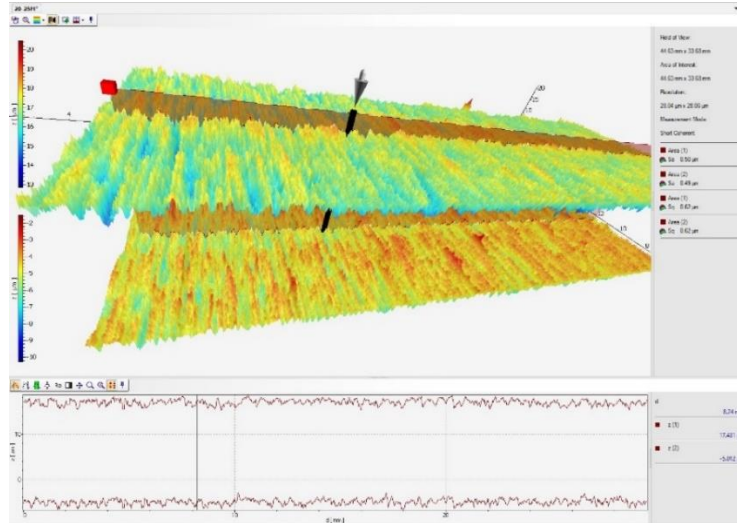


Şekil 5.17: Ölçüm anında cihazın görüntüsü.



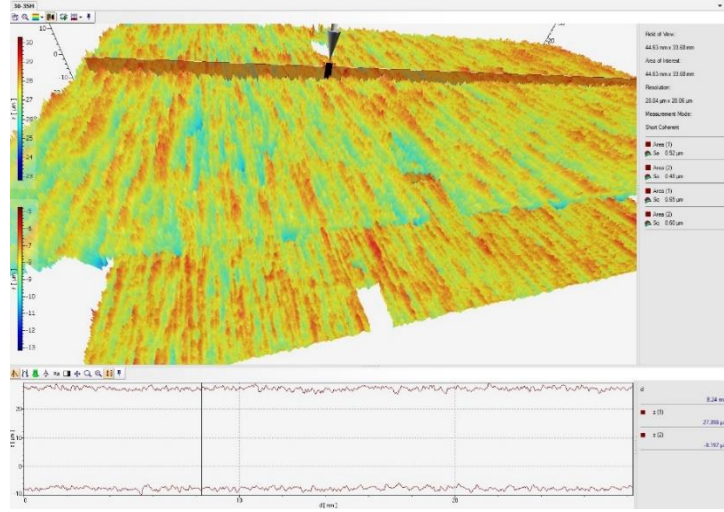
Şekil 5.18: 10-15 mikron akımsız nikel 3D görüntüsü.

Şekil 5.18’de 10-15 mikron akımsız nikel kaplamanın 3D görüntüsü (yüzey topografisi) gösterilmektedir. Malzeme kaplandıktan sonra Ra değeri 1.5 Mm değerinde bulunmuştur. Aynı zamanda malzeme yüzeyinde homojen bir kaplama olduğu görülmektedir.



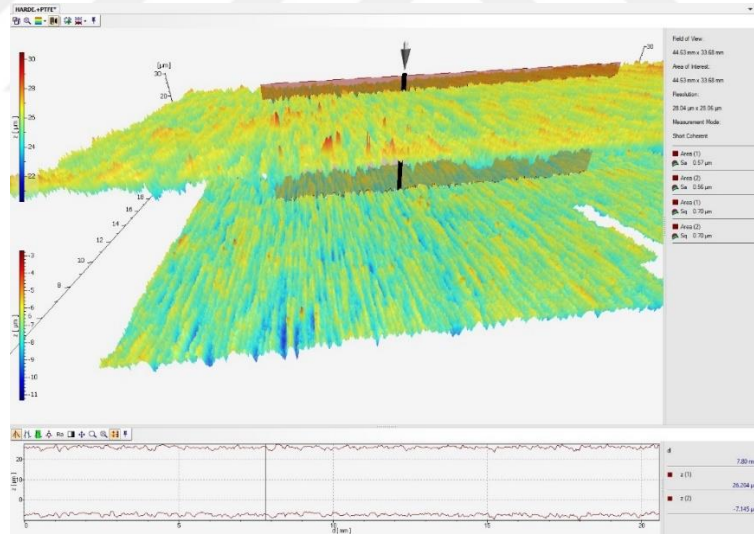
Şekil 5.19: 20-25 mikron eloksal kaplama 3D görüntüsü.

Şekil 5.19’da 20-25 mikron eloksal kaplamanın 3D görüntüsü görülmektedir. Kaplamanın altlık malzeme ile yapmış olduğu paralellik mevcuttur. Bu durumda kaplamanın homojen olduğu görülmektedir.

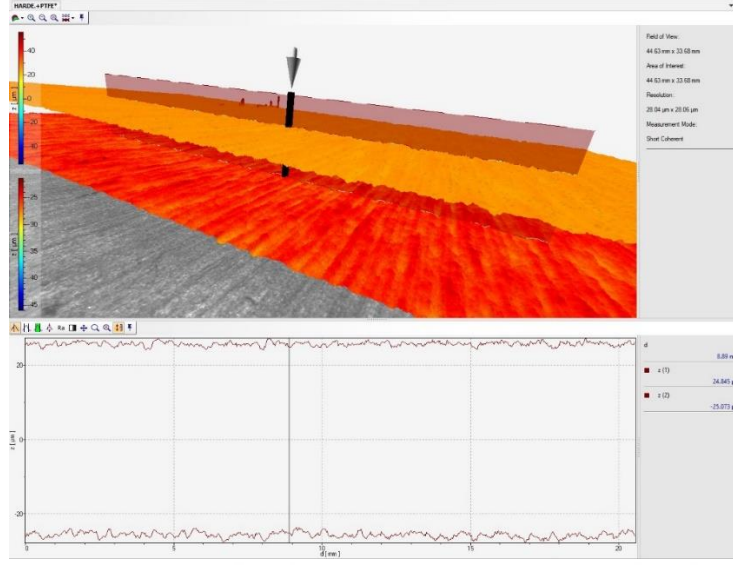


Şekil 5.20: 30-35 mikron eloksal kaplama.

Şekil 5.20’de 30-35 mikron eloksal kaplamanın 3D görüntüsü görülmektedir. Alınan görüntüye göre istenilen kaplama kalınlıklarına ulaşılmıştır. Bu yüzeyde diğer kaplama kalınlıklarına göre daha az pürüzlülük elde edilmiştir.



Şekil 5.21: 35-40 mikron Sert Elokmal + PTFE kaplama 3D görüntüsü.



Şekil 5.21: 35-40 mikron eloksal + PTFE kaplama 3D görüntüsü.

Şekil 5.20 ve şekil 5.21’de 35-40 mikron eloksal + PTFE kaplamanın 3D görüntüsü mevcuttur. Şekilde görüldüğü üzere PTFE malzemelerin yüzeyindeki girinti çıkıntı ile oluşan tepecikleri en aza indirmiştir. PTFE’nin yapışmazlık özelliği pürüzlülüğü azaltmıştır. Aynı zaman 3 tabakalı bir kaplama olduğu için şekilde 3 farklı renklendirme mevcuttur. Ancak ıslanabilirlik özelliği ayrı parametre olarak değerlendirilecektir.

Genel olarak kaplama kalınlıkları istenildiği gibidir. Aynı zamanda kaplama ile yüzey pürüzlülüğü oluşturulması başarılmıştır. Genel olarak görünen üç farklı renk vardır. Bu renkler kırmızı ,sarı ve mavidir. Renkler numune üzerindeki kaplamanın yüksek ve alçak noktalarını temsil etmektedir. Bu alçaklık ve yükseklik durumu Z eksenı üzerindedir. Kırmızı en yüksek noktayı mavi ise en alçak noktayı temsil etmektedir. Sarı ise arada kalan yükseltilerdir. Maviden daha düşük yükseklikler mor renge doğru dönmektedir. Buradan çıkarılacağı üzere kaplamanmış numunler üzerinde farklı girinti ve çıkıntı noktaları mevcuttur. Bu da epoksi bazlı yapıştırıcının yüzeyde sızarak kohezyon kuvveti oluşturacak alanı olduğunu temsil eder. Ancak kaplama türüne ve kaplama kalınlığına göre yüzeydeki Ra ve Rz değerleri değişmektedir. En iyi pürüzlülük sonucu 5-8 mikron eloksal kaplamada görülmektedir.

5.2.2 Malzemelerin pürüzlülük ölçümü

Kumlama ve zımparalama işlemi ile oluşturulan yüzey pürüzlülükleri yüzey kalibrasyon işlemi yapılmış profilometre cihazı ile ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü sonucunda Ra ve Rz değerleri tespit edilmiştir. Ra yüzey pürüzlülüğünün y-koordinatlarının merkez hattında aritmetik ortalamasının sapmasıdır. Bu durumda Ra pürüzlülük ölçümlerinin aritmetik ortalaması olarak bilinmektedir. Örnekleme uzunluğu dahilinde kaydedilen ortalama çizgiden bir yüzey tapolojisindeki bireysel yükseklikleri temsil eder. Rz; yüzey pürüzlülük profilinin en yüksek ve en düşük noktaları arasındaki dikey mesafesidir. Bu ölçüm sonuçlarını almak için numune titreşimleri azaltmak için granit bir levha üzerine yerleştirildi. Pürüzlülük değeri için gerekli ayarlamalar yapıldı ve sonuçlar raporlandı. Şekil 5.22’de pürüzlülük ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 5.22: Pürüzlülük ölçüm cihazı

Elde edilen pürüzlülük değerleri sonuçları Tablo 1.2 ve Tablo 1.3’ de gösterilmektedir.

Tablo 5.2: kumlama mesafelerine göre yüzey pürüzlülük sonuçları.

Parametreler	Numuneler	Test bölgeleri	Ra (μm)	Rz (μm)
10 cm	A	1.bölge	5,583	33,4
		2.bölge	5,720	32,1
		3.bölge	5,600	30,5
	B	1.bölge	5,321	31,5
		2.bölge	5,280	32,8
		3.bölge	5,481	30,1
25 cm	A	1.bölge	4,607	26,6
		2.bölge	4,479	23,6
		3.bölge	4,898	25,7
	B	1.bölge	3,050	31,2
		2.bölge	4,941	21,8
		3.bölge	4,584	22,6
40 cm	A	1.bölge	4,295	26,2
		2.bölge	4,523	25,7
		3.bölge	3,827	24,3
	B	1.bölge	4,150	24,4
		2.bölge	4,440	25,6
		3.bölge	4,400	20,7

Kum püskürtme işlemi 10 cm, 25 cm ve 40 cm mesafeden yapılmıştır. Numunelerin iki tanesi de pürüzlülük ölçümüne tabi tutulmuştur. Tabloda A-B olarak belirtilmiştir. Yüzey pürüzlülük test sonuçlarına göre en yakın mesafeden yapılan kum püskürtme işlemi sonucunda yüzey pürüzlülüğünde daha yüksek değerlere ulaşıldığı tespit edilmiştir. Kum püskürtme işleminin farkı mesafelerden yapılmasının amacı; farklı sürtünme katsayıları elde ederek mesefanın Ra ve Rz değerlerine etkisi olup olmadığını gözlemlemek, aynı zamanda artan veya azalan pürüzlülüğün yapışma mukavemetine etkisi incelemektir.

Tablo 5.3: Zımparalanmış yüzeylerin yüzey pürüzlülük sonuçları.

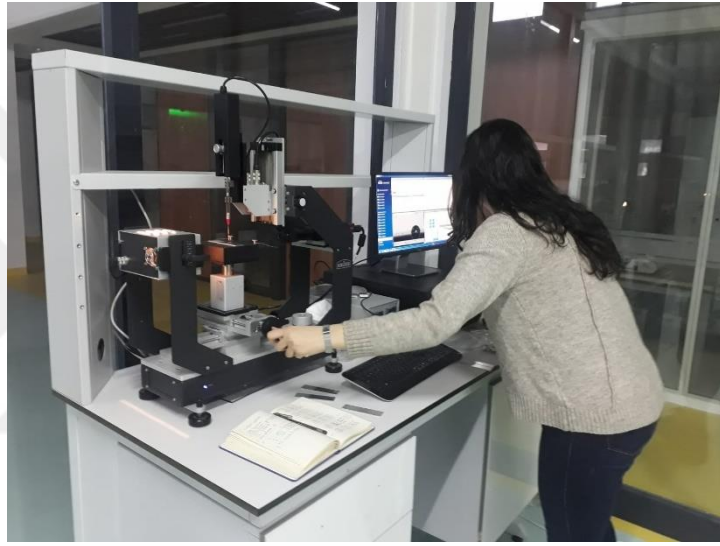
Parametreler	Numuneler	Test bölgeleri	Ra (μm)	Rz (μm)
80'lik zımpara	A	1.bölge	2,025	14,8
		2.bölge	1,801	12,1
		3.bölge	1,742	7,23
	B	1.bölge	1,792	12,7
		2.bölge	1,996	13,3
		3.bölge	1,092	9,11
320'lik zımpara	A	1.bölge	1,809	8,65
		2.bölge	1,170	8,74
		3.bölge	0,806	6,71
	B	1.bölge	0,967	6,54
		2.bölge	1,157	8,80
		3.bölge	1,026	8,04
500'lük zımpara	A	1.bölge	0,676	6,25
		2.bölge	0,589	4,75
		3.bölge	0,709	7,13
	B	1.bölge	0,706	4,33
		2.bölge	0,782	6,00
		3.bölge	0,847	5,52

Zımparalama işleminde 80 mesh, 320 mesh ve 500 mesh boyutunda zımparalar kullanılmıştır. Yapılan zımparalama işlemlerinin sonucunda 80'lik zımpara ile yapılan işlemde yüzey pürüzlülüğünün daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Farklı boyutlardaki zımpara kağıtlarının kullanılmasının amacı artan Ra ve Rz değerlerinin eklem noktasındaki yapıştırma mukavemetine etkisini incelemek aynı zamanda kumlamadaki gibi Ra ve Rz sürtünme katsayıları arttığı zaman mukavemet artıyor mu sorusunun sağlamasını yapmaktır. Bu durumda en yüksek pürüzlülük değerleri kum püskürtme işleminden elde edilmiştir. En uzak mesafeden yapılan kumlama işlemi dahi zımparalamadan daha yüksek pürüzlülük değeri vermiştir.

5.3 Islatma Açısı Ölçümü

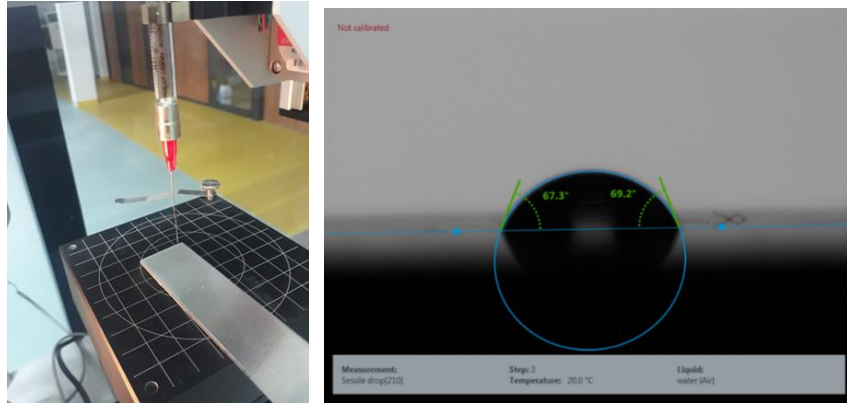
Bir katı yüzeyi ile temastaki bir sıvı yüzeyi bir açı oluşturur. Temas açısı adı verilen bu açının büyüklüğü, sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri (kohezyon

kuvvetleri) ile sıvı katı arası çekim kuvvetlerinin (adhezyon kuvvetleri) göreceli büyüklüğüne bağlıdır. Kohezyon kuvvetlerinin büyüklüğü, adezyon kuvvetlerinin büyüklüğünden ne kadar fazla ise, sıvı katı arasındaki temas açısı da o denli büyük olur. Diğer bir ifade ile büyük bir temas açısı sıvı katı çekim kuvvetlerinin azlığının, küçük bir temas açısı ise bu kuvvetlerin büyük olmasının bir göstergesidir. Ayrıca temas açısının büyüklüğü, katı yüzeyin düzlüğü ve temizliğinden başka sıvının saflık derecesine de bağlıdır. Islanabilirlik bir sıvının ıslanma veya katı bir yüzeye yayılma kapasitesidir. Bu özellik, katı bir yüzeye yerleştirildiğinde bir sıvının oluşturduğu temas açısı ölçülerek nicelendirilir. Şekil 5.23’de kullanmış olduğum ıslatma açısı ölçüm cihazı mevcuttur.



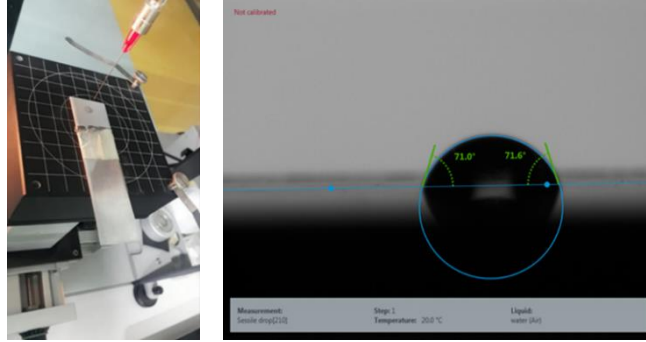
Şekil 5.23 Islatma açısı ölçüm cihazı.

Şekil 5.24’de hiçbir yüzey işlem görmemiş alüminyum 5754’ün işlem esnasındaki konumu görüntüsü ve temas açısı ölçüm sonucu görüntüsü

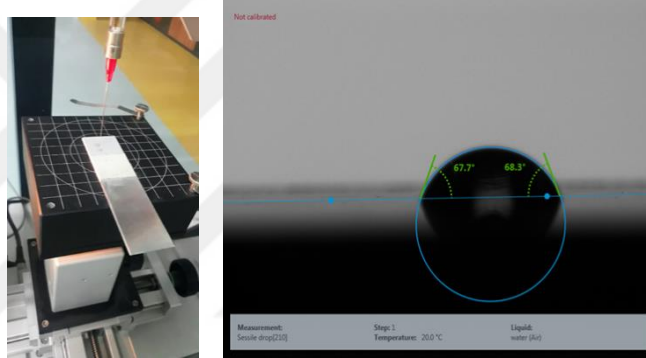


Şekil 5.24: Yüzey işlemine tabi tutulmamış Alüminyum ıslatma açısı görüntüleri.

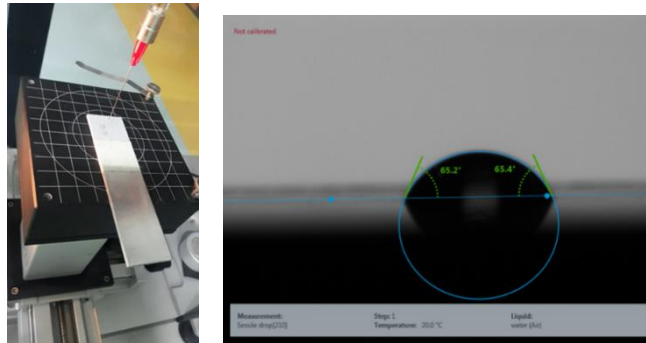
Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’da kum püskürtme işleminin mesafelerine göre ıslatma açısındaki numune konumu ve ıslatma açısı ölçüm sonuçlarının görüntüsü mevcuttur.



Şekil 5.25 : 10 cm mesafeden kum püskürtülmüş numunenin ıslatma açısı ölçüm konumu ve ıslatma açısı görüntüsü.



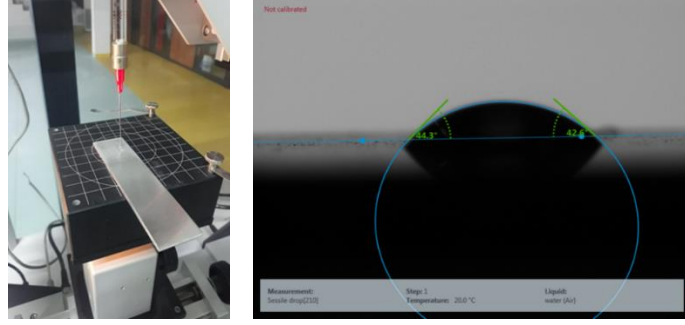
Şekil 5.26: 25 cm mesafeden kum püskürtülmüş numunenin ıslatma açısı ölçüm konumu ve ıslatma açısı görüntüsü.



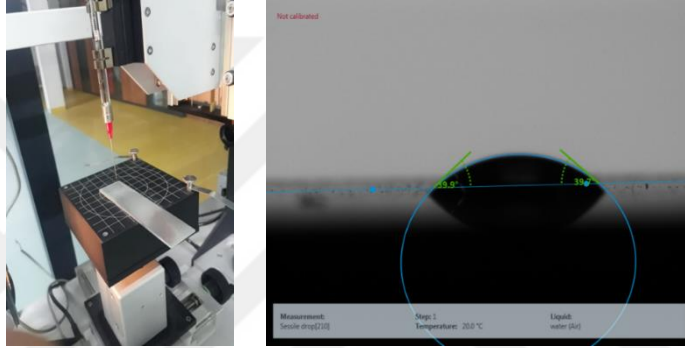
Şekil 5.27: 40 cm mesafeden kum püskürtülmüş numunenin ıslatma açısı ölçüm konumu ve ıslatma açısı görüntüsü.

Kum püskürtme işleminde ıslatma açısı değerleri 64 derece ile 70 derece arasında değişmektedir. ıslatma açısı en yüksek olan değer 10 cm mesafeden yapılan kum püskürtme işlemi sonucunda gerçekleşmiştir. Şekil 5.28, şekil 5.29 ve şekil 5.30’da

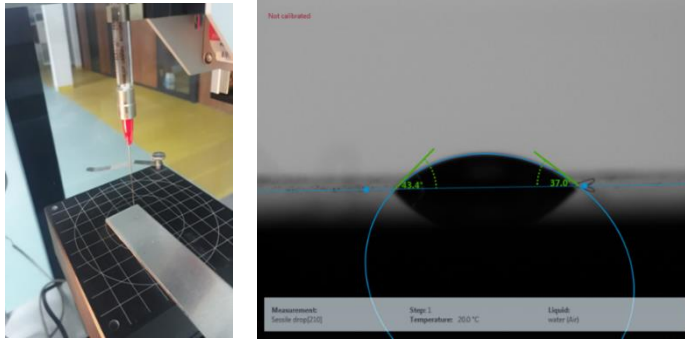
zımparalama işlemi sonrasında ıslatma açısı ölçüm cihazı konumu ve ıslatma açısı ölçüm sonuçları görülmektedir.



Şekil 5.28: 80 meshlik zımparalama işlemi ıslatma açısı görüntüsü.

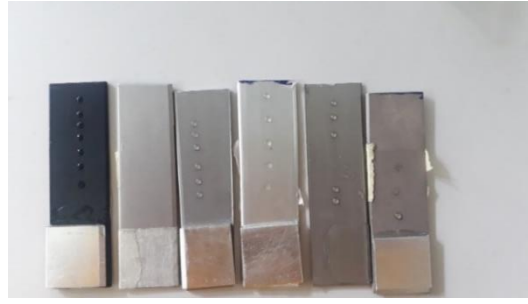
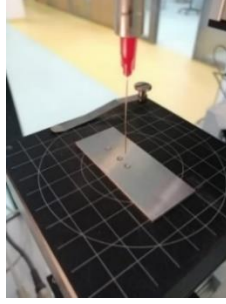


Şekil 5.29: 320 meshlik zımparalama işlemi ıslatma açısı görüntüsü.



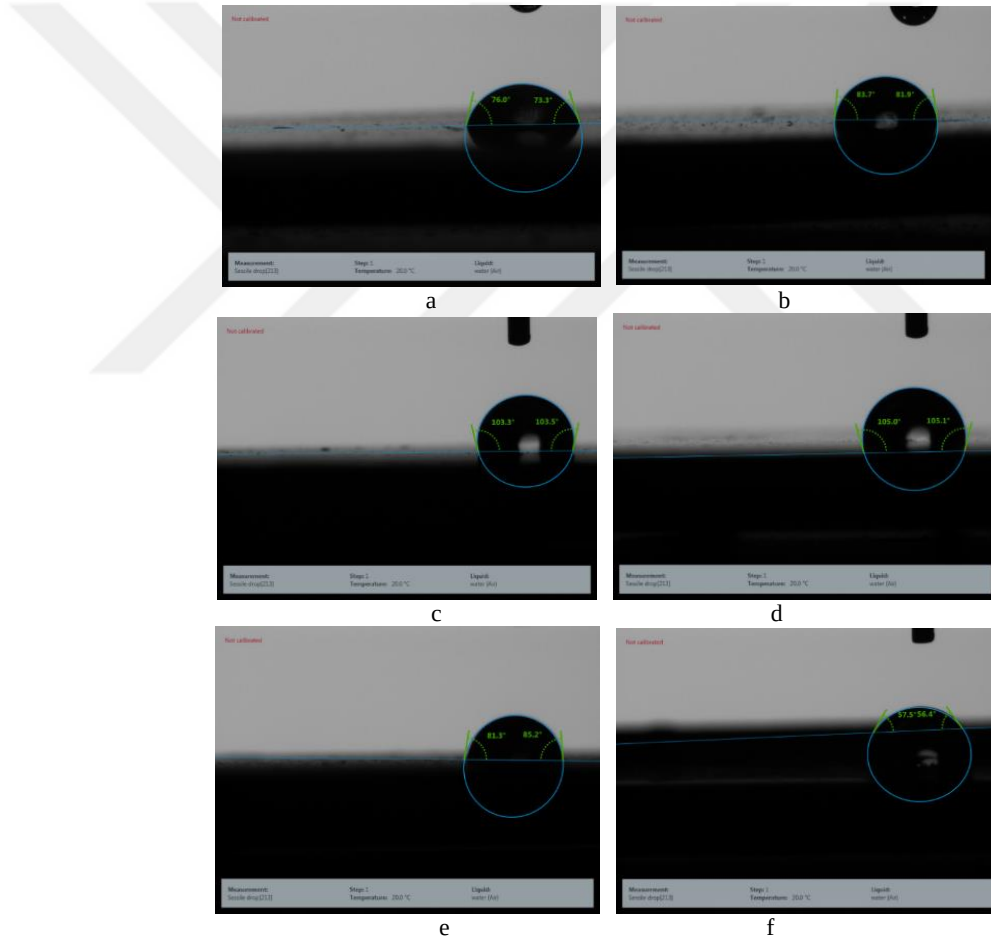
Şekil 5.30: 500 meshlik zımparalama işlemi ıslatma açısı görüntüsü.

Zımparalama işleminin soncunda elde edilen ıslatma açısı ölçüm sonuçlarına göre 37 derece ile 45 derece arasında değişen değerlere ulaşılmıştır. En yüksek ıslatma açısı değeri aralarında çok bariz farklar olmamakla beraber 80 meshlik zımparalama işleminden sonra elde edilmiştir. Aynı zamanda kumlama işleminin sonucunda daha fazla ıslatma açısı elde edilmiştir.

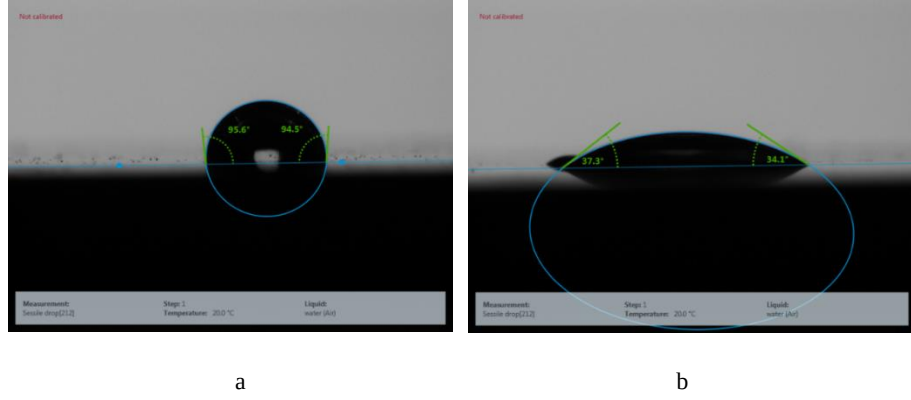


Şekil 5.31: Kaplanmış yüzeylerin ıslatma açısı ölçüm sonrasında damla görüntüleri.

Şekil 5.34’de kaplanmış numunelerin ıslatma açısı ölçüm sonuçları görülmektedir. Islatma açısı sonuçlarına göre kaplama kalınlığına göre ıslatma açısının değişken olduğu görülmektedir.



Şekil 5.32: kaplanmış numunelerin ıslatma açısı ölçüm sonuçları a: 5-8 mikron , b: 20-25 mikron, c: 30-35 mikron, d: 40-50 mikron, e: 35-40 mikron PTFE , f: akımsız nikel.



Şekil 5.33: a. plazma öncesi ıslatma açısı b. plazma sonrası ıslatma açısı Al5754 yüzey ıslatma açısı görüntüleri.

5.4 Plazma ile Yüzey Aktivasyonu

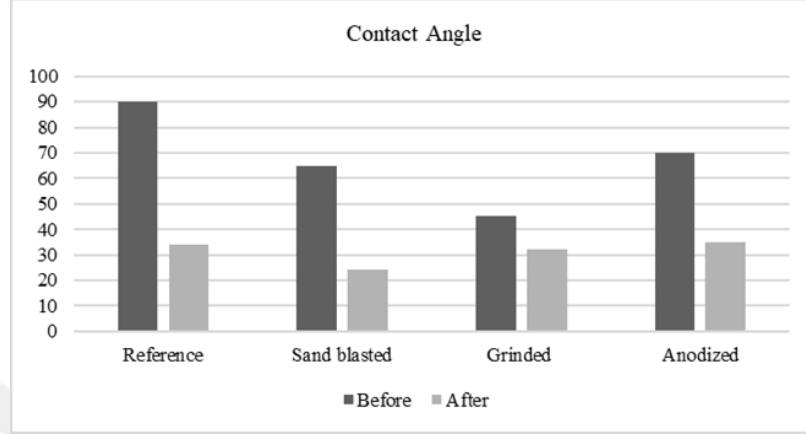
Alüminyum numuneler soğuk atmosferik basınçlı plazma sistemi kullanılarak işleme tabi tutuldu. Plazma ön işleminin önemi bölüm 3’de anlatılmıştır. Plazma kullanılarak malzeme yüzeyinde aktivasyon enerjisi değiştirilebilir. Atmosfer basıncı altında plazma hazırlığı, alüminyum metallerin yüzeylerini temizlemek, aktive etmek veya kaplamak için en verimli plazma yöntemlerinden biridir. Bu çalışmada argon gazı kullanıldı. Test plakaları 15 dakika boyunca ultrasonik temizleme ünitesinde temizlendi, ardından havayla kurutuldu ve nem uzaklaştırıldı. Yüzey aktivasyon işlemi vakum altında gerçekleştirilmiştir. Yüzeyin vakum altında hem temizlenmesi hem de aktivasyonu başarıyla sağlanmıştır.



Şekil 5.33: Deneysel çalışmamızda kullanılan plazma aktivasyon cihazı.

Yapılan yüzey işlemler sonrasında elde edilen veriler aşağıdaki grafikte sunulmaktadır. Grafikte referans numune işlem görmemiş alüminyum numuneyi temsil etmektedir. Sand

blasted (kumlanmış) numune, grinded (zımparalama) numune, anodized (anotlama) numune plazma işlem öncesi ve plazma sonrası olmak üzere dağılımı görülmektedir. Şekil 5.34’ de plazma işlemi öncesi ve sonrası yüzey işlemlerin sonuçları görülmektedir.



Şekil 5.34: İşlenmiş Alüminyum Yüzeyde Plazma İşlemi Öncesi ve Sonrası Temas Açısı Ölçümlerinin Sonuçları [58].

5.5 Yapıştırma İşlemi

Birinci aşamada seçilen yapıştırıcı ve sertleştirici belirlenen oranda karıştırıldı. Yapıştırıcı türü aradur 43/1:2 ve sertleştirici araldite 480:1 oranında karıştırıldı. Bu karışımın kürlenmesi için oda sıcaklığında 10 dk bekletildi.

Bu çalışmada epoksi bazlı yapıştırıcı tercih edildi. Epoksi yüksek sıcaklıklarda sertleşir ve hafif, sıcaklığa dayanıklı katı bir yapısal malzemeye dönüşen kimyasal reaksiyona girer. Epoksi bazlı yapıştırıcı ıslatma özelliği diğer yapıştırıcılardan daha üstün özelliktedir.

İkinci aşamada yüzey işlemleri yapılan alüminyum yüzeylere yapıştırıcı spatula ucu ile sürüldü. Aynı zamanda alüminyum yüzeylerin çekme cihazı eksenlerinden kaçmaması için ve yüzeylerin tutunabilmesi için kesilen alüminyum plakalar ters ve paralel olarak numuneler üzerine yapıştırıldı. Ardından klipsler ile birbirine tutturularak kürlenmeleri için 7 – 10 gün arası beklendi.

Al tabakaları alındığı şekliyle kirlenmiş ve bir yağ tabakası ile kaplanmıştı. Bu nedenle yüzeyler ultrasonik aktif etanol ile 10 dakika temizlenip yağdan arındırılmış ve yağsız basınçlı hava ile kurutulmuştur. İki bileşenli yapıştırıcılar (Aradur 4311 / Araldite 480)

manuel olarak karıştırıldı. 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığında düzgün bir tabaka tutmak için 0,1 mm çapında bakır teller yerleştirildi. Uygulanan basıncı sabit tutmak için sabit ağırlıklara sahip bir cihaz kullanıldı. Yapıştırılmış yüzeyler, oda koşulunda kürlenmeye bırakılarak kendi kendine sertleştirildi. Yapışma mukavemetini belirlemek için, ASTM D1002'ye göre tek üst üste binen çekme kesme testi numuneleri kullanıldı. Şekil 5.34' de yapıştırıcının hazırlığı Şekil 5.35' de yapıştırıcının alüminyum yüzeyine uygulanması görülmektedir.

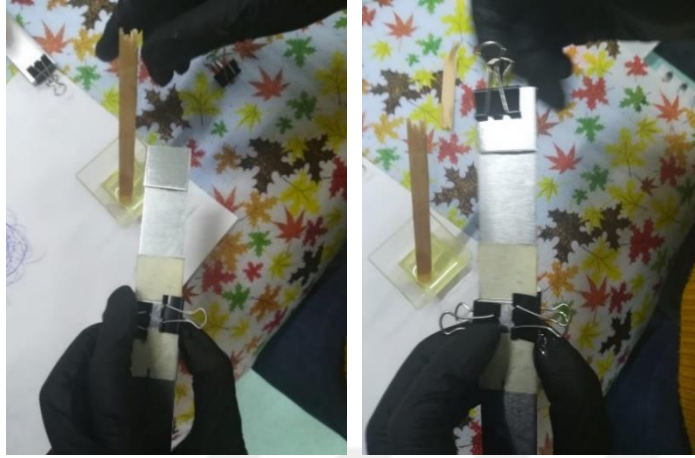


Şekil 5.34 : yapıştırıcı ile sertleştiricinin karıştırılması.



Şekil 5.35: Yapıştırıcının plakalara uygulanması.

Şekil 5.36’da yapıştırılmış alüminyum plakaların klipsler ile tutturulması görülmektedir. Buradaki amaç birbiri ile yapıştırılan parçaların kaymasını önlemektir.



Şekil 5.36: Yapıştırılan plakaların katmanlı klipsler ile tutturulması.



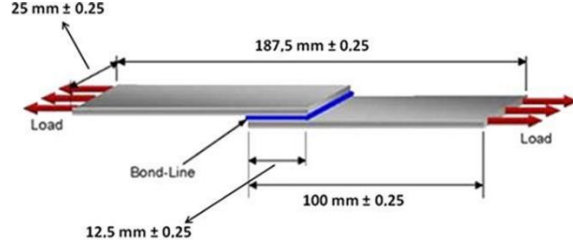
Şekil 5.37: Plakaların kürlenmesi için oda sıcaklığında bekletilmesi.

Şekil 5.37’de plakaların kürlenmesi için bekletilmesi görülmektedir. Laboratuvar içerisinde kirden ve tozdan uzak bir bekleme alanı oluşturularak yapıştırıcının kürlenmesi için beklenmiştir. Bu yapıştırma işlemi için kritik parametrelerden birisidir. Bölüm 4’de bu konu ile ilgili detaylı bilgi mevcuttur.

5.6 Numunlerin Çekme Testi

Çekme testi numunenin tek bir eksende kopana kadar kuvvet uygulanması ile elde edilen bir test yöntemidir. Bu deneysel çalışmada numuneler y eksenini boyunca çekme mukavemetine maruz kalmıştır. İlgili standarta göre hazırlanan numuneler çekme test cihazına yerleştirildi. Plakalar 25 mm et kalınlığında birbiri ile kürlendikten sonra 187,5

mm uzunluğunda olup, yapışma bölgeleri 12,5 mm'dir. Test standartının ölçüleri aşağıdaki şekillerde sunulmaktadır. Şekil 5.38'de ve Şekil 5.39'da test standartlarının ölçüleri ve mukavemet hesabı için formülasyonun şematik görüntüsü mevcuttur.



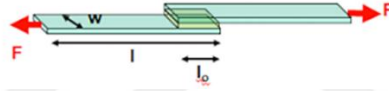
Şekil 5.38: Yapıştırma bağlantılarının test ölçüm standardı.

Increase the load to the point of fracture
→ F_{max}

Joint strength = lap shear strength:

$$\tau_{Jo int} = \frac{F_{max}}{l_o \cdot w}$$

Units:
 $\frac{N}{mm^2} = MPa$



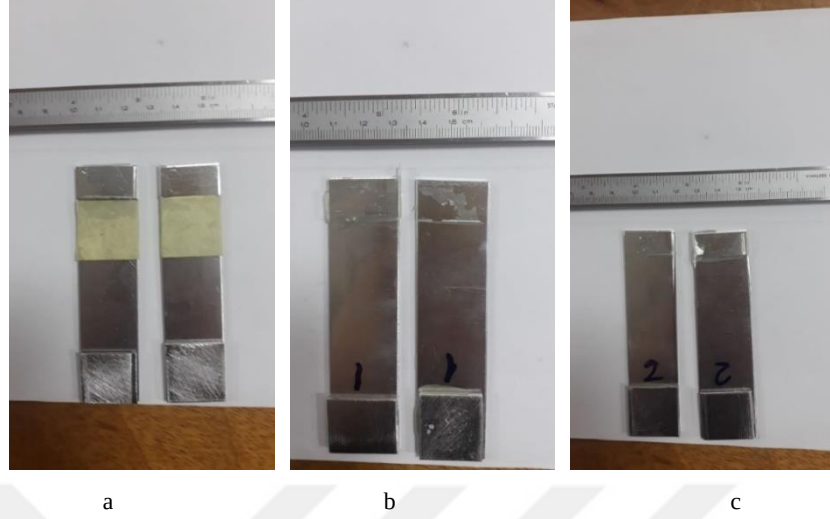
Şekil 5.39: Yapıştırma bağlantılarının mukavemet hesaplaması.

Alüminyum plakalar çekme testi için uygun hale getirildi. Eksenden kaçmaması için otomotik testere ile kesilen alüminyum kuponlar parçalarda zıt olarak arka taraflarına yapıştırıldı ve y eksenı boyunca düzen sağlandı. Şekil 5.40' da çekme testi esnasında numunenin konumunun görüntüsü mevcuttur.



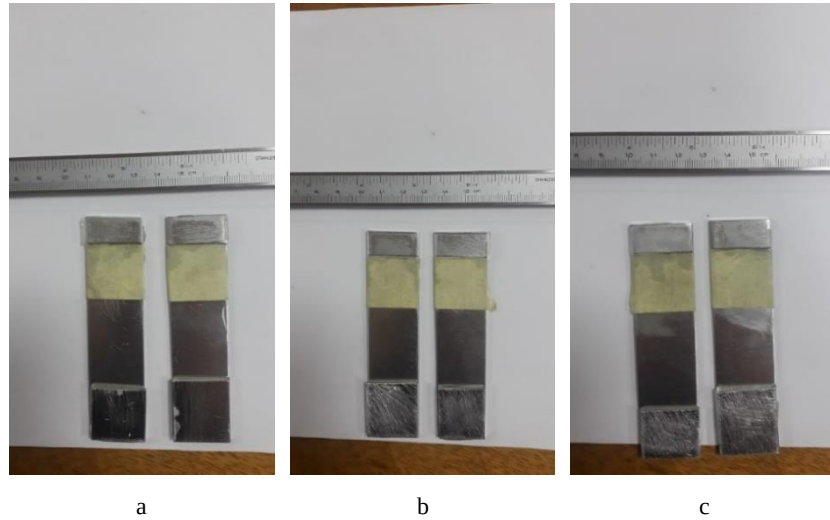
Şekil 5.40: Çekme test cihazına yerleştirilen numune.

5.6.1 Çekme deneyi sonuçları



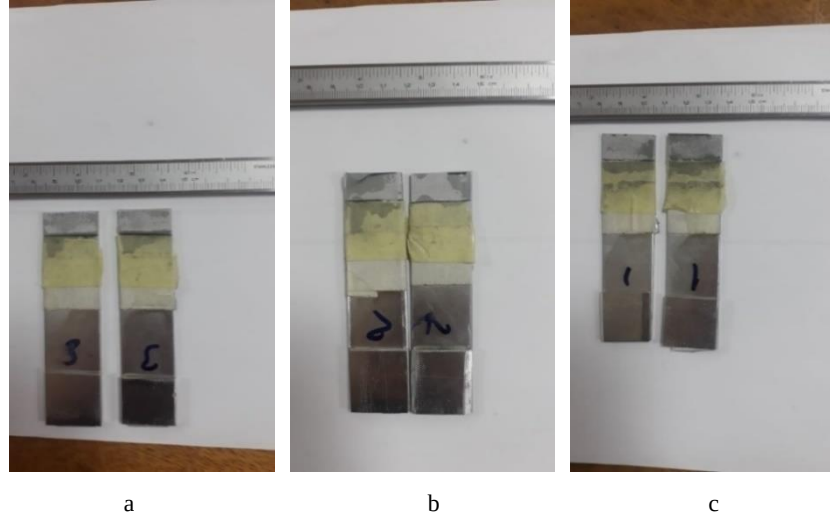
Şekil 5.41: Çekme testi sonrası yüzey görüntüsü a. al 5754 b. Plazma 1 c: Plazma 2.

Şekil 5.41’de çekme testi sonrasında yapıştırıcının yüzeydeki görüntüsü mevcuttur. Al 5754 plakasında adhezyon kuvveti görülmektedir. Bir yüzeyde var olup diğerinde yapıştırıcı yoktur. Plazma1 ve plazma2 numunelerinde ise kohezyon kuvveti görülmektedir. Bu yapışma performansı açısından istenilen bir durumdur. Plazma ile yüzey iyileşmiş ve yapıştırıcı her iki yüzeyde de var olmuştur.



Şekil 5.42: Zımparalanmış yüzeylerin çekme testi sonrası yüzey görüntüleri a. 80°’lik zımpara b. 320°’lik zımpara c. 500°’lük zımpara.

Şekil 5.42’de zımparalanmış yüzeylerin çekme testi sonucundaki görüntüleri mevcuttur. Görünen yüzeylerde birleşme bölgelerinde her iki bölgede de yapıştırıcı görünmektedir. Bu durumda yapıştırıcının kohezyon kuvveti yaptığı görülmektedir.



Şekil 5.43: kumlanmış yüzeylerin çekme testi sonrası görüntüleri a. 10cm mesafe b. 25cm mesafe c.40cm mesafe.

Şekil 5.43’de kumlanmış yüzeylerin yapıştırma sonrasındaki görüntüleri mevcuttur. Yüzeylerin her ikisinde de yapıştırıcı kalıntıları görünmektedir. Bu durumda yapıştırıcının kohezyon kuvveti sergilediği göülmektedir.



Şekil 5.44: Kaplanmış yüzeylerin çekme testi sonrasındaki görüntüleri a. 5-8 mikron eloksal b. 20-25 mikron eloksal c. 10-15 mikron eloksal d. 35-40 mikron sert eloksal e. 35-40 mikron sert eloksal +PTFE e. 40-50 mikron sert eloksal.

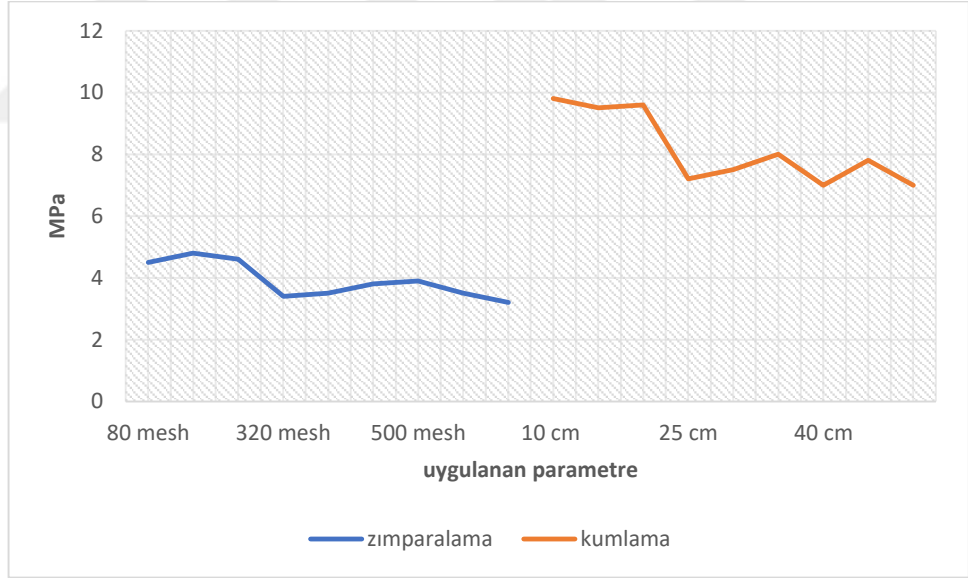
Şekil 5.44’de kaplanmış yüzeylerin yapışma sonrası görüntüleri mevcuttur. Kaplanmış alüminyum plakalarda, 5-8 mikron eloksal kaplamada kohezyon kuvveti görülmektedir. 20-25 mikron eloksal kaplama, 10-15 mikron eloksal kaplama ve 35-40 mikron sert eloksal kaplamalarda adezyon kuvveti görülmektedir. Yapıştırıcı kilitlenme yaşamamış ve diğer plakaya tutunamamıştır. Bu yüzden sadece tek tarafta yapıştırıcı görülmektedir. 35-40 mikron sert eloksal + PTFE ve 40-50 mikron sert eloksal yüzeylerinde hem adezyon hem kohezyon kuvvetleri görülmektedir. Yapışma bölgelerinin üst taraflarında adezyon kuvveti varken al tarafında kohezyon kuvveti oluşmuştur. Heterojen bir yapı görülmektedir. Kohezyon kuvveti yapıştırıcı ile birleştirilen yüzeylerde istenilen bir yapışma türüdür. Ancak hangi yüzey işleminde daha iyi kohezyon kuvveti sergilediğini anlayabilmemiz için çekme testi sonuçlarına ihtiyacımız vardır. Tablo 5.4’de yüzey işlem uygulanmış numunelerin çekme testi sonuçları görülmektedir.

Tablo 5.4: Ön işlem uygulanan numunelerin çekme testi sonuçları.

Yüzey işlem türü	F(max) N	MPa	Test sonuç değerlendirme
Al-Al (K-10)	2965	9,488	Ok
	2982	9,5424	Ok
	3012	9,6384	Ok
Al-Al (K-25)	2272	7,2704	Ok
	2350	7,52	Ok
	2500	8	Ok
Al-Al (K-40)	2217	7,0944	Ok
	2450	7,84	Ok
	2407	7,0224	Ok
Al-Al (Z-80)	1424	4,5568	Ok
	1500	4,8	Ok
	1450	4,64	Ok
Al-Al (Z-320)	1088	3,4816	Ok
	1120	3,584	Ok
	1200	3,84	Ok
Al-Al (Z-500)	1061	3,3952	Ok
	1121	3,5872	Ok
	1010	3,232	Ok

Tablo 5.4 (devam) : Ön işlem uygulanan numunelerin çekme test sonuçları

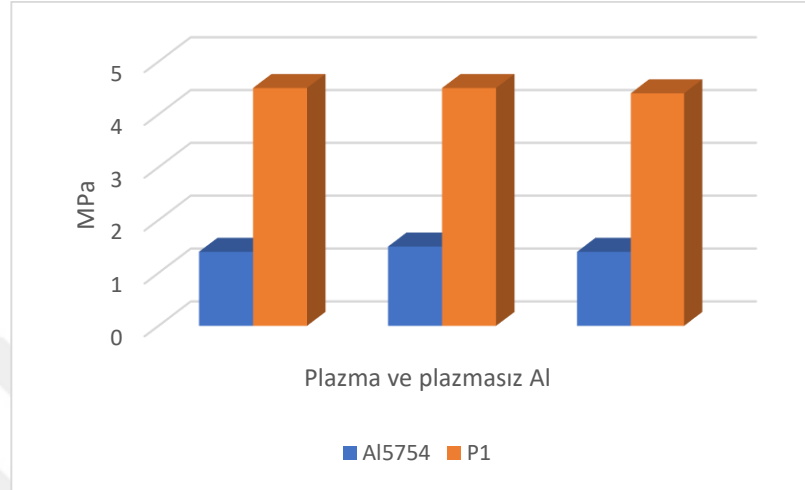
Yüzey işlem türü	F(max) N	MPa	Test Sonuçları
Al-Al (P-1)	1427	4,5664	Ok
	1423	4,5336	Ok
	1400	4,48	Ok
Al-Al (P-2)	1308	4,1856	Ok
	1202	3,8464	Ok
	1120	3,584	Ok
Al-Al (yüzey işlemsiz)	461	1,4752	Red
	470	1,504	Red
	463	1,4816	Red
Değerlendirme	K-Kumlama Z-Zımparalama P-Plazma		
	Red: Kabul edilmez. Ok: Kabul edilir sonuc		



Şekil 5.45: kumlama ve zımparlama işlemlerinin çekme testi sonuçları diyagramı.

Şekil 5.45’de kumlama ve zımparlama işlemi ardından çekme testi uygulanan numunelerin yapışma mukavemeti sonuçlarına göre elde edilen bir grafik görülmektedir. Grafikde de görüldüğü üzere kum püskürtme işlemi manuel işleme göre daha yüksek mukavemet değeri göstermiştir. Şekil 5.46’da Al5754 numunesine plazma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin çekme test sonuçları ile grafik

oluşturulmuştur. Test üç kere tekrarlanmıştır. Grafikde de görüldüğü üzere plazma ile yüzey aktivasyonu yapışma mukavemetine olumlu yönde etkilemiştir. Tablo 5.5’de farklı yüz ön işlemlerin birbiri ile farklı kombinasyonları incelenmiştir ve yapılan testlerin çekme testi sonuçları sunulmaktadır.

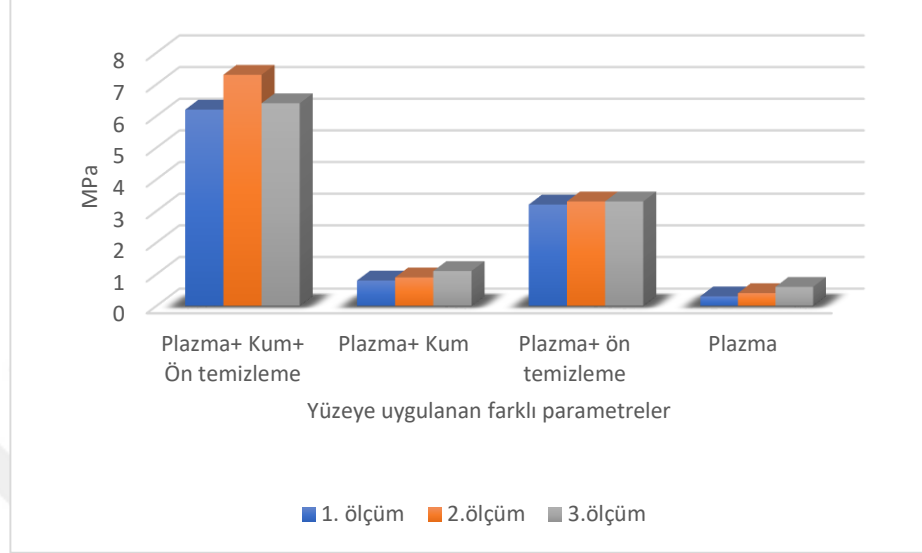


Şekil 5.46: plazma aktivasyon işlemi uygulanmış ve uygulanmamış alüminyum çekme testi sonucu diyagramı.

Tablo 5.5: Plazma işlemi yapılmış Al numunelerin çekme test sonuçları.

Plazma işlemi yapılmış Al numuneler	F(max) N	Mpa	Test sonuç değerlendirme
Plazma + Kum (ön temizleme yapılmış Epoksi bazlı yapıştırıcı)	1959	6,268	Ok
	2296	7,347	Ok
	2000	6,4	Ok
Plazma+ kum (ön temizleme yapılmamış epoksi bazlı yapıştırıcı)	261	0,835	Red
	300	0,96	Red
	350	1,12	Red
Plazma (ön temizleme yapılmış + epoksi bazlı yapıştırıcı)	1021	3,267	Ok
	1048	3,353	Ok
	1050	3,36	Ok
Plazma (ön temizleme yapılmamış + epoksi bazlı yapıştırıcı)	113	0,357	Red
	150	0,48	Red
	200	0,64	Red
Değerlendirme	Red: kabul edilemez Ok: kabul edilir sonuç		

Şekil 5.47’de farklı ön işlemden geçmiş yüzeylerin çekme testi sonrasında göstermiş oldukları mukavemet değerleri görülmektedir.



Şekil 5.47: Plazma+ kumlama+ ön temizleme işlemlerinin çekme testi sonucu diyagramı.

Kumlama ve plazma işleminin yapışma mukavemetine olumlu etkisi sonucunda numunelere ikisinin beraber olduğu ön işlemler uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarda plazma ve kumlamanın yüzey ön temizleme ile beraber yapıldığı çalışmanın yapışma mukavemetine olumlu etkisi gözlemlenmiştir. Tablo 5.6’da farklı kaplama türlerinin yapışma dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiş ve çekme testi sonuçları sunulmaktadır.

Tablo 5.6: Kaplanmış numelerin çekme test sonuçları.

Kaplama işlemi görmüş Al numuneleri (aradur 4311 + araldit 480 yapıştırıcı)	F(max) N	Mpa	Test sonuç değerlendirmesi
	202	0,641	Red
20-25 Mikron Eloksal	230	0,722	Red
Kaplama	210	0,672	Red
	114	0,364	Red
40 -50 Mikron Sert	100	0,322	Red
Eloksal Black	120	0,384	Red
	89	0,284	Red
10-15 Mikron akımsız	92	0,294	Red
Nikel	85	0,272	Red
	444	1,420	Red
30-35 Mikron Sert	430	1,376	Red
Eleksol Kaplama	420	1,344	Red
	1781	5,699	Ok
35-40 Mikron Sert	1800	5,76	Ok
Eloksal + Teflon	1785	5,712	Ok
	790	2,528	Ok
5 -8 Mikron Eloksal	750	2,4	Ok
Kaplama	730	2,336	Ok
Değerlendirme	Red: kabul edilemez Ok: kabul edilir sonuç		

Elde edilen sonuçlara göre alüminyum alaşımı üzerine kaplama yöntemlerinden 35-40 mikron sert eloksal+ PTFE kaplama ve 5-8 mikron eloksall kaplama kabul edilebilir sonuçlara ulaşmıştır.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Endüstride en yaygın kullanılan alüminyum alaşımı konstrüksiyon bileşenleri için birleştirme teknikleri yoğun ilgi gören bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle korozif ortamlarda direnç gösteren Al-Mg alaşımı seriler kaynak, bağlantı elemanı ve yapıştırma işlemleri ile bir arada konstrüksiyonu oluşturmaktadır. Konstrüksiyone etki eden yükler ve gerilmeler karşısında bütünlüğü sağlanmasında yapıştırma işlemleri hızlı ve pratik bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle alüminyum alaşımlarında yüzeyde kendiliğinden oluşan oksit tabakasının varlığı yüzey özelliklerini kontrol etmektedir. Bu bağlamda mekanik ve kimyasal yüzey işlemleri uygulanmasına karşın proses kontrolü zorlaşmakta ve atık üretimi artmaktadır. Bu nedenle lazer, plazma ve UV gibi yüksek enerjili sistemlere eğilim artmıştır. Bu tez çalışması kapsamında da farklı yüzey işlemleri ile alüminyum-alüminyum plakaların yapışma dayanımına etki eden faktörler ve plazma yüzey işlem teknolojisinin etkileri incelenmiş ve karşılaştırmalı test ve analiz sonuçları irdelenmiştir. Deneysel çalışmalar mekanik yüzey temizleme, kumlama, plazma aktivasyon işlemleri ve kombinasyonları ile sürdürülmüştür. Aşağıda test sonuçları detaylı bir şekilde tartışılmakta ve değerlendirme sonuçları özetlenmektedir.

Al-Mg alaşımı 5754 serisinin kum püskürtme işleminden sonra incelenen yüzey özellikle Şekil 5.3'de bulunan SEM görüntüleri doğrultusunda mesefa değişimine bağlı yüzey pürüzlülüğünün değiştiği gözlenmiştir. Yüzeyde tepecik ve çukurların olduğu dolayısıyla en yüksek pürüzlülük değerlerinin yüzeye 10 cm mesefeden yapılan püskürtme işlemi sonucunda elde edildiği saptanmıştır. Ortalama R_a değeri $5,4 \mu m$ değerinde olup ortalama R_z değeri ise $31,7 \mu m$ değerine sahiptir. Kumlama mesafesi azaldıkça pürüzlülük artmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artışı özellikle arayüzey uygulanan yapıştırıcının yüzey tutunması veya mekanik olarak yapışması için etkin bir teknik olarak sektörde tercih edilmektedir. Yapıştırıcının pürüzlü yüzeylere penetrasyonu ve orada

kürlenme sonrası yapışma dayanımını artırıcı etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Tablo 1.2’de kum püskürtme işlemi sonucunda elde edilen pürüzlülük değerleri görülmektedir. En yüksek değere sahip kum püskürtme işlemi 10 cm mesefeden yapılan kumlama olduğu gözlenmektedir. Tablo 5.4’de ise kumlamanın yapışma dayanımına etkisi incelendiğinde 10 cm mesefeden yapılan kumlama işlemi sonucunda yapışma dayanımının 9,6 MPa seviyesine ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu durumda pürüzlülük değeri arttıkça yapışma mukavemetinin de arttığı sonucuna ulaşılmaktadır. Sektörel uygulamalarda da en fazla kullanılan bu teknik sınırlı bir yapışma dayanımına kadar etkili bir ön yüzey işlemdir. Kumlama hem yüzeyi temizlerken hemde yüzey pürüzlülüğünü kontrol ederek yüzeyi aktive etmekte etkili olmaktadır. Kumlama mesafesinin etkisinin başka bir sonucu da ıslanabilirğin kumlama mesafesi ile değiştiğidir. Şekil 5.25’de 10 cm mesafeden yapılan kumlama işleminde ıslatma açısı değeri en fazladır. Islatma açısı ortalama değeri $71 \pm 0,6^\circ$ derece seviyesindedir. Yüzey pürüzlülüğündeki artış ıslatma açısının da değişimine etki ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Alüminyum alaşımı plakalara yapılan manuel aşındırma işlemi aşındırıcı SiC zımpara (80-500 mesh) kağıdı ile yapılmıştır. 80 mesh sonucunda en kaba yüzey pürüzlülüğünün (Şekil 5.8’de) elde edilerek daha yüksek bir yapışma dayanımının elde edildiği görülmektedir. Tablo 5.2’de zımparalama işlemi sonucunda elde edilen pürüzlülük ölçüm değerleri görülmektedir. En yüksek pürüzlülük 80 mesh ile ortalama R_a değeri $1,6 \mu m$ değerinde olup ortalama R_z değeri ise $11.54 \mu m$ değerine sahiptir. Tablo 5.4’de yapışma testi sonucunda elde edilen değerler karşılaştırmalı olarak sergilenmektedir. Manuel aşındırmalar kendi aralarında kıyaslandığı zaman en yüksek yapışma mukameti 4.6 MPa ile 80 meshlik zımparalama sonucunda ulaşılmıştır. Artan pürüzlülüğün yapışma mukavemetine olumlu etkisinin var olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Fakat kumlama kadar yüksek yapışma değerine erişilememektedir. Islatma açısı görüntüleri incelendiğinde Şekil 5.28’de zımparalama işlemi arasında en yüksek ıslatma kabiliyeti 80 meshlik zımparalama işleminde olduğu görülmektedir. Islatma açısı değeri $42 \pm 2^\circ$ arasındadır. Yüzey morfolojisi ve pürüzlülük ıslatma açısını etkilediği görülmektedir. Manuel aşındırma ve kum püskürtme işlemleri birbiri ile kıyaslandığında kum püskürtme işleminin daha iyi yüzey sonuçları gösterdiği gözlemlenmiştir. Kum püskürtme sırasında daha homojen bir yüzey pürüzlülüğü sağlamaktadır. Zımpara ile aşındırma işleminde ise işlemde tüm yüzeyde alanında manuel olarak eşit bir işlem yapmak daha zordur. Elde

edilen SEM görüntülerinde de kumlama işleminin yüzeyde daha homojen olduğu gözlemlenmektedir.

Al 5754 alaşımı plakaları plazma aktivasyon işlemine tabi tutulduktan sonra yapıştırma işleminden önce alt tabakanın kirletici maddelerden uzaklaştırılması için çevreci, hızlı ve pratik açıdan daha etkili bir yöntem olduğu görülmektedir. Plazma işlemsiz Al 5754 ile plazma işlemine tabi tutulmuş Al5754 incelendiğinde bu sonuç kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Islatma açısı kontrollü bir şekilde azaltılarak yüzeydeki süreksizlikler ve kirlilikler de eş zamanlı olarak yok edilmiştir. Bu yüzden ıslatma açısı 95° plazma işlemi sonrasında 37°'ye düşürülerek ıslatma kabiliyeti de iyileştirilebilmiştir. Yüzeyde plazma aktivasyonunun etkisinin yapışma ile ilişkisini anlamamız için Tablo 5.4'deki ve Şekil 5.46'daki grafikteki sonuçlara göre plazmasız Al5754 1,4 MPa yapışma dayanımı sergilerken plazma işlemi ile 4,5 MPa'a kadar yükseltilmiştir. Bu işlemler esnasında ne zımpralama ne de kumlama işlemi gerçekleştirilmeksizin uygulanmıştır. Elde edilen yüzey enerjisi yapışma özellikleri açısından oldukça etkili bir gelişme göstermektedir sonucuna ulaşılmıştır.

Kumlanmış yüzeylere plazma aktivasyonu sonucunda numunelerin çekme mukaveti sonuçlarında gözle görülür bir yapışma mukavemet artışı gözlemlenmiştir. Yukarıdaki kumlama, plazma ve ön temizleme işleminin yapışmaya olumlu etkisi olduğu gözlenmiştir. Bunun sonucunda kum püskürtme işlemi üzerine plazma aktivasyon yaparak, ön temizleme yapılmış ve yapılmamış numunelerin etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuçlar tablo 5.5'de sergilenmektedir. Plazma işlemi ön temizleme yapılmış ve yapılmamış olarak incelendiğinde ön temizleme sonucunda 0,3 MPa'dan ön temizleme sonrasındaki plazma aktivasyonu sonucunda 3,3 MPa dayanıma ulaşılmıştır. Numunelerin plazma öncesinde de ön temizlemeye maruz bırakılması yapışma dayanımında iyileşen sonuçlar göstermektedir.

Aynı şekilde 10 cm mesafeden kumlanmış yüzey üzerine yapılan plazma aktivasyonu sonucunda elde edilen sonuç; 0,8 MPa'dır. Kumlama işlemi üzerine yapılan yüzey aktivasyonuna ek olarak ön temizleme yapılırken yapışma mukameveti 7,3 MPa'a kadar çıkmaktadır (Şekil 5.45'de). Yüzey temizleme numune üzerine yapılan her işlemde yapışma mukavemetini olumlu yönde etkileyen en önemli parametredir. Kum püskürtme işleminin üzerine plazma aktivasyon yapıldığında daha yüksek yapışma mukaveti elde

edilmesini sebebi kumlamanın verdiği pürüzlülük etkisi ve plazma işleminin ıslanabilirliği arttırması ve yüzeyin temizlenmesine yol açması ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Yapılan bir sonraki deneysel çalışmada farklı kaplama uygulanmış yüzeylerin yapışma mukavemetine etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapışma mukavemeti sonuçları Tablo 5.6'da mevcuttur. Kaplanmış numuneler arasında en iyi sonuç 2,5 MPa yapışma dayanımı ile 5-8 mikron arası eloksal kaplamalı numunelerde ölçülmüştür. 35-40 mikron arası sert eloksal ve üzerinde yapılan PTFE kaplama işlemi görmüş numunelerde ise yapışma dayanımı 5,7 MPa'a ulaşmıştır. Şekil 5.49'da kaplanmış numunelerin çekme testi sonuçları karşılaştırmalı olarak diyagramda görülmektedir. Islatma açısı sonuçları incelendiğinde birbirine en yakın sonuçları 5-8 mikron eloksal ile kaplanmış numuneler için ıslatma açısı 76° ve 35-40 mikron arası sert eloksal + PTFE kaplamalı numuneler için 81°'dir. Yapışma performansının iyileştirilmesin de yüzey kaplama yöntemleri ile korozyon problemlerinin önüne geçilmesi etkili bir çözümdür. Yüzeye uygulanan her yüzey işlem ve kaplama teknolojisi yüzeyin ıslatma özelliklerini ve yapışma dayanımı değiştirmektedir. Özellikle Al-Al yapıştırma uygulamalarında sıkça kullanılan bu yöntemler ve farklı yapıştırıcılar arasında sonuçlar yüzeyin durumuna ve yapılan işleme bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ön yüzey temizliği ve yüzey aktivasyon işlemlerinde plazma teknolojisi yüzeyin enerjisini kontrol ederek yapışma dayanımının iyileşmesinde etkili bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Bugün sektörde ambalaj halindeki alüminyum bobinler, kaplamalı plakalar, mekanik aktivasyon görmüş yüzeylerde yapışma özelliklerinin yüzeyin kirliliğine ve uygulanan yüzey işlem teknolojisine bağlı olarak değiştiği açık bir şekilde görülmektedir. Üretim hatlarına entegre edilebilen plazma sistemleri gerek proses verimliliği gerekse yüzey kalitesi açısından oldukça tatminkar sonuçlar sergilemektedir.

6.1 Genel Sonuçlar ve Öneriler

Yapısal uygulamalarda kullanılan alüminyum alaşımı levha ve plakalar ile bunların bağlantı temelli tasarım gereksinimleri (yüksek mukavemet-ağırlık oranı, dar çalışma toleransı, yüksek dayanıklılık, tasarım esnekliği, çevre dostu ve düşük maliyetli imalat vb.) plazma yüzey işleme teknolojisi ile pratik olarak iyileştirilebilir. Bu çalışmada; Farklı ön yüzey işlemlere sahip 5754 alüminyum serisi plaka numunelerin yüzey özellikleri ve yapışma dayanımı ve ıslatma özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuçlar, plazma yüzey işleminin yapışkan yapıştırma için basit, çok hızlı ve çevre dostu bir ön işlem olarak etkin bir yöntem olduğunu göstermektedir. Plazma yüzey işlemleri, alüminyum yüzeyleri yağ ve benzeri kirlerden temizlemek, yüzeyi aktifleştirmek ve böylece yapışma dayanımını artırmak için verimli ve ekonomik bir çözüm yolunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle plazma yüzey işlemleri, yapıştırıcı sürmeden önce astar uygulama ihtiyacını ortadan kaldırabilme potansiyeline sahip olup böylece işlemi çok daha basit ve yalın bir hale getirir. Islatılabilirlik ve yapışmanın iyileştirilmesine ek olarak, korozyon direnci, yorulma direnci ve yüzey direnci gibi çeşitli malzemelerin mekanik özellikleri plazma yüzey işlemleri ile geliştirilebilir.

Pek çok endüstriyel uygulamada (otomotiv, havacılık ve denizcilik gibi), güçlü ve stabil bir yapışma elde etmek için Al alaşımının yüzey ön işlemi bir zorunluluktur. Al yüzeylerin kimyasal ve elektro-kimyasal ön işlemleri daha sonra uygulanacak boya, astar ve kaplama için uygun yapışma ortamı oluşturmaktadır. Bu ön temizleme yöntemleriyle ilgili dezavantajlar, ilgili kimyasalların bertarafı, uzun ön arıtma süreleri ve yüksek işletme maliyetleridir. Alüminyum oksit ince film bir yüzeyde bu işlemleri homojen bir şekilde gerçekleştirmek oldukça hassas bir kontrol gerektirmektedir. Bu nedenlerden dolayı, bahsedilen veya benzeri ön işlem yöntemlerinin uygulanması birçok sektörde önerilmemekte veya sınırlandırılmaktadır. Öte yandan, plazma işlemleri birçok ön işleme alternatif bir teknik olarak düşünülebilir.

Plazma aktivasyonu, nano ölçekli bir yüzey aktivasyon işlemidir. Üst yüzeyin kimyasal yapısını hızla aktifleştirerek yapışmayı artırır. Etki süresi, kullanılan plazma tipine, güce ve gaz basıncına bağlı olarak kritiktir. Plazma işleminin etkisi ile yüzeyin ıslanma kabiliyeti artar ve bununla birlikte yapışma özellikleri de iyileşir. Şekil 5.46'da görülebileceği gibi, ıslatma açısı, yüzeyi işlem görmemiş bir plaka üzerinde plazma

işlemi ile 95° seviyesindedir. Artan plazma uygulama süresi ile önce 34°'ye sürenin uzatılması ile ise 10°'ye düşürülebilir. Plazma, üst yüzeyin hemen altındaki nano katmanda yüzeyi çok hızlı bir şekilde etkinleştirebilmektedir. Plazma etkisi etkisini ortalama 15 dakika süre ile kalıcıdır. Bu nedenle, yapıştırma işlemi plazma işleminden hemen sonra zaman kaybetmeden yapılmalıdır.

Tablo 5.2’de yapışma testi sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Ön işlem görmemiş plakaları ile yapılan testlerde istenilen yapışma kuvveti elde edilememiştir. Yapışma çok zayıf olduğu için yüzey işlem zorunlu bir gerekliliktir. Kumlama sonrası yüzey pürüzlülüğünün artması ile yeterli bir yapışma mukavemeti elde edilebildiği tespit edilmiştir. Kumlanmış numuneler arasında en yüksek yapışma kuvveti K10 kodlu numunelerde elde edilmiştir. Yapışma dayanımı yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak, 7.2 MPa ile 9.5 MPa arasında değişmektedir. Zımparala işlemi yapılmış numuneler, kumlanmış numunelere göre % 40 daha düşük yapışma mukavemetine sahiptir. Zımparalanmış numuneler arasında en yüksek yapışma Z80 kodlu numune ile elde edilmiştir. Sonrasında plakalara plazma yüzey işlemi farklı sürelerde uygulanmış ve en yüksek yapışma kuvveti daha uzun süreli plazma işleminden sonra elde edilebildiği gözlenmiştir. Islatma açısının plazma işlemi sonrasında 10°'nin altına indirilebildiği ve iyi bir ıslatma kabiliyetinin kazanıldığı görülmüştür. Yapışma mukavemeti, işlem görmemiş olanlara kıyasla on kat artırılabilirdiği tespit edilmiştir. Plazma işleminin kaplamalı yüzeylerdeki etkisi incelenmiştir. Alüminyum alaşımlarına sıkça uygulanan eloksal ve akımsız nikel kaplamalara da uygulanabilirliği incelenmiş ve test sonuçları tartışılmıştır. Plazma yüzey işlemin hem eloksal hem de nikel kaplamalarda yüzey ıslatma açısını hızlı ve kontrollü bir şekilde düşürebildiği gözlenmiştir.

Yapışma dayanımı özellikleri, yapıştırıcı türüne, yapıştırma yöntemine ve ara yüzey işlemlerine bağlı olarak kontrol edilebilmektedir. Sektör hızlı, temiz ve ekonomik çözümler aramaktadır. Özellikle otomotiv endüstrisinde, gemi sanayinde yapıştırıcı kullanımı hızla artmakta buna paralel yüzey işlemlere ihtiyaç da artış göstermektedir. Hem kumlama hem de plazma esaslı aktivasyon işlemleri ayrı ayrı veya ardı ardına metal metal birleştirmelerinde kullanılabildiği belirlenmiştir. Plazma işlemi yüzeyi hızla temizlerken kısmi ön ısıtma sağlamak ve yüzey altı bölgede nano ölçekte modifikasyon yaparak yüzey enerjisini değiştirmemize imkan vermektedir. Bu tür yüksek enerjili

aktivasyon işlemleri yapışma dayanımının iyileştirilmesinde etkin bir çözüm olarak ön görülmektedir. Yüzeyde plazma aktivasyon etkisi süreye kullanılan gaza ve gaz akış hızına bağlı olarak seri üretim koşullarında da kullanılabileceğini birçok uygulamada ispat etmiştir. Bu tez çalışmasında plazma aktivasyonu yapılmayan alüminyum alaşımlar arasında yapışma dayanımı oldukça yetersiz olup 1.4 MPa yapışma dayanımı sergilerken, plazma aktivasyon yapılmış alüminyum alaşımları arasında 4 MPa yapışma dayanımı elde edilebilmektedir. Plazma yüzey aktivasyonu yapışma dayanımının artmasında etkin olarak rol oynadığı gözlemlenmektedir. Özellikle kumlanmış, astar kullanılmış veya koruyucu kaplamalar ile bunların üzerine uygulanan boya, lak ve diğer kaplama türlerinin yapışmasında ara yüzey adezyon kuvvetleri plazma ile artırılabilirdiği gözlenmektedir.

Genel olarak, yapıştırma işlemlerinde optimum bir yüzey pürüzlülüğü elde etmek, yüzey alanını arttırmak ve yapışmayı dayanımını iyileştirmek için kritik öneme sahiptir. Kumlanmış yüzeylerin çok iyi performans sergilemesine rağmen, sanayide kullanım pratikliği açısından avantaj sağlamazlar. Malzeme boyutunun çok büyük olmasından, karmaşık geometrilere sahip parçalardan kaynaklanan sıkıntılar mevcuttur. plazma işlemleri tüm yüzeyde homojen bir şekilde uygulanabilmektedir. Atık bertarafı gerekmeyen, çevreye zararı olmayan plazma aktivasyon çok daha etkin bir yüzey ön işlem metodudur.

Bu tez çalışması kapsamını takiben yapılması önerilen çalışmalar aşağıda sunulmaktadır; Korozyon ortamında çalışan metal-metal çiftlerinin yapışma dayanımının gözlenmesi ve plazma işlemlerinin sağladığı avantajların incelenmesi düşünülebilir. Farklı gaz karışımları kullanılarak plazma modifikasyon işlemlerinin yapışma dayanımına etkileri incelenebilir. Farklı yapıştırıcıların ve yapıştırıcı uygulama yöntemlerinin plazma işlem görmüş yüzeylerde yapışma dayanımının değişimi sistematik olarak incelenmesi önerilir.

KAYNAKLAR

- [1] Serkan Toros, Fahrettin Ozturk, Ilyas Kacar. (2008). Review of warm forming of aluminum–magnesium alloys. *journal of materials processing technology* 207, 1-12.
- [2] Hai Rong, P., H., Liang Y. , Wenbin Hou, Jinghuang Z. (2019). Thermal forming limit diagram (TFLD) of AA7075 aluminum alloy based on a modified continuum damage model: Experimental and theoretical investigations. *International Journal of Mechanical Sciences* 156, 59-73.
- [3] Xiaobo Fan, Zhubin Hen, ShijianYuan, Kailun Zheng. (2013). Experimental investigation on hot forming–quenching integrated process of 6A02 aluminum alloy sheet. *Materials Science&EngineeringA* 573, 54-160.
- [4] Klodian Xhanari, Matjaz Finsgar. (2019). Organic corrosion inhibitors for aluminum and its alloys in chloride and alkaline solutions: A review. *Arabian Journal of Chemistry* 12, 4646-4663.
- [5] J. Gilbert Kaufman. (2000). *Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*. United States of America.
- [7] M. Kumar, N. Sotirov, C.M. Chimani. (2014). Investigations on warm forming of AW-7020-T6 alloy sheet. *Journal of Materials Processing Technology* 214. 1769-1776.
- [8] Olaf Englera, Galyna Laptyevaa, Ning Wangb. (2013). Impact of homogenization on microchemistry and recrystallization of the Al–Fe–Mn alloy AA 8006. *Materials characterization* 79. 60-75.
- [9] Paolo F. Bariani, Stefania Bruschi, Andrea Ghiotti, Francesco Michieletto. (2013). Hot stamping of AA5083 aluminium alloy sheets. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 62. 251-254.
- [10] M. Kumar, N.G. Ross. (2016). Influence of temper on the performance of a high-strength Al–Zn–Mgalloy sheet in the warm forming processing chain. *Journal of Materials Processing Technology* 231. 189-198.

- [11] Peng C., Xiangze F., Qingbo Y., Zhiqing Z., Zhihong J., Liu Q. (2021). Creep behavior and microstructural evolution of 8030 aluminum alloys compressed at intermediate temperature. *Journal of Materials Research and Technology*
- [12] Jian Lia, Yibo Lia, Minghui Huang, Yanhong Xiangb, Yashi Liaoa. (2018). Improvement of aluminum lithium alloy adhesion performance based on sandblasting techniques. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 84. 307-316.
- [13] Vinay Kumar Patel, Shantanu Bhowmik. (2017). Plasma Processing of Aluminum Alloys to Promote Adhesion: A Critical Review. *Researchgate Scrivener Publishing LLC*
- [14] Daniel Brough, Hussam Jouhara. (2020). The aluminium industry: A review on state-of-the-art technologies, environmental impacts and possibilities for waste heat recovery. *International Journal of Thermofluids* 1-2. 100007.
- [15] Anna Rudawska, IzabelaDanczak, MiroslavMüller, PetrValasek. (2016). The effect of sandblasting on surface properties for adhesion. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 70. 76-190.
- [16] Yiwei Xu, Huaguan Li, Yizhou Shen, Senyun Siu, Wentao Wang, Jie Tao. (2016). Improvement of adhesion performance between aluminum alloy sheet and epoxy based on anodizing technique. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 70. 74-80.
- [17] Jianmin Shi, Helge Pries, Elisabeth Stammen, Klaus Dilger. (2015). Chemical pretreatment and adhesive bonding properties of high-pressure die cast aluminum alloy: AlSi10MnMg. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 61. 112-121.
- [18] Janne Salstela, Mika Suvanto, Tuula T. Pakkanen. (2016). Influence of hierarchical micro-micro pattern and chemical modifications on adhesion between aluminum and epoxy. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 66. 28-137.
- [19] P. Molitor, V. Barron, T. Young. (2001). Surface treatment of titanium for adhesive bonding to polymer composites: a review. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 21. 129-136.
- [20] Thomas S. Williams, Hang Yu & Robert F. Hicks To. (2013). Atmospheric pressure plasma activation as a surface pre-treatment for the adhesive bonding of aluminum 2024. *Journal of Adhesion Science and Technology* 28. 653-674.

- [21] Marzena Pawlik, Yiling Lu, Huirong Le. (2020). Effects of surface modification and graphene nanoplatelet reinforcement on adhesive joint of aluminium alloys. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 99.102591.
- [22] Michaela R., Serhii T., Daniel K., Ivana R., Bernhard G., Melita M., Ladislav Č., Jozef K. (2020). Effects of anodizing conditions and the addition of Al₂O₃/PTFE particles on the microstructure and the mechanical properties of porous anodic coatings on the AA1050 aluminium alloy. *Applied Surface Science* 513. 145780.
- [23] Zhou Zhang, Ji-Guo S., Xiang-Hu Tan, Jing Zhang. (2016). Effect of anodizing pretreatment on laser joining CFRP to aluminum alloy A6061. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 70. 142-151.
- [24] Jingui L., Hongyang W., Kai Z., Meifeng W., Dongchu C., Min C. (2020). Effect of anodizing temperature and organic acid addition on the structure and corrosion resistance of anodic aluminum oxide films. *Thin Solid Films* 713. 138359.
- [25] The Aluminium automotive manual. EAA Aluminium Automotive Manual-joining.
- [26] S. Sharifi Golrua, M.M. Attara, B. Ramezanzadeh. (2015). Effects of surface treatment of aluminium alloy 1050 on the adhesion and anticorrosion properties of the epoxy coating. *Applied Surface Science* 345. 360-368.
- [27] Tamer Sinmazçelik, Egemen Avcu, Mustafa Özgür Bora, Onur Çoban. (2011). A review: Fibre metal laminates, background, bonding types and applied test methods. *Materials and Design* 32. 3671-3685.
- [28] S.G. Prolongo, A. Uren. (2009). Effect of surface pre-treatment on the adhesive strength of epoxy-aluminium joints. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 29. 23-31.
- [29] R.L., Twite, G.P. Bierwagen. (1998). Review of alternatives to chromate for corrosion protection of aluminum aerospace alloys. *Progress in Organic Coatings* 33. 91-100.
- [30] Saeed Shirmohammadi Yazdi, Fakhreddin Ashrafizadeh, Amin Hakimzad. (2013). Improving the grain structure and adhesion of Ni-P coating to 3004 aluminum substrate by nanostructured anodic film interlayer. *Surface & Coatings Technology* 232. 561-566.
- [31] Berta Navarro Rodríguez. (2016). Plasma Pre-Treatment for Adhesive Bonding of Aerospace Composite Components. *ABSTRACT OF THE DISSERTATION*.
- [32] M. Marín-Sánchez, A. Conde, M. García-Rubio, A. Lavia, I. García. (2016). Durability of titanium adhesive bonds with surface pretreatments based on alkaline anodisation. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 70. 225-233.

- [33] Sina Ebnesajjad, Arthur H. Landrick. (2009). *Adhesives Technology Handbook*. William Andrew is an imprint of Elsevier.
- [34] Binhua Wang, Xiaozhi Hu, Pengmin Lu. (2017). Improvement of adhesive bonding of grit-blasted steel substrates by using diluted resin as a primer. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 73. 92-99.
- [35] Gregory Bresson, Julien Jumel, Martin E.R. Shanahan, Pierre Serin. (2012). Strength of adhesively bonded joints under mixed axial and shear loading. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 3. 27-35.
- [36] Ruoyu Sun, Jing Zhao, Zhen Li, Jiliang Mo, Yajia Pan, Dabing Luo. (2019). Preparation of mechanically durable superhydrophobic aluminum surface by sandblasting and chemical modification. *Progress in Organic Coatings* 133. 77-84.
- [37] L. Ding, H. Torbati-Sarrafa, A. Poursaeed. (2018). The influence of the sandblasting as a surface mechanical attrition treatment on the electrochemical behavior of carbon steel in different pH solutions. *Surface & Coatings Technology* 352. 112-119.
- [38] Cecilia Yan Guo, Alexander Tin Hong Tang, James Kit Hon Tsoi, Jukka Pekka Matinlinna. (2014). Effects of different blasting materials on charge generation and decay on titanium surface after sandblasting. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 32. 145-154.
- [39] M. Shahid, S.A. Hashim. (2002). Effect of surface roughness on the strength of cleavage joints. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 22. 235-244.
- [40] A. Baldan. (2012). Adhesion phenomena in bonded joints. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 38. 95-116.
- [41] Anna Rudawska. (2014). Selected aspects of the effect of mechanical treatment on surface roughness and adhesive joint strength of steel sheets. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 50. 235-243.
- [42] M.S. Islam, L. Tong, P.J. Falzon. (2014). Influence of metal surface preparation on its surface profile, contact angle, surface energy and adhesion with glass fibre prepreg. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 51. 32-41.
- [43] Sevim Gökçe Esen, Ekrem Altuncu, Fatih Üstel, Gülşah Karagöz. (2016). Influence of Atmospheric Plasma Surface Activation Treatments on PP surface properties. *IMMC2016, 18. Uluslararası metalurji ve malzeme kongresi bildiriler kitabı*. 395-397.

- [44] Ekrem Altuncu, S. Gökçe Esen, Fatih Üstel, Evren Karayel. (2016). Various Nozzle Designs Effect on the PP Surface Energy in Plasma Activation Treatments of Bumpers *IMMC2016, 18. Uluslararası metalurji ve malzeme kongresi bildiriler kitabı*. 481-484.
- [45] A. Knospe. (2007). Treatment of aluminium with plasma in air A plasma cleaning process which operates at atmospheric pressure offers great environmental benefits by removing the need for chemical cleaning processes and heat cleaning processes. *The Journal of Aluminum Production And Processing Aluminium International Today* 4. 19.
- [46] M.A Castillo Acero, L. Conde Lopez. (2017). Effect of plasma treatment in Aluminum and composites bonding joints: Shear load tests results. *Manufacturing Engineering Society International Conferene*. 28-30.
- [47] Zbigniew Mirski, Tomasz Wojdat, Zbigniew Zimniak, Izabela Łacka, Agata Pawełko. (2017). Effect of the Preparation of Aluminium, Magnesium and Titanium Alloys Surface on Properties of Adhesive Bonded Joints. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*. 5.
- [48] Norazwani Muhammad Z., Sahrim A., Emle S. (2013). Green Polyurethane Adhesive Bonding of Aluminum: Effect of Surface Treatments. *Applied Mechanics and Materials Vol. 393*. 51-56.
- [49] M. Piekarczyk, R. Grec. (2012). Application of Adhesive Bonding In Steel and Sluminium Structres. *Archives Of Civil Engineering* 58.
- [50] S.G. Prolongo, A. Uren. (2009). Effect of surface pre-treatment on the adhesive strength of epoxy–aluminium joints. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 29. 23-31.
- [51] Yunsen Hu, Bingyan Yuan, Fei Cheng, Xiaozhi Hu. (2019). NaOH etching and resin pre-coating treatments for stronger adhesive bonding between CFRP and aluminium alloy. *Composites Part B* 178. 107478.
- [53] Shari Lousin. (2015). Bonding Anodized Aluminum With Adhesives And Tapes. *Aluminum Anoddizers Council*.
- [54] Rui Zheng, Jianping Lin, Pei-ChungWang, Chuanmin Zhu, Yongrong Wu. (2015). Effect of adhesive characteristics on static strength of adhesive-bonded aluminum alloys. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 57. 85-94.
- [55] Raymond John Davis, B.Sc. (1989). The Durability of an Adhesively Bonded Aluminium Alloy. (Doktora Tezi). Mechanical Engineering, University of London and the Diploma of Imperial College. Londra.

- [56] Janne Salstela, Mika Suvanto, Tuula T. Pakkanen. (2016). Influence of hierarchical micro-micro patterning and chemical modifications on adhesion between aluminum and epoxy. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 66. 128-137.
- [57] Silvia G. Prolongoa, Gilberto del Rosariob, Alejandro Urena. (2006). Comparative study on the adhesive properties of different epoxy resins. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 26. 125-132.
- [58] Ekrem Altuncu, Ayyüce Tecir, Onur Birbaşar. (2020). Adhesion Improvement with Plasma Surface Activation Between Aluminum Alloy Plates. *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science* 23-25.

