

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**EPOKSİ BAZLI YAPIŞTIRICILARLA BİRLEŞTİRİLEN
METALLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN
FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLGE YILMAZ

DENİZLİ, TEMMUZ - 2020

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**EPOKSİ BAZLI YAPIŞTIRICILARLA BİRLEŞTİRİLEN
METALLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN
FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLGE YILMAZ

DENİZLİ, TEMMUZ - 2020

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.



BİLGE YILMAZ

İMZA

ÖZET

**EPOKSİ BAZLI YAPIŞTIRICILARLA BİRLEŞTİRİLEN METALLERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN
İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGE YILMAZ
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI:PROF. DR. CEMAL MERAN)**

DENİZLİ, TEMMUZ - 2020

Malzemeleri birleştirmek için günümüzde pek çok metot vardır. Bunlardan bazıları kaynak, lehim, cıvata, perçin ve yapıştırma dır. Bu çalışma birleştirme için kullanılan metotlardan yapıştırma üzerine olmuştur. Günümüzde kullanım alanı olarak yapıştırma sıklıkla kullanılan bir metot haline gelmiştir. Bu artışın en büyük sebebi olarak yapıştırma ile birleştirmelerin kazandırdığı avantajlardır.

Yapılan bu çalışmada tek taraflı bindirme bağlantılarının, sabit yüzey pürüzlülüklerinde ($R_a=1,5\mu m$), farklı yapıştırma kalınlıklarında ($s=0,2mm$, $0,1mm$), farklı üç sıcaklık ($100^{\circ}C$, $125^{\circ}C$, $150^{\circ}C$), farklı kürleşme sürelerinde (20 dakika, 30 dakika, 40 dakika) ve farklı iki malzemeyi yapıştırarak (çelik, alüminyum) ticari epoksi bazlı KN-204 ve 404 plastik çelik yapıştırıcısı olarak bilinen iki farklı yapıştırıcıyla yapıştırılan metallerin mekanik özelliklerine etki eden faktörler incelenmiştir. Her iki yapıştırıcı türü içinde yüksek sıcaklıklarda düşük kürleşme süresi ve düşük sıcaklıklarda da yüksek kürleşme süresi ihtiyacı görülmüştür. Optimum sıcaklık ve kürleşme süresi her iki yapıştırıcı içinde irdelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Yapıştırma bağlantıları, mekanik dayanım, epoxy bazlı yapıştırıcı

ABSTRACT

INVESTIGATION OF EFFECT PROCESS PARAMETERS OF EPOXY BASED ADHESIVES ON JOINT STRENGTH OF ALUMINIUM AND STAINLESS STEELS

MSC THESIS

BİLGE YILMAZ

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. CEMAL MERAN)

DENİZLİ, JULY 2020

There are many methods for combining materials today. Some of these are welding, soldering, bolt, rivet and bonding. This study was on bonding, one of the methods used for joining. Nowadays, bonding has become a frequently used method. The biggest reason for this increase is the advantages of the combinations formed by bonding.

In this study, unilateral overlap joints, fixed surface roughness ($R_a = 1.5\mu\text{m}$), in different bonding thicknesses ($s = 0,2\text{mm}$, $0,1\text{mm}$), three different temperatures (100°C , 125°C , 150°C), at different curing times (20 minutes, 30 minutes, 40 minutes) and by affecting two different materials (steel, aluminum), factors affecting the mechanical properties of metals adhered with two different adhesives known as commercial epoxy based KN-204 and 404 plastic steel adhesives were investigated. In both types of adhesive, low cure time at high temperatures and high cure time at low temperatures were observed. The optimum temperature and curing time were examined in both adhesives.

KEYWORDS: Bonding connections, mechanical strength, epoxy-based adhesive

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Tezin Önemi	2
1.3 Literatür Özeti	2
2. YAPIŞTIRICI VE YAPIŞTIRMA TEKNİĞİ.....	12
2.1 Yapıştırma	12
2.1.1 Adhezyon	12
2.1.2 Kohezyon	15
2.2 Yapıştırma Özelliklerine Etki Eden Faktörler.....	16
2.2.1 Yüzey pürüzlülüğü	17
2.2.2 Yapıştırma kalınlığı.....	17
2.2.3 Zaman	17
2.2.4 Sıcaklık	17
2.3 Yapıştırma Geometrileri	18
2.4 Yapıştırma Bağlantılarında Oluşan Hasar Tipleri	19
2.4.1 Adhezyon Hasarı	20
2.4.2 Kohezyon Hasarı	20
2.5 Yapıştırma Yüzeyi Hazırlama Yöntemleri.....	20
2.5.1 Yağ Temizliği	21
2.5.2 Mekanik Aşındırma	22
2.5.3 Kimyasal Aşındırma.....	23
2.5.3.1 Metalik Malzemelerde Kimyasal Aşındırma	23
2.5.3.1.1 Alüminyum ve Alaşımları.....	23
2.5.3.1.2 Bakır ve Nikel Malzemeler	24
2.5.3.1.3 Düşük Mukavemetli Çelikler	24
2.5.3.1.4 Paslanmaz Çelikler	25
2.5.3.1.5 Titanyum ve Alaşımları	25
2.5.3.2 Plastik Malzemelerde Kimyasal Aşındırma	25
2.5.3.2.1 Termosetler.....	25
2.5.3.2.2 Termoplastikler.....	26
2.5.3.2.3 Plastik Köpükler	26
2.5.3.2.4 Metal Olmayan Honeycomblar	26
2.5.4 Primer Ön İşlem	26
2.6 Yapıştırıcının Kullanım Alanları.....	27
2.7 Yapıştırma Tekniği ile Birleştirmenin Avantajları.....	29
2.8 Yapıştırma Tekniği ile Birleştirmenin Dezavantajları.....	29
2.9 Yapıştırıcıların İçerisine Konulan Katkılar	30
2.9.1 Seyrelticiler	30

2.9.2	Katalizörler ve Katılaştırıcılar.....	30
2.9.3	Geciktiriciler, Hızlandırıcılar ve Durdurucular.....	31
2.9.4	Düzelticiler.....	31
2.9.4.1	Yumuşatıcılar	31
2.9.4.2	Dengeleyiciler.....	32
2.9.4.3	Doldurucular.....	32
2.9.4.4	İncelticiler.....	32
2.9.4.5	Isıtma Katkıları.....	32
2.9.4.6	Genişleticiler.....	32
2.10	Yapıştırıcı Çeşitleri.....	33
2.10.1	Kimyasal Reaksiyon ile Kürleşen Yapıştırıcılar	33
2.10.2	Fiziksel Değişim ile Sertleşen Yapıştırıcılar	34
2.10.3	Formları Açısından Yapıştırıcılar.....	36
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
3.1	Yapıştırılan Malzemeler ve Özellikleri.....	37
3.2	Yapıştırıcı Malzemeler.....	40
3.3	Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Ekipmanı.....	40
3.4	Yüzey Temizleme Ekipmanları ve Yüzeyin Temizlenmesi.....	41
3.5	Yapıştırma İşlemi ve Kullanılan Ekipman.....	42
3.6	Kürleşme İçin Gerekli Ekipmanlar.....	44
3.7	Artık Yapıştırıcının Temizlenmesi	45
3.8	Çekme Deneyine Hazırlık İçin Kulakçık Oluşturma.....	46
3.9	Çekme Deneyi Ekipmanları	48
3.10	İzod Darbe Deneyi Ekipmanları.....	53
4.	DENEYSEL BULGULAR	56
4.1	404 Plastik Çelik Yapıştırıcı ile Birleştirilen Paslanmaz Çelik-Alüminyum Alaşımlarının Çekme Dayanımları.....	56
4.1.1	404 Yapıştırıcısı ile 100°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırma Süresi ve Yapıştırıcı Kalınlığının Bağlantı Dayanımına Etkisi	57
4.1.2	404 Yapıştırıcısı ile 125°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırma Süresi ve Yapıştırıcı Kalınlığının Bağlantı Dayanımına Etkisi	60
4.1.3	404 Yapıştırıcısı ile 150°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırma Süresi ve Yapıştırıcı Kalınlığının Bağlantı Dayanımına Etkisi	63
4.2	KN-204 Plastik Çelik Yapıştırıcı ile Birleştirilen Paslanmaz Çelik-Alüminyum Alaşımlarının Çekme Dayanımları	66
4.2.1	KN-204 Yapıştırıcısı ile 100°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırma Süresi ve Yapıştırıcı Kalınlığının Bağlantı Dayanımına Etkisi.....	67
4.2.2	KN-204 Yapıştırıcısı ile 125°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırma Süresi ve Yapıştırıcı Kalınlığının Bağlantı Dayanımına Etkisi.....	70
4.2.3	KN-204 Yapıştırıcısı ile 150°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırma Süresi ve Yapıştırıcı Kalınlığının Bağlantı Dayanımına Etkisi.....	73
4.3	Çekme Grafiklerinden Elde Edilen Maksimum Bağlantı Dayanımların Karşılaştırılması	76
4.4	İzod Darbe Sonuçlarından Elde Edilen Bağlantı Dayanımların Karşılaştırılması	81
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	88
6.	KAYNAKLAR	94
7.	ÖZGEÇMİŞ.....	100

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Mekanik Kilitlenme Teorisi.....	13
Şekil 2.2: Polimer Metal Ara Yüzeyinde Elektriksel Tabaka Oluşumu	14
Şekil 2.3: Yapıştırıcı Molekülleri (a) ve Malzeme Moleküllerinin (b) Difüzyonu	14
Şekil 2.4: Yapıştırıcının Yüzeyi İyi ve Kötü Islatma Örneği	15
Şekil 2.5: Adhezyon ve Kohezyon Olayları	16
Şekil 2.6: Adhezyon ve Kohezyon Olayları.....	16
Şekil 2.7: Yapıştırma Bağlantı Tipleri, (a) Tek taraflı bindirme bağlantısı, (b) Çift taraflı bindirme bağlantısı, (c) Pahlı bindirme bağlantısı, (d) Açılı bindirme bağlantısı, (e) Kademeli bağlantı, (f) Tek taraflı takviyeli alın bağlantısı, (g) Çift taraflı takviyeli alın bağlantısı, (h) Alın bağlantısı, (i) Silindirik bindirmeli bağlantı, (j) Soyulma	18
Şekil 2.8: Temel Hasar Tipleri	19
Şekil 2.9: Uzay ve Havacılık Sanayinde Kullanılan Köpüklerde Yapıştırıcı Kullanımı	27
Şekil 2.10: Otomotiv Sanayinde Yapıştırıcı Kullanımı	28
Şekil 2.11: Mil-Göbek Bağlantılarında Yapıştırıcı Kullanımı	28
Şekil 3.1: Çekme Deney Numunesi ve Ölçüleri	38
Şekil 3.2: Çekme Deney Numunesinin 3 Boyutlu Modellemesinin İzometrik Görünümü	39
Şekil 3.3: İzod Darbe Deney Numunesi ve Ölçüleri	39
Şekil 3.4: İzod Darbe Deney Numunesinin 3 Boyutlu Modellemesinin İzometrik Görünümü	40
Şekil 3.5: Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı	41
Şekil 3.6: Metilen Klorür ile Temizlenen Malzeme	42
Şekil 3.7: Serbest (0,1 mm) Kalınlık Yapıştırma	42
Şekil 3.8: 0,2 mm Kalınlık Bobin Tel Uygulaması	43
Şekil 3.9: 0,2 mm Kalınlıkta Yapılan Yapıştırma	43
Şekil 3.10: Tabla Üzerinde Yapılan Yapıştırma İşlemi ve Sabitleme	44
Şekil 3.11: Isıl İşlem Fırını	44
Şekil 3.12: Isıl İşlem Fırınına Yerleştirilmiş Tabla Üzerinde Yapıştırılmış Numuneler	45
Şekil 3.13: Kürleşme Sıcaklıklarını Belirlemek İçin Yapılan Ön Deney Sonuçları	45
Şekil 3.14: Fazla Yapıştırıcının Temizlenmesi	46
Şekil 3.15: Kulakçık Yapıştırılmış Numune	47
Şekil 3.16: Kulakçık Yapıştırma İşlemi	47
Şekil 3.17: Uzama İşlemini Ölçebilmek İçin Numuneye Çizim Yapılması	48
Şekil 3.18: Hazırlanmış ve Numaralandırılmış Numuneler	49
Şekil 3.19: 50000N Kapasiteli Instron 8801 Deney Cihazı	49
Şekil 3.20: Çekme Cihazına Bağlanmış Numune	50
Şekil 3.21: Çekme Deneyi Sonu	51
Şekil 3.22: 0,2 mm Kalınlıkla Oluşturulan Bağlantının Çekme Deneyi Sonu .	52
Şekil 3.23: 0,1 mm Kalınlıkta Oluşturulan Bağlantının Çekme Deneyi Sonu .	52
Şekil 3.24: Hazırlanmış ve Numaralandırılmış Numuneler	53

Şekil 3.25: 50 J Kapasiteli Instron Ceast İzod Darbe Deney Cihazı	54
Şekil 3.26: İzod Darbe Cihazına Bağlanmış Numune	54
Şekil 3.27: İzod Darbe Deneyi Sonu	55
Şekil 4.1: 404 Yapıştırıcı ile 100°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırıcı Kalınlığı 0,1 mm Olduğu Durumda Yapıştırma Süresinin Bağlantı Dayanımına Etkisi	57
Şekil 4.2: 404 Yapıştırıcı ile 100°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırıcı Kalınlığı 0,2 mm Olduğu Durumda Yapıştırma Süresinin Bağlantı Dayanımına Etkisi	58
Şekil 4.3: 404 Yapıştırıcı ile 100°C’de Yapılan Kürleşmede Elde Edilen Maksimum Bağlantı Dayanımları	59
Şekil 4.4: 404 Yapıştırıcı ile 100°C’de Yapılan Yapıştırmada Kürleşme Numuneleri	59
Şekil 4.5: 404 Yapıştırıcı ile 125°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırıcı Kalınlığı 0,1 mm Olduğu Durumda Yapıştırma Süresinin Bağlantı Dayanımına Etkisi	60
Şekil 4.6: 404 Yapıştırıcı ile 125°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırıcı Kalınlığı 0,2 mm Olduğu Durumda Yapıştırma Süresinin Bağlantı Dayanımına Etkisi	61
Şekil 4.7: 404 Yapıştırıcı ile 125°C’de Yapılan Kürleşmede Elde Edilen Maksimum Bağlantı Dayanımları	62
Şekil 4.8: 404 Yapıştırıcı ile 125°C’de Yapılan Yapıştırmada Kürleşme Numuneleri	62
Şekil 4.9: 404 Yapıştırıcı ile 150°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırıcı Kalınlığı 0,1 mm Olduğu Durumda Yapıştırma Süresinin Bağlantı Dayanımına Etkisi	63
Şekil 4.10: 404 Yapıştırıcı ile 150°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırıcı Kalınlığı 0,2 mm Olduğu Durumda Yapıştırma Süresinin Bağlantı Dayanımına Etkisi	64
Şekil 4.11: 404 Yapıştırıcı ile 150°C’de Yapılan Kürleşmede Elde Edilen Maksimum Bağlantı Dayanımları	65
Şekil 4.12: 404 Yapıştırıcı ile 150°C’de Yapılan Yapıştırmada Kürleşme Numuneleri	66
Şekil 4.13: KN-204 Yapıştırıcı ile 100°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırıcı Kalınlığı 0,1 mm Olduğu Durumda Yapıştırma Süresinin Bağlantı Dayanımına Etkisi	67
Şekil 4.14: KN-204 Yapıştırıcı ile 100°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırıcı Kalınlığı 0,2 mm Olduğu Durumda Yapıştırma Süresinin Bağlantı Dayanımına Etkisi	68
Şekil 4.15: KN-204 Yapıştırıcı ile 100°C’de Yapılan Kürleşmede Elde Edilen Maksimum Bağlantı Dayanımları	69
Şekil 4.16: KN-204 Yapıştırıcı ile 100°C’de Yapılan Yapıştırmada Kürleşme Numuneleri	69
Şekil 4.17: KN-204 Yapıştırıcı ile 125°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırıcı Kalınlığı 0,1 mm Olduğu Durumda Yapıştırma Süresinin Bağlantı Dayanımına Etkisi	70
Şekil 4.18: KN-204 Yapıştırıcı ile 125°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırıcı Kalınlığı 0,2 mm Olduğu Durumda Yapıştırma Süresinin Bağlantı Dayanımına Etkisi	71

Şekil 4.19: KN-204 Yapıştırıcı ile 125°C’de Yapılan Kürleşmede Elde Edilen Maksimum Bağlantı Dayanımları	72
Şekil 4.20: KN-204 Yapıştırıcı ile 125°C’de Yapılan Yapıştırırmada Kürleşme Numuneleri	72
Şekil 4.21: KN-204 Yapıştırıcı ile 150°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırıcı Kalınlığı 0,1 mm Olduğu Durumda Yapıştırma Süresinin Bağlantı Dayanımına Etkisi	73
Şekil 4.22: KN-204 Yapıştırıcı ile 150°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırıcı Kalınlığı 0,2 mm Olduğu Durumda Yapıştırma Süresinin Bağlantı Dayanımına Etkisi	74
Şekil 4.23: KN-204 Yapıştırıcı ile 150°C’de Yapılan Kürleşmede Elde Edilen Maksimum Bağlantı Dayanımları	75
Şekil 4.24: KN-204 Yapıştırıcı ile 150°C’de Yapılan Yapıştırırmada Kürleşme Numuneleri	76
Şekil 4.25: 100°C’de Yapılan Yapıştırırmada Süre-Kalınlık ve Yapıştırıcı Türü Parametreleri İçin Elde Edilen Maksimum Bağlantı Dayanımları	77
Şekil 4.26: 125°C’de Yapılan Yapıştırırmada Süre-Kalınlık ve Yapıştırıcı Türü Parametreleri İçin Elde Edilen Maksimum Bağlantı Dayanımları	78
Şekil 4.27: 150°C’de Yapılan Yapıştırırmada Süre-Kalınlık ve Yapıştırıcı Türü Parametreleri İçin Elde Edilen Maksimum Bağlantı Dayanımları	79
Şekil 4.28: Tüm Sıcaklıklarda Yapılan Yapıştırırmalarda Süre-Kalınlık ve Yapıştırıcı Türü Parametreleri İçin Elde Edilen Maksimum Bağlantı Dayanımları	80
Şekil 4.29: 100°C’de Yapılan Yapıştırırmada Darbe Deneyi Kürleşme Durumları	83
Şekil 4.30: 125°C’de Yapılan Yapıştırırmada Darbe Deneyi Kürleşme Durumları	85
Şekil 4.31: 150°C’de Yapılan Yapıştırırmada Darbe Deneyi Kürleşme Durumları	87

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Yağ temizliğinde kullanılan solventler .	21
Tablo 2.2: Metal yüzeyler için önerilen zımpara numaraları	22
Tablo 2.3: Bakır ve nikel malzeme için dağlama	24
Tablo 2.4: Malzeme ve yapılacak işlemler	27
Tablo 3.1: X5CrNi18-10 paslanmaz çelik malzemesinin kimyasal bileşimi	37
Tablo 3.2: X5CrNi18-10 paslanmaz çelik malzemesinin mekanik özellikleri	38
Tablo 3.3: ENAW-6013 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi	38
Tablo 3.4: ENAW-6013 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri	38
Tablo 4.1: 100°C’de yapılan yapıştırıcı türü, kürleşme süresi ve yapıştırıcı kalınlığı parametreleri için elde edilen darbe dayanım sonuçları	82
Tablo 4.2: 125°C’de yapılan yapıştırıcı türü, kürleşme süresi ve yapıştırıcı kalınlığı parametreleri için elde edilen darbe dayanım sonuçları	84
Tablo 4.3: 150°C’de yapılan yapıştırıcı türü, kürleşme süresi ve yapıştırıcı kalınlığı parametreleri için elde edilen darbe dayanım sonuçları	86

KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	:	American Society for Testing and Materials
EN	:	European Norm
ISO	:	International Standards Organisation
TS	:	Türk Standardı
Ra	:	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, (µm)



ÖNSÖZ

Çalışmalarım esnasında her türlü desteği ile yanımda olan çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cemal MERAN'a, görüş ve önerileri ile çalışmaya katkı sağlayan Sayın Prof. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU'na, çalışmalarım esnasında birçok defa tecrübelerini bana aktaran Dr. Öğr. Üyesi Murat ÖZENÇ'e, gece gündüz demeden her daim laboratuvar çalışmalarında zaman ayırıp yardımcı olan Arş. Gör. İnan AĞIR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada kullanılan yapıştırıcılardan epoxy bazlı olan KN-204 ve yağ alma işleminde kullanılan metilen klorür temininde yardımcı olan Erce Kimya San. ve Tic. Limited Şirketi ve Sayın Sedat DÜZGÖREN'e çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında görmüş olduğum maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bilge YILMAZ

1. GİRİŞ

Malzemeleri bir bütün olarak birleştirmek bir arada tutmak için çeşitli metot ve yöntemler geliştirilmiş ve kullanılmaktadır. Bunlardan en bilinenleri ise teknik olarak kaynak ve lehim eleman olarak ise perçin ve cıvadır. Fakat artık kendi avantajları nedeniyle bir başka yöntem olarak yapıştırma ile birleştirmede sıkça kullanılmaktadır.

Yapıştırma tekniği kaynak ve lehim tekniği gibi malzemelerde termik gerilmelere neden olmaz. Aynı zamanda cıvata ve perçin elemanlarının delikleri gibi birleştirilen malzemelerde gerilme yığılması oluşumuna neden olmaz. Yapıştırma tekniği uygulanmış birleştirmelerde yük ve gerilim tüm birleşim(yapışma) yüzeyine yayılarak oluşan tüm statik ve dinamik yüklerin dengeli ve eşit dağılması sağlanır. Bazı noktalarda yoğunlaşması engellenir ve bu sayede en tehlikeli nokta sayılabilecek bölgelerde ki dayanım artmış olur. Bu yüzden yapıştırma tekniği ile gerçekleştirilmiş malzemelerde bilenen yüklere karşı, mekanik yöntemlerle yapılan bir bağlantıdan daha dengelidir. Yapıştırma tekniği ile birleştirmenin başka bir avantajı da birleşim bölgesinin sızdırmazlığının sağlanmasıdır. Bu sızdırmazlık sayesinde mekanik yöntemlerle birleştirmede sıkça görülen korozyon oluşumu engellenmiş olur. Yapıştırma ile birleştirme tekniği ile birden fazla düzgün olmayan yüzeye sahip parçalar kolaylıkla birleştirilebilir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı Epoxy bazlı yapıştırıcılarla birleştirilen metallerin mekanik özelliklerini etkileyen yapıştırıcı kalınlığı, sıcaklık ve süre gibi faktörlerin etkisinin incelenmesidir.

Bu tez çalışmasında X5CrNi18-10 (1.4301) paslanmaz çelik ve ENAW-6013 (AlMg1Si0.8CuMn) alüminyum alaşımlı malzemeler KN-204 yapıştırıcısı ve 404 yapıştırıcısı ile tek tesirli yapıştırma bağlantısı uygulanacaktır. ENAW-6013 (AlMg1Si0.8CuMn) alüminyum alaşımlı malzeme tekstil sektöründe kalıp tutucuların yapımında kullanılmaktadır. ENAW-6013 (AlMg1Si0.8CuMn) alüminyum orta

seviye dayanıma sahip havacılık-uzay sanayi ve genel endüstri malzemesidir. X5CrNi18-10 paslanmaz çelik ise, paslanmaz çeliğin temel çeşitlerinden biri olup, en yaygın kullanılanıdır.

Tez kapsamında X5CrNi18-10 (1.4301) paslanmaz çelik ve ENAW-6013 (AlMg1Si0.8CuMn) alüminyum malzemelerinin mekanik özellikleri ve metal yapıştırma bağlantıları hakkında kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır ve bu çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında, deney numunelerinin mekanik davranışları analiz edilmiştir.

1.2 Tezin Önemi

Kumaş boyama makinelerinde paslanmaz çeliklerin alüminyum malzemelere yapıştırılarak kullanılması yaygın kullanılan bir işlemdir.

Yapıştırma parametrelerine bağlı olarak bağlantı mukavemeti de değişkenlik gösterdiğinden uygulamada sıkıntılar ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada piyasa da yaygın olarak tanınan 404 marka yapıştırıcı ve epoksi bazlı ticari bir yapıştırıcı ile farklı işlem parametrelerinde birleştirilmiş ENAW-6013 (AlMg1Si0.8CuMn) ve X5CrNi18-10 (1.4301) paslanmaz çelik bağlantılarının mekanik ve kopma/yırtılma/ayrılma yüzey özellikleri optimum birleştirme koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu iki tip malzemenin birleştirilebilirliği üzerine farklı sıcaklık, fırınlama süresi, yapıştırma kalınlığı, epoksi oranının etkisi ilk defa deneysel olarak incelenmiş hem sanayinin bir ihtiyacı giderilmeye çalışılmış hem de literatüre özgün katkılar sağlanmaya gayret edilmiştir.

1.3 Literatür Özeti

Kinloch (1987) “Adhezyon ve Yapıştırıcılar” adlı makalesinde, adhezyon olayını açıklamış ve bunun üzerine yürütülen teorileri incelemiştir. Bu incelemeler sonucunda pek çok çalışmanın birlikte kullanılması gerektiğini bulmuştur. Yapıştırma tekniğinde malzemelerin yüzeylerinin hazırlanması ve kullanılacak birleştirme

malzemesi olan yapıştırıcıların sertleşmeleri ile ilgili bazı noktalara yer verilmiştir. Yapıştırma tekniği ile oluşan birleşim bağlantılarının mekanik tepkileri ve kırılma mekaniği hakkında bulgulara yer verilmiştir. Bu bağlantıların statik ve dinamik yükleme durumları hakkında bilgiler verilmiş bunların çalışma süreleri üzerine yorumlar yapılmaya çalışılmıştır.

Krenk ve diğ. (1996) alüminyum alaşımı plakalar epoksi yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiş ve bağlantının statik ve yorulma mukavemeti, sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel çalışmalar yardımıyla incelenmiştir. Statik deneylerde 0,3mm yapıştırıcı kalınlığı, 0,1mm kalınlığa nazaran daha yüksek kopma kuvvetleri göstermiştir. Yorulma deneylerinde ise kalınlığın değişmesi, sürekli mukavemet değerlerini çok fazla değiştirmemiştir.

Lee ve Lee (1996) yapıştırma tekniğinde kullanılan yapıştırıcı türü olarak epoksi reçinesi kullanmış bu çalışmada maksimum moment taşıma kapasitesi, yapıştırma boşluğu 0,05–0,15mm olan bağlantılarda elde etmiştir. Yapıştırma boşluğu dolayısı ile oluşan yapıştırıcı kalınlığı yükseldikçe moment taşıma kapasitesi azalmıştır.

Sawa ve Uchida (1997), tek taraflı bindirme bağlantılarında yapıştırmanın ara yüzeyindeki kayma ve soyulma gerilmeleri üzerine yapıştırma tekniğindeki yapıştırıcı tabakası kalınlığının etkisini incelemişlerdir. Bulguları ise, yapıştırma ara yüzeyinde serbest uçlara yakın bölgelerde oluşan gerilmelerin yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla arttığını görmüşlerdir.

Ramani ve Zhao (1997) yapıştırma bağlantısı hazırlanırken uygulanan yüzey hazırlama yönteminde bulunan ısıtma ve soğutma, tüm bağlantı işlemi sırasında bölgeye uygulanan basınç, erime ve yeniden kristalleşme sıcaklığında kalma süresi bağlantının dayanımı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Yapıştırıcı malzemesi ve yapıştırılan malzemelerin mekanik özellikleri arasındaki fark yukarıda bahsedilen özelliklerle birleşince yapıştırıcı-yapıştırılan malzeme ara yüzeylerinde artık gerilme oluşumuna neden olur. Bağlantı yüzeyindeki iç gerilmelerin varlığı yapıştırma bağlantısının dayanımı ve sürdürülebilirliği üzerinde çeşitli etkiler oluşturabilir.

Lee ve Lee (1997) tarafından yapılmış çalışmada yüzey pürüzlülüğü $R_a=2\mu m$ olan çelik/kompozit bağlantısında yapıştırıcı malzemesi olarak epoksi reçinesi

kullanılmış, yapıştırma boşluğu 0,1–0,2mm olan bağlantılarda maksimum yük taşıma kapasitesi elde edilmiştir.

Kinloch (1997), "Mühendislikte Yapıştırıcılar" adlı makalesinde, yapıştırıcıların endüstriyel kullanımlarındaki yeni gelişmelerden olan otomotiv endüstrisi ve uçak endüstrisindeki kompozit malzeme yapımında kullanılmaları üzerinde çalışmışlardır. Yapıştırıcıların kullanılma nedenleri ve avantajları ile kullanımını kısıtlayan faktörler dezavantajları üzerinde durulmuştur. İmalatta dikkat edilmesi gereken kurallar üzerinde durulmuş adezyon, kohezyon ve curing açıklanmıştır. Çeşitli kuvvetlere maruz birleştirmelerdeki geometrinin etkisi teorik olarak incelenmiştir. Çevre şartlarının yapıştırma bağlantısının çalışma ömrü üzerindeki etkilerinin önemi açıklanmıştır.

Bezemer ve diğ. (1998) deneysel çalışmada, numuneler üç farklı yapıştırıcının beş farklı tabaka kalınlığında, üç farklı test hızıyla test edilmiştir. Yapılan testlerde silindirik çubuk malzemelerin darbe testlerine en uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı test hızında ve uygulanan darbe enerjisi karşısında en fazla absorbe edilen enerji poliüretan yapıştırıcıda 0,5mm yapıştırıcı kalınlığında elde edilmiştir. Epoksi için optimum kalınlık, en fazla enerji absorbe ettiği 0,25mm yapıştırma kalınlığı olarak bulunmuştur. Hava tabancası ile yapılan testlerde 15J'lük darbe enerjisi uygulandığında epoksi ile 0,1mm yapıştırma kalınlığında statik yük durumuna göre %90 ağırlık düşürme testine göre %35 daha fazla enerji absorbe ettiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle yüksek test hızlarında daha yüksek enerji absorbe edildiği sonucuna varılmıştır.

Mazumdar ve Mallick (1998) kompozitlerin yapıştırma tekniği ile birleştirilen bağlantıları üzerine yapılan bir çalışmada, iki kompozit (SMC) plaka epoksi yapıştırıcı ile birleştirilerek, statik ve yorulma dayanımları incelenmiştir. Deneyler sonucunda, statik kopma mukavemetinin yapıştırıcı kalınlığı kadar bindirme uzunluğuna da bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Maksimum kesme dayanımı 0,33mm yapıştırıcı kalınlığında bulunmuştur. Bağlantının 106 yük tekrarındaki yorulma dayanımının, statik dayanımın %50 ile %54'ü arasında değiştiği bulunmuştur.

Loctite Corporation (1998) silindirik şekilde yapıştırma birleşmelerinde, çaptaki boşluğun 0,05mm'ye kadar uygun olduğu belirtilmiş ayrıca 0,0–0,15 mm

aralığı tavsiye edilmiştir. Bağlantının 0,3mm boşluktaki mukavemet değerleri, 0,05mm boşluğa göre %50 oranında azalmaktadır.

Thring (1999), tek ve çift bindirmeli yapıştırma bağlantısının gerilme ve şekil değiştirme analizlerini yapmışlardır.

Ciba (1999) çalışmasında kesme mukavemetinin, yapıştırıcı kalınlığı arttıkça azalmaktadır olduğunu söylemiştir. Yapıştırıcı ile malzeme arasındaki adhezyon kuvvetleri, yapıştırıcının kendi içerisindeki kohezyon kuvvetlerinden daha fazladır. Sıcak yapıştırıcı malzemesi olarak kullanılan epoksi reçine ile yapılan çalışmada 0,1–0,5mm yapıştırma boşluğu aralığında kesme mukavemetinde düşme gözlenmiştir. Optimum yapıştırma kalınlığı 0,05–0,15mm aralığı olarak elde edilmiştir.

Kwon ve Lee (2000) tarafından epoksi reçine yapıştırıcı malzemesi ile çelik silindirik malzemeler yapıştırılarak burulma yorulmasına maruz bırakılmışlardır. Tüm çalışmada yüzey pürüzlülüğünün ve yapıştırma kalınlığının yorulma dayanımına etkisi incelenmiştir. $R_a=0,56-5\mu m$ aralığında yapılan deneylerde, maksimum yorulma dayanımı (statik kesme kuvvetinin %15' i kadar yüklenmesi durumunda) $R_a=3\mu m$ ve 0,17mm yapıştırıcı kalınlığı için bulunmuştur. Araştırma sonucunda, ortalama gerilmenin hem yüzey pürüzlülüğüne hem de yapıştırıcı kalınlığına çok bağımlı olduğu, yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırıcı kalınlığı arttıkça gerilme değerinin düştüğü belirtilmiştir.

Li ve Lee-Sullivan (2001), tek bindirmeli yapıştırma tekniği uygulanmış yapıştırma bağlantısını sonlu elemanlar yöntemi ile iki boyutlu olarak incelemişlerdir. Tek bindirmeli bağlantıya birim şekil ölçer yerleştirilerek yapıştırıcının birim şekil değişimlerini incelemişlerdir. Sonlu elemanlar yöntemi sonucu ile deneysel elde ettikleri birim şekil değişimlerini karşılamışlardır.

Ashcroftb (2002), yüksek kayma gerilmesi altındaki yapıştırma bağlantısının yorulma davranışlarını incelemiştir. Kayma gerilmesinin artması ile yorulma mukavemetinin azaldığını gözlemlemiştir.

Higuchi ve diğ. (2002) deneysel ve nümerik olarak yapılan bir çalışmada, küçük şekil değiştirme oranları ile darbe eğilme momenti altında, tek taraflı yapıştırma bağlantılarında gerilme dağılımı ve elastik gerilme dalga ilerlemesi sonlu elemanlar

metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Yapıştırılan malzemenin elastisite modülü ve yapıştırma uzunluğu artarken maksimum gerilmede artmıştır ama bu sonuçlar statik eğilme momenti sonuçları ile tezat oluşturmaktadır. Yapıştırılan malzeme kalınlığı artarken ve yapıştırıcı kalınlığı azalırken maksimum gerilme değeri artmıştır. Nümerik sonuçlar ile deneysel sonuçlar birbirine yakın değerler olarak bulunmuştur.

Higuchi ve diğ. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada, T şeklindeki alüminyum malzemenin epoksi reçine yapıştırıcı malzemesi kullanarak alından yapıştırılıp eğilme momenti uygulanarak gerilme dalga ilerlemesi ve gerilme dağılımı deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Ara yüzeydeki maksimum gerilme, malzemenin elastisite modülünün artmasıyla artmıştır. Özel olarak, malzemede uygulanan yapıştırma uzunluğu flanş uzunluğuna eşit olduğunda, malzemenin elastisite modülü azaldıkça ara yüzeydeki maksimum gerilme artmıştır. Ayrıca yapıştırma kalınlığının azalmasıyla gerilme değeri artmıştır.

Kim ve Seok Yoo (2006), tek bindirmeli yapıştırma tekniği uygulanmış bağlantının, yük karşısında oluşan durumları optik mikroskop yardımı ile hasar tespiti yapılmıştır. Sonuç olarak optik mikroskop görüntüleri incelemiştir, tek bindirmeli yapıştırma tekniği uygulanmış bağlantının ömrünü hesaplamıştır.

Fernlund (2007), çatlak içeren tek bindirmeli yapıştırma tekniği uygulanmış bağlantı için gerilme şiddet faktörü analizleri yapmıştır. Gerilme şiddet faktörünün malzeme ve yapıştırıcının elastisite modüllerine, yapıştırıcı kalınlığına ve uygulanan gerilmeye bağlı olduğunu belirtmiştir.

Woldesenbet ve Aga (2007) yapıştırma tekniği ile birleştirilmiş olan kompozitler çalışma ve üretim esnasında darbe davranışlarına maruz kalır. Bu darbe etkisi, yapıştırma tekniği ile birleştirilmiş kompozit malzemelerden oluşturulmuş parçaların bütününde mukavemete negatif etki olarak vardır. Bu çalışmada, ağırlık düşürme darbe tekniği kullanılarak değişik enerji oranlarında (5-20J) grafit/epoksi malzemeler için darbe testi yapılmıştır. Ayrıca yapıştırma kalınlığının darbe etkisi de araştırılmıştır. Deneylerde ultrasonik C-tarama metodu kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda; darbe sırasında, yapıştırma kalınlığının artması ile maksimum temas kuvvetine ulaşılmaktadır. Ayrıca yapıştırma tabakalarında yapışmamış alanların ebadı ve şekli göstermiştir ki bu olay yapıştırma kalınlığı ve darbe enerjisine bağlıdır.

Goglio ve Rosetto (2007) yapılan çalışmada, sarkaç çekiç vasıtasıyla bindirme bağlantılı deney numunelerine darbe yükü uygulanmıştır. Bu yapıştırma tekniği ile oluşturulmuş bağlantılar statik ve dinamik yükler altında incelenmiştir. Deneylerde çelik numuneler epoksi reçine yapıştırıcısı (Hysol 3425) ile birleştirilmiştir. Ortalama kayma gerilmesi değerleri, yapıştırıcının kalınlığının ve yapıştırılan malzeme kalınlığının artmasıyla azalmıştır. Deneylerde dinamik yükler uygulandığında statik yüklere göre daha yüksek gerilme değerleri çıkmıştır.

Karakaya ve Soykasap (2008), eğrilik yarıçapı yaklaşımı ile tek bindirmeli yapıştırma tekniği uygulanmış bağlantının gerilme analizini yapmıştır. Üç nokta eğme deneyi kullanarak tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında eğilme gerilmesinin hesaplanabileceği bir formül önermiştir.

Fersini ve Pirondi (2008), 2024-T3 alüminyum alaşımlı malzemenin bindirme yapıştırma tekniği ile birleştirilen bağlantıda çatlak oluşumunun ve gelişiminin belirlenmesi için çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında taramalı elektron mikroskop ile sonlu eleman programı (FRANC 2D) kullanmışlardır. Sonuç olarak çatlak ucunda hem açılma hem de kayma olduğu gözlemlenmiş ve bunlara bağlı gerilme şiddet faktörü değerleri hesaplamışlardır.

Critchlowb (2009), tek bindirmeli yapıştırma tekniği kullanılan bağlantılarında çatlak oluşumu ve ilerlemesini incelemişlerdir. Yapılan araştırma ve deneyler sonucunda; düşük yorulma yüklemelerinde çatlak ilerlemesi yavaş olurken, yüksek yorulma yüklemelerinde çatlak ilerlemesi daha hızlı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ghibirgiu (2009), bindirme yapıştırma tekniği kullanılan bağlantıda kullanılan yapıştırıcının mod II kırılma tokluk değerini (KIIC) belirlemişlerdir. Kırılma tokluk değerini belirlemede çentikli eğme deneyini kullanmışlardır. Epoksi yapıştırıcının enerji serbest kalma oranı ve kırılma tokluk (KIIC) değerini hesaplamıştır.

Fernandez-Saez (2010), epoksi reçine yapıştırıcı malzemesinde çatlak ilerlemesini çentikli eğme deneyi yaparak incelemişlerdir. Deneyde kamera ile video kaydı kullanılarak çatlak ilerlemesi kaydedilmiştir. Yük deplasman grafiği kullanılarak enerji serbest kalma oranı hesaplanmıştır.

Ming Jen ve Wei Ko (2010), tek bindirmeli yapıştırma tekniği kullanılmış bağlantının yorulma mukavemetini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, yüksek kayma gerilmesi altındaki yapıştırıcıların yorulma mukavemetinin düşük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Benderdouche (2010), bindirme yapıştırma tekniği kullanılmış bağlantıda yapıştırılacak malzeme alüminyum, yapıştırıcı malzemesi ise boron epoksi reçine seçilmiştir. Sonlu elemanlar analizinden elde edilen soyulma ve kayma gerilmelerini literatür ile karşılaştırarak doğrulamışlardır.

Da Silva (2011), enerji hasar kriterlerini kullanarak yapıştırıcıda çatlak ilerlemesini incelemiştir. Yapıştırıcının sünek ya da gevrek olmasının çatlak ilerlemesi davranışına etkisi olduğunu gözlemlemiştir. Hem sünek hem gevrek yapıştırıcı için çatlak ilerlemesini öngörecektir yeni hasar kriterleri önermiştir.

Sayman (2012), yaptığı çalışmada üç farklı dayanıma sahip malzemeleri yapıştırma bağlantısı ile birleştirmiş ve bunları kayma direncine göre kıyaslama yapmıştır. Bu kıyaslamalar sonucunda daha sert olan malzemenin daha yüksek kayma gerilmesine dayandığı ve dolayısıyla çelik-çelik ikilisinin kompozit-kompozit ikilisine göre daha yüksek mukavemet gösterdiğini bulmuştur.

Wei ve Yueguang (2012), yaptığı çalışmada tek bindirmeli yapıştırma bağlantısında çekmeye maruz kalan bağlantının hasar durumunu incelemiştir. Çalışmanın sonuçları kırılma enerjisinin büyük etkisini, yük taşıma kapasitesinde gösteriyor. Enerji ve kırılma enerjisini araştırırken, yapıştırıcının ayrılma dayanımı önemlidir. Aynı zamanda yapıştırıcının ayrılma dayanımı, kırılma tokluğu ve yapıştırıcının kırılma enerjisinden kaynaklandığını bulmuştur.

Sayman ve diğ. (2013) yapmış oldukları çalışmada tek bindirmeli bir bağlantının yük taşıma kapasitesini incelemişlerdir. Deneyler 4 farklı sıcaklık ve 4 farklı darbe yükünde 2 farklı pürüz olarak yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre pürüzlü yüzeyin dayanımının yüksek olduğu, bağlantının yük taşıma kapasitesinin sıcaklıkla değişim gösterdiğini bulmuşlardır.

Anyfantis ve Tsouvalis (2013) çalışmasında metal malzemelerle yaptığı farklı tiplerdeki modlarla yapılan deneyleri sonlu elemanlar metodu ile birlikte incelemiştir.

Sonuçlara göre tek bir tipten değil tüm kırılma tiplerinden oluştuğu bulunmuştur. Bu deney sonuçları sonlu elemanlar metodu sonuçları ile uyumluluk göstermiştir.

Özel (2014) çalışmasında farklı birleştirme geometrilerine sahip malzemeleri farklı kalınlıklara sahip alüminyumlarla tek bindirmeli bir yapıştırma bağlantısını deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile incelemiştir. Sonuçlar 4 farklı birleştirme açısının, farklı kalınlıkların yapıştırma bağlantısının yük taşıma kapasitesini etkilediğini ve oluşan gerilmelerin farklı olduğunu bulmuştur.

Akpınar ve diğ. (2014) dört farklı (dolgusuz, serbest uçları dolgulu, bindirme uzunluğu boyunca dolgulu ve bindirme bölgesinin tüm kenarları dolgulu) bağlantı tipi için bir gözlem yapılmıştır. Yapıştırıcı ile birleştirme yapılmış malzemelerde gerilme yoğunlaşmasının azaldığı ve bağlantının mukavemetinin arttığını bulmuştur.

Soykok (2015) yapıştırma işlemini pim şeklinde yaptığı çalışmada yapıştırıcıda pim etkisi üzerine çalışmıştır. Merkez ya da çapraz iki delik açılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapıştırıcı açılan deliklerden yüzeye dolgu yapılmıştır. Kürleşme sonrası pim görevi görmesi beklenen yapıştırıcı bu etkiye gösterememiştir. Bunun sebebi olarakta delik bölgesinde oluşan gerilme yığılmaları gösterilmiştir.

Alyanak ve diğ. (2015) çalışmasında pim ve yapıştırma hibrit bağlantısı uygulanmış kompozit malzemeler çekme yükünde gerilmelere maruz bırakılmış ve sonuçlarını ele almıştır. Sonuçlar için sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Üç boyutlu sonlu elemanlar metodu sonuçları, hibrit bağlantıdaki çekme gerilmelerinin değerlerinin ve homojen olmasının etki ettirilen çekme yükü miktarının değişimine bağlı olarak değiştiğini bulmuştur.

Gültekin ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada tek tesirli bir yapıştırma bağlantısını 4 farklı yöntem kullanarak incelemişlerdir. Deneylerden elde edilen hasar yükünü incelediklerinde, nano takviye yöntemlerinin yapıştırma bağlantılarının hasar yükü ve standart sapmanın üzerinde büyük etkisi olduğu literatürde gösterilmesine rağmen, bu çalışmada yapıştırma bağlantılarının hasar yükünü artıran ve standart sapmayı minimize eden yeni bir metot geliştirmişlerdir. Bu geliştirmelerin yapıştırma bağlantılarının güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini artırdığını belirtmektedirler.

Campilho (2017) çalışmasında birleştirme bağlantılarının yükleme kapasitesinin hesaplanması ve bağlantının ayrılması için bölge modelleme tekniği kullanmıştır. Yapıştırma bölge elemanları kullanılmıştır ve sonuçlardaki başarısızlık düşük mukavemet ve kırılma tokluğu ile tanımlanmıştır.

de Sousa ve diğ. (2017) çalışmasında farklı yapıştırıcı tipleri ile ilgili kapsamlı bir inceleme yapmıştır. Çalışma, kırılmalardan yüksek sünekliğe kadar üç tip yapıştırıcı ve düşük mukavemetten yüksek mukavemete kadar üç tip dayanım içerir. Son derece sünek malzeme, üst üste binme ile neredeyse doğrusal orantılı artış göstermiştir. Bununla birlikte, üst üste binme arttıkça eklemelerin yükleme kapasitesi ortaya çıksa bile, artışlar yavaş yavaş düşmüştür. Kırılmal malzeme en az kapasite artışı göstermiştir ve üst üste binme uzunluğu ile orantı doğrusal değildir. Çalışmanın sonuçları, en etkili faktörün bağlayıcı ajanın sünekliği ve dayanıklılığı olduğunu göstermiştir.

Özer ve diğ. (2017) Dean ve Crocker bağlı bölgedeki deformasyonla ilgili bir rapor hazırlamışlardır ve deformasyonu Drucker-Prager malzeme modelini kullanarak simüle etmişlerdir. Potansiyel başarısızlığı tahmin etmek ve altta yatan mekanizmayı anlamak için basınca bağımlı davranışın gerekliliğini vurgulamışlardır. Özer, bağlantılarda iki yapışkanlı kullanım ve yükleme kapasitesi tahmini için başka bir araştırma yaptılar, ancak bu kez deformasyon, Drucker-Prager verim kriterini kullanarak modellemişlerdir.

Kupski ve diğ. (2018) kompozit birleştirme bağlantılarında birleştirmelerin başarı durumunu incelemişlerdir. Bu çalışmada 4 farklı birleştirme bölümüne sahip kompozitler yapıştırılmıştır. Testlere ve analiz sonuçlarına göre yapıştırıcıların bükülme sertliğindeki artışın hasarın başlangıcındaki yükü arttırdığını ve hatta hasarın başlamasına neden olduğunu gözlemlemiştir. 0° birleştirme geometrisinde hasarın yapıştırma bölgesinde olduğu sonucuna, 90° birleştirme geometrisinde ise hasarın yapıştırıcının kendi iç bölgesinde olduğunu bulmuşlardır.

Kırkayak (2019) von Mises verim kriteri kullanılarak farklı yönlere sahip kompozit tabakalar için yapıştırma bağlantı bölgesindeki stres alanlarını da gözden geçirmiştir.

Literatür incelendiğinde farklı yapıştırıcı türleri üzerinde kalınlık, sıcaklık ve süre gibi parametreler uygulanmıştır. Bu çalışmada KN-204 yapıştırıcısı daha önceden bilinen 404 plastik çelik yapıştırıcısı ile karşılaştırılarak literatüre bu yapıştırıcı hakkında bilgi kazandırılacaktır.



2. YAPIŞTIRICI VE YAPIŞTIRMA TEKNİĞİ

Yapıştırıcıyı tanımlarken malzemeleri bir arada tutan malzeme diyebiliriz. Yapışmanın tanımı ise iki yüzeyin çekim kuvvetleriyle bir arada tutturulması olayıdır. Yapıştırıcı ile birleştirme tekniği yapıştırıcı bölgesindeki uygulanan gerilmenin düzenli dağılımı, yapıştırıcı bölgesinde yük transferinin başarılı bir şekilde sağlanması, uygulanan kuvvete göre hafiflik, mekanik bağlantılara kıyasla darbe sönümleme yeteneği, sızdırmazlık sebebi ile korozyona karşı direnç, çeşitli yapı ve dizaynlara imkan sağlaması, basit birleştirme, maddi açıdan ve zaman açısından kazanç ve farklı malzemelerden imal edilmiş elemanların birleştirilmesi gibi önemli etkenlerden dolayı bilenen bağlantı elemanları yerine tercih sebebi olup endüstriyel birçok alanda bunlarında ön önemlileri olarak uzay ve hava endüstrisinde kullanılmaktadır.

Yapıştırıcı kullanımına karar vermeden önce dikkate alınması gereken bazı faktörler vardır. Örneğin, yapıştırıcı yapıştırılacak malzemelere uygun olmalı, imalat yöntemiyle uyuşmalı, hesaplanan çalışma yüklerine ve çalışma ortamına dayanmalıdır. Ayrıca yüzey hazırlığı, uygulama yöntemi, kürleşme sistemi ve bunların süre ve maliyetleri de dikkate alınmalıdır.

2.1 Yapıştırma

Yapıştırma olayını bilmek ve anlayabilmek için en temel kavramların bilinmesine ihtiyaç vardır. ASTM D907 standardında yapıştırma ve yapıştırıcılar ile ilgili açıklamalar mevcuttur. Yapıştırma olayı malzemeleri yapıştırıcıyla birleştirmektir. Yapıştırıcı kendi içinde kohezyon kuvveti ve malzeme ile yapıştırıcı arasında adezyon kuvvetleri ile oluşur.

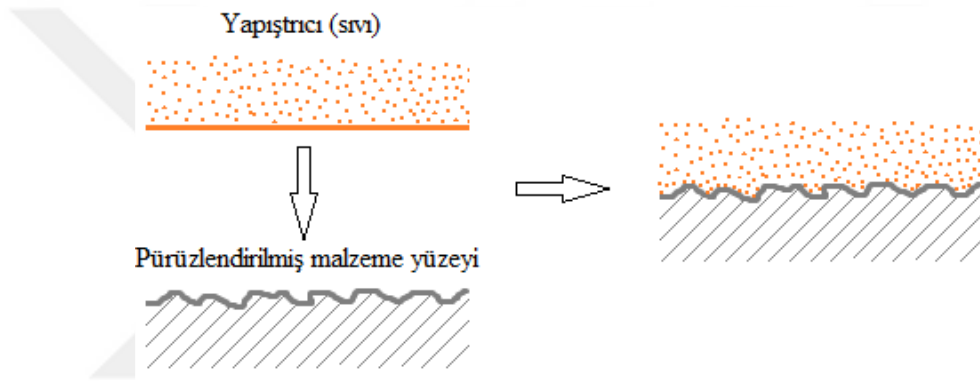
2.1.1 Adhezyon

Adhezyon yapıştırıcı ile yapıştırılan yüzey arasında oluşur. İki yüzeyin ara yüzey kuvvetleri tarafından bir arada tutulmasıdır. Adhezyon olayını tanımlayabilmek ve anlayabilmek için bazı teoriler ortaya atılmıştır. Tek bir teorinin yapışma işlemini

açıklaması ve tam anlamıyla aktarabilmesi neredeyse imkansızdır. Bu yüzden bu teorilerin birbiri ile kombinlenmesi sonucu yapışma işlemi açıklığa kavuşmaktadır.

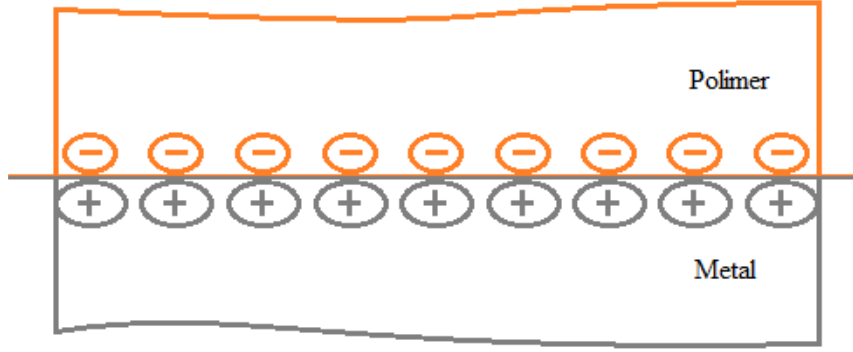
Bu teorilerin bazılarını kısaca aktarmak gerekirse:

Bunlardan ilki olan mekanik kilitlenme teorisi 1925 yılında MacBain ve Hopkins tarafından öne sürülmüştür. Bu teoride yüzey üzerine uygulanan yapıştırıcının yüzey üzerinde ki pürüz ve gözeneklere dolması ve yapıştırıcının kürleşmesi ile mekanik olarak kilitlenmeyi sağlayacağını ve bu yüzden de bağlantının dayanımına olumlu bir etki vereceğini söylemişlerdir. Şekil 2.1’de yapıştırıcının malzeme üzerindeki pürüzleri doldurarak kilitlenmeyi sağladığı gösterilmiştir.



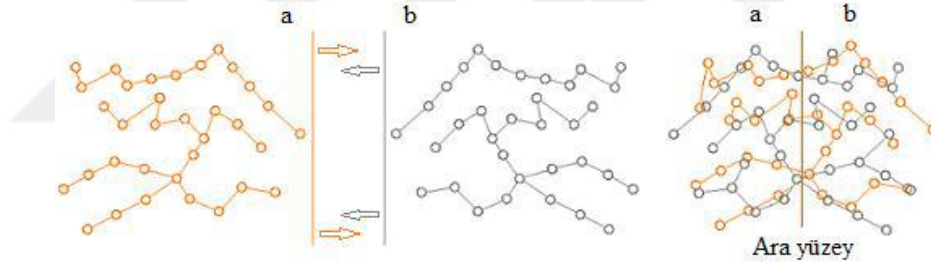
Şekil 2.1: Mekanik kilitlenme teorisi (Yang 2001)

Bir başka teori ise elektrostatiktir. İlk olarak bu teoriyi 1948 yılında Deryaguin öne sürmüştür. Yapıştırma işleminde yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasındaki elektron transferinin, yapışmayı sağlayan bir çekim alanı yarattığını öne sürmüştür ve bu yapıştırılan malzeme ve yapıştırıcı arasında oluşan bağda kapasitöre benzetmiştir. Şekil 2.2’de yapıştırılan malzeme ve yapıştırıcı arasındaki elektriksel bölge gösterilmiştir.



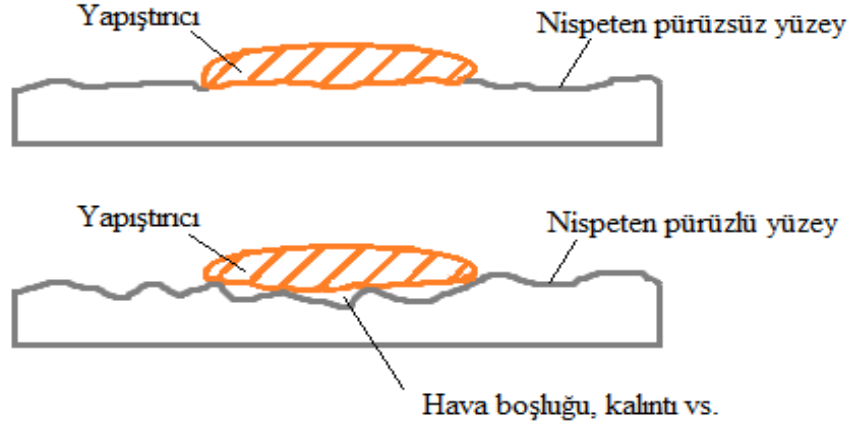
Şekil 2.2: Polimer metal ara yüzeyinde elektriksel tabaka oluşumu (Sun 2008)

Diğer bir teoride difüzyon teorisidir. İlk olarak 1963 yılında Voyutskii tarafından ileri sürülmüştür. Yapıştırılacak malzeme ile yapıştırıcı malzemenin moleküler boyutta birbirleri içine difüze olmasıyla yapışmanın sağlandığını belirtmiştir. Burada bir detay vardır. Buda malzemelerin birbirine difüze olabilmeleri için kimyasal uyumluluk gerekmektedir. Bu yüzden sınırlı olan bir teoridir. Şekil 2.3'te difüzyon teorisi şematize edilmiştir.



Şekil 2.3: Yapıştırıcı molekülleri (a) ve Malzeme moleküllerinin (b) difüzyonu (Sun 2008)

Bir diğer önemli teoride ıslatmadır. Bu teoride yapışmanın yapıştırılacak malzeme ile yapıştırıcı malzemesinin yüzey kuvvetleri arasındaki moleküler bağlantıdan oluşturulduğu söylenmektedir. Bağın oluşumunda ilk olarak ara yüzey kuvvetlerinin güçlenmesi vardır. Yapıştırılacak malzeme ile yapıştırıcı malzemenin arasında devamlı bir temasın olmasına ıslatma denir. Islatmada önemli olan detay yapıştırıcının yüzey gerilmesinin yapıştırılacak malzemenin kritik yüzey gerilmesinden daha az olması gerektiğidir. Şekil 2.4'te yapıştırıcı malzemenin yapıştırılan yüzeyi iyi ve kötü ıslatması gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Yapıştırıcının yüzeyi iyi ve kötü ıslatma örneği (Petrie 2002)

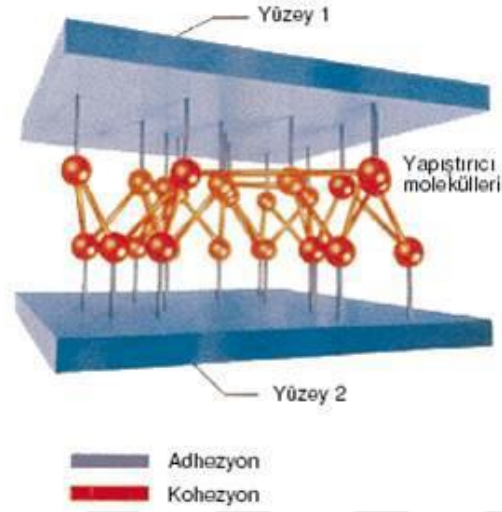
Bir başka önemli teoride kimyasal bağlar teorisidir. Bu teorinin dayanak noktası yapışma yüzeyinde kimyasal kuvvetlerin yapışmayı sağlaması üzerine kurulmuştur. Bu kuvvetleri iyonik, kovalent, metalik bağlar olarak birincil ve van der Waals kuvvetleri, hidrojen bağları, asit baz etkileşimlerini kapsayan ikincil kuvvetler olarak 1980 yılında Kinloch ayırmıştır. Birincil kuvvetlerin bağ enerjileri 60-1050 kJ/mol, ikincil kuvvetlerin bağ enerjileri 0,08-40 kJ/mol arasındadır. Birbirinden bir nanometre kadar ayrılan iki yüzey arasında oluşan çekim kuvveti yaklaşık 100 MPa olarak hesaplanmıştır ve bu yapıştırma bağlantısı mukavemetinden yüksektir (Kinloch, 1980). Bu aradaki fark ise kusurlarda kaynaklanmaktadır.

Son olarak ise zayıf sınır tabakası teorisi vardır. Bu teori ilk olarak 1967 yılında Bikerman tarafından ortaya çıkarılmıştır. Bu teoriye göre yapıştırma tekniği ile oluşan bağlantıdaki oluşan hasar zayıf sınır tabakası nedeniyle oluşmaktadır. Bu oluşum yapıştırıcı malzeme, yapıştırılan malzeme, çevre veya bu faktörlerin bir kombinasyonu ile olabilir. Yapıştırılacak malzemelerin yüzeylerinde kirletici tabakaların olması sebebiyle zayıf sınır tabakaları meydana gelecek ve oluşacak hasarlar bu zayıf sınır tabakaları yüzünden gerçekleşecektir (Bikerman 1967).

2.1.2 Kohezyon

Kohezyon olayı yapıştırıcının kendi içinde oluşan bir olaydır. Yapıştırıcıyı oluşturan kombinasyonların molekülleri arasında oluşan ve bu tüm yapıştırıcı malzemesini bir arada tutan kuvvete denir.

Adhezyon ve kohezyon mekanizması Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.5: Adhezyon ve kohezyon olayları (Loctite Corporation 1998)



Şekil 2.6: Adhezyon ve kohezyon olayları (Temiz 2010)

2.2 Yapıştırma Özelliklerine Etki Eden Faktörler

Fiziksel ve kimyasal sebeplerden dolayı yapıştırıcı malzemenin içerisinde yer alan polimerik maddeler yapışmayı sağlamaktadır. Bu faktörler ile ilgili kısaca bazı bilgiler aşağıda belirtilmiştir (Kaya 2004). Bu faktörlerin kombinasyonları veya tekil etkileri yapıştırma işleminin gerçekleşmesinde önemli rol oynamaktadır. Her yapıştırıcı türü için etki eden bu faktörler farklılık gösterebilir.

2.2.1 Yüzey pürüzlülüğü

Literatürde, yapıştırma bağlantısı için en uygun yüzey pürüzlülüğü olarak $Ra=1-3\mu m$ alınması gerektiği belirtilmektedir (Lee 1997, Kwon 2000). Çok parlak yüzeylerde, yapıştırıcının tutunma olasılığı azaldığı için mukavemet değerleri azalmaktadır. Çok kaba işlenmiş yüzeylerde de ($Ra >5 \mu m$) tam ıslanma ve adhezyon olayı sağlanmadığı için aynı durum söz konusudur.

2.2.2 Yapıştırma kalınlığı

Literatürde, yapışma kalınlığı için optimum değer olarak yaklaşık 0,1-0,3mm ölçüleri önerilmektedir (Krenk 1996, Lee 1997, Bezemer 1998, Loctite 1998, Kwon 2000).

2.2.3 Zaman

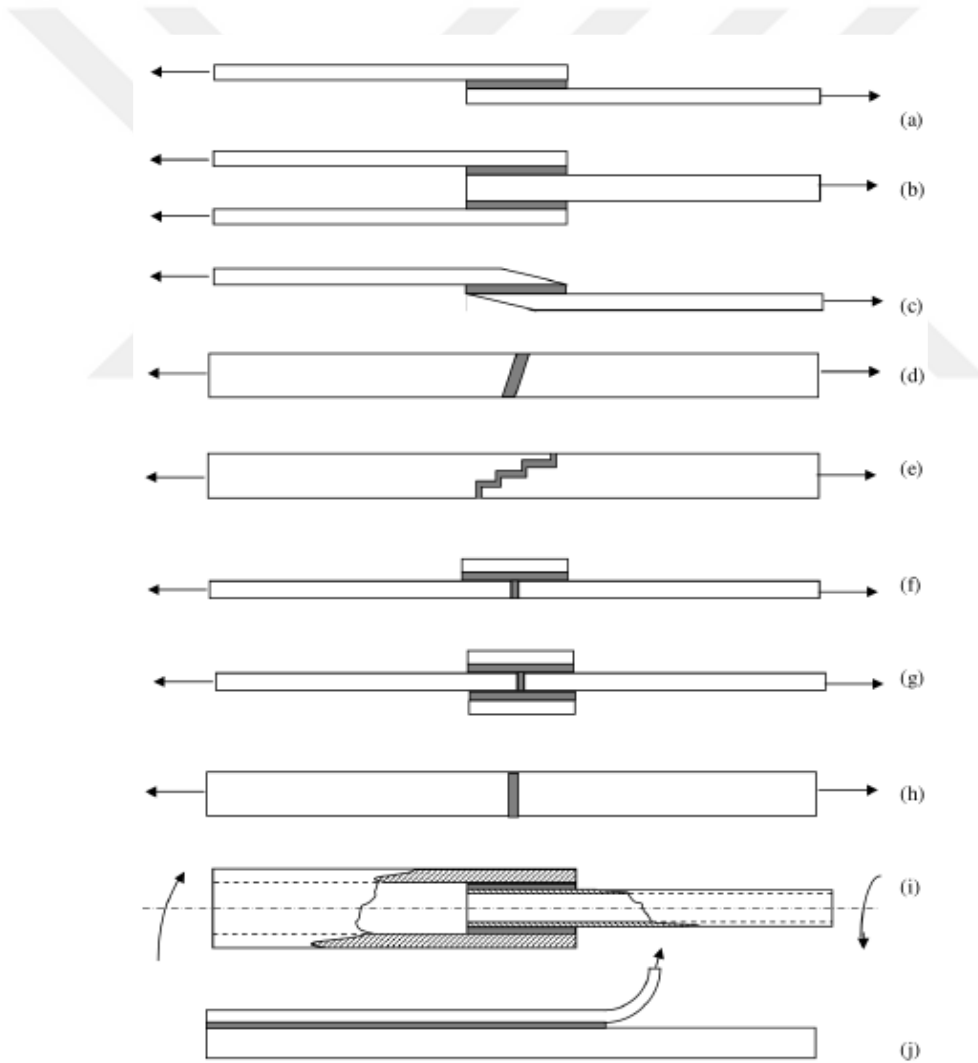
Yapıştırıcının kürleşerek etkin hale gelmesi birkaç saniyeden birkaç güne varan sürelerin geçmesi gerekir. Geçen bu süre yapıştırıcının etken olma süresidir. Bu süre sıcaklık ve basınçla azaltılabilir.

2.2.4 Sıcaklık

Yapıştırıcıların çoğu oda sıcaklığında uzun sürelerde etkili olurlar. Ancak yüksek sıcaklıkla yapıştırıcı daha etken olur ve yapışma süresi kısalır. Birçok kimyasal reaksiyonda olduğu gibi sıcaklıkla reaksiyon hızında artış olur. Ancak sıcaklığın kontrolü yapılmalıdır. Aksi halde yapıştırıcıyı oluşturan polimerik maddenin bozunması ihtimaliyle karşılaşılır.

2.3 Yapıştırma Geometrileri

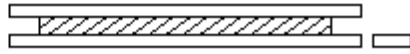
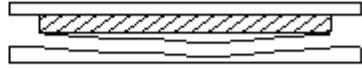
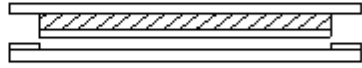
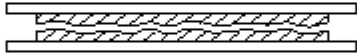
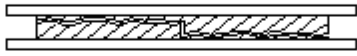
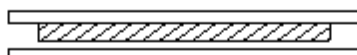
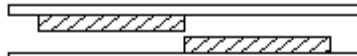
Yapıştırma tekniği ile oluşan bağlantıların kullanılacak bölgedeki arzu edilen yükleri taşıyabilmesi ve mekanik özellikleri gösterebilmesi için bazı koşulların oluşması gerekmektedir. Yapıştırıcı tipi, yapıştırılan yüzeylerin kalite durumu ve yüzey hazırlama teknikleri, yapıştırıcı malzemenin kalınlığı gibi unsurlarda dikkate alınarak tasarım gerçekleştirilir. Bir yapıştırma tekniği uygulanmış bağlantıda tüm yükleme durumlarının (kayma, basma, çekme ve soyulma) kombinasyonu yüklenebilir. Bu yüzden bağlantı tasarımı yaparken maruz kalacağı yükleri göz önüne alarak tasarım geometrileri oluşturulur. Şekil 2.7’de mühendislikte çeşitli uygulamalarda sıkça kullanılan yapıştırma bağlantı tipleri verilmiştir.



Şekil 2.7: Yapıştırma bağlantı tipleri, (a) Tek taraflı bindirme bağlantısı, (b) Çift taraflı bindirme bağlantısı, (c) Pahlı bindirme bağlantısı, (d) Açılı bindirme bağlantısı, (e) Kademeli bağlantı, (f) Tek taraflı takviyeli alın bağlantısı, (g) Çift taraflı takviyeli alın bağlantısı, (h) Alın bağlantısı, (i) Silindirik bindirmeli bağlantı, (j) Soyulma (Adams ve diğ. 1997)

2.4 Yapıştırma Bağlantılarında Oluşan Hasar Tipleri

Farklı yükleme şartlarında yapıştırma bağlantılarının veya yapıştırıcının mekanik özelliklerinin tamamıyla anlaşılabilmesi için, hasar tiplerinin karakterize edilmesi gerekir. Bir grup malzeme veya parçanın yapıştırıcı ile bir araya getirildiği yapıştırma bağlantılarında genel olarak iki tip hasar modeli (adhezyon ve kohezyon hasarları) karşılaşılır (TS EN ISO 10365). Temel hasarın ne olduğunu anlayabilmek demek bir yapıştırma bağlantısına uygulanan mekanik testlerin sonuçlarının anlaşılmasına ve hasar çeşitlerinin bulunmasını sağlar. Temel hasar tipleri Şekil 2.8’de gösterilmiştir.

	Hasar Tipleri	
		
Yapıştırılan malzemede meydana gelen hasarlar	Yapıştırılan malzemelerin birinde veya ikisinde de hasarın olması	
		
	Kohesiv yapıştırılan malzeme hasarı	
Yapıştırıcıda meydana gelen hasarlar		
	Kalkma (Deleminasyon) yoluyla hasar	
		
	Kohezyon hasarı	
		
		
	Özel kohezyon hasarı	
		
		
	Adhezyon hasarı	

Şekil 2.8: Temel hasar tipleri (TS EN ISO 10365 2001)

2.4.1 Adhezyon Hasarı

Adhezyon yapıştırıcı ile yapıştırılan yüzey arasında meydana gelen hasardır.

Adhezyon hasarını önlemek için yapılması tavsiye edilen bazı durumlar vardır bunlar:

- Uygun yapıştırma kalınlığı
- Uygun malzeme
- Uygun tolerans
- Uygun yüzey pürüzlülüğü
- Uygun bir yüzey temizleme işlemi
- Uygun kürleşmenin (sertleşmenin) gerçekleşip gerçekleşmediğinin bilinmesi
- Uygun çalışma sıcaklığı
- Ve yüzey alanı geniş tutulmalı ya da uygun geometri ve kuvvet uygulanmalıdır.

2.4.2 Kohezyon Hasarı

Yapıştırma tekniği kullanılan bağlantıda yapıştırıcının malzemesinde veya yapıştırılan malzemede görülebilir bir hasarın olduğu kopma şeklidir. Kopma işlemi gerçekleştikten sonra yapıştırıcı malzeme her iki malzeme yüzeyinde de bulunur.

Normal koşullarda pratikte ve teoride, eğer bir hasar oluşacaksa bunun kohezyon hasarı olması istenir. Eğer böyle olmamış ise bunun sebebi yapıştırma tekniğinde uygulanan bir hatadır.

2.5 Yapıştırma Yüzeyi Hazırlama Yöntemleri

Yüzey hazırlama yapıştırmanın en önemli adımlarından biridir. Çünkü bu aşama aslında yapışma dediğimiz olayın gerçekleştiği yüzeye yapılan bir işlemdir.

Yapıştırma işleminde ki dayanımın yüksek olması için hasar durumlarının minimize hale getirmek için ve oluşacak bir hasar durumunda da bunun beklenen hasar tipinde olması için çok dikkatli ve özenli bir yüzey hazırlama protokolü gerçekleştirilir. Yüzey hazırlama yapılırken ihtiyaç duyulan dayanım ve hizmetin verileceği ortam ve çevre şartları dikkate alınmalıdır. Yüzey hazırlama yöntemleri şunlardır:

2.5.1 Yağ Temizliği

Yapıştırmada en yüksek dayanım ve ömür için yapıştırılacak malzeme yüzeylerinde yağ, toz ve benzeri etki edecek herhangi bir kalıntının tamamen temizlenmesi gerekir. Kalıntı bırakmadan buharlaşan solventler buna uygundur. Aşağıda bu amaç için kullanılan solventler verilmiştir.

Tablo 2.1: Yağ temizliğinde kullanılan solventler (Loctite 1998)

Solvent	Temizleme Kapasitesi	Yanıcı veya parlayıcılığı
Hidrokarbonlar(izoprafenler)	İyi	Evet
Ketonlar(aseton)	İyi	Evet
Alkoller(izopropanol)	Orta	Evet
Su bazlı	İyi	Hayır

Eğer seri imalatlar için özel yağ alma banyoları kullanılıyorsa, temizlik banyosunun kirlenmemesi için çok kirli yüzeylere banyo öncesi kaba (ön) temizlik yapılması tavsiye edilir. Buharlı yağ alma sistemleri de çok sık kullanılmaktadır. Bu yöntemde solvent kaynama noktasına kadar ısıtılır ve buharlaştırılır. Soğuk parçalar buharlaşmış temizleyiciyle temas ettiğinde, temizleyici yüzeyler üzerinde yoğunlaşır. Yoğuşan sıvı yüzeylerde kalmış kir, pas ve gres parçacıkları temizler.

Yapıştırılacak yüzeylerde yağ, gres vb. kirletici unsurlar deterjan kullanılarak da temizlenebilir. Genellikle kullanılan deterjanın alkalın olması tavsiye edilir. Alkalın veya asit bazlı su temizleyiciler her zaman korozyon önleyici içerirler. Bunlar eğer temizleme sonrası yüzeyde kalırsa yapışma kuvveti azalabilir veya yapıştırıcının sertleşmesini engel olabilir. Her durumda tüm yüzeyler iyice durulanmalı veya

silinmelidir. Solventlerle temizlik yapılırken daha iyi netice almak için yüzeylerden kiri ayıran kimyasal işlem, mekanik yöntemlerle de desteklenebilir.

2.5.2 Mekanik Aşındırma

Yapıştırılacak olan malzemelerin yüzeyleri çoğunlukla oksit tabakasıyla kaplıdır. Bu tabaka ise yağ alma diye belirtilen işlem ile yok edilemez. Bu yüzden mekanik olarak bazı ön işlemler yapma zorunluluğu doğar. Bu mekanik işlemler kumlama, taşlama ve zımparalamadır. Bir yapıştırma tekniği uygulanmış bağlantının dayanımına etki eden faktörlerden çok önemli bir tanesi yüzey pürüzlülüğüdür. Bu etki malzemenin yüzey alanını arttırarak sağlanır. Dolayısıyla malzeme ile yapıştırıcı arasında kimyasal bağ artar. Zımparalama geniş yüzeyleri temizlemek için iyi bir yöntemdir. Çok kalın zımpara kullanmamak kaydıyla, bu yöntemde istenilen yüzey pürüzlülüğü elde edilir. Bağlantı dayanımı genellikle yüzey pürüzlülüğünün derecesine bağlıdır. Tablo 2.2’de farklı metaller için tavsiye edilen aşındırıcı boyutları verilmiştir.

Tablo 2.2: Metal yüzeyler için önerilen zımpara numaraları

Metal Yüzeyi	Zımpara Yöntemi	Zımpara Numarası
Çelik	Kuru zımpara	80-100
Paslanmaz Çelik	Islak zımpara	140-325
Alüminyum	Islak zımpara	140-325
Pirinç	Islak zımpara	140-325

Literatürde, metal yapışma yüzeyleri için en uygun yüzey pürüzlülüğü olarak $Ra=1-3\mu m$ alınması gerektiği belirtilmektedir (Lee 1997, Kwon 2000). Çok parlak yüzeylerde, yapıştırıcının tutunma olasılığı azaldığı için mukavemet değeri azalmaktadır. Çok kaba işlenmiş yüzeylerde de ($Ra > 5\mu m$) tam ıslanma ve adhezyon olayı sağlanamadığı için aynı durum söz konusudur. Aşırı pürüzlü yüzeyle, bağlantıda boşluklar oluşturacağından dayanımı olumsuz yönde etkileyebilir. Ayrıca bu durum sonunda ıslanabilirlik (yapıştırıcının yüzeyi kaplama kabiliyeti) iyi olmayabilir ve girintilere sıkışan hava kürleşen yapıştırıcı içinde kalabilir.

2.5.3 Kimyasal Aşındırma

Yağ temizliği ve mekanik aşındırma yapıştırma için yeterlidir. Ancak yapıştırmanın daha iyi olabilmesi ve yapıştırıcının daha iyi tutunabilmesini sağlamak için yapıştırılacak yüzeylere kimyasal bir işlem yapılabilir. Bu yapılan işlem sayesinde yapıştırma ile oluşan bağlantının hem mukavemetini hem de dayanım ömrünü arttırmak mümkündür. Kimyasal aşındırmaları metalik ve plastik malzemelere uygulananlar olarak ayırabiliriz.

2.5.3.1 Metalik Malzemelerde Kimyasal Aşındırma

Metal gruplarını ayrı ayrı inceleyebiliriz. Çünkü kimyasal aşındırma uygulanan her metalde farklı sonuçlar doğuracaktır. Bu sonuçlar ancak aynı yöntem ve yapıştırıcı ile yapılacak farklı metallere uygulanan deneyler ile görülebilir.

Metalik malzemelerin bazılarında yapılacak işlemleri biraz açmak gerekir.

2.5.3.1.1 Alüminyum ve Alaşımları

Alüminyum Honeycomb Panel: Panelin üzerinde herhangi bir sorun varsa örneğin leke gibi o zaman işlem yapmaya gerek vardır. Ancak böyle bir şey yoksa o zaman işlem yapmaya gerek yoktur. Leke durumu varsa yağından arındırmak için yapılan işlemler yapılır ve alüminyum panel kurutulur.

Alüminyum Levha: Yapışma yüzeylerinin aşındırılması alüminyum levhalarda çok sünek oldukları için çok dikkatli yapılması gerekir. Alüminyumun alaşımı ve yapılacak işlemin türüne göre alüminyum levhanın üzerindeki oksit tabakası istenen film kalınlığına getirilerek uygun yapışma şartları sağlanabilir. Alüminyum levhalara yapılan kimyasal işlemler dört adet ve şöyledir. Kromik/Sülfirik asit dağlama yöntemi, kromik asit anotlama yöntemi, fosforik asit anotlama yöntemi, sülfirik asit anotlama yöntemidir.

Anotlanmış Alüminyum: Anotlanmış bir alüminyumun yapıştırma işlemi için verimliliği neredeyse yoktur. Bunun sebebi dış bir katmanın yapıştırma işlemini

engellemesidir. Anotlama işlemi korozyona karşı alınmış bir önlemdir. Eğer yapıştırma ile bağlantı yapılacaksa öncesinde mutlaka alüminyum üzerindeki anot kaplaması kaldırılmalıdır. Bu kaldırma işlemi için mekanik aşındırma istenen sonucu vermez. Alüminyum levhadaki anodik film kromik/sülfirik asit ile ancak istenilen düzeyde kaldırılabilir. Bu işlem bittikten sonra ancak kimyasal işleme devam edilebilir.

2.5.3.1.2 Bakır ve Nikel Malzemeler

Bakır ve nikel malzemeleri yağ temizleme ve mekanik aşındırma ile yapıştırma işlemine hazırlayabiliriz. Bunun dışında kimyasal olarakta 23°C’de olan konsantre nitrik asit solüsyonu ile yüzeyin dağlanması sağlanabilir ve yüzey hazırlığı yapılabilir. Dağlama işlemi için solüsyonlar Tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3: Bakır ve nikel malzeme için dağlama (Solmaz 2008)

Malzeme	Bakır ve Alaşımları	Nikel ve Alaşımları
Dağlama Solüsyonu	Nitrik Asit ve 1/3 Oranında Su	Sulandırılmış Konsantre Nitrik Asit
Daldırma Süresi	30 Saniye	5 Saniye

2.5.3.1.3 Düşük Mukavemetli Çelikler

Klasik yöntem olarak yağ alma ve mekanik aşındırma uygulanabilen düşük mukavemetli çeliklere kimyasal dağlama işlemi de yapılabilir. 60°C’de hazırlanmış ½ oranında ki ortofosforik asit ve metil alkol çözeltisine 10 dakika süre ile daldırılır ve dağlama yapılır.

Dağlama yapılan malzemeler dağlama işleminin ardından soğuk su ile temizlenir ve yumuşak bir fırça yardımıyla fırçalama işlemi yapılır. Ardından dağlanan malzeme 120°C’de 60 dakika fırında kurutulur. Yapılan bu işlemler yapıştırma bağlantı mukavemeti ve ömrü için düşük mukavemetli çeliklerdeki en uygun yöntemlerden biridir.

2.5.3.1.4 Paslanmaz Çelikler

Yapıştırma ile oluşturulan bağlantılarda yapıştırılan yüzeylerin paslanmaz çelik olması birleşme ve dayanım açısından genelde tercih edilmemektedir. Ancak yine de yapıştırma işlemi yapılması gerekiyorsa yağ alma, mekanik aşındırma ve kimyasal dağlama işlemleri gerçekleştirilebilir. Kimyasal dağlama işlemi için sülfürik/fosforik asit karışımı solüsyon ile yapılır.

2.5.3.1.5 Titanyum ve Alaşımları

Tüm yöntemler titanyum ve alaşımları için kullanıma uygundur. Yağdan arındırma ve mekanik aşındırma işlemi yapıldıktan sonra kimyasal dağlama için oda sıcaklığında 4,5 litre nitrik asit 0,045 litre hidroflorik asit ve 10 litre su karışımı solüsyon 20 dakika bekletilir. Dağlanan malzeme çıkarılır ve soğuk su ile temizlenir. Ardından yumuşak bir fırça yardımıyla yüzey arındırılır.

2.5.3.2 Plastik Malzemelerde Kimyasal Aşındırma

Plastik malzemelerde kimyasal ön işlem için bazı teknik gereklilik ve testlere ihtiyaç vardır.

2.5.3.2.1 Termosetler

Yüksek mukavemetli bir yapıştırma bağlantısı için tabakalar yapıştırma işleminden önce kurutulmalı ve nemi yok edilmelidir. Kurutma işlemi tabakalara sıcaklıkla bir zarar vermeden yapılmalıdır. Bu teknik sayesinde yapıştırma işlemi için yüksek verimlilik elde edilir. Yapıştırılacak yüzeylere gerekenden fazla konulan yapıştırıcı genel yapıştırıcı bölgesinin dayanımına negatif etki eder. Böyle malzemelerde aşındırma için el işçiliği önem kazanmaktadır. Ancak yapılacak aşındırma işleminde dikkat edilmesi gereken nokta kompozit malzemenin yapısına zarar verilmemesidir.

2.5.3.2.2 Termoplastikler

Termoplastik malzemelerin yapıştırma bağlantısını etkileyen bazı durumlar vardır. Bunların başlıcaları polimeri tipi, erime özellikleri ve karışım oranıdır. Bu malzemeler için yapıştırma işlemi öncesinde corona ve plazma gibi klasik olmayan yöntemler çok iyi dayanım ve mekanik özellikleri beraberinde getirir.

2.5.3.2.3 Plastik Köpükler

PVC, poliüretandan yapılan köpükler normal olmayan herhangi bir olumsuzluğa maruz kalmadığı sürece bir işlem gerektirmez. Ancak temiz olmayan bir köpük ise o zaman işleme ihtiyaç duyar. Temiz ve kuru bir yüzey yapıştırma işlemi için uygundur.

2.5.3.2.4 Metal Olmayan Honeycomblar

Tıpkı plastik köpükler gibi honeycomblarda herhangi bir olumsuzluğa maruz kalmadığı sürece bir işlem gerektirmezler. Sadece dayanımı arttırmak ve uzun ömürlü olması açısından yapıştırma yapmadan hemen önce 60 dakika boyunca 120°C’de kurutma yapılması tavsiye edilir.

2.5.4 Primer Ön İşlem

Primerler yapıştırma işlemi uygulanacak yüzeye püskürtme ile uygulanır. Uçucu malzeme gittikten sonra kalan kimyasallar aktif yapıdadır. Bu primer malzeme yapıştırma yüzeyine uygulandığında yapıştırılacak yüzey ile yapıştırıcı malzemesi arasında bir kimyasal bağ oluşumunu sağlar. Tüm bu yapılan işlemler genel bir tabloda malzeme ve işlem olarak gösterilmiştir. Malzemelere yapılacak işlemler Tablo 2.4’de gösterilmiştir.

Tablo 2.4: Malzeme ve yapılacak işlemler (Loctite 1998)

Malzeme	Yapılacak İşlem		
	Yağ Alma	Mekanik Aşındırma	Primer
Metalik Malzeme	++	++	+
Seramik	++		+
Plastik	++	++	+
Cam	++	+	+
Ahşap	+	++	+

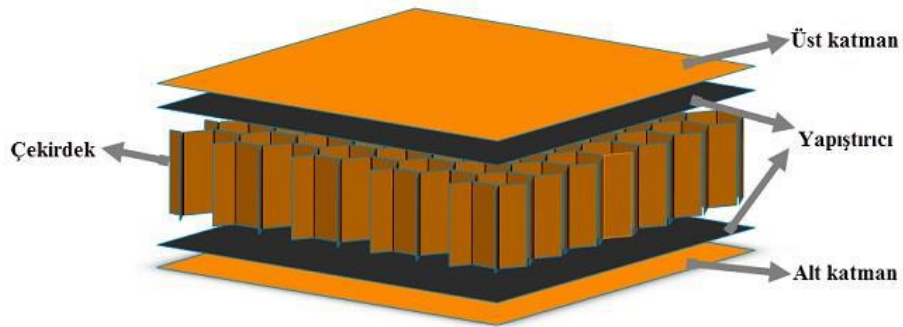
++ = En çok kullanılan, + = Alternatif

2.6 Yapıştırıcının Kullanım Alanları

Yapıştırıcı türlerinin artması ve yapıştırıcı özelliklerinin iyileştirilmesi sayesinde metal malzemelerin yapıştırılmasında da önemli mesafe kat edilmiştir. Geleneksel birleştirme yöntemleri ile birleştirilmesi neredeyse mümkün olmayan farklı iki malzemenin bir araya getirilmesi yapıştırma tekniği ile sağlanabilir.

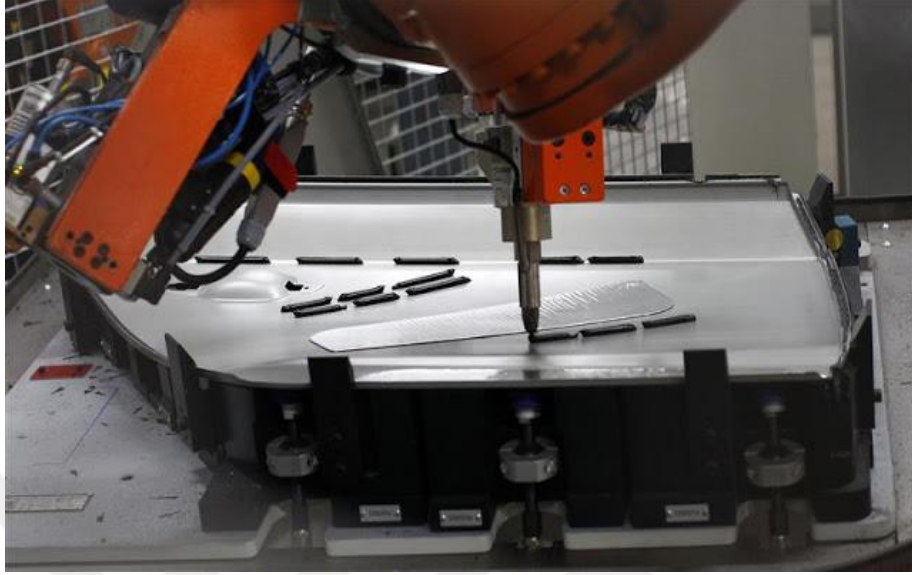
Otomotiv sanayisinde sık kullanılan punta kaynağıyla birlikte hibrit bir birleştirme sayesinde bağlantının sızdırmazlığı ve ekstra olarak yalıtım avantajı sağlanmaktadır.

Uzay ve havacılık endüstrisinde çok önemli olan hafiflik için gerekli olan petek yapısı için kullanılır ve dış katmanların yapıştırılması sağlanır.

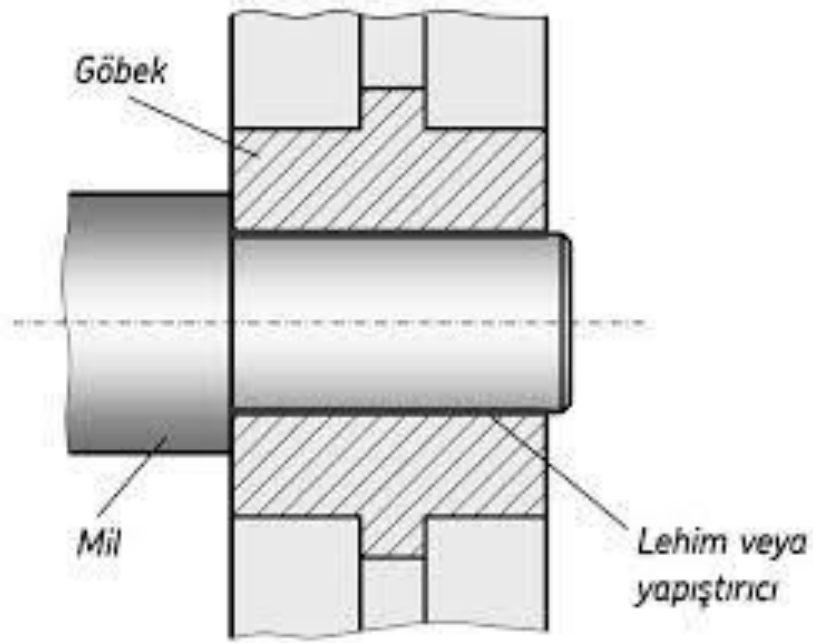


Şekil 2.9: Uzay ve havacılık sanayinde kullanılan köpüklerde yapıştırıcı kullanımı (Öztürk 2009)

Motor bloklarının yalıtımı ve sızdırmazlığı ile birlikte dişli bağlantılarında ki yoğun titreşim ile oluşacak bir ayrılmayı engellemek için ve mil-göbek bağlantılarında kullanılır.



Şekil 2.10: Otomotiv sanayinde yapıştırıcı kullanımı (Sekizsilindir.com 2016)



Şekil 2.11: Mil-göbek bağlantılarında yapıştırıcı kullanımı (Temiz 2003)

2.7 Yapıştırma Tekniği ile Birleştirmenin Avantajları

- Mekanik, kimyasal ve fiziksel açıdan farklı malzemelerin birleştirilmesinde avantaj sağlar.
- Geleneksel birleştirme elemanları olan cıvata ve perçin gibi elemanların kullanılmasında oluşan gerilmeler ve geleneksel birleştirme tekniği olan kaynak işleminden dolayı ortaya çıkan sıcaklık ve benzeri problemleri azaltır ve tüm yapıştırılan yüzey boyunca homojen bir mukavemet elde edilir.
- Sızdırmazlık sağladığı için korozyonu engeller.
- İmalatta meydana gelen gerilmeleri sönmüleme ve onları homojen bir şekilde iletebilmeleri sayesinde dinamik yükler altında iyi sonuçlar alınabilir.
- Düşük döndürme momenti ve kuvvetlerin iletilmesinde talaşlı imalat maliyetlerini azaltır. Daha yüksek toleranslarda çalışılabilir.
- Tasarım yapılması esnasında ve üretimde daha az sayıda malzeme kullanılması sayesinde zaman ve maddi kazanç sağlar.
- Sıkı geçme bağlantılarında kullanıldığında mukavemeti birkaç kat arttırabilir.
- Ciddi oranda ağırlık/dayanım sağlar.

2.8 Yapıştırma Tekniği ile Birleştirmenin Dezavantajları

- Yapıştırma işlemi sırasında yapılan hatalar sebebi ile oluşması gereken yapıştırma yüzeyi tüm alanda homojen olmaz ve bu da yapıştırma bağlantısının mukavemetini azaltır.
- Yapıştırılacak malzemelerin birleştirilmesi için yüzeyin pürüzlendirilmesi ve temizlenmesi gibi ön hazırlıklar gerektirir.
- Yapıştırılacak malzemelerin sahip oldukları yüzey enerjileri, bağlantı mukavemetini önemli ölçüde etkilemektedir.
- Yapıştırma bağlantısının darbe dayanımı ve soyulma direnci düşüktür.
- Bazı yapıştırıcılar neme ve kimyasal ortamlara karşı hassastır. Mekanik özellikleri zaman ve sıcaklığa karşı bağımlıdır.

- Yapıştırıcının sertleşmesi için gereken mekanizma her zaman kolay ve pratik değildir.
- Bağlantı mukavemetini etkileyen pek çok faktör var olduğu için diğer birleştirme türleri gibi mukavemetleri hakkında kesin bir şey söylemek zordur.

2.9 Yapıştırıcıların İçerisine Konulan Katkılar

Yapıştırıcı üretimi sırasında içerisinde bazı maddeler eklenir. Bunlar seyrelticiler, katalizörler, katılaştırıcılar, hızlandırıcılar, geciktiriciler, durdurucular ve düzelticilerdir.

2.9.1 Seyrelticiler

Adından da anlaşılacağı üzere bu katkı maddesi yapıştırıcı içerisindeki yoğunluğu ve aynı zamanda viskozitesini düşürür. Bu sayede yapıştırıcının daha eşit ve ince halde yayılmasına yardımcı olur. Viskoziteyi istenilen seviyede tutabilmek için kullanılırlar.

2.9.2 Katalizörler ve Katılaştırıcılar

Yapıştırıcıların yapışma işlevini yerine getirmesi için gereken kürleşmesini hızlandıran katkılardır. Monomerik, polimerik ve bunların birleşimi üzerine oluşturulmuş çeşitleri vardır. Ana madde ile bir araya gelmesiyle bu kimyasal sonuç ortaya çıkar. Birbirlerine göre birleşimlerdeki oranlar fiziksel özelliklerini belirler. Örneğin epoksi reçineler ile poliamid bir araya gelerek kürleşmeyi hızlandırırlar. Farklı formlarda olabilirler.

Katalizörler ise aynı işlem için termoset reçinelerle birlikte kullanılırlar. Tuz, baz, asit ve kükürt birleşimleri ve peroksitler sıklıkla kullanılan katalizörlerdir. Kürleşmeyi hızlandırmak için katılaştırıcıların aksine çok daha az kullanılması

yeterlidir. Ama bu miktara dikkat edilmelidir çünkü daha az veya daha çok olması dayanımı olumsuz etkiler.

2.9.3 Geciktiriciler, Hızlandırıcılar ve Durdurucular

Bu katkı maddeleri ise kürleşme süresini kontrol altında tutmak için kullanılırlar. Adından belli olacağı üzere geciktiriciler kürleşme süresini arttırmalar ve yapıştırıcının çalışma ömrünü de arttırmalar.

Hızlandırıcılarda katalizörlere benzer şekilde kürleşmeyi hızlandırırlar ancak kimyasal olarak bir değişime sebep olmazlar.

Durdurucu katkısı ise kürleşme reaksiyonunu sonlandırırlar ve çalışma ömrünü uzatırlar.

2.9.4 Düzelticiler

Yapıştırıcı malzemenin pek çok özelliğini komple ya da kısmen değiştiren kimyasal katkılardır.

Bunlardan bazıları yumuşatıcılar, dengeleyiciler, doldurucular, incelticiler, ısıtma katkıları ve genişleticilerdir.

2.9.4.1 Yumuşatıcılar

Bu katkı maddesi yapıştırıcı malzemeye esneklik kazandırır. Bu kazandırılan esneklik sayesinde plastik şekil değiştirme özelliğini pozitif katkı sağlar.

2.9.4.2 Dengeleyiciler

Temel amaç yapıştırıcı ömrünü arttırmaktır. Bunu çalışma şartlarındaki direnci arttırmak amacıyla yapıştırıcıya ait özellikleri optimize ederek ve çalışma sonucu oluşacak değişimleri dengeleyerek yapmak için kullanılan katkılardır.

2.9.4.3 Doldurucular

Yapıştırıcının kullanıldığında ömrünü ve dayanımını yükseltmek için etki ederler. Tek başların yapıştırıcı özelliği taşımazlar.

2.9.4.4 İncelticiler

Asıl amaçları eklendikleri yapıştırıcının viskozite özelliklerini değiştirerek istenilen kullanımı sağlamaktır. Sıvı formda bulunan bir katkı maddesidir.

2.9.4.5 Isıtma Katkıları

Isıtma katkısı eklenen yapıştırıcılarda ısıtma yapılan yapıştırıcı yapıştırılacak malzemenin yüzeyine çok daha rahat ve homojen yayılır ve bu sayede yapıştırma bağlantısının dayanımını artırır.

2.9.4.6 Genişleticiler

Yapışma alanı için gerekli bir yapıştırıcı malzeme vardır. Bu malzemenin bir alanda daha az olmasını sağlayarak kullanılacak madde miktarını azaltmış olurlar. Kimyasal bir katkı maddesidir.

2.10 Yapıştırıcı Çeşitleri

Yapıştırıcılar pek çok fiziksel formda olabilirler. Bu formlar sıvı, katı, macun ve banttır. Kimyasal olarak farklı formlara sahip yapıştırıcılarda vardır (anaerobik, epoksi vb).

2.10.1 Kimyasal Reaksiyon ile Kürleşen Yapıştırıcılar

Akrilikler: Akrilik yapıştırıcılar oda sıcaklığında oksijensiz ortamda aktivatör ile kürleşir. Yapıştırıcı yalnızca aktivatörle temas ettiğinde kürleştiği için, montaj esnasında açıkta bekleme süresi veya karıştırılan malzemelerin hemen kullanılması gibi problemler yoktur. Oksijenle temasın kesilmesi için yapışma yüzeyinin en az 5 mm genişliğinde olması gerekir (Loctite 1998).

Anaerobikler: Daha çok emniyeti artırma ve aynı zamanda sızdırmazlığa yardımcı olması amacı ile kullanılan bu tip yapıştırıcılar oksijensiz ortamda kürleşirler. Akrilikler olarak bilinen sentetik reçine esaslıdırlar. Anaerobik yapıştırıcılar sıvı halde iken oksijenle temas kesildiğinde aktif metal iyonları ile reaksiyona girerek katılaşırlar ve termoset halini alırlar. Termosetlerin, makro molekülleri birbiriyle dar bir biçimde bağdaşmıştır. Yani makro moleküller arasında kovalent bağlar bulunur. Normal olarak kalıcı bir şekil verilmeleri mümkün değildir. Geçiş sıcaklığının üzerinde tamamen elastiktirler. Bu yapıştırıcıların endüstrideki ilk kullanım yerleri cıvata bağlantılarının emniyete alınması olmuştur. Cıvata bağlantısında cıvata ile somun arasında oksijensiz ortamda kalan sıvı haldeki yapıştırıcı, katılaşıp ve termoset plastik halini alarak çözülmeye karşı emniyet sağlar. Ayrıca mil göbek bağlantılarında oldukça sık kullanılmaktadır (Özenç 2007).

Cyanoakrilatlar: Cyanoakrilat yapıştırıcıların yapısında akrilikler ile birlikte siyano grubunda bulunurlar. Yapıştırılacak olan yüzeyler üzerinde bulunan havanın nemi ile reaksiyona girerek kürleştikleri için çok kuru yüzeyler üzerinde uygulanamazlar. Çok hızlı sertleşen bu yapıştırıcılar pek çok çeşit malzemenin birleştirilmesinde kullanılabilirler. Kürleşme sonucunda makro moleküller arasında sadece Van Der Waals bağı bulunan termoplastik halini alırlar.

Epoksiler: Epoksi yapıştırıcılar, hemen hemen bütün uygulamalar için kullanılabilecek oldukça yüksek mukavemetli bir yapıştırıcıdır. Reçine ve katılaştırıcı şeklinde iki bileşen halindedirler. Yapıştırma öncesinde karıştırılmaları gerekir. Oda sıcaklığında kürleşme süresi, birkaç saatlik periyottan birkaç günlük periyota kadar olan çok çeşitli türleri vardır. Daha mukavemetli ticari epoksilerin kürleşme sıcaklıkları 200°C'ye kadar çıkmaktadır. Epoksiler nem ve çevresel faktörler dayanımında azalmaya neden olurlar (Temiz 2003).

Fenolikler: Metal yapıştırma işlemi için kullanılan ilk yapıştırıcı çeşididir. Fenol-formaldehit esaslıdır. Yüksek mukavemet gerektiren metal-metal, metal-ağaç, metal-kağıt, metal-kompozit esaslı fren pabucu yapıştırmaları için oldukça güvenilir bir yapıştırıcı çeşididir. Sertleştiklerinde termoset halini alırlar. Sertleşmesi için ısı ve basınç uygulamak gerekir. Fenolik reçineler sertleştiklerinde gevrek bir yapı elde edilir. Bunu önlemek için bileşimlerine epoksi, neopran, nitril, kauçuk gibi malzemeler ilave edilir. Bundan dolayı sertleşme prosesi boyunca ısıtma işlemi için fırın gibi özel ekipmanlara ihtiyaç vardır. Aşındırıcı taşların zımparalara yapıştırılmasında kullanılır. Günümüzde uçakların dış yüzey kaplamasında ve uzay sanayinde de kullanılmaktadır (Özenç 2007).

Poliüretanlar: Poliüretanlar tek bileşen halinde bulunmasına karşın, çoğunlukla reçine ve katalizör olmak üzere iki bileşen halinde bulunurlar. Epoksi reçineler ile karşılaştırıldığında çalışma ömrü çok daha kısıtlı olup neme karşı çok daha hassastırlar. Kürleşme için oda sıcaklığı veya ısıtılması yeterlidir. Bu esnada boyut değişiminden dolayı oluşan artık gerilmeler genelde görülmezler. Bu yapıştırıcılar çoğunlukla alçak sıcaklık değerlerinde epoksi yapıştırıcılara göre yüksek dayanım ve sönümleme yapabilirler (Adin 2007).

2.10.2 Fiziksel Değişim ile Sertleşen Yapıştırıcılar

Mukavemet değeri olarak bir kıyaslama yapılacak olursa kimyasal reaksiyon ile sertleşenlere kıyasla daha düşük mukavemet gösterirler. Bu yapıştırıcıların bir başka adı ve endüstri dilinde kullanımı da yapısal olmayan yapıştırıcılardır. Bazı çeşitleri şöyledir.

Ultraviyole (UV) Yapıştırıcılar: Kürleşme işleminin gerçekleşebilmesi için ultraviyole ışın kaynaklarına ihtiyaç vardır. Bu yapıştırıcıların sertleşme zamanı, ultraviyole ışığın yoğunluğuna ve dalga boyuna bağlı olarak değişir. Özellikle cam-cam, cam-metal yapıştırma için uygundur. Yapıştırılan malzemelerden en az birisinin ışını geçirme özelliği (şeffaf) olmalıdır. Otomobil içinde bulunan dikiz aynaları ön cama genellikle bu tür yapıştırıcılar kullanılarak sabitlenmektedir (Şekercioğlu 2001).

Sıcak Eriyikler: Sıcak eriyik, bilinen en eski yapıştırıcı çeşitlerinden biridir. Polimer esaslıdır. Yüksek mukavemet gerektirmeyen plastik ve kağıt gibi malzemelerin birleştirilmesinde kullanılabilirler. Hafif yüklere maruz kalacak şekilde tasarlanmış yapıları, hızlıca birleştirmek için kullanılırlar. Normalde katı halde bulunurlar ve yapıştırma işlemi için önce ısıtılarak akışkanlık kazandırılırlar (Solmaz, 2008).

Kauçuk Yapıştırıcılar: Sertleşmeleri tamamen eriyik esasına göredirler. Su ortamında ya da çözülmenin kaybolması ile sertleşirler. Devamlı yüklere maruz kalan yapıştırma bağlantıları için uygun değildir (Şekercioğlu 2001).

Polivinil Asetatlar (PVAC): İçeriğindeki en temel bileşen olarak vinil asetat gösterilebilir. Polivinil asetat damlalarının su içerisinde çökmesi prensibine göre üretilirler. Su kaybetmeye başladıklarında damlacık halinde değişime uğrayarak sertleşir ve termoset halini alırlar. Sertleşme süresi, yapıştırılacak parçalar üzerindeki nem miktarına ve yapıştırıcı film kalınlığına bağlıdır. Ağaç, mobilya ve karton gibi gözenekli malzemelerin yapıştırılmasında kullanılır. Endüstride oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler (Şekercioğlu 2001-Solmaz 2008).

Silikonlar (PSAs): Bu yapıştırıcılar oda sıcaklığında ortam nemi ile vulkanize olurlar. Silikonlarda kenetlenme için su gereksinimi vardır. Bu nedenle, suyun silikonun içine, vulkanizasyonun gerçekleştiği bölgeye etki etmesi gerekmektedir. Bu yapıştırıcıların sertleşme sürecindeki en önemli faktör bağıl nemdir. Sertleşmenin doğasından dolayı, silikonlar yapışma bölgesinin dış kenarlarından içeriye doğru nüfuz ederler. Sertleşme derinliği 10-15 mm ile sınırlıdır. Sızdırmazlık istenen bölgelerde sıkça kullanımı mevcuttur. Çalışma şartları mekanik ve kimyasal özelliklerinde farklılıklara sebep olabilir (Solmaz 2008).

2.10.3 Formları Açısından Yapıştırıcılar

Yapıştırıcıları kimyasal değişim ile sertleşme ve fiziksel değişim ile sertleşenler olarak ayırdıktan sonra birde sertleşme öncesi form durumlarına bakarak ayırabiliriz. Bu formlar toz, macun, film ve sıvı şeklindedir. Yapıştırıcıda formu belirleyen faktörler çevre koşulları, malzeme ve imalat gibi durumlardır.

Macun Tipi Yapıştırıcılar: Bu tip yapıştırıcılar çoğunlukla iki bileşene sahiptirler ve oda sıcaklığında sertleşebilirler. Yapıştırma kalınlıkları çoğunlukla 0,1-0,2 mm arasında optimum değerleri verirler.

Film Tipi Yapıştırıcılar: Film tipi yapıştırıcılar epoksi bazlıdır. Pek çok malzemenin birleştirilmesinde özellikle kompozitlerde kullanımı sıklıkla görülür. Havacılık endüstrisinde en çok kullanılan formlardan birisidir. Sertleşmeleri için sıcaklık veya basınç uygulanması gerekmektedir.

Düşük Viskoziteli Yapıştırıcılar: Tıpkı film tipi yapıştırıcılar gibi düşük viskoziteli yapıştırıcılarda epoksi bazlıdır. Oda sıcaklığı dahil yüksek sıcaklıklarda bile (maksimum 180°C) sertleşirler.

Düşük Yoğunluklu Yapıştırıcılar: İki bileşenli, oda sıcaklığında sertleşebilen yapıştırıcılardır. Karışma oranında bir hata olursa yapıştırıcının uygulama süresi üzerinde bu durum çok etkili olur. Boşluk, ayrılma gibi dolgu tamiratlarında, kompozit tekstil tabakalarının yapıştırılması gibi alanlarda kullanılır (Şekercioğlu 2001).

Reçineler: Reçineler çok fazla malzeme ile çok fazla çevre koşulu altında kullanıma uygun yapıştırıcı formudur. Epoksi olarak bilinen yapıştırıcıların pek çoğuna ait formdur. İki bileşenli ve düşük viskoziteli olan bir yapıştırıcı formudur. Sertleşme süresi ve mukavemet açısından karışma oranına dikkat edilmelidir.

Köpükler: Bu formdaki yapıştırıcılar tüm sertleşme süresi boyunca hacimce büyüme gösterirler. Epoksi bazlıdır. Birleşme yerlerindeki boşlukları doldururlar ve birleşen parçaların tümünü birbirine kuvvetlice yapıştırır. Mukavemet açısından köpük kalınlığı en az 2mm olmalıdır (Şekercioğlu 2001).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tüm deney parametreleri için 3'er adet numune hazırlanmış ve deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deney aşamaları şu şekildedir:

- Yapıştırılacak malzemelerin mekanik aşındırılması
- Yapıştırılacak yüzeylerin pürüzlülüğünün ölçümü
- Yağ alma ve yüzey temizleme
- Yapıştırma işlemi
- Kürleşme (Sıcaklık etkisi ile sertleştirme)
- Artık yapıştırıcının temizlenmesi
- Birleştirilen numunelere kulakçık (Çekme deneyi için eğilme durumunu engellemek için kullanılır sadece çekme yüküne maruz kalması için) yapıştırılması
- Çekme deneyi-İzod darbe deneyi

3.1 Yapıştırılan Malzemeler ve Özellikleri

Paslanmaz çelikler ve alüminyum malzemeler günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çalışmada yapıştırma işlemi için X5CrNi18-10 (1.4301) paslanmaz çelik ve ENAW-6013 (AlMg1Si0.8CuMn) alüminyum alaşımı çiftleri kullanılmıştır.

Avrupa standartlarında her iki malzemeye ait kimyasal ve mekanik özellikler sırasıyla Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: X5CrNi18-10 paslanmaz çelik malzemesinin kimyasal bileşimi (EN 10088-1:2005)

C	Si	Mn	P (en çok)	S	N	Cr	Ni
≤0,07	≤1,00	≤2,00	0,0045	≤0,015	≤0,11	17,0-19,5	8,0-10,5

Tablo 3.2: X5CrNi18-10 paslanmaz çelik malzemesinin mekanik özellikleri (EN 10088)

Sertlik HB	Akma Dayanımı N/mm ²	Çekme Dayanımı N/mm ²	% Uzama	Elastisite Modülü kN/mm ²
215	190	500-700	35/45	200

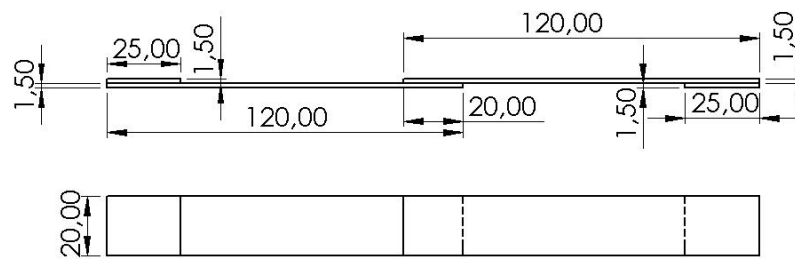
Tablo 3.3: EN AW-6013 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi

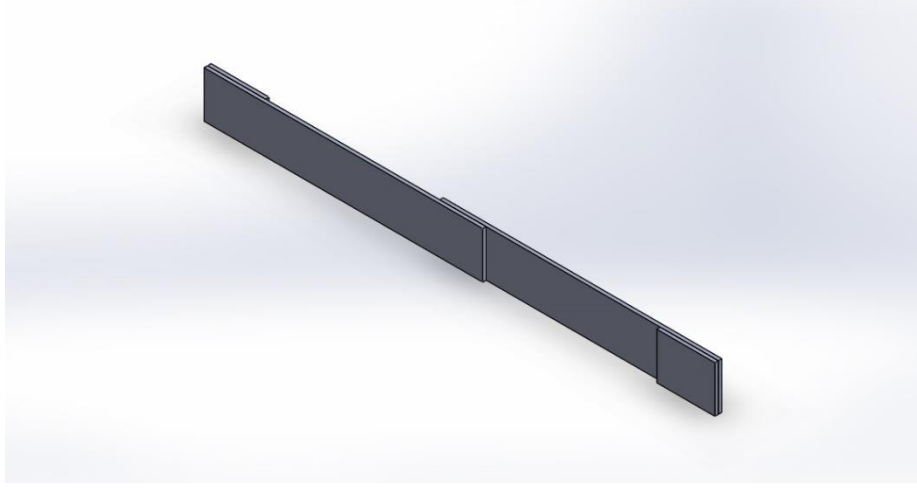
Si	Cr	Mn	Mg	Cu	Ti	Fe	Zn
≤0,20	≤0,10	0,30- 0,90	1,20- 1,80	3,80- 4,90	≤0,15	≤0,30	≤0,25

Tablo 3.4: EN AW-6013 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri

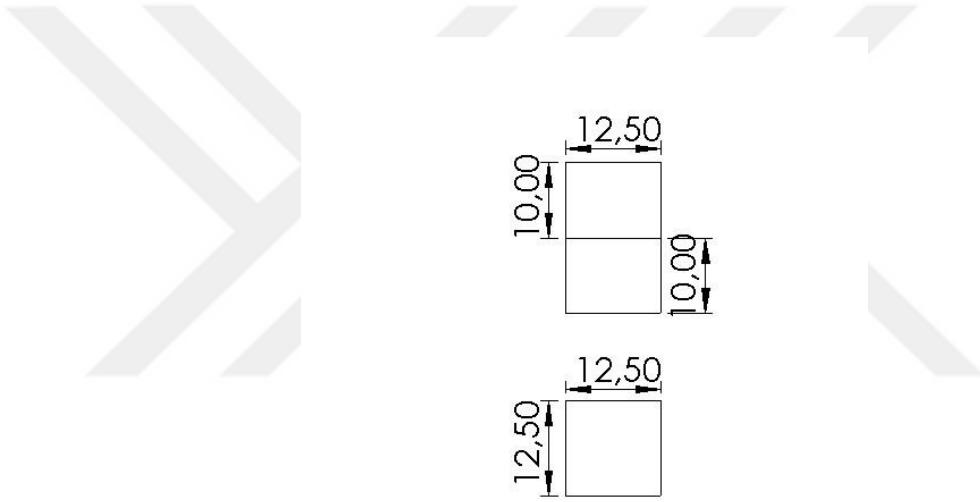
Sertlik HB	Akma Dayanımı N/mm ²	Çekme Dayanımı N/mm ²	% Uzama	Elastisite Modülü kN/mm ²
130	370	450	5	71

Yapıştırılan malzemelerin boyutları ve yapıştırıldığında oluşan deney numunesi çizilerek Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

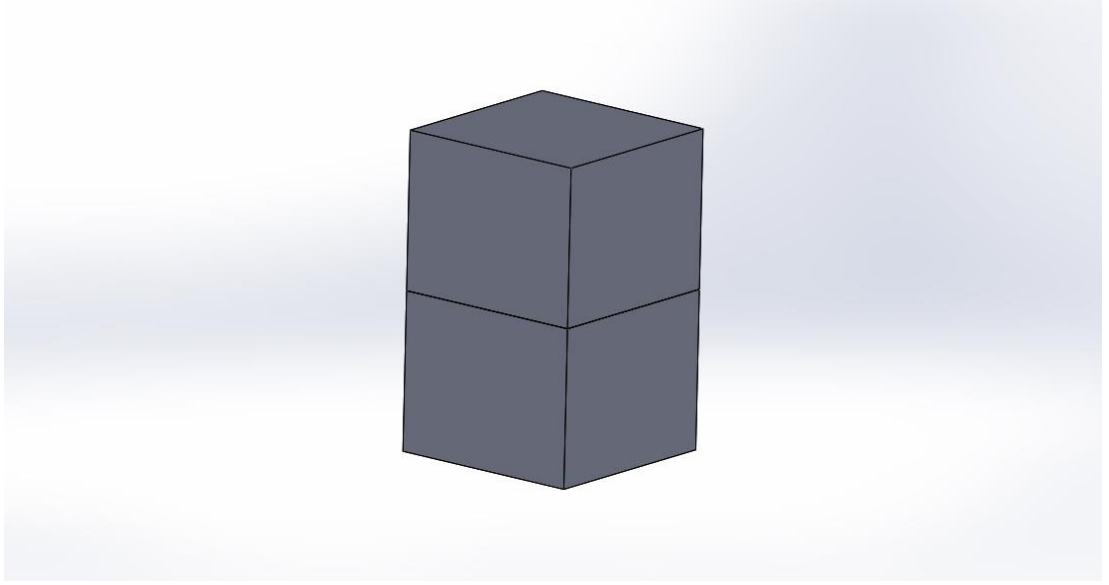
**Şekil 3.1:** Çekme deney numunesi ve ölçüleri



Şekil 3.2: Çekme deney numunesinin 3 boyutlu modellemesinin izometrik görünümü



Şekil 3.3: İzod darbe deney numunesi ve ölçüleri



Şekil 3.4: İzod darbe deney numunesinin 3 boyutlu modellemesinin izometrik görünümü

3.2 Yapıştırıcı Malzemeler

Yapıştırıcı malzemelerin pek çok çeşidi vardır. Bu çalışma kapsamında iki adet yapıştırıcı malzeme kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bu yapıştırıcı malzemelerinden birisi piyasada bulunan 404 plastik çelik yapıştırıcısıdır. Diğer yapıştırıcı malzemesi ise Denizli Organize Sanayisinde bulunun Erce Kimya tarafından üretilen epoksi bazlı bir yapıştırıcıdır ve deneylerde ismi KN-204 olarak geçecektir.

3.3 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Ekipmanı

Yüzey pürüzlülüğü yapıştırma bağlantılarında büyük önem taşımaktadır. Yapıştırma işlemine geçilmeden önce yapıştırılacak olan malzemelerin yüzeyleri istenilen pürüzlülük değerine getirmek için kimyasal ve/veya fiziksel yöntemler kullanılır.

Bu tez kapsamındaki deneyler için mekanik aşındırma yöntemi kullanılmıştır.

ENAW-6013 (AlMg1Si0.8CuMn) alüminyum alaşımı için P320 numara su zımparası ile yaklaşık 1 dakika ve X5CrNi18-10 (1.4301) paslanmaz çelik ise P60

numara su zımparası ile yaklaşık 4-5 dakika kadar zımparalanması sayesinde yüzey pürüzlülüğü yaklaşık 1.5 μm olarak hazırlanmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü ölçümü için Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Elemanları Laboratuvarında bulunan Mahr Perthometer M2 cihazı kullanılmıştır, Şekil 3.5.

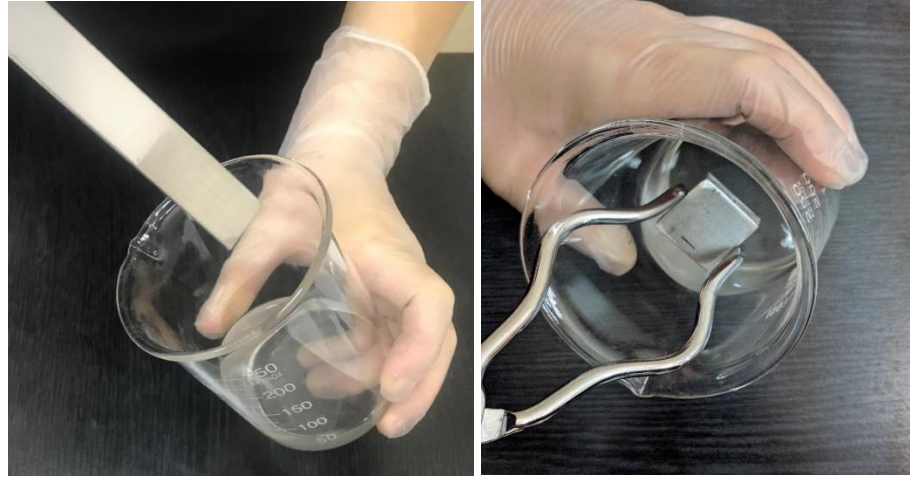


Şekil 3.5: Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

3.4 Yüzey Temizleme Ekipmanları ve Yüzeyin Temizlenmesi

Yüzey pürüzlülüğü istenilen seviye getirilen malzemeler yapıştırma öncesinde bir işleme daha maruz kalırlar. Bu işlemin adı yüzey temizlemedir (yağ alma). Bu işlem homojen ve yüksek mukavemetli bir yapıştırma için gereklidir. Yüzeydeki metal tozları, kir ve yağdan arındırılır.

Yapılan çalışma kapsamında yağ alma işlemi için kimyasal olarak metilen klorür kullanılmıştır. Yapıştırılacak malzemeler metilen klorür içine daldırma ve çıkarma yapılmıştır. Bu işlem Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Metilen klorür ile temizlenen malzemeler

3.5 Yapıştırma İşlemi ve Kullanılan Ekipman

Yapıştırıcıların her ikisi de reçine ve katalizörden oluşmaktadır. Yapıştırma işlemine geçmek için her iki yapıştırıcıda 1:1 oranında reçine ve katalizör karıştırılmaktadır. Bu karıştırma işlemi bir spatula yardımı ile mekanik olarak elle yapılmaktadır.

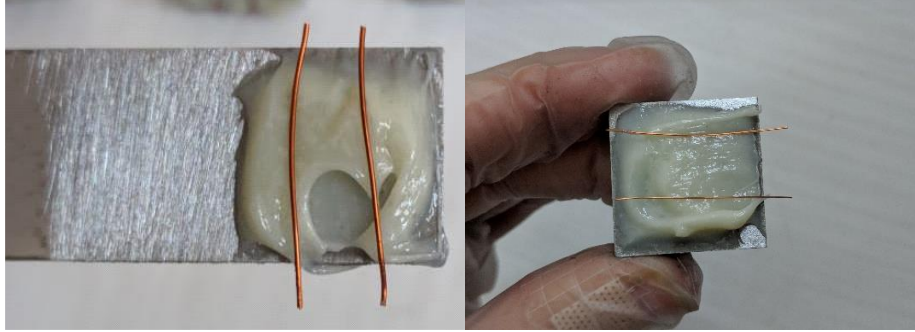
Yapıştırıcı uygulamasında tez kapsamında yapıştırıcı kalınlıkları 2 adet belirlenmiştir. Bunlar 0,2 mm ve serbest (0,1 mm) kalınlıklardır.

0,1 mm kalınlık için hiçbir ek malzeme kullanılmamıştır yapıştırıcı uygulanıp yapıştırma yapılmıştır, Şekil 3.7.

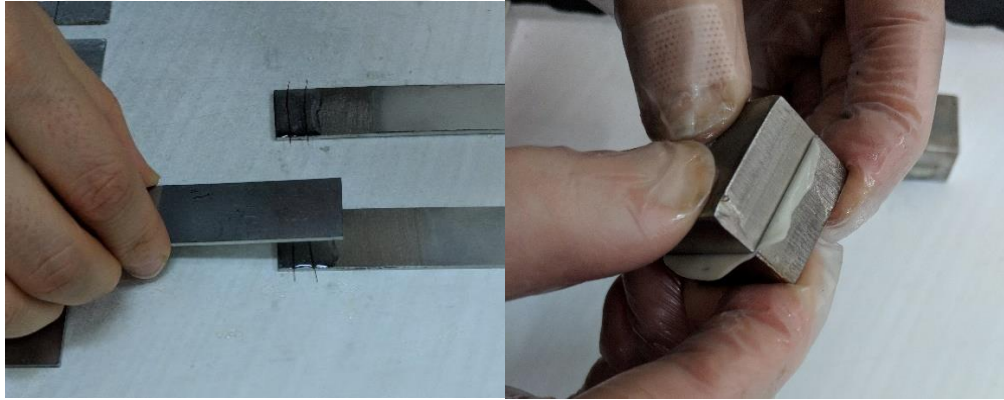


Şekil 3.7: Serbest (0,1 mm) kalınlık yapıştırma

0,2 mm kalınlığını elde edebilmek için 0,2 mm çapında bakır bobin teli kullanılmıştır. 0,1 mm kalınlık için ise hiçbir ek malzeme kullanılmamıştır, şekil 3.8 ve şekil 3.9.

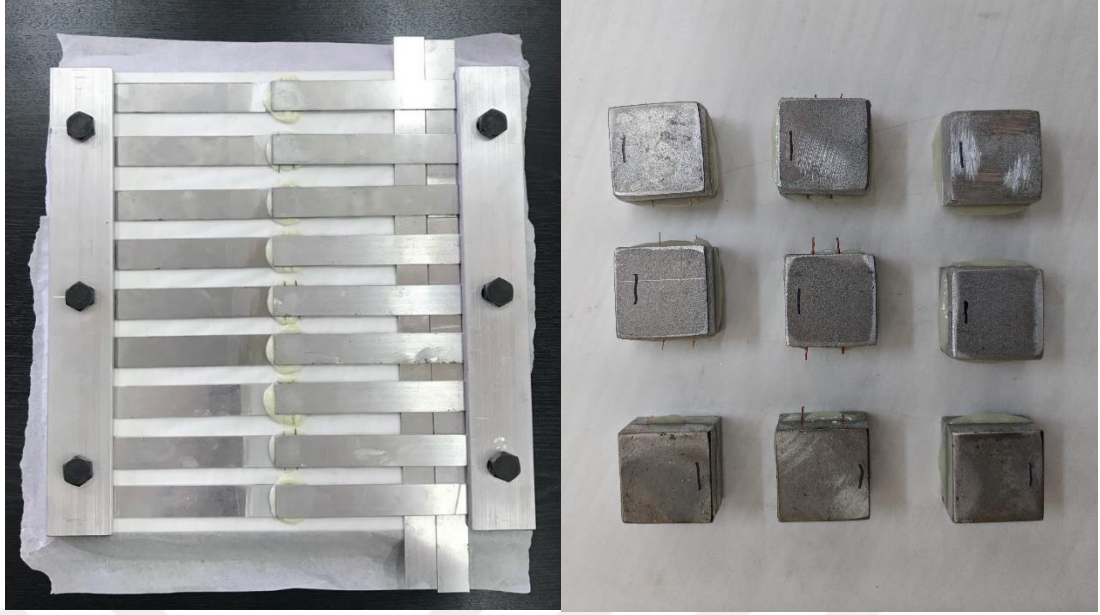


şekil 3.8: 0,2 mm kalınlık bobin tel uygulaması



şekil 3.9: 0,2 mm kalınlıkta yapılan yapıştırma

Yapıştırma işlemi için ve ardından yapılacak olan fırınlama işlemi için alüminyum alaşımı malzemeden yaptırılmış bir metal tabla kullanılmıştır. Bu tabla sayesinde yapıştırma yapılan malzemelerin kaymasına engel olunmuş ve fırınlanması kolaylaştırılmıştır. Çekme deneyi numuneleri için yapıştırma işlemi yapılırken boşlukta kalacak olan taraftaki malzemenin eşit yükseklikte kalması için tablanın bir kenarına 1,5 mm kalınlığında malzeme koyulmuştur, şekil 3.10.



Şekil 3.10: Tabla üzerinde yapılan yapıştırma işlemi ve sabitleme

3.6 Kürleşme İçin Gerekli Ekipmanlar

Yapıştırma işleminden sonra yapıştırıcı malzemesinin kürleşmesi (sertleşmesi) için bazı koşullar gerekir. Bu koşullardan en önemlilerinden birisi de sıcaklıktır.

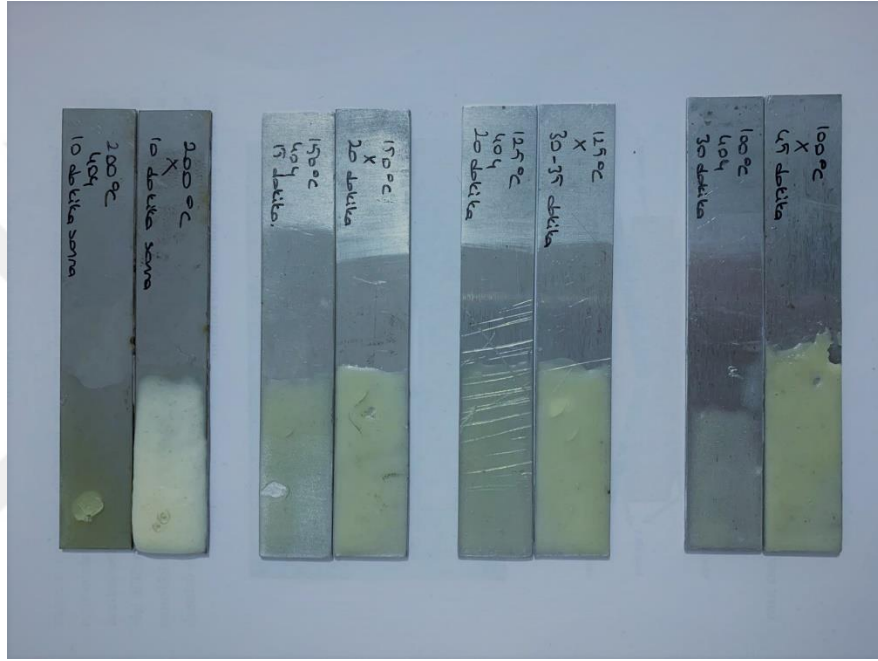
Her iki yapıştırıcı aynı koşullar altında test edilmişlerdir. Her iki yapıştırıcı içinde 100°C, 125°C ve 150°C için 20 dakika, 30 dakika ve 40 dakika fırınlama işlemi yapılmıştır. Bu fırınlama işlemi için Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Isıl İşlem Laboratuvarında bulunan fırın ile gerçekleştirilmiştir, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12.



Şekil 3.11: Isıl işlem fırını



Şekil 3.12: Isıl işlem fırınına yerleştirilmiş tabla üzerinde yapıştırılmış numuneler



Şekil 3.13: Kürleşme sıcaklıklarını belirlemek için yapılan ön deney sonuçları

Kürleşme için sıcaklıkları belirleme aşamasında ön deneyler yapılmıştır. Bu ön deneyler yaklaşık olarak hangi sıcaklıklarda ne kadar süre bekletildiğinde kürleşmenin olduğu anlaşılmasına çalışılmıştır. Bu ön deneyler sonucunda 150°C’de başlayan gözle görülür kabarcık oluşumu ve bozulmanın 200°C’de tamamen arttığı görülmüş ve bu yüzden deneylerde kullanılacak en yüksek sıcaklık olarak 150°C belirlenmiştir, Şekil 3.13.

3.7 Artık Yapıştırıcının Temizlenmesi

Yapıştırma işlemi sırasında yapıştırılan bölgenin dışına bir miktar yapıştırıcı taşmaktadır. Bu taşan yapıştırıcı kürleşme işlemi gerçekleşen numunelerden

temizlenmesi gerekir. Çünkü eğer yapıştırıcı temizlenmez ise çekme deneyinde hatalı sonuçlara sebebiyet verecektir. Bu homojen bir deney yapılmaması demektir. Bunun engellenmesi ve sağlıklı bir deney yapılabilmesi için yapıştırma bağlantısına ve metale zarar vermeden el işçiliği ile hassas bir şekilde eğe ile temizlenmiştir, Şekil 3.14.

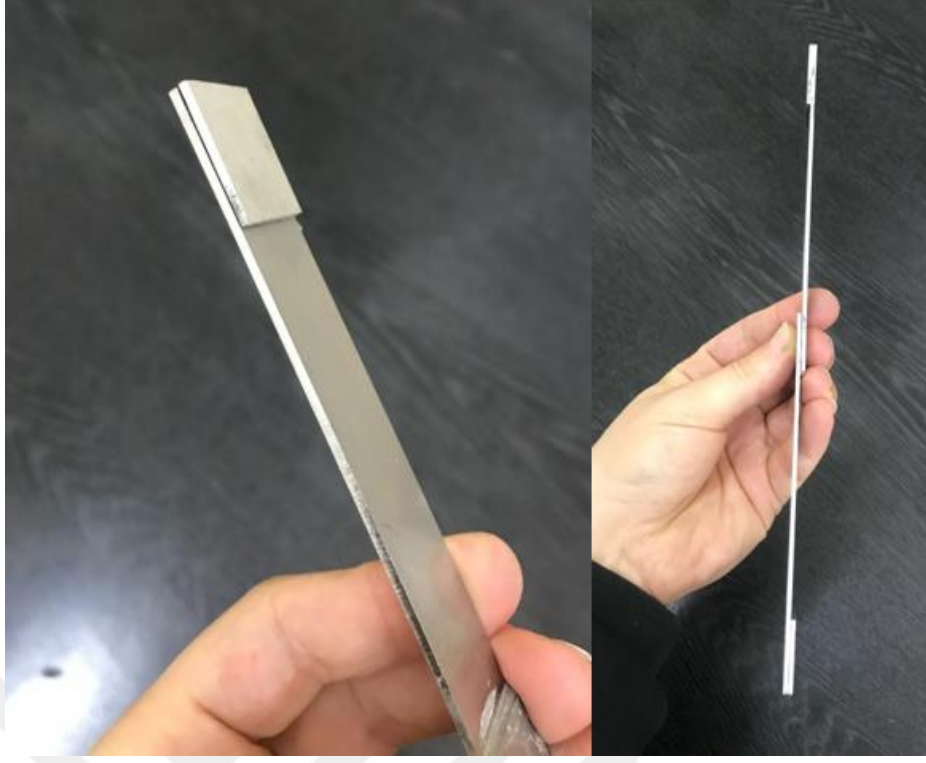


Şekil 3.14: Fazla yapıştırıcının temizlenmesi

3.8 Çekme Deneyine Hazırlık İçin Kulakçık Oluşturma

Çekme deneyinde yapılan çekme işleminde eğme kuvvetine maruz kalmaması sadece tek eksenli çekme için yapıştırılan numunelerin her iki ucuna da ek aparat yapıştırılmıştır. Bu sayede eğme kuvveti etkisi yok edilmiştir.

Uygulama için 1,5 mm x 20 mm x 25 mm boyutlarında parçalar kesilmiştir ve siyona akrilat esaslı hızlı yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16.



Şekil 3.15: Kulakçık yapıştırılmış numune

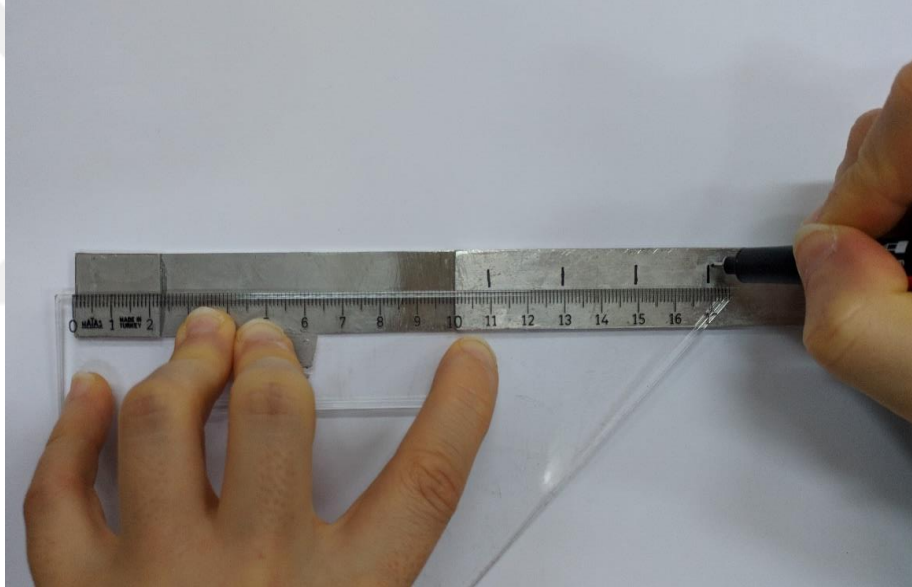


Şekil 3.16: Kulakçık yapıştırma işlemi

3.9 Çekme Deneyi Ekipmanları

X5CrNi18-10 (1.4301) paslanmaz çelik ve ENAW-6013 (AlMg1Si0.8CuMn) alüminyum alaşımı iki farklı malzeme yapıştırma ile birleştirilip çekme işlemine maruz bırakılmışlardır. Çekme deneyleri günümüzde pek çok yerde kullanılır. Çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar, malzemelerin seçiminde bizlere yol gösterici olmaktadır. Çekme özellikleri, malzeme kalitesinin belirlenmesine izin veren sınıflandırma yapısında bulunmaktadır. Yeni malzemelerin geliştirilmesi durumlarında, malzemelerin ve süreçlerin karşılaştırılmasında kullanılmaktadır.

Çekme deneyi için uzama miktarlarına bakabilmek adına bir hazırlık Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



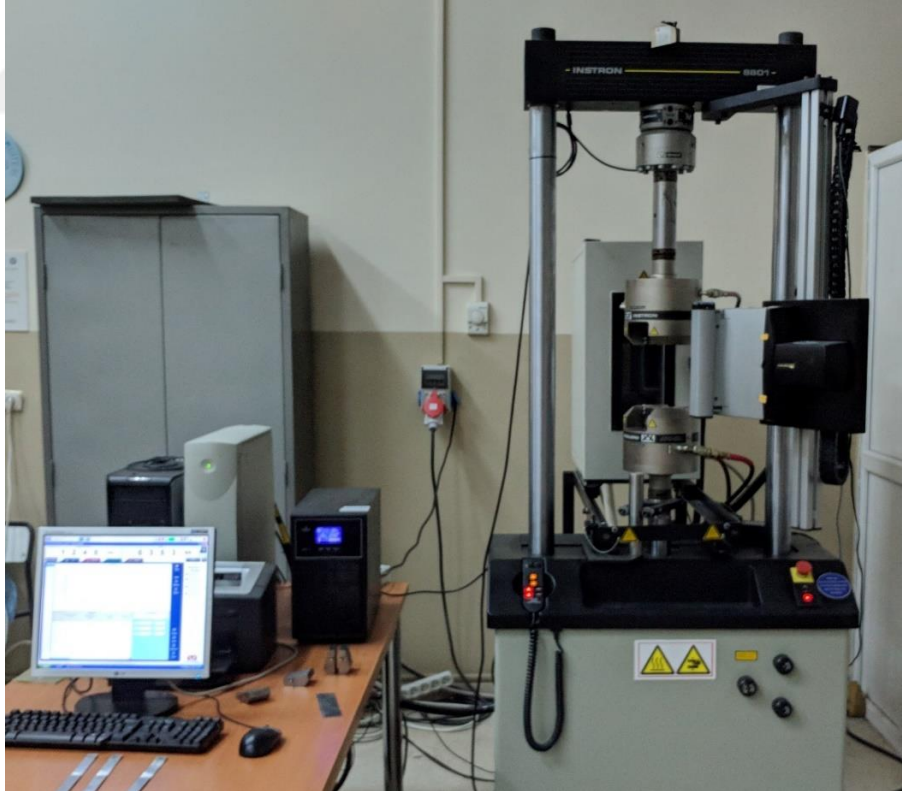
Şekil 3.17: Uzama işlemini ölçebilmek için numuneye çizim yapılması

Çekme deneyi öncesi tüm numuneler numaralanmış ve çekme aşaması için hazırlanmıştır. Bu numuneleri Şekil 3.18’de görebiliriz.



Şekil 3.18: Hazırlanmış ve numaralandırılmış numuneler

Çekme deneyinin yapılmasındaki en büyük amaç malzemenin dayanıklılığının ölçülmesidir. Deneylerde Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Laboratuvarında bulunan 50000N kapasiteli Instron 8801 dinamik çekme/basma deney cihazı kullanılmıştır, Şekil 3.19.



Şekil 3.19: 50000N kapasiteli Instron 8801 deney cihazı

Çekme cihazına bağlanan numune çekme işlemi sırasında bilgisayar üzerinden anlık olarak izlenmektedir. Ve numunenin fiziksel durumu da gözle izlenerek gözlemlenebilmektedir. Gerekli görülen veriler bilgisayar üzerinden anlık olarak alınabildiği gibi sonradan sonuçlarda toplu olarak kaydedilmiş olmakta ve alınabilmektedir.

Çekme cihazına bağlanmış numune Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20: Çekme cihazına bağlanmış numune

Çekme deneyi yapıldıktan sonra beklenen sonuç olarak bağlantı bölgesinden bir kopma gözlenmiştir. Bu kopma Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



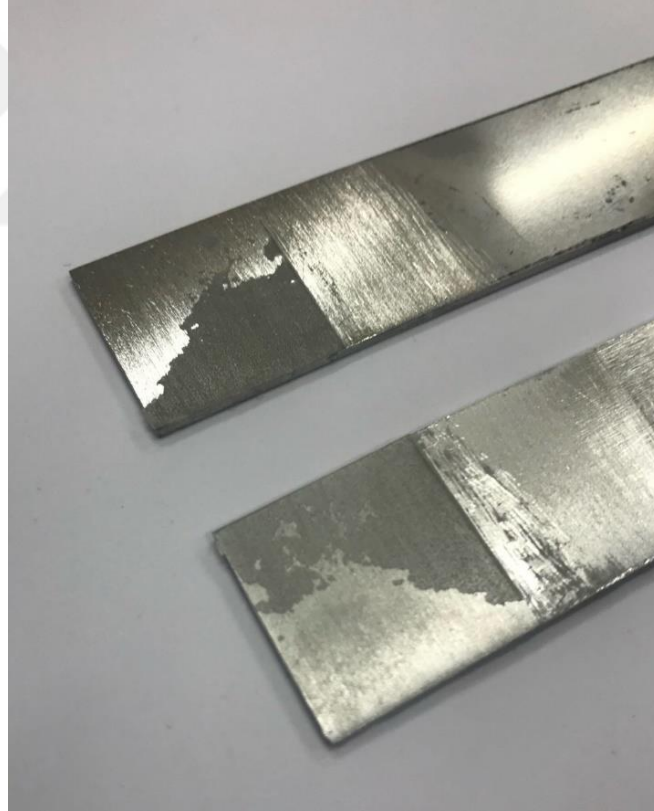
Şekil 3.21: Çekme deneyi sonu

Kopma işlemi gerçekleştirildikten sonra kopan bağlantı ile birlikte numune iki parça haline gelmiştir. Yapıştırıcının homojen bir şekilde yapıştığı numunelerde gözlenmiştir. Düzgün ve homojen olmayan kopmalar için aynı koşuldaki tüm örneklemeler tekrar aynı şekilde yapıştırma bağlantısına ve çekme deneyine tabii tutulmuştur. Ve tüm deney parametrelerinden 3’er örnek homojen bir şekilde aynı şartlarda oluşuncaya dek tekrarlama işlemi yapılmıştır.

Şekil 3.22 ve Şekil 3.23’de yapıştırma bağlantısının kopması sonucu oluşan numune üzerindeki kalıntılar gösterilmiştir.



Şekil 3.22: 0,2 mm kalınlıkla oluşturulan bağlantının çekme deneyi sonu



Şekil 3.23: 0,1 mm kalınlıkta oluşturulan bağlantının çekme deneyi sonu

3.10 İzod Darbe Deneyi Ekipmanları

X5CrNi18-10 (1.4301) paslanmaz çelik ve ENAW-6013 (AlMg1Si0.8CuMn) alüminyum alaşımı iki farklı malzeme yapıştırma ile birleştirilip izod darbe işlemine maruz bırakılmışlardır. İzod darbe deneyleri malzemenin kuvvet sönümlemesi hakkında bilgi edinmek için kullanılır.

İzod darbe deneyi öncesi tüm numuneler numaralanmış ve darbe aşaması için hazırlanmıştır. Bu numuneleri Şekil 3.24’de görülebilir.



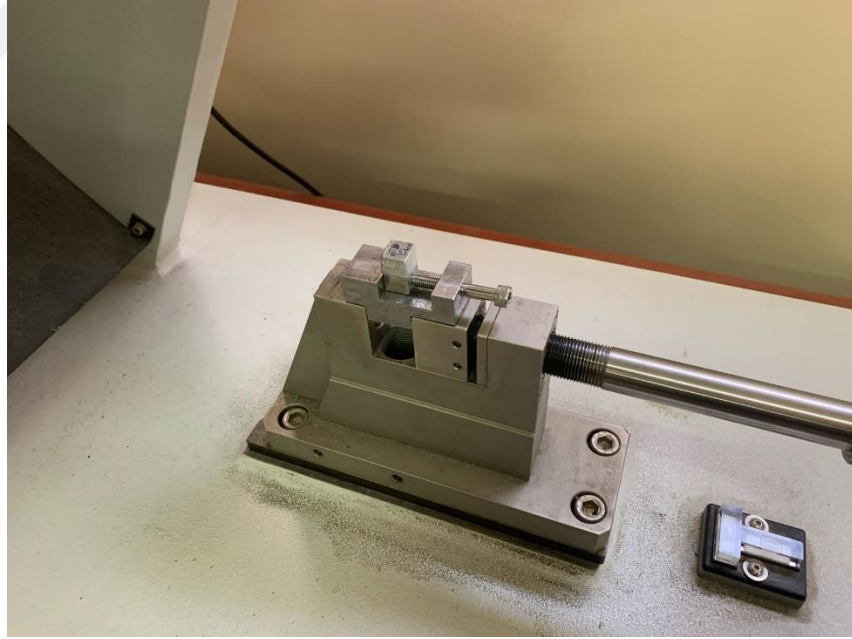
Şekil 3.24: Hazırlanmış ve numaralandırılmış numuneler

İzod darbe deneyinin yapılmasındaki amaç malzemenin gelecek darbelere dayanımının ölçülmesidir. Deneylerde Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Tahribatlı Malzeme Muayene Laboratuvarında bulunan 25 J kapasiteli Instron Ceast izod darbe deney cihazı kullanılmıştır, Şekil 3.25.



Şekil 3.25: 25 J kapasiteli Instron Ceast izod darbe deney cihazı

İzod darbe cihazına bağlanmış numune Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.26: İzod darbe cihazına bağlanmış numune

Kopma işlemi gerçekleştirildikten sonra kopan bağlantı ile birlikte numune iki parça haline gelmiştir. Yapıştırıcının homojen bir şekilde yapıştığı numunelerde gözlenmiştir. Düzgün ve homojen olmayan kopmalar için aynı koşuldaki tüm örneklemeler tekrar aynı şekilde yapıştırma bağlantısına ve izod darbe deneyine tabii

tutulmuştur. Ve tüm deney parametrelerinden 3'er örnek homojen bir şekilde aynı şartlarda oluşuncaya dek tekrarlama işlemi yapılmıştır.

Şekil 3.27'de yapıştırma bağlantısının kopması sonucu oluşan numune üzerindeki kalıntılar gösterilmiştir.



Şekil 3.27: İzod darbe deneyi sonu

4. DENEYSEL BULGULAR

Bu bölümde iki yapıştırıcı türünün bindirme tipi yapıştırma işleminde farklı kürleşme sıcaklığı, süresi ve yapıştırıcı kalınlığında bağlantı mukavemeti incelenmiştir.

Bağlantı dayanımları için diğer parametreler sabit tutularak tek bir parametre değiştirilerek Instron 8801 cihazında çekme deneyine ve Instron Ceast 25 J cihazında izod darbe deneyine tabi tutulmuştur. Her bir parametre için en az 3 deney tekrarı yapılarak ortalama sonuçlar değerlendirilmeye alınmıştır.

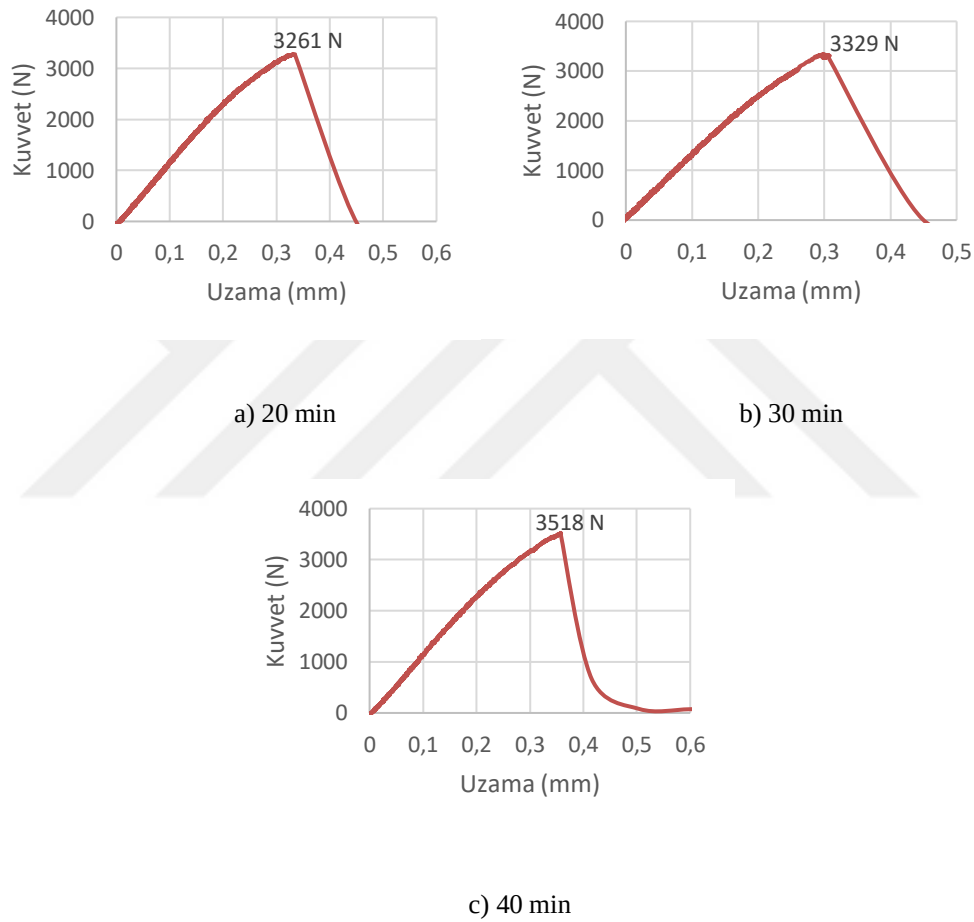
Sonuçlar değerlendirilirken bağlantıların dayanabildiği en yüksek dayanım dikkate alınmıştır.

4.1 404 Plastik Çelik Yapıştırıcı ile Birleştirilen Paslanmaz Çelik-Alüminyum Alaşımlarının Çekme Dayanımları

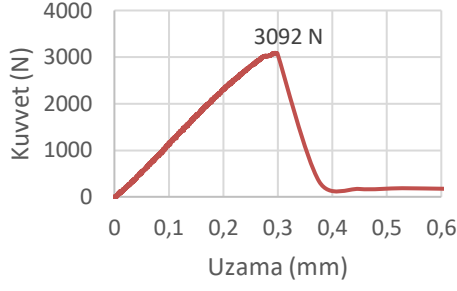
100°C, 125°C ve 150°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta, 0,1 mm ve 0,2 mm olmak üzere iki farklı yapıştırıcı kalınlığında, 20,30 ve 40 dakika olarak üç farklı sürede 404 plastik çelik yapıştırıcısı ile birleştirilen X5CrNi18-10 (1.4301) paslanmaz çelik ile ENAW-6013 (AlMg1Si0.8CuMn) alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin çekme testleri yapılmıştır.

4.1.1 404 Yapıştırıcısı ile 100°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırma Süresi ve Yapıştırıcı Kalınlığının Bağlantı Dayanımına Etkisi

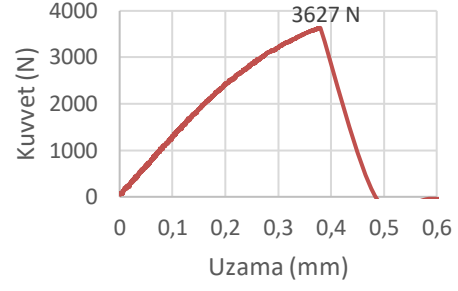
İlk olarak 100°C’de yapılan kürleşme işlemlerinde yapıştırma süresi ve yapıştırıcı kalınlığının bağlantı dayanımına etkileri incelenmiştir. 404 yapıştırıcı ile 100°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm olduğu ve 0,2 mm olarak sabit tutulduğu durumlarda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.



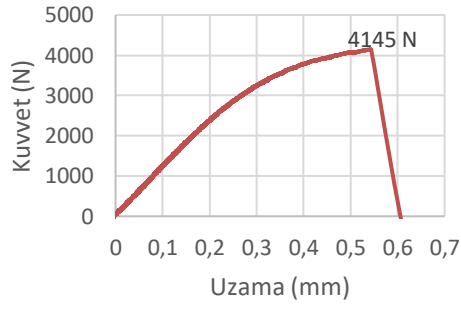
Şekil 4.1: 404 yapıştırıcı ile 100°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm olduğu durumda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi



a) 20 min



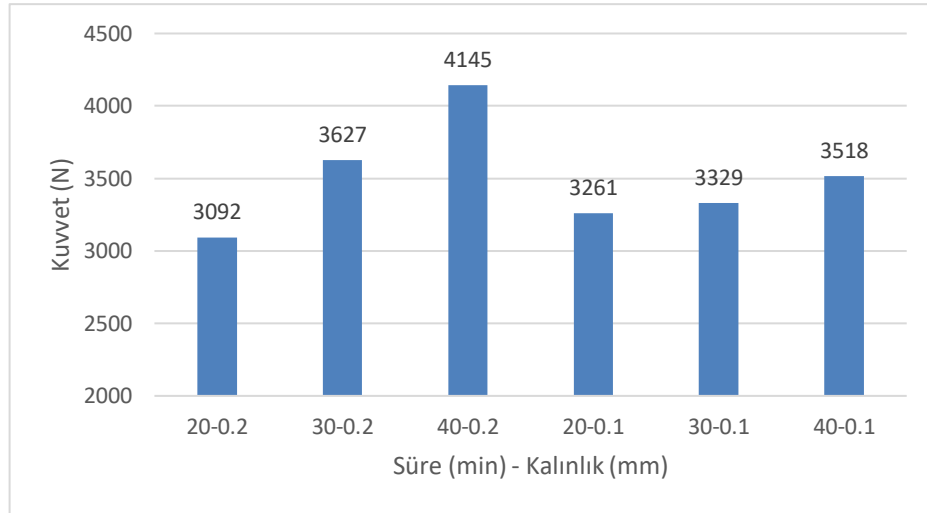
b) 30 min



c) 40 min

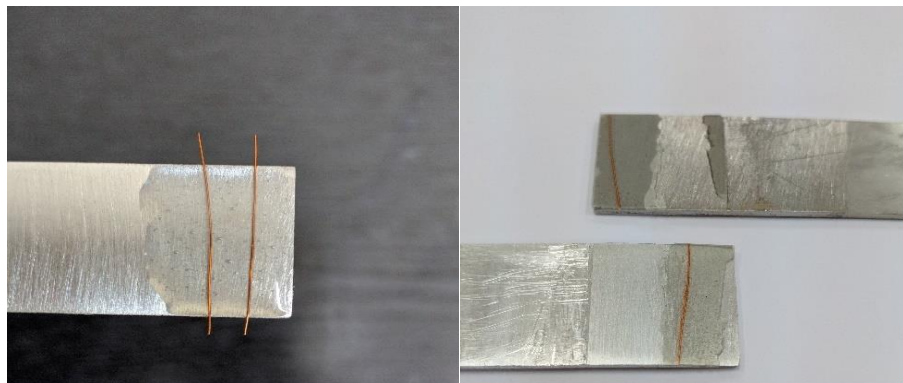
Şekil 4.2: 404 yapıştırıcı ile 100°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,2 mm olduğu durumda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi

Yapıştırıcı kalınlığı ister 0,1 mm isterse 0,2 mm olarak sabit tutulsun her iki durumda da kürleşme süresi arttıkça bağlantı dayanımının arttığı görülmüştür, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2. 100°C’de 20 dakika sürede yapılan kürleşme hariç 30 ve 40 dakikada yapılan kürleşmelerde yapıştırıcı kalınlığının arttırılmasının bağlantı dayanımını arttırdığı görülmüştür.



Şekil 4.3: 404 yapıştırıcı ile 100°C’de yapılan kürleşmede elde edilen maksimum bağlantı dayanımları

Bu sonuçlara göre X5CrNi18-10 paslanmaz çelik ile ENAW-6013 alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin 404 yapıştırıcı ile birleştirildiği durumda 100°C’de yapılan kürleşme işleminde en yüksek bağlantı dayanımı 4145 N ile 40 dakika süre ve 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında elde edilmiştir. Paslanmaz çelik ile alüminyum malzeme çiftlerinin 100°C’de kürleşmesinde en düşük bağlantı dayanımı ise 20 dakika süre 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında 3092 N olarak elde edilmiştir. Genel olarak 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm’ye göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. 100°C’de yapılan kürleşmelerde artan süreye bağlı olarak 404 plastik çelik yapıştırıcısı kullanıldığında dayanımın arttığı görülmüştür.



a) 20 min

b) 40 min

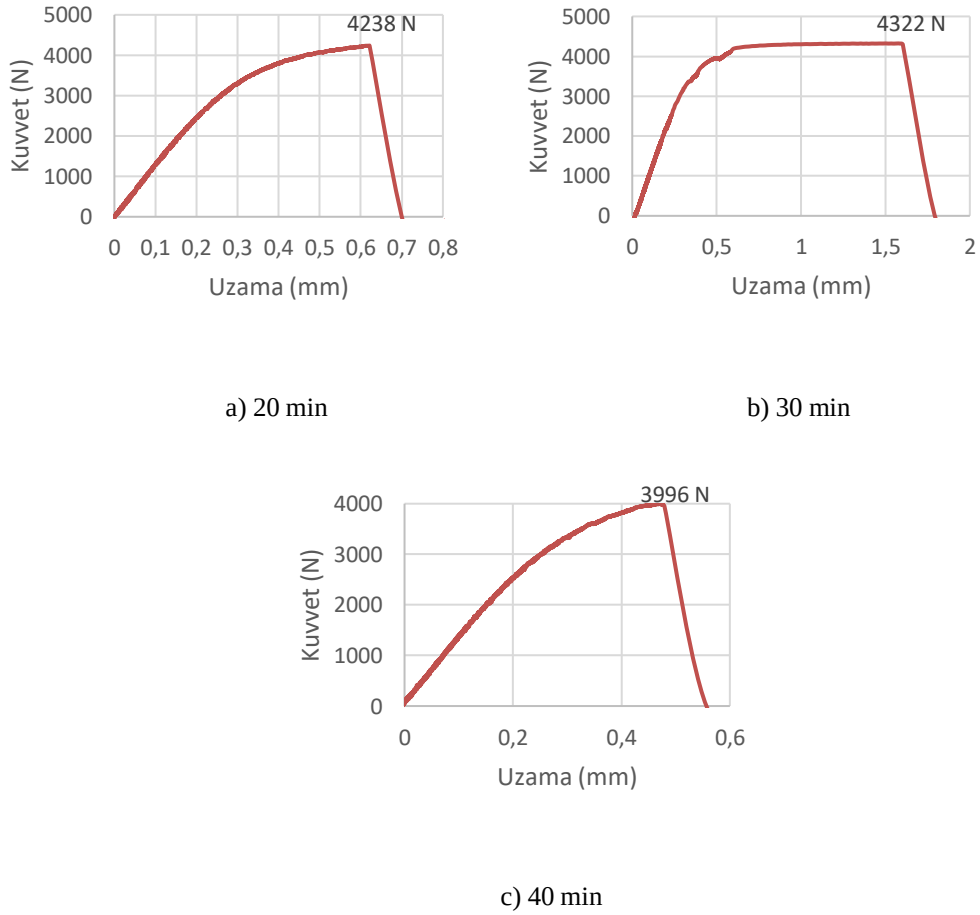
Şekil 4.4: 404 yapıştırıcı ile 100°C’de yapılan yapıştırırmada kürleşme numuneleri

Şekil 4.4’te 100°C’de 20 dakika kürleşme süresinin yeterli olmadığını yapıştırıcının hala tam olarak mukavemet göstermeyecek kadar kürleşmediği ve

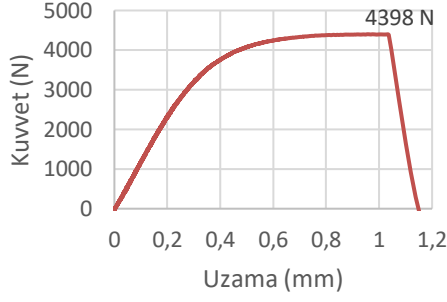
sonucunda adhezyon hasara uğradığı, 40 dakika kürleşme süresinde ise çok daha iyi bir yapışmanın olduğu ve kohezyon hasarı görülmüştür.

4.1.2 404 Yapıştırıcısı ile 125°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırma Süresi ve Yapıştırıcı Kalınlığının Bağlantı Dayanımına Etkisi

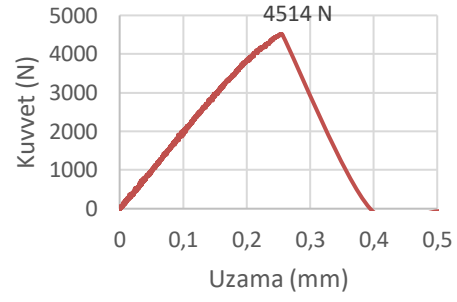
125°C’de yapılan kürleşme işlemlerinde yapıştırma süresi ve yapıştırıcı kalınlığının bağlantı dayanımına etkileri incelenmiştir. 404 yapıştırıcı ile 125°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm olduğu ve 0,2 mm olarak sabit tutulduğu durumlarda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da verilmiştir.



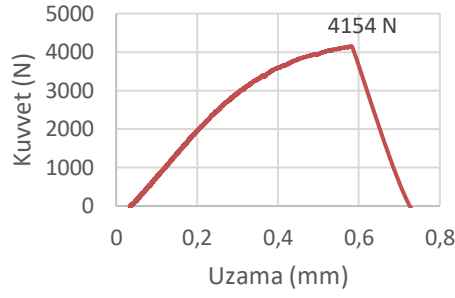
Şekil 4.5: 404 yapıştırıcı ile 125°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm olduğu durumda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi



a) 20 min



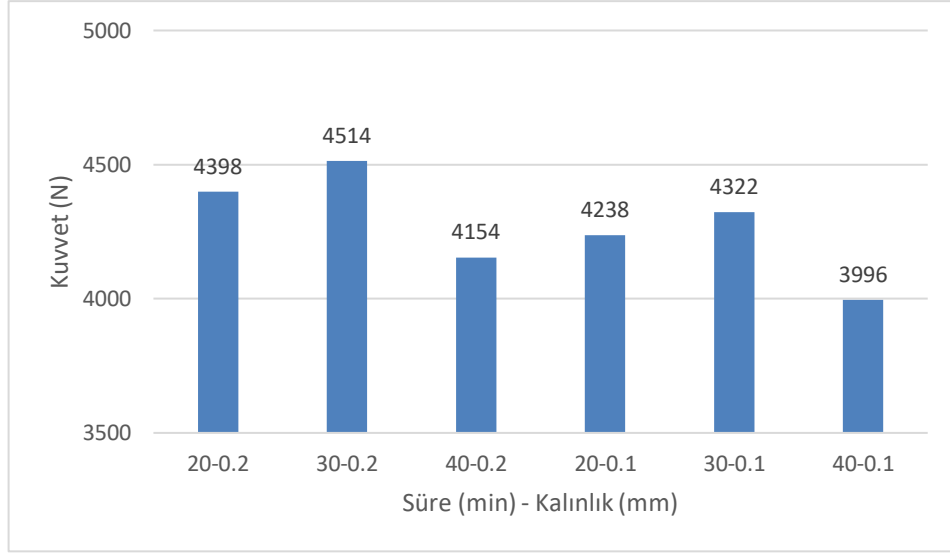
b) 30 min



c) 40 min

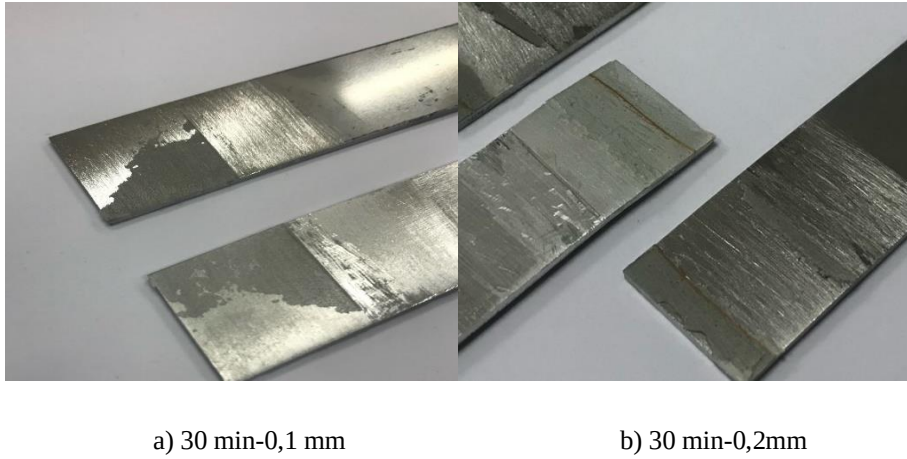
Şekil 4.6: 404 yapıştırıcı ile 125°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,2 mm olduğu durumda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi

Yapıştırıcı kalınlığı ister 0,1 mm isterse 0,2 mm olarak sabit tutulsun her iki durumda da süre artışına göre şekillenen bir çan eğrisi oluşmuştur. 100°C’de 30 dakika sürede yapılan kürleşmede 20 ve 40 dakika sürelerde yapılanlardan daha yüksek dayanım elde edilmiştir, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6. Ancak tüm kürleşme sürelerinde yapıştırıcı kalınlığının artırılmasının bağlantı dayanımını arttırdığı görülmüştür.



Şekil 4.7: 404 yapıştırıcı ile 125°C’de yapılan kürleşmede elde edilen maksimum bağlantı dayanımları

Bu sonuçlara göre X5CrNi18-10 paslanmaz çelik ile ENAW-6013 alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin 404 yapıştırıcı ile birleştirildiği durumda 125°C’de yapılan kürleşme işleminde en yüksek bağlantı dayanımı 4514 N ile 30 dakika süre ve 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında elde edilmiştir. Paslanmaz çelik ile alüminyum malzeme çiftlerinin 125°C’de kürleşmesinde en düşük bağlantı dayanımı ise 40 dakika süre 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığında 3996 N olarak elde edilmiştir. Genel olarak 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm’ye göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Şekil 4.7’de 125°C ve 404 plastik çelik yapıştırıcısı için optimum sürenin 30 dakika olduğu ve 40 dakikada yapıştırıcının dayanımının bozulmaya başlaması sebebiyle azaldığı görülmüştür.

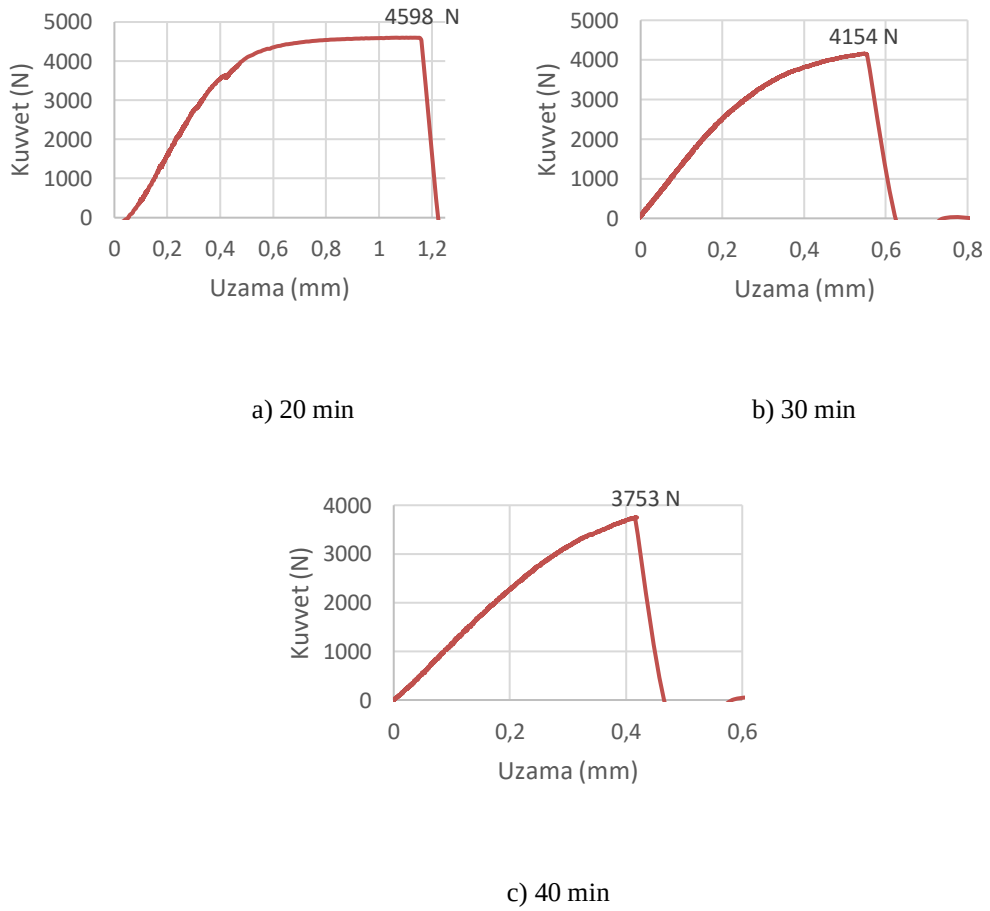


Şekil 4.8: 404 yapıştırıcı ile 125°C’de yapılan yapıştırırmada kürleşme numuneleri

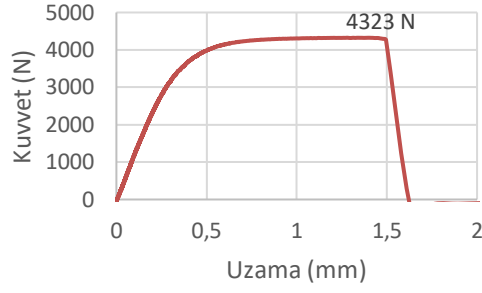
Şekil 4.8’de 125°C’de 30 dakika kürleşme süresinin tamamen homojen bir yapıştırma sağladığı her iki parçayada eşit miktarda yapışma olduğu ve iki yapıştırıcı kalınlığı içinde bu durumun sağlandığı görülmüştür. Oluşan hasar istenen durum olan kohezyon hasar durumudur.

4.1.3 404 Yapıştırıcısı ile 150°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırma Süresi ve Yapıştırıcı Kalınlığının Bağlantı Dayanımına Etkisi

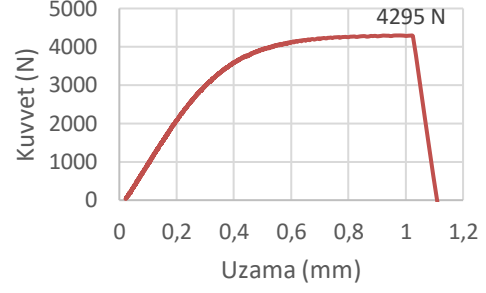
150°C’de yapılan kürleşme işlemlerinde yapıştırma süresi ve yapıştırıcı kalınlığının bağlantı dayanımına etkileri incelenmiştir. 404 yapıştırıcı ile 150°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm olduğu ve 0,2 mm olarak sabit tutulduğu durumlarda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da verilmiştir.



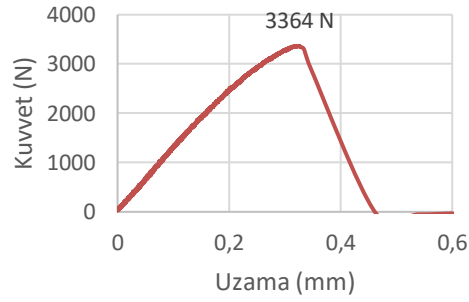
Şekil 4.9: 404 yapıştırıcı ile 150°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm olduğu durumda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi



a) 20 min



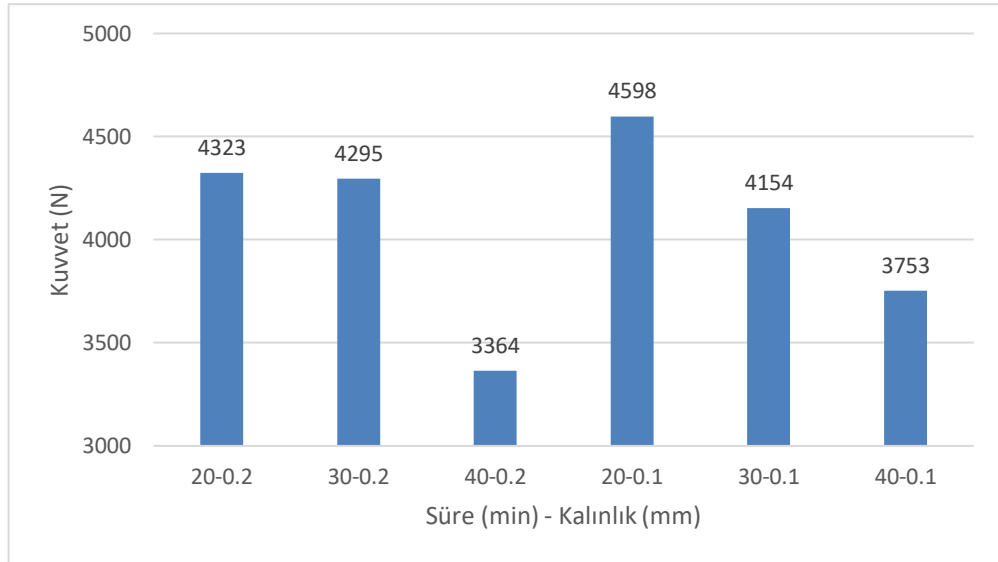
b) 30 min



c) 40 min

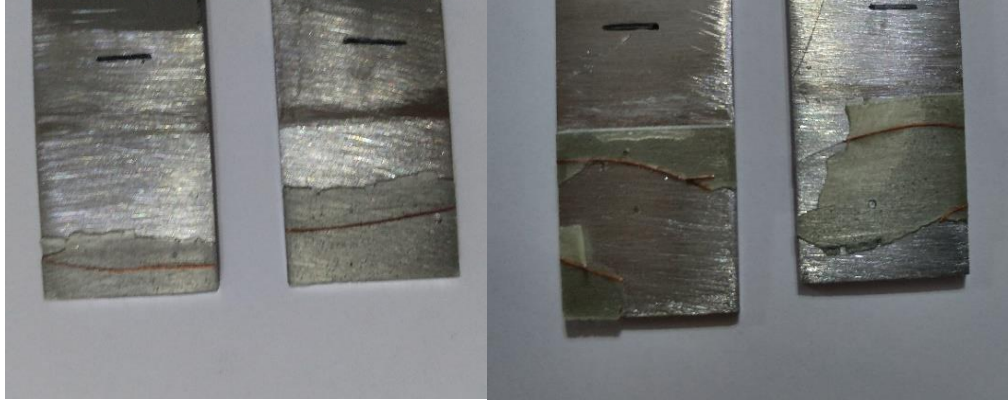
Şekil 4.10: 404 yapıştırıcı ile 150°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,2 mm olduğu durumda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi

Yapıştırıcı kalınlığı ister 0,1 mm isterse 0,2 mm olarak sabit tutulsun her iki durumda da kürleşme süresi arttıkça bağlantı dayanımının azaldığı görülmüştür, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10. 150°C’de 30 dakika sürede yapılan kürleşme hariç 20 ve 40 dakika sürelerde yapılan kürleşmelerde yapıştırıcı kalınlığının arttırılmasının bağlantı dayanımını azalttığı görülmüştür.



Şekil 4.11: 404 yapıştırıcı ile 150°C’de yapılan kürleşmede elde edilen maksimum bağlantı dayanımları

Bu sonuçlara göre X5CrNi18-10 paslanmaz çelik ile ENAW-6013 alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin 404 yapıştırıcı ile birleştirildiği durumda 150°C’de yapılan kürleşme işleminde en yüksek bağlantı dayanımı 4598 N ile 20 dakika süre ve 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığında elde edilmiştir. Paslanmaz çelik ile alüminyum malzeme çiftlerinin 150°C’de kürleşmesinde en düşük bağlantı dayanımı ise 40 dakika süre 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında 3364 N olarak elde edilmiştir. Genel olarak ise 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığı ve 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığı yakın sonuçlar vermiştir. Şekil 4.11’de 150°C ve 404 plastik çelik yapıştırıcısı için optimum sürenin 20 dakika olduğu 30 ve 40 dakikada yapıştırıcının dayanımının bozulmaya başlaması sebebiyle azaldığı görülmüştür.



a) 20 min

b) 30 min

Şekil 4.12: 404 yapıştırıcı ile 150°C’de yapılan yapıştırırmada kürleşme numuneleri

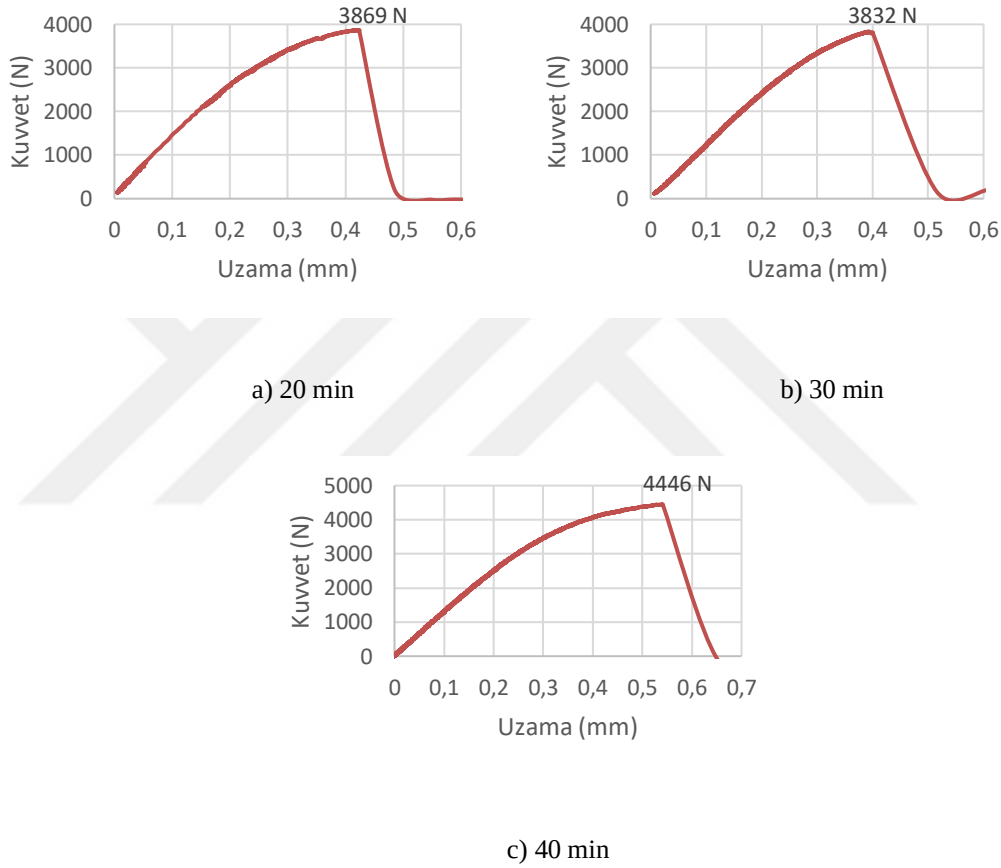
Şekil 4.12’de 150°C’de 20 dakika kürleşme süresinde ve 30 dakika kürleşme süresindeki numuneler gösterilmiştir. 20 dakika kürleşme süresindeki numune tam olarak homojen olmasa bile daha yüksek sürelerle göre daha homojen olarak görülmüştür. Tam olarak homojen olmama sebebi ise içinde oluşmuş küçük kabarcıklardır. 30 dakikalık kürleşme süresinde ise artık homojen olmama durumu daha belirgin bir hal almıştır ve hava kabarcıklarının hem sayısı hem de boyutu artmıştır. Oluşan hasarlar kohezyon hasarıdır.

4.2 KN-204 Plastik Çelik Yapıştırıcı ile Birleştirilen Paslanmaz Çelik-Alüminyum Alaşımlarının Çekme Dayanımları

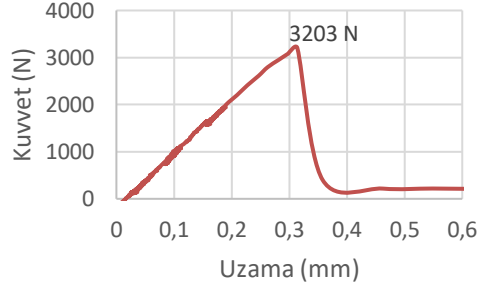
100°C, 125°C ve 150°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta, 0,1 mm ve 0,2 mm olmak üzere iki farklı yapıştırıcı kalınlığında, 20,30 ve 40 dakika olarak üç farklı sürede KN-204 plastik çelik yapıştırıcısı ile birleştirilen X5CrNi18-10 (1.4301) paslanmaz çelik ile ENAW-6013 (AlMg1Si0.8CuMn) alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin çekme testleri yapılmıştır.

4.2.1 KN-204 Yapıştırıcısı ile 100°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırma Süresi ve Yapıştırıcı Kalınlığının Bağlantı Dayanımına Etkisi

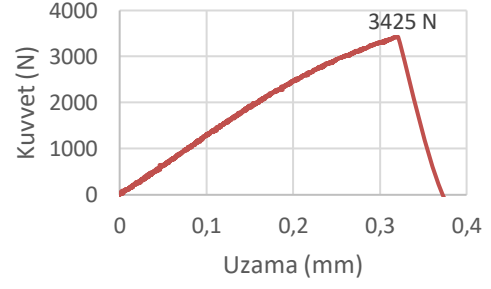
100°C’de yapılan kürleşme işlemlerinde yapıştırma süresi ve yapıştırıcı kalınlığının bağlantı dayanımına etkileri incelenmiştir. KN-204 yapıştırıcı ile 100°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm olduğu ve 0,2 mm olarak sabit tutulduğu durumlarda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de verilmiştir.



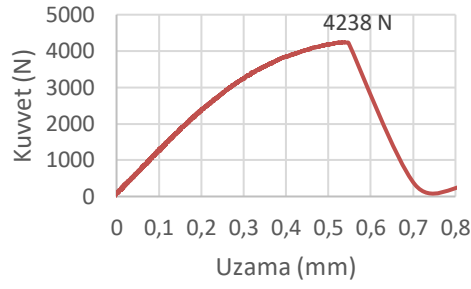
Şekil 4.13: KN-204 yapıştırıcı ile 100°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm olduğu durumda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi



a) 20 min



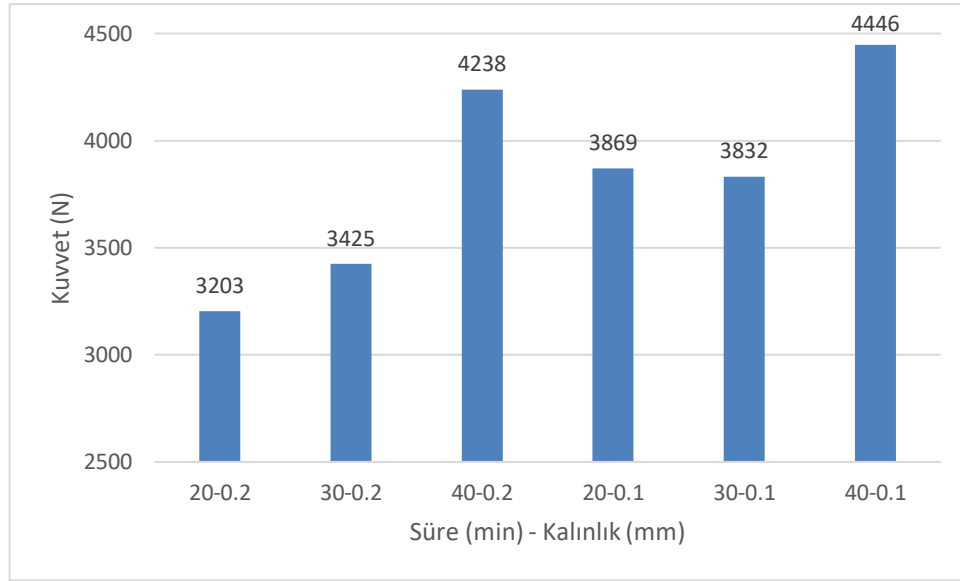
b) 30 min



c) 40 min

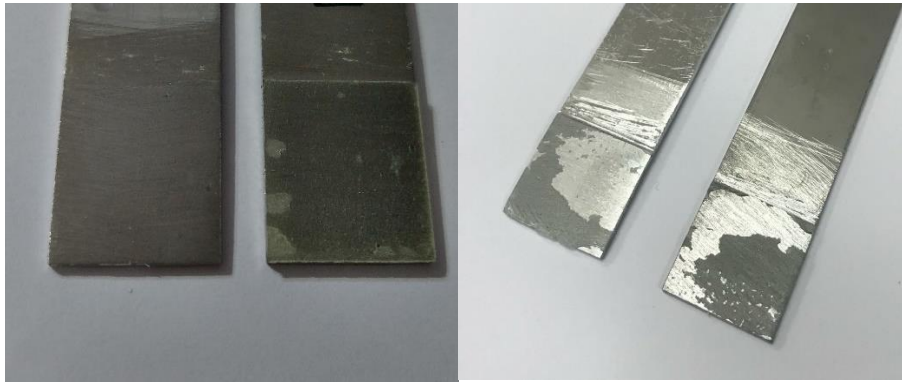
Şekil 4.14: KN-204 yapıştırıcı ile 100°C'de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,2 mm olduğu durumda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi

Yapıştırıcı kalınlığı ister 0,1 mm isterse 0,2 mm olarak sabit tutulsun her iki durumda da kürleşme süresi arttıkça bağlantı dayanımının arttığı görülmüştür, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14. 100°C'de 0,1 mm kalınlıkta 20 dakika ile 30 dakika neredeyse aynı sonucu vermiştir. Tüm kürleşme sürelerinde yapıştırıcı kalınlığının artırılmasının bağlantı dayanımını azalttığı görülmüştür.



Şekil 4.15: KN-204 yapıştırıcı ile 100°C’de yapılan kürleşmede elde edilen maksimum bağlantı dayanımları

Bu sonuçlara göre X5CrNi18-10 paslanmaz çelik ile ENAW-6013 alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin KN-204 yapıştırıcı ile birleştirildiği durumda 100°C’de yapılan kürleşme işleminde en yüksek bağlantı dayanımı 4446 N ile 40 dakika süre ve 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığında elde edilmiştir. Paslanmaz çelik ile alüminyum malzeme çiftlerinin 100°C’de kürleşmesinde en düşük bağlantı dayanımı ise 20 dakika süre 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında 3203 N olarak elde edilmiştir. Genel olarak ise 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm’ye göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Şekil 4.15’de 100°C için artan süreye bağlı olarak KN-204 plastik çelik yapıştırıcısı için dayanımın arttığı görülmüştür.



a) 20 min

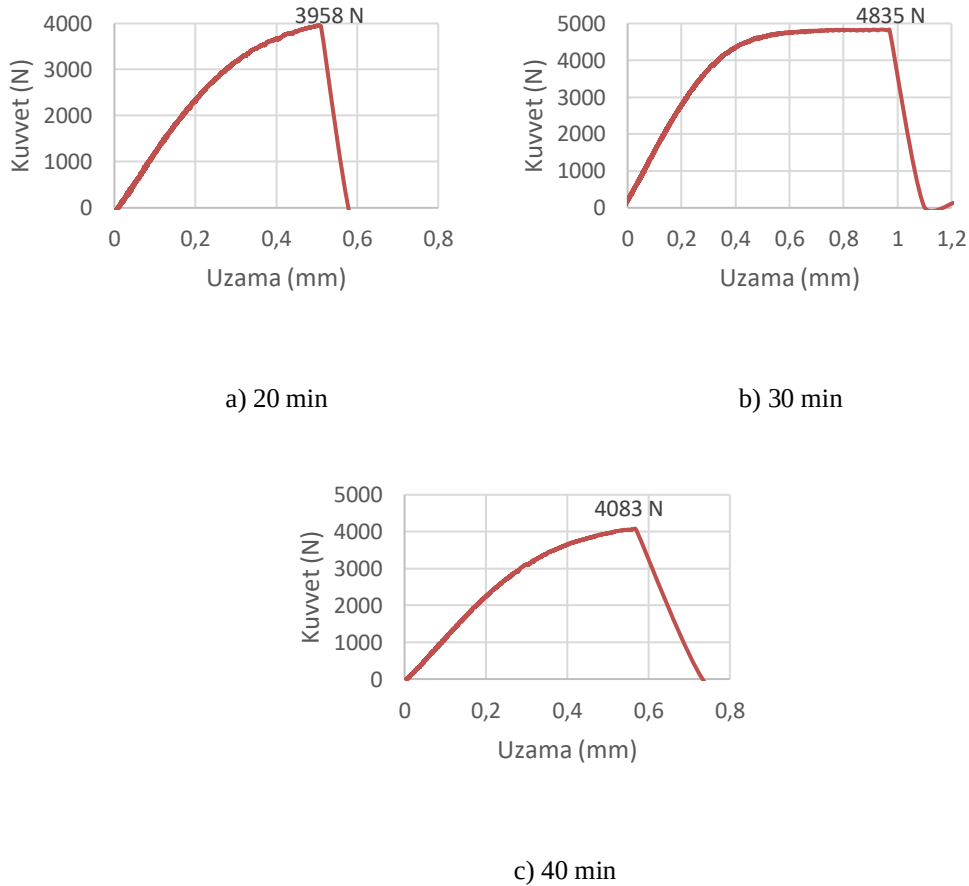
b) 40 min

Şekil 4.16: KN-204 yapıştırıcı ile 100°C’de yapılan yapıştırırmada kürleşme numuneleri

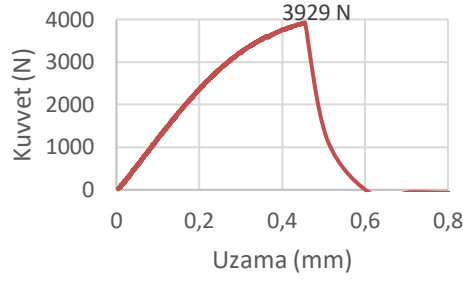
Şekil 4.16'da 100°C'de 20 dakika kürleşme süresinin yeterli olmadığını yapıştırıcının hala tam olarak mukavemet göstermeyecek kadar kürleşmediğini ve bu yüzden tek yüzeyde kaldığını yani adhezyon hasarı olduğu görülmüştür, 40 dakika kürleşme süresinde ise çok daha iyi bir yapışmanın olduğu ve iki yüzeyde de yapışma sağladığı yani kohezyon hasarı olduğu görülmüştür.

4.2.2 KN-204 Yapıştırıcısı ile 125°C'de Yapılan Kürleşmede Yapıştırma Süresi ve Yapıştırıcı Kalınlığının Bağlantı Dayanımına Etkisi

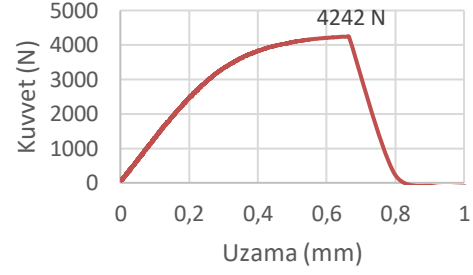
125°C'de yapılan kürleşme işlemlerinde yapıştırma süresi ve yapıştırıcı kalınlığının bağlantı dayanımına etkileri incelenmiştir. KN-204 yapıştırıcı ile 125°C'de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm olduğu ve 0,2 mm olarak sabit tutulduğu durumlarda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de verilmiştir.



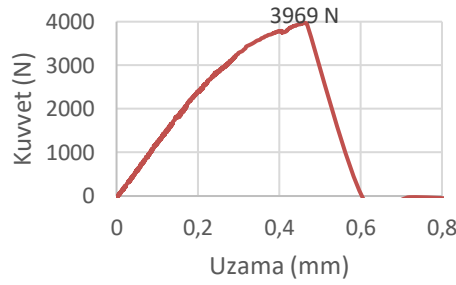
Şekil 4.17: KN-204 yapıştırıcı ile 125°C'de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm olduğu durumda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi



a) 20 min



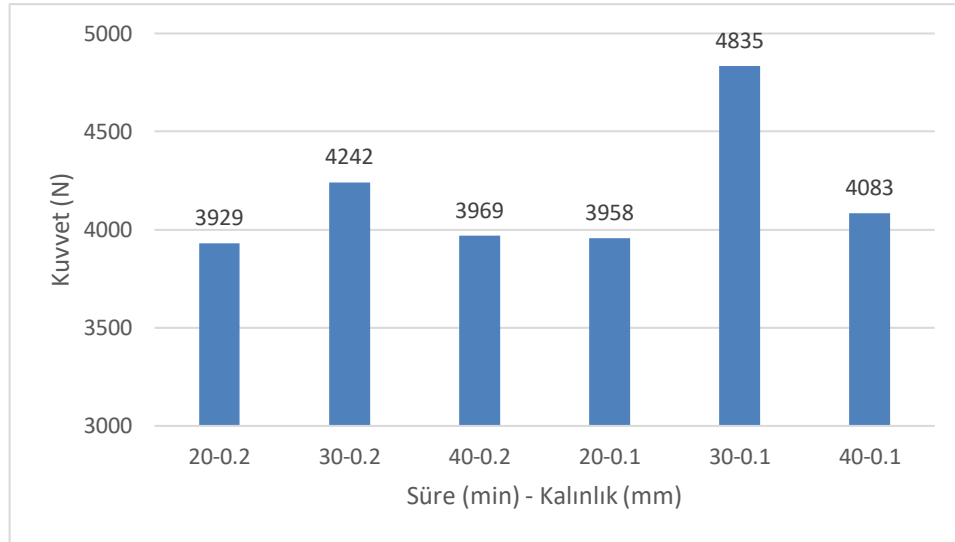
b) 30 min



c) 40 min

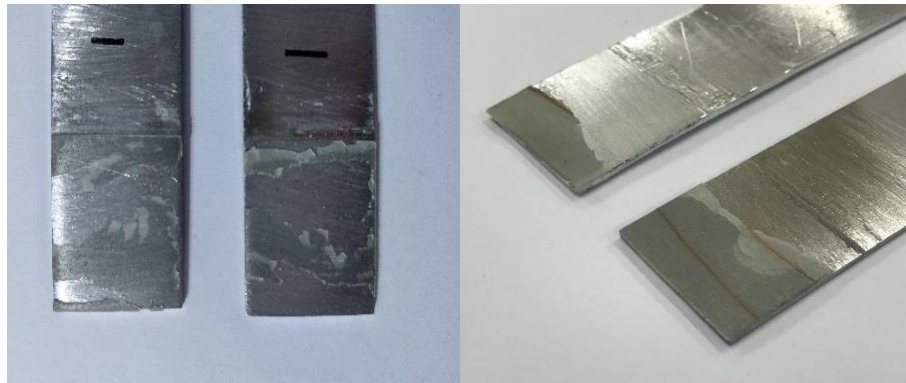
Şekil 4.18: KN-204 yapıştırıcı ile 125°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,2 mm olduğu durumda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi

Yapıştırıcı kalınlığı ister 0,1 mm isterse 0,2 mm olarak sabit tutulsun her iki durumda da süre artışına göre şekillenen bir çan eğrisi oluşmuştur, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18. 125°C’de 30 dakika kürleşme süresi 20 ve 40 dakikalık kürleşme sürelerinden daha yüksek dayanım göstermiştir. Ancak 30 dakikalık kürleşme süresinde 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığının dayanım değerinin 0,2 mm kalınlığa göre daha yüksek olduğu görülmüştür. 20 ve 40 dakikalık kürleşme sürelerinde ise yapıştırıcı kalınlığının etkisi görülememiştir.



Şekil 4.19: KN-204 yapıştırıcı ile 125°C’de yapılan kürleşmede elde edilen maksimum bağlantı dayanımları

Bu sonuçlara göre X5CrNi18-10 paslanmaz çelik ile ENAW-6013 alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin KN-204 yapıştırıcı ile birleştirildiği durumda 125°C’de yapılan kürleşme işleminde en yüksek bağlantı dayanımı 4835 N ile 30 dakika süre ve 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığında elde edilmiştir. Paslanmaz çelik ile alüminyum malzeme çiftlerinin 125°C’de kürleşmesinde en düşük bağlantı dayanımı ise 20 dakika süre 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında 3929 N olarak elde edilmiştir. Genel olarak ise 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm’ye göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Şekil 4.19’da 125°C ve KN-204 plastik çelik yapıştırıcısı için optimum sürenin 30 dakika olduğu, 20 dakikada yeterince kürleşme sonuçlarının iyi olmadığı ve 40 dakikada yapıştırıcının dayanımının bozulmaya başlaması sebebiyle azaldığı görülmektedir.



a) 30 min-0,1 mm

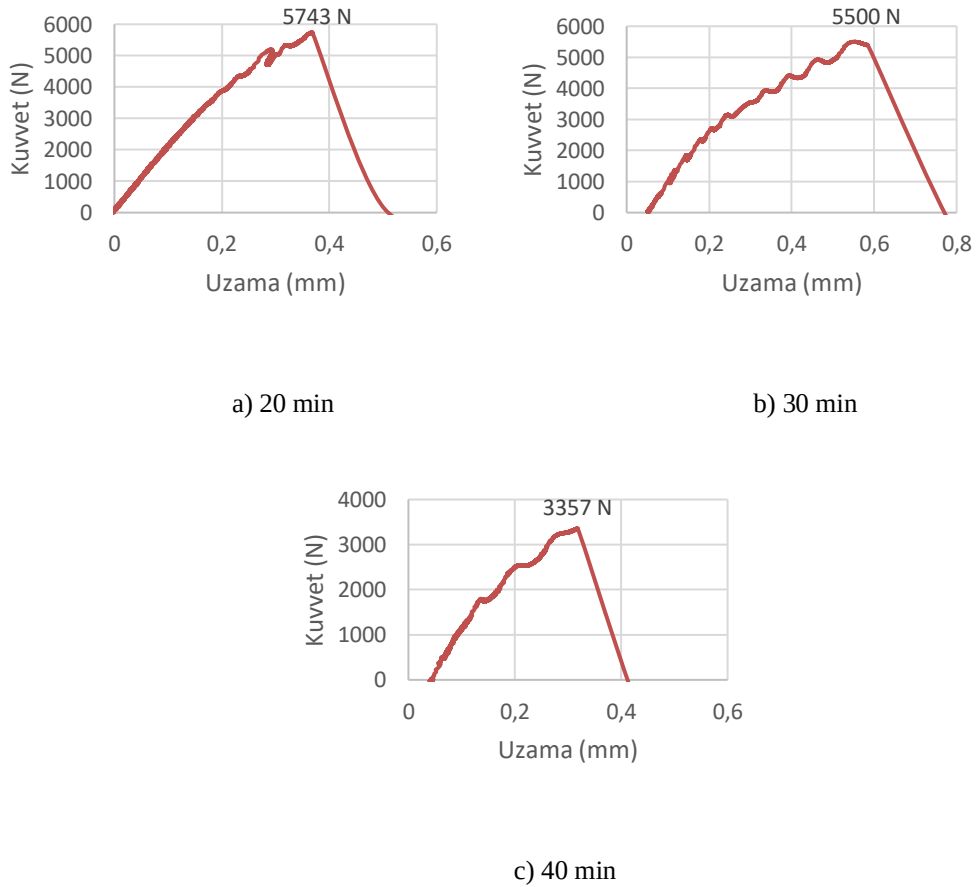
b) 30 min-0,2mm

Şekil 4.20: KN-204 yapıştırıcı ile 125°C’de yapılan yapıştırırmada kürleşme numuneleri

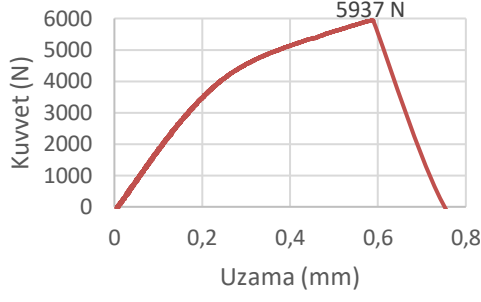
Şekil 4.20’de 125°C’de 30 dakika kürleşme süresinin tamamen homojen bir yapıştırma sağladığı her iki parçayada eşit miktarda yapışma olduğu ve iki yapıştırıcı kalınlığı içinde bu durumun sağlandığı görülmüştür. Homojen bir yapışma sonucu kohezyon hasar oluşumu görülmüştür.

4.2.3 KN-204 Yapıştırıcısı ile 150°C’de Yapılan Kürleşmede Yapıştırma Süresi ve Yapıştırıcı Kalınlığının Bağlantı Dayanımına Etkisi

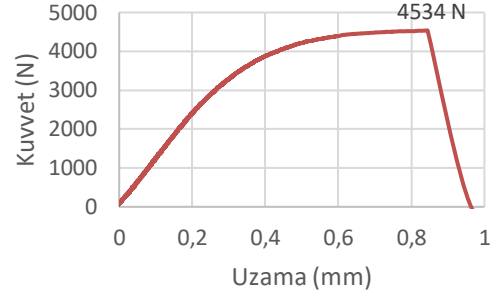
150°C’de yapılan kürleşme işlemlerinde yapıştırma süresi ve yapıştırıcı kalınlığının bağlantı dayanımına etkileri incelenmiştir. KN-204 yapıştırıcı ile 150°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm olduğu ve 0,2 mm olarak sabit tutulduğu durumlarda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de verilmiştir.



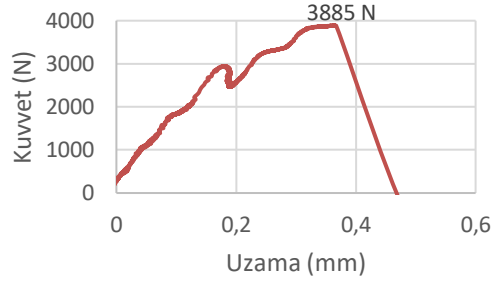
Şekil 4.21: KN-204 yapıştırıcı ile 150°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm olduğu durumda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi



a) 20 min



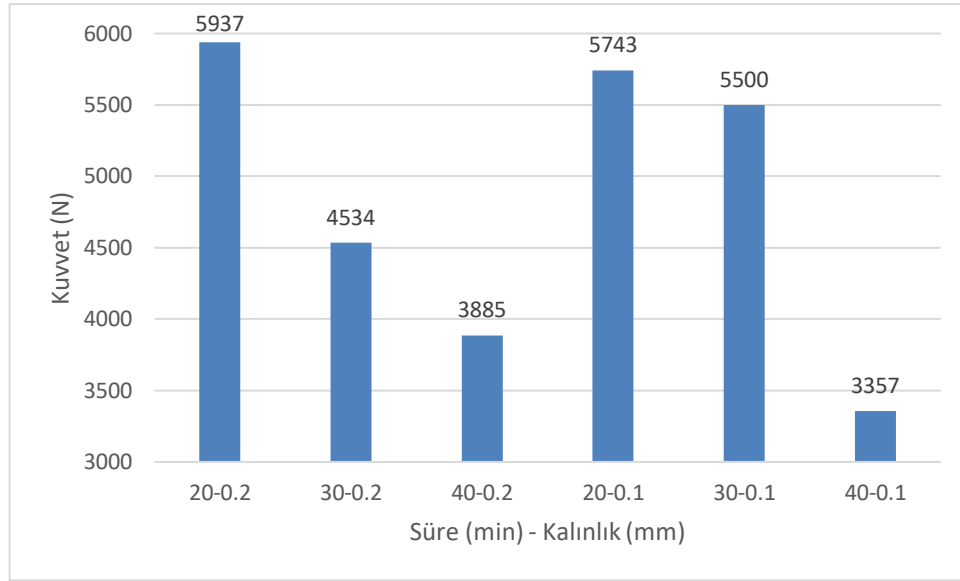
b) 30 min



c) 40 min

Şekil 4.22: KN-204 yapıştırıcı ile 150°C’de yapılan kürleşmede yapıştırıcı kalınlığı 0,2 mm olduğu durumda yapıştırma süresinin bağlantı dayanımına etkisi

Yapıştırıcı kalınlığı ister 0,1 mm isterse 0,2 mm olarak sabit tutulsun her iki durumda da kürleşme süresi arttıkça bağlantı dayanımının azaldığı görülmüştür, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22. 150°C’de 30 dakika kürleşme süresi hariç 20 ve 40 dakikada yapılan kürleşmelerde yapıştırıcı kalınlığının artırılmasının bağlantı dayanımını azalttığı görülmüştür. Özellikle 30 dakikada başlayan dayanım düşüşü 40 dakikada ciddi olarak belirgin hale gelmiştir. Aynı zamanda bu kürleşme sıcaklığında elde edilen grafiklerdeki dalgalanmaların büyük boyutlu olduğu dikkat çekmiştir. Bu yapıştırıcının bozunmaya uğradığının ve bunun sonucunda yapıştırma bölgesinde hava boşluklarına sebep verdiğini göstermiştir.



Şekil 4.23: KN-204 yapıştırıcı ile 150°C’de yapılan kürleşmede elde edilen maksimum bağlantı dayanımları

Bu sonuçlara göre X5CrNi18-10 paslanmaz çelik ile ENAW-6013 alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin KN-204 yapıştırıcı ile birleştirildiği durumda 150°C’de yapılan kürleşme işleminde en yüksek bağlantı dayanımı 5937 N ile 20 dakika süre ve 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında elde edilmiştir. Paslanmaz çelik ile alüminyum malzeme çiftlerinin 150°C’de kürleşmesinde en düşük bağlantı dayanımı ise 40 dakika süre 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığında 3357 N olarak elde edilmiştir. Genel olarak ise 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığı ve 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığı maksimum bağlantı dayanımları için 20 ve 40 dakika kürleşme sürelerinde 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığı için yüksek iken 30 dakika kürleşme süresinde 0,1 mm kalınlık için daha yüksektir. Şekil 4.23’de 150°C ve KN-204 plastik çelik yapıştırıcısı için optimum sürenin 20 dakika kürleşme süresi olduğu 30 ve 40 dakika kürleşme sürelerinde yapıştırıcının dayanımının bozulmaya başlaması sebebiyle azaldığı görülmektedir.



a) 20 min

b) 30 min

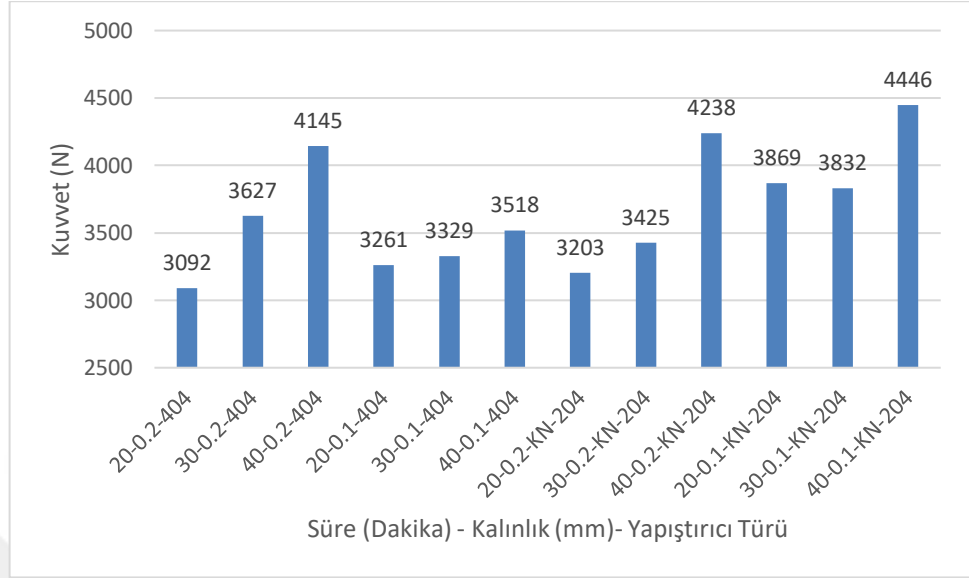
Şekil 4.24: KN-204 yapıştırıcı ile 150°C’de yapılan yapıştırırmada kürleşme numuneleri

Şekil 4.24’de 150°C’de 20 dakika kürleşme süresinde ve 30 dakika kürleşme süresindeki numuneler gösterilmiştir. 20 dakika kürleşme süresindeki numune tam olarak homojen olmasa bile küçük kabarcıklara rağmen yüksek dayanım göstermiştir. 30 dakikalık kürleşme süresinde ise artık homojen olmama durumu daha belirgin bir hal almıştır ve hava kabarcıklarının hem sayısı hem de boyutu artmıştır. Bu da riski arttırmıştır. Hasar türü kohezyondur.

4.3 Çekme Grafiklerinden Elde Edilen Maksimum Bağlantı Dayanımların Karşılaştırılması

100°C, 125°C ve 150°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta, 0,1 mm ve 0,2 mm olmak üzere iki farklı yapıştırıcı kalınlığında, 20,30 ve 40 dakika olarak üç farklı kürleşme süresinde, 404 plastik çelik ve KN-204 plastik çelik yapıştırıcısı ile birleştirilen X5CrNi18-10 (1.4301) paslanmaz çelik ile ENAW-6013 (AlMg1Si0.8CuMn) alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin maksimum bağlantı dayanımları her bir sıcaklık değeri için şu şekildedir:

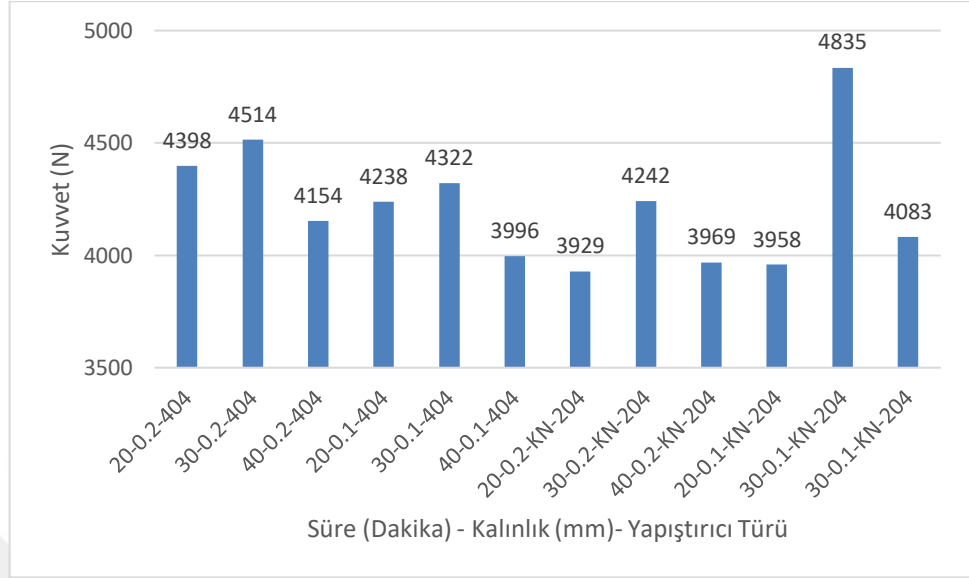
- 100°C yapılan yapıştırırmada kürleşme süresi, yapıştırıcı türü ve yapıştırıcı kalınlığının bağlantı dayanımına etkisi



Şekil 4.25: 100°C’de yapılan yapıştırırmada süre-kalınlık ve yapıştırıcı türü parametreleri için elde edilen maksimum bağlantı dayanımları

Bu sonuçlara göre X5CrNi18-10 paslanmaz çelik ile ENAW-6013 alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin 404 ve KN-204 yapıştırıcıları ile birleştirildiği durumda 100°C’de yapılan kürleşme işleminde en yüksek bağlantı dayanımı 4446 N ile 40 dakika süre ve 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığında ve KN-204 yapıştırıcısı ile elde edilmiştir. Paslanmaz çelik ile alüminyum malzeme çiftlerinin 100°C’de kürleşmesinde en düşük bağlantı dayanımı ise 404 yapıştırıcısı 20 dakika süre 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında 3092 N olarak elde edilmiştir. Genel olarak ise KN-204 plastik çelik yapıştırıcısının 100°C için ve benzer parametre değerleri için 404 plastik çelik yapıştırıcısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Şekil 4.25’de 100°C için optimum kürleşme süresinin 40 dakika olduğu 20 ve 30 dakikada yapıştırıcının kürleşmesinin yeterli olmadığı görülmektedir.

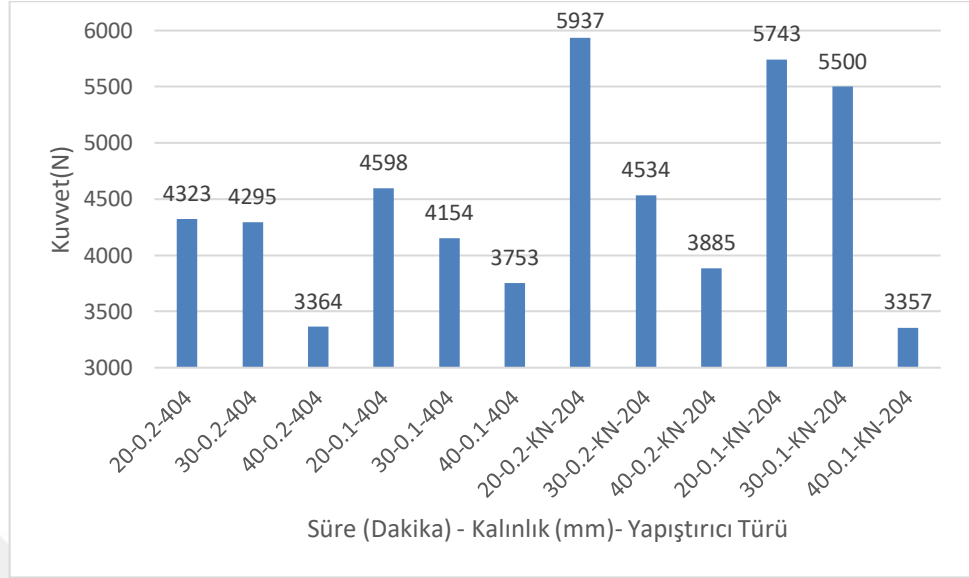
- 125°C yapılan yapıştırırmada kürleşme süresi, yapıştırıcı türü ve yapıştırıcı kalınlığının bağlantı dayanımına etkisi



Şekil 4.26: 125°C’de yapılan yapıştırırmada süre-kalınlık ve yapıştırıcı türü parametreleri için elde edilen maksimum bağlantı dayanımları

Bu sonuçlara göre X5CrNi18-10 paslanmaz çelik ile ENAW-6013 alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin 404 ve KN-204 yapıştırıcıları ile birleştirildiği durumda 125°C’de yapılan kürleşme işleminde en yüksek bağlantı dayanımı 4835 N ile 30 dakika süre ve 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığında ve KN-204 yapıştırıcısı ile elde edilmiştir. Paslanmaz çelik ile alüminyum malzeme çiftlerinin 125°C’de kürleşmesinde en düşük bağlantı dayanımı ise KN-204 yapıştırıcısı 20 dakika süre 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında 3929 N olarak elde edilmiştir. Genel olarak ise KN-204 plastik çelik yapıştırıcısının 125°C için ve benzer parametre değerleri için 404 plastik çelik yapıştırıcısından 30 dakika kürleşme süresinde daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak 125°C için 404 plastik çelik yapıştırıcısı ise 20 ve 40 dakika kürleşme sürelerinde KN-204’ e göre daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Şekil 4.26’da 125°C için optimum sürenin 30 dakika kürleşme süresi olduğu 20 dakika kürleşme süresinde daha yeterli kürleşmenin olmadığı ve 40 dakikada yapıştırıcının bozulmasından dolayı dayanımın düştüğü görülmektedir.

- 150°C yapılan yapıştırırmada kürleşme süresi, yapıştırıcı türü ve yapıştırıcı kalınlığının bağlantı dayanımına etkisi

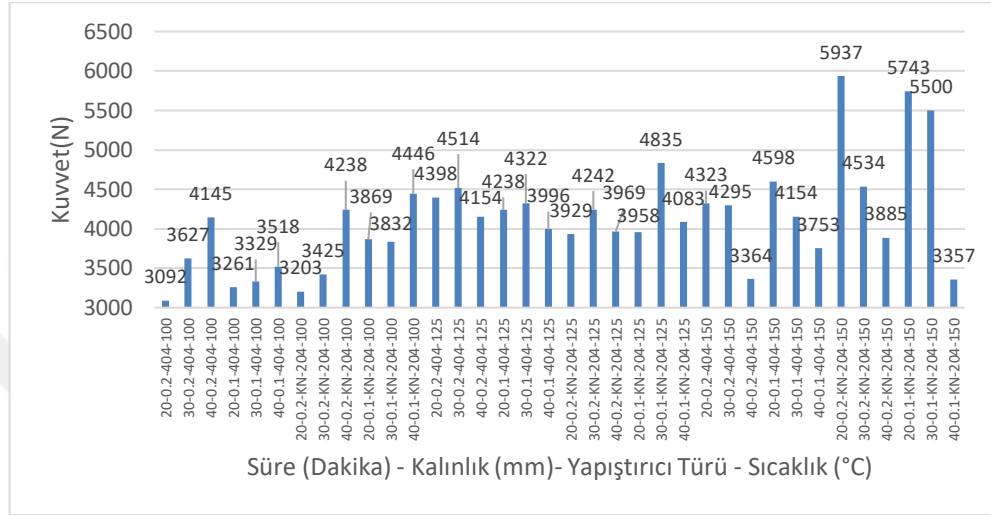


Şekil 4.27: 150°C’de yapılan yapıştırırmada süre-kalınlık ve yapıştırıcı türü parametreleri için elde edilen maksimum bağlantı dayanımları

Bu sonuçlara göre X5CrNi18-10 paslanmaz çelik ile ENAW-6013 alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin 404 ve KN-204 yapıştırıcıları ile birleştirildiği durumda 150°C’de yapılan kürleşme işleminde en yüksek bağlantı dayanımı 5937 N ile 20 dakika süre ve 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında ve KN-204 yapıştırıcısı ile elde edilmiştir. Paslanmaz çelik ile alüminyum malzeme çiftlerinin 125°C’de kürleşmesinde en düşük bağlantı dayanımı ise KN-204 yapıştırıcısı 40 dakika süre 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığında 3357 N olarak elde edilmiştir. Genel olarak ise KN-204 plastik çelik yapıştırıcısının 150°C için ve benzer parametre değerleri için 404 plastik çelik yapıştırıcısından 20 ve 30 dakika kürleşme süresinde daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak 150°C için diğer sıcaklık grafiklerinden farklı olarak görülen en önemli nokta maksimum ve minimum dayanımların arasındaki yüksek farktır. Bunun sebepleri 150°C’nin aslında her iki yapıştırıcı türü içinde bozulmaya sebep olacak derecede fazla olduğunu göstermektedir. Şimdiye kadar ki en yüksek dayanım değerleri 150°C için elde edilmiş olsa bile aslında çekme grafiklerinde daha net belli olan bir durum vardır. O da bu yüksek dayanımlara çıkarken yapıştırıcı içindeki boşluklardan dolayı oluşan dalgalanmaların çok fazla olmasıdır. Aslında bu boşluklar 150°C’nin gerçek hayat kullanım koşulları için bir risk olduğunu göstermektedir. Maksimum dayanım değerlerine bakmak bu yüzden burada yetersiz olmaktadır.

Yapıştırıcıda yüksek bozunma bilinmeyen durumlar ortaya çıkarabilir ve beklenmedik sonuçlara sebep olabilir yorumunu yapabilmek bu sonuçlar dahilinde mümkün olmaktadır.

- Tüm sıcaklıklarda yapılan yapıştırılmalarda kürleşme süresi, yapıştırıcı türü ve yapıştırıcı kalınlığının bağlantı dayanımına etkisi



Şekil 4.28: Tüm sıcaklıklarda yapılan yapıştırılmalarda süre-kalınlık ve yapıştırıcı türü parametreleri için elde edilen maksimum bağlantı dayanımları

Bu sonuçlara göre X5CrNi18-10 paslanmaz çelik ile ENAW-6013 alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin 404 ve KN-204 yapıştırıcıları ile birleştirildiği durumda tüm sıcaklıklardaki kürleşme işleminde en yüksek bağlantı dayanımı 5937 N ile 20 dakika süre ve 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında ve KN-204 yapıştırıcısı ile 150°C’de elde edilmiştir. Paslanmaz çelik ile alüminyum malzeme çiftlerinin tüm sıcaklıklardaki kürleşmesinde en düşük bağlantı dayanımı ise 404 yapıştırıcısı 20 dakika süre 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında 100°C için 3092 N olarak elde edilmiştir.

Genel olarak ise KN-204 plastik çelik yapıştırıcısının birkaç parametre hariç 404 plastik çelik yapıştırıcısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yine genel olarak 100°C de her iki yapıştırıcının da yüksek sürelerde ancak yeterli kürleşmeye ulaştıkları görülmüştür. Ancak 150°C için diğer sıcaklıklardan farklı olarak her iki yapıştırıcının da 20 dakikada iyi sonuç verdiği 30 ve 40 dakikada kullanımının uygun olmadığı görülmüştür. Her ne kadar maksimum dayanım değerlerine ulaşamamış olsa da bu deney çalışmasında 125°C’nin güvenli kullanım için en optimum sıcaklık

olduğu gözlenmiştir. Bu sıcaklık değerinde en optimum sürede 30 dakika olarak bulunmuştur. Bu sıcaklıkta her iki yapıştırıcıda birbirlerine oldukça yakın değerler vermişlerdir. Yine de küçüğe olsa farklar vardır ve bu farklar 125°C ve 30 dakika için 0,2 mm kalınlıkta 404 plastik çelik yapıştırıcısının kullanımının daha iyi olacağı 0,1 mm kalınlık için ise KN-204 plastik çelik yapıştırıcısının daha iyi bir kullanım sunacağı söylenebilir.

Tüm parametreler için ise yapıştırıcının kalınlığı kriteri net olarak belirleyici bir durum oluşturmamıştır. Çünkü toplam 18 farklı durum için incelenen kalınlık kriteri 10 parametrede 0,1mm kalınlık lehine yüksek dayanım 8 parametrede ise 0,2 mm kalınlık lehine daha yüksek dayanım sonucunu vermiştir.

4.4 İzod Darbe Sonuçlarından Elde Edilen Bağlantı Dayanımların Karşılaştırılması

100°C, 125°C ve 150°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta, 0,1 mm ve 0,2 mm olmak üzere iki farklı yapıştırıcı kalınlığında, 20,30 ve 40 dakika olarak üç farklı kürleşme süresinde, 404 plastik çelik ve KN-204 plastik çelik yapıştırıcısı ile birleştirilen X5CrNi18-10 (1.4301) paslanmaz çelik ile ENAW-6013 (AlMg1Si0.8CuMn) alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin izod darbe sonucu bağlantı dayanımları her bir sıcaklık değeri için şu şekildedir:

- 100°C yapılan yapıştırmada yapıştırıcı türü, kürleşme süresi ve yapıştırıcı kalınlığının bağlantı dayanımına etkisi

Tablo 4.1'e göre X5CrNi18-10 paslanmaz çelik ile ENAW-6013 alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin 404 ve KN-204 yapıştırıcıları ile birleştirildiği durumda 100°C'de yapılan kürleşme işleminde en yüksek darbe dayanımı 8,115 J ile 40 dakika süre ve 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığında ve 404 yapıştırıcısı ile elde edilmiştir. Paslanmaz çelik ile alüminyum malzeme çiftlerinin 100°C'de kürleşmesinde en düşük darbe dayanımı ise 404 yapıştırıcısı 20 dakika süre 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında 2,954 J olarak elde edilmiştir. Genel olarak ise 404 plastik çelik yapıştırıcısının 100°C için ve benzer parametre değerleri için KN-204 plastik çelik yapıştırıcısından daha yüksek darbe dayanımı verdiği görülmüştür. Ancak özellikle 20 dakika kürleşme

süresinde 404 plastik çelik yapıştırıcısının 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında ciddi şekilde diğer sürelerle kıyasla düşük bir sonuç verdiği görülmüştür. Tablo 4.1’de 100°C için optimum kürleşme süresinin 40 dakika olduğu 20 ve 30 dakikada yapıştırıcının darbe dayanımının daha düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1: 100°C’de yapılan yapıştırmada yapıştırıcı türü, kürleşme süresi ve yapıştırıcı kalınlığı parametreleri için elde edilen darbe dayanım sonuçları

Yapıştırıcı Türü	Kürleşme Süresi (min)	Yapıştırıcı Kalınlığı (mm)	İzod Darbe Sonucu (J) (Ortalama Değer)
404	20	0,2	2,954
404	20	0,1	7,262
KN-204	20	0,2	5,794
KN-204	20	0,1	6,331
404	30	0,2	6,374
404	30	0,1	8,069
KN-204	30	0,2	6,665
KN-204	30	0,1	6,778
404	40	0,2	7,383
404	40	0,1	8,115
KN-204	40	0,2	6,983
KN-204	40	0,1	6,855



a) 404-20 min-0,1 mm

b) 404-20 min-0,2 mm



c) KN-204-40 min-0,1 mm

d) KN-204-40 min-0,2 mm

Şekil 4.29: 100°C’de yapılan yapıştırma darbe deneyi kürleşme durumları

Şekil 4.29’da 100°C’de 20 dakika kürleşme süresinin yeterli olmadığını yapıştırıcının hala tam olarak darbe mukavemeti göstermeyecek kadar kürleşmediğini ve bu yüzden tek yüzeyde kaldığını yani adhezyon hasarı olduğu görülmüştür, 40 dakika kürleşme süresinde ise çok daha iyi bir yapışmanın olduğu ve iki yüzeyde de yapışma sağladığı yani kohezyon hasarı olduğu görülmüştür.

- 125°C yapılan yapıştırma yapıştırıcı türü, kürleşme süresi ve yapıştırıcı kalınlığının bağlantı dayanımına etkisi

Tablo 4.2’ye göre X5CrNi18-10 paslanmaz çelik ile ENAW-6013 alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin 404 ve KN-204 yapıştırıcıları ile birleştirildiği durumda 125°C’de yapılan kürleşme işleminde en yüksek darbe dayanımı 12,345 J ile

30 dakika süre ve 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığında ve KN-204 yapıştırıcısı ile elde edilmiştir. Paslanmaz çelik ile alüminyum malzeme çiftlerinin 125°C’de kürleşmesinde en düşük darbe dayanımı ise 404 yapıştırıcısı 20 dakika süre 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında 6,395 J olarak elde edilmiştir. Genel olarak ise 404 ve KN-204 plastik çelik yapıştırıcılarının 125°C için ve benzer parametre değerleri için birbirine yakın darbe dayanım değerleri verdiği görülmüştür. Her iki yapıştırıcı içinde 30 dakika kürleşme süresinde daha yüksek darbe dayanımı verdiği görülmüştür. Tablo 4.2’de 125°C için optimum kürleşme süresinin 30 dakika olduğu görülmektedir.

Tablo 4.2: 125°C’de yapılan yapıştırmada yapıştırıcı türü, kürleşme süresi ve yapıştırıcı kalınlığı parametreleri için elde edilen darbe dayanım sonuçları

Yapıştırıcı Türü	Kürleşme Süresi (min)	Yapıştırıcı Kalınlığı (mm)	İzod Darbe Sonucu (J) (Ortalama Değer)
404	20	0,2	6,395
404	20	0,1	8,909
KN-204	20	0,2	7,320
KN-204	20	0,1	8,903
404	30	0,2	9,651
404	30	0,1	9,204
KN-204	30	0,2	8,946
KN-204	30	0,1	12,345
404	40	0,2	9,460
404	40	0,1	8,934
KN-204	40	0,2	7,851
KN-204	40	0,1	7,948



a) KN-204-30 min-0,1 mm

b) KN-204-30 min-0,2 mm



c) 404-30 min-0,1 mm

d) 404-30 min-0,2 mm

Şekil 4.30: 125°C’de yapılan yapıştırırmada darbe deneyi kürleşme durumları

Şekil 4.30’da 125°C’de 30 dakika kürleşme süresinin tamamen homojen bir yapıştırma sağladığı her iki parçayada eşit miktarda yapışma olduğu görülmüştür. Homojen bir yapışma sonucu kohezyon hasar oluşumu görülmüştür.

- 150°C yapılan yapıştırırmada yapıştırıcı türü, kürleşme süresi ve yapıştırıcı kalınlığının bağlantı dayanımına etkisi

Tablo 4.3’e göre X5CrNi18-10 paslanmaz çelik ile ENAW-6013 alüminyum alaşımından oluşan malzeme çiftlerinin 404 ve KN-204 yapıştırıcıları ile birleştirildiği durumda 150°C’de yapılan kürleşme işleminde en yüksek darbe dayanımı 11,633 J ile 20 dakika süre ve 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında ve 404 yapıştırıcısı ile elde edilmiştir. Paslanmaz çelik ile alüminyum malzeme çiftlerinin 150°C’de kürleşmesinde en düşük

darbe dayanımı ise KN-204 yapıştırıcısı 40 dakika süre 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığında 6,161 J olarak elde edilmiştir. Genel olarak ise 404 plastik çelik yapıştırıcısının 150°C için ve benzer parametre değerleri için KN-204 plastik çelik yapıştırıcısından daha yüksek darbe dayanımı verdiği görülmüştür. Her iki yapıştırıcı içinde 20 dakika kürleşme süresinde daha yüksek darbe dayanımı verdiği görülmüştür. Tablo 4.3'de 150°C için optimum kürleşme süresinin 20 dakika olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3: 150°C'de yapılan yapıştırmada yapıştırıcı türü, kürleşme süresi ve yapıştırıcı kalınlığı parametreleri için elde edilen darbe dayanım sonuçları

Yapıştırıcı Türü	Kürleşme Süresi (min)	Yapıştırıcı Kalınlığı (mm)	İzod Darbe Sonucu (J) (Ortalama değer)
404	20	0,2	11,633
404	20	0,1	10,721
KN-204	20	0,2	7,619
KN-204	20	0,1	7,601
404	30	0,2	7,383
404	30	0,1	8,366
KN-204	30	0,2	7,121
KN-204	30	0,1	7,245
404	40	0,2	7,460
404	40	0,1	7,381
KN-204	40	0,2	6,161
KN-204	40	0,1	6,715



a) KN-204-20 min-0,1 mm

b) KN-204-20 min-0,2 mm



c) 404-40 min-0,1 mm

d) 404-40 min-0,2 mm

Şekil 4.31: 150°C’de yapılan yapıştırırmada darbe deneyi kürleşme durumları

Şekil 4.31’de 150°C’de 20 dakika kürleşme süresinde ve 40 dakika kürleşme süresindeki numuneler gösterilmiştir. 20 dakika kürleşme süresindeki numune tam olarak homojen olmasa da yüksek darbe dayanımı göstermiştir. 40 dakikalık kürleşme süresinde ise artık homojen olmama durumu daha belirgin bir hal almıştır ve hava kabarcıkları oluşmuştur. Hasar türü kohezyondur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Epoxy bazlı yapıştırıcılarla birleştirilen metallerin mekanik özelliklerini etkileyen yapıştırıcı kalınlığı, sıcaklık ve süre gibi faktörlerin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla;

Yapıştırma bağlantılarında 0,2 mm ve 0,1 mm kalınlıkta iki farklı kalınlık parametresi, 100°C, 125°C ve 150°C olmak üzere üç farklı sıcaklık parametresi, 20 dakika, 30 dakika ve 40 dakika olmak üzere üç adet süre parametresi belirlenmiştir. Her bir durum X5CrNi18-10 (1.4301) paslanmaz çelik ve ENAW-6013 (AlMg1Si0.8CuMn) alüminyum alaşımlı malzemelerin tek tesirli bindirme bağlantısında kullanılan Bisenol-A ile epiklorhidrin reaksiyonu sonucu çıkan yapıştırıcı KN-204 ve 404 yapıştırıcı ile tek tesirli yapıştırma bağlantısında uygulanmıştır.

Tüm parametreler 1,5 µm yüzey pürüzlülüğüne getirilen numuneler üzerinde uygulanmıştır. Aynı şartlarda ve aynı uygulayıcının elinden olacak şekilde parametre çeşitliliği uygulanmıştır.

Çalışma, deneysel olarak yapılmıştır.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar çekme deneyi için üç farklı şekilde aşağıda özetlenmiştir;

- **Sıcaklık**

Uygulanan parametrelere bakıldığında her iki yapıştırıcı içinde 100°C’de yüksek kürleşme süresi gerekliliği görülmüştür. Bu sıcaklıkta düşük sürelerde yapılan kürleşmeler dayanıklı bir yapıştırma durumunun oluşmamasına sebebiyet vermiştir. Yeterince kürleşme sağlanamadığı için düşük mukavemet değerleri alınmıştır.

150°C’de düşük kürleşme süresi gerekmektedir. Yine de güvenilirlik açısından bu sıcaklık değeri çok dikkatle takip edilmesi gerekir. Çünkü özellikle KN-204 yapıştırıcısında belirgin bir bozulma durumu gözlenmiştir. Düşük sürelerde yüksek mukavemet elde edilse de yapıştırma durumu homojen değildir ve hava kabarcıkları oluşturmuştur.

125°C’de her iki yapıştırıcının da çok daha homojen bir yapıda olduğu aynı zamanda da yüksek dayanım değerleri gösterdiği açıktır. Yine de bu sıcaklık içinde belirli bir süre kürleşme olması gerekmektedir. Çok düşük veya çok yüksek süreler dayanıma negatif etki göstermektedir.

- **Süre**

Uygulanan parametreler içinde üç farklı süre bulunmaktadır. Bu sürelerden 20 dakika için yüksek sıcaklık gerektiği görülmüştür. Parametreler içindeki düşük sıcaklıklar 20 dakika için yüksek dayanım değerleri vermemektedir. Bu süre için düşük sıcaklık birleşimi ile birlikte elde edilen parametrelerde yeterli kürleşme olmadığı görülmüştür.

40 dakikalık süre için düşük sıcaklık gerektiği bulunmuştur. Çünkü düşük sıcaklık yüksek süre birleşimi iyi bir kürleşme sağlamaktadır. Ve dayanım değerleri bu sebeple daha iyidir. Ancak bu süre ile yüksek sıcaklık birleşimleri yapıştırma durumu için yapıştırıcılarda yapısal bozulmalara ve homojen olmayan yapıştırma mekanizmalarına sebebiyet vermektedir.

30 dakikalık süre kullanılan süreler içindeki ortalama süredir aynı zamanda. Ve tıpkı sıcaklıkta olduğu gibi bu süre ile birleşimde düşük sıcaklık yeterli kürleşme olmamasına, yüksek sıcaklık ise yapısal bozunma ve homojen olmayan duruma yol açmıştır. Parametrelerdeki ortalama sıcaklık değeri ve bu süre ikilisi bize hem ideal bir dayanım hem de homojen bir yapı sunmaktadır.

- **Kalınlık**

Kalınlık kriteri için hem 0,2 hem de 0,1 mm kalınlık değerleri için tüm parametrelere dikkatle bakılmıştır. Çünkü kalınlık değerinin önemli olabileceği geçmiş çalışmalara bakılarak deney parametrelerine eklenmiştir. Ancak eldeki malzeme çeşitliliğinin az olması ve yeterli deney numunesi olmaması sebebiyle diğer kriterlerde üç farklı duruma bakılırken bu parametre için iki farklı durum incelenmiştir.

İki farklı kalınlık değeri için bu çalışmanın sonunda belirgin bir fark olmadığı gözlenmiştir. Her iki kalınlık değerini karşılaştırabileceğimiz toplam 18 farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu oluşan durumların sonucu olarak ise 10 adet durumda 0,1 mm

kalınlık daha yüksek dayanım değeri verirken 8 adet durumda ise 0,2 mm kalınlık daha yüksek dayanım değeri vermiştir. Bu bize en azından bu çalışmadaki kriterler dahilinde iki farklı yapıştırıcı kalınlığının net bir şekilde belirlenemediğini göstermiştir.

Deneyisel çalışmalardan elde edilen sonuçlar izod darbe deneyi için üç farklı şekilde aşağıda özetlenmiştir;

- **Sıcaklık**

Uygulanan parametrelere bakıldığında her iki yapıştırıcı içinde 100°C’de yüksek kürleşme süresi gerekliliği görülmüştür. Bu sıcaklıkta düşük sürelerde yapılan kürleşmeler izod darbe deneyi sonuçlarının düşük olmasına sebebiyet vermiştir.

150°C’de düşük kürleşme süresi gerekmektedir. Özellikle KN-204 yapıştırıcısında belirgin bir bozulma durumu gözlenmiştir. Düşük sürelerde yüksek darbe dayanımı elde edilse de yapıştırma durumu homojen değildir.

125°C’de her iki yapıştırıcının da çok daha homojen bir yapıda olduğu aynı zamanda da yüksek darbe dayanım değerleri gösterdiği açıktır. Yine de bu sıcaklık içinde belirli bir süre kürleşme olması gerekmektedir. Çok düşük veya çok yüksek süreler darbe dayanımına negatif etki göstermektedir. En yüksek darbe dayanım değeri de bu sıcaklıkta elde edilmiştir.

- **Süre**

Uygulanan parametreler içinde üç farklı süre bulunmaktadır. Bu sürelerden 20 dakika için yüksek sıcaklık gerektiği görülmüştür. Parametreler içindeki düşük sıcaklıklar 20 dakika için yüksek dayanım değerleri vermemektedir. Bu süre için düşük sıcaklık birleşimi ile birlikte elde edilen parametrelerde yeterli kürleşme olmadığı görülmüştür.

40 dakikalık süre için düşük sıcaklık gerektiği bulunmuştur. Çünkü düşük sıcaklık yüksek süre birleşimi iyi bir kürleşme sağlamaktadır. Ve darbe dayanım değerleri bu sebeple daha iyidir.

30 dakikalık süre kullanılan süreler içindeki ortalama süredir aynı zamanda. Parametrelerdeki ortalama sıcaklık değeri ve bu süre ikilisi bize hem ideal bir dayanım hem de homojen bir yapı sunmaktadır. En yüksek darbe dayanım değeri de bu sürede elde edilmiştir.

- **Kalınlık**

Kalınlık kriteri için hem 0,2 hem de 0,1 mm kalınlık değerleri için tüm parametrelerde 18 durum incelenmiştir. Sonuç olarak ise 12 adet durumda 0,1 mm kalınlık daha yüksek darbe dayanım değeri verirken 6 adet durumda ise 0,2 mm kalınlık daha yüksek darbe dayanım değeri vermiştir. Bu çekme deneyinden elde edilen sonuçlardan farklıdır. 0,1 mm kalınlık değeri bu çalışma için genel olarak daha yüksek darbe dayanım değeri vermiştir.

Tüm bu çalışma göz önüne alındığında ortaya çıkan değerlendirmeler;

Yapıştırma işlemi pek çok belirsizlik içeren bir süreç olduğu için deney parametrelerinin çoklu numunelerle denenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Tüm deney süreçlerinde tek araştırmacının elinde tüm deneylerin yapılmasının elle yapılan işlemlerde minimum farklılıkların elde edilmesinde önemli olduğu görülmüştür.

Tüm deney numunelerinin eşit bir şekilde pürüzlendirilmesi eşit bir yapışma alanı elde edilmesinde çok önemli bir faktördür.

Deney parametrelerinin uygulanabilmesi için gerekli ekipmanların hazırlanması gerekliliği bu deneyde fırınlamada kullanılan alt tablanın üretimi olarak görülmüştür. O tabla bu çalışmada kullanılarak tüm numunelerin eşit bir fiziksel yapıda olması sağlanmış ve eşit yapıştırma alanı elde edilmiştir.

Kürleşme için kullanılacak fırının sıcaklık değerlerini sabit tutabilmesi çok önemlidir. Çünkü bu çalışmada 25°C'lik farkın çok ciddi sonuçlara yol açtığı görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan fırın çok hassas bir şekilde yaklaşık $\pm 2^{\circ}\text{C}$ olarak fırını sabit sıcaklıkta tutabilmiştir.

Çekme deneylerinin yapıldığı çekme cihazı da yüksek hassasiyetli olmalıdır ve yapıştırma dayanımında oluşabilecek herhangi bir durumu son derece ayrıntılı olarak bize vermesi gerekmektedir. Çünkü bu çalışmada 150°C’lerde çekme grafiğinde oluşan dalgalanmalar yüksek hassasiyet sayesinde çok net bir şekilde görülebilmektedir.

İzod darbe deneylerinin yapıldığı cihazında kapasitesinin yeterli J değerinde olması önemlidir. Çünkü bu çalışmada 12 J değerleri aşılmıştır ve cihaza takılan çekicinin J değerinin yüzde 20-80 aralığında bir sonuç vermelidir ki sonuç tutarlı ve deneysel açıdan başarılı olsun. Bu deneyde bu duruma son derece dikkat edilmiş ve sonuçlar buna göre elde edilmiştir.

Bisenol-A ile epiklorhidrin reaksiyonu sonucu çıkan KN-204 yapıştırıcısı ve 404 yapıştırıcısı tüm parametrelerde aynı şartlarda karşılaştırılmıştır. Ve yeni üretilen KN-204 yapıştırıcısının piyasada sıkça kullanılan 404 yapıştırıcısına göre pek çok kriterde benzer ya da daha yüksek sonuçlar aldığı görülmüştür. Özellikle 404 plastik-çelik yapıştırıcısının kullanıldığı alanlarda bu yeni üretilen KN-204 yapıştırıcısının da bu çalışmadaki koşullar dahilinde kullanılabileceği bulunmuştur.

Bu çalışmada yüksek sıcaklıklarında düşük sıcaklıklarında gerek homojen yapışma gerekse kürleşmede olumsuz sonuçlar doğurduğu görülmüştür. Kullanılacak alanların bu konuda çok önemli olduğu görülmüştür. Ancak kullanım şartları gereği düşük sıcaklıklar kullanılması gerekli ise kürleşme süresinin uzatılması, kullanılacak ortamlarda yüksek sıcaklık gerekli ise kürleşme süresinin düşürülmesi sonucu bulunmuştur. Eğer tüm şartlar uygunsa en ideal olabilecek dayanım ve ömür için sonucun ise 125°C ve 30 dakika olduğu bulunmuştur.

150°C ve daha yüksek sıcaklıklarda bu çalışmadaki iki yapıştırıcının da kullanılmasının uygun olmadığı sonucu elde edilmiştir. Çok ciddi sorunların oluşabileceği çekme grafiklerinde net bir şekilde gösterilmiştir.

Tüm çalışmada başlangıç hedeflerinden olan sıcaklık, süre ve yapıştırıcı türü için net ve tutarlı sonuçlar elde edilmiştir ve çalışma bu kriterler içinde sonuca ulaştırılmıştır. Başlangıçta durumu merak edilenlerden biri olan yapıştırıcı kalınlığı için ise özellikle çekme deneyi sonuçlarının yakın olmasından dolayı daha sonraki

Çalışmalarda daha fazla numune sayısı ve daha fazla kalınlık durumu ile tekrar çalışılabilir.

Bu alışma kapsamına alınmayan ancak tüm çalışmada dikkatle uygulanan yüzey pürüzlülüğü içinde benzer parametre değerlerine ekleme yapılarak yüzey pürüzlülüğünün çeşitlendirilmesi çalışılabilir.

Bu alışma sadece deneysel veriler üzerine kurulu ve bunların sonuçlarının değerlendirilmesi sonucu oluşmuştur. Bu çalışmaya ek olarak sayısal modellemelerde benzer parametre değerleri için çalışılabilir ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması yapılabilir.



6. KAYNAKLAR

Adams, R.D., Comyn, J. and Wake, W.C., “Structural adhesive joints in engineering”, Chapman and Hall, London, 359s, (1997).

Adin, H., “Yapıştırıcı ile birleştirilmiş ters z tipi kompozit malzemelerinin mekanik analizi”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).

Akpınar, S. and Aydın, M.D., “3-D Non-Linear stress analysis on the adhesively bonded composite joint under bending moment”. *International Journal of Mechanical Science*, 81,149-157, (2014).

Alyanak, İ. ve Şen, F., “Paralel çift pim uygulanmış ve yapıştırılmış karma bağlantılı kompozit plakaların çekme yükü altındaki gerilme analizi”. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2, 11-23, (2015).

Anyfantis, K. N., and Tsouvalis, N. G., “Loading and fracture response of CFRP to steel adhesively bonded joints with thick adherents – Part I: Experiments”. *Composite Structures*, 96, 850–857, (2013).

Ashcroft, I. A., and Shaw, S. J., “Mode I fracture of epoxy bonded composite joints 2. Fatigue loading”. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 22(2), 151–167, (2002).

Benderdouche, N., Ouinas, D., Bouiadjra, B. B., Achour, T., “Influence of disbond on notch crack behaviour in single bonded lap joints”. *Materials and Design*, 31(9), 4356–4362, (2010).

Bezemer, A.A., Guyt, C.B. and Vlot, A., “New impact specimen for adhesives optimization of high-speed-loaded adhesive joints”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 18: 255-260, (1998).

Bikerman, J. J., “Causes of poor adhesion”. *Indus. Eng. Chem.*, Vol. 59, No. 9, pp. 40-44, (1967).

Campilho, R.D.S.G., “Cohesive zone modelling for static applications”. In R.D.S.G. Campilho (Eds.), *Strength Prediction of Adhesively-Bonded Joints* (Chapter 6, pp.122-161). Boca Raton, FL: Taylor and Francis Group. (2017).

Ciba, “Ciba user’s guide to adhesive, surface preparation and pretreatment”. Ciba Specialty Chemicals, Switzerland, 40s, (1999).

Critchlow, G.W., DaSilva, L.F.M., Carbas, R.J.C., Figueiredo, M.A.V. and Brown, K., “Effect of material, geometry, surface treatment and environment on the shear strength of single lap joints”. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 29, 621–632, (2009).

da Silva, L. F. M., Öchsner, A., R.D, A., "Handbook of adhesion technology". Springer, (2011).

de Sousa, C.C.R.G., Campilho, R.D.S.G., Marques, E.A.S., Costa, M., and da Silva, L.F.M., “Overview of different strength prediction techniques for single-lap bonded joints”. *Journal of Materials: Design and Applications*, 231 (1–2), 210–223, (2017).

EN 10088-1:2005, Stainless steels, European Normalisation (2005).

Fernández-Sáez, J., Loya, J. A., Villa, E. I., “Crack-front propagation during three-point-bending tests of polymethyl-methacrylate beams”. *Polymer Testing*, 29(1), 113–118, (2010).

Fernlund, J. M. R., Zimmerman, R. W., and Kragic, D., “Influence of volume/mass on grain-size curves and conversion of image-analysis size to sieve size”. *Engineering Geology*, 90(3-4), 124–137, (2007).

Fersini, D. and Pirondi, A., “Fatigue behaviour of Al2024-T3 friction stir welded lap joints”, *Engineering Fracture Mechanics*, Volume: (74), 468-480, (2008).

Ghibirgiu, D., “Determination of the toughness in mode II for different types of adhesive” *Integrated Master in Mechanical Engineering*, (2009).

Goglio, L. and Rossetto M., “Impact rupture of structural adhesive joints under different stress combinations”. *International Journal of Impact Engineering*, In Press, (2007).

Gültekin, K., Akpınar, S., Gürses, A., Eroglu, Z., Cam, S., Akbulut, H., Keskin, Z. and Ozel, A., “The effects of graphene nanostructure reinforcement on the adhesive method and the graphene reinforcement ratio on the failure load in adhesively bonded joints”, *Composites Part B: Engineering*, 98, 362-9, (2016).

Higuchi, I., Sawa, T. and Suga, H., “Three-Dimensional finite element analysis of single-lap adhesive joints subjected to impact bending moments”, *J. of Adhesion Sci. Technology*, 16: 1327-1342, (2002).

Higuchi, I., Sawa, T., Okuno, H. And Kato, S., “Three-dimensional finite element analysis of stress response in adhesive butt joints subjected to impact bending moments”. *The Journal of Adhesion*.,79: 1017-1039, (2003).

Karakaya, G. ve Soykasap, Ö., “Yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek bindirmeli dokumalı kompozit yapıların eğilme hasarı”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 43-52, (2008).

Kaya, F., “Ana Hatları ile Yapıştırıcılar”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 318s. (2004).

Kırkayak, L., “The effects of adhesive geometry on the stress distribution in bonded joints”. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25, 1, 27-33, (2019).

Kim, K.-S., Yoo, J.-S., Yi, Y.-M., and Kim, C.-G., “Failure mode and strength of unidirectional composite single lap bonded joints with different bonding methods”. *Composite Structures*, 72(4), 477–485, (2006).

Kinloch, A.J., “The science of adhesion. Part 1-Surface and interfacial aspects”. *Journal of Materials Science*, Vol. 15, pp. 2141-2166, (1980).

Kinloch, A.J., “Adhesion and adhesives science and technology”, Chapman and Hall, London, 441p, (1987).

Kinloch, A.J., “Adhesives in engineering”, *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, s307-335, (1997).

Krenk, S., Jönsson, J. and Hansen, L.P., “Fatigue analysis and testing of adhesive joints”, *Engineering Fracture Mechanics*., 53: 859-872, (1996).

J. Kupski, S. T. De Freitas, D. Zarouchas, P. P. Camanho, and R. Benedictus, “Composite layup effect on the failure mechanism of single lap bonded joints,” *Compos. Struct.*, vol. 217, no. December 2018, pp. 14–26, (2018).

Kwon, J.W. and Lee, D.G., “The effects of surface roughness and bond thickness on the fatigue life of adhesively bonded tubular single lap joints”, *J. Adhesion Sci. Technology*., 14: 1085–1102, (2000).

Lee, S.J., and Lee, D.G., “Development of fatigue failure modal fort he adhesively bonded tubular single lap joint under dynamic torsional loading”, *Journal of Adhesion*., 56: 157-169, (1996).

Lee, W.S. and Lee, D.G., “Static and dynamic torque characteristics of composite cocured single lap joints”, *Journal of Composite Materials.*, 31: 2188- 2201, (1997).

Li, G. and Lee-Sullivan, P., “Finite element and experimental studies on single-lap balanced joint in tension”, *Int. Journal of Adhesion and Adhesives*, vol 21, 211-220. (2001).

Loctite Corporation “Loctite worldwide desing handbook second edition”, on CD, (1998).

Mazumdar, S.K. and Mallick, P.K., “Static and fatigue behaviour of adhesive joints in SMC-SMC composites”, *Polymer Composites.*, 19: 139-146, (1998).

Jen, Y.-M., and Ko, C.-W., “Evaluation of fatigue life of adhesively bonded aluminum single-lap joints using interfacial parameters”. *International Journal of Fatigue*, 32(2), 330–340, (2010).

Ozel, A., Yazici, B., Akpınar, S., Aydın, M.D. and Temiz, S., “A Study on the strength of adhesively bonded joints with different adherends”. *Composites Part B*, 62,167-174, (2014).

Özenç, M., “Yapıştırma bağlantılarının darbe yükleri altındaki davranışlarının İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, (2007).

Özer, H., Öz, Ö., “An experimental investigation on the failure loads of the mono and bi-adhesive joints”. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 31(19–20), 2251–2270, (2017).

Öztürk, A. U., “Sandviç kompozitlerde ‘balpeteği’ yapısının optimizasyonu” Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği, İzmir, (2009).

Petrie, E.M., “Plastics and adhesives as adhesives”. *Handbook of Plastics and Elastomers* (C.A. Harper, ed.), 4th ed., McGraw-Hill, New York, (2002).

Ramani, K. and Zhao, W., “The evaluation of residual stresses in thermoplastic bonding to metal”, *International Journal of Adhesion and Adhesives.*, 17: 353-357, (1997).

Sawa, T. and Uchida, H., “A two dimensional stress analysis and strength evaluation of hand adhesive butt joints subjected to tensile loads”, *J. of Adhesion Science and Technology.*, 11: 811-833, (1997).

Sayman, O., “Elasto-plastic stress analysis in an adhesively bonded single-lap joint”. *Composites: Part B*, 43 (2012) 204–209, (2012).

Sayman, O., Arikan, V., Dogan, A., Soykok, I.F. and Dogan, T., “Failure analysis of adhesively bonded composite joints under transverse impact and different temperatures”. *Composites: Part B* 54 (2013) 409–414, (2013).

Sekizsilindir.com, “Otomobillerde civata yerine yapıştırıcı daha mı iyi? [online]”, (28 Ağustos 2016), <https://www.sekizsilindir.com/2016/08/otomotiv-yapistiricilari.html>, (2016).

Solmaz, M.Y., “Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mekanik analiz ve tasarımları”. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (2008).

Soykok, I. F., “End geometry and pin-hole effects on axially loaded adhesively bonded composite joints”, *Composites Part B: Engineering*, 77: 129-138, (2015).

Sun, P. C. C., “Hybrid joining of lightweight vehicle structures”. Ph.D. Thesis Oakland University, Rochester, Michigan. (2008).

Şekercioğlu, T., “Yapıştırma bağlantılarının dinamik yükler altındaki davranışlarının incelenmesi”. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, (2001).

Temiz, S., “Study of the effect of environmental factors on mechanical properties of adhesively bonded joints”, Ph. D. Thesis, Ataturk University, Erzurum, Turkey, (2003).

Temiz H., “Yapıştırma bağlantıları”, İstanbul Teknik Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi, İstanbul, (2010).

Thring, R. W., Li, G., Lee-Sullivan, P., “Nonlinear finite element analysis of stress and strain distributions across the adhesive thickness in composite single-lap joints”, *Composite Structures*, 46(4), 395–403, (1999).

TS EN ISO 10365, Yapıştırıcılarda başlıca kusurların gösterilmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2001).

Wei, X. and Yueguang, W., “Strength and interface failure mechanism of adhesive joints”. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 34 (2012) 80–92, (2012).

Woldesenbet, E, and Aga, Z.A., “Bond thickness effect on impact response and damage of adhesively-bonded graphite/epoxy composites”, *J. Adhesion Sci. Technology.*, 21: 21-34, (2007).

Yang, S., Gu, L. and Gibson, R. F., “Nondestructive detection of weak joints in adhesively bonded composite structures”. *Composite Structures*, Vol. 51, No. 1, pp. 63-71, (2001).



7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Bilge YILMAZ

Doğum Yeri ve Tarihi : 05/08/1993

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : bilgeyilmaz_20@hotmail.com

İletişim Adresi : Kuşpınar mahallesi Emek caddesi No:105
Almina Evleri A blok Daire:22 Pamukkale / DENİZLİ