

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**T-BAĞLANTILARDA (T-JOİNT) YAPIŞTIRICI VE MALZEMENİN
ÇEKME DAYANIMINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Haşim CAN

Makine ve Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine ve Uçak Mühendisliği Programı

EYLÜL 2016

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**T-BAĞLANTILARDA (T-JOİNT) YAPIŞTIRICI VE MALZEMENİN
ÇEKME DAYANIMINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Haşim CAN

1303720009

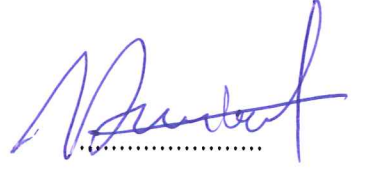
Makine ve Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine ve Uçak Mühendisliği Programı

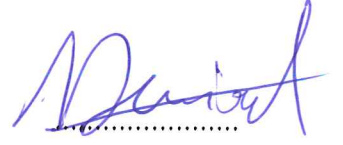
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat DEMİRAL

Türk Hava Kurumu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1303720009 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi “Haşim CAN“ ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “T-Bağlantılarda (T-Joint) Yapıştırıcı ve Malzemenin Çekme Dayanımına Etkisinin Araştırılması” başlıklı tezini, aşağıda imzaları bulunan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat DEMİRAL
Türk Hava Kurumu Üniversitesi



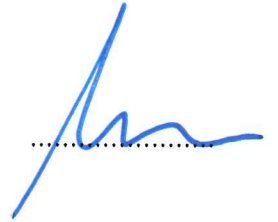
Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Murat DEMİRAL
Türk Hava Kurumu Üniversitesi



: Yrd. Doç. Dr. Munir ELFARRA
Yıldırım Beyazıt Üniversitesi



: Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAYA
Yıldırım Beyazıt Üniversitesi



Tez Savunma Tarihi: 07.09.2016

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE**

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum, “T-Bağlantılarda (T-Joint) Yapıştırıcı ve Malzemenin Çekme Dayanımına Etkisinin Araştırılması” adlı çalışmanın, tarafımdan akademik etik ve kurallara aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım kaynakların kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

01.09.2016

Haşim CAN

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans konusunda bana ilk rehberlik eden ve destek veren Sayın Doç. Dr. Ferhat KADIOĞLU oldu. Hedeflerime ulaşmam için verdiği fikirler ve bilgiler ile tez çalışmamın birçok aşamasında bana yol gösterdi. Türk Hava Kurumu Üniversitesinde çalıştığı dönemde tezim hakkında vermiş olduğu destek ve bilgi paylaşımı nedeniyle kendisine son derece müteşekkirim.

Yüksek Lisan tez çalışmam boyunca değerli zamanlarını bana ayırarak bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Murat DEMİRAL'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında yaptığım deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin hazırlanması ve malzeme temininde yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mahmut AYDIN ve 3E EOS firma sahibi Emrah ÖZDEMİR'e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında yaptığım deneysel çalışmalarda yardımcı olan Türk Hava Kurumu Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı çalışanları Mustafa KAPLAN ve Uğur ÜNAL'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Ender ŞAŞAL, Hasan PÜSKÜL, Fikret Cem SÖNMEZ, Enes EROL ve Mustafa Oğuz Kaan BAYLAK'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olup desteklerini esirgemeyen babam Ahmet CAN'a, annem Sabriye CAN'a, kayınpederim Avni MÜLAYİM'e ve kayınvalidem Sebahat MÜLAYİM'e çok teşekkür ederim.

Bu tezi, her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen eşim Kübra Rabia CAN'a ve kızım Sara CAN'a ithaf ediyorum.

Eylül 2016

Haşim CAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	ix
RESİM LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
BİRİNCİ BÖLÜM	1
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	3
İKİNCİ BÖLÜM	9
2. GENEL BİLGİLER	9
2.1 Yapıştırma ve Yapıştırmanın Temel Kavramları	9
2.1.1 Yapışma	9
2.1.1.1 Adezyon	9
2.1.1.2 Kohezyon	11
2.1.1.3 Islanabilirlik	12
2.2 Yapıştırılacak Yüzeylerin Hazırlanması	13
2.2.1 Yüzey hazırlama yöntemleri	14
2.2.2 Alüminyum ve alaşımlarına uygulanan özel yüzey işlemleri	15
2.3 Yapıştırma Geometrisi	16
2.4 Yapıştırıcı Bağlantılarında Karşılaşılan Gerilmeler ve Oluşan Hasar Tipleri	18
2.5 Yapışmayı Etkileyen Fiziksel ve Kimyasal Faktörler	21
2.6 Yapıştırıcıların Kullanım Alanları	22
2.7 Yapıştırmanın Avantajları ve Dezavantajları	24
2.8 Yapıştırıcı Türleri	26
2.8.1 Kimyasal tipleri açısından yapıştırıcılar	26
2.8.2 Form açısından yapıştırıcılar	30
2.9 Yapıştırma Bağlantılarının Diğer Bağlantı Çeşitleri İle Karşılaştırılması	31
2.9.1 Kaynak ile bağlantı	31
2.9.2 Perçin ile bağlantı	33
2.9.3 Lehim ile bağlantı	34
2.9.4 Cıvata ve vida ile bağlantı	34
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM	35
3.1 Deney Düzenegi	35
3.2 Deney Numuneleri	37
3.3 Kullanılan Yapıştırıcının Teknik Özellikleri	39
3.4 Yapıştırma İşlemi	40

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	43
4. DENEY SONUÇLARI	43
BEŞİNCİ BÖLÜM	52
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	52
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	59



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: Perçin, kaynak ve yapıştırıcılarla birleştirmede oluşan gerilme yığılmaları.....	1
Şekil 2.1	: Yapıştırma ek yerindeki kuvvetler.....	10
Şekil 2.2	: Adezyon ve kohezyon olayının şematik olarak gösterilmesi.....	12
Şekil 2.3	: Islanabilirlik.....	12
Şekil 2.4	: Temas açısı ve mukavemet ilişkisi.....	13
Şekil 2.5	: Yapıştırma bağlantı geometrileri.....	17
Şekil 2.6	: Tek tesirli bindirme bağlantısının şekil değiştirmeden önce ve şekil değiştirmeden sonraki görünümü.....	18
Şekil 2.7	: Temel hasar tipleri.....	19
Şekil 2.8	: Yüklenmiş haldeki tek tesirli bindirme bağlantısının deforme olmuş hali ve kayma gerilmesi dağılımı. (a) Rijit malzeme, (b) Elastik malzeme.....	20
Şekil 2.9	: Yüklenmiş haldeki çift tesirli bindirme bağlantısında ve yapıştırıcıda oluşan gerilmeler.....	20
Şekil 2.10	: Yük tipleri ve bindirme bölgesindeki gerilme dağılımları.....	21
Şekil 2.11	: Otomobilde yapıştırıcıların kullanıldığı alanları.....	23
Şekil 2.12	: Uçak yapılarındaki sandviç panellerde yapıştırıcı kullanımı.....	23
Şekil 2.13	: Uçaklarda yapıştırıcıların kullanıldığı bölgeler.....	24
Şekil 2.14	: Boeing 787’de yapımında kullanılan malzeme çeşitleri.....	24
Şekil 2.15	: Kaynak, perçin ve yapıştırıcı birleştirmelerinde oluşan gerilme yığılmaları.....	32
Şekil 2.16	: Isının etkisi altındaki bölgedeki kristal yapı değişimi.....	32
Şekil 4.1	: 2 mm Mlz. ve 1,5 mm Ypş. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.....	43
Şekil 4.2	: 2 mm mlz. ve 1 mm ypş. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.....	44
Şekil 4.3	: 2 mm mlz. ve 0,6 mm ypş. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.....	44
Şekil 4.4	: 2 mm malzeme kalınlığı için hata çubuğu grafiği.....	45
Şekil 4.5	: 3 mm mlz. ve 1,5 mm ypş. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.....	46
Şekil 4.6	: 3 mm mlz. ve 1 mm ypş. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.....	46
Şekil 4.7	: 3 mm mlz. ve 0,6 mm ypş. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.....	47
Şekil 4.8	: 3 mm malzeme kalınlığı için hata çubuğu grafiği.....	47
Şekil 4.9	: 5 mm mlz. ve 1,5 mm ypş. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.....	48
Şekil 4.10	: 5 mm mlz. ve 1 mm ypş. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.....	49

Şekil 4.11 : 5 mm mlz. ve 0,6 mm ypş. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.....	49
Şekil 4.12 : 5 mm malzeme kalınlığı için hata çubuğu grafiği.	50
Şekil 4.13 : 5 mm, 3 mm, 2 mm malzeme kalınlığı için hata çubuğu grafiği.....	51



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 : Anaerobik yapıştırıcılar için ticari örnekler.	27
Tablo 2.2 : Siyanoakrilat yapıştırıcılar için ticari örnekler.	27
Tablo 2.3 : Epoksi yapıştırıcılar için ticari örnekler.	29
Tablo 2.4 : Poliüretanlar için ticari örnekler.	29
Tablo 2.5 : Fenolik reçineler için ticari örnekler.	30
Tablo 3.1 : Tenson WDW-T50 test cihazı teknik özellikleri.	36
Tablo 3.2 : Loctite EA 9394 aero teknik özellikleri.	39



RESİM LİSTESİ

Resim 2.1	: Airbus A330 gövdesi perçin bağlantısı, 2 sıralı perçin dikişi titanyum perçinler.	33
Resim 2.2	: Perçin konstrüksiyon – Eiffel kulesi.	33
Resim 2.3	: Cıvata ile birleştirilmiş T birleştirme örneği.	34
Resim 3.1	: WDW-T50 model çekme test cihazı.	35
Resim 3.2	: T –Bağlantı aparatı.	37
Resim 3.3	: L parça resmi.	38
Resim 3.4	: I parça resmi.	38
Resim 3.5	: T-bağlantı numune ölçüleri (mm).	39
Resim 3.6	: Dijital tartı.	40
Resim 3.7	: L Parçaların yapıştırılması.	41
Resim 3.8	: L Parçaların birleştirilmesi.	41
Resim 3.9	: T-bağlantının oluşturulması.	42
Resim 3.10	: Fırın.	42

ÖZET

T-BAĞLANTILARDA (T-JOİNT) YAPIŞTIRICI VE MALZEMENİN ÇEKME DAYANIMINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Yüksek Lisans Tezi, Makine ve Uçak Mühendisliği

Haşim CAN

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat DEMİRAL

Eylül, 2016, 59 sayfa

Malzemelerin birleştirme teknikleri olarak birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlar cıvata, kaynak, lehim, perçin ve yapıştırıcı ile birleştirme olarak sınıflandırılabilir. Yapıştırıcı ile birleştirme kullanımı teknolojik gelişmelerden sonra hız kazanmıştır. Bu yöntem sayesinde farklı türden malzemeler birleştirilebilmekte ve lineer bir yük dağılımı elde edilebilmektedir. Yapıştırıcıların tercih edilmesindeki bir diğer neden, hafif ve ekonomik olmasıdır.

Bu çalışmada yapıştırıcı ile birleştirilmiş yapılar üzerinde, yapıştırıcı ve malzeme kalınlığının çekme dayanımına etkisi araştırılmıştır. Malzeme olarak alüminyum, yapıştırıcı olarak uçak sanayisinde oldukça fazla tercih edilen Loctite EA 9394 Aero kullanılmıştır.

Deneysel araştırmalar sonucunda malzeme kalınlığının artması ile yapıştırıcının çekme dayanımına etkisinin azaldığı görülmüştür. İnce malzemelerin yapıştırılması sırasında optimum yapıştırıcı kalınlığı seçilmelidir. Yapıştırıcı kalınlığının kuvvet dayanımına etkisinin doğru orantılı olmadığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: T-Bağlantı, Yapıştırıcı, Yapıştırma Türleri, Çekme Dayanımı

ABSTRACT

RESEARCH OF THE EFFECT ON THE TENSILE STRENGTH OF THE ADHESIVE AND METARIAL AT T-JOINT

Master Thesis, Mechanical and Aeronautical Engineering

Haşim CAN

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Murat DEMİRAL

September, 2016, 59 page

Many methods are used as joining techniques of the materials. These can be classified as bolt, welding, soldiring, rivet and joining with adhesive. The use of joining with adhesive had been increased after the technological developments. By means of this method, different types of materials can be combined and a linear load distribution can be obtained. Another reason to prefer adhesive is lightweight and economical.

In this thesis study, the effect of thickness of material and adhesive on tensile strength of the bonded joint structures has been investigated. As a material aluminium and as an adhesive Loctite EA 9394 Aero, an adhesive which is quite preferred in the aircraft industry, was used.

As a result of experimental studies, decreasing of the effect of adhesive on tensile strength with increasing material thickness was observed. During bonding of thin materials, the optimum adhesive thickness must be chosen. It was observed that, the effect of thickness of adhesive, on the force strength was not directly proportional.

Keywords: T-Joint, Adhesive, Bonding Types, Tensile Strength

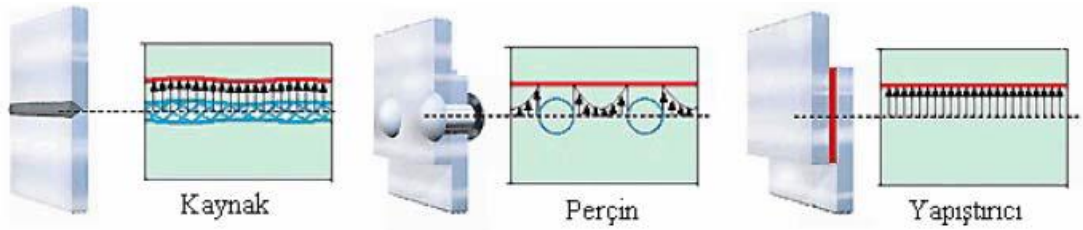
BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Malzemeleri birbirine ekleyip bir bütün olarak tutmak amacıyla birçok teknik ve malzeme kullanılmaktadır. Bu birleştirme teknikleri arasında cıvata, kaynak, lehim, perçin ve yapıştırma gibi teknikler bulunmaktadır. Günümüzde yapıştırıcıların diğer birleştirme yöntemlerinin yerini almasından dolayı yapıştırıcı kullanımı her geçen gün artmaktadır.

ASTM yapıştırıcı tanımını, yüzey teması ile malzemeleri bir arada tutabilen malzeme olarak yapmıştır [1]. Yapıştırma işleminde önemli olan parametreleri bulmak için mühendislik çalışmaları yapılmaktadır. Yapıştırma işlemi için önemli olan parametrelere örnek olarak yapıştırma boşluğu, yapıştırıcı tipi, yapıştırıcı kalınlığı, yüzey hazırlama işlemleri, çalışma sıcaklığı vs. verilebilir.

Mekanik olarak birleştirilen bağlantılara göre yapıştırıcı ile birleştirmeli bağlantılarda Şekil 1'de görüldüğü gibi daha düzgün yük dağılımı, daha esnek tasarım imkanı, imalat kolaylığı, sönümlenme ve mükemmel yorulma özellikleri meydana gelmektedir.



Şekil 1.1: Perçin, kaynak ve yapıştırıcılarla birleştirmede oluşan gerilme yığılımları [2].

Yapıştırıcıların diğer birleştirme tekniklerine göre sahip olduğu avantajlardan dolayı birçok araştırmacı tarafından mühendislik çalışmaları halen devam etmektedir. Yapıştırıcılar cıvata ve mil göbek bağlantılarının emniyete alınmasında, rulmanlı

yatakların montaj işlemlerinde, motor bloğu-kapak montajlarında, boşluk doldurulmasında ve birçok onarım işleminde kullanılmaktadır. Bu birleştirme tekniğinin havacılık ve uzay sanayisinde de kullanımının artması sebebiyle bunların dinamik ve darbeli yükler altındaki performans çalışmaları hız kazanmıştır. Özellikle insan can güvenliğinin söz konusu olduğu bu tür uygulamalarda dinamik ve darbe yüklerine maruz kalmış yapılarda oluşabilecek hasarların ve gerilmelerin tahmin edilip sonuçların değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yapıştırıcı kullanımının tercih edilmesinde bir başka sebep ise günümüz dünyasında enerji tüketiminin azaltılmasının çok önemli olmasıdır. Enerji tasarrufunun yapılabilmesinin başlıca yollarından bir tanesi sistemlerin ağırlığını azaltmaktır. Yapıştırıcı ile birleştirmelerin diğer birleştirme işlemlerine göre daha hafif olmasından dolayı tercih sebebi olmaktadır.

Yapıştırıcı ile birleştirmelerde yük ve gerilim tüm birleşim yüzeyine yayıldığından dolayı statik yüklerin ve dinamik yüklerin düzgün dağılımı sağlanır. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bir bağlantı, bükülme ve titreşime mekanik bağlantı türlerinden herhangi biriyle yapılmış bağlantılara göre daha dayanıklıdır [3].

Eski tarihlerden beri yapıştırıcı ile birleştirme kullanılan bir bağlantı türüdür. Eski zamanlarda ağaç, lif ve kumaş gibi çoğu temel yapısal malzemelerin birleştirilmesinde yapıştırıcılar kullanılıyordu [4].

Endüstri gelişimiyle kullanımı artan yapıştırıcıların kronolojisi aşağıdadır [5]:

1814 Hayvan kemiğinden yapıştırıcı

1872 Balık yapıştırıcılarının imali

1874 İlk balık tutkalı patenti

1875 İnce tabaka odun kaplama

1912 Kontrplak için fenolik reçine

1915 Ahşaplarda kan albümin kullanımı

1917 Uçak inşaatı için kazein yapıştırıcı

1920-1930 Selüloz esterli yapıştırıcılar ve alkit reçine yapıştırıcılarının kullanımı

1927 Yapıştırıcılarda kauçuk kullanımı

1928 Kloropren yapıştırıcı kullanımı

1928-1930 Soya yapıştırıcılar

1930 Organik polimer yapıştırıcılar

1930-1935 Basınca duyarlı kauçuk kullanımı
1935 Fenollü reçine yapıştırıcı film kullanımı
1939 Vinil asetat yapıştırıcılar
1940 Klorlu kauçuk yapıştırıcılar
1941 Formaldehit reçine yapıştırıcılar
1942 Madeni çevrim kaynak yapıştırıcılar
1943 Berrak formaldehit yapıştırıcılar
1944 Metal bağlama yapıştırıcılar
1945ane reçine yapıştırıcılar

1.1 Literatür Araştırması

Kodakoğlu [4] tarafından yapılan bu çalışmada, yapıştırıcıların genel özellikleri açıklanmıştır. Çekme gerilmesine maruz yapışma birleşmelerinin analitik ve nümerik olarak incelenmesi yapılmıştır.

Apalak vd [6] tarafından silindirik tek tesirli bindirme bağlantısı üzerinde sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan çalışmada, yapıştırıcı tabakasının serbest uçlarında büyük gerilme yığılmaları olduğu vurgulanmıştır. Bunun sonucu olarak silindirik tek tesirli bindirme bağlantısında dikkate değer deformasyonların olduğu belirtilmiş ve aynı zamanda bindirme uzunluğundaki artışın, yapıştırıcı tabakasındaki pik gerilme değerlerinin düşmesine sebep olduğu belirtilmiştir.

Adams [7] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada bindirme bağlantıları için klasik lineer çözümler tartışılmış ve sonlu elemanlar yönteminin kullanımıyla yapıştırma bağlantılarının analizinin yapılabileceği savunulmuştur. Yeni bir model dizayn edilerek kompozit malzemeler için yeni tasarım şekilleri önerilmiştir.

Apalak [8] tarafından yapılan bu çalışmada, sonlu elemanlar metodu kullanılarak T-tipi bağlantıların analiz ve tasarımları gerçekleştirilmiştir.

Apalak ve Güneş [9] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada büyük yer değiştirmeler düşünülerek yapıştırıcı ile birleştirilmiş basit bir bindirme bağlantısının termal gerilme analizi yapılmıştır. Termal analizlerde basit-bindirme bağlantısının dış yüzeylerinin farklı sıcaklık ve hızlarda hava akışına maruz kaldığı kabul edilmiş ve yapıştırıcı birleştirmeli bağlantıdaki son sıcaklık dağılımı, termal zorlanmaları hesaplamak için kullanılmıştır. Daha sonra basit-bindirme bağlantısının geometrik olarak non-lineer gerilme analizi sonlu elemanlar analizi kullanılarak 4 yapışan

malzemenin köşe durumu için çalışılmıştır. Yapışan malzeme tabakasının serbest uçları boyunca yapıştırıcı içerisinde ve aynı zamanda yapışan malzemelerin üst ve alt yüzeylerinde yüksek termal gerilme yoğunlaşmaları gözlenmiştir. Detaylı analizler en kritik yapıştırıcı bölgenin yapıştırıcı -yapışan malzeme ara yüzeyinin serbest uçları olduğunu göstermiştir. Termal yüklerin yapısal yükler gibi bağlantı elemanlarında ciddi gerilme ve uzama konsantrasyonlarına neden olduğu gözlenmiştir. Soyulma gerilmelerini azaltmak için kritik yapıştırıcı -yapışan malzeme bölgelerinin artması bütün yapışan malzeme kenar durumları için fayda sağlamamıştır.

Aydın [10] tarafından hazırlanan doktora tezinde, yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mekanik özellikleri deneysel ve teorik olarak incelenmiştir.

Bagheri ve Marouf [11] tarafından yapılan araştırmada; epoksi yapıştırıcı kullanılarak alüminyum tabakalar birleştirilmiştir. Numunelerin birleştirilmesinde kullanılan yapıştırıcılar farklı kimyasal maddelerle modifiye edilmiş ve DCB testi ile modifiye edilmiş yapıştırıcıların ara yüzey kırılma enerjisine etkisi incelenmiştir.

Bezemer vd [12] tarafından yapılan bu deneysel çalışmada, numuneler, üç farklı yapıştırıcının beş farklı malzeme kalınlığında, üç farklı test hızıyla test edilmiştir. Yapıştırıcı davranışına test hızının etkisi, hangi yapıştırıcının daha çok enerji absorbe ettiği, yapıştırıcı kalınlığının darbe dayanımı üzerine etkisi gözlemlenmiştir. Yapılan test sonuçlarında silindirik çubuk malzemelerin darbe testlerine en uygun olduğu kanısına varılmıştır. Aynı test hızında ve uygulanan darbe enerjisi karşısında en fazla absorbe edilen enerji, poliüretan yapıştırıcıda 0,5 mm yapıştırıcı kalınlığında elde edilmiştir. Epoksi için optimum kalınlık, en fazla enerji absorbe ettiği 0,25mm yapıştırma kalınlığı olarak tespit edilmiştir. Hava tabancası ile yapılan test sonuçlarında, 15J' lük darbe enerjisi uygulandığında epoksi uygulanan 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 sonucu elde edilmiştir.

Chan ve Vedhagiri [13] tarafından yapılan çalışmada, fiber takviyeli kompozit malzemeyi yapıştırıcı, cıvata ve her ikisini bir arada kullanarak basit şerit olarak birleştirmişlerdir. Sonuç olarak yapıştırıcı ile cıvata bağlantılarında yükün yapıştırıcı tarafından transfer edildiğini bulmuşlardır.

Ciba [14] tarafından yapılan çalışmada, kesme mukavemetinin yapıştırıcı kalınlığı arttıkça azaldığı sonucuna varılmıştır. Yapıştırıcı kalınlığının çok ince olması durumunda yapıştırıcının tüm yüzeye temas edemeyebileceği ve yapıştırma alanının bütünüyle kullanılıp kullanılmadığına dikkat edilmesi gerektiği sonucu elde edilmiştir.

Goncalves vd [15] tarafından yapılan çalışmada, yapıştırıcı birleştirmeli bağlantıların gerilme analizi için üç boyutlu bir sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Geometrik ve malzeme nonlineerliğinin yanı sıra yapıştırıcı tabaka kalınlığı boyunca gerilme değişimini de dikkate alınmıştır. Çalışmalarında plastik deformasyondan dolayı malzeme nonlineerliğinin kritik bölgede gerilme konsantrasyonunda bir düşüşe neden olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaya [16] tarafından yapılan çalışmada, çekme kuvveti altındaki tek ve çift yapıştırıcı ile birleştirilmiş bindirmelerdeki gerilme dağılımları sonlu elemanlar yöntemi kullanarak araştırmıştır. Çalışmasında gerilme dağılımı üzerine farklı parametrelerin etkilerini saptamak için ilk olarak yapıştırıcı kalınlığı dikkate alınmış, ikinci olarak ise benzer ve farklı yapışan malzemeler için yapıştırıcı kalınlığı dikkate alınmıştır.

Kaya vd [17] tarafından yapılan çalışmada, dinamik kuvvetlerin yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılar üzerindeki etkilerini sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelemişlerdir. İncelemeler üç boyutlu model üzerinde yapılmıştır. Bağlantının sonlu elemanlar modelinde her biri sekiz düğümlü ve üç serbestlik derecesine sahip izoparametrik üç boyutlu elemanlar kullanılmıştır. Meshleme işlemi bilgisayar tarafından yapılmıştır. Bağlantı sol kenarından tutturulmuş olan ince plaka olarak modellenmiş ve titreşim analizi yapılmıştır. Yapıştırıcı birleştirmeli bağlantının rezonans şiddetini yüksek oranda sönmülediği gözlemlenmiştir.

Kinloch [18] tarafından yapılan bu çalışmada, yapıştırıcıların kullanım alanları, otomotiv ve uçak sanayisindeki kullanılmaları üzerinde durulmuştur. Yapıştırıcıların avantajları ve dezavantajları vurgulanmış, dikkat edilmesi gereken kurallar üzerinde durulmuş adezyon, kohezyon ve curing (sertleşme) açıklanmaya çalışılmıştır. Birleştirme geometrisinin soyulma kuvvetine dayanımına etkisi teorik olarak incelenmiştir. Ortam şartlarının yapıştırma bağlantısının ömrü üzerindeki etkisi açıklanmıştır.

Kline [19] tarafından yapılan bu çalışmada, yapıştırıcı ile birleştirmelerde yapıştırıcı kalınlığının gerilme dağılımına etkisi incelenmiştir. Kalınlık boyunca gerilmelerin değişimini lineer kabul ederek, tabakasındaki değişken bağlantı parametrelerinin etkisini araştırmıştır.

Lee ve Lee [20] tarafından yapılan çalışmada, yapıştırıcı olarak epoksi reçinesi kullanılmış, maksimum moment taşıma kapasitesi, yapıştırma boşluğu 0,05–0,15mm olan bağlantılarda elde edilmiştir. Yapıştırıcı kalınlığı yükseldikçe moment taşıma kapasitesinin azaldığı görülmüştür.

Özel vd [21] farklı özelliklerde iki yapıştırıcı kullanarak oluşturulmuş ve dört noktadan eğme yüküne maruz kalan tek taraflı bindirme bağlantısında sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi yapmış ve sonuçları deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. Sayısal analiz sonucunda, bağlantı performansı üzerine yapıştırılan malzeme kalınlığının önemli bir etkisinin olduğunu göstermişlerdir.

Özel vd [22] tarafından yapılan çalışmada, iki boyutlu sonlu elemanlar analizini kullanarak, biri sert diğeri yumuşak iki yapıştırıcı ve sertleştirilmiş çelik yapışan malzemeden oluşan birbirlerinden çok farklı mekanik özelliklere sahip eğilme momentine maruz bir basit bindirme bağlantısının elasto-plastik gerilme analizini incelemişlerdir. Basit bindirme bağlantısının performansı üzerine geometrik 16 değişkenlerin etkilerini tespit edebilmek için dört farklı yapışan malzeme kalınlığı ve her bir yapıştırıcı için dört bindirme uzunluğu kullanmışlardır. Elde ettikleri analiz sonuçlarını doğrulamak için sonlu elemanlar analiz sonuçları ile deneysel sonuçları karşılaştırmışlar ve yapışan malzeme kalınlığının bağlantı mukavemeti üzerine her iki yapıştırıcı bağlantısı içinde önemli etkileri olduğunu gözlemlemişlerdir. İlave olarak, şekil değiştirme kabiliyeti yüksek olan yapıştırıcı ile birleştirilmiş basit bindirme bağlantısı tarafından taşınan yükün artan bindirme mesafesi ile arttığını kaydetmişlerdir.

Pfeiffer ve Shakal [23] tarafından yapılan çalışmada, yapıştırma alanının bağlantı mukavemeti üzerine etkisini araştırılmıştır. Kesme mukavemetinin yapıştırma alanının artmasıyla azaldığı belirtilmiştir. Yapıştırma alanının, deformasyon direnci ile ters orantılı olduğu ileri sürülmüştür.

Romanos [24] tarafından yapılan çalışmada, yapıştırma bağlantılarında, gerilmenin uniform olması için yapıştırıcı kalınlığının kontrol altında tutulması

gerektiği belirtilmiştir. Optimum dayanım değeri için yapıştırma boşluğunun sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir.

Ramani ve Zaho [25] tarafından yapılan çalışmada, yapıştırma bağlantısı hazırlanırken uygulanan basınç, ısıtma ve soğutma oranı, yüzey hazırlama yöntemi, fırında kalma sresinin bağlantı dayanımında büyük etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemelerin mekanik özellikleri arasındaki fark yukarıda bahsedilen özelliklerle birleşince yapıştırıcı-yapıştırılan malzeme ara yüzeylerinde artık gerilme oluşumuna neden olur. Ara yüzeyde meydana gelen i gerilmelerin yapıştırma bağlantısının performansını olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir.

Pandey ve arkadaşları [26] tarafından viskoplastisite göz önüne alınarak gerçekleştirilen yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların non-linear analizinde, yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mukavemeti üzerine yapıştırma boyu, yapıştırılan malzemenin açılı durumları ve yapıştırıcı kalınlığı göz önüne alınmıştır. Sonuç olarak, yapıştırma uzunluğunun artmasıyla bağlantıda meydana gelen maksimum kayma ve soyulma gerilmelerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Sancaktar ve Simmons [27] tarafından yapılan çalışmada, tek tesirli bindirme bağlantılarının mukavemeti ve deformasyon davranışı üzerine yapıştırılan malzemede oluşturulan çentiğin etkisini incelemişlerdir. Başlangıçta sonlu elemanlar metodunu kullanarak en uygun çentik yerini, çentik boyutlarını ve çentik geometrisini tespit ederek bu parametrik çalışmalardan sonra daha detaylı sonlu elemanlar analiziyle bu verilerin farklı hasar kriterlerine uygulanabilirliğini değerlendirmek için deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Deneysel sonuçlar çentikli numunelerin dayanımının, çentik olmayan numunelerden %29 daha fazla olduğunu göstermiştir. Sonlu elemanlar analizlerinde ise pik gerilme değerlerinde %27'lik bir düşüş olduğunu rapor etmişlerdir.

Sawa ve Uchida [28] tarafından yapılan çalışmada, tek taraflı bindirme bağlantılarında ara yüzeydeki kayma ve soyulma gerilmeleri üzerine yapıştırıcı tabakası kalınlığının etkisini incelemiş, ara yüzeyde serbest uçlara yakın bölgede oluşan gerilmelerin yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla arttığını tespit edilmiştir. Bu ara yüzeyde oluşan gerilmelerin yapıştırıcı kalınlığının belirlenmesinde önemli rol oynadığını göstermektedir.

Şekercioğlu [29] tarafından hazırlanan doktora tezinde, yapıştırma bağlantılarının dinamik yükler altındaki davranışlarının incelenmesi konusunda çalışmıştır.



İKİNCİ BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

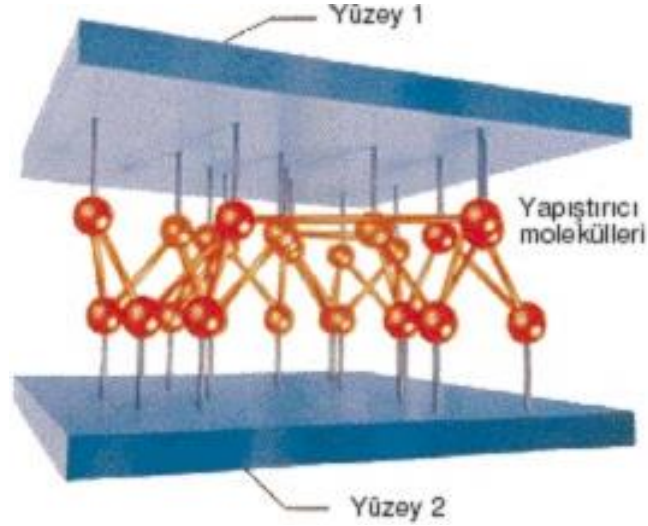
2.1 Yapıştırma ve Yapıştırmanın Temel Kavramları

2.1.1 Yapışma

Yapışma olayı, yapıştırıcının kendi içinde meydana gelen kohezyon ve yapıştırıcı ile malzeme arasında meydana gelen adezyon kuvvetleri sonucunda oluşan kimyasal ve fiziksel olaydır. Bu olaylar;

2.1.1.1 Adezyon

Farklı iki maddenin birbirine yapışmasını sağlayan çekim kuvvetidir. Adezyonu oluşturan iki farklı yüzey vardır; adeziv uygulandığı maddeye adherent, adezyonu oluşturan maddeye ise adeziv adı verilir. Adezyonun sağlanabilmesi için adeziv ile adherent arasında tam bir temasın meydana gelmesi gerekir [30]. Yapıştırıcının işlenmiş yüzeye teması tam olarak sağlanamazsa söz konusu çekim kuvvetleri oldukça zayıflar. Bu sebepten dolayı yapıştırıcının bütün yüzeye temas etmesi önemlidir.



Şekil 2.1: Yapıştırma ek yerindeki kuvvetler [31].

Yapılan araştırmalarda adı geçen adezyon teorileri şunlardır [32]:

a) Mekanik Teori: Malzeme ile yapıştırıcının mekanik olarak birbirine geçmesi ile yapışma olayının gerçekleşeceğini ifade eder. Malzeme yüzey pürüzlülüğünü arttırarak birleşme dayanımını arttırılabilir.

b) Difüzyon Teorisi: Fazlar arasında molekül alışverişi olduğunu ifade eder. Bu olay benzer polimerler arasında gerçekleşmesine rağmen, nadiren de olsa metal ve polimer ara yüzeylerinde de olabilecek bir durumdur. Yapıştırıcının yapıştırılacak madde içine difüzyon derecesi, yapıştırılacak maddenin serbest hacmine ve yapıştırıcı ile yapıştırılacak maddenin moleküler uygunluğuna, moleküler uygunluk ise, yapıştırıcı ve yapıştırılacak madde içindeki farklı polimerlerde mevcut olan fonksiyonel gruplar arasındaki çekime bağlıdır [33].

c) Adsorpsiyon Teorisi: Bir fazda bulunan iyon ya da moleküllerin, diğer fazın yüzeyinde yoğunlaşması olarak tanımlanabilir. Üç tip adsorpsiyon çeşidi vardır:

- 1) Fiziksel adsorpsiyon moleküller arası düşük çekim gücünden veya Van der Waals kuvvetlerinden dolayı meydana gelmektedir. Adsorbe olan molekülün katı yüzeyinde belirli bir yeri bulunmamaktadır, hareketli bir durumdadır.
- 2) Kimyasal adsorpsiyon ise daha kuvvetli güçlerin etkisi sonucu meydana gelir (kimyasal bileşiklerin oluşumu). Genellikle adsorbat yüzey üzerinde bir molekül kalınlığında bir tabaka oluşturur, moleküller yüzey üzerinde hareketsizdir.

3) Değişim (exchange) adsorpsiyonu, adsorbat ile yüzey arasında meydana gelen elektriksel çekimden dolayı oluşmaktadır.

d) Elektrostatik Teori: Bu teori, elektronik bant yapıları aynı olmayan iki malzemenin teması ile, ara yüzeyde adezyonu sağlayan iki katlı bir elektrostatik yük oluşacağını belirtmektedir [34].

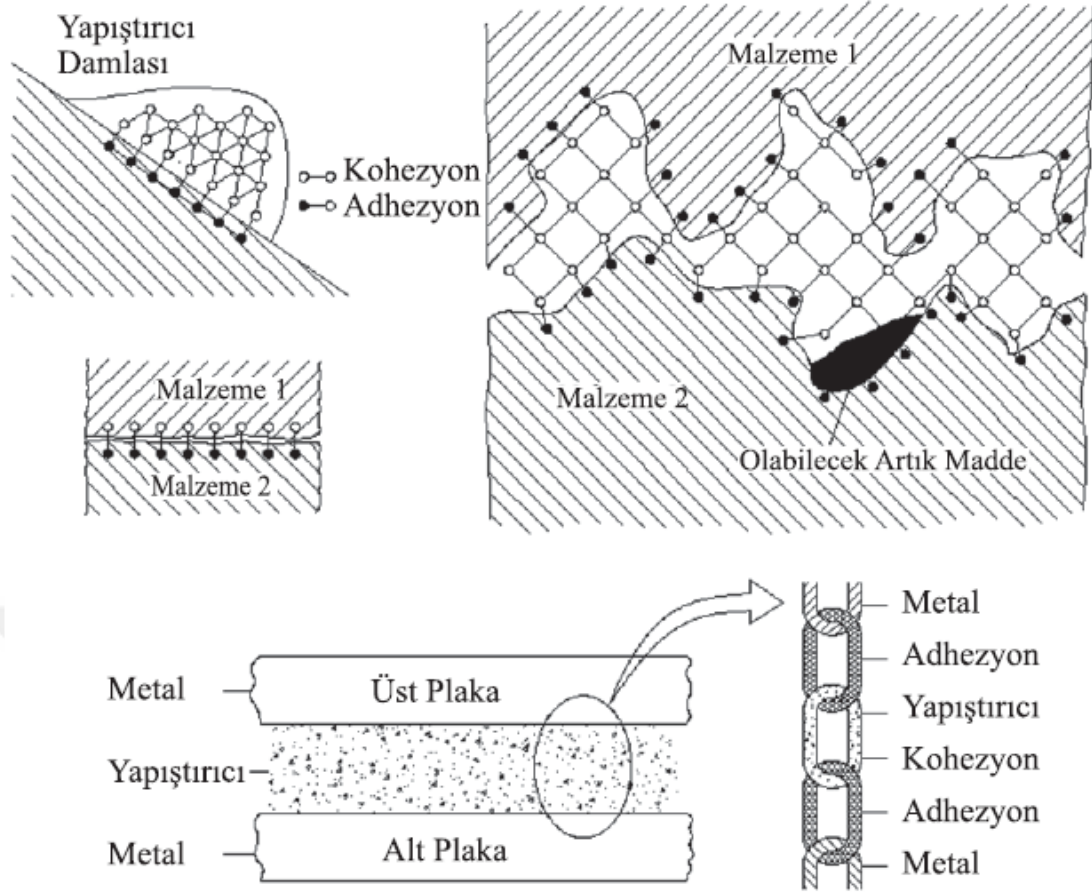
e) Kovalent Kimyasal Bağlanma Teorisi: Yapıştırıcı ile malzeme arasındaki kovalent bağdan dolayı meydana gelen adezyonu ifade eder. Sağlam birleştirmelerin oluşabilmesi için kovalent bağlar oluşmalıdır.

2.1.1.2 Kohezyon

Kohezyon, bir maddenin moleküllerinin primer ve sekonder valans kuvvetleri tarafından bir arada tutulduğu durum olarak ifade edilir [33].

Bir başka deyişle yapıştırıcıyı oluşturan materyallerin kimyasal (bağ kuvvetleri) ve fiziksel (Van der Waals kuvvetleri) etkiyle bir arada tutulma olayıdır. Yapıştırıcının kendi içerisinde polimerisasyon aşamasında meydana gelir.

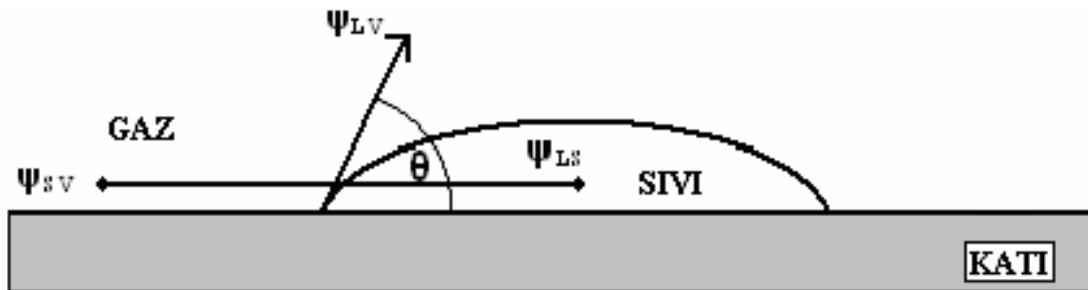
İdeal bir yapıştırıcı hem adezyon hem de kohezyonu oluşturacak kadar yüksek bir kapasiteye sahip olmalıdır [35]. Kohezyon kuvveti yapıştırıcının özellikleri ile belirlenen bir kuvvettir. Fakat adezyon kuvvetini arttırmak veya azaltmak mümkündür. Bu kuvveti değiştirmenin birkaç yolu yapıştırma yüzeyini maksimum yapışma verimi alabileceğimiz duruma getirmektir. Bu yollardan bazıları istenmeyen yüzey tabakalarının temizlenmesi, yüzeyi kaplama, kimyasal aşılama ve plazma modifikasyonu işlemleridir. Bu şekilde hazırlanmış bir yüzey, sağlam ve uzun ömürlü yapışmanın elde edilmesini sağlayacaktır.



Şekil 2.2: Adezyon ve kohezyon olayının şematik olarak gösterilmesi [36].

2.1.1.3 Islanabilirlik

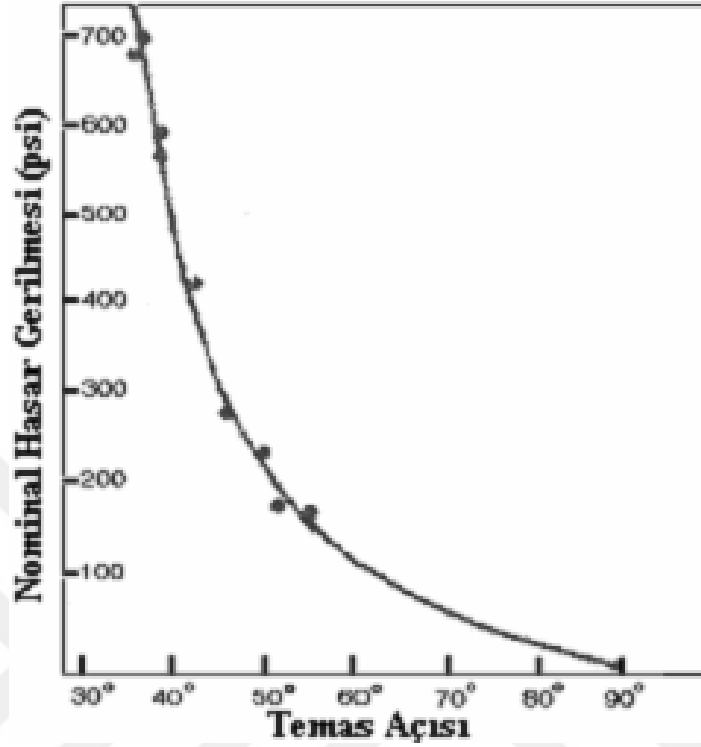
Islanabilirlik yapışmaya yardım eden mekanizmaların en önemlisidir. Islanabilirlik, sıvının katı yüzeye yayılabilirliğini ifade eder. Aşağıdaki Şekil 2.3'te ıslanabilirlik şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Islanabilirlik.

Temas açısı arttıkça yapışma mukavemeti düşmektedir. Yani temas açısı ile mukavemet ters orantılıdır (Şekil 2.4). Yapışma yüzeyinde bulunan leke ve

reaksiyonlar sonucu oluşan kirlilik ıslanabilirliği olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden yapıştırma işleminden önce yüzey temizliği mutlaka yapılmalıdır.



Şekil 2.4: Temas açısı ve mukavemet ilişkisi.

2.2 Yapıştırılacak Yüzeylerin Hazırlanması

Yüzey hazırlığı yapıştırıcı ile birleştirmelerde en önemli aşamadır [37]. Sürekli ve yüksek dayanımlı bir yapıştırma bağlantısı için yüzey temizliği önemlidir. Yüzey hazırlığı dikkatli bir şekilde yapılmadığında yapışmanın sağlandığı temas bölgesinde kopma meydana gelecektir. Doğru yüzey hazırlama yapıldığında, kopmalar yapıştırıcının kohezyon kuvvetinin aşılması durumunda meydana gelecektir.

Yüzey hazırlama işlemi uzun süreli dayanımı için çok önemlidir. Basit yüzey hazırlama yöntemleri bazı metallerde iyi bir yapışma veya uzun vadeli ortam şartlarına dayanım elde etmek için yeterli olmayabilir [38].

2.2.1 Yüzey hazırlama yöntemleri

Yüzey hazırlama yöntemlerinin seçiminde aşağıda verilenler dikkate alınmalıdır:

1. Bağlantı dayanımı,
2. Süreklilik ve hizmet edilen çevre,
3. Yapıştırılacak malzeme üzerindeki kirletici unsurların türü ve miktarı,
4. Yapıştırılacak malzeme

İyi bir yapıştırma işlemi için plastik ve elastomerler yüzey hazırlama işlemine metallere göre daha çok bağımlıdır. Yüzeyler aşağıda verilen yüzey hazırlama yöntemlerinin bir veya birkaçı uygulanarak hazırlanır.

a-) Yapıştırılacak yüzeylerin yağdan arındırılması

Güçlü ve uzun ömürlü yapışma için yapıştırılacak yüzeyde gres, yağ, toz ve diğer kalıntıların temizlenmesi yapışma işlemi için önemlidir. Yüzey temizliğinde kalıntı bırakmadan buharlaşan çözeltilerin kullanılması uygundur.

b-) Mekanik aşındırma

Yapıştırma bağlantılarının dayanımında yüzey pürüzlülüğünün önemli derecede etkisi vardır. Geniş yüzeyleri temizlemek için zımparalama iyi bir yöntemdir. Bağlantı dayanımı genellikle yüzey pürüzlülüğünün derecesine bağımlıdır. Farklı metaller için tavsiye edilen aşındırıcı boyutları aşağıda verilmiştir.

Çelik	Kuru zımparalama	80-100 mesh
Paslanmaz çelik	Islak zımparalama	140-325 mesh
Alüminyum	Islak zımparalama	140-325 mesh
Pirinç	Islak zımparalama	140-325 mesh

c-) Kimyasal ön-işlem

Yapıştırılacak yüzeylere kimyasal işlem uygulanması, yüzey hazırlama yöntemlerinin en etkilisidir. Bu yöntemle, yüzeyin kimyasal ve fiziksel özelliklerinde değişimler oluşturulur. Aşındırıcı çözeltilerin uygulanması ve maliyet artışından dolayı sanayide kullanımı sınırlıdır. Ancak, maksimum dayanımın elde edilebilmesi için, kimyasal veya elektrolitik ön işlem gereklidir.

d-) Birleştirilmiş yüzey hazırlama yöntemleri

Optimum yapıştırma özelliğinin sağlanabilmesi için genellikle birden daha fazla temizleme yöntemi istenir. Yapıştırılacak yüzeylerin hazırlanmasında genellikle aşağıda sıralanan üç basamağın gerçekleştirilmesi tavsiye edilmektedir.

1. Yağ alma
2. Mekanik aşındırma
3. Kimyasal ön-işlem

2.2.2 Alüminyum ve alaşımlarına uygulanan özel yüzey işlemleri

Alüminyum ve alaşımları uzun süreli çevre şartlarına maruz kalacaksa özellikle yüzeylerin hazırlanmasında kimyasal ön işlemlerin kullanılmasının oldukça etkili bir yöntem olduğu bulunmuştur. Alüminyum alaşımlarının yüzey hazırlığında kullanılan iki temel yöntem vardır (asitle dağlama ve anotlama). Hem asitle dağlama hem de anotlama işlemlerinde genellikle fosforik asit ya da kromik asit kullanılır [39].

Elektrolitik olarak yüzeyde koruyucu bir oksit tabakasının oluşturulduğu anotlama işlemi yalnız alüminyum alaşımlarına uygulanır. Diğer metal yüzeylerine uygulanmaz. Fosforik asitle anotlamada yüzeyin yapışma kabiliyeti ve korozyon dayanımını artırmak için fosforik asit kullanılarak, yapışma yüzeyinde kristal bir film tabaka oluşturulur. Parçalar fosforik asit çözeltisine daldırıldığında, yüzeyde çinko fosfat veya demir fosfat kristalleri şekillenir.

Sülfürik asit-dikromat prosesi alüminyum ve alaşımlarının yüzey hazırlanmasında kullanılan etkili, kontrol edilebilir ve güvenilir bir yöntemdir. Bu proses uzay ve havacılık endüstrilerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kromik asitle anotlama, bir metal yüzeyinde kromik asit çözeltisi kullanılarak non-kristal film tabakasının oluşturulduğu bir prosestir. Bu yöntem uygulandığı yüzeyin yapışma ve korozyon dayanımını artırır.

Alüminyum özellikle yüksek nem ortamı gibi zor çevresel şartlara maruz kalacaksa, korozyondan korunma alüminyum yüzeylerinin hazırlığında düşünülmesi gereken en önemli parametredir. Çözeltiyle temizleme ve mekanik aşındırma işlemleri, çevresel dayanımın gerekli olduğu yerlerde korozyon dayanımı oluşturmadıklarından kullanılması tavsiye edilmez. Alüminyum yüzeyleri hazırlanırken aşağıda anlatılan prosedür uygulanır.

- a-) Yağ ve gres atıklarının yüzeyden temizlenebilmesi için asetonla yıkama,
- b-) Perkloretilen buharıyla yağ giderme işlemi,
- c-) Aşağıda kimyasal bileşenleri verilen çözeltilerden birine belirli bir sıcaklık ve sürede daldırma [39]

Sülfürük Asit/Sodyum Dikromat Çözeltisi;

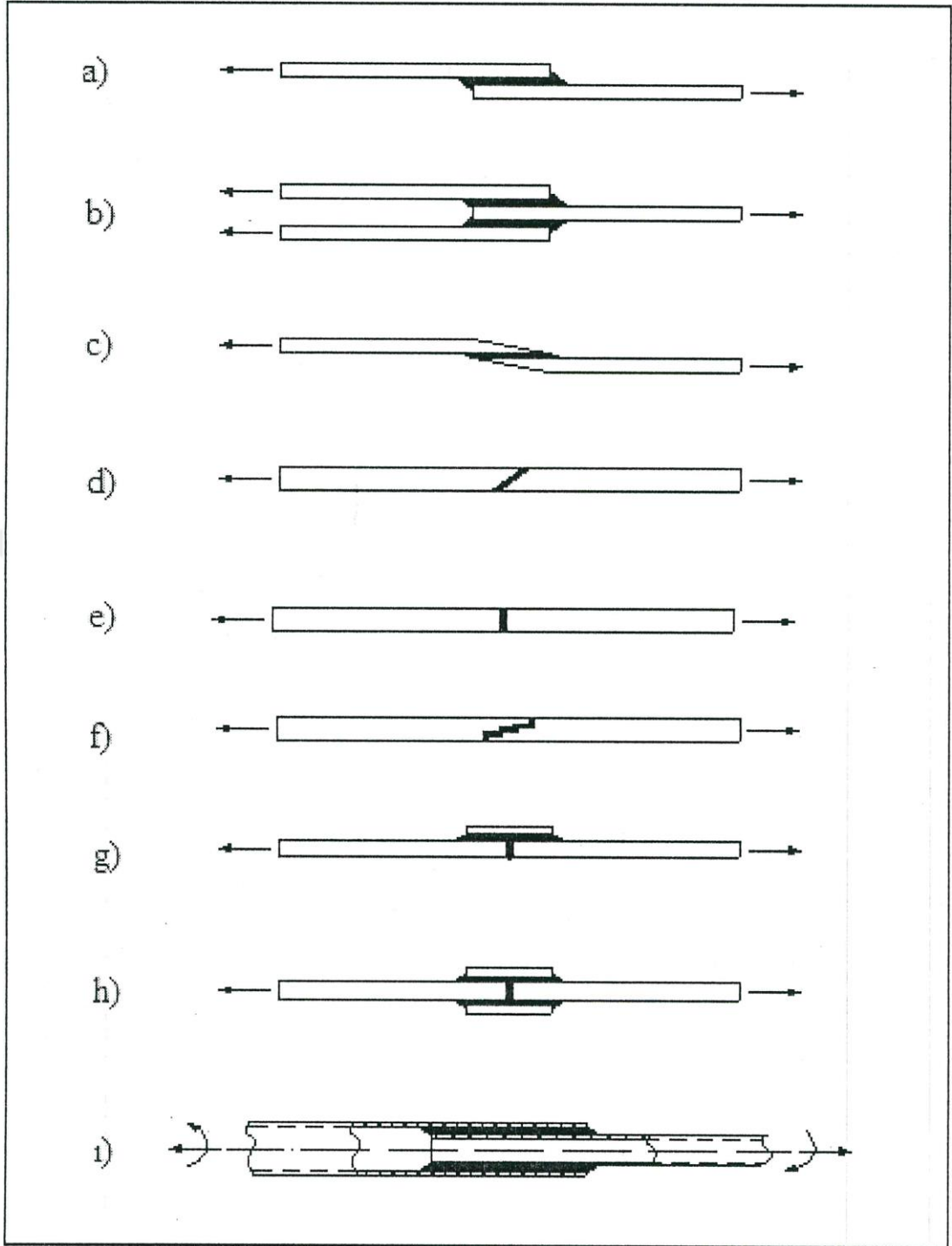
1. Sülfürük asit (66oBe) 287,9-310 g/l
2. Sodyum dikromat 28-67,3 g/l
3. Alüminyum alaşımı-2024 1,5 g/l
4. Sıcaklık 66-71 ° C
5. Daldırma süresi 12-15 dakika

2.3 Yapıştırma Geometrisi

Yapıştırılan bağlantılarının istenilen mekanik özelliklere sahip olması yapıştırma işleminin doğru bir şekilde uygulanmış olması sonucunda mümkündür. Bağlantının mekanik davranışı, geometri ve malzeme davranışı gibi parametrelere bağlıdır. Bu parametrelerden dolayı malzemenin sergileyeceği mekanik davranışı tahmin etmek oldukça zordur. Karşılaşılan güçlükler özellikle yapıştırıcıların kontrol mekanizmalarının karşılaştırılmalarındaki eksikliklerden kaynaklanmaktadır [40]. Mühendislerin amacı bir yükleme durumunda yükleri belirleyebilmek ve oluşacak gerilmeleri pratik olarak hesaplayabilmektir. Yükleme sistemi değişkenlik gösterdiğinden dolayı mühendis optimum çözümü minimum maliyetle sağlayabilmeyi amaçlamalıdır. Yapısal yük ve gerilmeleri ölçebilecek bir teknolojiye sahip olarak bu gibi yükleme sorunlarını aşmak mümkündür [41].

Çift tesirli bindirme bağlantıları tek tesirli bağlantılara göre daha emniyetlidir. Bu bağlantı türleri Şekil 2.5’de görülmektedir.

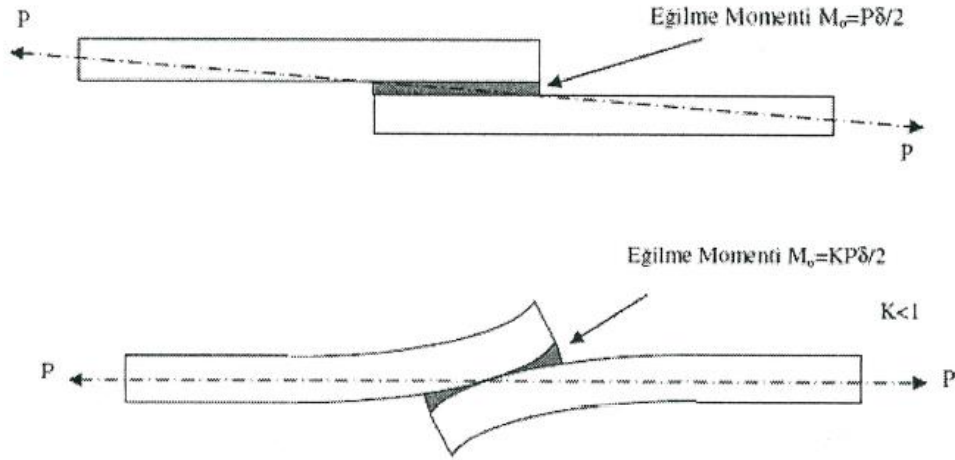
Bir yapıştırma bağlantısı basma, çekme, kayma, soyulma gibi yüklemelere maruz kalabilir. Bu yükleme tiplerinin birçoğuna birden de maruz kalabilir. Malzemelerin yapıştırıcı ile bağlantıları yapılırken hangi yükleme durumuna maksimum dayanım sergiliyorsa o bağlantı tipi seçilmeli ve kullanılmalıdır. Yapıştırma bağlantı tipleri Şekil 2.5’de verilmiştir.



- | | |
|-------------------------------------|---|
| a) Tek taraflı bindirme bağlantısı | f) Kademeli bağlantı |
| b) Çift taraflı bindirme bağlantısı | g) Tek taraflı takviyeli alın bağlantılı |
| c) Pahlı bindirme bağlantısı | h) Çift taraflı takviyeli alın bağlantılı |
| d) Açılı bindirme bağlantısı | i) silindirik bindirmeli bağlantı |
| e) Alın alına bağlantı | |

Şekil 2.5: Yapıştırma bağlantı geometrileri [41].

Tek tesirli bağlantısında yük aynı doğrultuda etki etmediğinden dolayı Şekil 2.6'da görülen eğilme momenti oluşur.



Şekil 2.6: Tek tesirli bindirme bağlantısının şekil değiştirmeden önce ve şekil değiştirmeden sonraki görünümü [41].

2.4 Yapıştırıcı Bağlantılarında Karşılaşılan Gerilmeler ve Oluşan Hasar Tipleri

Bir grup malzeme veya parçanın yapıştırıcı kullanılarak bir araya getirildiği yapıştırma bağlantılarında iki tip hasar ile karşılaşılır. Bunlar adezyon ve kohezyon hasarlarıdır.

Temel hasar modelleri tablosu, yapıştırma bağlantılarına uygulanan herhangi bir mekanik testin sonuçlarının sınıflandırılmasını sağlamaktadır. Temel hasar tipleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

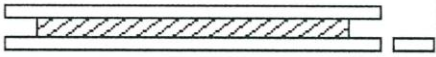
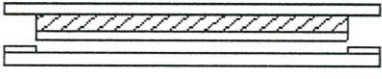


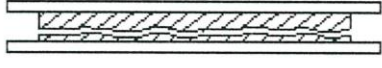
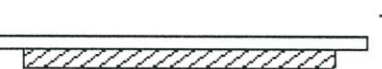
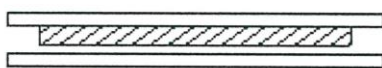
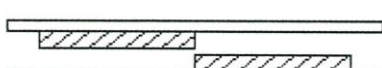
Kohezyon Hasarı: Yapıştırıcı veya yapıştırılan malzemedeki hasarın sebep olduğu kopma şeklinde gerçekleşen hasar tipidir.

Adezyon Hasarı: Yapıştırıcı-yapıştırılan malzeme ara yüzeyindeki ayrılmadan dolayı meydana gelen hasar tipidir.

Adezyon hasarını önleyebilmek için;

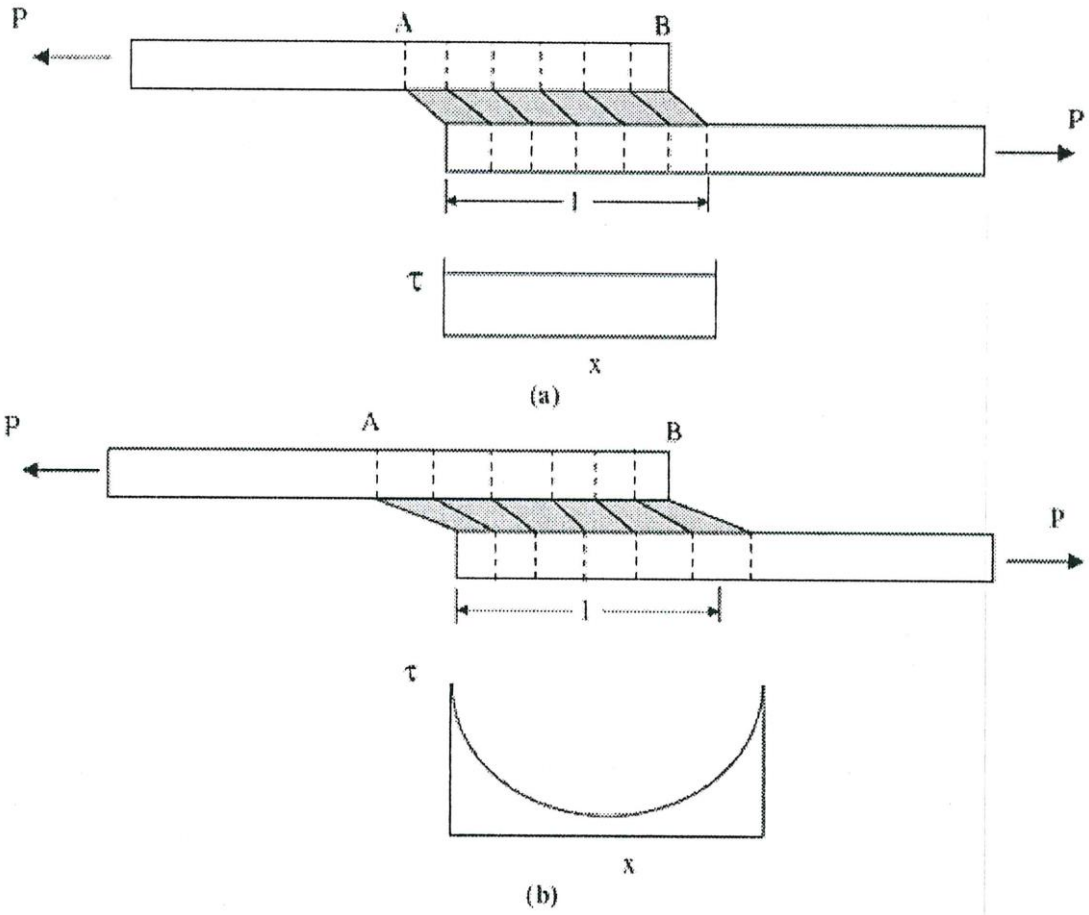
1. Yapıştırılacak yüzey temizliği uygun bir şekilde yapılmalıdır.
2. Yüzey alanı genişletilmeli
3. Yapıştırma işleminden sonra yapıştırılan yüzeye uygun basınç yapılmalıdır. Basınç yapıştırıcının içinde oluşabilecek boşlukların kapanmasına ve yapıştırıcının tüm yüzey alanına temas etmesini sağlayacaktır.
4. Yapıştırıcı özelliğine uygun çalışma sıcaklığı sağlanmalıdır.

5. Yapıştırılacak malzemeye uygun yapıştırıcı seçilmelidir.
6. Uygun yapıştırma boşluğu ve toleranslar seçilmelidir.
7. Sertleşme işleminin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmelidir.
Sertleşme ortamında ki nem ve sıcaklık uygun olmalıdır.

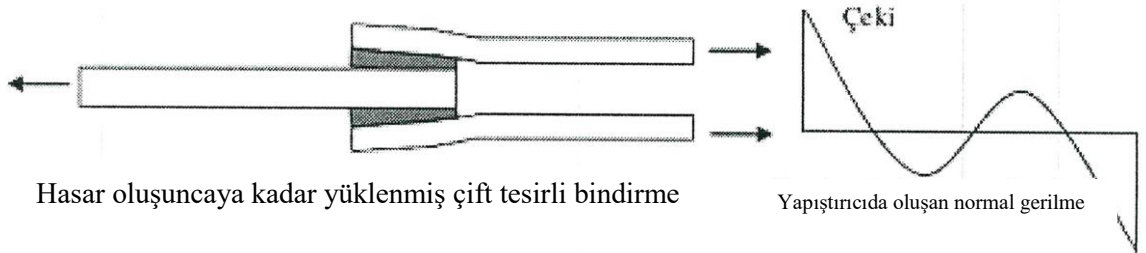
Hasar Tipleri	
Yapıştırılan Malzeme	 <p>Yapıştırılan malzemelerin biri veya ikisinde de hasarın olması</p>
	 <p>Kohesiv yapıştırılan malzeme hasarı</p>
	 <p>Kalkma (Deleminasyon) yoluyla hasar</p>
Yapıştırıcı	 <p>Kohezyon hasarı</p>
	 <p>Özel kohezyon hasarı</p>
	 <p>Özel kohezyon hasarı</p>
	 <p>Özel kohezyon hasarı</p>
Yapıştırıcı	 <p>Adhezyon hasarı</p>
	 <p>Adhezyon hasarı</p>

Şekil 2.7: Temel hasar tipleri [42].

Çekme veya basma yüklerinde yapışma çizgisinde oluşacak gerilim lineerdir. Lineer yükten dolayı tüm noktalara eşit yük dağılımı gerçekleşir. Bağlantı kesme, soyulma, yarıma yüklerine maruz kaldığı zaman gerilmelerin yapışma çizgisine etkisi değişken olacaktır.

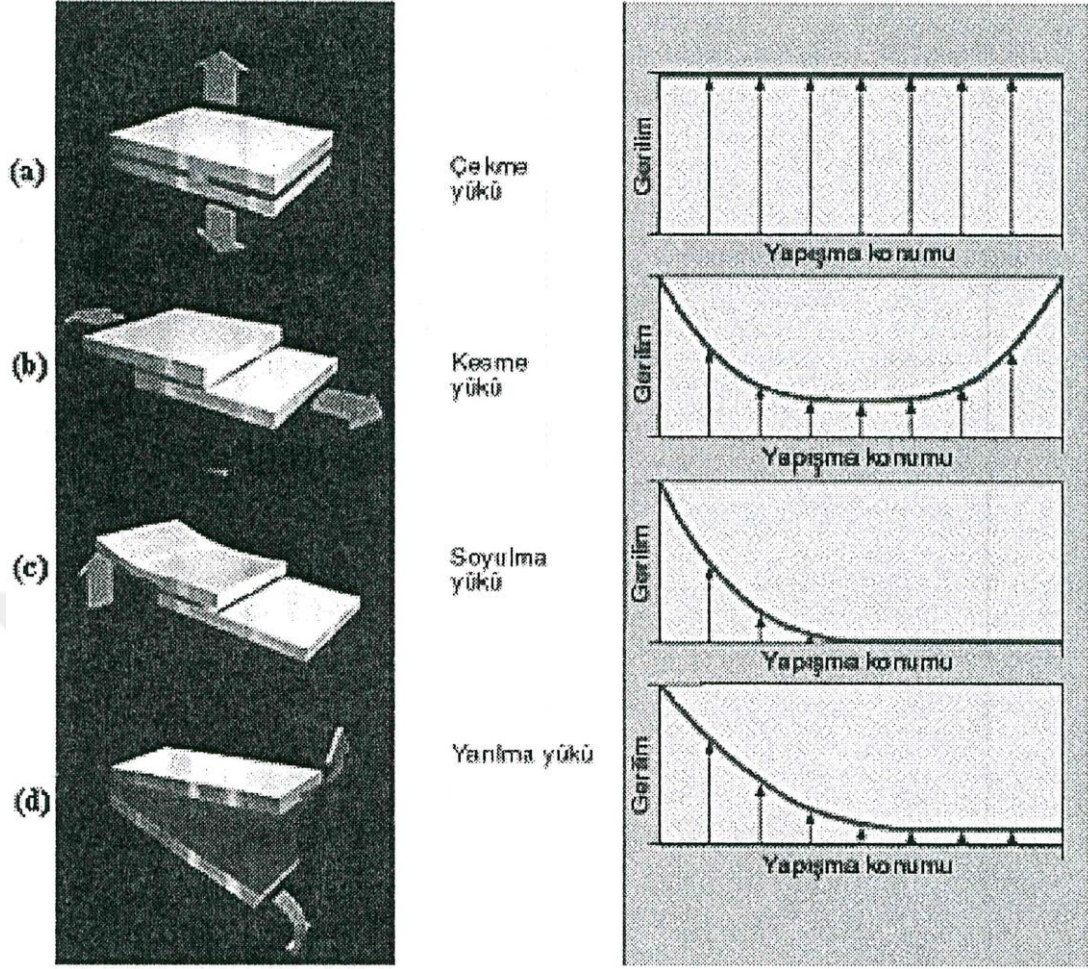


Şekil 2.8: Yüklendi haldeki tek tesirli bindirme bağlantısının deforme olmuş hali ve kayma gerilmesi dağılımı. (a) Rijit malzeme, (b) Elastik malzeme [41].



Şekil 2.9: Yüklendi haldeki çift tesirli bindirme bağlantısında ve yapıştırıcıda oluşan gerilmeler [41].

Kesme gerilmeleri bazı noktalarda yoğunlaşmaktadır. Bir ek yerinde gerilme kuvveti oluştuğunda gerilimin büyük kısmı bir kenarda yoğunlaşır. Bu yüzden ek yeri tasarımı yapıştırımlı bağlantılarda çok önemlidir. Yapıştırıcı bağlantılarda meydana gelen gerilmeler Şekil 2.10'da görülmektedir.



Şekil 2.10: Yük tipleri ve bindirme bölgesindeki gerilme dağılımları [31].

2.5 Yapışmayı Etkileyen Fiziksel ve Kimyasal Faktörler

Yapışma işlemini sağlayan maddeler bazı fiziksel ve kimyasal faktörlerin etkisiyle yapışma işlemini gerçekleştirmektedir. Bu faktörler tüm yapıştırıcılar üzerinde aynı etkiyi göstermeyebilir. Bu sebepten dolayı yapıştırıcı maddenin yanında ortam şartlarının da yapışma üzerinde etkisi göz ardı edilmemelidir. Yapışmayı etkileyen faktörlerden en önemlileri sıcaklık, basınç, zaman, katalizör, oksijen, çözücü, rutubet ve sudur.

a) Basınç: Yapıştırıcının kullanıldığı yerin şeklini almasını ve yapışmanın daha etkin bir şekilde gerçekleşmesini sağlar. Yapışmanın zamanını azaltır.

b) Sıcaklık: Sıcaklık yapıştırma işleminin daha hızlı olmasını sağlamaktadır. Fakat sıcaklık arttırılırken yapıştırıcı maddenin kimyasal yapısının bozulmamasına dikkat edilmelidir.

c) Zaman: Yapıştırıcının kuruyarak veya pişerek etkin hale gelmesi için bir saniyeden birkaç güne varan bir sürenin geçmesi gerekir. Bu süre basınç, sıcaklık veya katalizör uygulayarak kısaltılabilir.

d) Oksijen: Bazı yapıştırıcılar etkilerini oksijensiz ortamda göstermektedir. Oksijenin bulunduğu ortamlarda kullanım ömürleri uzun süreli olmaktadır.

e) Çözücü: Su veya organik esaslı çözücüler kullanılarak hazırlanan yapıştırıcılar, yapışma işlemini ortamdan çözücü maddenin ayrılması ile gerçekleştirirler.

f) Katalizör: Bazı yapıştırıcıların etkin olmaları için katalizör gibi reaksiyon başlatıcı maddelerin kullanılması gerekir. Termoset ve elastomerik yapıştırıcı türlerinde katalizör kullanımı önemlidir.

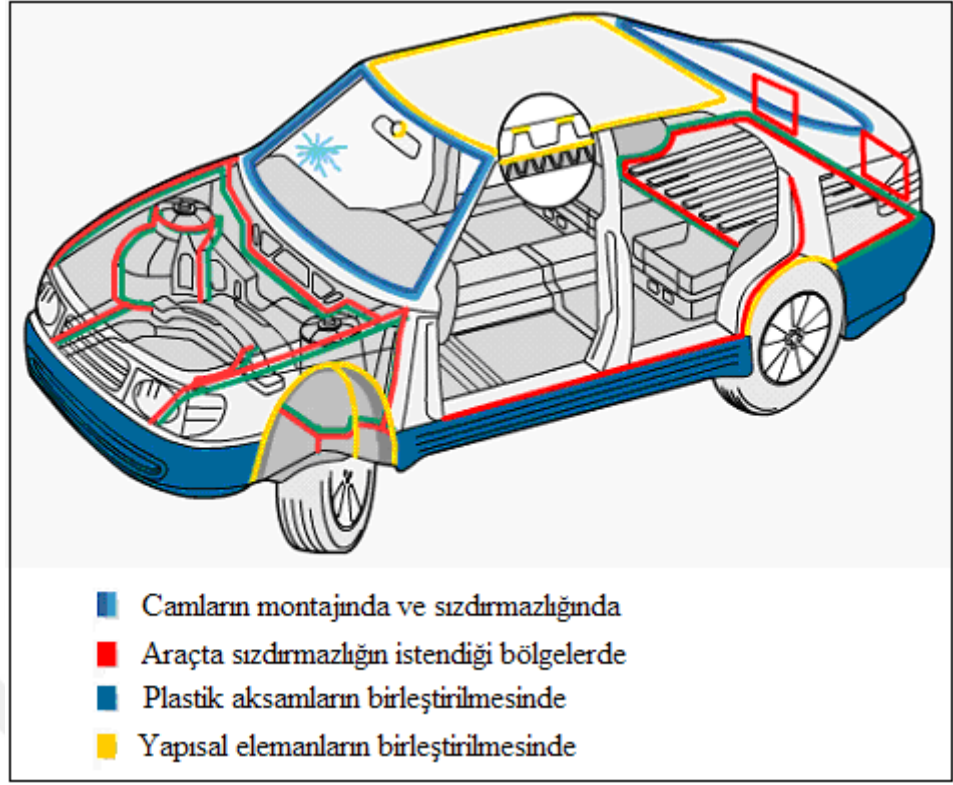
g) Rutubet ve Su: Poliüretan, siyanoakrilat ve silikon türü yapıştırıcılar uygulandıkları yerdeki su ve rutubet sayesinde aktif hale gelirler.

2.6 Yapıştırıcıların Kullanım Alanları

Malzemeleri bir bütün olarak tutmak için birçok malzeme ve teknik kullanılmaktadır [43].

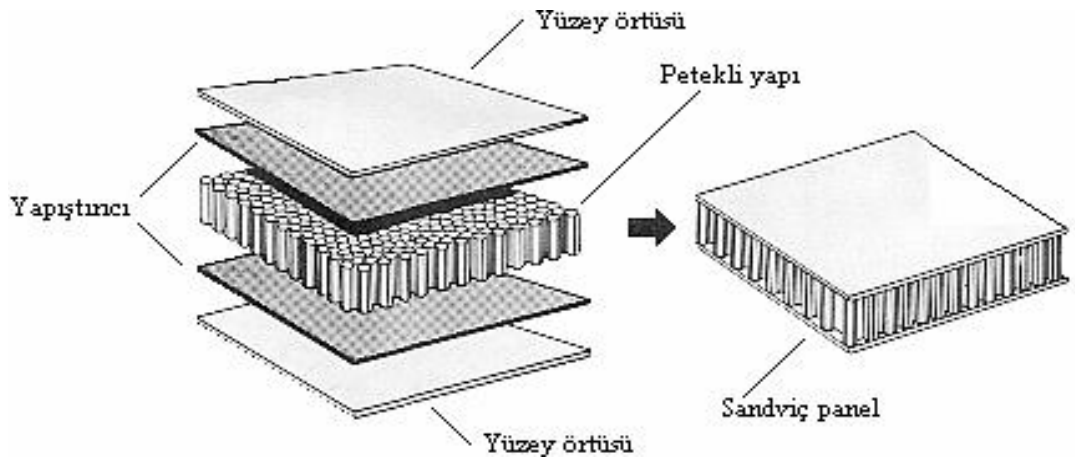
Bunlardan bazıları cıvata, çivi ve perçin gibi malzemeler, kaynak ve lehim gibi tekniklerdir. Fakat bu malzeme ve tekniklerden daha ucuz, pratik ve kullanımını daha basit olan birleştirme tekniği yapıştırıcı ile birleştirmedir. Yapıştırıcılar plastik, kauçuk vb. malzemelerden üretilmektedir. Özellikle uzun zaman periyotlarında bağlantı güvenilirliğinin gerektirdiği havacılık, uzay, otomotiv, altyapı sistemi, tıp, elektronik paketleme, spor, inşaat ve deniz endüstrilerinde yapıştırıcılar, geleneksel bağlantı yöntemleri olan cıvata, perçin, lehim ve kaynağın yerini almaktadır [44].

Otomotiv sanayisinde endüstriyel yapıştırıcıların oldukça geniş kullanım alanları bulunmaktadır. Cam montaj uygulamaları, bataryalar, fren balataları, elektrik/elektronik devre montajları, elektrikli kapı mandalları, hoparlör ızgarası, kapı panelleri, dolap/torpedo kilitleri, hava yastığı modüller ve yakıt enjeksiyon gibi birçok sistemde kullanılmaktadır. Şekil 2.11'de otomobilde yapıştırıcı kullanılan yerleri göstermektedir [45].

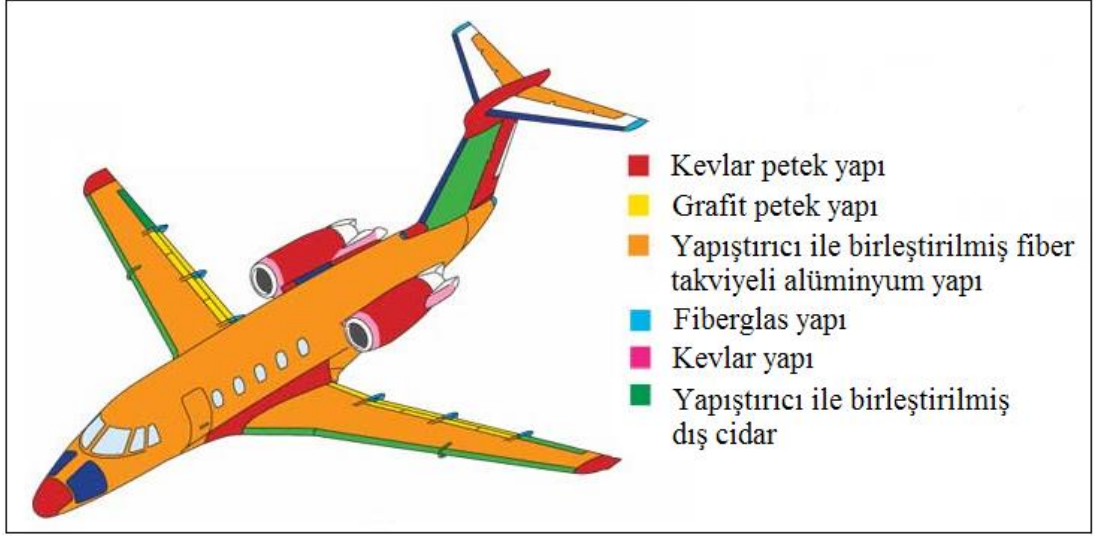


Şekil 2.11: Otomobilde yapıştırıcıların kullanıldığı alanları [45].

Birçok alanda olduğu gibi havacılık ve uzay sanayisinde de yapıştırıcı yoğun olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.12’de uçaklarda kullanılan sandviç panelde yapıştırıcı kullanımı gösterilmektedir. Sandviç panelin yapısını oluşturan alt tabaka, üst tabaka ve petek yapı yapıştırıcı sayesinde bir arada durabilmektedir.

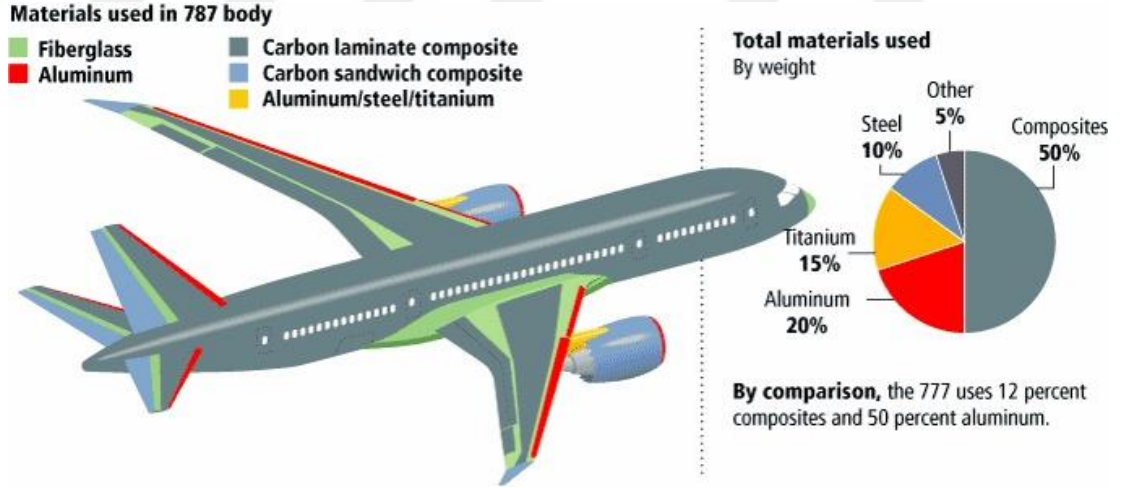


Şekil 2.12: Uçak yapılarındaki sandviç panellerde yapıştırıcı kullanımı [46].



Şekil 2.13: Uçaklarda yapıştırıcıların kullanıldığı bölgeler.

Uçaklarda kompozit kullanımı arttıkça buna paralel olarak yapıştırıcı kullanımı da artmaktadır. Her geçen gün havacılık ve uzay sanayisinde kompozit kullanımı artmaktadır. Şekil 2.14’de Boeing 787’de kompozit kullanım oranının %50 olduğu görülmektedir.



Şekil 2.14: Boeing 787’de yapımında kullanılan malzeme çeşitleri.

2.7 Yapıştırmanın Avantajları ve Dezavantajları

Yapıştırıcılar mukavemet açısından, yapısal ve yapısal olmayan yapıştırıcılar olarak iki gruba ayrılır. Yapısal yapıştırıcılar; esnek, ısıya ve sıvıya dayanıklı yüksek kayma mukavemetine sahiptirler. Uçaklarda kullanılan yapısal yapıştırıcıların kayma

mukavemeti oldukça yüksektir. Bütün yapıştırıcılar karakteristik kabuklaşma süresine sahiptirler. Kabuklaşma birkaç yıl sürebilmektedir. Yapıştırıcılar ve yapışma astarları uygun ortamlarda saklanmalıdır [47].

Yapıştırmanın Avantajları:

1. Düzgün gerilme dağılımı ve daha büyük yük taşıma alanı elde edilmesi,
2. Farklı malzeme kalınlıklarının birleştirilebilmesi,
3. Benzer veya farklı malzemelerin birleştirilebilmesi,
4. Tekrarlı yük dayanımı,
5. Düzgün yüzeyli birleştirme imkanı,
6. Isı ve elektrik iletkenliğine karşı dayanıklı olması,
7. Yüksek darbe ve titreşim sönümlene kabiliyeti [48],
8. Dikkat çekici dayanım/ağırlık oranı,
9. Ucuz olması
10. Kolay uygulanabilirlik
11. Sıkı geçme bağlantılarında dayanımı yükseltebilmesi,
12. Sızdırmazlık sağlaması,
13. Mekanik bağlantı tiplerine göre hafif olması,
14. Cıvata, perçin gibi elemanlarca oluşturulan yüzey bozukluklarının oluşmaması,

Yapıştırmanın Dezavantajları:

1. Malzeme birleştirilmesindeki zorluk,
2. Yüzey temizliği
3. Yapıştırıcının mekanik özelliklerinin zaman ve sıcaklığa bağımlı olması,
4. Yapıştırma bağlantısının ömrünün çevresel etkilere göre değişiklik göstermesi [5],
5. Metal yapıştırıcılar belirli bir geçiş sıcaklığına sahiptirler. Bu sıcaklık değerleri üzerinde mukavemet değerlerinin düşmesi,
6. Uygulamada tam yayılmama sonucu mukavemet düşüklüğü,
7. Nemli ve kimyasal ortamlarda kullanımdan dolayı mukavemet düşüklüğü

2.8 Yapıştırıcı Türleri

Yapıştırıcılar malzemeleri bir arada tutan madde olarak ifade edilir. Yapıştırıcılar yapısal yapıştırıcılar ve yapısal olmayan yapıştırıcılar olarak ikiye ayrılır. Yapısal yapıştırıcılar yük taşıyabilirler ve yapıştırdıkları parçaya ilave bir dayanım katarlar. Yapıştırıcılar otomotiv, gemicilik ve uzay sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapıştırıcılar kimyasal tipleri ve formları açısından ikiye ayrılırlar [29];

1. Kimyasal Tipleri Açısından Yapıştırıcılar
2. Formları Açısından Yapıştırıcılar

2.8.1 Kimyasal tipleri açısından yapıştırıcılar

Kimyasal reaksiyon ile sertleşen ve fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcılar olarak ikiye ayrılır;

- a) Kimyasal Reaksiyon ile Sertleşen Yapıştırıcılar

Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılar en güçlü yapıştırıcılardır. Yapısal yapıştırıcılar olarak da ifade edilebilirler. Günümüzde kullanılan tipleri ve özellikleri şöyledir:

- 1) Akriklikler

Bu yapıştırıcılar uygun olmayan yüzeylerde kullanıldıklarında yüzey hatalarını tolere edebilmektedir. Kayma dayanımları epoksiler kadar iyidir. İki bileşenli yapıya sahiptirler. Yapıştırma işleminden kısa bir süre sonra tutma dayanımı sağlanır. Sertleşmeleri için oda sıcaklığı yeterlidir. Bu yapıştırıcılara örnek olarak F246, F241, Loctite 315, 330, 3100 verilebilir.

- 2) Anaerobikler

Anaerobik bileşimleri tek komponentli polyester tip reçineler olup dişler arasındaki hava temasını keserek, plastik bir yapıştırma ve gevşemezlik sağlar. Demir, çelik, bakır vb. yüzeyler katalitik görevi görmekle birlikte, çinko kaplı, anodize edilmiş yüzeyler katalitik görevi üstlenemediklerinden, bu tip yüzeylerde anaerobikler aktif değildirler.

Anaerobik yapıştırıcı örnekleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1: Anaerobik yapıştırıcılar için ticari örnekler.

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	638, 641, 648, 660, 222, 243, 366, 545
Loxal	83-21, 12-36, 70-14, 70-90, 85-55, 26-18
Weicon	AN 302-21, AN 302-62, AN 305-86
Devcon	Retaining Compound 2609, 2680
Permabond	Perma-Lok A1042, A1044, A1046

3) Cyanoacrylate’ler (Siyanoakrilat’lar)

Siyanoakrilatlar (Japon Yapıştırıcıları) tek bileşenli, çözücü (solvent) içermeyen, hızlı kuruyan (2-50 saniye), yüksek ısı direnci olan, yapışma için az miktar yapıştırıcı yeterli olan, çok küçük boşluklara nüfuz edebilen bir yapıştırıcıdır. Siyanoakrilat yüzeydeki nemin reaksiyonu ile sertleşirler. Siyanoakrilat, endüstriyel kullanımda genellikle CA olarak kısaltılır. Gözenekli ve gözenekli olmayan yüzeylerin yapıştırılmasında, seramik, porselen, çini, metal, kauçuk, deri, ahşap, plastik (PVC, ABS, polistren, polistrol), mantar, mukavva vs. malzemelerin yapıştırılmasında kullanılabilir. Siyanoakrilat yapıştırıcı örnekleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2: Siyanoakrilat yapıştırıcılar için ticari örnekler.

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	401, 406, 411, 454, 468, 480, 4210
Loxal	ISTANT14, ISTANT17, ISTANT43
Weicon	VA1460, VA120, VM2000, VA300
Devcon	ZipGrip4404, ZipGripHV2200
Permabond	910, 2010, 792, 268

4) Sertleştirilmiş Akrilikler

Yüksek sertlik ve mukavemet sağlarlar. Sertleşme süreleri çok kısadır.

5) Epoksiler

Epoksi, termosetler grubundan yapıştırıcı bir kimyasal reçinedir. Tek bileşenli epoksilerin kürleşmesi için yüksek sıcaklık gerekirken, iki bileşenli epoksiler için oda sıcaklığı yeterli olmaktadır [49]. Epoksiler, termoset plastiklerde olduğu gibi belli süre sonra sıvı halden katı hale geçer ve bir iki hafta içinde kürleşmesi tamamlanır. Epoksi reçineler kendi başlarına kullanılmazlar, formülasyona katılan başka maddelerle polimerize olarak değişik özelliklere sahip termoset yapıda plastik madde meydana getirirler. Sertleştiriciler, polimerizasyon için ya katalizör ya da çapraz bağlama bileşimidir. Kimyasal reaksiyon sonucu meydana gelen reçine şu özelliklere sahiptir:

- a) Aşınmaya karşı dayanıklılık
- b) İyi iletkenlik özelliği
- c) Boşlukları doldurma özelliği
- d) Sertleşme sırasında büzüşmenin oluşmaması
- e) Düşük sıcaklıklarda uzun süre kullanım ömrü
- f) Asit, alkali ve çözücülere karşı dayanıklılık
- g) Pişerek sertleşme sonucunda artık ürün oluşmaması

Uzay, havacılık ve denizcilik sektöründe çok kullanılır. Kullanılan sertleştiricinin cinsine bağlı olarak değişik özelliklere sahip yapıştırıcılar elde edilebilir. Sertleştiriciler epoksi reçinesi ile karıştırıldıkları zaman sertleşme olmadan kullanılmalıdır.

Epoksi yapıştırıcıların kohezyon kuvveti diğer yapıştırıcı türlerine göre çok güçlüdür. Fakat bu özellik iki bileşenli epoksi yapıştırıcılarda yapıştırıcıya katılan aktivatör madde miktarına göre değişmektedir. Bu yapıştırıcılar havacılık sektöründe alüminyum-alüminyum ve alüminyum-diğer metaller yapıştırılmasında kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe ki yoğun kullanımı kaynak yerine epoksi yapıştırıcı kullanılması şeklindedir. Epoksi yapıştırıcı örnekleri Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3: Epoksi yapıştırıcılar için ticari örnekler.

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	3607, 3609, 3106, 3611, 3612, 3380
Loxeal	31-10, 31-40, 34-15, 35-44, 36-10, 36-15
Weicon	WeiconA, WeiconC, WeiconSF, WeiconWR
Devcon	One-Minute Epoxy Gel, HP-250
Permabond	E04, E32, ESP110

6) Poliüretanlar

Poliüretan karbamat bağlantıları ile birleştirilen bir polimerdir. Esnek ve esnemeyen köpükler, yüksek performanslı yapıştırıcılar, elastomerler, sentetik fiberler, contaların yapımında kullanılırlar. Tek bileşenleri olanlar, yüzey nemi ile reaksiyona girerek, çift bileşenli olanlar ise aktivatör ile polimerize olurlar. Poliüretan yapıştırıcılara ait örnekler Tablo 2.4’de verilmiştir.

Tablo 2.4: Poliüretanlar için ticari örnekler.

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	3951, 5221
Bayer	Baydur, Bayflex, Desmocoll, Desmodur
BASF	Lumitol, Polyesteralkol, Elastophen
Hustman	Daltogel, Daltolac, Daltorez

7) Modifiye Edilmiş Fenolikler

Yüksek mukavemet gerektiren ağaç ile metal, metal ile metal, ve metal ile kompozit yapışmaları için oldukça uygundur. Sertleştiklerinde termoset halini alırlar. Sertleşmeleri için için basınç ve ısı uygulamak gereklidir. Uçakların dış yüzey kaplamalarında kullanılmaktadır. Kesmeye zorlanan bindirme bağlantılarında mukavemet değerleri yüksektir. Nem, solvent, yağ ve hidrokarbonlara karşı dayanımı oldukça kuvvetlidir. Modifiye edilmiş fenoliklere ait örnekler Tablo 2.5’de verilmiştir.

Tablo 2.5: Fenolik reçineler için ticari örnekler.

Üretici Firma	Ticari Adı
Union Carbide	Plyophen 5023
Reichold	Bakalite BV 9700
Hooker	Durez 16227
Ciba	Redux 775

b) Fiziksel Değişim ile Sertleşen Yapıştırıcılar

Kimyasal reaksiyon sonucu sertleşen yapıştırıcılara göre yapıştırma mukavemetleri daha düşüktür. Endüstride yaygın kullanım alanına sahiptir. Yapıştırıcı tipleri şunlardır [40]:

- Sıcak Eriyikler
- Kauçuk Yapıştırıcılar

2.8.2. Form açısından yapıştırıcılar

Yapıştırıcılar; katı, sıvı, macun, bant gibi çeşitli formlarda olabilirler. Şu grupları vardır;

a) Macun Tipi Yapıştırıcılar

Kompozit ve metal malzemeleri birleştirmek için kullanılabilen iki bileşenli yapıştırıcılardır. Sertleşmeleri için oda sıcaklığı yeterlidir. Birçok çeşidi olmakla birlikte yüksek viskoziteye sahip olan türleri mukavemetli bir yapıştırma sağlar. Bu yapıştırıcılar düşey yüzeylerde kullanılmazlar [49].

b) Film Tipi Yapıştırıcılar

Poliüretan elastomer reçine bazlı, ısı ile aktifleşen, esnek film şeklinde bir yapıştırıcıdır. Ahşap, kumaş, metal, kağıt, deri, sünger, keçe, mantar, vb. birçok yüzeye mükemmel yapıştırır. 120 -130°C ısı direncine sahiptirler.

c) Düşük Viskoziteli Yapıştırıcılar

Oda sıcaklığında kürleşebilen epoksi reçine esaslı yapıştırıcılardır.

d) Reçineler

Kompozit üretimi sırasında kumaşların emdirilmesi için kullanılan, iki parçalı düşük viskoziteli malzemedir.

e) Köpükler

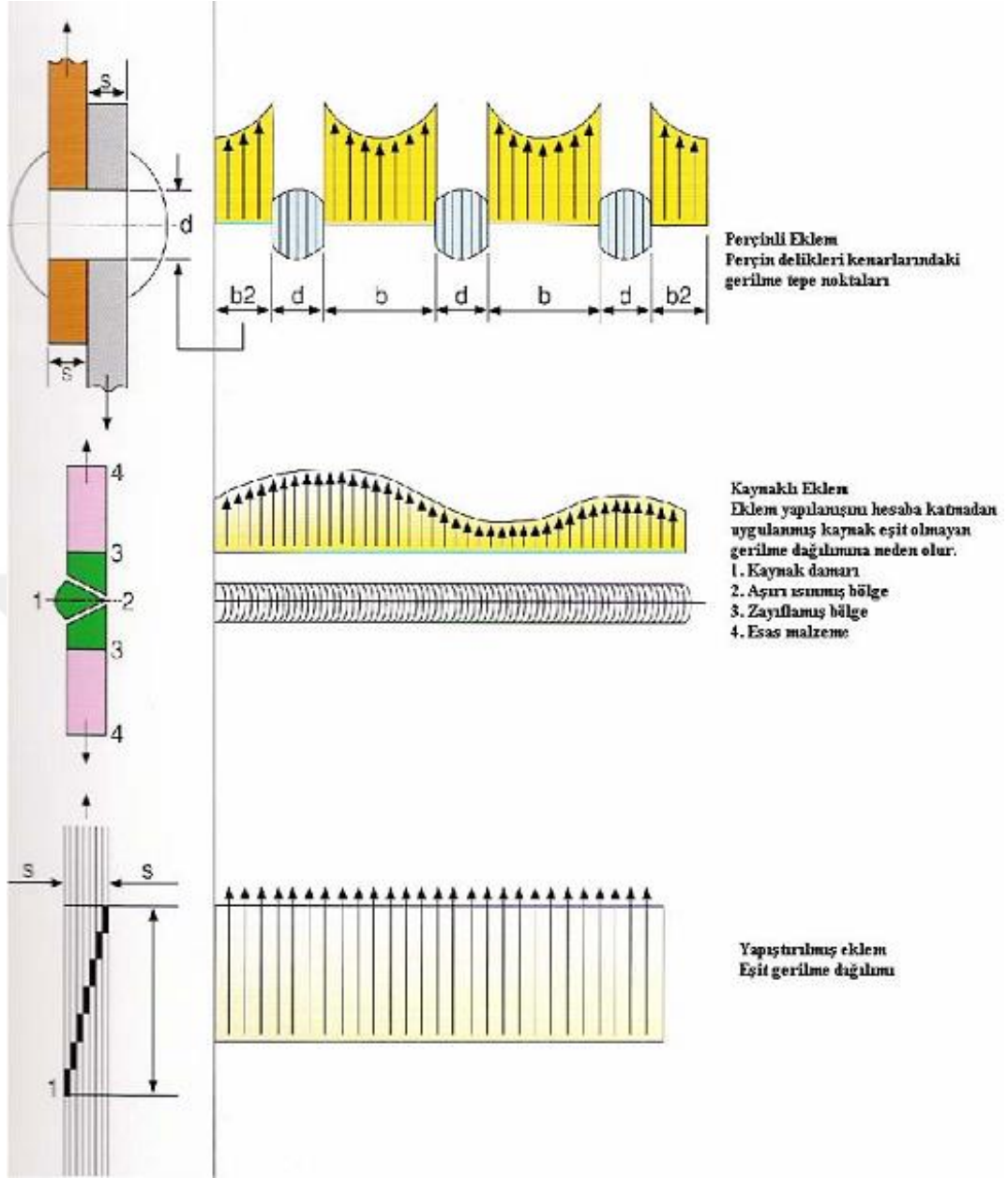
Kuruma süresince genişleyen malzemelerdir. Birleşme yerlerinde boşlukları doldurur ve parçaları birbirine kuvvetlice yapıştırır [50].

2.9 Yapıştırma Bağlantılarının Diğer Bağlantı Çeşitleri İle Karşılaştırılması

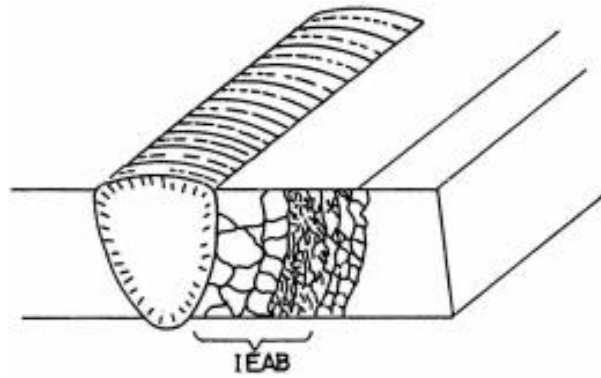
Mekanik birleştirme yöntemleri lehim ile bağlantı, perçin ile bağlantı, kaynak ile bağlantı, cıvata ve vida ile bağlantı gibi çeşitleri vardır. Bu yöntemlerden vida ve cıvata sökülebilen, perçin ve kaynak sökülemeyen birleştirmelerdir. Her bağlantı metodunun kendine özgü avantaj ve dezavantajları vardır. Her bağlantı türünün kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Yapıştırıcı bağlantılarının kullanımına karar verilirken diğer bağlantı türlerine göre avantajları ve dezavantajları göz önünde bulundurulmalıdır.

2.9.1 Kaynak ile bağlantı

Kaynak, aynı veya benzer malzemeden iki parçanın ısı ile birleştirilmesidir. Farklı malzemelerin birbiriyle kaynak edilmesi de birçok sorunları meydana getirir. Kaynaklı bağlantılar, hafif olmaları, ucuz olmaları, perçin ve cıvata bağlantılarında olduğu gibi deliklerle zayıflatılmış olmamalarından dolayı en çok kullanılan çözülemez bağlantı yöntemlerindedir. Bağlantı mukavemetinin yüksek olması ve maliyet düşüklüğü sebebiyle kullanımı oldukça yaygındır. En büyük dezavantajı ergime sonucu iç gerilmeler ve çarpılmaların oluşmasıdır. Meydana gelen çarpılmalardan dolayı malzemenin kristal yapısı bozulur ve malzemenin mukavemet değeri düşer.



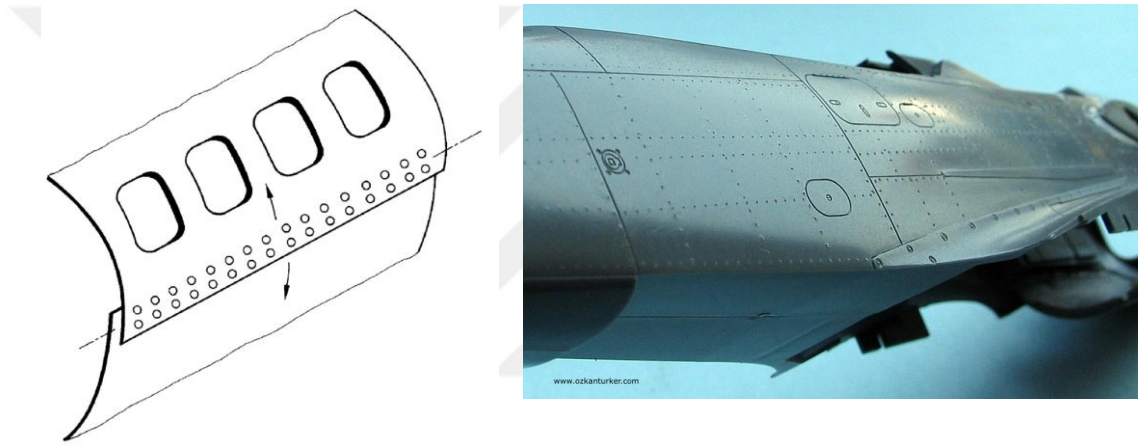
Şekil 2.15: Kaynak, perçin ve yapıştırıcı birleştirmelerinde oluşan gerilme yığılımları [51].



Şekil 2.16: Isının etkisi altındaki bölgedeki kristal yapı değişimi.

2.9.2 Perçin ile bağlantı

Perçin adı verilen, bir ucu açık diğer ucu ise şişirilmiş eleman vasıtası ile yapılan çözülemez bir bağlantıdır. Perçinli bağlantılar, ancak perçinin tahrip edilmesi halinde çözülebilirler. Isıl genleşme farklılıkları nedeni ile perçin malzemesi ile yapı elemanının malzeme özellikleri yakın olmalıdır. Perçin konstrüksiyonlar bağlama, sızdırmazlık veya hem bağlama hem sızdırmazlık amaçlı olabilirler. Kaynağa göre daha elastik bir bağlantıdır. Ana malzemedeki perçin deliği mukavemeti azaltır. Kristal yapıda bir değişiklik olmadığı için çarpılma söz konusu değildir. Havacılıkta, köprü ve kule konstrüksiyonlarında yoğun olarak kullanılmaktadır.



Resim 2.1: Airbus A330 gövdesi perçin bağlantısı, 2 sıralı perçin dikişi titanyum perçinler.



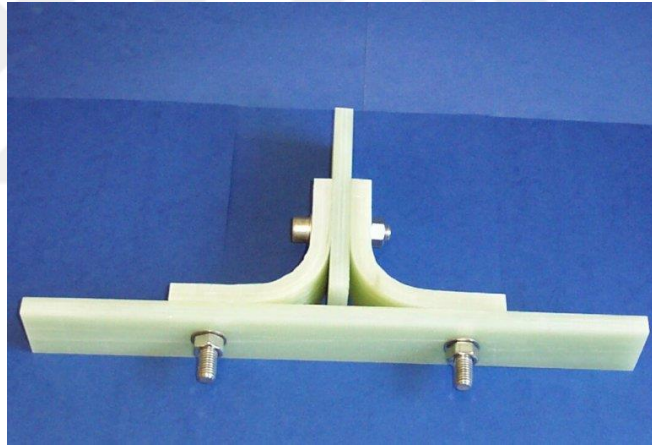
Resim 2.2: Perçin konstrüksiyon – Eiffel kulesi.

2.9.3 Lehim ile bağlantı

İki metal parçanın, kendilerinden daha düşük sıcaklıkta ergiyen ilave bir malzeme ile birbirlerine bağlanmasıdır. Lehimlerde dekapan kullanıldığı için yüzey temizliği iyi yapılmazsa korozyon meydana gelebilir. Malzemenin kristal yapısında bir değişiklik olmaz, çentik etkisi yoktur. Lehim için maliyeti yüksek malzemeler gerekir. Lehim maliyeti en pahalı epoksi yapıştırıcıdan daha pahalıdır.

2.9.4 Cıvata ve vida ile bağlantı

Cıvata ve vidanın kullanımı için malzemede delik açılması gerekir. Bu delikler birleştirilecek malzemelerin zayıflamasına sebep olur. Delik bölgesindeki gerilmeler malzemenin diğer taraflarına göre daha yüksek değerlere sahip olur. Bu durumu engellemek için ağırlık artışına sebep olan daha kalın malzeme kullanımı gerekir.



Resim 2.3: Cıvata ile birleştirilmiş T birleştirme örneği.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Deney Düzenegi

Deneyde Türk Hava Kurumu Üniversitesi Mekanik Laboratuvarında bulunan Tenson markasına ait WDW-T50 model çekme test cihazı kullanılmıştır. Deneyde üstteki çene sabit, alttaki çene hareket etmektedir. Çekme işleminde 1 mm/dakika hız kullanılmıştır. Kullanılan test cihazının resmi Resim 3.1’de, özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

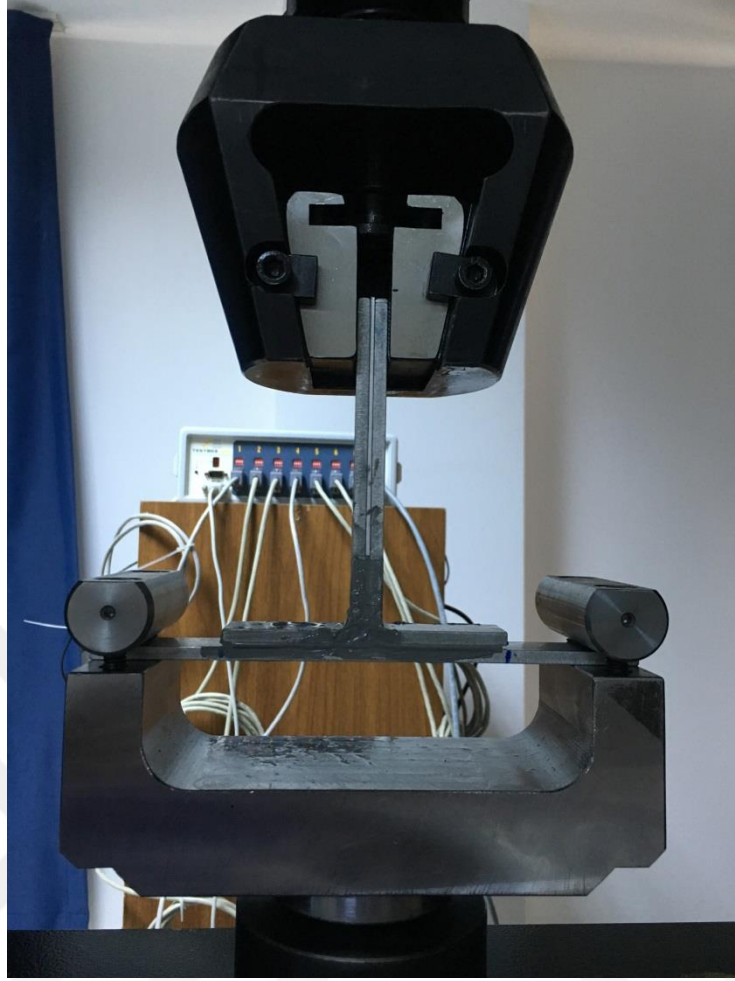


Resim 3.1: WDW-T50 model çekme test cihazı.

Tablo 3.1: Tenson WDW-T50 test cihazı teknik özellikleri.

Test Cihazı Teknik Özellikleri	
Maksimum test kuvveti (KN)	50
Test kuvveti ölçüm aralığı (KN)	0.1 ~ 50
Hız (servo kontrol)	0.001 mm / dak ~ 500mm / dak
Etkili çekme test alanı	650 mm
Sıkıştırma test alanı	1000 mm
Test alanı genişliği	560 mm
Çene boyutu(düz numune için)	0 ~ 14 mm
Çene boyutu(yuvarlak numune için)	φ4~φ22 mm
Güç kaynağı	Üç fazlı, 220 / 380V ±%10, 50 / 60Hz
Bağıl Hata oranı	± 0.5%
Deformasyon ölçüm aralığı	%2 ~%100
Deformasyon ölçüm doğruluğu	± 0.5%≤

Test cihazının deney numunesini tutma görevi gören çenelerinin ince malzemeler için uygun olmasından dolayı T-Joint birleştirmelerin test işlemi için aşağıdaki Şekil 3.2’de belirtilen T bağlantı aparatı imal edilmiştir.



Resim 3.2: T –Bağlantı aparatı.

3.2 Deney Numuneleri

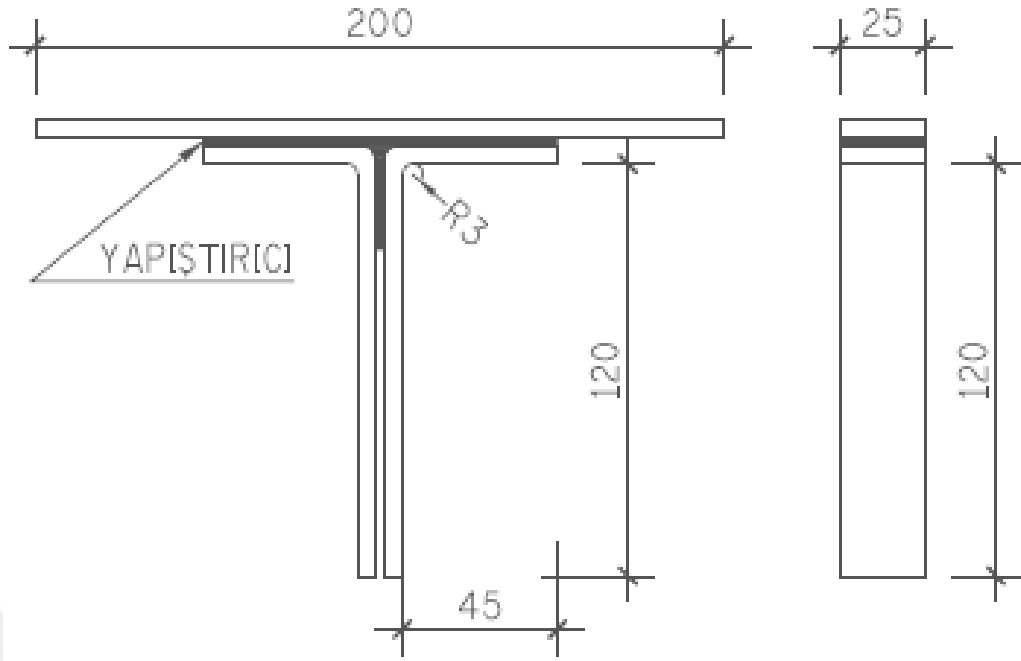
Deney numunelerinde üç farklı malzeme kalınlığı kullanılmıştır. Malzeme olarak alüminyum 5052 kullanılmıştır. Malzeme kalınlığı olarak 2 mm, 3 mm ve 5 mm ve yapıştırıcı kalınlığı olarak 0,6 mm, 1 mm ve 1,5 mm kullanılmıştır. Deney için 9 farklı numune hazırlanmış ve her numuneden 5 adet üretilmek üzere toplam 45 adet numune üretilmiş ve test edilmiştir.



Resim 3.3: L parça resmi.



Resim 3.4: I parça resmi.



Resim 3.5: T-bağlantı numune ölçüleri (mm).

3.3 Kullanılan Yapıştırıcının Teknik Özellikleri

Deney numunelerinin yapıştırılmasında Loctite EA 9394 Aero epoksi macun yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcı iki bileşenli bir yapıştırıcıdır ve bileşenlerin karışım oranı 100 (Part A): 17 (Part B)'dir.

Yüksek boşluk doldurabilme, oda sıcaklığında depolanabilme, uzun kullanım ömrü özelliklerine sahiptir. Karışım sırasında bileşenlerin sıcaklık farklılıkları kritik olmamakla birlikte oda sıcaklığına (77 °F / 25 °C) yakın olması gerekir. Yapıştırıcı ile ilgili üretici firma tarafından verilen teknik özellikleri aşağıdaki Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Loctite EA 9394 aero teknik özellikleri.

Özellikler	Part A	Part B	Mixed
Renk	Gri	Siyah	Gri
Viskozite (25°C)	400-800 Pa·S	20-70 Pa·S	160 Pa·S
Yoğunluk (g/ml)	1.50	1.00	1.36
Brookfield, HBT	Spdl 7 @ 2.09 rad/sec	Spdl 4 @ 2.09 rad/sec	Spdl 5 @ 2.09 rad/sec
Kullanım ömrü (<25°C)	1 yıl	1 yıl	

Yapıştırıcı hazırlanması sırasında A:B karışım oranının sağlanmasında laboratuvarında bulunan Resim 3.6’da gösterilen dijital tartı kullanılmıştır.

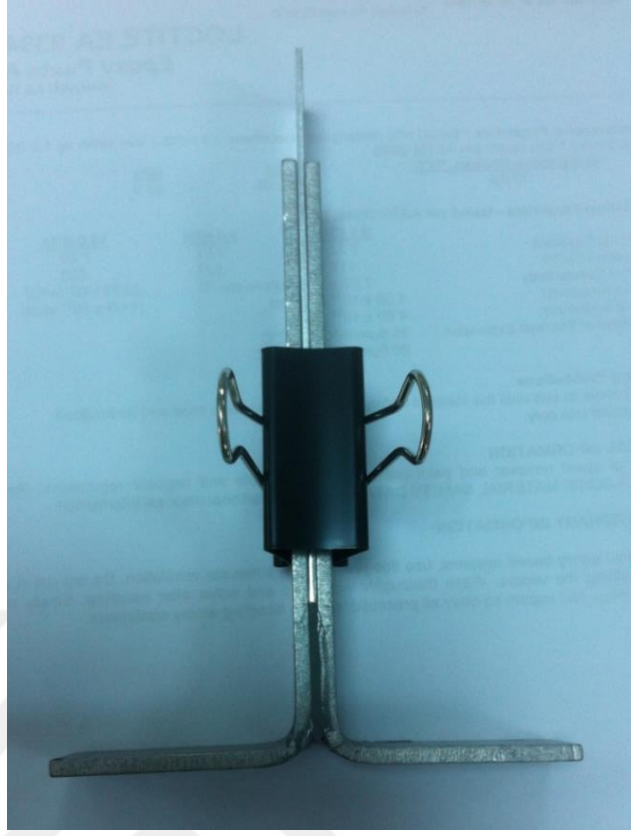


Resim 3.6: Dijital tartı.

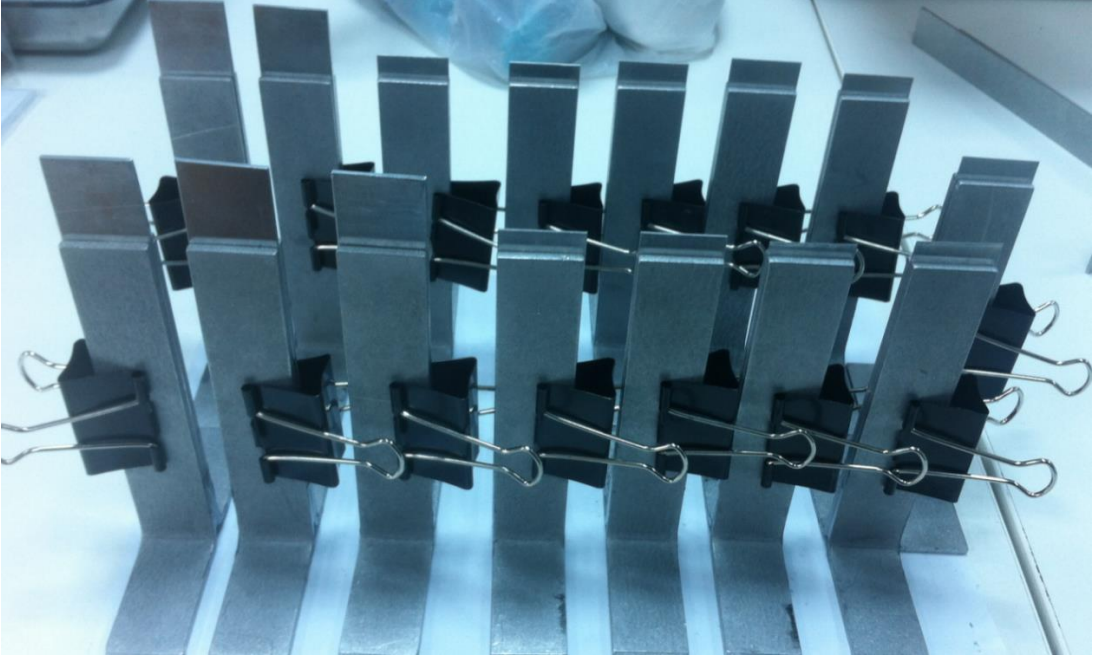
3.4 Yapıştırma İşlemi

Yapıştırma işleminde 90 adet L parça ve 45 adet I parça kullanılmıştır. Yapıştırma işleminde Loctite EA 9394 Aero yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırma işleminden önce yapıştırılacak yüzey aseton ile temizlenmiş ve uygun bir yapıştırma yüzeyi sağlamaya çalışılmıştır.

Yapıştırma işleminde öncelikle Resim 3.7’de verilen L parçalar birbirine yapıştırılmış ve fırında kürlenmesi sağlanmıştır. Yapıştırıcı kalınlığının istenen kalınlıkta olabilmesi için malzemelerin arasına planlanan yapıştırıcı kalınlıklarına göre shim (alüminyum plaka) konulmuş ve metal mandallarla sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapıştırma yüzeyinde hava boşluğu kalmamasına özen gösterilmiştir. Resim 3.8’de yapıştırma işlemine ait resim verilmiştir.



Resim 3.7: L Parçaların yapıştırılması.



Resim 3.8: L Parçaların birleştirilmesi.

L parçaların k rleşmesinden sonra Resim 3.4’de görülen I parça ile birleştirme işlemi yapılmıştır. Bu yapıştırma işlemi Resim 3.9’da görülmektedir.



Resim 3.9: T-bağlantının oluşturulması.

Deney numuneleri yapıştırma işleminin ardında laboratuvarında bulunan Resim 3.10’da verilen fırında 60-70 derece sıcaklıkta 1 saat bekletilerek k rleşme işlemi yapılmıştır [52].



Resim 3.10: Fırın.

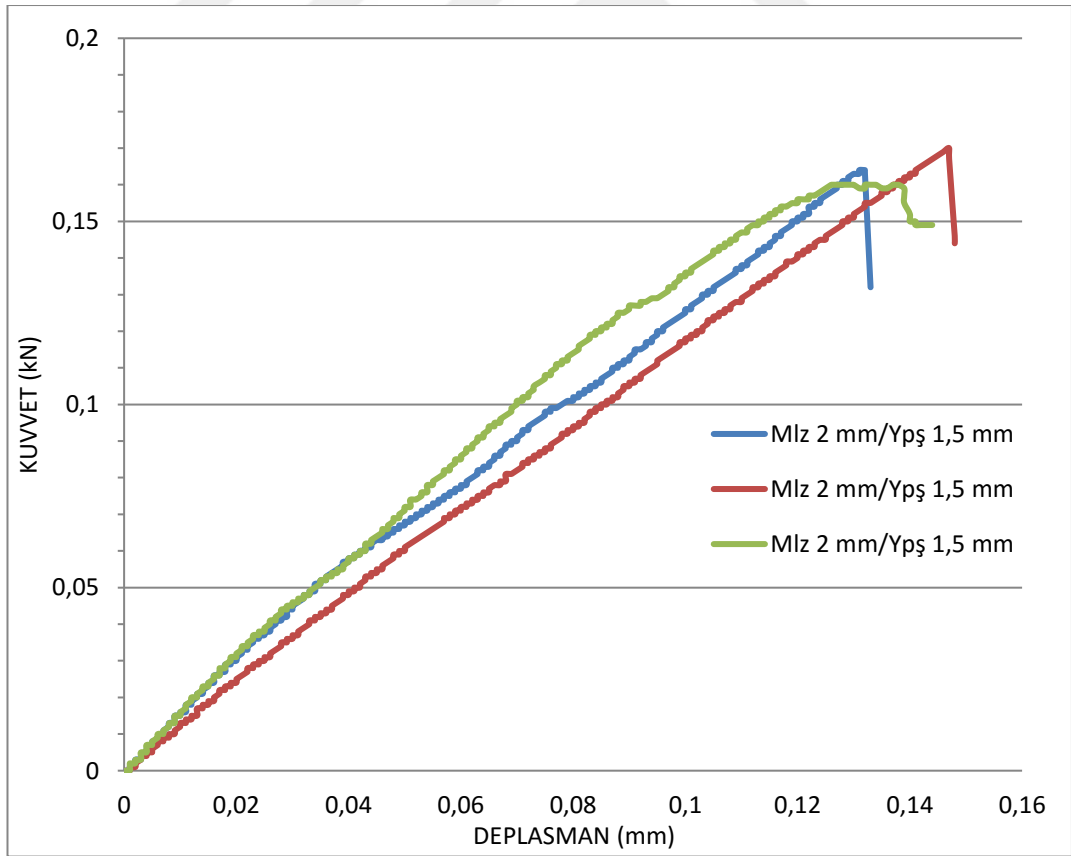
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

DENEY SONUÇLARI

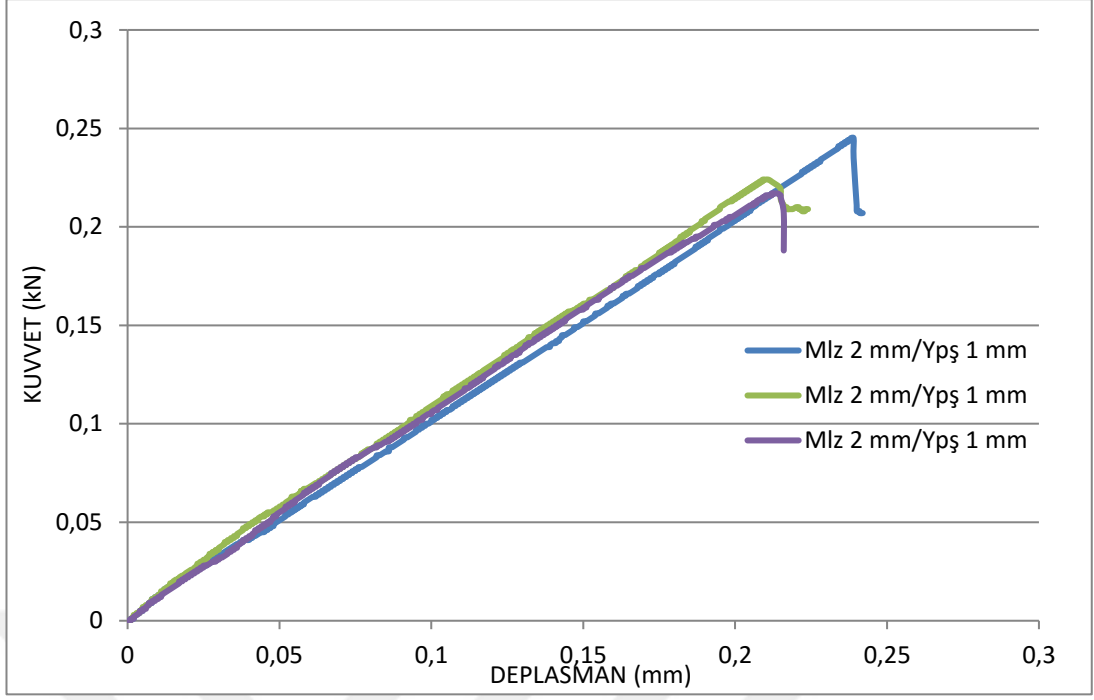
Deneyde 3 çeşit malzeme kalınlığı kullanılmış olup her bir malzeme kalınlığı için aşağıdaki grafiklerde belirtilmiş olan sonuçlara ulaşılmıştır.

2 mm Malzeme:

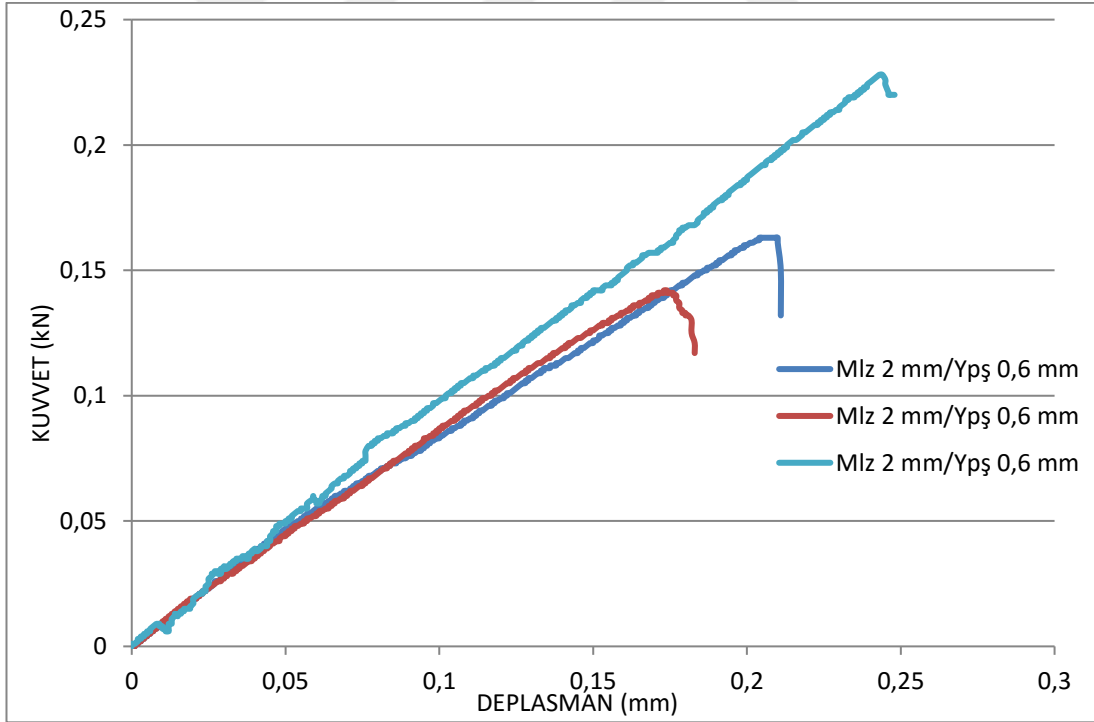
Yapıştırma işleminde 2 mm malzeme için 3 farklı yapıştırıcı kalınlığı sırasıyla 1,5 mm, 1 mm ve 0,6 mm uygulanmıştır ve Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de belirtilen Kuvvet (kN)-Deplasman (mm) grafikleri elde edilmiştir.



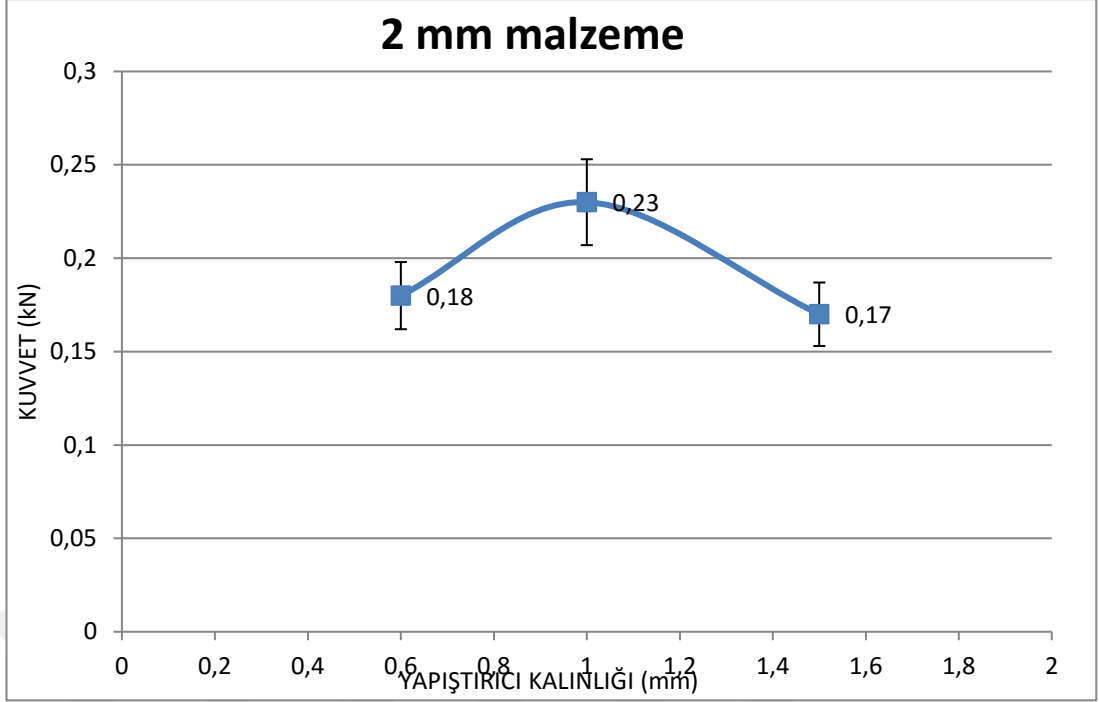
Şekil 4.1: 2 mm Mlz. ve 1,5 mm Ypş. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.



Şekil 4.2: 2 mm mlz. ve 1 mm ypş. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.



Şekil 4.3: 2 mm mlz. ve 0,6 mm ypş. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.



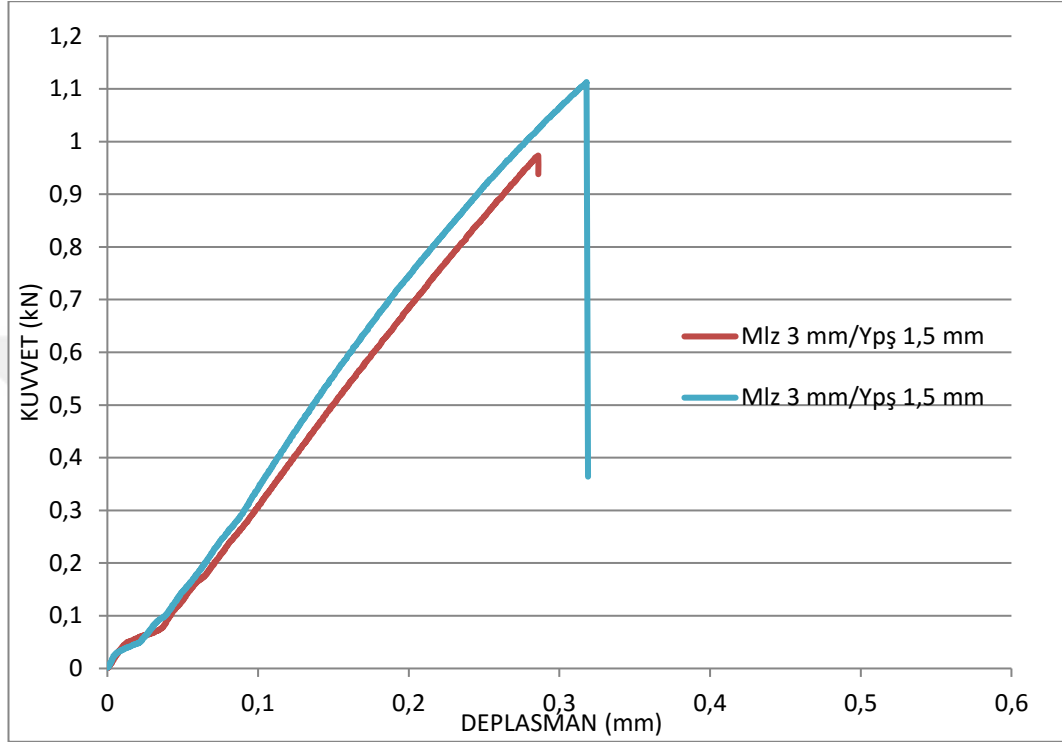
Şekil 4.4: 2 mm malzeme kalınlığı için hata çubuğu grafiği.

Şekil 4.1’de verilen grafikte 1,5 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulandığında ortalama 0,17 kN, Şekil 4.2’de verilen grafikte 1 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulandığında ortalama 0,23 kN ve Şekil 4.3’de verilen grafikte 0,6 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulandığında ortalama 0,18 kN kuvvet dayanımı elde edilmiştir. Şekil 4.4’de belirtilen grafikte 2 mm malzeme için en fazla yük taşıması sebebiyle optimum yapıştırıcı kalınlığının 1 mm olduğu görülmüştür.

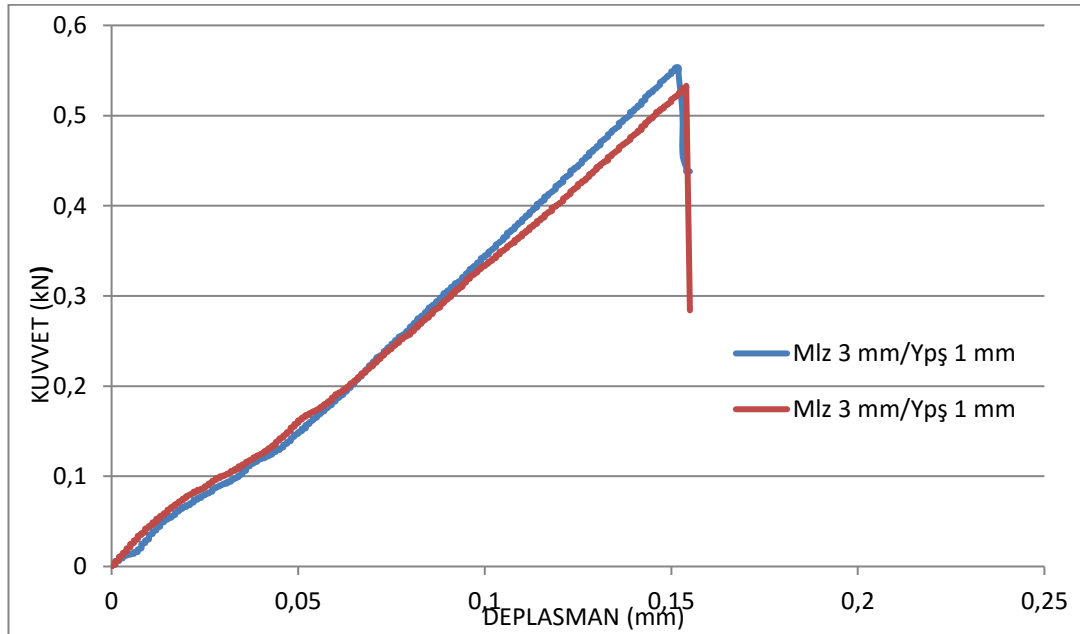
0,6 mm yapıştırıcı kalınlığında elde edilen 0,18 kN kuvvet dayanımının, 1,5 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulandığında elde edilen 0,17 kN kuvvet dayanımından yüksek olması yapıştırıcı kalınlığını arttırmanın kuvvet dayanımını arttırmadığını göstermiştir. 1,5 mm yapıştırıcı kalınlığında kullanılan yapıştırıcı miktarının, 0,6 mm yapıştırıcı kalınlığına göre 3 kat fazla olmasından dolayı gereksiz maliyet artışına sebep olduğu görülmüştür. Söz konusu yapıştırıcılar yüksek maliyetli malzemeler olduğundan dolayı yapıştırıcı kalınlığı seçimine dikkat edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

3 mm Malzeme:

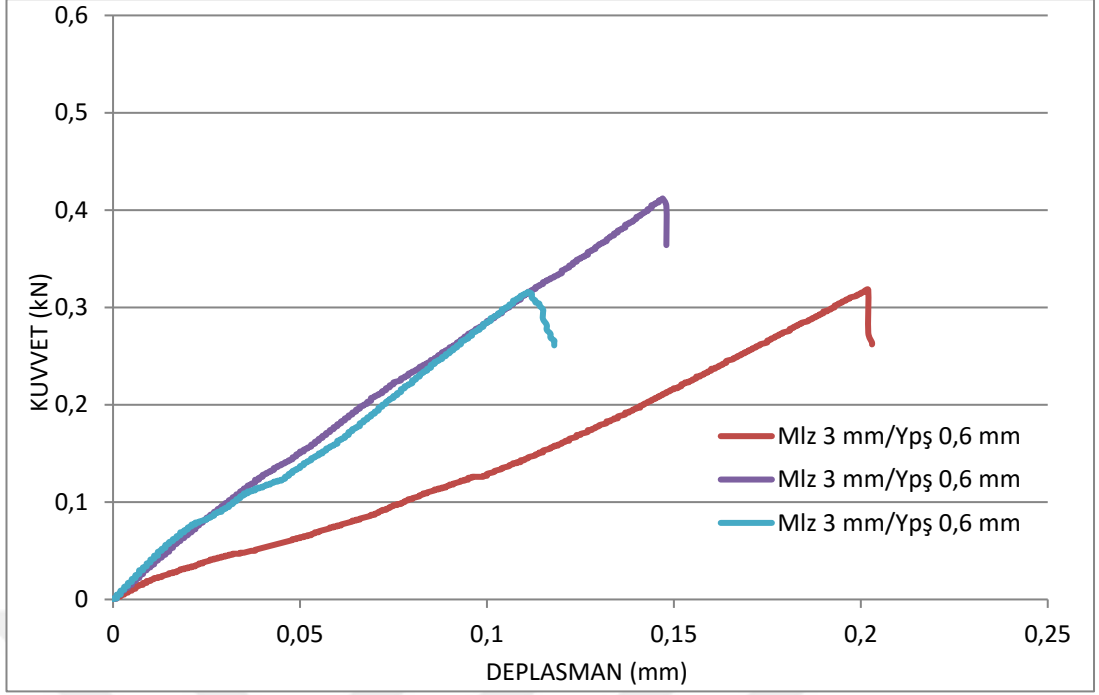
Yapıştırma işleminde 3 mm malzeme için 3 farklı yapıştırıcı kalınlığı sırasıyla 1,5 mm, 1 mm ve 0,6 mm uygulanmıştır ve Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de belirtilen Kuvvet (kN) - Deplasman (mm) grafikleri elde edilmiştir.



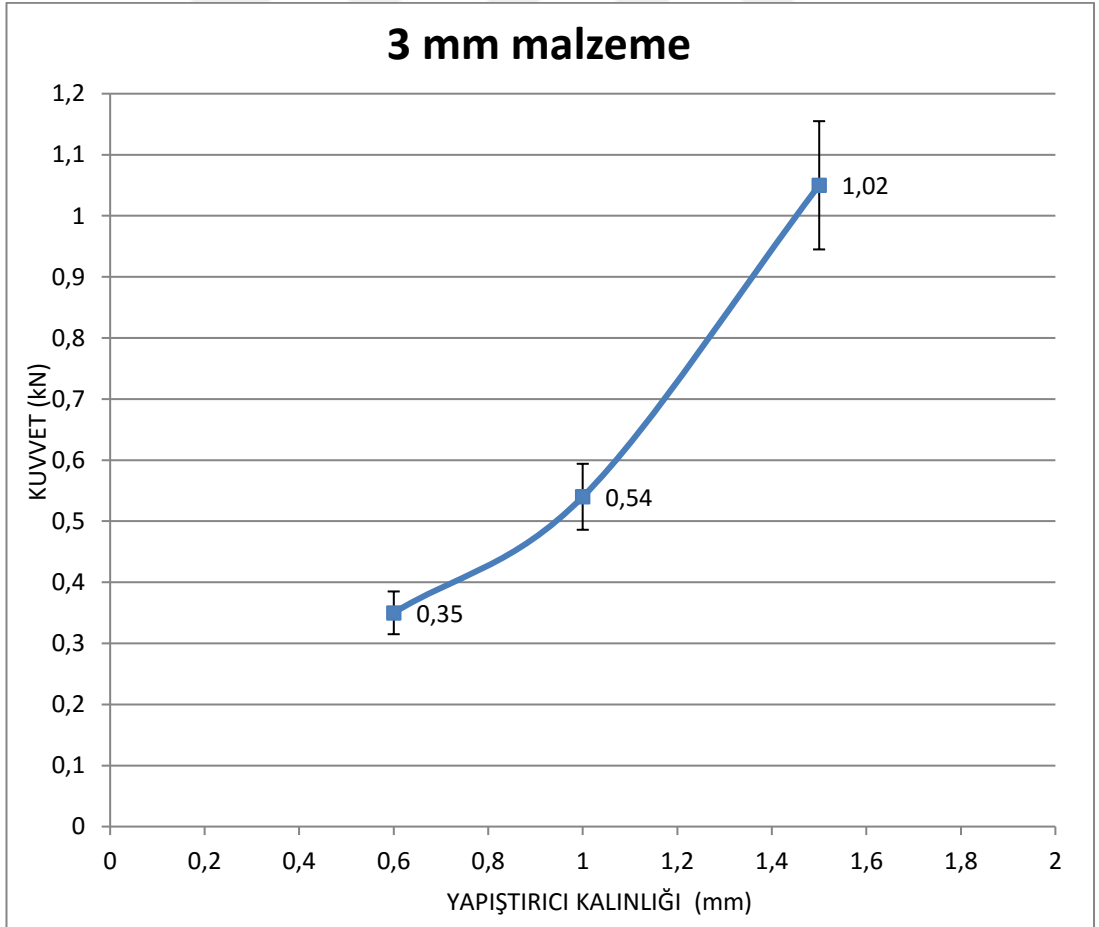
Şekil 4.5: 3 mm mlz. ve 1,5 mm yps. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.



Şekil 4.6: 3 mm mlz. ve 1 mm yps. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.



Şekil 4.7: 3 mm mlz. ve 0,6 mm ypş. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.



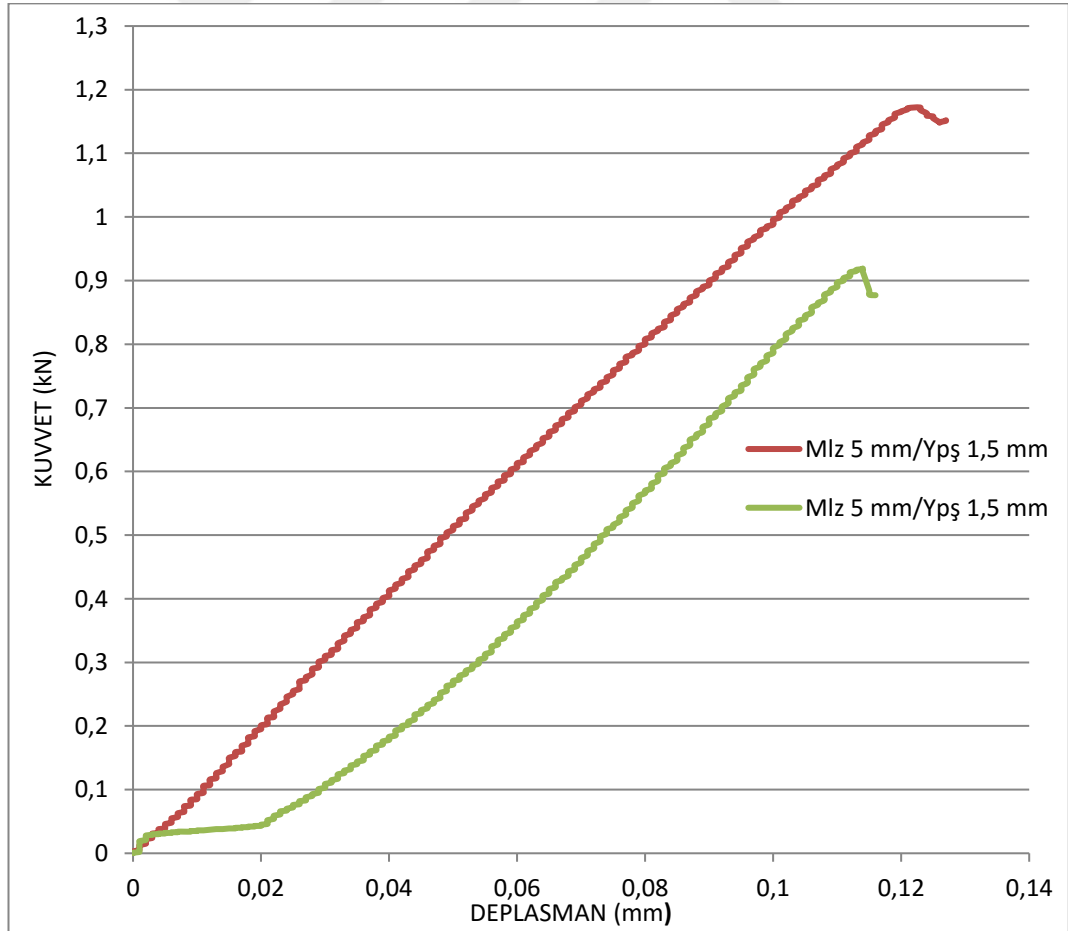
Şekil 4.8: 3 mm malzeme kalınlığı için hata çubuğu grafiği.

Şekil 4.5’de verilen grafikte 1,5 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulandığında ortalama 1,02 kN, Şekil 4.6’da verilen grafikte 1 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulandığında 0,54 kN ve Şekil 4.7’de verilen grafikte 0,6 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulandığında ortalama 0,35 kN kuvvet dayanımı elde edilmiştir. Şekil 4.8’de belirtilen grafikte de görüldüğü üzere en fazla kuvvet dayanımı 1,5 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulandığında elde edilmiştir.

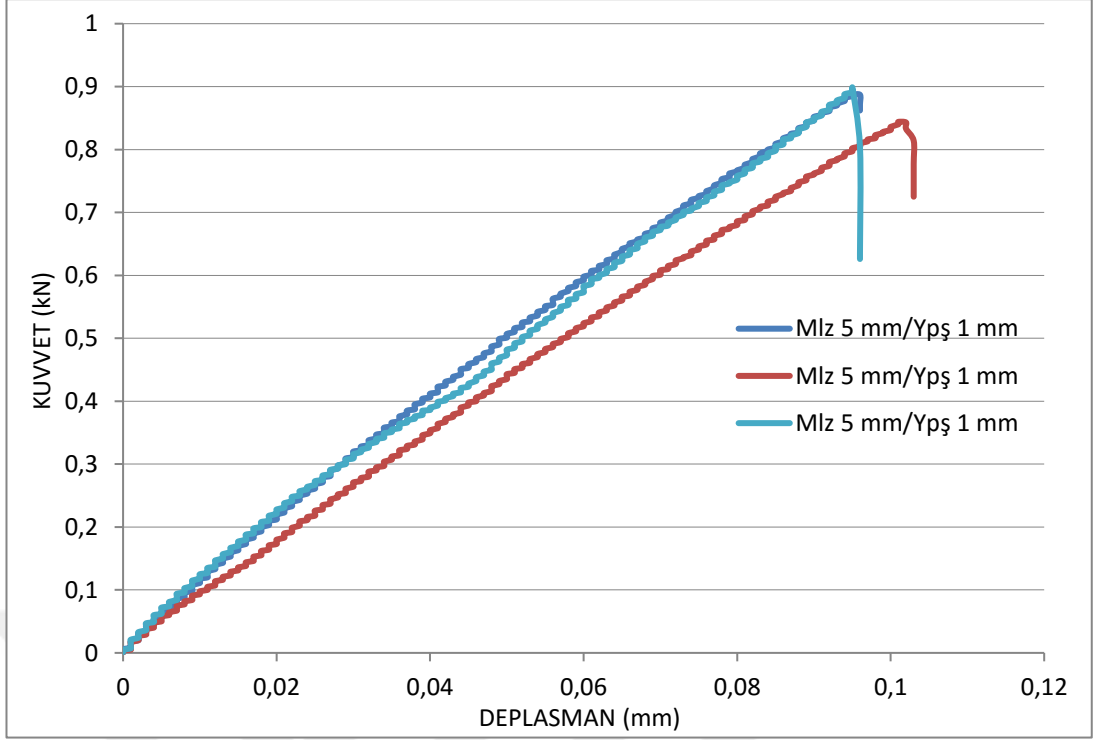
1,5 mm ve 1 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulanmış numunelerin deneyi sırasında test cihazında meydana gelen beklenmeyen durumdan dolayı 2 adet numune değerlendirilebilmiştir. 3 mm malzeme kalınlığı için yapıştırıcı kalınlığını arttırmamanın kuvvet dayanımı arttırdığı sonucu elde edilmiştir.

5 mm Malzeme:

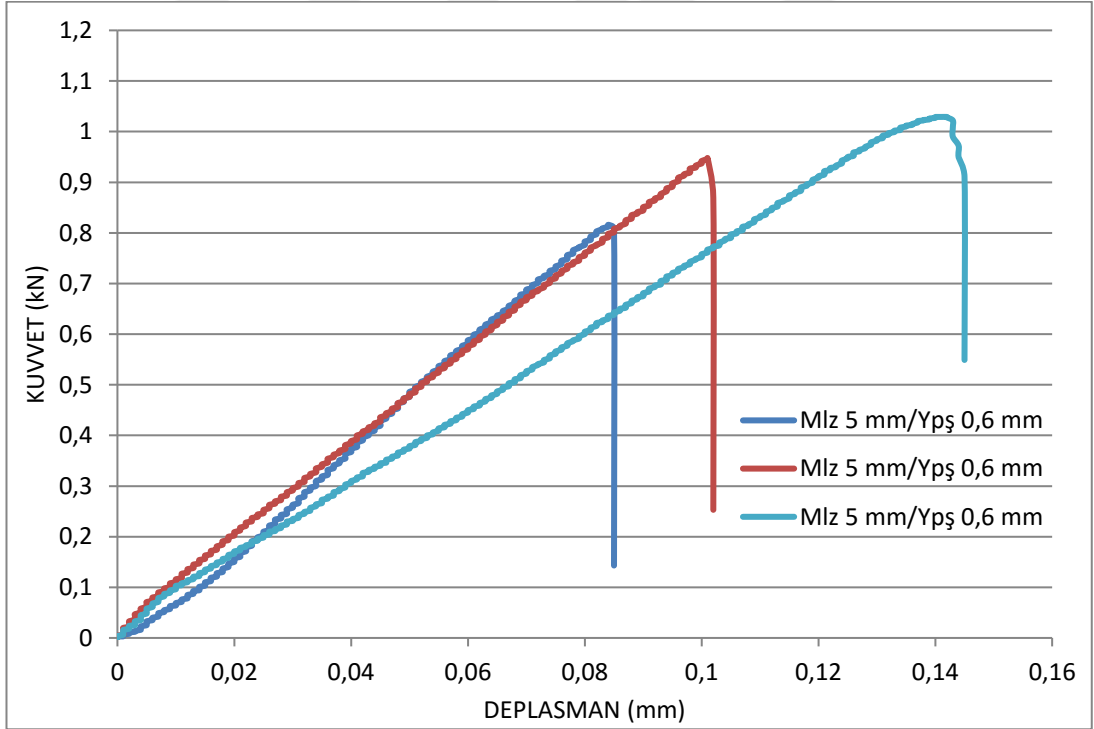
Yapıştırma işleminde 5 mm malzeme için 3 farklı yapıştırıcı kalınlığı sırasıyla 1,5 mm, 1 mm ve 0,6 mm uygulanmıştır ve Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de belirtilen Kuvvet (kN) - Deplasman (mm) grafikleri elde edilmiştir.



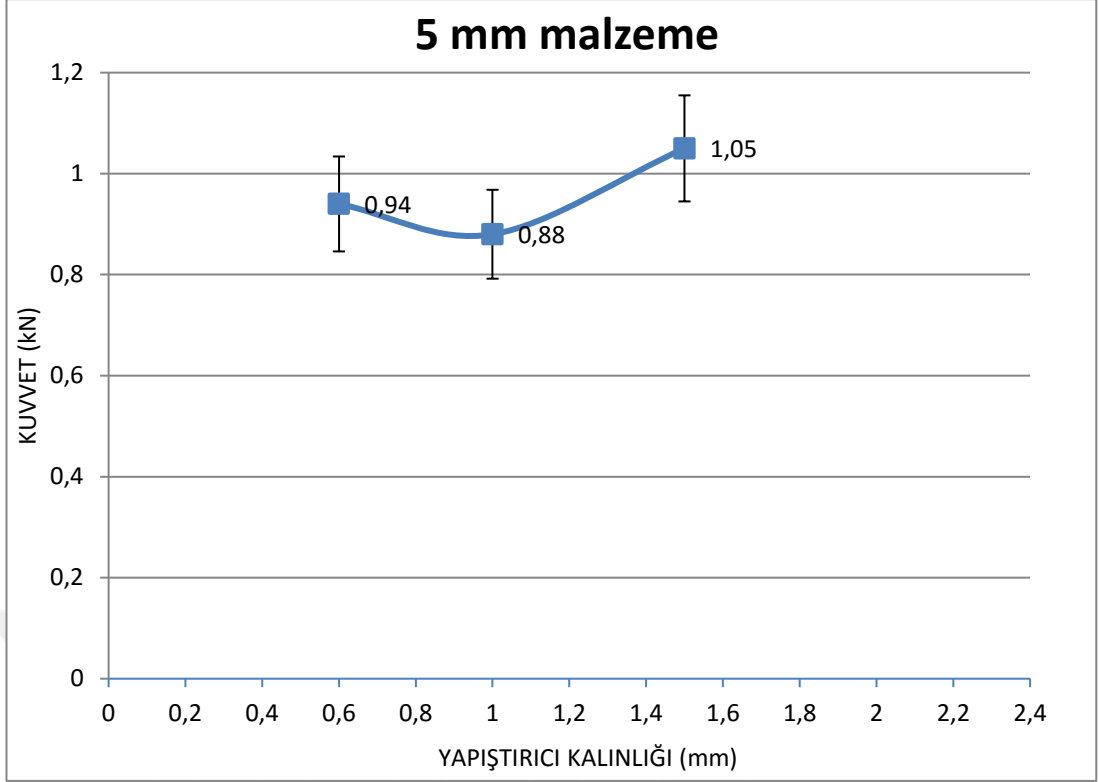
Şekil 4.9: 5 mm mlz. ve 1,5 mm yps. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.



Şekil 4.10: 5 mm mlz. ve 1 mm yps. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği

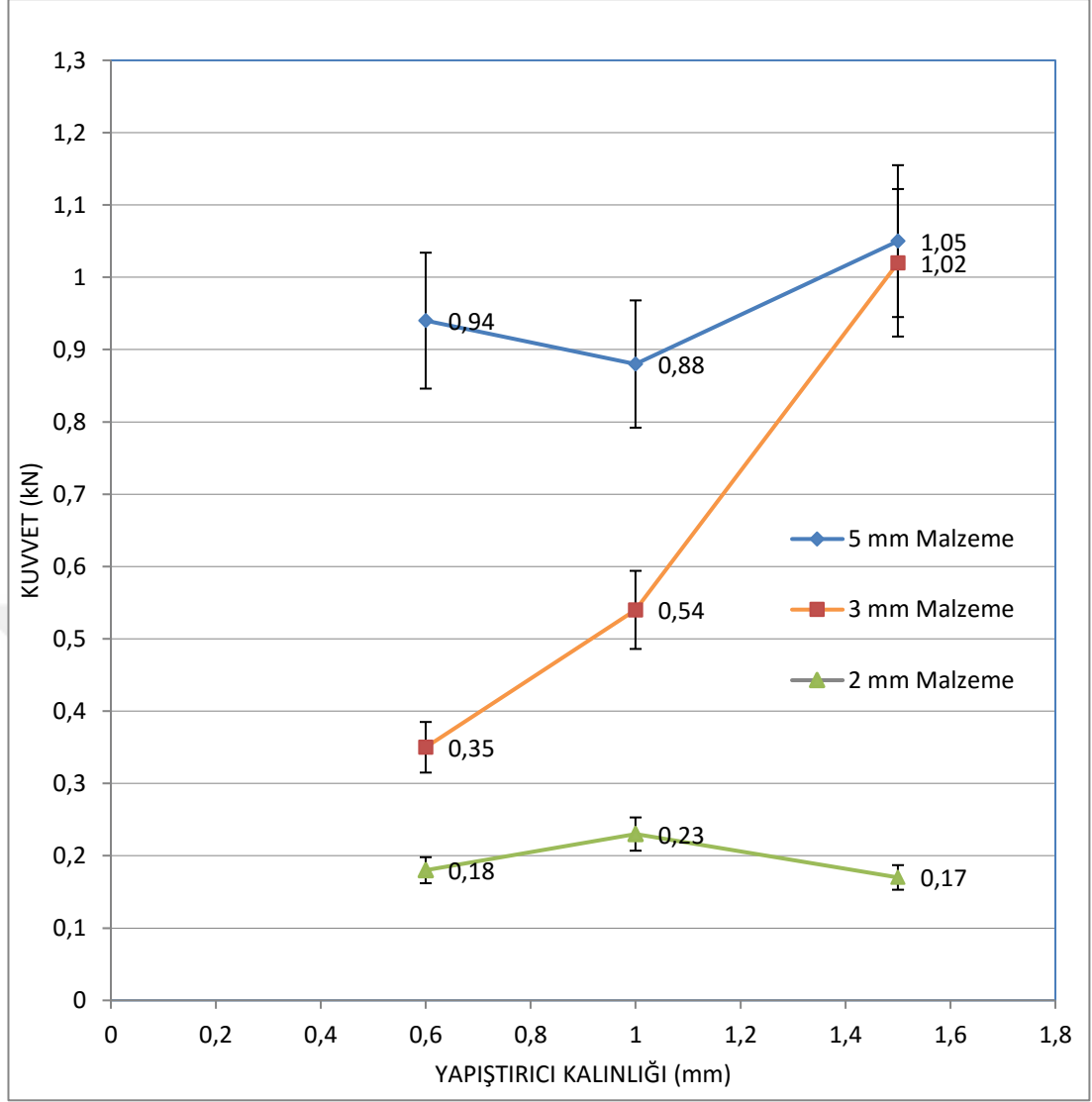


Şekil 4.11: 5 mm mlz. ve 0,6 mm yps. kalınlığı için kuvvet (kN) – deplasman (mm) grafiği.



Şekil 4.12: 5 mm malzeme kalınlığı için hata çubuğu grafiği.

Şekil 4.9’da verilen grafikte 1,5 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulandığında ortalama 1,05 kN, Şekil 4.10’da verilen grafikte 1 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulandığında 0,88 kN ve Şekil 4.11’de verilen grafikte 0,6 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulandığında ortalama 0,94 kN kuvvet dayanımı elde edilmiştir. Şekil 4.12’de belirtilen grafikte de görüldüğü üzere en fazla kuvvet dayanımı 1,5 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulandığında elde edilmiştir. Fakat 3 farklı yapıştırıcı kalınlığı uygulamasının kuvvet dayanımı birbirine çok yakındır. 0,6 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulandığında 0,94 kN (Şekil 4.11), 1,5 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulandığında 1,05 kN (Şekil 4.9) kuvvet dayanımı elde edilmiştir. Yapıştırıcı kalınlığı yaklaşık 3 kat artırılmış olmasına rağmen kuvvet dayanımı yaklaşık 0,1 kat artmıştır ve yapıştırıcı kalınlığının kuvvet dayanımına etkisinin az olduğu görülmüştür.



Şekil 4.13: 5 mm, 3 mm, 2 mm malzeme kalınlığı için hata çubuğu grafiği.

Şekil 4.13’de verilen grafikte tüm malzeme ve yapıştırıcı kalınlıkları sonucunda elde edilen çekme test sonuçlarının ortalama değerleri görülmektedir. Malzeme kalınlığı artması ile kuvvet dayanımı doğru orantılı artmıştır. Fakat yapıştırıcı kalınlığı ile kuvvet dayanımının doğru orantılı olarak artış göstermediği görülmüştür. Söz konusu deneysel çalışmaya literatür araştırmasında rastlanılmamış bu sebepten dolayı referans verilememiştir. Bu çalışmanın Single Lap Joint birleştirmelerde de uygulanması ve sonuçların karşılaştırması yararlı olacaktır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılan deneysel çalışmada malzeme ve yapıştırıcı kalınlığının çekme dayanımına etkisi araştırılmıştır. Test numunelerinin birleştirilmesinde yapıştırıcı olarak havacılık sanayisinde yoğun olarak kullanılan Loctite EA 9394 Aero kullanılmıştır. Toplamda 45 adet numune üretilmiş ve test edilmiştir. Test sonuçları değerlendirildiğinde aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Malzeme kalınlığı artmasına bağlı olarak yapıştırıcı kalınlığının çekme dayanımına etkisinin azaldığı görülmüştür. Şekil 4.12’de verilen grafikte görüldüğü üzere 5 mm malzeme için 3 farklı yapıştırıcı kullanılarak oluşturulan numunelerin çekme testlerin de birbirine çok yakın değerlere ulaşılmıştır. Bu durum yapıştırıcı kalınlığının dışında malzeme kalınlığının da önemli olduğunu göstermiştir.
2. Malzeme kalınlığı azaldığında yapıştırıcı etkisinin arttığı görülmüştür. Bu sebepten dolayı ince malzemeler için optimum yapıştırıcı kalınlığının kullanılması önem arz etmektedir. 2 mm malzemedan üretilen numunelere ait Şekil 4.4’de verilen Hata Çubuğu Grafiği incelendiğinde en yüksek kuvvet dayanımının 1 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulanan numune olduğu görülmüştür. Numuneler içerisinde 1,5 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılan numuneler bulunmasına rağmen 1 mm yapıştırıcı kalınlığına sahip numunenin daha fazla kuvvet dayanımına sahip olması optimum yapıştırıcı kalınlığının önemini göstermiştir.
3. 3 mm malzemedan oluşturulan numunelere ait deney sonuçları incelendiğinde yapıştırıcı kalınlığı ile doğru orantılı olarak kuvvet dayanımının da arttığı görülmüştür.

4. Yapıştırıcılardan maksimum verimi alabilmek için yapıştırılan malzeme kalınlığına bağlı olarak yapıştırıcı kalınlığı seçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Malzeme ve yapıştırıcı kalınlıklarını arttırmanın kuvvet dayanımına etkisinin her zaman doğru orantılı olarak artmadığı sonucu elde edilmiştir.
5. 0,6 mm yapıştırıcı kalınlığı uygulanmış olan numunelere ait olan Şekil 4.3, Şekil 4.7 ve Şekil 4.11’de verilen grafiklerde deplasman ve kuvvet dayanımı değerlerinde farklılıklar olduğu görülmüştür. Yapıştırıcı kalınlığının ince olmasından dolayı yapıştırıcının tüm yüzeye tam temas edemeyeceği, hava boşluklarının oluşabileceği ve bu sebepten dolayı kuvvet dayanımının düşebileceği sonucu elde edilmiştir. Söz konusu veriler, Ciba [14] tarafından yapılan çalışmayı desteklemektedir.

Bu çalışmada yapıştırıcı ile birleştirilmiş numunelere çekme testi uygulanmıştır. Fakat insan can güvenliğinin söz konusu olduğu havacılık ve uzay sanayisinde ki uygulamalarda, dinamik ve darbe yüküne maruz kalındığında oluşacak hasarların ve gerilmelerin de tahmin edilmesi gerekmektedir.

T bağlantıların hasar analizinin deneysel olarak incelendiği bu çalışmanın nümerik olarak da analiz edilmesi ve elde edilecek sonuçların, deneysel araştırma sonuçları ile karşılaştırılması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] ASTM D907-74. (1974). Definition of Terms Relating to Adhesives.
- [2] Loctite corporation (1998). Loctite Worldwide Design Handbook (second edition). Munich: Published by Loctite European Group.
- [3] Loctite European Group (1998). Worldwide Design Handbook, Düzeltilmiş 2. Baskı, Erasmusdruck GmbH Mainz, Almanya.
- [4] Kodakoğlu, L. (1996). Yapıştırıcıların Genel Özellikleri ve Çekme Gerilmesine Maruz Yapışma Birleşmesinin Analitik ve Nümerik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Pizzi, A., Mittra, K. L., (2003). Handbook of Adhesive Technology Second Edition, Revised and Expanded, Marcel Dekker, New York.
- [6] Apalak, M.K., Güneş, R., Fidancı, L. (2003). Geometrically Non-Linear Thermal Stress Analysis of an Adhesively Bonded Tubular Single Lap Joint, Finite Elements in Analysis and Design, 39, 155-174.
- [7] Adams, R.D. (1989). Strength Predictions for Lap-Joints, Especially with Composite Adherents, Journal of Adhesion, 30, 219-242.
- [8] Apalak, Z.G. (1995). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş T-tipi Bağlantıların Sonlu Elemanlar Metodu Kullanarak Analiz ve Tasarımı, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [9] Apalak, M.K., Güneş, R. (2002). On Non-Linear Thermal Stresses in an Adhesively Bonded Single-Lap Joint, Computers and Structures, 80, 85-98.
- [10] Aydın, M.D. (2003). Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Tek Tesirli Bindirme Bağlantısının Mekanik Özelliklerinin Deneysel ve Teorik İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- [11] Baghari, R., Marouf, B.T. (2007). Fracture Behavior of Multi-Layered Composites Under Impact Loading. *Materials Science and Engineering.*, 448, 20-24.
- [12] Bezemer, A.A., Guyt, C.B., Vlot, A. (1998). New Impact Specimen for Adhesives Optimization of High-Speed-Loaded Adhesive Joints, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 18, 255–260.
- [13] Chan, W.S., Vedhagiri, S. (2001). Analysis of Composites Bolted-Bonded Joints Used in Repairing, *J. Compos. Mater*, 35(12), 1045-1061.
- [14] Ciba. (1999). Ciba User's Guide to Adhesive, Surface Preparation and Pretreatment, Ciba Specialty Chemicals, Switzerland, 40s.
- [15] Goncalves, J.P.M., De Moura, M.F.S.F., De Castro, P.M.S.T. (2002). A Three-Dimensional Finite Element Model for Stress Analysis of Adhesive Joints, *Int. J. Adhes.*, 22, 357-365.
- [16] Kaya, A. (1991). Investigation of Stress Distributions in Adhesive-Bonded Lap Joint, MS. Degree Thesis, Dokuz Eylül University, Institute of Science and Technology, İzmir.
- [17] Kaya, A., Tekelioğlu, M.S., Findik, F. (2004). Effects of Various Parameters on Dynamic Characteristics in Adhesively Bonded Joints, *Materials Letters*, 58, 3451-3456.
- [18] Kinloch, A.J. (1997). Adhesives in Engineering, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 307-335.
- [19] Kline, R.A. (1982). Stress Analysis of Adhesively Bonded Joints, *Proceedings of the International Symposium on Adhesive Joints*, H, Kansas City, 587-610.
- [20] Lee, S.J., Lee, D.G. (1996). Development of Fatigue Failure Model for the Adhesively Bonded Tubular Single Lap Joint Under Dynamic Torsional Loading, *Journal of Adhesion*, 56, 157-169.
- [21] Özel, A., Kadioğlu, F., Sen, S., Sadeler, R. (2003). Finite Element Analysis of Adhesive Joints in Four Point Bending Load, *Journal of Adhesion.*, 79, 683-697.
- [22] Özel, A., Aydın, M.D., Temiz, Ş. (2004). The Effects of Overlap Length and Adherent Thickness on the Strength of Adhesively Bonded Joints Subjected to Bending Moment, *J. Adhesion Sci. Technology*, 18(3), 313-325.

- [23] Pfeiffer, P., Shakal, M. (1998). Effect of Bonded Metal Substrate Area and its Thickness on the Strength and Durability of Adhesively Bonded Joints, *J. of Adhesion Sci. Technology*, 12, 339-348.
- [24] Romanos, G. (1999). Strength Evaluation of Axisymmetric Bonded Joints Using Anaerobic Adhesives, *International Journal of Materials and Product Technology*, 14, 430- 443.
- [25] Ramani, K., Zhao, W. (1997). The Evaluation of Residual Stresses in Thermoplastic Bonding to Metal, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 17, 353-357.
- [26] Pandey, P.C., Shankaragouda, H., Singh, Kr.A. (1999). Nonlinear Analysis of Adhesively Bonded Lap Joints Considering Viscoplasticity in Adhesives, *Computers and Structures*, 70, 387-413.
- [27] Sancaktar, E., Simmons, S.R. (2000). Optimization of Adhesively Bonded Single Lap Joints by Adherent Notching, *Journal Of Adhesion Science And Technology*, 14(11), 1363-1404.
- [28] Sawa, T., Uchida, H. (1997). A Two Dimensional Stress Analysis and Strength Evaluation of Hand Adhesive Butt Joints Subjected to Tensile Loads, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 11, 811-833.
- [29] Şekerciöğlu, T. (2001). Yapıştırma Bağlantılarının Dinamik Yükler Altındaki Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [30] Dayangaç, B. (2000). Kompozit Rezin Restorasyonlar, Güneş Kitabevi Ltd.Şti., Ankara, 21-38.
- [31] Loctite Worldwide Design Handbook (1988).
- [32] Adams, R.D., Comyn, J., Wake, W.C. (1997). Structural Adhesive Joints in Engineering, Chapman and Hall, London,167p.
- [33] Carpenter, M.W. (1999). Characterizing The Chemistry of Yellow-Poplar Surfaces Exposed to Different Surface Energy Environments Using DCA, DSC and XPS, Master Thesis, West Virginia University, College of Agriculture, Forestry and Consumer Sciences, Department of Wood Science, Morgantown, West Virginia.

- [34] Ebnesejjad S., 2011, Handbook of Adhesives and Surface Preparation, Technology, Applications and Manufacturing, 6 s.
- [35] Walinder, M. (2000). Wetting Phenomena on Wood - Factors Influencing Measurements of Wood Wettability, Ph. D. Thesis, KTH-Royal Institute of Technology, Dept. Of Manufacturing Systems, Wood Technology and Processing, SE-IOO 44, Stocholm.
- [36] Şekercioğlu, T., Özenç, M. (2012). Metallerin Yapıştırılmasında Yüzey Hazırlama Yöntemlerinin İncelenmesi, TMMOB MMO Mühendis ve Makine Dergisi, cilt 53, sayı 627, s.43-50
- [37] Aydın S. (2012). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Prizmatik Geçmeli Bağlantıların Mekanik Analizleri, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- [38] Aydın, M.D. (2003). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Tek Tesirli Bindirme Bağlantısının Mekanik Özelliklerinin Deneysel ve Teorik İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [39] ASTM D2651. (1990). Standard Guide for Preparation of Metal Surfaces for Adhesive Bonding.
- [40] Özel, A., Aydın, M.D., Temiz, Ş. (2004). The Effects of Owerlap Lenght and Adherent Thickness on the Strenght of Adhesively Bonded Joints Subjected to Bending Moment, J. Adhesion Sci. Technology, 18(3), 313-325.
- [41] Adams, R.D., Wake, W.C. (1984). Structural Adhesive Joint in Engineering, Elsevier Scinece Publisher, London.
- [42] TS EN ISO 10365 (2001), Yapıştırıcılar - Başlıca Kusurların Gösterilmesi.
- [43] Temiz, Ş. (2003). Study of the Effect of Environmental Factors on Mechanical Properties of Adhesively Bonded Joints, Ph. D. Thesis, Ataturk University, Erzurum, Turkey.
- [44] Messler, R.W. (2004). "Joining of Materials and Structures", Butterworth Heinemann.
- [45] Crosetti, M. (2007). Adhesives for Automotive Applications, MSc, England.
- [46] ASM (1990), Engineered Materials Handbook, Adhesives and Sealants, Vol:3, 560p.

- [47] Airbus Industrie (1995), Process and Material Specification: Bonding of Aluminum Alloys, France.
- [48] Kaya, M. (2005). Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri Üzerine Çevresel Faktörlerin Etkisi, UTED Aylık Havacılık Dergisi, Türkiye.
- [49] Çalık, A. (2008). Yapıştırıcılar ve Köşeleri Yuvarlatılmış Basamaklı Bindirme Yapıştırıcı Bağlantılarda Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [50] Ciba-Geigy (1993). Ciba Composite: Redux Bonding Techonology, duxford-Chambridge, Pub. No. RGU 201A.
- [51] Solmaz, M.Y. (2008). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Tasarım ve Analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [52] Loctite EA9394 AERO Technical Data Sheet

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Haşim CAN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 1984
Medeni Hali : Evli
Adres : Bağlıca Mah. Ulupınar Cad. No:31 B Blok D:33
Etimesgut / ANKARA
E-Posta Adresi : canhasim@hotmail.com
İletişim (Telefon) : 0505 3732027

EĞİTİM

Lise : 2002 Bursa Emirsultan Lisesi (Süper Lise)
Lisans : 2008 Selçuk Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Makine
Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM

2009-2013 Bursa Büyükşehir Belediyesi BUSKİ Genel Müdürlüğü – Makine
Mühendisi
2013-2016 THK Gökçen Havacılık İ.İ. – Uçak Bakım Mühendisi
2016- IRKA Havacılık – Teknik Müdür

YABANCI DİL

İngilizce