

T. C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ DİNAMİK
YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tezcan ŞEKERCİOĞLU

112621

Doktora Tezi

DENİZLİ – 2001

112621

**YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ DİNAMİK
YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarafından Kabul Edilen
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tezcan ŞEKERCİOĞLU

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 02. 07. 2001

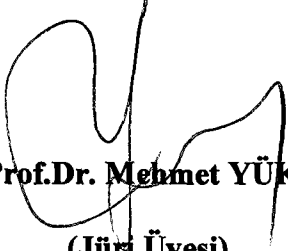
DENİZLİ – 2001

TEZ SINAV SONUÇ FORMU

Bu tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof.Dr. Hikmet RENDE
(Yönetici)



Prof.Dr. Mehmet YÜKSEL
(Jüri Üyesi)



Prof.Dr. Atilla BOZACI
(Jüri Üyesi)



Doç.Dr. Alper GÜLSÖZ
(Jüri Üyesi)



Doç.Dr. Gabil ABDULLAYEV
(Jüri Üyesi)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
20.7.2021 tarih ve 20.1.1... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof.Dr. Gungör ÜLKÜ
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını öneren ve tezin danışmanlığını yapan, değerli görüşleri ile tezin tamamlanmasındaki katkılarından dolayı hocam, Prof.Dr. Hikmet RENDE'ye, Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı Başkanı hocam, Prof.Dr. Mehmet YÜKSEL'e, tezin Pamukkale Üniversitesi Araştırma Fon Saymanlığı tarafından desteklenmesi için büyük çaba sarf eden, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanı hocam, Prof.Dr. Rasim KARABACAK'a, tez izleme komitesi üyeleri hocalarım, Doç.Dr. Alper GÜLSÖZ ve Doç.Dr. Gabil ABDULLAYEV'e, hiç bir zaman desteğini esirgemeyen arkadaşım, Araş.Gör. Cemal MERAN'a, yurtdışı makalelerin temininde büyük yardımını gördüğüm arkadaşım, Araş.Gör. Murat GÜNAY'a, Loctite Teknik Satış Temsilcisi, Yusuf ŞENGÜN'e, Erbakır A.Ş. yetkililerine ve tezde emeği geçen herkese çok teşekkür ediyorum.

Ayrıca benim bu günlere gelmemi sağlayan babam ve anneme, tezin her aşamasında beni sonsuz destekleyen eşim ve çalışmalardan dolayı yeterli zaman ayıramadığım biricik kızım Cansu Banu'ya çok teşekkür ediyorum.

Tezcan ŞEKERCİOĞLU

ÖZET

Değişik metotlar kullanılarak malzemeler birleştirilebilir. Elli yıl öncelerine kadar, temel birleştirme teknikleri olarak, cıvata, perçin gibi mekanik birleştirme yöntemleri ve kaynak, lehimleme gibi yöntemler kullanılmakta idi. Bütün bu metotların avantaj ve dezavantajları bulunuyordu. Bu metotlara ilave olarak, II. Dünya savaşı boyunca, araştırmacılar tarafından yeni yapıştırıcılar geliştirilmiştir. O zamandan beri yapıştırma teknolojisinde büyük ilerlemeler sağlanmıştır. Bilim ve elde edilen tecrübelerin yardımıyla, yapıştırma bağlantıları yük taşıyan mühendislik uygulamaları, yatak ve dişlilerin montajı, uçaklar ve inşaat mühendisliği gibi uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar.

Bu tez çalışmasında da silindirik yapıştırma bağlantılarının dinamik yükler altındaki davranışları incelenmiştir. Çalışmanın 1. Bölümünde, yapıştırıcılara genel bir giriş yapılarak, bu konuda yapılmış olan çalışmalar incelenmiş ve çalışmanın amacı belirtilmiştir. 2. Bölümde yapıştırma olayının tanımı yapılarak, avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. 3. Bölümde yapıştırıcılar sınıflandırılarak, sertleşme mekanizmaları açıklanmıştır. 4. Bölümde, uygulamada en çok kullanılan yapıştırma geometrileri ve yükleme durumları açıklanmıştır. 5. Bölümde silindirik yapıştırma bağlantılarının mukavemetini etkileyen faktörler incelenerek deneysel çalışmalar için ön hazırlık yapılmıştır. 6. Bölümde, deneyler esnasında kullanılan deney düzenekleri tanıtılarak, yükleme şekilleri hakkında bilgi verilmiştir. Deney numuneleri ve yapıştırma prosesleri açıklanmıştır.

Deneysel çalışma sonuçlarının verildiği 7. Bölümde, bağlantının mukavemetini etkileyen faktörlerden, boşluğun etkisi, sıkı geçmenin etkisi, malzemenin etkisi, yüzey pürüzlülüğünün etkisi ve yükleme durumunun etkisi incelenmiştir. Son bölümde ise deneylerden elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirilerek, gerekli önerilerde bulunulmuştur.

Tezcan ŞEKERCİOĞLU

ABSTRACT

Using a variety of methods, the materials can be joined. Up to about 50 years ago, the principal joining techniques were by mechanical fastening (screws, rivets, bolts, etc.) or by welding, soldering or brazing. All of these methods had advantages and disadvantages. In addition to these methods, during the Second World War, researchers developed a series of novel adhesives. Since that time, enormous advances have been made in adhesive bonding technology. With the benefit of science and experience, we can now use adhesive joints in load-bearing engineering situations, which can withstand many years of use. They are being used to locate bearing and gears, aircraft, civil engineering etc.

In this study, the effect of dynamic loading on retaining metal cylindrical assemblies with adhesives was investigated. In the first Chapter, a general introduction was given, previous studies on the subject were reviewed and the aim of the study was point out. In the second Chapter, the definition of the adhesive bonding was explained; the advantages and the disadvantages were presented. In the third Chapter, the adhesives were classified and the curing mechanisms were explained. In the fourth Chapter, the mostly used adhesive joint geometries and loading types were clarified. In the fifth Chapter, the factors that affect the adhesives strength of the cylindrical assemblies were investigated for pre-experimental studies. In the sixth Chapter, experimental test equipments were presented and on the type of loading were explained. Experimental specimens and adhesive bonding process were explicated.

In the seventh Chapter, the effect of the diametrical clearance, the shrink fit, the surface roughness, the materials and the loading type on joint strength were experimentally investigated and the results were presented. In the final Chapter, the results of the experiments were criticized and some suggestions were made.

Tezcan ŞEKERCİOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İçindekiler	VII
Şekiller Dizini	XI
Çizelgeler Dizini	XIV
Simgeler Dizini	XVI

Birinci Bölüm

GİRİŞ

1.1 Yapıştırmanın Önemi	1
1.2 Literatür Özeti	3
1.3 Çalışmanın Amacı	14

İkinci Bölüm

YAPIŞTIRMA , YAPIŞTIRMANIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

2.1 Yapışma Olayı ve Yapıştırıcının Tanımı	15
2.2 Yapıştırıcıların Polimerler İçindeki Yeri	20
2.3 Metal Yapıştırıcıların Kullanıldığı Yerler	21
2.4 Yapıştırmanın Avantajları	27
2.5 Yapıştırmanın Dezavantajları	30

Üçüncü Bölüm

YAPIŞTIRICILARIN GENEL ÖZELLİKLERİ

3.1 Yapıştırıcı Çeşitleri	33
3.1.1. Kimyasal Tipleri Açısından Yapıştırıcılar	33
3.1.1.1 Kimyasal Reaksiyon ile Sertleşen Yapıştırıcılar	33
3.1.1.1.1 Anaerobikler	33
3.1.1.1.2 Cyanoakrilatlar	37
3.1.1.1.3 Epoksiler	38
3.1.1.1.4 Sertleştirilmiş Akrilikler	39
3.1.1.1.5 Poliüretanlar	39
3.1.1.1.6 Modifiye Edilmiş Fenolikler	40
3.1.1.2 Fiziksel Değişim ile Sertleşen Yapıştırıcılar	40
3.1.1.2.1 Ultraviyole (UV) Yapıştırıcılar	40
3.1.1.2.2 Sıcak Eriyikler	42
3.1.1.2.3 Kauçuk Yapıştırıcılar	42
3.1.1.2.4 Polivinil Asetatlar (PVAC)	42
3.1.1.2.5 Silikonlar (PSAs)	43
3.1.2 Formları Açısından Yapıştırıcılar	43
3.1.2.1 Macun Tipi Yapıştırıcılar	44
3.1.2.2 Film Tipi Yapıştırıcılar	44
3.1.2.3 Düşük Viskoziteli Yapıştırıcılar	44
3.1.2.4 Düşük Yoğunluklu Yapıştırıcılar	45
3.1.2.5 Reçineler	45
3.1.2.6 Köpükler	45
3.2 Bazı Yapıştırıcıların Mukavemet Değerleri	45

Dördüncü Bölüm

YAPIŞTIRMA GEOMETRİSİ VE YÜKLEME DURUMLARI

4.1 Yapıştırma Geometrisi	47
4.2 Yapıştırma Bağlantılarında Yükleme Durumları	50
4.3 Konstrüksiyonda Dikkat Edilecek Hususlar	52
4.4 Yapıştırma Bağlantılarında Hasar Mekanizmaları	54
4.4.1 Yapıştırma Bağlantılarının Viskoelastik Davranışı	54
4.4.2 Yapıştırma Bağlantılarının Kopma Şekilleri	56

Beşinci Bölüm

SİLİNDİRİK YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ MUKAVEMETİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

5.1 Statik Eksenel Yükleme Durumu	58
5.2 Statik Tork (Moment) İletilmesi Durumu	59
5.3 Mukavemet Düzeltme Faktörleri (f_T)	60
5.3.1 Malzeme Faktörü (f_1)	60
5.3.2 Geçme Faktörü (f_2)	63
5.3.3 Yapıştırma Boşluğu Faktörü (f_3)	64
5.3.4 Yüzey Pürüzlülüğü Faktörü (f_4)	64
5.3.5 Geometri Faktörü (f_5)	64
5.3.6 Çalışma Sıcaklığı Faktörü (f_6)	65
5.3.7 Isıl Yaşlanma Faktörü (f_7)	66
5.3.8 Çalışma Ortamı Faktörü (f_8)	67
5.4 Dinamik Yükleme Durumu	68

Altıncı Bölüm**MATERYAL VE METOT**

6.1 Deneş Düzenegİ	70
6.2 Yükleme Durumu	73
6.3 Deneş Numuneleri	77
6.4 Deneşlerde Kullanılan Yapıştırıcının Teknik Özellikleri	81

Yedinci Bölüm**DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

7.1 Dinamik Kesme Gerilmesi Durumu	82
7.1.1 Yapıştırma Boşluğunun Etkisi	83
7.1.2 Sıkı Geçmenin Etkisi	90
7.1.3 Malzemenin Etkisi	94
7.1.4 Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi	98
7.2 Dinamik Burulma Gerilmesi Durumu	105

Sekizinci Bölüm**SONUÇ VE ÖNERİLER**

8. Sonuç ve Öneriler	109
KAYNAKLAR	114
ÖZGEÇMİŞ	123

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1: Adhezyon ve kohezyon olayının şematik olarak gösterilmesi	19
Şekil 2.2: Adhezyon ve kohezyon olayının zincir yapısına benzetilmesi	19
Şekil 2.3: Polimerlerin sınıflandırılması	20
Şekil 2.4: Otomotiv şase üretiminde yapıştırıcının robot yardımıyla yüzeye uygulanması	21
Şekil 2.5: Peugeot yarış arabasının tahrik milinde yapıştırıcı kullanımı	22
Şekil 2.6: Uçak yapılarında yapıştırıcı kullanımı	23
Şekil 2.7: Lockheed C-5A uçağında yapıştırıcıların kullanıldığı alanlar	24
Şekil 2.8: Matbaa makinası milinde sıkı geçme-yapıştırıcı uygulaması	25
Şekil 2.9: Civataların tespitinde yapıştırıcı kullanımı	25
Şekil 2.10: Bir kapak üzerinde silikon yapıştırıcı kullanımı	26
Şekil 2.11: Flanşlı kaplin bağlantısında yapıştırıcı kullanımı	26
Şekil 2.12: Çeşitli birleştirme bağlantılarında gerilme durumları	27
Şekil 2.13: Fretting korozyonu oluşum mekanizması	28
Şekil 2.14: Çeşitli bağlantıların maliyet açısından karşılaştırılması	29
Şekil 2.15: Sıkı geçme bağlantılarında yapıştırmanın bağlantı mukavemetine etkisi	29
Şekil 2.16: Deneylerde kullanılan Loctite 638 anaerobik yapıştırıcıda sıcaklık ile dayanım değeri düşümü	32
Şekil 3.1: 500 HP gücündeki bir kamyon dişli kutusu milindeki sıkı geçme bağlantısında anaerobik yapıştırıcının uygulanması	34
Şekil 3.2: Anaerobiklerin sertleşme mekanizması	35
Şekil 3.3: Cyanoakrilatların sertleşme mekanizması	37
Şekil 3.4: UV-yapıştırıcıların sertleşme mekanizması	41
Şekil 4.1: Yapıştırma bağlantı geometrileri	48
Şekil 4.2: Silindirik yapıştırma bağlantılarında birleştirme şekilleri	49
Şekil 4.3: Yapıştırma bağlantılarında gerilme durumları	50

Şekil 4.4: Yapıştırma bağlantılarında gerilme dağılımları	51
Şekil 4.5: Mil-göbek bağlantılarının yükleme şekilleri	52
Şekil 4.6: Soyulmayı önlemek için alınabilecek konstrüktif önlemler	53
Şekil 4.7: Mil-göbek bağlantısında gerilme yığılmasının azaltılması	54
Şekil 4.8: Polimerlerin viskoelastik davranış modelleri	55
Şekil 5.1: Yapıştırma geometrisi ile düzeltme faktörü arasındaki ilişki	65
Şekil 5.2: Loctite 648 anaerobik yapıştırıcıda sıcaklık ile dayanım değeri düşümü	66
Şekil 5.3: Loctite 638 anaerobik yapıştırıcıda sıcaklık ve süre ile dayanım değeri düşümü	67
Şekil 6.1: Deney düzeneğinin şematik olarak gösterilmesi	70
Şekil 6.2: Deney düzeneğinin yük ölçer ve kontrol ünitesi	72
Şekil 6.3: Deney düzeneğinin fotoğraf olarak görünümü	72
Şekil 6.4: Deney düzeneğinin kafes (numune bağlama) bölümünün görünümü ..	73
Şekil 6.5: Deney numuneleri üzerine uygulanan yükleme durumu	74
Şekil 6.6: Deney numunelerine gerilme uygulama şekilleri	75
Şekil 6.7: Kuvvet uygulama şekillerinin fotoğraf olarak görünümü	76
Şekil 6.8: Çeki kuvveti altında kesme gerilmesi ile zorlanan deney numunesi ...	77
Şekil 6.9: Burulma gerilmesi ile zorlanan deney numunesi	78
Şekil 6.10: Ölçülen yüzey pürüzlülüklerine ait değerler ve grafikler	80
Şekil 7.1: $s = 0,0$ mm için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi	84
Şekil 7.2: $s = 0,1$ mm için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi	85
Şekil 7.3: $s = 0,15$ mm için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi	85
Şekil 7.4: $s = 0,2$ mm için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi	86
Şekil 7.5: $s = 0,3$ mm için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi	87
Şekil 7.6: Yapıştırma boşluğunun statik mukavemet üzerine etkisi	88
Şekil 7.7: Yapıştırma boşluğunun yük tekrar sayısı üzerine etkisi	88
Şekil 7.8: Sıkı geçme için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi (H7/r6)	92
Şekil 7.9: Sıkı geçme için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi (H7/u6)	93
Şekil 7.10: Farklı sıkı geçmelerin karşılaştırılması	93
Şekil 7.11: Bronz / bronz malzeme için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi..	95
Şekil 7.12: Çelik / bronz malzeme için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi .	96

Şekil 7.13: Alüminyum / alüminyum için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi	96
Şekil 7.14: Yapıştırılan malzemenin statik mukavemete etkisi	97
Şekil 7.15: Yapıştırılan malzemenin yük tekrar sayısı üzerine etkisi	98
Şekil 7.16: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 0,45 \mu\text{m}$ için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi	100
Şekil 7.17: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 2,3 \mu\text{m}$ için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi	100
Şekil 7.18: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 3,2 \mu\text{m}$ için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi	101
Şekil 7.19: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 6,2 \mu\text{m}$ için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi	102
Şekil 7.20: Yüzey pürüzlülüğünün statik mukavemet değerlerine etkisi	103
Şekil 7.21: Yüzey pürüzlülüğünün yük tekrar sayısı üzerine etkisi	103
Şekil 7.22: Burulma gerilmesi durumunda deney sonuçlarının grafik gösterilmesi ($s = 0,1 \text{ mm}$ için)	106
Şekil 7.23: Aynı şartlarda kesme ve burulma gerilmelerinin karşılaştırılması ($s = 0,1 \text{ mm}$ için)	107
Şekil 7.24: Burulma gerilmesi durumunda deney sonuçlarının grafik gösterilmesi ($s = 0,2 \text{ mm}$ için)	108
Şekil 7.25: Aynı şartlarda kesme ve burulma gerilmelerinin karşılaştırılması ($s=0,2 \text{ mm}$ için)	108

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1: Bazı polimerlerin T_g değerleri	31
Çizelge 3.1: Anaerobik yapıştırıcılar için ticari örnekler	35
Çizelge 3.2: Cyanoakrilat yapıştırıcılar için ticari örnekler	38
Çizelge 3.3: Epoksi yapıştırıcılar için ticari örnekler	38
Çizelge 3.4: UV- yapıştırıcılar için ticari örnekler	41
Çizelge 3.5: Film tipi yapıştırıcılar için ticari örnekler	44
Çizelge 3.6: Bazı yapıştırıcıların mukavemet değerleri	46
Çizelge 5.1: Çeşitli malzemelerin serbest yüzey enerjileri	62
Çizelge 5.2: Malzeme (f_1) katsayıları	63
Çizelge 5.3 : Geçme (f_2) katsayıları	63
Çizelge 5.4: Loctite 638'in farklı ortamlarda mukavemet değerlerindeki azalma yüzdeleri	68
Çizelge 6.1: Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri	79
Çizelge 6.2: Loctite 638'in fiziksel özellikleri	81
Çizelge 7.1: Yapıştırma boşluğu etkisinin tespiti için uygulanan deney şartları ..	83
Çizelge 7.2: $s = 0,0$ mm için deney sonuçları	84
Çizelge 7.3: $s = 0,1$ mm için deney sonuçları	84
Çizelge 7.4: $s = 0,15$ mm için deney sonuçları	84
Çizelge 7.5: $s = 0,2$ mm için deney sonuçları	86
Çizelge 7.6: $s = 0,3$ mm için deney sonuçları	86
Çizelge 7.7: Sıkı geçme etkisinin tespiti için uygulanan deney şartları	90
Çizelge 7.8: Sıkı geçme için deney sonuçları (H7/r6)	91
Çizelge 7.9: Sıkı geçme için deney sonuçları (H7/u6)	92
Çizelge 7.10: Malzemenin etkisini tespit için uygulanan deney şartları	94
Çizelge 7.11: Bronz / bronz malzeme için deney sonuçları	95
Çizelge 7.12: Çelik / bronz malzeme için deney sonuçları	95
Çizelge 7.13: Alüminyum /alüminyum malzeme için deney sonuçları	96

Çizelge 7.14: Yüzey pürüzlülüğü etkisinin tespiti için uygulanan deney şartları .	99
Çizelge 7.15: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 0,45 \mu\text{m}$ için deney sonuçları	99
Çizelge 7.16: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 2,3 \mu\text{m}$ için deney sonuçları	100
Çizelge 7.17: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 3,2 \mu\text{m}$ için deney sonuçları	101
Çizelge 7.18: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 6,2 \mu\text{m}$ için deney sonuçları	101
Çizelge 7.19: Burulma gerilmesi durumunda uygulanan deney şartları	105
Çizelge 7.20: Burulma gerilmesi durumunda deney sonuçları ($s = 0,1 \text{ mm}$)	106
Çizelge 7.21: Burulma gerilmesi durumunda deney sonuçları ($s = 0,2 \text{ mm}$)	107



SİMGELER DİZİNİ

T_g	Camsı duruma geçiş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
W_A	Termodinamik adhezyon işi (mJ/m^2)
f_T	Mukavemet düzeltme faktörleri toplamı
P	Sıkı geçme bağlantılarında geçme basıncı (N/mm^2)
μ	Sürtünme katsayısı
R_a	Yüzey pürüzlülüğü aritmetik ortalaması (μm)
A	Yapıştırma alanı (mm^2)
D	Nominal yapıştırma çapı (mm)
L	Yapıştırma uzunluğu (mm)
s	Yapıştırma boşluğu (mm)
F	Taşınabilen aksenal kuvvet (N)
T	İletilebilecek olan tork (Nmm)
F_{\min}	Uygulanan minimum kuvvet (N)
τ_{\min}	Minimum gerilme (N/mm^2)
F_{\max}	Uygulanan maksimum kuvvet (N)
τ_{\max}	Maksimum gerilme (N/mm^2)
τ_m	Ortalama gerilme (N/mm^2)
τ_a	Gerilme genliği (N/mm^2)
F_R	Ortalama statik kesme kuvveti (N)
F_t	Ortalama teğetsel kesme kuvveti (N)
e	Moment kolu (mm)
τ_R	Ortalama statik kesme mukavemeti (N/mm^2)
N	Ortalama yük tekrar sayısı

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1 Yapıştırmanın Önemi

Endüstriyel yapıştırıcıların fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki gelişmelerden dolayı yapıştırıcı ile bağlama tekniği birçok mühendislik alanında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Diğer metotlara (kaynak, perçin bağlantıları vs.) göre sahip olduğu avantajlardan dolayı, yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılar birçok araştırmacı tarafından analitik, sonlu elemanlar metodu ve deneysel olarak statik durumlar için incelenmiş olup araştırmalar devam etmektedir. Dinamik durumlardaki davranışları üzerine yapılan çalışmalarda gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle uzay, uçak ve makine konstrüksiyonlarında dinamik yükler altında kullanılmaları, bu çalışmalar açısından önem kazanmaktadır.

Yapıştırıcı olarak kullanılan ilk malzemenin tarihi M.Ö. 4000 yıllarına kadar uzanmaktadır. Arkeologların yaptığı çalışmalar, ilkel kabilelerin kırılan çömlekleri, ağaç öz suyundan yaptıkları yapıştırıcı reçine ile birleştirdiklerini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca yapılan diğer arkeolojik araştırmalar, M.Ö 1500 – 1000 yıllarında, ahşap yapıştırma işlemlerinde yapıştırıcıların kullanıldığını ortaya koymuştur. 1700'lü yıllarda yapıştırıcıların yaygın olarak kullanılmasıyla, yapıştırıcıların tarihinde hızlı değişiklikler olmuştur. Bu yıllarda hayvan derisinden yapıştırıcı üreten ilk ticari fabrika Hollanda'da kurulmuştur. Yaklaşık 1750 yılında, İngiltere'de balıktan elde edilmiş hayvansal yapıştırıcı için ilk patent alınmıştır.

1900'den beri bitkisel yapıştırıcılar, kağıt gibi gözenekli malzemelerin birleştirilmesinde geniş kullanım alanı bulmalarına rağmen, elli yıl öncesine kadar hayvansal esaslı olanlar, büyük öneme sahiptiler. Kasein yapıştırıcıları, I. Dünya Savaşı'nda ahşap uçak konstrüksiyonları için kullanılmış, ancak bu tip yapıştırıcıların neme karşı düşük mukavemet ve dirence sahip oldukları görülmüştür. Endüstride

yapıştırıcıların kullanımında hızlı artış, doğal ürünlerde sınırlama tanımayan ve metalleri diğer metal olmayan gözeneksiz malzemelere bağlayabilen sentetik reçinelerin gelişmesinden dolayıdır. En önemli ilk sentetik reçine, kerestelerin birleştirilmesinde oldukça çok kullanılan fenol formaldehittir. II. Dünya Savaşı esnasında uçaklarda yapısal metallerin bağlanmasında epoksi reçinelerin ve fenoliklerin kullanılmasıyla kendine önemli bir yer edinmiştir. Bu yer edinme sayesinde gün geçtikçe dayanım ve uzama kabiliyeti artarak yorulma dayanımları da iyileşmiştir. Aynı zamanda titreşimlere karşı direnebilme ve esneklik özelliklerinde de iyileşmeler sağlanarak, her geçen gün daha iyi yapıştırıcılar ve yapıştırma bağlantıları elde edilmiştir.

Uygulamadaki birçok avantajından dolayı, yapıştırıcı ile birleştirme düşük maliyetli üretim için yeni imkanlar sunar. Yapıştırıcı ile birleştirme, çalışma şartları bakımından kullanımının mümkün olmadığı ve daha az ekonomik oldukları yerlerde diğer bağlama tekniklerine bir tamamlayıcı olarak düşünülmelidir.

Yapıştırıcı ile birleştirme uygulamalarının sınırlı olmasına rağmen, son gelişmeler bunların birçoğunun azaltılabileceğini göstermektedir. Bu tekniğin kullanımını kısıtlayan dezavantajların bazıları, bağlantı dayanımının işletme şartlarına olan bağımlılığı, soyulma gerilmelerini önleyebilmek için özel konstrüksiyonlar gerektirmesi ve yüksek sıcaklıklarda (>200°C) dayanım değerlerindeki azalmalar sayılabilir. Bu dezavantajlara ilave olarak, yapıştırma işlemi beraberinde birçok karmaşık işlemi gerektirir. Birleştirmeden önce bileşenlerin hazırlanmasında ve yapıştırıcının uygulanmasında özel işlem basamaklarının olması, özel çevre şartlarının sağlanması, örneğin bazı yapıştırıcı çeşitlerinde belli bir basınç ve ısı altında sertleşme (curing) işleminin sağlanması gerekebilir. Ayrıca uygulama esnasında özel yapıştırma ekipmanlarının gerekmesi, büyük ölçülerde mali bir yük getirebilmekte bu da mamulün maliyetinde olumsuz bir etki yapmaktadır.

Kullanımlarındaki bu zorluklara rağmen, yapıştırıcı ile birleştirme, bazı üretim hatlarında gözle görülebilecek seviyelerde zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlayabilmektedir. Ayrıca hafif ve mukavemetli konstrüksiyonların elde edilmesinde,

farklı malzemelerin birleştirilmesinde ve sızdırmazlık elemanı olarak kullanılmaları gibi bir çok uygulamada kendilerine haklı bir yer edinmişlerdir.

Yapıştırma bağlantıları, çalışma şartlarına uyacak şekilde dikkatli bir şekilde hesaplanıp ona göre tasarlandıkları takdirde, geleneksel bağlantı teknikleri (cıvata bağlantıları, perçin, kaynak, lehim vs.) ile oluşturulmuş konstrüksiyonlardan daha güvenilir olabilecekleri teorik ve deneysel olarak ispatlanmıştır. Bağlantının geometrisi, uygulanan yük çeşidi ve doğrultusu, uygun yapıştırıcı seçimi ve işletme şartları göz önüne alınarak yapılan tasarımlarda, mekanik bağlantılardaki mukavemet değerlerini yakalayabilmek her zaman için mümkündür. Günümüzde yapıştırma bağlantılarına olan ihtiyaç, mekanik bağlantılara olan ihtiyaç kadar değildir, ancak gün geçtikçe ihtiyaç miktarı katlanarak artmaktadır.

1.2 Literatür Özeti

Giriş bölümünde belirtilen nedenlerden dolayı yapıştırma bağlantıları, özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Araştırmalar esnasında analitik, nümerik ve deneysel yöntemler kullanılmıştır. Araştırmaların çoğunda statik yükleme durumlarında yapıştırma bağlantısının davranışları incelenmeye çalışılmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, özellikle uçak sanayisindeki dinamik yükleme durumlarındaki davranışları da incelenmektedir.

Yapıştırma işleminin tanımı, avantajları, dezavantajları, kullanım limitleri, birleştirme geometrileri, konstrüksiyonda dikkat edilecek hususlar, yapıştırıcı malzemeler ve özellikleri, yapıştırılacak malzeme özellikleri, yükleme şekillerinin etkisi, yüzey hazırlama vs. konular Shields (1974) tarafından incelenip referans kitap olarak toplanmış ve BSI (İngiliz Standartları Enstitüsü) Dizayn Konseyi tarafından yayımlanmıştır.

Lees'in editörlüğünde Permabond yapıştırıcı şirketi için hazırlanan bir yayında (Yapıştırıcılar ve Mühendis), yapıştırıcılar hakkında genel bir giriş yapılarak,

yapıştırıcıların kimyası, yapıştırıcı kullanmanın avantaj ve dezavantajları, bindirme bağlantılarında bindirme uzunluğu ve yapıştırılan malzeme kalınlığının etkisi, uygun yükleme şeklinin belirlenmesi, en çok kullanılan mühendislik malzemelerinin yüzey hazırlama metotları ve yapıştırma işleminde dikkat edilecek hususlar hakkında bilgi verilmiştir (Lees, 1989).

Kinloch (1987) tarafından hazırlanan “Adhezyon ve Yapıştırıcılar” adlı yayında, adhezyon olayının açıklanmasında kullanılan teoriler incelenerek, adhezyon olayını tek bir teori ile açıklamanın yeterli olmadığı sonucuna varılmış, teorilerden birkaçının bir araya gelmesi ile oluştuğu belirtilmiştir. Yapıştırma yüzeylerinin hazırlanması ve yapıştırıcıların sertleşme mekanizmaları hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca yapıştırma bağlantılarının mekanik davranışları ve kırılma mekaniği hakkında açıklamalar yapılmıştır. Yapıştırma bağlantılarının statik ve dinamik yükleme durumları hakkında bilgiler verilerek servis ömürleri açıklanmaya çalışılmıştır.

Yapıştırıcılar hakkında el kitabı niteliğindeki diğer bir yayında ASM (American Society of Materials) tarafından hazırlanmıştır (1990). Kitabın girişinde genel yapıştırma ve sızdırmazlık amacıyla kullanılan yapıştırıcılar hakkında genel bir bilgi verilmiştir. İkinci bölümde yapıştırıcıların çeşitleri (epoksi, fenolik, üretan, anaerobik vs.), kimyasal özellikleri ve polimer sistemler incelenmiştir. Üçüncü bölümde sızdırmazlık için kullanılan yapıştırıcılar (polisülfat, üretan, silikonlar, florokarbonlar vs.) hakkında bilgi verilmiştir. Diğer bölümlerde, yapıştırma için yüzey hazırlama kriterleri, test metotları ve yapıştırma bağlantısına çevrenin etkileri vs. konular incelenmiş olup temel başvuru kitabı niteliği taşımaktadır.

Adams, Comyn ve Wake tarafından hazırlanan bir yayında, mühendislik alanında kullanılan yapıştırıcılar incelenmeye çalışılmıştır. Yapıştırma bağlantılarının gerilme analizindeki teoriler (Lineer Elastik Analiz, Volkensen Analizi, Goland ve Reissner Analizi) incelenmiştir. Bindirme, köşe ve silindirik yapıştırma bağlantılarında dikkat edilmesi gereken geometri ve yükleme şartları, tahribatlı ve tahribatsız test metotları incelenmiştir. Polimer yapıştırıcıların kimyasal, termal ve mekanik deformasyon özellikleri verilmiştir. Yüzey hazırlama esnasında dikkat edilecek hususlar ve uygun

yapıştırıcı seçimi hakkında bilgiler verilerek, servis şartları altındaki davranışları incelenmiştir (Adams ve diğerleri, 1997).

Adams ve Comyn tarafından hazırlanan birleştirme işlemlerinde yapıştırıcıların kullanımıyla ilgili diğer bir yayında, yapıştırma bağlantılarının önemi vurgulanarak, diğer birleştirme tekniklerine bir alternatif olduğu, özellikle kompozit malzemelerin yapıştırılmasında, uygun yüzey işlemi ve uygun yapıştırıcı seçiminin yapılması gerektiği belirtilmiştir (Adams ve Comyn, 2000).

Loctite şirketi tarafından yayınlanan diğer bir el kitabında (1995, ikinci baskı 1998) yapıştırıcılar hakkında genel bir bilgi verilerek, genel yapıştırma, cıvata bağlantıları, sızdırmazlık için kullanılan yapıştırıcılar, silindirik metal bağlantılarında kullanılan yapıştırıcılar, tıbbi cihazlarda ve elektronik de kullanılan yapıştırıcıların tanıtımı yapılarak dizayn kriterleri verilmiştir. El kitabının ikinci baskısında konular daha detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kitabın 7. Bölümünde 15 ve 20 Hz'de yapılan dinamik burulma yorulması deneylerinde, statik yük taşıma değerlerinin % 25 ile % 35'ine karşılık gelen yorulma limitleri bulunmuştur. Ancak bu değerlerin hangi deney şartları altında yapıldığı hakkında detaylı bir bilgi yoktur.

Dinamik zorlanmalarda, emniyet kayma gerilmesinin verilebilmesi için metallerde olduğu gibi yapıştırıcıların sürekli mukavemet sınırlarının önceden deneylerle belirlenmesi gerektiği, henüz bu deneylerin bazı yapıştırıcılar için yapılmış olduğu ve sonuç itibarıyla sürekli kopma mukavemet sınırları belirlenebildiği gibi statik zorlamalardakine nazaran daha düşük bulunduğu belirtilmiştir. Bu dinamik değerlerin yaklaşık olarak statik mukavemet değerlerinin 0,2 – 0,4 katı olarak alınabileceği vurgulanmıştır (Rende, 1996).

Yapıştırma bağlantısının iyi olabilmesi için yapıştırılacak yüzeylerin uygun şekilde hazırlanması gerektiği, bir yapıştırma bağlantısında adhezyon kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün kuvvet iletiminde en etkili olan faktörler olduğu belirtilmiştir. Yapıştırıcının pürüzler arasına girip sertleşmesi ile bir şekil bağı meydana geldiği bu sebepten yapıştırılacak olan yüzeylerin çok parlak olmaması gerektiği ve yüzeylerin

pürüzlendirilmesi gerektiği bu işlemin de zımparalama veya kum püskürtme ile yapılabileceği vurgulanmıştır. Tane büyüklüğü 100 veya biraz daha ince olan zımpara kağıdı kullanılması gereği ve yüzeyin, zımpara izleri çeşitli yönlerde olacak şekilde hazırlanmasının gereği üzerinde durulmuştur (Gediktaş, 1984).

Kinloch (1997) tarafından hazırlanan 'Mühendislikte Yapıştırıcılar' adlı yayında, yapıştırıcıların kullanımlarındaki gelişmeler, otomotiv sanayisindeki ve uçak sanayisinde kompozit malzeme yapımında kullanılmaları üzerinde durulmuştur. Yapıştırıcıların kullanılma nedenleri ve kullanımlarını kısıtlayan faktörler vurgulanmış, konstrüktif olarak dikkat edilmesi gereken kurallar üzerinde durulmuş, adhezyon, kohezyon ve curing (sertleşme) olayları açıklanmaya çalışılmıştır. Soyulma kuvvetlerine maruz birleştirmelerdeki geometrinin etkisi teorik olarak incelenmiştir. Çevre şartlarının yapıştırma bağlantısının nihai ömrü üzerindeki etkilerinin önemi açıklanmıştır.

Nümerik metotlarla yapıştırma bağlantısının statik mukavemeti yaklaşık olarak hesaplanabileceği, ancak mukavemetin iyi bir şekilde belirlenebilmesi için birleştirme parametreleri (yapıştırıcı kalınlığı, elastisite modülü vs.) hakkında daha çok bilgi birikimine ihtiyaç olduğu ve anaerobik yapıştırma bağlantılarını, yapıştırılan malzemeler ve sertleşme proseslerinin önemli oranlarda etkilediği vurgulanmıştır. Yapıştırma bağlantılarının yorulma dayanımlarının ise birçok dinamik yükleme deneyleri sonucunda hesaplanabileceği belirtilmiştir. Yorulma limitinin yük tekrar sayısına bağlı olduğu ve sonsuz olması gerektiği ayrıca güç ileten elemanlarda bu sınırın 10^6 olmasının yeterli olabileceği görüşüne yer verilmiştir (Romanos, 1999).

Hearn ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada , tramvaylarda kullanılan çelik ve kompozit parçalardan oluşan süspansiyon ara bağlantı parçası teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Deney sonuçları, yüksek elastiklik modülüne sahip kompozit malzemenin yüksek statik ve dinamik (yorulma) mukavemet değerleri altında çelik malzemelere yapıştırılabileceğini göstermiştir. Kompozit ara parçası kullanarak toplam ağırlıkta % 30'lara varan hafiflikler sağlanmıştır (1997).

Yapılan deneysel bir çalışmada epoksi yapıştırıcı ile birleştirilen iki plaka bağlantısının statik kesme mukavemeti 13 N/mm^2 bulunmuştur. Daha sonra DIN 53285'e göre yapılan yorulma deneylerinde yorulma limiti $3,8 \text{ N/mm}^2$ bulunmuştur. Yani diğer bir deyişle dinamik yükleme altındaki dayanım değeri statik yükleme durumundaki dayanım değerinin yaklaşık % 30'u kadardır (Ciba, 1999).

Kompozitlerin yapıştırma bağlantıları üzerine yapılan bir çalışmada, iki kompozit (SMC) plaka epoksi yapıştırıcı ile birleştirilerek, statik ve yorulma dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sonucunda, statik kopma yükünün yapıştırıcı kalınlığı kadar bindirme uzunluğuna da bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Maksimum kesme kuvveti 0,33 mm yapıştırıcı kalınlığında bulunmuştur. Bağlantının 10^6 yük tekrarındaki yorulma dayanımının, statik dayanımın % 50 ile % 54'ü arasında değiştiği bulunmuştur (Mazumdar ve Mallick, 1998).

Kesme mukavemeti, yapıştırıcı kalınlığı arttıkça azalmaktadır. Yapıştırıcı ile malzeme arasındaki bağ kuvveti (adhezyon kuvvetleri), yapıştırıcının kendi içerisindeki bağ kuvvetlerinden (kohezyon kuvvetleri) daha fazladır. Sıcak yapıştırıcı olarak kullanılan epoksi ile yapılan deneysel bir çalışmada 0,1 – 0,5 mm yapıştırma boşluğu aralığında kesme mukavemetinde düşme gözlenmiştir. Optimum yapıştırma kalınlığı 0,05 – 0,15 mm aralığı olarak elde edilmiştir. Çok ince yapıştırma kalınlıklarında ise yapıştırıcının bütün yüzeylere teması mümkün olmayabilir. Bunun için yapıştırma bağlantılarında yapıştırma alanının bütünüyle kullanılıp kullanılmadığı gözden kaçırılmamalıdır (Ciba, 1999).

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

Yapıştırma boşluğu ile ilgili olarak Loctite El Kitabı'nda (1998) verilen bir grafiğe göre, silindirik yapıştırma bağlantılarında, çaptaki boşluğun 0,05 mm'ye kadar uygun olduğu belirtilmiş ayrıca 0,0 – 0,15 mm aralığı tavsiye edilmiştir. Bağlantının 0,3 mm boşluktaki mukavemet değerleri, 0,05mm boşluğa göre % 50 oranında azalmaktadır (Loctite, 1998).

Yapıştırma boşluğunun boşluklu geçme bağlantılarında anaerobik yapıştırıcı kullanılması durumunda maksimum 0,5 mm olması gerekmektedir. Boşluk 0,025 – 0,075 mm aralığında seçildiğinde maksimum birleştirme dayanımları elde edilebilmektedir. Aynı çalışmada verilen deney sonuçlarına göre, yapıştırma boşluğu 0,01 mm olan yapıştırma bağlantısı, 0,05 mm olan bağlantıdan % 250 daha az kesme kuvveti taşımaktadır (Ginger, 2000).

Lee ve diğerleri (1999) tarafından yapılan bir çalışmada yüzey pürüzlülüğü $R_a=2 \mu\text{m}$ olan çelik/kompozit bağlantısında, yapıştırıcı olarak epoksi reçinesi kullanılmış, yapıştırma boşluğu 0,1 – 0,2 mm olan bağlantılarda maksimum yük taşıma kapasitesi elde edilmiştir.

Yapıştırıcı olarak epoksi reçinesi kullanılan diğer bir çalışmada maksimum moment taşıma kapasitesi, yapıştırma boşluğu 0,05 – 0,15 mm olan bağlantılarda elde edilmiştir. Yapıştırma boşluğu dolayısı ile yapıştırıcı kalınlığı yükseldikçe moment taşıma kapasitesi azalmıştır (Lee ve Lee, 1996).

Yapıştırma bağlantılarında, bindirme uzunluğu boyunca, gerilmenin üniform olarak kalması yapıştırıcı kalınlığının kontrol altında tutulması ile sağlanabileceği, fakat dayanım değerlerinin optimum olabilmesi için yapıştırma boşluğunun sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir. Anaerobik yapıştırıcılar için yapıştırma boşluğu olarak 0,05-0,15 mm aralığı önerilmektedir (Romanos, 1999).

Kinloch (1987), malzemelerin farklı yüzey enerjilerine sahip olduklarını vurgulayarak, serbest yüzey enerjisi 100 mJ/m^2 'den az olan polimer ve organik malzemeleri düşük yüzey enerjili malzemeler, 500 mJ/m^2 'den yüksek olan metal, metal

oksit ve seramik gibi malzemeleri ise yüksek yüzey enerjili malzemeler olarak sınıflandırmıştır. Düşük yüzey enerjisine sahip plastik esaslı malzemeleri yapıştırmanın, metal esaslı malzemeleri yapıştırmaktan daha zor olduğunu belirtmiştir.

Anaerobik yapıştırıcıların, farklı malzemeleri kolay ve basit bir şekilde birleştirebildiği, ancak sertleşme hızının malzemelerin farklı katalitik etkilerinden (aktif ya da pasif olma durumu) dolayı değiştiği vurgulanmıştır. Bağlantı mukavemetinin de malzemenin yüzey yapısına kısmen bağlı olduğu açıklanmıştır. Mukavemet hesapları yapılırken, mukavemet düşüş katsayıları olarak; çelik için 1; paslanmaz çelik için 0,8; alüminyum için 0,5 ve bakır alaşımları için 0,4 katsayısı alınması gerektiği belirtilmiş ve diğer bazı malzemeler içinde değerler verilmiştir (Loctite, 1998).

George ve diğerleri (1998) tarafından anaerobik yapıştırıcı kullanılarak üç farklı malzeme yapıştırılmış, sertleşme prosesleri ve mekanik özellikler incelenmiştir. Alüminyum malzemenin yapıştırılmasındaki sertleşme süresi, paslanmaz çelik ve bakır malzemedekilerden daha yüksek bulunmuştur. En reaktif yüzeyin bakır olduğu belirtilmiştir. En yüksek mukavemet değeri de bakırda bulunmuştur. Ayrıca reaksiyon hızının çok fazla olması durumunda, yapıştırıcının gevrek bir yapı alabileceği özellikle vurgulanarak, sıcaklıkla birlikte kontrol altında tutulması gerektiği ifade edilmiştir.

Yapıştırılmış sıkı geçme bağlantılarının tork taşıma kabiliyeti üzerine yapılan analitik ve deneysel bir çalışmada gerilme dağılımları incelenerek, yapıştırılmış bağlantının yapıştırılmamış bağlantıya nazaran tork taşıma kabiliyeti yaklaşık olarak üç kat daha iyi bulunmuştur (Yoneno ve diğerleri, 1997).

Yapıştırma bağlantılarında da metal malzemelerin yorulma dayanım hesapları yapılırken dikkate alınan boyut faktörünün de (b_1) dikkate alınması gerekmektedir. L/D oranı 0,5; 1; 1,5; 2 alınarak yapılan deneysel bir çalışmada yapıştırılan çap büyüdükçe ve L/D oranı azaldıkça, yapıştırma bağlantısının mukavemetinin düştüğü görülmüştür. Dolaylı olarak yapıştırma uzunluğu arttıkça lineer olarak mukavemet artışı olmamaktadır (Loctite, 1998).

Yapıştırma alanının, bağlantı mukavemeti üzerine etkisini araştırmak için yapılan deneysel bir çalışmada, yapıştırma alanı arttırıldığında bağlantının kesme mukavemetinin önemli oranda azaldığı belirtilmiştir. Buna neden olarak da, küçük çaplarda (küçük alan) olan deformasyon direncinin, büyük çaplarda (büyük alan) olan deformasyon direncinden daha fazla olduğu ileri sürülmüştür (Pfeiffer ve Shakal, 1998).

Baylor, Sancaktar (1995) ve Sancaktar (1996) tarafından yapılan çalışmalarda plaka halindeki iki levha farklı açılarda yapıştırıcı ile birleştirilerek, normal ve kesme gerilmelerindeki değişimler incelenmiştir. Ortalama normal gerilme en az 30° açı altındaki birleştirmede, en fazla ise 90° 'lik (alın altına) birleştirmede elde edilmiştir. Birleştirme açısının artmasının, maksimum gerilmenin ortalama gerilmeye oranının artmasına neden olduğu ve yapıştırma uzunluğundaki artışın, gerilme oranlarında azalmalara neden olduğu vurgulanmıştır.

Imanaka ve diğerleri (1989) tarafından yapılan bir çalışmada, plaka şeklindeki malzemelerin epoksi yapıştırıcı kullanılarak yapılan bindirmeli yapıştırma bağlantılarının yorulma dayanımları incelenmeye çalışılmıştır. Büyük bindirme uzunluklarında ve ince yapıştırma kalınlıklarında yorulma dayanım değerlerinde artış gözlemlenmiş ancak bu artışın lineer olmadığı belirtilmiştir.

Imanaka ve diğerleri (1989) tarafından yapılan diğer bir çalışmada silindirik numuneler alın altına ve bağlantı üzerine ince cidarlı tüp geçirilerek birleştirilmiştir. Bağlantılar sonlu elemanlar metodu ve deneysel olarak statik ve dinamik olarak incelenmiş, L/D oranı ve geometrinin etkisi araştırılmıştır. Bağlantı bitiminde cidarın konik olarak işlenmesi durumunda mukavemet açısından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Çekme gerilmesi altındaki yorulma dayanım değeri ile burulma gerilmesi altındaki dayanım değeri aynı bulunmuştur.

Adams'ın (1989) yaptığı bir çalışmada klasik lineer çözümler (Volkersen, Goland, Reisner), bindirme bağlantıları için tartışılmış, sonlu elemanlar metodu ile yapıştırma bağlantılarının dayanım değerlerinin hesaplanabileceği ileri sürülmüş ve yeni bir model geliştirilerek kompozit malzemeler için yeni dizayn şekilleri önerilmiştir.

Kyoguku ve diğeri (1989) farklı metalden yapılmış iki mil parçasını alın altına getirerek üçüncü farklı bir metal aracılığı ile yapıştırıp statik moment iletimi esnasındaki deformasyonu ve dayanımı analitik ve deneysel olarak belirlemeye çalışmışlardır. Bu deneylerde, farklı metallerin birleştirilmesinde bağlantının orta ve kenar noktalarındaki gerilme dağılımı, aynı metalden yapılan birleştirmelerdekine nazaran daha fazla bulunmuştur.

Choi ve Lee (1994), silindirik iki parçayı tekli ve çiftli bindirme şeklinde yapıştırarak tork iletim kapasitelerini, üç boyutlu sonlu elemanlar metodu ve deneysel olarak incelemişler, çiftli bindirme bağlantısının yapısal uygulamalarda daha iyi sonuç vereceğini belirlemişlerdir.

Sancaktar (1996) tarafından 1987 yılında yapılan bir yayın taraması yeniden gözden geçirilerek (97 adet referans) yapılan araştırmalar karşılaştırılmış, yapıştırıcıların yapısal davranışları, test metotları ve son yaklaşımlar hakkında bilgi verilmiştir. Yapıştırıcı malzemelerin polimer bazlı olduğu vurgulanarak, çalışma şartlarında viskoelastik davranışlarından dolayı gerilme azalmaları görülebileceğine dikkat çekilmiştir.

Sato ve diğeri (1997, 2000) darbeli yüklemeler altındaki yapıştırma bağlantılarının dinamik deformasyonlarını incelemişler ve uygun geometriyi belirlemeye çalışmışlardır. Aynı yapıştırma uzunluğunda açılı bindirme bağlantısının, düz bindirme bağlantısına göre daha uygun olduğu ve gerilme yoğunluğunu azalttığı hem statik hem de dinamik yükleme için olumlu sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Kawawaki ve diğeri (1998) çekme gerilmesine maruz silindirik açılı bindirme bağlantılarının mekanik özelliklerini elasto plastik sonlu elemanlar yöntemi kullanarak ve deneysel olarak incelemişlerdir. Koniklik açısının azalmasıyla bağlantının mukavemeti, yapıştırma alanı büyüdüğü için artmıştır. Büyük koniklik açılarında gevrek kırılma, küçük koniklik açılarında sünek kırılma davranışı gözlenmiştir ve küçük açılı mil birleştirmelerinde Mises gerilme eşitliğinin kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Adhezyon kuvvetlerini arttırabilmek için çok çeşitli yüzey işleme metotları vardır. Bunlar arasında aşındırma ve dağlama sayılabilir. Sıvı haldeki yapıştırıcının malzemenin gözeneklerine dağılmasını kapiler kuvvetler ve viskozite etkiler. Yapılan deneysel bir çalışmada tekli yapıştırma bağlantılarında, yapıştırılan malzemelerin (soğuk ve sıcak haddelenmiş çelik) yüzey pürüzlülüğünün, bağlantının yük taşıma kabiliyetine etkisi ve gerilme dağılımları incelenmiştir. Maksimum statik yük taşıma kapasitesi, $R_a = 1,65 - 2 \mu\text{m}$ aralığında bulunmuştur (Sancaktar ve Gomatam, 1998).

Yapıştırma bağlantılarında, yapıştırılacak yüzeylerin çok parlak olmaması gerektiği, çok parlak yüzeylerde pürüzlülüğünün kama etkisinin ortadan kalktığı ve yüzey pürüzlülüğünün, $R_a = 0,8 - 3,2 \mu\text{m}$ aralığında olması gerektiği belirtilmiştir (Loctite, 1998).

Kwon ve Lee (2000) tarafından epoksi yapıştırıcı ile çelik silindirik malzemeler yapıştırılarak burulma yorulmasına tabi tutulmuşlardır. Deneylerde yüzey pürüzlülüğünün ve yapıştırma kalınlığının yorulma dayanımına etkisi incelenmiştir. $R_a=0,56 - 5 \mu\text{m}$ aralığında yapılan deneylerde, maksimum yorulma dayanımı (statik kesme kuvvetinin %15'i kadar yüklenmesi durumunda), $R_a = 3 \mu\text{m}$ ve $0,17 \text{ mm}$ yapıştırıcı kalınlığı için bulunmuştur. Araştırma sonucunda, ortalama gerilmenin hem yüzey pürüzlüğüne hem de yapıştırıcı kalınlığına çok bağımlı olduğu, yüzey pürüzlüğü ve yapıştırıcı kalınlığı arttıkça gerilme değerinin düştüğü belirtilmiştir. Bağlantı dizayn aşamasında iken, yüzey pürüzlülüğü ve yapıştırma kalınlığının çok dikkatli bir şekilde göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır.

Pandey ve diğerleri (1999) yapıştırıcılardaki viskoplastisiteyi göz önüne alarak tekli bindirme bağlantılarının nonlinear analizini yapmışlardır. Yapıştırma ara yüzeyi boyunca kesme ve soyulma kuvvetlerine karşı hassas olan kesitler teorik olarak incelenerek, kırılma için hassas olan bölgelerin tanımı yapılmıştır. Bağlantı mukavemetine, yapıştırma boyunun, yapıştırılacak olan malzemeye aç verilmesinin ve yapıştırıcı kalınlığının etkisi incelenmiştir. Yapıştırma uzunluğunun artmasıyla maksimum kesme ve soyulma gerilmeleri azalmıştır. Yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla yapıştırıcının esnekliği artmıştır.

Zamana bağılı olarak yük tekrarı konstrüksiyona göre büyük önem taşımaktadır. Uygulamadaki birleştirmeler çok değişik frekanslarda yorulmalara maruz kalmaktadırlar. Bunun sonucu olarak frekansın etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Marceau, McMillan ve Scardino tekli ve çiftli bindirme bağlantılarında 2.10^{-4} Hz'den 30 Hz'e kadar deneyler yapmışlar ve düşük frekanslarda daha büyük hasarlar tespit etmişlerdir (Marceau ve diğerleri, 1977).

Althof, kesme kuvveti etkisi altındaki bağlantıda, çeşitli frekanslarda deneyler yapmış ve yorulma kırılmasının sürünme kontrolü altında olduğunu ileri sürmüştür. Luckyram ve Vardy tarafından iki farklı epoksi, 0,5 Hz'den 5 Hz'e kadar farklı frekanslarda farklı deneylere tabi tutmuşlar ve frekansın yorulma davranışına etkisi olmadığını bulmuşlardır (Luckyram ve Vardy, 1988).

Xu ve Crocombe tarafından yapılan diğer bir çalışmada, frekans azaldıkça yorulma çatlak büyüme oranı artmıştır. Gerilim oranıyla birlikte yapıştırıcının dayanımındaki değişme, farklı proses bölge büyüklüklerinde frekansın azalmasıyla FCGR (Yorulma altında çatlak büyüme oranı)'nin artmasına imkan vermektedir (1996).

Yapılan yayın taraması sonucunda, yapıştırma bağlantılarının yorulma dayanımlarının test edilmesi ile ilgili olarak iki adet standarda ulaşılabildiği görülmüştür. Elde edilen standartlar, ASTM D 3166-73, ISO 9664 standartlarıdır. Konu ile ilgili DIN standardı (DIN 53285) da yerini ISO standardına bırakmıştır. Her iki standart da plaka şeklindeki malzemelerin test metotları incelenmiştir. Silindirik malzemelerin yapıştırma bağlantılarının yorulma testi ile ilgili olarak herhangi bir standart mevcut değildir. Oysa mil göbek bağlantılarında, rulmanlı yatakların montajında yapıştırma bağlantıları oldukça çok kullanılmaktadır.

Metal yüzeylerin yapıştırma işlemi için hazırlanmasıyla ilgili olarak da ASTM D 2651-90 ve TS ISO 4588 standartları elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar yapılırken bu standartlarda belirtilen hususlara dikkat edilmeye çalışılmıştır.

1.3 Çalışmanın Amacı

Yukarıdaki literatür taramasından da anlaşılacağı üzere yapıştırma bağlantılarının statik yüklemeler altındaki davranışları hakkında teorik ve deneysel olarak bir çok çalışma yapılmıştır. Ancak hala tam olarak açıklanamayan noktalar da bulunmaktadır.

Yapıştırma bağlantılarının bir çoğu çalışma esnasında dinamik yüklemelere maruz kalmaktadır. Yapıştırma bağlantılarının, dinamik yüklemeler karşısındaki davranışları üzerine de çalışmalar yapılmış ve günümüz itibariyle de devam etmektedir. Bağlantının mukavemetini etkileyen bir çok faktör bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında silindirik geometriye sahip dinamik yük altında çalışan yapıştırma bağlantılarının mukavemetini etkileyen faktörlerden aşağıda belirtilenler incelenmiştir:

- Yapıştırma boşluğunun etkisi,
- Sıkı geçme durumundaki davranış şekli,
- Yapıştırılan malzemenin etkisi,
- Yüzey pürüzlülüğünün etkisi,
- Yükleme durumunun etkisi (çeki kuvveti altındaki kesme gerilmesi ve burulma gerilmesi uygulanması durumunda).

Yukarıda belirtilen faktörlerin incelenmesi sonucunda, optimum mukavemet değerleri elde edebilmek için, yapıştırma prosesi esnasında nelere dikkat edilmesi gerektiği belirlenmeye çalışılmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

YAPIŞTIRMA , YAPIŞTIRMANIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

2.1 Yapışma Olayı ve Yapıştırıcının Tanımı

Yapışma ve yapıştırıcı kavramlarını daha iyi anlayabilmek için standartlarda geçen tanımlamalara bakmak gerekir. ASTM D907 – 74 (American Society for Testing and Materials = Test ve Malzemeler İçin Amerikan Birliği) standardında, bu konu ile ilgili olan tanımlardan bazıları aşağıda verilmiştir:

Yapıştırıcı (Adhesive): Yüzey teması ile malzemeleri bir arada tutmayı sağlayabilen madde olarak tanımlanmıştır.

Yapıştırılacak Malzeme (Adherend, Substrate): Diğer malzemeye yapıştırıcı ile yapıştırılacak olan malzemedir.

Yapıştırma Bağlantısı (Adhesive Joint): İki malzemenin yapıştırıcı tabakası ile birleştirilip bir arada tutulması durumudur.

Yapıştırıcının Sertleşmesi (Curing): Yapıştırıcının, ısı veya katalizör yardımıyla, tek başına veya karıştırılarak, basınç altında veya basınç olmadan, kimyasal reaksiyona girip vulkanizasyon, kondenzasyon veya polimerizasyon mekanizmaları ile fiziksel özelliklerini değiştirmesi işlemidir.

Yapışma işlemi, yapıştırıcının kendi içinde ve yapıştırıcı ile malzeme arasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda gerçekleşir. Bu olaylar;

Adhezyon (Adhesion): Bu olay yapıştırıcı ile yapıştırılacak yüzey arasında meydana gelir. İki yüzeyin ara yüzey kuvvetleri (valans kuvvetleri) tarafından bir arada tutulması olaydır.

Literatürde adı geçen altı adet adhezyon teorisi vardır (Adams ve diğerleri, 1997; Kinloch, 1987). Ortaya atılan bu teorilere kısaca bakmak gerekirse;

- **Mekanik Kilitlenme Teorisi:** Yapıştırılan malzemeler ile yapıştırıcı fazının mekanik olarak birbirine geçirilmesi ile yapışarak birleşmenin oluşacağını ifade eder. Çeşitli aşındırma metotları ile yüzey pürüzlülüğünü (birbirine geçebilme derecesi) arttırmanın birleşme dayanımını arttırmasına rağmen, genellikle bunun tek bir mekanizma olamayacağı kabul edilir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü çok büyük ($R_a > 5 \mu\text{m}$) olduğunda tam bir yapışma alanı sağlanamamaktadır.
- **Difüzyon Teorisi:** İki komşu faz arasında molekül alış verişini kabul eder. Bu olay, polimetilmetakrilat ve polistiren gibi termoplastik polimerler arasında gerçekleşmesine rağmen, polimer ve metal ara yüzeylerinde genellikle gerçekleşmez. Dolayısıyla bu teori metal yapıştırma bağlantılarındaki adhezyon olayını açıklamaz.
- **Fiziksel Adsorbsiyon Teorisi:** Bağlantının, komşu yüzeylerin molekülleri arasındaki Van der Waals kuvvetlerinin çekimi ile oluştuğunu ifade eder. Tüm yapısal yapıştırma bağlantılarında temel adhezyon mekanizmasıdır. Diğer teorilere de bağlantı mukavemeti açısından katkıda bulunur. Bu kuvvetlerin iki önemli tipi mevcuttur. Bunlardan birincisi, bazı moleküllerde bulunan pozitif ve negatif şarj merkezlerinin daimi olarak ayrılması ile oluşan dipollerden (iki manyetik kutuba sahip nesne) dolayı ortaya çıkar. İkincisi ise London dispersive (dağılma) kuvvetleri olarak isimlendirilir ve bir molekülün şarj mevkisindeki ani bir yer değiştirmenin komşu molekülleri de etkileyerek bir çekime sebep olması neticesinde ortaya çıkar. Bu her iki kuvvet de yalnızca moleküller arası mesafenin küçük olduğu zaman önemlidir ve iyi bir yüzey teması ihtiyacı gösterir.

- **Elektrostatik Teori:** Bu teori, iki metal temas ettirildiğinde elektronların bir metalden diğerine transfer olması esasına dayanır. Oluşan elektrostatik kuvvet iki metali bir arada tutar. Elektro mıknatıslarla metal taşıma, temizleme gibi işlemler bu teori ile açıklanabilir. Polimerler temas yapışması göstermediği için, bu teoriyi yapıştırma bağlantılarına uygulamak zordur.

- **Kimyasal Yapışma Teorisi:** Moleküller arasında iyonik ve kovalent bağ kuvvetlerinin meydana getirdiği adhezyon olayıdır. Bazı şartlar altında yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemeler (malzemenin aktif, pasif olması gibi) arasında esas bağlardan daha kuvvetli kimyasal bağlar oluşabilmektedir.

- **Zayıf Sınır Tabaka Teorisi:** Bu teori, temiz yüzeylerin daha kuvvetli yapışma işlemi sağlayabileceğini savunur. Yüzeyler arasında kirletici tabakalar olduğunda zayıf bağlantı sağlanır. Yağ, gres, pas vs. zayıf sınır tabakaları oluşmasına imkan sağlar. Polietilen, silikon, polipropilen gibi düşük yüzey enerjisine sahip polimerler haricinde kuru ve temiz malzeme yüzeyi genellikle kuvvetli yapışma işleminin gerçekleşmesine katkıda bulunur. Silikon gibi malzemelerin polimerizasyonunun gerçekleşmesi için yüzey nemine ihtiyaç vardır.

Yukarıda verilen teoriler yapışma olayının nasıl meydana geldiği hakkında bazı düşünceleri gösterir. Bu teorilerin tümünü kapsayan herhangi bir teori ileri sürülmemiştir. Yapıştırma bağlantısının nihai dayanımı muhtemelen bunlar arasındaki etkileşim ile tanımlanabilir.

Kohezyon (Cohesion): Bu olay yapıştırıcının kendi içerisinde meydana gelir. Yapıştırıcıyı meydana getiren kütle bileşenlerinin kimyasal (monomerler arasındaki bağ kuvvetleri) ve fiziksel kuvvetler (Van der Waals kuvvetleri) tarafından bir arada tutulması olayıdır. Bu olay yapıştırıcının polimerizasyon aşamasında meydana gelir.

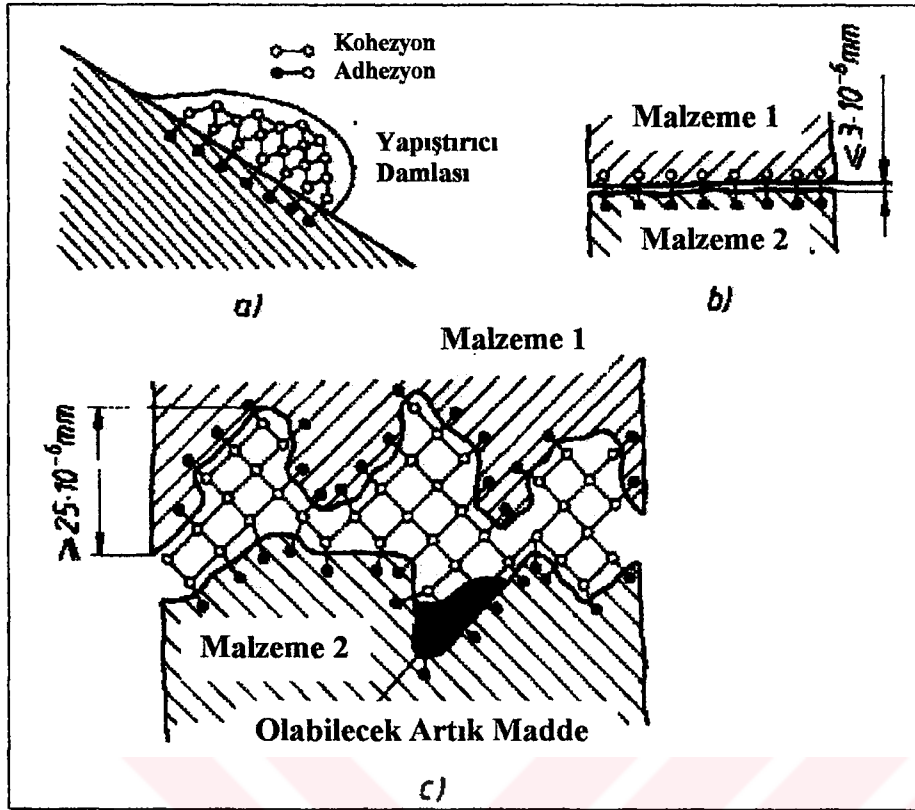
Van der Waals Bağı: Küçük veya büyük bir molekül için düşünüldüğünde, molekülün farklı yüklerine tesadüf eden pozitif ve negatif kutuplar (dipol = çift kutup etkisi) bulunabilir. Böylece her molekülden ibaret küçük mıknatıslar ortaya çıkar.

Burada aynen mıknatıslarda olduğu gibi, çeşitli dipoller elektromanyetik kuvvetlerle birbirlerine kenetlenmektedirler. Bu arada oluşan bağlar Van der Waals bağı olarak adlandırılmaktadır. Bu oluşan Van der Waals bağları, diğer bağlar (iyon, kovalent vs.) kadar kuvvetli değildir.

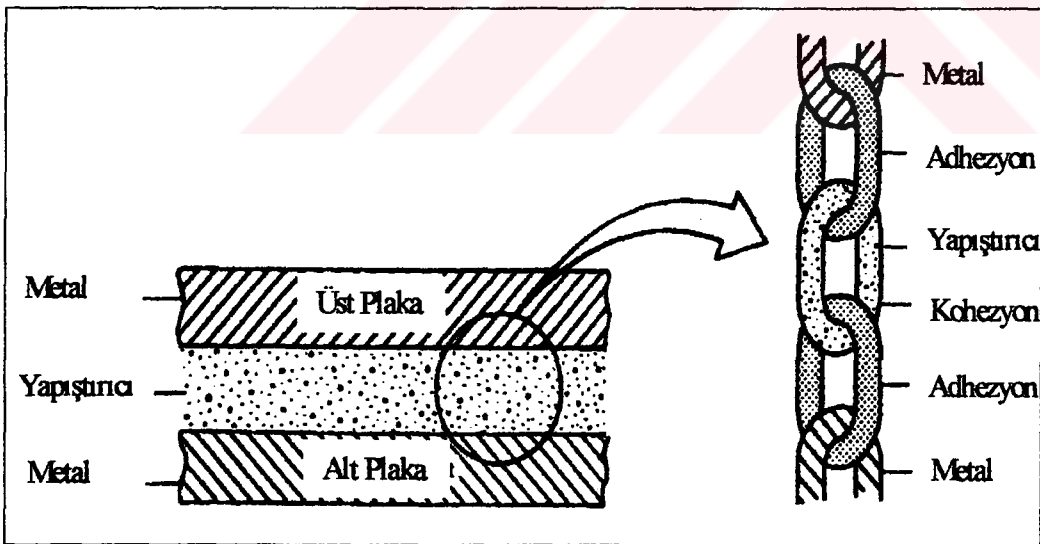
Kovalent Bağ: Atomlar arasında elektron köprüleri kurularak (elektronların ortaklaşa kullanımı), kenetlenmeleri durumunda oluşur. Buradaki kuvvetler, ortak kullanılan elektronların kendi eksenleri etrafında birbirlerine zıt yönde dönmesinden dolayı ortaya çıkan elektromanyetik kuvvetlerdir. Zıt yönde dönen elektronların oluşturduğu elektromanyetik alanlar, birbirlerini bir mıknatısın artı ve eksi kutupları gibi çekerler.

Şekil 2.1'de adhezyon ve kohezyon olayı şematik olarak verilerek, adhezyon ve kohezyon bağları gösterilmiştir. Şekil 2.1 a'da yapıştırıcı damlasının yapıştırılacak olan yüzeye adhezyon bağları ile nasıl tutunduğu verilmiştir. b ve c'de ise polimerizasyon işlemi sonucunda yapıştırıcı sertleşerek kendi içerisinde oluşan kohezyon bağları ve malzemeler ile kendi arasında oluşan adhezyon bağları ile iki malzemeyi bir arada nasıl tuttuğu belirtilmiştir. Adhezyon bağları, yapıştırıcı molekülleri ile yapıştırılan malzeme (iş parçası) arasında, yukarıda açıklanan adhezyon teorilerinin birkaçının bir araya gelmesiyle ortaya çıkmakta ve bağlantı nihai şeklini almaktadır.

Şekil 2.2'de ise yapıştırma olayı, kolay anlaşılabilmesi için basitleştirilerek halkalı zincir yapısına benzetilmiştir. Ancak bu basitleştirilmiş model, yapıştırma bağlantısının iç yapısını tam olarak yansıtmamaktadır. Metal üst plaka, adhezyon olayı, yapıştırıcı (kohezyon olayı), adhezyon olayı ve metal alt plakanın sırasıyla zincirin halkalarını oluşturdukları düşünülebilir. Zincirin halkalarından bir tanesi tam olarak gerçekleşmediği takdirde, zincir zayıf halkadan hasar görecektir. Bundan dolayı yapıştırma olayını meydana getiren halkalar bir bütün olarak düşünülmeli, malzemeye uygun yapıştırıcı seçilmeli, yüzey hazırlama işlemleri uygun olarak yapılmalıdır.



Şekil 2.1: Adhezyon ve kohezyon olayının şematik olarak gösterilmesi (Matek, 1994)

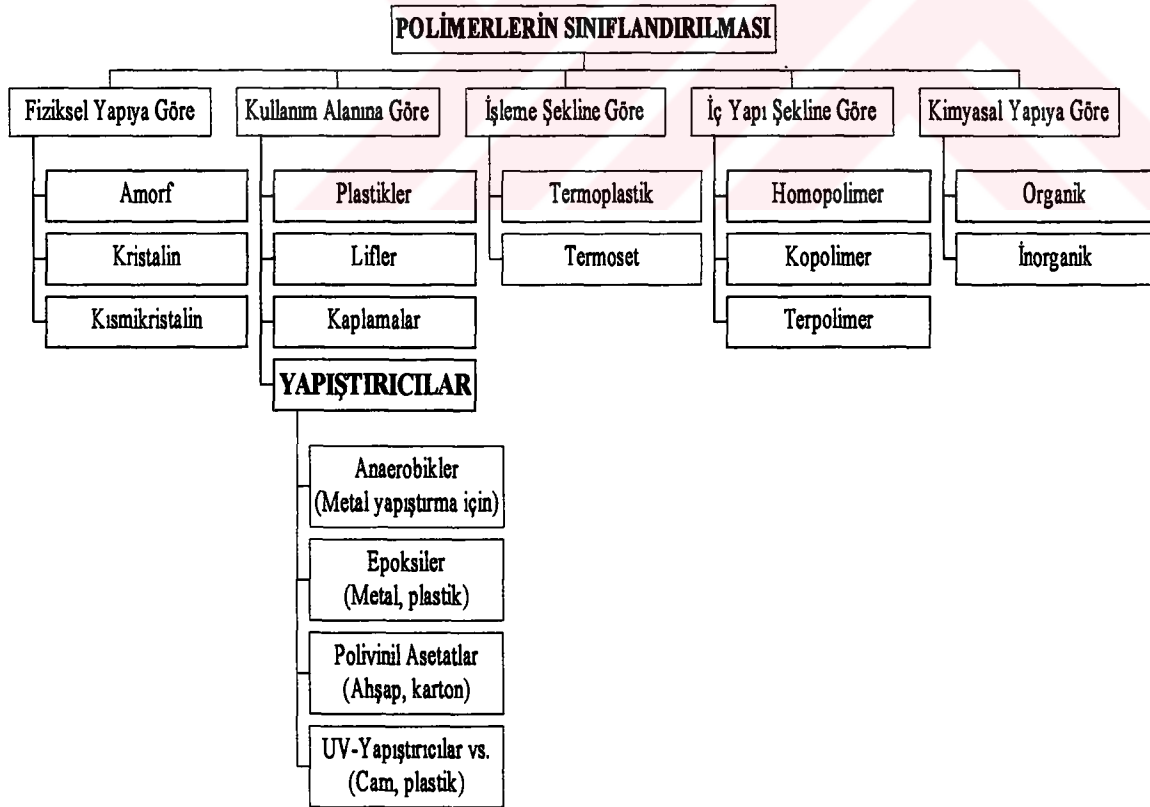


Şekil 2.2: Adhezyon ve kohezyon olayının zincir yapısına benzetilmesi (ASM, 1990)

2.2 Yapıştırıcıların Polimerler İçindeki Yeri

Organik ve seramik malzemeler metal dışı mühendislik malzemeleridir. Organik malzemeler, polimer olarak bilinen plastikler, elastomerler ve fiberlerdir. Bunlar karbonun (C) metal olmayan elementlerle (H, O, Cl, N) meydana getirdiği büyük molekülü organik bileşiklerdir.

Polimerler, molekül ağırlığı yüksek olan kompleks organik molekül zincirleridir. Polimerler doğal ve yapay olarak iki gruba ayrılabilir. Yapay polimerler genellikle, çok sayıda tekrarlanan *monomer* veya kısaca *mer* denilen basit ünitelerden oluşur. Bunların adlandırılmasında çok sayıda anlamına gelen *poli* kelimesi ile *mer* kelimesi birleştirilerek, *polimer* kelimesi elde edilir. Endüstriyel uygulamada kullanılan plastikler genellikle sentetik polimerlerdir. Yapıştırıcılar da curing (sertleşme) esnasında polimerizasyon işlemi ile son hallerini almaktadırlar. Şekil 2.3'de yapıştırıcıların polimerler içerisindeki yeri gösterilmektedir.

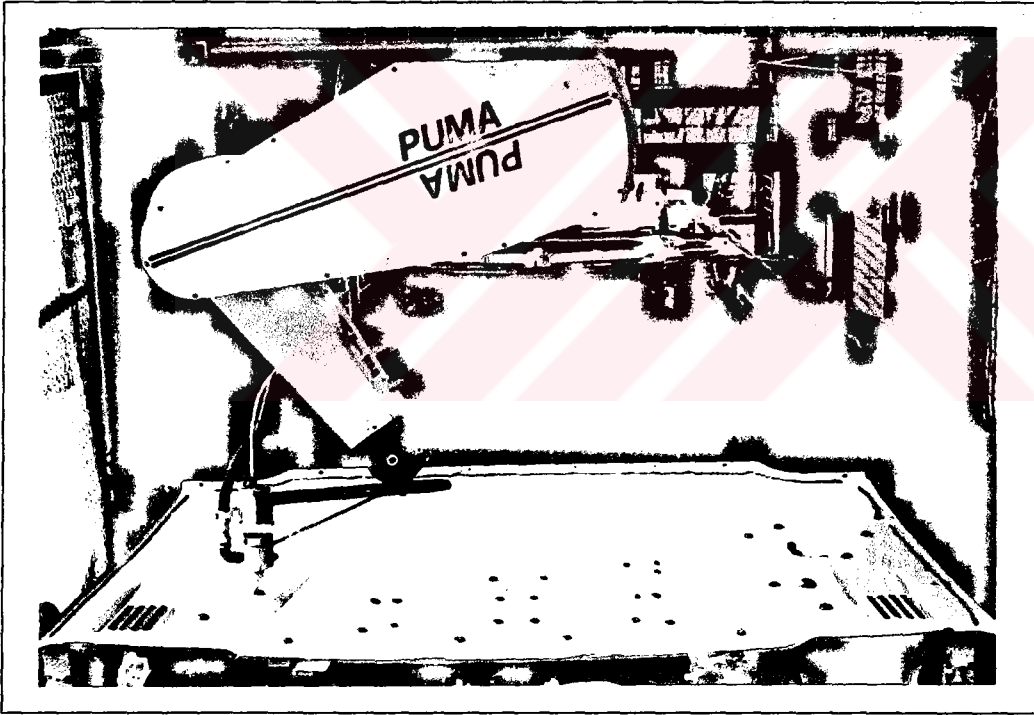


Şekil 2.3: Polimerlerin sınıflandırılması

2.3 Metal Yapıştırıcıların Kullanıldığı Yerler

Yapıştırıcıların özelliklerindeki gelişmelerden dolayı, metallerin yapıştırılmasında da büyük ilerlemeler sağlanmıştır. Kaynak veya diğer metotlarla birleştirilmeleri mümkün olmayan iki farklı metalin yapıştırılması, metal-kompozit birleştirmeleri, otomotiv endüstrisindeki şase üretiminde punta kaynağı ile birlikte kullanılmaları, dişli kutularında ve motor gövde bloklarında sızdırmazlık elemanı olarak kullanılmaları gün geçtikçe artmaktadır.

Şekil 2.4'de seri üretim yapılan otomotiv hattında, yapıştırıcının şase malzemesi üzerine robot yardımıyla otomatik olarak uygulanması görülmektedir. Robot önceden programlanan noktalara istenilen miktarlarda yapıştırıcı malzeme tatbik etmektedir.



Şekil 2.4: Otomotiv şase üretiminde yapıştırıcının robot yardımıyla yüzeye uygulanması
(Kinloch, 1997)

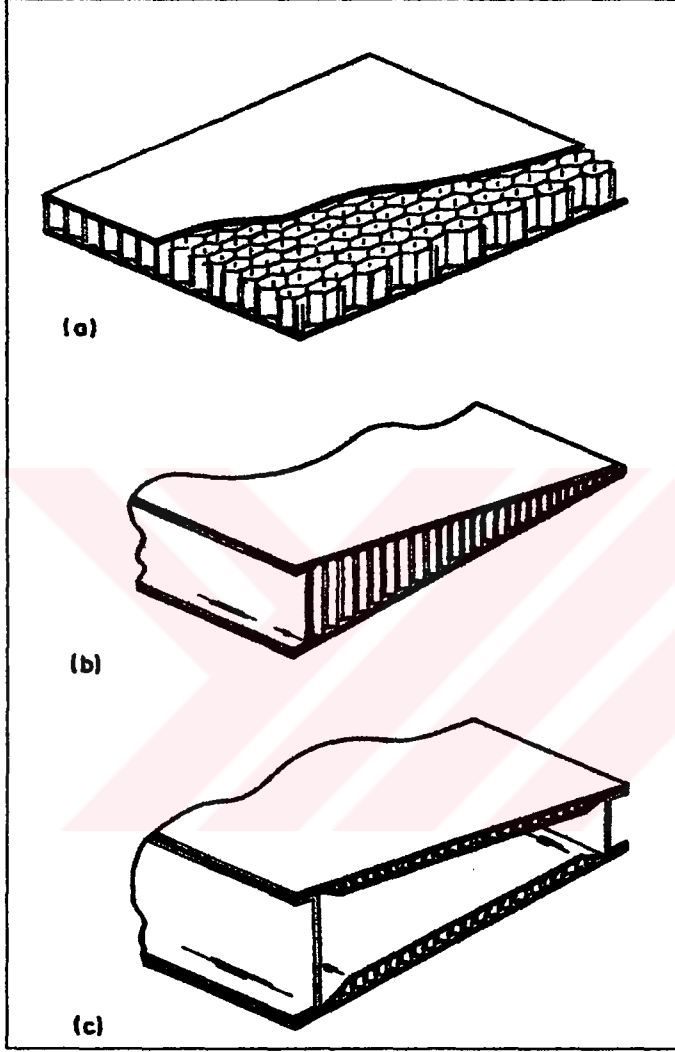
Yapıştırıcıların transport endüstrisinde kullanılmaya başlamasıyla daha ekonomik ve daha hafif konstrüksiyonlar elde edilmiştir. Şekil 2.5’de Peugeot yarış arabalarında kullanılan tahrik mili ve bir yatak görülmektedir. Yarış arabasının hafif olması istendiğinden milin bir kısmı kompozit malzemedir, uç kısmı ise metalik malzemedir yapılmış, bunlar daha sonra yapıştırıcı ile birleştirilmiştir.



Şekil 2.5: Peugeot yarış arabasının tahrik milinde yapıştırıcı kullanımı (Kinloch, 1997)

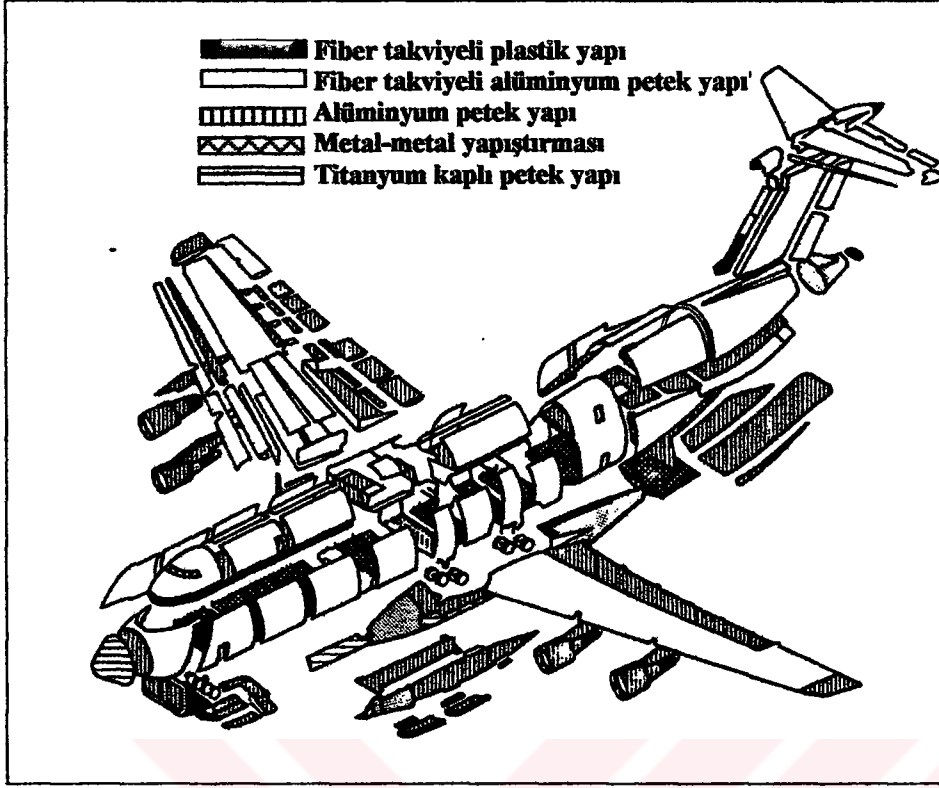
Günümüzde yapıştırıcıların kullanıldığı en yaygın alanlardan birisi de uçak ve uzay sanayisidir. Uçak gövdelerinde ve kanatlarında büyük miktarlarda yapıştırıcı malzeme kullanılmaktadır. Şekil 2.6’da uçak konstrüksiyonlarında kullanılan ve yapıştırıcı kullanılarak imal edilen yapılar görülmektedir. Şekil 2.6 a’da yan duvarlar ve kaplamada kullanılan petek dokulu yapı, b ve c’de ise arka ve yan kanatlarda kullanılan yapılar görülmektedir. Bu yapılarda alt ve üst kısımdaki plakalar (genellikle alüminyum alaşımı), aradaki petek tipi yapılara, yapıştırıcı aracılığıyla birleştirilmektedirler.

Uçak konstrüksiyonlarında petek yapıların kullanılmasının nedeni, daha rijit ve mukavemetli yapılar elde edilirken daha az malzeme kullanılması ve ağırlıktan kazanılarak hafif yapılar elde edilmesine imkan sağlamalarıdır.



Şekil 2.6: Uçak yapılarında yapıştırıcı kullanımı (Kinloch, 1997)

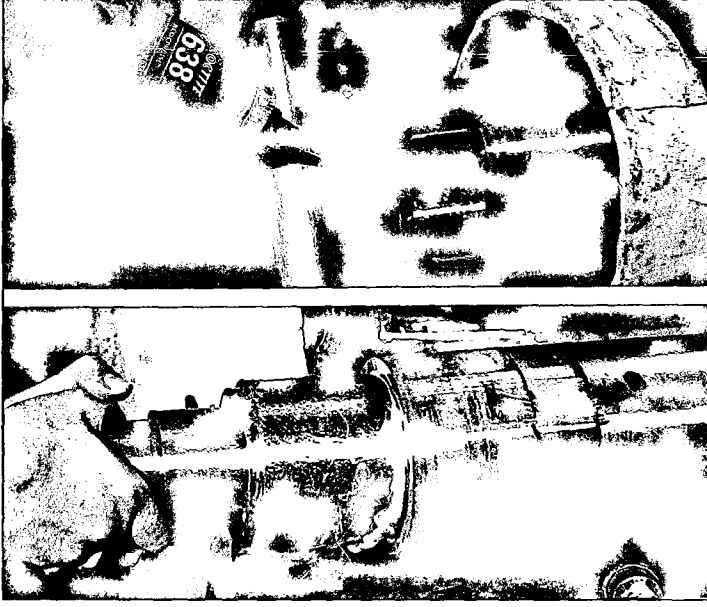
Şekil 2.7'de Lockheed C-5A uçağının yapısı verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, uçağın büyük bir kısmı kompozit yapılardan oluşmaktadır. Bu yapılarda kullanılan petek dokulu sandviç yapıların toplamı 2230 m² civarındadır (ASM, 1990).



Şekil 2.7: Lockheed C-5A uçağında yapıştırıcıların kullanıldığı alanlar (ASM, 1990)

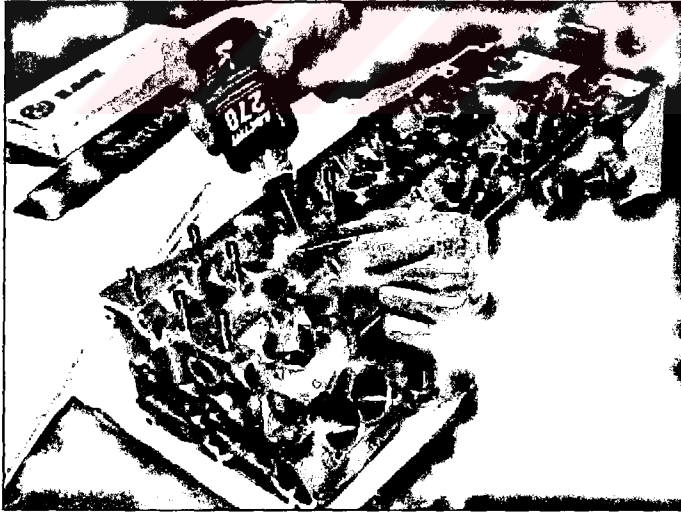
Genel makine imalat sanayisinde de yapıştırıcı kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Cıvata bağlantılarının emniyete alınması, mil-göbek bağlantılarının emniyete alınması, rulmanlı yatakların montaj işlemlerinde, akış borularının sızdırmazlık işlemlerinde, motor bloğu-kapak sızdırmazlıklarının sağlanmasında sıvı conta olarak, döküm parçalarının yapıştırılması, boşlukların doldurulmasında ve değişik tamirat işlemlerinde kullanım alanı bulmuşlardır.

Şekil 2.8'de bir matbaa makinasındaki milin yatak kısmında yapıştırıcı uygulaması görülmektedir. Yataklanan kısım üzerine yapıştırıcı uygulanmakta ve dişi kısım ısıtılıp sıkı geçme işlemi yapılarak birleştirme tamamlanmaktadır. Milin bu şekilde parçalı yapılmasının nedeni olarak, imalat kolaylığı sağlanması ve milin değiştirilmesi durumunda sadece yataklama kısmının değiştirilerek ekonomiklik sağlanması amaçlanmış olabilir.



Şekil 2.8: Matbaa makinası milinde sıkı geçme-yapıştırıcı uygulaması (Loctite, 1995)

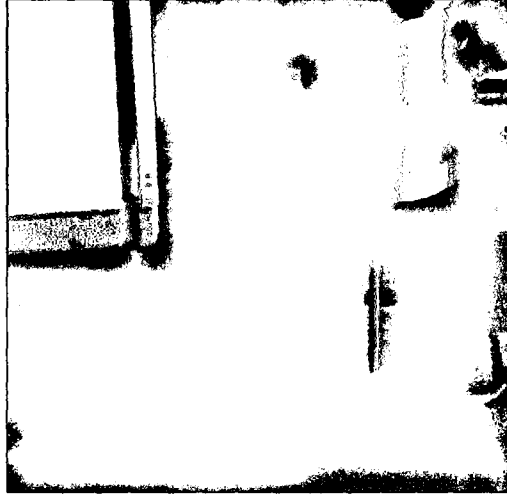
Cıvataların çözülmeye karşı emniyete alınmaları için yapıştırıcı kullanımı, diğer emniyete alma metotlarına (taçlı somun, tırtıllı somun vs.) nazaran daha ekonomik ve pratik imkanlar sunmaktadır. Şekil 2.9'da alüminyumdan yapılmış bir motor gövdesindeki saplamaların tespiti için kullanılan yapıştırıcı görülmektedir.



Şekil 2.9: Cıvataların tespitinde yapıştırıcı kullanımı (Loctite, 1998)

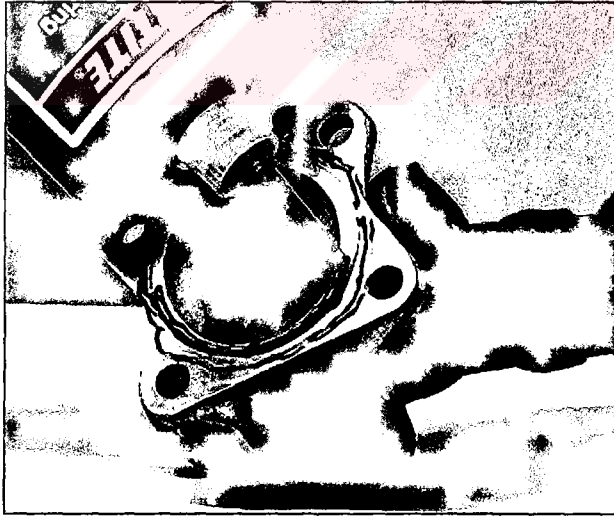
Sızdırmazlık amacıyla motor blok kapaklarında ve sızdırmazlık istenilen değişik yerlerde de silikon esaslı yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Bu sıvı contalarda adhezyon

olayı istenmez, kohezyon olayından faydalanılır. Şekil 2.10'da silikon esaslı bir yapıştırıcının bir kapak üzerine uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.10: Bir kapak üzerinde silikon yapıştırıcı kullanımı (Loctite, 1998)

Daha iyi tork iletimi ve daha hafif birleştirmeler sağlamak, fretting korozyonunu ve oluşan titreşimleri önleyebilmek amacıyla flanşlı kaplin bağlantılarında da yapıştırıcılar kullanılmaktadır (Şekil 2.11).

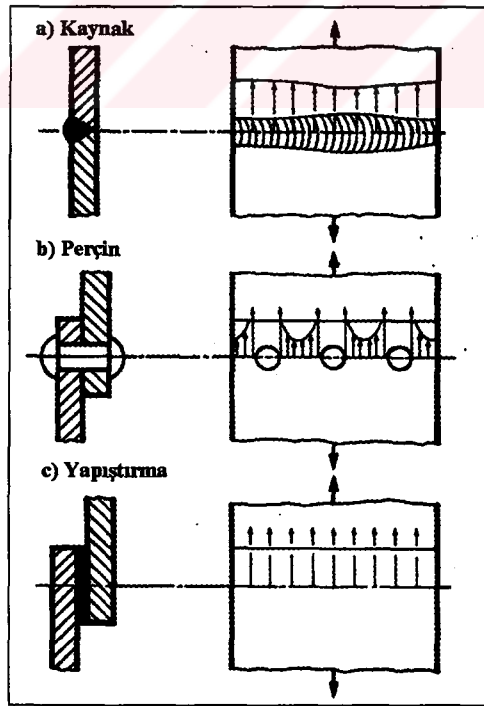


Şekil 2.11: Flanşlı kaplin bağlantısında yapıştırıcı kullanımı (Loctite, 1998)

2.4 Yapıştırmanın Avantajları

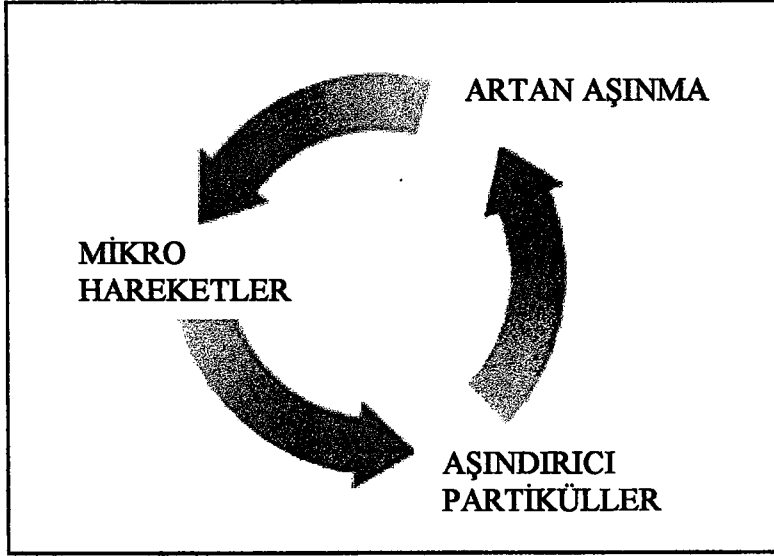
Kullanılan yapıştırıcı tipine, bağlantı tasarımına, uygulama metodlarına ve son sistemin amaçlanan işlevine bağlı olarak yapıştırıcı ile birleştirme bir veya daha fazla avantajlar sunabilir. Bunlar;

- Bileşim, genleşme katsayısı, elastiklik modülü ve kalınlık gibi özellikler bakımından farklılık arz eden değişik tip malzemeleri birleştirebilme kabiliyetleri vardır.
- Cıvata, perçin gibi bağlama elemanlarınca sebep olunan düzensiz yüzey hatlarının yapıştırıcı ile birleştirme durumunda ortadan kaldırılarak son sistemin görüntüsünde daimi bir iyileşme sağlanabilir.
- Cıvata, perçin gibi bağlama elemanları ve nokta kaynağından dolayı küçük temas alanlarında ortaya çıkan gerilme yığılmalarının azaltılması ile tüm yapışma alanı boyunca daha düzenli bir gerilme dağılımı elde edilebilir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Çeşitli birleştirme bağlantılarında gerilme durumları (Loctite, 1995)

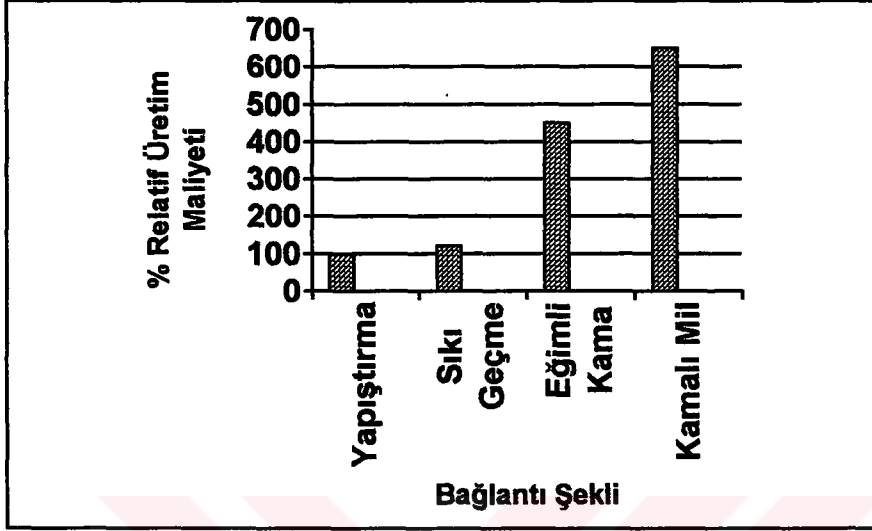
- Fretting (Birbiri üzerinde çalışan parçaların mikro hareketleri sonucu oluşur) korozyonunu önler (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: Fretting korozyonu oluşum mekanizması (Loctite, 1998)

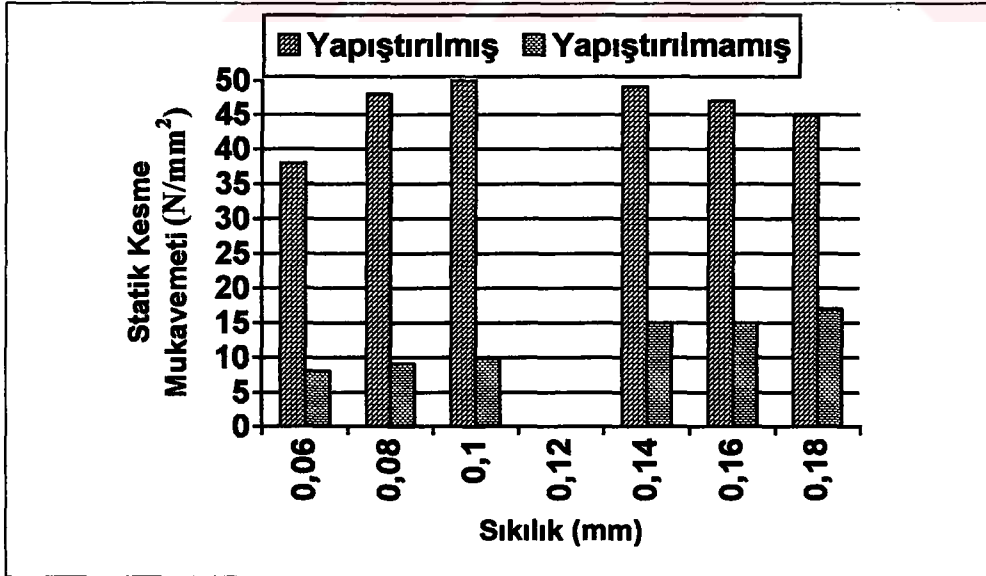
- Farklı iki metalin birleştirilmesi durumunda, oluşabilecek galvanik korozyonu önler.
- Gerilmeleri absorbe edebilme, üniform dağıtılabılme veya iletilebilmeleri sayesinde birçok yapıştırıcının yapışma bağları dinamik darbelere karşı daha yüksek dayanım ve gerilip uzama kabiliyeti sağlar. Bu sayede yorulma dayanımı iyileşir ve titreşimlere direnebilme ve esneklik özellikleri artar.
- Daha hassas rijit bağlantılar elde edilebilir.
- Sert ve yumuşak parçaların hasarsız bir şekilde birleştirilmesini sağlar. Gerektiğinde hasar vermeden demontaj yapılabilir.
- Gerekli olduğu yerde sızdırmazlığı sağlar.
- Konstrüksiyon bir bütün olarak düşünüldüğünde, kaynaklı ve perçinli bağlantılara nazaran hafiflik sağlar.

- Küçük kuvvet ve momentlerin iletilmesinde talaşlı imalat ücretlerini azaltır. Daha az malzeme kullanılabilir ve daha yüksek toleranslarda çalışılabilir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: Çeşitli bağlantıların maliyet açısından karşılaştırılması (Loctite, 1998)

- Sıkı geçme bağlantılarında dayanımı yükseltir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15: Sıkı geçme bağlantılarında yapıştırmanın bağlantı mukavemetine etkisi (Loctite, 1998)

2.5 Yapıştırmanın Dezavantajları

Yapıştırma bağlantılarının yukarıda belirtilen avantajlarının yanında kullanımlarını kısıtlayan dezavantajları da vardır. Bunlardan en önemlisi olarak sıcaklığın etkisi verilebilir.

Sıcaklığın Etkisi : Polimerlerin fiziksel halleri sıcaklığa, yapının amorf, kısmi kristalin ve kristalin olmasına bağlıdır. Sıcaklık, molekül zincirlerini oluşturan ünitelerin dönme hareketlerini etkiler. Sıcaklığın artması ile bu hareket hızlanır, molekül zincirleri arasındaki kimyasal bağ kuvvetleri zayıflar ve zincirler birbirlerine göre daha bağımsız hale gelir. Sıcaklığın azalması ile ünitelerin dönme hareketi yavaşlar ve belirli bir sıcaklıkta durur, sadece atomların kendi konumları etrafındaki titreşim hareketi kalır. Bu sıcaklığa *camsı duruma geçiş sıcaklığı* (T_g) denir.

Yapıştırıcılar polimer esaslı malzeme oldukları için belirli bir geçiş sıcaklığına sahiptirler. Bu sıcaklık değerleri üzerinde mukavemet değerleri düşer (Şekil 2.16). Teknolojik gelişmeler sayesinde günümüzde kullanılan yapıştırıcılardan bazıları 350 °C'lere kadar özelliklerini kaybetmemektedirler.

Camsı duruma geçiş sıcaklığının altında, yapıştırıcı camsı hal denilen rijit, sert ve gevrek durumda bulunur. Yüksek sıcaklıklarda, termoset yapıştırıcılarda (epoksi, anaerobik vs.), yapı rijitliğini kaybederek elastik hale geçmekte, elastisite modülünde düşme ve tamamen parçalanma söz konusu olmaktadır. Termoplastik yapıştırıcılarda ise elastik hale geçme ve ergime söz konusu olabilir. Örnek olarak, Loctite 401'in geçiş sıcaklığı 120 °C'dir. Bazı polimerlerin T_g değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

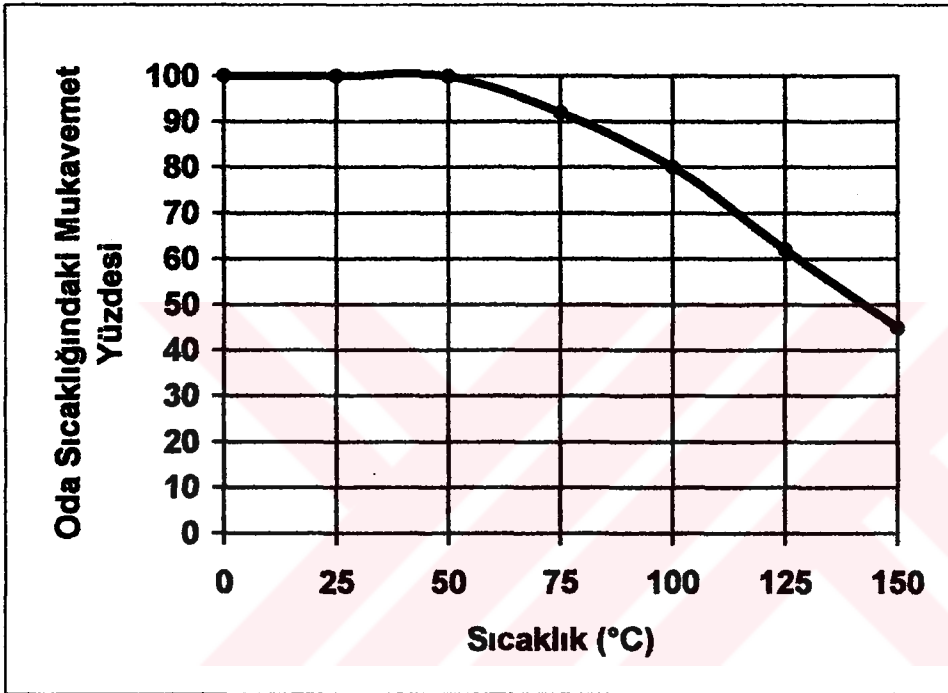
Çizelge 2.1: Bazı polimerlerin T_g değerleri (Adams ve diğerleri, 1997)

Polimer Grubu	Polimer Adı	T_g (°C)
Kauçuk	Doğal Kauçuk	-75
	Neopran Kauçuk	-50
	Silikon Kauçuk	-127
Akrilik	Polimetilmetakrilat	105
	Poli-etilmetakrilat	65
	Poli-n-propilmetakrilat	35
	Poli-n-bütülmetakrilat	20
	Polimetakrilat Asit	228
Epoksi	Di-1-Aminopropil-3-Etoksi Eter	67
	Trietil tetramin	99
	1,3-Diaminobenzen	161
	4,4-Diaminodipenilmetan	119
Yüksek Sıcaklık Yapıştırıcıları	Polyquinoxalines	216 – 376
	Polyphenylquinoxalines	279 – 372

Sıcaklığın bu olumsuz etkisine ilave olarak aşağıdaki faktörlerde sayılabilir;

- Yapıştırma işlemi esnasında yüzeyler tamamıyla yapıştırıcı ile kaplanmayabilir, bu da etkili yapıştırma alanının azalmasına neden olarak mukavemeti düşürür.
- Bazı yapıştırıcılar neme ve kimyasal ortamlara karşı hassastırlar. Böyle ortamlarda bulunmaları durumunda zamanla mukavemetlerinde azalma meydana gelmektedir.
- Diğer klasik birleştirme metotlarındaki (kaynak, perçin vs.) gibi, bağlantının nihai mukavemeti hakkında bir şey söylemek zordur.
- Büyük miktarlardaki üretimlerde, uygulama ekipmanları gerekmektedir. Bu da ilk yatırım maliyetini arttırmaktadır.

- Yapıştırılacak olan yüzeyler mekanik aşındırma ve solventlerle, bazen de kimyasal metotlar, primer ve aktivatörler kullanılarak temizlenmektedir. Bu işlemler iş ve zaman maliyeti getirmektedir.
- Yapıştırıcıların bazı çeşitleri, devamlı yükleme durumunda sürünme gösterirler.



Şekil 2.16: Deneylede kullanılan Loctite 638 Anaerobik yapıştırıcıda sıcaklık ile dayanım değeri düşümü (Loctite, 1998)

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YAPIŞTIRICILARIN GENEL ÖZELLİKLERİ

3.1 Yapıştırıcı Çeşitleri

Günümüzde kullanılan modern yapıştırıcılar, kimyasal tipleri ve formları açısından iki ana grup olarak sınıflandırılabilir.

- a) Kimyasal tipleri açısından yapıştırıcılar (anaerobik, epoksi vs.),
- b) Formları açısından yapıştırıcılar (macun, film vs.).

3.1.1. Kimyasal Tipleri Açısından Yapıştırıcılar

Yapıştırıcılar kimyasal tipleri açısından;

- a) Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılar,
- b) Fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcılar olarak iki gruba ayrılabilir.

3.1.1.1 Kimyasal Reaksiyon ile Sertleşen Yapıştırıcılar

Günümüzde kullanılan en mukavemetli yapıştırıcılar kimyasal reaksiyon ile sertleşirler. Bu tip yapıştırıcılara yapısal yapıştırıcılar da denir. Bu yapıştırıcılar;

3.1.1.1.1 Anaerobikler

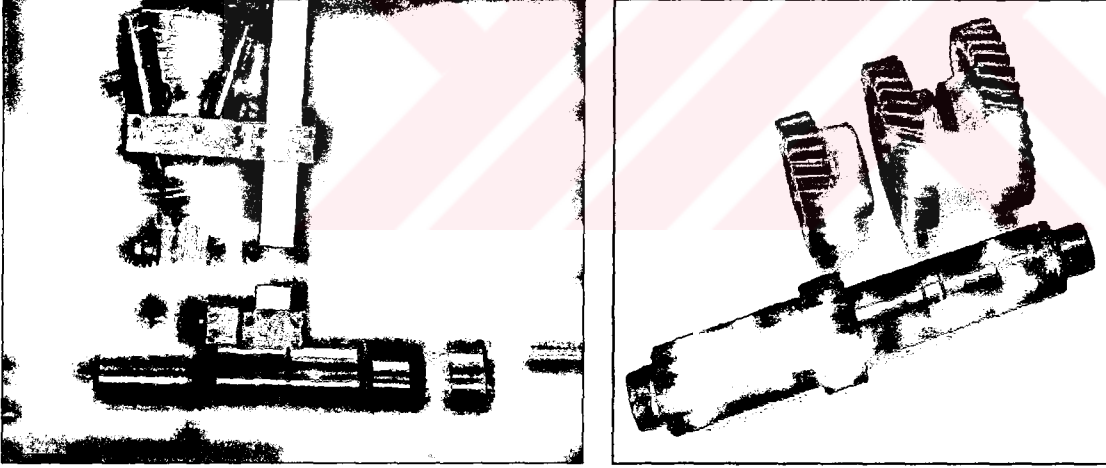
Emniyete alma ve sızdırmazlık amacı ile kullanılan bu yapıştırıcılar oksijen ile temasın ortadan kalkması ile sertleşirler. Akrilik olarak bilinen sentetik reçine esaslıdırlar.

Aneorobik yapıştırıcılar, ilk olarak 1957 yılında Dr. Vernon KRIEBLE tarafından bulunmasından günümüze kadar çok önemli gelişmeler kaydetmişlerdir. Aneorobik yapıştırıcılar sıvı halde iken oksijenle temas kesildiğinde aktif metal iyonları ile

reaksiyona girerek katılaşıp ve termoset plastik halini alırlar. Termosetlerin, makro molekülleri birbirleriyle dar biçimde ağlaşmıştır. 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 ve somun arasında oksijensiz ortamda kalan sıvı haldeki yapıştırıcı katılaşıp ve termoset plastik halini alarak çözölmeye karşı emniyeti sağlamaktadır.

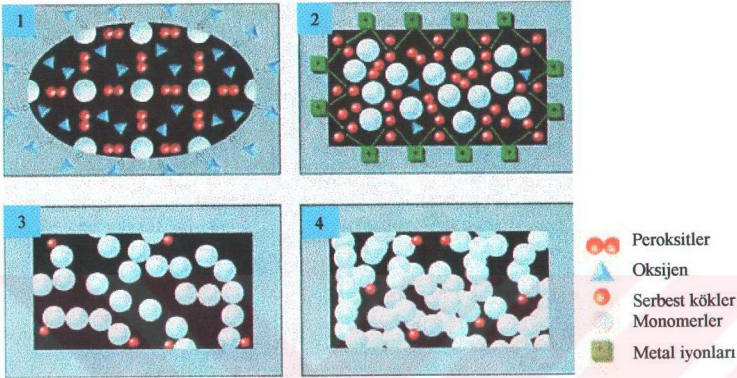
Mil ve göbek bağlantılarında oldukça sık kullanılmaktadırlar. Sıkı geçme işlemi maliyet ve işçiliği arttırdığı için daha geniş toleransta çalışma imkanı sağlamaktadır. Çapta 0,25 mm boşluklara kadar kullanılmaktadırlar. Şekil 3.1’de bir kamyon dişli kutusunda, sıkı geçme bağlantısında yapıştırıcının otomatik olarak uygulanması görölmektedir. Ayrıca rulmanlı yatakların montajında da kullanım alanı bulmuşlardır.



Şekil 3.1: 500 HP gücündeki bir kamyon dişli kutusu milindeki sıkı geçme bağlantısında, anaerobik yapıştırıcının uygulanması (Loctite, 1998).

Anaerobiklerin sertleşme mekanizması Şekil 3.2’de verilmiştir. Birinci durumda sıvı haldeki anaerobik yapıştırıcı, oksijenle temas halinde olduğu için bir reaksiyon meydana gelmemektedir. İkinci durumda yapıştırıcı yapıştırma boşluğuna doldurulduğunda oksijen ile teması kesilmektedir ve peroksitler serbest kök haline dönüşerek metal iyonları ile reaksiyona girmektedirler. Üçüncü durumda serbest kökler, polimer

zincirlerinin oluşmasını başlatmaktadır. Dördüncü son durumda ise reaksiyon sona erip çapraz bağlı polimer zincirleri oluşturularak, termoset plastik haline almaktadır.



Şekil 3.2: Anaerobiklerin sertleşme mekanizması (Loctite, 1998)

Bazı firmalara ait anaerobik yapıştırıcılar Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Aneorobik 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

ASTM D5363-93 standardında tek bileşenli anaerobik yapıştırıcılar sınıflandırılmıştır. Dört temel gruba göre yapılan sınıflandırmada, birinci grupta cıvata silindirik parçaların birleştirilmesi için kullanılan ve yavaş sertleşen yapıştırıcılar, ikinci ve üçüncü grupta hızlı sertleşen yapıştırıcılar ve son grupta ise sadece silindirik parçalar ve sıkı geçmelerde kullanılan yapıştırıcılar verilmiştir.

Bu sınıflandırmaya bir örnek verilecek olursa;

AN 0411 ile ifade edilen bir gösterimde;

AN: Anaerobik yapıştırıcı (ASTM D 4800 – 87 standardına göre) olduğunu,

04 (Grup): Silindirik bağlantılar için olduğunu,

1 (Sınıf): Düşük dayanım değerine sahip olduğunu,

1 (Derece): 100 – 500 mPa viskoziteye sahip olduğunu gösterir.

Not: ASTM D4800 – 87 standardında diğer yapıştırıcılar için kullanılan semboller de verilmiştir.

Ayrıca yukandaki gösterime ek semboller de ilave edilebilmektedir.

AN 0411 A02 H11 M10 P15 ifadesi örnek olarak alınırsa;

A: Yapıştırıcının rengini,

02: Kırmızı renkte olduğunu,

H: Sıcak dayanım değeri olduğunu,

1: 204 °C’de ölçülen sıcak dayanım değeri olduğunu,

1: Standartta bulunan tabloya göre verilen sıcak dayanım değeri ile karşılaştırılması gerektiğini,

M: Askeri kurumlar için olduğunu,

1: Patlayıcılarla birlikte kullanım için uygun olduğunu,

0: Özelliklerin kullanıcı tarafından belirleneceğini,

P: Paketleme şeklini,

1: Şişe (plastik),

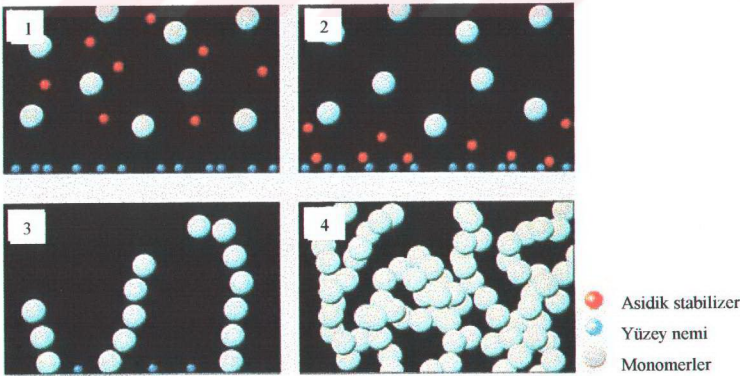
5: Şişenin 250 ml olduğunu belirtir.

Burada ilave sembollerin belirli bir kısmı örnek olarak verilmiştir. Gerekliğinde diğer ilave sembollerin tamamı standarttan alınabilir.

3.1.1.1.2 Cyanoakrilatlar

Yapıştırıcıların özel bir tipi olan cyanoakrilatlar, yapıştırılacak olan yüzeyler üzerinde bulunan nem ile reaksiyona girerek sertleşirler. Sertleştiklerinde termoplastik halini alırlar. Termoplastlar, makro molekülleri arasında sadece Van der Waals bağı bulunan plastiklerdir. Makro moleküller birbirleriyle ağlaşmamıştır. Bunlar ya lineer ip gibi dizilmişlerdir veya dallanmış (çatallanmış) durumdadırlar. Van der Waals bağ kuvveti, kovalent bağ kuvvetine nazaran daha zayıftır. Çok kısa sürede sertleşen bu yapıştırıcılar plastik esaslı parçaların yapıştırılması için oldukça uygundur. İlk olarak tesadüfen Eastman Kimya Şirketi'nde Dr. Harry COOVER'ın grubu tarafından bulunmuştur. Piyasada genellikle Super Glue (süper yapıştırıcı) ve Japon Yapıştırıcısı olarak bilinen yapıştırıcılar bu türe en iyi örneklerdir.

Şekil 3.3'de cyanoakrilatların sertleşme mekanizmaları verilmiştir. Birinci durumda kırmızı ile gösterilen asidik düzenleyici (stabilizer) moleküllerin reaksiyona girmesini engelleyerek sıvı halde kalmasını sağlamaktadır. İkinci durumda yüzeye yapıştırıcı uygulandığında, mavi ile gösterilen yüzeydeki nem, asidik düzenleyiciyi nötr hale getirmektedir ve üçüncü durumdaki polimerizasyon başlamaktadır. Dördüncü durumda reaksiyon tamamlandığında yüzeydeki nem ve asidik düzenleyici kalmadığı için polimer zincirleri birbiri içerisine örülmüş gibi şekillenmektedir.



Şekil 3.3: Cyanoakrilatların sertleşme mekanizması (Loctite, 1998)

Bazı firmalara ait cyanoakrilat yapıştırıcılar Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Cyanoakrilat 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,

3.1.1.1.3 Epoksiler

Epoksi yapıştırıcılar, tek bileşenli, iki bileşenli ve film olarak üç farklı formda olabilirler. İki bileşenli olanlar, epoksi yapıştırıcı ile sertleştiriciden oluşur. Her ikisi birleştirildiğinde kovalent bağlar oluşarak termoset polimer halini alır. Katalizör ilavesi ya da ısı ile sertleşme zamanı hızlandırılabilir. Yüksek sıcaklıklarda sertleşen epoksiler daha yoğun çapraz bağlara sahip oldukları için son derece mukavemetli yapımlar elde edilir. Ayrıca cam geçiş sıcaklıkları daha yüksek olur. Derinliğine sertleşme miktarları çok iyidir. Uzun süre sertleşme zamanı gerektirirler. Servis ömürleri sınırlıdır. Çok farklı tipte malzemeleri yapıştırmak için kullanılabilirler. Alüminyum ve alaşımlarının yapıştırılmasında, uzay ve uçak sanayiinde oldukça fazla kullanılmaktadırlar.

Bazı firmalara ait epoksi yapıştırıcılar Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3: Epoksi yapıştırıcılar için ticari örnekler

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	3607, 3609, 3106, 3611, 3612, 3380
Loxal	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

3.1.1.1.4 Sertleştirilmiş Akrilikler

Akriliklerin modifiye edilmiş bir tipi olan bu yapıştırıcılar, reçine ve aktivatörden oluşup, karıştırıldıklarında oldukça hızlı sertleşirler. Reçine, akrilik monomer içinde çözülmüş olan elastomerlerden oluşur. Elastomerler yapıştırıcıya tokluk sağlarken, akrilik monomerler de termoset halini aldıkları için yapıştırıcının çevreye karşı direncini ve dayanımını artırır. Reçine aktivatör ile birleştirildiğinde, reçine içerisindeki peroksitler çözülerek serbest kök halini alırlar ve polimerizasyon işlemi başlayarak sertleşme işlemi tamamlanır.

Isı tesiri altında da (~ 150 °C) sertleşme işlemi yapılabilir. Yüksek mukavemet ve sertlik isteyen yerlerde kullanılırlar. Yapıştırma boşluğu 0,75 mm'ye kadar olan yerlerde kullanılabilirler. Yapışma yüzeylerinin birine reçine, diğerine katalizör tatbik edilir. Ticari örnek olarak Permabond Qickbond 5002, F246, F241, Vox vinil oksiran, Loctite 315, 322, 330, 3100 verilebilir.

3.1.1.1.5 Poliüretanlar

Poliüretan yapıştırıcılar, tek ya da iki bileşenli ve hızla sertleşen yapıştırıcılardır. Tek bileşenli olanlar, yüzey nemi ile reaksiyona girerek, çift bileşenli olanlar ise aktivatör yardımıyla polimerize olurlar. Sertleştiklerinde termoset polimer halini alırlar. Yüksek kohezyon dayanımı ve darbe mukavemetine sahiptirler. Aşınmaya karşı dirençleri yüksektir.

Yüksek sıcaklıklarda kullanılmaları uygun değildir (>150 °C). Tek bileşenli olanlar, 10 mm'ye kadar derinliğine sertleşebilme kabiliyetine sahiptirler. Çift bileşenlilerde ise böyle bir sınırlama yoktur. Cam takviyeli plastikleri (GRP) yapıştırmak için oldukça uygundur. Hızlı sertleşme gerçekleştiği için makina ile uygulanması gerekir. Genellikle primerlerle birlikte kullanılırlar. Ticari örnek olarak Loctite 3951, 5221, Dewilux polyester 196 verilebilir.

3.1.1.1.6 Modifiye Edilmiş Fenolikler

Metal yapıştırma için kullanılan ilk yapıştırıcıdır. Fenol-formaldehit esaslıdır. Yüksek mukavemet gerektiren metal – metal, metal – ağaç, metal – kağıt, metal – kompozit esaslı fren pabucu yapıştırıcıları için oldukça iyidir. Günümüzde kullanılan ahşap yapıştırıcıların çoğunluğu fenolik esaslıdır. Sertleştiklerinde termoset halini alırlar. Nitril fenolik ve vinil fenolik gibi çeşitleri vardır. 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. Ayrıca diğer dezavantajları da, kullanım aşamasına kadar zamanla kendi bileşenlerine ayrılma eğilimlerinin olmasıdır. Bundan dolayı sertleşme prosesi boyunca ısıtma işlemi için fırın gibi özel ekipmanlara ihtiyaç vardır.

Aşındırıcı taşların, zımparaların yapıştırılmalarında da kullanılırlar. Günümüzde uçakların dış yüzey kaplamasında ve uzay sanayiinde de kullanılmaktadır. Nem, yağ, solvent ve hidro karbonlara karşı dirençleri yüksektir. Kesmeye zorlanan bindirme bağlantılarında mukavemet değerleri yüksektir. Ticari örnek olarak, 3M AF31Nitril Fenolik ve Ciba Redux 775 verilebilir.

3.1.1.2 Fiziksel Değişim ile Sertleşen Yapıştırıcılar

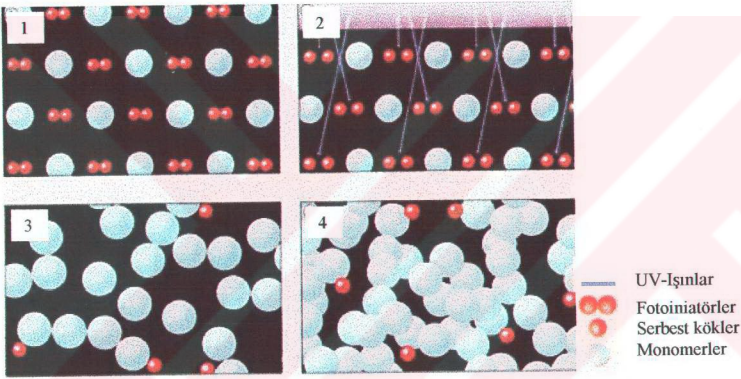
Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılara nazaran, fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcılar, daha düşük yapışma mukavemetine sahiptirler. Bu yapıştırıcılara yapısal olmayan yapıştırıcılar da denir. Bunlar;

3.1.1.2.1 Ultraviyole (UV) Yapıştırıcılar

Polimerizasyon işleminin gerçekleşebilmesi için ultraviyole ışınlar ihtiyacı vardır. Bu yapıştırıcılarda sertleşme zamanı, ultraviyole ışığın yoğunluğuna ve dalga boyuna

bağlıdır. Bu yapıştırıcılar özellikle cam – cam, cam – metal yapıştırmaları için uygundur. İyi boşluk doldurma kabiliyetleri vardır.

Şekil 3.4’de UV-yapıştırıcıların sertleşme mekanizmaları verilmiştir. Birinci durumda monomerler ve fotoiniatörler reaksiyona girmeden bir arada sıvı halde bulunmaktadır. Yapıştırıcı ikinci durumda UV ışınlarına maruz bırakıldığında, fotoiniatörler serbest kök durumuna geçmektedir. Üçüncü durumda serbest kökler monomer zincirlerini oluşturmaya başlamaktadır. Son durumda ise çapraz bağlı polimer zincirleri oluşarak sertleşme işlemi tamamlanmaktadır.



Şekil 3.4 UV-yapıştırıcıların sertleşme mekanizması (Loctite, 1998)

Bazı firmalara ait UV- yapıştırıcılar Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4: UV- yapıştırıcılar için ticari örnekler

Üretici Firma	Ticari Adı
Loctite	302, 322, 349, 352, 366
Loxal	UV 30-20, UV 30-21, UV 30-22, UV 30-24
Dymax	950, 952, 955, 957

3.1.1.2.2 Sıcak Eriyikler

Yapıştırıcıların en eski tiplerinden olan sıcak eriyikler polimer esaslıdır. Kağıt, plastik ve ahşap yapıştırılmalarında kullanılırlar. Oda sıcaklığında katı termoplastik haldedirler. Kullanımdan önce ısıtılarak sıvı akışkan haline getirilerek yapıştırılacak olan yüzeylere uygulanırlar. Yapıştırıcı kendi halinde soğuduğu zaman katılaşıp halini alır ve yapıştırma işlemi tamamlanır.

Sıcak eriyiklerde, katıdan sıvı duruma geçiş tersinir olduğu için sıcaklık daima kontrol altında tutulmalıdır. Seri üretimlerde otomasyon işlemleri için uygundur. Metal yapıştırma işlemlerinde, malzeme ısıyı hızlı bir şekilde iletmediği için yapıştırıcının yüzeye tam olarak yayılması kısıtlanmaktadır. Bunu önlemek için ön ısıtma gibi işlemler yapılabilir.

Hafif yüklere maruz kalacak şekilde dizayn edilmiş yapıları hızlıca birleştirmek için kullanılır. Wax olarak bilinen yapıştırıcılar bu gruba girmektedir. Ticari örnek olarak, Dexter Hysol 0410, 0420, 0437, 232, 4046, 7803, 7500, WaxPac verilebilir.

3.1.1.2.3 Kauçuk Yapıştırıcılar

Eriyik esaslı kauçuk yapıştırıcılar, su ortamının ya da çözülmenin kaybolması ile sertleşirler. Devamlı yüke maruz kalan yapışmalar için uygun değildirler.

3.1.1.2.4 Polivinil Asetatlar (PVAC)

Bu yapıştırıcıların temel bileşeni vinil asetatdır. Küçük polivinil asetat damlacıklarının su içerisinde çökeltilmesi esasına dayanılarak üretilirler. Nem kaybetmeye başladıklarında damlacık halinden değişime uğrayarak sertleşir ve termoset halini alırlar. Sertleşme süresi, yapıştırılacak parçalar üzerindeki nem seviyesine ve yapıştırıcı film kalınlığına bağlıdır.

Modern PVAC yapıştırıcılarda sertleşme süresi, düşük nem ve ince film tabakası kullanılması durumunda oda sıcaklığında yaklaşık 15 dakika civarındadır. Isı uygulanarak sertleşme zamanı azaltılabilir. Ancak termoset yapının bozulmaması için 80 °C ile sınırlandırılmalıdır.

Ağaç, mobilya ve karton gibi gözenekli malzemelerin (özellikle oluklu mukavva yapımında) yapıştırılmasında kullanılırlar.

3.1.1.2.5 Silikonlar (PSAs)

Basınç gerektirmeyen yerlerde kullanılan yapıştırıcılardır. Sertleştiklerinde termoset elastomer halini alırlar. Otomotiv endüstrisinde Sıvı Conta adıyla silindirik kapaklarında çok büyük miktarlarda kullanılmaktadır. Özellikle sızdırmazlık istenen yerlerde makine imalatında ve sıhhi tesisat işlerinde kullanılmaktadır. Oksime ve UV – silikon gibi çeşitleri vardır.

Band ve etiket imalatı için uygun olan tipleri de vardır. Çevre şartları kimyasal ve fiziksel özelliklerini değiştirebilir. Devamlı yüke maruz kalan yapışmalar için uygun değildirler. Ticari örnek olarak, Loctite 574, 5088, 5091, 5140, 5404, 5699, 5900, Loxeal 28-10, 58-14, 58-31, 59-10 verilebilir.

3.1.2 Formları Açısından Yapıştırıcılar

Modern yapıştırıcılar kullanılmadan önce film, macun, sıvı ve toz gibi çeşitli formlarda olabilirler. Form olarak yapıştırıcılar;

- a) Macun tipi yapıştırıcılar,
- b) Film tipi yapıştırıcılar,
- c) Düşük viskoziteli yapıştırıcılar,
- d) Reçineler,
- e) Köpükler, şeklinde sınıflandırılabilir.

3.1.2.1 Macun Tipi Yapıştırıcılar

Metal yada kompozit parçaları birleştirmek için kullanılan iki parçalı ve oda sıcaklığında sertleşen yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcıların yüksek viskoziteye sahip olanları mükemmel yakın yapışma sağlar. Bu yapıştırıcılar 80°C'nin altındaki sıcaklıklarda sertleşirler. Yapıştırıcı kalınlığının 0,1 - 0,2 mm arasında olması, yapışma için yeterlidir. Bu yapıştırıcılar düşey yüzeylerde ya da düşey yapışmalarda kullanılmazlar. Ticari örnek olarak, Ciba Redux 408, Permabond Fe Rapid verilebilir.

3.1.2.2 Film Tipi Yapıştırıcılar

Film tipi yapıştırıcılar, metalik yada kompozit malzemelerin yapıştırılması için kullanılan epoksi esaslı malzemelerdir. Çok geniş kullanım alanına sahiptirler. Kompozit yapıştırma için kalın filmler (300 g/cm²), metal parçalar için ince filmler (150 g/cm²) kullanılır. Bazı firmalara ait film tipi yapıştırıcılar Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5: Film tipi yapıştırıcılar için ticari örnekler

Üretici Firma	Ticari Adı
3M	9244, 9245, 9246
Cyanamid	FM35, FM36, FM680
Ciba	Redux 326

3.1.2.3 Düşük Viskoziteli Yapıştırıcılar

Bu yapıştırıcılar, iki parçalı epoksi reçine esaslıdır. Oda sıcaklığında yada yüksek sıcaklıklarda (120 – 180 °C) sertleşir.

Düşük viskoziteli yapıştırıcılar, Petek yapıştırıcıları veya sandviç levhaların kenarlarını doldurmak için kullanılırlar. Bu yapıştırıcılar, birleşmeler içindeki süreksizliklere karşı daha fazla kayma mukavemetine sahip olmalarından dolayı, yapısal bütünlüğü korurlar. Kuruma süresi içinde köpürmez ve genişlemezler. Bu yüzden bu

yapıştırıcıları belli bir yerde hapsedmek için özel bir aparata veya korumaya gerek yoktur. Ticari örnek olarak, Ciba Araldite AV134, Dexter Hysol 9412, 9430, 9460, 9739 verilebilir.

3.1.2.4 Düşük Yoğunluklu Yapıştırıcılar

Düşük yoğunluklu yapıştırıcılar, iki bileşenli, oda sıcaklığında sertleşebilen yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcılar, boşluk ya da ayrılma tipi dolgu tamiratında, kompozit kumaş tabakalarının yapıştırılması gibi yerlerde kullanılırlar. Optimum yapışma, kuruma eğrisine göre, sertleşme işlemi sona erdikten sonra yapılabilir. Karışma oranı yanlış yapılırsa, yapıştırıcının uygulama süresi göreceli olarak düşer. Ticari örnek olarak epoksi yapıştırıcılardan bazıları verilebilir.

3.1.2.5 Reçineler

Kompozit parçaların birleştirilmesi ve dolgu amacıyla çok farklı yerlerde kullanılan, iki bileşenli düşük viskoziteli epoksi reçineleridir. Bileşenlerin karışma oranı yanlış yapılırsa uygulama süresi göreceli olarak düşer. Ticari örnek olarak, Ciba Araldite LY564-1, Dexter Hysol 608, 609, 615, 9437, 9412 Black verilebilir.

3.1.2.6 Köpükler

Köpükler, kuruma süresi boyunca genişleyen epoksi esaslı yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcılar birleşmedeki boşlukları doldurur ve birleşen parçalarının tümünü birbirine kuvvetlice yapıştırır. Köpük kalınlığının en az 2 mm olması istenir. Ticari örnek olarak, Ciba Redux 204, Dexter Hysol Termo Foam 3050, IDC Polifoam verilebilir.

3.2 Bazı Yapıştırıcıların Mukavemet Değerleri

Bazı yapıştırıcıların oda sıcaklığındaki mukavemet değerleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6: Bazı yapıştırıcıların mukavemet değerleri

Yapıştırıcı Türü	Ürün Adı	Statik Kesme Mukavemeti (N/mm ²)
Anaerobik	Loctite 638	20 – 35
	Loctite 641	7 – 16
	Loctite 648	16 – 30
	Loxael 83-21	25 – 35
	Loxeal 83-31	15 – 25
	Loxeal 82-33	17 – 22
	Weicon AN 305-77	15 – 25
	Weicon AN 302-25	3 – 5
	Permabond HM160	21
	Permabond HM128	10,4
Permabond MM115	10,4	
Cyanoakrilat	Loctite 401	12 – 25
	Loctite 480	12 – 25
	Loxeal INSTANT 14	20 – 25
	Loxeal INSTANT 43	15 – 20
	Permabond 910	21
	Permabond 2010	14
Epoksi	Permabond 792	10,5
	Loctite 3609	15 – 32
	Permabond E04	21
	Permabond E01	4,9
	Weicon A	21
	3M AF-163-2M	39
	Ciba Redux 203	15
	Ciba Araldit DIY	15
Dexter Hysol 901 NA/B-1	24	
Sertleştirilmiş Akirilik	Loctite 312	4 – 11
	Loctite 330	15 – 30
	Permabond F246	28
Fenolik	3M AF 31 Nitril Fenolik	15,1
	Ciba Redux 775 Vinil Fenolik	37
Silikon	Loxeal 28-10	4 – 6
	Loxeal 58-31	8 – 13
	Loctite 5293	0,4
	Loctite 5699	1,3 - 2,1
Poliüretan	Loctite 3951	1 – 3
Ültraviyole	Loctite 302	1 – 5
	Loctite 349	6 – 15
	Loxeal UV 30-22	10 – 14
	Loxeal UV 30-24	12 – 16
	Loxeal UV 30-37	8 – 12

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

YAPIŞTIRMA GEOMETRİSİ VE YÜKLEME

DURUMLARI

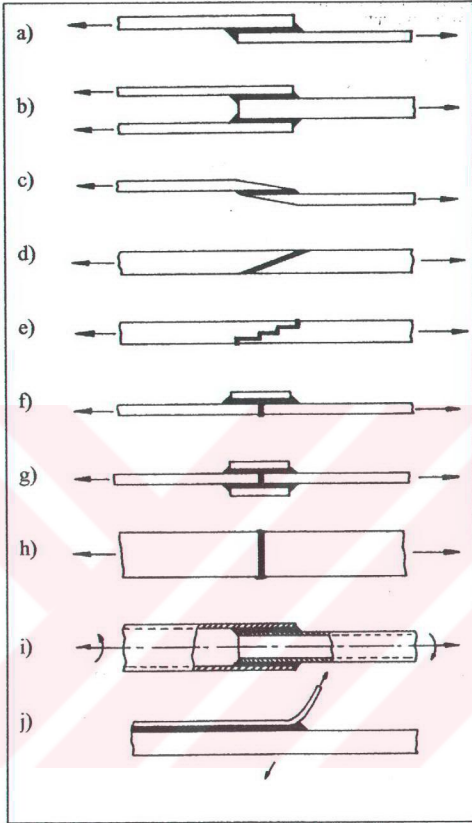
4.1 Yapıştırma Geometrisi

Yapıştırma bağlantısının istenilen mekanik özellikleri taşıyabilmesi ancak aşağıdaki şartların yerine getirilmesi ile mümkün olur. Bunlar;

- Birleştirmenin konstrüksiyon içindeki konumu ve uygun yükleme durumu,
- Yapıştırılacak yüzeylerin uygun yüzey temizleme yöntemi ile temizlenmesi,
- Uygun yapıştırıcının seçimi ve uygulanması,
- Yapıştırma bağlantı geometrisinin uygun seçimidir.

Şekil 4.1'de ise yapıştırma bağlantı geometrilerine ait örnekler verilmiştir. Şekil 3a'daki konstrüksiyon eğilme gerilmesi içerdiği için zorunlu olmadıkça kullanılmamalıdır. a'dan g'ye doğru gidildikçe yük taşıma ve gerilme dağılımı açısından bir iyileşme olmaktadır. j'deki soyulmalı bağlantı ise mümkün olduğunca kullanılmamalıdır.

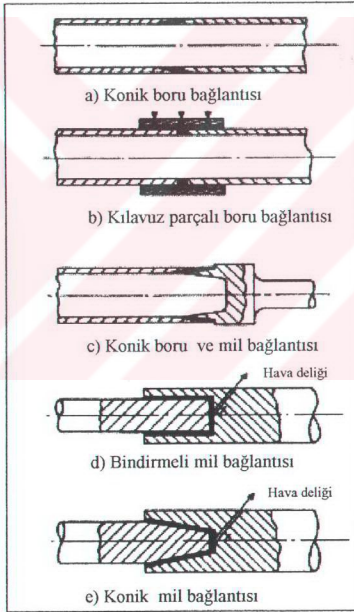
Tekli bindirme bağlantılarında (Şekil 4.1 a) kayma gerilmesi yanında, yapıştırılacak parçaların kalınlığına bağlı olarak eğilme gerilmesi meydana gelir. İlave olarak meydana gelen eğilme gerilmesini önlemek için a'daki yapıştırma bağlantısı yerine b, c, d, e, f, g'deki konstrüksiyonlar tercih edilmelidir. Bu konstrüksiyonlar da üretim maliyeti biraz artacak olmasına rağmen yük taşıma kabiliyeti açısından olumlu sonuçlar alınmaktadır.



Şekil 4.1: Yapıştırma bağlantı geometrileri (Adams, 1989)

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

Şekil 4.2’de çeşitli silindirik yapıştırma bağlantıları için örnekler verilmiştir. a’da yapıştırma alanını arttırmak için yüzeyler konik olarak işlenmiş, ayrıca eğilme gerilmeleri sıfıra indirilmiştir. b şeklinde ise iki boru parçası alın altına getirilerek üçüncü bir kılavuz parça ile birleştirilmiş ve mukavemetli bir bağlantı sağlanmıştır. c’de ise a’dakine benzer şekilde bir boru parçası ile bir mil konik olarak birleştirilmiştir. d’de ise mile delik açılarak bindirmeli bir bağlantı sağlanmıştır. Son şekilde bağlantı, merkezlenme ve montaj kolaylığı sağlaması açısından konik olarak yapılmıştır. d ve e birleştirmelerinde montaj esnasında içeride hava birikmemesi için havalandırma delikleri açılmıştır.

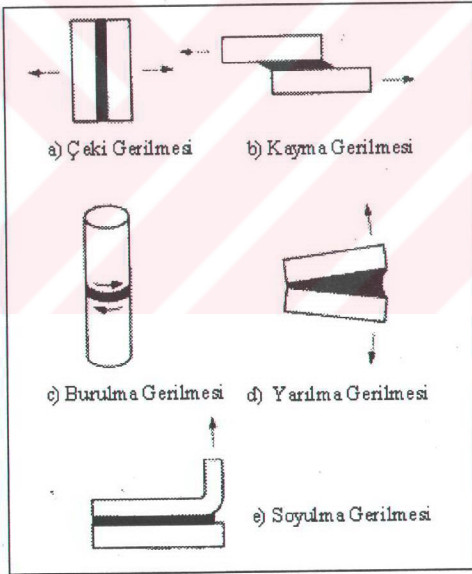


Şekil 4.2: Silindirik yapıştırma bağlantılarında birleştirme şekilleri (Adams, 1997)

4.2 Yapıştırma Bağlantılarında Yükleme Durumları

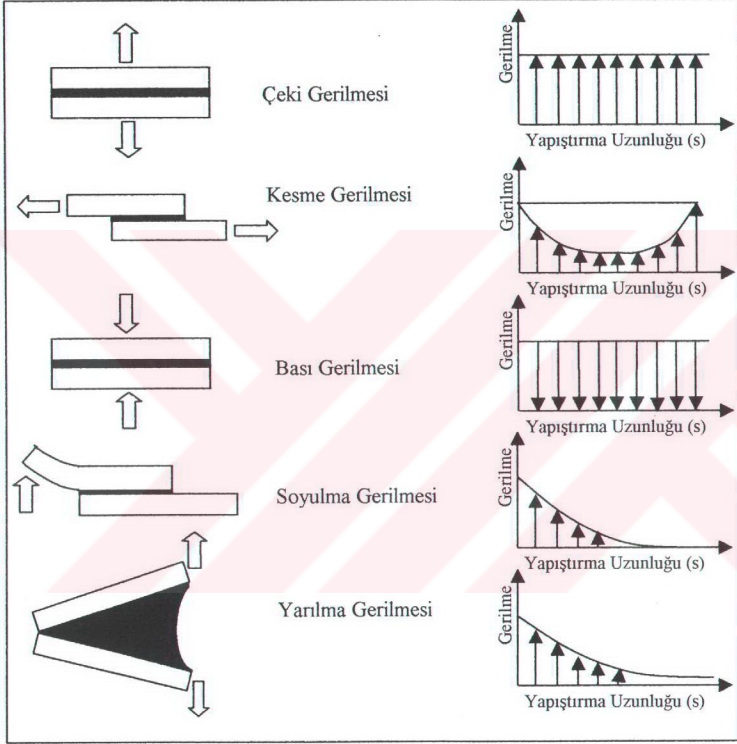
Bağlantı, Yapıştırma mukavemetinin artması açısından, yapıştırma yüzeylerinde kayma (kesme) gerilmeleri olacak şekilde yapılmalıdır. Yapıştırma bağlantılarının soyulma ve çekme mukavemetleri kesme mukavemetine göre daha azdır.

Yapıştırma bağlantısı kullanım yerine göre değişik gerilmelere maruz kalabilir. Şekil 4.3 ve 4.4'de yapıştırma bağlantılarının maruz kalabileceği temel gerilme durumları verilmiştir. Bu temel gerilmelerin yanı sıra birkaçının bir arada bulunduğu birleşik gerilmeler de meydana gelebilir. Uygulamalardaki gerilmelerin büyük çoğunluğu birleşik gerilmelerdir.



Şekil 4.3: Yapıştırma bağlantılarında gerilme durumları (Shields, 1974)

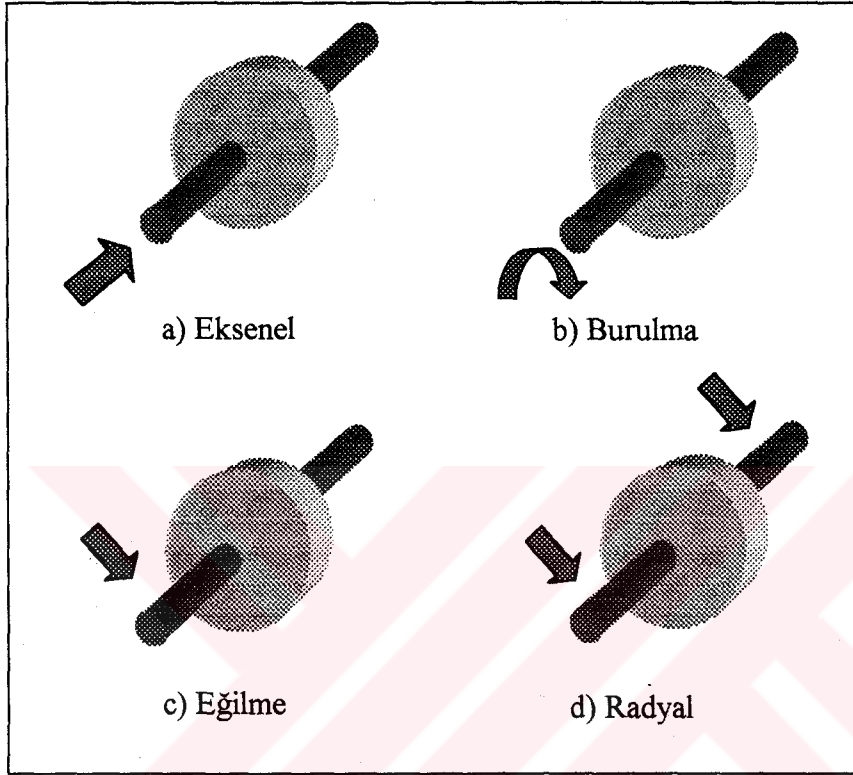
Şekil 4.4'den görüleceği gibi yapıştırma bağlantısının çeki gerilmesi altında zorlanması halinde, gerilme dağılımı yapıştırma uzunluğu boyunca üniform olmaktadır. Soyulma ve ayırma yüklemeleri uygulandığında gerilme dağılımı iki uç arasında değer olarak çok büyük farklılıklar göstermektedir.



Şekil 4.4: Yapıştırma bağlantılarında gerilme dağılımları

Endüstride kullanılan silindirik bağlantılarına örnek olarak mil-göbek bağlantıları verilebilir. Bağlantının kullanılma yerlerine göre yükleme durumları Şekil 4.5'de verilmiştir. a'da mil aksenal yük altında kesme gerilmesine zorlanmaktadır. b'de bir

tork iletimi söz konusudur ve bağlantı yine kesme gerilmesi altındadır. c'de bir eğilme kuvveti altında bağlantı eğilme ve kesme gerilmelerine zorlanmaktadır. d'deki yüklemeye ise bağlantı radyal yük etkisi altında bası gerilmesine maruz kalmaktadır.

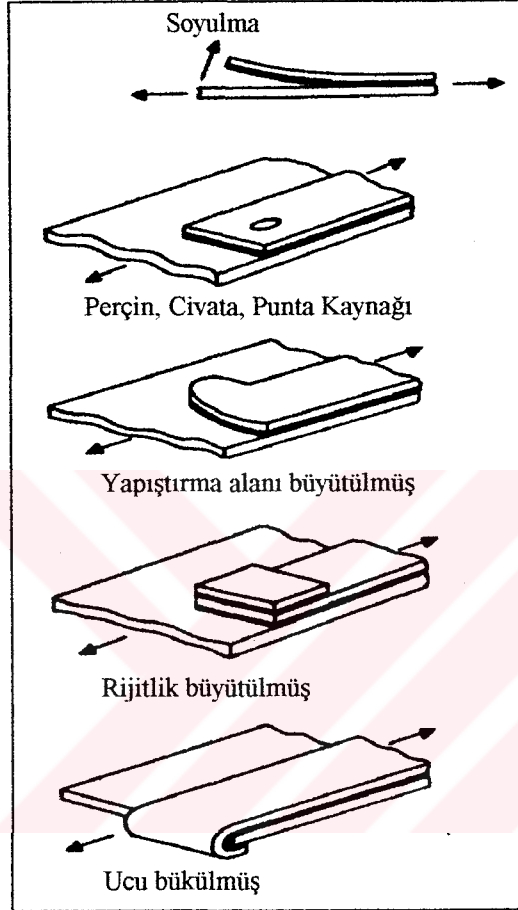


Şekil 4.5: Mil-göbek bağlantılarının yüklenme şekilleri (Loctite, 1998)

4.3 Konstrüksiyonda Dikkat Edilecek Hususlar

Yapıştırma bağlantılarının soyulma mukavemetleri çok düşük olduğu için, konstrüksiyon yapılırken bazı ek önlemler alınmalıdır. Bağlantıya soyulma kuvveti gelmeyecek şekilde konstrüksiyon yapılmalıdır. Sac şeklindeki malzemelerin yapıştırılmasında alınabilecek konstrüktif önlemlerden bazıları Şekil 4.6'da verilmiştir.

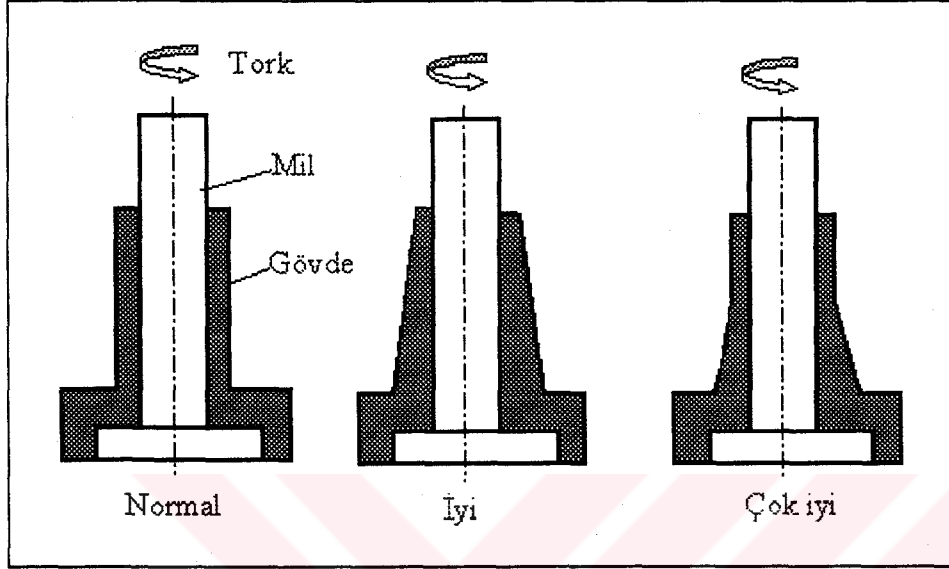
Bu önlemlerden birisi olan punta kaynağının yapıştırıcı ile birlikte kullanımı, günümüz otomotiv sanayiinde (özellikle şase imalatında) oldukça yüksek miktarlarda uygulanmaktadır.



Şekil 4.6: Soyulmayı önlemek için alınabilecek konstrüktif önlemler (Adams,1997)

Yapıştırma bağlantılarında, yükleme durumunda oluşan çatlak başlangıcı, genellikle yapıştırıcının başlangıç ve bitiş noktalarında meydana gelmektedir. Silindirik mil-göbek bağlantılarında, bağlantının bitiş noktasındaki gerilme yığılmasını azaltabilmek için, göbek konik olarak işlenerek inceltilebilir (Şekil 4.7). Bu durumda çapların oranı artacağı için çentik faktörü azalacak ve bitiş noktasındaki gerilme değeri düşecektir.

Mil-göbek bağlantılarının yapıştırıcı ile birleştirilmeleri esnasında, göbek veya mil üzerinde bulunan sıvı yapıştırıcının yüzey üzerinden sıyrılmasını önlemek için mil ucuna 15° ile 35° arasında bir koniklik açısı verilmelidir.



Şekil 4.7: Mil-göbek bağlantısında gerilme yığılmasının azaltılması (Loctite, 1998)

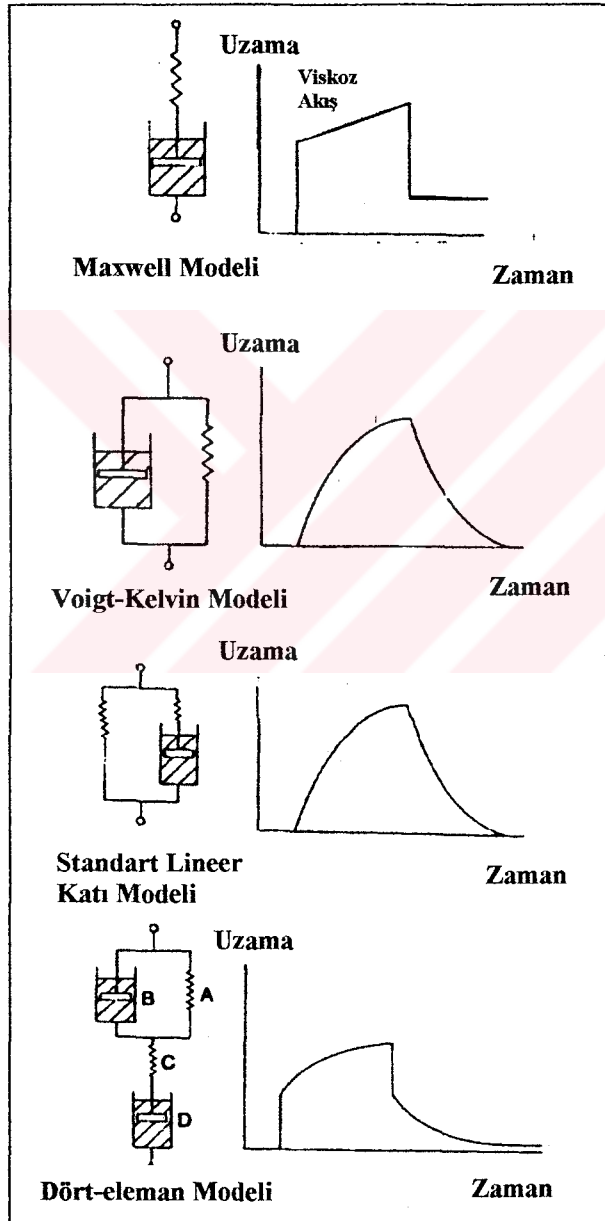
4.4 Yapıştırma Bağlantılarında Hasar Mekanizmaları

4.4.1 Yapıştırma Bağlantılarının Viskoelastik Davranışı

Polimer malzemelerin en belirgin özelliklerinden biri, aynı anda hem elastik hem de viskoz anlamına gelen viskoelastik bir davranış göstermeleridir. Viskoelastik davranış sürünme ve gevşeme olmak üzere iki aşamada meydana gelmektedir. Bunlardan; sürünme, sabit bir gerilmenin etkisi altında, malzemenin sürekli olarak şekil değiştirmesi ile, gevşeme ise belirli bir şekil değiştirme halinde bulunan malzemede, gerilmelerin sürekli olarak azalması sonucu meydana gelmektedir.

Viskoelastik malzemelerin davranışı; gerilme ile şekil değiştirme arasında, Hooke ve Newton kanununda olduğu gibi lineer veya lineer olmayan bir bağıntıya dayanarak incelenmektedir. Birinci duruma lineer viskoelastisite teorisi, ikinci duruma ise non

lineer viskoelastisite teorisi denilmektedir. Viskoelastik malzemelerin davranışlarını tespit edebilmek için çok farklı modeller ileri sürülmüştür (Şekil 4.8). Bunlardan en basit olanı Maxwell modelidir ve bu model, bir yay ile bir sönümlenme elemanından oluşmaktadır. Yay, malzemenin elastik özelliğini, sönümlenme elemanı ise viskoz özelliğini ifade etmektedir. Yay ve sönümlenme elemanı, Maxwell modelinde seri, Kelvin-Voigt modelinde ise paralel olarak bağlanmış gibi düşünülmektedir.



Şekil 4.8: Polimerlerin viskoelastik davranış modelleri (Adams ve diğerleri, 1997)

Bu iki modele ilave olarak, ileri sürülen iki model daha vardır. Bunlar standart lineer katı ve dört-eleman modelleridir. Şekil 4.8'dende görüleceği gibi dört-eleman modeli; Maxwell ve Voigt-Kelvin modellerindeki elemanların seri olarak bağlanmasından oluşmaktadır. Bu modellerden en gerçekçi fakat nitel olanı standart lineer katı ve dört-eleman modelleridir.

Genellikle yapıştırma bağlantılarının oda sıcaklığında yapılan deneylerinde, yapıştırıcı tamamen camsı durumdadır. Yapıştırma bağlantılarının dinamik olarak yüklenmesi durumunda viskoelastisite olayının önemi artmaktadır. Dinamik yükleme boyunca camsı duruma geçiş sıcaklığının (T_g) altındaki sıcaklıklarda bile viskoz akış olayı, enerji kaybının artmasına neden olacaktır. Bu durum serbest titreşimlerin sönümlenmesi açısından bir avantaj olabilir fakat enerjinin ısıya dönüşmesi sıcaklığı arttırmaktadır. Bu teoriye göre; sıcaklığın artmasının, elastisite modülünü ve yorulma dayanımını etkileyebileceği ileri sürülmektedir.

Yapıştırma bağlantılarının pratikteki uygulamalarında, yapıştırılan metalin büyük hacmine karşılık, yapıştırıcı tabaka hacmi çok küçük olduğu ve büyük bir ara yüzey olduğu için, oluşan ısının dışarıya atılabilmesi için optimum şartlar oluşmaktadır. Dolayısı ile yukarıda ileri sürülen teori, dinamik deformasyon altındaki metal-metal bağlantıları için geçerliliğini yitirmektedir. Ancak karbon yada cam takviyeli kompozitlerde bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

4.2.2 Yapıştırma Bağlantılarının Kopma Şekilleri

Yapıştırma bağlantıları statik ve dinamik yüklere maruz bırakıldıklarında iki şekilde hasara uğrarlar (Adams, 1997). Bunlar;

- a) **Adhezyon Kopması:** Yapıştırıcı malzemenin, yapıştırılan malzeme yüzeyinden tamamen ayrılması sonucu gerçekleşir. Yapıştırıcı ile yapıştırılan yüzey arasında zayıf noktalar her zaman bulunabilir. Malzemeye uygun yapıştırıcı

seçilmemiş olabilir, yüzeyler yapıştırma işlemi için uygun olarak hazırlanmamış olabilir. Bunların sonucu olarak adhezyon kopması oluşabilir.

Adhezyon kopmasını önleyebilmek için;

- Uygun yapıştırma boşluğu, tolerans ve uygun malzeme seçilmelidir.
- Yüzeyler uygun temizleme yöntemleri ile temizlenmelidir.
- Sertleşme işleminin tam olarak gerçekleşip gerçekleşmediğinden emin olunmalıdır. Ortam sıcaklığı ve nem kontrol altında tutulmalıdır.
- Yüzey alanı genişletilmeli, yada uygun geometri ve kuvvet uygulanmalıdır.
- Çalışma sıcaklığına uygun yapıştırıcı seçilmelidir.
- Yapıştırıcı, ortam şartları ile direkt temas halinde olmamalıdır. Uygun dizayn ve kaplamalarla yapıştırılan alan korunmalıdır.

b) Kohezyon Kopması: Yapıştırıcı malzemenin kendi içinde kopmasıdır. Kopma işlemi sonucunda artık yapıştırıcı genellikle her iki yüzeyde de bulunur. Dış etkiler sonucu oluşan aşırı yüklenme, sıcaklık ve yaşlanma olayları sonucunda meydana gelir. Uygun yüklenme, uygun yapıştırıcı ve uygun geometri seçimi yapılarak önlemler alınabilir.

Normal şartlar altındaki yüklemelerde ve deneysel çalışmalarda, kohezyon kopmasının meydana gelmesi istenir. Eğer adhezyon kopması meydana geliyorsa yapıştırma prosesinde bir yanlışlık yapılmış sonucuna varılabilir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SİLİNDİRİK YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ MUKAVEMETİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

5.1 Statik Eksenel Yükleme Durumu

Silindirik bir yapıştırma bağlantısının statik olarak yüklenmesi durumunda, taşıyabileceği eksenel yük aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanabilir. Temel gerilme eşitliğine göre;

$$\tau_R = \frac{F}{A} \quad (5.1)$$

$$A = \pi \cdot D \cdot L \quad (5.2)$$

(5.1) ve (5.2) eşitliklerinden, silindirik yapıştırma bağlantısının taşıyabileceği eksenel yük çekilecek olursa,

$$F = \pi \cdot D \cdot L \cdot \tau_R \quad (5.3)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte, mukavemet düzeltme faktörleri ve sıkı geçme durumu da göz önüne alınarak düzenleme yapılırsa,

$$F = \pi \cdot D \cdot L \cdot [(\tau_R \cdot f_T) + (P \cdot \mu)] \quad (5.4)$$

eşitliği elde edilir. Yukarıdaki eşitliklerde;

F :	Taşınabilen eksenel kuvvet	(N)
A :	Yapıştırma alanı	(mm ²)
D :	Nominal yapıştırma çapı	(mm)

L:	Yapıştırma uzunluğu	(mm)
τ_R :	Yapıştırıcının statik kesme mukavemeti	(N/mm ²)
f_T :	Mukavemet düzeltme faktörleri toplamı ($f_T = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \dots \dots \dots f_n$)	
P:	Sıkı geçme bağlantılarında geçme basıncı (Boşluklu geçmelerde P = 0 alınır)	(N/mm ²)
μ :	Sürtünme katsayısı	

5.2 Statik Tork (Moment) İletilmesi Durumu

Eğer silindirik yapıştırma bağlantısı statik olarak tork iletecekse, iletilebilecek olan tork (T) aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanır. (5.1) eşitliğindeki aksenal kuvvet (F) yerine çevresel kuvvet (F_t) yazılarak işlemler yapılacak olursa,

$$\tau_R = \frac{F_t}{A} \quad (5.5)$$

$$T = F_t \cdot \frac{D}{2} \Rightarrow F_t = \frac{2 \cdot T}{D} \quad (5.6)$$

(5.6) eşitliği (5.5) de yerine konulur ve (T) çekilirse,

$$T = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L \cdot \tau_R}{2} \quad (5.7)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte, mukavemet düzeltme faktörleri ve sıkı geçme durumu da göz önüne alınarak düzenleme yapılırsa,

$$T = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{2} \cdot [(\tau_R \cdot f_T) + (P \cdot \mu)] \quad (5.8)$$

eşitliği bulunur. T, iletilebilecek olan tork (Nmm)

5.3 Mukavemet Düzeltme Faktörleri (f_T)

Yapıştırma bağlantılarının mukavemetini belirleyebilmek için günümüzde kullanılan çeşitli test metotları vardır. Ancak bu testlerden elde edilen değerler yapıştırma bağlantısının nihai mukavemetini belirlemez. Yapıştırma bağlantısı hangi şartlarda çalışacaksa o şartlara uygun deneyleri yapılmalı ve elde edilen sonuçlar kullanılmalıdır.

Literatürde (Loctite, 1998; Gantenhammer 1990), mukavemet hesapları yapılırken aşağıda belirtilen düzeltme faktörleri verilmektedir. Bu faktörler;

- f_1 : Malzeme faktörü,
- f_2 : Geçme faktörü,
- f_3 : Yapıştırma boşluğu faktörü,
- f_4 : Yüzey pürüzlülüğü faktörü,
- f_5 : Geometri faktörü,
- f_6 : Çalışma sıcaklığı faktörü,
- f_7 : Isıl yaşlanma faktörü,
- f_8 : Çalışma ortamı faktörü,
- f_n : Diğer faktörler olarak verilebilir.

Bu faktörlere ilavelerde yapılabilir. Şimdi bu faktörlerden önemli gördüklerimizi incelemeye çalışalım.

5.3.1 Malzeme Faktörü (f_1)

Yapıştırma işlemlerinde, yapıştırıcı malzeme, yapıştırılacak olan malzeme yüzeyine tam olarak yayılabilmeli (ıslanabilirlik) ve tüm yüzey alanını kaplamalıdır. Bu ıslanabilirlik olayı da, malzemenin serbest yüzey enerjisi ve yapıştırıcının viskozitesi ile ilgilidir. Daha yüksek yüzey enerjisi seviyelerinde ve düşük viskozitelerde, adhezyon olayı daha iyi bir şekilde gerçekleşerek bağ kuvvetleri artmakta ve yapıştırıcının nihai mukavemeti iyileşmektedir.

Malzemeler farklı yüzey enerjilerine sahiptirler. Serbest yüzey enerjisi 100 mJ/m^2 'den az olan polimer ve organik malzemeler düşük yüzey enerjili malzemeler olarak, 500 mJ/m^2 'den yüksek olan metal, metal oksit ve seramik gibi malzemeler ise yüksek yüzey enerjili malzemeler olarak tanımlanmaktadır.

Yapıştırılan malzeme ile yapıştırıcı arasındaki *termodinamik adhezyon işi* (W_A) aşağıdaki (5.9) bağıntısı ile verilmektedir.

$$W_A = 2 \cdot (\gamma_a^D \cdot \gamma_s^D)^{1/2} + 2 \cdot (\gamma_a^P \cdot \gamma_s^P)^{1/2} \quad [\text{mJ/m}^2] \quad (5.9)$$

γ_a^D : Yapıştırıcının, Dispersiyon (London) kuvvetleri etkisinde oluşan serbest yüzey enerjisi,

γ_a^P : Yapıştırıcının, Polar (Keesom) kuvvetleri etkisinde oluşan serbest yüzey enerjisi,

γ_s^D : Yapıştırılan malzemenin, Dispersiyon kuvvetleri etkisinde oluşan serbest yüzey enerjisi,

γ_s^P : Yapıştırılan malzemenin, Polar kuvvetleri etkisinde oluşan serbest yüzey enerjisi.

Çeşitli malzemelerin serbest yüzey enerjileri, Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çizelge 5.1'de verilen değerler ve (5.9) eşitliği yardımıyla, epoksi yapıştırıcı ve üç farklı malzeme çifti için adhezyon işleri (W_A) hesaplanıp karşılaştırma yapılacak olursa;

Epoksi/Bakır için:

$$W_A = 2 \cdot (41,2 \cdot 60)^{1/2} + 2 \cdot (5 \cdot 1300)^{1/2} = 260 \text{ mJ/m}^2$$

Epoksi/ Fe_2O_3 için:

$$W_A = 2 \cdot (41,2 \cdot 107)^{1/2} + 2 \cdot (5 \cdot 1250)^{1/2} = 290 \text{ mJ/m}^2$$

Epoksi/ Al_2O_3 için:

$$W_A = 2 \cdot (41,2 \cdot 125)^{1/2} + 2 \cdot (5 \cdot 44)^{1/2} = 170 \text{ mJ/m}^2 \text{ değerleri bulunur.}$$

Çizelge 5.1: Çeşitli malzemelerin serbest yüzey enerjileri (Kinloch, 1987; Loctite, 1995)

Malzeme	γ_s^D (mJ/m ²)	γ_s^P (mJ/m ²)	γ_s (mJ/m ²)
PTFE	18,6	0,5	19,1
Polietilen	31,3	1,1	32,4
Polistiren	38,4	2,2	40,6
Nylon-6.6	33,6	7,8	41,4
Amine-Cured Epoksi	41,2	5,0	46,2
Loctite Yapıştırıcılar	---	---	30 – 47
Stiren Bütadien Kauçuk	27,8	1,3	29,1
Karbon Takviyeli Plastik	27,4	30,6	58,0
Kurşun	99	---	442
Bakır	60	---	1360
Nikel	---	---	1770
Platin	---	---	1915
Demiroksit(Fe ₂ O ₃)	107	---	1357
Demir	---	---	2030
Tungsten	---	---	6800
Silika	78	209	287
Al ₂ O ₃ (Safir)	100	---	577 – 690
Al ₂ O ₃ (Anodize)	125	44	169
Grafit	128	---	1250

Adhezyon işi ile oluşacak bağ kuvvetleri doğru orantılı olduğu için, aynı yapıştırıcı kullanılması durumunda, alüminyum oksit bağlantısı, bakır bağlantısına göre daha düşük mukavemet değerlerine sahip olacaktır. Çizelge 5.1'den de görüleceği üzere düşük yüzey enerjisine sahip plastik esaslı malzemeleri yapıştırma, metal esaslı malzemeleri yapıştırmaktan daha zordur.

Ancak oluşan bağ kuvvetlerini birçok kimyasal ve fiziksel olay etkilemektedir. Malzeme ile yapıştırıcı sertleşme işlemi sırasında kimyasal reaksiyona girebilmekte, malzemenin aktif yada pasif olma durumlarına göre de adhezyon kuvvetleri farklılık göstermekte ve bağlantının mukavemeti değişmektedir. Bundan dolayıdır ki bağlantının nihai mukavemeti üzerinde, serbest yüzey enerjisi tek belirleyici faktör değildir.

Loctite tarafından silindirik bağlantıların mukavemet hesapları yapılırken, Çizelge 5.2'de verilen katsayılar kullanılmaktadır. Ancak bu tabloda verilen değerler yukarıda belirtilen hususlar ile tam bir uyum sağlamamaktadır. Bakırın sahip olduğu yüzey

enerjisi, demir oksidinkinden daha yüksek olduğu halde daha küçük mukavemet katsayısı ile ifade edilmiştir.

Çizelge 5.2: Malzeme (f_1) katsayıları (Loctite,1998)

Çelik	1
Alaşımli çelik	0,9
Dökme demir	0,8
Paslanmaz çelik	0,8
Alüminyum	0,5
Bakır ve alaşımları	0,4
Kaplanmış metal yüzeyler	0,2

İki farklı malzeme yapıştırılması durumunda, yukarıdaki çizelgeden daha düşük olan değer alınarak mukavemet hesapları yapılmalıdır.

5.3.2 Geçme Faktörü (f_2)

Silindirik geçme bağlantısının boşluklu ve sıkı geçme olması durumlarında da yapıştırma bağlantısının mukavemet değerleri değişmektedir. Konu ile ilgili olarak Loctite tarafından yapılan araştırmanın sonucu Çizelge 5.3'de verilmiştir. Ancak bu değerlerin nasıl oluştuğu ve ne anlam taşıdığı hakkında bir yorum getirilmemiştir. Örneğin, aksenal pres geçme + yapıştırma bağlantısının mukavemetinin, boşluklu geçme + yapıştırma bağlantısının mukavemetinden daha düşük olması açıklanmamıştır.

Çizelge 5.3 : Geçme (f_2) katsayıları (Loctite, 1998)

Boşluklu Geçme	1
Eksenel Pres Geçme	0,5
Enine Sıkı Geçme (Isıtarak)	1,2

5.3.3 Yapıştırma Boşluğu Faktörü (f_3)

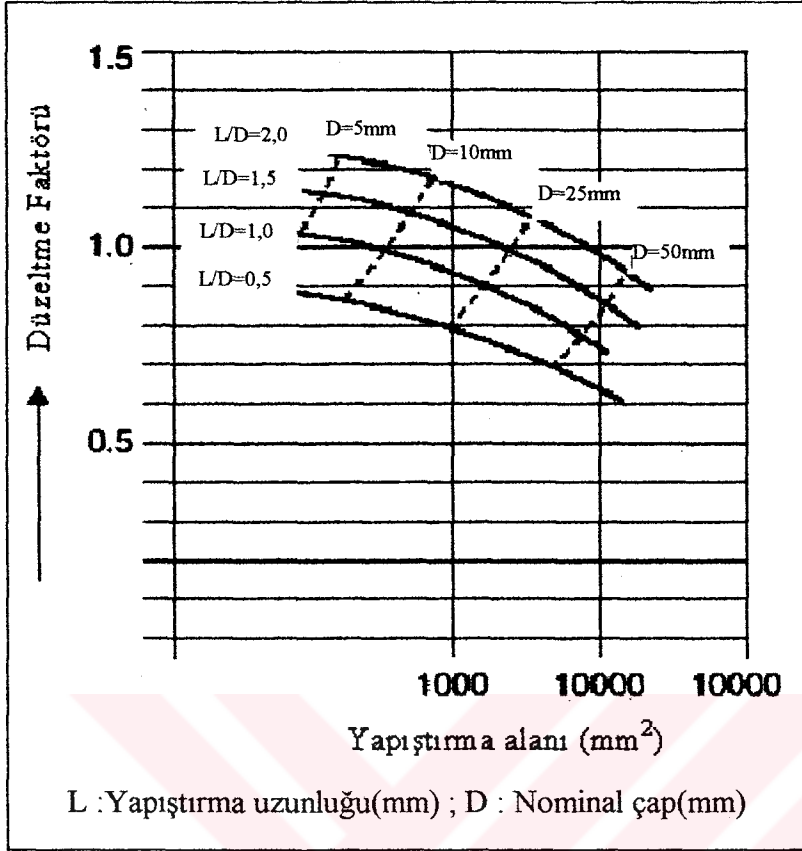
Boşluklu geçmelerde yapıştırma bağlantısının mukavemeti, büyük yapıştırma boşluklarından etkilenmektedir. Yapıştırma boşluğunun artması ile statik kesme mukavemetlerinde % 50'lere varan azalmalar görülebilmektedir. Anaerobik yapıştırıcılar için ideal yapıştırma boşluğu 0,02 - 0,1 mm alınabilir. Ancak boşluk azaldıkça küçük toleranslarda çalışılacağı için üretim maliyeti de artmaktadır. Ara ve sıkı geçme bağlantılarında bu faktör 1 alınmalıdır. Epoksi türü yapıştırıcılarda ise yapıştırma boşluğu, anaerobik yapıştırıcılardaki kadar etkili olmamaktadır. Ancak bu yapıştırıcılar da silindirik geçme bağlantılarında fazla kullanılmamaktadır.

5.3.4 Yüzey Pürüzlülüğü Faktörü (f_4)

Literatürde, yapıştırma bağlantısı için en uygun yüzey pürüzlülüğü olarak $R_a = 1 - 3$ μm alınması gerektiği belirtilmektedir. Çok parlak yüzeylerde, yapıştırıcının tutunma olasılığı azaldığı için mukavemet değerleri azalmaktadır. Çok kaba işlenmiş yüzeylerde de ($R_a > 5$ μm) tam ıslanma ve adhezyon olayı sağlanmadığı için aynı durum söz konusudur. Yapıştırılacak olan parçaların işleme şartları göz önüne alınarak deneyler yapılmalı ve tespit edilen mukavemet değerleri kullanılmalıdır.

5.3.5 Geometri Faktörü (f_5)

Silindirik yapıştırma bağlantılarında kesme gerilmesi yapıştırma uzunluğu boyunca eşit olarak dağılmaz. Maksimum kayma gerilmeleri yapıştırma bağlantısının uç kısımlarında oluşur. Yapıştırma uzunluğu arttıkça birleştirmenin mukavemeti lineer olarak artış göstermemektedir. Bu durum ile, metal malzemelerin mukavemet hesapları yapılırken kullanılan boyut faktörü arasında bir bağlantı kurulabilir. Yapıştırma alanı, bindirme uzunluğu ve çapa bağlı olarak, düzeltme faktörünün değişimi arasındaki ilişki Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1: Yapıştırma geometrisi ile düzeltme faktörü arasındaki ilişki (Loctite,1998)

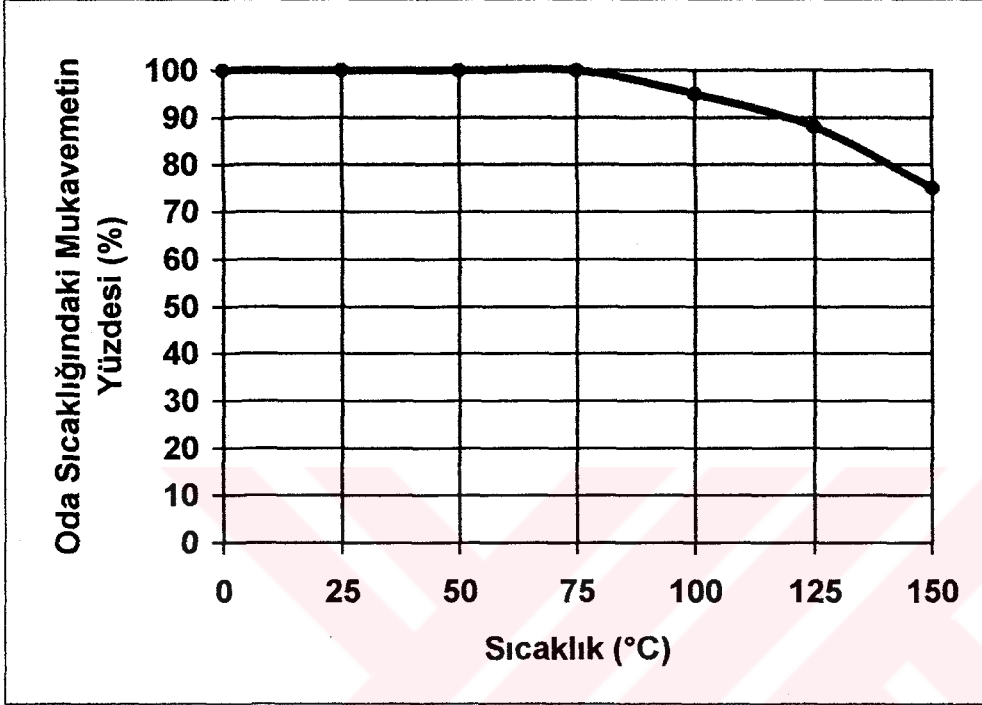
Şekil 5.1'den görüldüğü gibi çap sabit tutularak, bindirme uzunluğu artırıldığında düzeltme faktörü (f_5) azalmaktadır. Yani dolaylı olarak bağlantının mukavemeti düşmektedir.

5.3.6 Çalışma Sıcaklığı Faktörü (f_6)

İkinci bölümde belirtildiği gibi yapıştırma bağlantılarının dayanım değerleri sıcaklık arttıkça düşmektedir. Bu özellik yapıştırıcıların kullanımını kısıtlayan en önemli özelliklerden birisidir. Yapıştırma bağlantısının çalışacağı sıcaklıklarda bağlantı test edilerek dayanım değerlerindeki yüzde düşme miktarları belirlenmelidir.

Yüksek sıcaklıklarda çalışan bağlantılar için, Loctite tarafından 638'e nazaran daha yüksek sıcaklıklarda mukavemet özelliklerini kaybetmeyen Loctite 648 ürünü

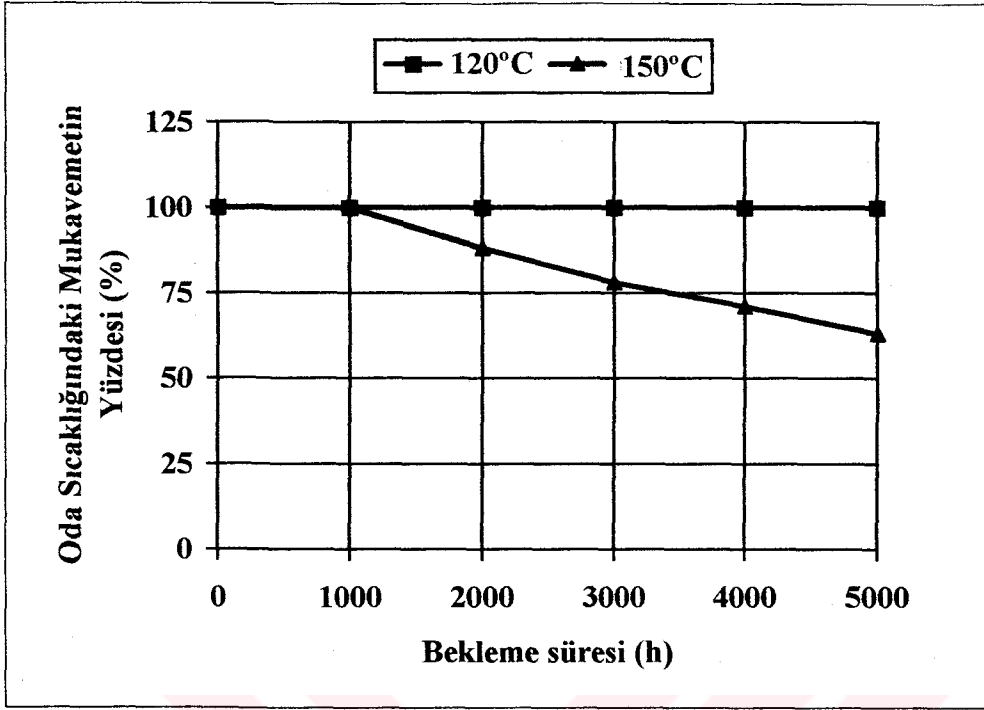
geliştirilmiştir. Bu ürünün sıcaklık ile mukavemet değişimi Şekil 5.2’de verilmiştir. Bu ürünün mukavemet hesabı yapılırken, 150 °C çalışma sıcaklığındaki mukavemet değeri, oda sıcaklığındaki mukavemet değerinin % 75’i olarak alınmalıdır.



Şekil 5.2: Loctite 648 Anaerobik yapıştırıcıda sıcaklık ile dayanım değeri düşümü (Loctite, 1998)

5.3.7 Isıl Yaşlanma Faktörü (f_7)

Yapıştırma bağlantısı uzun süre yüksek sıcaklıklara maruz bırakıldığında meydana gelir. Bu durum sunucunda bağlantının oda sıcaklığında test edilen mukavemet değeri artıp yada azalabilir. Yine aynı şekilde çalışma ortamındaki sıcaklığa göre bağlantının test edilmesi gerekir. Loctite 638 anaerobik yapıştırıcının farklı sıcaklıklarda ve farklı sürelerdeki mukavemet düşümü Şekil 5.3’de verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi 120 °C’de 5000 saat gibi bir sürede mukavemet değerinde bir düşüş meydana gelmezken, 150 °C’de ise % 40’lara varan düşmeler meydana gelmektedir.



Şekil 5.3: Loctite 638 Anaerobik yapıştırıcıda sıcaklık ve süre ile dayanım değeri düşümü (Loctite, 1998)

5.3.8 Çalışma Ortamı Faktörü (f_8)

Yapıştırma bağlantısının içinde bulunacağı ve çalışacağı ortam önem taşımaktadır. Bağlantıların bir çoğu kuru ortamlarda değil, kimyasal, asidik ve bazik gibi ortamlarda çalışmaktadırlar. Bu çalışma esnasında yapıştırıcı malzeme, ortamda bulunan diğer kimyasal malzemelerle temas halinde olduğu zaman çeşitli reaksiyonlar gerçekleşebilmekte ve bunun sonucu olarak bağlantı mukavemeti azalmaktadır. Çizelge 5.4'de Loctite 638 yapıştırıcının farklı ortamlarda çalışması durumunda mukavemet değerlerindeki azalmalar verilmiştir.

Çizelge 5.4: Loctite 638'in farklı ortamlarda mukavemet değerlerindeki azalma yüzdeleri (Loctite, 1995)

Çalışma Ortamı	Sıcaklık °C	Başlangıç Dayanımındaki Azalma Yüzdesi		
		100 h	500 h	1000 h
Motor Yağı	125	100	100	100
Kurşunsuz Benzin	22	100	90	85
Fren Yağı	22	100	90	80
% 50 Su / % 50 Glikol Karışımı	87	95	80	80
Etanol	22	100	100	75
Aseton	22	90	90	90

5.4. Dinamik Yükleme Durumu

Yukarı bölümlerde yapıştırma bağlantılarının statik yükleme durumlarında mukavemetlerini etkileyen faktörler üzerinde duruldu. Ancak yapıştırma bağlantıları uygulamalarında, bağlantılar çoğunlukla statik yüklere değil, zamanla değişen dinamik yüklere maruz kalmaktadırlar.

Dinamik yüklemeler sonucunda bağlantı zamanla yorularak, statik mukavemet değerlerinden daha düşük değerlerde hasara uğramaktadır. Zaten bu tez çalışmasının amacı da dinamik yükler altında bağlantının mukavemetini etkileyen faktörlerin tespit edilmesidir. Çelik malzeme için $N=10^7$ gibi bir yorulma limiti verilebilirken, yapıştırıcılar için bu şekilde belirgin yorulma limiti değerleri yoktur. Yapıştırıcılar için süreli yorulma dayanımlarından bahsedilebilir. Bazı yapıştırıcılar için, metalik malzemelerde olduğu gibi Wöhler diyagramları çizilmiştir. Ancak bu diyagramlar, deneylerin yapıldığı şartlardaki yorulma dayanımlarını vermektedir. Yorulma dayanımını, yapıştırıcının cinsi, yapıştırma geometrisi, yapıştırma boşluğu, yükleme şekli, uygulanan frekans, yüzey pürüzlülüğü, yapıştırılan malzeme vs. birçok faktör etkilemektedir. Bu faktörlerden bazıları yapılacak olan deneysel çalışmalarda incelenecektir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, literatür özetinde de belirtildiği gibi dinamik durumlardaki mukavemet değerleri, statik mukavemet değerlerinin %15 - 50'si olarak verilmiştir. Yorulma hesapları yapılırken 5.3 bölümünde belirtilen faktörlerin her birinin etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Loctite tarafından aşağıda verilen değerlerde bu sınırlar içerisinde kısmen kalmaktadır.

Dinamik eksenel yük taşıma kapasitesi,

$$F_D = F_S \cdot k_{DA} \quad (5.10)$$

F_S : Statik eksenel yük taşıma kapasitesi

Dinamik tork taşıma kapasitesi,

$$T_D = T_S \cdot k_{DT} \quad (5.11)$$

T_S : Statik tork taşıma kapasitesi

$k_{DA} = 0,12$ Dinamik eksenel yük taşıma katsayısı (boşluklu geçme için)

$k_{DT} = 0,3$ Dinamik tork taşıma katsayısı (boşluklu geçme için)

0,35 (sıkı geçme bağlantıları için)

Yapıştırma bağlantılarının dinamik yüklemesi ile ilgili olan ISO 9664 ve ASTM D3166-73 standartlarında plaka şeklindeki malzemelerin yapıştırılması durumundaki eksenel genel değişken yüklenme durumu ele alınmıştır. Bağlantının mukavemet hesapları yapılırken, çalışma anındaki yüklenme durumuna göre yapılan yorulma deney sonuçları kullanılmalıdır.

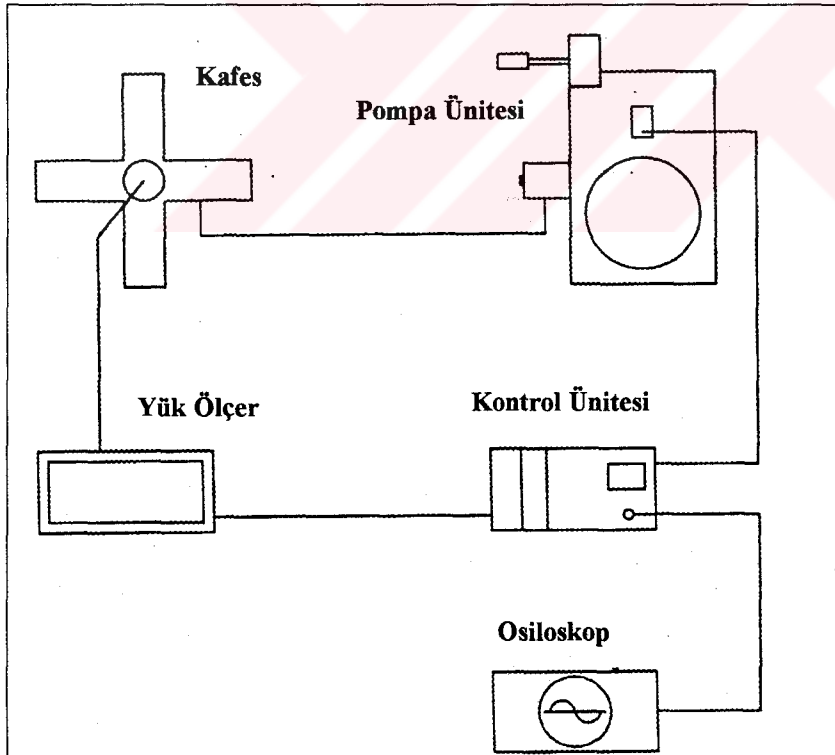
ALTINCI BÖLÜM

MATERYAL VE METOT

6.1 Deney Düzenegi

Deneylerde Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarı'nda bulunan TecEquipment SM100 marka universal test makinesi kullanılmıştır.

Test makinesi 100kN kapasitesinde olup statik ve dinamik yükleme yapabilmektedir. Düzenek dört ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 6.1).

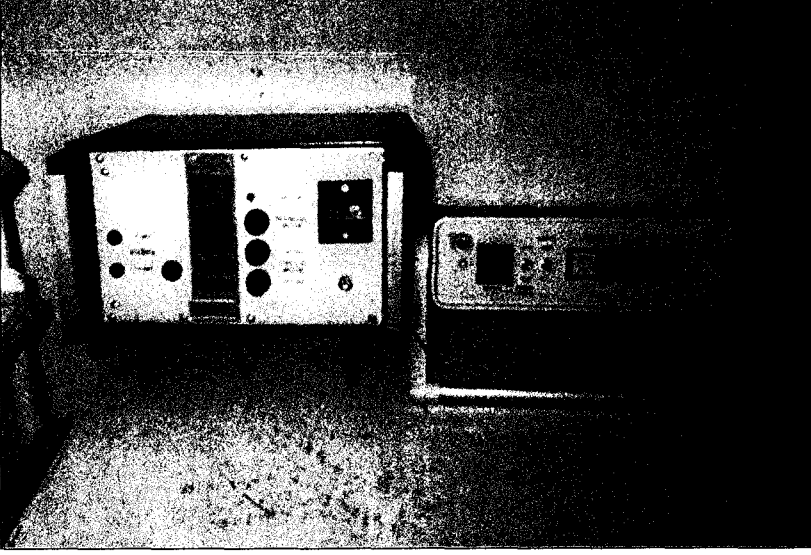


Şekil 6.1: Deney düzeneginin şematik olarak gösterilmesi

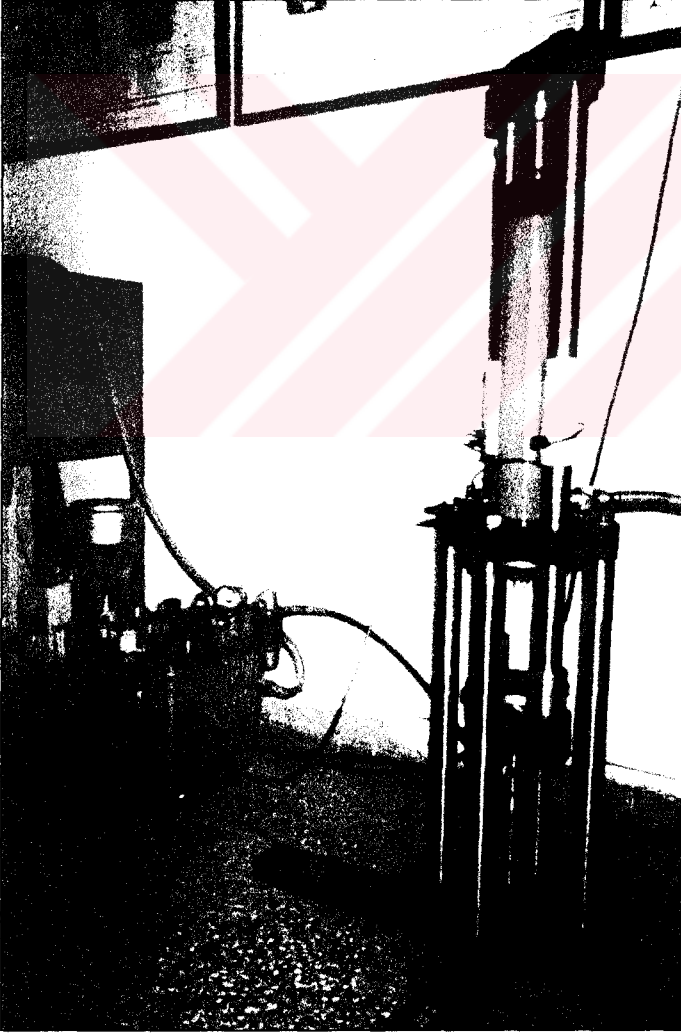
Bunları kısaca açıklayacak olursak;

- 1- **Kafes:** Alt gövde üzerine sabitlenen dört sütun üzerinde çalışan, üst tablanın aşağı-yukarı hareketi ile çeki ve bası yüklemesi yapabilen bir düzendir. Alt ve üst tablaya numuneleri sabitleyebilmek için vidalı ara parçalar bağlanmıştır. Deney numunesi koştugu anda üst tabla yukarı doğru hareket ederek sütun üzerine yerleştirilen bir anahtar kapatmakta ve makinenin otomatik olarak kapanmasını sağlamaktadır.
- 2- **Hidrolik Pompa Ünitesi:** Üst tablanın aşağı-yukarı hareketini sağlayabilmek için kafesin üst kısmına tek etkili hidrolik silindir yerleştirilmiştir. Hidrolik silindire kumanda edebilmek için sisteme hidrolik güç ünitesi yerleştirilmiştir. Dinamik yüklemeler esnasında hidrolik yağın ısınmasını önleyebilmek için, bir su tankının üzerine devir daim pompası yerleştirilerek, hidrolik tankın içerisinde bulunan bakır borulardan su geçirilerek yağın soğuması sağlanmıştır.
- 3- **Yük Ölçer:** Hidrolik silindire yük uygulandığında, sütunlar üzerine yerleştirilen strain-gage'ler yardımıyla uygulanan yük dijital olarak kN cinsinden ölçülebilmektedir.
- 4- **Kontrol Ünitesi:** Üzerinde bulunan anahtar yardımıyla sistemin statik yada dinamik olarak çalışmasını sağlamaktadır. Ayrıca dinamik modunda çalışırken üzerindeki potansiyometreler yardımıyla pompa ünitesinde bulunan servo-valfe kumanda edilerek uygulanan minimum ve maksimum kuvvetler ayarlanabilmektedir. Sistem dinamik olarak çalışmaya başladığında, kontrol ünitesi üzerinde bulunan mekanik sayaç yardımıyla yük tekrar sayıları ölçülebilmektedir. Ayrıca bunlara ilave olarak yükleme şeklini inceleyebilmek için kontrol ünitesine osiloskop da bağlanabilmektedir.

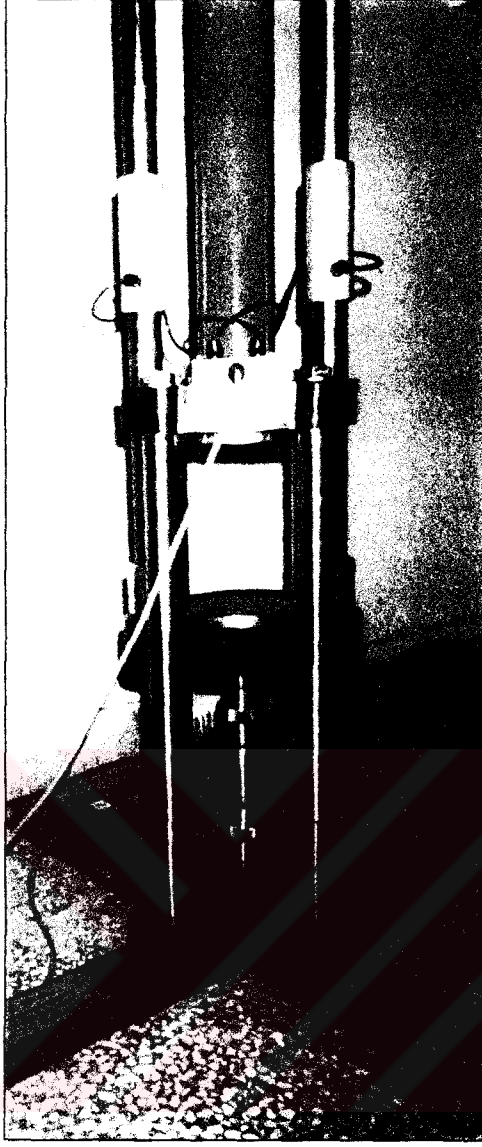
Şekil 6.2'de deney düzeneğinin, yük ölçer ve kontrol ünitesi, fotoğraf olarak verilmiştir. Şekil 6.3 ve 6.4'de ise deney düzeneğinin hidrolik pompa ve kafes bölümlerinin fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 6.2: Deney düzeneğinin yük ölçer ve kontrol ünitesi



Şekil 6.3: Deney düzeneğinin fotoğraf olarak görünümü



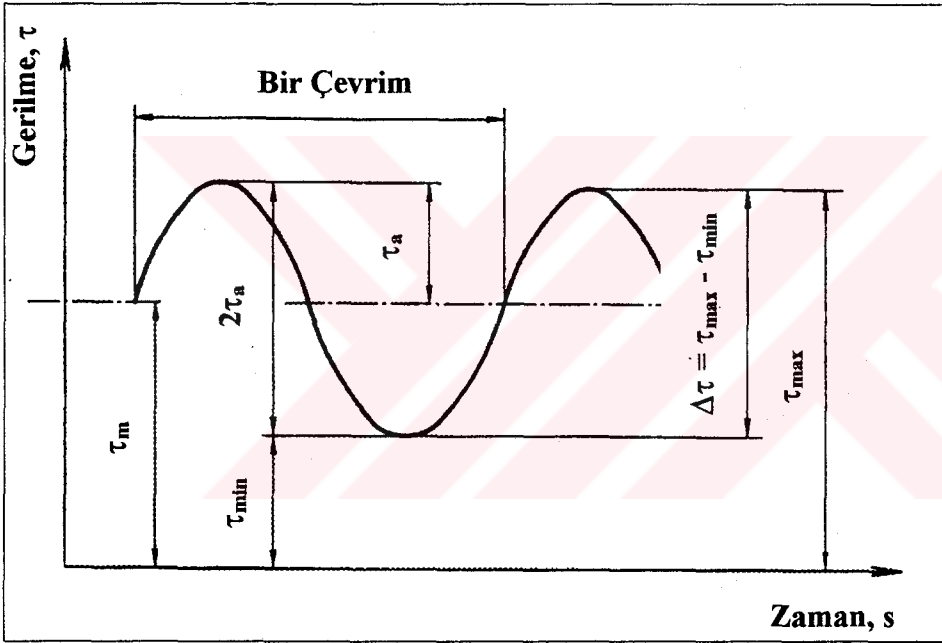
Şekil 6.4: Deney düzeneğinin kafes (numune bağlama) bölümünün görünümü

6.2 Yükleme Durumu

Deneylerde yükleme durumu olarak, ISO 9664 standardında verilen genel değişken yükleme durumu kullanılmıştır (Şekil 6.5). Adı geçen standartta plaka şeklindeki numunelerin yapıştırma bağlantılarının yorulma standartları verilmiştir.

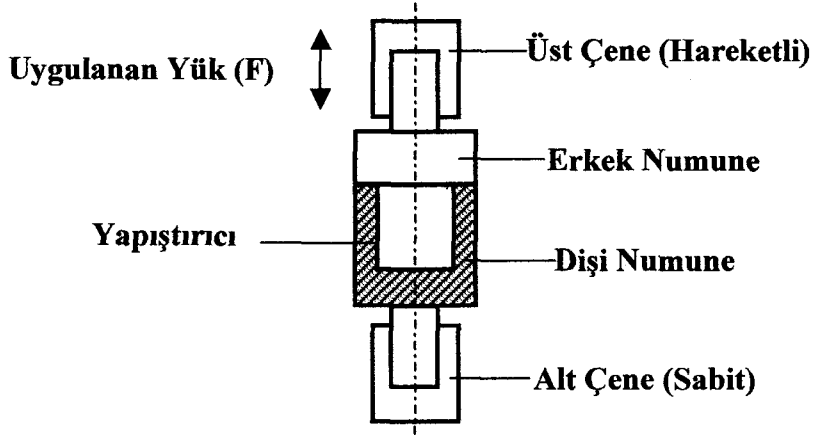
Yapılan deneylerde mil-göbek bağlantılarına uyum sağlaması açısından silindirik numuneler kullanılmıştır. Silindirik numunelerin yorulması ile ilgili herhangi bir standart mevcut olmadığı için ISO 9664 standardı referans olarak alınmıştır.

Kontrol ünitesi üzerinde bulunan potansiyometreler yardımıyla deney numuneleri üzerine uygulanan minimum ve maksimum kuvvet istenilen değerlerde ayarlanarak, minimum ve maksimum kesme gerilmeleri elde edilmiştir. Bu gerilme değerlerine maruz bırakılan bağlantılar belirli çevrim sayılarında koparak hasara uğramışlardır.

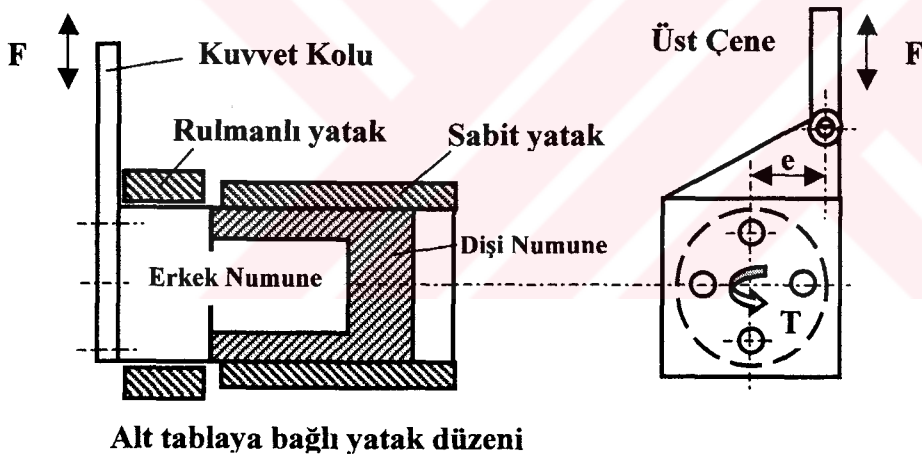


Şekil 6.5: Deney numuneleri üzerine uygulanan yükleme durumu (ISO 9664, 1993)

Yapılan deneylerde iki değişik numune kullanılarak, üzerlerine çeki kuvveti verilerek kesme gerilmesi ve kuvvet kolu (eksantriklik, $e = 20$ mm) verilerek burulma gerilmesi uygulanmıştır. Kuvvet uygulama şekilleri, şematik olarak Şekil 6.6'da, fotoğraf olarak Şekil 6.7'de verilmiştir.



a) Çeki kuvveti altında kesme gerilmesi uygulanması



b) Numuneye eksantriklik (e) verilerek burulma gerilmesi uygulanması

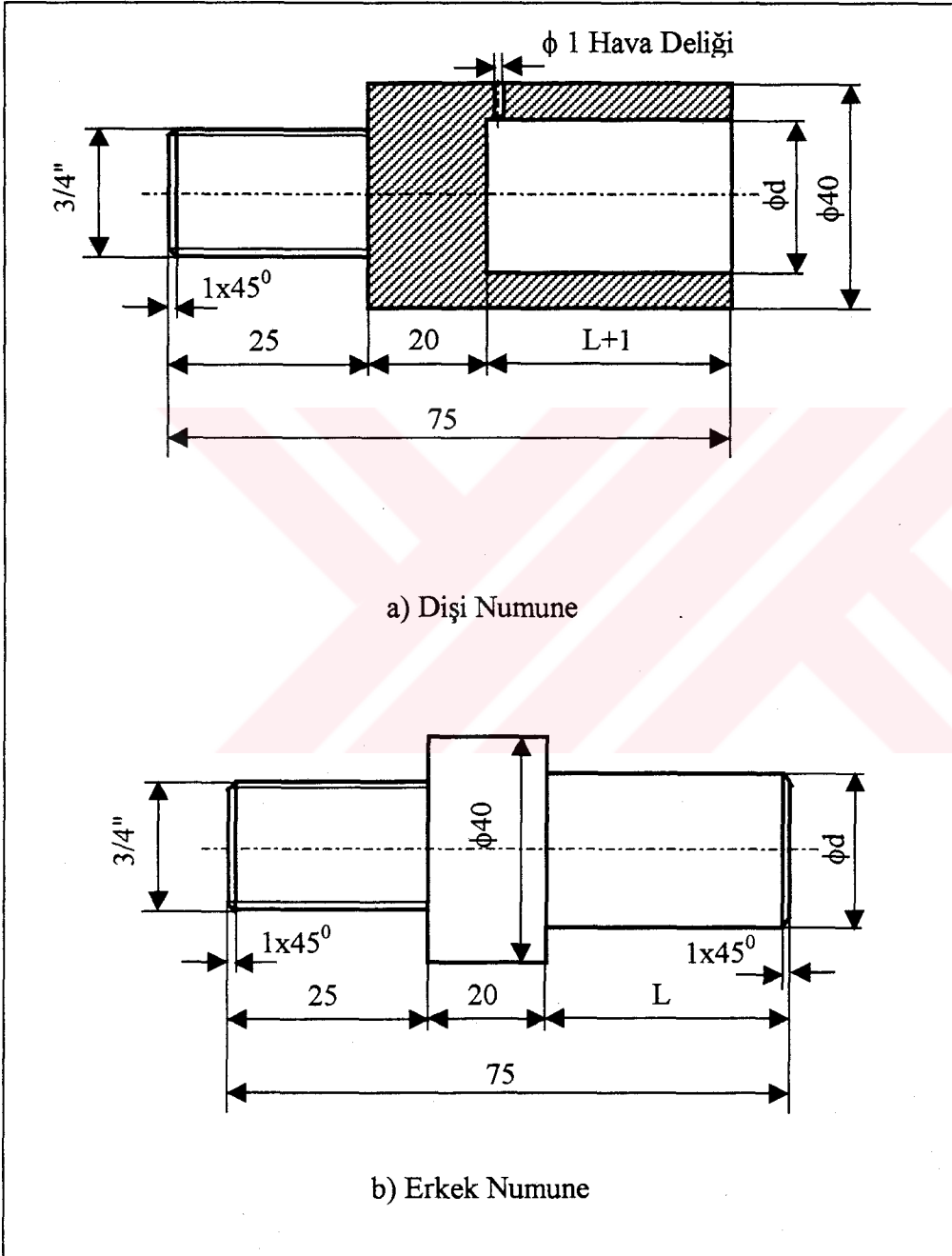
Şekil 6.6: Deneysel numunelerine gerilme uygulama şekilleri



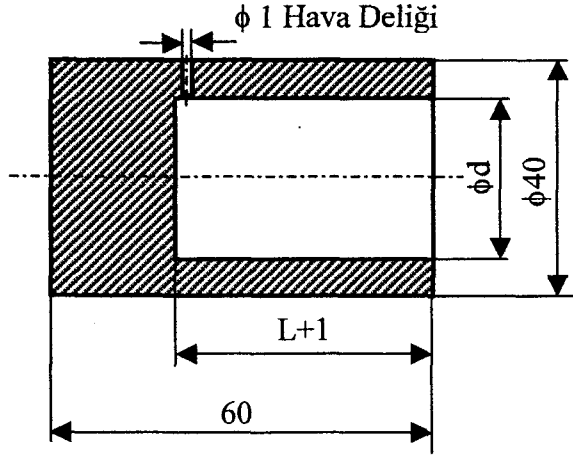
Şekil 6.7: Kuvvet uygulama şekillerinin fotoğraf olarak görünümü

6.3 Deney Numuneleri

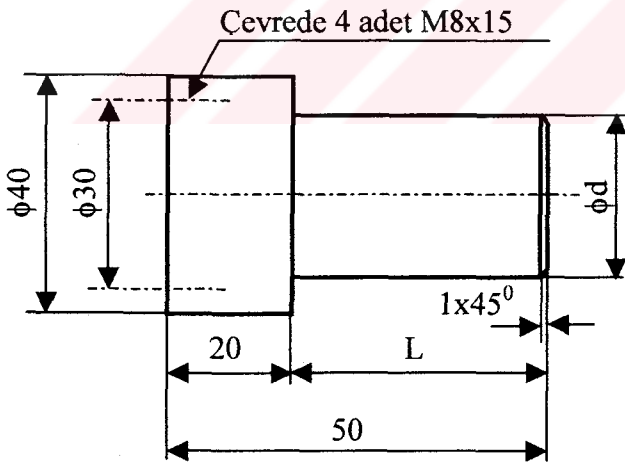
Şekil 6.8 ve 6.9'da resmi verilen deney numuneleri Çağdaş Makine Kalıp Limitet Şirketi'nde (Denizli) imal ettirilmiştir.



Şekil 6.8: Çeki kuvveti altında kesme gerilmesi ile zorlanan deney numunesi



a) Dişi Numune



b) Erkek Numune

Şekil 6.9: Burulma gerilmesi ile zorlanan deney numunesi

Deneylerde üç farklı malzeme kullanılmıştır. Bu malzemelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 6.1'de verilmiştir. Kimyasal analizler Denizli Kosgeb laboratuvarlarında yapılmıştır. İmalatı yapılan deney numuneleri, Loctite 7061 temizleyici ile temizlendikten sonra erkek numuneler üzerine teknik özellikleri Çizelge 6.2 'de verilen yapıştırıcı (Loctite 638) uygulanarak dişi numunelerin içerisine geçirilmiş ve oda sıcaklığında 24 saat sertleşme işlemine bırakılmışlardır.

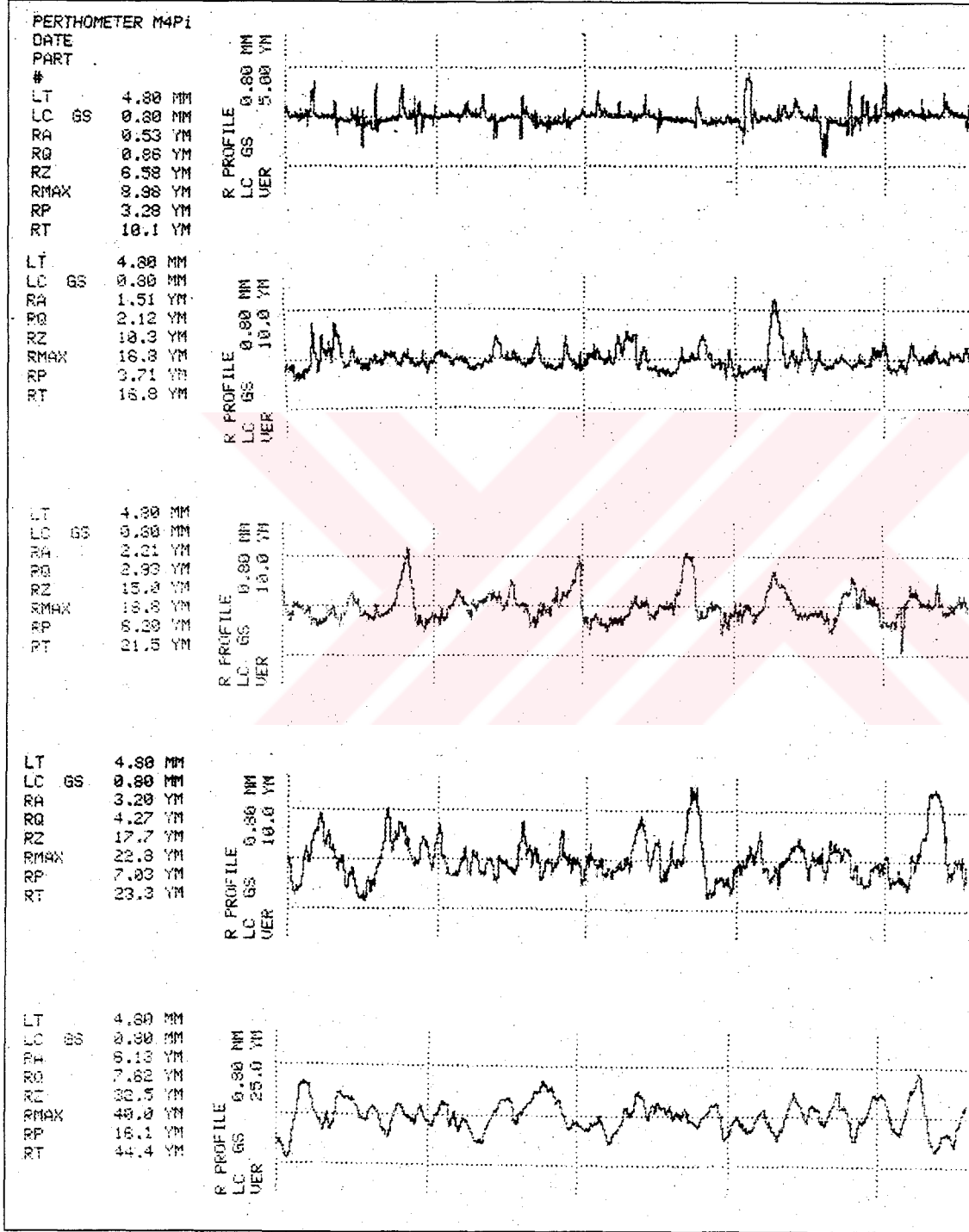
Sıkı geçme bağlantılarında ise dişi numuneler fırında yaklaşık 200°C'de ısıtılarak yapıştırıcı uygulanmış erkek numunelerin üzerine monte edilmiştir. Literatürde (Loctite, 1998) sıkı geçme bağlantılarının yapıştırma işlemleri yapılırken dişi numunelerin maksimum 200°C civarında ısıtılarak genişletilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklarda, yapıştırıcının kimyasal özelliklerindeki değişiklikler nedeniyle yapışma olayı tam olarak gerçekleşmemektedir. Bundan dolayı çok yüksek sıcaklıklara sahip geçmelerin yapıştırılmasında kısıtlamalar olmaktadır.

Çizelge 6.1: Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri

Kimyasal Bileşim(%)	Çelik	Bronz	Alüminyum
C	0,188	---	---
Si	0,135	---	0,421
Mn	0,578	0,0008	0,024
P	0,023	---	---
S	0,058	---	---
Cu	0,177	86,02	0,116
Ni	0,111	0,498	0,0010
Cr	0,067	---	---
Mo	0,012	---	---
Fe	98,65	0,071	0,704
Sn	---	4,85	---
Pb	---	4,83	---
Zn	---	3,72	0,027
Al	---	0,0006	98,24
Mg	---	---	0,468

İmalatı gerçekleştirilen deney numunelerinin yüzey pürüzlülükleri Erbakır A.Ş. laboratuvarlarında bulunan Mahr Perthometer M4Pi marka profilometre ile ölçülmüştür.

Farklı yüzey pürüzlülüklerine sahip yüzeyler elde edebilmek için farklı numaralarda zımpara kağıdı kullanılmıştır. Şekil 6.10'da ölçülen yüzey pürüzlülüklerine ait bazı değerler ve grafikler verilmiştir. Cihaz R_a 'nın yanı sıra R_z , R_t , R_{max} gibi değerleri de ölçebilmektedir.



Şekil 6.10: Ölçülen yüzey pürüzlülüklerine ait değerler ve grafikler

6.4 Deneyleerde Kullanılan Yapıştırıcının Teknik Özellikleri

Deneyleerde kullanılan Loctite 638 marka yapıştırıcılar Emek Makine A.Ş.'den (Denizli) temin edilmiştir.

Loctite 638, yüksek dayanımlı, silindirik bağlantıları birleştirmek için geliştirilmiş aneorobik yapıştırıcıdır. 0,25 mm boşluğa kadar olan silindirik parçaları birleştirebilir. Dinamik, aksnel ve radyal yükleme şartlarında mukavemet açısından iyi sonuçlar vermektedir. Dişli, mil, kasnak gibi silindirik parçaların birleştirilmesinde kullanılır. Üretici firma tarafından belirtilen fiziksel ve polimerizasyon özellikleri Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2: Loctite 638'in fiziksel özellikleri

FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	
Kimyasal Bileşim	Üretan Metakrilat
Renk	Yeşil
Viskozite (25 °C'de, mPa.s)	2500
Özgül Ağırlık (g/ml)	1,09
Max. Boşluk Doldurma	0,25 mm
Yanma Noktası	> 93 °C
Tutma Mukavemetine Erişim (20 °C'de)	Çelik, 20 min
İşlevsel Tutma Mukavemetine Erişim	Çelik, 1 h
Nihai Tutma Mukavemetine Erişim	Çelik, 5 – 6 h
Isıl Genleşme Katsayısı (K ⁻¹)	80.10 ⁻⁶
Isıl İletkenlik (W/mK)	0,1
Kesme Mukavemeti (ISO 10123)	22 – 40 N/mm ²
Çalışma Sıcaklığı	+125 °C'ye kadar
Ambalaj	50 – 250 ml'lik şişeler

YEDİNCİ BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 Dinamik Kesme Gerilmesi Durumu

Dinamik kesme gerilmesi verebilmek için, Şekil 6.6'da verilen numuneler üzerine Şekil 6.4. a'da verilen yükleme durumu uygulanmıştır. Yapıştırıcı üzerine uygulanan minimum ve maksimum kuvvet, kontrol ünitesi üzerinde bulunan potansiyometrelerin hidrolik tank üzerinde bulunan servo-valfe kumanda ettirilmesiyle sağlanmış, minimum ve maksimum gerilme değerleri elde edilmiştir. Yapıştırma bağlantısının yük tekrar sayısı yine kontrol ünitesi üzerinde bulunan mekanik sayaç yardımıyla ölçülmüştür.

Silindirik yapıştırma bağlantılarının mukavemetini etkileyen faktörler, 5. Bölümde incelenmişti. Daha önce incelenen bu faktörlerden önemli görülen ve aşağıda verilen faktörlerin, bağlantının dinamik yükleme altındaki dayanım değerlerini nasıl etkilediği yapılan deneyler yardımıyla incelenmeye çalışılmıştır. Dinamik kesme gerilmesi altında aşağıdaki faktörler incelenmiştir:

- Yapıştırma boşluğunun etkisi,
- Sıkı geçme ve yapıştırma durumunda bağlantının durumu,
- Yapıştırılan malzemenin etkisi,
- Yüzey pürüzlülüğünün etkisi ve
- Yükleme durumunun etkisi.

7.1.1 Yapıştırma Boşluğunun Etkisi

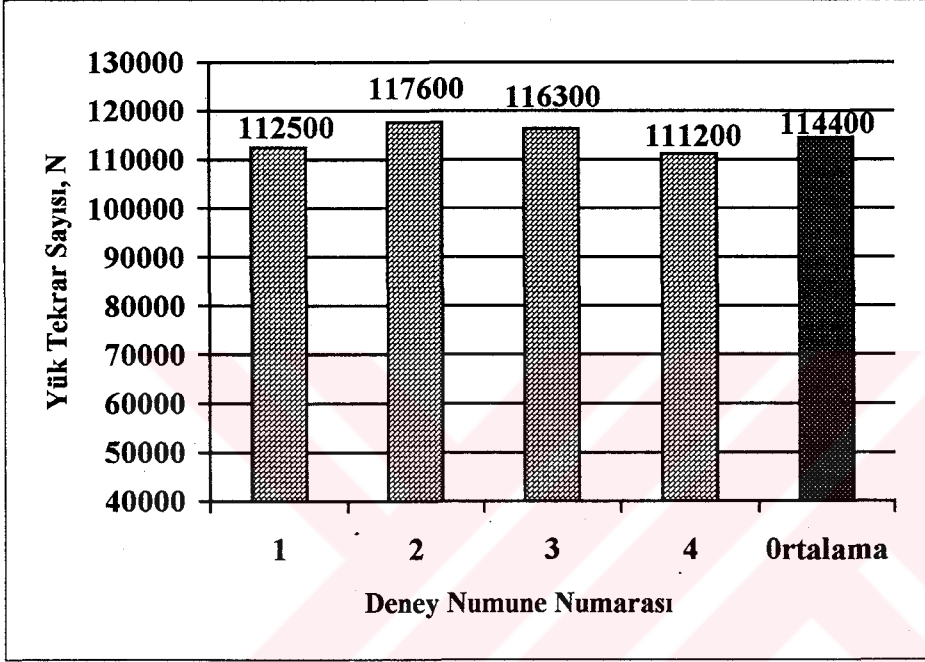
Yapıştırma boşluğunun, yapıştırma bağlantısının mukavemetine etkisi incelenirken, erkek ve dişi numune çapları arasında beş farklı boşluk değeri (0,0; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3 mm) seçilerek deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde uygulanan deney şartları Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1: Yapıştırma boşluğu etkisinin tespiti için uygulanan deney şartları

İlgili Standart	ISO 9664, ASTM D 3166-73				
Yapıştırılan Malzeme	Çelik-Çelik				
Kullanılan Yapıştırıcı	Loctite 638				
Yüzey Temizleme	Loctite 7061*				
Ortam Sıcaklığı (°C)	22 ± 3				
Yüzey Pürüzlülüğü, R _a (µm)	1,5				
Çap / Boy Oranı	30/30 = 1				
Numune Sayısı	4				
Test Frekansı (Hz)	0,75				
Minimum Kuvvet, F _{min} (N)	5000				
Minimum Gerilme, τ _{min} (N/mm ²)	1,76				
Maksimum Kuvvet, F _{max} (N)	25000				
Maksimum Gerilme, τ _{max} (N/mm ²)	8,84				
Ortalama Gerilme, τ _m (N/mm ²)	5,3				
Gerilme Genliği, τ _a (N/mm ²)	3,54				
Yapıştırma Boşluğu, s (mm)	0,0	0,1	0,15	0,2	0,3
Ortalama Statik Kesme Kuvveti, F _R (N)	72500	69900	62300	54100	42200
Ortalama Statik Kesme Mukavemeti, τ _R (N/mm ²)	25,64	24,74	22,05	19,15	14,93
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	114400	105000	89500	70200	49500
* Loctite 7061: Loctite tarafından anaerobik yapıştırıcı ile yapıştırılacak yüzeylerin temizlenmesi için geliştirilmiş, aseton-alkol bazlı korozif etkisi olmayan, yüzeye uygulandığında 20 °C'de 60 saniyede kuruyan bir temizleme spreyidir.					

Çizelge 7.2: $s = 0,0$ mm için deney sonuçları

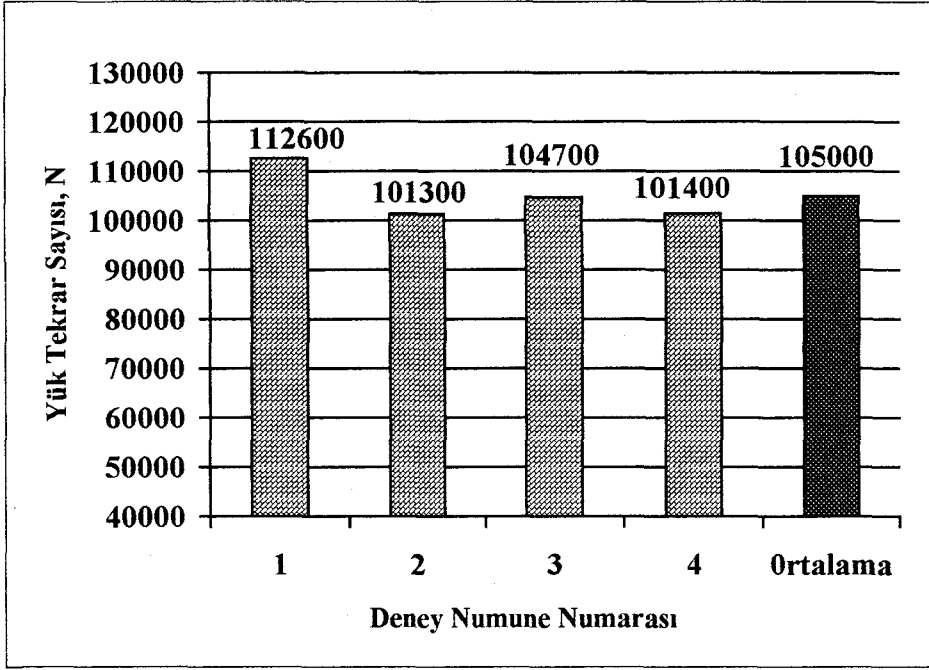
Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ort. Statik Kesme Kuv., F_R (N)	70700	74300	71800	73200	72500
Ort. Yük Tekrar Sayısı, N	117600	112500	116300	111200	114400

Şekil 7.1: $s = 0,0$ mm için deney sonuçlarının grafik gösterilmesiÇizelge 7.3: $s = 0,1$ mm için deney sonuçları

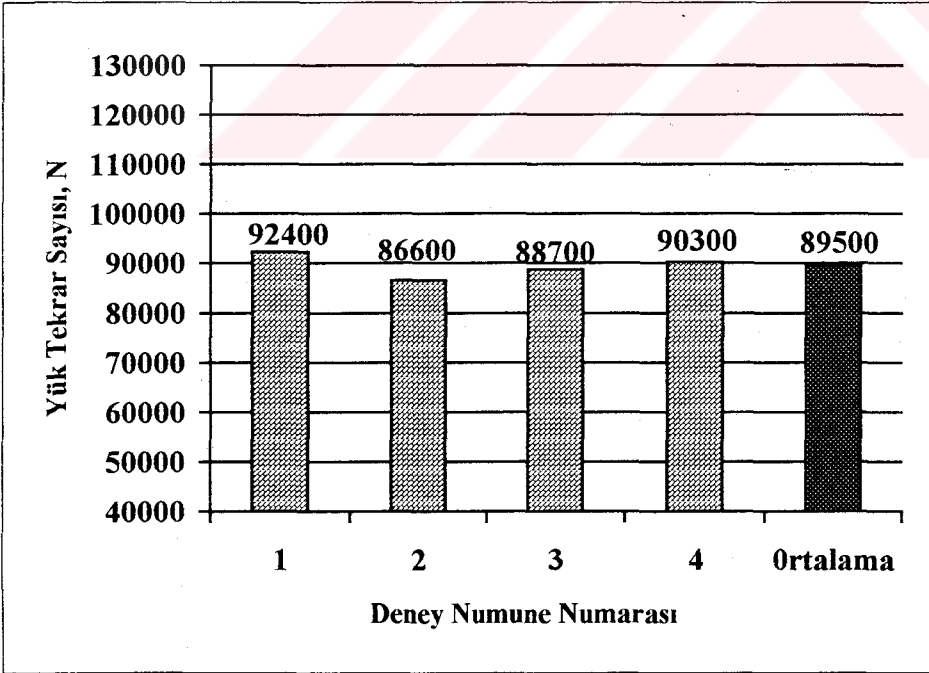
Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ort. Statik Kesme Kuv., F_R (N)	65200	72400	64700	77300	69900
Ort. Yük Tekrar Sayısı, N	112600	101300	104700	101400	105000

Çizelge 7.4: $s = 0,15$ mm için deney sonuçları

Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ortalama Statik Kesme Kuv., F_R (N)	59100	63200	62800	64100	62300
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	92400	86600	88700	90300	89500



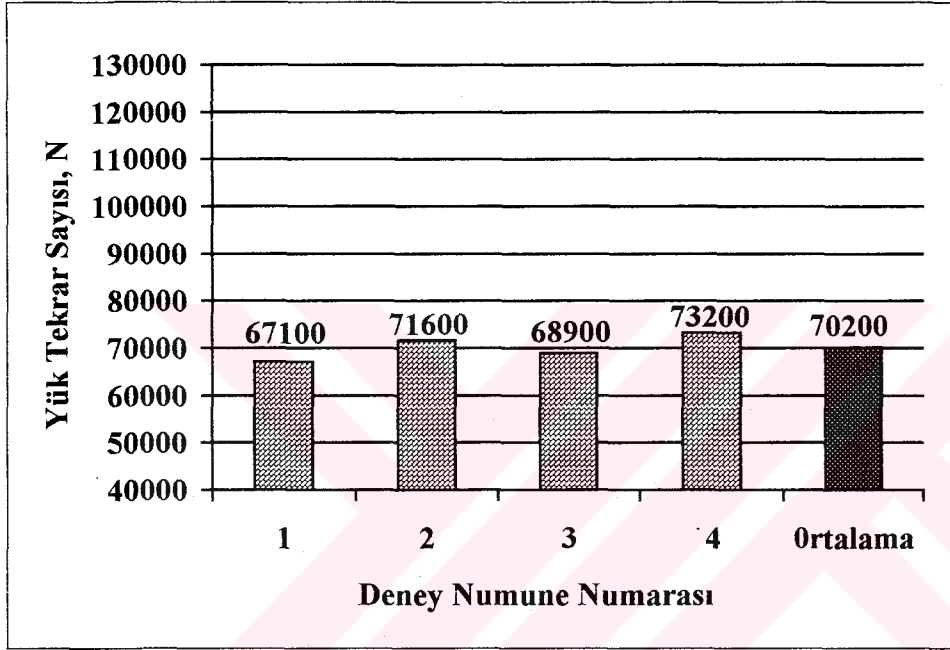
Şekil 7.2: $s = 0,1$ mm için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi



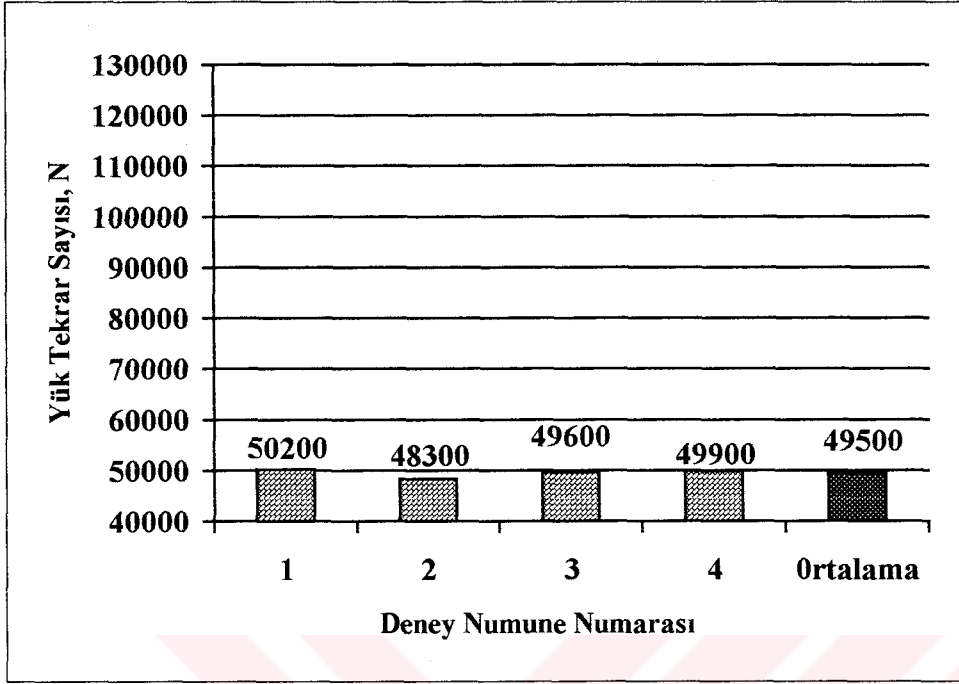
Şekil 7.3: $s = 0,15$ mm için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi

Çizelge 7.5: $s = 0,2$ mm için deney sonuçları

Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ortalama Statik Kesme Kuv., F_R (N)	53600	55700	55200	51900	54100
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	67100	71600	68900	73200	70200

Şekil 7.4: $s = 0,2$ mm için deney sonuçlarının grafik gösterilmesiÇizelge 7.6: $s = 0,3$ mm için deney sonuçları

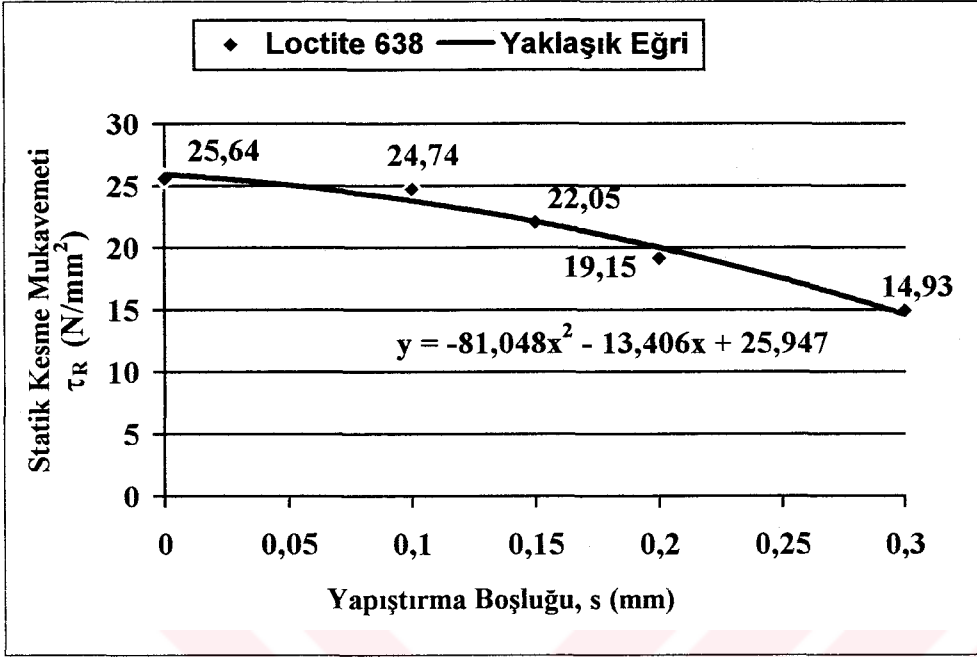
Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ortalama Statik Kesme Kuv., F_R (N)	43500	41400	42200	41700	42200
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	50200	48300	49600	49900	49500



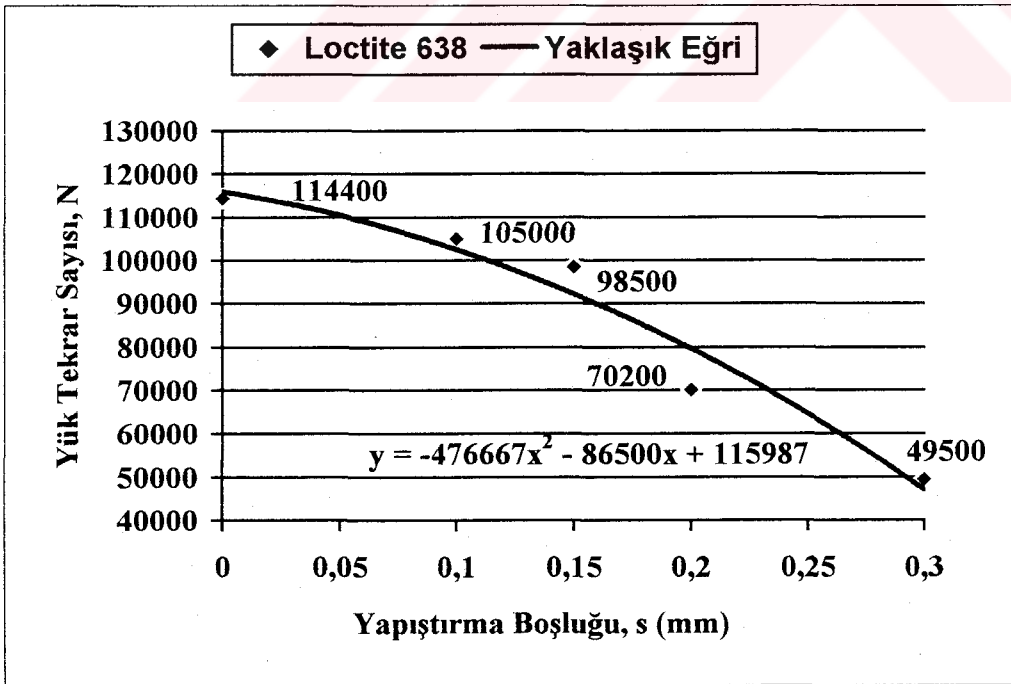
Şekil 7.5: $s = 0,3$ mm için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi

Şekil 7.6 ve Şekil 7.7'den görüleceği gibi yapıştırma boşluğu dolayısıyla yapıştırılan yapıştırıcı film tabakası kalınlığı arttıkça bağlantının statik ve dinamik mukavemet değerlerinde önemli azalmalar meydana gelmektedir. Bağlantının statik kesme mukavemet değerlerinde, boşluk üç kat arttığında, yaklaşık %40 azalma görülmüştür. Yapıştırma boşluğu iki kat arttığında yük tekrar sayısı %40, üç kat arttığında yaklaşık %57 azalma göstermiştir.

Bu verilen değerlerden, boşluk arttıkça iki malzeme arasında oluşan adhezyon mukavemetinin azalarak yerini yapıştırıcının kendi bünyesinde bulunan kohezyon mukavemetine bıraktığı anlaşılmaktadır. Yapıştırma bağlantılarında kohezyon kopması (yapıştırıcının kendi içerisinde kopması) hiçbir zaman istenmez. Yapıştırıcı ile malzeme arasındaki sınır tabakadan kopma olayının gerçekleşmesi istenir.



Şekil 7.6: Yapıştırma boşluğunun statik mukavemet üzerine etkisi



Şekil 7.7: Yapıştırma boşluğunun yük tekrar sayısı üzerine etkisi

En küçük kareler yöntemi ile Excel programında regresyon analizi yapılacak olursa, statik kesme mukavemeti (τ_R) ile yapıştırma boşluğu (s) arasında,

$$y = ax^2 + bx + c \quad (7.1)$$

şeklinde bir eşitlik yazılabilir. Bu eşitlikde, Şekil 7.6'ya göre y - eksenine (τ_R), x- eksenine yerine (s) yazılacak olursa;

$$\tau_R = a \cdot s^2 + b \cdot s + c \quad (7.2)$$

eşitliği elde edilir. Şekil 7.6'da verilen değerler ile hesaplamalar yapıldığında;

$a = -81,048$; $b = -13,406$; $c = 25,947$ ve korelasyon katsayısı, $R^2 = 0,9759$ bulunur. Bu değerler (7.2) eşitliğinde yerine konulacak olursa;

$$\tau_R = -81,048 \cdot s^2 - 13,406 \cdot s + 25,947 \quad (7.3)$$

eşitliği elde edilir. Akkurt (1997, s. 204) 'de verilen çizelgeden, %99 güvenilirlik, $n = 5$ ve $v = 3$ için, $R^2 = 0,878$ bulunur. Bu değer, hesaplamalarda bulunan $R^2 = 0,9759$ değerinden küçük olduğu için, kesme gerilmesi ile yapıştırma boşluğu arasında bulunan bağıntı, uygulanan deney şartlarında %99 güvenilirlik ile geçerlidir.

Aynı şekilde, Şekil 7.7'de verilen değerlere göre, yük tekrar sayısı (N) ile yapıştırma boşluğu (s) arasında hesaplamalar yapılır ise;

$a = -476667$; $b = -86500$; $c = 115987$ ve korelasyon katsayısı, $R^2 = 0,9512$ bulunur. Bu değerler (7.1) denkleminde, y - eksenine (N), x - eksenine (s) alınarak yerine konulursa;

$$N = -476667 \cdot s^2 - 86500 \cdot s + 115987 \quad (7.4)$$

eşitliği bulunur. Bu eşitlikler aynı deney şartlarında farklı yapıştırma çap ve boyları içinde yaklaşık olarak geçerlidir.

7.1.2 Sıkı Geçmenin Etkisi

Dişi ve erkek numuneler arasına H7/r6 ve H7/u6 sıkı geçmeleri verilerek, sıkı geçmenin bağlantı mukavemetine etkisi incelenmiştir. Dişi numune yaklaşık 200°C civarında fırında ısıtılarak genişletilmiş ve yapıştırıcı uygulanmış erkek numune üzerine geçirilerek bağlantılar gerçekleştirilmiştir. Uygulanan deney şartları Çizelge 7.7’de verilmiştir.

Çizelge 7.7: Sıkı geçme etkisinin tespiti için uygulanan deney şartları

İlgili Standart	ISO 9664, ASTM D 3166-73			
Yapıştırılan Malzeme	Çelik-Çelik			
Kullanılan Yapıştırıcı	Loctite 638			
Yüzey Temizleme	Loctite 7061			
Ortam Sıcaklığı (°C)	15 ± 5			
Yüzey Pürüzlülüğü, R _a (µm)	1,5			
Boy / Çap Oranı	20/30 = 0,66			
Numune Sayısı	4			
Test Frekansı (Hz)	0,75			
Minimum Kuvvet, F _{min} (N)	6000			
Minimum Gerilme, τ _{min} (N/mm ²)	5,06			
Maksimum Kuvvet, F _{max} (N)	30000			
Maksimum Gerilme, τ _{max} (N/mm ²)	15,91			
Ortalama Gerilme, τ _m (N/mm ²)	10,48			
Gerilme Genliği, τ _a (N/mm ²)	5,42			
Sıkı Geçme	H7/r6		H7/u6	
	U _k =7µm; U _g =41µm		U _k =27µm; U _g =61µm	
Ortalama Statik Kesme Kuvveti, F _R (N)	SG + Y	SG	SG + Y	SG
	67700	17300	70500	20175
Ort. Statik Kesme Mukavemeti, τ _R (N/mm ²)	35,91	9,17	37,4	10,7
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	174000	29400	186050	38500
SG: Sıkı geçme, Y: Yapıştırma, U _k : Minimum sıklık, U _g : Maksimum sıklık				

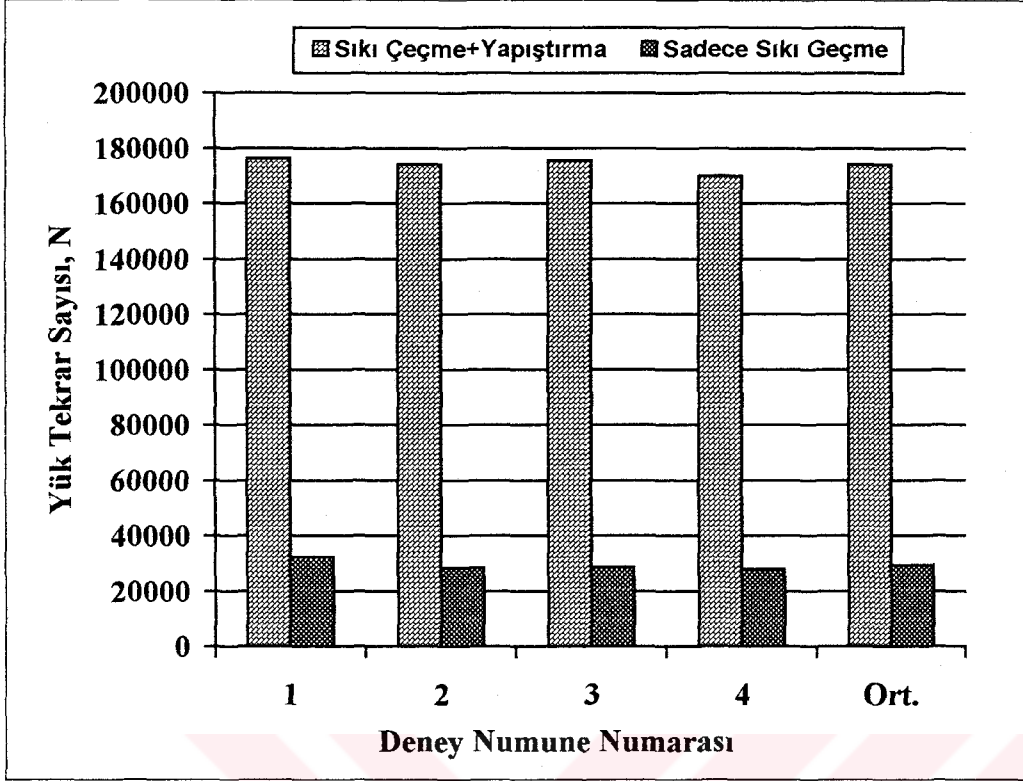
Sıkı geçme bağlantıları genel makine imalatında birçok yerde kullanılmaktadır. Mil göbek bağlantılarında, rulmanlı yatakların montajı gibi yerlerde kendilerine geniş kullanım alanları bulmuşlardır. Deneylerde kullanılan yapıştırıcıların katalog bilgilerinde özellikle sıkı geçme bağlantıları için iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir. Ancak çok küçük toleranslarda çalışmak zaman ve işçilik maliyeti getireceğinden sıkı geçmeye ilave olarak yapıştırma çok iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca küçük kuvvet ve moment ileten mekanizmalarda pim, kama gibi maliyet ve işçilik gerektiren diğer birleştirme metotlarını ortadan kaldırmaktadır.

Çizelge 7.9, Şekil 7.8 ve 7.9'dan görüleceği gibi, sıkı geçme + yapıştırma bağlantısı, sadece sıkı geçme bağlantısına göre statik mukavemet açısından %400, yük tekrar sayısı açısından %600'e varan iyileşmeler sağlamıştır. Buda sıkı geçme bağlantılarında ilave yapıştırıcı kullanarak mukavemet açısından ortalama %500'lere varan iyileşmeler sağlanabileceğini göstermektedir. Ayrıca sıklık arttıkça bağlantının statik ve dinamik yük taşıma kabiliyetide artmaktadır (Çizelge 7.7 ve Şekil 7.10).

Çizelge 7.8: Sıkı geçme için deney sonuçları (H7/r6)

Sıkı Geçme + Yapıştırma					
Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ortalama Statik Kesme Kuvveti, F_R (N)	66200	68100	68400	68100	67700
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	176300	174200	175500	170000	174000

Sadece Sıkı Geçme					
Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ortalama Statik Kesme Kuv., F_R (N)	16400	18200	17500	17100	17300
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	32400	28500	28700	28000	29400

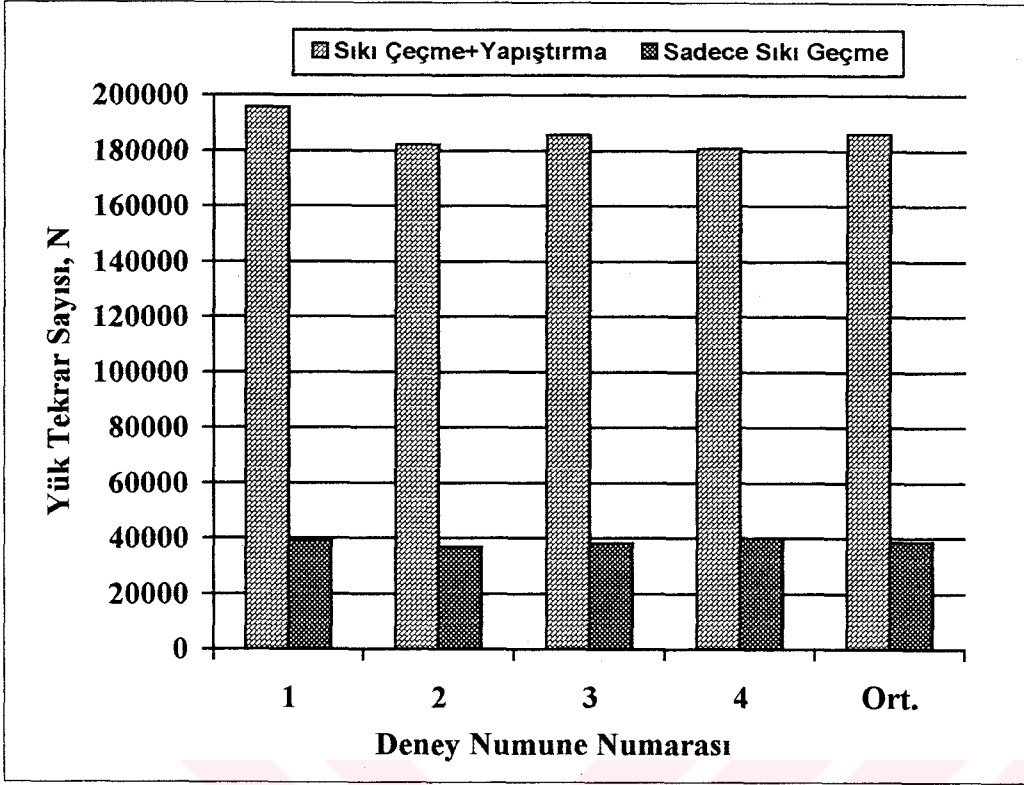


Şekil 7.8: Sıkı geçme için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi (H7/r6)

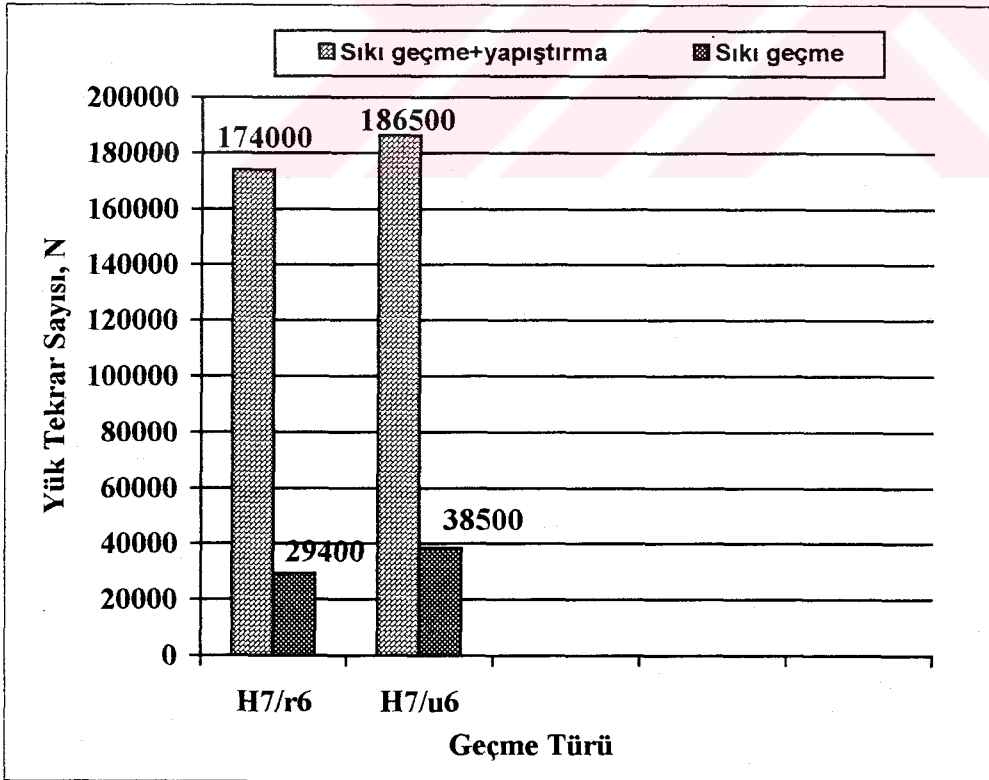
Çizelge 7.9: Sıkı geçme için deney sonuçları (H7/u6)

Sıkı Geçme + Yapıştırma					
Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ortalama Statik Kesme Kuvveti, F_R (N)	71800	70200	68500	71500	70500
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	195600	182100	185700	180800	186050

Sadece Sıkı Geçme					
Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ortalama Statik Kesme Kuv., F_R (N)	19400	21200	20800	19300	20175
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	39100	36800	38100	40000	38500



Şekil 7.9: Sıkı geçme için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi (H7/u6)



Şekil 7.10: Farklı sıkı geçmelerin karşılaştırılması

7.1.3 Malzemenin Etkisi

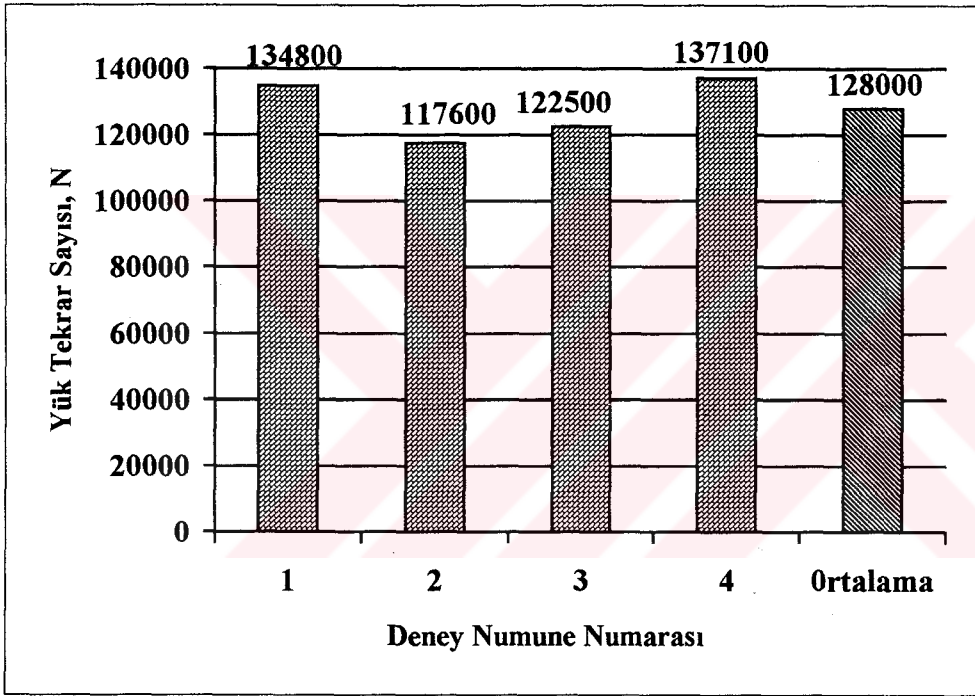
Yapıştırılacak malzeme seçimi yapılırken, özellikle genel makine sanayisinde kullanılan çelik, bronz ve alüminyumun gibi malzemelerin kullanılmasına dikkat edilmiştir. Çelik/bronz birleştirmesi, çelik mil ile bronz dişli göbeklerinin bağlantılarına örnek olması açısından incelenmiştir. Uygulanan deney şartları Çizelge 7.10'da verilmiştir.

Çizelge 7.10: Malzemenin etkisini tespit için uygulanan deney şartları

İlgili Standart	ISO 9664, ASTM D 3166-73			
Kullanılan Yapıştırıcı	Loctite 638			
Yüzey Temizleme	Loctite 7061			
Ortam Sıcaklığı (°C)	20 ± 5			
Yüzey Pürüzlülüğü, R _a (µm)	1,5			
Çap / Boy Oranı	30/30 = 1			
Yapıştırma Boşluğu, s (mm)	0,1			
Numune Sayısı	4			
Test Frekansı (Hz)	0,75			
Minimum Kuvvet, F _{min} (N)	5000			
Minimum Gerilme, τ _{min} (N/mm ²)	1,76			
Maksimum Kuvvet, F _{max} (N)	25000			
Maksimum Gerilme, τ _{max} (N/mm ²)	8,85			
Ortalama Gerilme, τ _m (N/mm ²)	5,3			
Gerilme Genliği, τ _a (N/mm ²)	3,54			
Yapıştırılan Malzeme	Çelik / Çelik	Bronz / Bronz	Çelik / Bronz	Alüminyum/ Alüminyum
Ort. Statik Kesme Kuvveti, F _R (N)	69900	72400	68500	34200
Ort. Statik Kesme Muk., τ _R (N/mm ²)	24,74	25,62	24,24	12,12
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	105000	128000	102300	51500

Çizelge 7.11: Bronz/bronz malzeme için deney sonuçları

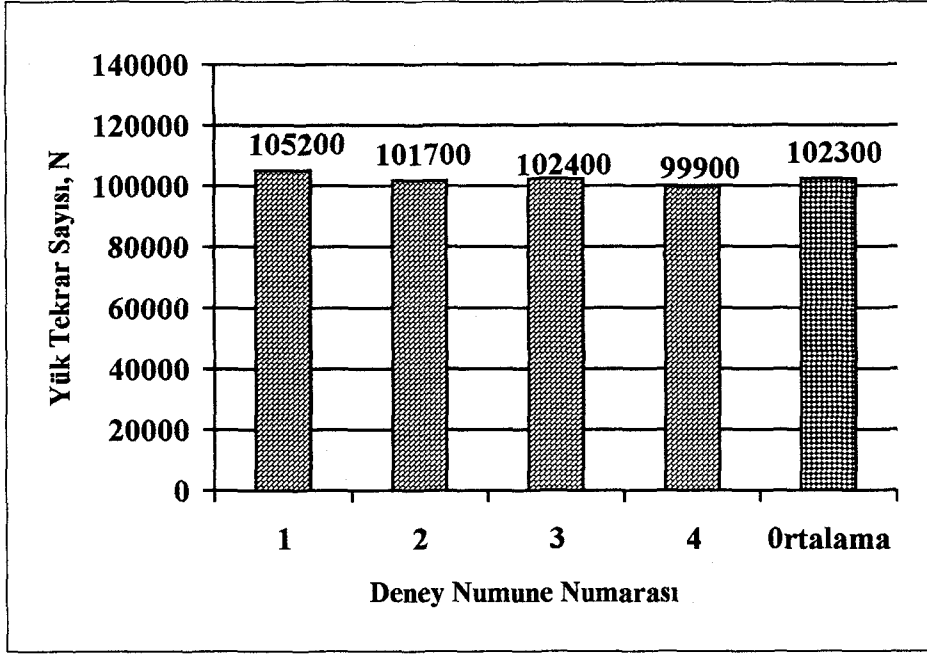
Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ortalama Statik Kesme Kuv., F_R (N)	70200	75700	76200	67500	72400
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	134800	117600	122500	137100	128000



Şekil 7.11: Bronz/bronz malzeme için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi

Çizelge 7.12: Çelik / bronz malzeme için deney sonuçları

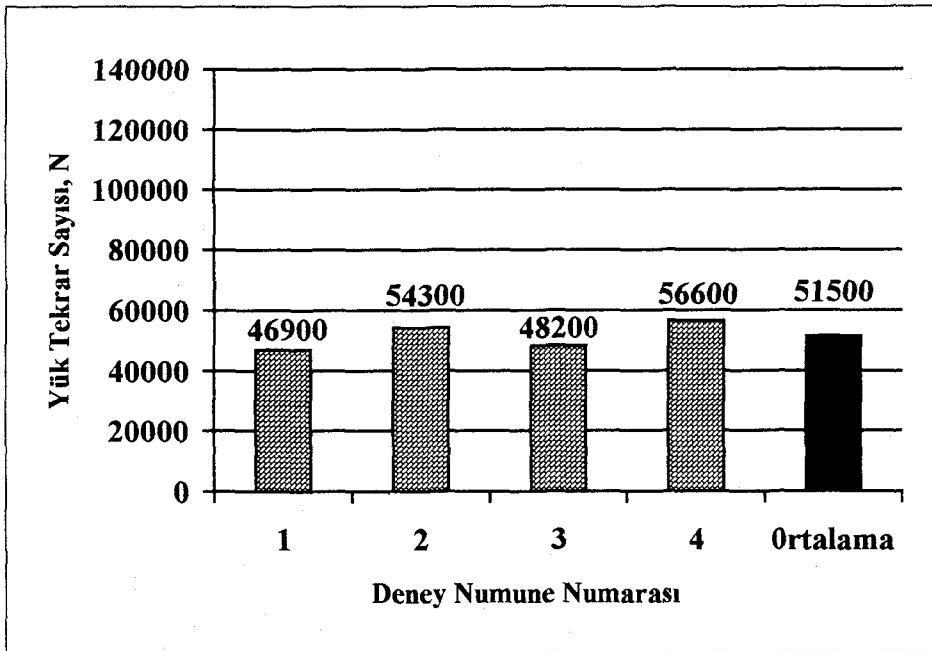
Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ortalama Statik Kesme Kuvveti, F_R (N)	67500	69700	69900	66900	68500
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	105200	101700	102400	99900	102300



Şekil 7.12: Çelik / bronz malzeme için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi

Çizelge 7.13: Alüminyum/alüminyum malzeme için deney sonuçları

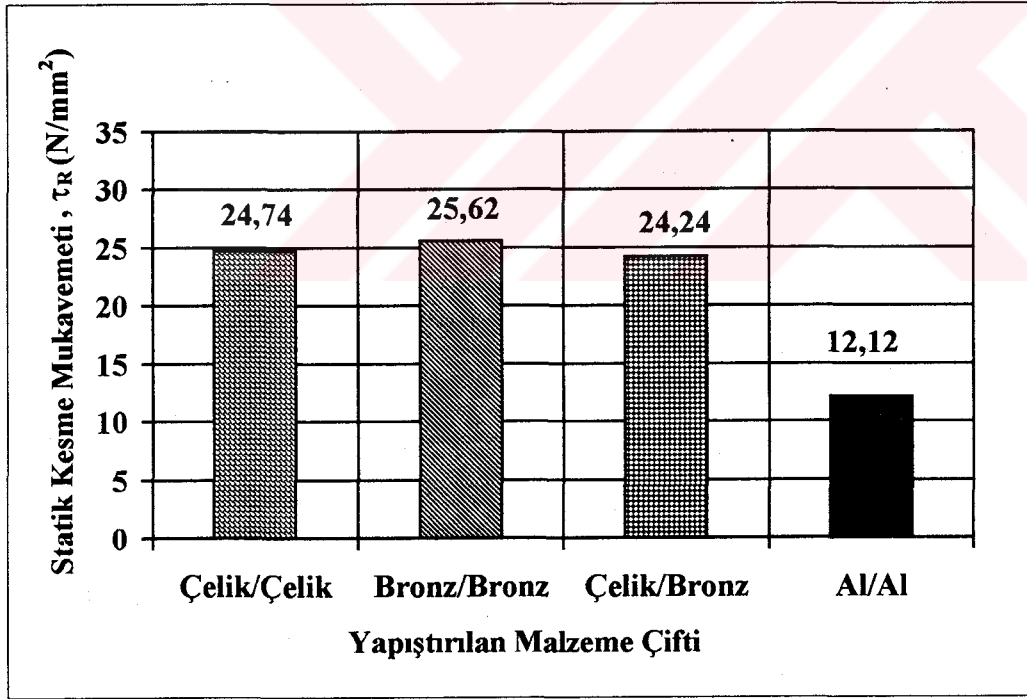
Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ortalama Statik Kesme Kuv., F_R (N)	27800	36400	37100	35500	34200
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	46900	54300	48200	56600	51500



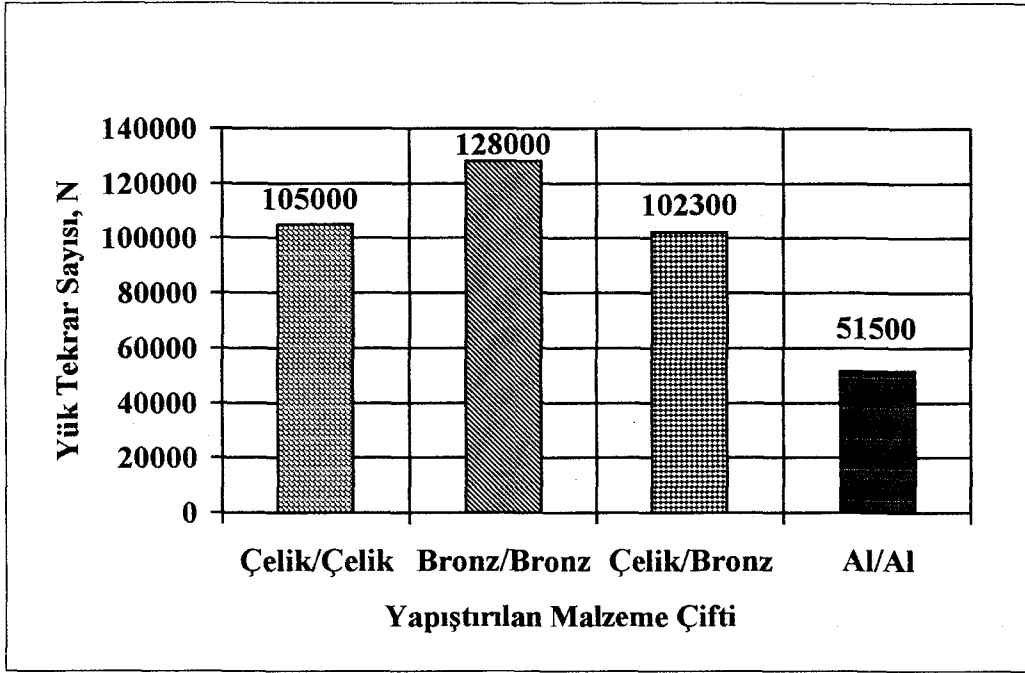
Şekil 7.13: Alüminyum/alüminyum için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi

Şekil 7.14 ve 7.15'den görüleceği üzere, aynı şartlar altında sadece malzeme değiştirildiğinde statik mukavemet ve yük tekrar sayılarında önemli azalmalar görülmektedir. Çelik ile alüminyum arasında statik mukavemet ve yük tekrar sayısı açısından %50'lere varan düşüşler olmaktadır. Bu farklılıkların, malzemelerin yapıştırıcı ile kimyasal reaksiyona girme seviyeleri, serbest yüzey enerjileri ve aktiflik - pasiflik durumlarından kaynaklandığı söylenebilir.

Alüminyum, pasif bir metal olduğu için yapıştırıcı ile kimyasal olarak daha zayıf bağlar oluşturmaktadır. Bronz içerisinde alüminyuma nazaran daha aktif olan bakır elementi (~ %85) bulunduğu için, yapıştırıcı ile kimyasal reaksiyona girerek daha kuvvetli bağlar oluşturmaktadır. Dolayısıyla bronz/bronz bağlantısının kopmasında daha çok adhezyon kopması, alüminyum/alüminyum bağlantısında ise kohezyon kopmasının meydana geldiği ileri sürülebilir.



Şekil 7.14: Yapıştırılan malzemenin statik mukavemete etkisi



Şekil 7.15: Yapıştırılan malzemenin yük tekrar sayısı üzerine etkisi

7.1.4 Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi

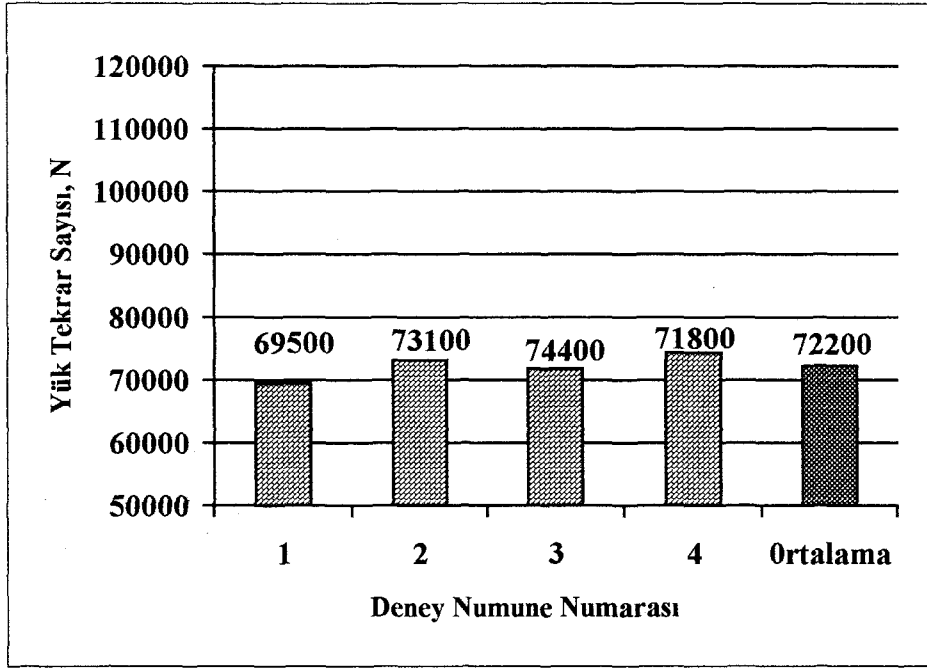
Yüzey pürüzlülüğünün, yapıştırma bağlantısının mukavemetine etkisi araştırılırken farklı yüzey pürüzlülüklerine sahip deney numuneleri kullanılmıştır. Yapıştırma boşluğu sabit tutularak, deney numuneleri torna tezgahında imal edildikten sonra farklı numaralarda zımpara kağıdı ile yine aynı tezgahta zımparalanarak farklı yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir. Uygulanan deney şartları Çizelge 7.14’de verilmiştir.

Çizelge 7.14: Yüzey pürüzlülüğü etkisinin tespiti için uygulanan deney şartları

İlgili Standart	ISO 9664, ASTM D 3166-73				
Kullanılan Yapıştırıcı	Loctite 638				
Yüzey Temizleme	Loctite 7061				
Ortam Sıcaklığı (°C)	18 ± 5				
Yapıştırılan Malzeme	Çelik-Çelik				
Çap / Boy Oranı	30/30 = 1				
Yapıştırma Boşluğu (mm)	0,1				
Numune Sayısı	4				
Test Frekansı (Hz)	0,75				
Minimum Kuvvet, F_{min} (N)	5000				
Minimum Gerilme, τ_{min} (N/mm ²)	1,76				
Maksimum Kuvvet, F_{max} (N)	25000				
Maksimum Gerilme, τ_{max} (N/mm ²)	8,85				
Ortalama Gerilme, τ_m (N/mm ²)	5,3				
Gerilme Genliği, τ_a (N/mm ²)	3,54				
Yüzey Pürüzlülüğü, R_a (μm)	0,45	1,5	2,3	3,2	6,2
Ortalama Statik Kesme Kuvveti, F_R (N)	51300	69900	67500	59700	57300
Ortalama Statik Kesme Mukavemeti, τ_R (N/mm ²)	18,15	24,74	23,89	21,11	20,26
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	72200	105000	98775	92950	87600

Çizelge 7.15: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 0,45 \mu\text{m}$ için deney sonuçları

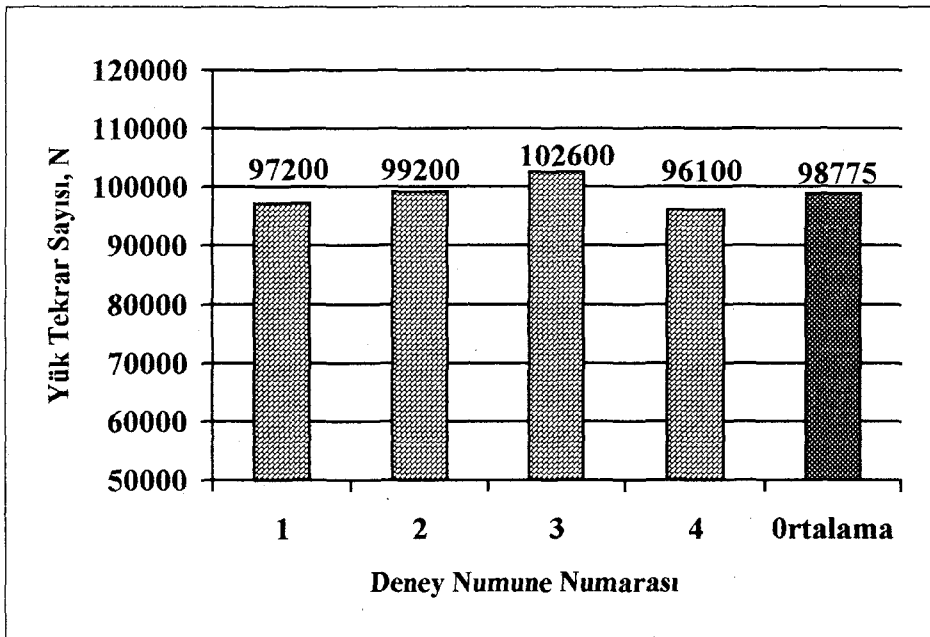
Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ortalama Statik Kesme Kuv., F_R (N)	50100	52200	51600	51300	51300
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	69500	73100	71800	74400	72200



Şekil 7.16: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 0,45 \mu\text{m}$ için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi

Çizelge 7.16: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 2,3 \mu\text{m}$ için deney sonuçları

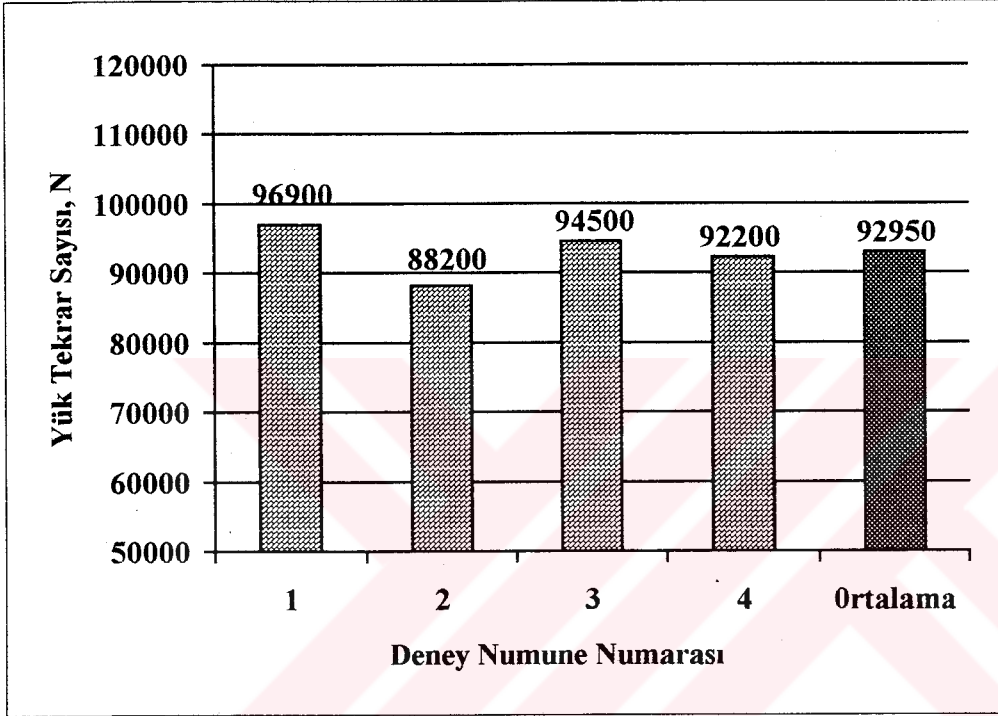
Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ort. Statik Kesme Kuv., F_R (N)	71400	68200	66500	63900	67500
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	97200	99200	102600	96100	98775



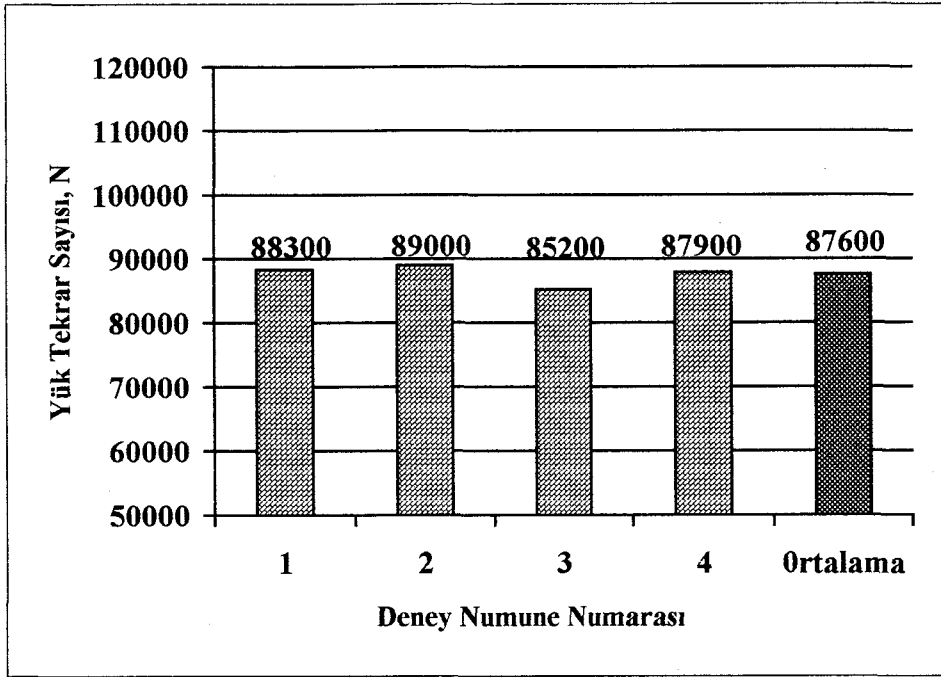
Şekil 7.17: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 2,3 \mu\text{m}$ için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi

Çizelge 7.17: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 3,2 \mu\text{m}$ için deney sonuçları

Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ortalama Statik Kesme Kuv., F_R (N)	50200	62300	56700	69600	59700
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	96900	88200	94500	92200	92950

Şekil 7.18: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 3,2 \mu\text{m}$ için deney sonuçlarının grafik gösterilmesiÇizelge 7.18: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 6,2 \mu\text{m}$ için deney sonuçları

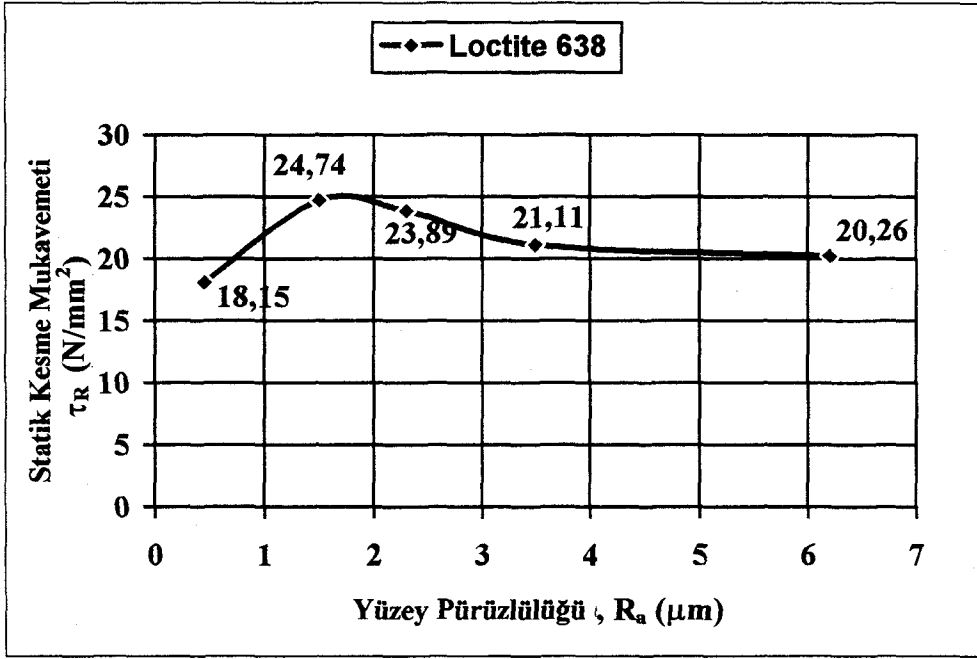
Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ortalama Statik Kesme Kuv., F_R (N)	58200	59500	56700	54800	57300
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	88300	89000	85200	87900	87600



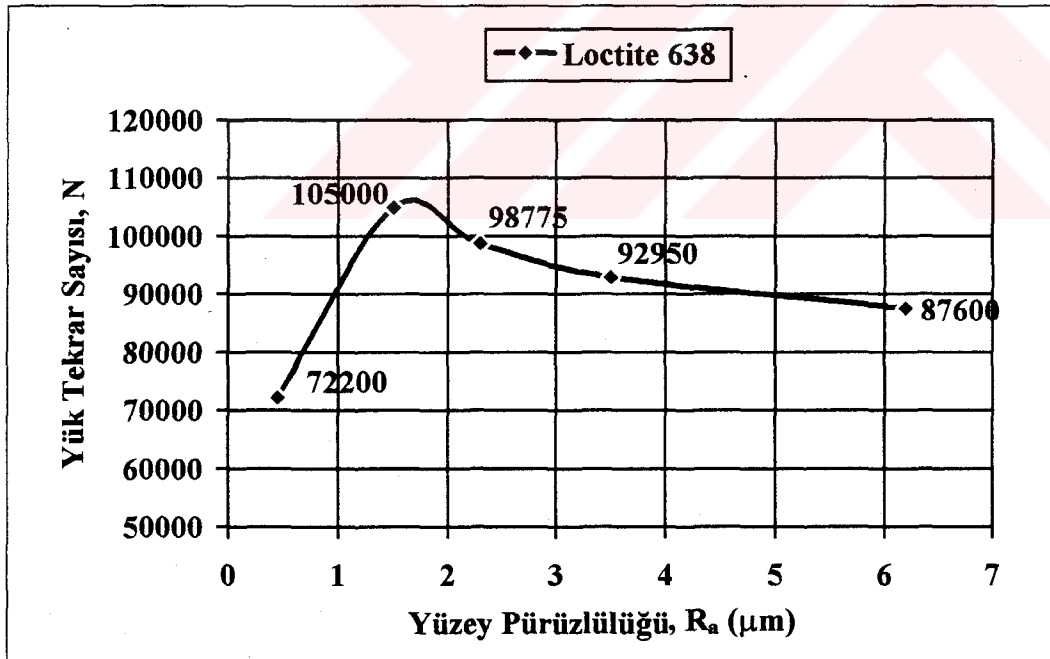
Şekil 7.19: Yüzey pürüzlülüğü $R_a = 6,2 \mu\text{m}$ için deney sonuçlarının grafik gösterilmesi

Şekil 7.20 ve 7.21’de farklı yüzey pürüzlülük değerlerindeki statik mukavemet ve yük tekrar sayıları verilmiştir. En düşük mukavemet değerleri, en az yüzey pürüzlülüğünde ($R_a = 0,45 \mu\text{m}$) bulunmuştur. Mukavemet açısından en optimum aralık $R_a = 1,5 - 2 \mu\text{m}$ olarak bulunmuştur. Literatürde statik yükleme için verilen pürüzlülük değerleri ($R_a = 1,5 - 3 \mu\text{m}$) ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

$R_a = 0,45 \mu\text{m}$ için minimum değerler bulunmasının nedeni yüzeyin pürüzsüz düz olmasından dolayı yapıştırıcının tutunacağı yerlerin ortadan kalkmasıdır. Yani kama etkisinin ortadan kaybolmasıdır. Yüzey pürüzlülüğü gereğinden fazla arttığı zamanda mukavemet değerleri tekrar düşmektedir. Bunun nedeni olarak; aradaki yapıştırıcı kalınlığının kısmen artmış olması ve fazla pürüzlülüğünden dolayı yapıştırıcının, malzeme yüzeyine tam olarak yayınamadığı (düşük ıslanabilirlik) söylenebilir.



Şekil 7.20: Yüzey pürüzlülüğünün statik mukavemet değerlerine etkisi



Şekil 7.21: Yüzey pürüzlülüğünün yük tekrar sayısı üzerine etkisi

Statik kesme mukavemeti (τ_R) ile yüzey pürüzlülüğü (R_a) arasında, regresyon analizi yapılarak, Şekil 7.20'de verilen eğri üslü fonksiyon ve doğru denklemi şeklinde parçalı olarak yazılırsa, $R_a = 0,45...3,2$ μm aralığında;

$$\tau_R = 1,095 \cdot R_a^3 - 8,62 \cdot R_a^2 + 19,66 \cdot R_a + 10,94 \quad (7.5)$$

$R_a = 3,2...6,2$ μm aralığında ise;

$$\tau_R = -0,314 \cdot R_a + 22,21 \quad (7.6)$$

eşitlikleri elde edilir.

Aynı yaklaşımla, yük tekrar sayısı (N) ile yüzey pürüzlülüğü (R_a) arasında Şekil 7.21'de verilen eğri parçalı üslü fonksiyon ve doğru denklemi şeklinde parçalı olarak yazılırsa, $R_a = 0,45...3,2$ μm aralığında;

$$N = 739,1 \cdot R_a^3 - 52521 \cdot R_a^2 + 110525 \cdot R_a + 32425 \quad (7.7)$$

$R_a = 3,2...6,2$ μm aralığında ise;

$$N = -1981,48 \cdot R_a + 99885,18 \quad (7.8)$$

eşitlikleri elde edilir.

Yukarıda verilen eşitliklerde, $R_a = 1,5...2$ μm aralığı için değerler verildiğinde, statik kesme mukavemeti ve yük tekrar sayısı için maksimum değerler elde edilmektedir. Bu eşitlikler kullanılarak deneyleri yapılmayan yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri için yaklaşık mukavemet değerleri hesaplanabilir.

7.2 Dinamik Burulma Gerilmesi Durumu

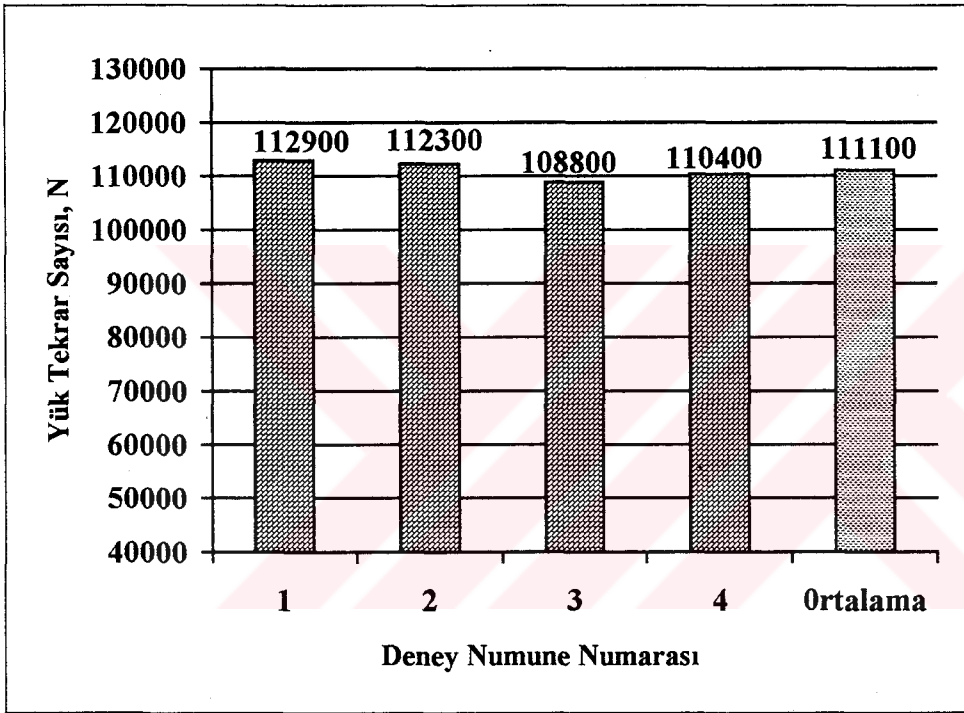
Dinamik burulma gerilmesi verebilmek için, Şekil 6.7'de verilen numuneler üzerine Şekil 6.4. b'de verilen yükleme durumu uygulanmıştır. Yapıştırıcı üzerine uygulanan minimum ve maksimum tork, kontrol ünitesi üzerinde bulunan potansiyometrelerin hidrolik tank üzerinde bulunan servo-valfe kumanda ettirilmesiyle sağlanmış, minimum ve maksimum gerilme değerleri elde edilmiştir. Uygulanan deney şartları Çizelge 7.19'da verilmiştir.

Çizelge 7.19: Burulma gerilmesi durumunda uygulanan deney şartları

Yapıştırılan Malzeme	Çelik-Çelik	
Kullanılan Yapıştırıcı	Loctite 638	
Yüzey Temizleme	Loctite 7061	
Ortam Sıcaklığı (°C)	20 ± 3	
Yüzey Pürüzlülüğü, R_a (μm)	1,5	
Çap / Boy Oranı	30/30 = 1	
Numune Sayısı	4	
Test Frekansı (Hz)	0,75	
Minimum Kuvvet, F_{\min} (N)	5000	
Minimum Tork, T_{\min} (Nmm)	100000	
Minimum Gerilme, τ_{\min} (N/mm^2)	1,76	
Maksimum Kuvvet, F_{\max} (N)	25000	
Maksimum Tork, T_{\max} (Nmm)	500000	
Maksimum Gerilme, τ_{\max} (N/mm^2)	8,84	
Ortalama Gerilme, τ_m (N/mm^2)	5,3	
Gerilme Genliği, τ_a (N/mm^2)	3,54	
Yapıştırma Boşluğu, s (mm)	0,1	0,2
Ortalama Statik Kesme Kuvveti, F_R (N)	54500	43700
Ortalama Teğetsel Kesme Kuv., F_t (N)	72666	58266
Ort. Statik Kesme Muk., τ_R (N/mm^2)	25,7	20,6
Ortalama Yük Tekrar Sayısı, N	111100	73400

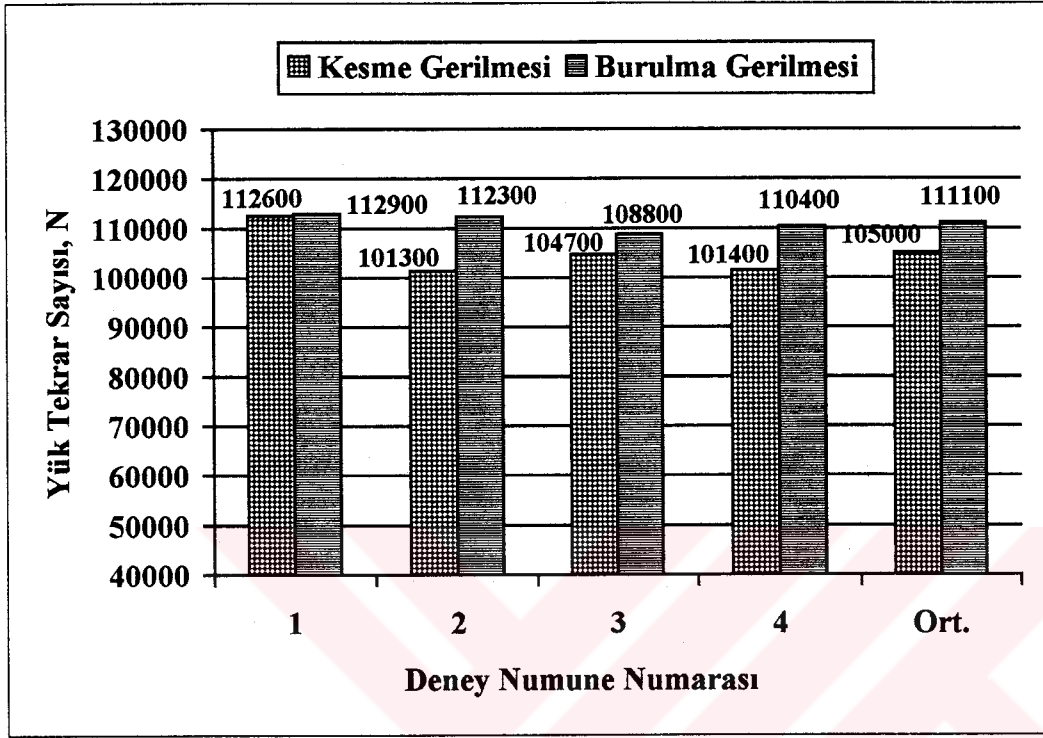
Çizelge 7.20: Burulma gerilmesi durumunda deney sonuçları ($s = 0,1$ mm)

Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ort. Statik Kesme Kuv., F_R (N)	54100	54600	53200	56100	54500
Ort. Yük Tekrar Sayısı, N	112900	112300	108800	110400	111100



Şekil 7.22: Burulma gerilmesi durumunda deney sonuçlarının grafik gösterilmesi
($s = 0,1$ mm için)

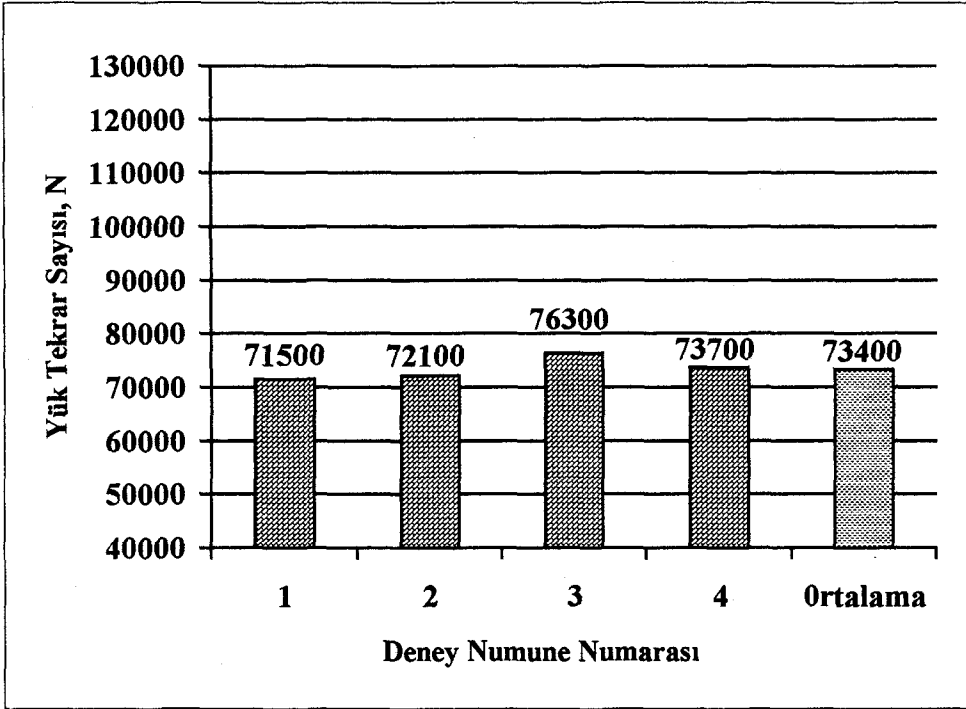
Çizelge 7.19'a göre aynı şartlarda, statik burulma gerilmesi çeki kuvveti altındaki statik kesme gerilmesine göre yaklaşık %3-4 daha yüksek bulunmuştur. Şekil 7.23'e göre dinamik yükleme durumunda ise, burulma gerilmesi altındaki yük tekrar sayısı yaklaşık %5-6 daha fazla bulunmuştur. Yapıştırma boşluğunun arttırılmasıyla elde edilen sonuçlarda Şekil 7.25'de verilmiştir. Bu deneylerde de yukarıda verilen % değerlerine yakın veriler elde edilmiştir. Bu aradaki yaklaşık %5'lik farkın deney düzeneğinden kaynaklandığı sonucuna varılabilir.



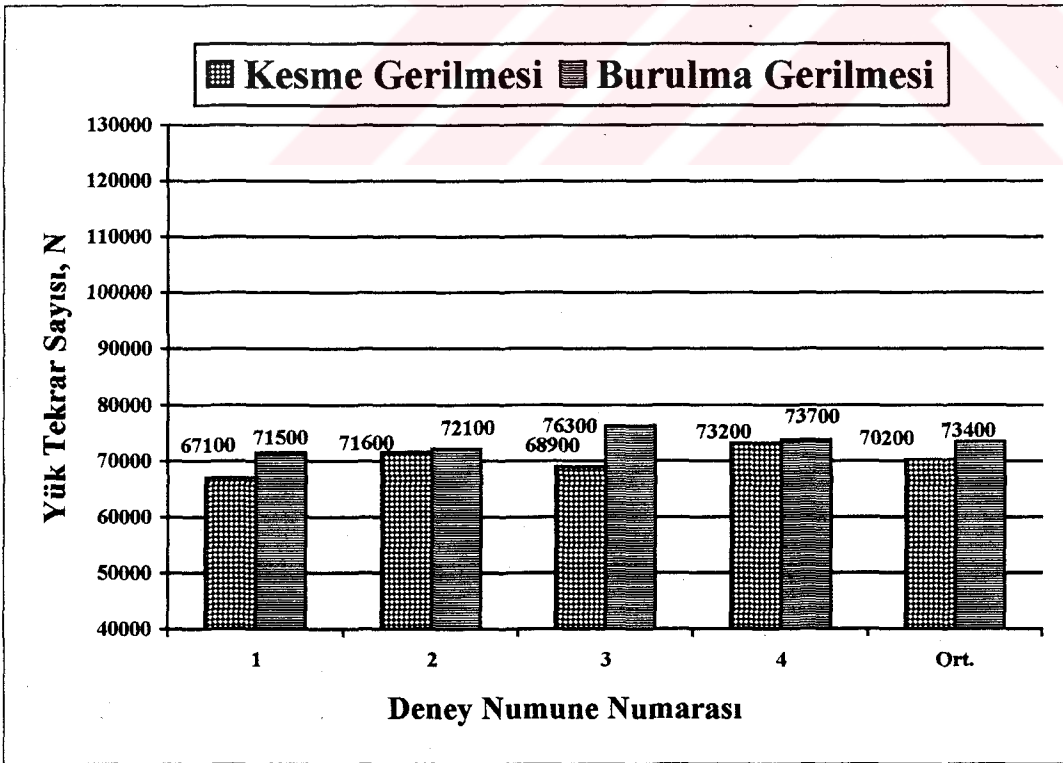
Şekil 7.23: Aynı şartlarda kesme ve burulma gerilmelerinin karşılaştırılması
($s = 0,1$ mm için)

Çizelge 7.21: Burulma gerilmesi durumunda deney sonuçları ($s = 0,2$ mm)

Deney No	1	2	3	4	Ortalama
Ort. Statik Kesme Kuv., F_R (N)	42600	44100	43800	44300	43700
Ort. Yük Tekrar Sayısı, N	71500	72100	76300	73700	73400



Şekil 7.24: Burulma gerilmesi durumunda deney sonuçlarının grafik gösterilmesi
($s = 0,2$ mm için)



Şekil 7.25: Aynı şartlarda kesme ve burulma gerilmelerinin karşılaştırılması
($s = 0,2$ mm için)

SEKİZİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, dinamik yük altında çalışan silindirik yapıştırma bağlantılarının davranışları incelenmeye çalışılmıştır. Yapıştırma bağlantılarının mukavemetlerini etkileyen faktörler aşağıda belirtilmiştir:

- Yapıştırma boşluğunun (yapıştırıcı kalınlığının) etkisi,
- Sıkı geçme + yapıştırmanın etkisi,
- Yapıştırılan malzemenin etkisi,
- Yüzey pürüzlülüğünün etkisi,
- Yükleme şeklinin etkisi,
- Kullanılan yapıştırıcının etkisi,
- Geometrinin etkisi,
- Çalışma sıcaklığının etkisi,
- Isıl yaşlanmanın etkisi,
- Çalışma ortamının (yağlı, asidik gibi) etkisi vs.

Yapılan literatür çalışması ve deneysel çalışmalarda yukarıda belirtilen faktörlerden ilk beş tanesi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Yapıştırma boşluğunun etkisi: Yapılan deneylerde anaerobik yapıştırıcı kullanılmıştır. Anaerobik yapıştırma bağlantılarında, yapıştırma boşluğu arttıkça bağlantının statik ve dinamik mukavemetinde önemli azalmalar görülmüştür. Yapıştırma boşluğu iki kat arttığında yük tekrar sayısı yaklaşık %40, üç kat arttığında %57 azalma göstermiştir. Bu değerler, yapıştırma bağlantılarının mukavemeti hesaplanırken boşluğun etkisinin hesaplamalara katılmasının ne derece önemli olduğunu göstermektedir.

Yukarıda verilen değerler anaerobik yapıştırıcı kullanılması durumunda geçerlidir. Yapılan literatür çalışmasında (Kwon ve Lee, 2000; Lee ve Lee, 1996), epoksi türü yapıştırıcılarda, yapıştırma boşluğu arttıkça, anaerobik yapıştırıcılardaki kadar bir mukavemet düşümü görülmemektedir. 0,5 mm yapıştırma boşluklarında bile olumlu sonuçlar alınabilmektedir. Ancak bu yapıştırıcıların statik mukavemet değerleri, anaerobik yapıştırıcıların % 50 – 60'ı civarındadır. Ayrıca silindirik yapıştırma bağlantılarından ziyade plaka şeklindeki alüminyum alaşımlarının ve kompozit plakaların yapıştırılmasında kullanılmaktadırlar.

Anaerobik yapıştırıcı ile birleştirme yapılacağı zaman mümkün olan en büyük yapıştırma boşluğu $s = 0,05$ mm alınmalıdır. Ancak çok küçük çalışma boşluklarında da zaman ve işçilik maliyetinin artacağı dikkate alınmalıdır.

Sıkı geçme + yapıştırmanın etkisi: Sıkı geçme bağlantıları kuvvet ve moment iletimi yapılan pek çok yerde kullanılmaktadır. Yukarıda yapıştırma boşluğunun mümkün olduğu kadar küçük ölçüde olması önerilmiştir. Sıkı geçme bağlantılarında, boşluk olmadığı gibi bir minimum sıklık söz konusudur.

Yapılan deneysel çalışmalarda, H7/r6 ve H7/u6 sıkı geçme bağlantılarına ilave olarak yapıştırıcı uygulanmıştır. İlave yapıştırıcı uygulaması, sadece sıkı geçme bağlantısına göre statik mukavemet açısından yaklaşık % 400, yük tekrar sayısı açısından %600'e varan iyileşmeler sağlamıştır. Buda sıkı geçme bağlantılarında ilave yapıştırıcı kullanarak mukavemet açısından, sadece sıkı geçme bağlantısına göre ortalama %500'lere varan iyileşmeler sağlanabileceğini göstermektedir. Ayrıca sıklık değerleri iki katına çıkarıldığında, mukavemet değerleri de % 4-7 civarında artış göstermiştir.

Yüksek oranlardaki bu iyileşmeler maliyetler açısından, önemli katkılarda bulunabilir. Aynı kuvvet yada momenti iletecek olan bir bağlantı, ilave yapıştırıcı kullanılarak daha küçük boyutlarda (küçük çap ve küçük göbek uzunluğu) imal edilebilir. Deneylerde kullanılan $D = 30$ mm, $L = 30$ mm boyutlarına sahip silindirik sıkı geçme bağlantısına ilave olarak Loctite 638 yapıştırıcı kullanılması, yaklaşık olarak

0,4 DM ilave bir maliyet getirmektedir. Bu maliyet, diğ er taraftan mukavemet açısından kazanılanların yanında çok küçük oranda kalmaktadır.

Yapıştırılan malzemenin etkisi: Yapılan deneysel çalışmalarda malzemenin etkisini tespit edebilmek için  farklı malzeme kullanılmıştır. En yüksek mukavemet değerleri bronz malzeme bağlantılarında, en düşük ise alüminyum malzeme bağlantılarında elde edilmiştir. elik bağlantıları, alüminyum bağlantılarına göre statik mukavemet ve yük tekrar sayısı açısından % 100'e varan oranlarda daha iyi sonuçlar vermişlerdir. Bronz bağlantıları da, elik bağlantılarına göre % 20 daha iyi yük tekrar sayısı değerleri vermiştir. Buradan, alüminyum yapıştırma bağlantıları için anaerobik yapıştırıcı kullanımının uygun olmadığı sonucuna varılabilir.

Alüminyumda bu kadar düşük mukavemet değerlerinin bulunması, alüminyumun düşük yüzey enerjisine ve pasif bir metal olmasına bağlanabilir. Alüminyum, pasif bir metal olduğu için yapıştırıcı ile kimyasal olarak daha zayıf bağlar oluşturmaktadır. Bronz içerisinde alüminyuma nazaran daha aktif olan bakır elementi (~ %85) bulunduğu için, yapıştırıcı ile kimyasal reaksiyona girerek daha kuvvetli bağlar oluşturmaktadır.

Yapılan deneylerde, bronz/bronz bağlantılarındaki kopma, malzeme ile yapıştırıcı film tabakası arasındaki sınır tabakada meydana geldiği için adhezyon kopması oluştuğu ve artık yapıştırıcı tabakanın hem dişi hem de erkek numune üzerinde kaldığı görülmüştür. Alüminyum/alüminyum bağlantısında ise kopma olayı yapıştırıcının kendi molekülleri arasında oluşmakta ve kohezyon kopması meydana gelmektedir. Artık yapıştırıcı tabakanın, hem erkek hem de dişi numune üzerinde kalmayarak yapıştırılan yüzeylerden kolaylıkla ayrılabil-diği görülmüştür. Bundan dolayı hiç bir yapıştırma bağlantısında kohezyon kopmasının meydana gelmesi istenmez.

Yukarıda belirtilen özellikler ışığında, anaerobik yapıştırıcılar bakır esaslı malzemelerin birleştirilmesinde mukavemet açısından yüksek değerler vermektedir. Bu nedenle ısıtma, soğutma ve sıhhi tesisat uygulamalarının yüksek sıcaklıklara ($T < 150^{\circ}\text{C}$)

maruz olmayan yerlerinde kullanılan bakır boruların birleştirilmesinde olumlu sonuçlar verebilecekleri görülmektedir.

Yüzey pürüzlülüğünün etkisi: Yapılan deneysel çalışmalarda beş farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip çelik malzeme kullanılmıştır. En yüksek yük tekrar sayısı değerleri $R_a = 1,5 - 2 \mu\text{m}$ ($R_z = 6,3 - 10 \mu\text{m}$) aralığında bulunmuştur. Parlak pürüzsüz yüzeylerde ($R_a = 0,45 \mu\text{m}$) en düşük statik mukavemet ve yük tekrar sayısı değerleri elde edilmiştir. $R_a = 1,5 - 2 \mu\text{m}$ optimum aralığından sonra pürüzlülük arttıkça mukavemet değerlerinde tekrar bir düşme gözlemlenmiştir. Literatürde statik yüklemeler için verilen $R_a = 1,5 - 3 \mu\text{m}$ aralığı ile paralellik sağlandığı söylenebilir. Belirtilen bu aralık, çelik malzemeler için ilave işlemlere gerek kalmaksızın universal takım tezgahları ile elde edilebilmektedir.

Küçük pürüzlülük değerlerinde, yapıştırıcı malzemenin sertleştiği zaman tutunacak girinti ve çıkıntı bulamadığı, başka bir deyişle yüzeyin kama etkisinin ortadan kaybolması ile zorlama halinde yapıştırıcı tabakanın yüzeyden daha kolay ayrılacağı, büyük pürüzlülük değerlerinde ise, yapıştırıcının yüzeye tam olarak yayılmadığı (zayıf ıslanabilirlik) ve yapıştırma alanının efektif olarak kullanılmadığı için düşük mukavemet değerleri elde edildiği ileri sürülebilir. Ayrıca pürüzlülük değeri arttığı için yapıştırıcı kalınlığı da dolaylı olarak artmaktadır. Kalınlığın artması, mukavemet değerlerini azaltmaktadır.

Yüklemeye şeklinin etkisi: Yapılan deneysel çalışmalarda iki farklı yüklemeye yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İlk olarak yapıştırma bağlantısına, eksenel yük altında kesme gerilmesi verilerek sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra ise eksenel yüke bir moment kolu (e) verilerek burulma altında kesme gerilmesine zorlanmıştır. Burulma gerilmesinde, statik mukavemet açısından, kesme gerilmesine göre yaklaşık % 3 - 4, yük tekrar sayısı açısından % 5 - 6 daha yüksek değerler elde edilmiştir. Teorik olarak her iki yüklemeye şeklinde de aynı değerlerin elde edilmesi gerekirdi. Ancak aradaki bu farkın deney şartlarından kaynaklandığı ve deney sonuçlarına göre yüklemeye şeklinin mukavemet değerlerini çok fazla değiştirmedeği söylenebilir.

Literatür özetinde (Loctite, 1998; Kwon ve Lee, 2000; Mazumdar ve Mallick, 1998 vs.) , statik yükleme ile dinamik yükleme arasındaki mukavemet değişimleri incelenmiş, dinamik yükleme durumundaki mukavemet değerlerinin, statik durumdaki değerlerin % 15 ile % 50'si arasında değiştiği belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan deney düzeneğinin yük tekrar frekansı küçük olduğu için, deneyler 10^6 yük tekrar sayılarına kadar devam ettirilmemiş (çok uzun süreler gerekeceği için) 10^5 civarlarında sonlandırılmıştır. En küçük yapıştırma boşluğunda ($s = 0,0$ mm), statik kesme kuvvetinin % 34'ü dinamik olarak yüklendiğinde, $N = 1,14.10^5$ değerlerinde kopma olayı gerçekleşmiştir. H7/u6 sıkı geçmesinde ise, statik kesme kuvvetinin % 43'ü dinamik olarak yüklendiğinde, $N = 1,86.10^5$ tekrar sayılarında kopma gözlemlenmiştir.

Genel olarak bir değerlendirme yapılacak olursa, deneylerde kullanılan geometriye sahip silindirik yapıştırma bağlantılarında optimum mukavemet değerlerini yakalayabilmek için, anaerobik yapıştırıcı kullanmanın, demir ve bakır esaslı malzemeleri yapıştırmak için uygun olduğu, mümkün olan en küçük yapıştırma boşluğunun kullanılması gerektiği, sıkı geçme bağlantılarıyla birlikte kullanılmalarda durumunda çok yüksek mukavemet değerleri elde edilebileceği ve malzeme yüzey pürüzlülük değerinin $R_a = 1,5 - 2 \mu\text{m}$ ($R_z = 6,3 - 10 \mu\text{m}$) aralığında olması gerektiği sonuçlarına varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abdo, Z. and Aglan, H., Effect of Surface Treatment on the Fatigue Failure Behaviour of Structural Adhesive Joints, *J. of Materials Science Letters*, vol. 15, pp. 469-472, 1996.
- Abou-Hamda, M.M., Megahed, M.M. and Hammouda, M.I., Fatigue Crack Growth in Double Cantilever Beam Specimen with an Adhesive Layer, *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 60, no. 5-6, pp. 605-614, 1998.
- Adams, R.D., Strength Predictions for Lap Joints, Especially with Composite Adherents, A Review, *Journal of Adhesion*, vol. 30, pp. 219-242, 1989.
- Adams, R.D. and Mallick, V., A Method for the Stress Analysis of Lap Joints, *Journal of Adhesion*, vol. 38, pp. 199-217, 1992.
- Adams, R.D. and Mallick, V., The Effect of Temperature on The Strength of Adhesively Bonded Composite-Aluminum Joints, *Journal of Adhesion*, vol. 43, pp.17-33, 1993.
- Adams, R.D., Comyn, J. and Wake, W.C., *Structural Adhesive Joints in Engineering*, Chapman&Hall, ISBN 0-412-70920-1, 359 p., London, 1997.
- Adams R.D. and Comyn J., *Joining Using Adhesives*, *Assembly Automation*, vol. 20, no. 2, pp. 109-117, 2000.
- Akkurt, M., *Makina Konstrüksiyonunda Güvenilirlik*, Birsen Yayınevi, ISBN 975-511-152-2, 207 s., İstanbul, 1997.
- Akkurt, S., *Plastik Malzeme Bilgisi*, Birsen Yayınevi, ISBN 975-511-055-0, 224 s., İstanbul, 1991.
- Anık, S., *Kaynak Tekniği El Kitabı*, 17. Bölüm, *Metal Yapıştırma Tekniği*, s. 176-185, İstanbul, 1991.
- Apalak, Z.G., *Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş T-tipi Bağlantıların Sonlu Elemanlar Metodu Kullanılarak Analiz ve Tasarımı*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 1995.
- ASM, *Engineered Materials Handbook, Adhesives and Sealants*, vol. 3, 893 p., 1990.
- ASTM, *1993 Annual Book of ASTM Standards, Section 15: General Product, Chemical Specialties and End Use Products*, vol. 15.06, Adhesives.

- ASTM D 1002-72, Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension (Metal / Metal), Annual Book of ASTM Standards, vol. 15.06, Adhesives, 1993.
- ASTM D 3166-73, Fatigue Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading (Metal/Metal), Annual Book of ASTM Standards, vol. 15.06, Adhesives, 1993.
- ASTM D 907-93, Standard Terminology of Adhesives, Annual Book of ASTM Standards, vol. 15.06, Adhesives, 1993.
- Baylor, J.S. and Sancaktar, E., A Comparison of Adhesively Bonded Single Lap, Scarf and Butt Joints, DE – vol. 87, pp. 41-48, ASME 1995.
- Bell, A.J. and Kinloch, A.J., The Effect of the Substrate Materials on the Value of the Adhesive Fracture Energy G_c , Journal of Materials Science Letters, vol. 16, pp. 1450-1453, 1997.
- Bennett, G., Klingens, J., GeiB, P.L. and Neeb, T., Structural Bonding Tape: An Innovation in Adhesive Bonding, Adhesive Age, pp. 19-23, 1996.
- Bison Product Overview, (www.bison.net).
- Blackman, B.R.K., Kinloch, A.J., Wang, Y. and Williams, J.G., The Failure of Fibre Composites and Adhesively Bonded Fibre Composites under High Rates of Test Part II, Journal of Materials Science, vol. 31, pp. 4451- 4466, 1996.
- Blackman, B.R.K., Kinloch, A.J., Wang, Y. and Williams, J.G., The Failure of Fibre Composites and Adhesively Bonded Fibre Composites under High Rates of Test Part III, Journal of Materials Science, vol. 31, pp. 4467- 4477, 1996.
- Blanchard, A., Chateauminois, A. and Vincent, L., A New Testing Methodology for the Assessment of Fatigue Properties of Structural Adhesives, Int. J. Adhesion and Adhesives, vol. 16, pp. 289-299, 1996.
- Bogicevic, A., Metal-on-Metal Bonding and Rebonding Revisited, Physical Review Letters, vol. 82, no. 26, pp. 5301-5304, 1999.
- Brandon, D., Kaplan, W.D., Joining Processes: An Introduction, Chapter 9, Adhesives, John Wiley and Sons, pp. 273-300, 1997.
- Carpenter, W.C., A Comparison of Numerous Lap Joint Theories for Adhesively Bonded Joints, Journal of Adhesion, vol. 35, pp. 55-73, 1991.
- Chiche, A., Pareige, P. and Creton, C., Role of Surface Roughness in Controlling the Adhesion of A Soft Adhesive on A Hard Surface, C. R. Acad. Sci. Paris, t.1, Serie IV, pp. 1197-1204, 2000.

- Choi, H.J. and Lee, D.G., The Torque Transmission Capabilities of the Adhesively-Bonded Tubular Single Lap Joint and The Double Lap Joint, *Journal of Adhesion*, vol 44, pp. 197-212, 1994.
- Choi, H.J. and Lee, D.G., Torque Capacity of Co-Cured Tubular Lap Joints, *Journal of Composite Materials*, vol. 31, no. 14, pp. 1381-1396, 1997.
- Clark, J.D. and McGregor, I.J., Ultimate Tensile Stress over a Zone: A New Failure Criterion for Adhesive Joints, *Journal of Adhesion*, vol. 42, pp. 227-245, 1993.
- Curley, A.J., Jethwa, J.K., Kinloch, A.J. and Taylor, A.C., The Fatigue and Durability Behaviour of Automotive Adhesives. Part III: Predicting The Service Life, *Journal of Adhesion*, vol. 66, pp. 39-59, 1998.
- Curley, A.J., Kinloch, A.J. and Taylor, A.C., Predicting The Service-Life of Adhesively-Bonded Joints, *Int. Journal of Fracture*, vol. 103, pp. 41-69, 2000.
- Das Kleben von Stahl, Merkblatt, no. 382, Beratungsstelle für Stahlverwendung, 1982.
- Deepanker, D. and Narasimhan, R., Analysis of Interface Fracture Specimen for Adhesively Bonded Joints, *Int. Journal of Fracture*, vol. 92, pp. L35-L40, 1998.
- Devcon Adhesives and Sealants, (www.devcon.com).
- Ezrin, M., *Plastics Failure Guide, Chapter 7, Failure Analysis and Test Procedures*, Hanser/Gardner Publications, pp. 184-240, 1996.
- Fernando, M., Harjoprayitno, W.W. and Kinloch, A.J., A Fracture Mechanics Study of The Influence of Moisture on The Fatigue Behaviour of Adhesively Bonded Aluminium-Alloy Joints, *Int. J. Adhesion and Adhesives*, vol. 16, pp. 113-119, 1996.
- Gantenhammer, V.V., Berechnung von geklebten Welle-Nabe-Verbindungen, *VDI-Z* 132, Nr.7, pp. 81-86, 1990.
- Gasparini, D.A. Nara, H., Andreani, J., Bogss, C., Brewer, D. and Etitum, P., Steel-to-Steel Connections with Adhesives, *Journal of Structural Engineering*, vol. 116, no. 5, pp. 1165-1179, 1990.
- Gediktaş, M., *Bağlama Elemanları – Konstrüksiyon ve Hesap*, İTÜ Matbaası, İstanbul, 1984.
- George, B., Touyeras, F., Grohens, Y. and Vebrel, J., Analysis of Curing Mode and Mechanical Properties of An Anaerobic Adhesive, *Eur. Polym. J.*, vol. 34, no. 3-4, pp. 399-404, 1998.
- Gilchrist, M.D. and Smith, R.A., Fatigue Growth of Cohesive Defects in T-Peel Joints, *Journal of Adhesion*, vol. 42, pp. 179-190, 1993.

- Ginger, S., Retaining Cylindrical Components with Adhesives, (www.loctite.com), Haziran 2000.
- Golding, D., Using Adhesives, *Assembly Automation*, vol. 14, no. 4, pp. 8-11, 1994.
- Gorbatkina, Y.A., *Strength of Fibre-Polymer Systems*, Chapter 4, Adhesive Strength as a Function of Curing Conditions, Ellis Harwood Series in Polymer Science and Tecnology, pp.81-124,1992.
- Gryaznov, B.A., Gorodetskii, S.S., Kakuevitskii, V.A., Nalimov, Yu.S. and Gerasimchuk, O.N., A Procedure for Fatigue Testing of Shaft-Sleeve Glued Connections, *Strength of Materials*, vol. 29, no. 6, pp. 616-621, 1997.
- Hashemi, H., Rossettos, J.N. and Melo, A.P., Multiaxial Fatigue Life Evaluation of Tubular Adhesively Bonded Joints, *PVP-vol. 321/NE-vol. 18*, pp. 103-116, ASME 1995.
- Hearn, D., Gong, X.J., Aviazadeh, S. and Moll, F., Design of Cylindrical Overlapping Adhesively Bonded Joint Loaded in Fatigue, *Mechanical Behaviour of Adhesive Joints, Design*, pp. 409-419, ASME 1997.
- Hipol, P.J., Analysis and Optimization of a Tubular Lap Joint Subjected to Torsion, *J. of Composites Materials*, vol. 18, pp. 298-311, 1984.
- Hooshang, J. and Sancaktar, E., The Effects of Cure Temperature and Time on the Stress-Whitening Behaviour of Structural Adhesives. Part I. Analysis of Bulk Tensile Data, *Journal of Adhesion*, vol. 27, pp. 143-157, 1989.
- Hooshang, J. and Sancaktar, E., The Effects of Cure Temperature and Time on the Stress-Whitening Behaviour of Structural Adhesives. Part II. Analysis of Fractographic Data, *Journal of Adhesion*, vol. 27, pp. 159-174, 1989.
- Hunston, D.L., Kinloch, A.J. and Wang, S.S., Micro mechanics of Fracture in Structural Adhesive Bonds, *Journal of Adhesion*, vol. 28, pp. 103-114, 1989.
- Imanaka, M., Fukuchi, Y., Kishimota, W., Okita, K., Nakayama, H. and Nagai, H., Fatigue Life Estimation of Adhesively Bonded Lap Joints, *Journal of Engineering Materials and Technology*, vol. 110, pp. 350-354, 1988.
- Imanaka, M., Fukuchi, Y., Kishimota, W., Okita, K., Nakayama, H. and Nagai, H., Fatigue Life Estimation of Adhesive Bonded Shaft Joints, *International Journal of Fracture*, vol. 41, pp. 223-234, 1989.
- Imanaka, M., Ishii, K. and Nakayama, H., Evaluation of Fatigue Strength of Adhesively Bonded Single and Single Step Double Lap Joints Based on Stress Singularity Parameters, *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 62, pp. 409-429, 1999.

- Imanaka, M. and Iwata, T., Fatigue Failure Criterion of Adhesively-Bonded Joints Under Combined Stress Conditions, *Journal of Adhesion*, vol. 59, pp. 111-126, 1996.
- Imanaka, M., Kishimoto, W. and Okita, K., Improvement of Fatigue Strength of Adhesive Joints Through Filler Addition, *Journal of Composites Materials*, vol. 18, pp. 412-419, 1984.
- Ishii, K., Imanaka, M., Nakayama, H. and Kodama, H., Fatigue Failure Criterion of Adhesively Bonded CFRP / Metal Joints under Multiaxial Stress Conditions, *Composites Part A*, vol. 29A, pp. 415-422, 1998.
- ISO 9664, Adhesives – Test Methods for Fatigue Properties of Structural Adhesives in Tensile Shear, First Edition, 1993.
- Jacks, J., Testing Bonded Parts, *Advanced Materials and Processes*, vol. 6, pp. 48-49, 1997.
- Jethwa, J.K. and Kinloch, A.J., The Fatigue and Durability Behaviour of Automotive Adhesives. Part I: Fracture Mechanics Tests, *Journal of Adhesion*, vol. 61, pp. 71-95, 1997.
- Kawawaki, M., Nakono, Y. and Sawa, T., Elastoplastic FEM Stress Analysis and Strength Evaluation of Adhesive Tapered Lap Joints of Hollow Shafts Subjected to Tensile Loads, *DE – vol. 100*, pp. 77-84, ASME 1998.
- Kim, Y.G., Oh, H.J. and Lee, D.G., Strength of Adhesively-Bonded Tubular Single Lap Carbon/Epoxy Composite-Steel Joints, *Journal of Composites Materials*, vol. 33, no. 20, pp. 1897-1917, 1999.
- Kinloch, A.J., *Adhesion and Adhesives Science and Technology*, Chapman&Hall, ISBN 0-412-27440-X, 441 p., London, 1987.
- Kinloch, A.J., Adhesives in Engineering, *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, vol. 211, Part G, pp. 307-335, 1997.
- Knox, E.M., Cowling, M.J. and Hashim, S.A., Fatigue Performance of Adhesively Bonded Connections in GRE Pipes, *Int. J. of Fatigue*, vol. 22, pp. 513-519, 2000.
- Kodakoğlu, L., Yapıştırıcıların Genel Özellikleri ve Çekme Gerilmesine Maruz Yapışma Birleşmesinin Analitik ve Nümerik İncelenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1996.
- Kobayashi, T., The Damping Characteristics of a Cantilever Structure with a Lap-Type Adhesive Joints, *DE-vol. 96*, pp. 63-68, ASME 1997.
- Krenk, S., Jönsson, J. and Hansen, L.P., Fatigue Analysis and Testing of Adhesive Joints, *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 53, no. 6, pp. 859-872, 1996.

- Kyogoku, H., Sugibayashi, T. and Ikegami, K., Strength Evaluation of Adhesive Shaft Joints, JSME International Journal, Series 1, vol. 32, no. 3, 1989.
- 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, vol. 14, no. 8, pp. 1085-1102, 2000
- Lee, D.G. and Kim, S., Yong-Taek, Im., An Experimental Study of Fatigue Strength for Adhesively Bonded Tubular Single Lap Joints, Journal of Adhesion, vol. 35, pp.39-53, 1991.
- Lee, S.J. and Lee, D.G., Development of a Fatigue Failure Model for the Adhesively Bonded Tubular Single Lap Joint under Dynamic Torsional Loading, Journal of Adhesion, vol. 56, pp. 157-169, 1996.
- Lee, S.J. and Lee, D.G., Optimal Design of the Adhesively-Bonded Tubular Single Lap Joints, Journal of Adhesion, vol. 50, pp. 165-180, 1995.
- Lee, W.S. and Lee, D.G., Static and Dynamic Torque Characteristics of Composite Cured Single Lap Joints, Journal of Composite Materials, vol. 31, no. 21, pp. 2188-2201, 1997.
- Lees, W.A(ed.), Adhesives and The Engineer, Permabond Adhesives Ltd., ISBN 0-85298-703-X, 116 p., London, 1989.
- Loctite Atelye Kitapçığı ve Ürün Kataloğu.
- Loctite Corporation, Loctite Worldwide Design Handbook 1996/1997 Edition, ISBN 0-9645590-0-5, 463 p., Munich, 1995.
- Loctite Corporation, Loctite Worldwide Design Handbook Second Edition, on CD, 1998.
- Loxel Yapıştırıcı Kataloğu, (www.loxeal.com).
- Mackie, R.I. and Su, N., The Effect of Ageing and Environment on The Static and Fatigue Strength of Adhesive Joints, Journal of Adhesion, vol. 42, pp. 191-207, 1993.
- Matek, W., Muhs, D., Wittel, H. und Becker, M., Roloff/Matek Maschinenelemente, Vieweg&Sohn Verlagsgesellschaft mbH, ISBN 3-528-74028-0, s. 56-66, Wiesbaden, 1994.
- Mazumdar, S.K. and Mallick, P.K., Static and Fatigue Behaviour of Adhesive Joints in SMC-SMC Composites, Polymer Composites, vol. 19, no. 2, pp. 139-146, 1998.
- Melander, A. Linder, J., Stensiö, H., Larsson, M., Gustavsson, A. and Björkman, G., How Defect in An Adhesive Layer Influence the Fatigue Strength of Bonded Steel-Sheet Specimens, Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct., vol. 22, pp. 421-426, 1999.

- Moidu, K.A., Sinclair, A.N. and Spelt, J.K., On the Determination of Fracture Energy Using the Peel Test, *J. of Testing and Evaluation*, vol. 26, no. 3, pp. 247-254, 1998.
- Olia, M. and Rossettos, J.N., Analysis of Adhesively Bonded Joints with Gaps Subjected to Bending, *Int. J. Solids and Structures*, vol. 33, no. 18, pp. 2681-2693, 1996.
- Pandey, P.C, Shankaragouda, H. and Singh, Kr.A, Nonlinear Analysis of Adhesively Bonded Lap Joints Considering Viscoplasticity in Adhesives, *Computers and Structures*, vol. 70, pp. 387-413, 1999.
- Permabond Yapıştırıcı Kataloğu, (www.permabond.com).
- Pfeiffer, P. and Shakal, M., Effect of Bonded Metal Substrate Area and its Thickness on the Strength and Durability of Adhesively Bonded Joints, *Journal of Adhesion Sci. Technol.*, vol. 12, no. 3, pp. 339-348, 1998.
- Prakash, V., Chen, C.M., Engelhard, A. and Powell, G., Torsional Fatigue Test for Adhesive Bonded Butt Joints, *Journal of Testing and Evaluation*, vol. 23, no. 3, pp. 228-230, 1995.
- Qian, Z. and Akisanya, A.R., An Experimental Investigation of Failure Initiation in Bonded Joints, *Acta Materilia*, vol. 46, pp. 4895-4904, 1998.
- Qiang, Y., Shiratori, M. and Mori, T., Nonsteady Thermal Stress Analysis and Thermal Fatigue Strength of Metal-CFRP Bonded Joints, *JSME Int. Journal Series A*, vol. 36, no. 1, pp. 43-49, 1993.
- Rao, C.L. and Connor, J.J, Mechanical Behaviour of Butyl Adhesives, *Journal of Adhesion*, vol. 43, pp. 179-197, 1993.
- Reedy, E.D., Guess, T.R. and J.R., Composite-to-Metal Tubular Lap Joints: Strength and Fatigue Resistance, *Int. J. of Fracture*, vol. 63, pp. 351-367, 1993.
- Rende, H., *Makine Elemanları Cilt-I*, Seç Yayınevi, ISBN 975-7670-17-0, İstanbul, 1996.
- Romanos, G., Strength Evaluation of Axisymmetric Bonded Joints Using Anaerobic Adhesives, *Int. J. of Materials and Product Technology*, vol. 14, no. 5-6, pp. 430-443, 1999.
- Sancaktar, E., A Comparison of Linear with Nonlinear Viscoelastic Solutions for Shear Stress Concentration in Double Lap Joints, *Journal of Adhesion*, vol. 34, pp.211-220, 1991.
- Sancaktar, E., Mixed – Mode Fatigue Failure In Structural Adhesives, *Fatigue and Fracture Mechanics*, vol. 29, pp. 764-785, 1999.

- Sancaktar, E., Recent Approaches in Constitutive Behaviour and Testing of Structural Adhesives, *Appl. Mec. Rev.*, vol. 49, no. 10, part 2, pp. 128-138, 1996.
- Sancaktar, E. and Gomatam, R., A Study on the Effects of Surface Roughness on The Strength of Single Lap Joints, *DE* – vol. 100, pp. 91-111, ASME 1998.
- Sato, C., Iwata, H. and Ikegami, K., Dynamic Deformation of Tapered Lap Adhesive Joint under Impact Loading, *JSME International Journal, Series A*, vol. 40, no. 1, pp. 31-36, 1997.
- Sato, C. and Ikegami, K., Dynamic Deformation of Lap Joints and Scarf Joints under Impact Loads, *Int. Journal of Adhesion & Adhesives*, vol. 20, pp. 17-25, 2000.
- Sawa, T., Temma, K. and Ishikawa, H., Three-dimensional Stress Analysis of Adhesive Butt Joints of Solid Cylinders Subjected to External Tensile Loads, *Journal of Adhesion*, vol. 31, pp. 33-43, 1989.
- Sawa, T., Yoneno, M. and Motegi, Y., Axisymmetric Stress Analysis of Bonded Shrink Fitted Joints, *DE* – vol. 96, pp. 69-76, ASME 1997.
- Shakal, M.A.S. and Pfeiffer, P., Effect of Surface Preparations on the Tensile Strength of Adhesively Bonded Metal Joints, *J. Adhesion Sci. Technology*, vol. 12, no. 3, pp. 49-361, 1998.
- Sharon, G., Dodiuk, H. and Kenig, S., Effects of Loading Rate and Temperature on the Mechanical Properties of Structural Adhesives Containing A Carrier, *Journal of Adhesion*, vol. 31, pp. 21-31, 1989.
- Shields, J., *Adhesive Bonding*, Design Council, Oxford University Press, 25 p., 1974.
- Silberman, A.B. and Archireev, V.E., Relaxation Properties and Chemical Nature of Polymer Surface Layers as Related to The Strength of Adhesive Joints with Metals, *Journal of Adhesion*, vol. 34, pp. 241-257, 1991.
- Surface Preparation and Pretreatment of Structural Adhesives-Ciba Adhesives, (www.glu-gru.com).
- Tang, H., A Fatigue Model for Fiber-Reinforced Polymeric Composites in Civil Engineering Applications, *Composites Engineering*, 5 th. International Conference, Proceedings. July 5-11, 1998, Las Vegas, NV. Hui, D., pp. 881-882, 1998.
- The Loctite Design Guide for Bonding Metals, vol. 3, Section 8.4: Steel, pp. 56-66, (www.loctite.com).
- The Loctite Design Guide for Bonding Metals, vol. 3, Section 4: Adhesive Review, pp. 6-11, (www.loctite.com).

- Tochtermann, W. und Bodenstein, F., Konstruktionselemente des Maschinenbaues, Teil 1, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1979.
- Tong, L., Bond Strength for Adhesive-Bonded Single-Lap Joints, *Acta Mechanica*, vol. 117, pp. 101-113, 1996.
- Tong, L., Strength of Adhesively Bonded Single-Lap and Lap-Shear Joints, *Int. J. of Solids and Structures*, vol. 35, no. 20, pp. 2601-2616, 1998.
- TS ISO 4588, Yapıştırıcılar–Yapıştırıcılar İçin Metal Yüzeylerin Hazırlanması Kuralları, Birinci Baskı, Nisan 1997.
- User's Guide to Adhesives, Ciba-Geigy, (www.glu-gru.com).
- Wang, C.H., Heller, M. and Rose, L.R.F, Substrate Stress Concentrations in Bonded Lap Joints, *Journal of Strain Analysis*, vol. 33, no. 5, pp. 331-346, 1998.
- Wang, Y. and Chiang, F., Deformation Fields of Interfacial Cracks in Adhesively Bonded DCBS, *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 55, no. 2, pp. 181-189, 1996.
- Weck, M., Escher, C. and Krick, H., Dauerfeste Auslegung schrumpfgeklebter Welle-Zahnrad-Verbindungen, *Konstruktion*, vol. 48, pp. 59-64, 1996.
- Xu, X.X., Crocombe, A.D. and Smith, P.A., Fatigue Crack Growth Rates in Adhesive Joints Tested at Different Frequencies, *Journal of Adhesion*, vol. 58, pp. 191-204, 1996.
- Yang, C., Design and Analysis of Composite Pipe Joints under Tensile Loading, *Journal of Composite Materials*, vol. 34, no. 04, pp. 332-349, 2000.
- Yüksel, M., Malzeme Bilgisi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Denizli Şubesi Yayın No: 1, Denizli, 1998.
- Yosomiya, R., Morimoto, K. and Nakajima, A., Adhesion and Bonding in Composites, Chapter 7, Adhesion of Resin to Metal, pp. 181-207, Marcel Dekker Inc., 1990.
- Weicon Yapıştırıcı Kataloğu, (www.weicon.com).

ÖZGEÇMİŞ

Adı, soyadı: Tezcan ŞEKERCİOĞLU

Ana adı: Zeynep

Baba adı: Mustafa

Doğum yeri ve tarihi: Sivrihisar - 1968

Lisans eğitimi ve mezuniyet tarihi: Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği, 25.06.1990

Yüksek lisans eğitimi ve mezuniyet tarihi : Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 10.07.1996

Çalıştığı yer : Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı

Bildiği yabancı dil: İngilizce

Mesleki etkinlikleri : MMO üyeliği,

Bildiriler:

RENDE H., ŞEKERCİOĞLU T., Redüktörlerde Oluşan Gürültüye Malzemenin Etkisi, 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, 2-4 Nisan 1997, Denizli, s. 301-307

ŞEKERCİOĞLU T., MERAN C., Denizli Sanayisinde Makine Mühendislerinin Yeri, 21.Yüzyıla Doğru Denizli Sanayii Sempozyumu, 17-19 Ekim 1997, Denizli, s. 314-323.

RENDE H., ŞEKERCİOĞLU T., Döküm Yöntemi ile İmal Edilen Redüktör Kutu Konstrüksiyonunda Önemli Hususlar, Bilim Günleri, 1999, Denizli, s. 118-26.

RENDE H., ŞEKERCİOĞLU T., Kaynak ile İmal Edilen Dişli Çark ve Redüktör Kutu Konstrüksiyonunda Önemli Hususlar, Makine-İmalat Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 14- 15 Ekim 1999, Konya, s. 140-147.

ŞEKERCİOĞLU T., RENDE H., Yapıştırma Bağlantılarının Konstrüktif Açından İncelenmesi, 8. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 26-28 Nisan 2000, Denizli, s. 127-134.

Makaleler:

RENDE H., ŞEKERCİOĞLU T., Redüktörlerde Gürültü I, MakinaTek, Sayı 13, s. 68-74, 1996.

RENDE H., ŞEKERCİOĞLU T., Redüktörlerde Gürültü II, Makine Market, Sayı 9, s. 82-87, 1997.

Yüksek Lisans Tezi:

Redüktörlerde Gürültüyü Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran 1996, Denizli.

Araştırma Projesi:

RENDE, H., GÜLSÖZ, A., ŞEKERCİOĞLU, T., MERAN, C., Yapıştırma Bağlantılarının Konstrüktif Açından İncelenmesi, Şubat 2000 - Temmuz 2001, Pamukkale Üniversitesi Araştırma Fonu Saymanlığı, 2000MHF01/MAK001 no'lu proje olarak desteklenmektedir.