



T. C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KORD BEZİ TAKVİYELİ KAUÇUK KOMPOZİTLERİN YORULMA
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Onur Aykut KAPUCU

Doç. Dr. Murat YAZICI

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bursa- 2017

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI


Onur Aykut KAPUCU tarafından hazırlanan ‘‘Kord Bezi Takviyeli Kauçuk Kompozitlerin Yorulma Davranışının İncelenmesi’’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.
Danışman: Doç. Dr. Murat YAZICI

Üye: Doç. Dr. Murat YAZICI
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği



imza

Üye: Yrd. Doç. Dr. Erol SOLMAZ
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği



imza

Üye: Doç. Dr. Ali Rıza MOTORCU
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Endüstri Mühendisliği



imza

Yukarıdaki Sonucu Onaylarım



Prof. Dr. Ali Bayram

Enstitü Müdürü

3..1.2019 (Tarih)

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

Beyan ederim.

29/12/2017

Onur Aykut KAPUCU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KORD BEZİ TAKVİYELİ KAUÇUK KOMPOZİTLERİN YORULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Onur Aykut KAPUCU

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Murat YAZICI

Son yıllarda kauçuk malzemelerde yapılan araştırmalar doğrultusunda kauçuk malzemelere ilgi ve ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu gelişmeler doğrultusunda kauçuk katkı malzemeleri de önem kazanmıştır.

Bu tezde havalı süspansiyonlarda kullanılan kauçuk-kord kompozit malzemesinin ömrü ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Kord bezi farklı açılarda kauçuk içerisine yerleştirilerek yorulma dayanımı test edilerek veriler alınmıştır. Kauçuk ve kord bezinin karakteristik davranışları incelenmiş ve yorulma deney sonuçları yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kord bezi açıları, kauçuk, kord bezi oranı, kauçuk ara birim mukavemeti, yorulma dayanımı

2017, ix + 60 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE FATIGUE BEHAVIOR OF THE CORD FABRIC REINFORCED RUBBER

Onur Aykut KAPUCU

Uludağ University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Murat YAZICI

In the recent years, there is a growing interest in rubber materials due to improved physical and mechanical properties as a result of the research studies. In these developments, rubber additives have become important.

In this thesis, the fatigue of the rubber-cord composite material used in air suspension is studied. The cord fabric was placed in rubber at different angles, and the fatigue strength was tested, and the data were acquired. Characteristic behaviors of rubber and cord fabric were examined, and fatigue test results were interpreted.

Key Words: Cord fabric orientation, Cord fabric volume ratio, Rubber-cord fabric interface strength, Fatigue

2017, ix + 60 Pages.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca her konuda desteğini, bilgi ve tecrübesini hiçbir zaman esirgemeyen, öğrenimim boyunca her yanına gittiğimde zamanını bana ayıran ve kendimi geliştirmem için bütün imkânları bana sunan danışman hocam Sn. Doç. Dr. Murat YAZICI'ya öncelikle teşekkür ederim. Aynı zaman da PE-GA Otomotiv'de AR-GE yöneticisi olarak çalışma hayatını sürdüren ve deney aşamalarımda bana yardım eden, konu ile ilgili bütün bilgi ve tecrübelerini benim ile paylaşan Sn. Hasan KASIM Beye ve çalışma arkadaşlarına teşekkürlerimi sunarım. Hayatımın hiçbir döneminde yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Onur Aykut KAPUCU
29/12/2017



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Kauçuğun Kısa Tarihçesi.....	2
2.2. Kauçuğun Çapraz Bağlanabilme Kabiliyeti.....	2
2.3. Kord Bezi.....	4
2.4. Taguchi Metodu.....	4
2.5. Araştırılan Makaleler.....	5
2.6. Vulkanizasyon.....	7
2.7. Kauçuk-Kord Bezi Kompozit Malzemesi.....	7
2.8. Kauçuk ve Kauçuk Kompozit Malzemelerde Yorulma.....	14
2.8.1. Bağlar Arası Ayrılmadan Kaynaklanan Çatlak Yorulması.....	16
2.8.2. Kord Bezi-Kauçuk Arası Ayrılmadan Meydana Gelen Yorulma.....	18
2.8.3. Kord Bezi-Kord Bezi Arası Ayrılmadan Meydana Gelen Yorulma.....	19
2.8.4. De Mattia Yorulma Testinin Teorik Alt Yapısı.....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
3.1 Numune Hazırlama.....	22
3.2. Taguchi Metodu İle Numunelerin Belirlenmesi.....	27
3.3. De Mattia Test Cihazı Tanıtımı.....	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	34
4.1. Bulgular.....	34
4.1.1. Deney Numuneleri Fotoğrafları.....	35
4.1.2. Numunelerde Çatlak Meydana Gelmesi.....	39
4.1.3. Numunelerde Hasar Meydana Gelmesi.....	41
4.1.4. Numunelerde Katmanlar Arası Ayrılma Meydana Gelmesi.....	41
4.2. Tartışma.....	42
4.2.1. Katmanlar Arası Ayrılma.....	44
4.2.2. Hasar.....	44

4.2.3. Kenarlarda Çatlak Oluşumu	45
4.2.4. Yorulma Gerçekleşmeyen Numunelerdeki Gözlemler	46
4.2.5 Çentik Kökünde Gerilme Yoğunlaşma Miktarı	52
5. SONUÇ	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	60



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
L	Uzunluk
F	Kuvvet
M	Moment
I_z	Atalet Momenti
h	Kesit Genişliği
d	Çentik Altındaki Numune Kalınlığı
H	Numune Kalınlığı
r	Dairesel Çentik Yarıçapı
t	Çentik Derinliği
σ_{nom}	Nominal Gerilme
K_{tn}	Gerilme Yoğunluğu
σ_{max}	Maksimum Gerilme
σ_{kop}	Kopma Gerilmesi
$C_{1,2,3,4}$	K_{tn} Katsayıları

Kısaltmalar	Açıklama
dak	Dakika
t	Zaman

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1.	Delaminasyon oluşumunun şematik gösterimi.....	6
Şekil 2.2.	Kord bezi ve kauçuğun kompozit malzeme önceki hali.....	8
Şekil 2.3.	Kord bezlerinin numunenin içerisindeki açılı gösterimi.....	8
Şekil 2.4.	Numunenin hareketi esnasında kord bezleri görünümü.....	9
Şekil 2.5.	Kord bezlerinin açılı olarak yerleştirilmesi	9
Şekil 2.6.	Numunenin prese girmeden önce katmanlar arası birleşme hali...	10
Şekil 2.7.	De Mattia test cihazı için standart kauçuk kalıbı.....	10
Şekil 2.8.	Numunenin preslenmesi	11
Şekil 2.9.	Kauçuk-kord bezi kompozit malzemesinin presten çıkmış hali...	11
Şekil 2.10.	Numunenin De Mattia test cihazına bağlanması.....	12
Şekil 2.11.	Çenenin yukarı hareketi ile numunenin bükülmesi	13
Şekil 2.12.	Kauçuk malzemenin sıkıştırılamazlığından doğan şekil değiştirme nedeniyle çatlak başlangıcı.....	14
Şekil 2.13.	Lastik moleküllerine vulkanizasyonun etkisi	17
Şekil 2.14.	Yorulma çatlağı..	17
Şekil 2.15.	Kauçuk-Kord bezi arası yorulma.....	18
Şekil 2.16.	Kord bezleri arası ayrılmadan kaynaklanan yorulma.....	19
Şekil 2.17.	Basit eğilme altında U çentikli plağın uç kısmındaki gerilme.....	21
Şekil 3.1.	Kord bezlerinin açılı kesme işlemi	22
Şekil 3.2.	Pişirme kalıbı	25
Şekil 3.3.	De Mattia test cihazı	30
Şekil 3.4.	TS ISO 132 De Mattia test numune teknik resmi.....	31
Şekil 3.5.	De Mattia test cihazına numunenin bağlanması.....	31
Şekil 3.6.	Çenelerin hareketi ile oluşturulan gerilimin teknik resmi	32
Şekil 4.1.	Deney sonrası 1-4 arası numune fotoğrafları.....	35
Şekil 4.2.	Deney sonrası 5-8 arası numune fotoğrafları.....	36
Şekil 4.3.	Deney sonrası 9-12 arası numune fotoğrafları.....	37
Şekil 4.4.	Deney sonrası 13-16 arası numune fotoğrafları.....	38
Şekil 4.5.	Deney sonrası 17-18 arası numune fotoğrafları.....	39
Şekil 4.6.	Numunede çatlak oluşumu.....	40
Şekil 4.7.	Çatlak oluşum sebebinin katı model ile temsili olarak Gösterilmesi.....	40

Şekil 4.8.	Delaminasyona uğrayan numune örneği.....	42
Şekil 4.9.	Test sonuçlarına göre Taguchi analizi.....	43
Şekil 4.10.	Katmanlar arası ayrılan numune örneği.....	44
Şekil 4.11.	Kopma gerçekleşen numune örneği.....	45
Şekil 4.12.	Çatlak başlangıcı gerçekleşen numune örneği.....	46
Şekil 4.13.	Yorulma gerçekleşmeyen numunelerdeki gözlemler-1.....	47
Şekil 4.14.	Yorulma gerçekleşmeyen numunelerdeki gözlemler-2.....	48
Şekil 4.15.	Yorulma gerçekleşmeyen numunelerdeki gözlemler-3.....	48
Şekil 4.16.	Yorulma gerçekleşmeyen numunelerdeki gözlemler-4.....	49
Şekil 4.17.	Yorulma gerçekleşmeyen numunelerdeki gözlemler-5.....	50
Şekil 4.18.	Basit eğilmeye maruz kalan giriş görünümü.....	52
Şekil 4.19.	Numunenin deplasman görünümü.....	53
Şekil 4.20.	Farklı derecelerdeki kord bezi takviyeli numunelerde De Mattia cihazında uygulanan aksenal kuvvet-deplasman verileri.....	53
Şekil 4.21.	Deney numunesi kesit alanı görünümü.....	54
Şekil 4.22.	Zamana bağlı gerilme değişimi.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1.	1. Tip kord bezlerinin özellikleri	23
Çizelge 3.2.	2. Tip kord bezlerinin özellikleri	24
Çizelge 3.3.	Numune hazırlama verileri	26
Çizelge 3.4.	Taguchi ortagonal dizi seçim tablosu.....	28
Çizelge 3.5.	Parametre ve seviyelere bağlı olarak ortagonal dizinin seçimi....	29
Çizelge 4.1.	Yorulma dayanımı test sonuçları	34
Çizelge 4.2.	Sertlik değerlerinin ölçüm tablosu.....	51



1. GİRİŞ

Havalı körükler genellikle büyük araçlarda yaygın olarak kullanılırlar ve süspansiyon sisteminde sık olarak kullanılan yaprak yayların yerine geçerler. Temel malzeme olarak kauçuk-kord bezi kompozit malzemesinden oluşurlar. Bu sebepten dolayı esnek bir malzemedir. Metal süspansiyon sisteminden farklı olarak kendisine gelen darbeleri hacim değiştirerek kısmen ya da tamamen absorbe ederler. Metal süspansiyon sistemleri ise kendisine gelen etkiyi biçim değiştirerek absorbe eder. Havalı körükler araçlarda kullanım esnasında yüzeyden gelebilecek etkilere karşı kendi hacimlerini uygun bir şekilde kendi şekillerini değiştirerek sürücü için rahat ve konforlu bir sürüş sağlar, araç için ise daha uzun ömürlü olmasını ve darbelere dolayısıyla oluşabilecek hasarları minimize etmeyi sağlarlar. Körüklerde hacim yaylanmasında kauçuk körüklerin içine gaz ya da hava kullanılır. Hacmin değişmesinden dolayı körük çeperlerinde basınç meydana gelmektedir. (Kasım 2012)

Bu tez kapsamında havalı körüklerde kullanılan kauçuk-kord bezi kompozit malzemesinin birbiri ile etkileşiminin yorulma dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu tez kapsamına da;

- Alt kauçuk
- Birinci kord bezi
- İkinci kord bezi
- Üst kauçuk

birleşiminden meydana gelen kompozit bir birleşim oluşturulmuştur. Kord bezleri belirli açılar ile kauçukların içine yerleştirilerek yorulma ömürleri tayin edilmiştir. Kauçukların içine belirli açılar ile yerleştirilen kord bezlerinin, belirlenen sıcaklık, basınç ve pişme süresinde birleştirilmesi sağlanmış ve yorulma deneyi ile standartlara uygun olarak hazırlanan numuneler test edilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kauçuğun Kısa Tarihçesi

Tropik bitkilerin baz hallerinin öz suyundan elde edilebilen doğal kauçuk aynı zamanda alkol ya da petrol bileşimlerinden de suni olarak elde edilebilir. Kauçuk tarihsel olarak ilk üretildiği zamanlarda sert ve kırılğan bir yapıya sahipken uzun süren araştırmalar sonucunda farklı katkı maddeleri ve farklı vulkanizasyon işlemleri sonucunda elastik ve mukavim yapı haline dönüştürülmüştür. (Anonim 1989)

Doğal kauçuk ilk olarak Kristof Kolomb 1700'lü yıllarda Amerika kıtasına yaptığı ikinci seyahat sırasında Haiti adasındaki yerlilerin ağaçtan elde ettikleri reçinelerden çeşitli tekstil ürünleri elde ettiklerini gözlemlemiştir. *Havea Brasiliensis* ağacına açılan yarıklardan bu maddenin aktığını görmüş ve böylece doğal kauçuk ile Yeni Dünya'da tanışılmıştır. Böylece doğal kauçuk 1751 yılında ilk olarak teknik açıdan kullanılmıştır. Kauçuk alanında birbirini takip eden gelişmelerin ardından ilk kauçuk fabrikası 1803 yılında Paris'te kurulmuştur. Kauçuk malzemesinin kullanım alanını artırmak ve daha mukavim kauçuk elde etmek amacıyla 1839 yılında Charles Goodyear tarafından vulkanizasyon bulunmuştur. 1888 yılına gelindiğinde ise geliştirilen elastik özellikleri sayesinde kauçuk malzemeler Boyd Dunlop tarafından havalı bisiklet lastiklerinde kullanılmıştır. Kauçuk malzemesindeki ham madde güçlüğü nedeniyle sentetik kauçuk üretiminde geliştirme çalışmaları sonuç vermiş, 1909 yılında F. Holman tarafından sentetik kauçuk elde edilmiş ve kauçuk endüstrisinde sektörel anlamda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Böylece kauçuk esaslı malzemeler otomotiv endüstride, araç lastikleri, akaryakıt ve fren hortumları, cam silecekleri, transmisyon kayışları ve genel titreşim ve yalıtım malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Ayrıca tekstil ve gıda elektronik endüstrisinde de sıklıkla kullanılmaktadır. (Vahapoğlu 2007)

2.2. Kauçuğun Çapraz Bağlanabilme Kabiliyeti

Kauçuk çapraz bağlı olmamasına rağmen çapraz bağlanma özelliği taşıyan polimerdir. Çapraz bağlanabilmesi için de vulkanizasyon işlemi gerekmektedir. Vulkanize edilmiş kauçuklar seyrek olarak bağlandıktan sonra elastomer haline dönüşen polimerlerdir.

Vulkanizasyon işlemi kauçuğun yapısını kimyasal olarak değiştirerek çapraz bağlı bir yapı oluşturur. Bu işlem sonrasında kauçuk geri dönüşümsüz olarak elastik özelliklere sahip olur.

Vulkanizasyon işlemi gerçekleştirilmek için üç önemli faktör vardır. Bunlar;

- Sıcaklık
- Basınç
- Zaman

faktörlerine bağlı olarak gerçekleşir. Bu işlemlerin birbirleri arasındaki optimizasyonu sağlandıktan sonra vulkanize edilmemiş kauçuğa göre daha sert ve mukavemetli bir ürün elde edilir.

Vulkanize edilmiş ve işlem görmemiş kauçuk arasında fark şu şekilde ifade edilebilir; (Soyubol 2006)

Çapraz bağlı olmayan kauçuk özellikleri;

- Yumuşak ve yapışkan bir yapı.
- Termoplastik özellikler
- Düşük mukavemet
- Yüksek kalıcı deformasyon
- Çözünme
- Isıdan etkilenme

Çapraz bağlanmış vulkanize edilmiş kauçuk özellikleri;

- Sert ve yapışkan olmayan bir yapı
- Elastik özellikler
- Yüksek mukavemet
- Düşük kalıcı deformasyon
- Çözünme özelliği çok az
- Isıdan az etkilenme

şeklinde ifade edebiliriz.

2.3. Kord Bezi

Kord bezi birbirine paralel çözümlerden ve bu çözümleri birbirine bağlayan seyrek atkılardan oluşan kumaştır. Kauçukta takviye malzemesi olarak endüstriyel çeşitliliğe göre kord bezleri kullanılabilir. Araç lastiklerinin en önemli aksamını oluştururlar. Kord bezi sentetik iplik çözümlerinden oluşurlar (Ulucoşkun 2009).

Kord bezinin kullanım alanı oldukça yaygın olup genellikle kauçuk kompozit malzemelerde kullanılır. Bu tür malzemeler tekstil sektörünün %20'sini oluşturmaktadır. Kord bezinin en büyük avantajlarından biri hafif olması ve aynı zamanda kullanıldığı yapıya yüksek mukavemet sağlamasıdır. İplikler bükülerek birbirine sarılırlar. Birleşmemiş halde olan ince iplikler <<z>> şeklinde bükülür ve bu ipliklerin birçok miktarda <<s>> şeklinde birleşmesi ile de kord bezleri oluşur. Kord bezleri Naylon6 malzemelerden üretilirler.

Kord bezlerinin kısaca özellikleri;

- Yüksek çekme mukavemeti
- Yüksek yorulma dayanımı
- Boyutsal kararlılık
- Kauçuğa iyi yapışma özelliği
- Düşük ısı üretimi

olarak özetleyebiliriz.

2.4. Taguchi Metodu

Mühendislik ve birçok alanda optimizasyon ve deney tasarımı üzerine sistem ve parametrelerin minimize edilmesi amacı ile kullanılan bir yöntemdir. Taguchi metodu mühendis Genichi Taguchi tarafından bulunmuştur. Genel kullanım alanı parametreler ile seviyeler arasında optimum kombinasyonu sağlamak amacı ile mühendislik ve kalite güvence sistemleri verilerinin istatistiksel analizi ve optimizasyonudur (Gural 2003).

Taguchi Metodu mühendislik, istatistik ve birçok alanda araştırmacı tarafından en çok kullanılan deney tasarım yöntemlerinden biridir. Örneğin enjeksiyon kalıplarında farklı malzemelerin dökme plakalarında alın tornalama parametreleri oldukça fazladır. Bu

parametrelerin minimize edilmesinde çok amaçlı optimizasyon yöntemi olarak Taguchi metodu kullanılabilir ve optimum parametre seviyelerine belirlenebilir

Taguchi yöntemi üç kısımdan oluşur. Bunlar;

- Sistem tasarımı
- Parametre tasarımı
- Tolerans tasarımıdır.

Sistem tasarımı: Taguchi metodunun ilk adımı sistem tasarımıdır. Sistem tasarımında mevcut materyaller göz önünde bulundurulur. Bunun yanında sürekli kendini yenileyen teknolojik gelişmeler araştırılır ve sistem üzerinde gerekliliği değerlendirilir. Sistem tasarımının amacı minimum maliyet ve optimum ürün tasarımıdır.

Parametre tasarımı: Parametre tasarımının en önemli amacı süreç yenileme ve iyileştirmedir. Üretimde kullanılan parametrelerin en iyilemesinin (optimizasyonu) yapılması için parametre tasarımı büyük önem taşımaktadır. Parametreleri belirlemek için en iyi seviyeler seçilir. Üretimde olumsuzluk teşkil eden etkiler belirlenir. Bu etkilere kontrol edilemeyen parametre adı verilir ve etkileri minimize edilir.

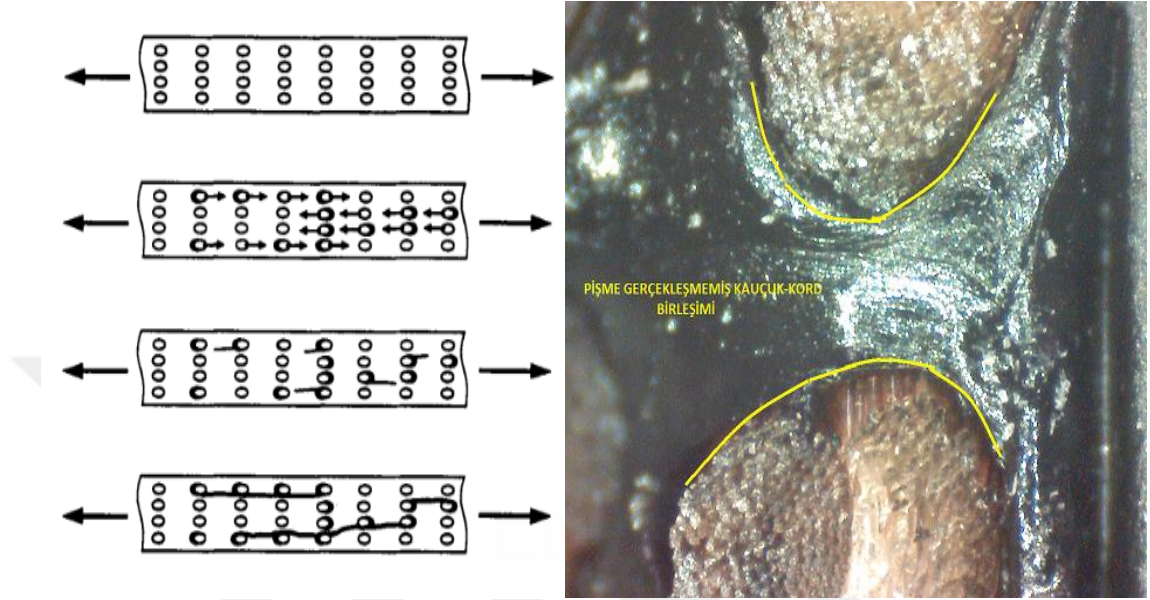
Tolerans tasarımı: Tolerans tasarımı ana tasarım esasları olarak kabul edilmez. Parametrelerin istenilen hedefler ile uygunluk göstermediği durumlarda ilave tasarım olarak tolerans tasarımından yararlanılabilir. Böylece hedef değerdeki sapmalar belirlenerek minimize edilir.

2.5. Araştırılan Makaleler

B. L. Lee ve ark. The Pennsylvania State Üniversitesi'nde 1997 yılında yaptığı çalışmalardan bir tanesinde numunenin kenarlarındaki kesme kuvvetinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bu sebepten dolayı da fazla gerginlik artışı ile matrisin içine çatlakların yayılması ile sonuçlanmış ve bunun sonucunda da delaminasyona dönüşmüştür.

Şekil 2.1'de dayanıklılık sınırını aşan çevrimsel yüklere bağlı gerilmelerde, soldaki şematik gösterimde görüldüğü gibi takviye fiber uçlarında matris ile ayrılmalar görülmüştür. Dayanıklılık sınırını aşmamak için sağda pişmemiş olarak hazırlanan

numunedeki sarı ile çizilen alandaki kord bezleri ile kauçuk ara yüzünün birbirine iyi tutunması gerekmektedir.



Şekil 2.1. Delaminasyon oluşumunun şematik gösterimi (Lee ve ark. 1994).

B. L. Lee ve ark. yaptıkları bir diğer çalışmada The Pennsylvania State Üniversitesi'nde 1997 yılında yaptığı çalışmada kauçuk kompozitlerin belirli bir gerilme aralığında belirli bir seviyeye kadar numune uzun yorulma ömürlerine sahip olduklarını tespit etmişlerdir. Fakat bu kritik seviye aşıldığında malzemelerin yorulma ömrü kısalmaktadır. Bu çalışmadan yola çıkarak Goodman denkleminin gerilme aralığı ve ortalama gerilme arasındaki ilişkiyi tahmin etmede geçerli görmekteyiz.

R. M. V. Pidaparti ve ark. kord bezi takviyeli kauçuk kompozitlerin iki boyutlu ve üç boyutlu olmak üzere mikro mekanik sonlu elemanlar analizi üzerine çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar çözümlerini Abaqus programında gerçekleştirmişlerdir. İki boyutlu çatlak analizi, üç boyutlu çatlak analizine göre çatlak ara yüzü boyunca dört kat daha iyi sonuç vermiştir. Enine yüklemde ise iki boyutlu analiz üç boyutlu analize göre çatlak için üç kat daha iyi sonuç vermiştir.

2.6. Vulkanizasyon

Kauçuk malzeme 1840'lı yıllara gelindiğinde plastik bir malzeme olarak biliniyordu. Bunun yanı sıra kauçuğun sıcakta oldukça yumuşak ve soğukta sert ve kırılğan hale gelmesi kullanım alanlarını sınırlıyordu. (Vahapoğlu 2007)

Alecander Parkers'in vulkanizasyon işlemini ısıtma işlemi olmaksızın geliştirme çabaları sonuç vermişti. Ham kauçuk içerisine karbon disülfür ilave ederek seyrekleştirmiş ve elde edilen karışımı sülfür klorür içerisinde daldırarak hızlı bir şekilde vulkanize işlemini gerçekleştirmiştir. Bu işlem sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyon oldukça karmaşık yapıdadır. Kuvvet altında sonucunda iç yapıda oluşan zincir yapının kayması sağlanarak plastik şekil değiştirmesi engellendiğinden istenilen elastiklik kauçuk malzemeye kazandırılmıştır (Craig 1963).

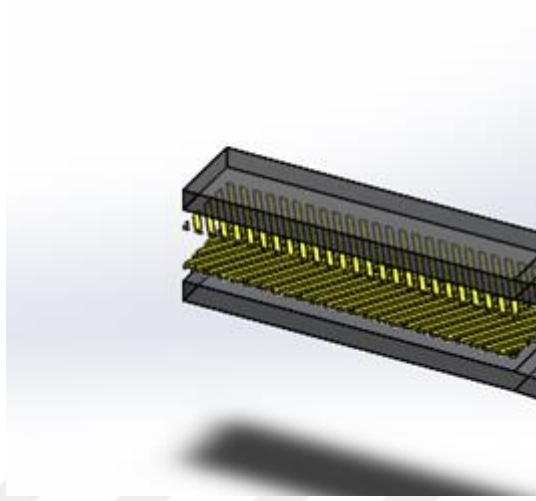
Vulkanizasyon işlemleri 140-180 °C arasında gerçekleştirilmektedir. Ayrıca bu işlemde kauçuk malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri de geliştirilmektedir. Bu özellikleri geliştirmek amacıyla kauçuk yapı içerisine kurşun oksit, magnezyum ve kalsiyum katkı maddeleri ilave edilmiştir. Kauçuk malzeme üzerinde yapılan işlemler sonucunda malzemedeki elastiklik elde edilse de istenilen mekanik özellikler elde edilememiştir. Bu sebeple yapı içerisine mikro yapıda silika maddeler, belirli organik maddeler ilave edilerek gerekli mekanik özellikler yapıya kazandırılmıştır. (Anonim 2000)

2.7. Kauçuk-Kord Bezi Kompozit Malzemesi

Kompozit malzeme; farklı fiziksel özelliklere sahip olan en az iki malzemenin belli oranlarda bir araya getirilerek bileşenlerinden daha farklı özelliklerde ve bileşenlerinin güçlü yanlarının bir araya getirilmesi ile oluşan malzemeye denir. Genel olarak iki tip malzeme bulunmaktadır. Bunlardan; birine matris malzeme diğerine ise takviye malzemesi denmektedir. Genellikle takviye malzemesi taşıyıcı görev üstlenir, matris malzemesi de takviye malzemesini bir arada tutar. En çok bilinen betonu örnek olarak gösterilebilir. Bu tez kapsamında kord bezi takviyeli kauçuk kompozit malzemesi incelenmiştir.

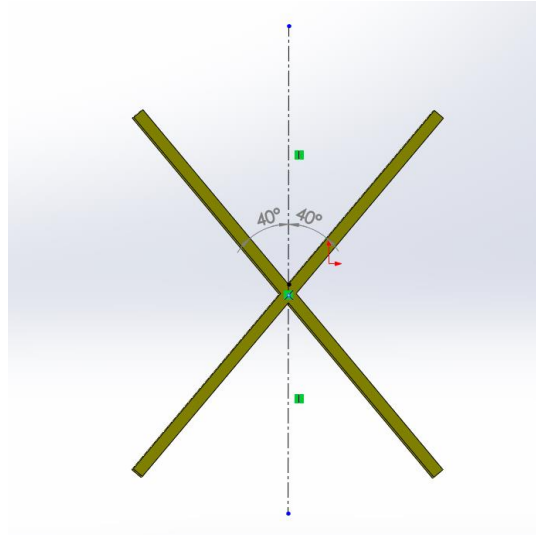
Şekil 2.2'de görüldüğü gibi malzemeler birleştirilmeden önce katman şeklinde düzenlemiştir. Kord bezleri açılı bir şekilde yerleştirilerek birleştirilmeye hazır

konumdadır. Şekilde gösterilen kord bezi açıları 40° olarak çizilmiş ve görsel olarak malzemeler ayrı ayrı gösterilmiştir.



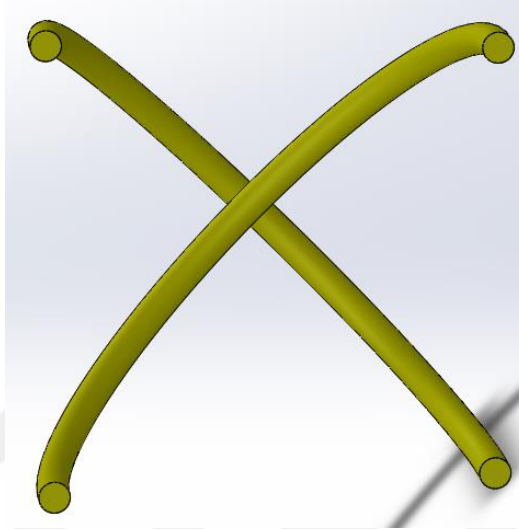
Şekil 2.2. Kord bezi ve kauçuğun kompozit malzeme önceki hali

Şekil 2.3’ de görüldüğü gibi kord bezleri çapraz açılar şeklinde yerleştirilir. 40° sağa ve 40° sola açı yapacak şekilde yerleştirilir. Birinci kord bezi eksen ile 40° sağa açı ile ikinci kord bezi ise eksen ile 40° sola açı yaptırılır. Bu birleşimden sonra ikinci ve üçüncü katmanı oluşturan kord bezleri kauçukların arasına yerleştirilmiş olur.



Şekil 2.3. Kord bezlerinin numunenin içerisindeki açılı gösterimi

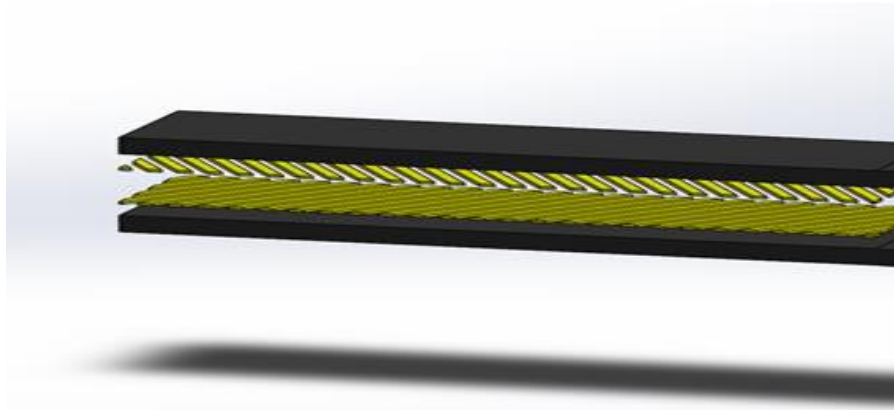
Hazırlanan numunede yorulma testi esnasında bükülme gerçekleştiği anda kord bezlerinin son durumu şekil 2.4'te gösterildiği gibi olmaktadır. Belirlenen açı kriterleri bükülme esnasında değişmektedir. Bükülme işlemi bittikten sonra tekrar eski haline gelmektedir.



Şekil 2.4. Numunenin hareketi esnasında kord bezleri görünümü

Kord bezine istenen açılar şeklindeki gibi kauçuk malzeme üzerine yapıştırılarak elde edilir. Birinci kord bezi ve ikinci kord bezi arasındaki açılar Şekil 2.5'teki gibi konumlandırılır. Üst kısımdan bakıldığında çapraz bir birleşim izlenir, kauçuk malzemenin yüzey alanını daha çok kaplar ve homojene daha yakın bir yapı elde edilir. Bununla yorulma davranışı üzerinde olumlu etkileri vardır.

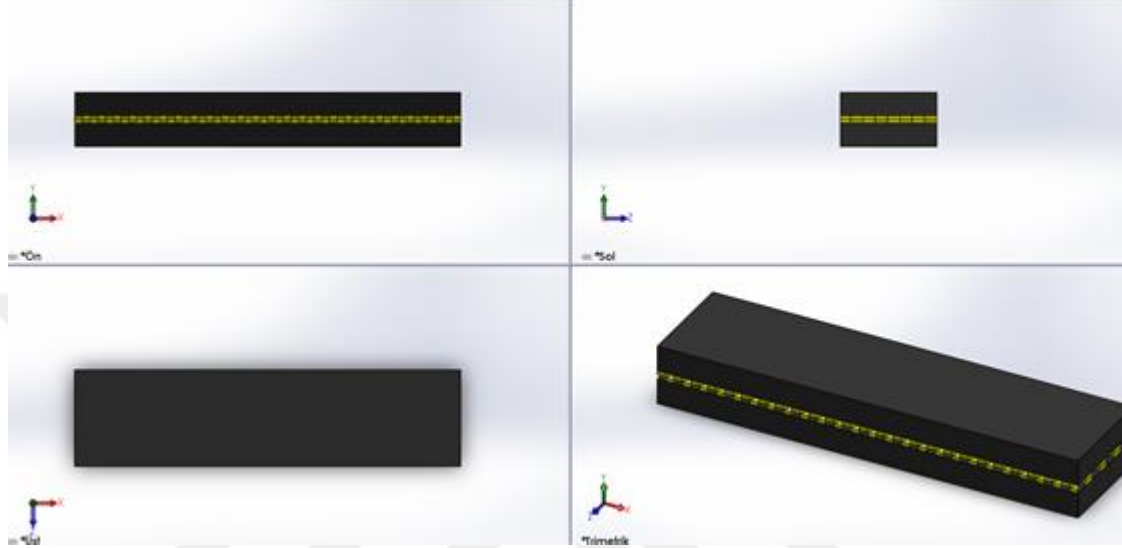
İstenen açılar elde edildiğinde daha sonra katmanlar arası birleştirme işlemi gerçekleşir.



Şekil 2.5. Kord bezlerinin açılı olarak yerleştirilmesi

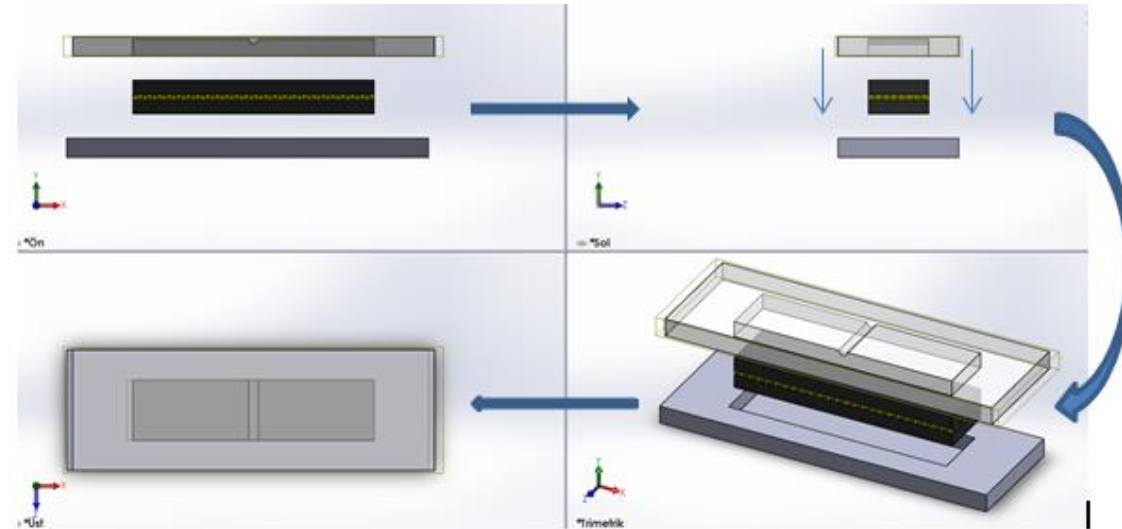
Şekil 2.6'daki gibi katmanlar arası birleşim gerçekleşir ve numunemiz prese sokulması için hazır hale gelir.

Hazırlanan numune belirtilen standartlara göre hazırlanan kauçuk kalıbın içine yerleştirilir.



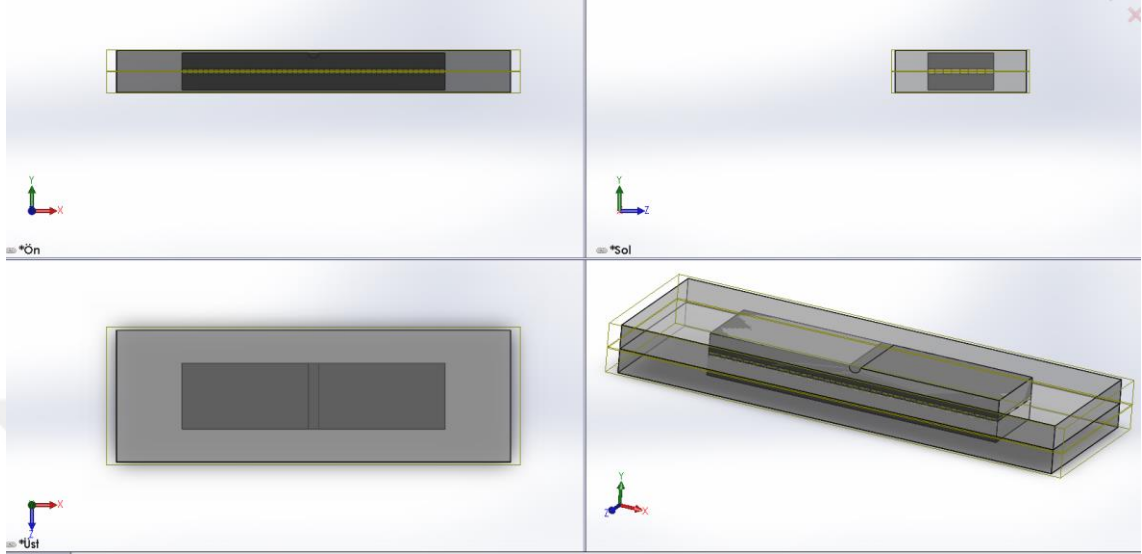
Şekil 2.6. Numunenin prese girmeden önce katmanlar arası birleşme hali

Şekil 2.7'deki gibi kauçuk kalıbı hazırlandıktan sonra birleştirilmiş olan numune örneğimiz belirtilen sıcaklık, basınç ve süre içerisinde presleme ve pişme işlemine tabi tutulur.



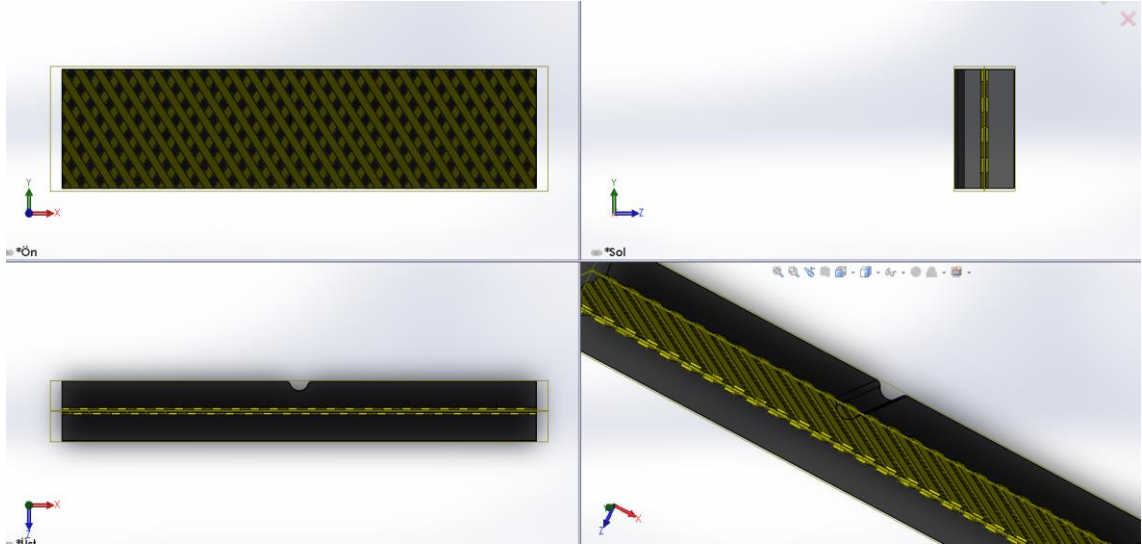
Şekil 2.7. De Mattia test cihazı için standart kauçuk kalıbı

Şekil 2.8’de standartlara uygun olarak hazırlanan kalıbımızın numunemize belirtilen basınç, sıcaklık ve süre içerisinde uygulanması gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Numunenin preslenmesi

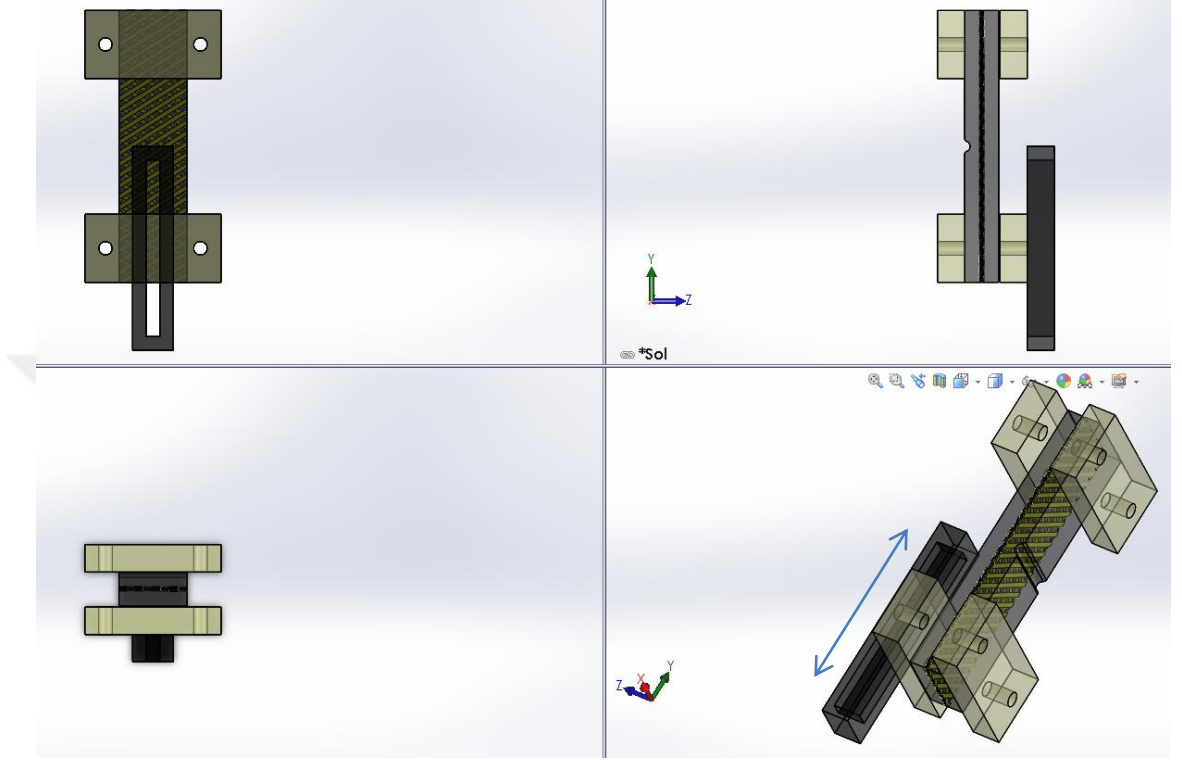
Üretilen numune De Mattia test cihazı için hazır hale getirilmiştir. Şekil 2.9’da yorulma dayanımının tayini için test işlemi gerçekleştirilebilir haldedir.



Şekil 2.9. Kauçuk-kord bezi kompozit malzemesinin prestren çıkmış hali

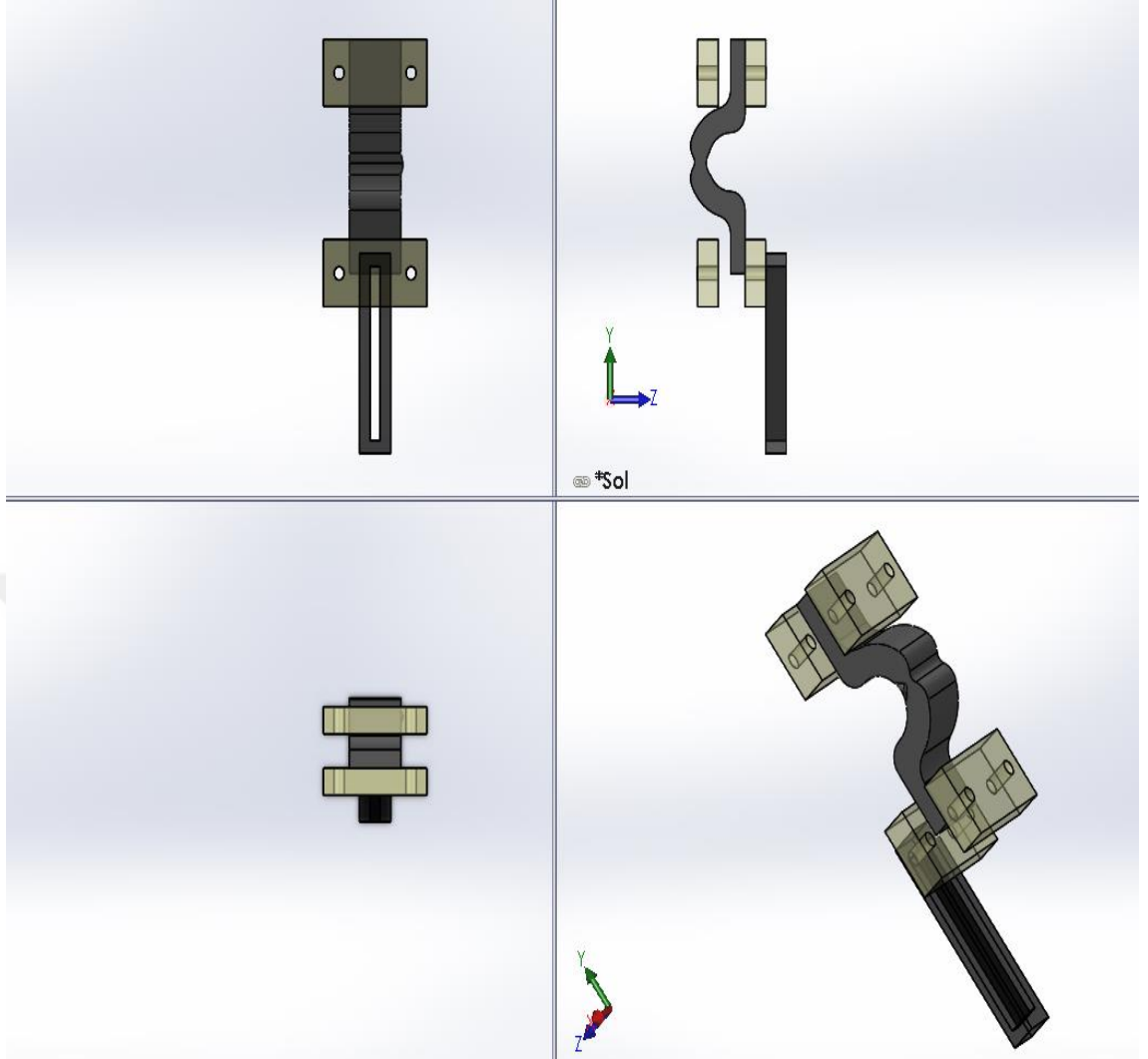
Numune De Mattia test cihazına Şekil 2.10’da gösterildiği gibi bağlanır.

Şekilde 2.10’da görüldüğü gibi alt çenenin aşağı ve yukarı hareketi ile numuneler yorulma testine başlamış olur.



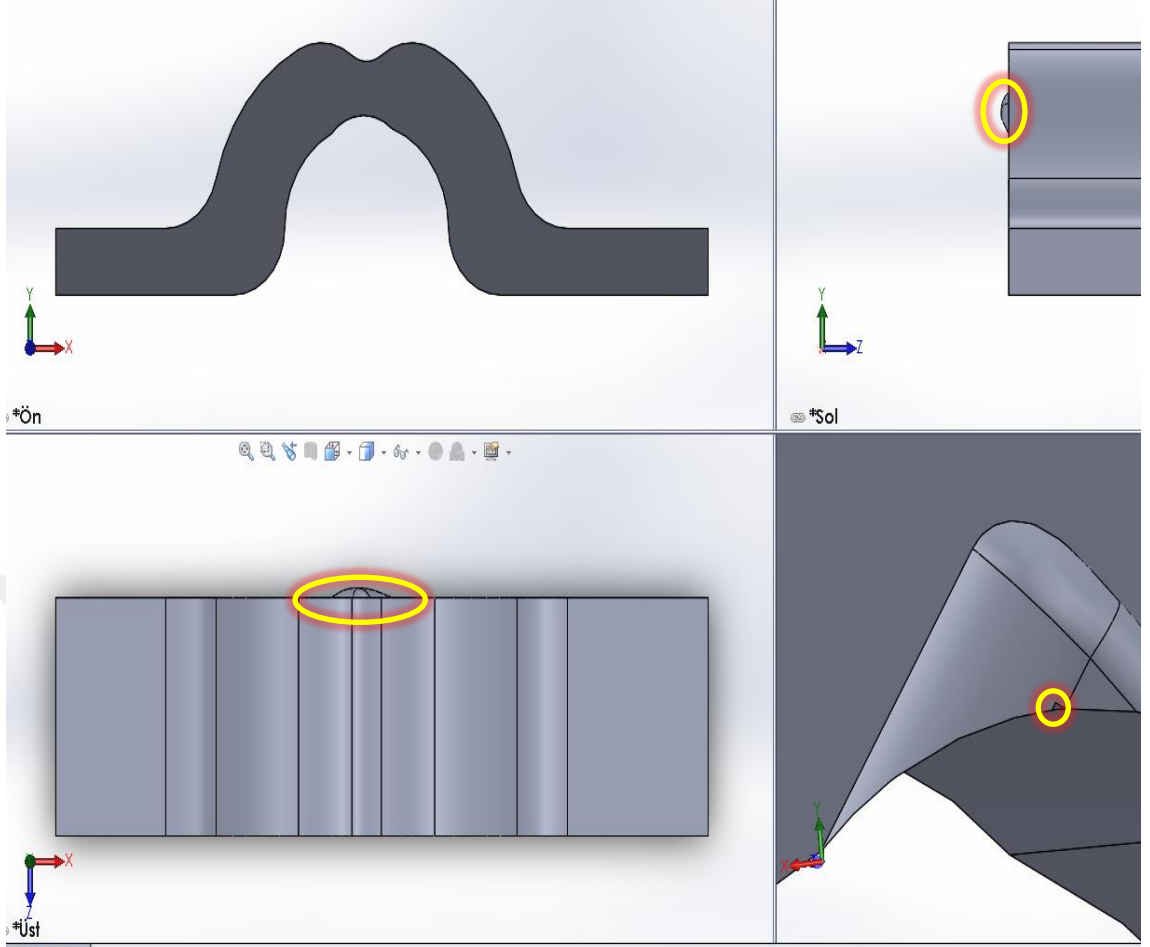
Şekil 2.10. Numunenin De Mattia test cihazına bağlanması

Alt çenenin yukarı hareket etmesiyle numuneler Şekil 2.11’deki görünümü alır. Alt çenenin tekrar aşağı hareketi ile ise ilk bağlantı konumuna, yani gerginlik olmadığı konuma geri döner. Bu işlem sırası ile devam ederek (aşağı, yukarı) numuneler deforme oluncaya kadar devam eder.



Şekil 2.11. Çenenin yukarı hareketi ile numunenin bükülmesi

Çatlak başlangıcı Şekil 2.12’de temsili olarak gösterildiği gibi kauçuk malzemenin sıkıştırılmaz özelliği nedeni ile eğilmenin gerçekleştiği numune üzerindeki çentiksiz tarafta, numune kenarına doğru, uzamaya dönük şekil değişimi ile gerçekleşir. Yorulma esnasında çentik kökünde gerilme yoğunlaşması ve çentikli olmayan düz tarafta ise kenara doğru açılmaya zorlayan bir çekme gerilmesi yükü altında yorulma testi gerçekleşmektedir. Şekil 2.12’de örnek olarak çentiksiz tarafta meydana gelen çatlak başlangıcının düzlem dışı şekil değiştirme davranışından kaynaklandığı temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Kauçuk malzemenin sıkıştırılamazlığından doğan şekil değiştirme nedeniyle çatlak başlangıcı

2.8. Kauçuk ve Kauçuk Kompozit Malzemelerde Yorulma

Mekanik yorulma, kauçuk benzeri malzemeler içinde, fiziki özelliklerin, dinamik yükler veya şekil değişimleri esnasında yavaş bir çatlak büyümesi neticesi ilerleyen bir şekilde zayıflaması ile izah edilir.

Yorulma metallerde geniş olarak araştırılmış olsa da, günümüze kadar yapılan kauçuk yorulma araştırmalarında, yapısının karmaşıklığı sebebiyle kauçuk sürekli bir yapı olarak ele alınmıştır. Böylece, kauçuğun yorulma karakteristikleri, büyük ölçüde ampirik olarak kalmıştır.

Gerçekte bir plastik şekil değişikliği bulunmadığından, çapraz bağlı kauçuklarda yorulma çatlamaşının ağırlıklı tipi, kırılğan çatlamaşındır. Kauçukta yorulma çatlamaşının

temel sebepleri, mekanik, termal, çevre (oksijen, ozon ve ultraviyole radyasyon) etkenleri ve kimyevi ürünlerdir (yağ, benzin). Çevre şartlarından ileri gelen çatlamlar, normal olarak, küçük yüzey çatlakları halinde kendini gösterir.

Kauçukta mekanik yorulma çatlağının başlaması az ilgi çekmiştir. Gerçekte, kopma mekaniğin temel konularından biri, herhangi bir cisim içinde tabii hataların veya hatalı noktaların varlığıdır. Bu sebeple, herhangi bir kauçuk benzeri malzemede çatlak çekirdeklerinin mevcut olduğu farz edilir. Bu çekirdeklerin kesin tabiatı çok defa belirsizdir. Kauçuk terkipleri, pişiriciler, proses yardımcıları ve dolgular gibi muhtelif katkıları ihtiva eder. Bu sebeple bunlar, söz konusu katkılara bağlı olarak, mikroskobik ölçekte, muhtemelen 10 µm mertebesinde, muhtelif derecelerde homojen olmayan olarak arz ederler. (Nalbant 2006)

Bir kauçuk parça, tekrarlanan gerilimlere maruz bırakıldığında, gözle görünebilir çatlaklar ortaya çıkmadan önce muayyen bir zaman geçer. Bu indüksiyon zamanının, çatlak başlama prosesin bir parçası olarak itibar edilip, edilmeyeceği, birçok kez tartışmaya sebep olmuştur. Çatlak başlaması ile ilerlemesi arasındaki fark kesin değildir.

Yorulma ömrü, bir numunenin gerilim kontrollü bir testte, muayyen bir gerilimde (veya gerilme kontrollü test için gerilme) iki parçaya ayrılması için gerekli çevrim sayısıdır. Yorulma ömrü, normal olarak, ya bir logaritmik veya bir Weibull dağılımı kabulü ile, tecrübi verilerden tayin edilir.

Siyah takviye edici dolgular, kauçuk malzemeyi ultraviyole ışınlar ile bozulmaya karşı korur. İlave olarak, bunlar mekanik yorulma çatlamasına da önemli derecede etki eder.

Kordlar, kauçuk ile karşılaştırıldığında genellikle uzamayan malzemelerdir ve bu sebeple, kord-kauçuk bileşimleri heterojen ve izotropik değildirler (Nalbant 2006).

Lake ve Breidenbach [1/42] kord açısı ile düzenlenmiş, simetrik iki kord grubu ihtiva eden kauçuk kord kompozitlerinde, tekrarlanan çekme yüklemesi altında çatlak yayılmasını incelemişlerdir. Bu tür lamine yapılar, araç lastikleri, konveyör bantları ve hortumlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Araştırmacılar, toplam çekme yükleri

sadece yüzde birkaç mertebesinde iken dahi, bu şartlar altında, kord uçları yakınında çok büyük oranda kesme gerilimlerinin (%1000'e kadar) ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. Çatlaklar, kord uçlarından başlamakta ve iki tabakanın arasından, numunenin merkezine doğru ilerlemektedir. İç kısımlardaki çatlak yayılmasının kenardaki kesme gerilimleri tarafından değil, merkezî bölgedeki ortalama yırtılma enerjisi tarafından yönlendirildiği neticesine varılmıştır (Nalbant 2006).

Kauçuğun yorulma mekaniğinin esası, mevcut yırtılma enerjisinin G bir fonksiyonu olan, çatlak büyüme hızıdır. Çatlak büyüme hızı dC/dN , δ ve γ ampirik ifadeler, G çatlak büyüme hızı ve G_c Catastrophic yırtılma enerjisi (şiddetli mukavemet altındaki enerji) cinsinden ifade edilirse aşağıda verilen Denklem 2.1 elde edilir . Bir malzemenin mekanik yorulma için özelliklerinin belirlenmesi, eşik yırtılma enerjisi G_0 , catastrophic yırtılma enerjisine G_c kadar geniş bir yırtılma enerjisi aralığında, çatlak büyüme hızlarının ölçülmesini gerektirir. Çatlak büyümesi testleri, oldukça teferruatlı tecrübî tekniklere ihtiyaç gösterir, fakat hizmet ömrünün belirlenmesi için, kauçuğun yorulma davranışı hakkında temel bilgi temin eder. (Nalbant 2006)

$$dC/dN = \frac{\delta \cdot G^2}{\gamma \cdot G_c - G} \quad (2.1)$$

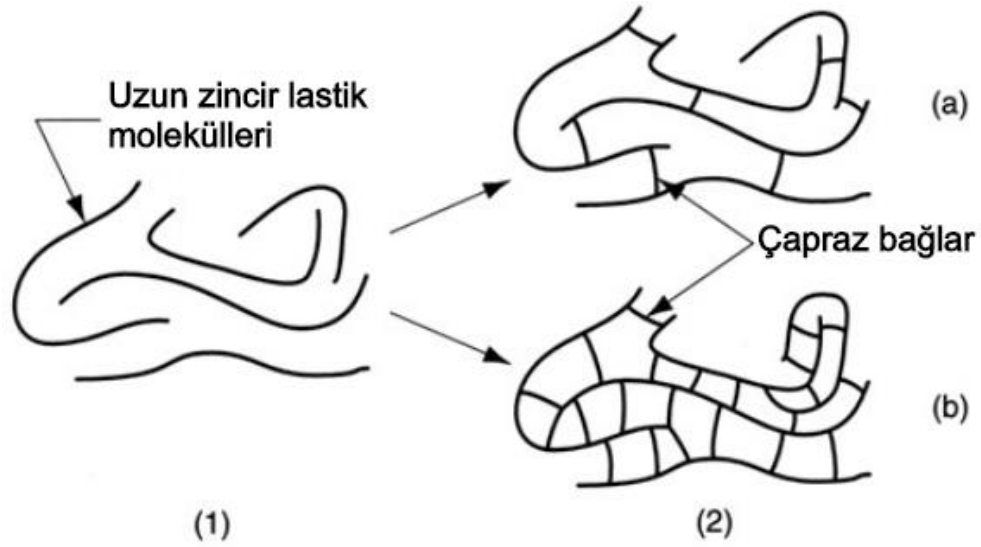
Kauçuk malzemelerde yorulma statik yaşlanma ve dinamik yorulma olarak isimlendirilir. Bu tez çalışmasında dinamik yorulma ağırlıklı bir çalışma yapılmıştır. Kırılma mekaniği prensiplerine dayanan yorulma çatlak yayılımı (FCP-Fatigue Crack Propagation) yorulması olarak alternatif bir yaklaşım şeklinde yorumlanabilir (Nalbant 2006) .

2.8.1. Bağlar Arası Ayrılmadan Kaynaklanan Çatlak Yorulması

Vulkanize edilerek hazırlanmış olan kord bezi takviyeli kauçuk kompozitlerde kauçuğun çapraz bağların ayrılmasından dolayı kauçuk üzerinde bağ yapısına benzer bir şekilde hasar bıraktıkları görülür. Bu örneği en yakın olarak göreceğimiz yerler yürüyen merdivenlerdeki el bantlarıdır. Dinamik yorulmaya sahip yürüyen merdivenlerde ki el bantlarının yüzeyinde dalgalı çiziklerden oluşan bir görünüm gözlemlenmektedir. Bu dalgalanmalar çapraz bağlar ile bağlanmış olan kauçukların bağlar arası ayrılmasından ya da kopmasından dolayı gözlemlenmektedir.

Şekil 2.13-1 ham lastik molekülü Şekil 2.13-2 ise çapraz bağlanmış vulkanize edilmiş lastiktir. Şekil 2.13-2a düşük derecede çapraz bağlı lastik ve 2.13-2b yüksek derecede çapraz bağlı sert lastiktir. Çapraz bağ sayısı arttıkça polimer rijit olur ve giderek termoplastik (sert lastik) gibi davranmaya başlar.

Şekilde 2.13-2’de oluşan bağlar koparsa malzeme üzerinde çatlak etkisini kolaylaştırır ve çatlak yorulmasına neden olur.



Şekil 2.13. Lastik moleküllerine vulkanizasyonun etkisi (Soyubol 2006’dan değiştirilerek alınmıştır)

Şekil 2.14’de görüldüğü gibi çapraz bağların ayrılması sonucunda malzemede yorulma sonucu oluşan çatlaklar görülmektedir.



Şekil 2.14. Yorulma çatlakları

2.8.2. Kord Bezi-Kauçuk Arası Ayrılmadan Meydana Gelen Yorulma

Kauçuğun kord bezlerine iyice tutunamamasından dolayı meydana gelen yorulma şeklidir. Bu yorulmanın gerçekleşmesinde en çok etki edecek olan faktörlerden biri kullanılacak olan kord bezinin cinsidir.

Şekil 2.15'te görüldüğü gibi kord bezi yüzeyi ile kauçuğun yüzeyleri birbirine iyi tutunamadığından ayrılarak yorulma gerçekleşmiştir. 9 nolu numune ile 17 nolu numuneleri karşılaştırdığımızda her ikisi de 140°, 75 bar ve 45 derece açığa sahip olmasına rağmen bu yorulmanın 17 numaralı deney numunesinde gerçekleşmesi beklenirken 9 numaralı numunede gerçekleşmiştir. 9 Numaralı numune 10 dak. pişme süresine tutulurken 17 numaralı numune 8 dak. pişme süresince hazırlanmıştır. Fakat 2 numaralı ip cinsinin (940X2-150 dtex) 1 numaralı ip cinsine göre (1400X2-120 dtex) kauçuk ve kord bezi arası birleşme yüzey alanı daha büyük bir alana sahiptir. Bu sebepten dolayı yorulma 9 numaralı ipde meydana gelmiştir. Buna göre, eğer 1 numaralı ip cinsi 17 numaralı numunede kullanılsa idi kauçuk kord bezi arası ayrılmanın 260000 çevrimden daha az bir çevrimde olması beklenirdi.

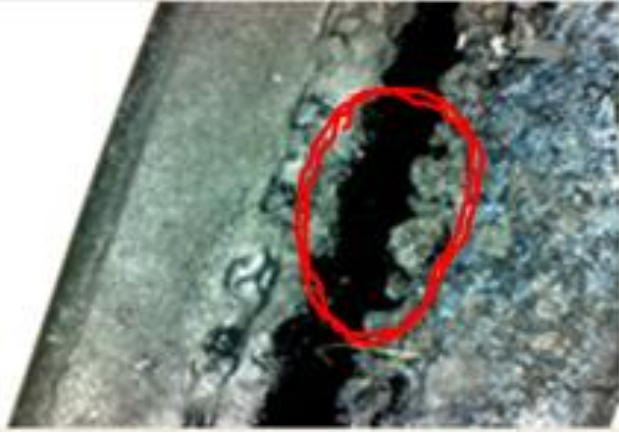


Şekil 2.15. Kauçuk-Kord bezi arası yorulma

2.8.3. Kord Bezi-Kord Bezi Arası Ayrılmadan Meydana Gelen Yorulma

Kord bezleri arası ayrılma belirli açılar ile üst üste yerleştirilen birinci ve ikinci kat kord bezlerinin birbirlerine sürtünmesinden dolayı gerçekleşen yorulma ile oluşmuştur.

Şekil 2.16'da 250 kat büyütme de görüldüğü üzere kord bezleri arasında kauçuğun pışme süresinin yeterli olmamasından dolayı çapraz bağlar ve kord bezleri birbirine iyi tutunamamıştır. Kord-kord bezi arası serbest kaldıkları için hareketlenmeler oluşmuş ve malzeme yorularak kord bezleri arasında ayrılma gerçekleşmiştir. Şekil 2.16'da 4 numaralı deneyin 1 numaralı deneyden farkı basınç değerinin yüksek olmasından kaynaklıdır. Eğer basınç değeri 1 numaralı deney numunesi gibi 125 bar olsa idi yorulma kendini çatlak olarak gösterecekti. Yüksek basınç değeri altında çapraz bağların birbirine yakınlığı arttığı için çatlak yorulması önlenmiş olup, yorulma kendini kord bezleri arası ayrılma olarak göstermiştir.



Şekil 2.16. Kord bezleri arası ayrılmadan kaynaklanan yorulma

2.8.4. De Mattia Yorulma Testinin Teorik Alt Yapısı

U şekilli çentiğe sahip ince plakta oluşan basit eğilme esnasındaki gerilme yoğunlaşmasına ait ifade ve elde edilebilecek değerlerin değişimi Şekil 2.17'de verilmiştir. Bu ifadelerde t/r oranı olarak 1 alındığında, bir kenarında yarım dairesel çentikli eğilmeye maruz plakta çentik kökünde oluşacak gerilme yoğunlaşması katsayısına ait denklem elde edilir.

Buradan hareketle yarım dairesel çentiğe sahip, eğilmeye maruz plaklar için gerilme yoğunluk ifadesi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$K_{tn} = C_1 + C_2 \left(\frac{t}{H}\right) + C_3 \left(\frac{t}{H}\right)^2 + C_4 \left(\frac{t}{H}\right)^3 \quad (2.2)$$

$$C_1 = 1.789 + 1.481(t/r) - 0.211(t/r)^2 \quad (2.3)$$

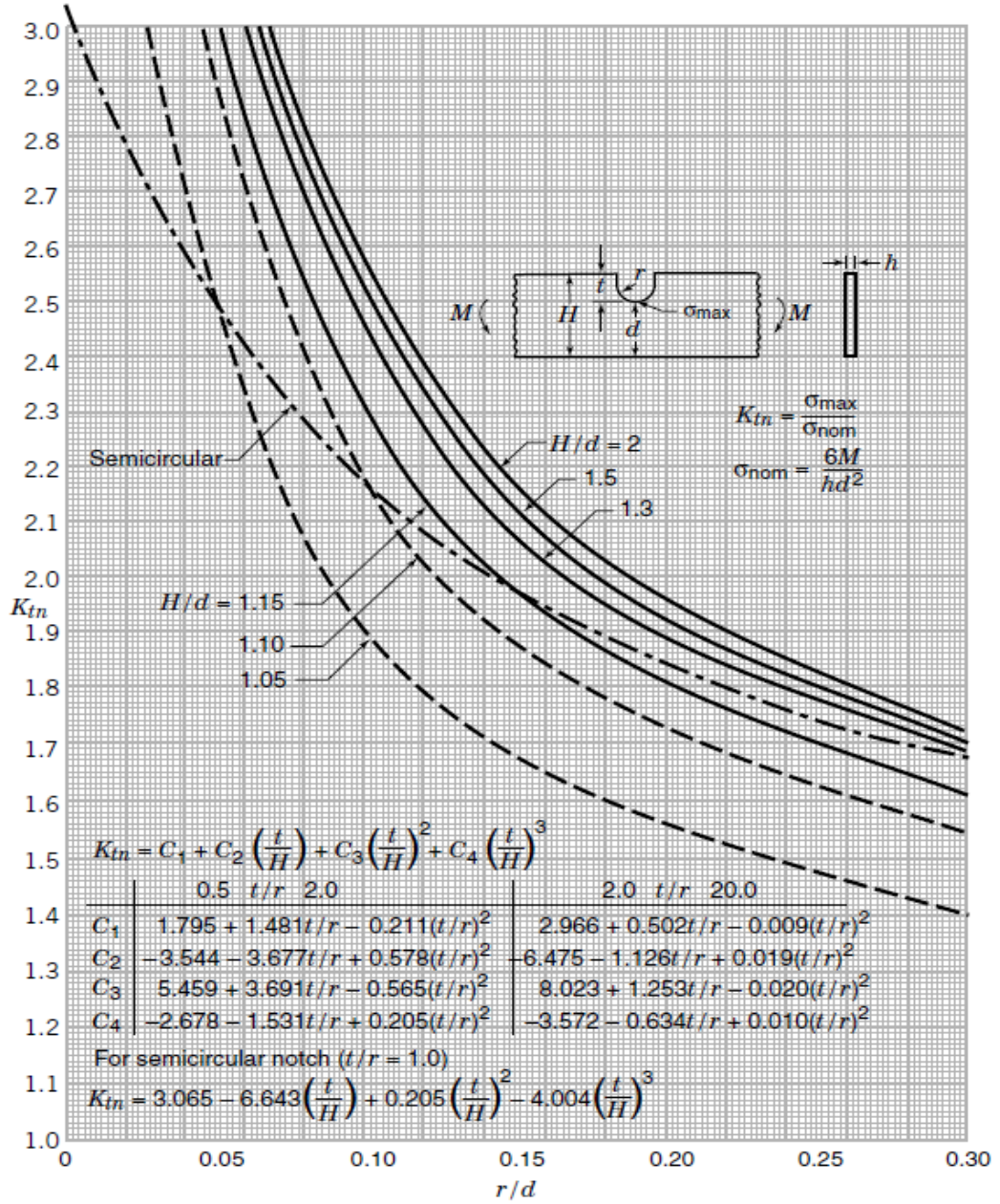
$$C_2 = -3.544 - 3.677(t/r) + 0.578(t/r)^2 \quad (2.4)$$

$$C_3 = 5.459 + 3.691(t/r) - 0.565(t/r)^2 \quad (2.5)$$

$$C_4 = -2.678 - 1.531(t/r) + 0.205(t/r)^2 \quad (2.6)$$

Bu denklemden gerilme yoğunluğu K_{tn} elde edilir.

Denklem 2.2'de bulunan K_{tn} değeri ile σ_{nom} çarpıldığında, yarım dairesel çentiğe sahip kırışte basit eğilme altında oluşabilecek σ_{max} maksimum gerilme değeri elde edilir. Bu değer yarım dairesel çentiğin kökünde olur. Basit eğilme altındaki yorulma deneyi sırasında De Mattia test cihazında numuneler çentik kökündeki lokal bölgede 0 ile σ_{max} arasında 5 Hz frekansta tekrar eden bir yorulma yüküne maruz bırakılmıştır. Şekil 2.17'de basit eğilme altında U çentikli plağın uç kısmındaki gerilme gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Basit eğilme altında U çentikli plağın uç kısmındaki gerilme (Pilkey 1997)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde yorulma ömür tayinin yapılması için numunelerin hazırlanması ile ilgili bilgiler verilmiş ve sonuçlarının değerlendirilmesi için bu bölümde numune hazırlama ve hangi yöntemler ile yorulma ömrünün belirlendiği belirtilmiştir.

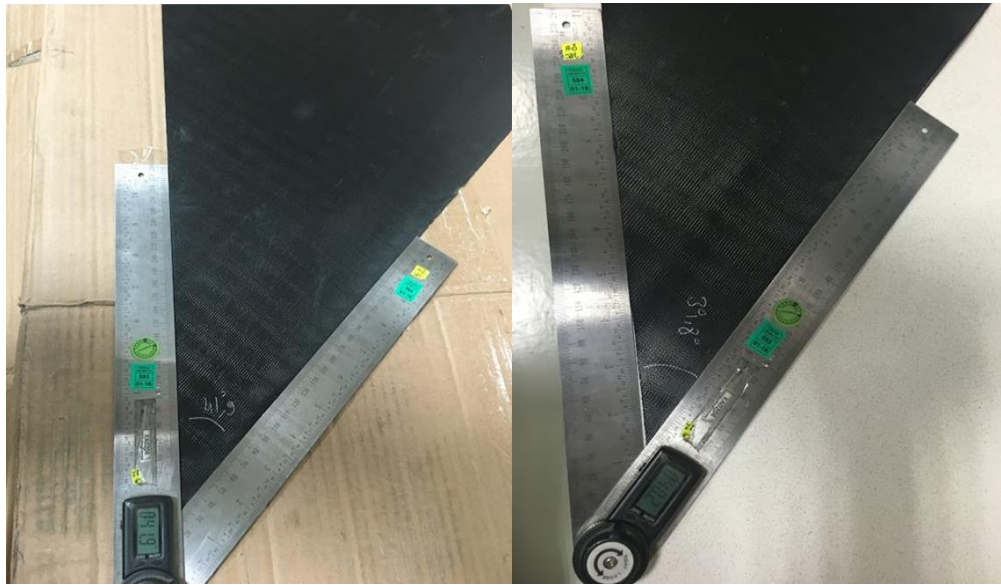
3.1 Numune Hazırlama

Kauçuk-kord kompozit yapısının yorulma ömrünü tayinin etmek üzere aç, ip türü, basınç, süre ve sıcaklığın ömür üzerindeki etkilerini belirlemek için numuneler hazırlanmıştır.

1400*2 ve 940*2 tipinde kord bezleri 40 , 42 ve 45 ° olarak şekildeki gibi kesilmiştir.

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi numuneler için istenilen açılarda kesilen kauçuklar kalibrasyonu yapılmış açı ölçer ile ölçülerek uygun değerlerde olduğu tespit edilerek test numunesi için hazır hale getirilmiştir.

Kord bezleri (221002- 1400X2-120 dtex ve 221001- 940X2 -150 dtex) Kordsa tarafından üretilmiştir. Deneysel çalışma için gerekli miktar Pega tarafından sağlanmıştır. Açılı kesme işlemi Pega otomotiv firmasında bulunan otomatik kesme makinesinde gerçekleştirilmiştir.



Sekil 3.1. Kord bezlerinin açılı kesme işlemi

1. Tip Kord bezlerinin özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

1400X2-120 dtex Kord İpi Spesifikasyonu (1. Tip)

Malzeme : Nylon 6.6

Toplam İplik Sayısı : 1740

Büküm Sayısı : 300x300

Çizelge 3.1. 1. Tip kord bezlerinin özellikleri

Özellikleri	Birim	En Az	Hedef Değer	En Çok
Büküm sayısı (S)	t.p.m	280.0	300.0	320.0
Büküm sayısı (Z)	t.p.m	280.0	300.0	320.0
dm’ deki Çözümlü Sayısı	End/1dm	-	120.0	-
dm’ deki Atkı Sayısı	End/1dm	5.0	6.0	7.0
Kopma Kuvveti	kgf	22.0	-	-
Kopma Uzaması	%	21.5	24.5	32.0
4.5 kg’ da Uzama Yüzdesi	%	6	7.5	9
8.0 kg’ da Uzama Yüzdesi	%	10	11.5	13
Metrekare Ağırlığı	g/m ²	325.0	400	475.0
Kısalma Yüzdesi	%	2.8	3.5	4.2
Atkı Malzemesi	PA 20/1	-	-	-
Cras Yapışma Kuvveti	kgf	1.5	-	-
Kord Kalınlığı	mm	0.63	0.68	0.73
Bez Uzunluğu	m	1344.0	1400.0	1456.0
Bez Genişliği	cm	136.0	140.0	144.0

2. Tip Kord bezlerinin özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

940X2 -150 dtex Kord İpi Spesifikasyonu (2. Tip)

Malzeme : Nylon 6.6

Toplam İplik Sayısı : 2030

Büküm Sayısı : 350X350

Çizelge 3.2. 2. Tip kord bezlerinin özellikleri

ÖZELLİKLER	BİRİM	EN AZ	HEDEF DEĞER	EN ÇOK
Büküm Sayısı (S)	t.p.m	330.0	350.0	370.0
Büküm Sayısı (Z)	t.p.m	330.0	350.0	370.0
dm’ deki Çözgü Sayısı	End/1dm	-	150.0	-
dm’ deki Atkı Sayısı	End/1dm	5.0	6.0	7.0
Kopma Mukavemeti	kgf	14.8	-	-
Kopma Uzaması	%	20.0	23.0	26.0
4.5 kg’ da Uzama Yüzdesi	%	7.5	9.0	10.5
8.0 kg’ da Uzama Yüzdesi	%	11.5	13.0	14.5
Metrekare Ağırlığı	g/m ²	255	315	365
Kısalma Yüzdesi	%	2.3	3.3	4.3
Atkı Malzemesi	PA 20/1	-	-	-
Cras Yapışma Mukavemeti	kgf	1.2	-	-
Kord Kalınlığı	mm	0.53	0.58	0.63
Bez Uzunluğu	m	1344.0	1400.0	1456.0
Bez Genişliği	cm	132.0	135.0	138.0

Matris eleman olarak astar kauçuk olarak kullanılan doğal kauçuk temelli reçeteden üretilen kalenderlenmiş kauçuk numuneleri kullanılmıştır. Bu kauçuk numunelerinin teknik özellikleri Pega otomotiv tarafından onaylanmış ve seri üretimde kullanılan speklere uygun olarak temin edilmektedir. Her parti kauçuk malzeme fiziksel ve reometrik testlere tabi tutularak kabul edilmektedir. Tez çalışmasında üretilen elastomer esaslı kompozit malzeme matris malzemesi söz konusu kauçuk malzemelerden belirlenmiştir.

Kauçuk ve kord ipinin vulkanizasyonu De Mattia cihazında kullanılan numunelerin üretildiği pişirme kalıbında gerçekleştirilmiştir.

Pişirme kalıbı toplam beş gözlü olup, 150x25x6.4 mm ebatında kalıp gözlerinden oluşmaktadır.

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi numuneler pişirme kalıbına yerleştirildikten sonra belirlenmiş olan süreler boyunca pişirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Matris ve Kord ipinin vulkanizasyonu Çizelge 3.3’teki proses şartları esas alınarak uygulanmıştır.



Şekil 3.2. Pişirme kalıbı

Hazırlanan numunelerin verileri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Numune hazırlama verileri

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	İp cinsi	Açı	Süre	Sıcaklık	Basınç	
1	1	40	5	140	125	
2	1	40	8	160	150	
3	1	40	10	180	75	
4	1	42	5	140	150	
5	1	42	8	160	75	
6	1	42	10	180	125	
7	1	45	5	160	125	
8	1	45	8	180	150	
9	1	45	10	140	75	
10	2	40	5	180	75	
11	2	40	8	140	125	
12	2	40	10	160	150	
13	2	42	5	160	75	
14	2	42	8	180	125	
15	2	42	10	140	150	
16	2	45	5	180	150	
17	2	45	8	140	75	
18	2	45	10	160	125	

Kauçuk matris numuneleri 1,4 mm ve 0,9 mm olarak tabir edilen astar kauçuklardan kesilerek elde edilmiştir. Kalıp boşluğuna matris malzeme istenen kalınlıkta harici olarak hazırlanarak yerleştirilmiştir. Elastomer kompozitin matris malzemesini oluşturması için iki katman kauçuk levha kullanılmıştır. Kauçuk katmanlar farklı kalınlıkta iki kat vulkanize edilmemiş kauçuk malzemedir oluşmaktadır. İki kat kauçuktan oluşan, alt ve üst iki katman kauçuğun tam ortasına kesilmiş kord bezi açalarına ve ip tiplerine göre yerleştirilerek vulkanizasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve böylece katmanlı bir kauçuk kompozit malzeme elde edilmiştir.

Vulkanizasyon işlemi yukarıdaki proses şartlarında gerçekleştirilmiştir.

İki farklı kalınlıktaki kauçuk matris malzemesi;

- 150x25x1,4 (Uzunluk * Genişlik * Kauçuk Kalınlığı, ölçüler mm'dir.)
- 150x25x0,9

Alt ve üst kauçuk katmanlar arasında, istenen açılarda kesilmiş kord bezleri yerleştirilmiş ve bu iki katın birbirine yapıştırılması sağlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan numuneler pişirme presinde vulkanizasyona belirlenen şartlarda tabi tutulmuştur.

Her bir numune tipinden toplam üçer adet vulkanizasyon işlemi gerçekleştirildi.

Vulkanizasyon işlemi gerçekleştirilen tüm numuneler oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra teste tabi tutuldu.

3.2. Taguchi Metodu İle Numunelerin Belirlenmesi

Taguchi endüstriyel olarak kalite alanında birçok yenilik getirmiştir. Bu yenilikler off-line (üretim öncesi kalite sistemi) ve on-line (üretim süreci kalite sistemi) olarak ikiye ayrılır. Bu süreçler, üretim öncesi tasarım, ürün kalitesi, ürün geliştirme mükemmelliği ve müşteri memnuniyeti olarak bilinmektedir. Taguchi metodu farklı parametreler ve farklı seviyeleri arasından optimum kombinasyonu saptamak için kullanılan bir yöntemdir. Bazı mühendislik ve matematiksel alanda yapılması gerek deneysel çalışmaların fazlalığı çalışma süresini, maliyetini ve verimliliğini olumsuz etkileyebilmektedir. Taguchi metodunda kullanılan ortogonal dizi tablosu ile deney sayısı optimum seviyelere indirilerek bu olumsuzluklar giderilir.

Taguchi metodu ile tez çalışması içerisinde yapılacak deneylerin optimum sayısını ve niteliğini belirlemek amacı ile Minitab yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım içerisinde bulunan “Design of Experiment” seçeneğinden deney sayısı, belirlenen araştırma parametrelerinin ve bunların değişimlerinin yorulma ömrünü nasıl etkilediğini anlamak ve yorumlayabilmek üzere deneysel tasarım Taguchi yöntemine göre optimize edilerek, en uygun sayıda deney ile çalışma gerçekleştirilmiştir.

Belirlenen kriterler;

- Sıcaklık
- Süre
- İp cinsi
- Açı
- Basınç

Analizi gerçekleştirebilmek için parametre sayısı ve bu parametrelerin seviyeleri belirlenmiştir. Bu çalışmada yukarıda seçilen parametreler ve bu parametrelerin maksimum 3 seviyesi göz önüne alınmıştır. Çizelge 3.4’te verilen ortogonal diziler içerisinde, 5 parametre ve 3 seviyeyi karşılayan L18 ortogonal dizisi seçilmiştir.

Çizelge 3.4. Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu (Gökçe ve ark. 2009)

		Seviye Sayısı							
		2		3		4		5	
Parametre Sayısı	P = 2, S = 2	L4	P = 2, S = 3	L9	P = 2, S = 4	L'16	P = 2, S = 5	L25	
	P = 3, S = 2		P = 3, S = 3		P = 3, S = 4		P = 3, S = 5		
	P = 4, S = 2	L8	P = 4, S = 3	L18	P = 4, S = 4	L'32	P = 4, S = 5		
	P = 5, S = 2		P = 5, S = 3		P = 5, S = 4		P = 5, S = 5		
	P = 6, S = 2		P = 6, S = 3		P = 6, S = 4		P = 6, S = 5		
	P = 7, S = 2	L11	P = 7, S = 3	L27	P = 7, S = 4	L'50	P = 7, S = 5		
	P = 8, S = 2		P = 8, S = 3		P = 8, S = 4		P = 8, S = 5		
	P = 9, S = 2		P = 9, S = 3		P = 9, S = 4		P = 9, S = 5		
	P = 10, S = 2	L16	P = 10, S = 3	L36	P = 10, S = 4		P = 10, S = 5		
	P = 11, S = 2		P = 11, S = 3		P = 11, S = 5				
	P = 12, S = 2	L32	P = 12, S = 3		P = 12, S = 5		P = 12, S = 5		
	P = 13, S = 2		P = 13, S = 3						
	P = 14, S = 2		P = 14, S = 3						
	P = 15, S = 2		P = 15, S = 3						
	P = 16, S = 2		P = 16, S = 3						
	P = 17, S = 2		P = 17, S = 3						
	P = 18, S = 2		P = 18, S = 3						
	P = 19, S = 2		P = 19, S = 3						
	P = 20, S = 2		P = 20, S = 3						
	P = 21, S = 2		P = 21, S = 3						
	P = 22, S = 2	P = 22, S = 3							
	P = 23, S = 2								
	P = 24, S = 2								
	P = 25, S = 2								
	P = 26, S = 2								
	P = 27, S = 2								
	P = 28, S = 2								
	P = 29, S = 2								
	P = 30, S = 2								
	P = 31, S = 2								

Belirlenen parametreler (sıcaklık, süre, ip cinsi, aç, basınç) toplamda 5 adettir. Yani P=5 olacaktır.

Parametreler

Seviyeler

Sıcaklık

140, 160, 180 derece

Süre

5, 8, 10 dakika

İp cinsi

1, 2

Aç

40, 42, 45 derece

Basınç

75, 125, 150 bar olarak belirlenmiştir.

Üçer farklı seviye olduğu için S=3 olacaktır.

P=5 ve S=3 olacak şekilde tablodan faydalanarak indirgemek istenilen ve seçimi yapılması gereken ortogonal dizin bulunmuştur.

Çizelge 3.5’de görüldüğü gibi kullanılacak olan ortogonal dizini L18’dir. Yani deney sayısı yapılması gereken deney sayısından 18 adete düşürüldü.

Çizelge 3.5. Parametre ve seviyelere bağlı olarak ortogonal dizinin seçimi (Gökçe ve ark. 2009)

		Seviye Sayısı						
		2	3	4	5			
Parametre Sayısı	P = 2, S = 2	L4	P = 2, S = 3	L9	P = 2, S = 4	L'16	P = 2, S = 5	L25
	P = 3, S = 2		P = 3, S = 3		P = 3, S = 4		P = 3, S = 5	
	P = 4, S = 2	L8	P = 5, S = 3	L18	P = 4, S = 4	L'32	P = 4, S = 5	
	P = 5, S = 2				P = 5, S = 4		P = 5, S = 5	
	P = 6, S = 2				P = 6, S = 4		P = 6, S = 5	
	P = 7, S = 2	L11	P = 7, S = 3	L27	P = 7, S = 4	L'32	P = 7, S = 5	L50
	P = 8, S = 2		P = 8, S = 3		P = 8, S = 4		P = 8, S = 5	
	P = 9, S = 2		P = 9, S = 3		P = 9, S = 4		P = 9, S = 5	
	P = 10, S = 2	L16	P = 10, S = 3	L36	P = 10, S = 4	L'32	P = 10, S = 5	
	P = 11, S = 2		P = 11, S = 3		P = 11, S = 5			
	P = 12, S = 2		P = 12, S = 3		P = 12, S = 5			
	P = 13, S = 2	L32	P = 13, S = 3	L36	L'32	L'32	P = 13, S = 5	
	P = 14, S = 2		P = 14, S = 3				P = 14, S = 5	
	P = 15, S = 2		P = 15, S = 3				P = 15, S = 5	
	P = 16, S = 2	L32	P = 16, S = 3	L36	L'32	L'32	P = 16, S = 5	
	P = 17, S = 2		P = 17, S = 3				P = 17, S = 5	
	P = 18, S = 2		P = 18, S = 3				P = 18, S = 5	
	P = 19, S = 2	L32	P = 19, S = 3	L36	L'32	L'32	P = 19, S = 5	
	P = 20, S = 2		P = 20, S = 3				P = 20, S = 5	
	P = 21, S = 2		P = 21, S = 3				P = 21, S = 5	
	P = 22, S = 2	L32	P = 22, S = 3	L36	L'32	L'32	P = 22, S = 5	
	P = 23, S = 2		P = 23, S = 3				P = 23, S = 5	
	P = 24, S = 2							
	P = 25, S = 2	L32		L36	L'32	L'32		
	P = 26, S = 2							
	P = 27, S = 2							
	P = 28, S = 2	L32		L36	L'32	L'32		
	P = 29, S = 2							
	P = 30, S = 2							
	P = 31, S = 2	L32		L36	L'32	L'32		

3.3. De Mattia Test Cihazı Tanıtımı

De Mattia test cihazı standartlara göre hazırlanan kauçuk numunelerde basit eğilme altında tekrarlı yükleme yaparak çatlak oluşmasının başlaması için kullanılan test cihazıdır. Bu cihazda çeneler arasında üzerinde yarım dairesel çentik bulunan

numuneler bağlanır. Çenelerden biri sabit diğeri ise eksenel hareket ile yüklenmektedir. Numunelerin bağlı olduğu çeneler ile yükleme eksenini arasındaki küçük dikey fark, eğilme yönünde hareket etmeye numuneyi zorlar. Hareketin devamında oluşan bu katlaman nedeni ile çentiğin bulunduğu kesite eğilme momenti etki eder. Numunenin boyuna doğrultuda gerçekleşen yukarı-aşağı eksenel hareketinin doğurduğu bu moment ile oluşturulan eğilme gerilmesinin maksimum değeri ve sıfır arasında yükleme periyodik olarak gerçekleşir.

De Mattia test cihazının genel hatları ile görünümü Şekil 3.3'te verilmiştir.

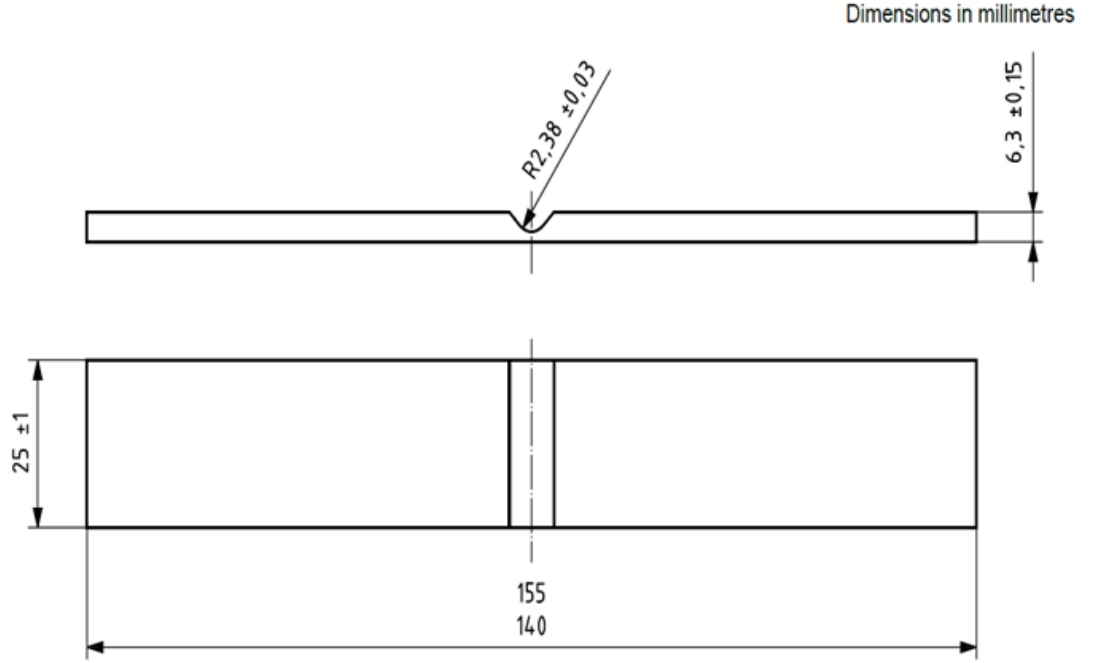
Şekil 3.3'te görülen Pega firmasında bulunan De Mattia test cihazına daha fazla numune bağlayabilmek için ortası hareketli kenarlardaki çeneler sabit olmak üzere bir uygulama söz konusudur. Belirlenen sabit tekrar sayısını kapsayan aralıklarda cihaz durdurularak numuneler incelenir ve çatlak durumu kayda geçirilir. Bu tekrarlı yükleme çatlak başlayana kadar her bir numune için devam eder.



Şekil 3.3. De Mattia test cihazı

De Mattia cihazını kullanmak için belirlenen standartlarda kauçuk numune örneğinin hazırlanması gerekmektedir. İlgili standartlar TS ISO 132 ve ASTM D430

standartlarıdır. Standartlara göre hazırlanan numunenin teknik resmi Şekil 3.4'te verilmiştir. Standartlarda belirtilen ölçüler dikkate alınarak test numuneleri hazırlanmıştır.



Şekil 3.4. TS ISO 132 De Mattia test numune teknik resmi (TS ISO 132)

Hazırlanan numune örneği De mattia test cihazına bağlanması Şekil 3.5'de görüldüğü gibidir.

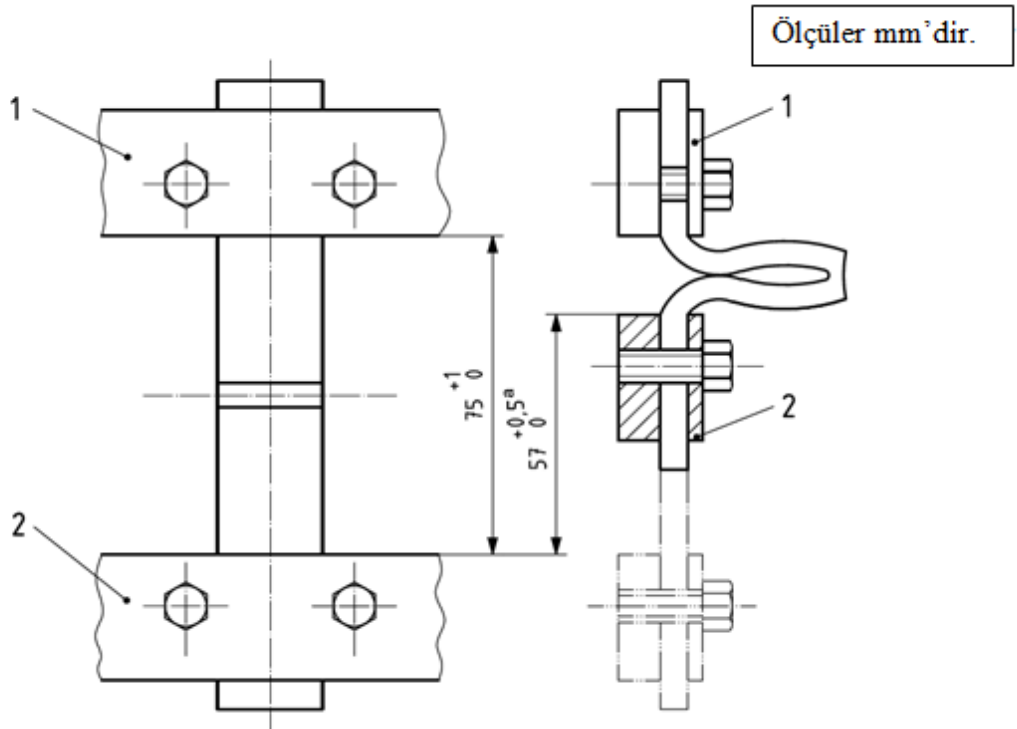


Şekil 3.5. De Mattia test cihazına numunenin bağlanması

Şekil 3.5'deki gibi alt ve üst çenelere kenarlarından sıkıştırılarak tutturulan kauçuk kompozit malzeme orta kısmın yukarı-aşağı sabit 5 Hz'lik frekans ile hareket etmesi sonucunda yorulmaya zorlanır. Yorulmanın gerçekleştiği malzemede çatlak başlangıcı oluşumu ile gözlemlenir. Çatlağın başladığı tekrar sayısında malzemenin yorulduğu kabul edilmektedir.

Orta kısmın yukarı doğru hareketi esnasında üst kısımda bulunan kauçuk kompozit numuneler Şekil 3'teki gibi bir pozisyon almaktadır. Altı üstlü yerleştirilen numuneler sayesinde aşağı hareketi esnasında yukarıda bulunan numuneler ilk konumuna yani gerilme olmayan konumuna gelirken aşağıda bulunan numuneler ise Şekil 3.6'da gösterilen numunenin biçimini alır. Bu hareket durmadan çatlak başlangıcı oluşuncaya kadar kesintisiz devam eder.

TS ISO 132 Standardında da belirtildiği gibi gerilim altında kauçuk numunelerin teknik resmi Şekil 3.6' da verilmiştir.



Şekil 3.6. Çenelerin hareketi ile oluşturulan gerilimin teknik resmi (TS ISO 132 2006)

Şekil 3.6’da kauçuk kompozit numunenin De Mattia test cihazında gerilim altındaki ve serbest konumundaki teknik resmi verilmiştir. 1 Numaralı parça sabit iken 2 numaralı parçanın yukarı hareketi ile numunenin gerilmesi gerçekleştirilmektedir.

Şekil 3.6’da da görüldüğü gibi kauçuk malzemenin içine yarı dairesel bir çentik yapılmıştır. Oluşacak gerilme yoğunlaşması nedeni ile çatlağın ilk bu çentik kökünden başlaması beklenmektedir. Bu çentik kauçuk çatlak başlangıcının yönlendirilmesi ve tayin edilmesi için hazırlanmıştır. Test sonuçları test parçasının kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden standartlarda belirtilen numuneleri kullanmak gerekir. Çatlak başlangıcı standartta belirtilen 50.000 çevrim değerinde bir bakılarak tespit edildikten sonra numune çıkartılır ve test cihazının ekranından çevrim değeri okunur. Bu değer numunenin yorulma ömrünü vermektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulgular

Belirlenen kriterlere göre hazırlanan numuneler De Mattia test cihazına yerleştirilmiştir. Yukarıda ilgili bölümlerde anlatıldığı şekilde saniyede 5 tekrara karşılık gelen yükleme sonucunda çatlağın başladığı tekrar sayısı yorulma ömrü olarak belirlenerek her bir numune için tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yorulma dayanımı test sonuçları

DENEY NO	İP CİNSİ	SICAKLIK (DERECE)	BASINÇ (BAR)	SÜRE (DAKİKA)	AÇI (DERECE)	YORULMA ÖMRÜ
						Çevrim
1	1	140	125	5	40	250000
2	1	160	150	8	40	SONSUZ ÖMÜR
3	1	180	75	10	40	SONSUZ ÖMÜR
4	1	140	150	5	42	260000
5	1	160	75	8	42	SONSUZ ÖMÜR
6	1	180	125	10	42	SONSUZ ÖMÜR
7	1	160	125	5	45	SONSUZ ÖMÜR
8	1	180	150	8	45	SONSUZ ÖMÜR
9	1	140	75	10	45	262250
10	2	180	75	5	40	SONSUZ ÖMÜR
11	2	140	125	8	40	SONSUZ ÖMÜR
12	2	160	150	10	40	SONSUZ ÖMÜR
13	2	160	75	5	42	SONSUZ ÖMÜR
14	2	180	125	8	42	SONSUZ ÖMÜR
15	2	140	150	10	42	SONSUZ ÖMÜR
16	2	180	150	5	45	SONSUZ ÖMÜR
17	2	140	75	8	45	SONSUZ ÖMÜR
18	2	160	125	10	45	SONSUZ ÖMÜR

1, 4, ve 9 Nolu deneylerdeki numunelerde hasar meydana gelmiştir. Diğer numunelere yapılan testlerin çevrimsel yükleme esnasındaki gerilme değerleri belirli bir eşik değerinin altında kaldığından sonsuz yorulma ömrü elde edilmiştir. Bu çalışmada eşik gerilme değerinin matematiksel olarak belirlenmesine yönelik tespit yapılmamıştır.





10 Milyon çevrim ve üzerine kadar herhangi bir hasar meydana gelmeyen numunelerin ömrü sonsuz olarak kabul edilmektedir.

Sonsuz ömür kavramı metallerde 1 Milyon – 10 Milyon çevrim arasındaki yorulma ömrü değerlerinde tanımlanırken plastik, kauçuk vb. gibi kullanılan malzemelerde

genelde 10 Milyon çevrim ve üzeri değerler de sonsuz ömür olarak adlandırılır (B. L. Lee ve D. S. Liu 1997). Bu çalışmada da 3 farklı ömür testinden elde edilen sonuçlarda ömür dayanımının 10^7 ' nin üzerinde olduğu bulundu.





4.1.1. Deney Numunelerinin Fotoğrafları

Gerçekleştirilen 1-4 arası deneylerin parametre seviyeleri ve numune fotoğrafları Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

DENEY NO	İP CİNSİ	SICAKLIK (DERECE)	BASINÇ (BAR)	SÜRE (DAKİKA)	AÇI (DERECE)	NUMUNE FOTOĞRAFLARI
1	1	140	125	5	40	
2	1	160	150	8	40	
3	1	180	75	10	40	
4	1	140	150	5	42	

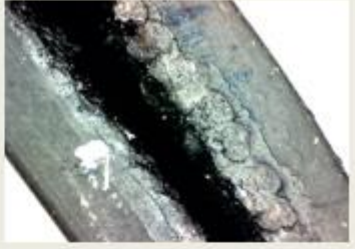



Şekil 4.1. Deney sonrası 1-4 arası numunelerin fotoğrafları

Gerçekleştirilen 1-4 arası deneylerin parametre seviyeleri ve numune fotoğrafları Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

DENEY NO	İP CİNSİ	SICAKLIK (DERECE)	BASINÇ (BAR)	SÜRE (DAKİKA)	AÇI (DERECE)	NUMUNE FOTOĞRAFLARI
5	1	160	75	8	42	
6	1	180	125	10	42	
7	1	160	125	5	45	
8	1	180	150	8	45	





Şekil 4.2. Deney sonrası 5-8 arası numunelerin fotoğrafları

Gerçekleştirilen 1-4 arası deneylerin parametre seviyeleri ve numune fotoğrafları Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

DENEY NO	İP CİNSİ	SICAKLIK (DERECE)	BASINÇ (BAR)	SÜRE (DAKİKA)	AÇI (DERECE)	NUMUNE FOTOĞRAFLARI
9	1	140	75	10	45	
10	2	180	75	5	40	
11	2	140	125	8	40	
12	2	160	150	10	40	



Şekil 4.3. Deney sonrası 9-12 arası numunelerin fotoğrafları

Gerçekleştirilen 1-4 arası deneylerin parametre seviyeleri ve numune fotoğrafları Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

DENEY NO	İP CİNSİ	SICAKLIK (DERECE)	BASINÇ (BAR)	SÜRE (DAKİKA)	AÇI (DERECE)	NUMUNE FOTOĞRAFLARI
13	2	160	75	5	42	
14	2	180	125	8	42	
15	2	140	150	10	42	
16	2	180	150	5	45	

Şekil 4.4. Deney sonrası 13-16 arası numunelerin fotoğrafları

Gerçekleştirilen 1-4 arası deneylerin parametre seviyeleri ve numune fotoğrafları Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

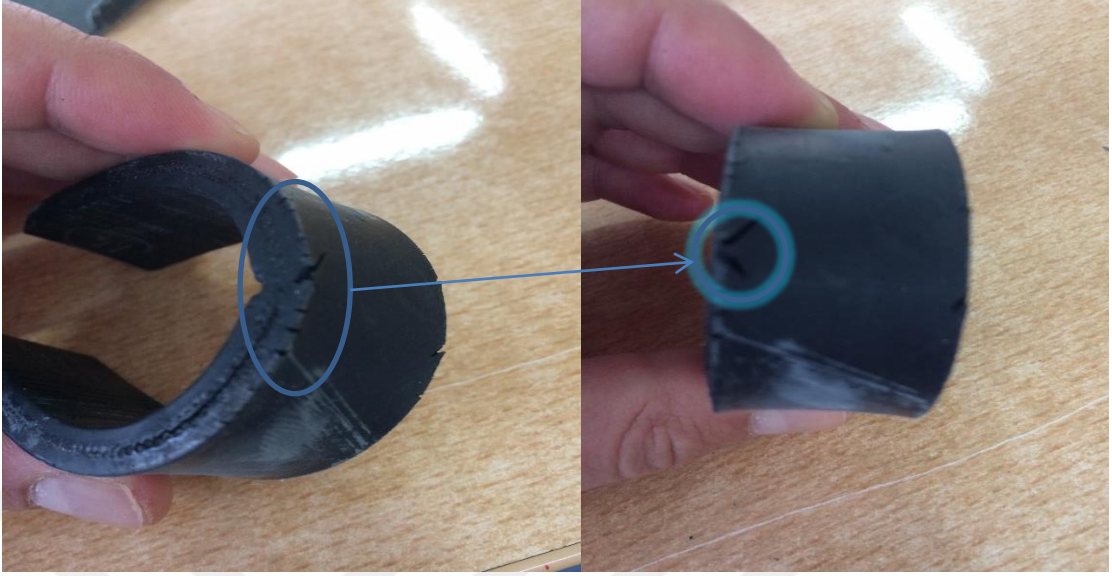
DENEY NO	İP CİNSİ	SICAKLIK (DERECE)	BASINÇ (BAR)	SÜRE (DAKİKA)	AÇI (DERECE)	NUMUNE FOTOĞRAFLARI
17	2	140	75	8	45	
18	2	160	125	10	45	

Şekil 4.5. Deney sonrası 17-18 arası numunelerin fotoğrafları

4.1.2. Numunelerde Çatlak Meydana Gelmesi

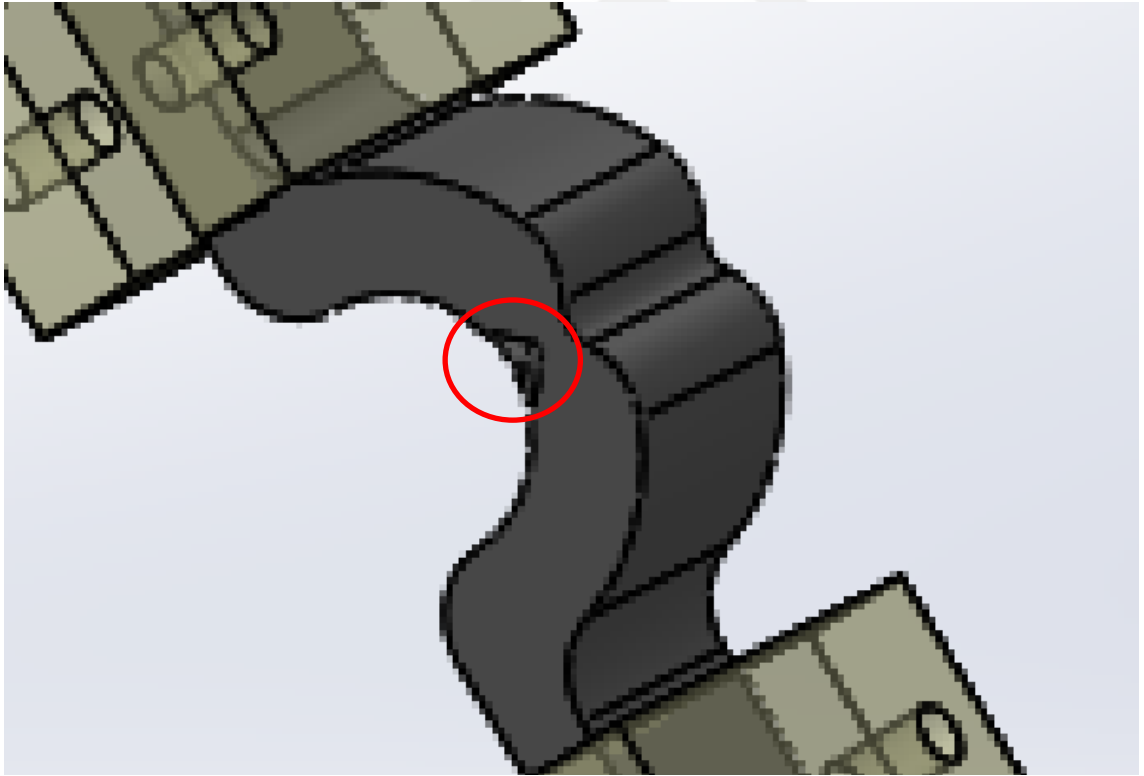
Basit eğilme altındaki numunelerin gerilme veya şekil değiştirme limitlerine en önce ulaşan bölgelerde çatlak başlamaktadır. Bu bölgelerin başında çentiğin kökü, kauçuk matris içerisindeki elyaf uçları, sıkışamayan düz kısmın kenara doğru şekil değişime zorlanan kısımlar, katmanlar arası ve lif matris arası bölgeler sayılabilir. Bu çalışmada De Mattia deney numunelerinde çatlağın öncelikle çentik kökünde meydana gelmesi beklenmektedir. Ancak çentiksiz tarafta meydana gelen sıkışma esnasında yana doğru oluşan (malzemenin sıkıştırılmazlığından kaynaklanan) şekil değiştirmenin de kenarlarda çatlak başlamasına neden olan bir etki oluşturduğu gözlemlenmiştir. Çatlağın numune boyunca kenarlarda oluşmasına içerisine konan kord bezinin elyaf uçlarında meydana gelen gerilme yoğunlaşmalarının da etkisinin olduğu görülmüştür. Yukarıda sayılan nedenlerle başlayan çatlak, tekrarlı yükleme sırasında zayıf bölgeler boyunca yavaş yavaş ilerlemeye başlar.

Şekil 4.6’ da çentik tarafında olmayan bir çatlak oluşumu görülmektedir. İlk bakıldığında dış yüzeyde meydana gelmesi gerekirken çatlak iç kısımda başlamıştır. Çünkü malzeme elastik bir malzeme olduğu için basma gerilmesi altında olan yüzeyden dışarı doğru bir miktar çıkıntı yaparak kıvrılan kısımda tekrar şekil değiştirme oluşturmaktadır.



Şekil 4.6. Numunede çatlak oluşumu

Şekil 4.7’de katı model ile çatlak oluşumu temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Çatlak oluşum sebebinin katı model ile temsili olarak gösterilmesi

4.1.3. Numunelerde Hasar Meydana Gelmesi

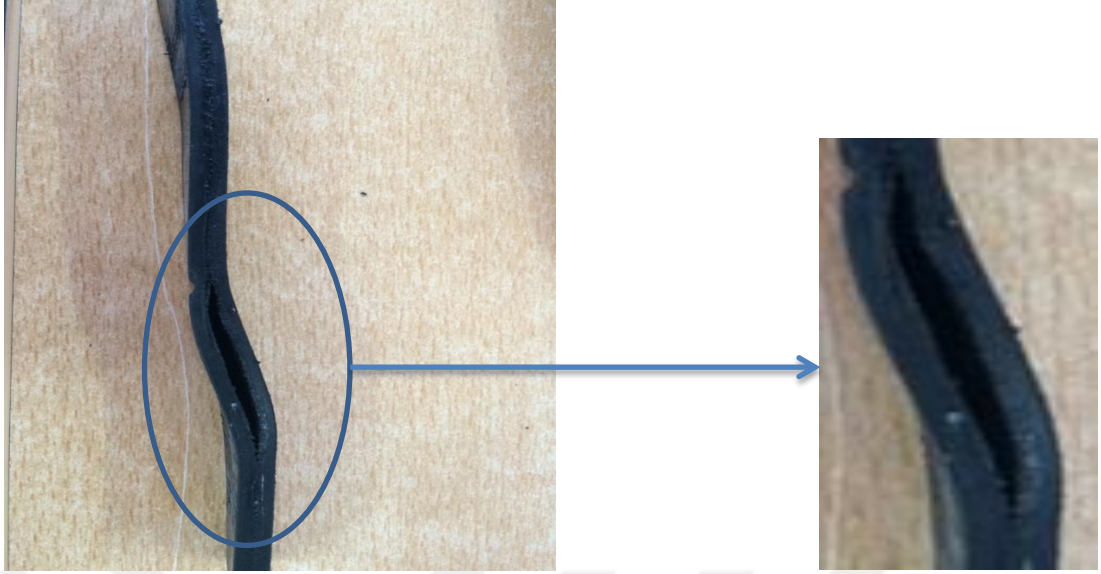
Hazırlanan numunelerde deformasyon proses şartlarına bağılı olarak ilk olarak kauçuk matris ile başlamıştır. Kauçuk matrisinin deformasyona uğramasına bağılı olarak kord bezi takviye elemanına doğru hasarın ilerlediğı gözlemlenmiştir. Hasar kord bezi elyaflarına ulaştığı andan itibaren matris ve elyaf arasındaki zayıf ara yüzey etkileşimleri dolayısıyla bası ve çeki gerilmelerine bağılı olarak ara yüzey boyunca ilerleyerek katmanlar arası ayrışmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Meydana gelen bu tür hasarların oluştuğı tekrar sayıları yorulma ömrü olarak tespit edilmiştir.

4.1.4. Numunelerde Katmanlar Arası Ayrılma Meydana Gelmesi

Açı, kord ipi türü, sıcaklık, süre ve basınç parametrelerini temel alarak Taguchi yöntemi ile tespit edilen numuneler hazırlanmıştır. Yapılan deneylerde bu beş faktörün ve birbiri ile olan etkileşimlerinin yorulma ömrüne etkileri incelenmiştir. Sıcaklık ve pişirme süresinin matris ve elyaf arasındaki etkileşim alanının oluşmasında oldukça etkili olduğu görülmüştür. Bu faktörlere bağılı olarak deformasyonların iki şekilde başladığı ve ilerlediğı tespit edilmiştir. Temelde alt ya da üst kauçuk ile kord bezi arasında yeterli pişmenin olmaması ya da kord/kord katmanları arasında kauçuk malzemenin yeterince nüfuz ederek yüksek mukavemetli bir ara yüzey oluşturamamasından veya bu bölgedeki malzemede meydana gelen pişmenin olmaması sonucu hasarlar meydana gelmiştir. Elyaf ile kauçuk matris arasında yeterli ara yüzey etkileşiminin gerçekleşmemesi ya da elyaf-elyaf ara yüz etkileşiminin oluşmaması sonucu hasarlar oluşmuştur. Bu iki temel neden ya pişirme sıcaklığının süreye bağılı olarak yeterli seviyede gerçekleşmemesi ya da süre yeterli olup basıncın düşük olmasından kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca meydana gelen hasarların 1400*2 tip kord ipinde gerçekleşmesi de kord ipinin dm^2 'deki sıklığının 940*2 tip kord bezine göre daha az olmasına bağılıdır. Daha az sıklığa sahip bezde elyaf aralarına giren kauçuk miktarının fazla olması pişme süresinin yetersiz olmasına bağılı olarak hasarı hızlandırmıştır.

Şekil 4.8'de görüldüğü gibi kord ipleri arasında yapışma sağlanmadığı için ayrılma (delaminasyon) gerçekleşmiştir.



Şekil 4.8. Delaminasyona uğrayan numune örneği

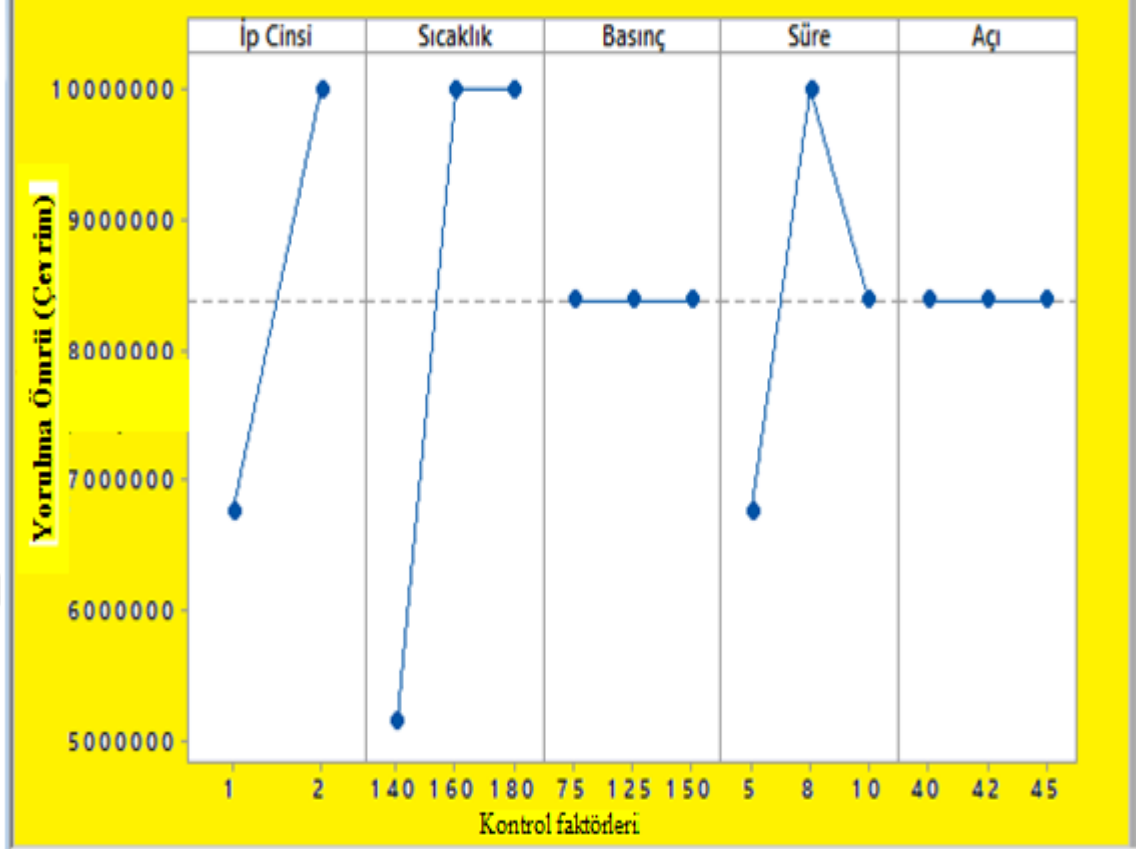
4.2. Tartışma

Kord bezi takviyeli kauçuk kompozitlerin De Mattia test cihazında yapılan yorulma deneyleri sonucunda karşımıza çıkan yorulma hasar şekilleri;

- Katmanlar arası ayrılma
- Hasar
- Kenarlarda çatlak oluşumu

olarak kendini göstermiştir.

Taguchi metodu uygulanarak elde edilen deney sonuçlarına göre kontrol faktörlerinin yorulma ömrü üzerindeki ana etkileri Şekil 4.9’da verilmiştir.

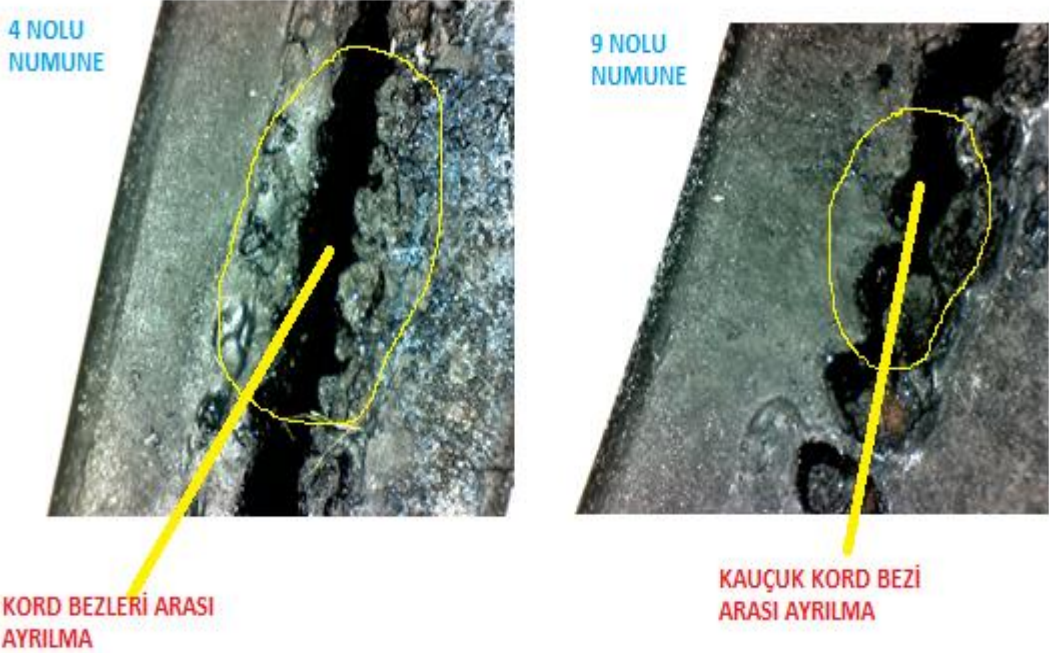


Şekil 4.9. Kontrol faktörlerinin yorulma ömrü üzerine etkileri

Taguchi analizine göre ip cinsinin 2 numaralı ip cinsinde diğer etkenler de göz önüne alındığında daha verimli olduğu görülmüştür. Sıcaklık değeri 140 derece olması durumunda sıcaklığın vulkanizasyona yetersiz kalacağı gözlemlenmiştir. Pres basınç değeri maksimum yorulma ömrü üzerinde anlamlı etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Pişirme süresi 8 dakika maksimum ömrü elde etmek için en verimli süre olarak değerlendirmiştir. Açı değerinin 40°, 42° ve 45° olmasının kompozit malzemenin yorulma ömrü üzerinde anlamlı etkisi olmamıştır.

4.2.1 Katmanlar Arası Ayrılma

Şekil 4.10' da 4 nolu deney numunelerinde ayrılma 1. Kord bezi ve 2. Kord bezi arasında meydana gelmiştir. Bunun sebebi şekilde görüldüğü gibi alt ve üst kauçukta pişme tam anlamı ile gerçekleşmesine rağmen, sürenin iç kısımda kalan kauçukları pişirmek için yeterli olmamasından dolayı 1. ve 2. Kord bezi arasındaki kauçukta çığlık tespit edilmiştir. Alt ve üst kauçuk detaylıca incelendiğinde herhangi bir çığlık hava boşluğu ve yapışkanimsı bir bulguya rastlanmamıştır. Bu durum alt ve üst kauçuk için pişme süresinin yeterli olduğunu ancak kord bezlerinin birbirine bakan yüzlerindeki kauçuk tabakası için yeterli olmadığını göstermiştir. Ara kademe kauçuğun kord iplerinden kaynaklanan ısı transferini istenen sürelerde gerçekleştirememiş olması sonucu yeterli oranda vulkanize olamaması nedeni ile ara yüz ayrılması olarak hasar oluşmuştur.

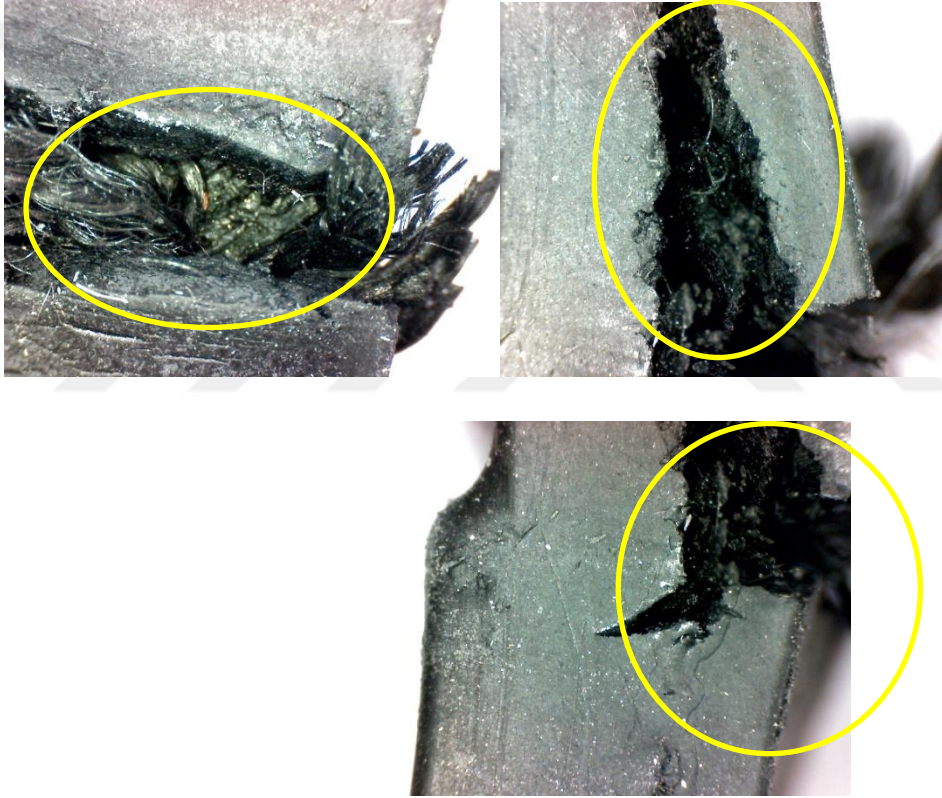


Şekil 4.10. Katmanlar arası ayrılan numune örneği

4.2.2. Hasar

Sıcaklık ve pişme süresinin az olması ve basınç değerinin yeterli olmadığı numunelerde (Şekil 4.11), hasarın kauçuğun yüzeyinde başlayan çatlakların hızlı

ilerlemesi sonucunda gerçekleştiği görülmüştür. Bir başka ifade ile önce kauçuk matris akabinde ise kord liflerinde kopma oluşmaktadır. Kord bezleri proses şartlarına bağlı olan ara yüzey mukavemetinin yeterince oluşmadığı durumlarda, kauçuktan sıyrılmış, gelen yük sadece kauçuk katman tarafından taşınır hale gelmiştir. Kauçuğun yüzeyinden çatlak başlangıcının hızlı ilerlemesinden dolayı gerçekleşmiş olup daha sonra da içerisindeki kord bezleri kopmuştur. Kord bezleri proses şartlarına bağlı olarak kauçuk ile oluşturduğu ara yüzden sıyrılmış (sıcaklık ve pişme süresinin etkileri nedeni ile) ve gerilme direkt olarak sadece alt katman kauçuğa binmiştir. Bunun sonucunda 1 nolu numunede kauçuk katmanında da hızlı bir çatlak ilerlemesi ve kopma şeklinde hasar gerçekleşmiştir.



Şekil 4.11. Kopma gerçekleşen numune örneği

4.2.3. Kenarlarda Çatlak Oluşumu

Kenarlarda çatlak oluşumu şeklinde hasar olmuştur. Bir örnek çatlak Şekil 4.12’de örnek bir çatlak gösterilmiştir. Bu çatlak oluşumu üzerinde proses şartlarının etkisi incelendiğinde, sıcaklık ve pişme süresinin az olduğu durumlarda fakat basınç değeri uygun değerlerde olsa bile kord bezleri arasında ayrılma meydana gelmiştir. Burada

sadece çatlak olmasının sebebi kord bezlerinden kauçuğun tamamen ayrılmamasıdır. Alt kauçuk ile birinci kord bezi beraber hareket ettiği için kord bezi kauçukta iskelet görevi görmüştür. Eğer kord-kauçuk arası ayrılma olsaydı, kopma meydana gelecekti. Fakat bir katman kord bezine kauçuk tutunduğu için burada çatlak meydana gelmiştir. Çatlak hızlıca ilerlemediği içinde kopma meydana gelmemiştir.





Şekil 4.12. Çatlak başlangıcı gerçekleşen numune örneği

4.2.4. Yorulma Gerçekleşmeyen Numunelerdeki Gözlemler



17 nolu deney de yetersiz basınç dolayısıyla kord ipleri vulkanizasyon için yapılan kalıplama sırasında hareketlenmiş ve pişme tam olarak gerçekleşmemiştir. Ancak çalışma esnasında kauçukta yorulma esnasında kauçuk molekülleri arasındaki sürtünme oluşturduğu iç ısı nedeni ile vulkanizasyon devam etmiş ve ömür sonsuz ömre ulaşmıştır.

11 nolu deneyde basınç artmasına bağlı olarak pişme sağlanmış ancak elyaf çevresinde istenen ara yüzey tam olarak oluşmamıştır. Deney 17 ile karşılaştırıldığında iplerin etrafı kauçuk matris tarafından tam olarak sarılmış ve hareketlenmeye müsaade edilmemiştir. Deney 17 ve Deney 11'e ait numune kesit fotoğrafları Şekil 4.13'te sunulmuştur.

DENEY NO	İP CİNSİ	SICAKLIK (DERECE)	BASINÇ (BAR)	SÜRE (DAKİKA)	AÇI (DERECE)	NUMUNE FOTOĞRAFLARI
17	2	140	75	8	45	
11	2	140	125	8	40	

Şekil 4.13. Yorulma gerçekleşmeyen numunelerdeki gözlemler-1



Şekil 4.14'te verilen fotoğraflardan, 12 nolu deneyde basınç, sıcaklık ve süre yüksek olduğu için yanmalar gözlemlenmiştir. Fakat 18 nolu deney numunesi incelendiğinde basınç az olduğu için yanmalar 12 nolu deneye göre nispeten kaybolmuştur.

DENEY NO	İP CİNSİ	SICAKLIK (DERECE)	BASINÇ (BAR)	SÜRE (DAKİKA)	AÇI (DERECE)	NUMUNE FOTOĞRAFLARI
12	2	160	150	10	40	
18	2	160	125	10	45	

Şekil 4.14. Yorulma gerçekleşmeyen numunelerdeki gözlemler-2



Şekil 4.15’te ise 7 ve 13 nolu numune tipinde görülen hasar şekilleri gösterilmiştir. 7 nolu deney numunesinde kord iplerindeki hareketlenme ve şekil bozukluğu süreye bağlı olarak değişiklik göstermiştir.

13 nolu deneyde basınç ve sürenin yetersiz olmasından dolayı kauçuk matraste boşluklar meydana gelmiştir.

DENEY NO	İP CİNSİ	SICAKLIK (DERECE)	BASINÇ (BAR)	SÜRE (DAKİKA)	AÇI (DERECE)	NUMUNE FOTOĞRAFLARI
7	1	160	125	5	45	
13	2	160	75	5	42	


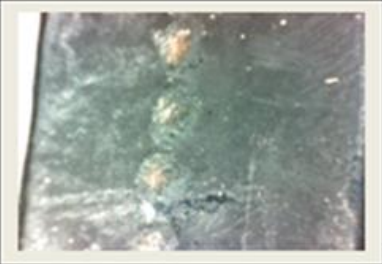
Şekil 4.15. Yorulma gerçekleşmeyen numunelerdeki gözlemler-3

Şekil 4.16’da ise 6 ve 10 nolu numunelerde meydana gelen hasarları göstermektedir. 6 nolu deneyde sıcaklık, basınç ve pişme süresine bağlı olarak aşırı pişme gerçekleşmiştir. 10 nolu deneyde pişme tam olmuş ancak süreden dolayı boşluklar meydana gelmiştir.

DENEY NO	İP CİNSİ	SICAKLIK (DERECE)	BASINÇ (BAR)	SÜRE (DAKİKA)	AÇI (DERECE)	NUMUNE FOTOĞRAFLARI
6	1	180	125	10	42	
10	2	180	75	5	40	

Şekil 4.16. Yorulma gerçekleşmeyen numunelerdeki gözlemler-4

Şekil 4.17’de 2 nolu ve 8 nolu deney numunelerinde istenilen özelliklere sahip bir yapı elde edilmiş ve bunun sonucunda da sonsuz ömre ulaşmıştır.

DENEY NO	İP CİNSİ	SICAKLIK (DERECE)	BASINÇ (BAR)	SÜRE (DAKİKA)	AÇI (DERECE)	NUMUNE FOTOĞRAFLARI
2	1	160	150	8	40	
8	1	180	150	8	45	

Şekil 4.17. Yorulma gerçekleşmeyen numunelerdeki gözlemler-5

Numuneler de Sertlik Ölçümü;

Genel anlamda malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanan sertlik, direkt bir büyüklük olmayıp daha yüksek dayanımda bir malzemenin kendisinden daha düşük dayanımda diğer bir malzeme üzerinde yapmış olduğu deformasyon üzerinden hesaplanmaktadır. Deformasyon ne kadar küçük ise malzemenin sertliği o derece yüksektir şeklinde değerlendirme yapılabilir.

Plastik ya da esnek malzemelerin sertlik değerini belirlemek için kullanılan yöntem Shore sertlik değeri denir. Polimerlerin, elastomerlerin, kauçukların, kumaşların, süngerlerin sertliğini ölçmek için kullanılmaktadır. Ölçümlerde en sık Shore-A ve Shore-D kullanılmaktadır. Batıcı uç ve kullanılan ağırlığa göre sınıflandırılmaktadır.

Shore-A yöntemi kullanılarak; genel itibari ile elastomer, vinil, kauçuk, lastik, deri, PVC, silikon kauçuk, teflon, neopren gibi yumuşak malzemelerin sertliği ölçülür. Bu uygulamada, sertlik ucunun malzemeye ne kadar nüfuz ettiği ile ölçülmektedir. Dalma ucu, uluslararası normlarca belirlenmiş özelliklere sahip yaylı bir sistem tarafından hareket ettirilmektedir. Malzemenin sertlik değeri ne kadar büyükse, dalma derinliği o kadar az; fakat uygulanan kuvvet de bir o kadar yüksek olacaktır (Kutay ve ark. 1995).

Çizelge 4.2’te sertlik değerleri ölçüm tablosu verilmiştir.

Çizelge 4.2 Sertlik değerlerinin ölçüm tablosu

Deney No	İp Cinsi	Sıcaklık (Derece)	Basınç (Bar)	Süre (Dakika)	Açı (Derece)	Sertlik (Shore)
1	1	140	125	5	40	48,2
2	1	160	150	8	40	61,4
3	1	180	75	10	40	61,3
4	1	140	150	5	42	56,8
5	1	160	75	8	42	61,7
6	1	180	125	10	42	61
7	1	160	125	5	45	59,6
8	1	180	150	8	45	61,4
9	1	140	75	10	45	54,8
10	2	180	75	5	40	59,8
11	2	140	125	8	40	59,6
12	2	160	150	10	40	63,8
13	2	160	75	5	42	59,4
14	2	180	125	8	42	58,3
15	2	140	150	10	42	60
16	2	180	150	5	45	58,4
17	2	140	75	8	45	62
18	2	160	125	10	45	61,3

Sertlik Birimi 90 Shore olana kadar bütün sertlikler Shore-A olarak adlandırılırlar.

Sertlik deneyi her bir numune için 6 noktadan ölçüm alınıp ortalama olarak yazılmıştır.

Farklı 6 noktadan alınan değerler birbirine çok yakın değerlerdir.

Tabloda deneylerin sonucunda numunelerdeki sertlik ölçümleri verilmiştir.

- 1, 4 ve 9 nolu yorulma gerçekleşmiş deney numunelerinin sertlik değerleri yorulma gerçekleşmemiş numunelere göre daha düşük çıkmıştır.
- Numunelerde hasar miktarı arttıkça sertlik değerinin düştüğü görülmüştür.
- Basınç ya da pişme sürelerinin herhangi birinin düşük olması durumunda sertlik değeri diğer numunelere göre daha az olarak ölçülmüştür.
- İp cinsinin, sıcaklığın ve açı değerlerinin sertlik değerine etkisi hazırlanan numune verilerine göre tespit edilememiştir.

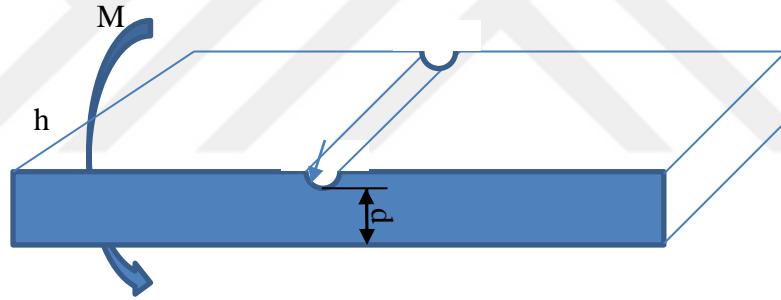
4.2.5 Çentik Kökünde Gerilme Yoğunlaşma Miktarı

Üretilen malzemede 3 farklı takviye açısı için eğilme esnasında ölçülen kuvvet deplasman eğrileri aşağıdaki gibi elde edilmiştir. De Mattia cihazına bağlanan numunenin serbest durduğu konumda çeneler arası mesafe 75 mm'dir. Numune üzerinde bu konumda iken herhangi bir yük ve gerilme bulunmamaktadır. Bu çeneler arası mesafe yükleme durumunda 35 mm'ye düşmekte ve tekrar 75 mm'ye çıkmaktadır. Çeneler arası mesafenin 35 mm'ye düştüğü durumda en büyük kuvvet değerine ulaşılmaktadır. Bu kuvvet eksenini ile eğilen kesitin tarafsız eksenindeki mesafe alınarak eğilme momenti hesaplanır (şekil 4.18).

$$M = FxL \quad (4.1)$$

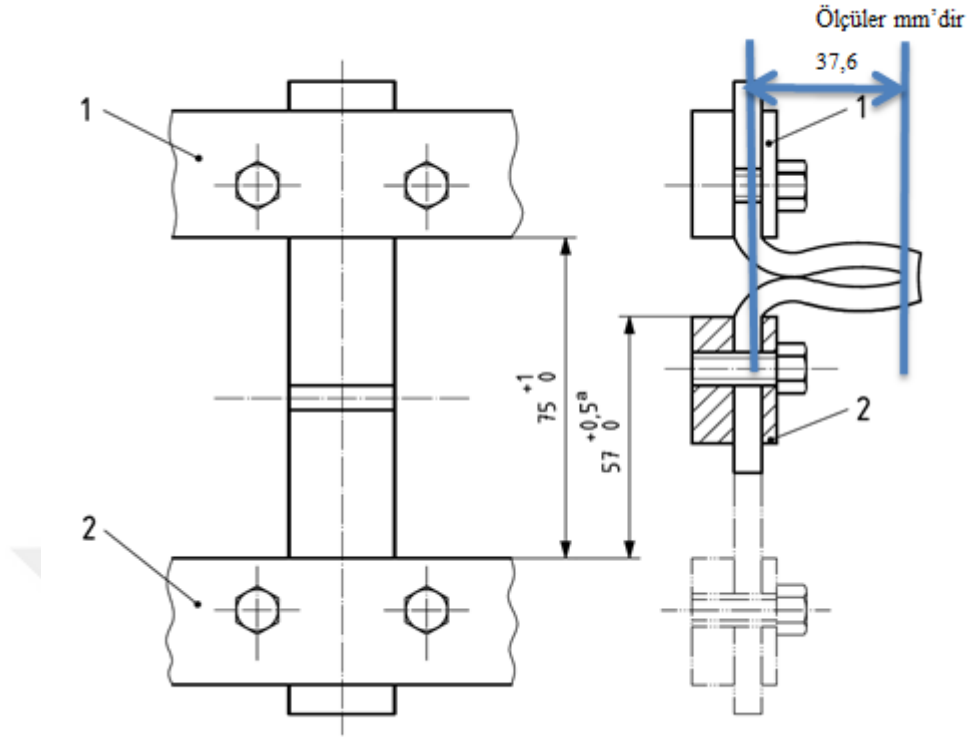
Bu moment değeri :

$$\sigma = \frac{M.y}{I_z} \quad (4.2)$$



Şekil 4.18. Basit eğilmeye maruz kalan kiriş görünümü

Şekil 4.19'da numunenin deplasman görünümü gösterilmiştir.

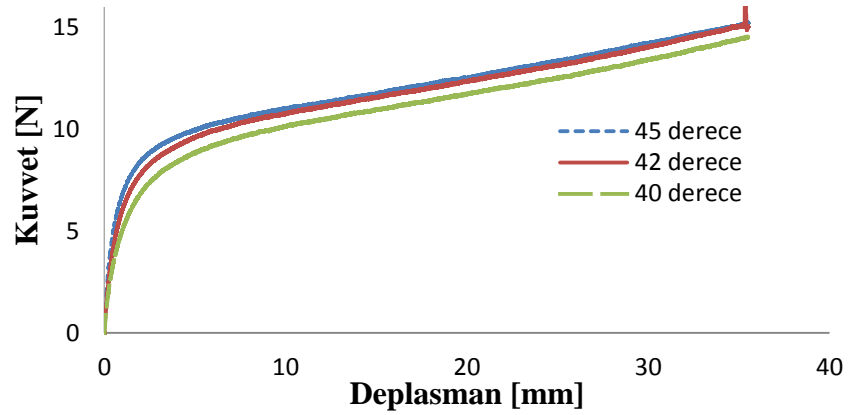


Şekil 4.19. Numunenin deplasman görünümü (TS 132'den değiştirilerek alınmıştır)

L = 37.6 mm ölçülmüştür.

F = 15 N olarak alınıp

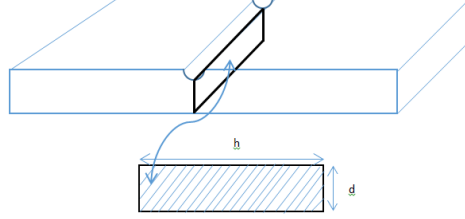
Bu veriler neticesinde Şekil 4.20'de farklı derecelerdeki kord bezi takviyeli numunelerde De Mattia cihazında uygulanan aksenal kuvvet-deplasman verileri



Şekil 4.20. Farklı derecelerdeki kord bezi takviyeli numunelerde De Mattia cihazında uygulanan aksenal kuvvet-deplasman verileri

$$M = FxL = 15 \times 37.6 = 564 \text{ N.mm}$$

Şekil 4.21' de deney numunesi kesit alanı görünümü gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Deney numunesi kesit alanı görünümü

$$I_z = hxd^3/12 \quad (4.3)$$

$$d = H - t = 6.3 - 2.8 = 3.92 \text{ mm} \quad (4.4)$$

$$I_z = \frac{25 \times 3.92^3}{12} = 125.5 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{nom} = \frac{6.M}{h.d^2} = \frac{6 \times 564}{25 \times 3.92^2} = 8.8 \text{ N/mm}^2 \quad (4.5)$$

Denklemden nominal gerilme bulunur.

$$\frac{t}{r} = 1 \quad (4.6)$$

$$\frac{t}{H} = \frac{2.38}{6.3} = 0.377 \quad (4.7)$$

Denklemlerinden gerilme yoğunluğu (K_{tn}) için gerekli veriler bulunur.

Aşağıda verilen denklem 2.2 ve

$$K_{tn} = C_1 + C_2 \left(\frac{t}{H} \right) + C_3 \left(\frac{t}{H} \right)^2 + C_4 \left(\frac{t}{H} \right)^3$$

Aşağıda verilen denklem 2.3, 2.4, 2.5 ve 2.6' dan yararlanılarak,

$$C_1 = 1.795 + 1.481(t/r) - 0.211(t/r)^2$$

$$C_2 = -3.544 - 3.677(t/r) + 0.578(t/r)^2$$

$$C_3 = 5.459 + 3.691(t/r) - 0.565(t/r)^2$$

$$C_4 = -2.678 - 1.531(t/r) + 0.205(t/r)^2$$

$$\frac{t}{r} = 1$$

$$\frac{t}{H} = \frac{2.38}{6.3} = 0.377$$

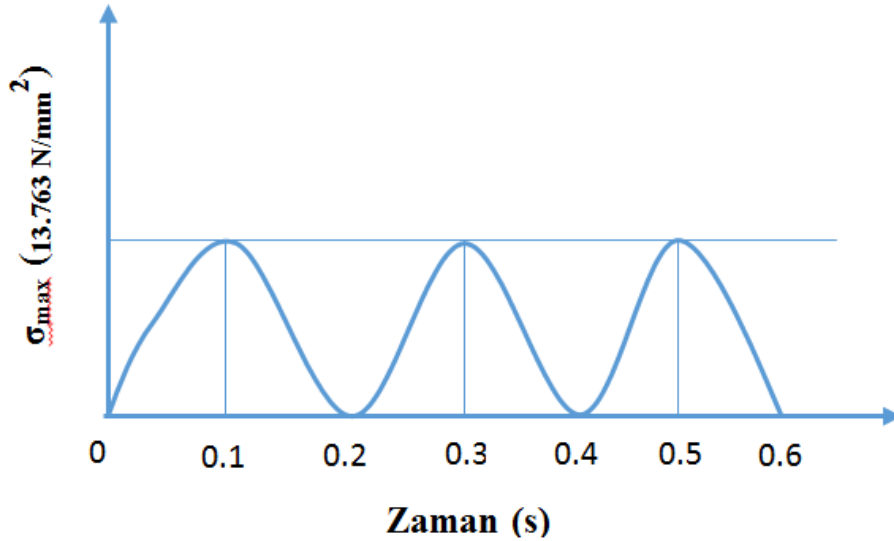
$$K_{tn} = 3.065 + (-6.643)(0.377) + 8.585(0.377)^2 + (-4.004)(0.377)^3$$

$$K_{tn} = 1.564$$

Gerilme yoğunluğu elde edilir.

$$\sigma_{\max} = K_{tn} \cdot \sigma_{nom} = 1.564 \times 8.8 = 13.76 \text{ N/mm}^2 \quad (4.7)$$

olarak bulunur ve aşağıda Şekil 4.22'de belirtilen grafik oluşur.



Şekil 4.22. Zamana bağlı gerilme değişimi

Numunelerin yorulma ömrünün hesaplanması için gerçekleştirilen çalışmalarda $\sigma_{\max} = 13.76 \text{ N/mm}^2$ değerinde alınması teorik ifadeler ile hesaplanmıştır. Numunenin kopma gerilmesinin belirlenmesi için yapılan çekme deneyleri sonucunda ise kopma gerilmesi $\sigma_{kop} = 35 \text{ N/mm}^2$ olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak yorulma ömrünün

hesaplandığı deneylerde gerilme, kopma gerilmesinin yaklaşık %39,3 değerinin altında gerçekleştirilmiştir.



5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında genellikle havalı süspansiyonlarda kullanılan kauçuk-kord bezi kompozit malzemesinin yorulma dayanımını incelenmiştir. Kauçuk/Kord kompozit yapıların statik ve dinamik mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla 5 proses ve malzeme parametresinin etkisi incelenmiştir. Bu parametreler, önceki bölümlerde bahsedildiği gibi ip cinsi, sıcaklık, basınç, pişme süresi ve takviye (kord bezinin açılarıdır) yerleşim açılarıdır.

Kord bezi cinsinin (yapılan deney sonuçlarına göre kullanılan 1 ve 2 nolu ip cinsleri göz önüne alındığında) yorulma dayanımı üzerinde anlamlı bir etkisi tespit edilememiştir. Sıklık Tip 1(1400) de az Tip 2(940)'de çöktür. Sıklığın az olması sebebi ile kauçuğun kord bezlerinin arasına girmesi 940 tip olan kord bezine göre daha fazla olduğu için aralardaki kauçuğun vulkanize işlemi daha zor olduğundan hasarlar 1400 tip olan kord bezinde gözlemlenmiştir. Kullanılan ip cinslerinden 2 nolu ip cinsi 1 numaralı ip cinsine göre seçilen kauçuk malzeme ile daha iyi uyum içinde olduğu ve daha yüksek birleşme özelliği gösterdiği görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada seçilen açı değerlerinin de yorulma ömrü üzerinde anlamlı bir etkisi tespit edilememiştir.

Pişme süresinin numune üzerindeki etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir. Pişme süresi kısa sürede olduğu zaman numunelerin birbirine bütünleşmesi tam anlamı ile gerçekleşemediğinden dolayı numunelerde deney sonuçlarında da elde edildiği gibi katmanlar arası ayrılmalar oluşmuştur. Pişme süresi, sıcaklık ve basınç değerleri ile ters orantılı olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle pişme süresi, sıcaklık ve basınca göre optimize edilmelidir. Örneğin, sıcaklığın çok yüksek olduğu durumlarda malzeme özelliğini kaybetmemesi için pişme süresinin düşürülmesi gerekir. Pişme süresinin az olduğu durumda basınç değerinin fazla olması katmanların birleşimini kolaylaştırmaktadır.

Deney sonuçlarından da anlaşıldığı üzere sıcaklığın az olması numunelerde çapraz bağ oluşumu için önemli bir etkidir. Sıcaklığın az olmasının yanında pişme süresi ve

basınç değerlerinin az olması katmanlar arasında tutunmayı zorlaştırılarak parçanın yorulma ömrünü kısaltıcı etki göstermektedir. Ayrıca sıcaklık değeri fazla olduğunda da pişme süresinin az olması istenmektedir. Böylece numunede meydana gelebilecek yanma ihtimali yüksektir.

Vulkanizasyon sürecinde basınç değerleri de sıcaklık gibi diğer etkenler ile ilişkilendirildiğinde tek başına değerlendirmek mümkün değildir. Uygulanan basınç değeri pişme süresi ve sıcaklığa bağlı olarak değiştirilmelidir. Bunun yanı sıra vulkanizasyon sıcaklığı da numune üzerinde etkiye sahiptir. Sıcaklığın belirli değerler altında tutulması sonucunda, basınç, pişme süresi ve diğer parametreler optimum değerlerde olsa dahi numunenin yorulma ömrü üzerinde olumsuz etkiye sahip olacaktır.

Genel olarak deney sonuçları incelendiğinde deney parametrelerinden basınç değerinin 125 bar veya 150 bar olması, pişme süresinin 8 dak – 10 dak olması üretilen malzemenin yorulma ömrü üzerinde olumlu etkiye sahiptir. Aynı zamanda sıcaklık değerlerinin 160° olması ve 1. ya da 2. tip kord bezlerinin açısı değerlerinin 40° ile 45° arasında herhangi bir değerde yerleştirilmesinin yorulma ömrü üzerinde katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 1989.** Elastomers and Rubbers , Machine Design, 61: 294-327
- Anonim, 2000.** The Earliest History. Natural Rubber, Newsletter of the Rubber Foundation Information Center for Natural Rubber 20: 4-4
- Craig, A.S., 1963.** Rubber Technology. A Basic Course, Oliver and Boyd
- Nalbant, İ. 2006.** Kauçuk parçalar nasıl tasarlanmalı, pp 308
- Gökçe, B., Taşgetiren , S. 2009.** Kalite için deney tasarımı 6:71-83
- Kasım, H. 2012.** Kabin körüklerinin tasarım, üretim ve test parametrelerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Koral Koç, S. 2008.** Kauçuk kompozitlerde poliester lif takviyesinin kauçuğa yapışma özelliklerinin geliştirilmesi. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Ku, B. H., Liu D. S., Lee B. L. 1998** Fatigue of Cord-Rubber Composites: III. Minimum Stress Effect. *Rubber Chemistry and Thecnology*, 71:889-905
- Kutay. Ö., Akşit. K.S. 1995.** İstanbul Üniversitesi Dış Hekimleri Fakültesi Dergisi. Silikon Elastomer Ölçü Maddelerinin Islanabilirliğinin ve Sertliğinin İncelenmesi, 29:156-160.
- Lee, B. L., Ku, B. H., Liu, D. S., Hippo, P. K. 1998.** Fall ACS Rubber Division Meeting. *II Strain-Based Failure Criteria*, 866-887
- Lee, B. L., Liu, D. S., Chawla, M., Ulrich P. C. 1994.** Fatigue of Cord-Rubber Composites. *Rubber Chemistry and Thecnology*, 67:761-774
- Pan, J.** Minitab tutorials for design and analysis of experiments.
- Pidaparti, R. M. V., May, A. W. 2001.** Micromechanical Analysis Of Fatigue Cracks in Cord-Rubber Composites. *Composites Structures* 54:459-465
- Pilkey, D. W., Pilkey, D. F. 1997.** Stress Concentration Factor, 522 pp.
- Song, J. H., Costanzo, F., Lee, B.L. 2004.** Fatigue Of Cord-Rubber Composites: V. Cord Reinforcement Effect. *Rubber Chemistry and Thernology*,77:593-610
- Soyubol, B. 2006.** Elastomerlerin statik ve dinamik özelliklerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- TS ISO 132** Kauçuk-Vulkanize veya Termoplastik-Bükülme Çatlamaşının ve Çatlak Büyümesinin Tayini (De Mattia), 2006.
- Uluçoşkun, K. 2009.** Kord bezinin tasarlanması ve modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Vahapoğlu, V. 2007.** Kauçuk türü malzemeler 1. doğal kauçuk. C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 3.1:57-70

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Onur Aykut KAPUCU
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmangazi/Bursa 30/05/1989
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Cumhuriyet Lisesi (YDA) , 2007
Lisans : Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, (2008-2012)
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2014-Devam

Çalıştığı Kurum ve Yıl : TSE, Makine Mühendisi - Dış İnceleme Uzmanı
2013-Devam
İletişim (e-posta, cep no) : onayka89@gmail.com , +905354709313