

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FREN HORTUMU TASARIMI VE  
PERFORMANSININ ÖLÇÜLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS**  
**Bülent IŞIK**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği**  
**Danışman: Doç. Dr. Tamer SINMAZÇELİK**

**KOCAELİ, 2010**

**FREN HORTUMU TASARIMI VE  
PERFORMANSININ ÖLÇÜLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bülent IŞIK**

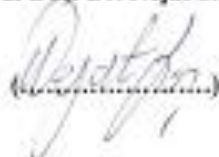
**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 30 Aralık 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 19 Şubat 2010**

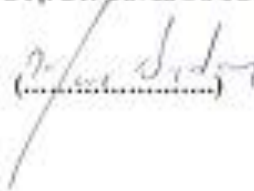
**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Tamer SINMAZÇELİK**



**Üye  
Yrd. Doç. Dr. Nejat SARI**



**Üye  
Yrd. Doç. Dr. Yavuz SOYDAN**



**KOCAELİ, 2010**

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Otomotiv hidrolik fren sistemlerinin hayati öneme sahip parçalarından biri olan fren hortumları, polimer temelli malzemeler olup, EPDM kauçuğu ve PVA dokuma katmanlarının bir araya gelmesiyle oluşan esnek hortumlardır. Yüksek basınç iletimi ile görevlendirilmiş, pek çok bileşik kuvvete ve dış etkilere maruz kalan ve hidrolik prensibi üzerine tasarlanmış olan fren hortumları ana silindirden aldığı fren sıvısını kaliperlere iletir. Gerekli bağlantılar müşteri talebine göre hortumun giriş ve çıkışlarına eklenen rekorlar ile sağlanır. Ayağımızdan iletilen kuvvet kaliperlere yüksek basınç ile taşınır ve frenleme sağlanır.

Yüksek basınç fren hortumları uzun süren üretim aşamasının ardından dünyada kabul edilmiş şartnamelerce . Bütün bu anlatılanlardan anlaşılacağı üzere fren hortumları hayati önem taşıyan parçalardır ve bu hassasiyet içerisinde üretilmelidir. Nihai memnuniyet araştırmacıların ürünü gerekli kalite standartlarına geliştirmesi ile sağlanacaktır.

Bu çalışma Sanayi ve Ticaret Bakanlığı' nın desteklediği 352.STZ.2009-1 no.lu, "Yüksek Performanslı Yeni Nesil Fren Hortumu ve Test Makinesi Geliştirme" başlıklı SANTEZ projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda projenin paydaş'ı olan TEKLAS KAUKUK A.Ş.' ye, çalışmalarımı yürüttüğüm Kocaeli Üniversitesine, İDEAL Laboratuarları ile İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuarları çalışanlarına çok teşekkür ederim. Ayrıca manevi desteği ile sürekli yanımda olan sevgili eşim Z. Feyzal Sümer IŞIK ile yüksek lisans tez çalışmalarım sırasında yardımını hiç esirgemeyen danışman hocam, çok değerli meslektaşım Sn. Doç Dr. Tamer SINMAZÇELİK hocama teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....                                                                              | i   |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                   | ii  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                                | iv  |
| TABLolar DİZİNİ .....                                                                               | iv  |
| ÖZET: .....                                                                                         | x   |
| İNGİLİZCE ÖZET:.....                                                                                | xi  |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                      | 1   |
| 2. POLİMERLER VE KAÜÇUKLAR.....                                                                     | 3   |
| 2.1. Polimerler (Plastikler) .....                                                                  | 3   |
| 2.2. Kaüçuklar .....                                                                                | 6   |
| 2.3. Kaüçuk Karıştırcıları.....                                                                     | 16  |
| 2.4. Kapalı Karıştırcılar.....                                                                      | 17  |
| 2.5. Açık Karıştırcılar.....                                                                        | 18  |
| 2.6. Kaüçuk Karışım Testleri .....                                                                  | 18  |
| 3.1. Hidrolik .....                                                                                 | 21  |
| 3.2. Taşıtlarda Kullanılan Fren Sistemleri Ve Hidrolik Prensipleri.....                             | 24  |
| 3.2.1. Fren sıvıları.....                                                                           | 28  |
| 3.2.2. Fren ana silindiri.....                                                                      | 32  |
| 3.2.3. Disk frenler ve yapısı .....                                                                 | 33  |
| 4. FREN HORTUMLARI.....                                                                             | 36  |
| 4.1. Fren Hortumlarının Üretimi .....                                                               | 37  |
| 4.1.1. Malafa ekstrüzyonu .....                                                                     | 37  |
| 4.1.2. İç kaüçuk katman ekstrüzyonu .....                                                           | 38  |
| 4.1.3. Örgü makineleri.....                                                                         | 39  |
| 4.1.4. Dış kaüçuk katman .....                                                                      | 40  |
| 4.1.5. Rekorların yerleştirilmesi .....                                                             | 42  |
| 4.2. Üretim Sonucu Uygulanan Testler Ve Sonuçları.....                                              | 43  |
| 4.2.1. Kaüçuk hortumlarda sağlamlık testi sonrası mikro-hasar oluşumu .....                         | 43  |
| 4.2.1.1. Sağlamlık testi ve uygulama yapılan cihazlar.....                                          | 46  |
| 4.2.1.2. Kaüçuk hortumda hata gözlemi .....                                                         | 48  |
| 4.2.1.3. Oluşan yırtılma yüzeyi analizi ve sonuçları.....                                           | 51  |
| 4.2.2. Dokuma takviyeli elastomer fren hortumlarında uzunluk evrensel optimizasyonu uygulaması..... | 54  |
| 4.2.2.1. Fren hortumlarının esneme hareketleri ve ‘L’ uzunluğu .....                                | 54  |
| 4.2.2.2. Sonlu elemanlar yöntemi ile kesit analizi .....                                            | 57  |
| 4.3. San-Tez Kapsamında Yürütülen Şartnameler ve Testler .....                                      | 59  |
| 4.3.1. Kalite karakteristikleri ve test gereksinimleri .....                                        | 60  |
| 4.3.2. Güvenilirlik karakteristikleri ve test gereksinimleri.....                                   | 65  |
| 4.4. Yeni ve Eski Patentler .....                                                                   | 69  |
| 4.4.1. Bazı eski patentler .....                                                                    | 69  |
| 4.4.2. Bazı yeni patentler .....                                                                    | 71  |
| 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....                                                                         | 74  |
| 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....                                                                        | 134 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 6.1. Sonuçlar.....  | 134 |
| 6.2. neriler ..... | 137 |
| 7. KAYNAKLAR .....  | 138 |
| ÖZGEÇMİŞ .....      | 140 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1: Monomerler bir araya gelerek polimerleri oluştururlar .....                               | 3  |
| Şekil 2.2: Polimer zincir çeşitleri .....                                                            | 5  |
| Şekil 2.3: Vulkanizasyon işlemi sonucu kauçuğun elastik özelliklerinin artması .....                 | 8  |
| Şekil 2.4: Kapalı karıştırıcı sisteme bir örnek [2] .....                                            | 17 |
| Şekil 2.5: Açık karıştırıcı sisteme bir örnek [2] .....                                              | 18 |
| Şekil 2.6: Mooney viskozimetresi [2] .....                                                           | 19 |
| Şekil 2.7: Reometre ODR 100 S [2] .....                                                              | 19 |
| Şekil 2.8: Reometre MDR 2000 E [2].....                                                              | 20 |
| Şekil 2.9: Reograf referans eğrisi örnek grafiği .....                                               | 20 |
| Şekil 3.1: Sıvılarda yükseklik basınç ilişkisi $P = \rho \times h \times g$ [5].....                 | 22 |
| Şekil 3.2: Yük altındaki sıvının kap etrafına eşit basınç dağılımı (kapalı devre) [5].               | 22 |
| Şekil 3.3: Basıncın yükün etkidiği alanın büyüklüğüne bağlı olarak değişimi $P = F_1 / A_1$ [5]..... | 23 |
| Şekil 3.4: Basınç artırma ilkesinin basit bir şeması [5].....                                        | 24 |
| Şekil 3.5: Otomobil hidrolik fren sisteminden bir görüntü [5] .....                                  | 24 |
| Şekil 3.6: Otomobil hidrolik fren sistemi (ABS: Anti-Lock Brake System) [6].                         | 26 |
| Şekil 3.7: Otomobil hidrolik fren sisteminin şematik gösterimi [5] .....                             | 27 |
| Şekil 3.8: Fren sıvılarının / yağlarının uygulanışı .....                                            | 30 |
| Şekil 3.9: Piyasada kullanılan fren yağlarına bir örnek [11].....                                    | 31 |
| Şekil 3.10: Fren ana silindiri prensip şeması [7].....                                               | 32 |
| Şekil 3.11: Vakum güçlendiricinin sistem içerisindeki konumu [8].....                                | 33 |
| Şekil 3.12: Porsche kaliper' in iç yapısı.....                                                       | 34 |
| Şekil 3.13: Solidwork 2009 destekli CAD uygulaması ile bazı fren disk tasarımlarının gösterimi ..... | 34 |
| Şekil 4.1: Renault Clio III için üretilmiş fren hortumları [4] .....                                 | 36 |
| Şekil 4.2: Fren hortumu katmanları [4].....                                                          | 37 |
| Şekil 4.3: Malafa ekstrüzyon makinesi [4].....                                                       | 38 |
| Şekil 4.4: Dalgallılık ve çap kontrolü [4].....                                                      | 38 |
| Şekil 4.5: İç katmanın malafa üzerine eklenmesi [4].....                                             | 39 |
| Şekil 4.6: PVA örgü ipliği [4] .....                                                                 | 39 |
| Şekil 4.7: SAE J1401' e göre sıralanmış firmaların örgü renkleri .....                               | 39 |
| Şekil 4.8: Örgü makinesi [4] .....                                                                   | 40 |
| Şekil 4.9: Örgülü hortumların makaralarda toplanması [4] .....                                       | 40 |
| Şekil 4.10: Dış kauçuk katmanın eklenmesi sonrası makaralara sarılması [4] .....                     | 41 |
| Şekil 4.11: Hortumların istenilen boyutlarda kesilmesi [4] .....                                     | 41 |
| Şekil 4.12: Müşterilerin isteklerine göre yerleştirilen korucuyu eklentiler [4].....                 | 41 |
| Şekil 4.13: Rekor ve hortumun birleştirilmesi [4] .....                                              | 42 |
| Şekil 4.14: Rekorların takılması ile son hal [4].....                                                | 43 |
| Şekil 4.15: Otomotiv frenleme sistemi [4] .....                                                      | 44 |
| Şekil 4.16: Testin uygulandığı hortumların yapısı (Model: E072) [13].                                | 44 |
| Şekil 4.17: Hidrolik fren hortumlarında oluşan çeşitli gerilmeler [13].....                          | 45 |

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.18: Otomotiv hidrolik frenleri için kauçuk hortum düzeneği sağlamlık test cihazı [13].                                    | 46 |
| Şekil 4.19: Fren yağı ile uygulanan basınç çevrimi [13].                                                                          | 47 |
| Şekil 4.20: Test sırasında hidrolik fren hortumunda burulma ve eğilme momentleri nedeniyle oluşan mekanik darbeler [13].          | 48 |
| Şekil 4.21: Hata analizi için gözlem yapılan kauçuk hortumu düzlemi [13].                                                         | 48 |
| Şekil 4.22: Test öncesi kauçuk hortumun kesit alınmış yüzeyinin fotoğrafları [13].                                                | 50 |
| Şekil 4.23: Sağlamlık testi aşamaları sonrasında kauçuk hortumun kesit yüzeylerinin fotoğrafları [13].                            | 51 |
| Şekil 4.24: İlk çatlak oluşumunun tarayıcı elektron mikroskobu altında (SEM) Şekil 4.22’ de A Bölgesi olarak gösterilen yer [13]. | 51 |
| Şekil 4.25: Son yırtılmanın fotoğrafı [13].                                                                                       | 52 |
| Şekil 4.26: Yırtılma yüzeyinin SEM altındaki fotoğrafı [13].                                                                      | 53 |
| Şekil 4.27: Yukarıdaki şekilde A Bölgesi olarak gösterilen yerin SEM ile büyütülmüş fotoğrafı [13].                               | 53 |
| Şekil 4.28 : Otomotiv hidrolik fren hortumlarında oluşturulan hasar mekanizması [13].                                             | 54 |
| Şekil 4.29 : Otomotiv hidrolik fren hortumlarında oluşturulan hasar mekanizması [13].                                             | 54 |
| Şekil 4.30: CATIA V5R18 Bilgisayar destekli tasarım programı ile çizilmiş 3 bindirme noktalı fren hortumu [16].                   | 55 |
| Şekil 4.31: Uzaysal bir alanda verilen ‘L’ uzunluğu karşısında fren hortumunun esneklik hareketinin simülasyonu [16].             | 55 |
| Şekil 4.32: Deneysel (noktalar) ve hesaplanan (çizgiler) değerlerin analitik düzlemde gösterimi [16].                             | 56 |
| Şekil 4.33: Kullanılan değerler için ortalama E değerleri ve optimize edilmiş L değerinin saptanması [16].                        | 57 |
| Şekil 4.34: Fren hortumu kesitinin FEM modeli [16].                                                                               | 57 |
| Şekil 4.35: 3-Eksen dâhilinde 5 <sup>0</sup> burulma için sonlu elemanlar (FE) analiz sonuçları [16].                             | 58 |
| Şekil 4.36: Fren hortumlarında sıcaklık gereksinimleri                                                                            | 61 |
| Şekil 4.37: Karl Fischer metodunda kullanılan test düzeneği                                                                       | 65 |
| Şekil 4.38: Eğilme açısı ve eğilme çapının açıklanması                                                                            | 66 |
| Şekil 4.39: Patentte kullanılan sembolik fren hortumu resmi [18].                                                                 | 69 |
| Şekil 4.40: Patentte kullanılan sembolik fren hortumu kesiti [19].                                                                | 70 |
| Şekil 4.41: Patentte açıklanan Hortumun şematik resmi [21].                                                                       | 71 |
| Şekil 4.42: Patent içerisinde belirtilen şekil [22].                                                                              | 72 |
| Şekil 4.43: Patentte bahsi geçen örnek ve kesit şeması [23].                                                                      | 73 |
| Şekil 5.1: Conti marka fren hortumu.                                                                                              | 79 |
| Şekil 5.2: Çekme deneyi sonrası Conti marka fren hortumun deformasyon sonrası morfolojisi                                         | 81 |
| Şekil 5.3: Çekme deneyi sonrası kopma kesitine yakın alınmış bir örnek.                                                           | 81 |
| Şekil 5.4: Conti marka hortumda oluşması muhtemel ara yüzey hasarlarına ilişkin fotoğraf.                                         | 82 |
| Şekil 5.5: Conti marka fren hortumun eksenel olarak kesilmiş olan resmi                                                           | 82 |
| Şekil 5.6: Conti marka fren hortumlarının taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmaları                                          | 83 |
| Şekil 5.7: Elyaf kumaş ile üst boru arasındaki ara yüzey yapısı                                                                   | 83 |
| Şekil 5.8 Koroziye fren sıvısına maruz kalan elyaf dokunun yapısı                                                                 | 84 |

|                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5.9: Elyaf demetleri arasında bulunan delaminasyonlar .....                                             | 84  |
| Şekil 5.10: TEKLAS Hortumu elyaf demetleri arasında bulunan delaminasyonlar ..                                | 85  |
| Şekil 5.11: Fren sıvısının sızması sonrası oluşan delaminasyonlar .....                                       | 85  |
| Şekil 5.12: Yüksek sıcaklıklarda fren sıvısının sızması sonrası elyaf demetlerde oluşan delaminasyon .....    | 85  |
| Şekil 5.13: Yüksek sıcaklık ve fren sıvısına maruz elyafların morfolojisi .....                               | 86  |
| Şekil 5.14: TEKLAS hortumuna ilişkin yapılan SEM çalışması görüntüsü.....                                     | 86  |
| Şekil 5.15: Alt boru ile elyaf ara yüzeyine yakın demetler içerisindeki elyaflarda açılma .....               | 87  |
| Şekil 5.16: Fren sıvısına maruz alt boru içerisindeki ara yüzey .....                                         | 87  |
| Şekil 5.17: Rakor-Hortum bağlantısı .....                                                                     | 88  |
| Şekil 5.18: Seri üretim seviyesinde sıkılmış rakor (referans) .....                                           | 90  |
| Şekil 5.19: 10,80 mm çapında ve 10,1 mm ye sıkılmış rakor (DEN-1).....                                        | 90  |
| Şekil 5.20: 10,8 iç çapına sahip ve 10,30 mm ye sıkılmış rakor kesiti (DEN-2).....                            | 91  |
| Şekil 5.21: 10,40 mm çapında rakor .....                                                                      | 92  |
| Şekil 5.22: Seri rakor (Referans rakor) .....                                                                 | 93  |
| Şekil 5.23: DEN-3 (3 yivli ve 19 mm. boya sahip).....                                                         | 93  |
| Şekil 5.24: DEN-4 Rakor (3 yivli ve 21 mm. boya sahip).....                                                   | 93  |
| Şekil 5.25: “Den 1” kodlu çekme numuneleri .....                                                              | 95  |
| Şekil 5.26: “Den 2” kodlu çekme numuneleri .....                                                              | 96  |
| Şekil 5.27: “Den 3” kodlu çekme numuneleri .....                                                              | 96  |
| Şekil 5.28: “Den 4” kodlu çekme numuneleri .....                                                              | 96  |
| Şekil 5.29: Çekme testlerinin yapıldığı cihaz .....                                                           | 97  |
| Şekil 5.30: 208 nolu hortumlarda yerinden çıkma hasarları (düşük mukavemet) ...                               | 110 |
| Şekil 5.31: 216 no.lu hortumlarda yerinden çıkma hasarları (yüksek mukavemet). 110                            |     |
| Şekil 5.32: Den 4 tipi rakor (basınçlı fren sıvısının giriş noktası) .....                                    | 110 |
| Şekil 5.33: Den 3 tipi rakor (basınçlı fren sıvısının giriş noktası) .....                                    | 110 |
| Şekil 5.34: Den 4 tipi rakor (basınçlı fren sıvısının giriş noktası) .....                                    | 111 |
| Şekil 5.35: Den 3 tipi rakor (basınçlı fren sıvısının giriş noktası) .....                                    | 111 |
| Şekil 5.36: Den 4 tipi rakor (2 nci boğum) .....                                                              | 112 |
| Şekil 5.37: Den 3 tipi rakor (2 nci boğum) .....                                                              | 112 |
| Şekil 5.38: Den 4 tipi rakor (2 nci boğum) .....                                                              | 113 |
| Şekil 5.39: Den 3 tipi rakor (2 nci boğum) .....                                                              | 113 |
| Şekil 5.40: Den 4 tipi rakor (Nipel sonu).....                                                                | 114 |
| Şekil 5.41: Den 3 tipi rakor (Nipel sonu).....                                                                | 114 |
| Şekil 5.42: Den 4 tipi rakor (Nipel sonu).....                                                                | 115 |
| Şekil 5.43: Den 3 tipi rakor (Nipel sonu).....                                                                | 115 |
| Şekil 5.44: DEN 1 ve DEN 2 tipi rakorlar .....                                                                | 116 |
| Şekil 5.45: DEN 1 ve DEN 2 tipi rakorlar (Şekil 5.44’ in devamı) .....                                        | 117 |
| Şekil 5.46: DEN 1 ve DEN 2 tipi rakorlar (Şekil 5.45’ in devamı) .....                                        | 118 |
| Şekil 5.47: DEN 1 tipi rakorun nipel girişine yakın 1’ nci boğumuna ilişkin resim 119                         |     |
| Şekil 5.48: DEN 2 tipi rakorun nipel girişindeki görüntüsü .....                                              | 120 |
| Şekil 5.49: Çekme deneyi sonrası sızdırmış olan hortumun görünümü.....                                        | 121 |
| Şekil 5.50: Testler esnasında sızdırmış olan hortumun rakor içerisindeki uç kısmı 122                         |     |
| Şekil 5.51: Testler esnasında sızdırmış olan hortum ve çekme deneyi sonrası ortaya çıkan hasar görüntüsü..... | 122 |
| Şekil 5.52: Testler esnasında sızdırmış olan hortumun detay resmi .....                                       | 122 |
| Şekil 5.53: Testler esnasında sızdırmış olan hortumun elyaf demetleri arasındaki açılmalar.....               | 123 |

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5.54: Testler esnasında sızdırma sonrası elyaflarda fitil oluşumu ve sıvının boru eksenini boyunca ilerlemesi ..... | 123 |
| Şekil 5.55: Elyaflarda fitil oluşumu ve fren sıvının sızmasına ait detay resim.....                                       | 124 |
| Şekil 5.56: Elyaf örgüsü esnasında oluşan hacimsel boşlukların görünümü .....                                             | 124 |
| Şekil 5.57: Testler esnasında sızdırmış olan hortum (üst örgü katmanı) .....                                              | 124 |
| Şekil 5.58: Tfh01 kodlu numunenin 100 °C deki test sonucu şartlarındaki kopma uzaması.....                                | 125 |
| Şekil 5.59: Tfh02 kodlu numunenin 100 °C deki test sonucu şartlarındaki kopma uzaması.....                                | 126 |
| Şekil 5.60: X133 kodlu numunenin 100 °C deki test sonucu şartlarındaki kopma uzaması.....                                 | 127 |
| Şekil 5.61: Tfh01 kodlu numunenin 1250 °C deki test sonucu şartlarındaki kopma uzaması.....                               | 128 |
| Şekil 5.62: Tfh01 kodlu numunenin 125 °C deki test sonucu şartlarındaki kopma uzaması.....                                | 129 |
| Şekil 5.63: X133 kodlu numunenin 125 °C deki test sonucu şartlarındaki kopma uzaması.....                                 | 130 |
| Şekil 5.64: Tfh01 kodlu numunenin 100 °C de 1 saat yaşlandırma sonrası kopma uzaması.....                                 | 131 |
| Şekil 5.65: Tfh02 kodlu numunenin 100 °C de 1 saat yaşlandırma sonrası kopma uzaması.....                                 | 132 |
| Şekil 5.66: X133 kodlu numunenin 100 °C de 1 saat yaşlandırma sonrası kopma uzaması.....                                  | 133 |

## TABLolar DİZİNİ

|                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 2.1: Karıştırıcı sistemlerinin karşılaştırılması [2] .....                                                                    | 17  |
| Tablo 3.1: PolyGlysor Ether temelli yağların/sıvıların kuru-ıslak ve 6 aylık kullanım sonucunda oluşan kaynama noktaları [11] ..... | 29  |
| Tablo 4.1: Şekil 4.16'daki hortum çiziminin ölçüleri ve malzemeleri .....                                                           | 47  |
| Tablo 4.2: Kauçuk hortumun sağlamlık testi aşamaları [13]. .....                                                                    | 49  |
| Tablo 4.3: Farklı dizilimler için örnek veri tablosu [16]. .....                                                                    | 56  |
| Tablo 4.4: Fren hortumu içerisinde izin verilebilecek artık safsızlıklar .....                                                      | 61  |
| Tablo 4.5: Yaz/Kış şartlarında tepki testi dayanıklılığı programı .....                                                             | 68  |
| Tablo 5.1: Sıkma çapı / hortum çapı oranlarının belirlenmesi .....                                                                  | 75  |
| Tablo 5.2: Üst boru kat ayrışması deney sonuçları .....                                                                             | 75  |
| Tablo 5.3: Alt boru kat ayrışması sonuçları .....                                                                                   | 76  |
| Tablo 5.4: İplik/İplik kat ayrışması deney sonuçları .....                                                                          | 76  |
| Tablo 5.5: Alt boru kopma dayanımı deney sonuçları .....                                                                            | 77  |
| Tablo 5.6: Alt boru kopma uzaması deney sonuçları .....                                                                             | 78  |
| Tablo 5.7: Rakor kopma dayanımı deney sonuçları .....                                                                               | 78  |
| Tablo 5.8: Sıcak patlatma test sonuçları .....                                                                                      | 79  |
| Tablo 5.9: Conti-Teklas firmasına ait numunelerin çekme deneyi sonuçları .....                                                      | 80  |
| Tablo 5.10: TEKLAS' ın seri üretimde kullanılan standart hortumların rakor ölçü ve sıkma parametreleri .....                        | 88  |
| Tablo 5.11: Nipel uzunluğu değiştirilmiş rakor tiplerine ait test sonuçları .....                                                   | 94  |
| Tablo 5.12: Den 1-208/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 98  |
| Tablo 5.13: Den 1-208/2 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 98  |
| Tablo 5.14: Den 1-211/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 99  |
| Tablo 5.15: Den 1-211/2 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 99  |
| Tablo 5.16: Den 1-216/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 100 |
| Tablo 5.17: Den 1-217/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 100 |
| Tablo 5.18: Den 2-208/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 101 |
| Tablo 5.19: Den 2-211/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 101 |
| Tablo 5.20: Den 2-216/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 102 |
| Tablo 5.21: Den 2-217/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 102 |
| Tablo 5.22: Den 3-208/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 103 |
| Tablo 5.23: Den 3-211/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 103 |
| Tablo 5.24: Den 3-216/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 104 |
| Tablo 5.25: Den 3-217/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 104 |
| Tablo 5.26: Den 4-208/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 105 |
| Tablo 5.27: Den 4-211/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 105 |
| Tablo 5.28: Den 4-216/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 106 |
| Tablo 5.29: Den 4-217/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu .....                                                                    | 106 |
| Tablo 5.30: Yerinden çıkma dayanımı ve kopma uzamalarına ilişkin deneysel sonuçlar .....                                            | 107 |
| Tablo 5.31: Deney tiplerine göre rakor performans sonuçları .....                                                                   | 111 |
| Tablo 5.32: Deney tiplerine göre rakor performans sonuçları .....                                                                   | 113 |

|                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 5.33: Deney tiplerine göre rakor performans sonuçları .....                                              | 115 |
| Tablo 5.34: Sızdırmış bir fren hortumuna ait çekme deneyi sonuçları .....                                      | 121 |
| Tablo 5.35: Tfh01 Kodlu numunenin 100 °C deki kopma uzaması test sonucu .....                                  | 125 |
| Tablo 5.36: Tfh02 Kodlu numunenin 100 °C deki kopma uzaması test sonucu .....                                  | 126 |
| Tablo 5.37: x133 Kodlu numunenin 100 °C deki kopma uzaması test sonucu .....                                   | 127 |
| Tablo 5.38: Tfh01 Kodlu numunenin 125 °C deki kopma uzaması test sonucu .....                                  | 128 |
| Tablo 5.39: Tfh01 Kodlu numunenin 125 °C deki kopma uzaması test sonucu .....                                  | 129 |
| Tablo 5.40: X133 Kodlu numunenin 125 °C deki kopma uzaması test sonucu .....                                   | 130 |
| Tablo 5.41: Tfh01 Kodlu 100 °C de 1 saat yaşlandırma sonrası 100 °C de yapılan kopma uzaması test sonucu ..... | 131 |
| Tablo 5.42: Tfh02 Kodlu 100 °C de 1 saat yaşlandırma sonrası 100 °C de yapılan kopma uzaması test sonucu ..... | 132 |
| Tablo 5.43: X133 Kodlu 100 °C de 1 saat yaşlandırma sonrası 100 °C de yapılan kopma uzaması test sonucu .....  | 133 |

## FREN HORTUMU TASARIMI VE PERFORMANSININ ÖLÇÜLMESİ

**Bülent IŞIK**

**Anahtar Kelimeler:** Fren Hortumları, Yüksek Basınç Hortumları, Otomotiv Hidrolik Fren Sistemleri, Kauçuk, EPDM, Ara Yüzey Ayrışması

**Özet:** Fren hortumları, otomotiv hidrolik fren sistemlerinin hayati öneme sahip parçalarından biri olup, yüksek basınç iletimi ile görevlendirilmiş pek çok bileşik kuvvete ve dış etkilere maruz kalan esnek hortumlardır. Bu hortumlar, polimer temelli malzemeler olup, EPDM kauçuğu ve PVA dokuma katmanlarının bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Hidrolik prensibi üzerine tasarlanmış olan fren hortumları, ana silindirden aldığı fren sıvısını kaliperlere iletir. Gerekli bağlantılar müşteri talebine göre hortumun giriş ve çıkışlarına eklenen rekorlar ile sağlanır. Ayağıımızdan iletilen kuvvet kaliperlere yüksek basınç ile taşınır ve frenleme sağlanır. Yüksek basınç fren hortumları uzun süren üretim aşamasının ardından dünyada kabul edilmiş şartnamelerce standartlaştırılmıştır. Buna ek olarak müşteri isteği doğrultusunda oluşturulmuş şartnameler üretici tarafından uygulanmalı ve talebe uygun olduğu ispatlanmalıdır. Bütün bu anlatılanlardan anlaşılacağı üzere fren hortumları hayati önem taşıyan parçalardır ve bu hassasiyet içerisinde üretilmelidir. Nihai memnuniyet araştırmacıların ürünü gerekli kalite standartlarına geliştirmesi ile sağlanacaktır.

## **BRAKE HOSE DESIGN AND THE MEASUREMENT OF ITS PERFORMANCE**

**Bülent IŞIK**

**Keywords:** Brake Hoses, High Pressure Hoses, Automotive Hydraulic Brake systems, Rubber, EPDM, Interfacial Delamination

**Abstract:** Brake hoses, which have the vital importance for the automotive hydraulic systems, are flexible passages for hydraulic oils to transmit the pressure to the calipers of brake disks. These brakes compile the polymeric layers which are EPDM rubber layers and PVA braided fabric layers. These are the materials for the production because of high resistance for atmospheric affects and some combined stresses. The connection between the master cylinder and the calipers is formed by the hose fittings. These fittings are metallic tightness parts of the hose assembly designed by the costumer's demands. High pressure brake hoses are standardized by the specifications. These specifications are accepted by all the industry of the world, In addition to this, costumers may also demand some specifications from the producer and producer has to be ensured by their tests to finalize these QV's. All in all brake hoses are the safety parts of all the mechanism and have to be manufactured by talented producers with ensuring the quality specifications.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde otomotiv sanayi, ülkemiz ve birçok gelişmiş ülke ekonomilerinde yarattığı katma değer ve etkileşimde olduğu diğer sektörlerde, doğrudan veya dolaylı olarak sağladığı teknolojik ilerleme ve istihdam ile büyük önem taşıyan bir sanayi dalıdır. Ayrıca, ülkemizde ki otomotiv yan sanayi ile birlikte sağladığı istihdam kapasitesi ile toplam istihdamda oldukça önemli bir paya sahiptir. İstihdam konusundaki genel kanı; otomotiv ana sanayisinde çalışan bir kişinin geriye bağlantılı olarak yan sanayide 3 kişiye doğrudan, 5 kişiye ise doğrudan ve dolaylı istihdam yarattığı şeklindedir.

Genel olarak otomotiv sektörü diğer sektörleri de doğrudan etkileyen lokomotif bir sektör olarak değerlendirilmektedir. 20 nci. yüzyılın başlarından itibaren büyük bir hızla gelişen otomotiv sanayi, aynı yüzyılın sonlarında gelişmiş ülkelerin piyasalarında motorlu taşıt araçlarına olan talebin doyum noktasına ulaşması, artan rekabet ve düşük kapasite kullanım oranları ile ortaya çıkan fiyat baskısı nedeniyle, bir dönüm noktasına gelmiştir. Otomotiv ana sanayi firmaları maliyetlerin düşürülebilmesi amacıyla farklı stratejiler uygulamaya başlamışlardır. Bu kapsamda yan sanayi firmalarına daha fazla sorumluluk verirken, bu firmalardan beklentilerini artırmışlardır. Bu stratejiler tüm otomotiv sanayi firmalarını doğrudan ya da dolaylı olarak etkilemiştir.

Uygulanan stratejilerin etkinliğini belirleyen en önemli faktörlerden biri de ana sanayi ve yan sanayi ilişkileridir. Ana sanayii firmaları, etkin yan sanayi ilişkileri kurabildikleri bölgelerde yatırımlarını yoğunlaştırmaktadır. Bu nedenle, etkin yan sanayi ilişkilerinin kurulabilmesi için uygun bir ortamın sağlanması, gerek düşük maliyetli ve kaliteli üretim yapabilmek gerekse de yatırım ortamının iyileştirilmesi için büyük önem taşımaktadır.

Ülkemizin otomotiv sanayi ve otomotiv yan sanayi ilişkileri sonucu dünyada tanınan pek çok başarılı firmamız zaman içerisinde meydana gelmiştir.

TEKLAS Kauçuk Sanayi ve Ticaret A.Ş.' de ülkemizdeki yüzlerce başarılı şirketten sadece birisidir. TEKLAS A.Ş. ülkemizde gün geçtikçe sanayi ve üniversitelerarası ilişkilerin de güçlenmesine sebep olan ve böylece önemi artan AR-GE çalışmalarını bünyesinde uygulayan bir firmadır. TEKLAS A.Ş. dünyanın lider otomotiv şirketlerinden Audi, Ford, Volkswagen, Daimler, Renault gibi dev firmaların yüksek ve alçak basınç akışkan sistemlerini üretmekte ve bunun yanında titreşim sönümleyici parçalar, silecekler de üretmektedir.

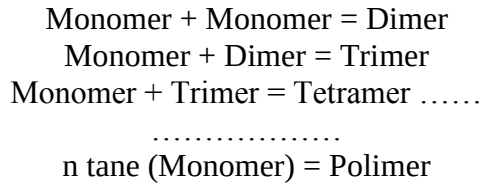
Bu çalışmada fren hortumları, üretimi, performans ölçümlerine yönelik yapılan deneysel çalışmalar anlatılacaktır.

İkinci bölümde polimer ve kauçukların yapıları, nerelerde kullanıldıkları, nasıl üretildikleri ve üretim sonrası kullanılmadan önce ne gibi kontrol/testlerden geçtikleri anlatılacaktır. Çalışma fren hortumları üzerine olduğu için bunların üretimi aşamasında kullanılan kauçukların neler oldukları ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Üçüncü bölümde fren hortumlarının nasıl çalıştığı ve ne gibi bir önem teşkil ettiğinin daha iyi kavranması amacıyla hidroliğin temelleri ve otomotiv hidrolik fren sistemleri anlatılacaktır. Dördüncü bölümde fren hortumları ve üretimi, üretimi sırasında uyulması gereken şartnameler, nasıl üretildiği, üretimi sonrası uygulanan testler ve onay şartları ile bugüne kadar tescil ettirilmiş bazı patentlerden örnekler verilerek üretimi sırasındaki hassasiyetin sebebi anlatılacaktır. Beşinci bölümde deneysel çalışmalar ve son bölümde ise sonuçlara ilişkin değerlendirmeler ve önerilerim sunulmuştur.

## 2. POLİMERLER VE KAÜÇUKLAR

### 3. Polimerler (Plastikler)

Polimerler (Plastikler), “C” nun metal olmayan elementler (H,O,Cl,N) ve diğerk organik ya da inorganik elementler ile oluşturduğu, monomer adı verilen basit yapıdaki moleküllu gruplardaki bağıın koparılarak, uzun ve zincirli bir yapıya dönüştürölmesi ile elde edilen malzemelere verilen isimdir. Plastiğın diğerk adı olan polimerin ne demek olduğunu açıklarken monomer ve polimer terimlerini beraber betimlemek daha doğru olur. Monomer, birbirine kovalent bağlarla bağlanarak daha büyük moleküller oluşturabilen küçük bir moleküldür. Polimer ise birden çok monomerin birbirine kovalent bağlarla bağlanması sonucu oluşank büyük moleküldür (makro-molekül)(Şekil 2.1) [1]. Yani polimer olabilmesi için en az beş (5) den fazla monomer’ in bir araya gelmesi gerekir. Bu bazen yüzlerce, bazen de binlerce monomer’ in bir araya gelip bir tek zincir şeklinde bulunabilir.



Şekil 2.1: Monomerler bir araya gelerek polimerleri oluştururlar

Örneğink; etilen bir monomerdir. Bu monomerden oluşturulan polietilen ise polimerdir. En çok kullanılan plastiklerin başında gelir.

Tanımdan anlaşılacağı üzere plastikler doğada hazır bulunmaz, doğadaki elementlere insan tarafından müdahale edilmesi ile elde edilir. Elde edilmesi belli bir sıcaklık ve basınç altında, katalizör kullanılarak monomerlerin reaksiyona sokulması ile olur. Plastik ilk üretildiğinde toz, reçine veya granöl halde olabilir. Genelde plastikler petrol rafinerilerinde kullanılan ham petrolün işlenmesi sonucu arta kalan

malzemelerden elde edilir. Yapılan araştırmalara göre dünyadaki petrolün sadece % 4' lk bir kısmı plastik üretimi için kullanılmaktadır.

Plastik, istenilen biçimi alabilen anlamına gelen yunanca "plastikos" sözcüğünden gelir. Plastiklerin başlıca zelliğ, kolayca biçim değştirmeleri ve kalıplamaya da haddeme gibi işlemelerle çeşitli biçimlere sokulabilmeleridir.

Plastikler iki gruba ayrılabilir:

- 1- Temel zincir yapısı selüloz gibi bir doğal üründen türemiş olan yarı sentetik plastikler,
- 2- Küçük birimlerden ya da monomerlerden kimyasal yolla yapılmış zincirleri içeren tam sentetik plastikler.

Bir polimerin, bileşenleri olan monomerlerden oluşturulma sürecine polimerleştirme ve bu işleme polimerizasyon (monomerlerin birbirleriyle bağlanarak polimer oluşturduğu kimyasal reaksiyon) adı verilir.

Aşağıda da belirtildiğ üzere sağladığı birçok avantaj nedeniyle, plastiklerin birçok farklı yerde kullanımı söz konusudur.

- Hafif olduğundan (düşük yoğunluklu olmaları ( $0,9-1,4 \text{ g/cm}^3$ )) taşıma maliyetini düşürmektedir.
- Dayanıklıdır ve olduğa güvenli bir kap oluşturmaktadır.
- Değşik biçimler verilebilmektedir.
- İyi bir yalıtıcıdır. Elektriğ, ısıyı ve sesi yalıtma kabiliyeti vardır.
- Nemli yiyecekler ve mikrodalga fırında kullanıma elverişlidir.

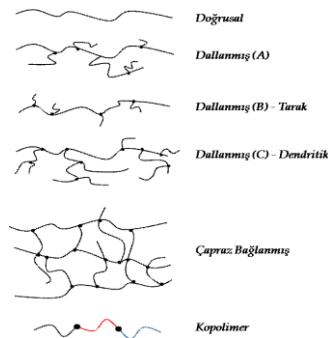
Yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerin, yani makro moleküllerin varlığı ilk olarak 20' li yıllarda Hermann Staudinger tarafından öne sürülmüş ve geçen 90 sene içinde polimerler günlük yaşamımızın hemen her safhasında kullanılır hale gelmiştir. Sahip oldukları üstün özellikleri nedeniyle polimerik malzemelerin kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır. Polimerlerin başlıca avantajları, hafif oluşları, korozyona karşı dayanıklı oluşları ve kolay işlenebilirlikleridir. Yapı malzemeleri olarak da

polimerlerin çok büyük bir önemi vardır. Bugün dünyada üretilen polimerlerin yaklaşık %30' u her sene inşaat mühendisliği ve yapı endüstrisinde kullanılmaktadır.

Polimer, insanların el ele tutuşmasıyla oluşan zincire benzetilebilirler. Canlıların yaşam sürecinde önemli rol oynayan pek çok organik polimer olduğu gibi, doğada da pek çok inorganik polimer bulunur. Ayrıca laboratuarlarda çeşitli yöntemler kullanılarak çok sayıda yapay polimer üretilmiştir. Laboratuarlarda üretilen bu yapay polimerler günümüzde birçok sanayi ürününün üretilmesinde kullanılır.

Örnek olarak, bize en uygun olan polimerler PVC (Poli Vinil Klorür) ve PU (Poli Üretan) , termoplastik sınıfına giren polimerlerdir. Polimerler camlaşma sıcaklığının üstündeki sıcaklıklara ısıtıldıklarında yumuşayabilirler ve işlenebilir özelliğe sahiptirler. Soğutuldukları zaman ise istenilen şekilde sertleşirler. Fakat ısıtıldıkları zaman tekrar yumuşarlar ve eğer istenirse tekrar şekillendirilebilirler. Böylece defalarca şekillendirilebilirler. PVC, plastikleştirilip işlendiği zaman kararlı, kuru ve esnek bir özelliğe sahip olurlar. Tek bir polimer zincirinde binlerce ya da milyonlarca monomer bulunur. Polimer zincirini oluşturan monomerlerin özellikleri ve zincirlerin birbirleri ile olan etkileşimleri polimer malzeme özelliklerinde belirleyici olmaktadır.

Polimer zincirleri doğrusal yani lineer olabildiği gibi dallanmış yapıda da olabilir, bu durumda ana zincirden yan dallar ayrılmaktadır. (Şekil 2.2) [1]. Yan dallar başka ana zincirlere bağlanıyorsa oluşan polimerlere çapraz bağlı polimerler denir ki, günümüzde kullanılan polimerlerin yarıya yakını çapraz bağlı yapıdadır. Çapraz bağlı polimerler hiç bir çözücüde çözünmezler ancak sıvıları emerek şişerler ve bir jel oluştururlar.



Şekil 2.2: Polimer zincir çeşitleri

Genelde polimerlerde kristal ve amorf bölgeler bir arada bulunmaktadır. Kristal bölgeler malzemeye sertlik ve kırılgenlilik, buna karşılık amorf bölgeler malzemeye tokluk verir. Dolayısıyla malzemenin kristalinite derecesi mekanik özelliklerinde çok önemlidir. Düzenli yapılar ya da lineer zincirler kristal oluşumunu kolaylaştırır. Moleküller arası çekim kuvvetleride kristaliniteyi arttırmaktadır. Polimerlerin termal özellikleri onların erime ve camsı geçiş sıcaklıkları ile tanımlanır. Polimer zincirleri camsı geçiş sıcaklığı  $T_g$ 'nin altında donmuş bir yapıda  $T_g$ 'nin üzerinde ise lastiksi durumdadır. Bu sıcaklıkları yan gruplar ya da zincirin sertliği belirlemektedir. Polimerlerin mekanik özellikleri ise çekme-uzama testleri ile belirlenir.

Polimerler;

Mekanik özelliklerine göre:

- Elyafklar ve sert plastikler,
- Yumuşak plastikler,
- Elastomerler olarak gruplandırılır.

Oluşum mekanizmalarına göre ise aşağıda belirtildiği gibi 2 gruba ayrılır:

- Katılma (zincir) polimerleri: Monomerlerin ard arda bağlanması ile oluşurlar.
- Kondensasyon polimerleri: Monomerlerin bağlanması sırasında küçük moleküller (örneğin su ya da metanol) açığa çıkar.

#### **4. Kauçuklar**

Kauçuk, bugün ki endüstride kullanılan önemli maddelerden birisi olup, motorlu - motorsuz taşıt araçlarının tekerlekleri, çeşitli yağmurluklar, ayakkabılar, elektrik sektöründe kullanılan izole malzemeleri, düğme, tarak, kalem ve projemizin ana konusu olan fren hortumları kauçuğun bugün ki endüstrideki uygulama şekillerinden başlıcalarıdır.

Kauçuk genel olarak; vulkanize olabilme (çapraz bağ oluşumu) özelliğine sahip polimer olarak tanımlanır.

Doğal kauçuğun bu kadar çok kullanılması sebebi ile kauçuğu çok ucuz ve bol miktarda elde edebilmek için, 1906 yılında Almanlar tarafından sentetik (yapay)

kauçuk elde edilmiştir. Kauçuk aslında bir ağaç adıdır. Bu ağacın kendisinden ve özsuyu olan lateksinden elde edilen maddeler endüstride kullanım sahası bulmuştur. Son yıllarda tabii kauçuğun yanı sıra sentetik kauçuğun da üretilmesi ile pek çok kauçuk türü ortaya çıkmıştır. Kauçuğun en önemli özelliği yüksek bir elastikiyete sahip olması, yani yeniden eski haline dönebilen bir uzayabilirliğinin olmasıdır. Kauçuk işleme endüstrisinin gelişmesinin ve hemen her sektörde kullanılmasının temelinde de bu vardır.

Kauçuk daha çok sütleggengiller (Euphorbiaceae) familyası bitkilerinde, ayrıca Compositae, Apocynaceae ve Asclepiadaceae familyaları bitkilerinde bulunan lateks (bitkilerde süt görünümünde özsu) in kurutulmasıyla elde edilen bir üründür. Kauçuğun adı, amazon bölgesi yerlilerinin dilinden gelir (caa-o-cu= ağlayan ağaç). Brezilya'da eskiden kurutulmuş bir balçık kalıp üstünde kat kat sürülen kauçuğun pıhtılaştırılması ile ayakkabı yapılıyordu. Lateksin bezler arasında kurutulması ile de, su geçirmez bezler üretiliyordu. Kauçuktan ilk olarak 1530'larda bahsedilmeye başlandı ki bu daha önceleri bilinmiyordu. [2]

Modern kauçuk imalat endüstrisi ise, kauçuğun kükürtle sertleştirilmesi (vulkanizasyon) işlemiyle başladı (1839). Bu endüstrinin gelişmesi, kauçuğun hammaddesinin işlenerek birçok yerde kullanılmasına sebep oldu. 1839-1840 yıllarında Amerika Birleşik Devletlerinde Goodyear, İngiltere'de Hancock, kauçuğu kükürtle birleştirdiler ve sıcakta yapışkan olmayan, soğukta esnekliğini kaybetmeyen bir madde elde ettiler.

Vulkanizasyon işlemi kauçukların endüstriyel olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır. Vulkanizasyon kauçuğun kimyasal yapı değişikliğine (çapraz bağlanabilme özelliği) uğrayarak, plastik halden geri dönüşümsüz olarak elastik hale gelmesi işlemidir (Şekil 2.3) [2].



Şekil 2.3: Vulkanizasyon işlemi sonucu kauçuğun elastik özelliklerinin artması

Vulkanizasyon işlemi 3 (üç) tip olup, aşağıda belirtilmiştir.

- Klasik vulkanizasyon: Kükürt oranının diğer akseleratörlere göre baskın olduğu vulkanizasyon sistemi.
- Etkili vulkanizasyon: Akseleratörlerin kükürte nazaran daha yoğun kullanıldığı, kükürt oranının düşük olduğu vulkanizasyon sistemi.
- Yarı etkili vulkanizasyon: Kükürt ile akseleratörlerin dengeli olarak kullanıldığı vulkanizasyon sistemi.

Kauçukların tanınan ve kullanımında uygulanan en önemli özelliklerinden biri neftyağında, karbondisülfürde, karbontetraklorürde, terebentinde, eterde, gazyağında, benzinde ve buna benzer eritici sıvılarda çözülmesidir.

Fiziki ürünler arasında kauçuk; yumuşaklık, dayanıklılık, elastikiyet, su ve hava geçirmeme özelliği, yapıştırıcılık ve elektriğe karşı direnciyle çok önemli bir üründür. Hakiki kauçuk tekrar tekrar birçok defalar uzatıldığında hemen hemen ilk baştaki orijinal boyutlarına yeniden geri gelir. Bu özelliği de kauçuğu, sentetik kauçuktan ve kauçuk gibi maddeleri ihtiva eden diğer bütün maddelerden ayırır.

Ham kauçuklar; doğal kauçuklar ve sentetik kauçuklar olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Doğal kauçuklar, hevea braziliensis denilen kauçuk ağaçlarından elde edilen lateksin (ağaç özsu) merkezkaç işlemi ile çöktürülüp asetik asit veya formik asit ilavesi ile dondurulması sonucu elde edilirler. Kısaca NR (Natural rubber) kısaltması ile gösterilirler. Sentetik kauçuklar ise doğal kauçuk dışındaki diğer kauçuk tiplerini kapsar. Tamamen kimyasal yollarla endüstriyel tesislerde üretilirler. Kullanım amaçları ve özellikleri nedeni ile çok çeşitli tipleri mevcuttur. Örnek olarak EPDM, NBR, CR, ECO, AEM, EVM v.b. verilebilir. [3]

Doğal kauçuklar (Natural rubbers: NR )

Üretici firmalar; Laiterjung Lee Rubber (Dünyada tabii kauçuk üretiminin %43 ü Malezya`da, %24 ü Endonezya`da, geri kalan kısmı da Tayland, Sri Lanka ve Hindistan`da üretilmektedir.)

Ticari isimler; SMR, SIR, STR

Genel özellikleri;

- İyi fiziksel özellikler (çekme, esneme, yırtılma, aşınma)
- İyi dinamik özellikler
- İyi soğuk dayanım özellikleri
- Kolay proses edilebilme özelliği
- Asitlere az dayanım
- Yağ ve yakıtlara çok az dayanım
- Ozon, oksijen ve UV ye çok az dayanım
- Yüksek sıcaklıklara az dayanım
- Kötü geçirgenlik özellikleri

Kullanım alanları;

- Otomotiv sanayinde (antivibrasyon özelliğine haiz parçalar, otomobil lastiği)
- Ayakkabı tabanı üretiminde
- Merdane kaplamalarında
- Yapıştırıcı üretiminde

EPDM EtilenPropilenDienMonomer'ler : Genel olarak dien olarak adlandırılıp, temel olarak üç gruba ayrılırlar.

1. Dicyclopentadiene (DCPD) / Yavaş vulkanizasyon
2. Ethylidene norbornene (ENB) / Hızlı vulkanizasyon
3. 1,4 Hexadiene (1,4 HD) / Orta hızlı vulkanizasyon

Üretici firmalar: DSM, Exxon, Bayer, Enichem, Kumho

Ticari isimler; Keltan (778)-(509\*100), Vistalon (2504)-(5730), Buna EP G (8460)-(5567), Dutral TER (9046)-(4334), KEP (381/F)-(KEP980)

Genel özellikleri;

- Yüksek oranda dolgu ve yağ ile yüklenebilme
- Çok iyi yalıtkanlık özelliği
- Çok iyi ozon ve hava dayanımı
- Kimyasallara (asit ve baz) iyi direnç
- Kolay proses edilebilme özelliği
- İyi ısıl yaşlanma özellikleri
- Yağ ve yakıtlara az dayanım
- Düşük metal yapışkanlığı
- Orta derecede fiziksel özellikler

Kullanım alanları:

- Otomotiv sanayii (radyatör hortumları, fren hortumları, cam ve kapı fitilleri, su tahliye hortumları)
- Bulaşık ve çamaşır makinelerinde çeşitli conta ve keçelerde, su tahliye hortumunda, çamaşır makinesi kazan körüklerinde)
- Kablo sanayinde (yalıtım amaçlı)
- Hava dayanım özelliği istenen diğer uygulamalarda

EVM Ethylene-Vinyl-Asetate'lar; genel olarak EVA olarak da bilinirler.

Üretici firmalar Bayer, Dupont

Ticari isimler; Levapren 400, Elvax 40

Genel özellikleri;

- Çok iyi ısıl yaşlanma özellikleri
- Yüksek sıcaklıklarda çok iyi deformasyon direnci
- İyi mekanik özellikler
- Çok iyi ozon ve hava dayanımı

- Kolay proses edilebilme özelliği (belirli tip dolgular ile yüksek oranlı doldurulabilme imkanı)
- Yanmaya karşı direnç özelliği iyidir
- Kötü aşınma ve yırtılma mukavemeti
- Yağlara karşı orta seviyede, direnç(EPDM den daha iyi)

Kullanım alanları :

- Kablo sanayinde (iyi Isı direnci özelliği nedeni ile izolasyon amaçlı)
- Bazı kalıplamalı (ısıya dayanıklı keçeler) parçalar ile profillerde
- Çatı kaplama sistemlerinde (su sızdırmazlık elemanı olarak)
- Yapıştırıcı imalatında ve plastik sanayinde de kullanılır.

CR Chloroprene Rubber'lar :

Üretici firmalar: Bayer, Dupont, Enichem

Ticari isimler: Baypren 210, Baypren 230, Neopren W, Neopren WHV, Butaclor MC 10, Butaclor SC 22

Genel özellikleri;

- İyi fiziksel özellikler
- Yağlara karşı iyi, yakıtlara karşı orta derecede mukavemet
- Yüksek esneklik özelliği
- İyi ozon ve hava dayanımı
- Yanmaya karşı direnç özelliği iyidir
- Düşük sıcaklık özellikleri çok iyi değildir.
- Elektrik iletkenlik özelliği NR dan iyi NBR dan kötüdür.
- Maliyeti biraz yüksektir.

Kullanım alanları:

- Yapıştırıcı üretiminde
- Hava ve yağ direnci istenen çeşitli hortum, keçe, conta, körük imalatında
- Flexibilite özelliği nedeni ile fren hortumu üretiminde

NBR Acrylonitrile Butadiene Rubber'lar; İçerisinde Butadiene ve Acrylonitrile 18%-50% oranlarında bulunurlar.

Üretici firmalar: Bayer, Zeon, Enichem

Ticari isimler: Kraynac 4550, Perbunan NT 3945, Nipol DN200W45, Breon N33C45, Europrene N 4560, Europrene N 3945

Genel özellikleri:

- Yağ ve yakıt dayanımı iyidir
- Geçirgenliği düşüktür
- Fiziksel özellikleri iyidir
- Isı dayanımı iyidir
- Düşük sıcaklık özellikleri iyi değildir.
- Elektrik yalıtım özelliği kötüdür
- Esneme özelliği zayıftır
- Ozon direnci zayıftır

NBR' nin elastomer özellikleri, kauçuk bünyesindeki ACN (acrylonitrile) oranına göre değişkenlik gösterebilir.

CPE Chlorinated Polyethylene;

Üretici firmalar: Dow-Dupont,Daiso

Ticari isimler: Tyrin 3630 E, Tyrin BH 9000, Daisolac MR 104, Daisolac H 135

Genel özellikleri:

- İyi ısıl dayanım özellikleri
- İyi fiziksel özellikler
- Yağlara karşı iyi, yakıtlara karşı orta derecede mukavemet
- İyi ozon ve hava dayanımı
- Yanmaya karşı direnç özelliği iyidir
- Genellikle peroksit ve thiadiazoller ile vulkanize edilirler
- Maliyetleri nispeten yüksektir.

CPE kauçuğunun özellikleri, bünyesindeki Cl miktarına göre değişkenlikler gösterebilir. Genelde uygun değer şartları yakalamak için %35 Cl içerikli tipleri kullanılır. Cl içeriğinin artması şişmeyi azaltmakla birlikte, ısı dayanımı, bazı fiziksel özellikler ile düşük sıcaklık esnekliğini negatif olarak etkiler.

Kullanım alanları

- Kablo sanayinde
- Hava, yağ ve kimyasallara dayanım istenen her türlü ekstrüzyon ve kalıplamalı parça üretiminde

CSM Chlorosulfonated Polyethylene;

Üretici firmalar. Dow - Dupont

Ticari isimler: Hypalon 40, Hypalon 48, Hypalon 4085

Genel özellikleri:

- İyi ozon ve hava dayanımı
- Yağlara ve kimyasallara karşı iyi dayanım
- İyi aşınma mukavemeti
- Yanmaya karşı direnç özelliği iyidir
- Düşük sıcaklık dayanımları iyi değildir
- Yakıtlara karşı direnç özellikleri iyi değildir
- Maliyetleri nispeten yüksektir.

CSM kauçuğunun özellikleri de CM gibi bünyesindeki Cl miktarına göre değişkenlikler gösterebilir.%25 ile %43 arasında değişen oranlarda Cl,%0,8 ile%1,5 oranında da S ihtiva eden tipleri bulunur. Cl içeriğinin artması şişme (genleşme) özelliklerini iyileştirmekle birlikte ısı dayanımı özelliklerini kötü yönde etkiler.

Kullanım alanları:

- Kablo sanayinde
- Cam profillerinde
- Otomotiv sanayinde (power steering ve oil cooler hortumları)

- Endüstriyel hidrolik hortum üretiminde
- Merdane ve silindir kaplama işlemlerinde

AEM(Ethylene Acrylate Rubber)'ler ;

Genel özellikleri:

- İyi ozon ve hava dayanımı
- Yüksek sıcaklıklara dayanım
- İyi mekanik özellikler
- İyi titreşim sönümleme özelliği
- Yağlara dayanıklılık
- İyi esneklik özellikleri (düşük sıcaklıklarda da)
- Halojen içermeme
- Yakıtlara karşı direnç özellikleri iyi değildir
- Maliyeti yüksektir.

Kullanım alanları:

- Otomotiv sanayinde (turbo charge hortumları, yağ soğutma hortumları, direksiyon hortumları, körükler, titreşim sönümleyiciler, statik-dinamik keçe üretimi

ECO (Epichlorohdyrin Rubber)'ler;

Genel özellikleri,

- Yakıtlara, yağlara çok iyi dayanım
- İyi düşük sıcaklık esnekliği
- Çok iyi düşük geçirgenlik özelliği
- Isı dayanımı, yağ dayanımı ve düşük ısı esnekliği özelliklerinin çok iyi dengesi
- İyi ozon dayanımı
- Yalıtkanlık özelliği iyidir
- Yüksek sıcaklık özellikleri iyi değildir
- Maliyeti yüksektir.

Kullanım alanları:

- Yakıt hortumları üretimi
- Yağ keçeleri, o-ring
- Özel maksatlı elektrik tel ve kablo üretimi
- Yapıştırıcı üretimi

FKM (Fluoro elastomers)' ler olarak;

Üretici firmalar: Dupont, Dyneon, Daikin, Monteedison

Ticari isimler; Viton, Fluorel, Dai-El, Technoflon

Genel özellikleri:

- Mükemmel ısı dayanımı
- Alifatik ve aromatik hidrokarbonlara dayanım
- Çok iyi yağ, yakıt, kimyasal ve solvent (ketonlar hariç) dayanımı
- Alev dayanıklılık
- Düşük sıcaklık özellikleri iyi değildir
- Elastikiyet özellikleri iyi değildir
- Maliyeti çok yüksektir.
- Proses edilmesi zordur

Kullanım alanları:

- Özel o-ring, keçe ve hortum üretimi
- Askeri veya uzay çalışmaları ile uçak sanayinde
- Yüksek vakum, radyasyon amaçlı uygulamalarda

Q serisi olarak tanımlanan silikon elastomerler (Silicone elastomers); genel olarak MQ, MPQ, MVQ, MPVQ, MFVQ olarak tanınırlar. MQ (İlk silikon polimeri, Methylsilicone) MPQ Methyl-phenyl silicone MVQ Methyl-vinyl silicone MPVQ Methyl-phenyl-vinyl silicone MFVQ, Methyl-fluoro-vinyl silikon'lardır.

Üretici firmalar: Dow-corning, Bayer GE, Wacker

Ticari isimler: Elastosil,Silopren

Genel özellikleri;

- Çok iyi sıcak ve soğuk dayanım özellikleri
- Çok iyi ozon dayanımı
- Çok iyi elektrik izolasyon özellikleri
- Yağ dayanımı zayıf, yakıt dayanımı kötüdür
- Maliyeti (hammadde ve işleme) yüksektir
- Aşınma mukavemeti kötüdür
- Fiziksel özellikleri iyi değildir
- Gaz geçirgenliği iyi değildir

Kullanım alanları:

- Tıp alanında (dializ tüpleri, kan nakli)
- Gıda sanayinde
- Otomotiv sanayinde(o-ring, keçe, hortum)

## **5. Kauçuk Karıştırıcıları**

Kauçuk karışımları, imal edilen ürünün karakteristiklerine göre farklılık taşırlar. Bu nedenle kauçuk karışımının (hamurunun) üretimi, imal edilen ürünün karakteristiklerine göre farklı tipteki bileşenlerin karıştırıcı içinde karıştırılmasından oluşur.

Polimerler ve çeşitli kimyasal maddeler, madde depolama sisteminden karıştırma makinası içine manuel olarak ilave edilirken, karbon siyahı ve yağlar genelde direkt olarak enjekte edilirler. Makine gövdesi duvarlarında hamurun kesilmesini sağlayan 2 adet rotor olması, homojen bir kütle yapısında olmasını ve karışımını sağlar.

Karıştırıcıdan çıkan kauçuk hamuru kütlesi, hamur ön şekillendirme (tabakalaşma veya çeşitli boyutlarda parçalara bölünme) içine koyulur. Sıcak kauçuk, sonra su bazlı anti-bağlayıcı solüsyondan geçirilerek, ortam sıcaklığına soğutulur. Yapıştırma sonrasında kauçuk tabakaları oluşur. Kauçuk tabakaları, soğuk hava veya soğuk su

uygulamaları ve kauçuk tabakalarının düşük sıcaklıkları içinde direkt olarak uzun konveyör bandı üzerinde yer alır. Karıştırma prosesi, banburyde karıştırma, ön şekillendirme, anti-bağlayıcı tabaka oluşturma ve soğutma işlemlerini kapsar.

## 6. Kapalı Karıştırıcılar

Kapalı karıştırıcıların bilinen iki tip uygulaması mevcut olup, bunlar Banbury ve Intermix yöntemleri olarak adlandırılmışlardır. Her iki karıştırıcı tipi de; besleme kapağı, karıştırma ünitesi, karıştırıcı rotorlar, piston ve boşaltma kapağı birimlerinden oluşurlar. Aralarındaki temel fark, rotor tasarımı ve büyüklüğüdür.



Şekil 2.4: Kapalı karıştırıcı sisteme bir örnek [2]

Intermix rotorları daha büyük olup, aynı hızda dönerler. Banbury' lerde ise, rotorlar ters yönde ve genelde farklı hızda dönerler. Intermix'lerin karıştırma yöntemi Intermeshing, Banbury'lerin'ki ise Tangential sistem olarak bilinirler. Aşağıdaki Tablo 2.1' de belirtildiği gibi karşılaştırılacak olurlar ise;

Tablo 2.1: Karıştırıcı sistemlerinin karşılaştırılması [2]

| <b><u>“Intermeshing” sistem</u></b> | <b><u>“Tangential” sistem</u></b> |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Hızlı karıştırma                    | Yüksek dolum oranı                |
| Hassas sıcaklık kontrolü            | Hızlı karışım boşaltma            |
| Düşük boşaltma sıcaklığı            | ---                               |
| Yüksek güç verimi                   | ---                               |
| İyi dolgu dağılımı                  | ---                               |

## 7. Açık Karıştırıcılar

Open mill (two roll mill) olarak literatürde yer alan açık karıştırıcılar, direkt karışım yapımı amacının dışında mastikasyon (kauçuğun veya karışımın ezilmesi), havalandırma, karışım ısıtma-soğutma, pişirici veya akseleratör ilavesi ve kapalı karıştırıcı sonrası nihai biçimlenme için de kullanılırlar.



Şekil 2.5: Açık karıştırıcı sisteme bir örnek [2]

## 8. Kauçuk Karışım Testleri

Vulkanize olmuş ya da olmamış kauçuk karışımını test eden çeşitli testler olduğu gibi, kauçuk karışımını oluşturan bileşenleri de test eden testler mevcuttur. Vulkanize olmamış kauçuk karışımı için uygulanan temel iki test bulunmakta olup, bunlar karışımın akışkanlığı ve vulkanizasyon özellikleri hakkında fikir vermektedirler. [4]

- Mooney viskozite testi
- Reolojik özelliklerin belirlenme testi

Mooney viskozimetresi karışım tesisinde hammadde ve karışımların viskozite değerlerini ölçmek için kullanılan bir cihazdır. Mooney viskozimetresi, ortalama  $2 \text{ s}^{-1}$  kesme hızında çalışır. Bu cihazda, testere dişi görünümlü disk, oluk şeklinde bir boşlukta basınç altında tutulan  $27 \text{ cm}^3$  hacmindeki numune içinde dönüş yapar. Belli bir sabit sıcaklıkta, (genellikle  $100^\circ\text{C}$ ), diski  $2 \text{ d/dk.}$  hızda hareket ettirmek için gerekli tork miktarına “Mooney viskozitesi” adı verilir.



Şekil 2.6: Mooney viskozimetresi [2]

|                        |                                         |
|------------------------|-----------------------------------------|
| Markası                | : Monsanto                              |
| Basınç                 | : Min. 60 psi (4.2 kg/cm <sup>2</sup> ) |
| Ölçüm aralığı          | : Max.200 Mooney                        |
| Hassasiyet             | : 0,1 Mooney                            |
| Sıcaklık ölçüm Aralığı | : 30-200°C                              |
| Hassasiyet             | : ±0,1 °C                               |

Reometre ODR 100 S karışımın reolojik özelliklerini belirlemek için kullanılır. Numune, konik rotoru çevreleyen ısıtılmış plakalar arasında basınç altında tutulur. Konik disk, belli bir açı ve frekansta motor yürütücü kuvveti eşliğinde salınım yapar. ODR 100 S' de salınım frekansı 1.660 Hz (MDR 2000 cihazı ile benzerlik gösterir), gerilme miktarı ise 1° açı' dır (yaklaşık % 14 gerilme değerine karşılık gelir).



Şekil 2.7: Reometre ODR 100 S [2]

|                      |                |
|----------------------|----------------|
| Markası              | : Monsanto     |
| Sıcaklık Aralığı     | : 100 - 200 °C |
| Sıcaklık Hassasiyeti | : ±0,3         |

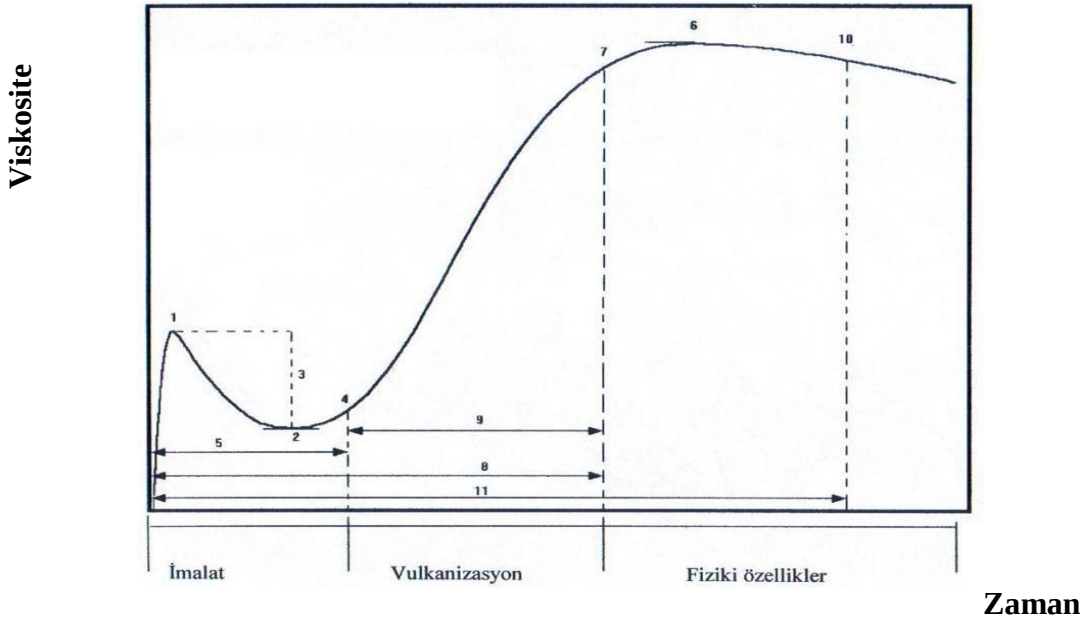
Reometre MDR 2000E karışım tesisinde karışımın reolojik özelliklerini belirlemek için kullanılır. 4.5 cm<sup>3</sup> hacmindeki numune "set" sıcaklığına dek ısıtılmış alt kalıp üzerine yerleştirilir. Test sırasında üst kalıp, alt kalıp üzerine gelerek aradaki boşluğu doldurur. Alt kalıp, belli frekansta salınım yapar (1.660 Hz) ve numune üzerine belli gerilme (0,5° açı veya % 6.98 gerilme) uygular.



Şekil 2.8: Reometre MDR 2000 E [2]

|                  |                               |
|------------------|-------------------------------|
| Markası          | : Monsanto                    |
| Sıcaklık Aralığı | : 30-200°C                    |
| Hassasiyet       | : $\pm 0.1^\circ\text{C}$     |
| Ölçüm Aralığı    | : Max. 200 lb/ inc.           |
| Hassasiyet       | : $\pm 0,1 \text{ lb / inc.}$ |

Reograf dan alınan sonuçlar aşağıda örneği verilecek referans eğrisi kullanılarak incelenir ve sonuçlara varılır. Gerekli özelliklerin temininde ve bu özelliklerin iyileştirilmesi çalışmalarında önemli bir yeri olan eğri, karışımın reolojik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır.



Şekil 2.9: Reograf referans eğrisi örnek grafiği

- 1.Başlangıç Viskositesi / 2. Minimum Viskosite / 3. Termoplastisite / 4. Vulkanizasyon Başlama Noktası / 5. Vulkanizasyon Başlama Zamanı / 6. Azami Vulkanizasyon / 7. En iyi Vulkanizasyon / 8. En iyi Vulkaznizasyon Zamanı / 9. Vulkanizasyon Hızı / 10. Geri Dönüş/ 11. Geri Dönüş Zamanı

### 3. HİDROLİĞİN TEMELLERİ ve TAŞITLARDA KULLANILAN FREN SİSTEMLERİ

#### 9. Hidrolik

Endüstriyel hidrolik de kuvvet ve hareketlerin bir akışkan aracılığı ile iletimi ve denetimi söz konusudur. Yani enerji iletim maddesi akışkandır. Akışkan olarak su-yağ karışımları (sentetik) kullanılıyorsa da genelde madensel yağlar akışkan olarak kullanılır.

Akışkanların davranışını inceleyen akışkanlar mekaniği iki ana bölümden oluşur. Hidrostatik duran akışkan mekaniğini, hidrodinamik ise hareketteki akışkan mekaniğini inceler. Hidrolikteki kuvvet iletimi hidrostatığe, türbinlerde akış enerjisinin elektrik enerjisine dönüşmesi ise hidrodinamiğe örnektir

Hidrolik devrenin tercih edilme nedenleri şunlardır:

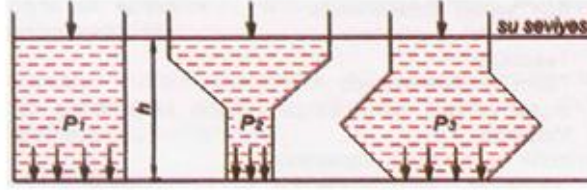
- Küçük hacimde büyük kuvvetler, momentler elde edilir.
- Kuvvet gerektiğinde kendiliğinden oluşur.
- Dururken tam yükte harekete geçmek olasıdır.
- Hız, kuvvet ve moment kademesiz olarak kolayca ayarlanabilir.
- Çok hızlı ve çok yavaş hareketler büyük bir duyarlılıkla denetlenebilir.

Gazlar (hava dahil) sıkıştırılabilir özelliklere sahipken, sıvılar sıkıştırılmazlar.

Hidrolikte tanımlar ve hesaplamalar uluslararası birimlere (SI) göredir. Buna göre kuvvet (N) ve alan ( $m^2$ ) için temel büyüklükler kullanılırsa basınç birimi olarak Paskal kullanılır.

Ancak  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$  olduğu için çok yüksek rakamlar ortaya çıktığından bar birimi kullanılır.  $1 \text{ bar} = 10000 \text{ Pa}$  değerindedir.

Duran akışkan mekaniği olan hidrostatikte basınç yerçekimi kuvvetinin etkisiyle olur. Bir sıvı sütununun dibindeki alanda sıvının ağırlığı nedeniyle basınç oluşur. Bu basınç sıvı sütunu yüksekliğine (h), yoğunluğuna ( $\rho$ ), ve yerçekimi ivmesine bağlıdır.

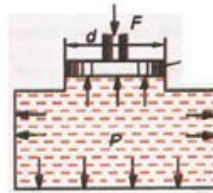


Şekil 3.1: Sıvılarda yükseklik basınç ilişkisi  $P = \rho \times h \times g$  [5]

Şekilleri farklı kaplar içine aynı akışkan (yoğunlukları aynı olan) konulursa, oluşacak basınç sıvı sütununun yüksekliğine bağlı olduğundan belirli bir düzey için her kaptaki basınç eşittir. [5]

$$P_1 = P_2 = P_3 \quad (3.1)$$

Hidrostatik basınç kabın tabanında bir kuvvet yaratır. Yukarıdaki şekildeki tüm kapların taban alanları eşit olduğundan oluşan kuvvetlerde eşittir.

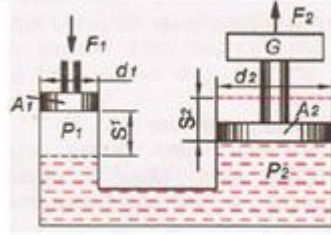


Şekil 3.2: Yük altındaki sıvının kap etrafına eşit basınç dağılımı (kapalı devre) [5]

Yukarıdaki şekilde kapalı bir kapta bulunan bir akışkana ait (A) alanına (F) kuvveti uygulandığında akışkanda basınç oluşur. Bu basınç büyüklüğü alana ve alana uygulanan dik kuvvete bağlıdır.

$$P = F/A \quad (3.2)$$

Oluşan basınç aynı anda, her yöne yayılır. Bu nedenle basıncın her noktadaki değeri aynıdır. Bu hesap yöntemi statik basıncın göz önüne alınmadığı durumlar için geçerlidir. Eğer kaptaki sıvı sütununun yüksekliği fazla ise bu basıncı dış kuvvet nedeniyle oluşan basınca eklemek gerekir. Hidrolik devrelerdeki çalışma basıncı statik basınca göre çok büyük olduğundan; statik basınç göz önüne alınmaz.



Şekil 3.3: Basıncın yükün etkidiği alanın büyüklüğüne bağlı olarak değişimi  $P = F_1 / A_1$  [5]

Basınç her yöne eşit olarak yayıldığı için bulunduğu kabın şeklinin bir önemi yoktur. Paskal yasasını açıklamak için Şekil 3.3’ den yararlanabiliriz. Burada  $A_1$  alanına  $F_1$  kuvveti uygulandığında oluşan basınç kuvveti Şekil 3.3’ deki gibi olacaktır. Oluşan bu “P” basıncı kabın her noktasında olduğu gibi  $A_2$  alanına da etkidiğinden bir kuvvet yaratacaktır. Basınçlar aynı olduğundan bu iki eşitlik sonucu:

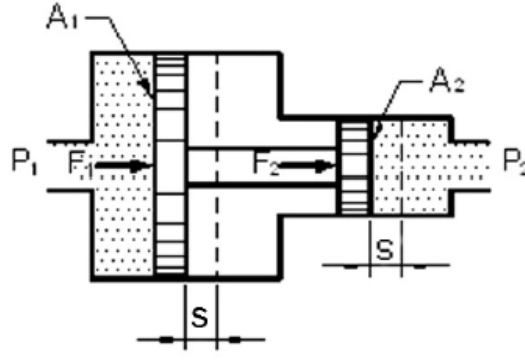
$$F_1 / A_1 = F_2 / A_2 \quad (3.3)$$

Kuvvetler oranının alanlar oranına eşit olduğu görülür. Kaptaki oluşacak basınç, yükün etkidiği alanın büyüklüğüne bağlıdır. Basınç önündeki direnci yenene dek yükselecek ve hareketi gerçekleştirecektir. Kat edilen yol ( $S_1, S_2$ ) ile alanlar arasında ters bir orantı vardır [5].

$$S_1 / S_2 = A_2 / A_1 \quad (3.4)$$

$F_1$  kuvvetinin aldığı yol  $S_1$  ise, yaptığı iş  $W_1 = F_1 \times S_1$  olur ve enerjinin korunumu prensibine göre iş iletimi aynı olacağından  $W_1 = W_2$  olur [5].

$$W_1 = F_1 \times S_1 \quad W_2 = F_2 \times S_2 \quad (3.5)$$

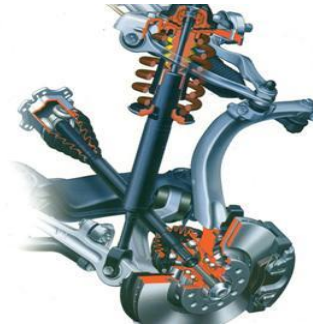


Şekil 3.4: Basınç artırma ilkesinin basit bir şeması [5].

Yukarıdaki şekilde, çapları farklı iki piston bir mil ile birleştirilir.  $A_1$  alanına  $P_1$  basıncı uygulandığında  $F_1$  kuvveti oluşur. Büyük pistonda oluşan bu kuvvet mil aracılığı ile küçük pistona iletilir.  $A_2$  alanına uygulandığında  $P_2$  basıncı ortaya çıkar. Böylece hidrolik kuvvet iletilmiş olur [5].

## 10. Taşıtlarda Kullanılan Fren Sistemleri Ve Hidrolik Prensipleri

Fren sistemleri, motorlu taşıt aracının emniyetini sağlayan düzenlerdir. Genel olarak hareket halindeki taşıtları yavaşlatmak, durdurmak, aracın hızını kontrol altında bulundurmak ve diğer taraftan duran aracı yerinde tespit etmek üzere frenler kullanılır. Fren sistemi taşıttaki kinetik enerjiyi sürtünme yoluyla ısı enerjisine çevirerek, taşıtın durmasını veya yavaşlamasını sağlar.



Şekil 3.5: Otomobil hidrolik fren sisteminden bir görüntü [5]

Hidrolik fren sistemlerinde mekanik çubuklar veya kablolar yerine kullanılan hidrolik veya bir sıvı ile iletilen basınç frenlere tesir eder. Birçok faydaları yanında daima ve en hızlı bir şekilde devreye girebilmesi, bütün tekerleklerdeki basınç dengesi ve bakım kolaylığı nedeniyle hidrolik frenler mekanik frenlerin yerini almıştır. Modern bir araçta fren sistemi yönünden pek çok şartın yerine getirilmesi

gerekmektedir. Frenler kolay ve hissedilebilir bir şekilde çalıştırılabilmesi ve en kısa zamanda tesir edebilmelidir.

Sert frenlemelerde aracın yönünden sapmasını önlemek için bütün tekerlekler aynı zamanda frenlemelidir. Diğer taraftan bir fren sistemi aşınmaya karşı mukavim, bakıma ihtiyaç göstermeyen ve toz gibi diğer dış tesirlere karşı hassas olmamalıdır. Neticede fren sistemi çok az yer kaplamalı ve az bir ağırlığa sahip olmalıdır.

Hidrolik frenlerin en önemli parçaları şunlardır:

- İçinde hidrolik basıncın meydana getirildiği merkez silindiri
- Fren tamburu içine yerleştirilmiş olan tekerlek silindiri.
- Belirli sabit bir sıvı hacminin tutulabilmesi için gerekli denkleştirme deposu.
- Fren boruları ve hareketli araç pedalları arasına yerleştirilmiş olan fren hortumları.
- Hidrolik basıncı ileten fren sıvısı

Hidrolik fren sisteminin çalışma prensibi fren pedalının aşağı doğru basılmasıyla, merkez silindirdeki fren sıvısının merkez pompasındaki piston vasıtasıyla, tekerlek silindirdeki pistonların geri çekme yay kuvvetini yenip fren tamburuna yaslanması şeklindedir.

Ayak kuvvetinin daha da arttırılması aynı şekilde merkez pompasından gönderilen hidrolik basıncın artmasını ve böylece bütün tekerleklerin aynı zamanda frenlenmesini sağlar. Ayak kuvvetinin kaldırılmasıyla geri çekme yayları fren pabuçlarını ve tekerlek pistonlarını başlangıç durumuna geri getirmekte, böylece fren sıvısı merkez pompasına geriye basılmaktadır.

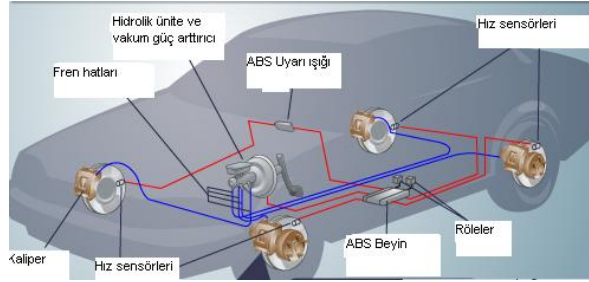
Aracı durduracak olan frenleme kuvveti genellikle teker lastiği ile lastiğin üzerinde döndüğü zaman arasındaki bağıntıdan doğar. Frenleme mekanizmasının görevi, aynı zamanda aracı mümkün olan en kısa zamanda ve en kısa mesafede durdurmaktır. Bunu gerçekleştirmek için aracı hızlandıran motor gücünün üzerinde bir güçle frenleme yapmak gerekir. Çünkü aracın hızlanması için bir zamana ihtiyaç olduğu

gibi, durdurmak için ise daha kısa bir süreye ihtiyaç vardır. Aksi halde frenlemenin önem ve emniyeti kalmaz [9].

Aracın durdurulması sırasında frenleme olayı çeşitli bölümlerden oluşur;

- Tehlikenin seçildiği zaman
- Şoförün karar verme zamanı
- Durdurma için harekete geçiş
- Fren pedalına basma
- Fren mekanizmasının çalıştırılması
- Aracın durdurulması

Hidrolik frenleme halinde yol ile lastik arasındaki sürtünme, (tekerlek) kaliper veya disk ile balata arasındaki sürtünmeden fazla ise sorun olmaz. Ama ani frenlemede durum bunun tersine olur. Yol ile lastik arasındaki sürtünme kuvveti az olursa, tekerlek yol üzerinde kayar ısınır, atalet kuvveti nedeniyle hız normal hızın üzerine çıkar dolayısıyla çok büyük bir tehlike ortaya çıkar. Sürtünmenin kinetik bir sürtünme değil statik sürtünme olması ya da frenlerin yol ile lastik arasında maksimum sürtünme olacak şekilde uygulanması gerekmektedir.



Şekil 3.6: Otomobil hidrolik fren sistemi (ABS: Anti-Lock Brake System) [6].

Bu durum sürücülerin çok tecrübeli trafik koşullarında yer alan tüm araç ve yayalarında tecrübeli olması gerekir bu olsa bile istenmeyen durumlarla karşılaşınca sürücülerin tepkileri çok farklı olur çoğunlukla panik meydana gelir panik hallerinde de genellikle frenlerde kilitlenme ya da patinaj oluşur. Özellikle günümüzde trafikteki araçların yoğunluğu, yolların araç trafiğine yetmemesi ayrıca yetse bile günümüzdeki araçların çokluğu frenleme saniye de hızlanma süreci çok, bu hızlanma süresinin 8-10 katı kısa zamanda aracın durdurulması gerekir. Patinaj olayının önüne geçilmesini zorunlu kılmaktadır.

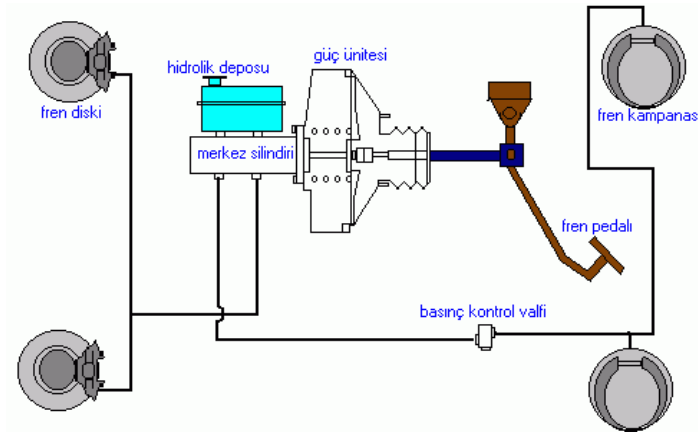
Örneğin, Aracı durduran frenleme kuvveti genellikle teker lastiği ile lastiğin üzerinde döndüğü zemin arasındaki bağlantıdan doğar. Frenleme kuvvetine hava direnci, yokuş direnci gibi kuvvetlerin etkisi de vardır. Bu dirençleri yenen kuvvet ortadan kaldırılacak olursa taşıtın yavaşlamasına veya durmasına sözü edilen dirençler sebep olur. Diğer taraftan taşıtın yavaşlamasına yardımcı olan motorun frenleme gücü de vardır.

100 km/saat hızla giden bir taşıttan şu sonuçlar alınmıştır [10]:

- Ayak gaz pedalından çekildiği zaman vites boş durumda iken taşıt 1100 m sonra 61 sn'de durmuştur.
- Ayak gaz pedalından çekildiği zaman araç viteste iken taşıt 560 m sonra 36 sn'de durmuştur.
- Ayak gaz pedalından çekildikten sonra araç viteste iken ve fren pedalına güç tatbik edilince taşıt 65 m sonra 4 sn.'de durmuştur.

Deneyler göstermektedir ki frenleme anında tekerin dönmesine bir miktar imkan verilirse patinaj olayı ortadan kalkmakta ve aracın durdurulma mesafe ve zamanı azalmakta, aynı zamanda araç emniyetli bir şekilde durdurulmaktadır. Motor yapım mühendisleri bu durumu göz önünde tutarak gerekli araştırmaları yapmışlar ve ABS fren sistemi ortaya çıkmıştır.

Hidrodinamik (akışkanlı) frenin bir rotoru (dönen elemanı), bir de statoru (duran elemanı) vardır, bunlar hidrolik kavramadaki kanatlı çark ile türbine benzetilebilir.



Şekil 3.7: Otomobil hidrolik fren sisteminin şematik gösterimi [5]

Bu frenlerde harekete karşı direnç, sıvının (çoğunlukla su) rotordaki bir dizi cepten statordaki ceplere doğru dolanımı ve akışkan sürtünmesiyle oluşturulur. Dönmeye karşı direnç, yani frenleme gücü, rotorun hızına bağlı olduğundan hidrodinamik frenler dönen bir elemanı tamamen durduramazlar ama sıvı yeterince soğutulabilirse büyük miktarda kinetik enerji yok edilebilir. Hidrolik frenler özellikle dağlık bölgelerde çalışan ağır kamyonlarda oldukça kullanışlıdır.

## **11. Fren sıvıları**

Fren sistemlerinde oluşan hidrolik basıncı fren balatalarına veya disklerine ileten sentetik fren hidrolik sıvısıdır. Mineral bazlı hidrolik sıvılarda binek ve ticari araçların diskli ve kaliperli fren sistemlerinde ve debriyajlarında güvenli ve etkin olarak kullanılabilir. Frenleme esnasında açığa çıkan ısının bir kısmı metal aksam vasıtası ile fren sıvısına aktarılarak onun da ısınmasına sebep olur. Fren sisteminin hareketli tüm parçalarını yağlayarak aşınmalara karşı korur. Termal ve kimyasal kararlılığın yüksek olması, her türlü iklim ve yol koşulunda fren sisteminin verimli çalışmasını sağlar. Kompozisyonunda yer alan aşınma, pas ve korozyon önleyici katıklar sayesinde kullanıldıkları sistemlerin ömrünü uzatır.

Frenleme işlemi sırasında oluşan ısı, hidrolik fren sıvılarının sıcaklığını artırdığından ve ilk 2 yıl boyunca kullandıklarında % 2,5-4 oranında suyu absorbe edip kaynama noktaları zamanla düşebildiğinden, hidrolik fren sıvıları yeterli kaynama noktası özelliğine sahip olmalıdır.

Fren sıvıları;

- Hayati önem taşıyan fren sistemlerinde gücü verimli bir şekilde iletir.
- İlk çalışma esnasındaki soğuk çalışma koşullarında dahi akıcılığını koruyarak emniyetli kullanım sağlar.
- Sürtünme düzenleyici özellikleri sayesinde uzun süreli kullanımlarda fren sıcaklıklarının yükselmesini engeller.
- Aynı şartnamelere sahip diğer hidrolik sıvıları ve bütün fren sistem bileşenleri ile uyumludur.

Fren hidrolik sıvıları (yağlar) kimyasal olarak 2'ye ayrılır:

a. Silikon temelli yağlar (DOT 5)

- Silikon içerir.
- Boyaya zarar vermez.
- Daha fazla sıkıştırılabilir olduğu için frenlerde süngerimsi bir his oluşturur.
- Suyla karışmaz dolayısı ile fren sisteminde su/yağ/su/yağ şeklinde bir durum oluşur.

b. Polyglycol ether temelli yağlar (DOT 3, DOT 4, DOT 5.1)

- Boyalı ve plastik yüzeylere ciddi şekilde zarar verir. Kullanırken son derece dikkatli olunmalıdır. Aynı şekilde deri ve gözler ile teması kesinlikle önlenmelidir. Temas durumunda hemen bolca su ile yıkanmalıdır.
- Su ile karışabilir.
- Silikon temelli sıvılar gibi frenlerde süngersi bir hisse yol açmaz.

Fren sıvısına karışan su, fren sıvısının kaynama derecesini düşürerek frenlerin daha çabuk işe yaramaz hale gelmesine sebep olur. Kaynama sonucu ortaya çıkan buhar, basınç uygulandığında sıkıştırılabileceği için pedala uygulanan basınç, kaliperdeki pistonu iletelemeyecek, dolayısı ile frenleriniz tutmayacaktır [11].

Tablo 3.1: PolyGlysor Ether temelli yağların/sıvıların kuru-ıslak ve 6 aylık kullanım sonucunda oluşan kaynama noktaları [11]

|        | Kuru kaynama noktası (C°) | Islak Kaynama Noktası (C°) | 6 Aylık Kullanım Sonucu Tahmini Kaynama Noktası (C°) |
|--------|---------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------|
| DOT3   | 205                       | 140                        | 173                                                  |
| DOT4   | 230                       | 155                        | 193                                                  |
| DOT5   | 260                       | 180                        | 217                                                  |
| DOT5.1 | 270                       | 191                        | 225                                                  |

Görüldüğü gibi %3 su bile sıvının kaynama derecesini ciddi oranda etkilemektedir. Aynı zamanda sisteme giren su fren sistemi içindeki metal parçalarda da paslanmaya sebep olacaktır. Ayrıca bu sıvılar (fren sıvıları) sistemde korozyon, pas ve aşınmayı önlediği gibi, elastomerlerle uyumludur. Hidrolik fren sıvılarında sıvı miktarının yeterli olmasına dikkat edilmesi gerekir. Yetersiz miktarda olması durumunda, sisteme hava girmesine ve frenlemenin zayıf olmasına yol açar.

- DOT-2 Castor yağı esaslı fren sıvılarıdır.
- DOT 3, DOT 4, ve DOT 5.1 mineral yağlar, glikol ester ve eter bazlıdır.
- DOT 5 ise silikon esaslıdır. DOT 5 polietilen glikol esaslı fren sıvılarıyla karışamazlar.

DOT; Department of Transportation (Ulaştırma Birimi) kelimelerinin kısaltmasından oluşturulmuş bir Amerikan standardıdır. DOT sayıları fren sıvılarının kuru ve ıslak kaynama derecelerine göre belirlenir. Fren sıvısının kaynama derecesi DOT tipine ve içindeki su miktarına bağlı olarak değişir. Fren sıvısı havanın içindeki nemi çeker. Bu yüzden fren sıvılarını kullandıktan sonra kutunun kapağını hemen sıkıca kapatmanız gerekir. En sağlıklı küçük ambalajlarda alıp ihtiyaç kadarını kullanıp kalanını uygun şekilde yok etmektir.



Şekil 3.8: Fren sıvılarının / yağlarının uygulaması

Tüm hidrolik ve hava sistemiyle çalışan fren sistemlerinde westinghouse sistemi bulunmaktadır. Westinghouse binek araçlarda motor kaputunun sol arka kısmındadır. İlk bakışta bu silindirik ve önünden körüklü bir çubuk ile çıkmış bu malzeme direksiyon miline bağlı gibi gözükse de asıl görevi fren pedalından gelen basıncı, içersinde bulunan hava körüğü sayesinde fren hidroliğini sıkıştırmaktır. Fren hidroliği westinghouse'dan aldığı baskıyı çoğu zaman çelik çubuk borular (yüksek performanslı araçlarda titanyum alaşımlı su çeliği karışımli borular kullanılır)

vasıtasıyla fren balataları üzerindeki pistonlara iletirler. Westinghouse'dan gelen basınç hiç güç kaybetmeden fren pistonlarına iletilerek doğru frenlemenin yapılması sağlanır, fren pedalına ne kadar basınç uygulanırsa aynen fren pistonlarına, baskıyı alarak 2 yana veya dıştan içe olarak fren balatalarına iletir. İşte bu iletim esnasında baskıya maruz kalan hidrolik yağı sıkışarak ısı açığa çıkarır, ısınan hidrolikte zamanla motor yağlarımız gibi seymeye, özelliğini kaybetmeye ve çelik hortumlardan gelen nem ile özelliklerini yitirmeye başlar.



Şekil 3.9: Piyasada kullanılan fren yağlarına bir örnek [11]

Otomotiv fren sistemlerinin hidrolik sistemlerinde, hortumda kullanılan kauçuk malzeme fren akışkanı için bir taşıma parçası görevi görür. Ancak fren akışkanları, zamanla hortumda çeşitli aşınmalara sebebiyet verirler.

Fren sıvıları çoklu bileşenlerden oluşan sistemlerdir ve bu sebeple yeni formülasyonların geliştirilmesinde, her bir bileşenin etkisi başlı başına araştırılır. Fren sıvısı olarak kullanılması muhtemel bazı kimyasal maddeler belirlenmiş ve bunlar fren sıvılarına etkileri açısından ve hortum ömrü gibi değerler açısından testleri tabi tutulurlar.

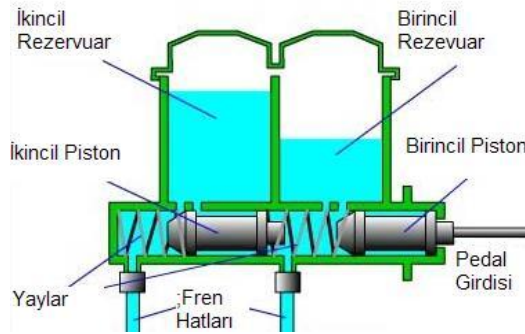
Fren hortumları fren sıvılarına maruz kaldıkları zaman istenilen aralıkta çalışabilmeleri için, kullanılan kauçuk malzeme sertlik ve şişme değerlerini limitler içerisinde tutmalıdır. Diğer ülkelerde kullanılan şartnamelere dayanarak (SAE1702, SAE1703, DOT-3 ve DOT-4), fren sıvıları SBR kauçuğunun fren sıvısına maruz kalması sonucu çaptaki genişlemeye 0.14-1.40 mm arasında ve 15 belirlenmiş birim seviyesinde sertlik azalmasından fazla yaşanmaması, tatminkâr olarak sunulmaktadır.

## 12. Fren ana silindiri

Ana silindir hidrolik basıncın oluşmaya başladığı merkez ünedir. Sürücünün pedalı uyguladığı basma kuvveti ilk olarak ana silindire iletilir. Pedaldan pistonla iletilen kuvvet silindirle iletilir ve burada fren sıvısı harekete geçirilir.

Genel olarak, fren ana silindiri hidrolik basıncını fren sistemine uygulayan parçadır. Ana silindir, aracınızdaki en önemli sıvı olan fren hidroliğini saklar. Gerçekte bir pedal tarafından harekete geçirilen iki alt-sistemi kontrol eder. Ana silindirdeki elektronik uyarıcılar depodaki hidrolik seviyesini kontrol edip, iki alt-sistemde bir basınç dengesizliği oluştuğunda sürücüyü uyarırlar. Eğer fren ikaz ışığı yanmışsa, mutlaka hidrolik seviyesi kontrol edilmelidir. Sıvı azalmışsa gerekli ekleme yapıp kaçak araştırılmalıdır.

Daha önce de anlatıldığı üzere doğru fren sıvısının kullanılması önem teşkil etmektedir. Eğer yanlış hidrolik sıvısı kullanırsanız, bu da sistemdeki bütün lastik conta ve keçelerin bozulmasına sebep olabiliriz.



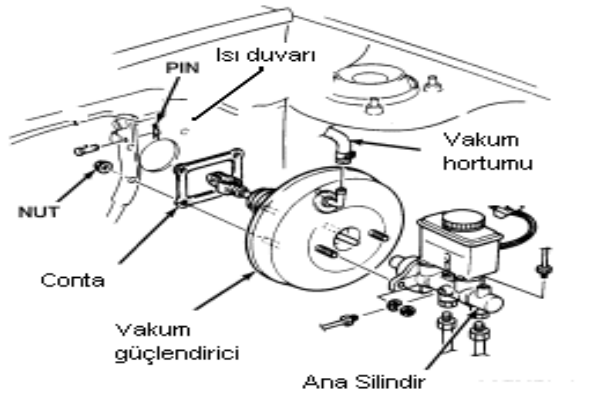
Şekil 3.10: Fren ana silindiri prensip şeması [7]

Yukarıdaki resimde, fren pedalından hemen sonra gelen ve hidrolik sıvısını koyduğumuz kabın kesiti görülmektedir. Pedala baskı yapıldığında bir miktar hidrolik sıvısı silindirin içerisinde sıkıştırılarak frenlere pompalanır. Sistemin güvenliği açısından 2 parçaya ayrılmıştır ve bir sistemde meydana gelen kaçak diğerini etkilemeyecek şekildedir. Sistem hava geçirmez olduğu sürece sıvı katı bir kolon gibi davranır.

Böyle olmasının sebebi, sistemlerden birinde herhangi bir hidrolik kaçağı olursa öbürünün iş görebilmesidir. Her iki sistemde ayrı ayrı beslenebildiği gibi, aynı kaptaki hidroliği de kullanabilirler.

Fren pedalına basınca, pedala bağlı bir itici çubuk ana merkezin içindeki "birinci pistonu" ileri iter. Birinci piston iki alt sistemden birini harekete geçirir ve birinci piston yayının kuvveti, ikinci pistonu hareketlendirir. Böylece meydana gelen hidrolik basıncı artar ve tekerlek silindirlerine aktarılır.

Pek çok ana silindir, dökme demir veya alüminyumdan üretilirler. Aşağıdaki resimde de görüldüğü üzere, modern ana silindirler aracın korunması için eklenmiş olan ısı duvarına kurulmuş olan vakum ya da hidrolik güç destekleyicilerine sahiptirler.



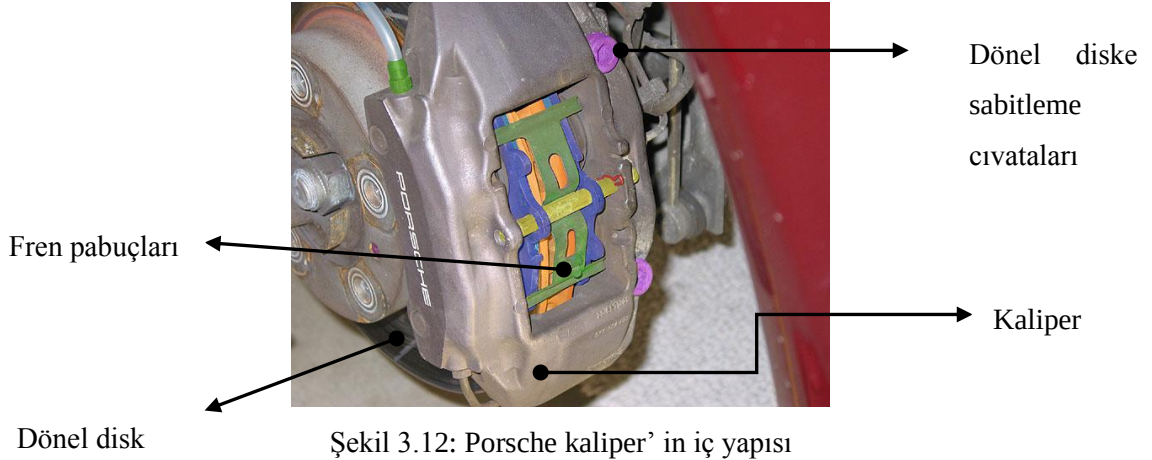
Şekil 3.11: Vakum güçlendiricinin sistem içerisindeki konumu [8]

Ana silindirler yüksek kalite ve çift katmana sahip olan metal tüpler sayesinde fren disk sistemine bağlanırlar. Girişler korozyon ve kirlilik tutmayacak bir kompozisyonla örülmelidir. Anlatıldığı üzere hayati önem taşıyan bağlantı tüpleri belirlenmiş standartlara sahip olmalıdırlar.

### 13. Disk frenler ve yapısı

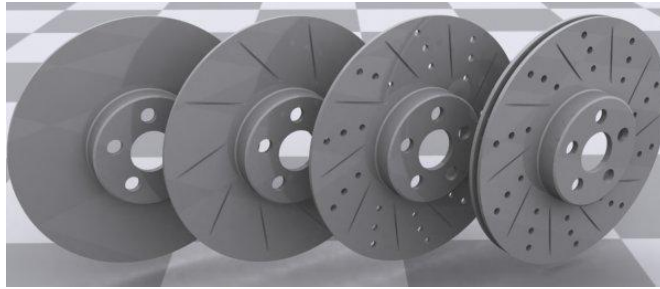
Disk frenlerin dönel yüzeyleri, sürtünme alanı olarak kullanılmaktadır. Dönel diskler tekerlek haznesinin içerisinde bulunurlar ve tekerleğin hareketi ile bağlantılı aynı hareketi yaparlar. Disk fren yastıkları kaliper içerisinde yer alır. Daha önce anlatılan basınç sisteminin devreye girmesi nihayetinde rotorun kilitlenmesine ve sonrasında tekerlek hareketinin durmasına sebep olur. Şekil 3.12’ de görüldüğü üzere yeni nesil

frenleme sistemleri kaliper, dönel disk, fren hortumları, pabuçlar (yastıklar) ve diğer bileşenlerin bir arada hareket etmesiyle meydana gelirler.



Çoğu kaliper tek pistonlu tiplerden oluşmaktadırlar. Eğer eski tasarımlar incelenecek olursa yastıkların dönel disklere uyguladığı kuvvetin az olduğu görülecektir. Ayrıca bu tasarımların toplam kullanım süresinde sağladığı verimin takılmalar ve gereksiz sürtünmeler sebebiyle çok daha azaldığı görülmektedir.

Disk frenler, fren gevşemelerine karşı dirençlidir çünkü fren dönel disklerinin büyük bir çoğunluğu açık havaya maruz kalmaktadırlar. Dönel diskler deliksiz/katı, delikli ve özel desenli olarak kullanılırlar ve bunun asıl amacı soğutmadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: Solidwork 2009 destekli CAD uygulaması ile bazı fren disk tasarımlarının gösterimi

Dönel disk her ne kadar dış atmosfer etkilerine maruz kalıyor olsa da disk frenler ıslak veya kuru çalışma şartlarında gayet iyi performanslarda çalışmaktadırlar. Tambur fren sistemlerindeki az miktarda ki bağıl sürtünme alanı, servo motor veya kendi enerjisini üreten çalışma prensiplerindeki azalmaya nazaran disk fren sistemleri diğer sistemlere göre yüksek miktarda hidrolik basınç kuvveti barındırırlar.

Yapılan deneyler sonucunda diskli fren sistemlerinin daha yüksek frenleme kuvvetine sahip olduğu gör÷lmüştür. Bundan dolayı günümüz taşıtlarında frenleme kuvvetinin yüksek olmasını istediğimiz ön tekerleklerde diskli fren sistemi arka tekerleklerde de kampanalı fren sistemi kullanılmaktadır.

Ayrıca oluşan sıcaklık, diskli sistemde daha çabuk dışarı atılmaktadır ve su ile temasında da balataların ıslanmasını önleyerek suyu kolayca dışarı atabilmektedir. Buna karşın diskli sistemler daha çabuk ısınmaktadır.

Ayrıca bazı lüks araçlarında arka tekerleklerinde diskli fren sisteminin kullanılması yaygınlaşmaktadır.

**14.**

**15.**

**16.**

**17.**

## 18. FREN HORTUMLARI

Otomotiv hidrolik frenleri için üretilen kauçuk hortumlar, frenleme kuvvetini sağlayan parça ve döner diskin arasında, sürtünmeyi oluşturabilmek için akışkan (fren yağı/sıvısı) kullanan bir çeşit geçittir.

Fren merkez silindiri ile tekerlek silindirleri arasındaki hidrolik basıncının iletilmesi fren boruları ile olur. Fren boruları fren sistemi elemanlarına rekorlar ile bağlanır. Fren boruları çift katlı, korozyon ve pası önlemek için bakır ile kaplanmış, kurşun ile sıvanmıştır. Fren boru ve rekorları yüksek basınçtan ve titreşimlerden etkilenmezler.



Şekil 4.1: Renault Clio III için üretilmiş fren hortumları [4]

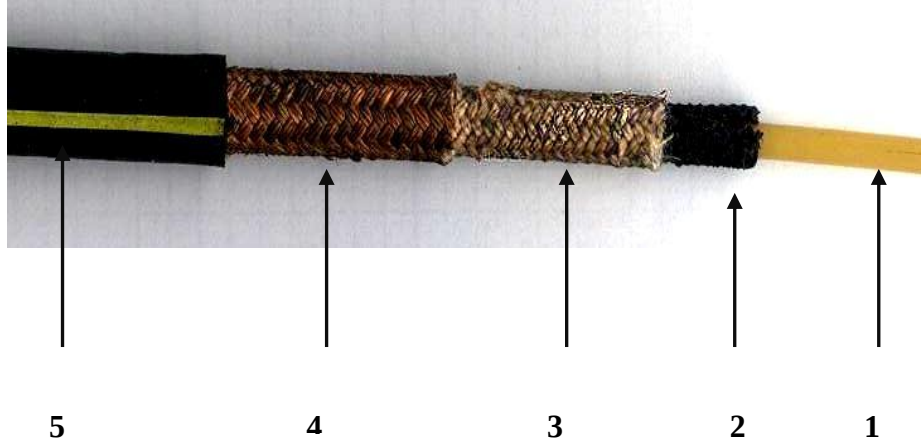
Fren hortumları belirlenmiş şartnameler ve kalite standartları içerisinde hassasiyet ile üretilmelidir. Yasal gereksinimlerin tamamlanması için oluşturulan onaylama aşaması fren hortumu üreticisi tarafından saptanmalı ve oluşturulmalıdır. Canımızı ve malımızı emanet ettiğimiz bu sistem içerisinde hayati önem taşıyan fren hortumları üretim aşaması sırasında defalarca testlere maruz bırakılıp sürekli olarak geliştirilen güvenlik parçalarıdır.

Üretimi sırasında, kullanılan malzeme ve teknolojinin beraberinde gelişmesi firmaların projelere yatkınlaşması ve üniversitelerle kaynaşması anlamında güzel gelişmelere sebebiyet vermiştir.

Bu bölümde fren hortumlarının genel yapısı, ne olduğu, ülkemizde ki üretimi, ihracatı ve ithalatı, tarihsel gelişimi, uyumluluk testleri ile TEKLAS firmasının ülkemizde ürettiği fren hortumlarının üretim aşamaları ayrıntılarıyla anlatılacaktır.

## 19. Fren Hortumlarının Üretimi

Otomotiv fren sistemlerinin güvenlik gerektiren ve çeşitli zorlamalara maruz kalan parçalarından birisi olan fren hortumları, üretimleri aşamasında uzun bir yol kat ederler. Üretilmesi gereken fren hortumu nihayetinde yüksek basınçları istenilen kalite ve güvenilirlikte taşıyabilecek aparatlardan oluşmalıdır.



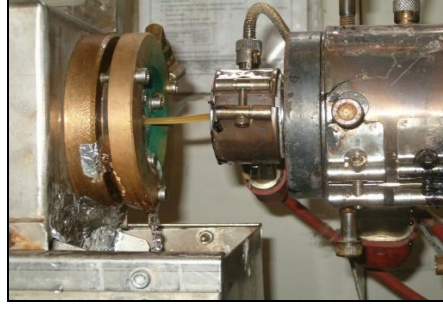
Şekil 4.2: Fren hortumu katmanları [4]

- 1) Malafa (Mandrel)
- 2) İç kauçuk katman (Inner rubber layer)
- 3) İç örgü dokuma katmanı (Inner braided layer)
- 4) Dış örgü dokuma katmanı (Outer braided layer)
- 5) Dış katman (Outer rubber layer)

Fren hortumları katman katman üretilmektedir ve üretim sırasında kullanılan makineler ve katmanların ayrıntıları katman sırasına göre anlatılacaktır.

## 20. Malafa ekstrüzyonu

Malafalar ileride üzerine inşa edilen fren hortumlarından çıkarılmak üzere plastik ekstrüzyon makineleri tarafından üretilen plastik parçalardır.



Şekil 4.3: Malafa ekstrüzyon makinesi [4]

Sarı renkte üretilen malafaların üzerine ilk kısım olan iç katman yerleştirilir. Anlaşılabacağı üzere malafalar nihai üründe dışarı alınacak ve fren hortumunun iç çapını oluşturacaktır.



Şekil 4.4: Dalgallılık ve çap kontrolü [4]

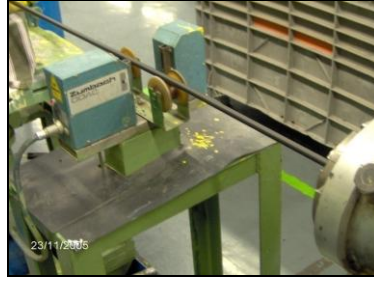
İşte bu sebepten en son oluşacak iç çapın düzgünlüğü, hassasiyeti ve olabilirliği malafaların kalitesinden geçmektedir. Ekstrüzyon sonucu üretilen malafalar dalgallılık ve çap kontrolü yapan, sikora adında lazer kontrollü bir makineden geçirilir.

Hatalı bölgeler böylece tespit edilebilir ve çürüğe çıkarılarak süregelen bir kalite elde edilir.

## 21. İç kauçuk katman ekstrüzyonu

Kauçuk ekstrüzyon makineler Zumbach isminde bilgisayar kontrollü makineler tarafından yönetilmektedir. Burada ki oluşturulan ilk katman EPDM kauçuğundan üretilmektedir.

Üretimi sonrasında yeniden çap düzgünlüğü ve dalgallılık makinesinden geçer ve hatalı tarafları çürüğe alınarak kalite korunur.



Şekil 4.5: İç katmanın malafa üzerine eklenmesi [4]

## 22. Örgü makineleri

İç kauçuk katmanının üzerine sırasıyla iç örgü katmanı, ara katman ve dış örgü katmanı yerleştirilir. Örülen örgüler PVA malzemesinden üretilmektedir. İstenilen biçimde ve hortumun tasarımına göre katmanlar örülür.



Şekil 4.6: PVA örgü ipliği [4]

Örgü katmanları dış kauçuk katmanın yerleştirilmesinden önce yerleştirilirler. Tam bu anda örgü katmanları üzerinde oluşan hatalar karşı 3 farklı kamera tarafından izlenirler. Bu kameralar sayesinde pek çok farklı hata tespitinde bulunulmuştur.

SAE J1401 Revised JUN2003

| TABLE A1—HOSE MANUFACTURER IDENTIFICATION CODE-COLORED YARN ASSIGNMENT |                          |               |                                                                |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------|
| Line Number New                                                        | Yarn Color Code          | Year Assigned | Assignments                                                    |
| 116                                                                    | Black Black Red          | 1962          | Deutsche Tecalemit G.M.B.H., Bielefeld, Germany                |
| 117                                                                    | Black Black Blue         | 1962          | Tecalemit S.A., Paris, France                                  |
| 118                                                                    | Black Black Brown        |               |                                                                |
| 119                                                                    | Black Black Violet       |               |                                                                |
| 120                                                                    | Black Black Orange       |               |                                                                |
| 121                                                                    | Blue Blue Yellow         | 1967          | Nichirin Rubber Industrial Company, Ltd., Kobe, Japan          |
| 122                                                                    | Blue Blue Green          | 1970          | Nelson Stokes Ltd., Camelford, Cornwall, England               |
| 123                                                                    | Blue Blue Red            | 1962          | Tecamec Limited, Plymouth, Devon, England                      |
| 124                                                                    | Blue Blue Black          | 1961          | Imperial Eastman Div., Manitowoc, WI                           |
| 125                                                                    | Blue Blue Brown          | 1959          | Mundener Gummiwerk GmbH, Hann, Munden, Germany                 |
| 126                                                                    | Blue Blue Violet         | 1988          | Dunlop Metaloflex Industrial Ltda., Sao Paulo, Brazil          |
| 127                                                                    | Blue Blue Orange         | 1985          | Companhia Saad do Brazil, Sao Paulo, Brazil                    |
| 128                                                                    | Brown Brown Yellow       | 1962          | Reserve - Tecalemit Ltd., Plymouth, England                    |
| 129                                                                    | Brown Brown Green        | 1970          | Hitachi Cable Ltd., Tokyo, Japan                               |
| 130                                                                    | Brown Brown Red          | 1962          | Tecalemit (India) Ltd., Calcutta, India                        |
| 131                                                                    | Brown Brown Black        | 1962          | Tecalemit Italia, Turin, Italy                                 |
| 132                                                                    | (C) Brown Brown Blue     | 1967          | C. F. Gomma S.p.A., Passirano (BS), Italy                      |
| 133                                                                    | (T) Brown Brown Violet   | 1998          | LQ Cable Co. Ltd., Kumi City, Kyeong-Buk South-Korea           |
| 134                                                                    | (T) Brown Brown Orange   | 1981          | F.H. Flexíveis Hidráulicos Ind. Ecom. Ltda., Sao Paulo, Brazil |
| 135                                                                    | (T) Violet Violet Yellow | 1996          | Technomeji Rubber SDN, BHD, Malaysia                           |
| 136                                                                    | Violet Violet Green      | 1996          | Teklas, Istanbul Türkiye                                       |
| 137                                                                    | (T) Violet Violet Red    | 1996          | Philatros International, Santa Fe Springs, Calif, U.S.A.       |

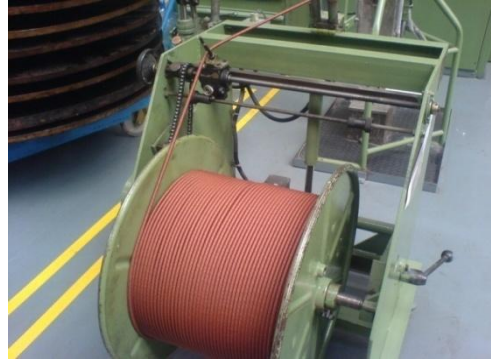
Şekil 4.7: SAE J1401' e göre sıralanmış firmaların örgü renkleri

SAE J1401 standartlarında üretilen fren hortumları bu standartlara dayanarak firma renkleri ile tanımlanırlar. Dünyada örgü katmanları her firmanın ismini belirten hatve renkleriyle tanımlanır. Örneğin Teklas firmasının Mor- Mor – Yeşil şeklinde hatve renkleri verilir [12].



Şekil 4.8: Örgü makinesi [4]

Örgü makinesi makaraları ile sarılan örgülü hortumlar, dış kauçuk katmanın eklenmesi için tekrar kauçuk ekstrüzyon makinesine yollanırlar. Örgüler üst üste örülürken iki katman arasına siyah renkte adhesif bir sıvı eklenir. Aslında bu sıvılar eklenmeden önce açık renkli olan ve düzgün bir ara yüzeye sahip olması istenen örgüler adhesif olan bu sıvıyı emmeleri ile koyu bir renk alırlar.



Şekil 4.9: Örgülü hortumların makaralarda toplanması [4]

### 23. Dış kauçuk katman

Dış kauçuk katman ise aynı iç kauçuk katman prensibinde eklenmektedir. Pek çok şartnameye göre üretim tarihi, firma ismi, üretilen malzeme gibi isimler özel bir boya ile hortum üzerine yazılmaktadır.



Şekil 4.10: Dış kauçuk katmanın eklenmesi sonrası makaralara sarılması [4]

İç kauçuk katman fren sıvısı etkilerine maruz kalabileceği gibi dış kauçuk katman ise atmosferik etkileri karşılayacaktır. Dış kauçuğunda eklenmesinden sonra sarmallar halinde tepsilere koyulurlar ve fırına sürülürler. Bunun amacı katmanların eklenmesinden sonra yumuşak ve tırnakla bile ayrılabilen katmanların vulkanizasyon işlemiyle son haline getirilmesidir. Bu işlem ardından malafa dışarı alınır. Ve hortumun iç boşluğu oluşturulmuş olur.

Vulkanizasyon işleminin ardından hortumlar uygun ve istenilen formlarda kesilmek üzere kesim makinelerine sürülürler. Kesilmeden önce malafa kontrolünde kullanılan sikora makinesi ile dalgalılık ve çap kontrolü lazer ile yapılır.



Şekil 4.11: Hortumların istenilen boyutlarda kesilmesi [4]

Hortumlar üreticinin isteği üzerine farklı koruyucu katmanlarla donatılabilirler. Bunlar kauçuk koruyucu parça, yaylar veya üretici montajı sırasında kolaylık sağlayabilecek olan farklı eklentilerdir.



Şekil 4.12: Müşterilerin isteklerine göre yerleştirilen korucuyu eklentiler [4]

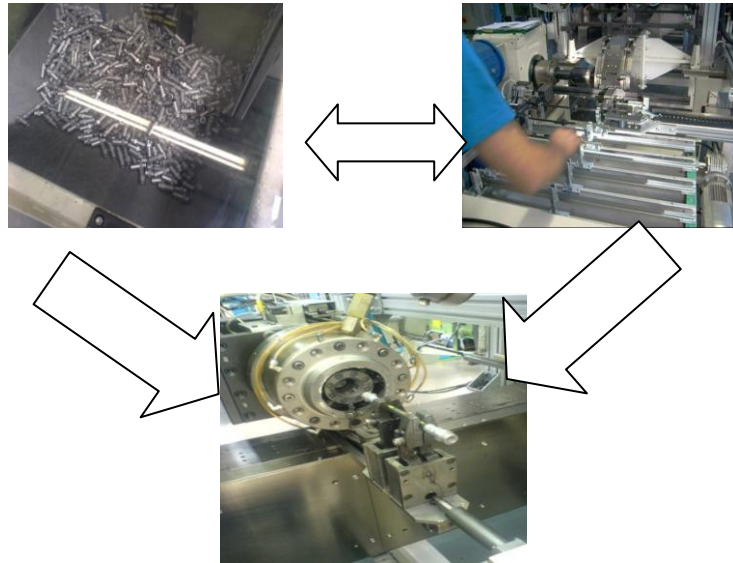
## 24. Rekorların yerleştirilmesi

Rekorlar, boru, hortum gibi bağlantı elemanlarını birbirine ve diğer elemanlara (pompa, valf, sisлиндir, motor vb.) bağlamak için kullanılan devre elemanıdır. Rekorlar genelde vida bağlantılıdır. Geçmeli rekorlar da kullanılır.

Dikkat edilmesi gereken hususlar içerisinde, hidrolik sistemlerde farklı boru çapları kullanılmamalı, ani kesit daralması ya da kesit artışından, hatlardaki dönüşlerden, keskin köşelerden kaçınılmalıdır. Sistemde titreşim ve kavitasyonu engellemek için, borular belirli aralıklarla kelepçeler yardımıyla tespit edilmelidir. Rekorların sağlıklı işlemesi için boru bağlantılarında ısı genleşmeler dikkate alınmalıdır.

Boru ve hortum bağlantıları sızdırmaz olmalıdır. Bu durumlar dikkate alınarak uygun boyutlarda kesilen hortumlar rekorların yerleştirilmesi için özel makinelere sevk edilirler. Bu hattın ismi montaj hattıdır.

Rekorlar müşterilerin istediği şekillerde ve boyutlarda üretilirler. Hortumun her iki ucunda bir sabit bir hareketli taraf için farklı rekorlar takılır. Sabit taraftan kasıt aracın şasisi, hareketli taraf ise tekerlek bölmesidir. Fren hortumları daha sonra rekor takması için makineye beslenirler.



Şekil 4.13: Rekor ve hortumun birleştirilmesi [4]

Hortumların makineye bağlanması ile görevli personel parçaların makineye beslenmeleri sırasında ellerinde bulunan matrislerle boyut kontrolü yaparlar.

Besleme kovalarında biriktirilen rekorlar, rekor takma makinesindeki kameralar tarafından kontrol altında tutulduğu gibi ayrıca bu sensör sistemleri yardımıyla da kusursuz bir merkezleme sağlanmaktadır. Rekorların yerleştirildiği hortumlar son hallerini almış vaziyette diğer aşamalar için montaj hattındaki yolculuklarına devam ederler.

Kalite kontrol ünitelerinden geçen parçalar nihai hallerini alırlar. Makinelerin uyguladığı kontrollerin yanı sıra birkaç personel tarafından yürütülen gözle kontroller yapılmaktadır. Kontrolden geçen parçalara makineler tarafından otomatik biçimde OK damgası vurulur.



Şekil 4.14: Rekorların takılması ile son hal [4]

## **25. Üretim Sonucu Uygulanan Testler Ve Sonuçları**

### **26. Kauçuk hortumlarda sağlamlık testi sonrası mikro-hasar oluşumu**

Daha önce de bahsettiğimiz gibi otomotiv hidrolik frenleri için üretilen kauçuk hortumlar, frenleme kuvvetini sağlayan parçadır ve döner disk arasında sürtünmeyi oluşturabilmek için akışkan (fren yağı/sıvısı) kullanan bir geçit görevi görür [9].

Çalışır haldeki bir otomotiv hidrolik freninin kauçuk hortum düzeneği döngüsel basınç, döngüsel eğilme, burulma ve termal yük gibi bileşik yüklere maruz kalırlar. Düzenekteki kauçuk hortum, Etilen-PropilendieneMonomer (EPDM) kauçuk katmanının Polivinilin Asetat (PVA) dokuma örgüleriyle güçlendirilmiş malzemelerden oluşur.



Şekil 4.15: Otomotiv frenleme sistemi [4]

Otomotiv hidrolik fren hortumu; üç kauçuk (EPDM), iki dokuma (PVA) olmak üzere beş katmandan oluşmuştur.

Kauçuk katmanlar;

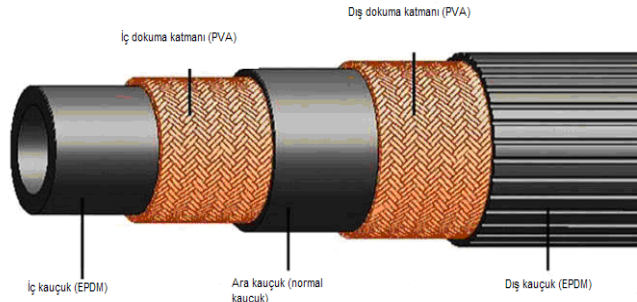
- İç kauçuk katman (EPDM)
- Ara kauçuk katman (NR)
- Dış kauçuk katman (EPDM)

Dokuma katmanlar;

- İç dokuma katman (PVA)
- Dış dokuma katman (PVA)

SANTEZ projesi kapsamında gerçekleştirdiğimiz çalışmaların benzerleri literatürde bulunmaktadır. Çalışmalarımıza temel teşkil eden bu örnekleri kısaca tanıtmak istiyoruz. 1 nci. çalışma “Hanyang Üniversitesi” tarafından yapılan bir çalışmadır [13].

Örnek -1:

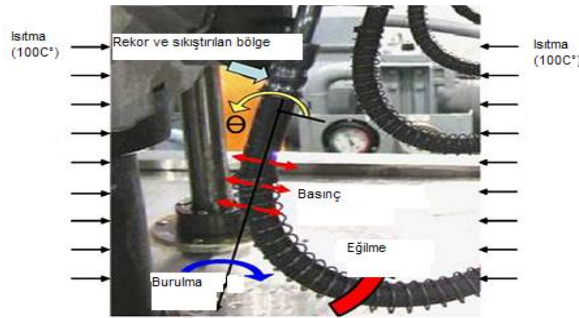


Şekil 4.16: Testin uygulandığı hortumların yapısı (Model: E072) [13].

Bu çalışmada bütün döngüsel kuvvetler için yükleme aparatlarıyla donatılmış sağlamlığı ölçen test makinesi, kauçuk hortum düzeneğinde oluşan sorun mekanizmalarını araştırmak için kullanılmıştır. Sorunun araştırılması kauçuk hortum düzeneğinin sıkıştırılmış rekor bölgesinde her 100.000 eğilme ve burulma çevrimiyle yapılmıştır.

Sıkıştırılmış hortumun parlak kesiti, EPDM kauçuğu ve PVA tabakası arasında oluşan bazı yüzeyler arası ayrılmanın sağlamlık sınırına dayanan 400.000 test çevrimine ulaşmış dış katmanda pek çok dallanmalı çatlaklar ile başladığı görülmüştür.

Oluşan kırılma yüzeyi göreceli bir ara yüzey kuvvetini gözler önüne sermektedir. Başlangıçtaki bu tip çatlaklar, kabuk görevi yapan dış kauçuk katmanının içinden hortumdaki son yırtılmanın oluşmasına sebep olmaktadır. Frenleme esnasında fren hortumunun her bir parçasının bağlı yer değiştirmesi, fren hortumunun bileşik yükler altında kalmasına sebep olmaktadır. Bu yükler yukarıda da belirtildiği gibi burulma, eğilme, termal yük, döngüsel basınç olarak ele alınmıştır.



Şekil 4.17: Hidrolik fren hortumlarında oluşan çeşitli gerilmeler [13].

2004 yılında, güvenli araç kullanımının öneminden yola çıkarak KATS (Kore Teknoloji ve Standartlar Enstitüsü) otomotiv hidrolik frenlerinin hortum düzeneği için güvenilirlik standartları getirmiştir ( RS R0043) [14].

EPDM (Etilen-Propilen diene Monomer) kauçuklarının kullanılmasının sebebi ozon, ısı ve iklim şartlarına olan harika direncidir. EPDM kimyasal yapısındaki düşük seviyelerdeki doymamışlığı sebebiyle oksidasyon ve ozona karşı gösterdiği direncin yanı sıra yüksek sıcaklıklarda bile kararlı bir yalıtım sağlayabilmektedir [15].

## 27. Sağlamlık testi ve uygulama yapılan cihazlar

Bu çalışmada, otomotiv hidrolik frenlerin kauçuk hortum düzeninin sağlamlık testi, araç kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek termal yük, basınç, burulma ve eğilme gibi tekrar eden yüklerin bir araya getirilmesiyle yapılmıştır. Kauçuk hortumun hata mekanizması her 100.000 burulma ve eğilme çevriminden sonra değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Genel olarak bu deney örnekleri makro ve mikro seviyelerde analizi yapılmıştır.



Şekil 4.18: Otomotiv hidrolik frenleri için kauçuk hortum düzeneği sağlamlık test cihazı [13].

Eğilme ve burulma momentlerinin uygulandığı maksimum bileşik yükleme Şekil 4.17’ de sıkıştırılmış bölge diye adlandırılan yerde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Buna dayanarak belirli çevrim sayıları sonrasında sonuçlar elde edilmektedir.

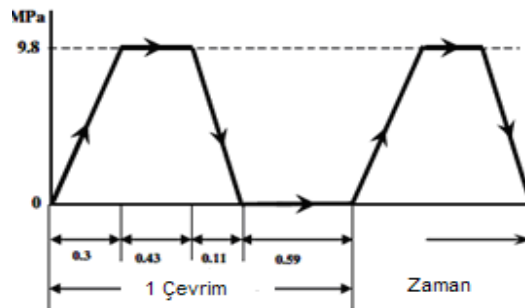
Yukarıda örneği verilen fren hortumunun daha iyi anlaşılması için ölçüleri ve malzeme çeşitleri düzenlenecek olursa;

Tablo 4.1: Şekil 4.16'daki hortum çiziminin ölçüleri ve malzemeleri

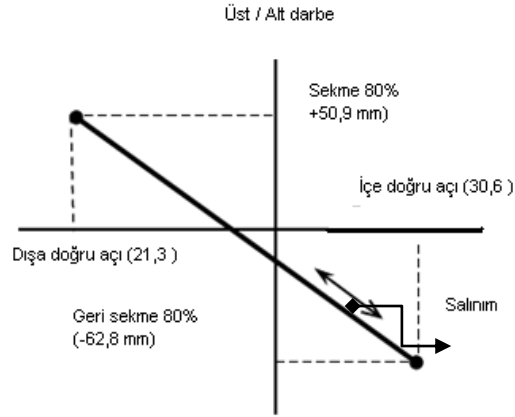
|                                |         |                         |
|--------------------------------|---------|-------------------------|
| Fren hortumunun iç çapı        | 3.4 mm  | Malafa dış çapı - Nylon |
| Fren hortumunun dış çapı       | 10.5 mm | -                       |
| İç kauçuk katmanın kalınlığı   | 1.27 mm | EPDM                    |
| Dış kauçuk katmanın kalınlığı  | 1.25 mm | EPDM                    |
| İç dokuma katmanının dış çapı  | 6.5 mm  | PVA                     |
| Dış dokuma katmanının dış çapı | 8.0 mm  | PVA                     |

Bu sağlamlık testi için kullanılan fren sıvısı olarak DOT – 4. Kukdong- Jeuen Co. kullanılmış olup, US otomotiv güvenlik standartlarını (FMVSS no.116) karşılamaktadır.

Hızla artan bir yaşlanma sağlamak amacıyla 100 C° derece sıcaklıktaki ısı odasında uygulama yapılmaktadır. Fren sıvısında 0 - 9,8 MPa basınç çevrimi Şekil 4.19' da gösterilmiştir ve uygulanan çevrim 42 çevrim/dakika şeklindedir. Toplam çarpma/sekmenin %80 yer değiştirme darbesi ile uygulanan mekanik darbe ve toplam dönmenin %80 açısız darbesi Şekil 4.19' da görüldüğü üzere 100 çevrim/dakika ile tekrarlanarak uygulanmıştır.



Şekil 4.19: Fren yağı ile uygulanan basınç çevrimi [13].



Şekil 4.20: Test sırasında hidrolik fren hortumunda burulma ve eğilme momentleri nedeniyle oluşan mekanik darbeler [13].

## 28. Kauçuk hortumda hata gözlemi

Şekil 4.17’ de gösterildiği gibi rekor bulunan yerde mikroskobik gözlemin yapılmasının sebebi, kauçuk hortum düzeneğine bazı dönme açılarının uygulanması sonucu oluşan mekanik gerilmenin bu bölgede yoğunlaşmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.21: Hata analizi için gözlem yapılan kauçuk hortumu düzlemi [13].

Kauçuk hortumlarda hata gözlemi için (mikro hasar) A0 dan A4 e kadar sağlamlık testi aşamalarında ele alınan değerler Tablo 4.2’ de belirtilmiştir. Şekil 4.21’ de görüldüğü gibi metal bileziğin olduğu yerden kesit alınmış ve burada uygulama yapılmıştır. Bu nedenle bu bölgeye maksimum baskı bölgesi de diyebiliriz.

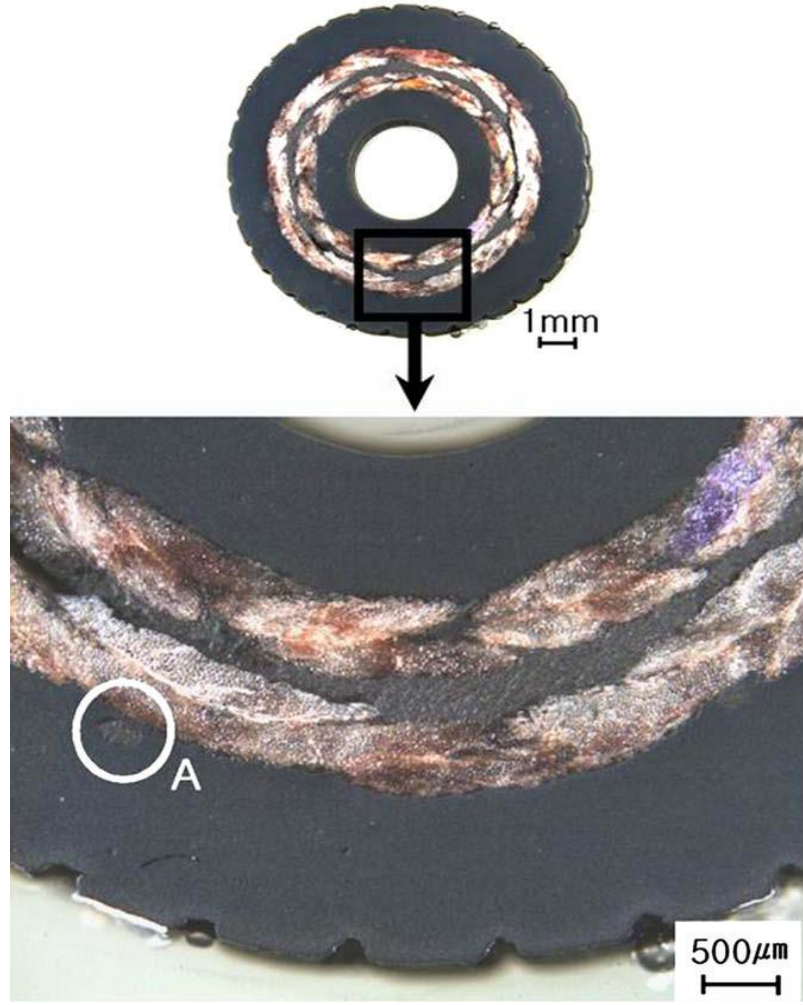
Kesit alma işlemi öncelikle döner-elmas bir kesici ile yapılmış ve ardından kesilen yüzey parlatılmıştır. Böylece mikro-hata analizi yapmak için uygun hale getirilen fren hortumu öncelikle optik mikroskopta incelenir ve ardından tarayıcı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir. Ayrıca incelemelerde yırtılma yüzeyleri de incelenmiş ve bunlarda SEM ile yapılmıştır.

Tablo 4.2: Kauçuk hortumun sağlamlık testi aşamaları [13].

| <b><u>Test Aşamaları</u></b> | <b>Eğme ve Burma<br/>Yüklemeye Çevrimleri</b> | <b>Hidrolik Basıncın<br/>Yüklemeye Çevrimleri</b> | <b>Test Yapılma<br/>Sırası</b> |
|------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------|
| A0                           | -                                             | -                                                 | Testten Önce                   |
| A1                           | 100000                                        | 42000                                             | -                              |
| A2                           | 200000                                        | 84000                                             | -                              |
| A3                           | 300000                                        | 126000                                            | -                              |
| A4                           | 400000                                        | 168000                                            | -                              |
| Ason                         | 611790(ortalama)                              | 256952(ortalama)                                  | Son Yırtılma                   |

NR olarak gösterilen normal kauçuk katman oldukça ince olduğu görülmektedir ve hatta bazı yerlerde istenmeyen inceliklerde bulunmaktadır. Şekil 4.23 de ise her 100000 eğilme ve burulma çevrimi sonrasındaki mikro yapıları göstermektedir. Kırılmalar ve çatlamlar 100000 ve 300000 çevrimleri arasında tam olarak gözlenememiştir.

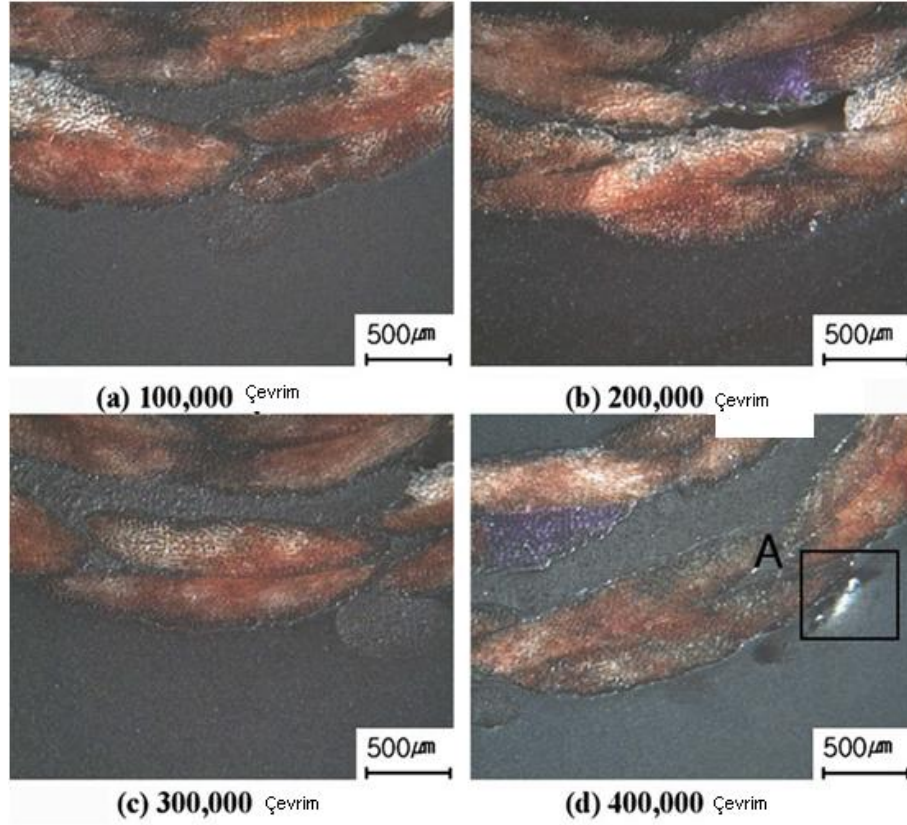
Ancak 400000 çevrim sınırlarına gelindiğinde soyulma hasarları görülmüş ve dış dokuma katmanı ve dış EPDM tabaka arasında bazı plastik deformasyonlar olduğu saptanmıştır. (Şekil 4.22 ve 4.23’de açık şekilde belirtilmişlerdir). Bu tip dallanmalı çatlamların eğilme ve burulma sırasındaki gelişmeler sonucu olduğu görülmüştür.



Şekil 4.22: Test öncesi kauçuk hortumun kesit alınmış yüzeyinin fotoğrafları [13].

Bu hata analizinin sonuçları tarayıcı elektron mikroskobundan alınan görüntüler eşliğinde incelenmiştir. Şekil 4.22 de görülen resim (test öncesi) kesit alınan bölgenin ve de onun büyütülmüş resmidir. Şekil 4.16 da gördüğümüz örnek çizimin gerçeğini Şekil 4.22 de görmek mümkündür.

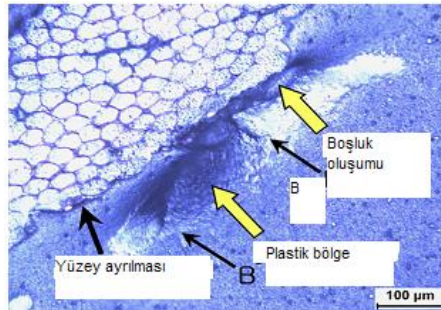
Şekil 4.17' de gösterilen dikey çizgiden referans alınarak  $-145^\circ$  derecelik bir açıda hasar bölgesi oluşturulmuştur. Oluşturulan hasar bölgesi 1mm olarak ölçülmüştür. Hasar bölgesi Şekil 4.24'de de görüldüğü üzere pek çok mikro-çatlak içermektedir. Bu tip çatlaklar sonradan büyüyerek ana çatlağa katılmakta ve son test aşamasında dış kauçuk katmanının yırtılmasına sebep olmaktadır.



Şekil 4.23: Sağlamlık testi aşamaları sonrasında kauçuk hortumun kesit yüzeylerinin fotoğrafları [13].

## 29. Oluşan yırtılma yüzeyi analizi ve sonuçları

Test anında ortalama 612.000 eğme ve burma yükü altında ki çevrim sonrasında son yırtılma saptanmıştır. Bu da [10] no ile verilen referansta ki ömrün yani sağlamlık limiti olarak verilen 370.000 çevrim'in tam 1.65 katı uzun ömürlü olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.24: İlk çatlak oluşumunun tarayıcı elektron mikroskobu altında (SEM) Şekil 4.22' de A Bölgesi olarak gösterilen yer [13].

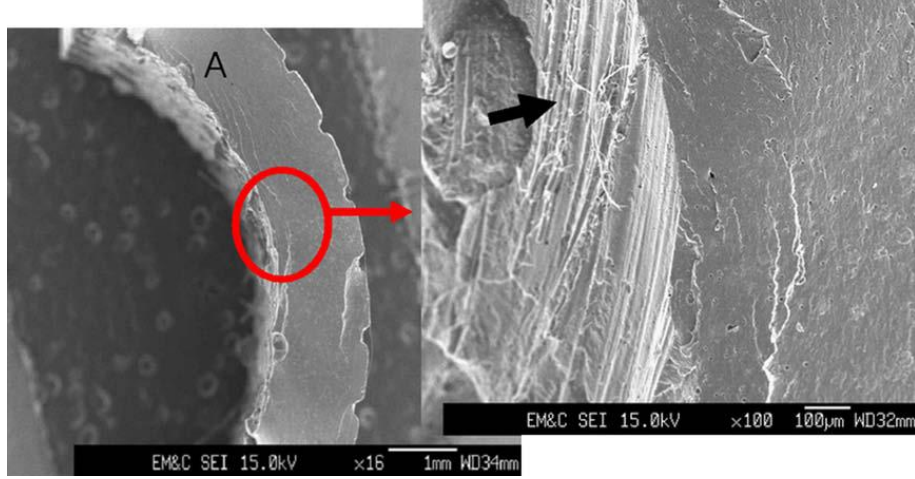
Çoğu fren hortumunda görülen yırtılma biçimi Şekil 4.25’de de gösterilmiştir. Ara yüzeyin yanında, sıkıştırılmış rekor altında oluşan başlangıç çatlağı dış dokuma tabaka ve dış kauçuk tabakaların ayrılmasına sebebiyet verdiği gibi dış kauçuk tabakanın dışarı doğru çıkmasına sebep olmuştur.



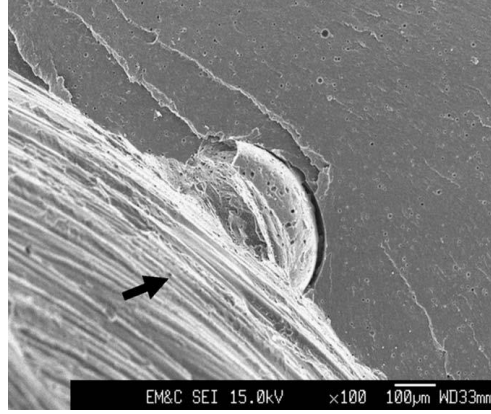
Şekil 4.25: Son yırtılmanın fotoğrafı [13].

Buraya kadar belirtilen çatlak oluşumu ve ilerlemesi, son yırtılmayı teşvik etmiş ve sebebi olmuştur. Bu uygulamalar sonucu yırtılma bölgesi SEM altında incelendikten sonra dikkat edilmesi gerek şey Şekil 4.23’de belirtilen bölgeye de dayanarak başlangıç çatlağının onlarca tekrar eden yüklemeye rağmen son derece düzgün ilerlemiş olmasıdır. Şekilde siyah ok ile gösterilen yırtılma bölgesindeki yüzey ayrılması düzgün bir dokuma katmanı görüntüsü sergilemektedir. Bu da dış kauçuk katman ile dış örgü katman arasındaki bağın oldukça zayıf olduğunu göstermektedir. Ancak her iki dokuma katmanı arasında bulunan NR katmanı (Normal kauçuk katman), dokuma katmanlarına sıkı bir şekilde bağlı olduğunu görmekteyiz. Şekil 4.26’da A bölgesi olarak gösterilen yer Şekil 4.27’de büyütülerek gösterilmiştir. Dokuma katmanı ve NR arasında ki güçlü bağa rağmen EPDM tabakalar ve dokuma tabakaları arasında bu güçlü bağ görülmemektedir.

Buradan çıkarılması gereken sonuç; EPDM ve PVA tabakaları arasındaki yüzey bağının güçlendirilmesi ile, hasar oluşumuna karşı direncin artacağıdır. Yani EPDM ve PVA tabakaları arasında ki bağın güçlendirilmesi, fren hortumunun daha da dayanıklı hale getirecektir.



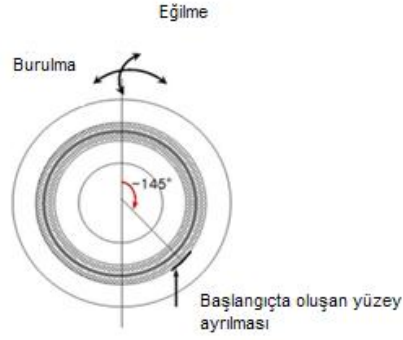
Şekil 4.26: Yırtılma yüzeyinin SEM altındaki fotoğrafı [13].



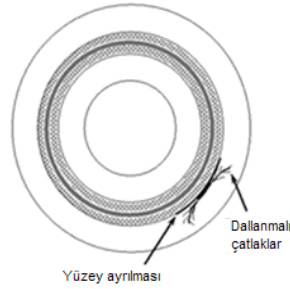
Şekil 4.27: Yukarıdaki şekilde A Bölgesi olarak gösterilen yerin SEM ile büyütülmüş fotoğrafı [13].

Yani belirttiğimiz gibi, otomotiv hidrolik fren hortumları için %95 lik bir güvenilirlik ile standart sağlamlık limiti referans [14]' e göre 370000 olarak verilmiştir. Bu standart sağlamlık limiti dâhilinde, 1mm uzunluğundaki bir çatlak, rekor ile sıkıştırılmış bölgede gözlemlenmiştir.

Hasar bölgesindeki çatlak boyutu kritik olmamasına rağmen hasar alanı kayda değer oranda hasarlarla dallanmalı çatlakların oluşumuna ve ara yüzey ayrılmasına ev sahibi olmuştur. Bileşik yükleme ile yüklenen eğme ve burma yüklerine bağlı olarak, başlangıçtaki hasar bölgesi -145° derecelik bir açı ile oluşturulmuştur.



Şekil 4.28 : Otomotiv hidrolik fren hortumlarında oluşturulan hasar mekanizması [13].



Şekil 4.29 : Otomotiv hidrolik fren hortumlarında oluşturulan hasar mekanizması [13].

Örnek-2:

### 30. Dokuma takviyeli elastomer fren hortumlarında uzunluk evrensel optimizasyonu uygulaması

#### 31. Fren hortumlarının esneme hareketleri ve ‘L’ uzunluğu

Fren hortumları, motorlu araçların en önemli güvenlik aparatlarından birisidir. Tekerlekteki frenleme sistemine pedallardan yağ basıncı ile verilen tepkiyi iletme görevini üstlenirler. Aynı zamanda, fren hortumları taşıtın ilerlemesi ve yaylanması gibi tekerlek hareketlerini karşılamak için son derece esnek üretilirler.

Alt şasinin çevresel faktörlere yıllar boyu maruz kalmasının yanında, fren hortumları da yüksek basınç, burulma, eğilme gibi yüklerin altında kalmaktadır. Bunların bileşimi olarak bileşik esneme hareketi oluşacaktır.

Nihayetinde fren hortumunun yıpranması ve kullanım dışı kalması felaketlere kadar uzanan sonuçlara sebebiyet verecektir. Fren hortumunun hareketini bilgisayar simülasyonu yardımı ile şekil 4.30 da belirtildiği gibi uygulayalım.

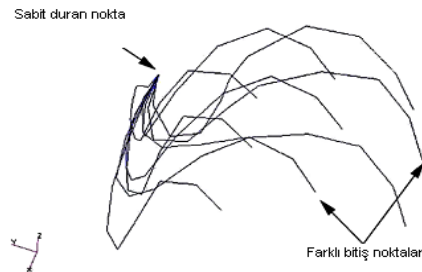


Şekil 4.30: CATIA V5R18 Bilgisayar destekli tasarım programı ile çizilmiş 3 bindirme noktalı fren hortumu [16].

Şekil 4.30’ da esneklik hareketi anlatılacak fren hortumu çizimi gösterilmiştir. Burada 1. Nokta olarak belirtilen yer ana silindire bağlı olan bölgedir. 3.Nokta olarak belirtilen yer ise fren sistemine bağlı olan bölgededir.

Burada 2.Nokta’yı arabanın tasarımını göre uygun bir sabitleme bölgesi olarak düşünebiliriz. Ayrıca Şekil 4.16’daki içyapı göz önünde bulundurulabilir ve bu hortumda çeper kalınlığı 1 mm. civarında düşünülmüştür. Genel olarak verilen bu değerler karşılığında üretilen bir fren hortumu 20 MPa’a kadar basınç dayanımına sahip olacaktır.

İleride gösterilecek bütün matematiksel öğelerde, Sonlu Elemanlar Yönteminde ve CAD çizimlerinde fren hortumu uzunluğu olarak ‘L’ kullanılmıştır. İki farklı fren hortumu deneği üzerinde anlatılacak ve esneklik hareketini oluşturabilmek için genel amaç fren hortumu uzunluğu için optimize edilmiş bir ‘L’ uzunluğu bulabilmek olacaktır.



Şekil 4.31: Uzaysal bir alanda verilen ‘L’ uzunluğu karşısında fren hortumunun esneklik hareketinin simülasyonu [16].

Ayrıca bu oluşturulan uzaysal simülasyon sayesinde esneme enerjisi olan ‘E’ de hesaplanabilecektir. Bu tip deneysel gözlemler ve Ölçümsel parametreler bazı standartlara dayandırılarak yapılmıştır. Ayrıca Takviyeli elastomerlerin simülasyonu ve 3D çizimi için kaynak olarak kullanılmıştır. FEM (sonlu elemanlar metodu) uygulamasındaki materyal parametreleri içinse kaynak olarak verilmiştir. Bu bilgiler ışığında verilecek sonuçların kalitelerine değer biçebilmek için kullanılan iki deneğin Tablo 4.3’ de verildiği gibi gerçek değerlerine yakın değerler kullanılmıştır.

Tablo 4.3: Farklı dizilimler için örnek veri tablosu [16].

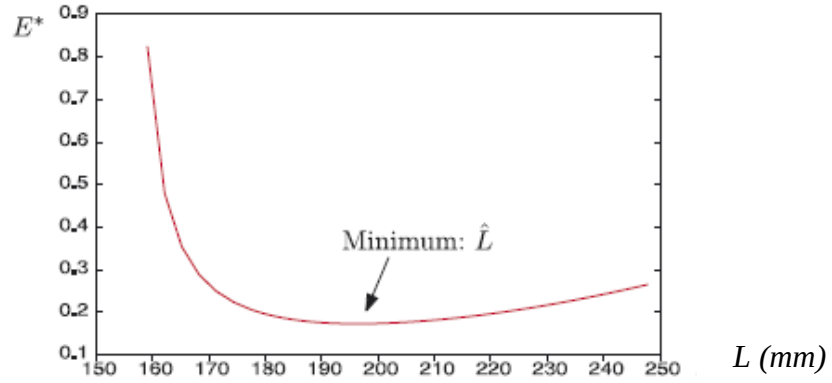
| <i>Nokta</i> | <i>Denek 1</i> |          |          | <i>Nokta</i> | <i>Denek 2</i> |          |          |
|--------------|----------------|----------|----------|--------------|----------------|----------|----------|
|              | <i>x</i>       | <i>y</i> | <i>z</i> |              | <i>x</i>       | <i>y</i> | <i>z</i> |
| <b>1</b>     | -162.9         | -636.4   | 122.4    | <b>1</b>     | -123.2         | -567.8   | 109.4    |
| <b>2</b>     | -115.4         | -550.1   | 190.3    | <b>2</b>     | -46.73         | -523.0   | 178.1    |
| <b>3</b>     | -100.7         | -514.5   | 319.9    | <b>3</b>     | -101.2         | -514.5   | 20.1     |

Böylelikle değerlerin kullanılması ile Şekil 4.30’a ve Tablo 4.3’e dayanarak elde edilen L uzunluğu ve E ortalama enerji değer için bir grafik çizecek olursak Şekil 4.32 elde edilir.



Şekil 4.32: Deneysel (noktalar) ve hesaplanan (çizgiler) değerlerin analitik düzlemde gösterimi [16].

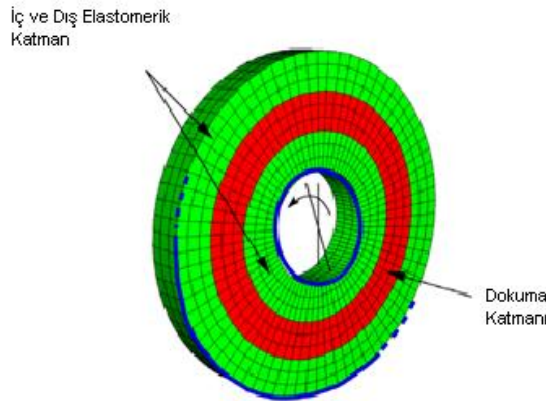
Buradaki deneysel nokta ve veriler gerçek hayatta kullanılan sanal araç simülasyonları için verilen değerlerdir ve ek olarak, parçanın en uygun şekle sokma prosedürü Şekil 4.33’de verilen ‘E’ değerlerini minimize etmek için kullanılmıştır. Bu prosedürlerin sonucu olarak, optimal uzunluğu  $L = 195.8$  mm olarak değerlendirilebiliriz. Ayrıca belirlenebilecek L değeri kullanıcı ve müşteriler için verilen optimal L değeri olabilecektir.



Şekil 4.33: Kullanılan değerler için ortalama E değerleri ve optimize edilmiş L değerinin saptanması [16].

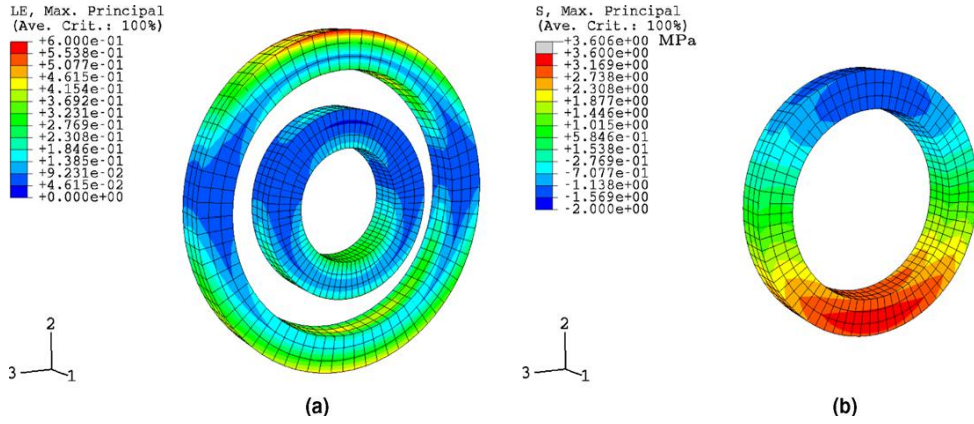
### 32. Sonlu elemanlar yöntemi ile kesit analizi

Yukarıda belirtilen parçamızın kritik kesitlerine uygulanan Sonlu Elemanlar yöntemi ile analiz (FEM) uygulanmıştır. Kesitin gerçek bir modelini elde edebilmek amacıyla tipik hortum yapısında bir disk, 8 düğüm noktasına sahip tuğla tipi elementasyon ile tanımlanmıştır.



Şekil 4.34: Fren hortumu kesitinin FEM modeli [16].

Şekil 4.31’de sabitlendirilmiş sınır şartları dış kauçuk tabakaya, yükleme şartları ise iç kauçuk katmana verilmiştir. Her iki elastomer tabaka için hiperelastik davranış biçimi tanımlanmış ve sadece dokuma katmanı için lineer elastisite verilmiştir.



Şekil 4.35: 3-Eksen dâhilinde  $5^0$  burulma için sonlu elemanlar (FE) analiz sonuçları [16].

- (a) Kauçuk katmanlarda oluşan maksimum gerilme
- (b) Dokuma katmanlarda oluşan maksimum gerilme

Yukarıda da belirtildiği üzere kritik eğri kesitleri veya müşterilerin özel istekleri doğrultusunda yapılan sonlu elemanlar yöntemi ile analiz sayesinde katmanlar arası davranışlar ve elastomer ve dokuma tabakalarının maksimum yükleme dereceleri araştırılmıştır. Şekil 4.34’de de görüleceği üzere elastomer tabaka ile dokuma tabakalarındaki maksimum gerilme dağılımı verilmiştir. Şekil 4.35

Yüzeylerdeki ve ara yüzeylerde oluşan gerilmelerin gözlemlenmesi ile çok geçerli sonuçlar elde edilebilmiştir. Çünkü malzemenin sıkıştırılma özelliği olmadığı için değerler her zaman sıfırdan büyük olacaktır. Elastomer ve dokuma tabakalar arasındaki ara yüzeyde oluşan maksimum gerilmeler hasar oluşumunu tetikleyecektir. Bu sayede oluşacak hasar mekanizmaları için bir öngörü yapılabilme durumu oluşacaktır. Ayrıca bu hesaplamalar ve verilerin ışığında fren hortumu için ömür biçilebilecektir.

Sonuç olarak burada genel olarak varılmak istenen temel fikir, verilen hortum düzenine dayanarak toplam eğme enerjisinin (E) minimize edilmesi, buna karşılık bir optimize edilmiş uzunluk bulunması (L) ve bu bilgiler ışığında fren hortumlarının ömrü için yaklaşılmış bir öngörü oluşturulabilmesi yatmaktadır.

Ömür süresi için birleşmiş bir görüş oluşturulması amacıyla farklı öngörülerin ve farklı kriterlerin göz önüne alındığı gelişim süreci dahilinde kanıtlanmış deneyler yapılması uygulanmalıdır. Şüphesizdir ki, düşünülen uzunluk dahilindeki kritik eğriler detaylı olarak burada işlenmiştir ancak daha ileri ve geliştirilmiş parçalar için farklı kesit analizi yöntemleri kullanılabilir.

### **33. San-Tez Kapsamında Yürütülen Şartnameler ve Testler**

Bu bölümde San-Tez kapsamında yürütülen ve projenin istenilen koşulları yerine getirmek üzere hazırlanmış şartname hakkında bazı bilgiler verilecektir. Burada fren hortumlarının üretiminde uyulması gereken kriterler ve üretimi sonrasında uygulanması gereken testler belirtilmiştir.

Genel olarak bahsettiğimiz gibi fren hortumları değişik tipteki bileşik yüklemelere maruz kalarak çalışırlar. Bu bileşik yüklemeler yüksek kimyasal, termal, mekanik ve dinamik zorlamalardır. Bu nedenle bu durum altındaki fren hortumları esnek çok katmanlı üretilmekte olup dokuma tabakalarıyla güçlendirildikleri gibi bağlama elemanları ile tamamlanırlar. Bu şartnamede diğer yayınlarda kullanılan hükümler ile işbirliği yapılmıştır. Aşağıda belirtilen ek şartnameler bu bölümde kendini ilgilendiren yerlerde kullanılacaklardır [17].

|               |                                                                                                                             |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DIN 50 021    | Çeşitli sodyumklorid solüsyonlarıyla uygulanan tuz spreyi testi                                                             |
| DIN 51 777    | Mineral yağ hidrokarbonları ve çözücülerinin testi                                                                          |
| GS 90010      | Metalik malzemeler için yüzey koruması çeşitleri                                                                            |
| ISO 3996      | Yol araçları için petrol olmayan fren sıvılarının hidrolik fren sistemleri için uygulanan fren hortumları için kullanılması |
| USA FMVSS 106 | Fren hortumlarının tasarım ve test şartnameleri (mukavemet ve korozyona dayanıklılık açısından)                             |
| USA FMVSS 116 | Fren sıvıların test edilmesi, paketlenmesi ve etiketlenmesi.                                                                |

QV’ de özellikleri listelenen gözlemler, çizimlere ek olarak, parçaların üreticisi tarafından garanti altına alınmalıdır. İstatistik metotlar onaylama için uygulanması şarttır. Uygulanacak QV’ nin yasal kurallar çerçevesinde oluşturulmuş olması sebebiyle izin verilen minimum değerlerin daha aşağısı ve izin verilen maksimum değerlerin daha yukarı tolerans değerlerinde olmayacak şekilde değerlendirilmeleri gerekmektedir. Bu anlamda, test parametrelerinin toleransları en az oynama ile değerlendirilmesi gerekmektedir. Glikolik hidrolik fren sıvıları için üretilen fren hortumlarına uygulanacak QV için yapılan test planı (örneklerin kararlaştırılması gibi) testte kullanılacak örnek boyutu, zamanı ve frekansı, test için görevlendirilmiş uzmanların sorumluluğu altında olacaktır.

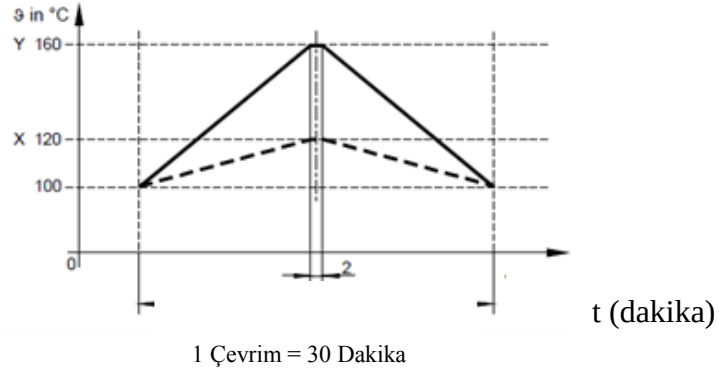
Temin edilen parçalara dayanarak, üretici parça kalitesi ve testinin kendi üretim sistemi tekniğine dayanan otoritesine bağlı olarak planları hazırlamalıdır. Bu plan firmanın kalite güvencesi tarafından onaylanmalı ve ilk örnek hazırlanması çalışmalarının hemen ardından kabulün gerçekleştirilmesi için sunumu yapılmalıdır.

#### **34. Kalite karakteristikleri ve test gereksinimleri**

ISO 3996 ‘nın test edilebilirlik ve gereksinimlerine dayanılarak yapılacaktır.

##### **i) Sıcaklık Gereksinimleri:**

Uygulanan sıcaklık aralığı -40°C, 100°C arası olacaktır. Şekil 4.36’ da gösterildiği gibi, fren hortumu 30 dakikalık sıcaklık çevrimine dayanabilir olmalıdır. Limit sıcaklık olan kursun maksimum sıcaklığı kampana tarafında kalan fren hortumu bağlantı bölgesinin mil eklentisinde santimetre başına 7 °C azalma görülebilir. Bu sıcaklık azalması tedarikçi tarafından saptanmalıdır. Bunların dışında tarif edilecek olan sıcaklık kursu, önerilenin altında olmamalıdır.



Şekil 4.36: Fren hortumlarında sıcaklık gereksinimleri

ii) Uygulama yapılacak hortumdan istenen koşullar:

Fren hortumunun içerisi ve dışarısının kuru olması gerektiği gibi, içerisinde kalıntılar barındırmamalıdır. (Tablo 4.4) Bağlama bölgesinin içeri göçmesinden kaynaklanabilecek metal tellenmelere basitçe süpürülebildiği sürece izin verilebilmektedir.

Tablo 4.4: Fren hortumu içerisinde izin verilebilecek artık safsızlıklar

| Partikül<br>Miktarı                 | Maks. 100 mg/m <sup>2</sup> toplam kalıntı miktarı içerisinde;<br>1. maks. 40 mg/m <sup>2</sup> çözülebilir<br>2. maks. 60 mg/m <sup>2</sup> çözülemez |                   |                  |                                |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|--------------------------------|
|                                     | Tip                                                                                                                                                    | Kalınlık<br>(mm)  | Uzunluk<br>(mm)  | Miktar(parça<br>sayısına göre) |
| Partikül<br>boyutları ve<br>miktarı | Kalıntı Parçacıklar<br>(Metal,Plastik, vs.)                                                                                                            | --                | 2.0'dan<br>büyük | 0                              |
|                                     |                                                                                                                                                        | 0.15'e<br>kadar   | 2.0'a kadar      | Maks. 5                        |
|                                     |                                                                                                                                                        | 0.15'ten<br>büyük | 2.0'a kadar      | 0                              |
|                                     | Fiberler (non-metalik)                                                                                                                                 | 0.05'ten<br>küçük | 10'dan<br>küçük  | Maks. 5                        |

Hortum herhangi baloncuk, çatlak veya kalıntı içermemelidir. Dokumalar, tehlikeli biçimde içeriğe ve kaplamaya etki etmeyecek düzgün ve sıralı süregelen çekirdek açısı ile vulkanize edilmelidir (kükürt ile işlenmelidir).

### iii) Genel test koşulları

Başka durumlar belirtilmediği sürece takip edilecek uygulama; Deneyi yapılacak parçaların daha önce kullanılmamış olması gerekmekte ve 7 günden yaşlı olmalıdır. Test odası sıcaklığı 21-32C° derece arasında olmalıdır. Test edilecek parçaların ön saklamasının yapılacağı oda koşulları şartlarında 24 saat bekletilmesi gerekmektedir.

Şartnamede koşullanan test basıncı değerleri en az 10 saniye en fazla 25 saniye uygulanmalıdır. Ayrıca teste maruz bırakılan denekler yok edilmelidir.

Testte kullanılacak fren sıvısı / yağı QV’de belirtildiği gibi firma tarafından onay verilmiş olan fren sıvıları / yağları kullanılmalıdır.

Test için uygun güvenliğin sağlanması ise uygun güvenlik şartnamesinin uygulanmasına bağlı olmak ile beraber yüksek-basınç testi ve patlama-basıncı testlerine dayanarak hazırlanmalıdır.

### iv) Montaj, hortum malzemesi ve kimlik işleme

Fren hortumlarının montajları sırasında aracın normal pozisyonunu korurken oluşan burulma yüklemesi hesaba katılmalıdır. Bu ölçüm sırasında alınacak açısal toleranslar hiçbir dönme-engelleyici aparat kullanılmadan yapılmalıdır. Oluşan çap iç eğilmiş çapı göz önüne alındığında;

$r_{\min} = 38 \text{ mm}$ , olmalıdır.

Maruz kalan hortum uzunluğu başına maksimum  $\pm 1.0^\circ$  / cm burulma açısı, normaldeki duruma göre karşılaştırılmış maksimum hareket halindeki açı ve geri gelme, sarsılma hallerine göre izin verilir.

Verilen montaj çapının altında olacak uygulamalar uygun görülen montaj örneklemlerinde ve sağlamlık testi örneklemlerinde ve firma geliştirme ve prototipleme tarafından kabul görmelidir.

Hortum malzemesi için; geliştirme işlemleri sonucunda ortaya çıkarılan malzeme GS 93010-3 ‘de belirtilen malzeme ile uyumlu olmalıdır. Ayrıca GS 93010 ‘a göre uygulanan malzeme testleri, yetkili firma departmanı olan ‘ Operating Strength and Materials’ iş birliği halinde yapılmalıdır. Kimlik işlemlerinde ise toplamda yapılan işlemlere ek olarak fren hortumları in pazarının yasal gereksinimlerine uygun olarak sertifikalandırılmalıdır. in standartları olan GB 16897-1997’ye dahil olacak şekilde oluşturulmalıdır. CCC-Pazarlama (CCC - logo ve yerleşke kodu) hortuma yada zırha kolayca okunabilecek şekilde uygulanmalıdır.

v) %100 Basınç testi, hacimsel genleşme, hacimsel genleşme için gereksinimler

Uygulanacak test basıncı  $135 \pm 2.5$  bar olmalıdır. Basınç sağlayıcısı olarak hava ve ya inert gaz kullanılmalıdır. Diğer gereksinimle ISO 3996 dahilinde kullanılmalı ve test ISO 3996 dahilinde olmalıdır.

Test, fren sıvısı ile yapılmalı ve 70 bar’ da oluşacak maksimum hacimsel genleşme maruz bırakılan hortum uzunluğu için  $0.4 \text{ cm}^3/\text{m}$  olmalıdır. 105 bar’ da oluşacak maksimum hacimsel genleşme maruz bırakılan hortum uzunluğu için  $0.6 \text{ cm}^3/\text{m}$ , 200 bar içinse  $1.0 \text{ cm}^3/\text{m}$  olmalıdır. Diğer gereksinimler ve test aşamaları ISO 3996’ ya uygun yapılmalıdır. Test uygulaması sırasında fren sıvısı kullanılmalıdır ve patlama basıncı 600 bar ‘ın üzerinde olmalıdır. Diğer gereksinimler ve test aşamaları ISO 3996’ ya uygun yapılmalıdır.

vi) Fren sıvısı / yağı uyumluluğu

1) Devamlılık ve patlama mukavemeti testi için gereksinimler; Test uygulaması sırasında fren sıvısı kullanılmalıdır ve patlama basıncı 400 bar’ın üzerinde olmalıdır. Diğer gereksinimler ve test aşamaları ISO 3996’ ya uygun yapılmalıdır.

2) Termal yaşlanma testi uygulaması ve gereksinimleri; Test 200 bar basınçta 2 dakika boyunca uygulanmalıdır. Bunu takip eden devamlılık testinde hortum tekrardan fren sıvısı ile doldurulur ve ISO 3996 belirtildiği şartlarda 500 saat boyunca yaşlanmaya bırakılır. Oda sıcaklığında suyunu çekmesi için 2 saat boyunca bekletilmelidir.

Bu işlemlerin ardından basınç testi tekrar uygulanır.

#### vii) Diğer gereksinimler

Santrifüj testi için gereksinimler; Test uygulaması için basınç 16-18 bar arasında olmalıdır. Diğer gereksinimler ve test aşamaları ISO 3996' ya uygun yapılmalıdır.

Gerilme yüklemesi testi uygulaması ve gereksinimleri; Uygulanacak minimum gerilme kuvveti 1700N olmalıdır. Yaşlandırma işlemi sonrasında yapılan bu test limit sıcaklık kursu olan 30 çevrim 'e dayandırılarak uygulanmalıdır. Diğer gereksinimler ve test aşamaları ISO 3996' ya uygun yapılmalıdır.

Su tutma sonrasında yapılacak test ve gereksinimleri, uygulanacak patlama basıncı 400 bar'ın üzerinde olmalı ve minimum gerilme kuvveti 1700N olmalıdır. Skid testi merkezkaç testi şartlarına dayanarak yapılmalı ve daha sonraki testler testin genelinde uygulanan ISO 3996 'ya uygun yapılmalıdır.

Düşük sıcaklıklardaki eğilme karakteristikleri için test gereksinimleri, bütün gereksinimler ve test aşamaları ISO 3996' ya uygun yapılmalıdır.

Ozona karşı direnç testi gereksinimleri; Bütün gereksinimler ve test aşamaları ISO 3996' ya uygun yapılmalıdır. Bağlama bölgelerinin korozyona karşı direnç testi uygulaması ve gereksinimleri; Yüzey koruması şartnamede belirtildiği gibi olmalıdır ve test için gereksinimler ve uygulaması GS 90010'a göre yapılmalıdır. Test yapılacak parçaların testten önce yağ kalıntıları iyice temizlenmelidir.



Şekil 4.37: Karl Fischer metodunda kullanılan test düzeneği

Su difüzyonu testi ve uygulaması, hortumdaki fren yağı içerisinde bulunabilecek su içeriği; Testten önce %0.3 ‘ten az, testin sonuçlanmasından sonra %6.0 ‘ın altında olmalıdır. Baloncuk içermeyen fren hortumları, fren sıvısı içerisinde 50C°’da arındırılmış su içerisinde 100 saat boyunca bulundurulmalıdır. Hortum içerisine nüfuz eden su, fren sıvısı içerisinde bulunan test öncesi ve test sonrası su miktarlarının karşılaştırılması ile bulunur. 5 cm<sup>3</sup> içerisinde bulunması minimum gereken su miktarı DIN 51 777 (Karl Fischer metodu) ile belirlenir.

Sürekli basınca karşı direnç testi ve gereksinimleri; Uygulanacak test sonrası fren hortumu 24 saat boyunca oda sıcaklığında ve 220 bar basınç sonrasında herhangi bir zayıflama veya hasar göstermemelidir.

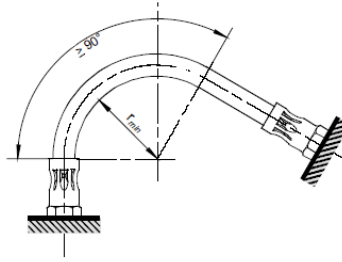
### 35. Güvenilirlik karakteristikleri ve test gereksinimleri

#### i) Yükleme simülasyonu testi ve gereksinimleri

Fren hortumları kullanım süresi boyunca sızıntılara karşı her zaman dayanıklı olmalıdır. Her hangi bir bozunma oluşumu asla istenmez. Herhangi bir baloncuk, çatlak ve delik olmamalı ve oluşmamalıdır. Ara yüzeyler ve koruyucu katmanlar her zaman kuru olmalıdır. Burada dikkat edilecek husus; sıcaklık değişimleriyle beraber dış kauçuk katmanlarda su yoğunlaşmaları görülebilir ve izin verilebilen takdirde kabul edilebilmektedir.

Test sonrasında hortumların patlama basınçları 600 bar’ın üzerinde olmalı ve 1700N ‘un üzerinde dışarı doğru yırtılma kuvveti önceden anlaşılması için uygulanıp görülmelidir.

Herhangi bir deneğin muayenesi ve test uygulama frekansı izlenişi firmanın kalite kontrol birimiyle koordineli biçimde yürütülmelidir. Basınç tepki testinin başlamasıyla deneklerin %50'si dışarı doğru yırtılma değerinin ve %50'sinin patlama basıncı değerinin karşılaştırılması gerekmektedir. Şekil 4.38' de incelenebileceği üzere, fren hortumları basınç testi aracına en az dış koruma katmanından 38 mm ve 90° 'den büyük eğilme açıları ile monte edilmelidir.



Şekil 4.38: Eğilme açısı ve eğilme çapının açıklanması

Fren ana silindiri görevi gören bir aparat ile testte kullanılacak basınç yaratılmaktadır. Test sırasında fren hortumları sıcaklık odalarında sıcaklıkların kontrol altında tutulması amacıyla tutulmaktadır ve diğer test uygulamaları sırasında kullanılan test sıvısı kullanılmaktadır.

## ii) Özel durumların test edilmesi ve gereksinimleri

İşlev kaynaklı bozunmalar kesinlikle kabul edilmez. Sızıntı şeklindeki damlacıklar asla kabul edilemeyeceği gibi terleme nemlenme gibi durumlarda da kabul edilmez. Sıcaklık değişimi ile dış kauçuk katmanlarda oluşan su yoğunlaşmaları izin verilen sınırlar içerisinde göz ardı edilebileceği gibi kabul edilebilir. Test sonrasında hortumların patlama basınçlarının 400 bar'ın üzerinde olmalıdır. 1500N 'dan büyük dışarı doğru yırtılma kuvvetleri önceden anlaşılması için uygulanıp görülmelidir.

Deneklerin oluşturulması ve test frekanslarının izlenmesi firma ile koordineleri şekilde tanımlanmalıdır. Özel durum testinin başlamasıyla deneklerin %50 si dışarı doğru yırtılma değerinin ve %50 'sinin patlama basıncı değerinin karşılaştırılması gerekmektedir.

Fren hortumları basınç testi aracına dış koruma katmanından en az 38 mm ve 90°'den büyük eğilme açıları ile monte edilmelidir.

Test sırasında fren hortumları sıcaklık odalarında sıcaklıkların kontrol altında tutulması amacıyla tutulmaktadır ve diğer test uygulamaları sırasında kullanılan test sıvısı kullanılmaktadır.

iii) Kullanım sırasındaki yüklemenin simülasyonu ve gereksinimleri

Fren hortumları bütün kullanım süresinde sızıntıya karşı sıkı olmalı ve 350 bar üzerine yeteri tepkiyi göstermelidir. Herhangi bir bozunma gözlemlenmemelidir.

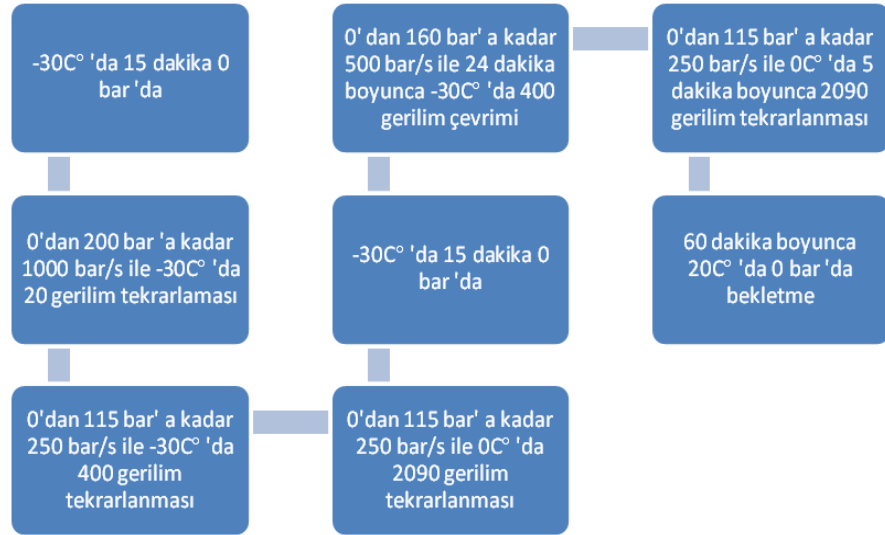
Test sırasında yüzeyde herhangi bir baloncuklaşma, çatlama ve delinme gibi durumlar görünmemelidir. Diğer testlerde olduğu gibi ara yüzeylerin ve koruyucu katmanın her zaman kuru olması lazımdır. Uygulanan testlerin ışığı altında kodlarla belirlenmiş kullanım sırasında oluşacak yükleme simülasyonu testi uygulanır. Fren hortumları, bütün parçaların aletlere uygunmuş ve fren sisteminin ana parçasıymışçasına ve test altında tutulacaklardır.

Tablo 4.5: Yaz/Kış şartlarında tepki testi dayanıklılığı programı

*Yaz Bloğu (= 5000 gerilim tekrarlanması)*



*Kış Bloğu (= 5000 gerilim tekrarlanması)*



Not: Bu blokların uygulanması 300000 yük tekrarlanmasına ulaşılan kadar 30 kere uygulanmalıdır.

### 36. Yeni ve Eski Patentler

Bu bölümde, fren hortumlarının gelişimini ve adına alınmış patent ve bu patentlerin uygulamaları özetsel olarak anlatılacaktır. Genel olarak patentlerin özet bölümleri dilimize çevrilecektir. Patentlerin ayrıntılı incelenmesi için her patent başlığının referans internet adresi verilecektir.

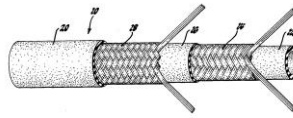
### 37. Bazı eski patentler

#### 3.1.1.1. Örgü desteği ile kuvvetlendirilmiş esnek fren hortumu

Belirtilecek olan hortum örneğinde kullanılan hortum polikloroplen iç katman, çapraz bağlı destek katmanı olan cam fiber yünleri, koruyucu copolimer olan ara katman ve yine cam fiberler üzerinde dış katman olan polikloroplen kauçuk katmandan oluşmaktadır [18].

Bu patent açıklamasında bu güne kadar süre gelen çalışmalar dikkate alınmakla birlikte yapılan buluşun 3 adet iddia ile sınırlandırılmıştır.

Bunlardan birincisi; Hidrolik fren hortumunun elastomerik iç katmanının basınç altındaki davranışlarıyla ilgilidir. Üzerine sarılacak dokuma tabakasını hortum eksenine göre bir tur sarılarak  $52^\circ$  ve  $56^\circ$  derecelerle örülmesinin sonuçları anlatılmıştır.



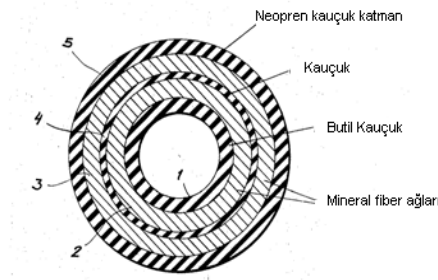
Şekil 4.39: Patente kullanılan sembolik fren hortumu resmi [18].

İkinci olarak; aynı malzemedan üretilen iç tabakanın üzerine 5 sarımın bir buçuk turu kadar hortum eksenine göre  $52^\circ$  ve  $56^\circ$  derecelerle örülmesi incelenmiştir. Son olarak ise polikloroplen iç katmanın resorokinol formaldehit, latex kaplama cam fiberlerin hortum çevresine ekseni referans alınarak  $52^\circ$  dereceden  $56^\circ$  derece kadar ve sonrasında  $40^\circ$  dereceden  $60^\circ$  derece kadar olan sarımlar sonucunda oluşan durumların tespiti anlatılmıştır.

### 3.1.1.2. Fren sıvısı hattı

Otomobil fren sıvı iletimi sistemi olan fren hortumları elastomerik iç katman bunun üzerine sıvı emmenin direncinin oluşturulması amacıyla atıl yumuşak bir tabaka kaplaması ve bunları destekleyen örgü katmanlardan oluşmaktadır. Sıvı emebilirliği inorganik mineral fiberlerden ve özelliklede cam fiber ve polivinilidenklorid fiberler kullanılarak yapılmıştır [19].

Bu patent belge iki iddia içermektedir ve bunlardan birincisi; sıvı iletim sistemi olan fren hortumları en az bir iç tübiler katman, sıvı emme ve kapilerite özelliği zayıf olması gereken bir ortanca katman ve son olarak vulkanize edilebilen bir dış polimer katmandan oluşması gerekmektedir.



Şekil 4.40: Patente kullanılan sembolik fren hortumu kesiti [19].

İkinci olarak; birinci durumda bahsedilen tasarımdaki fren hortumu içerisindeki örgü katmanlar su çekme kapasitesini düşürecek kauçuk bir katmanlara müdahale altında tutulmalıdır.

### 3.1.1.3. Yüksek basınç fren hortumları

Kuvvetlendirici katmanlarla güçlendirilmiş yüksek basınç fren hortumları EPDM in vulkanizasyonu ile üretilmiş katmanlardan oluşması gerekir ve bir rekor yardımıyla sıkıştırılıp bağlantısı sağlanmalıdır [20].

Yüksek basınç fren hortumları dinamik zorlamalar altında kullanıldıkları bilinilmektedir. Ozon'a karşı direnç de bu zorlamalara eklenmektedir. Bu zorlamalar karşı gösterdiği mekanik tepkiler EPDM' in kullanılmasını gerektirecektir.

Bu özelliklerde üretilmesi öngörülen fren hortumları için bu patentte 3 iddia verilmiştir ve bunlardan birincisi; en az bir dış katman bulunduran ve vulkanize edilmiş EPDM katman, Mooney viskozitesi ve EPDM üretimindeki polimer oranları belirtilmiş şekilde olmalıdır ve bu patent açıklamasında ayrıntılı anlatılmıştır.

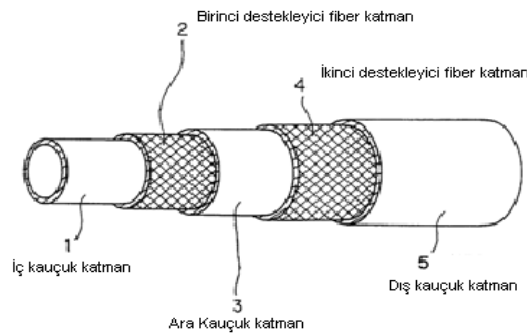
İkinci olarak; birinci maddede bahsedilen yüksek basınç fren hortumları da kullanılacak olan EPDM in üretimi belirtilen kimyada oluşturulmalıdır. Üçüncü olarak ise birinci iddia da bulunan durumda kullanılan EPDM patent içerisinde belirtilen 5 farklı maddenin bileşimi şeklinde oluşturulmalıdır.

### 38. Bazı yeni patentler

#### 3.1.1.4. Fren hortumu

Bu patentte anlatılacak olan fren hortumu tatmin eder derecede mükemmel esneme direnci ile aşınma direncine ve korozyon direncine sahiptir. Birincil katman çevresel şekilde fren sıvısına maruz kalmakla beraber ilk destekleyici fiber katman polietilen 2.6 naftalin fiberlerden oluşmaktadır. Böylece hortumun oluşturacağı korozyon, aşınma ve esneme dirençleri en yüksek seviyeye ulaşacaktır.[21]

Bu patentte anlatılmak istenen çevresel etkilere karşı oluşturulmak istenen dirençlerdir ve araştırma sonucunda bulunan durum polietilen 2.6 naftalin fiberler ile dokuma tabakaların oluşturulması gerektiğidir.



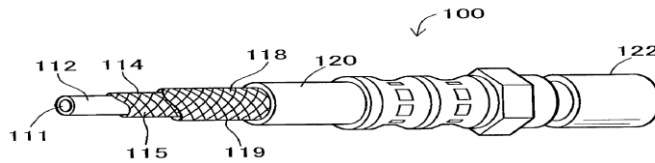
Şekil 4.41: Patentte açıklanan Hortumun şematik resmi [21].

Dış katmandan gelen etkilerin sönümlemesi yanı sıra iç katmanın fren sıvısı ile dolup boşalması sonucu tekrardan oluşacak zorlanmalarda aynı malzeme kullanımı ile en iyi sonuçlar alınmıştır. Bu patentte genel olarak polietilen 2.6 naftalin fiberlerinin fren hortumunun mekanik özelliklerine artı etkileri ayrıntı anlatılmıştır.

#### 3.1.1.5. Fren hortumu

Fren hortumları iki destekleyici katman ve iki temel kauçuk katmandan oluştuğunu bilmekteyiz. Karşılaştırmalı örnekler ve verilen bazı denklemler ile katman oranları oluşturulmuş en iyi sonuç için çalışılmıştır [22].

Bu patentte elde edilen sonuçlar genelde katmanlar arası bağıntılarla ilgilidir. Bu mekanik özellikler için malzemeler karşılaştırılmış ve kalınlık boyutlar belirlenmiştir. Hemen hemen pek çok şartnamede belirtilen deneyler ve gereksinimler bu tip fren hortumu için ayrıntılı olarak incelenmiş ve sonuçlar belirtilmiştir. Ayrıca değiştirilen karbon miktarı ve Mooney viskozitesi ilişkisi de ayrıca belirtilen durumlar arasındadır.



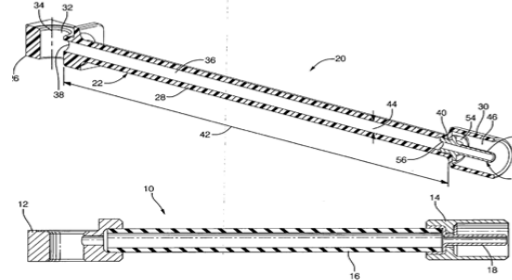
Şekil 4.42: Patent içerisinde belirtilen şekil [22].

#### 3.1.1.6. Fren hortumu rekorları ve üretimi

Bir fren hortumu rekorunda hortumu çevreleyen gövde ve içerisinde delik bulunmaktadır. Rekorlar genel olarak yerleştirici parça, uzayıcı parçası ve yer sabitleyici koldan oluşmaktadır [23].

Esneyebilen parça çap olarak dışarı doğru yerleştirici parça içerisinden genişler. Yer sabitleyici kol delik eksenin zıt tarafının yanında bulunur. Fren hortumu rekorları ayrıca delik bulundurmaktadırlar. Delikler ayrıca çapı etrafında flenş bulundurmaktadır. Patentte üretim metodu anlatılacak fren hortumu rekoru ayrıntılı bir biçimde anlatılmaktadır.

Patent bitiminde belirtilen iddialarda rekor yapısı ve üretimi için bilgiler açıkça sunulmuştur. Örnek olarak; bahsi geçen yol çapı 2.3 mm den büyük olmamakla beraber hortum boyunun yaklaşık olarak 26 kat küçüğü olmalıdır. İç çap her zaman sabit bir büyüklükte olmalı ve bu büyüklük değer olarak kontrol altında bulundurulmalıdır. Patent içerisinde ayrıntılı şekilde rekor üretim şekli patent sınırları içerisinde anlatılmıştır.



Şekil 4.43: Patentte bahsi geçen örnek ve kesit şeması [23]

### 39. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yüksek performanslı fren hortumu taleplerine cevap verebilecek, rakip konumundaki firmalara ait ürünler sistematik olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalar ile gerek hortum yapısı gerekse rakor/nipel yapıları ve birleştirme prensipleri incelenerek TEKLAS ürünü hortumların farklılıkları, eksiklik ya da fazlalıklarının tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Öncelikli olarak görsel ve mukavemet testleri yapılmış, ardından fren sıvısı ile gerçeğe yakın koşullar altında denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu arada gerçekleştirilen görsel ve deneysel çalışmalarla fren sıvısı ile gerçeğe yakın test şartları altında yapılan denemelerin ilişkilendirilmesi hedeflenmiştir.

Tablo 5.1’ de rakip firmalara ait sıkma çapları ile hortum çaplarının oranlarına ilişkin inceleme sonuçları gösterilmektedir. Hortumu yüksek basınçlarda sıkmak teorik olarak faydalıdır. Zira bu durumda (sıkma neticesi) oluşan rakor/hortum arasındaki basınç nedeniyle gelen fren sıvılarının nipel yüzeyini takip edip, daha sonra rakor iç çapı ya da hortum içerisindeki katların içerisinden sızarak geçmesi ve hortumu hasara uğratması riskini azaltmaktadır. Bu nedenle rakorların sıkma çapları, hortum/rakor ara yüzeyindeki basıncın bir ifadesi ya da göstergesidir. Bu durumda sıkma çapı/hortum çapı oranı sayısal olarak ne kadar küçük ise elde edilecek ara yüzey basıncı o oranda yüksek olacaktır.

Tablo 5.1 rakip hortumların yukarıda özetlenen davranışlarını belirlemek üzere gerçekleştirilen ölçümlerin sonuçlarını vermektedir. Dikkate değer önemli hususlardan biri “hutchinson” marka fren hortumlarında bahsedilen oranın yüksek olmasıdır. Bu hortumların performanslı hortumlar olduğu bilinmektedir. Bu düşük hortum çapına rağmen performanslarının yüksek olması not edilmiştir.

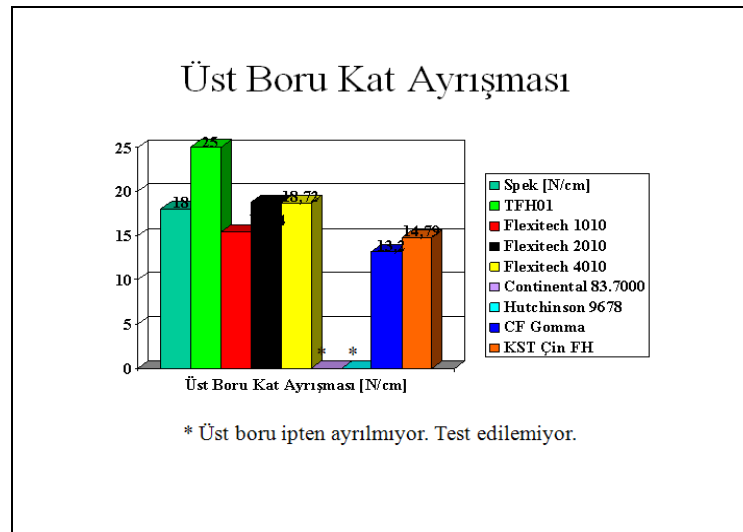
Tablo 5.1: Sıkma çapı / hortum çapı oranlarının belirlenmesi.

| Sıkma Çapı / Hortum Çapı Oranı |                 |                |      |
|--------------------------------|-----------------|----------------|------|
|                                | Hortum Çapı(mm) | Sıkma Çapı(mm) | ORAN |
| TFH01                          | 10              | 10.2           | 1.02 |
| Flexitech 1010                 | 10.1            | 9.86           | 0.98 |
| Flexitech 2010                 | 9.85            | 10             | 1.02 |
| Flexitech 4010                 | 9.8             | 9.9            | 1.01 |
| Continental 83.6000            | 10              | 10.25          | 1.03 |
| Continental 83.7000            | 10.2            | 10.5           | 1.03 |
| Hutchinson 9678                | 9.7             | 10.27          | 1.06 |
| CF Gomma 533                   | 10.25           | 10.5           | 1.02 |

Hutchinson hortumların sıkma çapı hortum çapına kıyasla oldukça yüksek. Buna rağmen rakor kopma dayanımı diğer markalara göre yüksek geliyor.

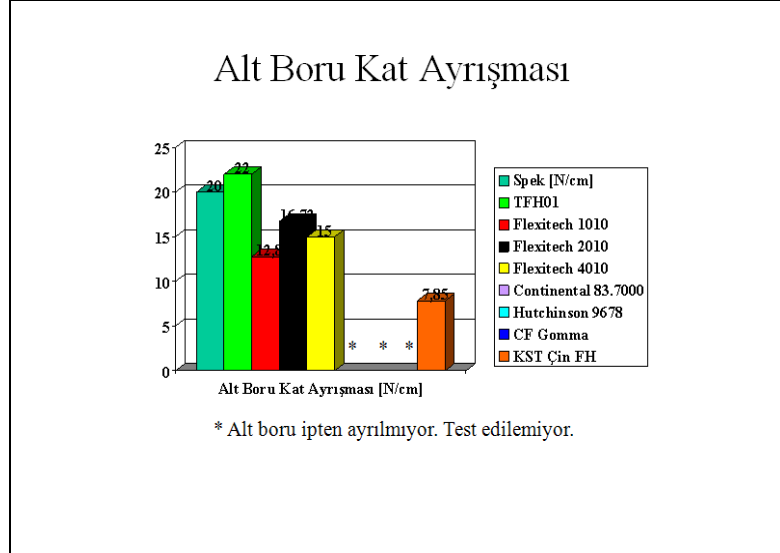
Hortumların yapıları farklılık gösterebilmektedir. Firmaların hortumlarında alt ve üst boru olarak tabir edilen elastomerik kat içerisinde boru şeklinde yapılar (ara elastomerik kat) söz konusu olabildiği gibi, yük taşıyan elyaf kumaşlar (arada elastomer katman olmaksızın) iplik/iplik (kumaş/kumaş) teması da gösterebilmektedir. Genelde kumaşlar arasında elastomerik esaslı yapıştırma solüsyonları kullanılmaktadır. Bu solüsyon da bir dereceye kadar kat ayrışmalarına karşı direnç gösterebilmektedir. Tablo 5.2 Üst boru kat ayrışmalarına ait sonuçları göstermektedir.

Tablo 5.2: Üst boru kat ayrışması deney sonuçları



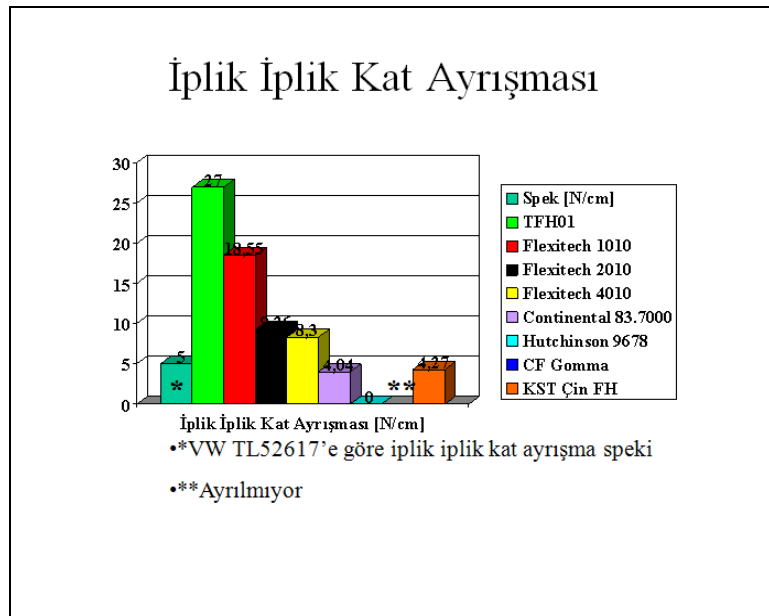
Benzer şekilde fren hortumu içerisindeki elastomer borular ile elyaflar arasındaki dayanıma ilişkin olarak alt boru kat ayrışmalarına ilişkin sonuçlar Tablo 5.3’ de sunulmuştur.

Tablo 5.3: Alt boru kat ayrışması sonuçları



Genelde alt ve üst borular arasında yer alan elyaflar birden fazla katlı olarak oluşturulur ve aralarında genelde yapıştırıcı solüsyonlar tatbik edilmiş olur. Fren hortumu konfigürasyonuna ilişkin olarak hortum içindeki iplik/iplik (elyaf) kat ayrışmasına ilişkin test sonuçları Tablo 5.4 de sunulmuştur.

Tablo 5.4: İplik/İplik kat ayrışması deney sonuçları



## Kat Ayırışmaları

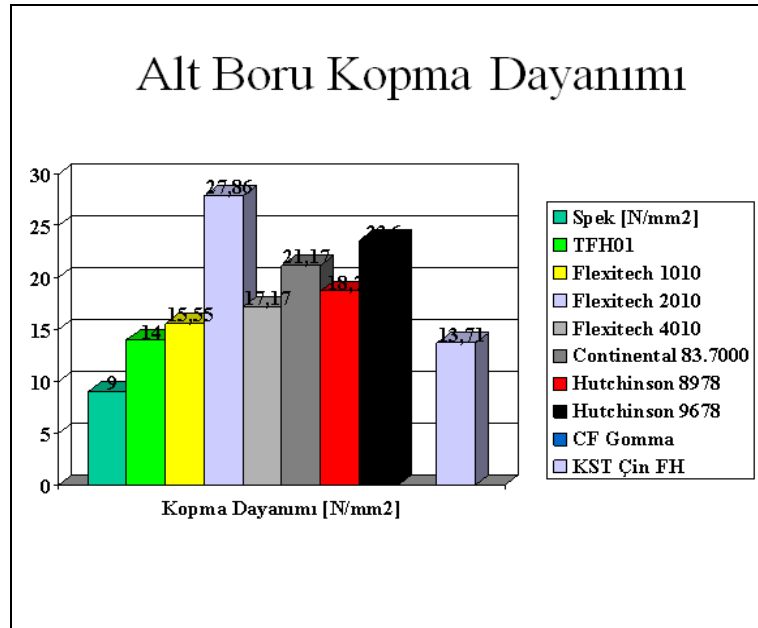
CF Gomma, Continental, Hutchinson hortumlarında alt boru iplikten ayrılmadığından test edilememiştir. Yapışma iyidir.

Continental ve Hutchinson hortumlarında üst boru iplikten ayrılmadığından test edilememiştir. Yapışma iyidir.

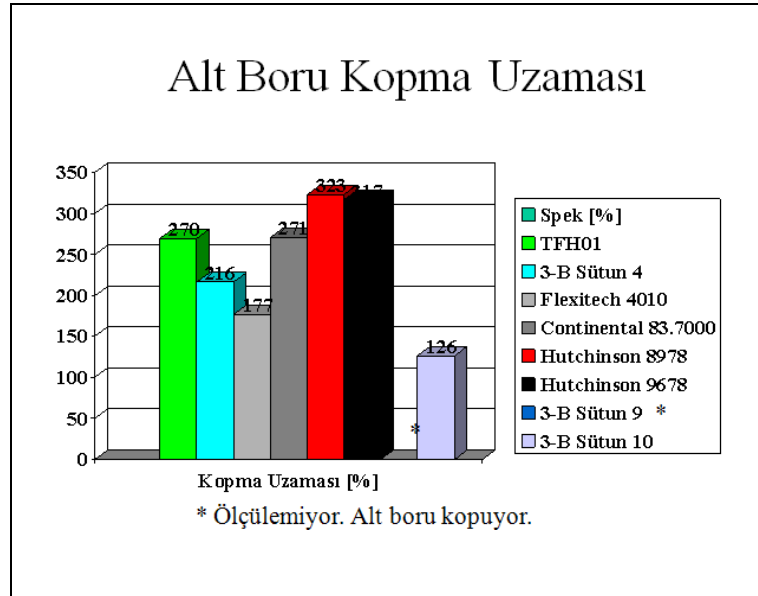
Hutchinson ve Continental fren hortumlarında iki iplik (elyaf) katı arasında kayda değer bir ayırışma söz konusu değildir.

Alt boru basınçlı fren sıvısının etkisi ile fiziksel olarak en fazla zorlanan hortum elemanıdır. Bu elemanın gerek dayanımı, gerekse basınç altındaki uzama değerleri önemlidir. Zira basınca maruz kaldığında boruda elastik seviyelerde hacimsel genişlemeler oluşmaktadır. Bu genişleme miktarı sonuçta fren sıvısının frenleme ünitesine gelmeden önce basıncının bir kısmını kaybetmesi, sistemin veriminin düşmesi anlamına gelmektedir. Tablo 5.5’ de alt boru kopma dayanımı deney sonuçları, Tablo 5.6’ da alt boru kopma uzaması deney sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 5.5: Alt boru kopma dayanımı deney sonuçları

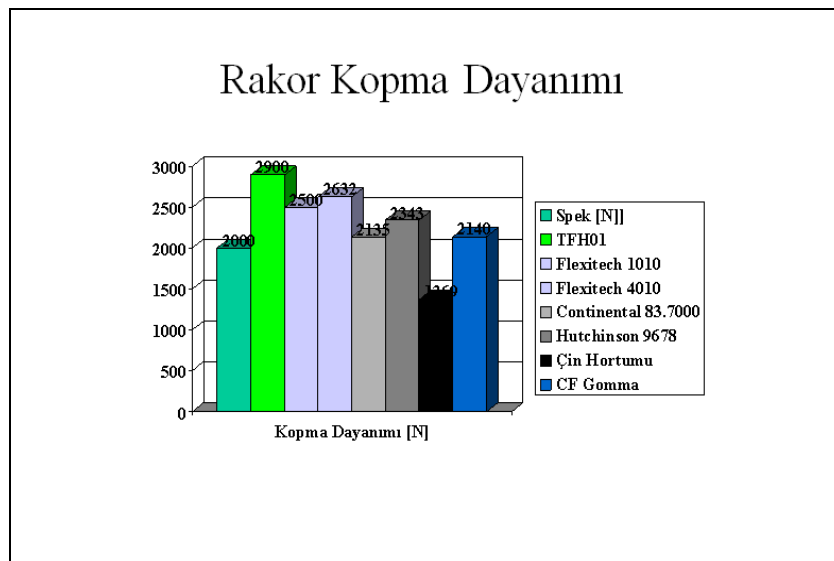


Tablo 5.6: Alt boru kopma uzaması deney sonuçları



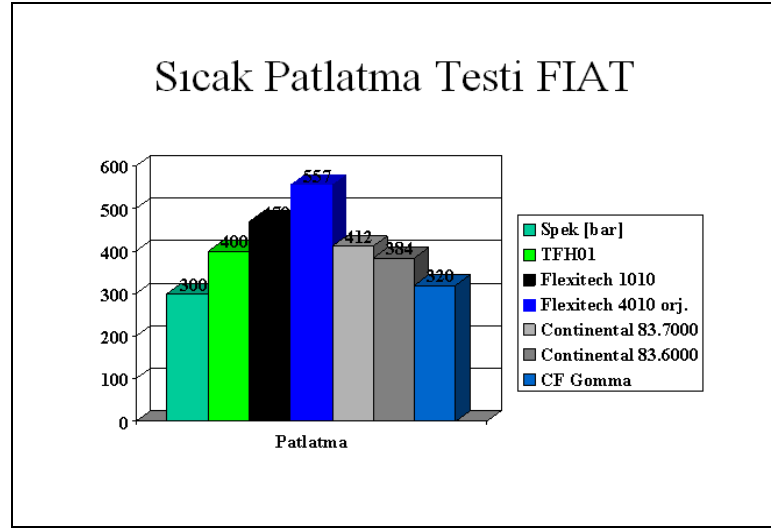
Rakorun hortum ile birleştirildiği bağlantı noktası son derece önemlidir. Bu bölge esnek elastomerik parça ile metal rakor arasında ciddi gerilme yığılmalarının, çalışma esnasında sürtünme ve eğilmeler neticesi oluşan aşınma ve mikro-yırtılmaların olduğu bir bölgedir. Bu bölgede rakor ile fren hortumu arasında oluşan ara yüzey dayanımı bir anlamda hortum ile rakor arasındaki bağlantının büyüklüğüne işaret etmektedir ki bu da son derece önemlidir. Tablo 5.7' de rakorların kopma dayanımlarına ilişkin sonuçlar görülmektedir. En yüksek sonuç TFH01 kodlu numuneye aittir.

Tablo 5.7: Rakor kopma dayanımı deney sonuçları



Tablo 5.8’ de FIAT firmasına ait şartnameye uygun olarak gerçek çalışma şartlarına ait parametreler ile yapılan sıcak patlatma deney sonuçları görülmektedir. Rakip firmalara ait olan fren hortumlarının sıcak patlatma test sonuçları 557 bar’a kadar çıkmaktadır.

Tablo 5.8: Sıcak patlatma test sonuçları



Aşağıdaki şekil 5.1’ de Conti marka fren hortumuna ait fotoğraf görülmektedir. Orijinal hortum firma’nın istediği şartlara maruz kalmış ve sızdırma göstermeksizin çevrimleri tamamlamıştır. Fren hortumu üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ile bu şartları geçen parametrelerin neler olduğunu anlamak üzere ciddi geri bildirimler verebilecek bir bench-mark çalışması yapılmıştır. Şekil 5.1’ deki hortum iki rakordan tutturulmak sureti ile çekme makinasına bağlanmış ve denemeler yapılmıştır.

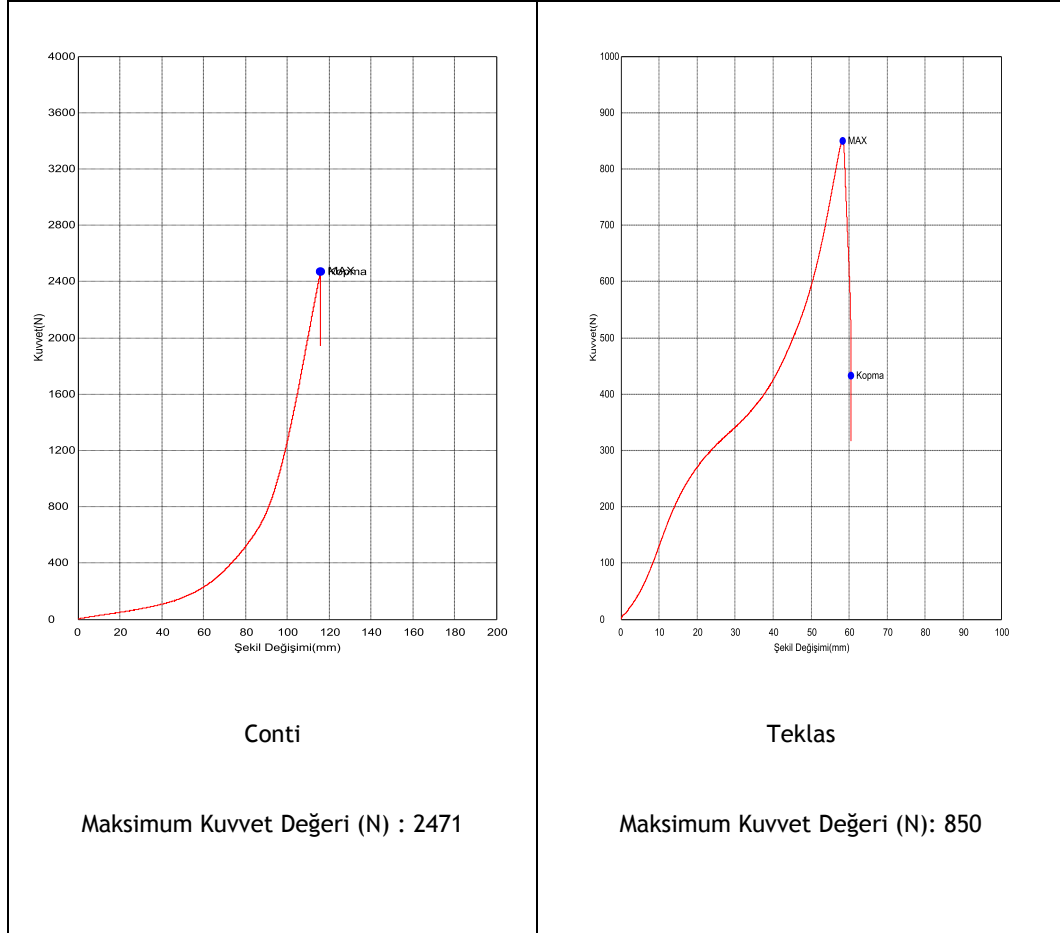


Şekil 5.1: Conti marka fren hortumu

Çekme deneyi sonrası elde edilen deneyler aşağıdaki tablo 5.9’ da verilmiştir. Görüldüğü üzere firma şartnamesine uygun denemeler sonrasında yapılan çekme

deneyi sonuçları hala oldukça yüksek değerlerdedir. Aynı şeklin yan tarafında TEKLAS A.Ş. ye ait, aynı çevrime maruz bırakılmış, bu çevrimler sonunda sızdırma tespit edilmiş, sızdırma hatası vermesinin ardından çekme deneyine tabi tutulmuş numunenin sonuçları yer almaktadır.

Tablo 5.9: Conti-Teklas firmasına ait numunelerin çekme deneyi sonuçları



Elde edilen bu tablo benchmark çalışmaları açısından son derece verimli olmuştur, zira elimizde başarılı bir model olması durumunda tersine mühendislik uygulamaları ile yeni ürün geliştirme aşamasında ciddi bilgiler edinilmiştir.

Conti marka fren hortumu, firma şartnamesine uygun olarak yapılan denemeler ile detaylı olarak incelenmiş ve hortumun yapısı ile deformasyon sonrası oluşan morfolojisi hakkında çok önemli bilgiler edinilmiştir. Aşağıdaki şekil 5.2’de de görüldüğü üzere çekme deneyi sonrası conti marka hortumda rakordan çıkma sonrası ciddi bir sıkma deformasyonu izine rastlanmıştır. Bu iz, hortumun yüksek oranda sıkılması sonrası, hortumun dış yüzeyinde oluşan bir deformasyon olarak

gözlemlenmiştir. Hortumun sağ tarafına yakın bölgesinde ise rakor içerisinde bir miktar (rakor iç çap-nipel arası bölge) hortumun sıkışıp kaldığı, diğer kısımların koptuğu gözlenmiştir. Herhangi bir sızdırma söz konusu olmadığı gibi fren sıvısının üst ve alt borular ile elyaf kumaş arasındaki ara yüzeylerde deformasyonlara yol açmadığı, çekme deneyi sonrasında sıyrılmaların oluşmamasından anlaşılmıştır.



Şekil 5.2: Çekme deneyi sonrası Conti marka fren hortumunun deformasyon sonrası morfolojisi

Aşağıdaki şekil 5.3’ de kopma kesitine yakın alınmış bir örnekte kauçuk üst ve alt boru, elyaf kumaş arasındaki ara yüzey mukavemetinde herhangi bir deformasyonun olmadığı anlaşılmaktadır. Bu şekilde de görüldüğü üzere ayrıca elyafların örgü konfigürasyonuna ilişkin bilgiler edinmek de mümkündür.



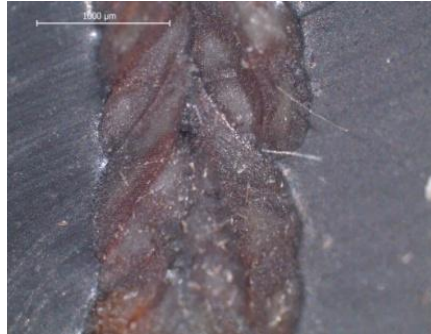
Şekil 5.3: Çekme deneyi sonrası kopma kesitine yakın alınmış bir örnek

Şekil 5.4’ de görüldüğü üzere conti marka hortumda oluşması muhtemel ara yüzey hasarlarına ilişkin bir değerlendirme yapmak üzere fotoğraf alınmıştır. Bu fotoğrafta firma şartnamesine uygun olarak denemelerin yapılmasının ardından ciddi bir kauçuk üst/alt boru ve elyaf kumaşlar arasında ara yüzey deformasyonuna rastlanmamıştır. Bunun yanı sıra elyaf demetleri arasında bir miktar açılmalar gözlenmiştir. Fakat hortumun yapısal olarak sağlam olduğunun bilinmesinden hareketle bu hasarların gerçekleştirilen çekme deneyleri esnasında oluştuğunu söylemek mümkün olabilir.



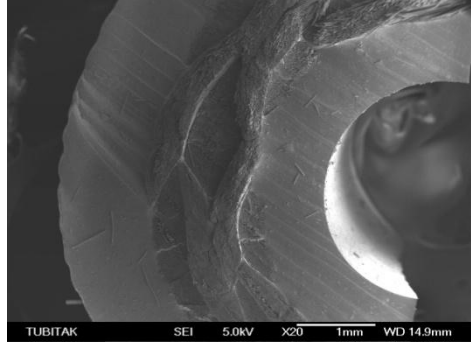
Şekil 5.4: Conti marka hortumda oluşması muhtemel ara yüzey hasarlarına ilişkin fotoğraf

Şekil 5.5’ de aksel olarak kesilmiş olan conti hortumun resmi görülmektedir. Özellikle nipel üzerinden gelen fren sıvısının elyaflar üzerinden ilerleyerek sızması ihtimali söz konusu olduğundan elyaf/kauçuk boru arasındaki ara yüzeyde sorun olma ihtimali yüksektir. Fotoğrafik incelemeden anlaşıldığı üzere hortum üzerinde görünür bir ara yüzey deformasyonu oluşmamıştır. Aynı şekilde elyaf örgü katları arasında ve elyaf demetleri arasında bir ayrışma tespit edilmemiştir. Diğer yandan aksel olarak alınan bu kesit yardımı ile rakip hortumun örgü konfigürasyonuna ilişkin bilgiler edinilmiştir.



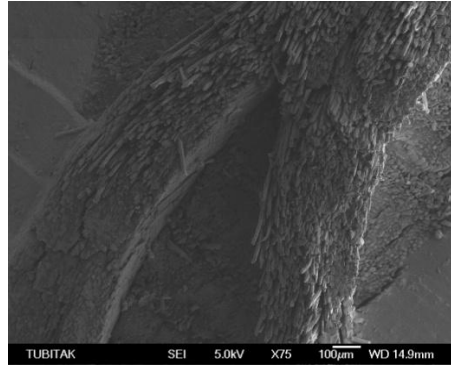
Şekil 5.5: Conti marka fren hortumun aksel olarak kesilmiş olan resmi

Conti marka fren hortumlarının yapılarının detaylı incelenmesi amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmaları yapılmıştır. Şekil 5.6’da genel görüntüsü verilen conti marka fren hortumunun özellikle alt ve üst boru ile elyaflar arasında herhangi bir ara yüzey ayrışmasının söz konusu olmadığı anlaşılmaktadır. Bu büyütme oranı itibarı ile elyaf örgü doku içerisinde de herhangi bir delaminasyon ve hasarlanmanın söz konusu olmadığı görülmektedir.



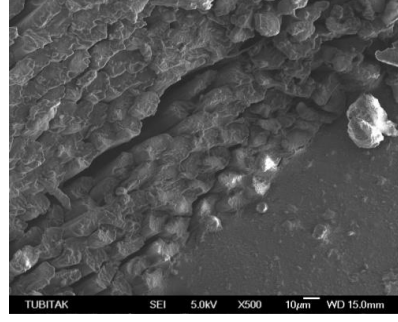
Şekil 5.6: Conti marka fren hortumlarının taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmaları

Şekil 5.7’ de özellikle üst boru ile elyaf ara yüzeyi ve elyaf örgü yapısı görülmektedir. Anlaşıldığı üzere elyaf kumaş ile üst boru arasındaki ara yüzeyde ciddi bir ara yüzey dayanımı söz konusudur. Bu ara yüzeye sızmış ve bu ara yüzeyde fren sıvısının delaminasyona yol açtığı ya da bağ oluşumunu zayıflattığına ilişkin bir sonuç elde edilmemiştir. Görüldüğü kadarı ile elyaf demetlerinin birbiri arasındaki mesafelerde, örgü demetleri arasındaki yapışma ve morfolojilerinde olağan dışı bir yapı söz konusu değildir.



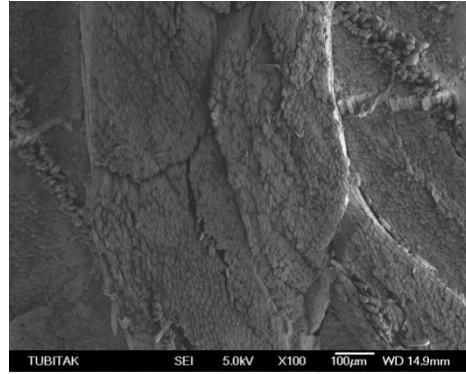
Şekil 5.7: Elyaf kumaş ile üst boru arasındaki ara yüzey yapısı

Conti marka fren hortumuna ilişkin aşağıdaki diğer şekil 5.8’ de yaklaşık 10-15 mikrometrelik çaplara sahip elyafların kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bu hortumun gerçek çalışma şartlarına maruz kaldığı düşünülürse fren hortumu eksenine boyunca sızması muhtemel fren sıvısının yaratacağı etkiler incelenmiştir. Özellikle elyaf dokusunda korozif fren sıvısına maruz kalma neticesi oluşmuş morfolojik bir farklılığa rastlanmamıştır. Elyaf lar orijinal yapılarını muhafaza etmektedirler.



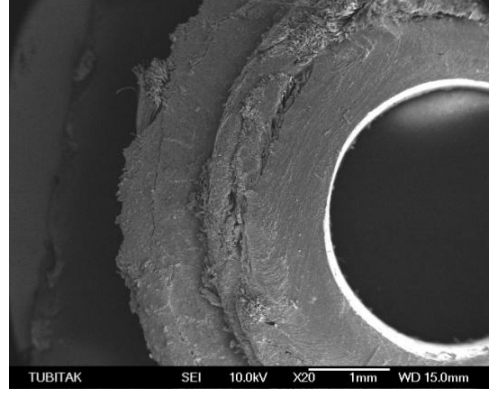
Şekil 5.8 Korozif fren sıvısına maruz kalan elyaf dokunun yapısı

Aynı fren hortumuna ait aşağıdaki şekil 5.9’ da elyaf demetleri arasında bulunan delaminasyonların çekme cihazında rakorun-fren hortumundan çıkarılması ve görüntüleme çalışmaları yapmak üzere hortumun kesilmesi nedeni ile oluştuğu anlaşılmıştır. Yüksek büyütme oranları altında elyaf yüzeylerine bakıldığında morfolojik olarak herhangi bir değişim olmadığı, bunun da fren sıvısı etkileşimi sonunda delaminasyon oluşumu olarak yorumlanmaması gerektiği düşünülmektedir.

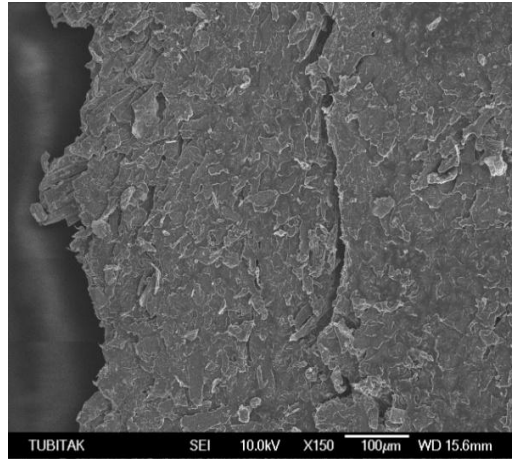


Şekil 5.9: Elyaf demetleri arasında bulunan delaminasyonlar

Aşağıdaki Şekil 5.10’ da Conti hortum ile aynı şartlara maruz kalmış ve iyileştirme/geliştirme çalışmaları öncesi konfigürasyona ait TEKLAS hortumu görülmektedir. Bu hortumun firmanın şartnamesi kapsamında yapılan denemelerde rakor bağlantısı olan bölgeden sızdırdığı bilinmektedir. Bu durumda oluşan sızdırmanın mekanizmasının, fren sıvısının hortum içerisindeki ilerleme mekanizmalarının ve yapı içerisinde oluşturduğu yapısal değişimlerin incelenmesi için aşağıdaki şekil SEM mikroskobunda oluşturulmuştur. Genel bir ifade ile alt ve üst boru ile elyaf kumaş arasında, aynı zamanda elyaf kumaş içerisindeki fiber demetleri arasında delaminasyon oluşumlarına ilişkin izler gözlenmiştir. Aşağıdaki diğer resimlerde bu bölgeler daha yüksek büyütme oranları altında incelenmiştir.

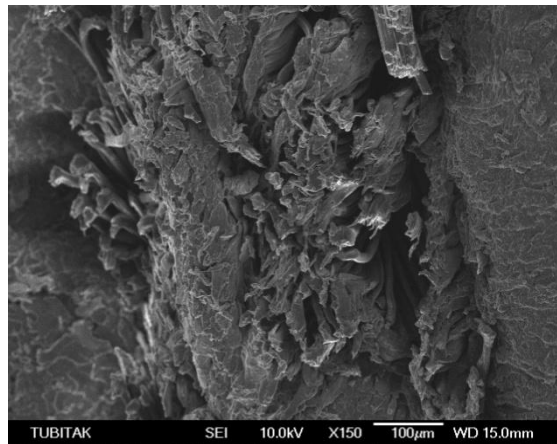


Şekil 5.10: TEKLAS Hortumu elyaf demetleri arasında bulunan delaminasyonlar



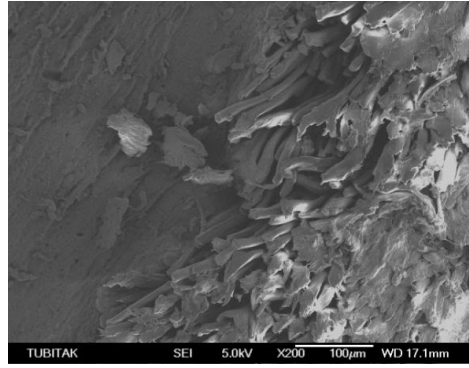
Şekil 5.11: Fren sıvısının sızması sonrası oluşan delaminasyonlar

Yukarıdaki fotoğrafta (Şekil 5.11) elyaf demetleri arasında fren sıvısının sızması sonrası oluşan delaminasyon ya da açılma görülmektedir. Demetler arasındaki ara yüzey mukavemetindeki azalmanın söz konusu olduğu anlaşılmaktadır.



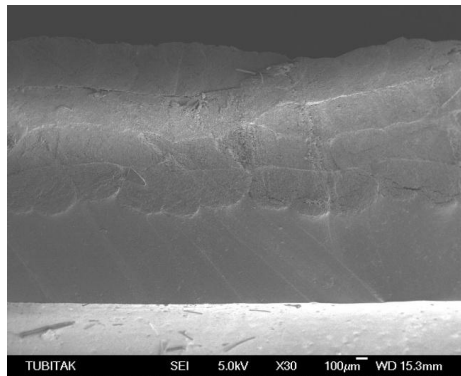
Şekil 5.12: Yüksek sıcaklıklarda fren sıvısının sızması sonrası elyaf demetlerde oluşan delaminasyon

Alt boru ile elyafın birleştiği bölge ve elyaf kumaş içerisindeki demetlerin fren sıvısına maruz kalması sonrası oluşan iç yapı yukarıdaki şekil 5.12’ de görülmektedir. Elyafların eksenı boyunca fren sıvısını üzerlerinden difüzyon ile ilettikleri ve deformasyona uğradıkları anlaşılmaktadır. Fren sıvısının koroziif etkileri, difüzyon yolu ile yapı içerisinde ilerlemesi ve dekompozisyonlara yol açması ihtimalinin yanı sıra firma şartnamesindeki 160 °C lik yüksek sıcaklık yüklemelerinde PVA elyafların morfolojik olarak deformasyona ve bozunmaya uğramış olması kuvvetle muhtemeldir. Alt ve üst borular ile elyaf demetleri arasındaki ara yüzeylerde, aynı zamanda elyaf kumaş içerisindeki elyaf demetleri arasında elyafların yüksek sıcaklıklarda deforme olmasına ilişkin izlenimler edinilmiştir.



Şekil 5.13: Yüksek sıcaklık ve fren sıvısına maruz elyafların morfolojisi

Yukarıdaki şekil 5.13’ de elyafların yüksek sıcaklık ve fren sıvısının koroziif mekanizmalar ile etkilemesi sonrası elyaf morfolojisinin conti marka fren hortumdakilerden daha farklı olduğu, elyafların eksenleri boyunca oluşan deformasyonlar açıkça görülmektedir.

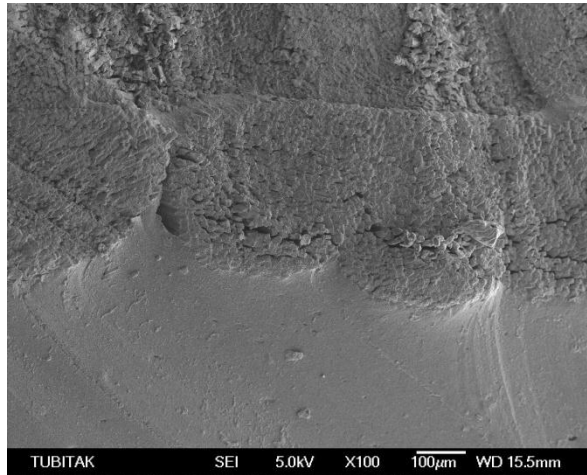


Şekil 5.14: TEKLAS hortumuna ilişkin yapılan SEM çalışması görüntüsü

Yukarıdaki fotoğrafta (Şekil 5.14) sızdırmış TEKLAS hortumuna ilişkin yapılan SEM çalışması görüntüsü verilmektedir. Görüldüğü üzere üst boru ile elyaf kumaş arasında bir delaminasyon söz konusudur. Bu delaminasyonun sızdırma sonrası yapılan çekme deneyi esnasında zayıflayan arayüzeyin delaminasyona uğraması şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 5.15: Alt boru ile elyaf ara yüzeyine yakın demetler içerisindeki elyaflarda açılma  
Kauçuk üst boru/elyaf ara yüzeyi arasında oluşan delaminasyon dışında elyaflar içinde, boru arakesitinde ciddi deformasyonların söz konusu olmadığı görülmektedir.

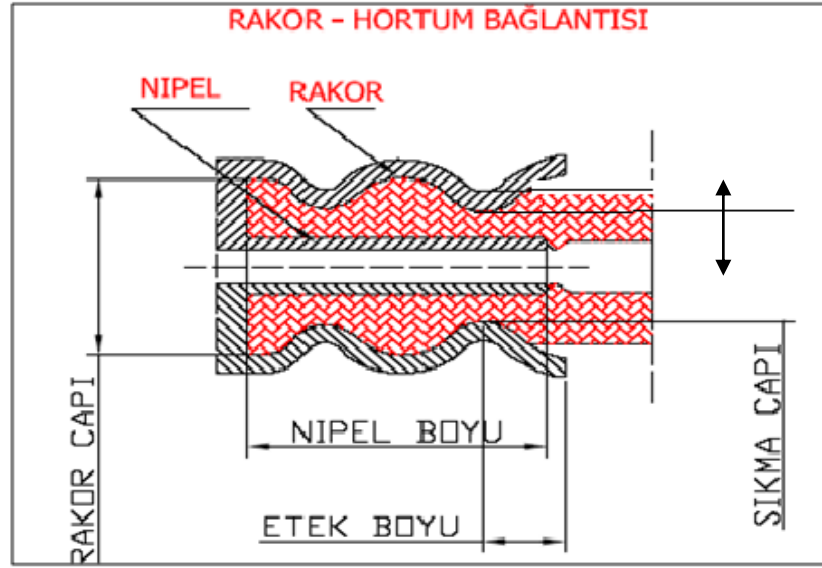


Şekil 5.16: Fren sıvısına maruz alt boru içerisindeki ara yüzey

Şekil 5.16’ da sızdırmış hortum alt borusu içerisindeki ara yüzey bölgesi incelendiğinde fren sıvısının bu bölgede bir delaminasyona yol açmadığı, elyaf – alt boru arasında bir zafiyet oluşmadığı görülmüştür. Bunun yanı sıra alt boru ile elyafın birleştiği ara yüzey ile elyaf kumaşın ara yüzeyine yakın demet içerisindeki elyaflar arasında bir açılma gözlenmiştir(Şekil 5.15). Fakat bu durumun da çekme deneyi

esnasında gerçekleşmesi muhtemeldir. Elyafların fren sıvısının sızması neticesi morfolojik olarak değişim gösterdiğine dair ize rastlanmamıştır.

Teklas'ın seri üretiminde kullanmakta olduğu standart hortum referans alınarak, (hortum tip ve serisine bağlı olarak) rakor tipi ve sıkma yapısı aşağıda gibi tanımlanmıştır.



Şekil 5.17: Rakor-Hortum bağlantısı

Tablo 5.10: TEKLAS' ın seri üretimde kullanılan standart hortumların rakor ölçü ve sıkma parametreleri

| Çapı Değiştirilmiş Rakor Tipleri |                     | Seri  | DEN-1 |       | DEN-2 |       |
|----------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Rakor Ölçüleri                   | Rakor İç Çapı (mm)  | 11,1  | 10,80 | 10,80 | 10,40 | 10,40 |
|                                  | Nipel Dış Çapı (mm) | 3,6   | 3,6   | 3,6   | 3,6   | 3,6   |
|                                  | Nipel Boyu (mm)     | 16,65 | 16,65 | 16,65 | 16,65 | 16,65 |

Tablo 5.10: (Devam) TEKLAS' ın seri üretimde kullanılan standart hortumların rakor ölçü ve sıkma parametreleri

| Çapı Değiştirilmiş Rakor Tipleri |                                             | Seri        | DEN-1                          |                         | DEN - 2      |                |
|----------------------------------|---------------------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------------------|--------------|----------------|
| Sıkma Parametreleri              | Sıkma Çapı (mm)                             | 10,2        | 10,1                           | 10,3                    | 10,1         | 10,40          |
|                                  | Etek Boyu (mm)                              | 6,5         | 6,5                            | 6,5                     | 6,5          | 6,5            |
| Test Sonuçları                   | Çekme Test Sonucu (N)                       | 3000 ± 150  | 3150                           | 2990                    | 2300         | 2850           |
|                                  | Sıcak Çekme Test Sonucu (N)                 | 1100 – 1300 | 1250                           | 1150                    | Yapılmadı    | 1050           |
|                                  | Ömür Test Sonucu (160 C deki çevrim sayısı) | 8 ± 2 Döngü | 5 – 9 Döngü / 8 Hortum         | 8 – 11 Döngü / 8 Hortum | 2 – 4 Döngü  | 4-7 Döngü      |
|                                  | Whip Test Sonucu                            | >250 saat   | Min: 145 saat ; max: >250 saat | > 250 saat              | 25 – 45 saat | 150 – 190 saat |
| Değerlendirmeler                 |                                             |             | Bknz Not-1                     | Bknz Not-2              | Bknz Not-3   | Bknz Not-4     |

Whip Testi fren hortumunun (ilk geçtiği yerde) 235 psi (16,35 kg/cm<sup>2</sup>) basınç altında 35 saat süre ile 800 d/dk dairesel olarak hareket ettirilmesidir.

Rakor iç çapını düşürme yaklaşımı, rakor sıkma boşluğu içindeki hacmi daraltarak, sıkma sonrasında sadece çenelerin altında değil tüm rakor sıkma bölgesi içinde bir basınç oluşturmak ve böylece hortumun rakor içinden çıkmasını zorlaştırmaktır.

(DEN-1 Rakor ve 10,1 mm sıkma apı):

Rakor apı 0,3 mm düşürlmüş, sızdırmazlık ve doldurma etkisinin artırılması maksadıyla sıkma çapı seri seviyeye göre 0,1 mm düşürlmüşür.

Rakor kesilerek yapılan incelemede rakor iç hacminin daha iyi dolduğu ancak hala boşluk kaldığı görülmektedir.

Çekme test sonucu orijinal numunelere göre hafif bir artış gösterir iken whip test sonucu düşmüştür (145 saat) Whip test sonucundaki düşüşün, sıkma çapının düşürlmesinden dolayı iplik yapısının sıkma bölgesinde daha fazla deforme olmasından kaynaklandığı öngörlmüş ve sıkma çapı artırılarak denemelere devam edilmesi kararlaştırılmıştır.

Diğer test sonuçları seri (orijinal numuneler) seviyeye yakındır.

Ömür test performansında (QV34003/160 °C lik test) belirgin bir iyileşme olmamıştır.



Şekil 5.18: Seri üretim seviyesinde sıkılmış rakor (referans)



Şekil 5.19: 10,80 mm çapında ve 10,1 mm ye sıkılmış rakor (DEN-1)

DEN-1 ve 10,30 mm sıkılmış rakor:



Şekil 5.20: 10,8 iç çapına sahip ve 10,30 mm ye sıkılmış rakor kesiti (DEN-2)

Sıkma çapı 10,30 mm ye çıkarılan hortumda Whip test sonucu düzelmiş (>250 saat) ve ömür test sonucu hafifçe artmıştır.

Çekme test sonuçlarında hafif bir düşme gözlenmiştir fakat bu düşüş şartnamede belirtilen değerlere göre çok yüksekte olduğumuzdan tehlike taşımamaktadır.

Ömür testindeki iyileşme yetersizdir rakor çapını 10,8 mm ye indirmek tek başına çözüm olmamıştır.

10,40 mm iç çapında ve 10,10 mm ye sıkılmış rakor:

İlk denemeler rakoru 10,10 mm ye sıkarak gerçekleştirildi.

Tüm test sonuçları belirgin biçimde kötüleşti.

Sorun, rakor sıkma sırasında rakor boşluğunu tamamen doldurup dışarıya akma eğilimi göstermesi ve bu sırada hem örgü yapısının bozulması hem kauçuğun aşırı kayma gerilmelerine maruz kalması olarak özetlenebilir.

Rakor sıkma sırasında kauçuk hortumun 2,5 mm uzadığı görülmüştür. Bu uzama miktarına sıkma bölgesinden dışarı kaçan kauçuk sebep olmaktadır.

İçeride oluşturulan basıncın, yapının (hortum) taşıyabileceğinden daha fazla olduğu düşünülerek sıkma çapının artırılmasına karar verildi.



Şekil 5.21: 10,40 mm çapında rakor

10,40 mm çapında ve 10,40 mm ye sıkılmış rakor

Genel olarak 10,10 mm lik sıkma çapına göre iyileşme olduysa da referanstan daha kötü sonuçlar ile karşılaşıldı.

Çekme test sonucundaki düşüş kısıtlı kalır iken ömür testindeki düşüş daha belirgin idi. Bu durum aşağıdaki gibi açıklandı:

Rakor sıkma çapının genişletilmesi, sıkma profilinin tam altında gerçekleşen maksimum basıncı düşürmüştür. Bu durum hem whip hem ömür testi performansını kötü etkilemiştir.

Rakor sıkma bölgesinin daraltılması genel olarak rakor-hortum temas yüzeyini ve bu yüzeyden hortuma iletilen yükü artırmıştır. Bu artış, rakor sıkma çapının artırılmasından kaynaklanan basınç kaybının çekme testinde görülmesini zorlaştırmıştır.

Nipel uzunluğunu artırmanın sızdırmazlık yüzeyini de artıracığı öngörülmüş ve bu doğrultuda getirtilen numuneler ile çalışmalara başlanmıştır.

Aşağıda farklı nipel boyuna sahip parçaların fotoğrafları görülmektedir.



Şekil 5.22: Seri rakor (Referans rakor)



Şekil 5.23: DEN-3 (3 yivli ve 19 mm. boya sahip)



Şekil 5.24: DEN-4 Rakor (3 yivli ve 21 mm. boya sahip)

Tablo 5.11: Nipel uzunluğu değiştirilmiş rakor tiplerine ait test sonuçları

| Nipeli değiştirilmiş rakor tipleri |                                             | Seri        | DEN - 3                 | DEN - 4                 |
|------------------------------------|---------------------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|
| Rakor Ölçüleri                     | Nipel Yiv sayısı                            | 6           | 3                       | 3                       |
|                                    | Nipel Dış Çapı (mm)                         | 3,6         | 3,6                     | 3,6                     |
|                                    | Nipel Boyu (mm)                             | 16,65       | 19                      | 21                      |
| Test Sonuçları                     | Çekme Test Sonucu (N)                       | 3000 ± 150  | 3150                    | 3250                    |
|                                    | Sıcak Çekme Test Sonucu (N)                 | 1100 – 1300 | 1250                    | 1400                    |
|                                    | Sıcak Patlatma (170 °C de patlatma)         | 420 ± 20    | 470 ±30                 | 520 ± 30                |
|                                    | Ömür Test Sonucu (160 C deki çevrim sayısı) | 8 ± 2 Döngü | 11-14 –Döngü / 8 Hortum | 13– 17 Döngü / 8 Hortum |
|                                    | Whip Test Sonucu                            | >250 saat   | >250 saat               | > 250 saat              |

Değerlendirmeler:

Sızdırmazlık yüzeyinin artması yaklaşımı olumlu sonuç vermiştir. Hemen tüm test sonuçlarında iyileşme gözlenmektedir.

Ömür test sonucunda ilk defa sızdırma şeklinde (Den-4; 7 adet hortum yerinden çıktı, 1 adet hortum sızdırdı) hata tipine rastlanmıştır. Bu zamana kadarki hata modlarının tamamı rakorun yerinden çıkması şeklinde gerçekleşmiştir.

Test edilen tüm hortumlar 10,2 mm sıkma çapına sahiptir.

Tablodaki değerler, denenen farklı etek boyuna sahip denemeler içinde en iyi sonucu verenlere aittir. Etek boyu seriüretime göre 1mm uzatılmıştır.

Etek boyunun seri üretimle aynı yapılması sınırlı bir iyileşme sağlamıştır. Etek boyunun 1mm den fazla uzatılması ise nipel alt boruya gömülmesini kolaylaştırmış ve whip performansını 250 saatin altına düşürmüştür.

Fren hortumları her iki tarafında istenilen denemelerin yapılacağı rakorların monte edilmiş halleri ile test edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 5.25’ de Test edilen “Den 1” Kodlu fren hortumlarının bir kısmı görülmektedir. Her birinde aynı rakorlar kullanılmış olup, 208, 211 vb farklı hortum denemeleri test edilmiştir.



Şekil 5.25: “Den 1” kodlu çekme numuneleri



Şekil 5.26: “Den 2” kodlu çekme numuneleri



Şekil 5.27: “Den 3” kodlu çekme numuneleri



Şekil 5.28: “Den 4” kodlu çekme numuneleri

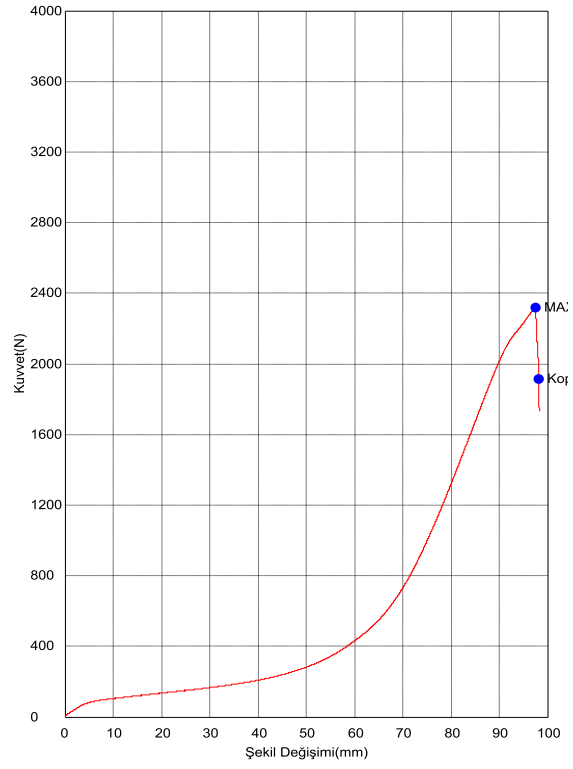
Şekil 5.29’ da rakor-hortum bağlantılarının test edildiği çekme makinesi ve geliştirilen aparatlar görülmektedir. Şeklin arka planında kalan sıcaklık hücresi içerisinde çekme deneylerinin yapılması söz konusudur. Düşük ve yüksek sıcaklıklar arasında deneylerin yapılması söz konusudur.

Altı çizilecek en önemli noktalardan biri, yüksek sıcaklıklardaki deneysel sonuçlar ile yüksek sıcaklıklardaki basınçlı fren sıvıları ile çalışma şartlarına yakın ortamlarda yapılan testler arasında ciddi bir korelasyon tespit edilememiştir. Yüksek sıcaklıklarda termal genleşmelerin etkisi ile hortum-rakor arasındaki basınçta zafiyet söz konusu olmaktadır. Çekme sonuçları elbette ki beklenildiği gibi düşük çıkmaktadır. Fakat içerisinde fren sıvısı olan ve çalışma şartlarında (yüksek sıcaklıklarda) denenilen hortumlarda özellikle termal genleşme ile birlikte yüksek sıcaklıklarda aktivasyonu artan sıvının hortumun iç yapısına sızması, rakor-nipel ara yüzeyinde ilerlemesi, hatta radyal olarak hortum malzemesi içerisine difüzyonu neticesi çok daha düşük mukavemet değerleri elde edilmektedir. Bu nedenle çekme deneyinde bulunan değerler (kuru ortamda, fren sıvısı bulunmayan şartlarda yapılan çekme testleri) çok anlamlı olmamaktadır. Deneysel sonuçlar sıralandığında anlamlı bir veri yüksek sıcaklıklarda yapılan çekme deneyleri sonunda elde edilememiştir. Bu durumda ilk etapta oda sıcaklığındaki deneyler ve sonuçları analiz edilmiştir.

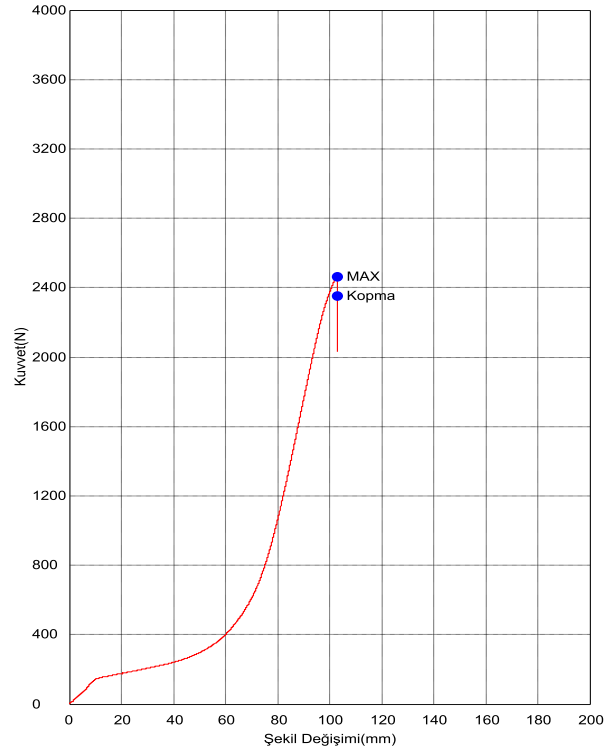


Şekil 5.29: Çekme testlerinin yapıldığı cihaz

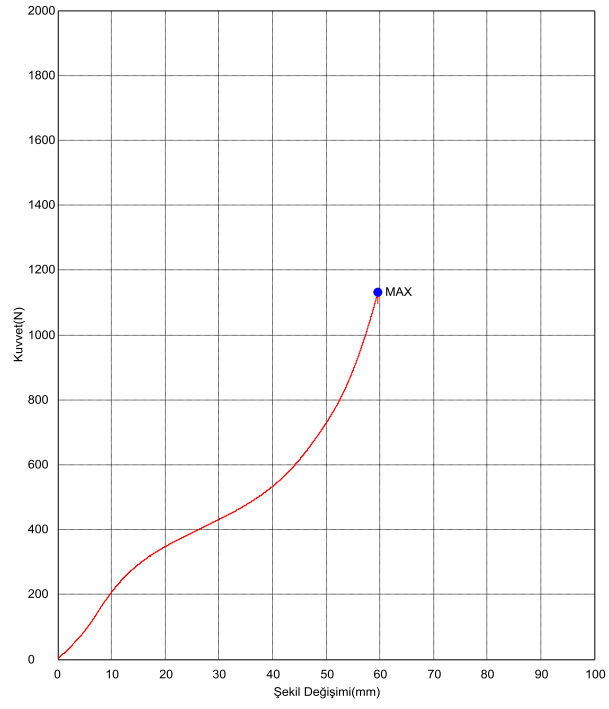
Tablo 5.12: Den 1-208/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



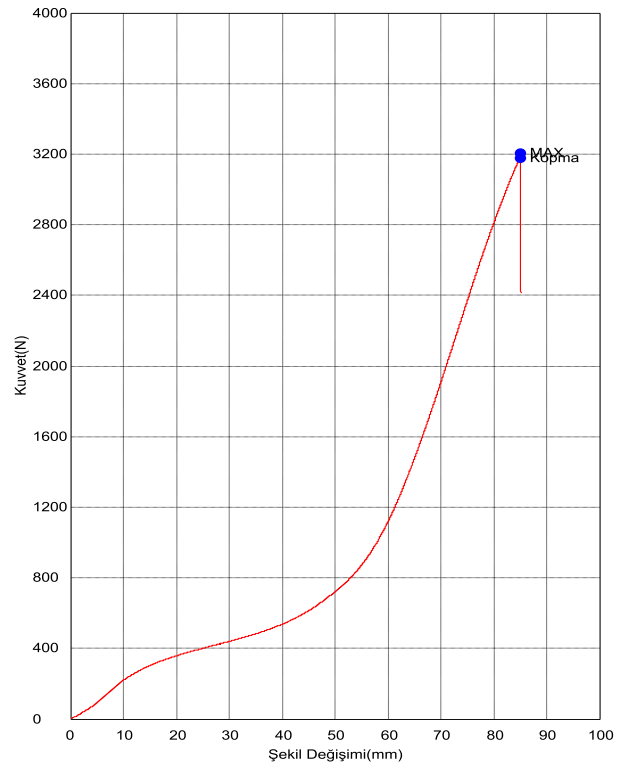
Tablo 5.13: Den 1-208/2 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



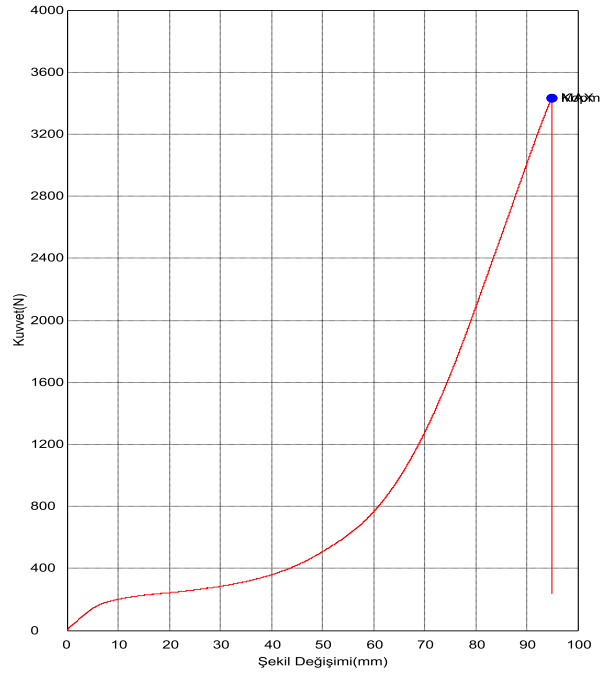
Tablo 5.14: Den 1-211/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



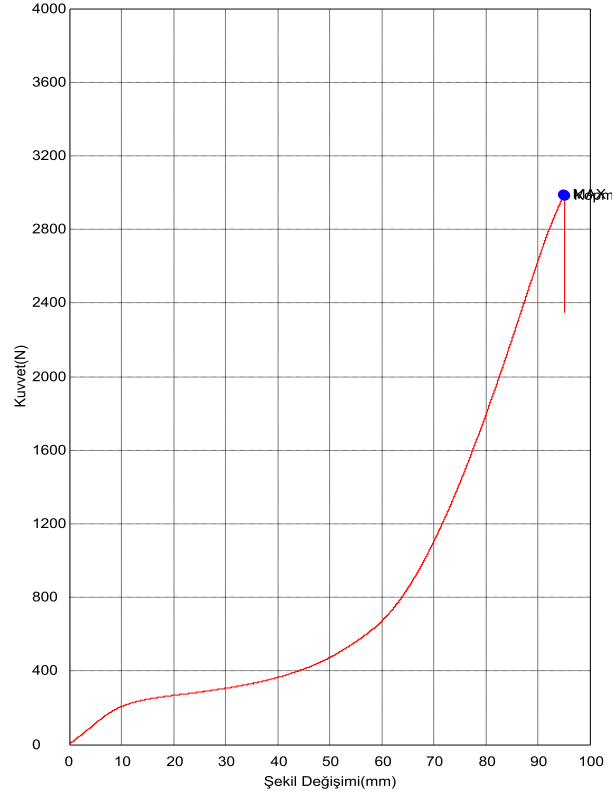
Tablo 5.15: Den 1-211/2 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



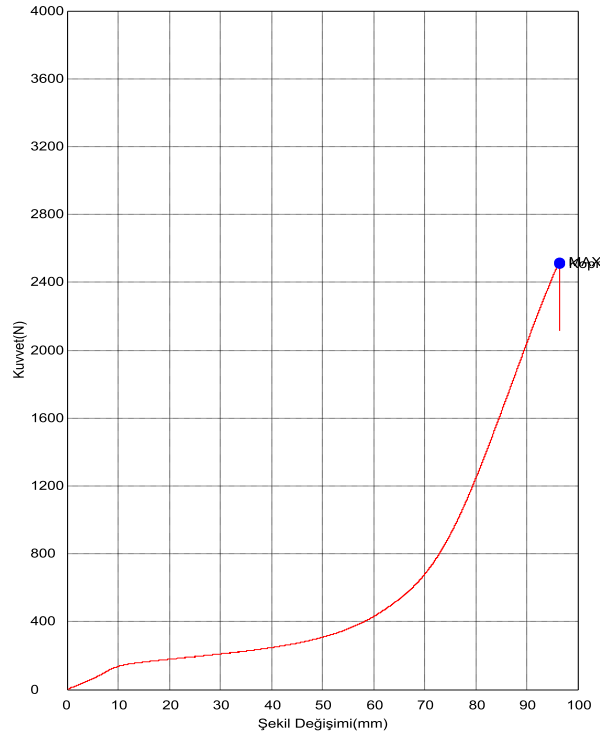
Tablo 5.16: Den 1-216/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



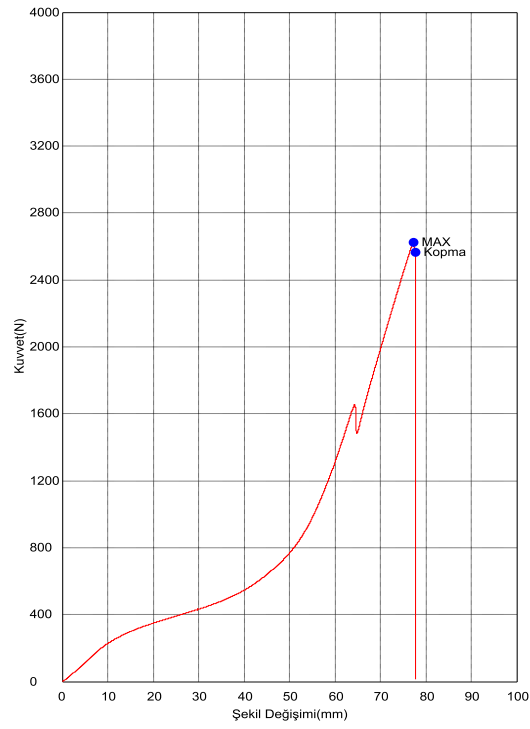
Tablo 5.17: Den 1-217/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



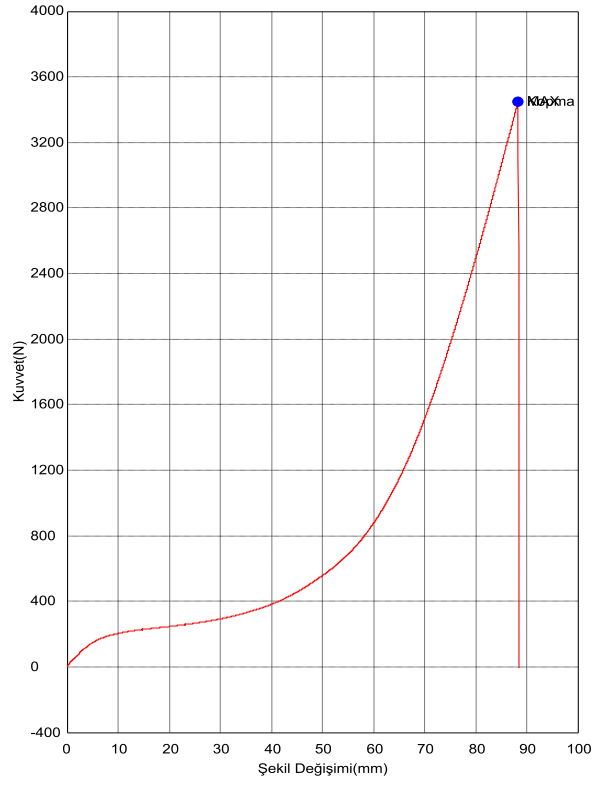
Tablo 5.18: Den 2-208/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



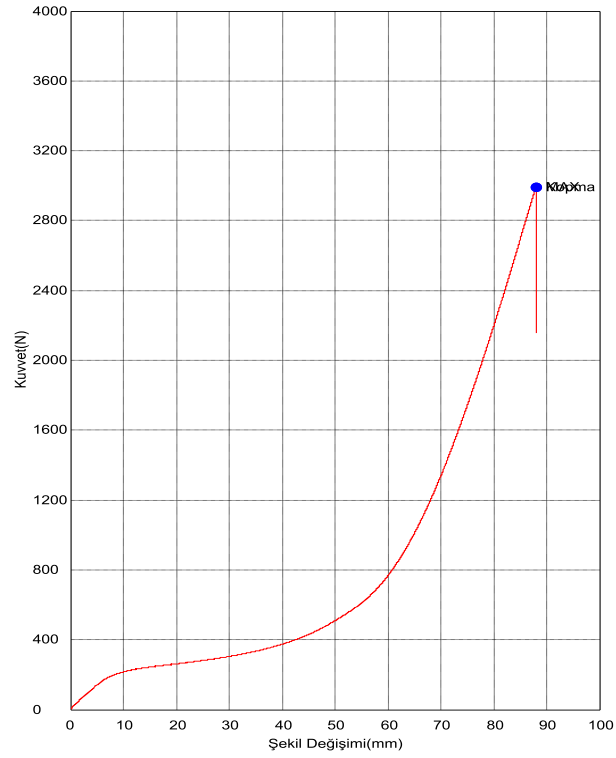
Tablo 5.19: Den 2-211/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



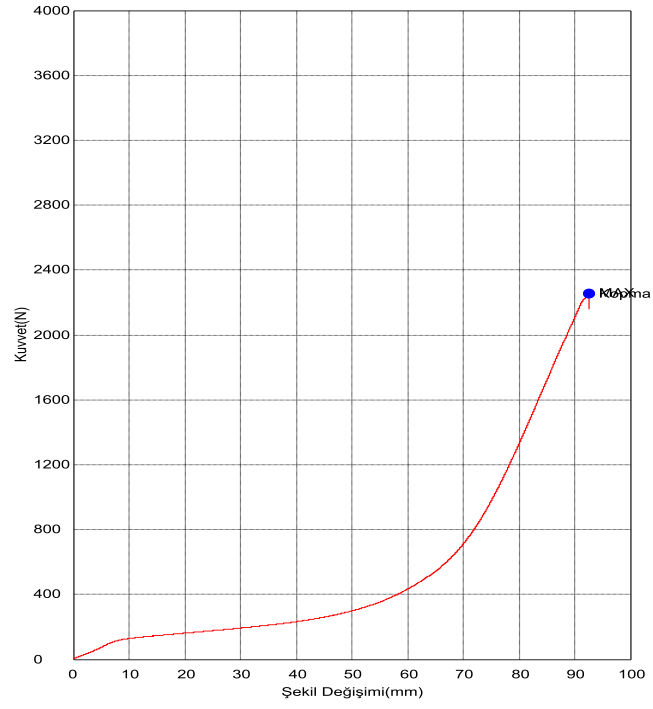
Tablo 5.20: Den 2-216/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



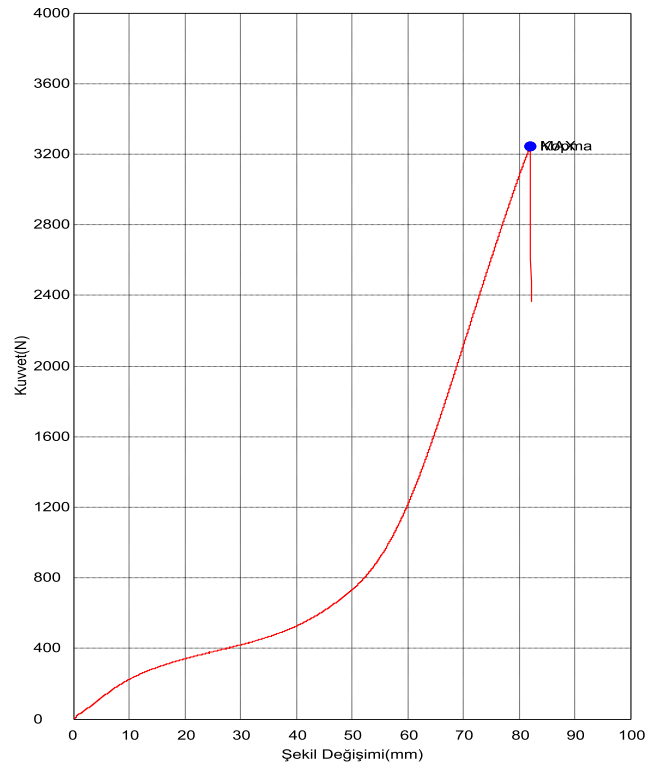
Tablo 5.21: Den 2-217/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



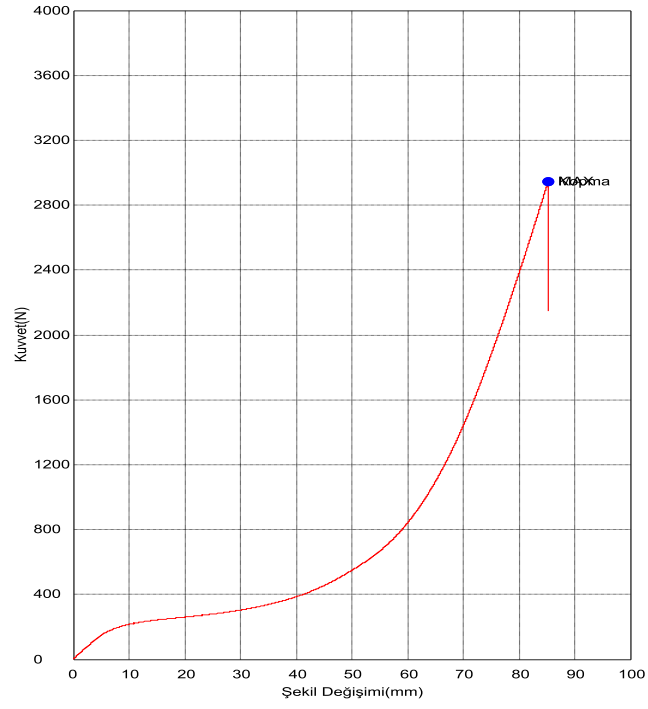
Tablo 5.22: Den 3-208/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



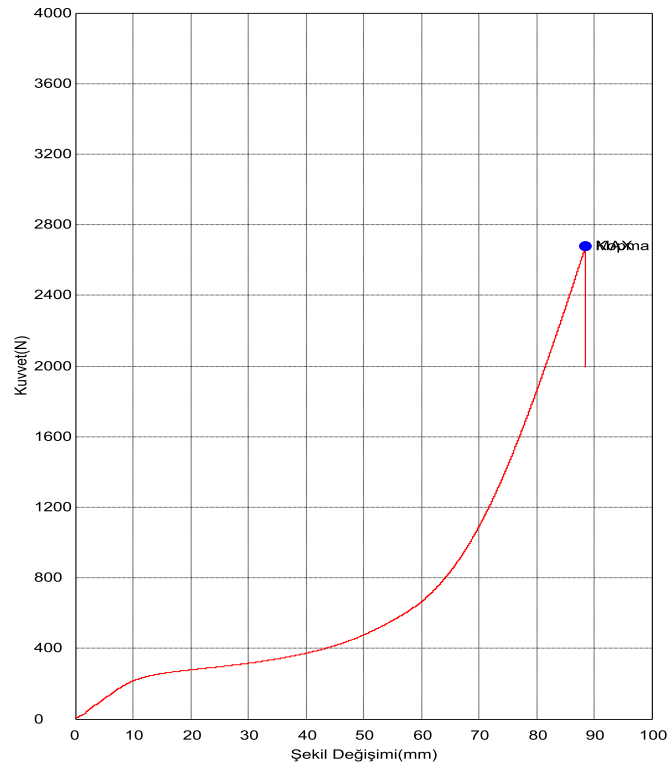
Tablo 5.23: Den 3-211/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



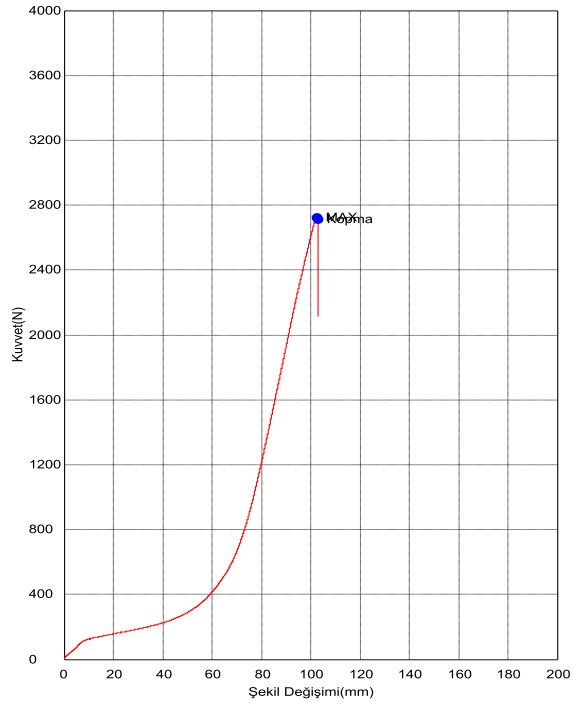
Tablo 5.24: Den 3-216/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



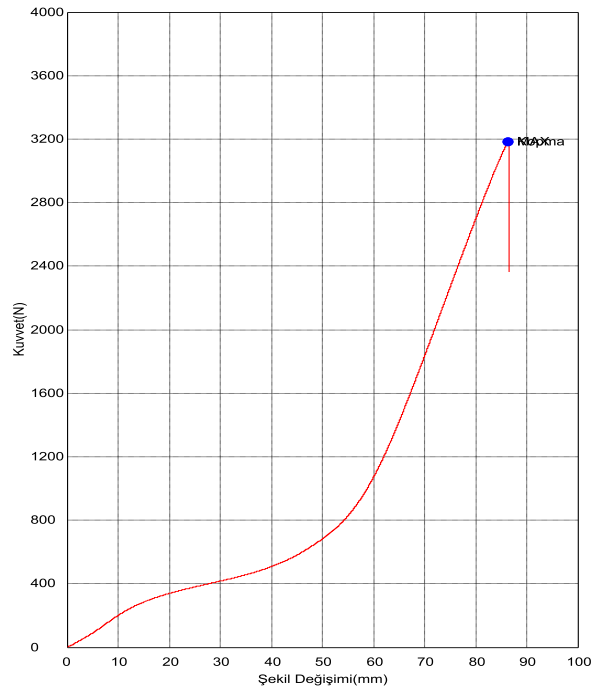
Tablo 5.25: Den 3-217/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



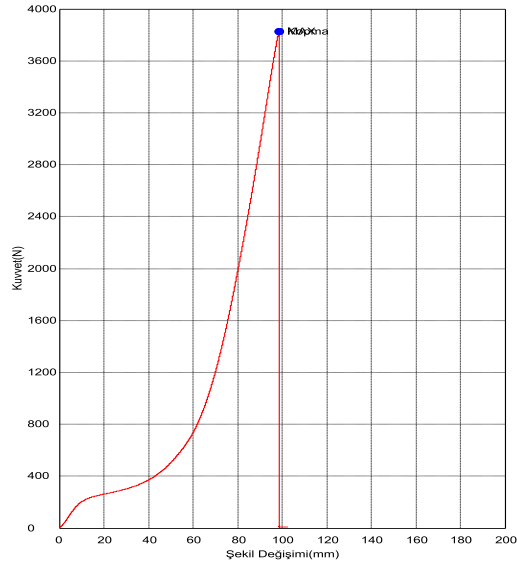
Tablo 5.26: Den 4-208/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



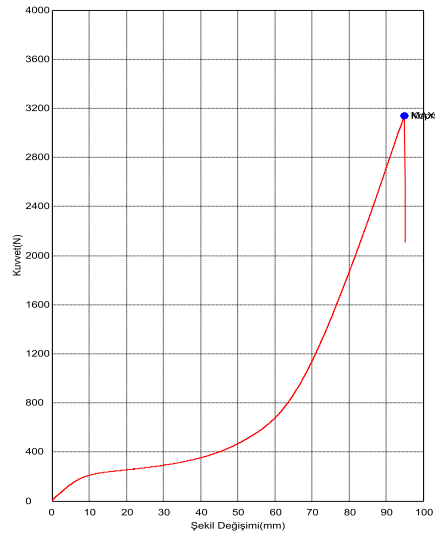
Tablo 5.27: Den 4-211/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



Tablo 5.28: Den 4-216/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



Tablo 5.29: Den 4-217/1 nolu numunenin çekme deneyi sonucu



Çekme deneyleri esnasında numuneler “Den 1-217” şeklinde kodlanmışlardır. “Den” denemenin kısaltılması olup, deneme yapılan rakorlara ilişkin verilen isimdir. Den ifadesinden sonra gelen 1 ila 4 arasındaki sayı yapılan 4 adet geliştirmeye ilişkin sıra numarasını belirtmektedir. Den-1 ifadesinden sonra gelen 3 rakamlı (217) sayı ise geliştirilen çeşitli hortum konfigürasyonlarını ifade etmektedir. Bu deneyler esnasında hem rakor bağlantılarında alternatif değişiklikler hem de fren hortumlarındaki yapısal konfigürasyon değişimleri test edilmiştir.

Tablo 5.30: Yerinden çıkma dayanımı ve kopma uzamalarına ilişkin deneysel sonuçlar

| Numune Kodu | Maksimum Kuvvet (N) | Kopma Uzaması (mm) |
|-------------|---------------------|--------------------|
| Den 1-208/1 | 2318,55             | 97,4460            |
| Den 1-208/2 | 2462,37             | 102,895            |
| Den 1-211/1 | 1131,54             | 59,6226            |
| Den 1-211/2 | 3177,95             | 85,0523            |
| Den 1-216/1 | 3431,96             | 94,9844            |
| Den 1-217/1 | 2987,74             | 95,0189            |
| Den 2-208/1 | 2516,05             | 96,3640            |
| Den 2-211/1 | 2622,43             | 77,2472            |
| Den 2-216/1 | 3449,56             | 88,3692            |
| Den 2-217/1 | 2989,74             | 87,9858            |
| Den 3-208   | 2256,74             | 92,5051            |

Tablo 5.30: (Devam) Yerinden çıkma dayanımı ve kopma uzamalarına ilişkin deneysel sonuçlar

| Numune Kodu | Maksimum Kuvvet (N) | Kopma Uzaması (mm) |
|-------------|---------------------|--------------------|
| Den 3-211   | 3241,83             | 82,1056            |
| Den 3-216   | 2941,97             | 85,2203            |
| Den 3-217   | 2676,05             | 88,5390            |
| Den 4-208   | 2720,98             | 102,554            |
| Den 4-211   | 3184,16             | 86,4223            |
| Den 4-216   | 3826,92             | 98,5556            |
| Den 4-217   | 3138,70             | 95,0295            |

DEN 1 Kodlu numunelerdeki kopma kuvvetine göre büyükten küçüğe sıralama

216 > 211 > 217 > 208

DEN 2 Kodlu numunelerdeki kopma kuvvetine göre büyükten küçüğe sıralama

216 > 217 > 211 > 208

DEN 3 Kodlu numunelerdeki kopma kuvvetine göre büyükten küçüğe sıralama

211 > 216 > 217 > 208

DEN 4 Kodlu numunelerdeki kopma kuvvetine göre büyükten küçüğe sıralama

216 > 211 > 217 > 208

208 nolu hortumda kopma kuvvetine göre büyükten küçüğe sıralama

Den 4 > Den 2 > Den 1 > Den 3

211 nolu hortumda kopma kuvvetine göre büyükten küçüğe sıralama

Den 3 > Den 4 > Den 2 > Den 1

216 nolu hortumda kopma kuvvetine göre büyükten küçüğe sıralama

Den 4 > Den 2 > Den 1 > Den 3

217 nolu hortumda kopma kuvvetine göre büyükten küçüğe sıralama

Den 4 > Den 2 > Den 1 > Den 3

Her bir rakor türü için hortum konfigürasyonlarının sıralaması:

Hortum konfigürasyonlarına göre yapılan sıralamada 216 kodlu hortumlar genelde en yüksek performansı, 208 kodlu hortumlar en düşük performansı göstermiştir.

Hortumların cinslerine göre rakor türlerinin sıralanması ise;

Den 4 en yüksek, Den 3 en düşük değerleri vermiştir.



Şekil 5.30: 208 nolu hortumlarda yerinden çıkma hasarları (düşük mukavemet)

Şekil 5.30’ da görüldüğü gibi numunelerde ağırlıklı olarak hortum yüzeyinde kalıcı plastik deformasyon gözlenmiştir. Rakor içerisinde kalan kısımdan kopan kumaş söz konusu değildir.



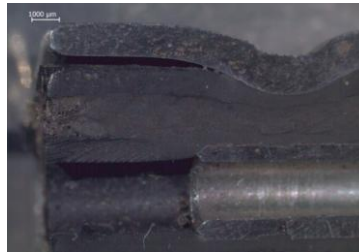
Şekil 5.31: 216 no.lu hortumlarda yerinden çıkma hasarları (yüksek mukavemet)

Rakor geometrilerinde en yüksek performanstan en düşük performansa doğru yapılan sıralamada makro fotoğraflar ile yapılan inceleme.

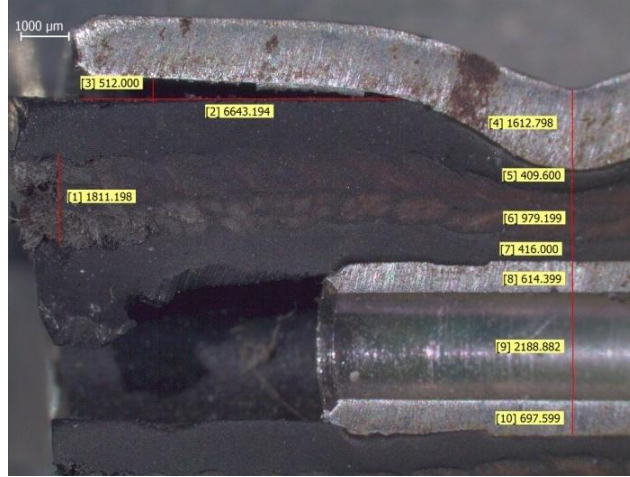
DEN 4 tipi rakorlar (En yüksek performans)



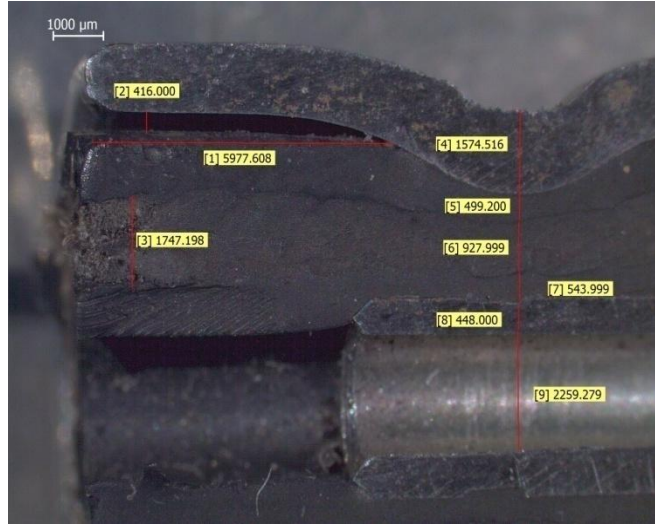
Şekil 5.32: Den 4 tipi rakor (basınçlı fren sıvısının giriş noktası)



Şekil 5.33: Den 3 tipi rakor (basınçlı fren sıvısının giriş noktası)



Şekil 5.34: Den 4 tipi rakor (basınçlı fren sıvısının giriş noktası)



Şekil 5.35: Den 3 tipi rakor (basınçlı fren sıvısının giriş noktası)

Tablo 5.31: Deney tiplerine göre rakor performans sonuçları

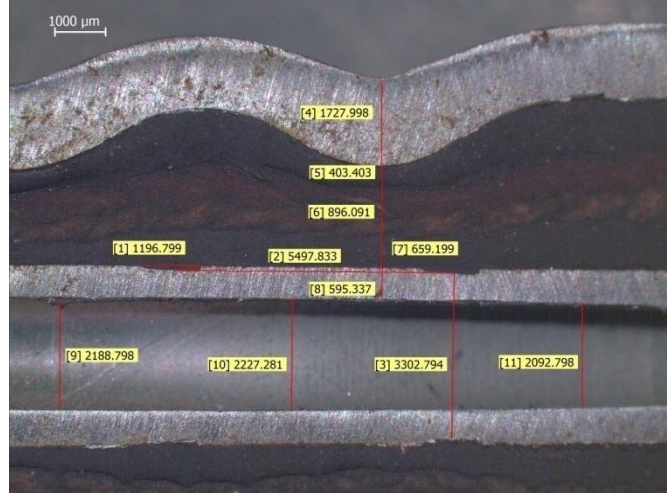
| En yüksek performans (DEN 4)               | En düşük performans (DEN 3)                |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Nipel girişindeki en dar boğumun kalınlığı | Nipel girişindeki en dar boğumun kalınlığı |
| 1804 mikrometre                            | 1969 mikrometre                            |



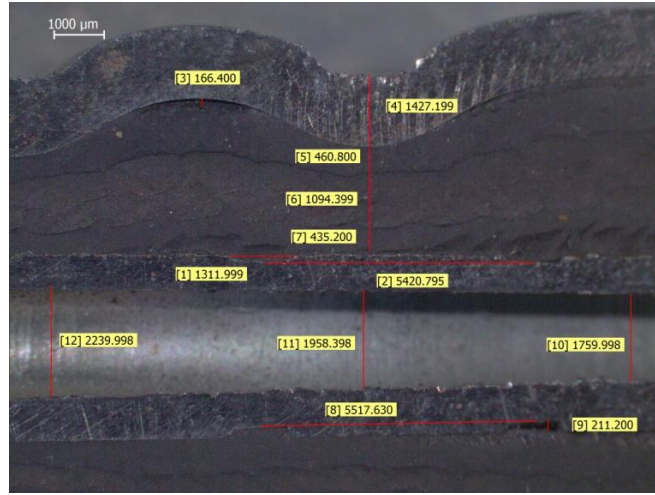
Şekil 5.36: Den 4 tipi rakor (2 nci boğum)



Şekil 5.37: Den 3 tipi rakor (2 nci boğum)



Şekil 5.38: Den 4 tipi rakor (2 nci boğum)



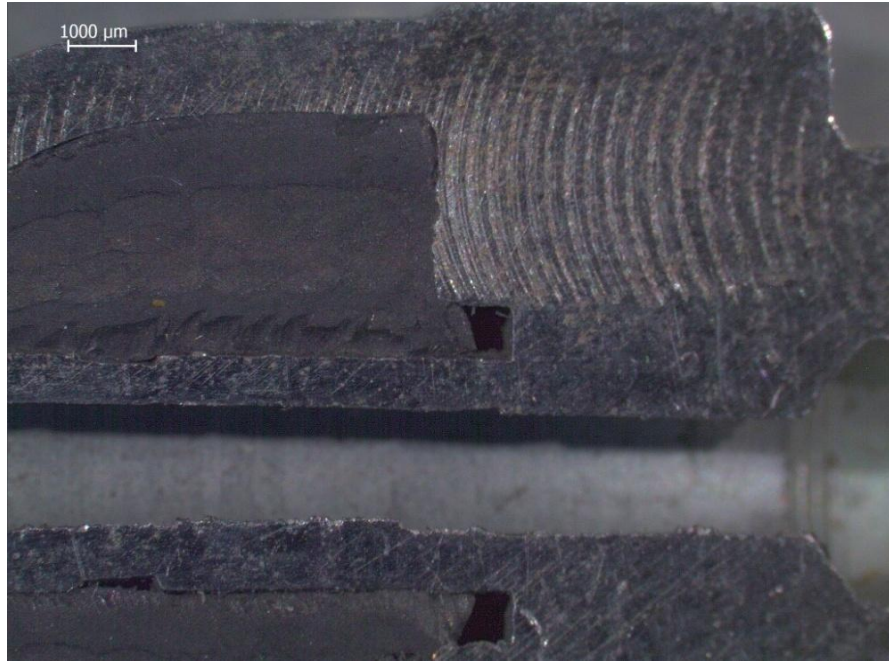
Şekil 5.39: Den 3 tipi rakor (2 nci boğum)

Tablo 5.32: Deney tiplerine göre rakor performans sonuçları

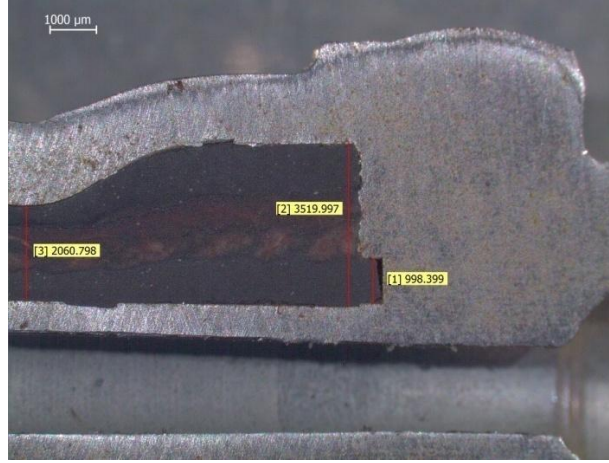
| En yüksek performans (DEN 4)                        | En düşük performans (DEN 3)                         |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Nipel girişinden sonraki 2nci dar boğumun kalınlığı | Nipel girişinden sonraki 2nci dar boğumun kalınlığı |
| 1958 mikrometre                                     | 1989 mikrometre                                     |



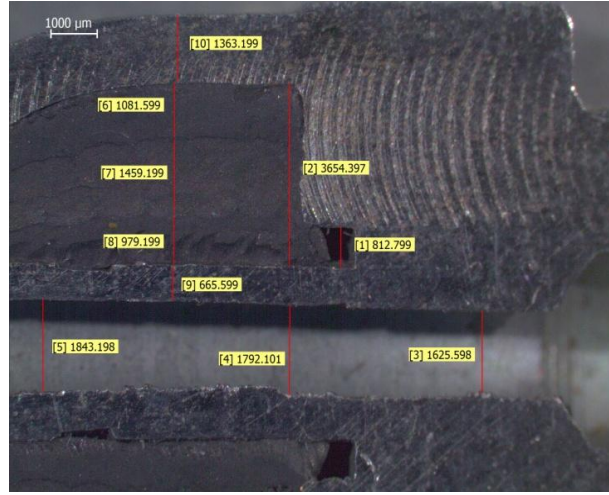
Şekil 5.40: Den 4 tipi rakor (Nipel sonu)



Şekil 5.41: Den 3 tipi rakor (Nipel sonu)



Şekil 5.42: Den 4 tipi rakor (Nipel sonu)



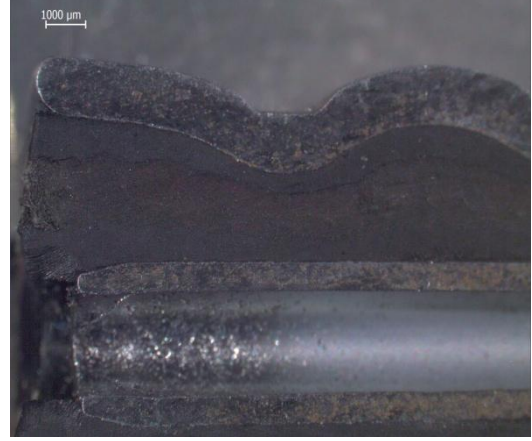
Şekil 5.43: Den 3 tipi rakor (Nipel sonu)

Tablo 5.33: Deney tiplerine göre rakor performans sonuçları

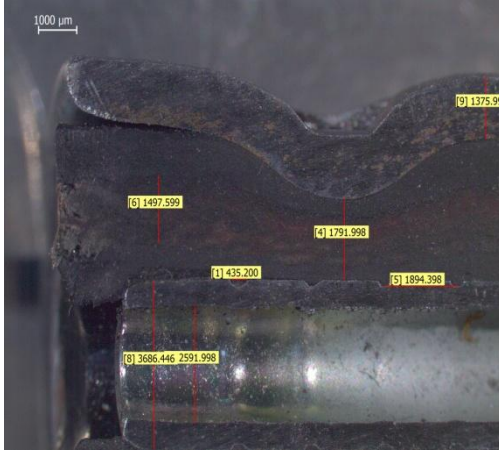
| En yüksek performans (DEN 4)          | En düşük performans (DEN 3)           |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Nipel sonundaki dar boğumun kalınlığı | Nipel sonundaki dar boğumun kalınlığı |
| 3519 mikrometre                       | 3654 mikrometre                       |



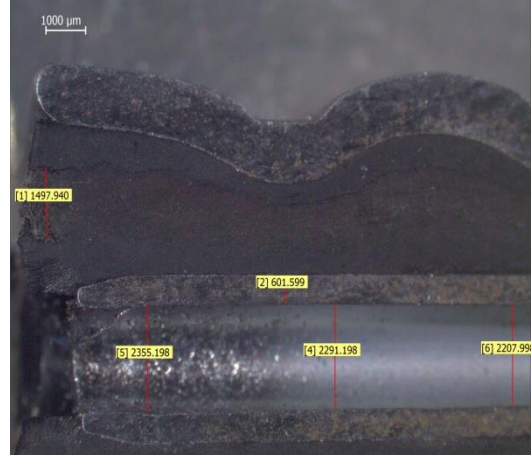
Den 1



Den 2

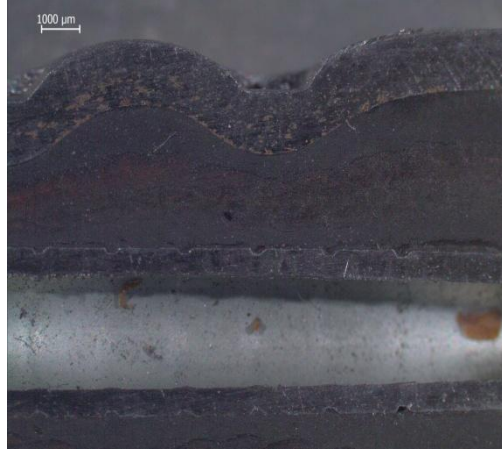


Den 1

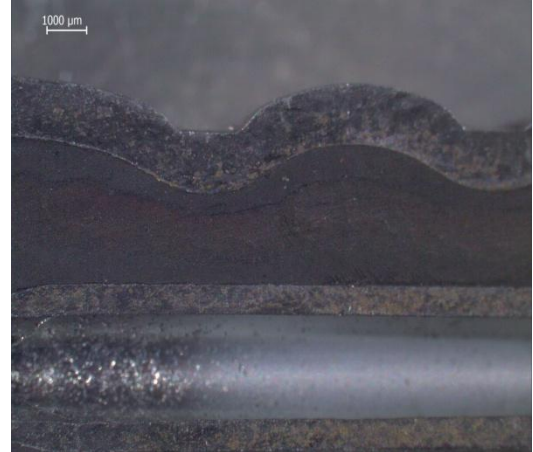


Den 2

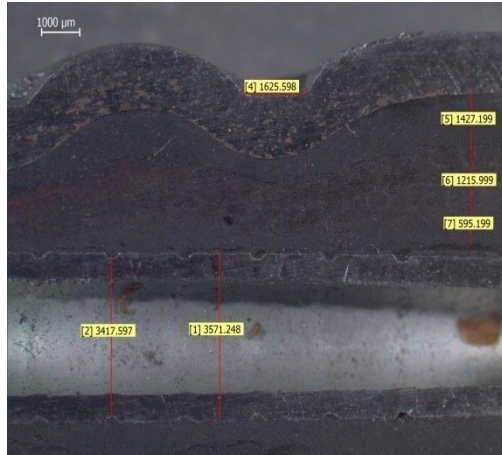
Şekil 5.44: DEN 1 ve DEN 2 tipi rakorlar



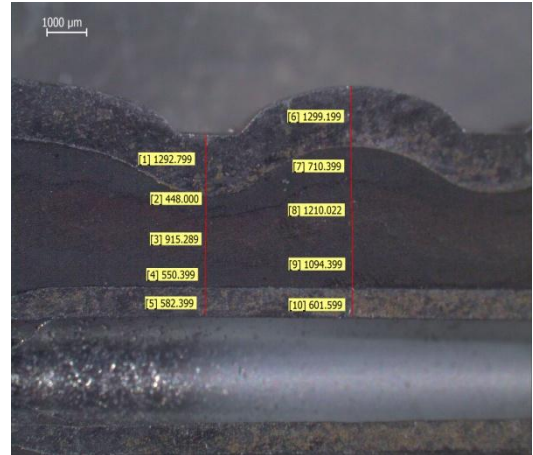
Den 1



Den 2



Den 1

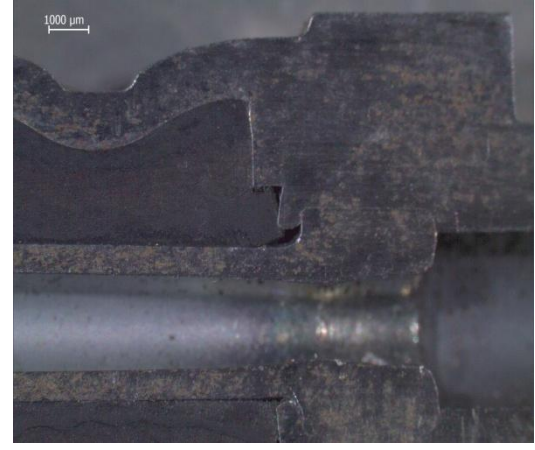


Den 2

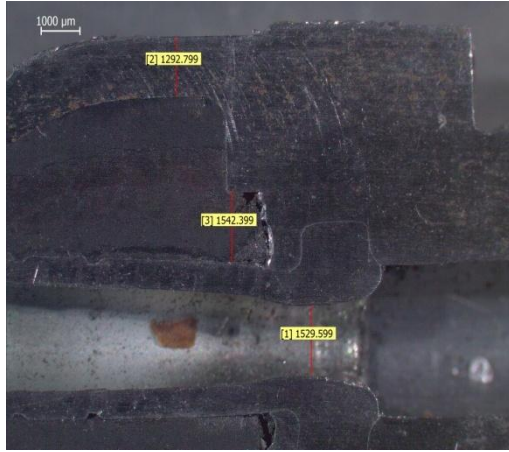
Şekil 5.45: DEN 1 ve DEN 2 tipi rakorlar (Şekil 5.44' in devamı)



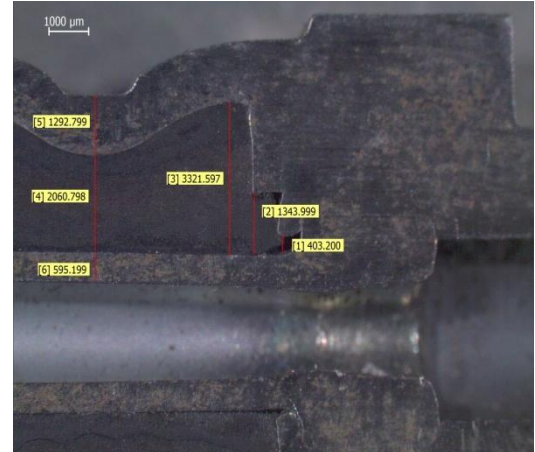
Den 1



Den 2



Den 1



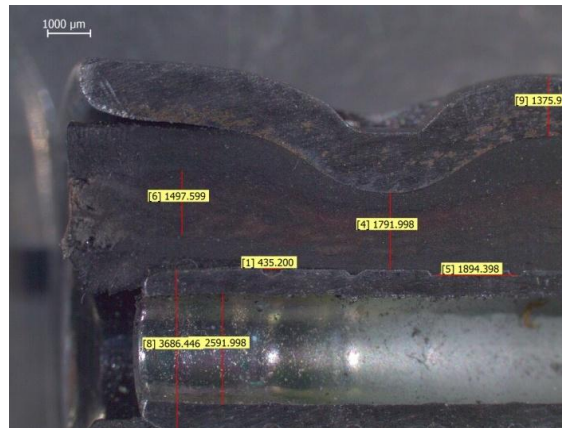
Den 2

Şekil 5.46: DEN 1 ve DEN 2 tipi rakorlar (Şekil 5.45' in devamı)

Anlaşıldığı üzere DEN 4, DEN 3 kodlu hortumlara kıyasla daha fazla rakor dış çapı/nipel arasında hortumu sıkıştırılmaktadır. Hortumun özellikle örgü yapısının nipel ile rakor çeperi arasında sıkışması yerinden çıkma dayanımı açısından bir artı olmaktadır.

Diğer yandan DEN 4 kodlu en yüksek performanslı rakor tasarımında önemli detaylardan biri 2 nci. boğumun 1 nci.' ye kıyasla daha dar olmasıdır. Şekil 5.37' de DEN 3 kodlu rakorda sıkılma sonrası kesit içerisinde hortum ile dolmamış hacimler söz konusu iken, DEN 4 kodlu hortum için kesitin tamamen dolduğu, hortumun iç ve dış çeperlerinin tamamen metal rakor ile temasta olduğu anlaşılmaktadır.

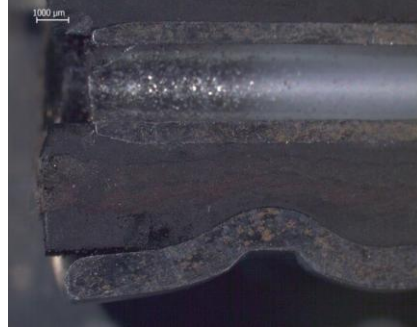
DEN 1 deki başarısız sonuçların nedeni olarak özellikle nipele yakın olan ve gerilme yığılmalarının en yüksek olduğu, hareketli fren hortumunun yıpranma riskinin en yüksek olduğu bu bölgede 1 nci. boğumun çok dar olması gösterilebilir. Nipel ile rakor arasında kalan bölgedeki elyaf kumaş 1791 mikrometrelik bir boşluk içerisindeki kanalda sıkışmıştır. Bu yüksek sıkışma gerek eksenel çekme, gerekse basınç yüklemeleri altında yüksek gerilme konsantrasyonları yaratabilir. Kumaşın gerilme altında olması, sonraki yüklemelerde, özellikle de yorulma tipi yüklemelerde bağlantının zaafa uğramasına neden olabilir. Aynı şekilde bu dar bölgede yüksek gerilme altında kalan kauçuk matris için de benzer tehlikeler söz konusudur. Bu büyük zorlanma özellikle elyaflardan oluşan kumaş ile kauçuk ara yüzey arasında ciddi gerilmelere neden olmakta ve çekme testleri sonucunda “Kat Ayrışmaları” şeklinde hasarlar ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.47' de DEN 1 tipi rakora ait detaylar görülmektedir.



Şekil 5.47: DEN 1 tipi rakorun nipel girişine yakın 1' nci boğumuna ilişkin resim

DEN 2 tipi rakorlar özellikle nipel üzerindeki kanalların olup olmaması, ya da fonksiyonlarının anlaşılması için üretilmiştir. Bu rakorların nipelleri üzerinde yiv bulunmamaktadır. Zira benchmark çalışmaları esnasında çok yivli ya da, derin ve belirgin yivlere sahip olmayan bazı rakorların ve hortumların da yüksek performans

gösterdikleri anlaşılmıştır. Bu nedenle yivlerin etkilerinin de ortaya konulması için DEN 2 kodlu rakorlar üretilmiş ve hortum bağlantılarının performansları denenmiştir. Şekil 5.48’ de bu tip rakorların hortum bağlantıları görülmektedir.



Şekil 5.48: DEN 2 tipi rakorun nipel girişindeki görüntüsü

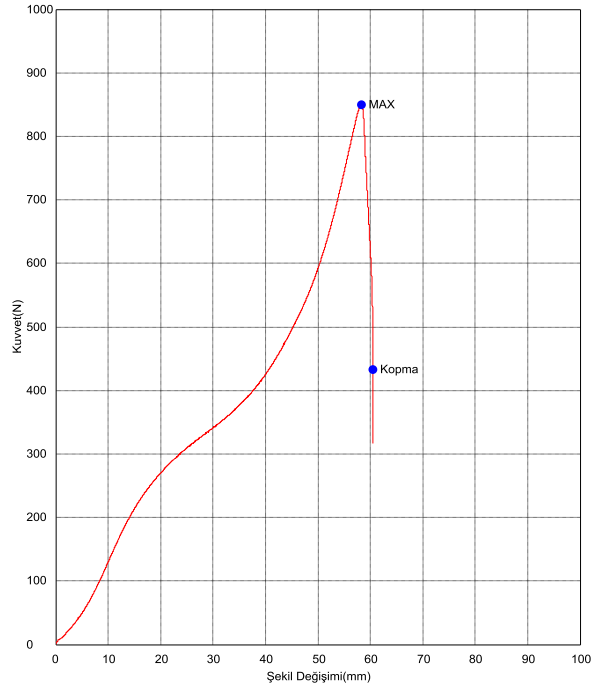
Fakat fabrika ortamında basınçlı sıvı ve hareketin aynı anda etkidiği testler ile çekme testleri karşılaştırıldığında çekme testlerinin bire bir çalışma şartlarını simüle etmediği anlaşılmıştır. Özellikle fren sıvısının kullanım esnasında ısınıp, daha yüksek bir aktivasyon ile hortum malzemesi içine difüzyon ile girmesi, hareketler esnasında oluşan mikro çatlak veya yarıkların içerisine girmesi, elyaf/kauçuk matris ara yüzeyi, kauçuk matris/rakor-nipel metalik yüzeyleri arasındaki kesitlere fren sıvısının girmesi, bu bölgelerdeki sürtünme ve dayanımı azaltması söz konusu olabilmektedir. Daha önemlisi özellikle elyaflar için yüksek sıcaklıklarda bir sıvının etkisine maruz kalmanın sonucu olarak malzemelerin morfolojik yapılarında bir zafiyet oluşması söz konusu olabilmektedir.

Özellikle geliştirilen test düzeneğinde fabrika ortamında yapılan testler, çekme testleri ile çok yüksek paralellik göstermemiştir.

Özellikle gerçeğe yakın şartlar altında yapılan testler sonucunda fren sıvısının sızması şeklinde sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sızmalar fren hortumu içinden gelen fren sıvısının bağlantı bölgesinde bir zafiyet bulup, açık olan ya da basıncın etkisi ile açılan kanal ya da bölgelerden sızmasının, ya da özellikle elyaf üzerinden difüzyon ve benzeri mekanizmalar ile ilerlemesinden kaynaklanmaktadır.

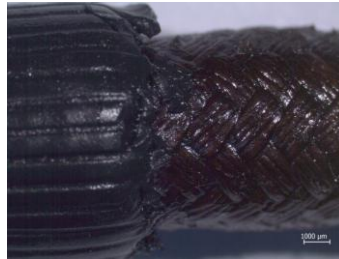
Fren sıvısını sızdıran bir hortum alınarak oda sıcaklığında çekme testlerine tabi tutulmuştur. Bu teste ilişkin sonuç aşağıdaki Tablo 5.34’ de sunulmuştur.

Tablo 5.34: Sızdırmış bir fren hortumuna ait çekme deneyi sonuçları



Tablo 5.34’ den görüldüğü üzere fren sıvısının sızması sonrası fren hortumunda çok düşük bir mukavemet kalmaktadır. Hortum düşük bir kuvvet altında, kısıtlı bir uzama sonrası kopmaktadır.

Oluşan bu fren sıvısı sızmasına ilişkin olarak, hortumdaki yapısal değişimler stereo mikroskop altında incelenmiştir. Oluşan çekme dayanımı ve uzama zafiyetleri bu resimler ile ortaya konulmak istenmiştir.



Şekil 5.49: Çekme deneyi sonrası sızdırmış olan hortumun görünümü

Şekil 5.49’ da fren sıvısını sızdırmış olan hortuma yapılan çekme deneyi sonrası görünümü görülmektedir. Görüldüğü üzere üst boru/elyaf örgü ara yüzeyinde sızmalar nedeniyle zafiyet oluşmuş ve çekme esnasında rakor ile elyaf örgü arasında kalan üst boru zayıflayan ara yüzey dayanımı neticesi yerinden sıyrılmıştır.



Şekil 5.50: Testler esnasında sızdırmış olan hortumun rakor içerisindeki uç kısmı

Şekil 5.50’ de sızdıran hortumun rakor içerisindeki uç kısmı görülmektedir. Kesildiği şekli ile rakorun içerisinden hortumun ucu çıkmıştır. Bir üstte bahsedilen üst boru sıyrılmasının yanı sıra, hortumun alnı olarak nitelendirebileceğimiz ön kısmı rakorun içerisinden çıkmış, bu esnada herhangi bir kopma, kumaşların örme yapısında bir deformasyon ve yerinden çıkma esnasında gösterilen yüksek dirence ilişkin izler görülmemiştir.



Şekil 5.51: Testler esnasında sızdırmış olan hortum ve çekme deneyi sonrası ortaya çıkan hasar görüntüsü

Şekil 5.51’ de TEKLAS tarafından denenen hortumlardan bir tanesine ait çekme deneyi sonrası görünüm görülmektedir. Özellikle sızdırma sonrası üst kauçuk boru ve üst elyaf kumaş arasındaki ara yüzeyin zayıflaması sonrası çekme deneyi sonucunda ortaya çıkan hasar belirgin şekilde görülmektedir.



Şekil 5.52: Testler esnasında sızdırmış olan hortumun detay resmi

Şekil 5.51’ deki resmin detayı Şekil 5.52’ de gösterilmektedir. Buradan da açıkça görüldüğü üzere gerçeğe yakın zorlanmalara maruz kalan fren hortumunda üst boru ara yüzeyinde ciddi azalmalar tespit edilmiş. Bu ara yüzeyin arttırılmasına ilişkin önlemler yeni tasarlanacak hortumlarda dikkate alınmalıdır. Yeni karışımların elyaf ile daha iyi yapışması ya da mevcut kauçuk matris ile elyafların arasında daha güçlü bir bağ teşkil edilmesine yönelik stratejiler geliştirilmelidir. Görüldüğü üzere elyaf kumaşı oluşturan yapıda elyaf demetleri arasında da açılmaların olduğu, fren sıvısının etkisi ile kumaş konstrüksiyonunda deformasyonlara neden olan etkileşimlerin ortaya çıktığı görülmüştür.



Şekil 5.53: Testler esnasında sızdırmış olan hortumun elyaf demetleri arasındaki açılmalar

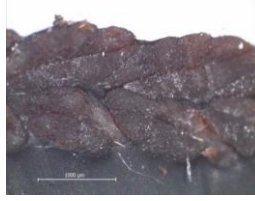
Fren sıvısının sızması sonrası gerçekleştirilen çekme deneyleri sonrasında ortaya çıkan morfolojik incelemelerde alt boru ile elyaf ara yüzeyinde ciddi sıkıntıların bulunmadığı görülmüştür. Bu veri özellikle nipel üzerinden fren sıvısının geçerken çok fazla difüzyona uğrayıp alt boru ara yüzeyini tahrip etmediğini göstermektedir.



Şekil 5.54: Testler esnasında sızdırma sonrası elyaflarda fitil oluşumu ve sıvının boru eksenini boyunca ilerlemesi

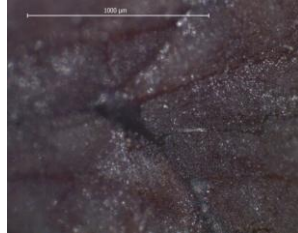
Boru eksenine dik alınan kesit radyal olarak gerçekleşen difüzyona ilişkin sadece bir düzleme ait bilgiler vermektedir. Bunun yanında boru eksenine paralel yapılan kesit çalışmasında daha uzun bir bölgedeki deformasyonların incelenmesi söz konusu olabilmektedir. Şekil 5.54’ de bu kesit görülmektedir. Detay çalışmalara geçildiğinde Şekil 5.55’ deki resim ile karşılaşılmaktadır. Üst boru ara yüzeyine fren sıvısının sızması neticesinde elyafların bir “fitil” etkisi oluşturmaları ile boru eksenini boyunca bu fren sıvısının ilerlediğine ilişkin kanıtlar söz konusudur. Özellikle elyafların kauçuk

ile birleşme öncesi bir solüsyondan geçtiği ve bu nedenle bir arada kaldıkları, elyaflar arasında hava boşlukları, ya da elyaf demetleri arasında ara yüzeylerde açılmaların olmadığını biliyoruz. Bunun yanı sıra fren sıvısının sızması neticesinde elyaf demetleri arasında difüzyonun etkisi ile açılmaların olduğu gözlenmiştir. Gerek hareketin gerekse basınçlı sıcak fren sıvısı etkisi ile alt boru ile elyaf kumaş arasında bazı noktalarda delaminasyon oluşumlarının olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.55: Elyafalarda fitil oluşumu ve fren sıvının sızmasına ait detay resim

Yapısal bazı hatalar ve imalat hatalarının da hortumun performansına etki edeceği şüphesizdir. Şekil 5.56’ daki örnekte olduğu gibi elyaf örgüsü esnasında oluşan hacimsel boşlukların varlığı da örneklenmiş, boyutları ve lokasyonlarına ilişkin geri bildirimler edinilmiştir.

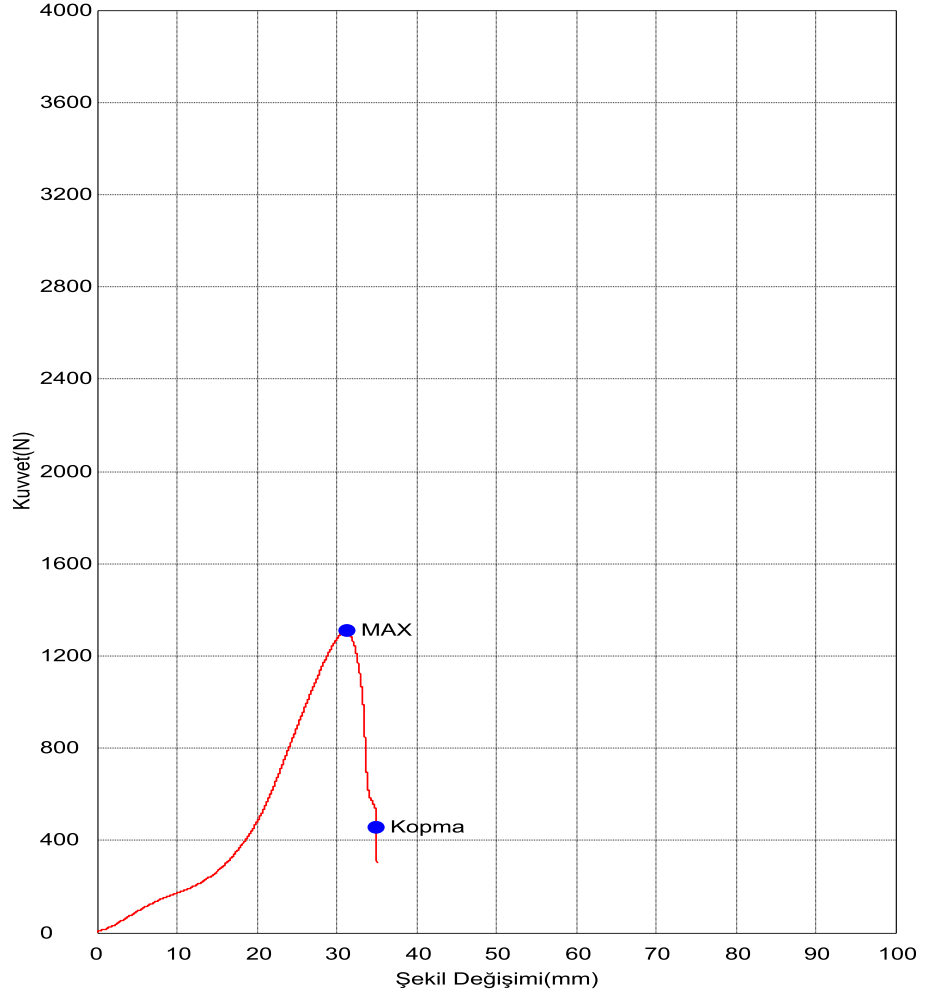


Şekil 5.56: Elyaf örgüsü esnasında oluşan hacimsel boşlukların görünümü

Üst borudaki ara yüzey zafiyeti nedeniyle çekme deneyi sonrası ortaya çıkan sıyrılma neticesinde üst borunun altında bulunan elyaf kumaşa ilişkin morfoloji şekil 5.57’ de görülmektedir.



Şekil 5.57: Testler esnasında sızdırmış olan hortum (üst örgü katmanı)



Şekil 5.58: Tfh01 kodlu numunenin 100 °C deki test sonucu şartlarındaki kopma uzaması

Tablo 5.35: Tfh01 Kodlu numunenin 100 °C deki kopma uzaması test sonucu

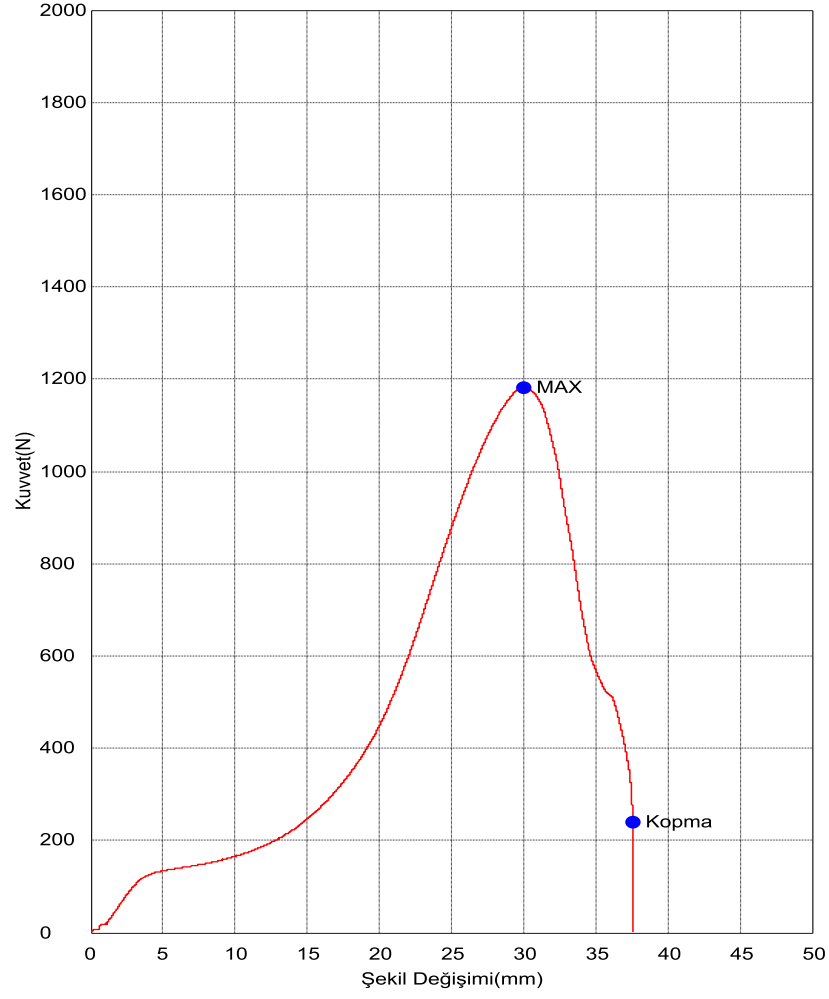
|                  |                  |                  |            |
|------------------|------------------|------------------|------------|
| Anahtar Kelime   |                  | Ürün Adı         |            |
| Test Dosyası Adı | tfh01-100-1.xtak | Metot Dosya Adı  | boru.xmak  |
| Rapor Tarihi     | 2009.07.02       | Test Tarihi      | 2009.07.02 |
| Test Modu        | Tek              | Test Tipi        | Çekme      |
| Hız              | 25mm/min         | Şekil            | Boru1      |
| Grup Sayısı:     | 1                | Alt Grup Sayısı: | 1          |

| İsim<br>Parametreler<br>Birim | Max_Kuvvet<br>Tüm Alan Hesap<br>N | Max_Uzama<br>Tüm Alan Hesap<br>mm | Max_Yüzde Uz<br>Tüm Alan Hesap<br>% | Kopma_Kuvvet<br>Hassasiyet: 10<br>N |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1_1                           | 1312,42                           | 31,2734                           | 62,5468                             | 457,474                             |

| İsim<br>Parametreler<br>Birim | Kopma_Uzama<br>Hassasiyet: 10<br>mm | Kopma_Yüzde U<br>Hassasiyet: 10<br>% |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1_1                           | 35,0151                             | 70,0301                              |



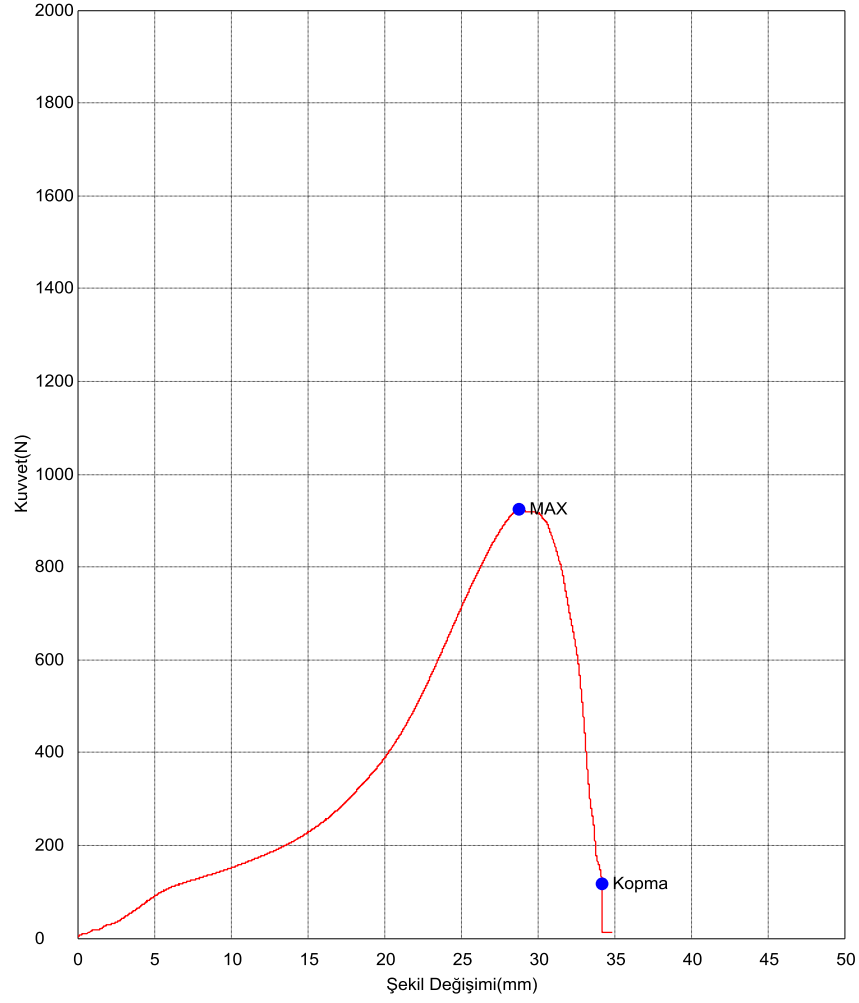
Şekil 5.59: Tfh02 kodlu numunenin 100 °C deki test sonucu şartlarındaki kopma uzaması

Tablo 5.36: Tfh02 Kodlu numunenin 100 °C deki kopma uzaması test sonucu

|                  |                  |                  |            |
|------------------|------------------|------------------|------------|
| Anahtar Kelime   |                  | Ürün Adı         |            |
| Test Dosyası Adı | tfh02-100-1.xtak | Metot Dosya Adı  | boru.xmak  |
| Rapor Tarihi     | 2009.07.02       | Test Tarihi      | 2009.07.02 |
| Test Modu        | Tek              | Test Tipi        | Çekme      |
| Hız              | 25mm/min         | Şekil            | Boru1      |
| Grup Sayısı:     | 1                | Alt Grup Sayısı: | 1          |

| İsim<br>Parametreler<br>Birim | Max_Kuvvet<br>Tüm Alan Hesap<br>N | Max_Uzama<br>Tüm Alan Hesap<br>mm | Max_Yüzde Uz<br>Tüm Alan Hesap<br>% | Kopma_Kuvvet<br>Hassasiyet: 10<br>N |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1_1                           | 1181,08                           | 30,0076                           | 60,0152                             | 238,959                             |

| İsim<br>Parametreler<br>Birim | Kopma_Uzama<br>Hassasiyet: 10<br>mm | Kopma_Yüzde U<br>Hassasiyet: 10<br>% |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1_1                           | 37,5701                             | 75,1402                              |

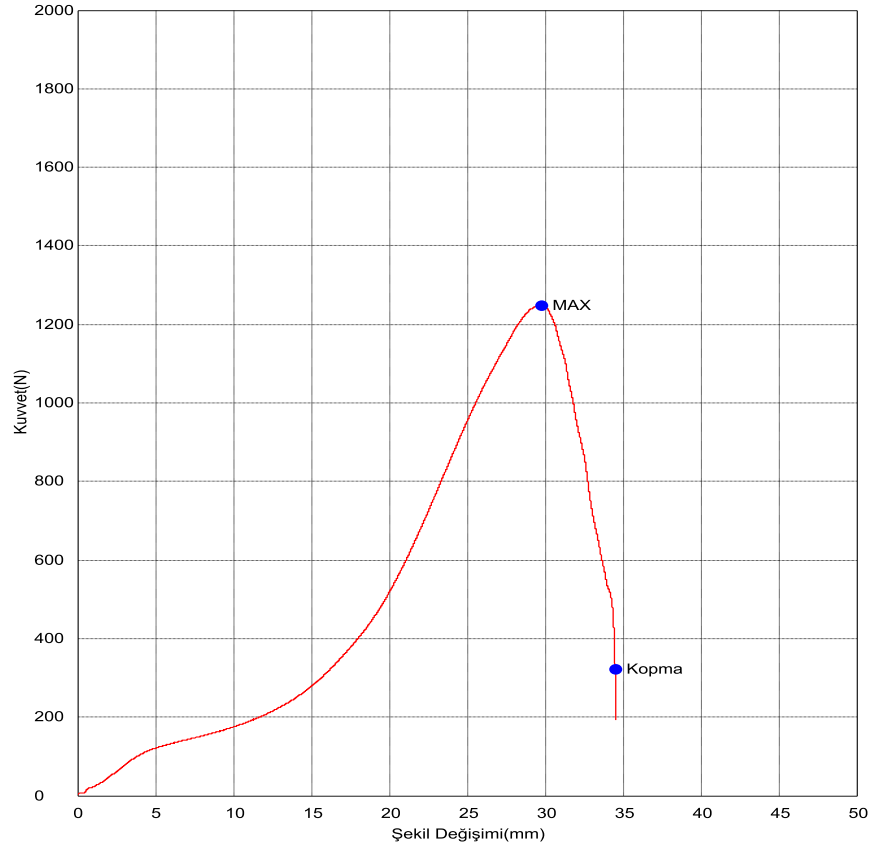


Şekil 5.60: X133 kodlu numunenin 100 °C deki test sonucu şartlarındaki kopma uzaması

Tablo 5.37: x133 Kodlu numunenin 100 °C deki kopma uzaması test sonucu

|                  |                 |                  |            |
|------------------|-----------------|------------------|------------|
| Anahtar Kelime   |                 | Ürün Adı         |            |
| Test Dosyası Adı | x133-100-1.xtak | Metot Dosya Adı  | boru.xmak  |
| Rapor Tarihi     | 2009.07.02      | Test Tarihi      | 2009.07.02 |
| Test Modu        | Tek             | Test Tipi        | Çekme      |
| Hız              | 25mm/min        | Şekil            | Boru1      |
| Grup Sayısı:     | 1               | Alt Grup Sayısı: | 1          |

| İsim<br>Parametreler<br>Birim | Max_Kuvvet<br>Tüm Alan Hesap<br>N   | Max_Uzama<br>Tüm Alan Hesap<br>mm    | Max_Yüzde Uz<br>Tüm Alan Hesap<br>% | Kopma_Kuvvet<br>Hassasiyet: 10<br>N |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1_1                           | 924,150                             | 28,7708                              | 57,5416                             | 117,587                             |
| İsim<br>Parametreler<br>Birim | Kopma_Uzama<br>Hassasiyet: 10<br>mm | Kopma_Yüzde U<br>Hassasiyet: 10<br>% |                                     |                                     |
| 1_1                           | 34,2041                             | 68,4083                              |                                     |                                     |



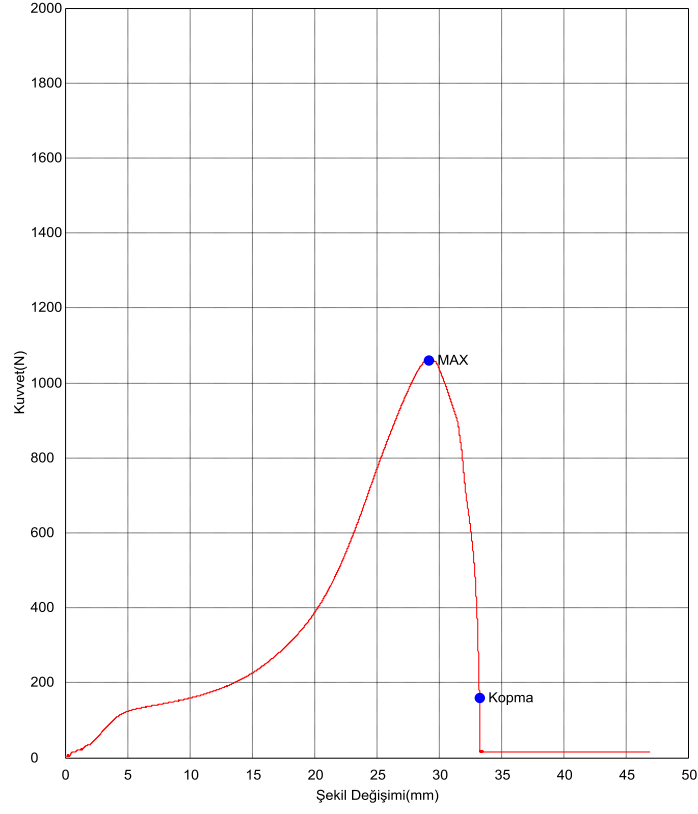
Şekil 5.61: Tfh01 kodlu numunenin 1250 °C deki test sonucu şartlarındaki kopma uzaması

Tablo 5.38: Tfh01 Kodlu numunenin 125 °C deki kopma uzaması test sonucu

| Anahtar Kelime   |                  | Ürün Adı         |            |
|------------------|------------------|------------------|------------|
| Test Dosyası Adı | tfh01-125-1.xtak | Metot Dosya Adı  | boru.xmak  |
| Rapor Tarihi     | 2009.07.10       | Test Tarihi      | 2009.07.10 |
| Test Modu        | Tek              | Test Tipi        | Çekme      |
| Hız              | 25mm/min         | Şekil            | Boru1      |
| Grup Sayısı:     | 1                | Alt Grup Sayısı: | 1          |

| İsim Parametreler Birim | Max_Kuvvet Tüm Alan Hesap N | Max_Uzama Tüm Alan Hesap mm | Max_Yüzde Uz Tüm Alan Hesap % | Kopma_Kuvvet Hassasiyet: 10 N |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1_1                     | 1248,65                     | 29,7572                     | 59,5145                       | 322,127                       |

| İsim Parametreler Birim | Kopma_Uzama Hassasiyet: 10 mm | Kopma_Yüzde U Hassasiyet: 10 % |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1_1                     | 34,5072                       | 69,0145                        |



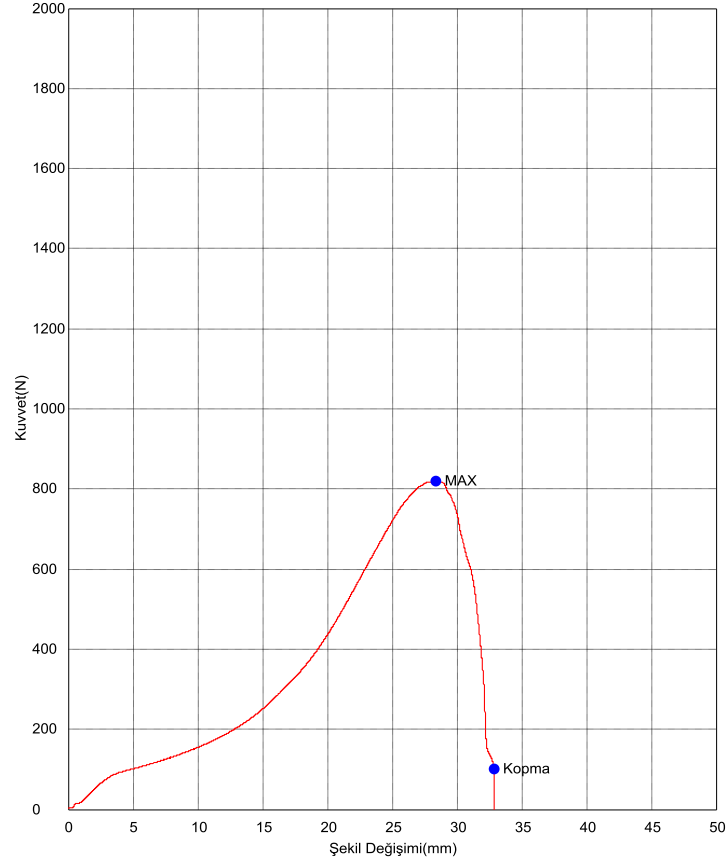
Şekil 5.62: Tfh01 kodlu numunenin 125 °C deki test sonucu şartlarındaki kopma uzaması

Tablo 5.39: Tfh01 Kodlu numunenin 125 °C deki kopma uzaması test sonucu

|                  |                  |                  |            |
|------------------|------------------|------------------|------------|
| Anahtar Kelime   |                  | Ürün Adı         |            |
| Test Dosyası Adı | tfh02-125-1.xtak | Metot Dosya Adı  | boru.xmak  |
| Rapor Tarihi     | 2009.07.10       | Test Tarihi      | 2009.07.10 |
| Test Modu        | Tek              | Test Tipi        | Çekme      |
| Hız              | 25mm/min         | Şekil            | Boru1      |
| Grup Sayısı:     | 1                | Alt Grup Sayısı: | 1          |

| İsim<br>Parametreler<br>Birim | Max_Kuvvet<br>Tüm Alan Hesap<br>N | Max_Uzama<br>Tüm Alan Hesap<br>mm | Max_Yüzde Uz<br>Tüm Alan Hesap<br>% | Kopma_Kuvvet<br>Hassasiyet: 10<br>N |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1_1                           | 1060,34                           | 29,2397                           | 58,4793                             | 159,564                             |

| İsim<br>Parametreler<br>Birim | Kopma_Uzama<br>Hassasiyet: 10<br>mm | Kopma_Yüzde U<br>Hassasiyet: 10<br>% |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1_1                           | 33,2689                             | 66,5377                              |



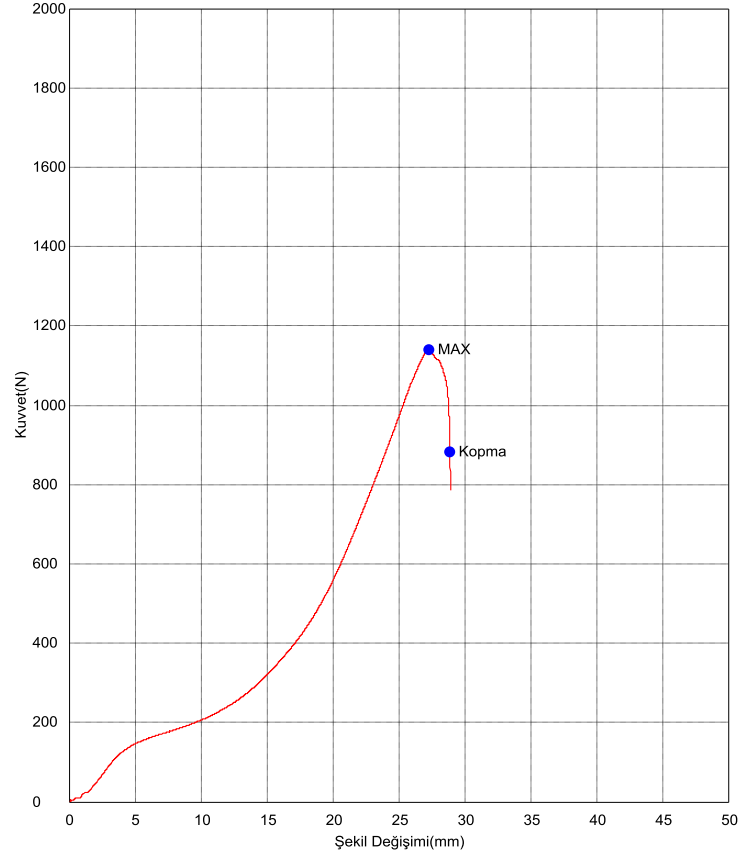
Şekil 5.63: X133 kodlu numunenin 125 °C deki test sonucu şartlarındaki kopma uzaması

Tablo 5.40: X133 Kodlu numunenin 125 °C deki kopma uzaması test sonucu

| Anahtar Kelime   |                 | Ürün Adı         |            |
|------------------|-----------------|------------------|------------|
| Test Dosyası Adı | x133-125-1.xtak | Metot Dosya Adı  | boru.xmak  |
| Rapor Tarihi     | 2009.07.10      | Test Tarihi      | 2009.07.10 |
| Test Modu        | Tek             | Test Tipi        | Çekme      |
| Hız              | 25mm/min        | Şekil            | Boru1      |
| Grup Sayısı:     | 1               | Alt Grup Sayısı: | 1          |

| İsim<br>Parametreler<br>Birim | Max_Kuvvet<br>Tüm Alan Hesap<br>N | Max_Uzama<br>Tüm Alan Hesap<br>mm | Max_Yüzde Uz.<br>Tüm Alan Hesap<br>% | Kopma_Kuvvet<br>Hassasiyet: 10<br>N |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1_1                           | 820,607                           | 28,3775                           | 56,7550                              | 101,371                             |

| İsim<br>Parametreler<br>Birim | Kopma_Uzama<br>Hassasiyet: 10<br>mm | Kopma_Yüzde U<br>Hassasiyet: 10<br>% |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1_1                           | 32,8359                             | 65,6717                              |



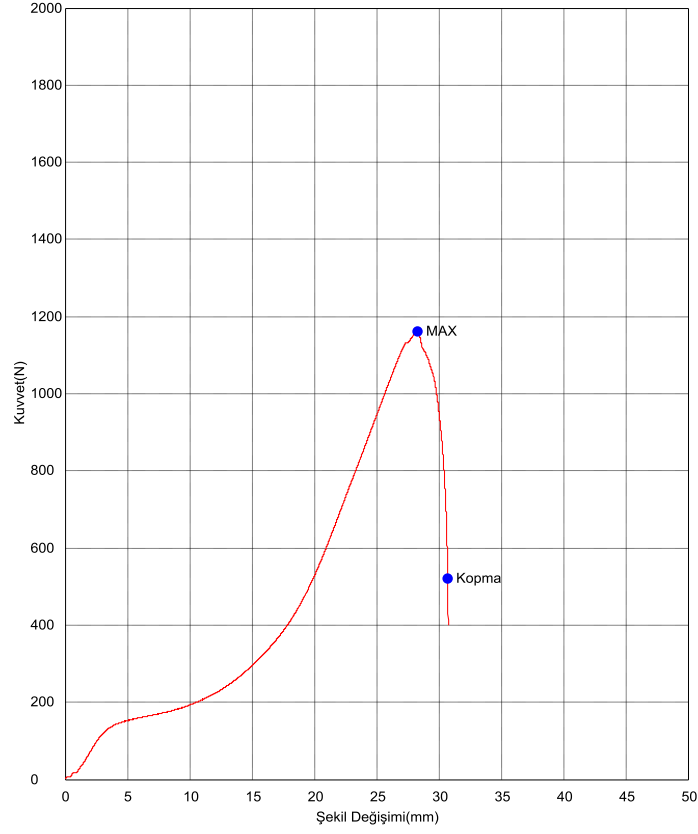
Şekil 5.64: Tfh01 kodlu numunenin 100 °C de 1 saat yaşlandırma sonrası kopma uzaması

Tablo 5.41: Tfh01 Kodlu 100 °C de 1 saat yaşlandırma sonrası 100 °C de yapılan kopma uzaması test sonucu

|                  |            |                  |            |
|------------------|------------|------------------|------------|
| Anahtar Kelime   |            | Ürün Adı         |            |
| Test Dosyası Adı | 1.xtak     | Metot Dosya Adı  | boru.xmak  |
| Rapor Tarihi     | 2009.07.10 | Test Tarihi      | 2009.07.10 |
| Test Modu        | Tek        | Test Tipi        | Çekme      |
| Hız              | 25mm/min   | Şekil            | Boru1      |
| Grup Sayısı:     | 1          | Alt Grup Sayısı: | 1          |

| İsim<br>Parametreler<br>Birim | Max_Kuvvet<br>Tüm Alan Hesap<br>N | Max_Uzama<br>Tüm Alan Hesap<br>mm | Max_Yüzde Uz<br>Tüm Alan Hesap<br>% | Kopma_Kuvvet<br>Hassasiyet: 10<br>N |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1_1                           | 1139,67                           | 27,2778                           | 54,5556                             | 882,419                             |

| İsim<br>Parametreler<br>Birim | Kopma_Uzama<br>Hassasiyet: 10<br>mm | Kopma_Yüzde U<br>Hassasiyet: 10<br>% |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1_1                           | 28,8986                             | 57,7973                              |



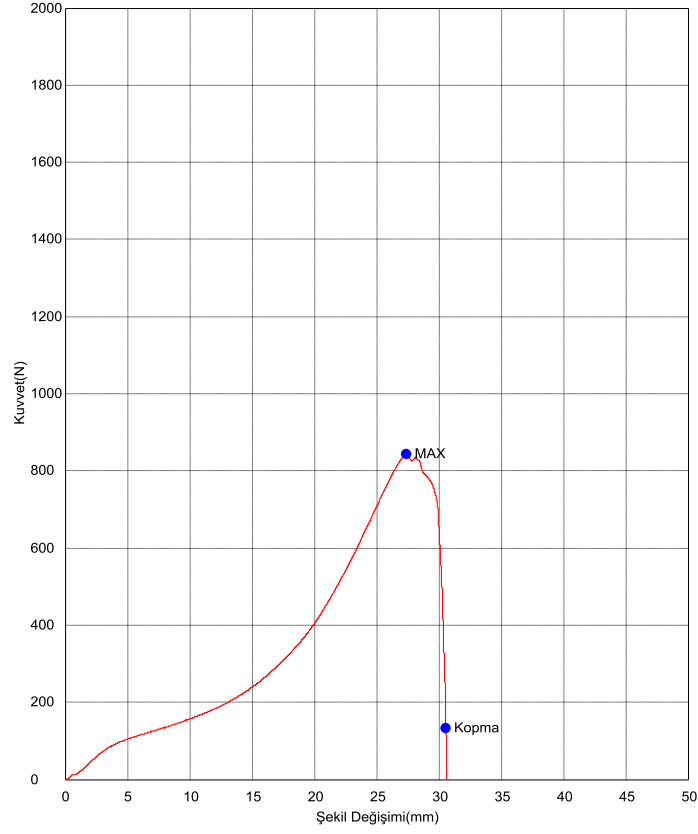
Şekil 5.65: Tfh02 kodlu numunenin 100 °C de 1 saat yaşlandırma sonrası kopma uzaması

Tablo 5.42: Tfh02 Kodlu 100 °C de 1 saat yaşlandırma sonrası 100 °C de yapılan kopma uzaması test sonucu

|                  |            |                  |            |
|------------------|------------|------------------|------------|
| Anahtar Kelime   |            | Ürün Adı         |            |
| Test Dosyası Adı | 1.xtak     | Metot Dosya Adı  | boru.xtnak |
| Rapor Tarihi     | 2009.07.10 | Test Tarihi      | 2009.07.10 |
| Test Modu        | Tek        | Test Tipi        | Çekme      |
| Hız              | 25mm/min   | Şekil            | Boru1      |
| Grup Sayısı:     | 1          | Alt Grup Sayısı: | 1          |

| İsim<br>Parametreler<br>Birim | Max_Kuvvet<br>Tüm Alan Hesap<br>N | Max_Uzama<br>Tüm Alan Hesap<br>mm | Max_Yüzde Uz<br>Tüm Alan Hesap<br>% | Kopma_Kuvvet<br>Hassasiyet: 10<br>N |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1_1                           | 1161,46                           | 28,2980                           | 56,5960                             | 520,136                             |

| İsim<br>Parametreler<br>Birim | Kopma_Uzama<br>Hassasiyet: 10<br>mm | Kopma_Yüzde U<br>Hassasiyet: 10<br>% |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1_1                           | 30,7146                             | 61,4293                              |



Şekil 5.66: X133 kodlu numunenin 100 °C de 1 saat yaşlandırma sonrası kopma uzaması

Tablo 5.43: X133 Kodlu 100 °C de 1 saat yaşlandırma sonrası 100 °C de yapılan kopma uzaması test sonucu

|                  |            |                  |            |
|------------------|------------|------------------|------------|
| Anahtar Kelime   |            | Ürün Adı         |            |
| Test Dosyası Adı |            | Metot Dosya Adı  | boru.xmak  |
| Rapor Tarihi     | 2009.07.10 | Test Tarihi      | 2009.07.10 |
| Test Modu        | Tek        | Test Tipi        | Çekme      |
| Hız              | 25mm/min   | Şekil            | Boru1      |
| Grup Sayısı:     | 1          | Alt Grup Sayısı: | 1          |

| İsim Parametreler Birim | Max_Kuvvet<br>Tüm Alan Hesap<br>N | Max_Uzama<br>Tüm Alan Hesap<br>mm | Max_Yüzde Uz<br>Tüm Alan Hesap<br>% | Kopma_Kuvvet<br>Hassasiyet: 10<br>N |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1_1                     | 842,582                           | 27,4000                           | 54,7999                             | 133,348                             |

| İsim Parametreler Birim | Kopma_Uzama<br>Hassasiyet: 10<br>mm | Kopma_Yüzde U<br>Hassasiyet: 10<br>% |
|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1_1                     | 30,5750                             | 61,1499                              |

## 40. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 41. Sonuçlar

- Fren hortumunu yüksek basınçlarda sıkmanın teorik olarak faydalı olduğu tespit edilmiştir. Sıkma neticesi oluşan rakor/hortum arasındaki basınç nedeniyle, gelen fren sıvılarının nipel yüzeyini takip edip, daha sonra rakor iç çapı ya da hortum içerisindeki katların içerisinde sızarak geçmesi ve hasara uğraması riski azalmaktadır. Bu nedenle rakorların sıkma çapları ile elde edilen basınç hortum/rakor ara yüzeyindeki basıncın bir göstergesi olup, bu husus hortumun dayanımını belirleyen bir unsurdur. Bu durumda sıkma çapı/hortum çapı oranı sayısal olarak ne kadar küçük ise elde edilecek ara yüzey basıncı o oranda yüksek olacaktır.
- Alt boru (iç kauçuk katman) basınçlı fren sıvısının etkisi ile fiziksel olarak en fazla zorlanan hortum elemanıdır. Bu elemanın gerek dayanımı, gerekse basınç altındaki uzama değerleri önemlidir. Zira basınca maruz kaldığında boruda elastik seviyelerde hacimsel genleşmeler oluşmaktadır. Bu genleşme miktarı sonuçta fren sıvısının frenleme ünitesine gelmeden önce basıncının bir kısmını kaybetmesi, sistemin veriminin düşmesi anlamına gelmektedir.
- Alt boru ile elyafın birleştiği bölge ve elyaf kumaş içerisindeki demetlerin fren sıvısına maruz kalması sonrası iç yapıda elyafların ekseni boyunca fren sıvısını üzerlerinden difüzyon ile ilettikleri ve deformasyona uğradıkları anlaşılmaktadır. Fren sıvısının korozif etkileri, difüzyon yolu ile yapı içerisinde ilerlemesi ve dekompozisyonlara yol açması ihtimalinin yanı sıra firma şartnamesindeki 160 °C lik yüksek sıcaklık yüklemelerinde PVA elyafların morfolojik olarak deformasyona ve bozunmaya uğramaktadırlar. Alt ve üst borular ile elyaf demetleri arasındaki ara yüzeylerde, aynı zamanda elyaf kumaş içerisindeki elyaf demetleri arasında elyafların yüksek sıcaklıklarda deforme olmasına ilişkin izlenimler edinilmiştir.

- Rakorun hortum ile birleştirildiği bağlantı noktası son derece önemlidir. Esnek elastomerik parça ile metal rakor arasında ciddi gerilme yığılmaları, çalışma esnasında sürtünme ve eğilmeler neticesi oluşan aşınma ve mikro-yırtılmaların olduğu bir bölgedir. Bu bölgede rakor ile fren hortumu arasında oluşan ara yüzey dayanımı bir anlamda hortum ile rakor arasındaki bağlantının büyüklüğüne işaret etmektedir ki bu da son derece önemlidir.
- Altı çizilecek en önemli noktalardan biri, yüksek sıcaklıklardaki deneysel sonuçlar ile yüksek sıcaklıklardaki basınçlı fren sıvıları ile çalışma şartlarına yakın ortamlarda yapılan testler arasında ciddi bir korelasyon tespit edilememiştir. Yüksek sıcaklıklarda termal genleşmelerin etkisi ile hortum-rakor arasındaki basınçta zafiyet söz konusu olmaktadır. Çekme sonuçları elbetteki beklenildiği gibi düşük çıkmaktadır. Fakat içerisinde fren sıvısı olan ve çalışma şartlarında (yüksek sıcaklıklarda) denenilen hortumlarda özellikle termal genleşme ile birlikte yüksek sıcaklıklarda aktivasyonu artan sıvının hortumun iç yapısına sızması, rakor-nipel ara yüzeyinde ilerlemesi, hatta radyal olarak hortum malzemesi içerisine difüzyonu neticesi çok daha düşük mukavemet değerleri elde edilmektedir. Bu nedenle çekme deneyinde bulunan değerler (kuru ortamda, fren sıvısı bulunmayan şartlarda yapılan çekme testleri) çok anlamlı olmamaktadır.
- Fren hortumum özellikle örgü yapısının nipel ile rakor çeperi arasında sıkışması yerinden çıkma dayanımı açısından bir artı olmaktadır.
- Özellikle nipele yakın olan ve gerilme yığılmalarının en yüksek olduğu, hareketli fren hortumunun yıpranma riskinin en yüksek olduğu 1 nci boğumun çok dar olması neticesinde nipel ile rakor arasında kalan bölgedeki elyaf kumaş yüksek oranda sıkışmaktadır. Bu yüksek sıkışma gerek aksenal çekme, gerekse basınç yüklemeleri altında, yüksek gerilme konsantrasyonları yaratabilir. Kumaşın gerilme altında olması, sonraki yüklemelerde, özellikle de yorulma tipi yüklemelerde bağlantının zaafa uğramasına neden olabilir. Aynı şekilde bu dar bölgede yüksek gerilme altında kalan kauçuk matris için de benzer tehlikeler söz konusudur. Bu büyük zorlanma özellikle elyaflardan oluşan kumaş ile kauçuk

ara yüzey arasında ciddi gerilmelere neden olmakta ve çekme testleri sonucunda “Kat Ayırışmaları” şeklinde hasarlar ortaya çıkmaktadır.

- Çok yivli ya da, derin ve belirgin yivlere sahip olmayan bazı rakorların ve hortumların da yüksek performans gösterdikleri anlaşılmıştır.
- Fabrika ortamında basınçlı sıvı ve hareketin aynı anda etkidiği testler ile çekme testleri karşılaştırıldığında, çekme testlerinin bire bir çalışma şartlarını simüle etmediği anlaşılmıştır. Özellikle fren sıvısının kullanım esnasında ısınıp, daha yüksek bir aktivasyon ile hortum malzemesi içine difüzyon ile girmesi, hareketler esnasında oluşan mikro çatlak veya yarıkların içerisine girmesi, elyaf/kauçuk matris ara yüzeyi, kauçuk matris/rakor-nipel metalik yüzeyleri arasındaki kesitlere fren sıvısının girmesi, bu bölgelerdeki sürtünme ve dayanımı azaltması söz konusu olabilmektedir. Daha önemlisi özellikle elyaflar için yüksek sıcaklıklarda bir sıvının etkisine maruz kalmanın sonucu olarak malzemelerin morfolojik yapılarında bir zafiyet oluşması söz konusu olabilmektedir.
- Gerçeğe yakın şartlar altında yapılan testler sonucunda fren sıvısının sızması şeklinde sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sızmalar fren hortumu içinden gelen fren sıvısının bağlantı bölgesinde bir zafiyet bulup, açık olan ya da basıncın etkisi ile açılan kanal ya da bölgelerden sızmasının, ya da özellikle elyaf üzerinden difüzyon ve benzeri mekanizmalar ile ilerlemesinden kaynaklanmaktadır. Gerçeğe yakın zorlanmalara maruz kalan fren hortumunda üst boru ara yüzeyinde ciddi azalmalar tespit edilmiş. Elyaf kumaşı oluşturan yapıda elyaf demetleri arasında da açılmaların olduğu, fren sıvısının etkisi ile kumaş konstrüksiyonunda deformasyonlara neden olan etkileşimlerin ortaya çıktığı görülmüştür.
- Üst boru ara yüzeyine fren sıvısının sızması neticesinde elyafların bir “fıtıl” etkisi oluşturması ile boru eksenı boyunca bu fren sıvısının ilerlediğine ilişkin kanıtlar söz konusudur. Özellikle elyafların kauçuk ile birleşme öncesi bir solüsyondan geçtiği ve bu nedenle bir arada kaldıkları, elyaflar arasında hava

boşlukları, ya da elyaf demetleri arasında ara yüzeylerde açılmaların olmadığını biliyoruz. Bunun yanı sıra fren sıvısının sızması neticesinde elyaf demetleri arasında difüzyonun etkisi ile açılmaların olduğu gözlenmiştir. Gerek hareketin gerekse basınçlı sıcak fren sıvısı etkisi ile alt boru ile elyaf kumaş arasında bazı noktalarda delaminasyon oluşumlarının olduğu anlaşılmaktadır.

- Yapısal bazı hatalar ve imalat hatalarının (elyaf örgüsü esnasında oluşan hacimsel boşluklar) da hortumun performansına etki edeceği şüphesizdir.

#### **42. Öneriler**

- Hortumun örgü yapısının geliştirilmesi (elyaf örgünün nipel ile rekor çeperi arasında sıkışması ile yerinden çıkma dayanımını arttırması yönünden),
- Nipele yakın olan ve gerilme yığılmalarının en yüksek olduğu, hareketli fren hortumunun yıpranma riskinin en yüksek olduğu 1' nci boğum bölgesinin uygun ölçülerde boyutlandırmasına yönelik çalışmaların yapılması, (elyaf kumaş ile kauçuk katmak arası ara yüzey arasındaki gerilmeleri azaltmak ve çekme deneyi testi sonrası kat ayrışmalarını önlemek için),
- Üst boru ara yüzeyinin arttırılmasına ilişkin önlemler dikkate alınmalı,
- Yeni karışımların elyaf ile daha iyi yapışması ya da mevcut kauçuk matris ile elyafların arasında daha güçlü bir bağ teşkil edilmesine yönelik stratejiler geliştirilmeli.
- Yapısal hata ve imalat hataları giderilmelidir.

### 43. KAYNAKLAR

- [1] <http://www.polimernedir.com/polimer-nedir-2/#geneltanimlamalar>, **(Ziyaret Tarihi: 20 Temmuz 2009)**.
- [2] Hofmann W., “Rubber Technology Handbook”, **Hanser Publisher**, (1989).  
Morton M., “Rubber Technology”, Third Edition, (1987).
- [3] Lanxess Energizing Chemistry, “100 years of synthetic rubber”,  
[http://www.lanxess.jp/lcs/en/documents/100yearsofsyntheticRubber\\_E\\_000.pdf](http://www.lanxess.jp/lcs/en/documents/100yearsofsyntheticRubber_E_000.pdf),  
**(Ziyaret Tarihi: 18 Eylül 2009)**.
- [4] Teklas Firması, FIAT Sunumu, Nolly Jolly, 2007 ve Kauçuk dergisi / Kauçuk Derneği Yayın Organı, Bayer , Rapra eğitim notları ve ayrıca çeşitli firmaların teknik bültenleri (Bayer, Zeon, Dupont, Uniroyal, Degussa, Cabot)
- [5] [http://www.obitet.gazi.edu.tr/MEGEP\\_files/HIDROLIK%20SISTEMLER.pdf](http://www.obitet.gazi.edu.tr/MEGEP_files/HIDROLIK%20SISTEMLER.pdf),  
**(Ziyaret Tarihi: 22 Ekim 2009)**.
- [6] <http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/anti-lock-brake4.htm>  
**(Ziyaret Tarihi: 22 Ekim 2009)**.
- [7] <http://www.technoparts.com/enNewsInfo.asp?id=3> **(Ziyaret Tarihi: 23 Ekim 2009)**.
- [8] <http://www.justanswer.com/questions/29513-im-trying-to-remove-the-power-brake-booster-from-a-1993-ford> **(Ziyaret Tarihi: 28 Ekim 2009)**.
- [9] Jeon SG, Choi JG, Kim JH, Kim HS, Woo CS. “Taşıt Kullanımına Bağlı Olarak Fren Hortumlarının Hareket Analizleri”, **KSAE06-S0151**; 2006. p. 947–952
- [10] [http://tr.wikipedia.org/wiki/Fren\\_sistemi](http://tr.wikipedia.org/wiki/Fren_sistemi), **(Ziyaret Tarihi: 26 Nisan 2009)**.
- [11] <http://www.alpet.com.tr/Content.aspx?ID=35>, **(Ziyaret Tarihi: 26 Nisan 2009)**.
- [12] SAE J1401 Rev. Jun2003, “SAE International Vehicle Standart”, Tablo-A1, Sıra Sayısı 136.

- [13] Seung-Bum Kwak, Nak-Som Choi, “Micro-damage formation of a rubber hose assembly for automotive hydraulic brakes under a durability test”, **Engineering Failure Analysis**, 16 (2009) 1262-1268
- [14] Otomotiv Hidrolik Frenleri için Hortum Düzeneğinin Güvenilirlik Standartları (RS R 0043), Korean Agency for Technology and Standards, 2004.
- [15] Lee KJ, Bae HJ, No ST, Kim WT. Silane- Çapraz bağlı EPDM’lerin Mekanik özellikleri üzerine Çalışmalar. *Polymer* 1987;11(6):547–556.
- [16] Baaser Herbert, “Global optimization of length and macro-micro transition of fabric-reinforced elastomers with application to a brake hose”, **Computational Material Science**, 39 (2007) 113-116
- [17] Kalite Şartnamesi (Quality Specification), QW 34 003, Ağustos 2008
- [18] Application No. 704663, Filed at July 12,1976. Dokuma Destekli Fren Hortumları (Braid Reinforced Brake Hose), Patent No. 4.111.237
- [19] Application No. 675810, Filed at Oct 17,1967.Fren Hattı Hortumları (Brake Line Hose), Patent No. 3.550.640
- [20] Application No. 836996, Filed at March 6, 1986. Yüksek Basınç Fren Hortumları ( High Pressure Rubber Hose), Patent No. 4.734.305
- [21] Application No. 09/793738, Filed at Feb 27, 2001. Fren Hortumları (Brake Hoses), Patent No. US2002/0017332 A1
- [22] Application No. 10/302985, Filed at Nov 25, 2002. Fren Hortumu (Brake Hose), Patent No. US2003/0098082 A1
- [23] Application No. 11/389845, Filed at Mar 27, 2006. Fren Hortumu Rekorları ve Üretim Yöntemleri (Brake Hose Fittings and Methods of Manufacture), Patent No. US 2007/0222211 A1

## **ÖZGEÇMİŞ**

1970 yılında Gölcük’ de doğdu. İlk öğrenimini Pirireis İlkokulunda, orta öğrenimini Gölcük Ortaokulu, lise öğrenimini Gölcük Barbaros Hayrettin Lisesi’ nde tamamladı. 1988 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’ nde lisans eğitime başladı. 1992 yılında Makine Mühendisliği Bölümü’ nden iyi dereceyle mezun oldu. 2009 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda Yüksek Lisans eğitime başladı. 1996 yılından bu yana TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi Yatırımlar Müdürlüğünde Proje Şefi olarak görev yapmaktadır.