İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLAKA BAĞLANTI CIVATALARININ YORULMASININ DENEYSEL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Salih SEÇKİN

Anabilim Dalı : Uçak ve Uzay Mühendisliği

Programı : Uçak ve Uzay Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Vedat Ziya DOĞAN

Haziran 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLAKA BAĞLANTI CIVATALARININ YORULMASININ DENEYSEL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mustafa Salih SEÇKİN
511071124

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2010

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Vedat Ziya DOĞAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zahit MECİTOĞLU (İTÜ)
Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI (İTÜ)

Haziran 2010

ÖNSÖZ

Yorulma yalnızca metallerin değil tüm malzemelerin kullanılamaz duruma gelmesinde önemli bir faktördür. Özellikle uçak-uzay sanayisinde yorulma hasar sebepleri arasında ilk sırayı almaktadır. Bu tezi almamdaki asıl amacım bu önemli konuyu araştırıp bilgi sahibi olmak ve deneysel olarak yorulma olayını incelemektir. Bu konuyu araştırmamda bana gerekli fırsatı ve desteği veren değerli hocam Doç. Dr. Vedat Ziya DOĞAN başta olmak üzere özellikle deneyler sırasında benden her türlü yardımı esirgemeyen Müslim Çakır'a, Yazkurt Makina çalışanlarına ve bugüne kadar bana her türlü desteği veren değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2010

Mustafa Salih SEÇKİN
Uçak Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı ve Uygulama Alanları 2
1.2 Literatür Özeti 2
2. MEKANİK ÇENE İMALATI **5**
2.1 Amaç 5
2.2 Deney Tertibatı Tasarımı 5
2.3 Malzeme Seçimi 7
2.4 Kimyasal Analiz 8
2.5 Sertlik Analizi 9
2.6 Ultrasonik Muayene 11
2.7 Malzemenin İşlenmesi 14
2.8 Isıl İşlem 15
2.9 Kumlama 15
2.10 Kaplama 16
3. YORULMA **17**
3.1 Giriş 17
3.2 Yorulma İle İlgili Terimler 18
3.2.1 Çevrim 18
3.2.2 Yorulma Ömrü 18
3.2.3 Yorulma Dayanımı 18
3.2.4 Yorulma Dayanım Sınırı 19
3.2.5 Maksimum Gerilme 19
3.2.6 Minimum Gerilme 19
3.2.7 Ortalama Gerilme 19
3.2.8 Gerilme Aralığı 19
3.2.9 Gerilme Genliği 19
3.2.10 Wöhler Diyagramları (S-N Diyagramları) 20
3.2.11 Sabit Yorulma Ömrü Diyagramları (Smith Diyagramları) 20
3.3 Yorulmayı Etkileyen Faktörler 21
3.3.1 Malzeme Cinsi Bileşimi 21
3.3.2 Yüzey Özellikleri 22
3.3.3 Çentik Etkisi 22
3.3.4 Gerilmenin Etkisi 23

3.3.5 Korozyon Etkisi 25
3.3.6 Sıcaklığın Etkisi 25
3.3.7 Frekansın Etkisi 26
4. CİVATALAR 27
4.1 Genel Bilgiler 27
4.1.1 Civata ve Somun Malzemeleri ve Mukavemet Değerleri 27
4.1.2 Somun Boyu yada Civatalama Uzunluğu 29
4.1.3 En Çok Kullanılan Civata ve Somun Çeşitleri 29
4.2 Vida 30
4.2.1 Çok Kullanılan Vida Türleri 31
4.2.1.1 Metrik Dişli ISO Vidası 31
4.2.1.2 Whitworth Vidası 32
4.2.1.3 Metrik ISO-Trapez Vidası 33
4.2.1.4 Amerikan vida profilleri 34
4.2.1.5 Testere Dişli vidalar 34
4.2.1.6 Yuvarlak Dişli Vidalar 34
4.2.1.7 Ağaç Vidaları 35
4.2.1.8 Saç Vidaları 35
5. DENEYİN YAPILIŞI ve STATİK HESAPLAMALAR 37
5.1 Çekme Testi ve Statik Hesabı 37
5.2 Wöhler Eğrisi 39
6. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME 41
6.1 Çekme Testi Sonuçları 41
6.2 Yorulma Deneyleri Sonuçları 42
6.3 Sabit Yorulma Ömrü Diyagramı (Wöhler Diyagramı) 43
6.4 Kırık Yüzeyleri ve Mikro Yapıları 45
6.5 Değerlendirme 46
KAYNAKLAR 47
EKLER 49

KISALTMALAR

BSW **:** British Standard Whitworth
ISO **:** International Organization for Standardization
KOSGEB : Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
M **:** Metrik
TSE **:** Türk Standartları Enstitüsü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Ürün Kalite Sertifikası..... 10
Çizelge 2.2 : Kimyasal Analiz Sonuçları..... 10
Çizelge 6.1 : Cıvataların Kopma Çevrim Sayıları..... 43
Çizelge 6.2 : Sabit Yorulma Ömrü Diyagramı (Wöhler Eğrisi) Deney Verileri..... 44

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Deney tertibatı 6
Şekil 2.2 : Mekanik çene 6
Şekil 2.3 : Klavuzlu disk çizimi 7
Şekil 2.4 : Delikli disk çizimi 7
Şekil 2.5 : Sürekli bir parçanın muayenesi [10]. 11
Şekil 2.6 : İçinde süreksizlik bulunan bir parçanın muayenesi[16] 12
Şekil 2.7 : Muayene görüntüsü 13
Şekil 2.8 : Muayene sistemi 13
Şekil 2.9 : Mekanik Çene 14
Şekil 2.10 : Klavuzlu Disk 14
Şekil 2.11 : Delikli Disk 14
Şekil 3.1 : Gerilme Periyodu Şekilleri [14] 18
Şekil 3.2 : S-N Diyagramı [1] 20
Şekil 3.3 : Smith Diyagramı [14] 21
Şekil 3.4 : Çentik etkisi [15] 22
Şekil 3.5 : Çeşitli şekillerde form katsayıları ve gerikle dağılımları[15] 23
Şekil 3.6 : Değişken ortalama gerilmeler için S-N eğrileri [1] 24
Şekil 3.7 : Değişken gerilme oranları için S-N eğrileri [1] 24
Şekil 3.8 : Korozyonun yorulmaya etkisi(TS-1487) 25
Şekil 4.1 : Mukavemet değerleri gösterimi[16] 28
Şekil 4.2 : Mukavemet değerleri görünümü saat görünümlü sistem[16] 28
Şekil 4.3 : En Çok Kullanılan cıvata çeşitleri ve somun[2] 29
Şekil 4.4 : Helis açılımı [17] 30
Şekil 4.5 : Bir ağızlı vida[18] 30
Şekil 4.6 : İki ağızlı vida [18] 31
Şekil 4.7 : Sol vida gösterim şekilleri[16] 31
Şekil 4.8 : Metrik ISO dişli vida profili anma boyut gösterimi[14] 32
Şekil 4.9 : Trapez vida [18] 33
Şekil 4.10 : Testere dişli vida [18] 34
Şekil 4.11 : Yuvarlak dişli vida[18] 34
Şekil 4.12 : Ağaç vidası [2] 35
Şekil 4.13 : Sac vidası [5] 35
Şekil 6.1 : Teorik Gerilme-Birim Uzama Eğrisi [5] 41
Şekil 6.2 : Eksenel Çekme Deneyi Gerilme-Birim Uzama Eğrisi 42
Şekil 6.3 : Sabit Yorulma Ömrü (Wöhler) Diyagramı 43
Şekil 6.4 : Çekme Deneyi Numunesi Kırık yüzeyi ve SEM Görüntüsü 45
Şekil 6.5 : Yorulma deneyi numunesi kırık yüzeyi ve kırık yüzeyindeki yorulma bölgesi SEM görüntüsü (a), ani kırılma bölgesi SEM görüntüsü 46

M10 8.8 CIVATALARIN YORULMASININ DENEYSEL İNCELENMESİ

ÖZET

Günlük hayatta en fazla kullanılan bağama elemanları civatalar statik olarak çok fazla yüke dayanabilmelerine karşın yorulma yükleriyle bu dayanımın çok altında bir yükle hasara uğrayabilirler. Hava taşıtlarında hasar sebepleri sıralandığında, yorulma hasarları hasar sebepleri arasında birinci sırayı almaktadır. Ayrıca yorulma kırılmaları ani gerçekleşen olaylar olduğundan, bu parçaların yorulma ömürlerinin belirlenmesi güvenlik için önemlidir. Bu çalışmada eksenel yorulma yüklemesine maruz kalan metrik bir civatanın yorulma analizi deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde eksenel çekme deneyi yapılarak, çekme bölgesinde "Kuvvet-Birim Uzama Eğrisi" elde edilmiştir. Yorulma konusunda en çok kullanılan "Wöhler Diyagramı" olarak da adlandırılan sabit yorulma ömrü diyagramı yada S-N diyagramı elde edilmiştir. Deney numunesi olarak ISO M10 8.8 civatalar kullanılacak, civata bağlantı boyu artırılarak bağlantı boyunun civata yorulmasına etkisi araştırılmıştır.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF M10 8.8 BOLTS' FATIGUE

SUMMARY

Despite the fact that static strenght of bolts, which are the most used connection members in daily life, are high enough, by performing fatigue forces they can easily be fractured with very little forces under static strenght. When the fracture reasons in aeronautics and astronautics are listed, fatigue fracture stands on the top of this list. Because of the fact that these fractures occur suddenly, it is important to determine the fatigue life of the component for safety. In this study, the experimental fatigue life of a metric bolt exposed to axial forces was analyzed. In experiments, "Stress-Strain Curve" in tension region was obtained by adopting axial tension experiment. Besides, S-N also named as "Wöhler Diagram", which is the most used diagram in fatigue field, was also obtained. ISO M10 8.8 bolts were used in all experiments and the effect of connection lenght to fatigue life was analyzed.

1. GİRİŞ

Günlük hayatta kullandığımız birçok makina çalışma ömrü boyunca sabit gerilmelerin yanısıra değişken tekrarlı gerilmeler ve titreşimlere maruz kalmaktadır. Statik olarak dayanımları çok yüksek olmalarına karşın, tekrarlı gerilmelere maruz kalan bu parçalar statik mukavemetinin çok altında bir yükle hasara uğrayabilirler. Malzemelerin bu şekilde değişken yüklerle statik dayanımının altında bir yükle kırılması olayına "yorulma" adı verilir. Yorulma kırılmaları ani gerçekleşen kırılmalardır, bu yüzden kırılma zamanının önceden kestirimi önemlidir. Otomotiv ve uçak sanayisinde meydana gelen hasarlar incelendiğinde yorulma hasarlarının hasarlar içindeki payının %80-90 oranlarında olduğu görülmektedir[1]. Uçak yapıları, sürekli titreşen, dalgalı ve anlık yüklere maruz kalmaktadır. Yorulmanın hasar içindeki oranı ve yapılara gelen yükler göz önüne alındığında yorulma konusunun özellikle uçak ve uzay sanayisi için ne kadar önemli olduğu açıktır. Bu önemli konuyu anlamak için bu tez kapsamında metrik bir civatanın yorulması incelenecek ve yorulma hakkında genel bilgi elde edilecektir.

Civatalar birçok makina parçasında kullanılan, sökülüp takılabilme özelliğine sahip olan bağlama elemanlarıdır. Bir otomobilde yaklaşık olarak 3000 civarında civata vardır[2]. Yine bir uçakta binlerce civata bulunmaktadır. İki ya da daha çok parçayı birarada tutmaya yarayan bu elemanların bağlantılarının güvenliği önemlidir. Özellikle uçaklarda bir parçanın bütünden ayrılmasının uçağın düşmesine sebep olabileceği gözönüne alınacak olursa, binlerce parçadan oluşan bu devasa yapının parçalarının bağlantı hesaplarının ne kadar önemli olduğu açıktır. Bu çalışmada M10 8.8 standart 6 köşebaşlı civatanın yorulması ve bağlantı boyu artırılmasının yorulmaya olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

1.1 Tezin Amacı ve Uygulama Alanları

Yorulma uçak ve uzay sanayisinde hasar sebepleri arasında en önemlisi olduğundan, özellikle yapısal alanda çalışan her uçak mühendisinin yorulma konusunda bilgi sahibi olması gereklidir. Bu çalışma yorulma konusu hakkında genel bilgi elde edilmesini sağlamıştır. Ayrıca deneysel bir yorulma analizi yapmıştır. Yapılacak çalışmanın deneysel olması deney sisteminin nasıl kurulduğunu tecrübesi elde edilmesine ve mühendislik için çok önemli olan denesel çalışma tecrübesi edilmesine yardımcı olmuştur. Deney numunelerini çekme cihazına bağlamak için üretilmesi gereken aparatlar malzeme üretim sürecinde takip edilmesi gereken yolun öğrenilmesini ve malzeme üretim tecrübesini edilmesini sağlamıştır. Ayrıca deneylere başlamadan önce yorulma yüklerini belirlemek amacıyla yapılacak çekme testi ile alınan numunelerin, üzerinde yazılı olan standartları sağlayıp sağlamadığını kontrol edilmiş, ayrıca malzeme mukavemetini belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan çekme testi uygulaması yapılmıştır. Yorulma testleri öncesinde yapılan bu testler, deneyler için tasarlanan bağlama aparatlarının çalışmasının ve güvenirliğinin test edilmesini ve tasarlanıp üretilen parçaların üretim amaçlarını yerine getirip getirmediğinin kontrolünü sağlamıştır.

Uçak-uzay sanayisinde cıvatalar kanat- gövde bağlantıları, iniş takımları bağlantıları, uçak motorları bağlantıları (kanatlara yada motor bağlantı sehpalarına) gibi kritik bağlantıların yanısıra takılıp sökülmesi gereken birçok bağlantılarda kullanılmaktadır. Uçak yapıları sürekli titreşen, yorulan ve ani darbe yüklerine maruz kalan yapılar olduğundan bu bağlantıların güvenilir olması çok önemlidir.

1.2 Literatür Özeti

Cıvata dişlerinin hatvesinin yorulmaya etkisinin deneysel olarak incelendiği bir çalışmada, diş hatvesinin (kaba ve ince diş) civataların yorulmasuna etkisi çapı $10<d<24$ mm arası ISO civatalar ve çapı $7/16''<d<1''$ arası Amerikan civatalar üzerinde deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerin sonucunda kaba diş civataların yorulma dayanımlarının ince diş civataların yorulmalarına nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür[3]. Lif destekli plastiklerin civatalı bağlantısının incelendiği bir çalışmada normal civatalı bağlantı ve bağlantı boşluğuna reçine enjekte edilmiş civatalı bağlantı için statik çekme ve yorulma analizi deneysel olarak yapılmıştır.

Deney sonucunda reçine enjekte edilmiş bağlantıların daha katı olduğu, statik çekme deneyinde herhangi bir fark olmamasına rağmen yorulma deneyinde normal bağlantılara nazaran yorulma dayanımının daha yüksek olduğu görülmüştür[4]. Civatalı bağlantıların yorulmasının incelendiği diğer bir çalışmada, civata sıkılama torkunun plakaların yorulmasına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada sıkılanmış bağlantıda plakalar üzerinde basma kuvveti meydana geldiğinden, daha fazla sürtünme kuvveti oluştuğundan plakaların birbiri üzerinden kayması engellediği, ayrıca civata eğilmesi ve sürünme kuvvetinden dolayı daha yüksek oranda kayma kuvveti iletildiğinden civatanın yorulma performansının arttığı görülmüştür[5]. Civata bağlantıların yorulmasının incelendiği diğer bir çalışmada somun tipi değişiminin yorulmaya etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada M10 civataların yorulması çekme bölgesinde deneysel olarak incelenmiş, çalışmada 6 farklı somun (silindirik ve sivrileşen farklı uzunlıktaki değişik dudak geometrilerine sahip), her geometri için 14 numune kullanılmıştır. Deneyler sunucunda standart slindirik somunlara nazaran sivrileşen somunlar kullanıldığında yorulma dayanımının arttığı görülmüştür[6].

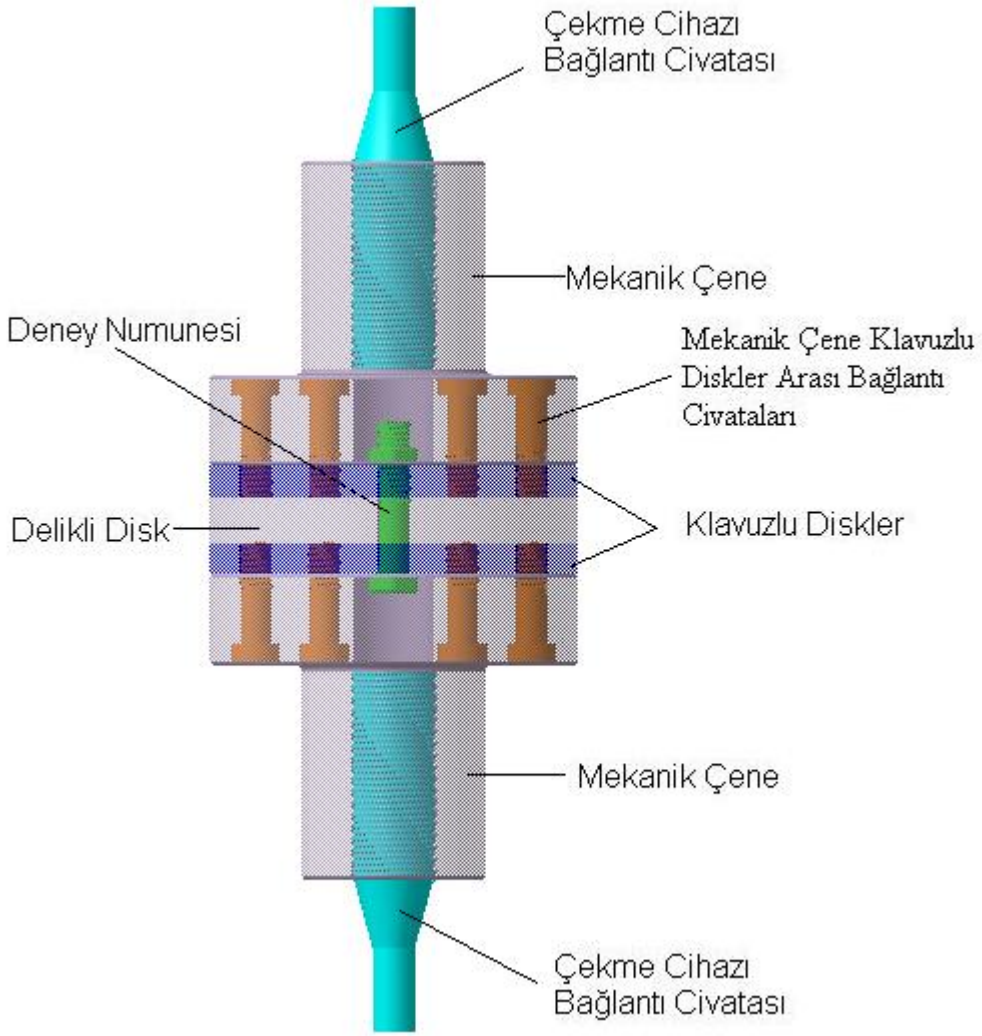
2. MEKANİK ÇENE İMALATI

2.1 Amaç

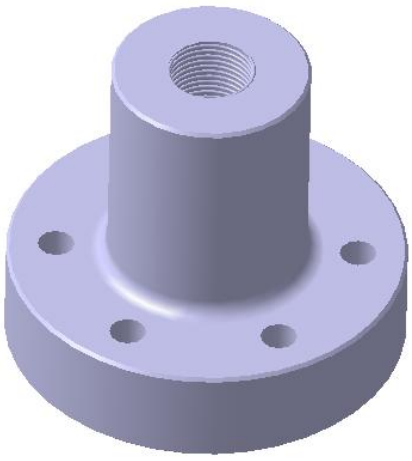
Deney kapsamında ISO M10 8.8 kalitesinde civata kullanılacaktır. Yorulma cihazı incelendiğinde, cihazın çenelerinin silindirik parçalarda 16 mm maksimim tutma kapasitesi, dikdörtgen kesitli parçalarda ise maksimum 7 mm tutma kapasitesi olduğu görülmüştür. M10 civatalarda civata başı ve somunu için köşe açıklığının 17,8 mm olması nedeniyle numuneler deney cihazına doğrudan bağlanamamaktatadır. Ayrıca deneyin amacına uygun olması için, civatanın iki parçaya torklanması ve kuvvetlerin bu parçalar vasıtasıyla civataya iletilmesi gerekmektedir. Ancak bu şekilde deneyler gerçekleştirildiğinde gerçek yüklmeme durumuyla benzer bir yükleme durumu elde edilebilmektedir. Bu amaçla deney cihazında kullanılmak üzere mevcut hidrolik çenelere kolaylıkla takılıp sökülebilecek şekilde mekanik çene tasarlanmasına karar verilmiştir. Çekme cihazının bağlantı yeri, civata başı ve somun boyutları gözönüne alınarak çekme cihazı için uygun bir mekanik çene tasarımı ve imalatı aşamasına geçilmiştir.

2.2 Deney Tertibatı Tasarımı

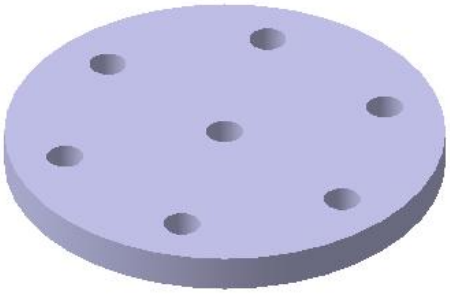
Çekme cihazının çenelere bağlantı yerinde M27x2 civata bulunduğundan mekanik çenenin dizaynı buna göre yapılmıştır. Ayrıca deneyin amacına uygun olaması için deney civatalarının önceden plakalara torklanıp çenelere monte edilmesi gerekmektedir. Bu kısıtlar gözönüne alınarak deney düzeneği Şekil 2.1'deki gibi hazırlanmıştır.



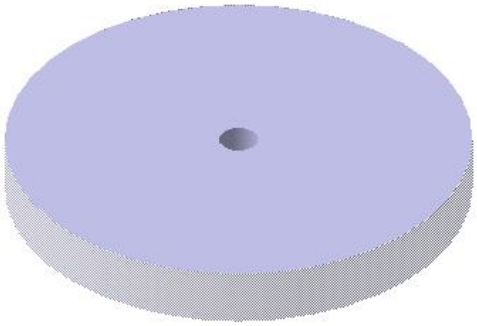
Şekil 2.1 : Deney tertibatı



Şekil 2.2 : Mekanik çene



Şekil 2.3 : Klavuzlu disk çizimi



Şekil 2.4 : Delikli disk çizimi

2.3 Malzeme Seçimi

İmalatta tasarımdan sonra en önemli aşama malzeme seçimi aşamasıdır. Malzeme seçimi tasarlanılan parçanın amacına uygun şekilde kullanılması için önemlidir. Malzemenin mukavemeti, işlenebilirliği, temin edilebilirliği ve maliyeti malzeme seçimi için önemli parametrelerdir. Deney süresince mekanik çenelerin hasara uğramadan işlevini yerine getirebilmesi için çene malzemesinin, deney numunesi malzemesinden dayanıklı seçilmesi gerekir. Deney numunesi olarak M10 8.8 civata kullanılmaktadır. Standart şartlarda bu civataların akma gerilmesi 640 MPa, kopma gerilmesi 800 MPa'dır. Bu amaçla malzeme seçiminde öncelikli olarak seçilen malzemenin akma gerilmesi 640 MPa'dan büyük, kopma gerilmesi 800 MPa'dan büyük olacak şekilde seçilmiştir.

Malzeme seçiminde ikinci önemli unsur malzemenin işlenebilirliğidir. Tasarlanılan mekanik çenenin imal edilebilmesi için torna işleminden geçmesi gerekmektedir. Ayrıca çenenin çekme cihazına bağlanabilmesi için de M27x2x50 diş açmak gerekmektedir. Bu amaçla malzeme seçilirken, malzemenin tasarlanılan imalata uygun işlenebilirliğe sahip olup olmadığı göz önüne alınmıştır.

Malzeme seçiminde bir diğer önemli etken de malzemenin temin edilebilirliği ve maliyetidir. Mekanik çene imalatı için uygun malzemeler seçildikten sonra malzemenin temin edilebilirliği araştırılmış ve en kolay temin edilebilecek malzemenin seçilmesine özen gösterilmiştir. Buna ilave olarak malzemenin maliyeti göz önünde bulundurularak deney şartlarını yerine getirebilecek malzemeler içinden maliyeti düşük olanın seçilmesine özen gösterilmiştir. Çünkü deney sırasında bu çenelerde meydana gelebilecek en ufak bir hasar yada aksaklıklarda, çene tekrar üretilmesi gerekmektedir.

Bu amaçla mekanik çene imalatında, ıslah çeliklerinin yapılan tasarım ve imalat için uygun olduğuna karar verildi. Çelik türü olarak da 4140, 4340 ıslah çeliklerinin yukarıda anlatılan kriterleri sağlayabileceği anlaşılmıştır. Yapılan çalışma yorulma olduğundan bu çeliklerden daha dayanıklı olanı, 4340 ıslah çeliği seçilmiştir. Piyasada yapılan araştırmada 34CrNiMo6 çeliğinin 4340 çeliğine yakın özellikte ve kolay temin edilebilir olduğundan, çene malzemesi olarak Tablo 2.1'de "Ürün kalite sertifikasi, Tablo 2.2'de kimyasal bileşenleri verilen 34CrNiMo6 çeliği seçilmiştir[7].

2.4 Kimyasal Analiz

Malzeme seçiminden sonra alınan malzemenin, istenilen malzeme olup olmadığını anlamak önemlidir. Malzemelerin kimyasal bileşenlerini öğrenerek alınan malzemenin doğru olup olmadığı öğrenilebilir. Bu amaçla alınan malzemeden bir parça numune alınarak KOSGEB laboratuarında kimyasal analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları malzeme bileşenlerinin olması gereken değerleriyle karşılaştırılmasıyla, alınan malzemenin doğru malzeme olup olmadığından emin olunmuştur. Tablo 2.1'de ürün kalite sertifikası ve Tablo 2.2'de KOSGEB laboratuarından elde edilen

kimyasal analiz sonuçları verilmiştir. Malzemenin tedarik edildiği firmadan alınan sertifika ve kimyasal analiz sonuçları değerlendirildiğinde alınan malzemenin 34CrNiMo6 olduğu anlaşılmıştır.

2.5 Sertlik Analizi

Malzemelere yapılan en genel deney sertlik deneyidir. Sertlik deneyi yapılması en basit deneylerden biridir ve ölçüm sırasında malzemeye fazla hasar vermemektedir. Genellikle konik veya küresel cisimler malzemeye batırılarak, yük ile meydana getirdiği deformasyonun ölçülmesinden yararlanılarak malzemenin sertliği saptanır. Bugün yaygın olarak kullanılan sertlik ölçme yöntemleri; Brinell sertlik ölçme yöntemi, Rockwell sertlik ölçme yöntemi, Vickers sertlik ölçme yöntemi ve mikro sertlik deneyidir[1]. Sertlik ölçümünün en önemli olmasının bir diğer sebebi de sertlikle malzemenin mekanik özellikleri arasında ilişki kurulabilmesidir. Örnek vermek gerekirse sertlikle malzemenin mukavemet özelliği, çizilmeye, kesmeye, plastik deformasyona karşı direnci artmaktadır. Mekanik çene imalatı için alınan malzeme tornada işlem görmesi gerkmektedir. Bu amaçla malzemenin sertliğinin torna için uygun olup olmadığının anlaşılması için sertlik analizi yapılmıştır. Ölçüm neticesinde malzeme sertliği 224 Brinell olarak ölçülmüştür. Bu sertlik torna için uygun bir sertliktir.

.

Çizelge 2.1 : Ürün Kalite Sertifikası

34CrNiMo6 Kalite Sertifikası												
Analizler %	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Cu**	**V**	**W**	**Ti**
Gerekli	0,30-0,38	<0,40	0,50-0,80	<0,035	<0,035	1,30-1,70	1,30-1,70	0,15-0,30	<0,30	<0,10	<0,15	<0,03
Ölçülen	0,34	0,22	0,59	0,015	0,016	1,39	1,35	0,22	0,028	0,17	0,02	0,001

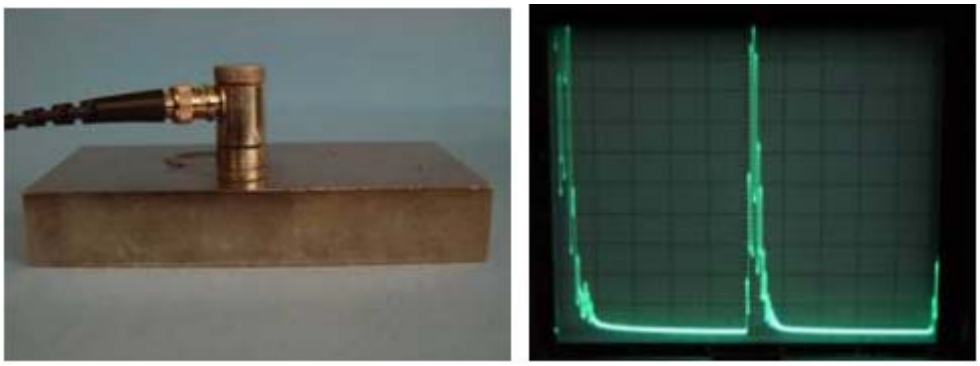
Çizelge 2.2 : Kimyasal Analiz Sonuçları

34CrNiMo6 Kimyasal Analiz Sonuçları												
Analizler %	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Cu**	**V**	**W**	**Ti**
Gerekli	0,30-0,38	<0,40	0,50-0,80	<0,035	<0,035	1,30-1,70	1,30-1,70	0,15-0,30	<0,30	<0,10	<0,15	<0,03
Ölçülen	0,34	0,219	0,634	0,00452	0,003	1,74	1,76	0,197	0,136	0,0042	0,00679	0,00714

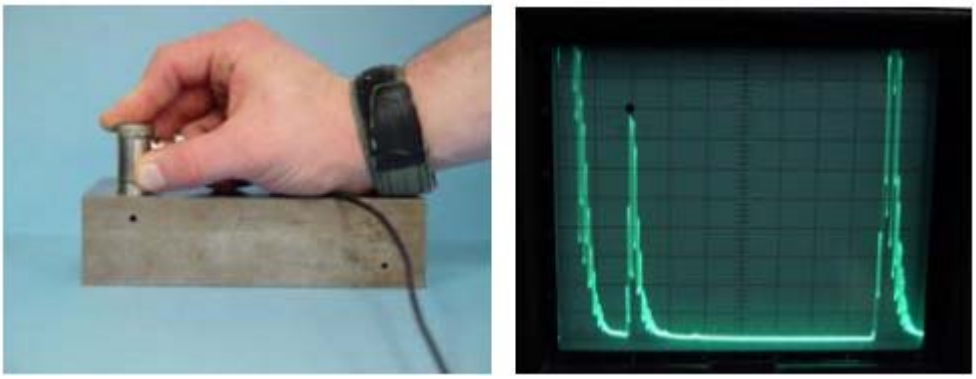
2.6 Ultrasonik Muayene

Deney techizatının imal edilmesi için 130 mm çapında 400 mm uzunluğunda silindirik blok alınmıştır. Deney yorulma deneyi olduğundan ve malzeme torna işleminden geçirilmesi gerektiğinden malzemenin iç yapısının incelenmesi gerekmektedir. Malzemenin içinde herhangi bir kalıcı kusurların olup olmadığını öğrenmek için tahribatsız muayene yöntemlerinden biri uygulanabilir. Tahribatsiz muayene malzemelerin iç yapılarındaki süreksizliklerinin dışarıdan malzemeye zarar vermeksizin anlaşılabilmesi için uygulanan yöndemlerdir. Radyografik muayene, ultrasonik muauyene, manyetik partikül testi, sıvı penatrant testi, girdap akımlssarı testi ve emilsiyon testi uygulanılan tahribatsiz muayene yöntemleridir[8]. Deney techizatı için alınan malzemenin iç yapısını incelemek, kusurları saptamak için ultrasonik muayene yapılmıştır.

Ultrasonik muayene ses dalgalarının yansımasını kullanarak malzeme içindeki süreksizlikleri elde etmeye yarayan yöntemdir. Yüksek frekanslı ses dalgası gönderen bir prob vasıtasıyla ses dalgası gönderilerek, süreksizlikten yansıyan dalganın şiddeti ve yansıma mesafesinden malzeme içinde süreksizlik olup olmadığı anlaşılabilir[9]. Şekil 2.5'de sürekli bir parça ve Şekil 2.6'da içinde süreksizlik bulunan bir parçadan alınmış sinyal görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2.5 : Sürekli bir parçanın muayenesi [10].



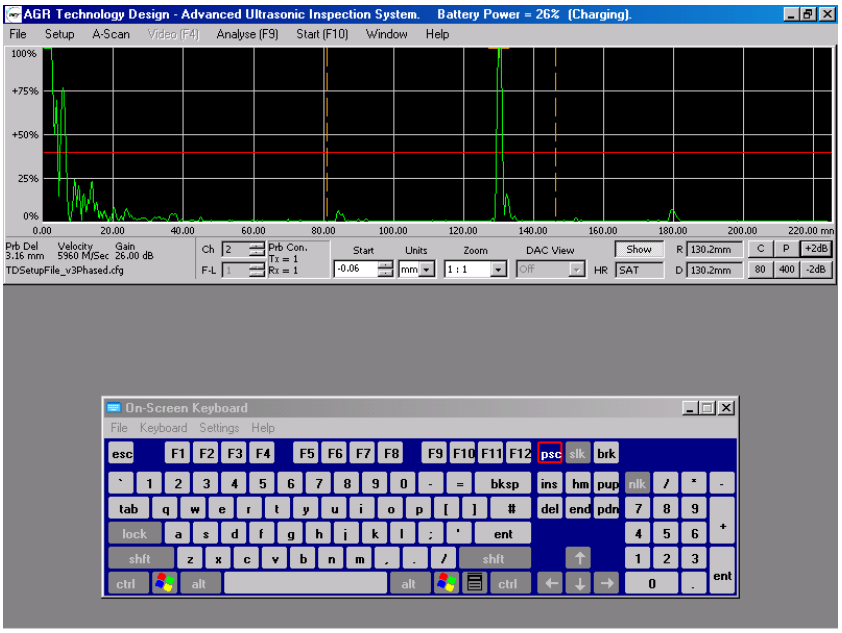
Şekil 2.6 : İçinde süreksizlik bulunan bir parçanın muayenesi[16]

Şekil 2.5 de görüldüğü gibi sürekli bir malzemede gönderilen dalganın genliği ile yansıyan dalga genliği arasındaki fark çok azdır. İkinci dalga malzemenin bitiş noktasından yansıyan dalgadır. Dolayısyla iki pik arası mesafe malzemenin kalınlığını vermelidir.. Arada başka pik noktalar olmadığından malzeme prob doğrultusunca süreklidir denilebilir.

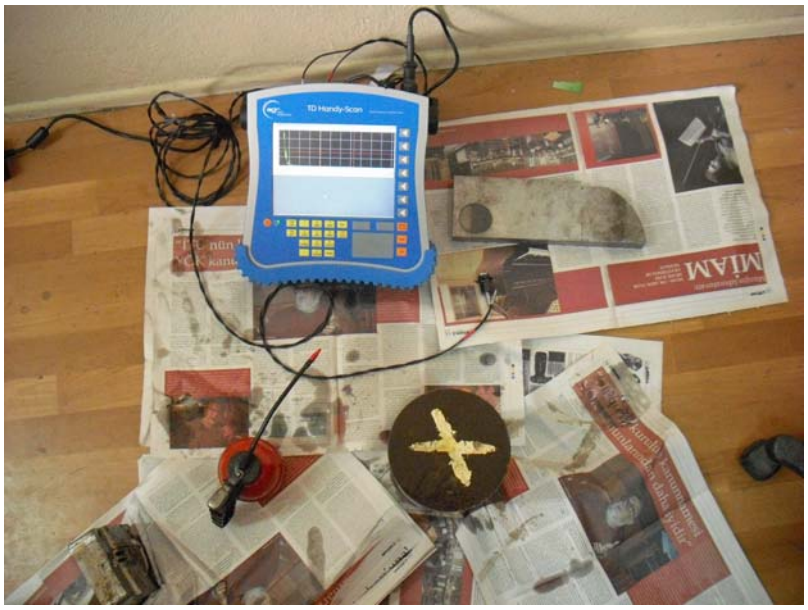
Sekil 2.6 de görüldüğü gibi içinde süreksizlik bulunan bir parçaya ses dalgası gönderildiğinde arka duvardan yansıyan yükselme ile ilk yükselme arasında bir yükselme daha vardır. Bu yükselme malzeme içindeki kusurdan meydana gelmektedir. Dolayısıyla parçanın kusurlu olduğu anlaşılmaktadır. İlk yükselme ile ikinci yükselme arası fark okunacak olursa kusurun yüzeydeden ne kadar aşağıda olduğu anlaşılacaktır.

Muayene sırasında probların zarar görmemesi için malzeme yüzeyi yağlanır ve probun malzemeyle öpüşmesi sağlanır. Muayene başlamadan önce ve muayene sırasında deney cihazı standardına güvenilen kalibrasyon bloklarıyla kalibre edilmesi gerekmektedir.

Deney tertibatı için alınan malzemenin içindeki süreksizliğin incelenmesi amacıyla İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesinde ultrasonik muayene yapılmıştır. Bu amaçla TD Handy-Scan Phasearray ultrasonik muayene sistemi kullanılmıştır. Tarama tipi olarak A scan, prob türü olarak normal 4 Mhz, kristal çapı 10 mm olan prob, kalibrasyon bloğu olarak K_1 bloğu kullanılmıştır. Daha hassas ölçüm için 26 desibel ses kazancında ölçüm yapılmıştır. Numune ile probun öpüşmesini sağlamak için numune yağlanarak ve tam taramalı ölçüm yapılmıştır. Muayene sonucunda malzemede deney tertibatı üretimi için engel teşkil edecek herhangi bir süreksizlik olmadığı anlaşılmıştır.



Şekil 2.7 : Muayene görüntüsü



Şekil 2.8 : Muayene sistemi

Şekil 2.7'de muayene sırasındaki muayene cihazındaki görüntülerden bir tanesi verilmiştir. Muayenenin hassasiyeti için yüksek frekansta ses dalgası kullanılmıştır. İkinci yükselme değeri de şekilde görüldüğü gibi 130 mm üzerindedir, yani malzemenin çap değerindedir. Sonuç olarak yansıyan dalga malzemenin arka yüzeyinden yansımıştır. Dolayısıyla malzemede herhangi bir süreksizlik yoktur.

2.7 Malzemenin İşlenmesi

Alınan 130 mm çaplı 400 mm uzunluğundaki silindirik bloktan 2 adet mekanik çene, 2 adet klavuzlu disk ve iki adet delikli disk üretilecektir. Tornada işleme payları hesaplanarak blok uygun boylarda kesilmiştir. Silindirik çeneler ve diskler tornada uygun boyutlara getirildikten sonra ısıl işlem çarpılma olasılığı da hesaba katılarak klavuz dişler açılmıştır. Aşağıda torna sonrası üretilen malzemelerin fotğrafları gösterilmiştir.



Şekil 2.9 : Mekanik Çene



Şekil 2.10 : Klavuzlu Disk



Şekil 2.11 : Delikli Disk

2.8 Isıl İşlem

Islah çelikleri diğer isimleriyle ısıl işlem çelikleri su verilip menevişleme uygulandıktan sonra çeliklere verilen genel addır. Isıl işlem malzemelerin mekanik özelliklerini artırmak için uygulanan işlemlerin genel adıdır. Malzemeler belirli bir sıcaklıkta tavlanarak istenilen faza getirilmeye çalışılır. Bu faz malzemenin genellikle en yüksek mekanik özelliklerinin olduğu fazdır. Çeliklerde su verme işleminden sonra çelik en yüksek sertlik değerine erişmesine rağmen çeliğin gevrekliğini gidermek ve tokluk özelliğini artırmak için menevişleme yapmak şarttır.

Malzemeler genellikle işlenmeden önce malzemenin durumuna göre yumuşatma sertleştirme yada iç gerilmelerden arındırılmak için normalizasyon işlemine tabi tutulur. Bu işlemin amacı döküm, dövme, haddeleme gibi işlemlerden kaynaklanan homojen olmayan malzeme yapısını homojenleştirmek ve malzemeyi işlenebilirlik için uygun hale getirmektir. Çeliklerde bu işlem çelik türüne göre 830-950°C arasında yapılmaktadır ve kontrollü şekilde fırınlarda yavaş yavaş soğutularak aşırı sertleşmesi önlenmektedir. Burada amaç malzemenin sertliğini artırmak değil homojen bir dağılım elde etmek ve iç gerilmelerin malzemenin işlenmesinden önce giderilmesini sağlamaktır[7]. Bu amaçla mekanik çene imalatında işleme öncesi malzeme 880°C'de 40 dakika bekletilerek yapılmıştır. Bu işlemden sonra malzemenin sertliği 224 Brinell (yaklaşık 24 Rockwell) ölçülmüştür.

Mekanik çeneler tornada işletindikten sonra sertliğini artırmak için ısıl işleme tabi tutulmuştur. Malzemeler ilk olarak 400 derecede 40 dakika ön ısıtma, daha sonra 630 derecede 40 dakika ön ısıtmadan sonra 870 derecede 35 dakika östenitleme sonrasında yağ banyosunda soğutularak sertleştirme işlemi yapılmıştır. Malzeme daha sonra 400°C'de 3 saat ve 180 derecede 3 saat menevişlendikten sonra ısıl işlem sonlandırılmıştır. Bu işlemler sonrasında malzemenin sertliği 46 Rockwell olarak ölçülmüştür. Bu sertlik değeri malzemenin en mukavim olduğu değere yakındır.

2.9 Kumlama

Demir-çelik gurubu malzemeler oksijenle temas ettiği zaman oksitlenirler. Buna paslanma denir. Suyla temas, nem, bazı asitler paslanmayı hızlandırırlar. Paslanmayı önlemek için malzemeyle hava arasındaki teması kesmek gerekir. Bunun için

boyama ve kaplama işlemleri yapılmaktadır. Kaplama ve boyama öncesinde malzemenin yüzeyinin hazırlanması gerekir.

Kaplama veya boyanın uzun ömürlü olması için malzeme yüzeyi curuf, pas, toz ve yağ gibi kalıntılardan arındırılması gerekir. Metalik malzemelerde bu işlem kumlama ile yapılmaktadır. Kumlama kuma benzeyen ince taneli silis, bazalt, grid, çelik gibi malzemelerin yüksek basınçla malzeme yüzeyine püskürtülmesiyle uygulanan yüzey temizleme işlemidir. Mekanik çene imalatında malzeme kumlama işlemi çelik bilya olarak tabir edilen çelik taneciklerle 15 dakika uygulanarak malzeme kaplamaya uygun hale getirilmiştir.

2.10 Kaplama

Kumlama bölümünde de bahsedildiği gibi malzemelerin paslanmalarını engellemek için kumlama işlemiyle malzeme yüzeyi kaplamaya uygun hale getirildikten sonra kaplama işlemi yapılır. Boyalar, sıvı kaplama malzemeleri, vernikler ve emayeler temizlenen yüzeylere sürülebilir. Boya yada koruma maddesi kimyasal yada elektriksel yollarla da uygulanabilir. Galvanizleme yöntemiyle demir ve çelik malzemeler üzerine ince bir çinko tabakası kaplanabilmektedir. Çinko boya dışında metal maddeleri kaplamak amacıyla en çok kullanılan koruyucu kaplamadır. Endüstride çinko kaplama işlemi genellikle daldırma işlemiyle yapılmaktadır. Bu işlem 450 °C sıcaklığındaki erimiş çinko içerisine metalik parçalar daldırılarak yapılır. Ardından parça kabuksuzlaştırma işleminden geçirilir yani yüzeyindeki oksit yada karbonat hidroklorik asit yada sülfirik asit çözeltisine daldırılarak giderilir. Bundan sonra akışkan bir çinko-amonyum klorür çözeltisi uygulanılan parça çinkoya daldırılır. Daldırılma işleminden sonra parçalar çıkarılarak üzerindeki fazla çinko akıtıp hava yada suda soğutulur. Mekanik çeneleri korozyondan korumak amacıyla ısıl işlem ve kumlama işlemlerinden sonra çinko kaplama yaptırılmıştır [11].

3. YORULMA

3.1 Giriş

Makinalar ve makina parçalarına kullanılma esnasında tekrarlı gerilmeler ve titresimler etki etmektedir. Parçalara etki eden bu düzensiz gerilmeler neticesinde malzemeler akma dayanımının çok altında bir gerilmeyle hasara uğrayabilmektedir. Bu şekilde parçada meydana gelen kırılmalara yorulma adı verilir [12]. Yorulma dayanımının gösterilmesinde en çok Wöhler diyagramları yada başka bir ifade ile S-N diyagramları karşımıza çıkar. Bu diyagramla belirli bir ortalama gerilmede gerilme aralığı ile çevrim sayısı arası ilişkiyi gösteren bir eğri vardır. 10^4 çevrime kadar olan yorulmalara kısa ömürlü yorulma, 10^4 çevrimden daha fazla süren yorulmalara uzun ömürlü yorulma denmektedir.

Kusursuz sünek malzemelerde yorulma üç aşamada gerçekleşir.

a) Çatlak oluşumu

b) Çatlak ilerlemesi

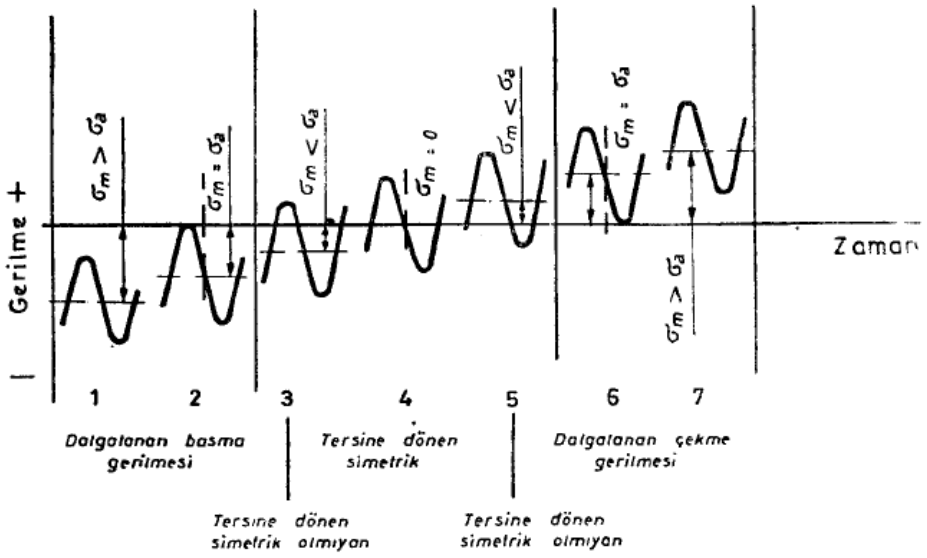
c) Zorunlu kırılma aşaması

Çatlak oluşumu aşaması genellikle malzemelerin yüzeylerinde bulunan mikro çatlaklardan yada kusurlardan başlar ve çatlak kayma düzleminde (45^o düzleminde) ilerler. Çatlak belirli bir mertebeden sonra normal gerilmeden etkilenerek normal gerilmeye dik yönde ilerlemeye başlar. Bu aşamaya çatlak ilerlemesi aşaması denir. Çatlak ilerlemesi aşamasından sonra malzemenin kesiti anma gerilmesini taşıyamayacak kadar küçüldüğünde son aşama olan zorunlu kırılma aşaması gerçekleşir [13].

3.2 Yorulma İle İlgili Terimler

3.2.1 Çevrim

Makinalarda "Periyot" yada "Yük Tekrarı" olarak da ifade edilebilen çevrim, malzemeye uygulanan genellikle sinüs dalgası şeklinde olan gerilmelerin tekrar eden en küçük birimine denir[13]. Malzemelerin yorulma ömrü genellikle çevrim sayısı olarak verilir.



Şekil 3.1 : Gerilme Periyodu Şekilleri [14]

3.2.2 Yorulma Ömrü

Belirli bir yük senaryosunda malzemelerin kırılması için gerekli çevrim sayısı olarak ifade edilir[13]. Demir dışı malzemelerde belirli bir yorulma ömründen bahsedilemez. Çelik malzemelerde malzeme belirli bir yük altında bir milyon çevrime dayanabiliyorsa sonsuz yorulma ömrüne sahiptir denilebilir.

3.2.3 Yorulma Dayanımı

Malzemelerin belirli bir çevrimde kopma meydana getirdiği gerilme olarak ifade edilmektedir. Bazı durumlarda eşdeğer numunelerin belirli bir çevrimde dayanabileceği gerilmelerin ortalaması olarak da alınabilmektedir. Yada ortalama gerilme sıfır iken malzemelerin sonsuz ömürle dayanabileceği gerilme olarak ifade edilir[13].

3.2.4 Yorulma Dayanım Sınırı

S-N diyagramlarında eğrinin yataylaştığı gerilmeye denir. Bu gerilmenin altındaki gerilmelerde malzeme sonsuz yorulma ömrüne sahiptir denilebilir[13].

3.2.5 Maksimum Gerilme

Uygulanan gerilme değerlerinden mutlak değeri en büyük olan gerilmeye maksimum gerilme denir. Gerilmelerden çekme gerilmeleri pozitif (+), basma gerilmeleri negatif (-) olarak gösterilir. σ_{max} olarak gösterilir[13].

3.2.6 Minimum Gerilme

Uygulanan gerilme değerlerinden mutlak değeri en büyük olan gerilmeye maksimum gerilme denir. σ_{min} olarak gösterilir[12].

3.2.7 Ortalama Gerilme

Maksimum gerilme ile minimum gerilmenin aritmetik ortalamasıdır. σ_m olarak gösterilir[12].

$$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min}) / 2 \qquad \textbf{(3.1)}$$

3.2.8 Gerilme Aralığı

Maksimum gerilme ile minimum gerilme arası farktır. σ_r olarak gösterilir[12].

$$\sigma_r = \sigma_{max} - \sigma_{min} \qquad \textbf{(3.2)}$$

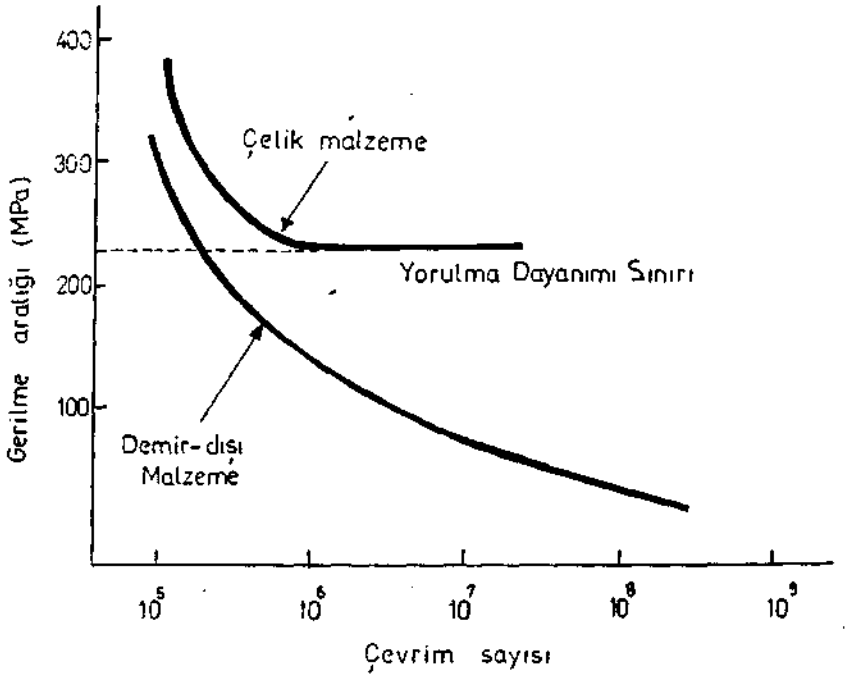
3.2.9 Gerilme Genliği

Maksimum gerilme ile minimum gerilme arası farktın ortalamasıdır. Gerilme aralığının yarısı yada maksimum gerilme ile minimum gerilme arası fark olarak da ifade edilebilir. σ_a olarak gösterilir[12].

$$\sigma_a = \sigma_{max} /2 = (\sigma_{max} - \sigma_{min}) / 2 = \sigma_{max} - \sigma_m \qquad \textbf{(3.3)}$$

3.2.10 Wöhler Diyagramları (S-N Diyagramları)

Farklı sabit gerilmeler altında malzemelerin kaç çevrim sonunda kırdığını tespit edilmesiyle gerilme ile çevrim sayısı arasında bağıntı elde etmeye yarayan eğriye sabit yorulma ömrü eğrisi (wöhler eğrisi) denir. Genellikle bu eğrilerde ortalama gerilme değerlerini gösteren ordinat ekseni doğrusal, çevrim sayısını gösteren apsis ekseni logaritmik olarak verilir.Wöhler eğrilerini elde etmek için yapılan deneylerde gerilme aralığı sabit tutularak belirli bir ortalama gerilmede 8 ila 12 benzer numune kırılarak kırılma çevrim sayıları kaydedilir. Daha sonra aynı gerilme aralığında ortalalma gerilme düşürülerek yeni yükleme durumu için deneyler tekrar edilir. Bu şekilde ortalama gerilme değeri değiştirilerek gerilme ile çevrim sayısı arasındaki ilişkiyi veren wöhler eğrisi elde edilir. Demir çelik gurubu malzemelerde genellikle 10^6 çevrim sonunda eğri yataylaşır yani malzeme o gerilme değeri ve onun altındaki gerilmelerde sonsuz ömre sahip demektir[1].

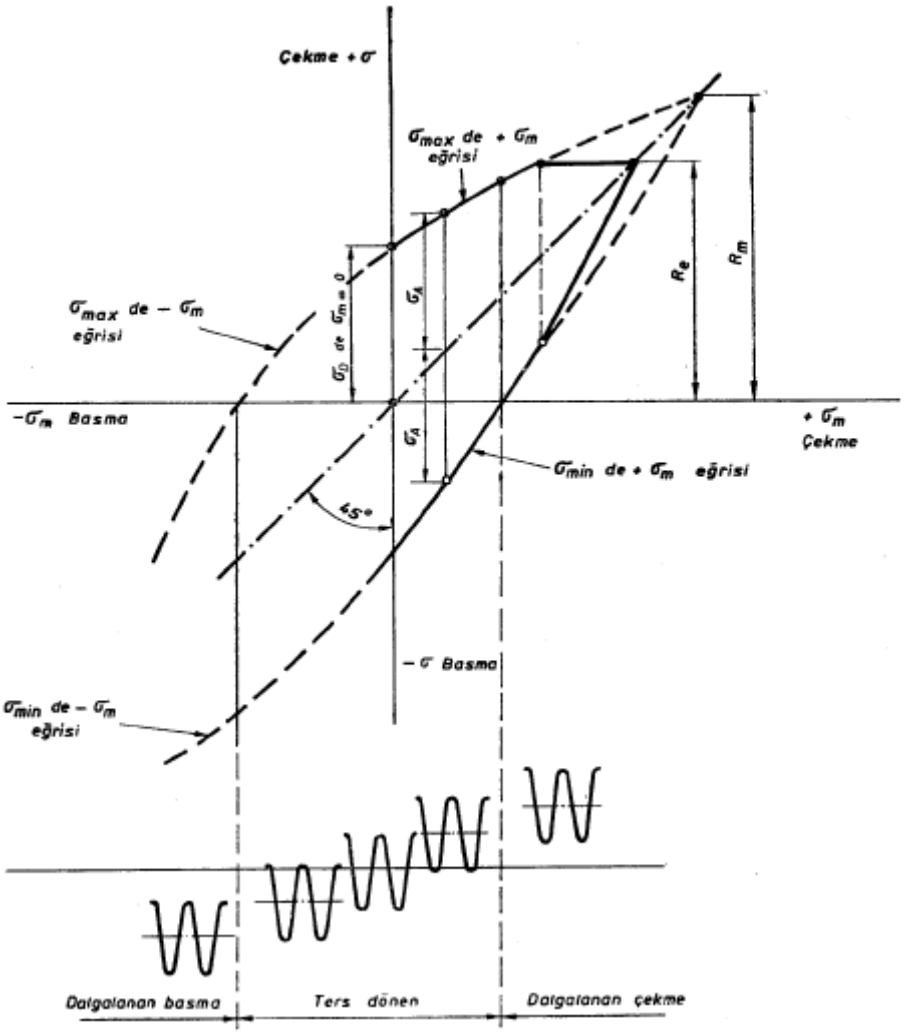


Şekil 3.2 : S-N Diyagramı [1]

3.2.11 Sabit Yorulma Ömrü Diyagramları (Smith Diyagramları)

Bu diyagramlarda ortalama gerilmeye göre belirli bir yorulma ömrü için max. gerilme, min. gerilme veya gerilme genliğinin değişimini vermektedir. Bu diyagramlar çizilirken gerilme oranının farklı olduğu S-N eğrileri kullanılır. Yorulma ile ilgili ortalama gerilme, gerilme genliği, gerilme aralığı ve gerilme oranı gibi

terimlerin hepsini birden içerdiğinden mühendislik uygulamalarında çok faydalı olarak kullanılmaktadırlar[1].



Şekil 3.3 : Smith Diyagramı [14]

3.3 Yorulmayı Etkileyen Faktörler

3.3.1 Malzeme Cinsi Bileşimi

Malzemelerin çekme dayanımındaki artış genellikle yorulma dayanımına da yansımaktadır. Bu yüzden malzemelarin çekme dayanımına sebep olan her işlem malzemenin yorulma dayanımını da artırır. Örneğin çeliklerde alaşım elementleri, uygun ısıl işlemle malzemenin sertleştirilmesi gibi işlemler malzemenin statik çekme dayanımı yanısıra yorulma dayanımını da artırmaktadır[1].

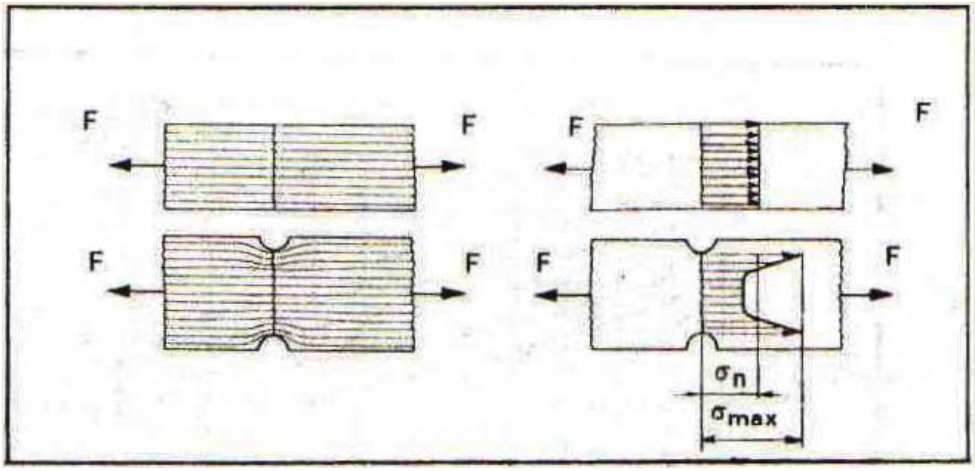
3.3.2 Yüzey Özellikleri

Yorulma kırılması çatlak oluşumu, çatlak ilerlemesi ve kırılma olmak üzere üç aşamadan meydana gelmektedir. Çatlak oluşumu genellikle malzemelerin dış yüzeylerinden başlamaktadır. Bunun sebebi normal yüklemeler artında genellikle maksimum gerilmelerin yüzeylerde meydana gelmesidir. Malzemelerin yüzeylerindeki düzensizlikler çentik etkisi yaratacağından bu bölgelerde gerilme yığılmaları olışmaktadır böylece yüzeyde çatlak oluşumuna sebep olmaktadır. Bu yüzden malzemelerin yüzeyleri torna işleminden sonra parlatılarak yorulma dayanım sınırı yaklaşık olarak %15-%40 arasında artırılır[1].

Yüzey düzgünlüğüne ek olarak yüzey sertliği de malzemenin yorulma dayanımını etkilemektedir. Yüzeyi sertleştirilmiş bir malzemenin yorulma dayanımı, yüzey sertliği çatlak oluşumunu güçleştireceğinden dolayı, daha yüksektir. Bu yüzden özellikle çeliklerde sementasyon ve nitrasyon gibi işlemler yapılarak yüzey setleştirilmesi yapılmaktadır.

3.3.3 Çentik Etkisi

Bir malzemenin sürekli mukavemet sınırını elde etmek için ortalama çapı 10 mm olan yüzeyi parlatılmış deney çubukları kullanılır. Fakat parçalardaki ani kesit değişimleri, yüzey pürüzlülükleri, delikler, boşluklar ve çentikler sürekli mukvemet sınırını düşürmektedir. Malzemelerde meydana gelen bu olumsuz etkiye çentik etkisi denir[15].

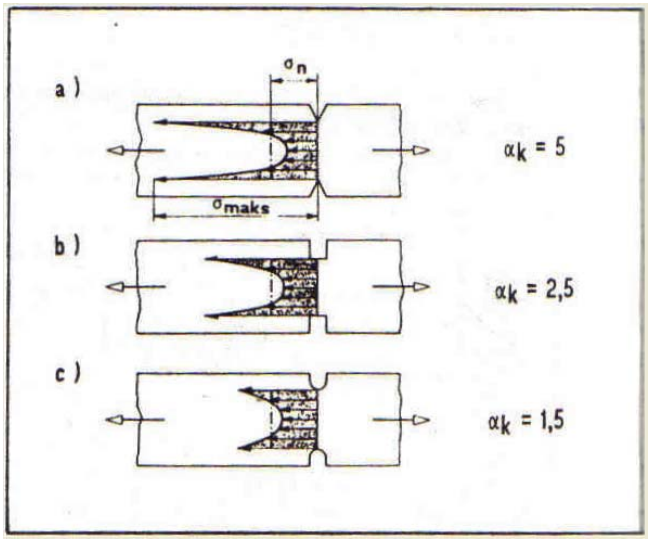


Şekil 3.4 : Çentik etkisi [15]

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi çentik etkisinden dolayı parça kesidindeki düzgün gerilme dağılımı bozulmakta ve zayıflatılmış bölümlerde gerilme yığılmaları oluşmaktadır ve bu noktalarda maksimum gerilme değerleri elde edilmektedir. Zayıflatılmış parçalardaki maksimum değer bulmak için; α_k form sayısı, σ_n çentiksiz durumdaki normal gerilme ve σ_{maks} maksimum gerilme olmak üzere:

$$\alpha_k = \sigma_{maks} / \sigma_n \qquad (3.4)$$

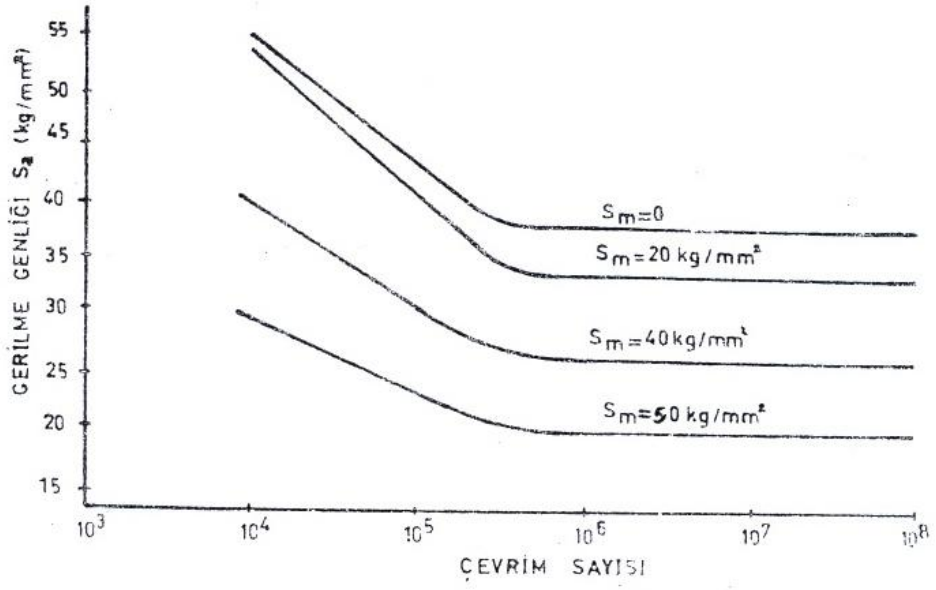
şeklinde elde edilebilir. Form katsayıları çeşitli mukavemet kitaplarından yada makina elemanları kitaplarından elde edilebilir. Aşağıdaki şekilde birkaç çentik şekli için form katsayıları verilmiştir[15].



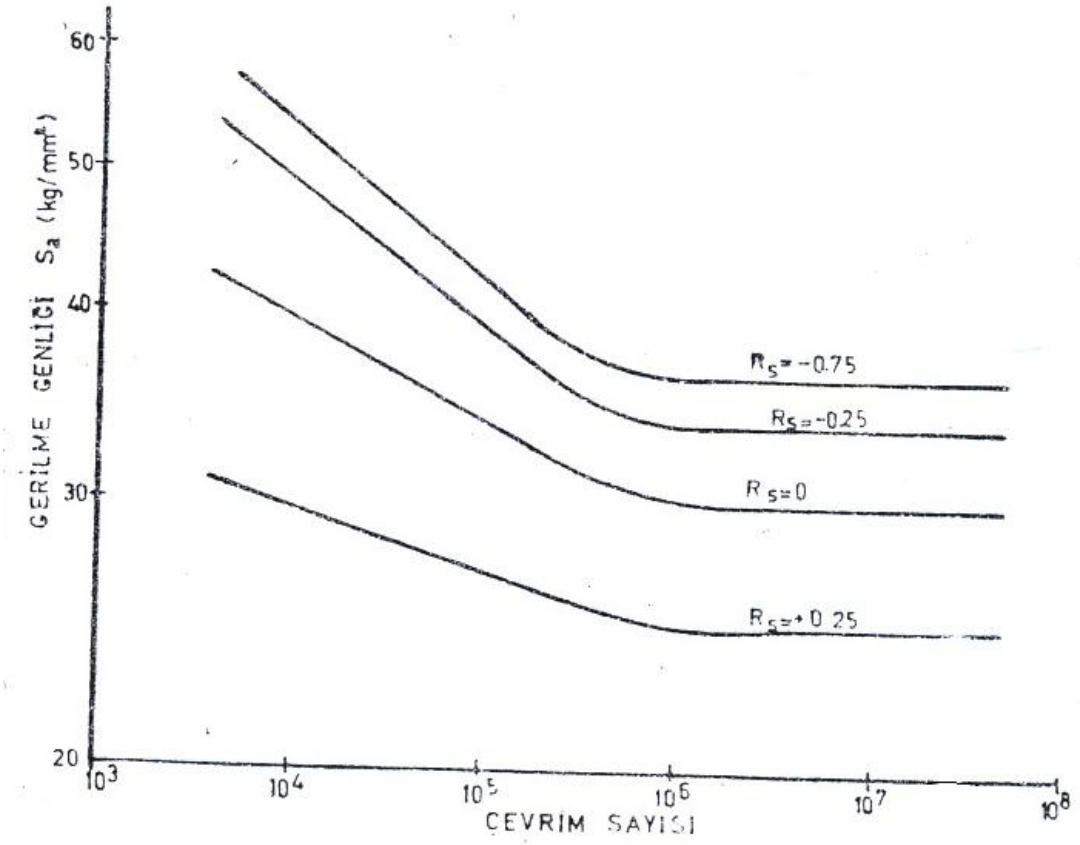
Şekil 3.5 : Çeşitli şekillerde form katsayıları ve gerikle dağılımları[15]

3.3.4 Gerilmenin Etkisi

Yorulmada uygulanılan gerilmenin türü yorulma ömründe etkilidir. Genellikle çekme ve eğme gerilmeli yorulmalarda benzer sonuçlar elde edilirken burma gerilmelerinde daha düşük yorulma ömürleri elde edilmektedir[1]. Yorulmada ortalama gerilme, gerilme aralığı, gerilme oranı terimleri önemli etkilere sahiptir.



Şekil 3.6 : Değişken ortalama gerilmeler için S-N eğrileri [1]

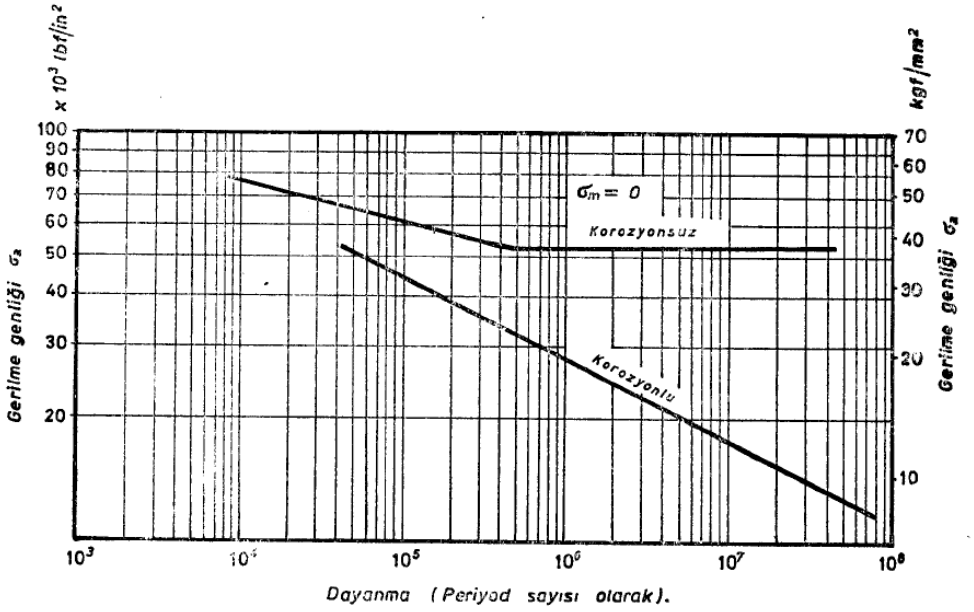


Şekil 3.7 : Değişken gerilme oranları için S-N eğrileri [1]

Şekil 3.6'te görüldüğü gibi ortalama gerilmenin artmasıyla S-N grafiğinde gerilme aralığı değerleri düşmektedir. Aynı şekilde sabit gerilme aralığında malzeme yorulma ömrünü artırmak için ortalama gerilmenin küçültülmesi gerektiği açıkça görülmektedir.

3.3.5 Korozyon Etkisi

Korozif bir ortamda değişken yüklemelerin etkisiyle ortaya çıkan yorulmaya korozyon yorulması denilmektedir. Malzemelerde korozyon varlığı ile birlikte sürekli bir yorulma dayanım sınırından söz edilemez ancak belirli süreli korozyon dayanımı söz konusudur[12]. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi korozyon varlığı malzemenin yorulma dayanım sınırını sürekli aşağıya çekmektedir. Korozyon varlığıyla birlikte yüzeylerde bozuntular ve boşluklar oluştuğundan bu boşlukların yarattığı çentik etkisi yorulma dayanımını azaltmaktadır.



Şekil 3.8 : Korozyonun yorulmaya etkisi(TS-1487)

3.3.6 Sıcaklığın Etkisi

Genellikle oda sıcaklığı altında yapılan deneylerde sıcaklık düştükçe yorulma dayanımı artarken, oda sıcaklığı üzerinde sıcaklık yükseldikçe yorulma dayanımı azalır. Belirli sıcaklıkların üzerinde malzemelerde sürünme olayı daha etkili olduğundan malzemeler yorulmadan ziyade sürünmeden hasara uğrarlar. Hasar sebebin anlamak için kırık yüzeyin incelenmesi gerekir. Yorulmada kırılma tane içinde olurken sürünmede taneler arasında olur[1]. Sıcaklık değişimi malzemelerde

ısıl gerilmelere neden olmaktadır. α_k ısıl genleşme katsayısı, E elastisite modülü, ΔT sıcaklık değişimi, σ_T ısıl gerilme olmak üzere:

$$\sigma_T = \alpha \,.\, E \,.\, \Delta T \qquad \textbf{(3.5)}$$

ifadesinden hesaplanabilir.

3.3.7 Frekansın Etkisi

Frekansın yorulma üzeine etkisi tespit edilememiştir. Frekansın 200 ile 10000 çevrim arasında etkisinin olmadığı kabul edilmektedir. Düşük karbonlu çeliklerde, alüminyum alaşımlarında ve bakırda frekansın artırılmasının yorulma dayanım sınırını artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca yüksek frekanslarda malzemede oluşan ısıl gerilmeler sebebiyle deney sonuçlarının olumsuz etkilendiği kabul edilmektedir[1].

4. CİVATALAR

4.1 Genel Bilgiler

Civatalar en çok kullanılan çüzülebilen bağlama elemanlarıdır. Bağlama ve hareket civataları olarak kullanılabilmektedir. Enine veya eksenel kuvvetleri karşılayan civata sistemleri; civata, bağlanan parçalar ve somun olmak üzere üç elemandan meydana gelmektedir. Civata dış yüzeyinde vida bulunan, somun ise iç yüzeyinde diş bulunan elemandır.

Civataların ilk olarak nerede, ne zaman ve nasıl kullanıldığı tam olarak bilinememekle birlikte ilk civata buluntusu M.S. 250 senesinde kullanılan çatal saplamadır. İlk olarak Mısır veya Asyada kullanıldığı tahmin edilmektedir.

İlk başlarda döküm metodlarıyla, sıcak dövme metoduyla yapılan civatalarda vidalar eğeleme yöntemiyle tek tek imal edilmekteydi. 1760 senesinde imal edilen ilk torna makinasıyla civata imalatı daha da kolaylaşmıştır. 1845 senesinde imal edilen lülerver torna tezgahıyla civata imalatında seri üretime geçilmiştir. İlk olarak talaş kaldırma yöntemiyle açılan vidalar gönümüzde ovalama yöntemiyle yapılmaktadır.

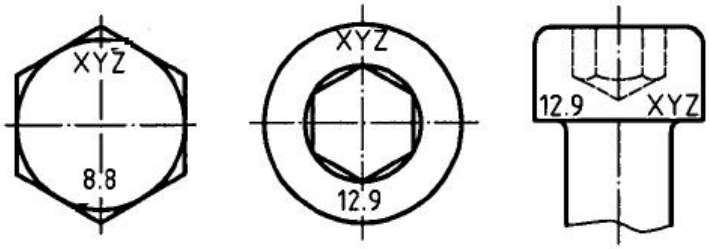
Bugün teknik şartlar geliştikçe civataların kullanımı ve önemi sürekli artmaktadır. Sanayi devrimiyle kullanımı gittikçe artan bu bağlama elemanları Avrupada 1998 yılında sadece Almanyada 490 bin ton civarında üretilmiştir. Ülkemizde ise 2000 yılında yaklaşık olarak 30 bin ton civata üretilmiştir.

Bu kadar çok kullanılan civatların standartlaştırılması kaçınılmazdır. 1800 yıllarına kadar belli bir standarta dayanmayan civatalar o günden bu güne yapılan çalışmalarla günümüzde standartlaştırılmış halde üretilmektedirler[2]. İleride vidalar bölümünde bunlar açıklanacaktır.

4.1.1 Civata ve Somun Malzemeleri ve Mukavemet Değerleri

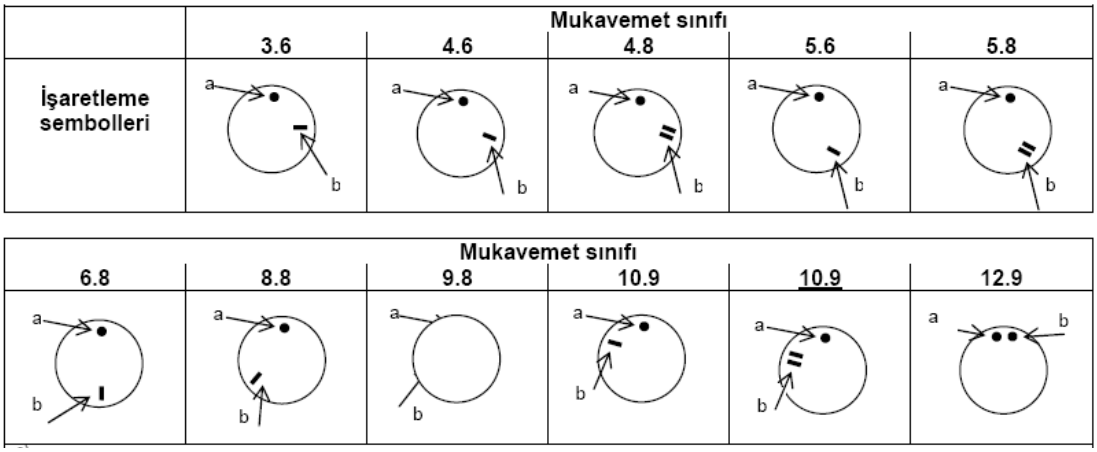
Civatalar başlarında bulunan rakamlara göre adlandırılırlar. Mukavemet değerleri verilirken aralarında nokta bulunan iki rakam verilmektedir. İlk sayı 100 ile

çarpılarak malzemenin kopma mukavemeti elde edilir. İlk sayı ile ikinci sayının çarpımının 10 ile çarpımı da malzemenin akma mukavemetini verir. Bu çarpımlar N/mm^2 birimindedir. Diğer harf yada rakamlar imalatçının işaretleridir.



Şekil 4.1 : Mukavemet Değerleri Gösterimi[16]

Somunlar işaretlenirken üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Birinci yöntem tam yükleme durumunda uygulanmaktadır. Somunların üzerine bir rakam konularak mukavemet değerleri işaretlenir. Bu rakam 100 ile çarpılarak N/mm2 biriminde somun dişlerinin sıyrılma sınırı değerini verir. İkinci yöntem sınırlı yükleme durumunda kullanılmaktadır. İki rakamla mukavemet değeri verilir. 04 ve 05 olarak sıtandartlaştırılmıştır. İkinci rakam 100 ile çarpılarak N/mm2 biriminde somun dişlerinin sıyrılma değerini verir. Üçüncü yöntem sınırsız yüklenme durumunda kullanılmaktadır. 11H, 14H ve 22H olarak sıtandartlaştırılmıştır. İlk değerin 10 katı Vickers sertlik değerini H ise sertliği göstermektedir[2]. İki rakamla işaretlenmesi mümkün olmayan durumlarda özellikle küçük vidalarda saat görünümlü sistem kullanılarak işaretleme yapılabilir.



Şekil 4.2 : Mukavemet Değerleri Gösterimi Saat Görünümlü Sistem [16]

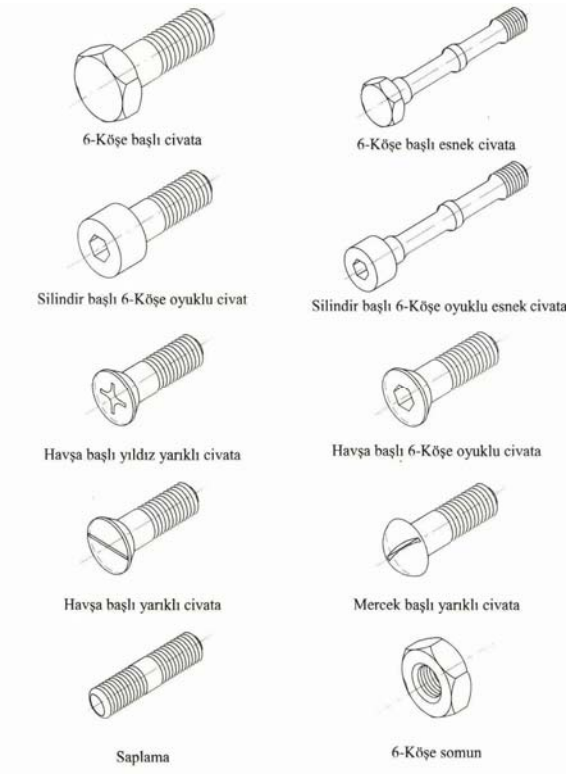
Şekil 4.2'de a ile gösterilen tek nokta saatin 12 yönünü, b ile gösterilen te3k yada çift çizgi de mukavemet değerleridir. Şekilde mukavemet sınıfları ve saat sistemi ile gösterilişleri verilmiştir.

4.1.2 Somun Boyu yada Civatalama Uzunluğu

Aynı malzemelerden yapılmış malzemelerde somun boyu şaft çapının 0.8 katı alınmaktadır. Çekme deneyleri sırasında civata gövdesi kopmadan somun dişlerinin sıyrıldığı görülmüştür. Bunun sebebinin piyasadan temin edilen civata ve somunların aynı kalitede olmamasından kaynaklanmaktadır. Deneyde civatanın yorulma mukavemeti incelenmek istendiğinden bağlantının somundan sıyrılmaması çift somun kullanılmıştır.

4.1.3 En Çok Kullanılan Civata ve Somun Çeşitleri

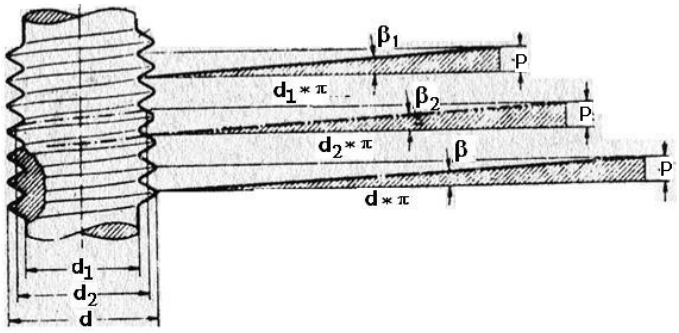
En çok kullanılan civata ve somun çeşitleri Şekil 4.3'de verilmiştir. Deney sırasında bu civatalardan 6 köşebaşlı civatalardan kullanılmıştır. Ayrıca deney tertibatındaki başlıkların klavuzlu disklere bağlanması için de silindir başlı civatalardan kullanılmıştır. İnbuls civata kullanma sebebi montaj kolaylığından yararlanmaktır. Alyen anahtar yardımıyla sıkılan bu civatalardan toplam 12 adet kullanılmıştır.



Şekil 4.3 : En çok kullanılan civata çeşitleri ve somun [2]

4.2 Vida

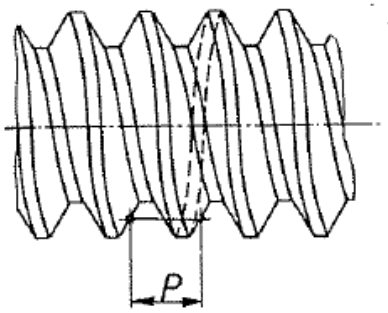
Vida silindirik yada konik parçaların dış yada iç yüzeylerine açılan helis şeklindeki kanallardır. Helisi ifade etmek için çap (d), hatve (P) ve helis açısı (β) gerekmektedir. Bir şaft üzerine sarılan helisin açılımı üçgen meydana getirmektedir.



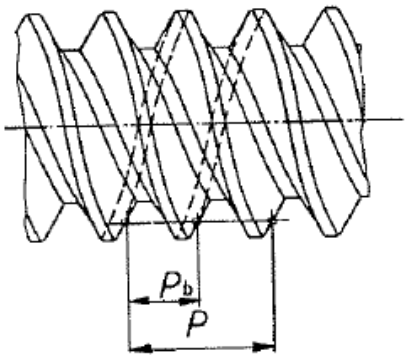
Şekil 4.4 : Helis açılımı [17]

Yukarıdaki şekilde sağ vidanın helis açılımı verilmektedir. Burada d diş başı çapı, d_2 ortalama çap, d_1 diş dibi çapı, β'lar bulunduğu çapa ait helis açılarını, P bir tam dönüşte eksenel yündeki hareket mesafesini (hatve) vermektedir. Hesaplarda kullanılan helis açısı değeri ortalama çapa (d_2) karşılık gelen helis açısıdır.

Vidalar sınıflandırılmasında profil şekli, helis yönü, ağız sayısı önemlidir. Profil şekline göre metrik, Withworth, trapez, testere, yuvarlak ve kare vidalar olarak sınıflandırılırlar. Helis yönüne göre sağ ve sol vidalar, ağız sayısına göre ise tek yada çok (iki, üç,dört) ağızlı vidalar olarak sınıflandırılırlar. Aşağıda şekillerde bu sınıflandırmalar verilmiştir.

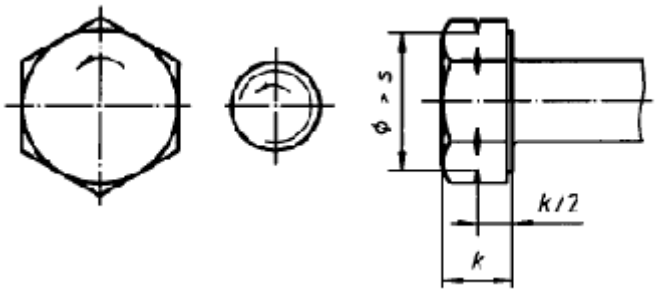


Şekil 4.5 : Bir Ağızlı Vida[18]



Şekil 4.6 : İki Ağızlı Vida [18]

Vidalar helis açısının sarılma yönüne göre sağ vidalar ve sol vidalar olarak adlandırılırlar. Standart vidalar sağ ağızlıdırlar. Özel durumlarda sol vidalar da kullanılmaktadır. Bu vidaların başında SOL yazısı yada L ibaresi bulunmaktadır yada aşağıda şekilde gösterildiği gibi işaraetlenir.



Şekil 4.7 : Sol vida gösterim şekilleri [16]

4.2.1 Çok Kullanılan Vida Türleri

Vidaların profillerine göre sınıflandırılırlar. En çok kullaılan vida profilleri ve şekilleri aşağda verilmiştir.

4.2.1.1 Metrik Dişli ISO Vidası

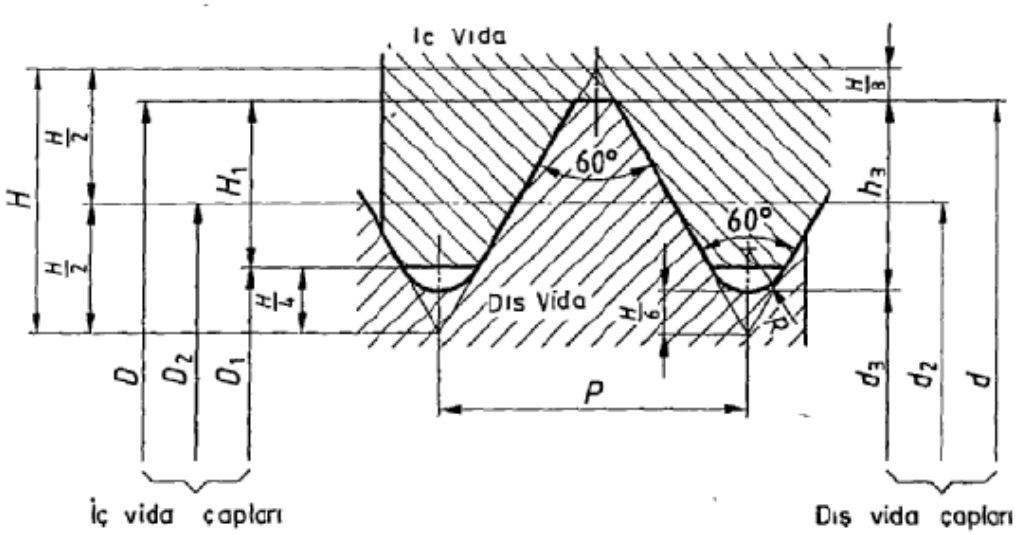
Standdartlarda kalın ve ince dişli olmak üzere iki tip metrik dişli ISO vidası vardır. Bu vida profili adımları 0,25 mm ile 6 mm arasında değişen tepe profil açısı 60° olan üçgen profildir.

Kalın dişli ISO vidaları baplantı elemanı olarak en fazla kullanılan vida türüdür. Özellikle makina imalatında çok fazla kullaılmaktadır. Tepe profil açısı 60° olan bu

vidalarda dış vidaların ucu kesilir ve iç vidaların ucu yuvarlatılarak çentik etkisi azaltılmaktadır.

İnce dişli ISO vidalarının kalın dişlilerden tek farkı adımının küçük olmasıdır. Dolayısıyla bu vidaların derinlikleri oldukça küçüktür. Bu özellik çentik etkisini azalttığından dinamik yüklemelere maruz kalan parçalarda bu vidaların kullaılması daha uygundur.

Metrik vidalar gösterililirken ince ve kalın diş farklılıklaarından çapla birlikte adım da yazılmaktadır. Örneğin M10 x 0.5 gibi. Burada M harfi metrik vidayı, 10mm anma çapını, 0.5mm de adımı göstermektedir.



Şekil 4.8 : Metrik ISO Dişli Vida Profili Anma Boyut Simgeleri [19]

4.2.1.2 Whitworth Vidası

Whitworth vidaları TS 61/Nisan 1978 standartında standart dışı kabul edilmiştir Normalde kullanılmaması gereken bu vidalar ülkemizde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Normal Whitworth Vidası ve Whitworth Boru Vidası olarak isimlendirilirler.

Normal Whitworth vidasında tepe açısı 55° olan ikizkenar üçgen profil kullanılmaktadır. Diş yüksekliğinin 1/6 sı alınarak yuvarlatılarak çentik etkisi azaltılmaktadır.

Bu vidalar ingiliz birim sistemine BSW (British Standard Whitworth) göre standartlaştırılmış olup boyutları inç olarak verilmektedir. Whitworth vidası

gösterilirken başına W konulmaktadır. Örneğin W2 iki parmaklık (inç) normal Whitworth vidasını göstermektedir. Bu vidaların adımları bir parmaktaki (inç) diş sayısı olarak belirlenmektedir.

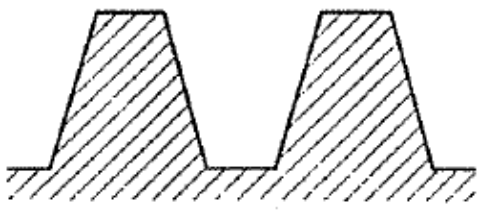
Yukarıda anlarılan vidalar kalın vidalardır. Bunlara ek olarak ingiliz standartlarında BSF (British Stantard fine) vidası kullanılmaktadır. Türk standartlarına alınmayan bu vidalar ingiliz endüstri mamullerinde bulunmaktadır. Vida profili aynı olup anma çapı ve adımları dolayısıyla diş sayıları farklıdır [2].

Whitworth boru vidaları orta ve kaba olarak imal edilirler. Vida dişleri boru cidarlarını inceltmemek için ince tutulmaktadır. TS 61/Nisan 1978 Standartında Whitworth vidaları boyutları 1/8″ ile 6″ arasında belirlenmiştir. Whithworth boru vidaları anma çaplarıyla gösterilirler. Örneğin R ¾ gibi. Burada R boru vidası oldığunu ¾ de anma çapını gösterir.

4.2.1.3 Metrik ISO-Trapez Vidası

Bu vidalar, daha önce bahsedilen vidalar gibi tesbit vidaları olarak kullanılmazlar. Sık çözülen yerlerde (takım tezgahları kalem tutturucuları, işkenceler gibi), tesbit vidaası gibi kullanılsa genellikle hareket vidası olarak kullanılırlar. Bu vidaların profili ucu kesilmiş 30° tepe açılı trapezdir.Çentik etkisi nedeniyle diş başı ve diş diplari yuvarlatılır.

Trapez vidalarda d=8…300 mm arası P=1,5…44mm arası değişmektedir. Bu vidalar gösterilirken anma çapı, adım ve bölüm sayılarıyla gösterilirler. Örneğin Tr 20 x 8 P4 TS 61/30. Burada Tr trapez vida olduğunu, 20 anma çapını, 8mm adımı, 4 de bölüm sayısını gösterir. Buradan ağız sayısı 8/4 = 2 olarak hesaplanabilir.



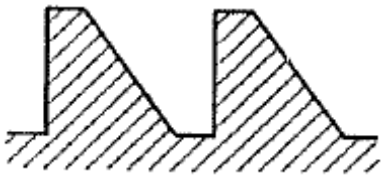
Şekil 4.9 : Trapez Vida [18]

4.2.1.4 Amerikan vida profilleri

Türk Standartlarında yer almayan bu vidalar, ülkemizde pek çok Amerika malı bulunmasından sıkça rastlanmaktadır. Bu vidaların profillerinde tepe açısı metrik vidalardaki gibi 60° olup uçları 1/8 oranında kesilmiştir. Vida adımları Whithworth vidalarda olduğu gibi bir parmaktaki (inç) diş sayısı olarak verilmektedir.

4.2.1.5 Testere Dişli vidalar

Bu vida profilleri hareket vidalarında kullanılırlar. Tek yönlü büyük yüklerin taşınmasında kullanılırlar. Taşıma yüzeyi vida eksenine dik, diğer yüzey bu yüzeye 30° 'lik açı yapmaktdır. Testere vidalar 10...640 mm çaplarında ve 2...44 mm adımlar arasında imal edilirler. Bu vidalar hareket vidası olarak kullanıldığından birden fazla ağızlı imal edilirler. Vidalar gösterilirken anma çapı, adım sayısı ve bölüm sayısı verilir. Örneğin Te 100x36 P12. Burada Te testere vida, 100mm anma çapı, 36mm adım ve 12 bölüm sayısını göstermektedir. Trapez vidadaki gibi ağız sayısı 36/12 = 3 olarak hesaplanabilir.



Şekil 4.10 : Testere Dişli Vida [18]

4.2.1.6 Yuvarlak Dişli Vidalar

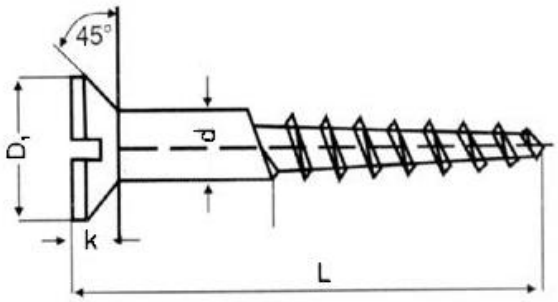
Keskin köşeli profiller kum, toz, pastan fazla zarar görmesinden kirli su vanaları itfaye armatürleri ve demiryolu vagonları bağlantılarında kullanılırlar. Yuvarlak vidalar 6..200mm anma çapında 2 sıra halinde standartlaştırılmıştır. Adımları bir parmaktaki diş sayısı olarak verlir. Yuvarlak vida gösterimi örneğin Yv 40x6 şeklinde gösterilirler. Burada Yv yuvarlak vidayı, 40 mm anma çapını, 6 bir parmaktaki diş sayısını göstermektedir.



Şekil 4.11 : Yuvarlak Dişli Vida [18]

4.2.1.7 Ağaç Vidaları

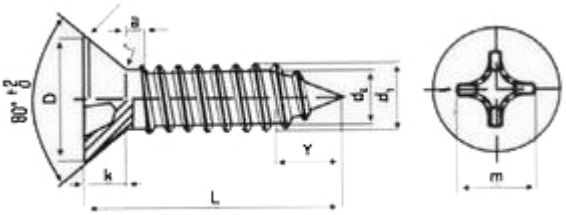
Piyasada vida olarak anılırlar. Uçları sivri profil uç açısı 60° adımları daha büyüktür. Çelik, pirinç veya alüminyumdan üretilirler. Kafaları genellikle düz yada yıldız olarak imal edilirler. Vidalar kullanınmadan önce çekiçle çakılır yada klavuz açıldıktan sonra deliğe vidalanırlar.



Şekil 4.12 : Ağaç Vidası [2]

4.2.1.8 Saç Vidaları

Saç vidaları çok fazla yüke maruz kalmayan fazla sökülüp takılma gereksinimi hissedilmeyen parçaların bağlanmasında kullanılırlar. Anma çapları 2,2…8 mm arasında, boyları 6…50 mm arasında değişir.



Şekil 4.13 : Sac Vidası [2]

5. DENEYİN YAPILIŞI ve STATİK HESAPLAMALAR

Deneyde M10x1,5 8.8 kalitesinde çeşitli 50 mm ve 90 mm bağlama boyuna sahip civatalar kullanılmıştır. Yorulma yüklerinin belirlenmesinde statik hesaplardan sonra çekme testi yapılmış, daha sonra bu verilere dayanarak yorulma yük senaryosu kurularak iki farklı boydaki civatalar için aynı yükleme altındaki çevrim sayıları elde edilerek tez kapsamında öngörülen bağlama boyunun civata yorulma ömrüne etkisi incelenmiştir. Daha sonra 50 mm şaft boyuna sahip civata üzerinde Wöhler eğrisi elde edilerek civata için sürekli mukavemet eğrisi elde edilmiştir.

Yapıldığında ve TS standartlarındaki minumum maksimum kopma yüklerine bakıldığında 4,6 ton yükü bu çaptaki ve bu kalitedeki cıvatanın taşıyabileceği görülür. Fakat hem civataların çekme yükünü deneysel olarak belirlemek hem de çekme eğrisini elde etmek için yorulma testlerinden önce çekme testleri yapılarak civataların çekme daynıklığı elde edilmiştir.

5.1 Çekme Testi ve Statik Hesabı

Deneylerde kullanılan M10x1,5 8.8 cıvataların kopma gerilmeleri daha önce belirtildiği gibi 800 MPa değerindedir. Civatalar eksenel çekmeye tabi tutulduğunda kopma vida dişlerinin bulunduğu yerlerde meydana gelmektedir. Bunun sebebi diş açılmasındana dolayı oluşan çentik etkisi ve dişli bölümdeki kesit alanının gövde kesit alanndan küçük olmasıdır. Civatalarda eksenel çekme durumlarında statik hesaplama gerilme kesit alanı denilen özel bir kesit alanı alınarak yapılmaktadır. Bunun sebebi civata diş bölümünden kesit alındığında oluşan kesit alanının diş helisinden dolayı diş dibi, diş başi ve ortalama kesit alanından farklı olmasından kaynaklanmaktadır[15].

Deneysel çalışmalar neticesinde bu gerilme kesit alanının hesaplanmasında diş başı çapı ile ortalama çapın aritmetik ortalaması kullanılarak hesaplanılan alanın daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

$$d_g = (d_2 + d_3)/2 \quad (5.1)$$

$$Ag = \pi.d_g^2/4 \quad (5.2)$$

$$A_g = \pi.((d_2 + d_3)/2)^2/4 \quad (5.3)$$

Metrik 10 civata için d_2 = 9,026 mm d_3 = 8,16 mm olduğunan Denklem 5.3 den gerilme kesit alanı,

A_g =57,990 mm^2 olarak hesaplanır.

$$F_a = \sigma_a \, . \, Ag \quad (5.4)$$

$$F_k = \sigma_k \, . \, A_g \quad (5.5)$$

Akma gerilmesi değeri 640 MPa, kopma gerilmesi değeri 800 MPa olduğundan;

F_a = 640 . 57,990

F_a = 37113,6 N

olarak hesasaplanabilir. Hesaplanan bu değer civatanın akmaya başladığı çekme kuvveti değeridir. Bu değer deney sonucunda elde edilecek Kuvvet- Uzama diyagramında kontrol edilecektir.

F_k = 800 . 57,990

F_k = 46392 N

olarak hesaplanabilir. Bu değer standanrtlarda (TS 3576) bulunan M10 8.8 civatalarının enbüyük çekme yükü asgari değerini vermektedir. Deneyde koparılan civataların hiçbiri bu değerin altında kopmamıştır. Çekme deneylerinde 14 adet cıvata koparılmıştır. Bu kadar fazla civata koparma sebebi yorulma yüklerinde verilecek ortalama ve maksimum çekme kuvvetini en yüksek tutmak istememizden kaynaklanmaktadır. Civatalalrın hepsi 52000 N üzerinde çekme yükü altında kopmuştır. Bu yüzden ortalama çekme kuvveti 30000 N, en büyük çekme kuvveti 50000 N alınmıştır.

5.2 Wöhler Eğrisi

Çalışmada, başlangıçta düşünülmemesine rağmen, yorulmada çok önemli olan sabit yorulma ömrü diyagramı (Wöhler Diyagramı) deneyleri yapılmasına karar verilmiştir. Böylece mühendisler açısından çok yararlı bir diyagram olan sabit yorulma ömrü diyagramı hakkında bilgi edinilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi bu eğrilenin elde edilmesinde iki farklı yol kullanılmaktadır. Birinci yolda ortalama gerilme sabit tutularak gerilme aralığı azaltılır. İkinci yolda ise gerilme aralığı sabit tutularak ortalama gerilme değeri elde edilmeye çalışılır.

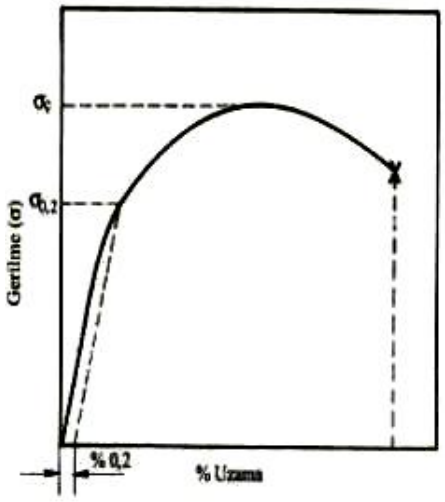
Bu çalışmada birinci yol izlenerek sabit yorulma ömrü diyagramı elde edilmiştir. Çekme kuvveti olarak deneyler süresince ortlama kuvvet 30 kN olarak uygulanmıştır, böylece ortalama gerilme değeri sabit tutulmuştur. En yüksek çekme kuvveti 50 kN, en düşük çekme kuvveti 10 kN alınarak, ortalama kuvvet sabit tutulmak suretiyle en yüksek ve en düşük çekme kuvveti değerleri değiştirilerek gerilme aralığı düşürülmüş ve sonsuz yorulma ömrü elde edilmeye çalışılmıştır. Sabit yorulma ömrü diyagramı elde edilirken benzer numunelerden 5-8 numune kullanılarak çevrim kopma çevrim sayıları elde edilir. Çalışmada ilk deneylerde gerilme aralığı fazla olduğundan kopma çevrim sayıları farklılık göstermiştir. Bu yüzden aynı numuneden aynı yükleme şartlarında 5 er numude alınarak kopma çevrim sayısı kaydedilmiştir. Wöhler eğrisi çizdirilirken ortalama çevrim sayıları kullanılmıştır. Gerilme aralığı azaldıkça deney süreleri arttığından ve kopma çevrim sayıları birbirine yaklaştığından son iki yükleme durumu için daha az deney yapılmıştır. Son iki deneyde sonsuz bir milyon çevrim elde edildiğinden deneylere son verilmiştir.

6. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

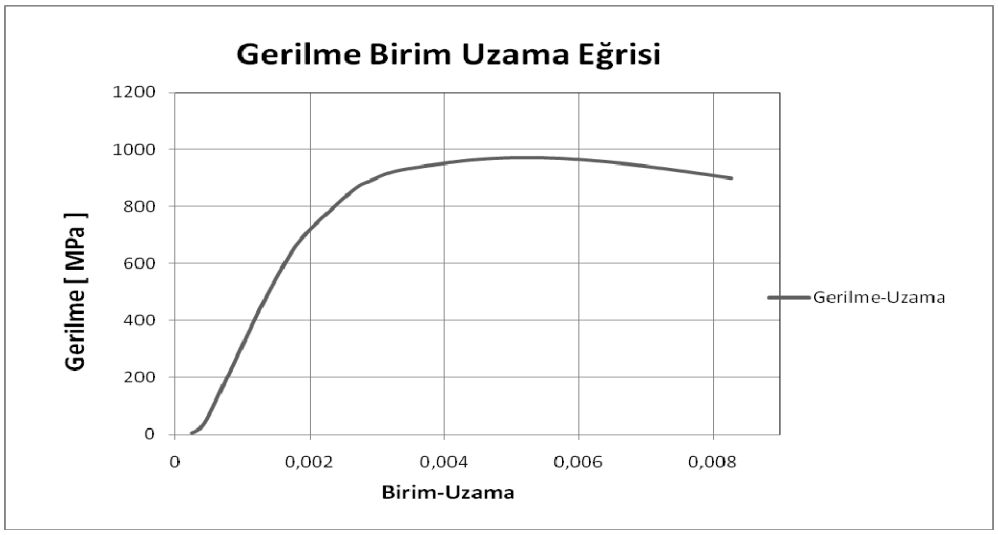
Deney sonucunda başlangıçta öngörülen civata bağlama boyu artırılmasıyla yorulma dayanımı artışı gerçekleşmiştir. Yorulma dayanımının aynı yükleme durumu için 90 mm bağlama boyuna sahip bir konstrüksiyonda, 30 mm bağlama boyuna sahip bir konstrüksiyona göre %275 daha fazla olduğu görülmüştür. Buradan hareketle özellikle çok fazla yorulma yüklerine maruz kalan konstrüksiyonlarda yorulma dayanımı artırımı için aynı civata kullanılarak bağlantı boyu artırılarak yorulma dayanımı önemli ölçüde artırılabilir. Özellikle fazla titreşim ve yorulma yüküne maruz bağlantılarda bağlama boyunun artırılmasına özen gösterilmelidir.

6.1 Çekme Testi Sonuçları

Aşağıda 30mm bağlama boyunda çekme testi kuvvet-uzama grafiği verilmiştir. Grafik litaratürdeki çekme testi grafikleriyle benzerdir. Yaklaşık 40000 N çekme kuvvetine kadar grafik lineer olarak artmıştır. Yani bu kuvvete kadar civata linner elastik bölgededir. Bu sonuç bölüm 5.1'de hesaplanan asgari akma kuvveti değeriyle (37113,6 N) uyumludur. Kopma kuvveti incelendiğinde civata kopma değeri 52000 N olarak görülmektedir. Yine bu değer asgari kopma kuvveti değeriyle (46392 N) uyumludur.



Şekil 6.1 : Teorik Gerilme-Uzama Eğrisi [20].



Şekil 6.2 : Eksenel Çekme Deneyi Gerilme-Birim Uzama Eğrisi

6.2 Yorulma Deneyleri Sonuçları

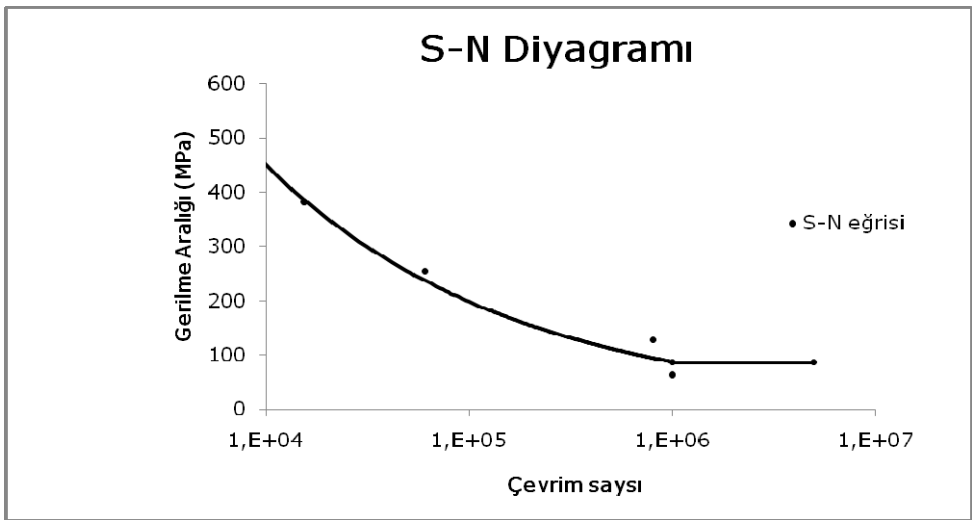
Çizelge 6.1'de civataların kopma çevrim sayıları verilmiştir. Deney sonuçlarında civata bağlama boyunun artırılmasıyla yorulma dayanımının giderek arttığı görülmektedir. Elde edilen veriler başlangıçta öngörülen litaratürdeki civata esnekliğinin artırılmasının yorulma dayanımını artırdığı gerçeğini doğrulamaktadır. Aşağıda Çizelge 5.1'de 30 mm ve 90 mm bağlama boyunda yapılan deneylerin sonuçları tablo halinde verilmiştir. Çalışmanın başında deneylerin 30 mm, 50 mm, 70 mm ve 90 mm olmak üzere 4 bağlama boyu için yapılması öngörülmüştür. Fakat deneylarin çok uzun sürmesi sonucunda 30 mm ve 90 mm olmak üzere 2 bağlama boyu için çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir. Civataların her ne kadar aynı standartta olmasına rağmen birbiri arasında çok farklı davrandıkları görülmüştür. Bu yüzden deneylerde elde edilen kopma çevrim sayıları ortalaması alınarak o boydaki kopma çevrim sayısı değeri olarak ortalama değer alınmıştır. Her ne kadar civatalar arasında kopma çevrim sayılarında farklılık olsa da 30 mm bağlama boyundaki en büyük çevrim sayısı 36136, 90 mm bağlama boyundaki en küçük çevrim sayısı 70125 çevrim olarak görülmektedir. Burdan da anlaşıldığı üzere civata bağlantı boyunun 30 mm'den 90 mm'ye çıkarılmasıyla yorulma dayanımı % 94 artmaktadır. Ortalama değerler baz alınarak düşünüldüğünde ise yorulma dayanımı % 275 artmaktadır.

Çizelge 6.1 : Civataların Kopma Çevrim Sayıları

Deney No	Civatalama Boyu mm	Çevrim Sayısı	Deney No	Civatalama Boyu mm	Çevrim Sayısı
1	30	12694	7	90	100328
2	30	17242	8	90	86157
3	30	36136	9	90	70125
4	30	28558	10	90	120258
5	30	30952	11	90	100126
6	30	22521	12	90	78550
Ortalama Çevrim Sayısı		**24684**	**Ortalama Çevrim Sayısı**		**92591**

6.3 Sabit Yorulma Ömrü Diyagramı (Wöhler Diyagramı)

Deneyler sonucu elde edilen sabit yorulma ömrü (Wöhler) diyagramı Şekil 6.2'de, deney yükleri ve kopma çevrim sayıları Çizelge 6.2 de verilmiştir. Gerilme aralığı düşürülmesiyle eğrinin yataylaştığı ve belirili bir gerilme aralığından itibaren sonsuz yorulma ömrünün elde edildiği görülmüştür. Diyagramda yatay eksen logaritmik olup çevrim sayısını düşey eksen ise gerilme değerlerini vermektedir. Deneyler kuvvet kontrolü yapıldığı için kuvvet değerleri kesit alanına bölünerek gerilme değerleri elde edilmiştir. Grafik literatürdeki çelik grubu malzemeler wöhler eğrisie benzemektedir. (Şekil 3.2)



Şekil 6.3 : Sabit Yorulma Ömrü (Wöhler) Diyagramı

Çizelge 6.2 : Sabit YorulmaÖmrü Diyagramı (Wöhler Eğrisi) Deney Verileri

Wöhler Eğrisi Deney Verileri

50kN-10kN		45kN-15kN		40kN-20kN		35kN-25kN		32.5kN-27.5kN	
Deney No	Çevrim Sayısı	Deney No	Çevrim Sayısı	Deney No	Çevrim Sayısı	Deney No	Çevrim Sayısı	Deney No	Çevrim Sayısı
1	4466	6	14302	11	46243	16	885674	19	1000000
2	9770	7	12274	12	50328	17	789658	20	1000000
3	6260	8	19905	13	56694	18	746892		
4	6973	9	16905	14	84327				
5	4178	10	13801	15	65585				
Ortalama	**6329**	**Ortalama**	**15437**	**Ortalama**	**60635**	**Ortalama**	**807408**	**Ortalama**	**1000000**

6.4 Kırık Yüzeyleri ve Mikro Yapıları

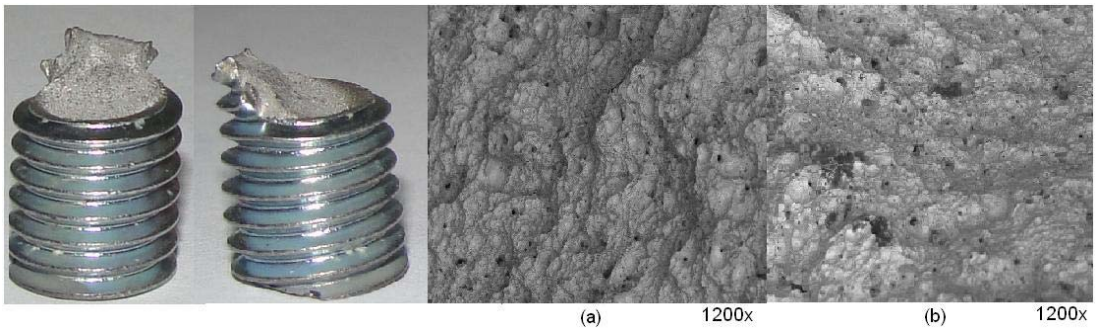
Deneysel çalışmalar tamamlandıktan sonra kırılan numuneler ve kırık yüzeyleri için kırılma analizi yapılmıştır. Kırılan numuneler ve kırık yüzeyleri taramalı elektron mikroskobunda (SEM) numunelerin kırılma tipinin belirlenmesi için incelenmiştir. Kırık numuneler gözle muayene edildiğinde çekme deneyi ile kırılan numunelerde meydana gelen plastik deformasyonun yorulma deneyinde kırılan numunelere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Buradan çekme deneyinde kırılan numunenin sünek kırılmaya uğradığı kolaylıkla anlaşılmaktadır.

Çekme deneyi ile kırılan numunede kırık yüzeyi çekme yönüne göre yaklaşık 45 derecelik bir açıda kırılmış olup sünek kırılma görüntüsü vermektedir. Kırık yüzeyi SEM'de incelendiğinde süngerimsi bir yapı vardır (Şekil 6.4). Bu bulgulardan anlaşıldığı üzere çekme deneyi numunesi eksenel çekme kuvvetiyle maksimum kayma gerilmesi düzleminde plastik deformasyona uğrayarak sünek kırılmaya maruz kalmıştır.

Yorulma deneyi ile kırılan numune gözle muayene edildiğinde iki farklı yüzey görülmektedir. Birinci yüzey kuvvet yönüne dik ve pürüssüz olup karakteristik yorulma çatlağı ilerleme yüzeyi görünümündedir (Şekil 6.5a). İkinci yüzey ise 45 derece açılı olup, çekme numunesi SEM görüntüsüne göre daha pürüzsüzdür ve çukurcuklar daha küçük olup az sayıdadır (Şekil 6.5b). Kırılma önce yorulma yükleriyle çatlağın kuvvete dik yönde ilerlemesinden sonra 45 derece nihai kırılma ile sonlanmıştır. Kırık yüzeyi SEM'de incelendiğinde kırılmanın karekteristik mikro-sünek tipteki yorulma kırılması olduğu görülmektedir.



Şekil 6.4 : Çekme Deneyi Numunesi Kırık yüzeyi ve Kırık Yüzeyi SEM Görüntüsü



Şekil 6.5 : Yorulma Deneyi Numunesi Kırık yüzeyi ve Kırık Yüzeyindeki Yorulma Bölgesi SEM Görüntüsü (a), Ani Kırılma Bölgesi SEM Görüntüsü

6.5 Değerlendirme

Çalışmada cıvata bağlama boyunun artırılmasıyla cıvata yorulma ömrünün arttığı görülmüştür. Ayrıca sabit yorulma ömrü diyagramı elde edilmiştir. Sabit yorulma ömrü diyagramı demir gurubu malzemelerin diyagramıyla benzerlik arzetmektedir. Deneylerin çabuk bitirilmesi için yüksek kuvvetlerde yorulma gerçekleştirilmiştir. İlerde aynı malzeme için daha düşük kuvvetlerde daha yüksek çevrim sayıları elde edilerek deneyler tekrarlanabilir. Ayrıca aynı yük şartlarında sıcaklık değişimi yada malzeme cinsi değişimiyle yorulmanın değişimi incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] Kayalı, E., Ensari, C., ve Dikeç, F. 1990: Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İstanbul, Türkiye

[2] Kutay, G., 2005: Civatalar, İstanbul, Türkiye

[3] Majzoobi, G.H. Farrahi, G.H ve Habibi, N., 2004. Experimental evaluation of the effect of thread pitch on fatigue life of bolts, *International Journal of Fatigue,* **27(2005):** 189-196.

[4] Wingerde, A. M., Delft, D. R. V. Van ve Knudsen E. S., 2002. Fatigue behaviour of bolted connections in pultruded FRP profiles, *Plastics, Rubber and Composites,* **(2003):** Vol. 32 No. 2

[5] Minguez, M.J. Vogwell, J. 2006. Effect of torque tighteing on fatigue strength of bolted joints, *Engineering Failure Analysis,* **13(2006):** 1410-1421.

[6] Dragani, E., 1994: Fatigue testing of metric bolts fitted with lip-type nuts, *Journal of Offshore Mechanics and Aectic Engineering,* **(1995):** Vol. 117

[7] Tekin. E. 1986. Mühendisler İçin Çelik Seçimi, Ankara, Türkiye

[8] Url-1 <http://www.akb-tr.com/muayene.html>, alındığı tarih 26.06.2009.

[9] Url-2 < http://www.wtndt.metu.edu.tr/ndt/node/9>

[10] Url-3 <http://www.ndt-ed.org>, alındığı tarih 26.06.2009.

[11] Url-4 < http://www.nuveforum.net/1005-metalurji/54060-cinko-kaplama-paketleme/> alındığı tarih 27.06.2009

[12] Tauscher, H., 1983. Çelik ve Döme Demirlerin Yorulma Dayanımı, Gebze, Türkiye

[13] Gücer, D., 1982. Metalik Metalurji, İstanbul, Türkiye.

[14] TS-1487, 1974. Metallerin Yorulma Deneyleri Genel Prensipleri, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara, Türkiye.

[15] Rende. H. 2000: Makine Elemanları Cilt 1, İstanbul, Türkiye

[16] TS-3576, 2006. Bağlama Elemanlarının Mekanik Özelikleri- Karbon Çeliği ve Alaşımlı Çelikten İmal Edilmiş – Bölüm 1: Civta, Vida ve Saplamalar, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara, Türkiye.

[17] Akkurt, M., 1990: Makina Elemanları Cilt I, İstanbul, Türkiye

[18] TS-61-1, 1994. Bağlama Elemanları- Vidalar- Kısım: 1 – Terimler ve Tarifler, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara, Türkiye.

[19] TS-61-3, 1994. Bağlama Elemanları- Vidalar- Kısım: 3 – *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara, Türkiye.

[20]. Url-5 < http://issuu.com/motorsitem/docs/tahribatli-muayene>, alındığı tarih 28.06.2009

EKLER

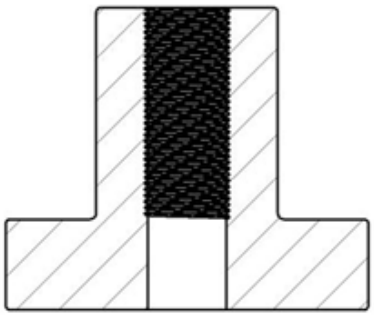
EK A.1 : Metrik ISO standart dişli vidalar (ISO 68 ; DIN 13 T1 ; TS 61/3)
EK A.2 : Mekanik Çene Teknik Resim
EK A.3 : Klavuzlu Disk Teknik Resim
EK A.4 : Delikli Disk Teknik Resim

EK A.1 Metrik ISO standart dişli vidalar (ISO 68 ; DIN 13 T1 ; TS 61/3) ölçüler mm' dir

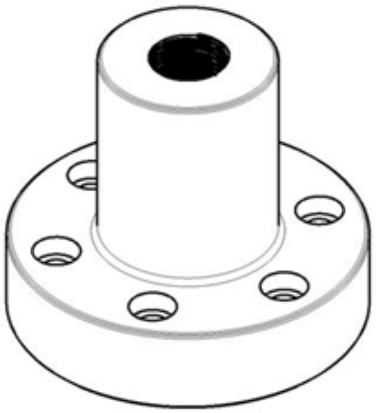
Anma çapı		Hatve	Bölüm	Diş dibi çapı		Diş Yüksekliği		Gerilim Kesiti	Diş dibi	Helis
d = D		(Adım)	çapı	d_3	D_1	h_3	H_1	A_{GE}	kesiti A3	ϕ
		P	$d_2 = D_2$					mm^2	mm^2	derece
1		0,25	0,838	0,693	0,729	0,153	0,135	0,460	0,377	5,427
1,2		0,25	1,038	0,893	0,929	0,153	0,135	0,732	0,627	4,386
1,6		0,35	1,373	1,171	1,221	0,215	0,189	1,270	1,076	4,640
2		0,4	1,740	1,509	1,567	0,245	0,217	2,073	1,789	4,185
2,5		0,45	2,208	1,948	2,013	0,276	0,244	3,391	2,980	3,712
3		0,5	2,675	2,387	2,459	0,307	0,271	5,031	4,473	3,405
	3,5	0,6	3,110	2,764	2,850	0,368	0,325	6,775	6,000	3,514
4		0,7	3,545	3,141	3,242	0,429	0,379	8,779	7,750	3,596
	4,5	0,75	4,013	3,580	3,688	0,460	0,406	11,319	10,065	3,405
5		0,8	4,480	4,019	4,134	0,491	0,433	14,183	12,683	3,253
6		1	5,350	4,773	4,917	0,613	0,541	20,123	17,894	3,405
8		1,25	7,188	6,466	6,647	0,767	0,677	36,609	32,841	3,168
10		1,5	9,026	8,160	8,376	0,920	0,812	57,990	52,292	3,028
12		1,75	10,863	9,853	10,106	1,074	0,947	84,267	76,247	2,935
	14	2	12,701	11,546	11,835	1,227	1,083	115,439	104,706	2,869
16		2	14,701	13,546	13,835	1,227	1,083	156,668	144,121	2,480
	18	2,5	16,376	14,933	15,294	1,534	1,353	192,473	175,135	2,782

Anma çapı		Hatve	Bölüm	Diş dibi çapı		Dis Yüksekliği		Gerilim Kesiti	Diş dibi	Helis
d = D		(Adım)	çapı	d3	D1	h3	H1	AGE	kesiti A3	f
20		2,5	18,376	16,933	17,294	1,534	1,353	244,794	225,190	2,480
	22	2,5	20,376	18,933	19,294	1,534	1,353	303,399	281,527	2,237
24		3	22,051	20,319	20,752	1,840	1,624	352,504	324,273	2,480
	27	3	25,051	23,319	23,752	1,840	1,624	459,406	427,095	2,183
30		3,5	27,727	25,706	26,211	2,147	1,894	560,587	518,988	2,301
	33	3,5	30,727	28,706	29,211	2,147	1,894	693,553	647,193	2,077
36		4	33,402	31,093	31,670	2,454	2,165	816,722	759,280	2,183
	39	4	36,402	34,093	34,670	2,454	2,165	975,752	912,868	2,003
42		4,5	39,077	36,479	37,129	2,760	2,436	1120,910	1045,148	2,099
	45	4,5	42,077	39,479	40,129	2,760	2,436	1306,003	1224,120	1,950
48		5	44,752	41,866	42,587	3,067	2,706	1473,149	1376,593	2,037
	52	5	48,752	45,866	46,587	3,067	2,706	1757,834	1652,209	1,870
56		5,5	52,428	49,252	50,046	3,374	2,977	2030,017	1905,204	1,913
	60	5,5	56,428	53,252	54,046	3,374	2,977	2362,020	2227,231	1,777
64		6	60,103	56,639	57,505	3,681	3,248	2675,972	2519,519	1,820
	68	6	64,103	60,639	61,505	3,681	3,248	3055,293	2887,957	1,707

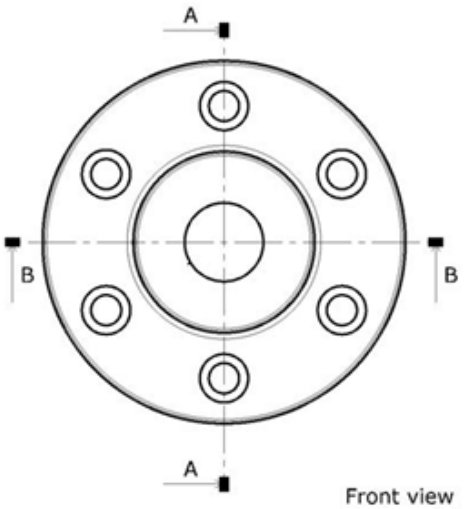
EK A.2 Mekanik Çene Teknik Resim (ölçüler mm'dir)



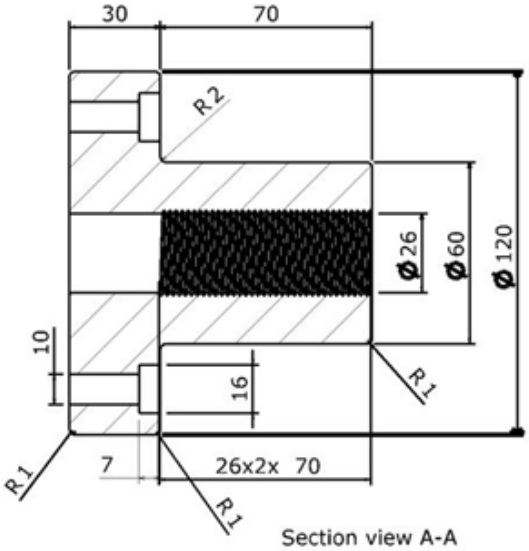
Section view B-B
Scale: 1:1



Isometric view
Scale: 1:1

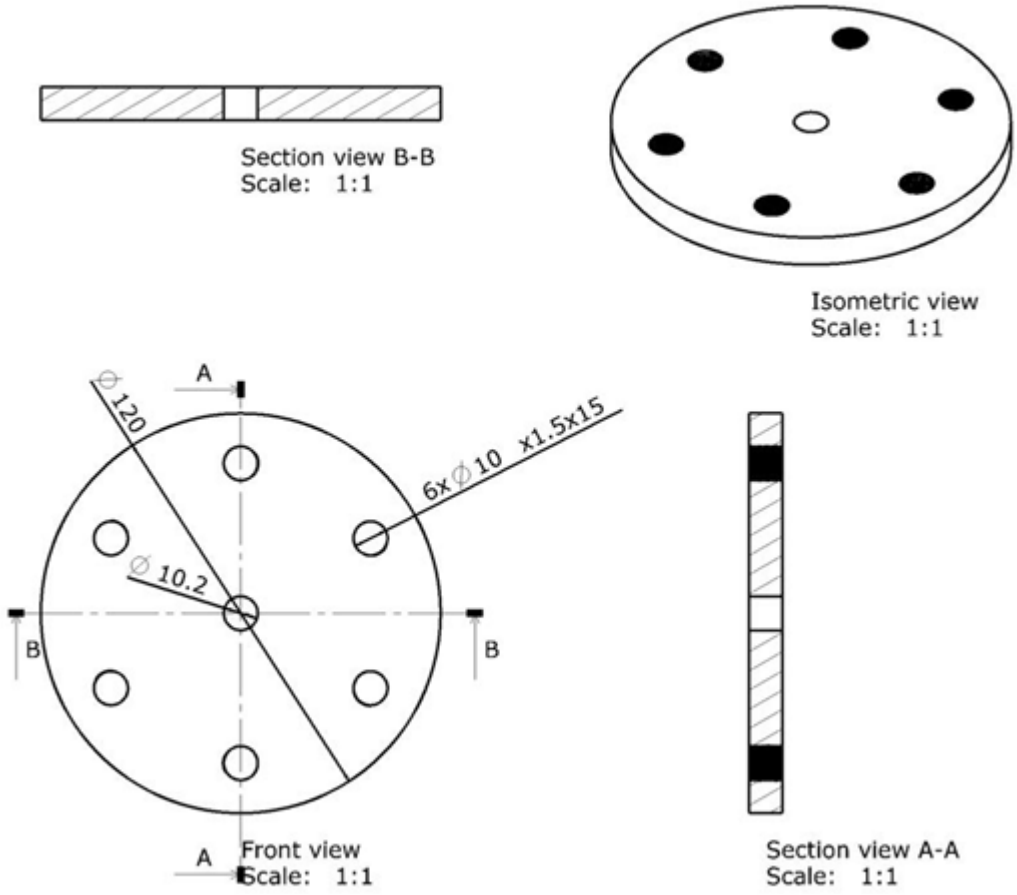


Front view
Scale: 1:1

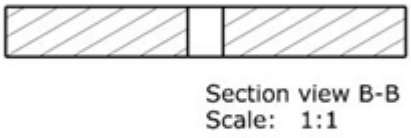


Section view A-A
Scale: 1:1

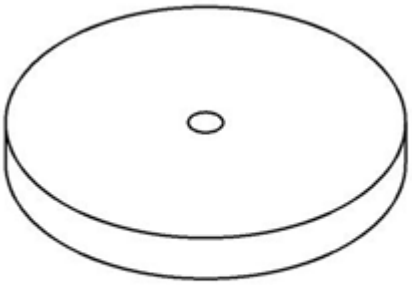
EK A.3 Klavuzlu Disk Teknik Resim



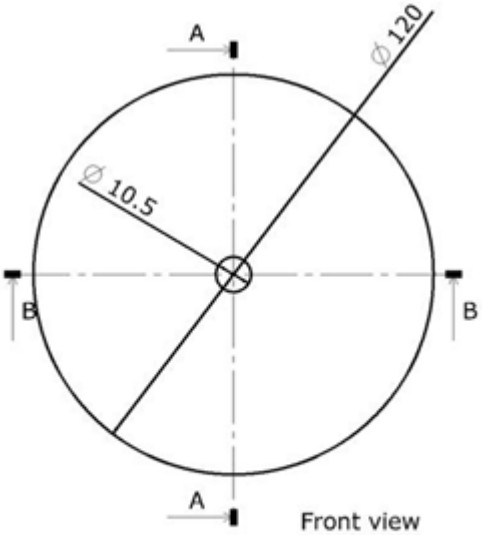
EK A.4 Delikli Disk Teknik Resim (ölçüler mm'dir)



Section view B-B
Scale: 1:1



Isometric view
Scale: 1:1



Front view
Scale: 1:1



Section view A-A
Scale: 1:1

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mustafa Salih SEÇKİN

Doğum Yeri ve Tarihi: Çankırı 17.06.1983

Adres:

Lisans Üniversite: İTÜ