

57897

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAKIM ÇELİKLERİNDE ÇEKME BASMA
YORULMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Vedat TAŞKIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. H. Erol AKATA

EDİRNE - 1996

**TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

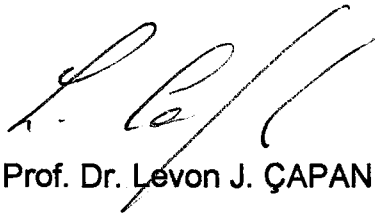
**TAKIM ÇELİKLERİNDE ÇEKME-BASMA
YORULMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mak. Müh. Vedat TAŞKIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu tez 20/01 / 1997 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.


Prof. Dr. Levon J. ÇAPAN

Üye

 
Prof. Dr. M. Cem ECE Doç. Dr. H. Erol AKATA

Üye

Danışman

	ÖNSÖZ	
	ÖZET	
	ABSTRACT	
	KULLANILAN SEMBOLLER	
	BÖLÜM 1 TAKIM ÇELİKLERİ	
1.1.	Takım Çeliği Nedir ?	1
1.2.	Takım Çeliği Türleri	1
1.2.1.	Hız Çelikleri	1
1.2.1.1.	Kullanılan Bazı Alaşım Elemanları	1
1.2.1.2.	Kullanım Yerleri	2
	BÖLÜM 2 CNC TORNA UYGULAMALARI	
2.1.	Konunun Tanıtılması	3
2.2.	Kodlama Sistemleri	3
2.2.1.	ISO ve EIA Kodlama Sistemleri	4
2.2.2.	Hazırlık Fonksiyonları	5
2.2.3.	Yardımcı Fonksiyonlar	6
	BÖLÜM 3 YORULMA	
3.1.	Yorulma Zorlaması ve Kırılması	7
3.1.1.	Genel	7
3.1.2.	Yorulma Zorlamasının Özellikleri	8
3.1.3.	Yorulma Kırılmasının Nedeni	8
3.1.4.	Yorulma Kırılmasına Neden Olan Etmenler	8
3.1.4.1.	Dış Etkenler	8
3.1.4.2.	İç Etkenler	9
3.2.	Kuvvetin Zamanla Değişimi	10
3.2.1.	Yorulma Sınırı	11
3.3.	Yorulma Deneyi İçin Semboller ve Terminoloji	12
3.4.	Yorulma Kopmasının Oluşumu	15
3.5.	Wöhler Eğrileri	19
3.5.1.	Wöhler Eğrilerinin Bölgelerinin Açıklanmaları	21
3.6	Smith Diyagramları	22
3.7.	Yorulmaya Etki Eden Faktörler	24
3.7.1	Korozyon Etkisi	24
3.7.2.	Sıcaklık Etkisi	24
3.7.3.	Yük Tekrar Frekansının Etkisi	24
3.7.4.	Yükleme Şeklinin Etkisi	24
3.7.5.	Boyut Faktörü	25
3.7.6.	Yüzey İşleme Faktörü	26
3.7.7.	Gerilme Genliğinin Etkisi	26
3.7.8.	Ön Gerilmenin Etkisi	26
3.7.9.	Yüzey Sertleştirme İşleminin Etkisi	26
3.7.9.1.	Yüzeyin Dövülmesi	26
3.7.9.2.	Elektrolitik Kaplama ve Metal Püskürtme	26
3.7.10.	Gerilme Yığılımlarının Etkisi	26

BÖLÜM 4 YORULMA MAKİNALARI

4.1.	Yorulma Makinaları	28
4.1.1.	Döner Eğilme Makinaları	28
4.1.2.	Tekrarlı Eğilme Makinaları	29
4.1.3.	Eksenel (Çekme-Basma) Tip Yorulma Makinaları	31
4.1.3.1	Başlıca Parçaları	32
4.1.3.2.	Sistemin Açılması	32
4.1.3.3.	Display ve Led'lerin Görünüşü	32
4.1.3.4.	Sistemin Kendi Kendini Test Etmesi	33
4.1.3.5.	Yorulma Parçalarının Bağlanması ve Sökülüşü	34
4.1.3.6.	Front Panel'in Görünümü	35
4.1.3.7.	Hidrolic Control Panel'in Görünümü	37
4.1.3.8.	Eksenel Tip Yorulma Makinasının Blok Şeması	38
4.1.3.9.	Sistem Ayarları (System Setup)	39
4.1.3.9.1.	Kullanıcı Dilinin Seçilmesi (Language Selection)	39
4.1.3.9.2.	Birim Sisteminin Seçimi (System Units)	39
4.1.3.9.3.	Birim Sistemi Grupları (Transducer Unit Magnitude)	40
4.1.3.10.	Ekran Parametrelerinin Seçimi (User Display Parameter Selection)	41
4.1.3.11.	Otomatik Kalibrasyon (Automatic Calibration)	42
4.1.3.12.	Dalga Formu Tipi (Waveform Type)	42
4.1.3.12.1.	Çevrim Şeklinde Dalga Tipi (Cyclic Waveform)	43
4.1.3.12.2.	Rampa Tipi Dalga Formu (Ramp Waveform)	44
4.1.3.13.	Lmitlerin Ayarlanması (Limit Selection)	45
4.1.3.14.	Sayaçların Ayarlanması (Cycle and Segment Counter)	45
4.1.3.15.	Sabit Genlik Kontrolü (Constant Amplitude Control)	46
4.1.3.16.	Load Protect	46
4.1.3.17.	Sistemin Kendi Kendini Kontrolü (Frame Status Interrogation)	46
4.1.3.18.	Kullanıcı Bilgilerinin Saklanması (User Save Feature)	47
4.1.3.19.	Bilgisayar Programlarının Açıklamaları	48
4.1.3.19.1.	(MT) Materials Testing System Programı	49
4.1.3.19.2.	FLAPS Programı	49

BÖLÜM 5 DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1:	Deney parçalarının şekilleri	53
5.1.1.	Çekme parçalarının şekilleri	53
5.1.2.	Yorulma parçalarının şekilleri	53
5.2.	Deney numunelerinin talaşlı imalat yöntemiyle imali	54
5.2.1.	Çekme parçasının imalatı	54
5.2.2.	Çekme parçasının CNC programı	54
5.2.3.	Yorulma parçasının imalatı	55
5.2.4.	Yorulma parçasının CNC programı	56
5.3.	Deneylerden elde edilen sonuçlar	57
5.3.1.	Çekme deneyinden elde edilen sonuçlar	57
5.3.2.	Yorulma deneyinden elde edilen sonuçlar	58
5.4.	Wöhler diyagramı	59
5.5.	Sonuç ve değerlendirme	60

KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	63

ÖNSÖZ

Endüstriyel uygulamalarda malzemelerin talaşlı ve plastik şekillendirilmesinde özel bileşimli ve sertleştirilmeye uygun takım çelikleri kullanılır. Alaşım elementlerinin yüksek fiyatlı oluşu, hassas üretim sürecinin gerekliliği ve kalite kontrolü uygulanaşı bu çeliklerin pahalı olmalarına yol açar. Buna karşılık, insan emeği ile çok uzun zamanda yapılması mümkün olmayan karmaşık şekilli elemanların ve makina parçalarının bazen milyonlarcasının üretilmesine olanak veriyor olduklarını düşünürsek, takım çeliklerinin bu yüksek fiyata değer olduklarını söyleyebiliriz.

Takımların çalışmaları sırasında tekrarlı zorlamalar etkisi altına girmesi çoğunlukla kaçınılmaz bir durumdur. Bu tip çalışma şartlarındaki bir takımın dizaynı yapılırken klasik çekme ve çentik darbe deneylerinden elde edilen bilgiler çoğunlukla yetersiz kalır. Bu tip çeliklerin ısıtım işlem sonrası yorulma özelliklerinin belirlenmesi bu alandaki eksikliklerin giderilmesinde yararlı olacaktır.

Bu konudaki yaptığım çalışmaları yönlendiren ve yardımcı olan hocam Sayın Doç. Dr. H. Erol AKATA' ya ve mesai arkadaşım Mak. Yük. Müh. Nilhan BEYLİKÇİ' ye değerli yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 1996

Vedat TAŞKIN

ÖZET

Takım eliklerinde ısıl işlem öncesi ve sonrası yorulma olayının incelendiği bu çalışmada, önce takım çelikleri hakkında bilgi verildikten sonra yorulma konusu için kullanılan terminoloji, yorulma olayının oluşumu, yorulma kırılmasının oluşumu, etkileyen faktörler, yorulma dayanımına ilişkin genel tanımlamalar, yorulma olayında çok kullanılan Wöhler ve Smith diyagramları, yorulma makinaları hakkında teorik bilgi verilmiş daha sonra deneysel çalışmada kullanılan CNC torna tezgahı ve yorulma makinasının kullanımı ve programlanması hakkında bilgi verilmiştir.

Tezin sonunda, yapılan deneysel çalışmanın sonucunda elde edilen bilgiler tablo ve grafik olarak verilmiş ve yorumlanmıştır.



ABSTRACT

In this study investigating the beginning and the afterwards of heat treatment process in the tool steels, it was informed at first about tool steels, and than about terminology used in the fatigue, development of fatigue cracking, influencing factors the common definitions concerning fatigue strength, Wöhler and Smith diagrams used frequently in the fatigue and about fatigue machines.

It was informed finally about the using of CNC lathe and the fatigue machine used the experimental studies and about computer programming of them.

At the end of this study, the result of experimental studies was given and interpreted with the aid of tables and graphics.



KULLANILAN SEMBOLLER :

σ, τ	: Gerilme
σ_{em}, τ_{em}	: Emniyetli gerilme
σ_G, τ_G	: Gerilme genliği
$\sigma_{üst}, \tau_{üst}$: Üst gerilme
σ_{alt}, τ_{alt}	: Alt gerilme
σ_{ort}, τ_{ort}	: Ortalama gerilme
t	: Zaman
σ_Y, τ_Y	: Yorulma dayanımı
σ_{ϕ}	: Çekme dayanımı
n	: Tekrar sayısı
T	: Gerilme tekrarı
N	: Yorulma ömrü
R	: Gerilme oranı
b_0	: Boyut Faktörü
b_1	: Yüzey Kalite Faktörü
$\beta_{çen}$: Çentik katsayısı

BÖLÜM 1

TAKIM ÇELİKLERİ

1.1. TAKIM ÇELİĞİ NEDİR ?

Günümüz endüstrisinde kullanıldığı anlamda "takım çeliği" terimi, aşınmaya dayanıklılıkları ve yüksek sertlikleriyle karakterize edilen çok itinalı olarak üretilmiş bir grup yüksek kaliteli çeliği ifade eder. Takım çelikleri genel olarak, curuf olmayacağından emin olunan ve çok hassas ergitme şartları kontrolü sağlanabilinen küçük tonajlı elektrik ocaklarında ergitilir. Kritik uygulamalar için kullanılan takım çelikleri ise vakum ergitme işlemleri ile üretilir. Takım çeliklerinin üretilmesi sırasında çok dikkatli muayene yöntemleri kullanılır. Örneğin elde edilen çubuklara, yüzeysel ve iç hataların bulunması için manyetik partikül ve ultrasonik muayene yöntemleri uygulanabilmektedir.

1.2. TAKIM ÇELİĞİ TÜRLERİ :

Takım çeliklerini sınıflandırmak için çeşitli yaklaşımlar vardır. Bunlardan biri sertleştirme ortamına göre; suda sertleşebilen takım çelikleri, yağda sertleşebilen takım çelikleri, havada sertleşebilen takım çelikleri gibi. Alaşım miktarı başka bir sınıflama yoludur; düşük, orta ve yüksek alaşımli takım çelikleri gibi. Son yöntem takım çeliklerinin uygulanış biçimine göre yapılan sınıflamadır; sıcak iş takım çelikleri, şok dirençli çelikler, yüksek hız çelikleri, soğuk iş takım çelikleri gibi.

Tablo -1 Amerikan AISI normuna göre takım çeliklerinin gruplaması

W	Suda sertleşebilen takım çelikleri
S	Şok dirençli takım çelikleri
O	Yağda sertleşebilen takım çelikleri
A	Orta alaşımli havada da sertleşebilen Soğuk - iş takım çelikleri
D	Yüksek karbon, yüksek kromlu takım çelikleri
H	Kromlu Sıcak - iş takım çelikleri
H	Tungstenli veya molibdenli takım çelikleri
T	Tungstenli Yüksek hız takım çelikleri
M	Molibdenli Yüksek hız takım çelikleri
L	Düşük alaşımli özel amaçlı takım çelikleri
F	Karbon-Tungstenli özel amaçlı takım çelikleri
P	Kalıp çelikleri

1.2.1. HIZ ÇELİKLERİ :

Hız çelikleri iyi aşınma dirençli, yüksek alaşımli asal çeliklerdir. 600 °C sıcaklığa kadar meneviş dayanımları ve sıcakta yüksek sertlikleri nedeni ile yüksek kesme hızlarında talaşlı şekillendirme yapan takımların imalatında kullanılırlar. Sıcakta sertliği, kimyasal bileşim ve ısı işlemle sağlanan, menevişe dayanıklı ana yapı ve onun içinde dağılmış olan çok sert özel karbürlerden meydana gelen yapı sağlar.

1.2.1.1. KULLANILAN BAZI ÖNEMLİ ALAŞIM ELEMANLARI :

Krom : Kritik soğuma hızını düşürür ve böylece sertleşebilirliği artırır. Özel karbürler oluşturduğundan, aşınma direncini artırır. Takım çeliklerinde önemli alaşım elemanlarından biridir.

Volfram : Tane inceltici olarak etki eder, aşırı ısınmaya karşı hassasiyeti azaltır ve aşınma direncini, sıcaklığa dayanımını iyileştiren özel sert karbürler oluşturur. Kötü yönü, ısı iletim kabiliyetini azaltması dolayısıyla ısı işlemde çatlama eğilimini arttırmasıdır.

Molibden : Kuvvetli karbür yapıcı olarak sertliği, aşınma direncini artırır.

Vanadyum : Zor çözünen karbürler oluşturması sonucu, yüksek ostenitleştirme sıcaklıklarında tane büyümesini engeller ve aşınma direncini artırır. Bundan dolayı, yüksek vanadyum miktarlarında takımın parlatılabilirliği kötüleşir.

Tablo - 2 TS 3703' e göre M2 Molibdenli Yüksek Hız Takım Çeliğinin bileşimi

MalzemeNo	: 1.3343
Sembol	: S 6-5-2
% C	: 0.86-0.94
% Si _{max}	: 0.45
% Mn _{max}	: 0.40
% P _{max}	: 0.030
% S _{max}	: 0.030
% Co	: -
% Cr	: 3.80-4.50
% Mo	: 4.70-5.20
% V	: 1.70-2.00
% W	: 6.00-6.70

Tablo -3 (M2) Molibdenli Yüksek Hız Takım Çeliğine ait bazı ısıl işlem bilgileri

Tavlama sıcaklığı	: 790 - 820 °C
Tavlı sertlik	: 225 - 280 BSD30
Sertleştirme için İlk ısıtma	: 450 - 600 °C
Sertleştirme için Ön ısıtma (1)	: 850 °C
Sertleştirme için Ön ısıtma (2)	: 1050 °C
Sertleştirme sıcaklığı	: 1200 - 1240 °C
Sertleştirme ortamı	: Yağ,Su,Hava
Meneviş sıcaklığı	: 540 - 560 °C
Meneviş sertliği	: 64 RSD-C

1.2.1.2. KULLANIM YERLERİ :

Hız çeliğinden yapılmış takımların gücünü yükseltmek için, değişik yüzey işlemleri de uygulanabilir. Daha çok uygulanan işlemler, banyo nitrasyon, oksinitrasyon ve buhar menevişi işlemleridir. Metal işleme takımları olarak daha çok tercih edilen çelikler S 6-5-2 ile kobalt içeren S 6-5-2-5 'dir. Çok kesicili takımlarda (spiral matkap, freze, kılavuz, pafta) ve yüksek süneklik gerektiren zorlamalarda (örneğin, zor kesilen talaşlı şekillendirmede boşaltma takımları) daha yüksek alaşım elemanlı çelikler tercih edilir. Büyük kütleli takımlarda, kesici ağızlar hız çeliği olacak şekilde, diğer çeliklere değişik şekillerde bağlanmış takımlar üretilebilir. Son yıllarda, sinterleme yöntemiyle de hız çeliklerinin üretimi başlamıştır. Sinter hız çeliklerinin ince taneli yapısı, her doğrultuda izotrop ve karbürler çok ince dağılmış olduğundan sertliği daha yüksektir ve sünekliği, talaşlı işlenebilirliği daha iyidir. Tornalama, delme, frezeleme ve basma işlemlerinde , ergitme metalürjisi yoluyla üretilen çeliklere nazaran daha uzun ömüre sahiptirler.

Tablo - 4 TS 3703'e göre bazı Hız Çeliklerinin kullanım yerleri

MALZEME	BAŞLICA KULLANIM YERLERİ
1.3207	Yüksek dayanımlı çeliklerin yüksek kesme hızlarıyla işlenmesinde, yüksek ısı ve aşınma dayanımlı takımlar
1.3243	Fazla zorlanan matkap, profil takımlar, yüksek güçlü freze, torna kalem
1.3246	Spiral matkap, freze, rayba, yüksek dayanımlı malzemelerin işlenmesi için kalıp ve kılavuz
1.3242	Yüksek güçlü freze, spiral matkap, yüksek sertlik ve aşınma dayanımlı kesme ve darbeli takımlarda
1.3343	Rayba, spiral matkap, freze, kılavuz, raptiye, tornalama ve boşaltma takımları, iyi kesme güçlü ve iyi süneklikte ekonomik alaşımlı hız çeliği
1.3344	Yüksek güçlü freze, fazla zorlanan raybalar, yüksek aşınma dirençli tiğlar, daha iyi kesme tutumu ve süneklik

BÖLÜM 2

CNC TORNA UYGULAMALARI

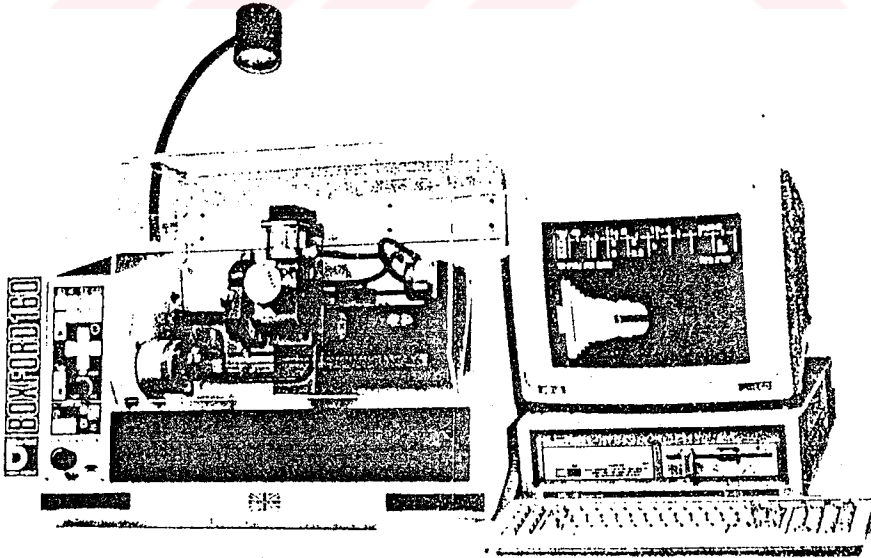
2.1. KONUNUN TANITILMASI :

Programlama işleminin amacı ; parçanın işlenmesi için gerekli bilgileri, tezgahın kontrol ünitesinin anlayacağı bir hale getirmektir. Tezgaha verilen bilgiler geometrik ve teknolojik olmak üzere iki grupta toplanabilir. Parçanın geometrik şeklini tayin eden ve boyutlara bağlı olan geometrik bilgiler, kazağın veya takımın hareketleri ile ilgili bilgilerdir. Bunlar kızak yolunu veya takım izini oluşturan noktaların koordinatları ile belirtilir. Teknolojik bilgiler kesme, ilerleme gibi talaş kaldırmayı gerçekleştiren bilgilerdir. Programlama işlemi elle ve otomatik olmak üzere yapılabilir. Elle programlama esasen basit işlemler için uygulanır. Karışık işlemlerde, uzun zaman almakla birlikte, hata yapma ihtimali de artar. Bu nedenle bu gibi işlemlerde otomatik programlama yöntemi kullanılır. Otomatik programlamada belirli bir programlama dilinde hazırlanmış geometrik ve teknolojik bilgiler, tezgah sistemine dahil olan bir bilgisayara verilir. İşlemcide, geometrik ve teknolojik bilgiler ayrı ayrı işlenir ve üretilen çözüm tezgah ve kontrol sistemine uygulanır. Parça imalatı için başlıca kademeler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- İmalat resmine dayanarak parçanın boyutları, tezgahın koordinat sistemine göre ifade edilir.
- İşlem için teknolojik plan hazırlanır.
- Teknolojik plan ve parçanın verilen boyutlarına dayanarak program hazırlanır. Programdaki bilgiler CNC tezgaha aktarılır.

2.2. KODLAMA SİSTEMLERİ :

İş akışı gereğince CNC tezgahlarına uygun şekilde hazırlanmış parça resmine göre, teknolojik plan hazırlanır ve bu plana göre program meydana getirilir. Teknolojik plan; işleme operasyonlarını, operasyonların sıralanmasını, kesme hızlarını, ilerleme ve paso derinliklerini işlemler için kullanılan takımları kapsamaktadır. CNC tezgahlarda teknolojik plan, programa bir temel oluşturacak şekilde hazırlanmalıdır. Dolayısıyla teknolojik planın hazırlanmasında, program ve programlama işlemlerinde kullanılan kod sistemleri hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir. CNC kontrollü tezgahlarda ASCII (American Standart Code for Information Interchange) kod esasına dayanan ISO (ISO R 1056, 1057,1058), EIA (EIA RS-274-A,B) ve DIN (DIN 66025) gibi aynı içerikli kod sistemleri kullanılır.



Şekil 1 CNC Torna Makinası

2.2.1. ISO VE EIA KODLAMA SİSTEMLERİ :

Tablo - 5 ISO ve EIA Kodlama sistemleri

ISO	EIA	Anlamı
A	a	X eksenini etrafında dönme
B	b	Y eksenini etrafında dönme
C	c	Z eksenini etrafında dönme
D	d	Yardımcı açı veya 3. ilerleme hızı
E	e	Yardımcı açı veya 2. ilerleme hızı
F	f	İlerleme hızı
G	g	Hazırlık fonksiyonları
H	h	Serbest herhangi bir amaç için kullanılabilir.
I	i	X eksenine göre interpolasyon parametresi
J	j	Y eksenine göre interpolasyon parametresi
K	k	Z eksenine göre interpolasyon parametresi
L	l	Serbest herhangi bir amaç için kullanılabilir.
M	m	Yardımcı fonksiyonlar
N	n	Blok numarası
O	o	Kullanılmaz.
P	p	X eksenine paralel 3. hareket veya takım çapı telafisi
Q	q	Y eksenine paralel 3. hareket veya takım çapı telafisi
R	r	Z eksenine paralel 3. hareket veya takım çapı telafisi
S	s	Ana milin hızı (Kesme hızı)
T	t	Takım numarası
U	u	X eksenine paralel 2. hareket
V	v	Y eksenine paralel 2. hareket
W	w	Z eksenine paralel 2. hareket
X	x	X eksenini yönünde ana hareket
Y	y	Y eksenini yönünde ana hareket
Z	z	Z eksenini yönünde ana hareket
%	%	Programın başlangıcı
:	:	Ana blok
/	/	İstenilen bloğun atlatılması

2.2.2. HAZIRLIK FONKSİYONLARI :

Tablo - 6 Hazırlık Fonksiyonları

G00	Çabuk doğrusal hareket
G01	Doğrusal interpolasyon
G02	Dairesel interpolasyon (saat dönüş istikametine göre)
G03	Dairesel interpolasyon (saat dönüş istikametinin tersi)
G04	Belirli kısa zaman bekleme (dwell)
G05	Belirsiz kısa zaman bekleme (hand)
G06-07	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.
G08	İvmelenme
G09	Yavaşlatma
G12	Üç boyutlu interpolasyon
G13-16	Eksen seçme
G17-19	Düzlemsel interpolasyon (XY,ZX,YZ)
G22-23	Birleşmiş hareketler (+,-)
G24-29	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.
G32	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.
G33-35	Vida açma (sabit, büyüyen ve azalan hatve)
G36-39	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.
G40	Takım telafisinin iptali
G41-42	Takım telafisi (sol, sağ)
G43-44	Takım telafisi(+,-)
G45-48	Takım telafisi (0/+ , 0/- , +/0 , -/0)
G53	Doğrusal kaydırmanın iptali
G54-56	Orijinin doğrusal kaydırması (X,Y,Z eksenlerine göre)
G57-59	Orijinin doğrusal kaydırması (X ve Y,X ve Z, Y ve Z eksenlerine göre)
G60	Konumlama doğruluğu 1
G61	Konumlama doğruluğu 2
G62	Çabuk konumlama
G63	Kılavuz ile vida açma
G64	İlerleme ve ana mil hızının değişmesi
G65-79	Konumlama için ayırılmış fonksiyonlar
G80	Sabit işlemlerin iptali
G81-89	Sabit işlemler
G90	Mutlak giriş dataları
G91	Eklemeli giriş dataları
G92-G99	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.

2.2.3. YARDIMCI FONKSİYONLAR :

Tablo - 7 Yardımcı Fonksiyonlar

M00	Programın durdurulması
M01	İsteğe bağlı durma
M02	Programın bitişi
M03-04	Ana milin dönme yönü (CW veya CCW)
M05	Ana milin durması
M06	Takımın değiştirilmesi
M07-08	2 ve 1 nolu soğutmanın açılması
M09	Soğutma sisteminin kapatılması
M10	Tutturma (kızağın parçanın, milin)
M11	Çözme (M10 ile tutturulan elemanlar)
M12	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.
M13-14	M03 - M04 ile birlikte soğutma sisteminin açılması
M15-16	+ veya - hareket (çabuk veya ilerleme)
M17-18	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.
M19	Daha önceden belirlenen açılmal bir konumda ana milin durması
M20-29	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.
M30	Bandın sonu
M31	" By-pass" ile bağlama
M32-35	Sabit kesme hızı
M36-37	1 veya 2 ilerleme hızı alanı
M38	1 veya 2 ana mil hızı alanı
M40-45	Dişli değiştirme veya serbest
M46-49	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.
M50	3. soğutma sisteminin açılması
M51	4. soğutma sisteminin açılması
M52-54	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.
M55-56	Takımın doğrusal sıfır kaydırması (1 ve 2 konuma)
M57-59	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.
M60	Parça değiştirme
M61-62	Parçanın doğrusal sıfır kaydırması (1 ve 2 konuma)
M63-67	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.
M68-69	Parçanın tutturulması ve çözülmesi
M70	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.
M71-72	Parçanın açılmal sıfır sapması (1 veya 2 konuma)
M73-77	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.
M78	Kızağın sabitleştirilmesi veya çözülmesi
M80-89	Serbest, herhangi bir amaç için kullanılabilir.

BÖLÜM 3

YORULMA

3.1. YORULMA ZORLAMASI VE KIRILMASI

3.1.1. GENEL

Uygulamada statik zorlamalara ender olarak rastlanır. Makinalara ve dolayısıyla makina elemanlarına, genellikle büyüklüğü ve yönü düzenli veya düzensiz olarak sürekli değişen kuvvetler ile eğme ve burulma momentleri etki ederler. Değişen zorlamalardan dolayı kırılma, söz konusu malzemenin akma sınırının çok altındaki gerilmelerde oluşabilir. Bu tür kırılmalara **Yorulma Kırılması** adı verilir. Tasarım sırasında dayanım bilgisinin temel denklemleri yardımıyla sadece anma gerilmelerinin hesaplanmasının yeterli olmayıp, gerilmelerin kesitteki dağılımlarının ve zamanla değişimlerinin de dikkate alınması gerektiği ancak belirli aşamalardan sonra anlaşılmasıdır.

Konstrüktörler tasarımlarında malzemelerin ekonomik olarak kullanımını göz önünde bulundurmaya zorundadırlar. Dayanım ve elastisite bilgisinin gelişmesi, giderek daha düşük emniyet katsayısının seçimi ve yüklerin daha kesin olarak tahmin edilebilmesi ile, malzeme değişikliğine gitmeden de makina ve yapı elemanlarının daha küçük kesitli olarak boyutlandırılması mümkün olmuştur. Ancak bu durumda gerilmelerin akma sınırını aşmamasına yeterince özen gösterildiği halde, işletme sırasında makina parçalarında kırılmalar gözlenmeye başlanmıştır. Herhangi bir şekil değiştirme yaratmadan ortaya çıkan bu kırıkların, yüksek yüklerin bir kez ve tek yönde uygulanması ile oluşan kırılma yüzeylerinden, görünüşleri bakımından tamamen farklı oldukları saptanmıştır. Bu gözlemlere dayanarak kısa bir süre sonra yüklerin veya momentlerin büyüklüğü ve yönünde zamanla değişmelerin sözkonusu olduğu durumlarda, statik deneylerle saptanan dayanım değerlerinin malzemenin davranışını belirlemede yetersiz kaldığı anlaşılmıştır.

Böylece bütün bu deneyimler **Yorulma Dayanımı** kavramının doğmasına neden olmuş ve deneysel olarak yorulma dayanımının, statik dayanım değerinden çok daha düşük düzeyde olduğu saptanmıştır. Ancak işletme yüklerine göre hesaplanan gerilmeler, kullanılan malzemenin düzgün yüzeyli ve parlatılmış deney parçaları yardımıyla bulunan yorulma dayanımının çok altında kalmasına rağmen, makina parçalarının yine hasara uğradığı gözlenmiştir. Bunun üzerine yapılan deneylerle, şekil, yüzey durumu, kuvvet iletimi, makina parçasının bulunduğu ortam ve malzemenin iç yapısı gibi değişik iç ve dış etkenlerin yorulma dayanımını değiştirdiği; dolayısıyla bu etkenleri dikkate almadan bulunan yorulma dayanım değerlerinin dayanım hesaplarında aynen kullanılamayacağı anlaşılmıştır.

İşletme koşullarında değişen zorlamaları ve malzeme davranışını hesapsal olarak kapsamayı amaçlayan çalışmalar henüz yeterli değilse de parçaların gittikçe daha iyi bir yaklaşımla tasarlanmasını sağlamaktadır. Şimdiye kadar çok sayıda yorulma deneyi sonucu ve değişik hesaplama yöntemleri yayınlanmıştır. Bu kuramsal yöntemler, sorunun matematiksel çözümünü yanında tasarım kuralları ile kullanılan malzemenin özelliklerinin iyi bilinmesi halinde güvenle uygulanabilmektedir.

Ancak yorulmaya etki eden faktörlerin fazlalığından ötürü günümüzde de yine çok sayıda yorulma hasarına rastlanmakta; makina, taşıt ve benzeri konstrüksiyonlarda görülen hasarların % 90-95'i yorulmadan ileri gelmektedir.

3.1.2. YORULMA ZORLAMASININ ÖZELLİKLERİ

Büyüklüğü ve yönü düzenli ya da düzensiz bir şekilde sürekli olarak değişen kuvvet veya momentlerin (eğme, burma) etkimesi yorulma zorlaması olarak adlandırılır. Zorlama sırasında yük istendiği kadar tekrarlanabilir veya zorlamanın yapılmadığı zaman aralıkları mevcut olabilir. Yorulma zorlamasında yükün zamana bağlı olarak nasıl değiştiğinden çok, en alt ve en üst sınır değerlerin büyüklüğü önemli olduğundan, yük değişimi genellikle sinüsoidal olarak kabul edilebilir. Birim zamandaki çevrim sayısı, çok düşük (örneğin saatte birkaç çevrim) veya malzemenin ısınmasına neden olacak kadar çok yüksek olmamak koşuluyla, yorulma ömrünü önemli ölçüde etkilemez. Kuvvetin veya momentin en küçük ve en büyük değerleri sıfır konumuna göre ters veya aynı işaretli olabilir. Yorulma zorlaması sadece dış kuvvetlerin değil, örneğin sıcaklık farkları nedeni ile oluşan iç kuvvetlerin etkimesi ile de görülebilir.

3.1.3. YORULMA KIRILMASININ NEDENİ

İşletme koşullarında zorlamalar sonucu ortaya çıkan gerilmeler dayanım bilgisinin temel denklemlerine her zaman uymaz; dolayısıyla çekme veya basma gerilmeleri parça kesitinde eşit olarak dağılma, eğme ve burma gerilmeleri de yüzeyden ortaya doğru doğrusal bir azalma göstermeyebilirler. Uygulamada bu teorik gerilme dağılımlarında az veya çok sapmalar görülür. Parçanın şekli, yüzey kalitesi, ortamın korozif etkisi, kuvvet iletiminin türü, ön gerilme, malzeme hatası, mikro yapının büyük ölçüde heterojen olması gibi nedenler ile yerel gerilme yığılmaları oluşur. Yorulma çatlakları gerilme yığılmalarının olduğu bölgelerde başlar. Ayrıca bir makina veya yapı elemanının rezonans (öz titreşim) frekansına yakın bölgelerde zorlanması sonucu oluşan rezonans titreşimlerine veya her zaman önlenmesi mümkün olmayan aşırı yüklere dayanacak şekilde tasarlanmış olmaması da yorulma çatlaklarına yol açabilir. Yorulma hasarının diğer bir nedeni de montaj hatalarıdır. Örneğin balansı bozulmuş bir milde, hesaplarda öngörülenden daha yüksek gerilmeler oluşabilir. Ayrıca zorlanan bölgelerde dolgu kaynağı işlemlerinin uygun olarak yapılmaması halinde de yorulma çatlakları oluşabilir. Aşırı zorlanan bir bölgede bir çatlakın başlaması durumunda yorulma kırılmasının önlenmesine çoğunlukla imkan yoktur.

3.1.4. YORULMA KIRILMASINA NEDEN OLAN VEYA KIRILMA OLAYINI KOLAYLAŞTIRAN ETKENLER

Yorulma kırılmasını kolaylaştıran etkenler dış etkenler (şekil, yüzey durumu ve zorlama şekli) ile iç etkenler (malzemenin durumu) olarak ikiye ayrılabilirler.

Bir yorulma hasarının oluşmasında genellikle bir çok etkenin aynı anda varlığı söz konusudur, ancak sadece tek bir olumsuz etkenin kırılmaya neden olduğu durumlarda görülmüştür.

Deneyimlere göre yorulma kırılmalarının büyük çoğunluğu (%85-90) malzeme hatalarından dolayı değil, çentik etkisi yapan şekil ve yüzey etkileri, aşırı yükleme, montaj hataları, yetersiz bakım ve benzeri nedenlerle ortaya çıkmaktadır.

3.1.4.1. DIŞ ETKENLER :

- Konstürüksiyonla ilgili çentikler: örneğin yağ delikleri, kama yuvaları, keskin kesit değişimleri, faturalar, enine delikler v.b.
- Kuvvetlerin doğrultu değiştirdikleri yerler: örneğin civata kafaları, krank millerinin dirsekleri, sıkı geçmeler v.b.
- Kuvvet etki noktaları: Örneğin toleransı veya sıkı geçmeler, dingil başlıkları ve diğer noktasal veya çizgisel etkiyen kuvvetler
- Talaşlı işlemler sırasında oluşan yüzey zedelenmeleri : Örneğin taşlama izleri, taşlama çatlakları, torna izleri, yüzey çizikleri v.b.
- Diğer yüzey zedelenmeleri: Örneğin korozyona uğramış noktalar (özellikle karıncalanma ve tane sınırı korozyonu), aşınmış bölgeler, sertleştirme çatlakları, hadde veya dövme hataları, katlamalar v.b.

3.1.4.2. İÇ ETKENLER :

- Çizgi halinde cüruflar, cüruf kalıntılarının yoğunlaştığı bölgeler veya tek tek iri cüruf kalıntıları: Cürufların, oksitlerin, nitrürlerin ve karbürlerin tane sınırlarına çökmelemleri
- Yüzey kabarcıkları
- Tane sınırlarında oksitlenme (yanma) veya tanelerin içinde oksijen miktarının artması. Her ikisi de sıcak şekil verme veya ısıl işlem sırasında aşırı yüksek sıcaklıklar nedeniyle ortaya çıkabilir.
- İç çatlak kümeleri: Haddelenmiş veya dövülmüş çeliklerde veya çeliklerin ark kaynağı dikişlerinde görülür.
- Normalize edilmiş çelikte aşırı heterojen yapı, örneğin yapıda perlit ve ferrit bulunması halinde ferritin ağ şeklinde olması, düşük ferrit oranlarında ferrit dağılımının homojen olmayışı veya perlit ve ferritin kaba bant yapısı oluşturması.
- Sertleştirilmiş çeliklerde yapı farklılıkları: Örneğin martenzitte kısmen beyrit, perlit yada ferrit bölgeleri; temperleme veya ostemperleme ısıl işleminden sonra yüksek oranda artık ostenit; ostemperlemeden sonra yüksek oranda ferrit ve perlit bulunması.
- Aşırı ısıtılmış yapılar yorulma dayanımını daima olumsuz yönde etkilerler.
- Bant veya ağ şeklinde veya bölge bölge yoğunlaşmış serbest karbürler: örneğin takım çelikleri ve semantasyon çeliklerinde.
- Sertleştirilmiş ve sertleştirilmemiş çelik parçaların yüzeyinde karbon azalması (dekarburizasyon)
- Yayınma tabakaları ile ana malzeme arasında keskin geçişler: Örneğin semantasyon çeliklerinde karbürize edilmiş bölgeden ana malzemeye olan keskin geçiş bölgelerinde faz dönüşümü nedeni ile gerilme yığılmaları meydana gelir.
- Bölgesel yüzey sertleştirilmesi yapılan malzemelerin yük taşıyan bölgelerinde veya çentiklerde, sertleştirilmiş ve sertleştirilmemiş kısımlar arasındaki keskin geçişler.
- Semantasyon ile sertleştirilmiş çelik malzemelerin yüzeyinde artık ostenit bulunması.
- Sertleştirilmiş çeliklerde çeşitli nedenlerle yumuşak kalan bölgeler.
- Yük taşıyan kısımlarda yapılan dolgu kaynakları: Şayet kaynak öncesi, parça 200-300 °C sıcaklığa kadar ön ısıtma yapılmamış ve dolgu malzemesinin yavaş katılmasından sonra bütün parça normalize veya ıslah edilmemiş ise.
- Kaynak dikişlerinde gaz boşlukları, gözenekler, çatlaklar, erime oyukları bulunması. Yorulma zorlamasıyla karşılaşabilecek kaynak bağlantılarının gerilme giderme ve normalizasyon tavrının yapılmaması.
- Talaşlı veya talaşsız şekil verme veya ısıl işlemlerden kaynaklanan iç gerilmeler.

Yukarıda belirtilenlerin dışında yorulma hasarını kolaylaştıran veya doğrudan hasara neden olan başka malzeme veya yapı hataları da bulunabilir. Verilen liste, en çok rastlanan hataları önem sırasını dikkate almadan kapsamaktadır. Esasen hataların yorulma hasarını kolaylaştırıcı etkilerine göre sıralanması da mümkün değildir. Malzeme ve yapı hatalarının değerlendirilmesi, daima zorlama şekli ve yorulma hasarının oluşumu ile bağlantı kurularak yapılmalıdır.

3.2. KUVVETİN ZAMANLA DEĞİŞİMİ :

Elemanlara etkiyen kuvvetleri zamanın fonksiyonu olarak üçe ayırmak mümkündür.

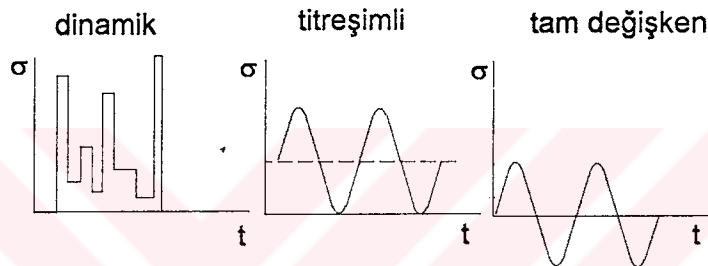
a - Sürekli artan kuvvet: sadece malzeme muayene deneylerinde rastlanabilecek bir kuvvettir. Deney esnasında numuneye sıfırdan başlayarak akmaya neden olacak gerilme değerine kadar sürekli artan bir kuvvet uygulanır. Kuvvet daha artırılınca da kopma meydana gelir.

b - Statik kuvvet, değeri zamanla değişmeyen, sabit kalan kuvvetlerdir. Etkiyen kuvvet statik karakterliyse, oluşturduğu gerilmenin malzemenin emniyet gerilmesinden küçük olup olmadığı kontrol edilir. $\sigma < \sigma_{em}$ ise eleman bu statik yüke dayanacaktır.

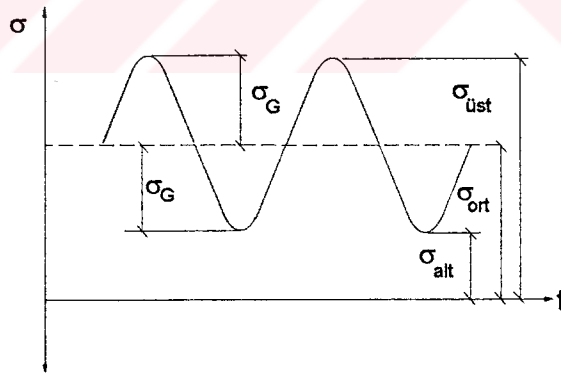
c - Dinamik kuvvet, değeri zamanla değişen kuvvetlerdir. Makina elemanlarına etkiyen dinamik kuvvetlerde değişme çoğunlukla periyodiktir, örneğin bir taşıt mili, taşıtın ağırlığı nedeni ile eğilmeye zorlanacaktır. Eğilme momentinin değeri, yönü sabittir, ancak mil kendisi döndüğü için milin her bir noktası için eğilme gerilmesi maksimum bir basma gerilmesi ile maksimum bir çekme gerilmesi arasında, milin dönme frekansı ile değişen zorlamaya uğrayacaktır.

Dinamik yükler :

- 1- Darbe yükü
- 2- Titreşimli yük
- 3- Tam Değişken Yük olmak üzere üç türlü olabilir.



ŞEKİL 2 Dinamik Kuvvetlerin Genel Formu



ŞEKİL 3 Yorulma Yüklerinin Bileşenleri

Bunlardan son ikisi yorulmaya neden olan yüklemeleri oluşturur. Bu tür yüklerdeki gerilmeler üst gerilme, ortalama gerilme, alt gerilme, gerilme genliği tanımlarıyla gösterilir. (Şekil 2 ve 3)

Üst gerilme $\sigma_{üst}$, alt gerilme σ_{alt} , ortalama gerilme σ_{ort} ve gerilme genliği σ_G arasında

$$\sigma_{ort} = \frac{\sigma_{üst} + \sigma_{alt}}{2} \quad \text{ve} \quad \sigma_G = \frac{\sigma_{üst} - \sigma_{alt}}{2}$$

bağıntısı vardır.

3.2.1. YORULMA SINIRI

Verilmiş bir ortalama gerilme için, sonsuz ömre karşılık gelen gerilme genliğine "yorulma sınırı" adı verilir. Pratikte malzemelerin yorulma sınırları, döner eğme makinalarında ve parlatılmış yüzeye sahip deney parçalarında elde edilir. çeliklerde 10^6 tekrar sonucu hasar oluşturmayan genlik gerilmesi yorulma sınırı olarak kabul edilir.

Çekme dayanımı 1400 Mpa'nın altında olan çeliklerde, döner eğme halindeki ($\sigma_{ort}=0$) yüklemde yorulma dayanımı σ_Y , çeliğin çekme dayanımı $\sigma_ç$ ' ye bağlı olarak aşağıdaki gibi alınabilir.

$$\sigma_Y = 0.5\sigma_ç$$

Bu değer dökme demirde,

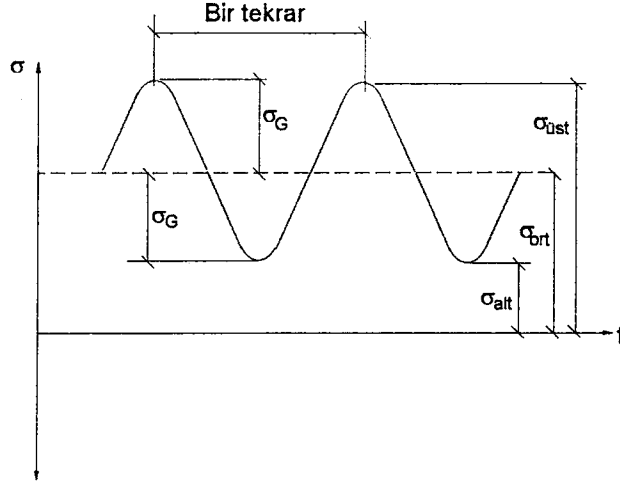
$$\sigma_Y = (0.35-0.5)\sigma_ç$$

alüminyum ve magnezyumda ise

$$\sigma_Y = (0.3-0.4)\sigma_ç \quad \text{olarak alınabilir.}$$

Demir dışı metallerde belirgin bir yorulma sınırı olmadığından, bunların yorulma sınırı olarak 10^7 tekrara karşılık gelen yorulma dayanımı alınır.

3.3. YORULMA DENEYİ İÇİN SEMBOLLER VE TERMİNOLOJİ :



Şekil - 4 Yorulma deneyi için semboller ve terminoloji

YORULMA DAYANIMI (σ_Y) : Malzemenin bir tekrar sayısında kırılmadan kalabileceği maksimum gerilme değeridir. Tekrar sayısı mutlaka verilmelidir.

GERİLME TEKRARI (T) : Bir tekrar, gerilme - zaman fonksiyonunda periyodik olarak tekrar edilen en küçük kısımdır.

TEKRARLAMA SAYISI (n) : Bir parçanın herhangi bir durumda yük tekrar sayısı

YORULMA ÖMRÜ (N) : Verilen bir gerilmede numunenin dayanabildiği tekrar sayısı

ÜST GERİLME ($\sigma_{üst}$) : Bir gerilme tekrarındaki en büyük cebrik gerilme değeridir. Çekme gerilmesi pozitif, basma gerilmesi negatif olarak kabul edilir.

ALT GERİLME (σ_{alt}) : Bir gerilme tekrarındaki en küçük cebrik gerilme değeridir. Çekme gerilmesi pozitif, basma gerilmesi negatif olarak kabul edilir.

GERİLME GENLİĞİ (σ_G) : Mutlak değer olarak üst veya alt gerilme değeri ile ortalama gerilme arasındaki fark

ORTALAMA GERİLME (σ_{ort}) : Bir tekrardaki üst ve alt gerilmenin matematiksel ortalaması

yani $\sigma_{ort} = \frac{\sigma_{üst} + \sigma_{alt}}{2}$ dir. Yorulma dayanımının hangi σ_{ort} için bulunduğu çoğunlukla

$\sigma_Y = \sigma_{ort} \pm \sigma_G$ veya $\sigma_Y = \dots$ için $\sigma_Y \pm \sigma_G$ şeklinde gösterilir. Yorulma dayanımınının sayısal değeri ise genliğin mutlak değerine eşittir. $\sigma_Y = |\sigma_G|$

Başka bir şekilde verilmediği takdirde yorulma zorlamasının türü çekme, basma ve eğme zorlamaları için sırasıyla ç,b ve e indisleri ile verilir. Burulmada ise τ kayma gerilmesi sembolü asıl olmak üzere yukarıda belirtilenler geçerlidir.

GERİLME ORANI (R) : $\sigma_{alt} / \sigma_{üst}$ oranıdır. (İşaretler dikkate alınarak.)

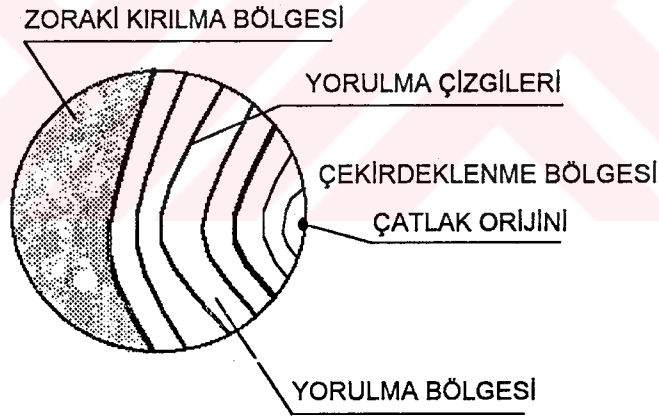
GERİLME-ÖMÜR DİYAGRAMI (Wöhler diyagramları) : Gerilmelerin, yorulma ömürlerine karşılık çizildiği eğrilerdir. Genellikle $\sigma - \log N$ olarak yapılırlar.

SÜRELİ YORULMA DAYANIMI : Belli bir çevrim sayısına karşılık (örneğin $N=10^5$) verilen yorulma dayanımı değeridir. $\sigma_{Y(10^5)}$ şeklinde gösterilir.

YORULMA ÖMRÜ : Bir deney parçası veya yapı elemanının yorulma ömrü, yorulma dayanımından daha yüksek bir gerilmede kırılmanın olduğu çevrim sayısıdır. Yorulma ömrünün gösteriminde ortalama gerilme ve gerilme genliği, söz konusu kırılma çevrim sayısına indis olarak eklenir. Örneğin; $N_{(+8\pm 14)} = 2.10^6$ gösterimi ile $\sigma_{ort} = +8 \text{ kgf/mm}^2$ ve $\sigma_G = \pm 14 \text{ kgf/mm}^2$ olan bir zorlamada, kırılmanın 2.10^6 çevrim sayısında olduğu anlaşılmaktadır.

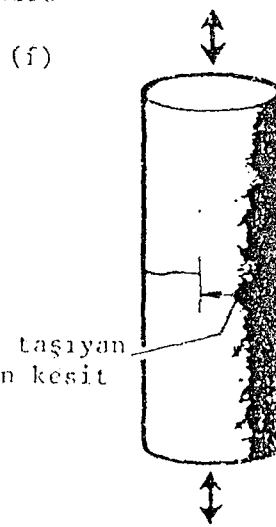
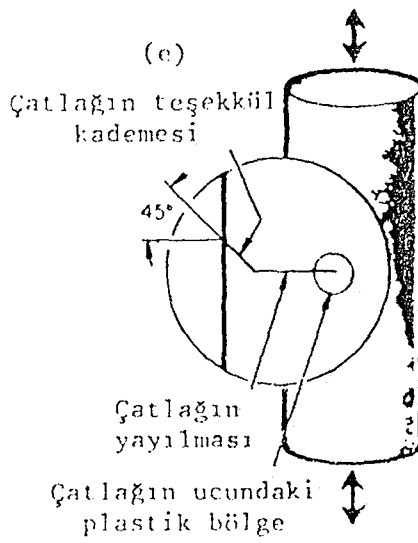
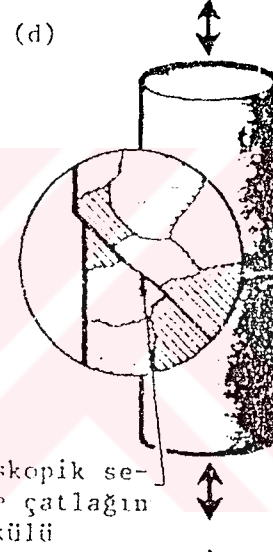
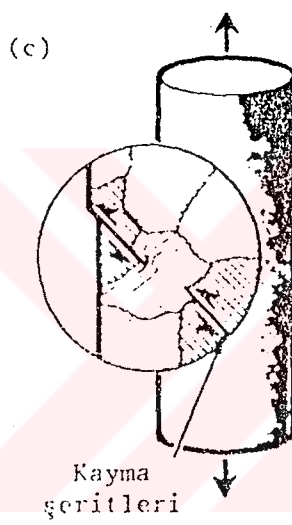
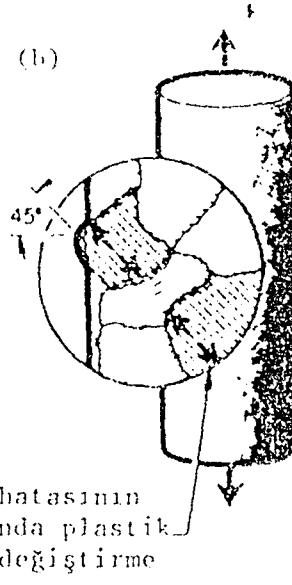
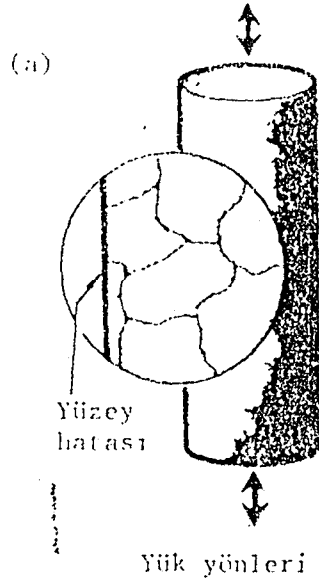
3.4. YORULMA KOPMASININ OLUŞUMU

Gerilme birikme noktaları nedeni ile bölgesel olarak plastik şekil değiştirme meydana gelir ve bunun sonucunda soğuk sertleşme ve gevreklik ortaya çıkar. Bölgesel plastik şekil değiştirmeler (submikroskobik bölgede) neticesinde kayma tabakaları kısmen dışarı çıkarlar veya içeri gömülürler ve böylelikle yüzeyi kabalaştırırlar (girintili çıkıntılı hale getirirler). Yüzeyin kabalaşması ise çentik etkisi yapacağından, çentik tabanındaki gerilmeler artacak ve çatlak yayılacaktır. Yorulma kopmasına uğramış tipik bir kesitte birbirinden farklı görünümde olan iki kısmi yüzey vardır.



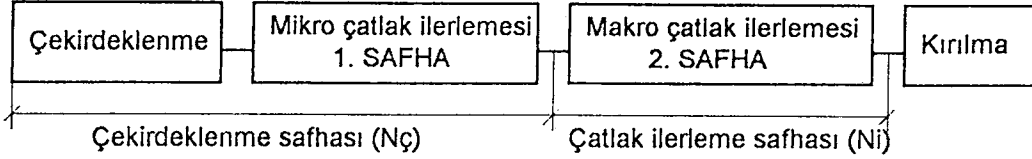
Şekil - 5 Yorulma kopmasına uğramış bir kesit

Yorulma kopması yüzeyi uzun sürede oluşur. Karşılıklı yüzeylerin birbiri üzerine periyodik olarak basınç yapması sonucunda bu yüzeyin görünümü parlak ve kaygandır; ayrıca korozyon belirtilerine de rastlanabilir. Durak çizgileri yükün kaldırıldığı anlarda oluşur. Son kopma yüzeyi ise, geri kalan (yorulma kopmasına uğramamış) kesit artık çok küçük ise, aniden kopma sonucunda meydana gelir.



Yorulma hasarı genel olarak dört safhada oluşur.

- 1- **Yorulma çatlaklarının çekirdeklenmesi** : Yerel ve tersinir olmayan plastik şekil değiştirmeler sonucu yüzeyde girinti ve çıkıntılarının oluşması (intrüzyonların oluşumu)
- 2- **Çatlakların yerel plastik deformasyon (kayma) bandında ilerlemesi**: Çekirdeklenen çatlakların, yüksek kayma gerilmelerinin mevcut olduğu mevcut olduğu ve çekme doğrultusuyla 45° açı yapan kayma bandı içinde ilerlemesi (1. safha)
- 3- **Çatlakların maksimum çekme gerilmesinin etki ettiği düzlemde ilerlemesi** : uzunluğu makro çatlak olarak kabul edilebilecek ölçüde olan çatlakların maksimum çekme gerilmesine dik düzlemde ilerlemesi. (2. safha)
- 4- **Kırılma** : Çatlak uzunluğunun kritik bir değere ulaşması sonucu, kalan kesitin kırılması. Bu kırılmaya "zoraki kırılma" adı verilir.



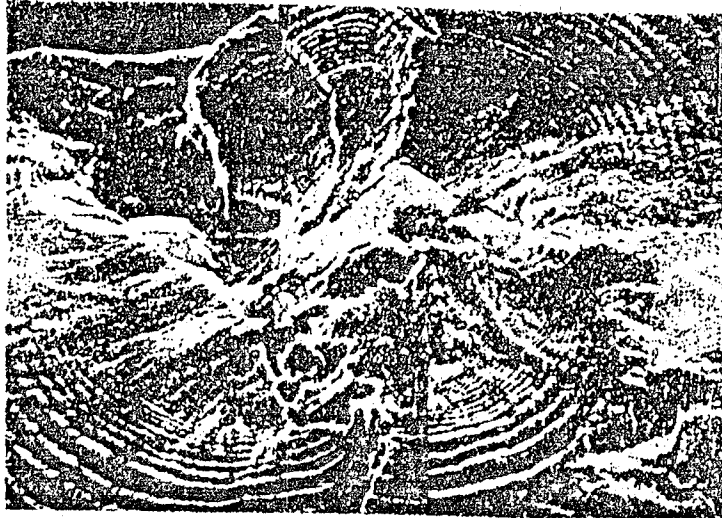
Şekil - 6 Yorulma hasarının safhaları

Yorulma, hem çekirdeklenme hem de çatlak ilerlemesi safhalarında plastik deformasyon sonucu oluşur. Her safhaya karşılık gelen tekrar sayısı kolaylıkla saptanamaz. Kırılma, ömrün en son tekrarında oluşur ve hasarın bu safhası yorulmadan ziyade yarı-statik bir kırılmadır. Mikroskopik etüdlere, çatlak çekirdeklenmesinin yorulma ömrünün ilk başlarında oluştuğunu ortaya çıkarmıştır. 1. safha çatlak ilerlemesinin hangi tekrar sayısından sonra başladığını saptamak kolay değildir. Ancak, buna pratik açıdan gerek yoktur. Bu durumda yorulma hasarının ilk iki safhası birleştirilerek bir basitleştirme de yapılabilir.

$$N = N_{\text{ç}} + N_{\text{i}}$$

Burada, N yorulma ömrü, $N_{\text{ç}}$ ilk iki safha için geçen tekrar sayısı olup, ilk iki safhanın toplamı, çekirdeklenme safhası olarak kabul edilmiştir. N_{i} ise makroçatlak ilerlemesinde (2. safha) geçen tekrar sayısıdır. Bu basitleştirmeden sonra ortaya şu soru çıkmaktadır; Bir mikro çatlak ne zaman makroçatlak halini alır? Makroçatlakların klasik tanımı, çıplak gözle seçilebilecek uzunluğa sahip çatlaktır. Ancak bu tanım oldukça kabardır. Bir çatlak, kırılma mekaniği prensipleri uygulanabilecek kadar büyükse makroçatlak olarak kabul edilir. Bu değer alüminyum alaşımlarında 0.125 mm. ve çeliklerde 0.2 mm. civarında olduğu deneysel olarak gösterilmiştir.

Yorulma safhalarının bu kadar detaylı bir şekilde incelenmesinin nedeni, farklı uygulamalarda farklı safhaların önem kazanmasıdır. Aşağıdaki üç tipik uygulama bu konuda bir fikir verebilir.



Şekil - 7 Yorulma kırılmasına uğramış bir kesit

- Otomobil motoru : Çatlak oluşmamalıdır. sonsuz ömür istenir, bu nedenle çatlak ilerlemesi safhası konu dışındadır. Amaç, çatlak çekirdeklenmesi oluşmayacak şekilde tasarım yapmaktır.
- Nükleer basınçlı kap : Kaynakla imal edilen bu yapılarda bir takım başlangıç hataları beklenmelidir. Bu nedenle çatlak çekirdeklenmesi önemini kaybetmiştir. Çatlak ilerleme safhası (çok yavaş) önem kazanmıştır.
- Uçak gövdesi : Sonlu bir ömür kabul edilmelidir. Bu nedenle tasarım ve imalatta hem çekirdeklenme hem de çatlak ilerleme safhaları önem kazanır.

Yorulma çatlağı genellikle malzeme yüzeyinde oluşur. Bunun nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Bazı yükleme hallerinde(burulma,eğilme), gerilmeler yüzeyde en büyük değeri alır.
- Yüzey pürüzlülüğü gerilme yığılmalarına neden olur.
- Yüzeyler dış ortamdan (örneğin çentik etkisi yapan korozyon çukuru oluşabilir) etkilenir.
- Yüzeyde düzlem gerilme halinin olması nedeniyle burada plastik şekil değişimi daha kolaydır.

Çekirdeklenme ve çatlak ilerlemesi safhalarının yorulma ömrü içindeki yüzdeleri çeşitli faktörlere bağlı olarak değişir. Çatlak ilerleme safhasının yorulma ömrü içindeki yüzdesi (Ni/N) şu şekilde değişmektedir.

- Genlik gerilmesi arttıkça Ni/N artar.
- Aynı ömür için, malzemenin tokluğu arttıkça Ni/N artar. Buna göre tok malzemelerde çekirdeklenme kolay olup çatlak ilerleme hızı düşüktür. Gevrek malzemelerde ise, çekirdeklenme daha zor olup çatlak ilerleme hızı yüksektir.
- Ni/N çentiğinin varlığı ile ve çentiğinin keskinleşmesi ile artar. Bu durumda keskin çentikler veya önceden mevcut olan çatlaklar halinde, Nç/N ihmal edilebilecek mertebede olup, yorulma ömrünün tümünün çatlak ilerlemesinde geçtiği kabul edilebilir.

3.5. σ - N EĞRİLERİ (WÖHLER EĞRİLERİ):

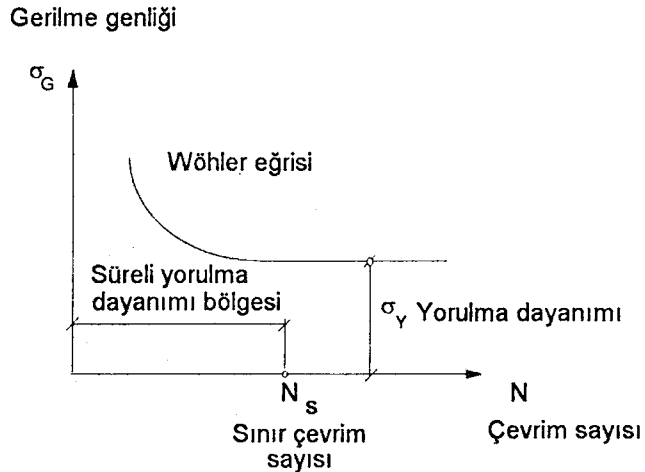
Yorulma dayanımı deyiminden düzgün veya çentikli parçalarda, belirli bir ortalama gerilme için parçanın kırılmadan ve belirli bir şekil değiştirmeyi aşmadan sonsuz çevrim sayısında taşıyabileceği gerilme genliği anlaşılır. Müsaade edilebilir şekil değiştirmenin miktarı yorulma deneyinin yapıldığı şartlara (örneğin deney sıcaklığı) veya deney malzemesi cinsine bağlıdır.

Sonsuz sayıda yük tekrarını kırılmadan taşıyabilen bir yapı elemanı, yorulmaya karşı dayanıklıdır denir. Taşınabilir en büyük anma gerilmesi genliği de yapı elemanının yorulma dayanımı olarak adlandırılır. Bir yapı elemanının yorulma dayanımı sadece bir malzeme özelliği olmayıp, bunun yanında parçanın büyüklüğü, biçimi ve üretim şekline bağlı olduğundan, anma gerilmesi ile verilen yorulma dayanımı, belirli bir biçim ve yüzey kalitesindeki parçanın konstrüktif dayanımı diye de tanımlanır.

Malzemelerin yorulma dayanımlarının saptanması için eksene paralel doğrultuda mekanik veya elektrolitik olarak parlatılmış düzgün deney parçaları kullanılır. Çentik duyarlılığının saptanması için de, çentik katsayıları belli çentikli deney parçalarından yararlanılır. Günümüzde kullanılan yorulma deney makinaları çekme, çekme-basma, çevresel eğme, ileri-geri eğme ve burma yanında bileşik zorlamaları da mümkün kılmaktadır. Bu makinaların deney frekansları, yapılarına bağlı olarak yaklaşık 8-250 Hz.(500 - 15000 dak.⁻¹) arasındadır. Sözkonusu aralık için çelikten yapılmış düzgün parçaların yorulma dayanımları frekansa bağlı değildir. Ancak hafif metallerde ve çentikli çelik parçalarda yorulma davranışı frekansla değişir ve bu değişim süreli yorulma durumunda daha fazladır. Deney parçası uygun (örneğin asit içermeyen) bir yağla soğutulmazsa, ısınma nedeniyle zamanından önce çatlayabilir. Süreli yorulma zorlamasında frekansın çok düşük veya çok yüksek olması, çeliklerde de düz veya çentikli tüm parçaların yorulma ömürlerinin azalmasına neden olur.

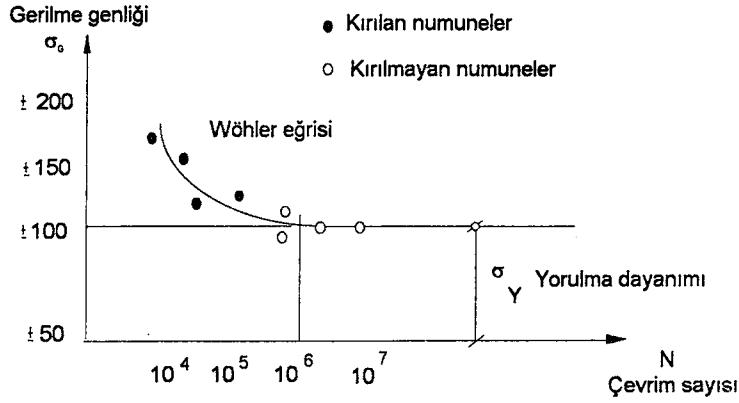
Yorulma dayanımı normal olarak Wöhler yöntemi ile bulunur. Bu yöntemde, malzeme, biçim ve yüzey kalitesi bakımından tümüyle aynı olan deney parçalarının herbiri aralıksız şekilde ve farklı seviyelerde zorlanarak kırılmanın olduğu çevrim sayıları saptanır. Bir deney serisinde çoğunlukla 6-10 adet deney parçası gereklidir. Belirli bir deney parçası için başlangıçta ayarlanan yorulma zorlaması deney sırasında değiştirilmez, yani tek kademeli yorulma deneyi söz konusudur. Buna karşın çok kademeli yorulma deneyinde zorlama sistematik olarak deney sırasında değiştirilir. Her bir zorlama kademesi belirli çevrim sayıları arasında sabit kalır; zorlamanın sırası istenildiği gibi değiştirilebilir; yani giderek artabilir, azalabilir veya karışık olabilir. Sadece iki zorlama seviyesinin bulunduğu deneyler iki kademeli yorulma deneyi olarak adlandırılırlar.

Yorulma deneyi zaman zaman durdurulursa, düzgün deney parçalarında toparlanma olayı görülür ve böylece aralıksız olarak yapılan deneyden daha yüksek yorulma dayanımları elde edilir. Çentikli deney parçalarında malzeme bünyesindeki değişik mekanizmalara bağlı böyle bir toparlanma olayının etkisi görülmez.



Şekil -8 Wöhler eğrisi

Deneyin amacına, malzeme ve deney makinasına göre yük veya şekil değiştirme genlikleri kontrol edilir ve bu büyüklükler gerilme veya birim şekil değişimi değerlerine dönüştürülür. Wöhler yönteminde bir deney serisinde tüm parçalar için ortalama gerilme veya alt gerilme sabit tutularak her deney için ayrı gerilme genliği seçilir. İlk deney parçası, üst gerilme genellikle akma sınırına yakın olacak şekilde yüksek düzeyde zorlanır. Daha sonraki deney parçalarına ise gittikçe daha düşük zorlama uygulanarak kırılma çevrim sayısının çok yüksek değerlere ulaşması sağlanır. Bir deney serisi sonunda uygulanan gerilme genlikleri ve kırılmanın görüldüğü çevrim sayılarının bir eğri olarak çizimi ile, eğer noktalar büyük dağılımlar göstermiyorsa Wöhler eğrisi elde edilir. (Ortalama gerilme veya alt gerilmenin her bir değeri için ayrı bir Wöhler eğrisi bulunur.)



Şekil - 9 Wöhler eğrisi

Bu grafikte normal olarak apsis (çevrim sayısı) logaritmik, ordinat (gerilme genliği) ise metrik bölümlü olarak seçilir. sonsuz çevrim sayısında kırılmanın görülmeyişi en büyük gerilme genliği yani eğrinin asimptotuna karşılık olan değer yorulma dayanımıdır. Diğer yandan belirli bir çevrim sayısından sonra (N_s : Sınır çevrim sayısı) eğri sonsuz çevrim sayısına yaklaşıyor kabul edilebilir. Sınır çevrim sayısı oda sıcaklığında ve düşük sıcaklıklarda çelikler için $10 \cdot 10^6$, ağır ve hafif metaller ile yüksek sıcaklıklarda çelikler için $100 \cdot 10^6$ veya daha fazla olarak alınır. Deney süresinin kısaltılması amacıyla çelik için $2 \cdot 10^6$ hafif metaller için $10 \cdot 10^6$ - $50 \cdot 10^6$ sınır çevrim sayıları da kullanılmaktadır. Bu nedenle σ_Y sembolü yanında söz konusu sınır çevrim sayısı da verilmelidir. Örneğin sınır çevrim sayısının 10^6 olması halinde $\sigma_{Y(10^6)}$ gibi.

Yorulma dayanımından daha büyük gerilme genliklerinin bir süre uygulanmasının muhakkak hasara veya diğer bir deyişle yorulma dayanımının azalmasına yol açacağı söylenemez. Önemli olan bu aşırı yüklemelerin seviyesi ve bunlara ait çevrimlerin sayısıdır. Yorulma dayanımını malzemeye bağlı, teknolojik ve deney tekniği ile çok sayıda faktör etkilediğinden, bu deneyi normal Wöhler yöntemi yani 6-10 deney parçası yardımı ile güvenilir şekilde bulunabilmesi oldukça güçtür. Wöhler eğrisini dağılım bantının ortalama eğrisi olarak veya yorulma dayanımını belirli bir yüzde olasılıkla verebilmek için çok sayıda deney yapılması ve bunların istatistik olarak değerlendirilmesi zorunludur. Wöhler eğrisinin dağılım bantının güvenli olarak saptanabilmesi, 40-200 deney parçasını gerektirir. Hasar çizgisinin de kesin belirlenebilmesi için çok sayıda deney yapılmalıdır.

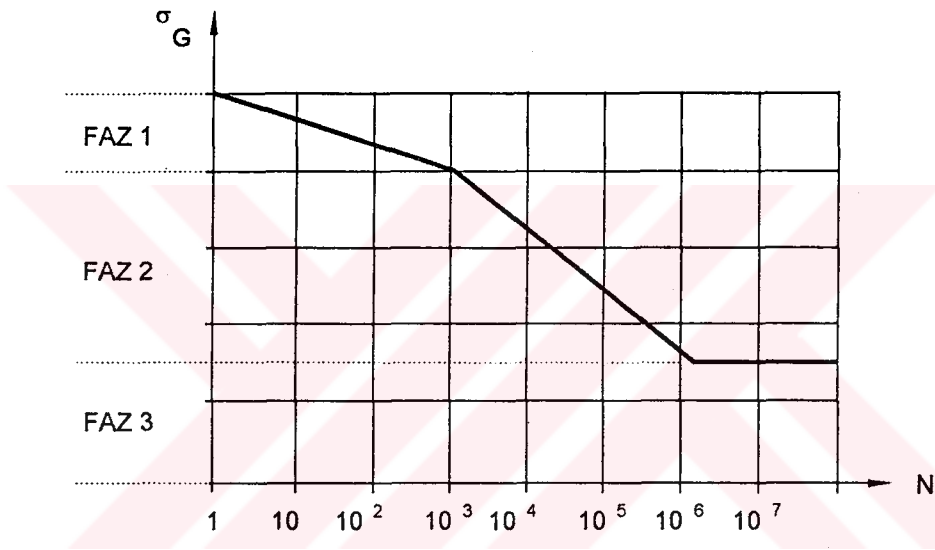
Sürekli yorulma ve yorulma dayanımlarını hesaplayabilmek amacıyla Wöhler eğrisi için bazı analitik ifadeler önerilmiştir. Ancak gerçek malzeme davranışlarını içermeyen bütün bu ifadeler, yorulma dayanımı ile statik değerlerden elde edilen değerler (örneğin çekme dayanımı) arasında kurulan ampirik bağıntılardan daha iyi sonuç vermezler. İstatistiksel olarak güvenli yorulma dayanımı değerleri elde etmek için Merdiven yöntemi olarak adlandırılan yaklaşım kullanılabilir. Bu yöntemde, saptanması istenen büyüklüğün beklenen dağılım bölgesi (örneğin yorulma dayanımı veya sürekli yorulma bölgesinde belirli bir çevrim sayısına tekabül eden gerilme genliği) basamaklara bölünür. Deneyler beklenen dağılım bölgesinin ortasında bir zorlama ile başlar. Deney parçası kırılırsa, bir sonraki deney bir alt basamağın gerilmesi ile yapılır; parça kırılmazsa bir üst basamağın gerilmesine geçilir. Başlangıç deneyi dışında bütün deneylerde uygulanacak gerilme genliği bir önceki deney sonucuna göre seçilir.

Gerilme genliği bu şekilde değiştirilerek belirli sayıda deney yapıldıktan sonra sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilir. Bu yöntemin üstünlüğü tüm deneylerin hepsinin kendiliğinden ortalama değer etrafında toplanmasıdır. Bu arada her deney parçası sadece bir kere kullanılır. Sınır çevrim sayısı da dahil olmak üzere, çeşitli çevrim sayılarında dağılma bantının saptanması için en az 40 deney parçası gereklidir. Yöntem çentikli parçalar içinde uygulanabilir.

3.5.1. WÖHLER EĞRİLERİNİN BÖLGELERİNİN AÇIKLANMALARI

Değişik çeliklerle yorulma deneylerinden elde edilmiş Wöhler eğrileri incelenirse büyük bir benzerlik olduğu fark edilecektir. Deney parçaları, bir kaç yüz veya bir kaç bin tekrara kadar sadece bilinen statik çekmedeki kopma gerilmelerinden biraz daha az bir gerilmeye dayanabilecektir. Fakat tekrar sayıları 10^3 mertebesini geçtikten sonra, yük taşıma kapasiteleri hızla artar ve Wöhler eğrisi hızla düşmeye başlar. Fakat sınır olarak bütün çelik tipleri, parçaların bir kaç milyon tekrarda bile kırılmaksızın dayanabileceği bir sınır gerilmeye ulaşır.

Bir Wöhler eğrisi böylece, üç faza ayrılabilir. Birinci faz alçak tekrarlı yorulma fazı, ikinci faz yüksek bölge yorulma fazı, üçüncü faz alçak bölge yorulmasıdır. Malzemenin yorulma olayındaki mekanizması bu üç fazda oldukça farklıdır.



Şekil-10 Wöhler eğrisinin bölgeleri

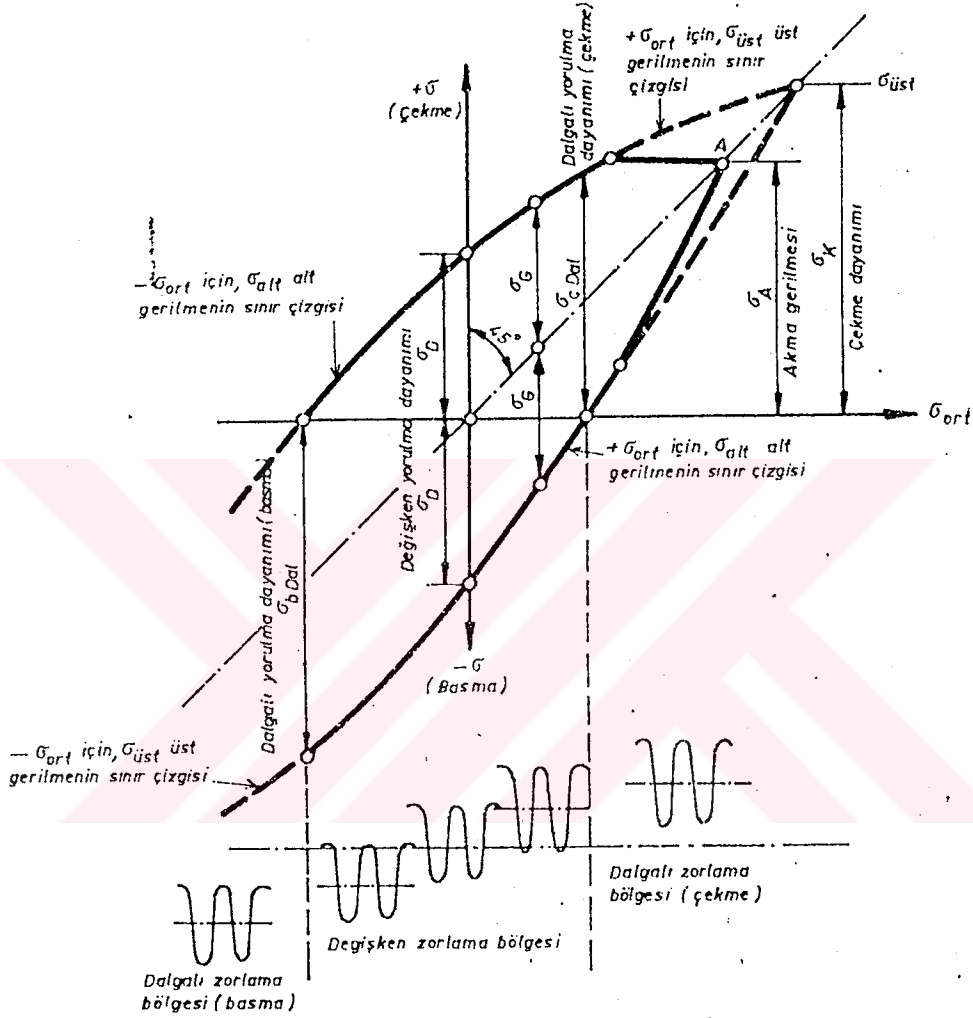
1. faz : Statik veya alçak tekrarda oluşan faza, genellikle pratikte daha az rastlanılır. Çünkü çok az sayıda makina parçası normal çalışma ömründe tam olarak statiktir. Statik deney makinalarında bulunan malzeme özellikleri bundan dolayı pek anlamlı değildir. Yük değişiyorsa (en azından yönü değişiyorsa) bir kaç yüz tekrardan sonra deneylerin de gösterdiği gibi malzemenin içlerinde bozulmalar başlar ve parça kırılır.

2. faz : Daha büyük pratik önemi vardır. Deney parçasının yüzeyi yüksek büyütme altında incelenirse deney parçasının eksenine bir açı yapan bir dizi bandlar görülür. Bunlar yüzeydeki kayma düzlemlerini gösterir. Bu kaymaların etkisiyle mikroçatlaklar oluşur, ilerler ve sonunda malzeme yükü taşıyamaz hale gelir.

3.faz : Eğrinin yatıklaşmaya ve asimptotik bir gidişe başladığı bölgedir. Demir esaslı malzemelerde bu olay belirgin bir şekildedir ve yorulma dayanımı dediğimiz belirli bir genliğin altında parça kırılmaz olarak kabul edilebilir.

3.6. YORULMA DAYANIMI DİYAGAMLARI (SMITH DİYAGAMLARI)

Değişken ve dalgali bölgeler için saptanmış bir sıra Wöhler eğrisinden elde edilen sonuçlar Yorulma dayanımı diyagramlarında toplu olarak verilebilir. Bu diyagramlar her zorlama şekli için ortalama gerilme, gerilme genliği, alt gerilme ve üst gerilme arasındaki bağıntıları grafik olarak gösterir. Yorulma dayanımına etki eden zorlama değerleri arasındaki bağıntıları en açık şekilde belirttiği için makina mühendisliğinde genellikle Smith Yorulma Dayanımı Diyagramı olarak kullanılır. Birbirine dik iki eksenin apsise ortalama gerilmeler, ordinata ise her bir ortalama gerilmeye ait yorulma dayanımının alt ve üst gerilmeleri taşınır.



Şekil 11 Smith diyagramı

Değişik ortalama gerilmeler için bulunan noktaların birleştirilmesi ile alt ve üst gerilmelerin sınır çizgileri elde edilir. Ordinatta ekseninin sağında üst sınır çizgisi üst gerilmeleri, alt sınır çizgisi alt gerilmeleri belirler. Ordinatta ekseninin solunda ise alt sınır çizgisi üst gerilmeleri, üst sınır çizgisi alt gerilmeleri gösterir. Alt ve üst sınır çizgileri doğrudan çok az saptıklarından çizim kolaylığı bakımından birer doğru ile gösterilebilirler. Apsis ve ordinatta aynı ölçek kullanıldığından 45° açı ile çizilen açı ortayı da ortalama gerilmelerin değerini verir. $\sigma_y = |\sigma_G|$ olduğuna göre her ortalama gerilme değerine karşılık gelen yorulma dayanımı değeri diyagramdan okunabilir.

Böylece sıfır noktasında malzemenin değişken yorulma dayanımı; alt gerilme sınır çizgilerinin apsisi kestiği noktalarda da çekme ve basma dalgalı yorulma dayanım değerleri bulunur.

Makina parçalarında çoğunlukla kalıcı şekil değişimlerine müsaade edilmediğinden, diyagram üstten akma gerilmesi ile sınırlanır. Akma gerilmesinin üzerindeki yorulma değerleri ancak çok özel durumlar için aranır ve kesikli çizgilerle gösterilen bu bölüm dayanım hesaplarında kullanılmaz. (Akma sınırı üzerindeki deışen zorlamalar "Kısa ömürlü yorulma" olarak adlandırılır. Süreli yorulma bölgesinin üst sınırını oluşturan bu alan için kırılma çevrim sayıları genellikle 10^4 'ten küçüktür. Normal Wöhler eğrileri de çoğunlukla 10^4 çevrim sayısından başlamak üzere çizilir.)

Yorulma dayanımı diyagramı olarak Smith diyagramı dışında daha bir çok gösterim şekli vardır. Ancak bunlar sadece bazı sınırlı uygulama alanlarında geçerlidir. Makina mühendisliğinde hemen hemen sadece Smith diyagramları kullanılmasına rağmen, köprü ve vinç yapımında alt gerilmeye bağlı olarak üst gerilmelerin değişiminin verildiği yorulma dayanımının diğer bir gösterim şekli tercih edilir. Apsise alt gerilmeler, ordinata ise tekrar alt gerilmeler ve buna karşılık gelen üst gerilmeler taşınır.

Kaynak tekniğinde ise son yıllarda daha çok Moore Kommer-Jasper diyagramından yararlanılmakta ve apsiste gerilme oranı R ordinatta ise buna karşılık gelen üst gerilme verilmektedir.

Sovyetler Birliği'nde Smith diyagramının yanında Haigh diyagramı da kullanılmaktadır. Bu diyagramda apsiste ortalama gerilme ordinatta ise gerilme genliği bulunmaktadır.

3.7. YORULMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Standart deney parçaları 8-10 mm. çapında olup, ayna parlaklığında yüzeye sahiptirler. Herhangi bir çentik içermezler ve döner eğilmeye maruzdurlar. 10^6 ve daha büyük tekrar sayılarına karşılık gelen yorulma dayanımı yorulma sınırı olarak kabul edilir. 10^6 'dan küçük tekrar sayılarında, çift logaritmik skalada, yorulma dayanımı doğrusal bir değişim gösterir. 10^3 'ten düşük tekrarlara karşılık gelen yükler statik yük olarak kabul edilebilir.

Yorulma olayı önceden bahsedildiği gibi kesin bir olay olmadığından aynı gerilme genliklerinde dahi değişik kırılma sayıları elde edilebilmektedir. Bundan da anlaşılacağı gibi bir çok faktör yorulma olayında etkilidir. Bu faktörleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- Korozyon etkisi
- Sıcaklık
- Yük tekrar frekansı
- Yükleme şekli
- Boyut faktörü
- Yüzey işleme faktörü
- Gerilme genliğinin etkisi
- Ön gerilmenin etkisi
- Yüzey sertleştirme işlemlerinin etkisi (yüzeyin dövülmesi, çekiçlenmesi, kaplanması)
- Gerilme yığılmalarının etkisi

3.7.1. KOROZYON ETKİSİ : Vakumda yapılan deneylerde, numuneler normal yorulma deneyine göre daha fazla yük tekrarına dayanırlar. Korozyon etkisi yapan gazların çok küçük miktarları bile sonucu oldukça fazla etkiler. Sulu çözeltilerde yapılan yorulma deneylerinde Wöhler eğrisinin daha aşağıda yer aldığı ve 10^9 yük tekrarından sonra bile düşmeye devam ettiği görülmüştür.

3.7.2. SICAKLIK : Yaklaşık 200 °C 'ye kadar sıcaklığın bir etkisi yoktur; ancak daha yüksek sıcaklıklarda yorulma dayanımı azalır. Yüksek sıcaklıklarda çeliklerin dayanımı statik veya tekrarlı gerilmelerin uygulanma süresine bağlıdır. Sıfırın altındaki sıcaklıklarda çeliklerin çekme, akma dayanımları ile yorulma dayanımları artmaktadır. -20 °C ile -40 °C arasında yani pratikte çok rastlanan sıcaklık aralıklarında yorulma dayanımlarındaki bu artış farkedilir değildir.

3.7.3. YÜK TEKRAR FREKANSI : Metallerde 10^4 tekrar/dakika'ya kadar ısınma meydana gelmez, bu nedenle bu bölgede frekansın bir etkisi yoktur. Plastik maddelerde 10 Hz. civarında dahi ısınma meydana gelir ve böylece yumuşar yani dayanım değeri düşer.

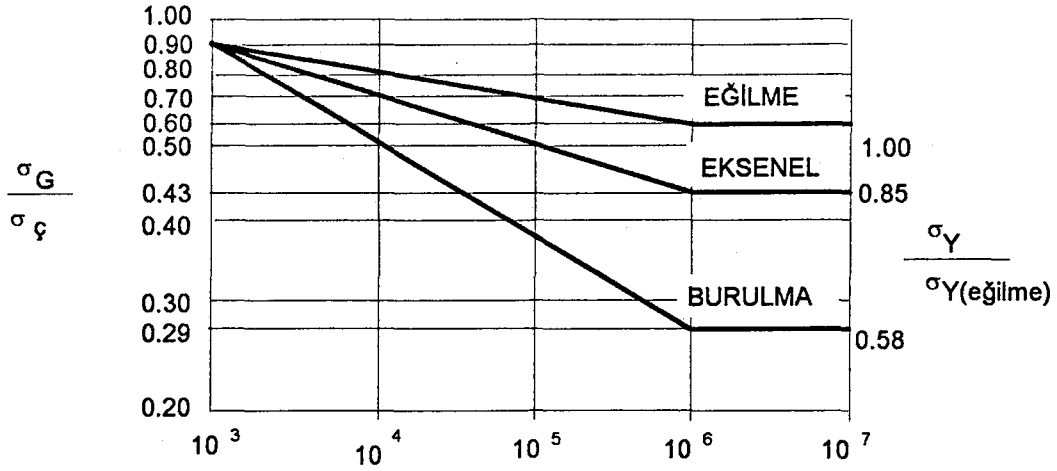
3.7.4. YÜKLEME ŞEKLİNİN WÖHLER EĞRİSİNE ETKİSİ : Yorulmada aksenal, eğilme ve burulma olmak üzere üç temel yükleme mevcuttur. Yorulma sınırı eğilme ile saptandığından, pratikteki eğilme yükleri için düzeltmeye gerek yoktur. Ancak tam değişken aksenal yüklemeye maruz parlatılmış deney parçalarının yorulma sınırı, eğilmeye maruz deney parçalarının yorulma sınırının % 85 ' kadardır. Parlatılmış parçaların tam değişken burulmadaki yorulma sınırı ise eğilmedeki sınırın % 58 ' i kadardır. Yükleme şekli Wöhler eğrisinin 10^3 tekrara karşılık gelen noktasını da aşağıdaki gibi etkiler.

- Tam değişken eğilmede $\sigma_G = 0.9\sigma_\varphi$
- Tam değişken aksenal yüklemeye $\sigma_G = 0.9\sigma_\varphi$
- Tam değişken burulmada $\tau_G = 0.9\tau_b$

Burada τ_b malzemenin burulma dayanımıdır. Eğer τ_b ' nin değeri bilinmiyorsa

$\tau_b = 0.82\sigma_\varphi$ alınabilir. Bu durumda $\tau_G = 0.74\sigma_\varphi$ olarak elde edilir.

Üç tip yüklemeye maruz parlatılmış çeliklerde Wöhler eğrileri şekilde gösterilmiştir.



Şekil 12 Tam değişken eğilme, çekme ve burulmaya maruz standart çelik parçalarda Wöhler eğrileri

Yukarıda verilen düzeltme değerleri, çeliklerin yorulmasında kısa sürede bir tahmin yürütmek amacıyla kullanılan rehber değerlerdir. Bunlar gerçek değerlere oldukça yakın sonuç verirler. Daha kesin değerler için, göz önüne alınan malzemenin deneylerle Wöhler eğrilerini saptamak veya mevcutsa ilgili kaynaklardan temin etmek gerekir.

3.7.5. BOYUT FAKTÖRÜ : Parça kesitinde üniform olmayan gerilmelere neden olan eğilme ve burulma şeklindeki yüklemelerde yorulma sınırı, parça boyutları arttıkça azalır. Örneğin ince bir telin yorulma sınırı, standart deney parçasının yorulma sınırından daha yüksektir. Buna karşılık 50 mm. çapındaki bir parçadaki yorulma sınırı standart parçadaki değerlerin % 85'i kadardır. Daha büyük parçalarda bu değer % 75'e kadar düşebilir. Eğilme halinde boyut faktörünün değerleri parça çapına bağlı olarak aşağıda verilmiştir. Bu katsayı eğilme ve burulma zorlamalarında kullanılır. Çekme ve basma zorlamalarında kuvvetin bütün zorlanan kesite eşit dağıldığı kabul edildiğinden bu katsayı bir alınır.

Tablo - 9 Boyut faktörü

Çap D (mm.)	Faktör
D<10	1
10<D<50	0.9
50<D<230	1- (D-7.6)/380

Boyutun 10³ tekrar noktasına etkisi, 10⁶ noktasına nazaran ihmal edilecek kadar küçüktür.

3.7.6. YÜZEY İŞLEME FAKTÖRÜ : Yorulma kırılmaları daima maksimum gerilmelerin bulunduğu noktalardan başlamaktadır. Yüzeylerin oluşturulması sırasında kesme takımlarının yüzeyde oluşturduğu pürüzler ve döner elemanlardaki ince dişler yorulma dayanımını azaltan gerilme yığılmaları oluştururlar. Makina elemanının yüzeyinin hassas veya kaba işlenmesi de dayanım değerlerini etkiler. Kaba işlenmiş yüzey, pürüzlü bir çeşit çentikli yüzeydir. İşlenme kabalaştıkça yüzeydeki pürüzler artar ve dayanım küçük oranda da olsa azalır. Genellikle taşlanmış ve parlatılmış çelik yüzeylerde parlatma çizgileri ana çekme gerilmesi yönünde ise yorulma dayanımı en yüksek değerine ulaşır.

Tablo 10 Yüzey işleme faktörünün yorulma dayanımı üzerine etkisi

Çekme dayanımı (N/mm ²)	300	400	500	600	700	800	1000
Parlatılmış	1.00	1.00	1.000	1.00	1.000	1.000	1.00
İnce taşlanmış	1.00	0.99	0.985	0.98	0.975	0.972	0.97
Taşlanmış	0.97	0.96	0.950	0.94	0.935	0.932	0.93
Hassas tornalanmış	0.93	0.92	0.910	0.90	0.890	0.885	0.88
Tornalanmış	0.91	0.90	0.880	0.86	0.840	0.820	0.78
Tufalı	0.80	0.74	0.670	0.61	0.560	0.510	0.43

3.7.7. GERİLME GENLİĞİNİN ETKİSİ : Gerilme genliği yorulmada birinci derecede değişkendir. Daha önce anlatıldığı gibi uygulanan gerilme genliklerinde küçük bir azalma veya artma malzeme ömrü üzerinde büyük oranda değişiklikler yapar.

3.7.8. ÖN GERİLMENİN ETKİSİ : Pratikte çoğunlukla karmaşık gerilme durumlarıyla karşılaşılır. Yorulma kırılmalarının bir kayma bandındaki değişen kayma ve kesme etkilerinden oluştuğu daha önceden anlatılmıştı. Bir kayma düzlemindeki kesme gerilmesi genliği büyüdükçe bu düzlemdeki birim uzama genliği de büyük demektir.

3.7.9. YÜZEY SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİNİN ETKİSİ :Yüzey sertleştirme kullanıldığı zaman parçanın bütün yüzeyi sertleştirilmelidir. Çünkü sertleştirilmemiş bölge sınırlarında yorulma dayanımı keskin bir şekilde düşmektedir. Nitrürasyonla da iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Nitrürasyon, tabakasının kalınlığına bağlı olarak, eğilme yorulması dayanımını % 20-35 arasında iyileştirmektedir.

3.7.9.1. YÜZEYİN DÖVÜLMESİ :Yüzeyde artık basma gerilmesi oluşturan dövmele, çekiçlemeler de ısı yüzey sertleştirmeler gibi yorulma dayanımını yaklaşık olarak %27-33 arttırmaktadır veya küçük bilyalarla yüzeyin dövülmesi yerine haddelerle basınç uygulayarak da yüzeyde artık basma gerilmeleri oluşturularak orantılı olarak eğilme yorulması dayanımında yaklaşık %10 -25 arsında artışlar sağlamak mümkün olmuştur.

3.7.9.2. ELEKTROLİTİK KAPLAMA VE METAL PÜSKÜRTME : Krom kaplama aşınma ve korozyona karşı korunma sağlar fakat yorulma dayanımını kötü yönde etkiler. Metal püskürtme çok ince ve küçük çatlaklar demek olan boşluklar ve tabakalar meydana getirdiği için yorulma dayanımını düşürür. Örneğin bazı araştırmacılara göre metal püskürtme yolu ile kaplanmış Al-Cu-Mg alaşımı için bu düşüş yaklaşık % 14 olmaktadır.

3.7.10. GERİLME YIĞILMALARI ETKİLERİ : Kesit değişimleri, delikler, kama yuvaları, buldukları noktalarda çentik etkisi yaparak aşırı gerilme artışlarına yol açtıkları için çatlakların başlangıç noktalarını teşkil ederler. Dolayısıyla yorulma dayanımı değerlerini önemli ölçüde etkilerler.Yorulma zorlamaları altında biçim ve yüzey etkilerine karşı olan duyarlık malzemedan malzemeye farklıdır. Söz konusu davranışın ölçütü olarak yorulma çentik katsayısı $\beta_{çen}$ tanımlanır.Bu katsayı düzgün şekilli yüzeyi parlatılmış dolu bir çubuğun yorulma dayanımının, çentikli bir parçanın yorulma dayanımına oranıdır.

$$\beta_{çen} = \frac{\sigma_{Y(çentiksiz)}}{\sigma_{Y(çentikli)}}$$

Yorulma çentik katsayısının saptanmasında aynı malzemedan çentiksiz ve çentikli (yuvarlak veya sivri çentikli, boyunlu, enine delikler içeren vb.) deney parçaları kullanılır. Çentikli parçada bulunan kuvvet veya momentten yorulma dayanımına geçebilmek için dayanım bilgisinin temel denklemlerinden yararlanılır ve böylece çentiksiz parçanın yorulma dayanımından daha düşük değerler elde edilir.

Çentikli parçalarda yorulma dayanımı olarak bu şekilde saptanan gerilme değerine, anma gerilmesi veya hesaplanan gerilme adı verilir. Gerçekte çentik dibinde ve çevresinde bu anma gerilmesinden oldukça yüksek gerilme yığılmaları bulunmaktadır.

Yorulma çentik katsayısı belirlenirken daha güvenilir sonuçlara ulaşmak için değerlendirmede istatistik yöntemler kullanılmalıdır. Yorulma çentik katsayısına çentik şekli, çentik boyutları, malzeme, sıcaklık, ortam, ortalama gerilmenin seviyesi, zorlama türü (çekme, eğme, burma), zorlama frekansı ve zorlama süresi gibi değişik faktörler etki ettiğinden ilgili çizelge ve diyagramların kullanımında dikkatli olunmalıdır. Yorulma çentik katsayısına değişik faktörlerin etkisine örnek olarak X 22CrMoV 12.1 ısıya dayanıklı alşımli çeliği için, oda sıcaklığı ve 550 °C sıcaklıkta, eğme değişken, çekme basma değişken ve burma değişken zorlamaları altında çevresel sivri çentikli ($r=0.1$) deney parçalarında saptanan yorulma çentik katsayısı değerleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 11 Gerilme yığılmalarının etkileri

Zorlama türü (değişken)	Deney sıcaklığı °C	Yorulma dayanımı (kg/mm ²)		Yorulma çentik katsayısı
		Düz çubuk	Çentikli çubuk	
Eğme	20 ⁽¹⁾	±49	±21	2.3
	550 ⁽²⁾	±27	±13	2.1
Çekme-Basma	20 ⁽¹⁾	±45	±13.5	3.3
	550 ⁽²⁾	±25	±9.5	2.6
Burma	20 ⁽¹⁾	±33	±21	1.6
	550 ⁽²⁾	±22	±14	1.6

(1) Sınır çevrim sayısı $10 \cdot 10^6$
(2) Sınır çevrim sayısı $38 \cdot 10^6$

Aynı zorlama türü için en yüksek yorulma çentik katsayısı ortalama gerilmenin sıfır olduğu durumda, yani değişken yorulma dayanımı için bulunur. Yüzey dayanımını arttıran sementasyon, alevle yüzey sertleştirme, endüksiyonla yüzey sertleştirme, nitrürleme, soğuk haddelme ve bilya püskürtme gibi işlemler sonucu yorulma çentik katsayısı azalır. Sıcaklık, ortalama gerilme, yükleme süresi ve gerilme genişliğine bağlı olarak ve çelik türüne göre yüksek sıcaklıktaki yorulma çentik katsayısı oda sıcaklığı değerinden düşük veya yüksek olabilir.

BÖLÜM 4

YORULMA MAKİNALARI

4.1. YORULMA MAKİNALARI

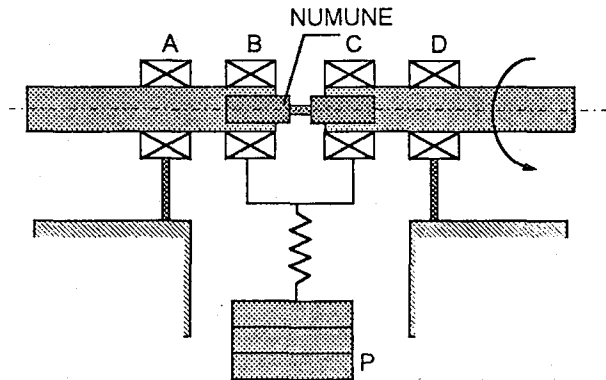
Şimdiye kadar bahsedilen değerler, diyagramlar çeşitli yorulma makinaları ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlardan alınmışlardır. Bu amaçla kullanılan deney makinaları çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir.

- 1) Yükün uygulanışına göre
 - Sabit kuvvet uygulanan yorulma makinaları
 - Sabit şekil değişimi uygulanan yorulma makinaları
- 2) Gerilme tiplerine göre
 - Çekme basma yorulma makinaları
 - Eğilme yorulma makinaları
 - Burulma yorulma makinaları
 - Birleşik gerilmeler için yorulma makinaları
- 3) Dizayn karakteristiklerine göre
 - Mekanik tip
 - Hidrolik tip
 - Santrifüj tip
 - Pnömatik tip
 - Magnetik tip
- 4) Çalışma karakteristiklerine göre
 - Rezonans makinaları
 - Nonrezonans makinaları

Herhangi bir makina için konuşulması gereken şeyler ölçme imkanları ve parçalara uygulanan yüklerin ayarlanabilme özellikleridir. Sabit yüklemeli mekanik makinalar, atalet kuvvetleri ağırlıklar veya küçük yay sabitli helisel yay sistemleri kullanırlar. Sabit şekil değişimli makinalarda parçanın burulması, eğilmesi veya kısalıp uzaması direnç Strain-gage'ler, aynalar veya mikrometrelerle veya eksantrisitinin ayarlanması ile ölçülebilir. Makinada müsaade edilebilen maksimum hata $\pm \%3$ kadar olmalıdır.

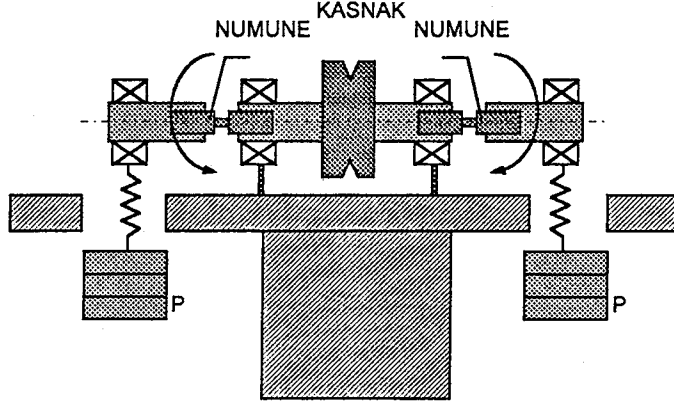
4.1.1. DÖNER EĞİLME MAKİNALARI :

Bütün bu tip eğilme makinaları mekanik ve nonrezonans tiplerdir. Simetrik kesitli deney parçalarının kritik kesitlerindeki bütün yüzey lifleri maksimum gerilme altındadır. Bir yük tekrarı parçanın bir dönüşünde tamamlanır. En çok kullanılan makina dört noktadan yükleme yapabilen tiptir ve R.R. Moore makinası olarak bilinir.

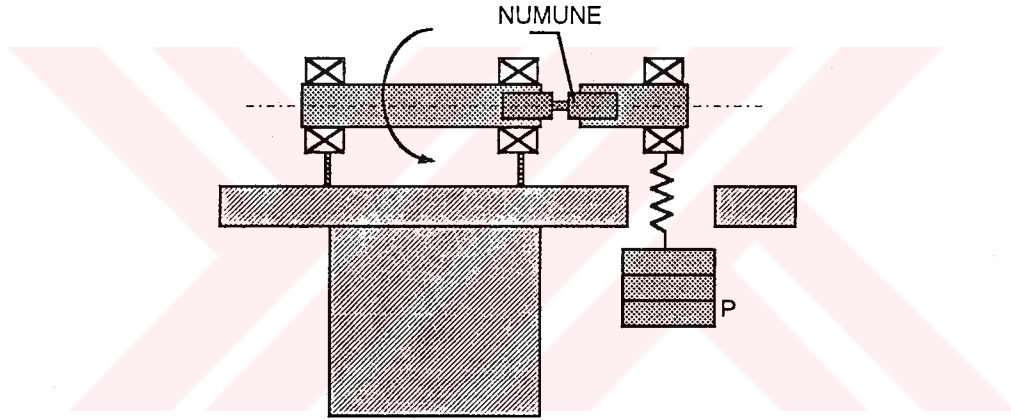


Şekil -13 Dört uçtan yüklemeli R.R. Moore makinası

Burada deney parçasının üzerinde üniform bir eğilme momenti vardır. Bunun sağlanabilmesi için $AB=CD$ olması gerekir. 3600 veya düşük kapasiteli olanlarında 10000 devir/dakika 'ya kadar çıkılabilir. Ayrıca bunun yerine iki uçtan yüklemeli ve böylece aynı anda iki parçanın yorulma deneyinin yapılabileceği tipleri veya bir uçtan ankastre olarak tek parçanın yüklenebileceği eğilme makinaları da vardır.



Şekil -14 İki uçtan yüklemeli tip yorulma makinası



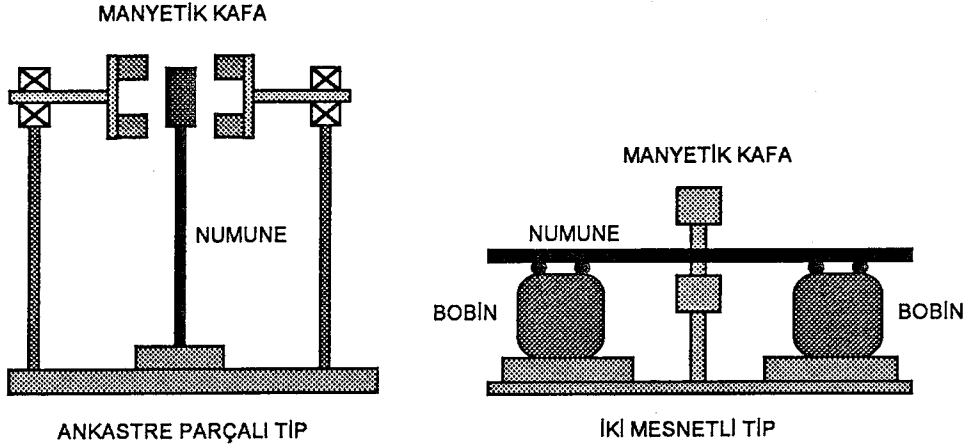
Şekil -15 Tek uçtan yüklemeli tip yorulma makinası

Burada kullanılan tek veya çift ankastre uçlu dizaynlar Wöhler tarafından ilk defa kullanıldıkları için dikkate değerdir. Basitlik ve düşük maliyet, kısmen de büyük kesitli parçaların kullanılabilmesi dolayısıyla geniş oranda kullanılmaktadır. En küçük makina Peterson tarafından 0.05 inç çaplı (yaklaşık 1.2 mm) çaplı parçaları denemek için yapılmıştır. Yaklaşık 500 mm. çapındaki parçaları denemek için yapılmış olanlar düşük devirlerde (600 d/dak.) çalışmaktadır. Böyle büyük makinalar genellikle su soğutmalı kafalar ve çeneler gerektirirler.

4.1.2. TEKRARLI EĞİLME MAKİNALARI :

Plak veya levha malzemeler, bunları döndürmek yerine öne arkaya eğerek tekrarlı eğilme etkileri uygulanarak incelenebilir. Bu tip makinaların bir avantajı deney parçalarının yüzeylerini hazırlamanın daha kolay olmasıdır. Ayrıca ön gerilmeler, tekrarlı gerilme genlikleriyle birlikte rahatça uygulanabilir. Mekanik olarak tahrik edilen bu tip makinalarda genellikle krank kolları kullanılır. 1750 d/dak. veya daha fazla devirde çalışabilen tekrarlı eğme makinaları vardır.

Bu tip makinalarda parça üzerine uygulanan gerilme, parçanın uzunluğu boyunca lineer olarak artar. Çoğunlukla sabit şekil değişimi uygulanan tiptedirler. Manyetik veya pnömatik olarak tahrik edilen tiplerinde sabit kuvvetler uygulanabilir. Bu makineler dinamik dengelemenin zorluğundan dolayı genellikle 1000 d/dak. 'nın altında çalışırlar. Mekanik olarak çalışan tekrarlı eğilme makinalarının şematik gösterimi şu şekildedir.



Şekil - 16 Manyetik tip tekrarlı eğilme makinaları örnekleri

Manyetik olarak tahrik edilen tipteki eğilme makinaları da alternatif olarak mıknatıslandırılan kafalar yardımıyla yapılabilmektedir. Bunların dışında ayrıca santrifüj kuvvet prensibi ve hava basıncı ile çalışan eğilme makinaları da yapılmıştır.

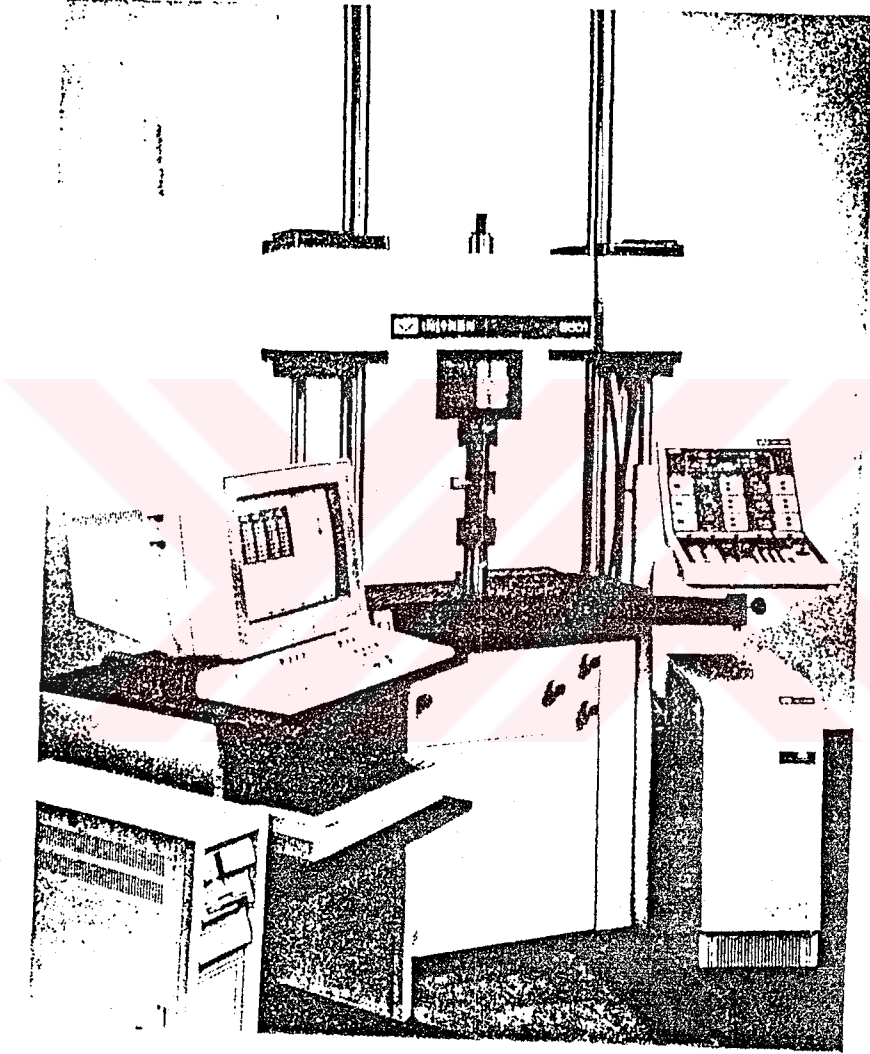
Yorulma makinalarının tümünde yükün uygulanması mümkün olduğu kadar kontrollü yapılmalıdır. Deney makinalarından istenen özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- 1- Uygulanan yükü hassas olarak ölçebilmelidir.
- 2- Gelişmiş kontrol imkanlarına sahip olmalıdırlar.
- 3- Yükün uygulayıcısına yani operatöre mümkün olduğu kadar bağımlı olmamalıdır.
- 4- Ek gerilmeler oluşturmamalıdır.
- 5- Büyük öngerilme ve küçük genliklerin uygulanabilirliğine imkan tanımalıdır.
- 6- Mümkün olduğu kadar geniş devir sayıları aralıkları olmalıdır.
- 7- Parça kırıldığında makinanın zarar görmemesi için yeterli enerji absorpsiyonu sağlayabilmelidir.
- 8- Çeşitli boyutlarda parçaların bağlanabilmesi için değişik çene sistemlerine sahip olmalıdır.

Pratikte çok karşılaşılan düzensiz yük değişimlerini simule edilebilmek için programlanabilir deney makinalarının kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Bu amaçla kullanılmak için otomatik olarak genlik ayarlaması yapabilen blok programlamalı deney makinaları geliştirilmiştir. Çeşitli titreşim ölçücüler yardımıyla taşıtların veya başka makinaların seyir sırasında karşılaşılabildikleri yük değişimleri çıkarılarak bunlara en iyi uyabilecek blok programlar tespit edilebilir. Bundan sonra da programlanabilir makinalarla bu sistemlerin çeşitli denemeleri yapılabilir. Makinalar parça kırıldığı zaman, kendi kendilerine stop edebilmeli ayrıca durma sırasında geçen dönme sayıları da mümkün olduğu kadar az olmalıdır.

4.1.3. EKSENEL (ÇEKME-BASMA) TİP YORULMA MAKİNALARI :

Tez çalışmasındaki deneylerin yapılması için kullanılan bu makina; metaller, plastikler, kompozitler ve diğer önemli malzemelerden yapılmış çeşitli (düz plaka şeklinde, silindirik ve dış açılmış veya silindirik faturalı) deney numunelerini değişik çene tiplerini kullanarak bağlayabileceğimiz ve bu numunelere çekme, basma, yorulma, eğilme, çatlak ilerlemesi gibi deneyleri çok değişik sıcaklıklarda (örneğin soğutucu gaz olarak karbondioksit kullanılırsa - 70 °C) yapabildiği ve deney esnasında elde edilen çok çeşitli bilgileri toplayıp bir rapor halinde (gerekirse grafik çizebilen) sunabilen, INSTRON firmasının üretmiş olduğu oldukça hassas bir makinedir.



4.1.3.1. BAŞLICA PARÇALARI :

Tower Console : Makinanın tüm elektronik kontrol kartlarının bulunduğu bölümdür. Sistem açırken ön kısmında yeşil Power led'i yanar. Sistem açılırken kendini test eder ve bu test sırasında bir hataya rastlanırsa kırmızı Fail led'i yanar.

Front panel : Makinayı deneye hazırlamak ve deneyi uygulayıp ve durdurmak için gerekli tüm tuşların bulunduğu üzerinde iki tane LCD ekranın bulunduğu bölümdür.

Load Frame : Çenelerin, aşağı veya yukarı hareket ederek kuvvet uygulamasına imkan sağlayan makinanın tipine bağlı olarak iki veya dört kolondan oluşan çerçevedir.

Crosshead : Load Frame üzerinde üst çenenin bağlı bulunduğu, kolonlar üzerinde yukarı veya aşağı yönde hareket edebilen üst ve yatay katedir.

Actuator : Hidrolik bir piston ile aşağı ve yukarı yönde kuvvet uygulamaya yarayan alt çenenin bağlı olduğu parçadır.

Load Cell : Crosshead ile üst çene arasında, uygulanan kuvvetin ölçümünü sağlamak için direnç tipi Strain-Gage'lerin bulunduğu kısımdır.

Electric pump : Alt ve üst çeneyi açıp kapatabileceğimiz ve numune üzerine uygulayabileceğimiz kuvveti ayarlayabileceğimiz kolların bulunduğu kısımdır.

Hydraulic Power Supply : Hidrolik pistonların ihtiyaç duyduğu kuvveti sağlayabilmek için hidrolik akışkanını istenen yüksek basınca ulaştıran makinanın hidrolik güç kaynağıdır. Bu işlem sırasında oluşan ısının, dağıtılmasını sağlamak için su soğutmalı bir eşanjörü vardır.

Hydraulic Control Panel : Hydraulic Power Supply ve Actuator Control fonksiyonlarını yapabileceğimiz tuşların bulunduğu paneldir.

4.1.3.2. SİSTEMİN AÇILMASI :

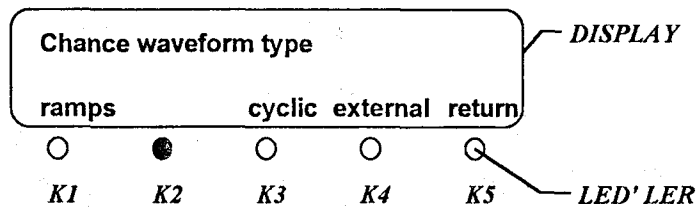
Sistem oldukça hassas ve kompleks olduğundan dolayı çalışma sırasında herhangi bir olumsuz durumla karşılaşmamak için kullanma kılavuzları okunmadan ve yeteri kadar bilgi sahibi olmadan makina çalıştırılmamalıdır. Yapılacak olan işlem mutlaka daha önceden planlanmış olmalı ve girilen sayısal değerler her ne kadar makinanın kendisine ait bir çok kontrolü olmasına rağmen tekrar tekrar kontrol edilmelidir.

Çalıştırma öncesinde sistemin tüm elektrik bağlantıları, hidrolik bağlantılarına bakılmalı ve soğutma sisteminin çalışır vaziyette olup olmadığı kontrol edilmelidir.

- ◆ Tower Console ünitesinin arka tarafındaki switch On durumuna getirilir. Elektrik akımının sisteme ulaştığına Power led'i yanar. Sistemin kendi kendini test etmesi beklenir. Test bittikten sonra hiç bir problem yoksa,
- ◆ Hydraulic Control Panel üzerindeki Hydraulic ON butonuna basılır.
- ◆ Eğer bilgisayar bağlantısı varsa bilgisayar açılır.

4.1.3.3. DISPLAY VE LED'LERİN GÖRÜNÜŞÜ (EKAN VE LEDLERİN GÖRÜNÜŞÜ) :

Bazı operasyonların anlatımında display ve altındaki 5 tane led' in durumunu göstermek için aşağıdaki gibi bir gösterim tarzı izlenecektir. Led' in yanıyor olması display 'de o lede ait seçeneğin kullanılabilir olduğunu gösterir.



K1, K3, K4, K5 = KULLANILABİLİR (AKTİF)

K2 = KULLANILAMAZ (AKTİF DEĞİL)

4.1.3.4. SİSTEMİN KENDİ KENDİNİ KONTROL ETMESİ (SELF-TEST) :

Sistem açıldığında otomatik olarak kendi kendini test eder ve alt ve üst ekranlarda aşağıdaki mesajlar görünür.

Tüm kontroller tamamlandığında sistem eğer herhangi bir hata yoksa en son ekranda görünen mesajı verecek ve bekleyecektir. Sistemin self-testi bitince Hydraulic Control Panel üzerindeki Hydraulic ON butonuna basılır. Actuator Low tuşuna basılarak numune bağlanabilir ve daha sonra Actuator High butonuna basılarak test için gerekli hidrolik basıncı sisteme verilebilir. Bu işlemler sırasında herhangi bir nedenden dolayı hata oluşmuşsa bu hatanın nedenini öğrenmek için Front Panel'in üzerindeki STATUS tuşuna basılabilir. Problem hakkında daha ayrıntılı bilgi almak için Frame Status (K5) tuşuna basılır. (Ref : M11-98500-1 Instron Model 8500-Dynamic Testing Sytem Operator Guide Chapter 4-1)

FRONT PANEL MEMORY TEST PASSED

Starting Functional Self Test



FRONT PANEL MEMORY TEST PASSED

Vnn.nn : <date> <time>



8500 PLUS TOWER SELF TEST 6



8500 PLUS TEST RESULTS : DPL1.2 ---.---.---



SYSTEM INITIALIZATION IN PROGRESS

PLEASE WAIT



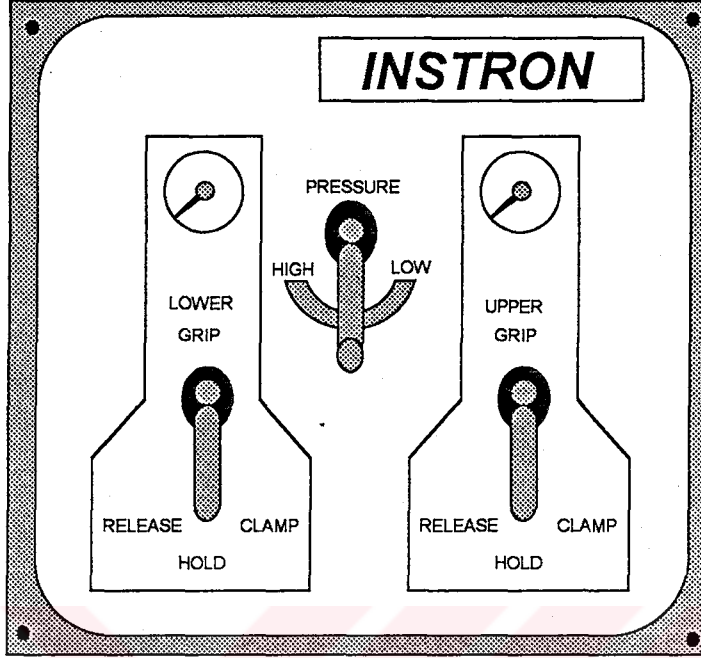
INSTRON 8500

Press any key to continue



4.1.3.5. YORULMA PARÇALARININ BAĞLANIŞI VE SÖKÜLÜŞÜ :

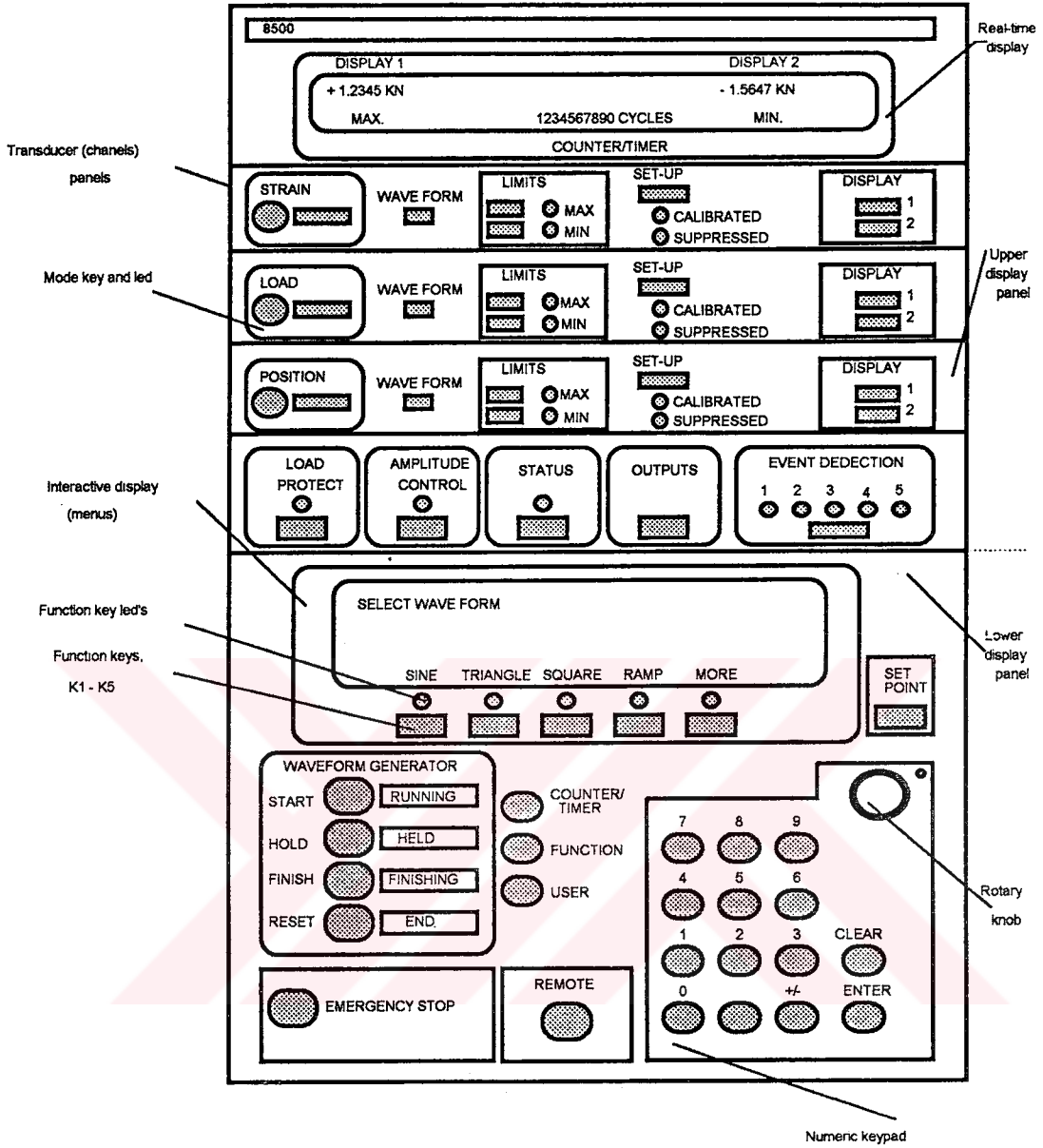
Elektrikli pompa kontrol paneli üzerinde alt ve üst çeneyi kumanda etmemizi sağlayan kollar kullanarak bu işlemler tamamlanır.



Şekil - 17 Electric pump control panel

- Alt ve üst çenelere ait kollar RELEASE (serbest bırak) durumuna getirilir ve ayak switch'ine basılarak çenelere uygulanan kuvvet sıfırlandığı basınç göstergelerinden takip edilir.
- Parça üst çeneye yerleştirilir ve üst çeneye ait olan kol CLAMP (sıkıştır) durumuna alınır, ayak switch'ine basıp uygun bir kuvvet uygulanarak parça sabitledikten sonra kol HOLD (tut) durumuna getirilir.
- Parça uzunluğuna bağlı olarak ve deney çeşidine bağlı olarak limitleri de göz önünde bulundurarak Crosshead veya Actuator yukarı veya aşağı alınarak parça alt çeneye, üst çeneye bağlandığı gibi bağlanır.
- Parça çıkarılırken öncelikle Actuator kullanılarak mevcut çekme veya basma yükü boşaltılır daha sonra her iki kol RELEASE durumuna getirilerek ve ayak switch'ine basılarak uygulanan kuvvet sıfırlanır.

4.1.3.6. FRONT PANEL'İN GÖRÜNÜMÜ (ÖN PANELİN GÖRÜNÜŞÜ) :



Şekil - 18 Front panel 'in görünümü

Upper Display : Her bir satırı 40 karakterden oluşan iki satırdan oluşmuştur. Ayrıca DISPLAY 1, DISPLAY 2, COUNTER/TIMER olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır.

Mode Controls : POSITION, LOAD veya STRAIN olmak üzere istenen kontrol modu seçilirse seçilmiş olan moda ait led yanar ve lower display'de bu moda ait seçenekler gözükür.

Waveform : Ramps, sinusoidal, triangle vb. dalga tipleri seçimleri için kullanılır.

Limits : Seçilmiş olan moda ait olmak üzere alt ve üst sınırlar koymak içindir.

Setup : Çeşitli kalibrasyonların yapılması için kullanılır.

Display 1,2 : Seçilmiş olan moda ait bilgileri display 1 veya display 2 ' de görüntülemek için kullanılır.

Load Protect : Uygulanan yükün belli bir değerden fazla artmasına engel olur.

Amplitude control : Yüksek frekanslı yorulma deneylerinde genliğin hassas bir şekilde aynı değerde tutulmasını sağlar.

Status : Bu tuşa basıldığında Sistemin o anki durumunu gösterir. Eğer bir arıza varsa arızalı modülü bildirir.

Outputs : Dışarıdan Osiloskop vb. aletlerin bağlantıları için kullanılır.

Event Dedection : Deney sırasında, (Position, Load veya Strain için) bu tuş ile ayarlanmış şartların oluşması halinde deneyi değişik seçeneklere yönlendirmek için kullanılır.

Lower display : 40 karakterden oluşan iki satırlık bu göstergede değişik menülerde sistemi ayarlamak için bazı kontrol değerleri ve test parametreleri görüntülenir.

Lower display soft keys 1..5 : Led'i (ışığı) aktif olan seçenekler, bu tuşlara basılarak işleme devam edilir.

Set point key : Ayarlanmış olan bir değeri değiştirmek için kullanılır.

Counter/timer key : Sayaç ve zaman özelliklerinden yararlanmak için kullanılır.

Function Key : Kullanılan birim sistemlerinin değiştirilmesi, kullanıcıya göre makinanın dilini değiştirilmesi, stop tuşuna basıldıktan sonra makinanın resetlenmesi ve benzeri servis fonksiyonlarının yapılabilmesi seçeneklerini sunar.

User key : Çeşitli test ayarlarını, kullanıcının verdiği bir isim altında saklamak için kullanılır.

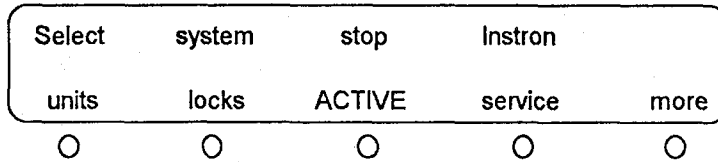
Waveform generator START key : Seçilmiş kontrol modunda yapılmış olan programı başlatır. Program çalışırken yanında yeşil Running led'i yanar.

Waveform generator HOLD key : Programı bulunduğu konumda durdurur ve yanında sarı HELD led'i yanar.

Waveform generator FINISH key : Çevrimi tamamladıktan sonra programı durdurur ve yanında sarı FINISH led'i yanar.

Waveform generator RESET key : Program tamamen durur ve yanında END Led'i yanar.

Stop key : Waveform generator acilen durdurulur pozisyon kontrolüne geçilir ve program bu seviyede tutulur. Stop tuşu kullanıldığında Front panel üzerindeki **Function** tuşuna basılarak aşağıdaki menu geldikten sonra (K3) tuşuna basılarak ACTIVE yazısının RESET olması sağlanır.

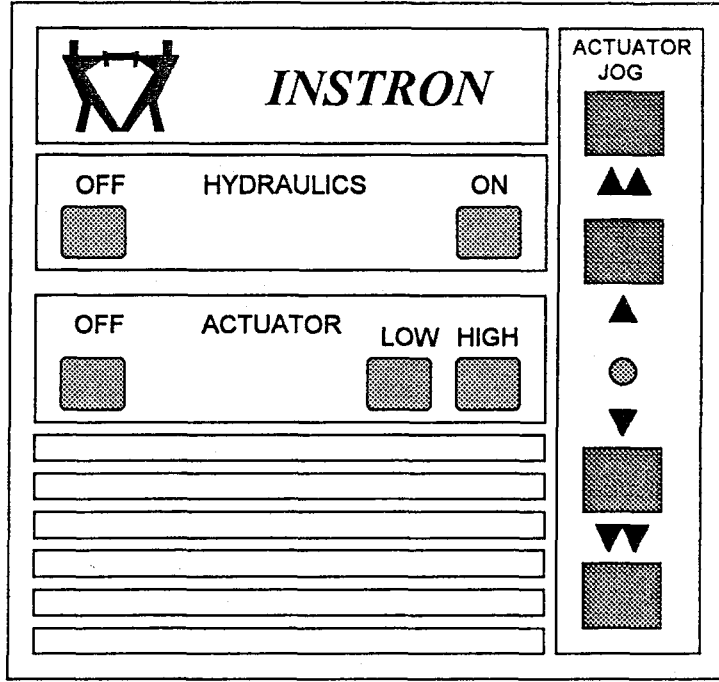


Remote key : Programın bilgisayar kontrolüne geçmesini sağlar.

Numeric keypad : Tuş takımını kullanarak sayısal değerlerin girilmesini sağlar.

Rotary knob : Sayısal değerlerin, düğmeyi saat yönünde veya saat yönünün tersi yönünde döndürmek suretiyle girilmesini sağlar.

4.1.3.7. Hydraulic Control Panel' in görünümü :



Şekil - 19 Hydraulic Control panel'in görünümü

Hydraulic Control Panel :

Hydraulics ON : Hydraulic Power Supply ünitesini çalıştırır ve sisteme hidrolik basınç gönderir. (Actuator hariç)

Hydraulics OFF : Hydraulic Power Supply ünitesini durdurur ve hidrolik basıncı düşürür.

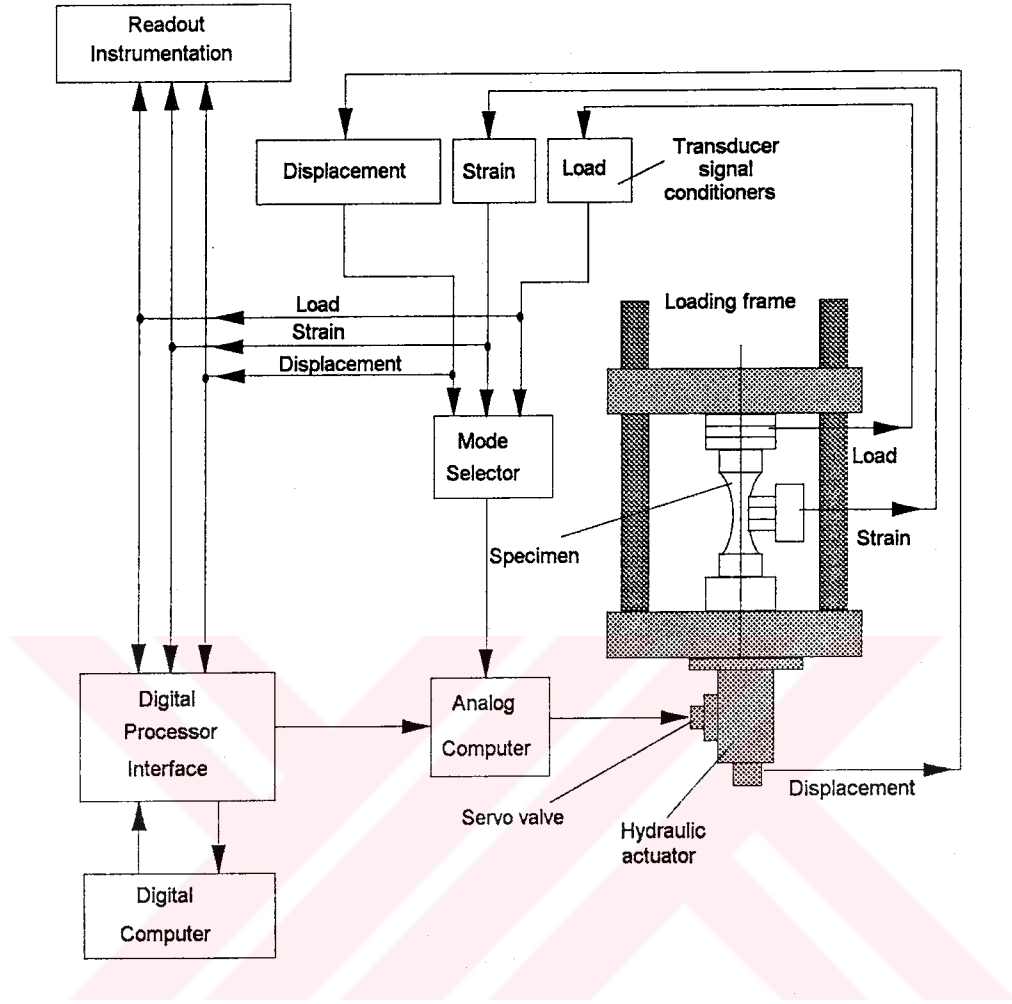
Actuator OFF : Actuator ' deki hidrolik basıncı düşürür.

Actuator LOW : Hassas numunelerin bağlanması sırasında düşük hidrolik basıncı kullanılır. Test sırasında düşük hidrolik basıncı kullanılmaz.

Actuator HIGH : Actuator'e test sırasında kullanılacak düzeyde hidrolik basınç gönderir.

Actuator JOG : Numunenin bağlanması sırasında Actuator bu tuşlar kullanılarak yukarı ve aşağı hareket ettirilebilir. Actuator tek ok işareti ile yavaş, çift ok işareti ile hızlı bir şekilde okların gösterdiği yönde hareket ederler. Tuşların arasındaki led'in yanması Actuator JOG tuşlarının kullanılabilirliğini gösterir.

4.1.3.8. EKSENEL TİP YORULMA MAKİNASININ BLOK ŞEMASI :

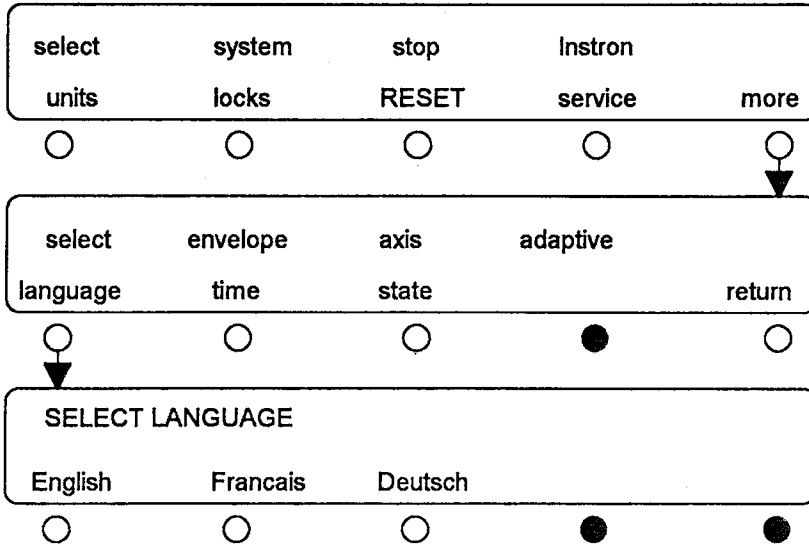


Şekil - 20 Eksenel tip yorulma makinasının blok şeması

4.1.3.9. SYSTEM SETUP (SİSTEM AYARLARI) :

4.1.3.9.1. LANGUAGE SELECTION (KULLANICI DİLİNİN SEÇİLMESİ) :

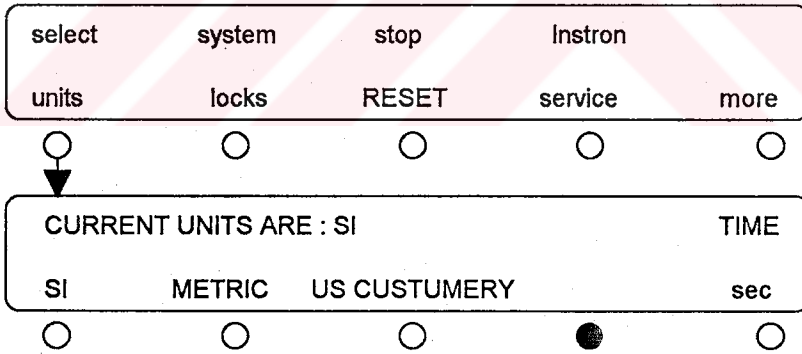
Front Panel üzerindeki **FUNCTION** tuşuna basılır.



Kullanıcı İngilizce, Fransızca veya Almanca dillerinden birini seçebilir. (Ref : M11-98500-1 Instron Model 8500-Dynamic Testing Sytem Operator Guide Chapter 4-2-1)

4.1.3.9.2. SYSTEM UNITS (BİRİM SİSTEMİNİN SEÇİMİ) :

Front Panel üzerindeki **FUNCTION** tuşuna basılır.



Arzu edilen birim sistemi seçilir. Zaman birimleri olarak saat, dakika veya saniye K5 seçeneği kullanılarak ayarlanabilir. (Ref : M11-98500-1 Instron Model 8500-Dynamic Testing Sytem Operator Guide Chapter 4-2-2)

4.1.3.9.3. TRANSDUCER UNIT MAGNITUDE (BİRİM SİSTEMİ GRUPLARI) :

Aşağıdaki tabloda verilen birim sistemlerine göre gerekli görülen ayarlamalar yapılabilir.

PARAMETER	RANGE	UNITS GROUP		
		US CUST	METRIC	SI
LOAD (FORCE)	Small Medium Large	oz lb kip	g kg T	N kN MN
STRESS (PRESSURE)	Small Medium Large	psi ksi Mpsi	g/cm ² kg/cm ² kg/cm ²	kPa MPa GPa
POSITION (EXTENSION)	Small Medium Large	mil in in	micron mm cm	micron mm cm
STRAIN (ELONGATION)	Small Medium Large		usn % sn	
STROKE RATE	Small Medium Large		position units/hr position units/min position units/sec	
LOAD RATE	Small Medium Large		force units/hr force units/min force units/sec	
STRAIN RATE	Small Medium Large		strain units/hr strain units/min strain units/sec	
TIME	Small Medium Large		sec min hr	
AREA	Small Medium Large	mil ² in ² in ²	mm ² cm ² cm ²	mm ² cm ² cm ²
VOLTAGE	Small Medium Large		uV mV V	
FREQUENCY			Hz	

Kullanılmak istenen kanala ait SETUP tuşuna basılır. (Ref : M11-98500-1 Instron Model 8500-Dynamic Testing Sytem Operator Guide Chapter 4-2-2-3)

```

select LOAD setup function
CAL.    RANGE    SUPPRESS    LOOP    more
○       ○       ○           ○       ○
▼
250.0   cal    redef.    contrl
kN      trndcr.  DISABLE
○       ●       ○           ○       ○
▼
present units are kN; change?
N       kN      MN        more
○       ○       ○         ●       ●
  
```

Seçilmiş olan birim sistemine göre istenen büyüklük katsayısı ayarlanabilir.

4.1.3.10. USER DISPLAY PARAMETER SELECTION (EKRAN PARAMETRELERİNİN SEÇİLMESİ) :

Takip edilmek istenen kanala ait olan DISPLAY 1 veya 2 tuşuna basılırsa Lower display'de çeşitli seçenekler belirecektir. (Ref : M11-98500-1 Instron Model 8500-Dynamic Testing Sytem Operator Guide Chapter 4-2-3)

select LOAD qualifier for DISPLAY 1				
TRACK	MIN	MAX	AMP	more
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Deney sırasında izlenmek istenen herhangi bir seçenek seçilebilir.

Track : Deney boyunca sürekli ve eş zamanlı olarak seçilen kanala göre (pozition, load veya strain olabilir) hakkında bilgi verir.

Min : Negatif veya pozitif olmak üzere ulaşılan en küçük değeri gösterir.

Max : Negatif veya pozitif olmak üzere ulaşılan en büyük değeri gösterir.

Amp : Eş zamanlı ve sürekli olarak amplitud'ü gösterir. $(Max - Min)/2$

select LOAD qualifier for DISPLAY 1				
MEAN				more
<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

↓

select special function for DISPLAY 1				
COMMAND		REVIEW ULTS		more
<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

↓

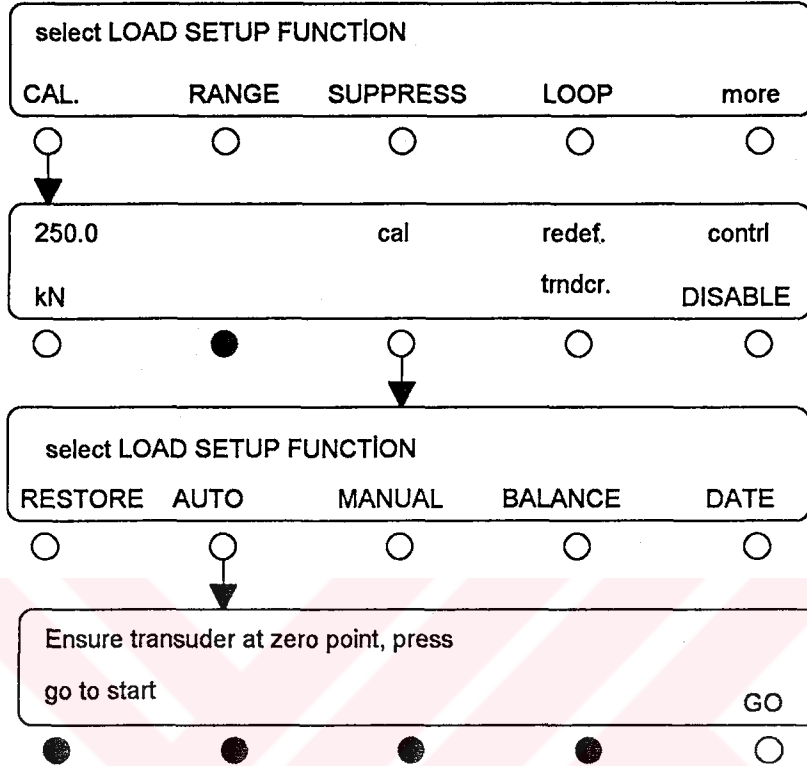
ULT.	MIN	MAX	units	
PEAKS	0.0	135.5	kN	RESET
<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Mean : Ortalama değeri gösterir. $(Max + Min) / 2$

Review Ults : Pik değerleri verir.

4.1.3.11. AUTOMATIC CALIBRATION (OTOMATİK KALİBRASYON) :

Kalibrasyona gerek duyulan kanala ait SETUP tuşuna basılır. (Ref : M11-98500-1 Instron Model 8500-Dynamic Testing Sytem Operator Guide Chapter 4-3-2-1)



Restore : Daha önceden yapılmış olan kalibrasyon değerlerini geri çağırır.

Manual : Bilinen ağırlık değerlerini kullanarak, yeniden yapılan kalibrasyonlarda kullanılır.

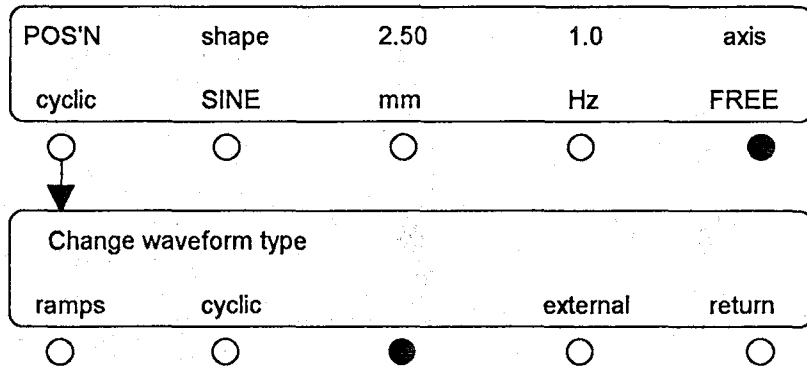
Balance : Örneğin, (alt ve üst çenelerin değiştirilmelerinden sonra mutlaka bu ayarı yapmak gereklidir.

Date : En son yapılan kalibrasyonun tarih ve saatini gösterir.

4.1.3.12. WAVEFORM TYPE (DALGA FORMU TİPİ) :

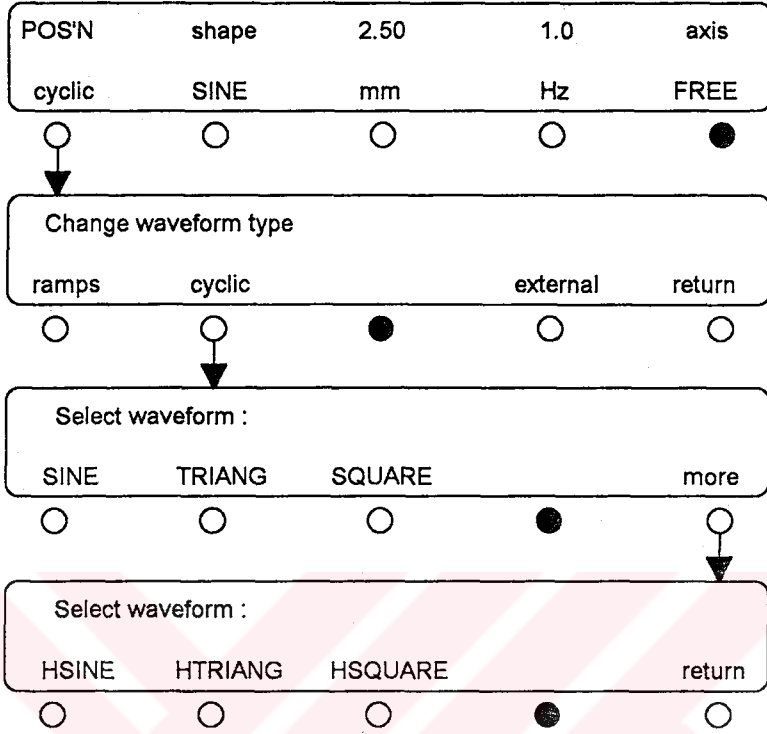
İstenen kanalda uygulanmak istenen dalga tipi aşağıdaki gibi seçilebilir.

Hangi kanalda çalışılmak isteniyorsa o kanala ait olan waveform tuşuna basılırsa diğer kanallarda da benzer olmak üzere aşağıdaki ekranlar gözükür. (Ref : M11-98500-1 Instron Model 8500-Dynamic Testing Sytem Operator Guide Chapter 5-2-3)

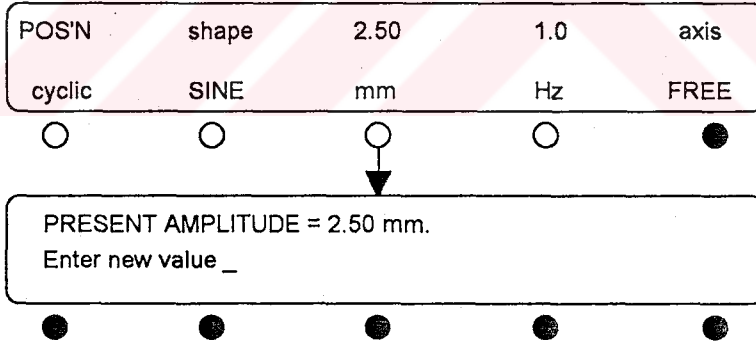


4.1.3.12.1. CYCLIC WAVEFORM (ÇEVİRİM ŞEKLİNDE DALGA TİPİ) :

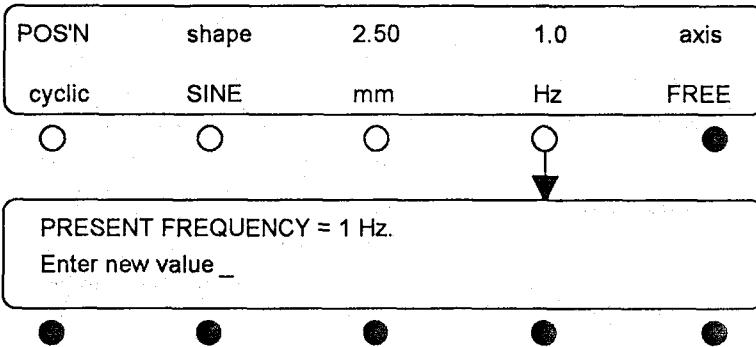
Hangi kanalda çalışılmak isteniyorsa o kanala ait olan waveform tuşuna basılır ve istenen dalga formu seçilir. (Ref : M11-98500-1 Instron Model 8500-Dynamic Testing Sytem Operator Guide Chapter 5-2-4)



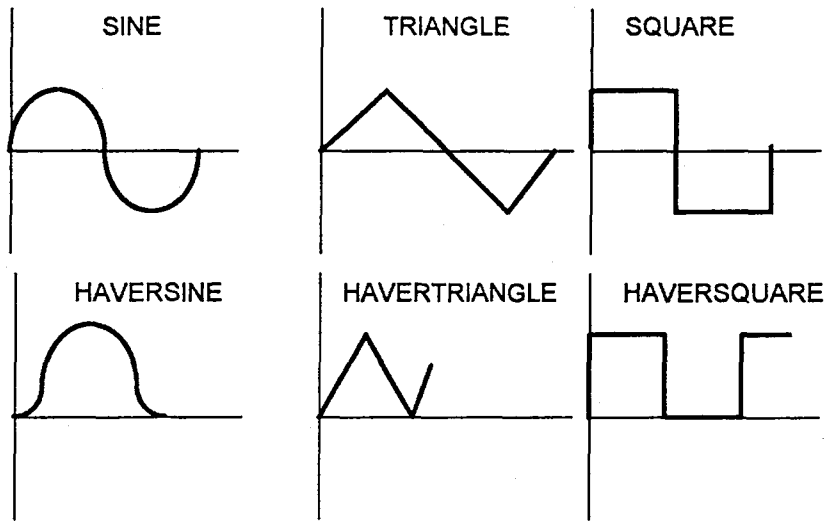
a) - AMPLITUDE DEĞİŞTİRMEK İÇİN :



b) - FREKANS DEĞİŞTİRMEK İÇİN :

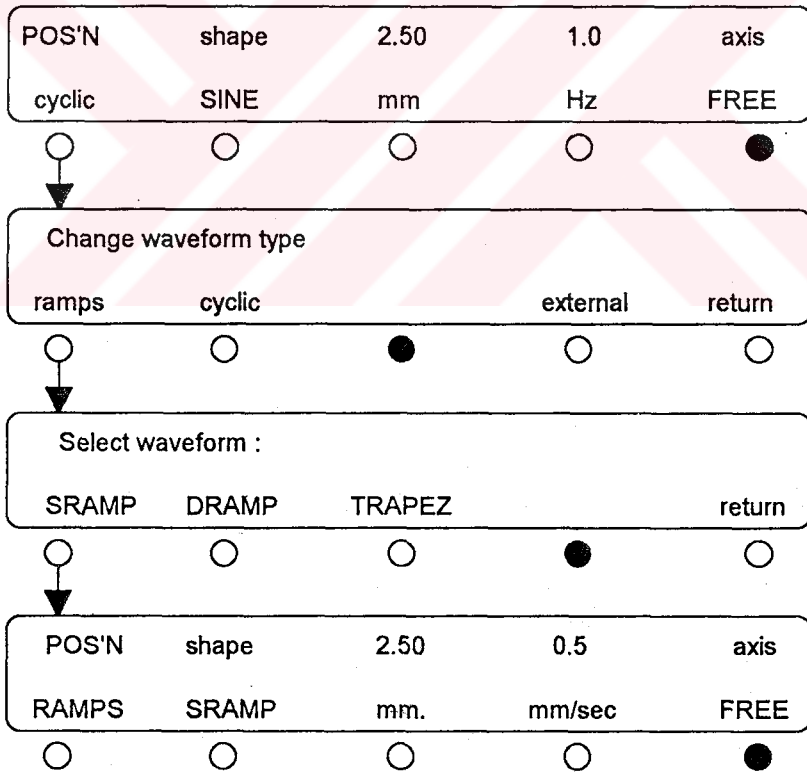


Kullanılabilir değişik dalga formları :



4.1.3.12.2. RAMP WAVEFORM (RAMPA TİPİ DALGA FORMU) :

(Ref:M11-98500-1Instron Model 8500-Dynamic Testing System Operator Guide Chapter 5-2-5)



a) - END POINT DEĞERİNİN DEĞİŞTİRİLMESİ :

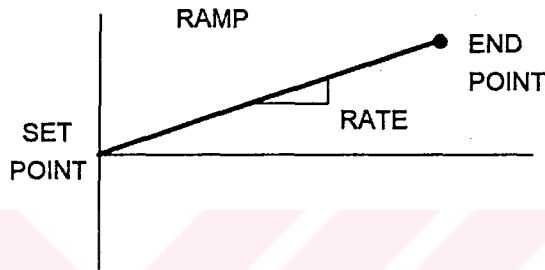
PRESENT END POINT = 2.50 mm. Enter new value _

● ● ● ● ●

b) - RAMP-RATE DEĞERİNİN DEĞİŞTİRİLMESİ :

PRESENT RATE = 0.5 mm/sec. Enter new value _

● ● ● ● ●



4.1.3.13. LİMİT SELECTIONS (LİMİTLERİN AYARLANMASI) :

Deneylerin yapılması anında, herhangi bir nedenden dolayı uygulanan kuvvet, uzama veya çenelerin pozisyonunu belirli değerler içinde tutarak emniyet sağlamak için limit değerler kullanılır. Bu işlem her kanala ait Limits (max ve min) tuşları kullanılarak yapılır. (Ref : M11-98500-1 Instron Model 8500-Dynamic Testing Sytem Operator Guide Chapter 5-4)

MAX	123.4	action	digital	
limit	kN	UNLOAD	lines	ON/OFF

● ○ ○ ○ ○

▼

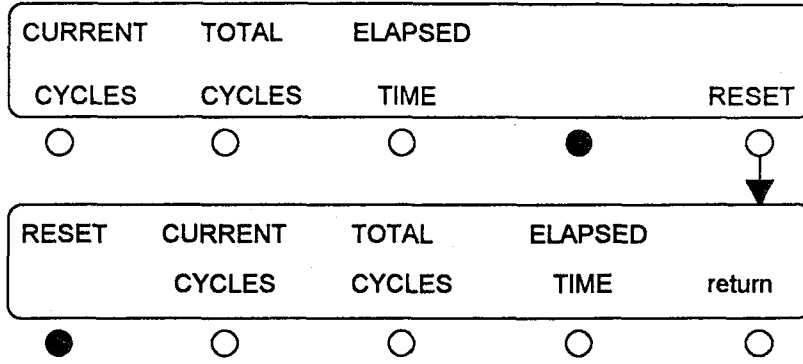
PRESENT LIMIT VALUE = 123.4 kN Enter new value _

● ● ● ● ●

Yukarıda görüldüğü gibi örneğin uygulanan kuvvet için belli bir max ve min sınır konabilir, ayrıca bu sınır değerler aşıldığı takdirde action seçeneği ile işlem yönlendirilebilmektedir.

4.1.3.14. CYCLE AND SEGMENT COUNTER (SAYAÇLARIN AYARLANMASI) :

Front Panel üzerindeki COUNTER/TIMER tuşuna basılır. Counter sayesinde eş zamanlı olarak yapılan çevrim sayısını, o ana kadar yapılmış çevrim sayısını ve geçen zamanı öğrenmek mümkündür. (Ref : M11-98500-1 Instron Model 8500-Dynamic Testing Sytem Operator Guide Chapter 5-9)



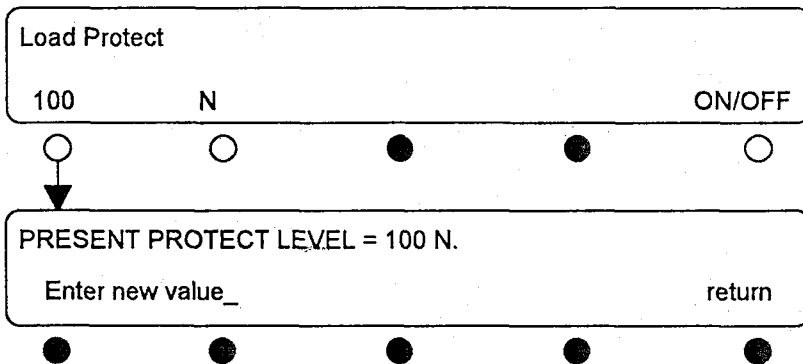
4.1.3.15. CONSTANT AMPLITUDE CONTROL (SABİT GENLİK KONTROLÜ) :

Çok yüksek frekanslı çevrimlerde (sadece cyclic çevrim modlarında) amplitüd'ün ayarlanan değerinde sabit tutulabilmesi için makinanın bu özelliğinin devreye sokulması gereklidir. Bu işlem için Amplitude Control tuşuna basılmalıdır. (Ref : M11-98500-1 Instron Model 8500-Dynamic Testing Sytem Operator Guide Chapter 6-2)



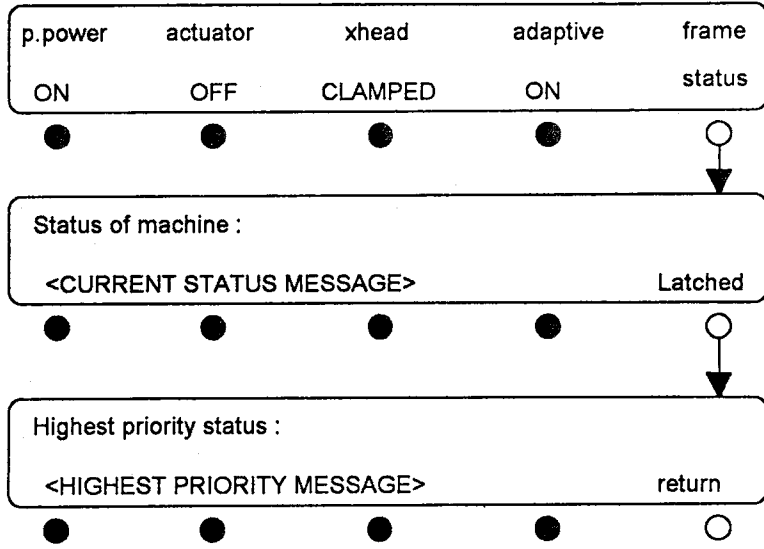
4.1.3.16.LOAD PROTECT :

Sistemin emniyet özelliklerinden birisidir. Sadece pozisyon kontrolü varken kullanılabilir. Örneğin numunenin bağlanması sırasında çeneler kapatılırken ayarlanmış olan değerden daha yüksek değerde kuvvet uygulanmasına engel olduğundan bu işlem yapılırken Load Protect özelliğinin aktif olmasına dikkat edilmelidir. Front Panel üzerindeki **Load Protect** tuşuna basılmalıdır. (Ref : M11-98500-1 Instron Model 8500-Dynamic Testing Sytem Operator Guide Chapter 6-4)



4.1.3.17.FRAME STATUS INTERROGATION (SİSTEMİN KENDİ KENDİNİ KONTROLÜ) :

Front Panel üzerindeki **STATUS** tuşuna basılarak kullanılabilir. Sistemin normal çalışıp çalışmadığını, eğer çalışmıyorsa bunun sebebini bildirir.(Ref : M11-98500-1 Instron Model 8500-Dynamic Testing Sytem Operator Guide Chapter 6-6)



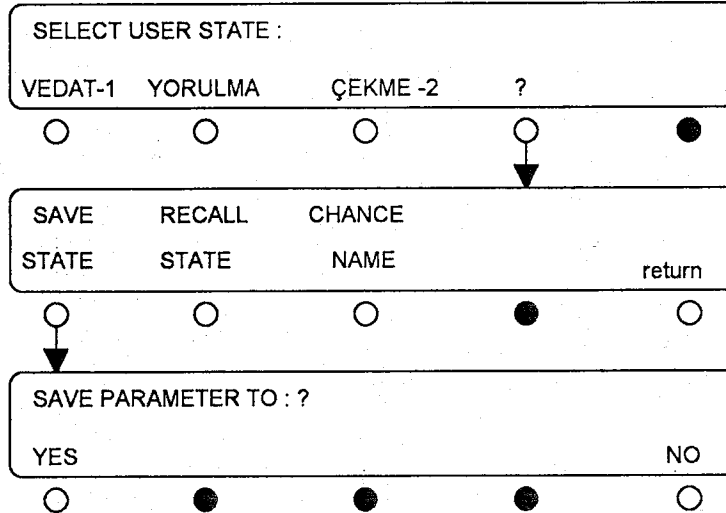
P.Power : Pump power açık veya kapalı durumundadır.
Actuator : Actuator kapalı veya aktif durumdadır.
Xhead : Crosshead kenetlenmiş veya serbesttir.
Adaptive : Adaptive Control açık veya kapalı durumdadır.

Hydraulic Power Supply ile ilgili bazı mesajlar şu şekilde olabilir :

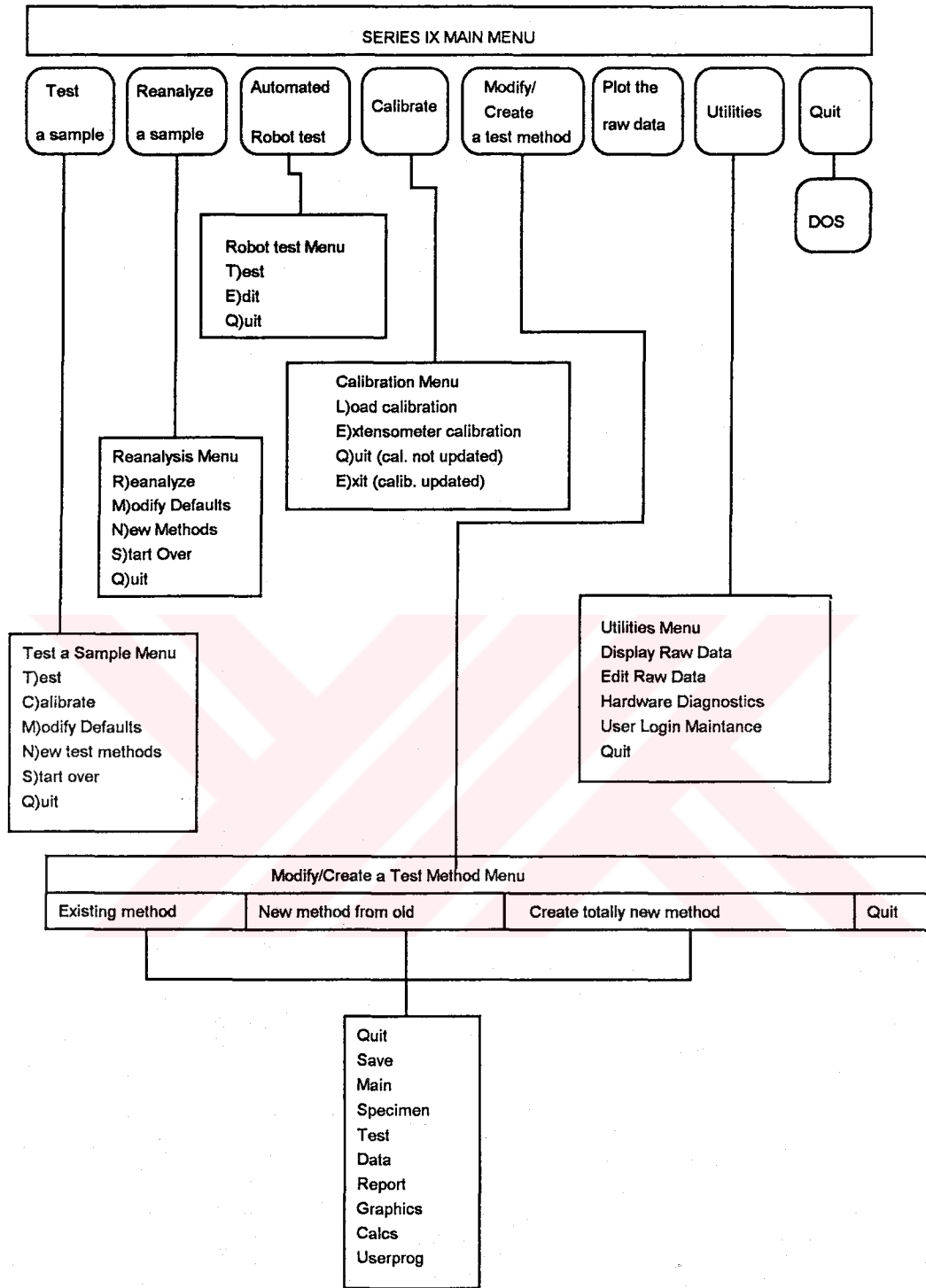
EMERGENCY STOP : Emergency Stop butonuna basılmış.
OIL TEMPERATURE HIGH : Hidrolik yağının sıcaklığı yüksek.
OIL LEVEL LOW : Hidrolik yağı seviyesi düşük.
SYSTEM PRESSURE LOW : Sistem basıncı düşük gibi.

4.1.3.18. USER SAVE FEATURE (KULLANICI BİLGİLERİNİN SAKLANMASI) :

Deneylere ait olan parametrelerin ve sistemin kalibrasyonu hakkındaki bilgilerin bir isim verilerek saklanması ve daha sonra verilen bu isim vasıtasıyla bu bilgilerin aynı şekilde geri çağırılarak kullanılması mümkündür. Bunun için **USER** tuşuna basılmalıdır. Bu menüyü kullanarak yeni bir isim altında saklama, aynı isim altında geri çağırma ve önceden verilmiş bir ismi değiştirme işlemlerini yapabiliriz. (Ref : M11-98500-1 Instron Model 8500-Dynamic Testing System Operator Guide Chapter 6-7)



4.1.3.19. BİLGİSAYAR PROGRAMLARI :



Flowcart of Series IX Menus

MT (Material Testing Program Ver 5.31) Programı :

Bu programın çalıştırılması ile INSTRON makinasında çeşitli malzemelerin çekme deneylerinin yapılması mümkündür. Programın çalıştırılması ile ekrana Ana Menü gelir. Bu menüde yeni yapılacak olan testin gerekli bilgilerinin girilmesi mümkün olduğu gibi daha önceden yapılmış olan deneyler saklandıkları isimler ile geri çağırılarak tekrar analiz edilebilirler.(Ekran görüntüsü No :1)

Ana menüden " Modify/create a test method " seçeneğine girildikten sonra deney ile ilgili tüm ayarlamaların yapıldığı bir ekran gözükür.

" Main " kısmında test sırasında kullanılan test metodu ile ilgili bilgiler, kullanılan birim sistemi ve sonuçların yazıldığı dosya formatı ile ilgili bilgiler yer alır. (Ekran görüntüsü No : 2)

" Specimen " bölümünde deneyde kullanılan numunenin geometrik boyutları ile ve eğer Extensometre kullanılıyorsa bununla ilgili geometrik bilgiler girilir. (Ekran görüntüsü No : 3)

" Test " kısmında, testin doğrultusu (aşağıya veya yukarıya doğru), hangi kontrol kanalının kullanılacağı, emniyet limitleri ve bu limitlerin aşılması halinde makinanın ne gibi bir hareket yapması gerektiği ve çekme hızı gibi testin nasıl yapılacağına dair bilgiler yer alır.(Ekran görüntüsü No :4)

" Data " kısmında deney sırasında elde edilen verilerin nasıl bir formatta saklanacağı tanımlanır.

" Report " kısmında yapılan deney hakkında ayrıntılı bir rapor printer'dan alınabilir.

" Graphic " kısmında çekme deneyinin sonuçlarını eşzamanlı olarak bilgisayar ekranından görebilmemiz için gerekli bazı ayarlamaları yapmamız mümkündür. (Ekran görüntüsü No : 5)

" Calcs" kısmında deney sırasında elde edilen veriler ile yapılmasını istediğimiz hesaplamaları ekranda veya kağıt üzerinde istediğimiz birim sisteminde görebilmemize imkan sağlayacak bazı ayarlamaları yapmak mümkündür. Bu hesaplamalar için gerekli formülleri istersek kendimiz tanımlayabilir, istersek programın mevcut formül kütüphanesinden seçerek kullanabiliriz. (Ekran görüntüleri No : 6,7 ve 8)

FLAPS PLUS (FATIGUE LABORATUAR PROGRAM SYSTEM) :

FLAPS programı, INSTRON makinasında, yorulma deneylerinin kontrolünün yapılabilmesi için tasarlanmış Windows işletim sistemi altında çalışan bir programdır.

Program çalıştırıldığında ilk çıkan ekranda, sistemin tüm ayarlarının yapıldığı SETUP, istediğimiz özellikteki yorulma deneyi dizaynını yapabilmemize imkan veren DESIGN, yaptığımız tüm ayarlamaları programı işletmeden önce izleyebileceğimiz PREVIEW, kullanıcı ile ilgili bilgilerin verildiği MANAGER, programı işletmemiz için RUN, deneyden sonra elde edilen sonuçları tekrardan grafik ve tablo olarak görebileceğimiz POST PROCESSOR ve PLAYBACK ayrıca elde edilen sonuçları EXCEL programına taşıyıp tekrar analiz yapabilmemize imkan veren ANALYSIS bölümleri vardır. (Ekran görüntüleri 9,10,11 ve 12)

MS-DOS Bilgi Sistemi

Series IX Automated Materials Testing System - Version 5.31
Instron Corporation
Main Menu

User ID : UEDAT

Reanalyze a sample
 Automated robot test
 Calibrate load and/or extension
 Modify/create a test method
 Plot the raw data
 Utilities
 LabVantage Database System
 Security Logout
 Quit (exit to operating system)

Copyright (c) 1985-93

Arrow keys move to a choice. Enter key makes a choice.

EKRAN GÖRÜNTÜSÜ NO : 1

MS-DOS Bilgi Sistemi

Quit Save **Main** Specimen Test Data Report Graphics Calcs Userprog

Tensile method 91 Instron machine: 8501

Method Label 1: ~~XX~~

Method Descrip: ~~XX~~

Method Descrip: ~~XX~~

Database file: ASCII

Override transducer polarity: no

The following entries will affect selections on other forms.

Input unit type: SI
 Machine control: standard
 Extensometer: disabled

Arrow keys move to choice; <ENTER> makes a choice; F1 for help with keys

EKRAN GÖRÜNTÜSÜ NO : 2

MS-DOS Bilgi Sistemi

Quit Save Main **Specimen** Test Data Report Graphics Calcs Userprog

Tensile method 91 Instron machine: 8501

Method Label 1: ~~XX~~

Method Descrip: ~~XX~~

Method Descrip: ~~XX~~

Specimen Information

Type:	Default Value	Entry Method	limit Check	Lower Limit	Upper limit
Geometry:	cylindrical				
Diameter:	5.0000 mm	manual	no		
Specimen gauge length:	25.0000 mm	default			
Grip distance:	70.0000 mm				

Dimension entry: before data collection

Specimen label: disabled

Custom test label: ~~XX~~

Arrow keys move to choice; <ENTER> makes a choice; F1 for help with keys

EKRAN GÖRÜNTÜSÜ NO : 3

Ms-DOS 5.01 | Item1

Quit Save Main Specimen **TEST** Data Report Graphics Calcs Userprog

Tensile method 91 Instron machine: 8501
 Method Label 1:
 Test Control Information Control: standard

Control	Load-cell used: 50.00 kN
Test direction: down	Speed
Control Channel: load	Ramp rate: 5.000000 kN/min
Control Type: control	Rate change by: if necessary
Crosshead mounted actuator: no	Second Ramp Rate: 5.000000 mm/min

End of Test	Actuator Stop
Break detect: load threshold	Action: stop
Load level: 0.200000 kN	Machine stop: disable
High load: 30.0000 kN	
High extension: 10.0000 mm	

Arrow keys move to choice; <ENTER> makes a choice; F1 for help with keys

EKRAN GÖRÜNTÜSÜ NO : 4

Ms-DOS 5.01 | Item1

Quit Save Main Specimen Test **DATA** Report Graphics Calcs Userprog

Tensile method 91 Instron machine: 8501
 Method Label 1:
 Data Collection Information

Calibration	Data Sampling
Handled by Instron Machine	Begin data sampling: Computer
	Data compression: enabled
	Sampling rate: 10.000 pt/sec
	Data rate reduction: disable

Arrow keys move to choice; <ENTER> makes a choice; F1 for help with keys

EKRAN GÖRÜNTÜSÜ NO : 5

Ms-DOS 5.01 | Item1

Col	Calc	Screen	Result Desc	Unit	Save	Quit
1	1.1		MAX.DISP			
2	1.2		MAX.LOAD			
3	1.4		MAX.STR			
4	1.5		MAX.STN			
5	1.6		MAX.ZSTN			
6	1.7		NMAX.XST			
7	3.1		DISP.MAX			

Available calculations

8.2	Load	at	z-slp	Yield	(KN)
8.4	Stress	at	z-slp	Yield	(MPa)
8.5	Strain	at	z-slp	Yield	(mm/mm)
8.6	% Strain	at	z-slp	Yield	(%)
8.8	Load/Width	at	z-slp	Yield	(N/mm)
8.9	load/thick	at	z-slp	Yield	(N/mm)
9.1	Displment	at	Thresh	Yield	(mm)
9.2	Load	at	Thresh	Yield	(KN)
9.4	Stress	at	Thresh	Yield	(MPa)
9.5	Strain	at	Thresh	Yield	(mm/mm)
9.6	% Strain	at	Thresh	Yield	(%)
9.8	Load/Width	at	Thresh	Yield	(N/mm)
9.9	Load/thick	at	Thresh	Yield	(N/mm)
10.1	Displment	at	offset	Yield 1	(mm)
10.2	Load	at	offset	Yield 1	(KN)
10.4	Stress	at	offset	Yield 1	(MPa)
10.5	Strain	at	offset	Yield 1	(mm/mm)
10.6	% Strain	at	offset	Yield 1	(%)
10.8	Load/Width	at	offset	Yield 1	(N/mm)

Enter calculation num
 --> Maximum calculations reached.

EKRAN GÖRÜNTÜSÜ NO : 6

MS-DOS Bilgi Sistemi

Quit Save Main Specimen Test Data Report **GRAPHICS** Calcs Userprog

Tensile method 91 Instron machine: 8501

Method Label 1:
Method Descrip:
Method Descrip:
Database file: ASCII
Override transducer pol

The following e

In
Ma

Graphics Information

Test screen graphics: enabled
Plot size: small screen
Plot number per screen: 10
Show construction lines: yes
Calculation lines displayed 8
Automatic plot to platter: disabled
Automatic scaled axes limits

Arrow keys move to choice; <ENTER> makes a choice; F1 for help with keys

EKRAN GÖRÜNTÜSÜ NO : 7

MS-DOS Bilgi Sistemi

Quit Save Main Specimen Test Data Report Graphics Calcs Userprog

Tensile method 91 Instron machine: 8501

Method Label 1:
Method Descrip:
Method Descrip:
Database file: ASCII
Override transducer polarity: na

The following entries will affect selection:

Input unit type: SI
Machine control: standard
Extensometer: disabled

Screen calculations
Printer calculations
Non-heading calculations
Associated parameters
Change output units
Exit

Arrow keys move choice. <ENTER> key makes choice. <ESC> exits to top menu

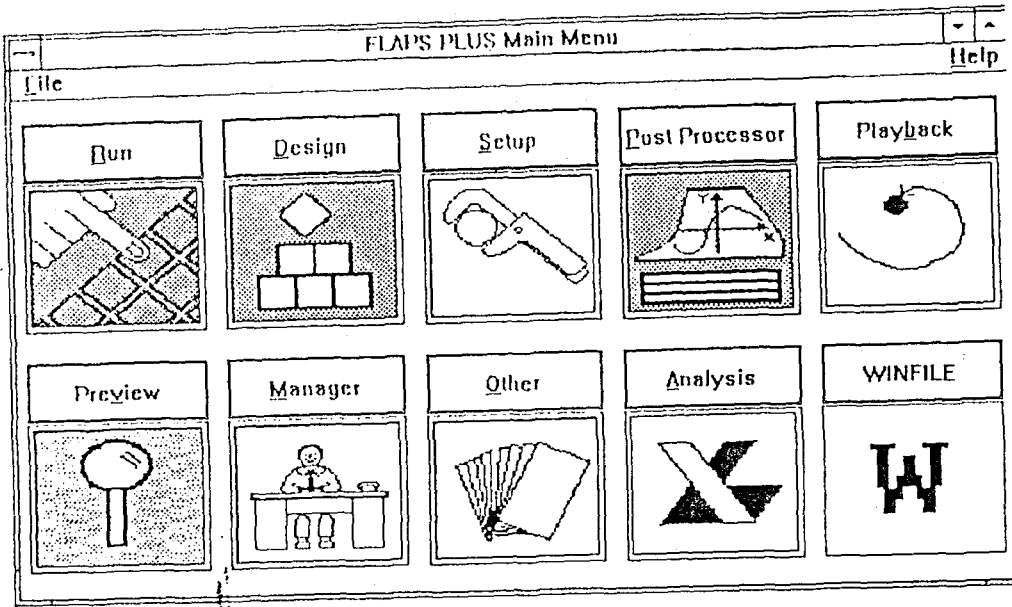
EKRAN GÖRÜNTÜSÜ NO : 8

MS-DOS Bilgi Sistemi

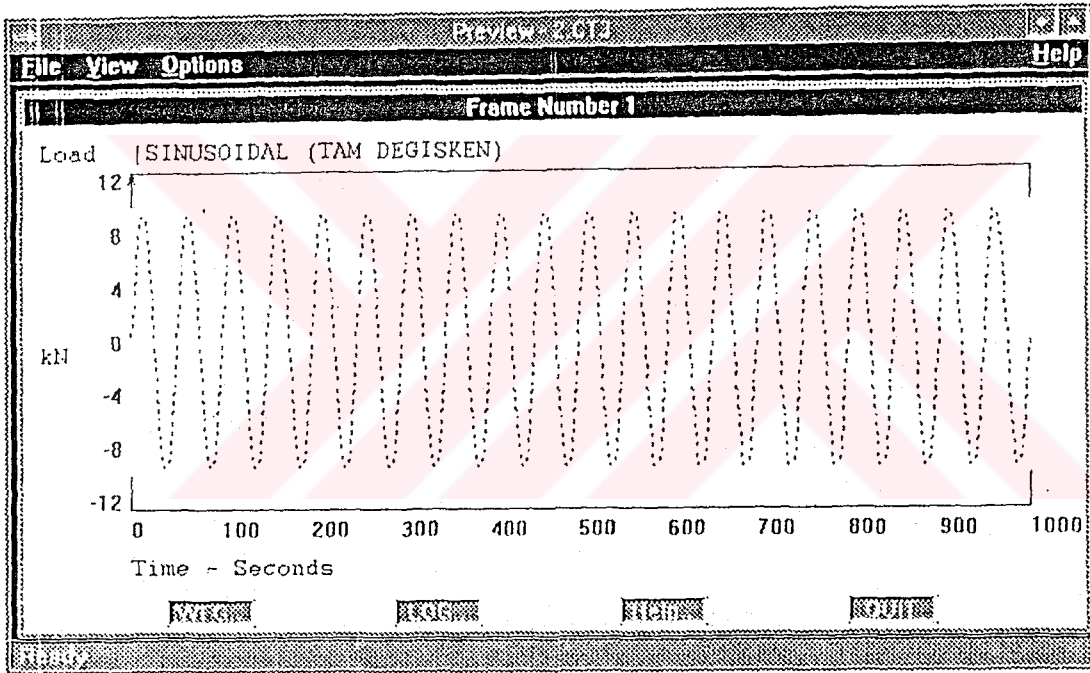
Col	Calc	Screen	Units	Conv	Format	Limits
no.	no.	Result	Desc	factor	choice	enab.
1	1.1	MAX.DISP	<mm>	1.0000		
2	1.2	MAX.LOAD	<KN>	1.0000		
3	1.4	MAX.STR	<MPa>	1.0000		
4	1.5	MAX.STN	<mm/mm>	1.0000		
5	1.6	MAX.%STN	<%>	1.0000		
6	1.7	NMAX.%STN	<%>	1.0000		
7	3.1	DISP.MAX	<mm>	1.0000		

A)dd, D)elete, P)format, M)odify, R)eorder, N)ext screen, ESC main screen [N]

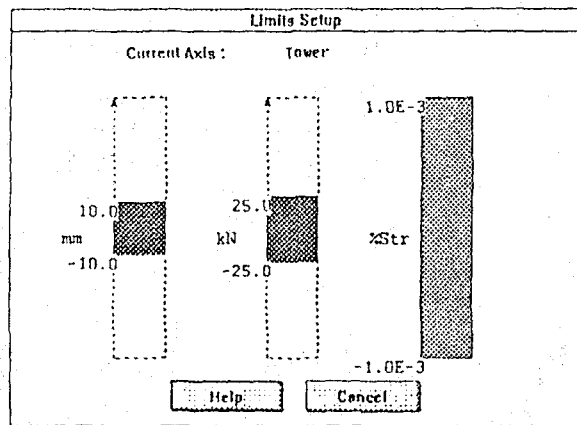
EKRAN GÖRÜNTÜSÜ NO : 9



EKRAN GÖRÜNTÜSÜ NO :10



EKRAN GÖRÜNTÜSÜ NO :11



EKRAN GÖRÜNTÜSÜ NO :12

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMA

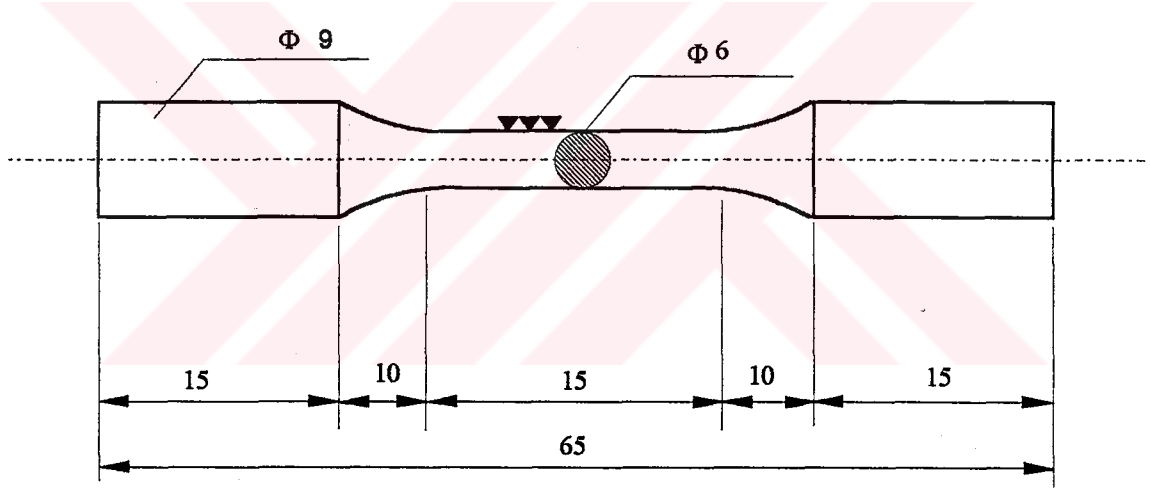
5.1. DENEY PARÇALARININ ŞEKİLLERİ :

5.1.1. ÇEKME PARÇALARININ ŞEKLİ :

Çekme deneyi için kullanılan numunelerin şekil ve boyutları standartlarda belirtilmiştir. Şekil- 21' de görüldüğü gibi numuneler iki kısımdan ibarettir.

- 1- Numunenin baş kısımları :Yük tatbik edilmek için tutulan kısımlardır ve diğer bölgeye göre daha büyük boyutludur.
- 2- Numunenin orta kısmı :Yük tatbik edildiğinde deformasyonun yer alması arzu edilen daha küçük boyutlu bölgedir.

Numunenin bu kısmında, kesit ile uzunluk arasında bir ilişki vardır. Numunenin orta kısmındaki kesit alanı, ilk kesit olarak alınır inceltilmiş kısımdan baş kısımlara uygun eğrilik yarıçapları ile geçilmiş, numunelerin hazırlanması esnasında çentik etkisi yapacak yüzey hatalarından kaçınılmıştır. [9]



Şekil - 21 Çekme parçasının şekli

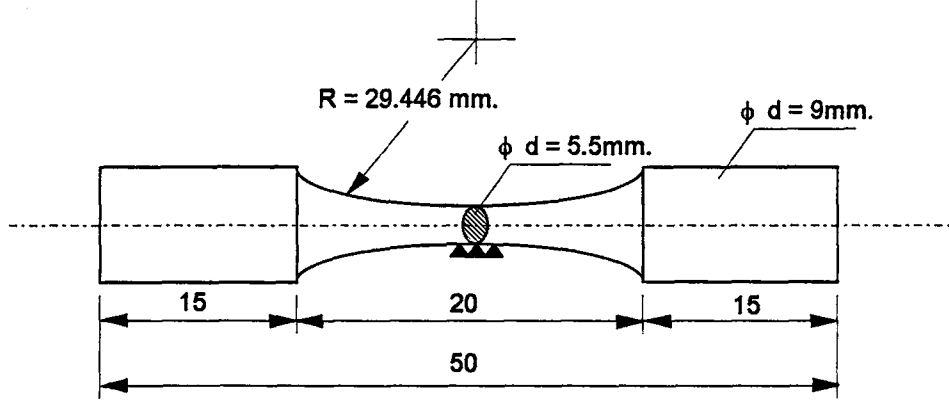
5.1.2. YORULMA PARÇASININ ŞEKLİ :

Kullanılacak numune tipi ve boyutu genellikle cihazın tipine, kapasitesine ve boyutuna bağlıdır. Son yıllarda hazırlanan standartlarla numune tipleri için bazı genel kurallar geliştirilmiştir.

ASTM E - 466' da eksenel gerilmeli yorulma deneyi için yapılan tavsiyelere uyularak numune ve deney koşulları şu şekilde belirlenmiştir.

- Çatlama numunenin daraltılmış kısmında oluşacak şekilde dizayn edilmiştir.
- Numunenin daraltılmış kısmı maksimum gerilmenin mutlak değeri deneyi cihazının çalışma kapasitesinin en fazla % 30' unda, minimum gerilmenin mutlak değeri ise cihazın çalışma kapasitesinin en az % 2.5' inde olacak şekilde seçilmiştir.

Dairesel kesitli numunelerde daraltılmış kısmın çapının 5-25 mm. arasında bir değerde (Şekil-22) ve numunenin cihaz çeneleri arasına giren kesidinin, daraltılmış keside oranının en az 1.5 olmasına dikkat edilmiştir. [9]

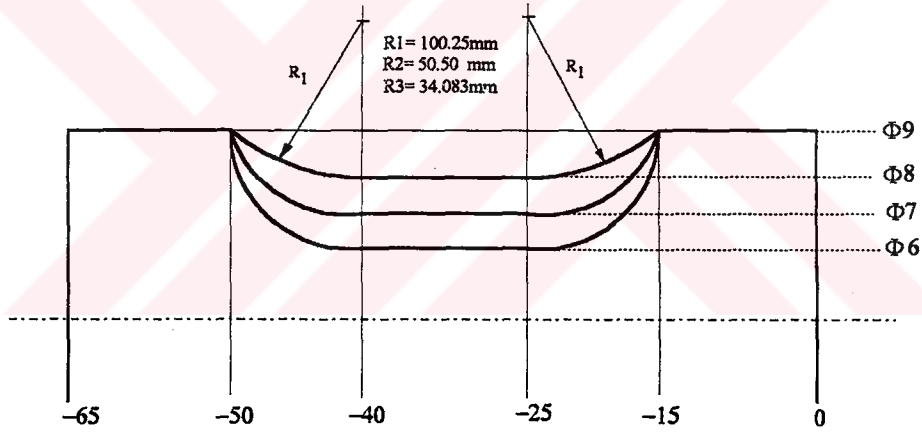


Şekil - 22 Yorulma parçasının şekli

5.2. DENEY NUMUNELERİNİN TALAŞLI İMALAT YÖNTEMİ İLE İMALI :

5.2.1. ÇEKME PARÇASININ İMALATI :

Çekme numuneleri Bölüm 5.1.1.' de anlatılan standartlara uygun ölçülerde ve yüzey hassasiyetinde yapılabilmesi için Şekil-23'te gösterildiği gibi küçük paso değerleri ve keskin bir kalem ucu ile işlenmiştir.



Şekil -23 Paso miktarları ve eğrilik yarıçaplarının hesaplanması

5.2.2. ÇEKME PARÇASININ CNC PROGRAMI :

TITLE : ÇEKME	O. DIA.: 9 mm.	I. DIA. : 0	LENGTH : 70 mm.
---------------	----------------	-------------	-----------------

LINE	G	M	X	Z	I	K	F	S
------	---	---	---	---	---	---	---	---

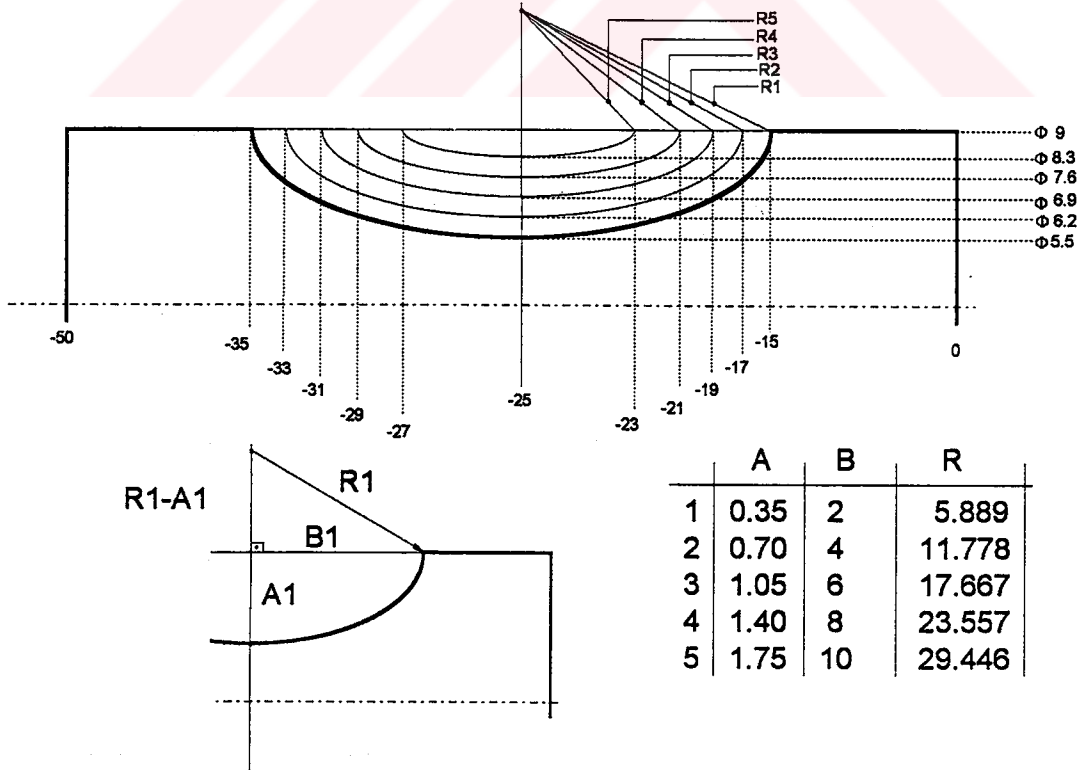
N10	90							
N20	71							
N30			25	1	1	1		
N40	97	04						2800
N50			9	0.5				
N60	01		9	-70			45	
N70			10	-70				
N80			10	-15				
N90			9	-15				
N100	02		8	-25	99.75	10	45	
N110	01		8	-40			45	

TITLE : ÇEKME	O. DIA.: 9 mm.	I. DIA. : 0	LENGTH : 70 mm.
---------------	----------------	-------------	-----------------

LINE	G	M	X	Z	I	K	F	S
N120	02		9	-50	100.25	0	45	
N130			10	-50				
N140			10	-15				
N150			9	-15				
N160	02		7	-25	49.50	10	45	
N170	01		7	-40			45	
N180	02		9	-50	50.50	0	45	
N190			10	-50				
N200			10	-15				
N210			9	-15				
N220	02		6	-25	32.583	10	45	
N230	01		6	-40			45	
N240	02		9	-50	34.083	0	45	
N250			25	1				
N260		05						
N270		02						

5.2.3. YORULMA PARÇASININ İMALATI :

Yorulma deneyi numunelerinin hazırlanmasında, yüzey kalitesi deney sonuçlarını çok etkilediğinden dolayı büyük özen gösterilmiştir. Talaş kaldırma işlemi keskin bir kalem ucu ile yapılmış ve iç gerilmelerin oluşmasını engellemek için Şekil -24 te görüldüğü gibi büyük pasolardan ve aşırı ısınmalardan kaçınılmıştır. Talaş kaldırma esnasında özellikle enlemesine çizik ve çentiklerin oluşmamasına dikkat edilmiş ve numunelerde temiz, parlak yüzeyler elde edilmiştir.



Şekil -24 Paso miktarları ve eğriliğin hesaplanması

5.2.4. YORULMA PARÇASININ CNC PROGRAMI

TITLE :TAŞKIN	O. DIA.: 5.5 mm	I. DIA. : 0	LENGTH : 60 mm.
---------------	-----------------	-------------	-----------------

LINE	G	M	X	Z	I	K	F	S
N10	90							
N20	71							
N30			25	1	1	1		
N40	97	04.						2800
N50			9	0.5				
N60	01		9	-53			45	
N70			10	-53				
N80			10	-23				
N90			9	-23				
N100	02		8.3	-25	5.539	2	45	
N110	02		9	-27	5.889	0	45	
N120				-21				
N130	02		7.6	-25	11.078	4	45	
N140	02		9	-29	11.778	0	45	
N150				-19				
N160	02		6.9	-25	16.617	6	45	
N170	02		9	-31	17.667	0	45	
N180				-17				
N190	02		6.2	-25	22.157	8	45	
N200	02		9	-33	23.557	0	45	
N210				-15				
N220	02		5.5	-25	27.669	10	45	
N230	02		9	-35	29.446	0	45	
N240			25	1				
N250		05						
N260		02						

5.3. DENEYLERDEN ELDE EDİLEN SONUÇLAR :

5.3.1. ÇEKME DENEYİNDEN ELDE EDİLEN SONUÇLAR :

Bölüm 5.1.1.' de açıklanan kurallara uyularak yapılan çekme deneyi sonuçları Tablo-12' de gösterilmiştir.

Tablo-12 Çekme deneyinden elde edilen sonuçlar.

Deney No:	ÇAP D (mm)	ALAN A (mm ²)	KUVVET F (kgf)	GERİLME σ_c (kgf/mm ²)
1	6.50	33.180	2849	85.86
2	6.50	33.180	2884	86.91
3	6.50	33.180	2931	88.33
4	6.50	33.180	2965	89.36
5	6.90	37.390	3244	86.75
6	5.65	25.070	2181	86.99
7	5.65	25.070	2215	88.35
8	5.65	25.070	2185	87.15

$\sigma_c = 87.46$ kgf/mm²

Tablo -13 3343 Takım çeliğine ait bazı katalog değerleri

Çekme dayanımı	: $\sigma_c = 90$ kgf/mm ²
Tavlama sıcaklığı	: 790 - 820 °C
Tavlı sertlik	: 225 - 280 BSD30
Sertleştirme için İlk ısıtma	: 450 - 600 °C
Sertleştirme için Ön ısıtma (1)	: 850 °C
Sertleştirme için Ön ısıtma (2)	: 1050 °C
Sertleştirme sıcaklığı	: 1200 - 1240 °C
Sertleştirme ortamı	: Yağ, Su, Hava
Meneviş sıcaklığı	: 540 - 560 °C
Meneviş sertliği	: 64 RSD-C

Bulunan sonuçlar Tablo-13' te verilen değerler ile karşılaştırıldığında, çekme deneyi parçasının ısıtma işlemi görmemiş olması nedeni ile çekme dayanımı değerinin deney sonuçlarına % 3 yaklaşıklıkla uygun olduğu görülmektedir.

5.3.2. YORULMA DENEYİNDEN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

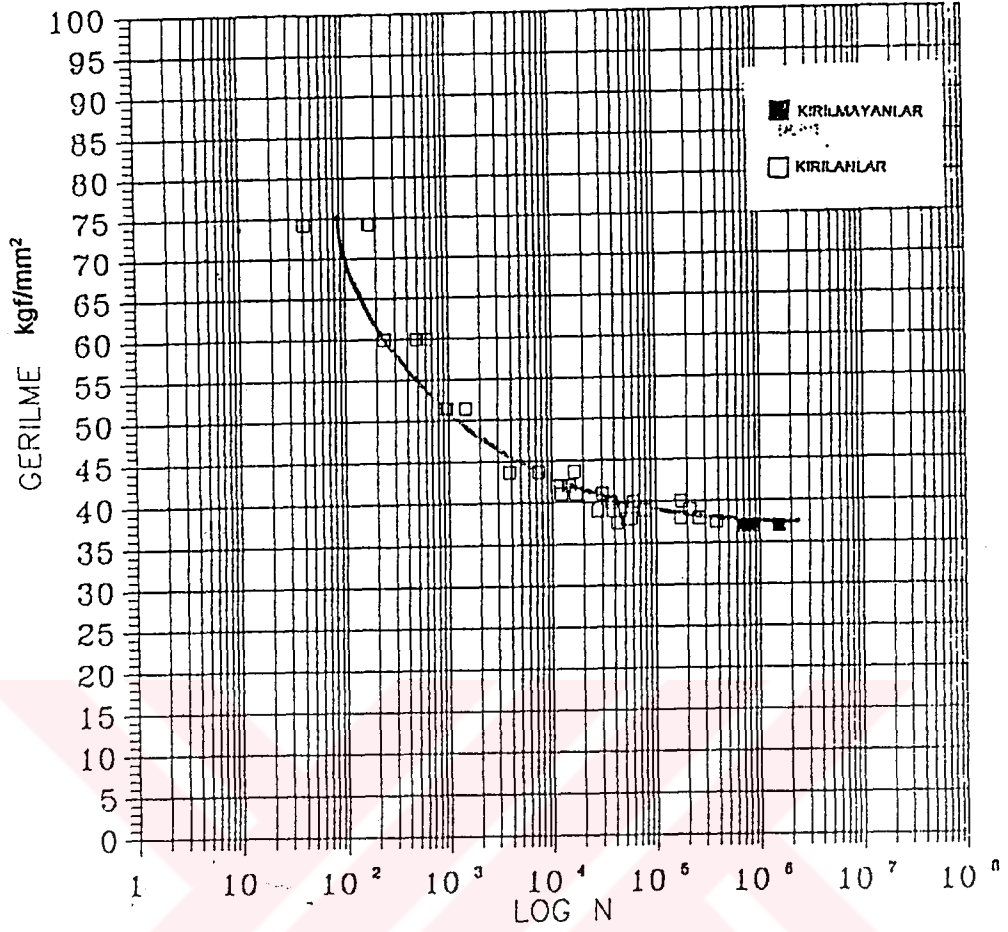
Yorulma deneyinin yapılışı sırasında numuneye ait bazı geometrik ölçüler, uygulanan kuvvet ve buna karşılık oluşan gerilme, deney frekansları ile tekrar sayısı Tablo-14'te gösterilmiştir.

Tablo-14 Yorulma deneyi sonuçları

Çap D (mm)	Alan A (mm ²)	Kuvvet Genliği F _a (kgf)	Gerilme Genliği σ _a (kgf/mm ²)	Frekans Hertz	Kırılma Tekrar Sayısı N
5.40	22.900	± 1700	± 74.23	1	169
5.40	22.900	± 1700	± 74.23	1	177
5.35	22.480	± 1668	± 74.23	1	41
5.45	23.328	± 1400	± 60.00	1	611
4.45	15.550	± 933	± 60.00	1	493
5.30	22.050	± 1323	± 60.00	1	236
5.45	23.328	± 1200	± 51.44	5	933
5.35	22.480	± 1156	± 51.44	5	1472
5.45	23.328	± 1200	± 51.44	5	975
5.40	22.900	± 1000	± 43.66	10	16325
5.55	24.190	± 1056	± 43.66	10	3860
5.30	22.050	± 963	± 43.66	10	7401
5.40	22.900	± 962	± 42.00	15	12086
5.40	22.900	± 962	± 42.00	15	14811
5.45	23.328	± 980	± 42.00	15	11029
5.30	22.060	± 905	± 41.00	15	12272
5.50	23.760	± 975	± 41.00	15	30604
5.35	22.480	± 922	± 41.00	15	16999
5.40	22.900	± 916	± 40.00	15	37232
5.45	23.328	± 933	± 40.00	15	61.132
5.40	22.900	± 916	± 40.00	15	174975
5.40	22.900	± 894	± 39.00	20	27303
5.45	23.328	± 910	± 39.00	20	211346
5.25	21.647	± 845	± 39.00	20	45346
5.45	23.328	± 910	± 39.00	20	38757
5.45	23.328	± 910	± 39.00	20	76951
5.40	22.900	± 870	± 38.00	25	171757
5.40	22.900	± 870	± 38.00	25	52614
5.40	22.900	± 870	± 38.00	25	261163
5.45	23.328	± 866	± 38.00	25	57193
5.40	22.900	± 859	± 37.50	25	383326
5.35	22.480	± 842	± 37.50	25	42340
5.45	23.328	± 863	± 37.00	25	712127(*)
5.40	22.900	± 847	± 37.00	25	1500000(*)
5.40	22.900	± 847	± 37.00	25	850012(*)

(*) Kırılma olmadı.

5.4.WÖHLER DİYAGRAMI :



Şekil-25 Wöhler diyagramı

Yorulma deneyi sırasında uygulanan kuvvet genliğinin kullanılan numunenin kesit alanına bölünmesi ile elde edilen gerilme genlik değeri ordinatta ve numunenin kırılıncaya kadar oluşan yük tekrar sayıları logaritmik olmak üzere apsiste gösterilmek suretiyle Şekil-25 'te gösterilen Wöhler diyagramı çizilmiştir. Elde edilen noktalar uygun bir eğri ile birleştirildiğinde, eğrinin yaklaşık bir milyon çevrim için Bölüm 3.2.1.'de çelikler için belirtilmiş olan yorulma dayanımı değerine çok yakın olarak 37 kgf/mm² gerilme değerinde eğrinin apse asimptotik bir gidişe başladığı görülmüştür.

5.5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Deney malzemesi olarak seçilen S 6-5-2 yüksek hız çeliği ısıtma işlemi görmeksizin piyasadan satın alma koşulunda sertlik ölçümü yapılmış ve RSD-B = 75 değeri bulunmuştur. Daha sonra Tablo -13 'te gösterilen katalog değerlerine bağlı kalınarak sertleştirme ve 500 °C'ta temperleme uygulanmış ve bu işlemin sonucunda yapılan sertlik ölçümlerinde malzemenin sertliğinin RSD-C = 62 değerine yükseldiği görülmüştür. Ölçüm sonucu, katalog değerleri ile uyum göstermektedir.

Daha sonra seçilen takım çeliğinin, çalışma başlangıcında hedeflenen döner eğilme yorulması dayanımını tespit edebilmek için YÖK kredisi ile laboratuvarımıza teslim edilen döner eğilme yorulması deney tesisatının kullanılmasına başlanmıştır. Buna karşılık yorulma deney numunelerinin, anılan deney tesisatına uygun bir biçimde bağlanamadığı tespit edilmiştir. Bu durumda, bu tip bir yorulma deney sürecinin sağlıklı sonuçlar vermeyeceği açıktır.

DeneySEL çalışmaya bu aşamadan sonra döner eğilme yorulması deneyi yerine eksenel yorulma ile devam edilmiştir. Bu deney için kullanılacak numuneler CNC torna tezgahı kullanılarak yapılmıştır. 10 ton çekme ve basma kuvveti uygulayabilecek kapasitedeki bu makinanın çenelerinin yapısından dolayı deneyler ancak çekme bölgesinde yapılabilmiş ve yaklaşık 20 deneme yapılmış fakat kullanılan bu makinanın çevrim modunda yavaş çalışması (yaklaşık olarak saniyede 1 çevrim) çelikler için yorulma dayanımı değerini ifade ederken kullanılan milyon çevrimlere ulaşmayı zaman açısından imkansız hale getirdiğinden (1milyon çevrim için yaklaşık 35 işgünü) , ayrıca geçen zaman sonucunda makina hep ayarlandığı değerdeki kuvveti uygulayamadığından çok kısa aralıklarla düzeltmeler yapmak gerekmiştir. Bu gibi sebeplerden dolayı deneysel çalışmaya ara verilmiş ve yeni gelen, tezin ilgili kısımlarında özellikleri ve çalışması konusunda ayrıntılı bilgi verilen INSTRON 8501 makinasının kurulması ve çalışır hale gelmesi için gerekli çalışmalar yapılmıştır. Makina kurulduktan sonra üzerinde yeteri kadar pratik çalışmalar yapıldıktan sonra deney numuneleri bu makinaya uygun olacak şekilde tekrar dizayn edilmiş ve CNC torna makinasında kullanılacak numunelerin eğrisel yüzeyi mümkün olduğu kadar hassas işlenmiştir. Ortalama olarak 25 çevrim/saniye hızıyla deneyler yapılmış ve deney sonuçları ilgili kısımda tablo şeklinde verilmiş ve ayrıca Wöhler diyagramında gösterilmiştir. Diyagramdan da rahatlıkla görülebileceği gibi eğri yaklaşık olarak 37 kgf/mm² gerilme değerinde eğrinin apsise asimptotik bir gidişe başladığı görülmüştür.

DeneySEL çalışmanın amacı sertleştirme işlemi öncesi ve sonrası yorulma dayanımını kıyaslamak olduğundan dolayı ve kullanılan makinanın 7.5 Kwh gücünde bir motorla çalıştığı (soğutma sisteminde harcanan enerji hariç) göz önünde bulundurularak yaklaşık 1 milyon çevrim için S 6-5-2 yüksek hız çeliğinin yorulma dayanımı $\sigma_{Y(1.10^6)} \cong 37 \text{ kgf/mm}^2$ olarak kabul edilmiştir.

Literatürde çelikler için Çekme dayanımı 140 kgf/mm²'nin altında olan çeliklerde, döner eğme halindeki ($\sigma_{ort}=0$) yüklemeye yorulma dayanımı σ_Y , çeliğin çekme dayanımı σ_f 'ye bağlı olarak $\sigma_Y = 0.5 \sigma_f$ şeklinde alınabileceği bölüm 3.2.1. de verilmişti.

Deneyel çalışmanın sonuçları aşağıda verilen Tablo-15'te toplu olarak gösterilmiştir. Teorik ve deneysel sonuçların birbirine çok yakın olduğu görüldü. Aradaki farkın eğrisel yüzeyin işlenmesi sırasında istenen hassasiyetin sağlanamaması yüzünden olduğu ileri sürülebilir.

Tablo-15 S 6-5-2 Yüksek hız çeliğinin Deney sonuçları

Deney Malzemesinin Çekme Dayanımı (σ_{ϕ} , kgf/mm ²)	Katalog Değeri	Deney Sonucu
	90	87.46
$\sigma_{\phi} < 140$ kgf/mm ² için Yorulma Dayanımı (σ_{Y_0} , kgf/mm ²)	Literatür	Deneysel
Döner Eğilme halinde $\sigma_{Y_0(Döner)} = 0.5\sigma_{\phi}$	43.73	-
Eksenel Yorulma halinde $\sigma_{Y_0(Eksenel)} = 0.85\sigma_{Y_0(Döner)}$	37.17	37

Yüksek hız çeliklerinin çeşitli ısı işleme koşulları altındaki yorulma dayanımlarını belirlemeyi hedefleyen çalışma, ekonomik sebepler ve zaman kısıtlaması altında tam olarak hedefine ulaşamamıştır.

Bu sebepler arasında, ısı işleme için dizayn edilen ve 1260 °C' a kadar çıkabilen fırında, bu tür malzemeler için öngörülen 1200 °C sıcaklıktaki parçaların oksitlenmeden korunma güçlüğü birinci sıradadır. Bu durumda, laboratuvarımızda YÖK kredisi ile teslim edilen CNC Torna, eksenel yorulma çekme makinelerinin tam olarak kullanılmasının öğrenilmesi yoluna gidilmiş, yorulma deneyleri ısı işlemsiz malzemenin tam değişken eksenel yüklemdeki özelliklerinin belirlenmesi ile sınırlı tutulmuştur.

Çeşitli ısı işleme koşullarının yorulma özelliklerinin araştırılması başka bir çalışmaya bırakılmıştır.

KAYNAKLAR :

- 1 : AKATA, H., E., Takım Çelikleri - Cumartesi Konferansları
- 2 : TOPBAŞ Ali Endüstri Malzemeleri Cilt 1 Yıldız Üniversitesi
- 3 : AVNER, S. H, Introduction to Physical Metallurgy - Mc Graw Hill
- 4 : INSTRON Series 8500 System Reference Books
- 5 : BABALIK Fatih , Makina Elemanları Uludağ Üniversitesi
- 6 : GÜLEÇ Şefik, ARAN Ahmet Yorulma Dayanımı Tübitak
- 7 : ERYÜREK Barlas Hasar Analizi İTÜ Makina Fakültesi
- 8 : TEKİN Erdoğan Mühendisler için Çelik Seçimi TMMOB Yayın No = 119
- 9 : KAYALI S., ENSARİ C., DIKEÇ F. Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi
- 10 : ŞEKERCİOĞLU, A., CNC Tezgahları Programming Logic-Bilim Teknik Yayınevi

ÖZGEÇMİŞ :

1968 yılında Edirne'de doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini 1985 yılında Edirne'de tamamladıktan sonra aynı yıl Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği'ni kazandı ve Kasım 1989 tarihinde mezun oldu. Ağustos 1990- Kasım 1991 yılları arasında askerlik görevini tamamladıktan sonra Ocak 1994 tarihine kadar Edirne'de Serbest mühendislik yaptı. Bu tarihten itibaren Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Bölümü Mekanik Ana Bilim Dalı Kürsüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Bekar ve İngilizce bilmektedir.

