T.C
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI

MEGEP

(MESLEKİ EĞİTİM VE ÖĞRETİM SİSTEMİNİN
GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ)

MOTORLU ARAÇLAR TEKNOLOJİSİ

CİSİMLERİN DAYANIMI 2

ANKARA 2007

Milli Eğitim Bakanlığı tarafından geliştirilen modüller;

- Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığının 02.06.2006 tarih ve 269 sayılı Kararı ile onaylanan, Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında kademeli olarak yaygınlaştırılan 42 alan ve 192 dala ait çerçeve öğretim programlarında amaçlanan mesleki yeterlikleri kazandırmaya yönelik geliştirilmiş öğretim materyalleridir (Ders Notlarıdır).

- Modüller, bireylere mesleki yeterlik kazandırmak ve bireysel öğrenmeye rehberlik etmek amacıyla öğrenme materyali olarak hazırlanmış, denenmek ve geliştirilmek üzere Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında uygulanmaya başlanmıştır.

- Modüller teknolojik gelişmelere paralel olarak, amaçlanan yeterliği kazandırmak koşulu ile eğitim öğretim sırasında geliştirilebilir ve yapılması önerilen değişiklikler Bakanlıkta ilgili birime bildirilir.

- Örgün ve yaygın eğitim kurumları, işletmeler ve kendi kendine mesleki yeterlik kazanmak isteyen bireyler modüllere internet üzerinden ulaşılabilir.

- Basılmış modüller, eğitim kurumlarında öğrencilere ücretsiz olarak dağıtılır.

- Modüller hiçbir şekilde ticari amaçla kullanılamaz ve ücret karşılığında satılamaz.

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR iv
GİRİŞ 1
ÖĞRENME FAALİYETİ– 1 3
1. CİSİMLERİN BASMA DAYANIMI VE GERİLİMİ 3
1.1. Cisimlerin Dayanımı ve Gerilimi 3
1.1.1. Dayanımın Tanımı 3
1.1.2. Cisimlere Uygulanan Dış Yükler 3
1.1.3. Gerilim 5
1.2. Basılma Dayanımı 7
1.2.1. Basılma Dayanımının Tanımı 7
1.2.2. Basılmaya Zorlanan Elemanlar 8
1.2.3. Basılma Dayanım Hesapları 9
UYGULAMA FAALİYETİ 12
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 16
ÖĞRENME FAALİYETİ– 2 18
2. ÇEKİLME DAYANIMI 18
2.1. Çekilme Dayanımının Tanımı 18
2.2. Hooke Kanunu 19
2.2.1. Tanımı 19
2.2.2. Çekme Deneyi ve Uzama-Gerilme Diyagramı 20
2.2.3. Çekme Dayanımı ve Uzamanın Hesaplanması 23
2.3. Çekilmeye Zorlanan Elemanlar 25
2.3.1. Çubukların Çekme Geriliminin Hesaplanması 25
2.3.2. Zincirlerin Çekme Geriliminin Hesaplanması 26
2.3.3. Halatların Çekme Geriliminin Hesaplanması 27
2.3.4. Civataların Çekme Geriliminin Hesaplanması 28
UYGULAMA FAALİYETİ 29
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 33
ÖĞRENME FAALİYETİ– 3 34
3. KESİLME DAYANIMI 34
3.1. Kesilme Dayanımının Tanımı 34
3.2. Kesilmeye Zorlanan Makine Elemanları 35
3.2.1. Civatalarda Kesilme Dayanımın Hesaplanması 35
3.2.2. Perçinlerde Kesilme Dayanımın Hesaplanması 37
3.2.3. Kamalarda Kesilme Dayanımın Hesaplanması 38
3.2.4. Pimlerde Kesilme Dayanımın Hesaplanması 41
3.2.5. Sacların Kesilme Dayanımın Hesaplanması 43
UYGULAMA FAALİYETİ 47
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 50
ÖĞRENME FAALİYETİ– 4 51
4. EĞİLME DAYANIMI 51
4.1. Eğilme Dayanımının Tanımı 51
4.2. Eğilme Dayanımı ile İlgili Kavramlar 52
4.2.1. Eğilme Momentinin Tanımı (Mb) 52

4.2.2. Eğilme Geriliminin Tanımı (σ_b) 52
4.2.3. Dayanım Momentinin Tanımı 54
4.3. Eğilmede Atalet ve Dayanım Momenti 56
4.3.1. Atalet Momenti 56
4.3.2. Yüzeylerin Dayanım Momentlerinin Bulunması (Taraflı Ve Tarafsız Eksenlere Göre) 58
4.4. Eğilmede Yükleme Çeşitleri 59
4.4.1. Direk ve Tek Noktadan Etki Eden Yükleme 59
4.4.2. Sürekli Yükleme 60
4.4.3. Karışık Yükleme 60
4.5. Eğilmede Diyagram Çizilmesi 60
4.5.1. Kesme Kuvveti Diyagramının Çizilmesi 60
4.5.2. Moment Diyagramının Çizilmesi 62
4.6. Eğilmeye Zorlanan Makine Elemanları 68
4.6.1. Kirişlerin Dayanımının Hesaplanması 68
4.6.2. Millerin Dayanımının Hesaplanması 68
4.6.3. Muyluların Dayanımının Hesaplanması 69
4.6.4. Dişli Çarkların Dayanımının Hesaplanması 69
UYGULAMA FAALİYETİ 73
ÖLÇME VE DEĞELENDİRME 74
ÖĞRENME FAALİYETİ–5 75
5. BURULMA DAYANIMI 75
5.1. Burulma Dayanımının Tanımı 75
5.2. Burulma Momentinin Bulunması 76
5.3. Polar Atalet ve Dayanım Momentinin Bulunması 76
5.4. Millerin Burulma Dayanımının Bulunması 77
UYGULAMA FAALİYETİ 80
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 82
ÖĞRENME FAALİYETİ- 6 83
6. BURKULMA DAYANIMI 83
6.1. Burkulma Dayanımının Tanımı 83
6.2. Burkulma Olayı ile İlgili Temel Kavramlar 84
6.2.1. Kritik Yük (F_k) 84
6.2.2. Burkulma Boyu (Flambaj Boyu) (L_k) 84
6.2.3. Elastiklik Modülü (E) 85
6.2.4. Narinlik Derecesi (λ) 85
6.3. Burkulma Gerilmesinin Hesaplanmasında Kullanılan Metotlar 85
6.3.1. Euler (Oyler) Metodu 85
6.3.2. Tetmajer (Tetmayer) Metodu 86
6.3.3. Omega (ω) Metodu 87
UYGULAMA FAALİYETİ 90
ÖLÇEME VE DEĞERLENDİRME 92
ÖĞRENME FAALİYETİ– 7 93

7. BİRLEŞİK DAYANIM 93
7.1. Birleşik Dayanımın Tanımı 93
7.2. Makine Parçalarında Birleşik Dayanımın Hesaplanması 93
7.2.1. Çekme-Basma ve Eğilmeye Zorlanan Makine Elemanlarının Toplam Geriliminin Hesaplanması 93
7.2.2. Eğilme ve Burulmaya Zorlanan Makine Elemanlarının Toplam Geriliminin Hesaplanması 95
UYGULAMA FAALİYETİ 100
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 103
MODÜL DEĞERLENDİRME 104
CEVAP ANAHTARLARI 106
KAYNAKÇA 108

AÇIKLAMALAR

KOD	440FB0002
ALAN	Motorlu Taşıtlar Teknolojisi
DAL/MESLEK	Otomotiv Alanı Tüm Dallar
MODÜLÜN ADI	Cisimlerin Dayanımı 2
MODÜLÜN TANIMI	Bu modül makine parçalarının üzerlerine gelen kuvvetlere dayanımı ve ilgili hesapların yapıldığı öğretim materyalidir
SÜRE	40/32
ÖN KOŞUL	Cisimlerin Dayanımı 1 modülünü başarmış olmak.
YETERLİK	Makine parçalarının dayanım hesaplarını yapmak.
MODÜLÜN AMACI	Genel Amaç Öğrenci, makine parçalarında dayanım hesaplarını yapabilecektir. Amaçlar ➢ Basılma dayanımı ile ilgili hesapları yapabileceksiniz. ➢ Çekilme dayanımı ile ilgili hesapları yapabileceksiniz. ➢ Kesilme dayanımı ile ilgili hesapları yapabileceksiniz. ➢ Eğilme dayanımı ile ilgili hesapları yapabileceksiniz. ➢ Burulma dayanımı ile ilgili hesapları yapabileceksiniz. ➢ Burkulma dayanımı ile ilgili hesapları yapabileceksiniz. ➢ Birleşik dayanımı ile ilgili hesapları yapabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	Motor bölümü sınıf ve laboratuvarı, makine parçaları, motor parçaları, hesap makinesi.
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	➢ Modülün içinde yer alan her faaliyetten sonra verilen ölçme araçları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek kendi kendinizi değerlendireceksiniz. ➢ Öğretmen, modül sonunda size ölçme aracı uygulayarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek değerlendirecektir.

GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

Bu modülde otomotiv teknolojisi alanında makine parçalarına uygulanan dayanım hesapları uygulamalı örneklerle anlatılmaktadır.

Bu modülün sonunda dayanımın tanımını, amacını, makine parçalarının ne tür dayanımlara maruz kaldığını, bu dayanımların neler olduklarını, tanımlarını ve bu dayanımlarla ilgili hesaplamaları uygulamalı olarak öğreneceksiniz.

Endüstriye, işletmelere staj için gittiğinizde ve ilerdeki çalışma hayatınızda makine parçalarına uygulanan dayanımları daha yakından görme imkânı bulacaksınız. Dayanım hesaplama yöntemlerini öğrenmenin ne kadar önemli olduğunu ve size ne kadar çok fayda sağlayacağını, mesleğiniz açısından önemini daha iyi anlayacaksınız.

ÖĞRENME FAALİYETİ– 1

AMAÇ

Basılma dayanımı ile ilgili hesapları yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

Okulumuzun otomotiv bölümlerinde bulunan makine parçalarını uygulanan dış yükler ve gerilimler yönünden inceleyerek, kıyaslayınız, farklı yönleri ile araştırınız.

Yaptığınız araştırma sonuçlarını rapor hâline getirip sınıfta arkadaşlarınızla ve öğretmeniniz ile paylaşınız.

1. CİSİMLERİN BASMA DAYANIMI VE GERİLİMİ

1.1. Cisimlerin Dayanımı ve Gerilimi

1.1.1. Dayanımın Tanımı

Çeşitli biçimlerde yüklenmiş makine elemanlarının yapıldığı malzemelerin, bu yüklere bağlı olarak doğan gerilmelerini, şekil değişikliklerini ve malzemenin kopup kopmayacağını inceler. Yükleme sonucunda yapı veya makine parçasının emniyette olup olmadığını, kırılıp kırılmayacağını ya da ezilip ezilmeyeceğini inceleyen bilim dalıdır. Sonuç olarak tasarlanan makine elemanı “ Ne Eğilmeli ne de kırılmalıdır .”

1.1.2. Cisimlere Uygulanan Dış Yükler

Dış yükler etkiledikleri cismin molekül yapısını zorlayarak, onları şekil değiştirmeye zorlarlar. Cismin bünyesinde de bu dış kuvvetleri dengelemeye çalışan iç kuvvetler meydana gelir.

1.1.2.1. Statik Yükler

Makine ya da yapı elemanlarına yavaşca etki eden ve daha önce planlanan değerlere göre yapılan, yük değeri değişmeyen sabit yüklemelerdir.

1.1.2.2. Periyodik Yükler

Bir makine elemanına etkiyen kuvvetin değeri kısa zaman aralığında değişiyorsa buna " Periyodik = Dinamik " yük denir. Gerilmede meydana gelen yüklerin yönleri ve şiddetleri zamanla değişmektedir. Rayları, periyodik değişen yüklere örnek verebiliriz.

1.1.2.3. Alternatif Yükler

Değerleri ve yönleri periyodik olarak değişen yüklere denir.

1.1.2.4. Olağanüstü Yük ve Zorlamalar

Çok kısa zaman aralığında makine ya da sisteme tesir eden yüklerdir. Bu tür yüklemelerin olduğu makine elemanları, çeşitli periyodik çalışma testlerine tabi tutularak yorulma ve kırılma durumları incelenir.

1.1.2.5. Sıcaklık Etkisi ile Oluşan Yükler

Sıcaklık tesiri ile cisimlerde, uzama ya da kısalma olur. Özellikle 250ºC ile 300ºC üstündeki sıcaklıklarda önemli şekil değişimleri meydana gelir. Sonuçta genleşmeden doğan şekil değişimleri meydana gelir. Örneğin, tren rayları arasında boşluk bırakılır.

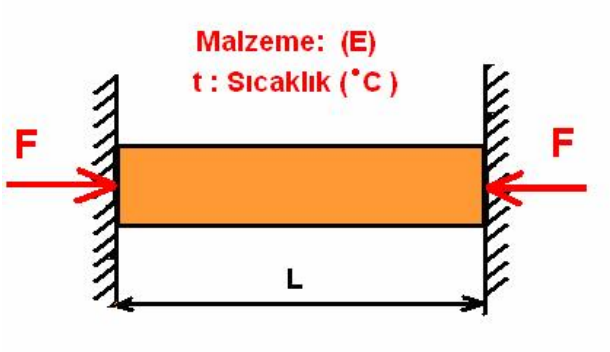
Sıcaklık etkisi ile oluşan yük (F) sonucu, cisimde meydana gelen gerilme: (σ ile gösterilir)

$\sigma = \alpha . E . \Delta t$ (daN / cm^2) formülü ile hesaplanır. Bu formülde:

α = Uzama katsayısı (Birimsiz)

E = Elastiklik modülü (daN / cm^2)

$\Delta t = (t_2 - t_1)$ t_1 cismin ilk sıcaklığını t_2 cismin son sıcaklığını gösterir. (t=Sıcaklık ^oC)



Şekil 1.1: Sıcaklık etkisi ile oluşan yükler

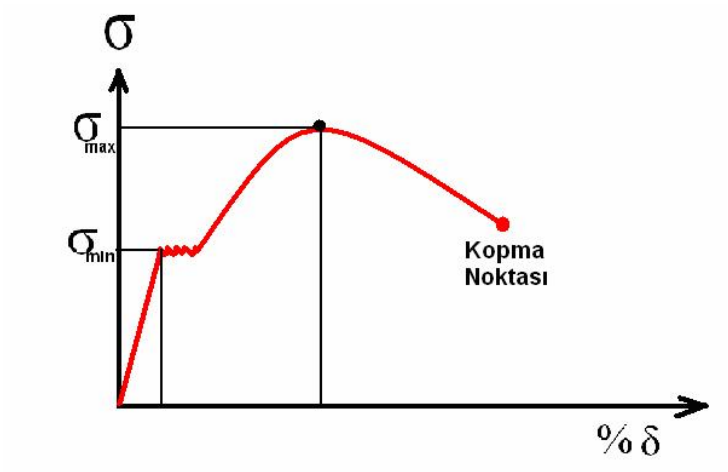
1.1.3. Gerilim

1.1.3.1. Gerilimin Tanımı

Birim kesit alanına etki eden iç gerilim kuvvetlere gerilim denir. Dış kuvvetlerin etkisinde bulunan cismin kesit alanındaki iç kuvvetlerin hepsine birden toplam gerilim denir. σ ile gösterilir.

1.1.3.2. Maksimum Gerilim

Dış kuvvetlerle yüklenen cisimde şekil değişimi; uzama ve kopma şeklinde olabilir. Şekil 1.2'de malzemeye uygulanan çekme kuvveti ile malzemede oluşan gerilme ve % uzama eğrisi gösterilmiştir. Dış kuvvetler, iç kuvvetlerden üstün olduğu an cisim kopar. Kopmadan az önceki (A) noktasındaki en büyük gerilime "Maksimum Gerilim" denir (σ_{max} ile gösterilir).



Şekil 1.2: Maksimum gerilim diagramı

1.1.3.3. Emniyet Katsayısı

Dayanım hesabının amacı makine elemanının dış kuvvetlere karşı mukavemetini sağlamaktır. Dolayısıyla makine elemanı hiçbir zaman kendisi için tehlikeli sayılan sınır değerlere kadar yüklenmemelidir. Bunun sebebi, döküm ve haddeleme yolu ile üretilen malzemelerin içyapısında, çatlak, boşluk gibi hatalar ve yanlış kullanımdan kaynaklanan aşırı yüklenmelerin emniyetli bir şekilde karşılanabilmesidir.

Bu durumda bilerek malzemeyi hatalı kabul ediyoruz. Bu hatanın giderilmesi E.K.S. (Emniyet Kat ayısı) ile olmaktadır. Dolayısıyla olması gerekenden daha büyük ölçülerde seçilerek makine elemanının dayanımlı olması sağlanır.

1.1.3.4. Emniyetli Gerilim

Emniyetli Gerilim: Malzemelerin etkilendikleri dış kuvvetleri emniyetle taşıyabileceği ve görevlerini aksatmadan sürdürebileceği gerilime "Emniyetli Gerilim" denir. Aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Emniyetli Gerilim} = \frac{\text{Maksimum Gerilim}}{\text{E.K.S.}} \quad (\text{N/mm}^2, \text{daN/cm2})$$

Emniyetli çekme gerilimi σ_{zem} ile gösterilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$\sigma_{zem} = \dfrac{\sigma_{max}}{\text{E.K.S.}}$ σ_{zem} = Emniyetli Çekme gerilimi, σ_{max} = Maksimum Çekilme Gerilimi

Emniyetli kesme gerilimi τ_{em} ile gösterilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$\tau_{em} = \dfrac{\tau_{max}}{E.K.S.}$ τ_{em} = Emniyetli Kesilme Gerilimi, τ_{max} = Kesilme Kayma Gerilmesi, E.K.S.= Emniyet Kat Sayısı

Problem

Kopma gerilmesi (Maksimum gerilimi) 5000 daN/cm^2 olan malzemeden bir makine elemanı yapılacaktır. Emniyet katsayısının 5 olması durumunda emniyetli gerilimi bulunuz.

Çözüm

Bu tür problemler çözülürken öncelikle verilenler ve istenenler birimleri ile beraber belirlenir ise çözüme daha kolay ulaşılır.

Verilenler

σ_{max} =5000 daN/cm^2 E.K.S.= 5

İstenenler:

σ_{zem} =? daN/cm^2 Emniyetli gerilim $\rightarrow \sigma_{zem} = \dfrac{\sigma_{max}}{E.K.S.}$ formülü ile hesaplanıyordu.

$$\sigma_{zem} = \frac{\sigma_{max}}{E.K.S.} = \frac{5000}{5} = 1000 \text{ daN/cm}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

1.2. Basılma Dayanımı

1.2.1. Basılma Dayanımının Tanımı

Bir cismin ekseni doğrultusunda etki eden kuvvetler birbirine yaklaşırsa, cismin bünyesinde (içyapısında) bir basılma (basınç) meydana gelir. Basılma anında cismin bünyesindeki iç kuvvetlerin birim alanına gelen miktarına da " Basılma Gerilimi" denir.

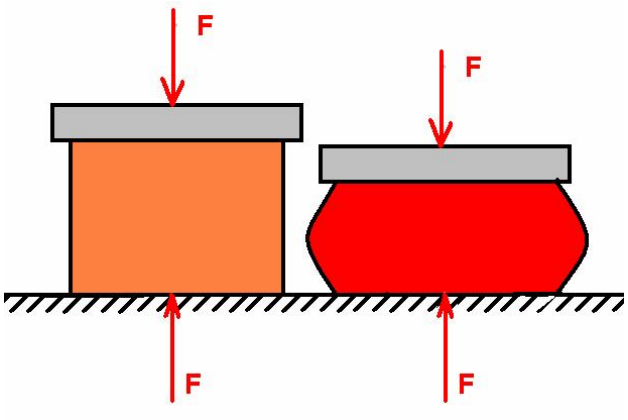
Kesit yüzeyine dik gerilim verdiğinde sembolü σ ve basınç şeklinde olduğu için (d) (Almanca druct = Basınç) σ_d işareti ile gösterilir.

$$\sigma_d = \frac{F}{A} \text{ (daN/ } mm^2 \text{)}$$

F= Dış Kuvvet (N, daN)

A= Kesit Alanı (mm^2 , cm^2)

Beton, taş, dökme demir gibi malzemelere basılma deneyleri yapılarak bu malzemelerin basılma dayanımları ölçülür. Örneğin bir binanın kolonundan alınan küçük bir beton kesite basılma kuvveti uygulanarak, malzemenin dağılmadan dayanabileceği basılma gerilim miktarı ölçülebilir. Gevrek ve yumuşak malzemelerde deney sonuna kadar basınç temini zordur. Gevrek malzeme deney sırasında kırılıp dağılabilir. Yumuşak malzeme ise ortadan şişerek fıçı şeklini alır.



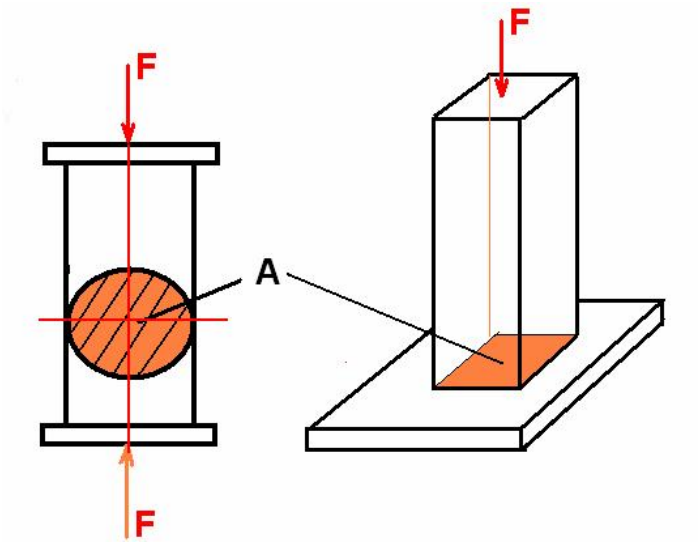
Şekil 1.3: Basma deneyi

1.2.2. Basılmaya Zorlanan Elemanlar

Bir cisme bir kuvvet etki yaptığı zaman cisim kısalmaya çalışır. Burada dik gerilmeler meydana geldiğinden : $\sigma_d = \frac{F}{A}$ (N/ mm^2) kullanılır.

Bu şekilde çalışan elemanlar, pres milleri, kalıp zımbaları, piston kolları olabilir.

Bir cisim diğer cisim üzerine etki yaptığında, basınç meydana gelir. Bu basınç dolayısı ile cisimde ezilme oluşur. Basınç ve ezilmede, değme yüzeyinin konumu ve büyüklüğü önemlidir.



Şekil 1.4: Basma kuvveti

IS birim sistemine göre;

1 Pa = 1 N/ m^2 = 0,00001 Bar

1 Bar = 10^5 N/ m^2

1 Bar = 1 daN/ cm^2 dir.

1.2.3. Basılma Dayanım Hesapları

1.2.3.1. Direkt Yüklere Göre Basılma Dayanımının Hesaplanması

Yükler ya da dış kuvvetler, çubuğun ekseni doğrultusunda, doğrudan etki ediyorsa buna "Direkt Yükleme" denir. Buradaki dış kuvvet (F), formüle direkt olarak uygulanır.

F = Direkt dış kuvvet (daN)

$$\sigma_d = \frac{F}{A}$$

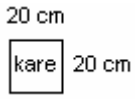
A = Kesit alanı (cm^2)

σ_d = Emniyetli basılma gerilimi (daN/ cm^2)

Problem

Betonarme bir kolon kare kesitlidir ve kenar uzunluğu 20 cm'dir. Kolona binene yük 10 ton oladuğuna göre, kolonda meydana gelen gerilmeyi bulunuz.

Çözüm



Verilenler: F= 10 Ton ≅ 10 000 daN

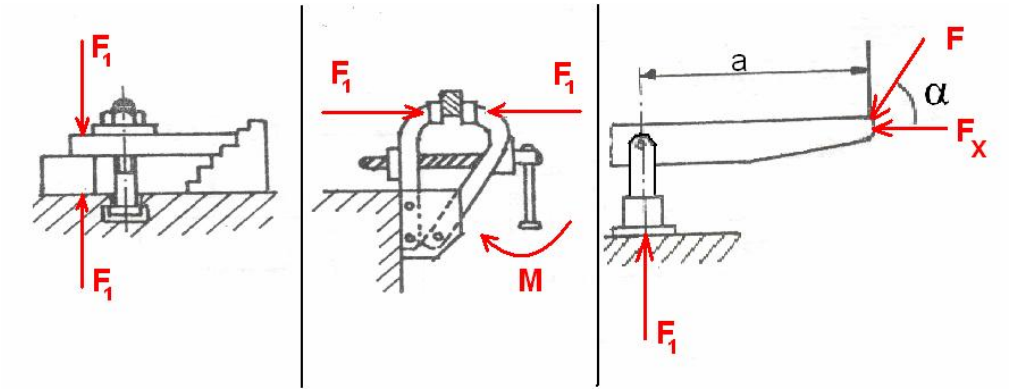
A=20x20=400 cm^2 bulunur.

İstenenler: σ_d =? daN/cm^2

$$\sigma_d = \frac{F}{A} = \frac{10000}{400} = 25 \text{ daN/cm}^2$$

1.2.3.2. Dolaylı Yüklere Göre Basılma Dayanımının Hesaplanması

Makine tasarımında üretilen hareket ve kuvvetler; mil, kol, dişli, vida vb. elemanlarla kullanma yerine taşınırlar. Bu taşıma sırasında üretilen kuvvet sisteme aynen yansımaz. Makine elemanları montaj durumuna göre, bileşenleri kadar etkilenir. Buna dolaylı yük denir. Aşağıdaki şekillerde dolaylı ve açılı yüklere ait resimler görülmektedir.

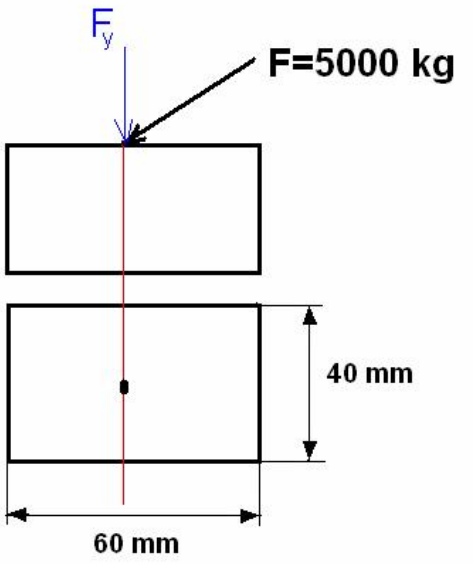


Şekil 1.5: Dolaylı yük

Şekil 1.6: Açılı Yük

Problem

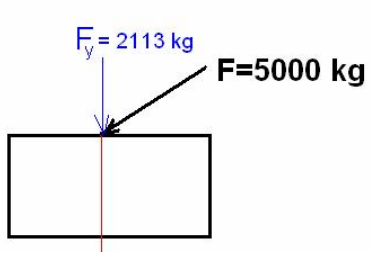
Şekildeki dikdörtgen kesitli dökme demire etkiyen kuvvet ve etkilediği kesit gösterilmektedir. Dökme demirde meydana gelen basma gerilmesini hesaplayınız. (sin25=0,42)



Çözüm

Bu problemde makine elemanına uygulanan kuvvet 25° lik bir açı ile uygulanmaktadır. Dolayısıyla bu kuvvetin makine elemanına etki eden dik bileşeni bulunmalıdır. Daha sonra kuvvetin etkilediği alan bulunur. Formülde yerlerine konarak basılma gerilmesi hesaplanır.

Verilenler: F=5000 daN ise $F_{dik} = F.\sin 25 = 5000 x 0{,}42 = 2113$ daN burada bulduğumuz F_{dik} kuvveti makine elemanına dik olarak etkiyen kuvvettir.



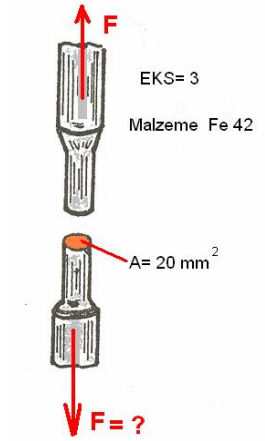
Makine elemanının basılmaya çalışılan kesit alanı dikdörtgenin alanından A=4x6=24 cm^2 olarak hesaplanır ve

$$\sigma_d = \frac{F}{A} = \frac{2113}{24} = 88 \text{ daN/cm}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1

Kesit alanı A = 20 mm^2 olan bir demir Fe 42 çubuğuna zıt yönlü iki kuvvet uygulanıyor, emniyet kat sayısı E.K.S. = 3 olduğuna göre, sistemin taşıyabileceği emniyetli yük ne kadardır?



Çözüm1

Bu problemde verilen Fe 42 malzemesinin kopma gerilmesi yani maksimum gerilmesi 4200 daN/cm^2 dir. (Malzeme gerilim tablosundan bakılır.)

$$Fe\ 42 \Rightarrow \sigma_z = 42\ \ daN/mm^2$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_z = 4200\ \ daN/cm^2$$

$$\sigma_{zem} = \frac{\sigma_{\max}}{E.K.S} = \frac{4200}{3} = 1400\ \ daN/cm^2$$

$$\sigma_{zem} = \frac{F}{A}\ \ ,\quad F = \sigma_{zem}.A$$

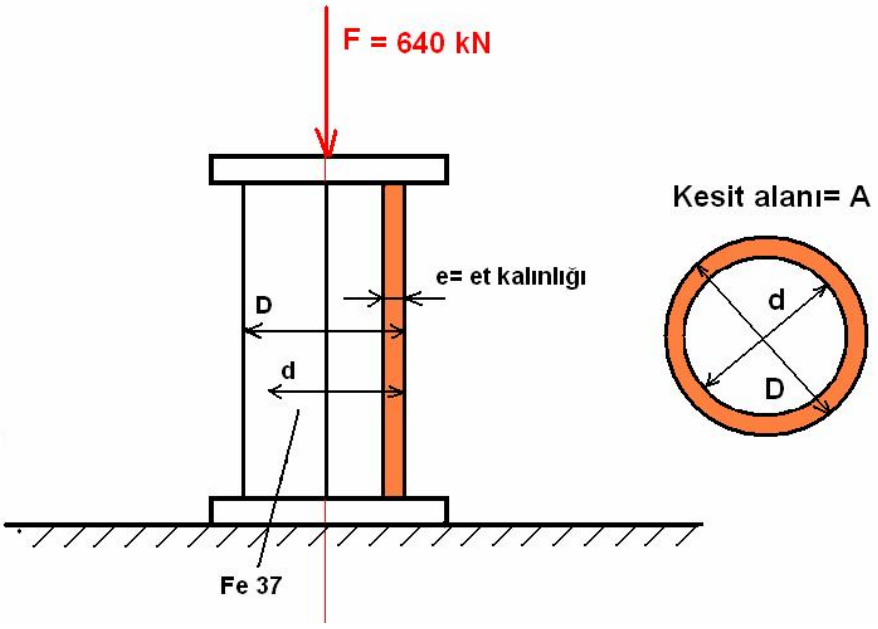
$$F = 1400.2 = 2800\ \ daN \Rightarrow Olarak\ bulunur.$$

Problem2

Şekilde boru iki kapak arasında ve ekseni doğrultusunda F = 640 kN'luk bir kuvvetle bastırılmaktadır. Fe 37 boru malzemesinin, emniyetli basılma gerilimi σ_{dem}=1000daN/ cm^2 ve dış çapı D = 30cm'dir. Buna göre borunun et kalınlığı ve emniyet katsayısını bulunuz?

Çözüm2

Bu problemde uygulanan kuvvet ve emniyetli gerilim verilmiştir. Bizden istenen et kalınlığını bulabilmemiz için öncelikle kuvvetin uygulandığı kesit alanı bulmalıyız, alan bulunduktan sonra borunun iç çapını bulmalıyız. Dış çap verilen borunun dış kesit alanından, iç çapın boşalttığı alanı çıkarırsak kesit alanı bulunmuş olur. Et kalınlığı ise; dış çaptan iç çapı çıkardığınız zaman bulunan değerdir. EKS malzemenin maksimum geriliminin emniyetli gerilime bölünmesiyle buluruz.



$Fe\ 37, \sigma_{\max} = 37\ \ daN/mm^2$

$\sigma_{\max} = 3700\ \ daN/cm^2$

d = ? e = ?

Kesit Alanı (A)

$$\sigma_{dem} = \frac{F}{A} \rightarrow 1000 = \frac{64000}{A} \rightarrow A = \frac{64000}{1000} = 64 \ \ cm^2$$

$$A = \frac{\pi.(D^2 - d^2)}{4}, 64 = \frac{3{,}14(30^2 - d^2)}{4}, d = \sqrt{818{,}47}$$

$$d = 28{,}6 \ \ cm \ (iç \ çap)$$

$$e = \frac{D - d}{2} = \frac{30 - 28{,}6}{2} = \frac{1{,}4}{2} = 0{,}7 \ \ cm$$

e = 7 mm (Et Kalınlığı)

Emniyet Durumu (E.K.S.)

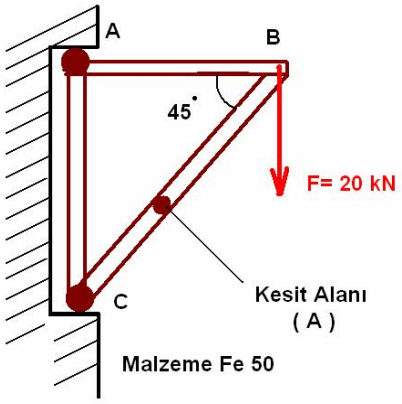
$$E.K.S = \frac{3700}{1000} = 3{,}7 \rightarrow E.K.S = 3{,}7$$

Problem 3

Aşağıdaki şekilde basılmaya çalışan BC çubuğu Fe 50 malzemesinden yapılmıştır. B boktasına etki yapan F=20 kN, şiddetindeki kuvveti 4 emniyetle taşıması istenmektedir. Çubuğun burkulması ihmal edilirse, emniyetli kesit alanı ne olur? (sin45=0,707)

Çözüm3

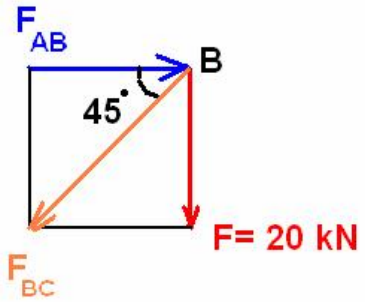
Bu problemde öncelikle BC çubuğuna etki eden dik kuvvet bulunur. Daha sonra Fe 50 malzemesinin 4 kat emniyetle taşıyacağı gerilim bulunur ve bulunan emniyetli gerilim kullanılarak emniyetli kesit alanı hesaplanır.



Çözüm3

Bu problemde öncelikle BC çubuğuna etki eden dik kuvvet bulunur. Daha sonra Fe 50 malzemesinin 4 kat emniyetle taşıyacağı gerilim bulunur ve bulunan emniyetli gerilim kullanılarak emniyetli kesit alan hesaplanır.

BC çubuğuna gelen kuvvet



$$\sin\ 45^0 = \frac{F}{F_{BC}}, F_{BC} = \frac{F}{\sin 45^0} = \frac{2000}{0,707} \cong 2828,9\ \ daN$$

$$\sigma_{dem} = \frac{\sigma_d}{EKS} = \frac{5000}{4} = 1250\ \ daN/cm^2, \sigma_{dem} = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_{dem}} = \frac{2828,9}{1250} = 2,26\ \ cm^2$$

=226 mm^2 dir.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Öğrenme faaliyetinde edindiğiniz bilgileri ölçmek için verilen objektif testi kendinize uygulayınız.

Objektif Testler

1. Cismin kopmadan önceki en büyük gerilimine ne denir?
   A) Normal gerilim
   B) Maksimum gerilim
   C) Doğru gerilim
   D) Emniyetli gerilim

2. Malzemelerin etkilendikleri dış kuvvetleri emniyetle taşıyabilmeleri ve görevlerini aksatmadan sürekli yapabileceği gerilime ne denir?
   A) Normal gerilim
   B) Ters gerilim
   C) Doğru gerilim
   D) Emniyetli gerilim

3. Çok kısa zaman aralığında makine ve sisteme tesir eden yüklere ……..denir.
   A) Statik yük
   B) Periyodik yük
   C) Alternatif yük
   D) Ani yük

4. Makine elemanına etkiyen kuvvetin değerinin kısa zaman aralığında değişmesine ne denir?
   A) Hızlı yük
   B) Dinamik yük
   C) Alternatif yük
   D) Ani yük

5. Cismin bünyesinde dış kuvvetleri dengelemeye çalışan kuvvet aşağıdakilerden hangisidir?
   A) İç kuvvet
   B) Dış kuvvet
   C) Alternatif kuvvet
   D) Basılma kuvveti

6. Dış kuvvetler kesit alanına yapışık ya da teğet gerilimler meydana getiriyorsa buna ne gerilimi denir?
   A) Kayma gerilimi
   B) Maksimum gerilim
   C) Düz gerilim
   D) Yapışık gerilim

7. Basılma anında cismin iç bünyesindeki iç kuvvetlerin birim alanına gelen miktarına ne ad verilir?
   A) Kayma gerilimi
   B) Maksimum gerilim
   C) Basılma gerilimi
   D) Yapışık gerilim

8. Yükler ya da dış kuvvetler; çubuğun ekseni doğrultusunda, doğrudan etki ediyorsa buna ne denir?
   A) Doğru yükleme
   B) Dış yükleme
   C) Dolaylı yükleme
   D) Direkt yükleme

9. Birim kesit alanına etki eden iç kuvvetlere ne ad verilir?
   A) Dış kuvvet
   B) İş
   C) Gerilim
   D) Güç

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrar inceleyiniz. Bütün cevaplarınız doğru ise bir sonraki öğretim faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ– 2

AMAÇ

Çekilme dayanımının tanımını yaparak, cisimlere uygulanan çekilme dayanım şekillerini ve çekilme dayanımıyla ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

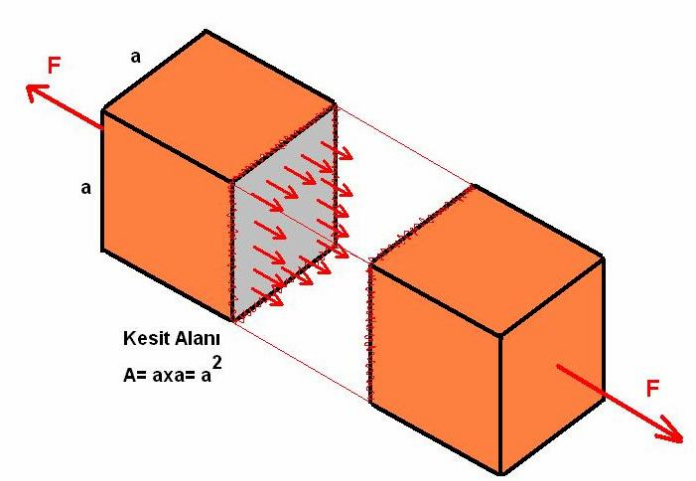
ARAŞTIRMA

Atölyenizde veya çevrenizde çekilme dayanımına maruz kalan makine elemanlarını tespit ederek, cisimlere bu dayanımın ne şekilde geldiğini araştırınız. Bu dayanımın makine elemanları üzerindeki etkilerini gözlemleyerek, diğer dayanım şekilleri ile kıyaslayınız.

2. ÇEKİLME DAYANIMI

2.1. Çekilme Dayanımının Tanımı

Aşağıda görülen şekilde test çubuğuna etki eden kuvvetler; eksen boyunca birbirinden uzaklaşırlarsa, çekme ya da çekilme meydana gelir. Bununla ilgili dayanıma da " Çekme Dayanımı" denir. Cismin çekme dayanımı, molekül yapısı ve kesit alanı (A_0) ile ilgilidir.



Şekil 2.1: Test çubuğu ve kesit alanı

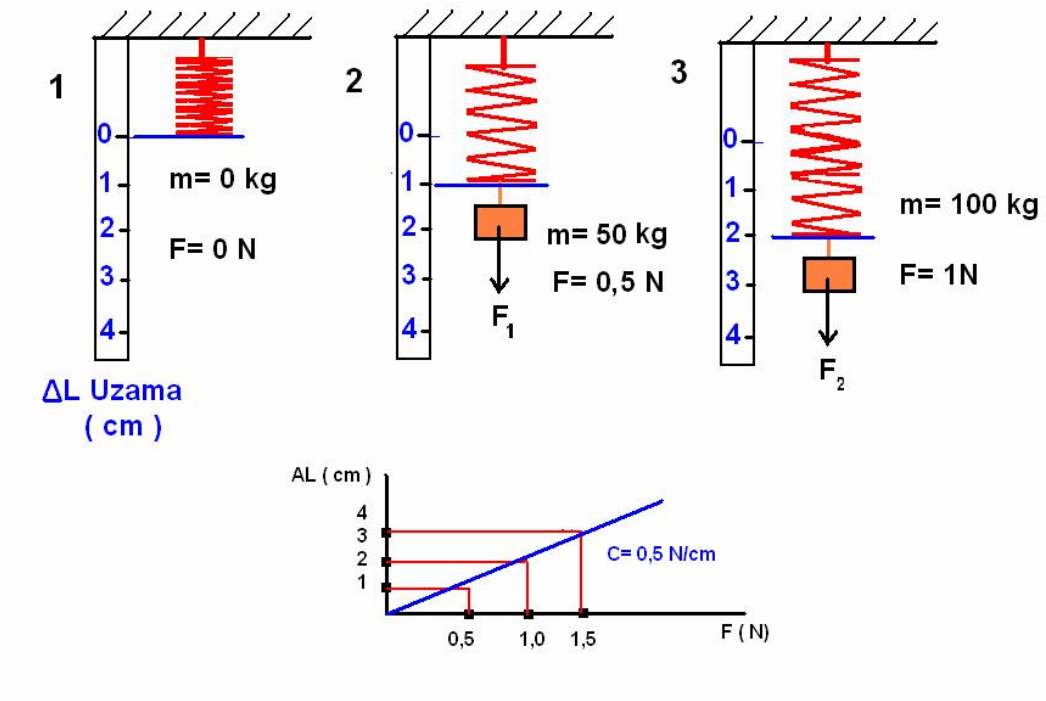
2.2. Hooke Kanunu

2.2.1. Tanımı

Statikte, katı cisimlerin şekil değiştirmedikleri kabul edilmişti. Esasen, elastiklik sınırları içinde durum böyledir. Ancak bu sınır aşıldığında, dış kuvvetlerin etkisi ölçüsünde malzemede şekil değişimi meydana gelir.

Makine elemanları boyutlandırılırken şekil değişikliklerinin, bu elemanların özelliklerinin bir kısmını ya da hepsini kaybettirmemesine dikkat edilir. Yapılan hesaplarla, zarar verip vermiyeceği kontrol edilir. Malzemelerin şekil değiştirme ve mekanik özelliklerinin tespitinde, en sağlıklı sonuç alınan deney, çekme deneyidir. Bu deneylerde, standart çubuklar kullanılır. Bu çubuklar; TS 138 ve DIN 50125'te verilen biçim ve ölçülerde makinelerde işlenerek elde edilir.

Uzama ile kuvvet arasındaki ilk bağıntı, İngiliz bilgini Robert Hooke tarafından meydana getirilmiştir. " Kuvvet ne kadarsa, uzama da o kadardır. " Hooke kanuna göre; elastiklik sınırları içinde kalmak şartı ile bir malzemede meydana gelen şekil değiştirmeler, gerilmeler orantılıdır.



Şekil 2.2: Uzamayla ilgili örnek deney (Hooke Kanunu)

Şekil 2.2'de deney çubuğu yerine, uzamasını daha kolay görebileceğimiz bir yay koyalım. Bu yayın ucuna ağırlıklar asarak, bir cetvel yardımıyla şekil değişimini kontrol edelim.

- Durumda, yay ucuna herhangi bir ağırlık asılmadığından, etki kuvveti doğmamıştır. F = 0

- Durumda, yay ucuna m_1 = 50 g ağırlığında (100 g = 1 N) bir kütle asılmıştır. Bunun sonucu meydana gelen 0,5 N'luk kuvvetin etkisi ile yay 1 cm uzamıştır.

- Durumda yay ucuna bu defa, m_2 = 100 g'lık bir ağırlık asılmıştır. Bunun sonucunda da F_2 = 1 N'luk kuvvet etkisi meydana getirir. Yayda 2 cm'lik bir uzama görülür.

Bu deneyden elde edilen sonuç; uygulanan kuvvet ile meydana gelen uzama doğru orantılıdır.

2.2.2. Çekme Deneyi ve Uzama-Gerilme Diyagramı

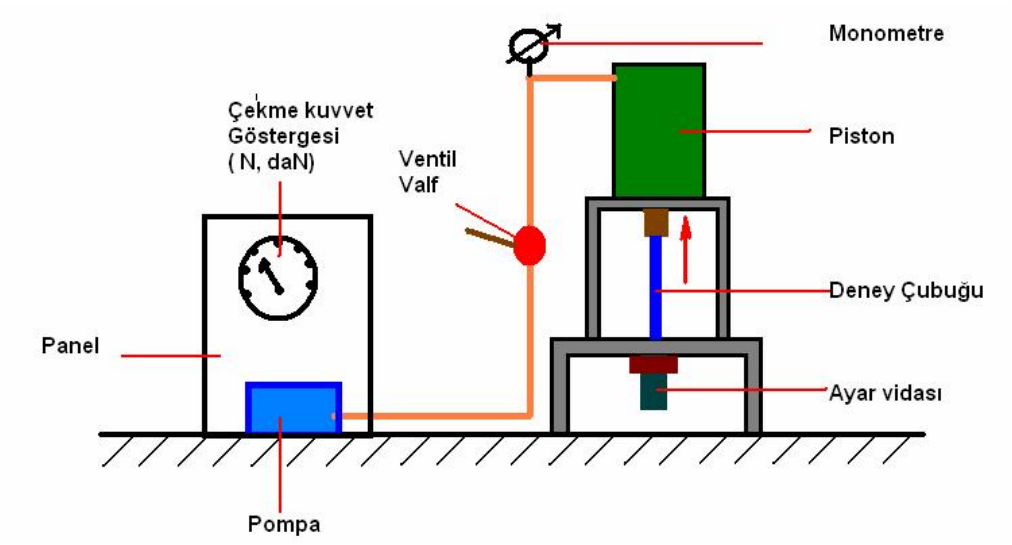
Çekme deneyi sonunda, uygulanan kuvvetin neticesinde meydana gelen gerilme ve uzama değerleri diyagramı meydana getirir. Diyagramın doğru elde edilebilmesi için, standart numune çubuklar kullanılır. Diyagram yalnız denenen çubuğa ait olur. Aynı malzemeden olsa bile, değişik biçim ve ölçüdeki numuneler aynı diyagramı vermez. Deney çubukları ya DIN 50125 göre hazırlanmış tablolardan alınan ölçülere göre ya da pratik olarak elde edilen ölçülere göre hazırlanır.

Pratik değerlere göre ölçüler;

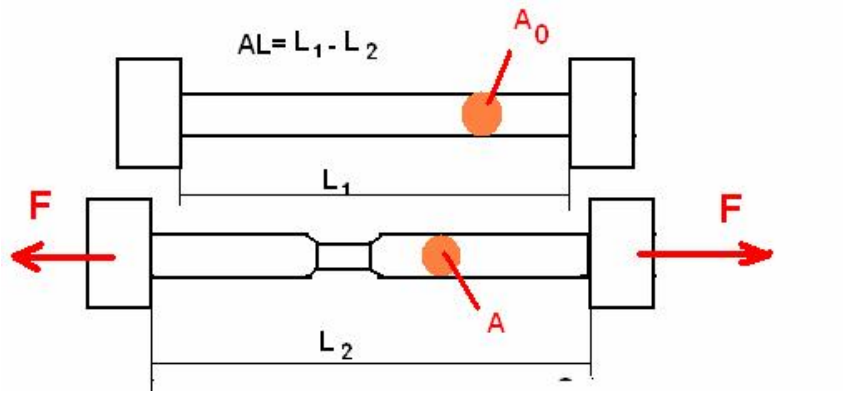
$L_0 = 10.\ d_0$ (Uzun çubuklarda)

$L_0 = 5.\ d_0$ (Kısa çubuklarda)

Uzama değerleri; parça üzerinden kumpas ile okunarak takip edilen basit makinelerin kullanımı pratik olmakla beraber, hassas değildir.

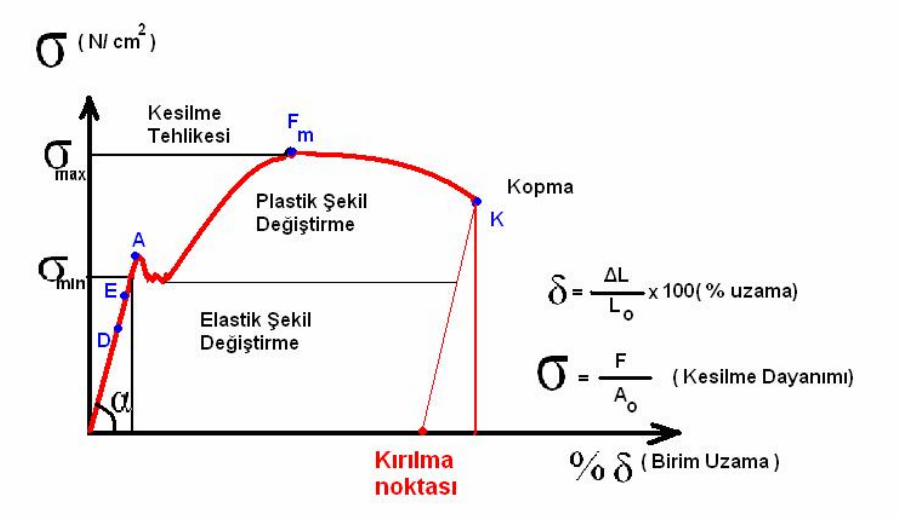


Şekil 2.3: Çekme deneyi



Şekil 2.4: Deney çubuğu

Yumuşak çelikten yapılmış bir deney çubuğuna, uygulanan her F kuvveti sonucunda ölçülen uzamalar (δ) , x ve y koordinatlar sisteminde işaretlenirse şekil 2.5'deki uzama gerilme diyagramı elde edilir. Ancak x ve y eksenlerindeki işaretlemelerde, F ve ΔL direkt uygulanmaz.



Şekil 2.5: Uzama - gerilme diyagramı

Y ekseninde, $\frac{F}{A_0}$ sonucu meydana gelen gerilmeler (σ) esas alınır.

X ekseninde ise, $\frac{\Delta L}{L_0}$ sonucunda birim uzamalar (δ) esas alınır.

Uzama gerilme diyagramında görüldüğü gibi, orjin noktası (O_1) ile (O) noktası arasında, gerilme ile birim uzama arasında, doğru orantı vardır. Dolayısı ile burada meydana gelen çizgi, doğru hâlindedir. Buraya "Orantı Sınırı" (O) denir. Bu alanda belirli bir şekil değişimi görülmez.

Yükleme devam ederse (E) noktasına gelindiğinde, geçici bir uzama tespit edilir. Bu sırada yükleme kaldırılırsa, uzama yok olur. Çubuk eski hâline gelir. Bu olaya elastik şekil değiştirme denir. Buradaki sınıra da, "Elastiklik Sınırı" adı verilir.

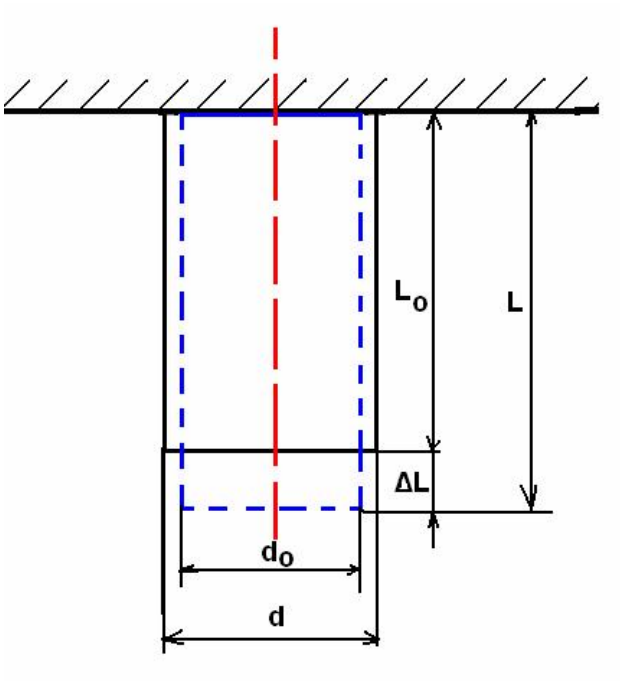
Devam edilirse, A noktasında kalıcı bir şekil değişimi gözlenir. Burası akma sınırıdır. Deney anında göstergenin ibresi titreyerek, bu durumu belli eder. Meydana gelen şekil değişimine "Plastik Şekil Değiştirme" denir. Deneyin sonunda F_m noktasına gelinir. Kesit artık iyice incelmiştir. Hemen kopma (K) olayı yaşanır. Böylece deney bitmiş olur. F_m ve K noktaları birbirine çok yakın olduğundan, F_m noktasında Max. Gerilme ($\sigma_{\max}$) esas alınır. Örneğin çelik malzemelerde sembol ifadesinin yanındaki değer, kopma değeridir. Fe

37 yumuşak çeliğin 1 mm^2 kesitli parçanın kopartılması için 37 daN (370 N) kuvvete ihtiyaç vardır anlamına gelmektedir.

2.2.3. Çekme Dayanımı ve Uzamanın Hesaplanması

Hooke kanununda; elastiklik sınırları içinde olmak koşulu ile malzemede meydana gelen şekil değiştirmeler, bunlara karşılık gelen gerilmeler ile orantılıdır denilmiştir.

tgα = $\frac{\sigma_E}{\delta_E}$ (Şekil.2.5 Uzama Gerilme Diyagramı) tgα eğimine, gerecin elastiklik modülü denir.



Şekil 2.6: Malzemede uzama

$$\Delta L = \frac{F.L_0}{E.A_0} \qquad E = \frac{\sigma_E}{\delta_E} = \frac{F / A_0}{\Delta L / L_0}$$

ΔL = Toplam uzama (mm, cm)

F = Eksenel kuvvet (N, daN) L_0 = İlk boy (mm, cm)

A_0 = Kesit alanı (cm^2)

E =Elastiklik modülü (N/ mm^2 , daN/ cm^2)

Çekme deneyi sırasında malzemenin boyu uzarken, kesit alanı daralır. Boyca birim uzamanın ence birim daralmaya oranı, Poisson oranını verir.

$\frac{\delta_1}{\delta}$ = v (Poisson oranı)

δ = Boyca birim uzama

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

δ_1 = Ence birim daralma

$$\delta_1 = \frac{d - d_0}{d_0} = \frac{\Delta d}{d_0}$$

v = Poisson oranı (0 – 0,5) arasındadır.

Problem

Bir kenarı 1,2 cm olan kare kesitli bir çubuk ekseni boyunca 1600 daN'lık kuvvetle çekiliyor Elastiklik modülü E=2,1. 10^6 daN/cm^2 çubuğun uzama miktarı 0,8 cm olduğuna göre çubuğun ilk boyunu bulunuz.

Çözüm

Verilenler:

A=axa= 1,2x1,2=1,44 cm^2

E=2,1. 10^6 daN/cm^2

F=1600 daN

ΔL= 0,8 cm

İstenenler:

L_0=? Çubuğun ilk boyu toplam uzamanın formülünden çekilerek hesaplanır.

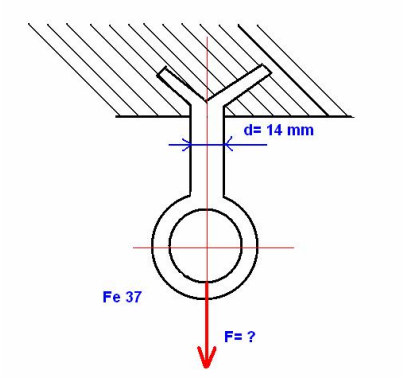
$$\Delta L = \frac{FxL_0}{ExA} \Rightarrow L_0 = \frac{\Delta LxExA}{F} = \frac{0{,}8x1{,}44x2{,}1x10^6}{1600} = 1512cm = 15{,}12m$$

2.3. Çekilmeye Zorlanan Elemanlar

2.3.1. Çubukların Çekme Geriliminin Hesaplanması

Problem

Şekilde görülen askı çubuğu 14 mm çapında olup Fe 37 malzemesinden yapılmıştır. Ekseni doğrultusunda 4 emniyetle taşıyabileceği yük nedir? (Fe 37 malzemenin çekme dayanımı 37 daN/mm^{2}dir)



Çözüm

Verilenler

d = 14 mm E.K.S. = 4 Fe37 = σ_z = 37 daN/mm^2

İstenenler

F=? A=?

Alan bulunurken makine elemanı daire kesitli olduğu için dairenin alanından kesit alan bulunur. Emniyetli, çekme gerilmesi ise kopma gerilmesinin E.K.S. ye bölünmesiyle buluruz ve gerilme formülünden F bulunur.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14.14^2}{4} = 158{,}86\, mm^2$$

$$\sigma_{zem} = \frac{\sigma}{E.K.S} = \frac{37}{4} = 9{,}25 \quad daN/mm^2$$

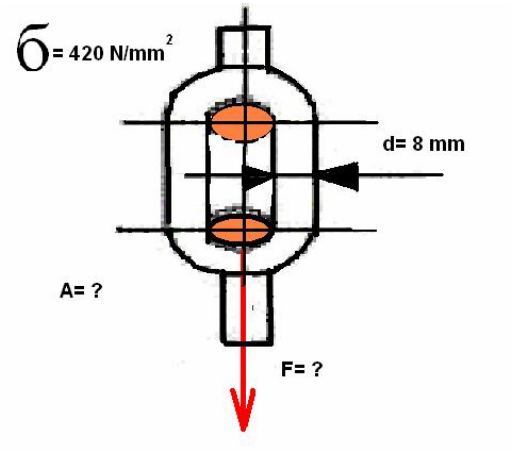
$$\sigma_{zem} = \frac{F}{A}, \quad F = \sigma_{zem}.A = 9{,}25.158{,}86$$

$$F = 1469{,}45 \quad daN$$

2.3.2. Zincirlerin Çekme Geriliminin Hesaplanması

Problem

Yandaki şekilde görülen zincir halkasının, max kopma gerilmesi 420 N/mm^2, çubuk çapı 8 mm olduğuna göre, taşıyabileceği yükü bulunuz.



Çözüm

Verilenler

$$\sigma_{max} = \sigma_z = 420 \quad N/mm^2 = \quad 42 \quad daN/mm^2$$

d = 8 mm

İstenenler

A = ? F = ?

Alan bulunurken makine elemanı daire kesitli olduğu için dairenin alanından kesit alan bulunur. Zincire uygulanan kuvvet gerilim formülünden hesaplanırken kuvvetin etkilediği alana dikkat etmek gerekir. Zincirlerde kuvvetin etki ettiği alan zincirin yapıldığı çubuğun kesit alanının iki katıdır. Yani gerilim formülünde A yerine 2A kullanılmalıdır.

$$A = \frac{\pi . d^2}{4} = \frac{3{,}14.8^2}{4} = 50{,}24 \quad mm^2$$

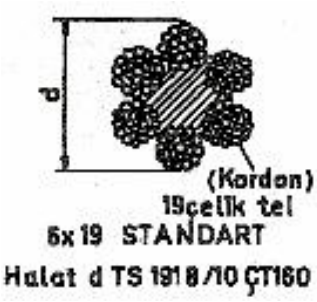
$$\sigma_z = \frac{F}{2.A}, F = \sigma_z.2.A = 42.2.50{,}24$$

$$F = 4220{,}16 \quad daN$$

2.3.3. Halatların Çekme Geriliminin Hesaplanması

Problem

114 telden meydana gelen çelik halatın 1 telinin çapı 1 mm ve gerecinin kopma dayanımı 160 daN/mm^2 dir. Bu çelik halatın 10 emniyetle taşıyacağı yükü bulunuz.



Çözüm

Verilenler

d = 1 mm = 0,1 cm

n = 114 tel (Halattaki tel sayısı)

E.K.S.= 10

σ_z = 160 daN/mm^2 = 16000 daN/cm^2

İstenenler

$$\sigma_{zem} = ?$$

Halatta kuvvetin etkilediği toplam alan halatın imalatında kullanılan her bir telin alanıyla tel sayının çarpımına eşittir. Tel sayısı formülde "n" ile gösterilir.

$$\sigma_{zem} = \frac{\sigma_z}{E.K.S} = \frac{16000}{10} = 1600 \ \ daN/cm^2$$

$$F = A\sigma_{zem}.n = \frac{\pi.d^2}{4}.\sigma_{zem}.n = \frac{3{,}14.(0{,}1)^2}{4}.1600.144 = 1808{,}64 \ \ daN$$

2.3.4. Civataların Çekme Geriliminin Hesaplanması

Problem

Kopma gerilmesi 5000 daN/cm^2 olan civatanın emniyet katsayısı 5' tir. Civatanın güvenle taşıyabileceği yük 1400 daN olduğuna göre civatanın çapını bulunuz.

Çözüm

Verilenler

$\sigma_{max} = 5000 \ \ kg/cm^2$ E.K.S.= 5 F_{em}= 1400 daN d=?

Bu problemde öncelikle emniyetli gerilme hesaplanır. Daha sonra gerilme formülünden alan ifadesi çekilir ve alandan çapı bulunur.

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{max}}{E.K.S} = \frac{5000}{5} = 1000 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{em} = \frac{F}{A} \Rightarrow A = \frac{F}{\sigma_{em}} = \frac{1400}{1000} = 1{,}4 \text{ cm}^2$$

Civatalarda kuvvetin etki ettiği alan hesaplanırken diş dibi çapı kullanılmalıdır. Civataların ölçülen çapı diş üstü çapıdır, d_1= diş dibi çapı ise d_1=0,8xd'dir. Buradan gerekli sadeleştirmeler yapılırsa diş üstü çapı bakımından alan formülü aşağıdaki gibi olur.

$$A = \frac{2d^2}{4} \Rightarrow d^2 = \frac{4A}{2} = \frac{4x1{,}4}{2} = 2{,}8 \Rightarrow d = 1{,}67 \text{ cm}$$

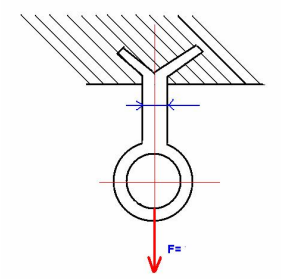
UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1

Şekilde görülen askı çubuğu 20 mm çapında olup Fe 40 malzemesinden yapılmıştır. Ekseni doğrultusunda 4 emniyetle taşıyabileceği yük nedir? (Fe 40 malzemenin çekme dayanımı 40 daN/mm^{2}dir)

Çözüm 1

Verilenler



d = 20 mm E.K.S. = 4 Fe40 = σ_z = 40 daN/mm^2

İstenenler

F=? (N) A=? (mm^2)

Alan bulunurken makine elemanı daire kesitli olduğu için dairenin alanından kesit alan bulunur. Emniyetli çekme gerilmesi ise kopma gerilmesinin E.K.S. ye bölünmesiyle buluruz ve gerilme formülünden F bulunur.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 x 20^2}{4} = 314 mm^2$$

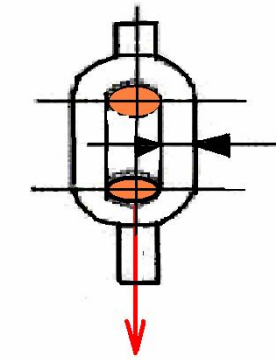
$$\sigma_{zem} = \frac{\sigma}{E.K.S.} = \frac{40}{4} = 10 daN/mm^2$$

$$\sigma_{zem} = \frac{F}{A} \Rightarrow F = \sigma_{em} x A \Rightarrow F = 10 x 314 = 3140 daN$$

Problem 2

Yandaki şekilde görülen zincir halkasının; max kopma gerilmesi 400 N/mm^2, çubuk çapı 10 mm olduğuna göre, taşıyabileceği yükü bulunuz.

Çözüm 2



Verilenler

$$\sigma_{\max} = \sigma_z = 400 \;\; N/mm^2 = \;\; 40 \;\; daN/mm^2$$

d = 10 mm

İstenenler: A = ? F = ?

Alan bulunurken makine elemanı daire kesitli olduğu için dairenin alanından kesit alan bulunur. Zincire uygulanan kuvvet gerilim formülünden hesaplanırken kuvvetin etkilediği alana dikkat etmek gerekir. Zincirlerde kuvvetin etki ettiği alan zincirin yapıldığı çubuğun kesit alanının iki katıdır. Yani gerilim formülünde A yerine 2A kullanılmalıdır.

$$A = \frac{\pi.d^2}{4} = \frac{3{,}14.10^2}{4} = 78{,}5 \;\; mm^2$$

$$\sigma_z = \frac{F}{2.A}, F = \sigma_z.2.A = 40.2.78{,}5$$

$$F = 6280 \;\; daN$$

Problem 3

120 telden meydana gelen çelik halatın 1 telinin çapı 1 mm ve gerecinin kopma dayanımı 160 daN/mm^2 dir. Bu çelik halatın 12 emniyetle taşıyacağı yükü bulunuz.

Çözüm 3

Verilenler

d = 1 mm = 0,1 cmn = 120 tel E.K.S.= 12

σ_z = 160 daN/mm^2 = 16000 daN/cm^2

İstenenler

$\sigma_{zem} = ?$

Halatta kuvvetin etkilediği toplam alan halatın imalatında kullanılan her bir telin alanıyla tel sayısının çarpımına eşittir. Tel sayısı formülde "n" ile gösterilir.

$$\sigma_{zem} = \frac{\sigma_z}{E.K.S} = \frac{16000}{12} = 1333,3 \ \ daN/cm^2$$

$$F = A\sigma_{zem}.n = \frac{\pi.d^2}{4}.\sigma_{zem}.n = \frac{3,14.(0,1)^2}{4}.1333,3.120 = 1256 \ \ daN$$

Problem 4

Kopma gerilmesi 6000 daN/cm^2 olan civatanın emniyet katsayısı 10'dur. Civatanın güvenle taşıyabileceği yük 1500 daN olduğuna göre civatanın çapını bulunuz.

Çözüm 4

Verilenler

σ = 6000 daN/cm2 E.K.S.= 10 Fem= 1500 daN d=?

İstenenler

Bu problemde öncelikle emniyetli gerilme hesaplanır. Daha sonra gerilme formülünden alan ifadesi çekilir ve alandan çapı buluruz.

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{\max}}{E.K.S} = \frac{6000}{10} = 600 \quad \text{daN/cm}^2$$

$$\sigma_{em} = \frac{F}{A} \Rightarrow A = \frac{F}{\sigma_{em}} = \frac{1500}{600} = 2{,}5 \text{ cm}^2$$

Civatalarda kuvvetin etki ettiği alan hesaplanırken diş dibi çapı kullanılmalıdır. Civataların ölçülen çapı diş üstü çapıdır, d_1= diş diş dibi çapı ise d_1=0,8xd'dir. Buradan gerekli sadeleştirmeler yapılırsa diş üstü çapı bakımından alan formülü aşağıdaki gibi olur.

$$A = \frac{2d^2}{4} \Rightarrow d^2 = \frac{4A}{2} = \frac{4x12{,}5}{2} = 25 \Rightarrow d = 5 \text{ cm}$$

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Öğrenme faaliyetinde öğrendiğiniz bilgileri ölçmek için aşağıda verilen objektif testi kendinize uyğulayınız.

OBJEKTİF TESTLER

1. Cismi çekmeye zorlayan dış kuvvetler, cismin bünyesinde meydana gelen iç kuvvetlerle dengelenmeye çalışırlar. İç kuvvetlerin birim alanı etkileyen miktarı hangi gerilmeyi verir?
   A) Basılma gerilmesi
   B) Çekilme gerilmesi
   C) Kesme gerilmesi
   D) Akma gerilmesi

2. Çekme deneyinde hangi çubuklar kullanılır?
   A) Çekme çubukları
   B) Basılma çubukları
   C) Kesme çubukları
   D) Standart deney çubuğu

3. Uzama ile kuvvet arasındaki bağıntı aşağıdakilerden hangisidir?
   A) Cisimler daima uzarlar.
   B) Uzama ile kuvvet ters orantılıdır.
   C) Uzama ile kuvvet doğru orantılıdır.
   D) Cisimlere kuvvet uygulandığında uzayarak koparlar.

4. Tek eksenli gerilme durumunda, eğik kesitlerde meydana gelen gerilmelerin bulunmasında aşağıdakilerden hangisi kullanılır?
   A) Kesilme diyagramı
   B) Thales diyagramı
   C) Tek eksen diyagramı
   D) Mohr dairesi

5. Civataların belli bir kuvvetle sıkılma işlerinde hangi alet kullanılır?
   A) Torkmetre
   B) Pirometre
   C) İngiliz anahtarı
   D) Manometre

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Tüm sorulara doğru cevap verdiyseniz bir sonraki öğretim faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ– 3

AMAÇ

Kesilme dayanımının tanımını yaparak, cisimlere uygulanan çekilme dayanım şekillerini ve kesilme dayanımıyla ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

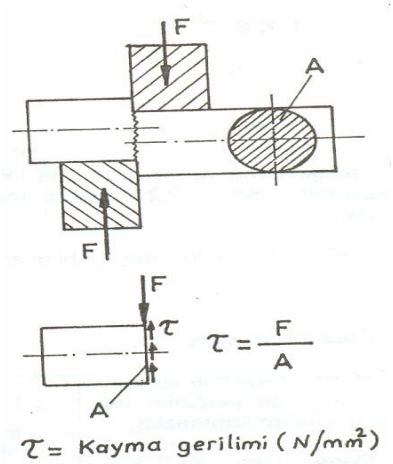
ARAŞTIRMA

Atölyenizde veya çevrenizde kesilme dayanımına maruz kalan makine elemanlarını tespit ederek, cisimlere bu dayanımın ne şekilde geldiğini araştırınız. Bu dayanımın makine elemanları üzerindeki etkilerini gözlemleyerek, diğer dayanım şekilleri ile kıyaslayınız.

3. KESİLME DAYANIMI

3.1. Kesilme Dayanımının Tanımı

F kuvvetleri parçanın eksenine dik durumda birbirine doğru yaklaşırsa makaslama dolayısı ile kesilme olayı meydana gelir. Burada oluşan dayanıma kesilme dayanımı denir.



Şekil 3.1: Kesilme gerilimi

3.2. Kesilmeye Zorlanan Makine Elemanları

3.2.1. Civatalarda Kesilme Dayanımın Hesaplanması

Civatalar genellikle çekilme olayını yaşarlar. Ancak bazı çelik konstrüksüyonlarda kesilmeye de çalışabilirler.

Şekilde 3.2'de görüldüğü gibi (F) kuvveti etkisi ile taranmış parçalar birbiri üzerinde kaymaya çalışırlar. Bu sırada kayma yüzeylerinin civataya isabet eden kısmında kesilme olayı yaşanır.

Şekil 3.2: Cıvata bağlantısı

$$\tau = \frac{F}{A} \text{ (Temel formül)}$$

$$\tau_{em} = \frac{\tau_{max}}{E.K.S.}$$

$F_{em} = \tau_{em} . A$

τ_{em} = Emniyetli kayma gerilimi

τ_{max} = Kesilmeden önceki en büyük gerilim

E.K.S. = Emniyet kay sayısı

F = Kaydırma kesme kuvveti (N)

A_0 = Kesit alanıdır. (cm^2)

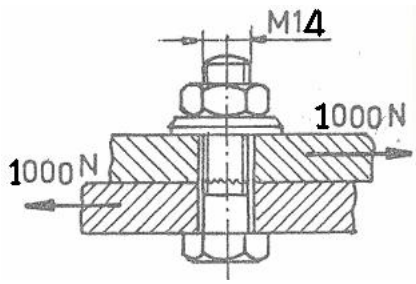
Çözümlemelerde $\tau \leq \tau_{em}$ şartı sağlanır.

Problem

Aşağıdaki şekilde görülen cıvata M14 ölçüsünde olup iki parçayı birleştirmektedir. Parçalara, kaydırma yönünde 4000 N'luk kuvvet uygulandığına göre; makaslama bölgesindeki cıvata kesit alanını ve bu bölgedeki kesilme gerilimini bulunuz?

Çözüm

Civataların kesilme dayanımlarını inceleyerek, kesilme gerilimlerini tespit ediniz.; kesilme gerilimi ile ilgili bağıntıları kullanarak kesilme gerilimini hesaplayınız.



Verilenler

M14 civatada; d = 14 mm = 1,4 cm (diş üstü çapı)

İstenenler

Civataların kesilme dayanımı hesaplanırken kuvvetin etkilediği alan bölüm dairesi çapının alanıdır. M 14 şeklindeki ifadede civatanın metrik olduğu ve diş üstü çapının 14 mm olduğu belirtilir. Bölüm dairesi çapı cıvata ile ilgili cetvellerden alınır. Ya da adım biliniyorsa hesaplanır.

Buna göre

$d_0 = d_2 = 12{,}761$ mm = 1,2761 cm (bölüm çapı) dir.

$$A_0 = \frac{\pi . d_0^{\,2}}{4} = \frac{3{,}14.(1{,}2761)^2}{4} \Rightarrow A_0 = \frac{3{,}14.1{,}628}{4} = 1{,}278 cm^2$$

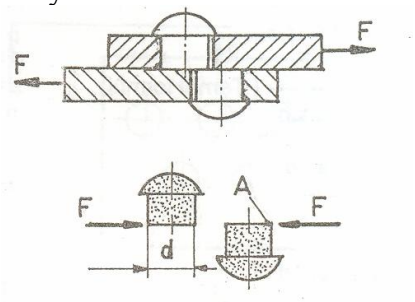
Bulunan alan kesme gerilmesi formülünde yerine konur ve,

$$\tau = \frac{F}{A_0} = \frac{1000}{1{,}278} = \ 782{,}5 daN/cm^2 , \tau = 78{,}25 \ \ N/mm^2$$ bulunur.

3.2.2. Perçinlerde Kesilme Dayanımın Hesaplanması

Sabit birleştirme elemanlarından olan perçinler, baş kısımlarından kopmazlar. Deneyler sonucu, F kuvvetlerinin etkisi ile makaslanma bölgesinden kesilmek suretiyle koptukları tespit edilmiştir. Perçinli bağlantının emniyeti, perçin sayısı ve makaslanan (kesilen yüzey sayısı) yüzey sayısı ile yakından ilgilidir. Perçinli bağlantılarda sadece perçinin dayanımlı olması yeterli değildir. Bağlanan parçaların da çeşitli özellikleri ile dayanımlı olmaları gerekmektedir.

Perçinin kesilmesine göre dayanım hesabı



Şekil 3.3: Perçinin kesilmesi

$$\tau = \frac{F}{A} \qquad \tau = \frac{F}{A} \leq \tau_{em} \qquad A = \frac{\pi d^2}{4} n.i$$

τ = Kesme gerilmesi daN/mm^2 F= Kesme kuvveti daN

A= Kesilmeye çalışılan toplam alan mm^2 n= Perçin sayısı i= kesilmeye çalışılan yüzey sayısı

Problem

Üç sıralı her sırada 4 perçin bulunan bir perçinle birleştirme işleminde kullanılan perçinlerin çapları eşit olup 10 mm'dir. Bu perçinlerin emniyet gerilmesi 420 daN/cm^2 olduğuna göre güvenle taşıyabileceği kuvvet kaç daN'dır?

Çözüm

Verilenler

d=10 mm n= 4x3=12 τ_{em} = 420 daN/cm2

İstenenler

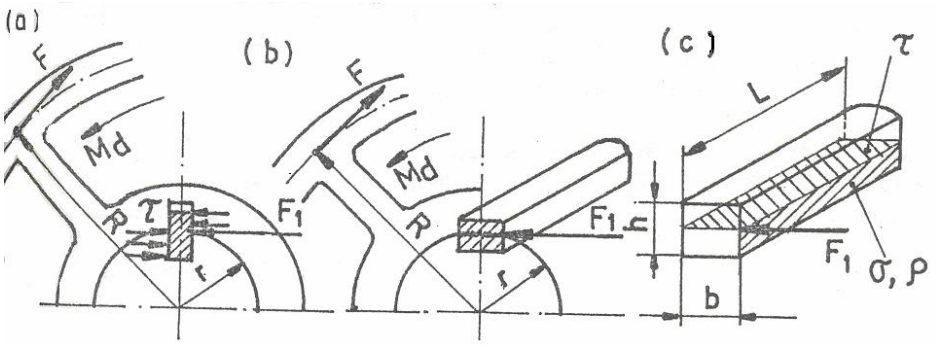
F_{em}=?

Bu problemde perçin sayısını bulurken sıra sayısı ile sırada bulunan perçin adedi çarpılır. Alan bulunduktan sonra değerler kesme gerilmesi formülünde yerine konarak emniyetli kuvvet bulunmalıdır.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} n = \frac{3{,}14.1^2}{4}.12 = 9{,}42 cm^2$$

$$\tau_{em} = \frac{F_{em}}{A} \Rightarrow F_{em} = \tau_{em}.A = 420.9{,}42 = 3956{,}4 \text{ daN}$$

3.2.3. Kamalarda Kesilme Dayanımın Hesaplanması



Şekil 3.4: Kamaya gelen kesme kuvveti

Kama mil ile dönmesi istenen makine elemanlarını mile bağlayan bir birleştirme elemanıdır. Milin döndürme momenti ile kesilmeye zorlanır. Şekil 3.4'teki mil ile volanı birleştiren kamayı kesmeye çalışan kuvvet bulunurken momentlerden istifade edilir. Milin döndürme momenti Md, mil yarıçapı r, volan yarıçapı R ise;

$Md = F.R = F_1.r$ $\qquad$ F_1 kuvveti kamayı kesmeye zorlar

$Md = F_1.r$ $\qquad$ Md = Döndürme momenti (daN.cm)

A=b.l $\qquad$ A= kesilmeye zorlanan kama alanı cm^2

b= kama genişliği $\qquad$ l= kama boyu

$$\tau = \frac{F_1}{A} \leq \tau_{em}$$

F = Volanı döndüren kuvvet (N)

$$\tau_{em} = \frac{F_1}{b.L}$$

R = Volan yarıçapı (mm)

$$\tau_{em} = \frac{Md}{r.b.L} \ , \ \tau_{em} = \frac{F.R}{r.b.L}$$

r = Mil yarıçapı (mm)

F_1 = Kamayı kesmeye zorlayan kuvvet (N)

b = Kama genişliği (mm)

L = Kama boyu (mm)

τ_{em} = Emniyetli kayma gerilimi (daN/mm^2)

Yukarıdaki formüller milin döndürdüğü veya mili döndüren elemanın çapı ve elemana uygulanan kuvvet biliniyorsa kullanılır. Genellikle millerin ilettikleri güç ve milin devri bilinir. İletilen güç ve devir biliniyorsa döndürme momenti ve kesme gerilimi aşağıdaki formüllerle hasaplanır.

$$M_d = \frac{71620.N}{n}$$

N= Güç (BG)

$$\tau_{em} = \frac{M_d}{r.b.L} \Rightarrow \tau_{em} = \frac{71620.N}{n.r.b.L}$$

n= devir sayısı (d/d)

71620 sabit sayısı beygir gücünün daNm'ye çevrilmesi için kullanılan bir katsayıdır.

Problem

Bir milin yarıçapı 20 mm'dir. Bu mile bağlı olan kasnağın yarı çapı 120 mm ve bu kasnağa uygulanan döndürme kuvveti 1500 daN'dır. Kasnakla milin birleştiren kamanın genişliği 10 mm ve boyu 40 mm ise kamanın kesilme dayanımını hesaplayınız.

Çözüm

Verilenler

r=20 mm R=120 mm F=1500 daN L=40 mm
b=10 mm

istenen:

$\tau_{em} = ?$

$$\tau_{em} = \frac{F.R}{r.b.L} = \frac{1500.120}{20.40.10} = 22{,}5 \text{ daN/cm}^2$$

Problem

400 d/d ile dönen 5 bg gücünde bir motorun mil çapı 30 mm'dir. Mile uygun standart kama genişliği 8 mm ve kama gerecinin kesilme gerilmesi 2000 daN/cm^2 olduğuna göre 4 kat emniyetle çalışması istenen kamalı bağlantıda kama boyunu hesaplayınız.

Çözüm

Verilenler

n=400 d/d N=5 BG D=30 mm ise r=15 mm b=8

mm τ = 2000 daN/cm2

E.K.S.= 4

İstenenler

L=?

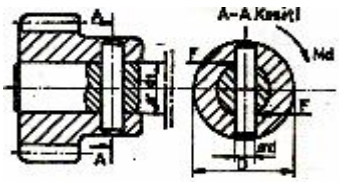
Kama boyunu bulabilmek için öncelikle emniyetli kesme gerilmesinin bulunması gereklidir. Emniyetli kesme gerilmesi bulunduktan sonra güç ve devirli kesme gerilmesi formülünde değerler yerlerine konarak kama boyu bulunur.

$$\tau_{em} = \frac{\tau}{E.K.S} = \frac{2000}{4} = 500 \text{ daN/cm}^2$$

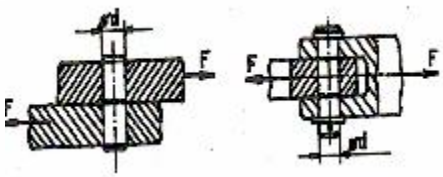
$$\tau_{em} = \frac{71620.N}{n.r.b.L} \Rightarrow L = \frac{71620.N}{\tau_{em}.n.r.b} = \frac{71620.5}{500.400.1{,}5.0{,}8} = 1{,}49\,cm$$

3.2.4. Pimlerde Kesilme Dayanımın Hesaplanması

Pimler çözülebilir birleştirme elemanı olup kesilmeye çalışılırlar. Kesme olayı; döndürme etkisi sonucu bir kuvvet çifti tarafından (Şekil 3.5) veya merkezleme görevi yaparken, makaslama sonucu oluşur (Şekil 3.6). Pim bağlantılarının hesabında sağlıklı sonuç alınabilmesi için deney yapılması emniyetli olur. Ancak basit konstrüksiyonlarda kesilmeye göre temel formüller kullanılarak hesaplamalar yapılabilir.



Şekil 3.5: Pime gelen kuvvetler



Şekil 3.6: Pimin kesilmesi

Md = $71620\frac{N}{n}$ olur.

Md = Döndürme momenti (N.cm)

N = İleten güç (BB)

$$\tau_{em} = \frac{M_d}{r.A} \Rightarrow \tau_{em} = \frac{71620.N}{n.r.\frac{\pi d^2}{4}}$$

n = Devir sayısı (Devir/ dak)

Şekil 3.5'teki radyal pim, mil ile göbek arasındaki bağlantı dolayısı ile döndürme momentinin iletilmesini sağlar. Moment etkisi ile pim kesilmeye, mil ve göbekteki dayanma yüzeyleri ezilmeye zorlanır. Pimin kesilmeye çalışılan yüzey alanı hesaplanırken çalıştığı konu dikkate alınmalıdır. Tek noktadan mı zorlanıyor? İki noktadan mı? Şekil 3.6'da soldaki pim tek noktada, sağdaki pim iki noktadan kesilmeye zorlanmaktadır.

Md = F. d_1

Md = Döndürme momenti (daN.cm)

$$\tau = \frac{F}{A} \leq \tau_{em}$$ F = Pimi kesmeye çalışan kuvvet (N)

$$\tau = \frac{Md}{d_1 \frac{\pi . d^2}{4}} \leq \tau_{em}$$

d_1 = Mil çapı (mm)

d = Pim çapı (mm)

D = Göbek çapı (mm)

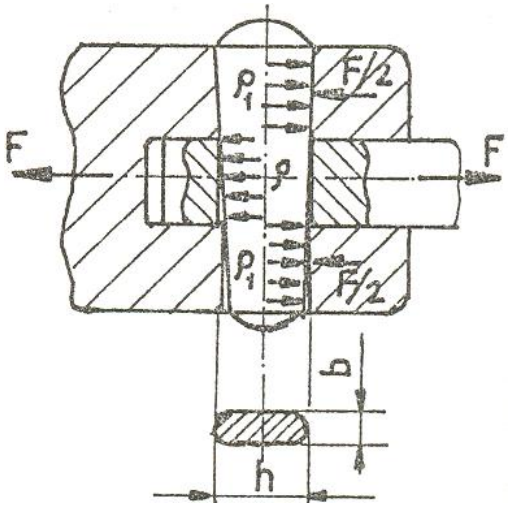
A = Kesit alanı (cm^2)

τ_{em} = Emniyetli kesilme gerilmesi (N/ mm^2)

ρ_{em} = Emniyetli delik ezilme basıncı (N/ mm^2)

$\rho_{em} \cong 2.\ \tau_{em}$ alınabilir.

$\rho_{em} = \frac{F}{d.s}$ (Delik ezilme basınç kavramı)



Şekil 3.7: Enine kama

Problem

Kopma gerilmesi 4000 daN/cm^2 olan bir pimin emniyet katsayısı 4, pimin kesilmeden güvenle kullanılması için pim çapı 4 cm olduğuna göre emniyetle iletilebilecek kuvveti bulunuz.

Çözüm

Verilenler

$\tau_{max} = 4000 kg/cm^2$ E.K.S.=4 d=8/2=4cm

istenenler:

F_{em}=?

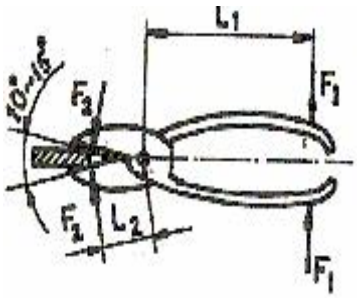
Öncelikle emniyetli gerilme bulunur ve genel gerilme formülü kullanılarak emniyetli kuvvet hesaplanır.

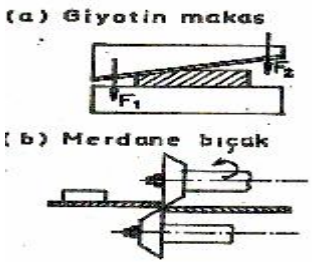
$$\tau_{em} = \frac{\tau_{max}}{E.K.S} = \frac{4000}{4} = 1000 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_{em} = \frac{F_{em}}{A} \Rightarrow F_{em} = \tau_{em}.\frac{\pi d^2}{4} = 1000.\frac{3{,}14.4^2}{4} = 12560 \text{ daN}$$

3.2.5. Sacların Kesilme Dayanımın Hesaplanması

Sac malzemelerin kesilmesinde çeşitli presler, makaslar, giyotin gibi makineler kullanılmaktadır. Sac malzemelerin kesiminde en fazla karşımıza çıkan iş tezgâhı preslerdir. Bu nedenle konuya preslerde kesme olayı ile devam edilecektir.





Şekil 3.8: El makası Şekil 3.9: Kesme makineleri

- Preslerde Kesme

L = Kesilen kısmın uzunluğu (mm)

e = sac kalınlığı mm

A = L.e Kesit alanı (cm^2)

τ_{em} = Emniyetli kesilme gerilmesi (daN/ cm^2)

F = Kesme kuvveti (N)

σ = Zımbanın basınç gerilimi (daN/ cm^2)

τ = Sacın kesilme gerilimi (daN/ cm^2)

τ = 0,8. σ (daN/ cm^2)

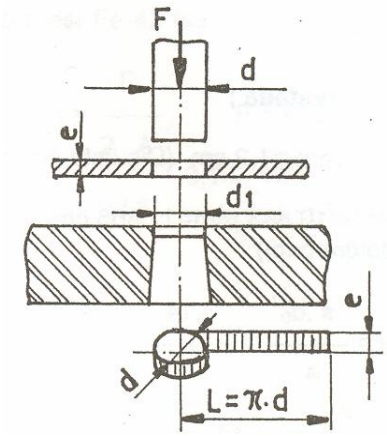
- Kesme Kuvveti

$\tau_{em} = \frac{F}{A} = \frac{F}{L.e}$ F = L.e. τ (Temel formül)

Sert malzemelerde kesicinin çabuk aşınmasından dolayı ; $\tau = \sigma$ alınabilir .

F = L.e. σ

Minimum delik çapı:



Şekil 3.10: Preslerde kesme

Her kalınlıktaki malzemeye istenildiği kadar küçük delik delinemez.

$$dmin = \frac{4.e.\tau}{\rho}$$

dmin = En küçük delik çapı (mm)

e = Sac kalınlığı (mm)

τ = Sacın kesilme gerilimi (daN/ cm^2)

σ = Zımbanın basınç gerilimi (daN/ cm^2)

Problem

Zımba çapı 30 mm olan bir pres yardımıyla deliksiz rondela kesilecektir. Kullanılacak sac kalınlığı 3 mm ve sacın kesilmede kopma gerilmesi 4200 daN/cm^2dir. Pres en az kaç daN lik bir kuvvetle zımbaya basmalıdır.

Çözüm

Verilenler

d=30 mm e=3 mm τ_{max} = 4200 daN/cm^2

İstenenler

F_{min}=?

Burada sacın kesilmeye çalışılan yüzeyi zımbanın çevresi ile sacın kalınlığının çarpımı ile bulunur.

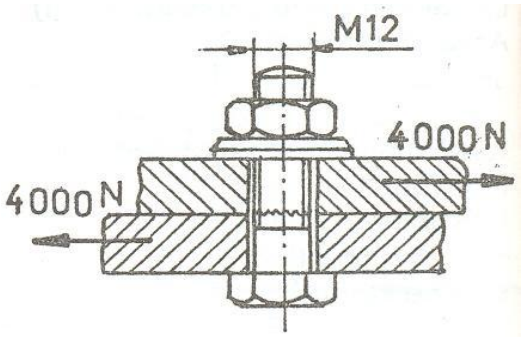
$$A = \pi.d.e = 3{,}14.3.0{,}3 = 2{,}826 cm^2$$

$\tau_{max} = \dfrac{F_{min}}{A} \Rightarrow F_{min} = \tau_{max}.A = 4200.2{,}826 = 11869{,}2$ daN Presin, sactan pul kesebilmesi için en az 11869,2 daN'lık bir kuvvetle zımbaya basmalıdır.

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1

Aşağıdaki şekilde görülen cıvata M12 ölçüsünde olup iki parçayı birleştirmektedir. Parçalara, kaydırma yönünde 4000 N'luk kuvvet uygulandığına göre, makaslama bölgesindeki cıvata kesit alanını ve bu bölgedeki kesilme gerilimini bulunuz?



Çözüm

Verilenler

d=12 mm F=4000 daN

İstenen:

τ =?

Öncelikle civatanın bölüm dairesi çapı bulunur ve bu çap kullanılarak kesilmeye çalışılan alan hesaplanır. Daha sonra kesme gerilmesi genel formülü kullanılarak kesme gerilmesi hesaplanır.

M12 civatada; d = 12 mm = 1,2 cm (Diş Üstü Çapı)

$d_0 = d_2$ = 10,863 mm = 1,0863 cm (Bölüm Çapı)

$$A_0 = \frac{\pi . d_0^{\,2}}{4} = \frac{3{,}14.(1{,}0863)^2}{4} \Rightarrow A_0 = \frac{3{,}14.1{,}18}{4} = 0{,}92\,cm^2$$

$$\tau = \frac{F}{A_0} = \frac{4000}{0{,}92} = 4347{,}8 \;\; daN/cm^2 , \tau = 434{,}78 \;\; N/mm^2$$

Problem 2

Şekilde görülen perçinli sistem, 10 kN'luk kuvvet ile zorlanmaktadır. Kesilme anında, perçinde meydana gelen gerilim 160 N / mm^2 dir. Buna göre perçinin kesit alanı ve çapını bulunuz?

Çözüm

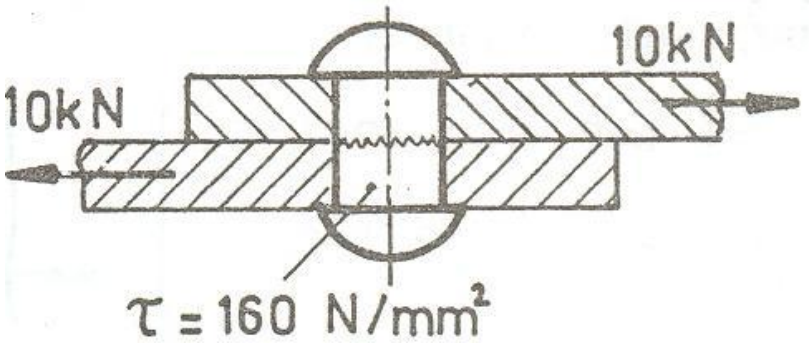
Verilenler

F = 10 kN=10000 N τ = 160 N/ mm^2 İ=1

İstenenler

A=? d=?

Kesme gerilmesi genel formülünden kesilmeye çalışılan alan bulunur ve alandan perçin çapı hesaplanır.



$$\tau = \frac{F}{A}, A = \frac{F}{\tau} = \frac{10.000}{160} = 62,5mm^2$$

$$A = \frac{\pi.d^2}{4}, d = \sqrt{\frac{4.A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.62,5}{3,14}} = \sqrt{79,6}$$

$$d \cong 8,92mm$$

Problem 3

10 Beygir gücünü 500 devir/dakika ile ileten milin çapı 32 mm'dir. Aşağıdaki şekilde kullanılan kamanın kamanın kesiti, 10×10 mm^2, kesme gerilimi 60 N/mm^2 olduğuna göre kamanın boyu ne kadardır?

Çözüm

Verilenler

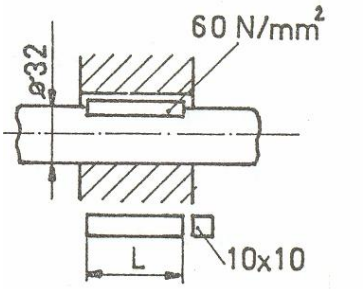
N=10 BG n=500 devir/dakika d=32 mm r = 16 mm = 1,6 cm

$\tau_{em} = 60\, N/mm^2 = 600\, daN/cm^2$

İstenenler

L =?

Öncelikle milin ilettiği güç ve devir kullanılarak milin döndürme momenti hesaplanır. Bulunan moment değeri kesme gerilmesi kuvvetinin hesaplanmasında kullanılmak üzere kesme gerilmesi ana formülüne konur ve emniyetli kesme gerilmesi kullanılarak kama boyu bulunur.



Döndürme Momenti : $Md = 71620.\dfrac{N}{n} = 71620.\dfrac{10}{500} = 1432,4\, daN.cm$

Kesilme Gerilimi : $\tau = \dfrac{Md}{r.b.L} \leq \tau_{em}$ $\quad L = \dfrac{Md}{r.b.\tau_{em}} = \dfrac{1432,4}{1,6.1.600} = 1,49\, cm$

$L \cong 1,5cm = 15mm$

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Öğrenme faaliyetinde öğrendiğiniz bilgileri ölçmek için aşağıda verilen objektif testi kendinize uygulayınız.

Objektif Testler

1. Bir parçaya birbirine dik zıt yönde iki kuvvet uygulandığında parçada makaslanma olayı meydana gelir. Bunun neticesinde parçada hangi olay gerçekleşir?
   A) Yırtılma
   B) Çatlama
   C) Kırılma
   D) Kesilme

2. Sökülebilen bağlantı elemanları aşağıdakilerden hangisidir?
   A) Perçinler
   B) Vidalar
   C) Kaynaklar
   D) Hiçbiri

3. Vidalar sıkılma esnasında hangi kuvvete maruz kalır?
   A) Burulma
   B) Kayma
   C) Basma
   D) Çekilme

4. Kesilme kuvvetine hangi makine elemanı maruz kalmaktadır?
   A) Saplamalar
   B) Perçinler
   C) Kaynaklar
   D) Somunlar

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrar inceleyiniz. Bütün sorulara doğru cevap verdiyseniz bir sonraki öğretim faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ– 4

AMAÇ

Eğilme dayanımının tanımını yaparak, cisimlere uygulanan eğilme dayanım şekillerini ve eğilme dayanımıyla ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

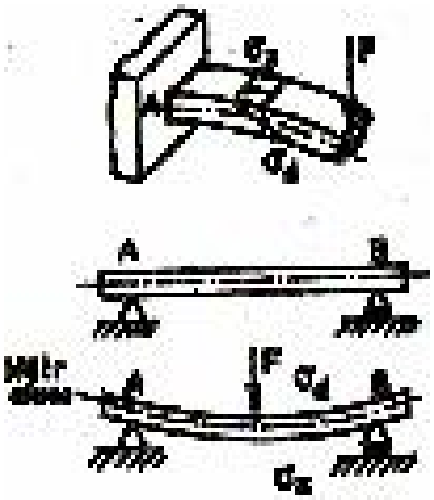
ARAŞTIRMA

Atölyenizde veya çevrenizde eğilme dayanımına maruz kalan makine elemanlarını tespit ederek, cisimlere bu dayanımın ne şekilde geldiğini araştırınız. Bu dayanımın makine elemanları üzerindeki etkilerini gözlemleyerek, diğer dayanım şekilleri ile kıyaslayınız.

4. EĞİLME DAYANIMI

4.1. Eğilme Dayanımının Tanımı

Prizmatik çubuk ya da miller eksenlerine dik kuvvetlerle yüklenirlerse, çubuk ya da mil kesitinde kesme kuvveti ve eğilme momenti meydana gelir. Eğilme momenti sonucunda çubuk eğilir. Bununla ilgili dayanıma da eğilme dayanımı denir.



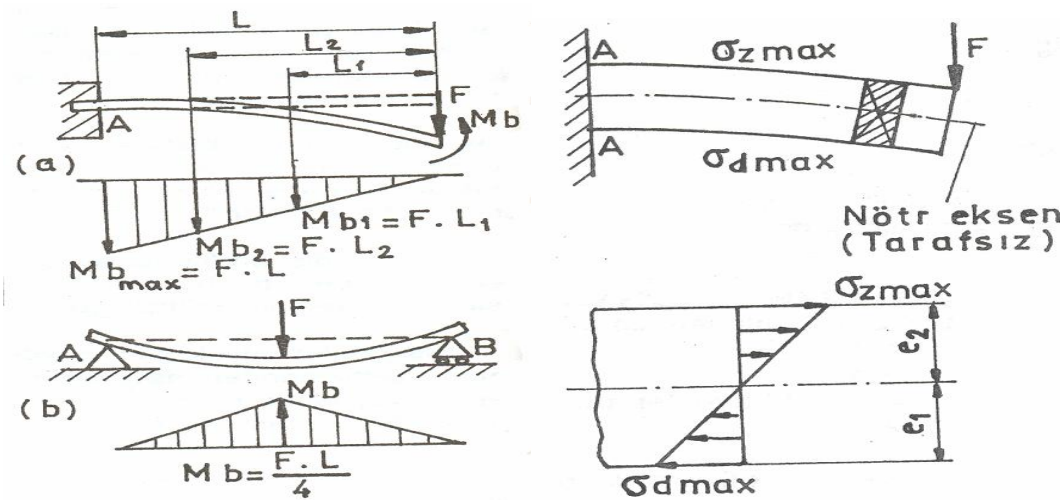
Şekil 4.1: Kesme metodu

4.2. Eğilme Dayanımı ile İlgili Kavramlar

4.2.1. Eğilme Momentinin Tanımı (Mb)

Eksenleri dik olarak yüklenen krişin, eğilerek bir kavis şeklini almasına neden olan momente, eğilme momenti denir. Bir sistemde momentin bulunabilmesi için uygulanan kuvvetin kuvvet kolu ile çarpılması gerekir. Mb = F.L

Ancak, değişik aralıklarla ve birden fazla kuvvetlerle yüklenmiş krişlerde basit eğilme hâli olmadığından, bu krişlerde diyagramlar çizilir. Kritik nokta ve karşısında bulunan max. moment eğilme momenti (Mb) olarak alınır.



Şekil 4.2: Eğilme momenti

4.2.2. Eğilme Geriliminin Tanımı (σ_b)

Eğilen bir krişin dış yüzeyi incelendiğinde, iç kısmındaki liflerin kısaldığı ve burada basılı gerilim (σ_d), dış kısımdaki liflerin uzadığı, burada ise çekme gerilimi (σ_z) meydana geldiği görülür. Bu normal gerilmelerin kesite yayılı hâli, eğilme gerilimini meydana getirir.

$$\sigma_b = \frac{Mb}{W}$$

σ_b = Eğilme gerilimi (daN/ cm^2)

Mb = Eğilme momenti (daN.cm)

W = Kesitin dayanım momenti (cm^3)

Problem

Dikdörtgen kesitli bir ağaç kirişin kesit genişliği 6 cm ve yüksekliği 12 cm ve uzunluğu 80 cm'dir. Bu kiriş 11520 daNcm'lik bir eğilme momenti ile zorlanmaktadır. Bu kirişin eğilme momentini ve kirişe etkiyen kuvveti hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Verilenler

Md=11520 daNcm b=6 cm h=12 cm L=80 cm

İstenenler

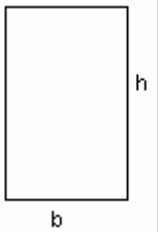
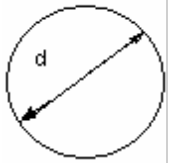
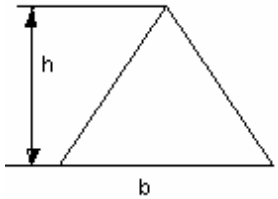
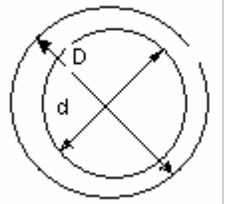
σ_b=? F=?

Eğilme gerilmesini bulabilmemiz için kirişin kesitine göre dayanım momentinin bilinmesi gerekir. Tablo 4.1'de temel şekillerin dayanım ve atalet momentleri verilmiştir. Kirişe uygulanan kuvveti eğilme momentinden bulabiliriz, bildiğimiz gibi moment=kuvvet x kuvvet koludur.

$$W_b = \frac{bh^2}{6} = \frac{6.12^2}{6} = 144 cm^3$$ olarak hesaplanır.

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{11520}{144} = 80 kg/cm^2$$

$$M_b = F.L \Rightarrow F = \frac{M_b}{L} = \frac{11520}{80} = 144 kg$$ olarak bulunur.

Kesitleri	Dayanım Momentleri W= Cm^3	Atalet Momentleri J= Cm^4
	$\frac{a^3}{6}$	$\frac{a^4}{12}$
	$\frac{bh^2}{6}$	$\frac{bh^3}{12}$
	$\frac{d^3}{10}$	$\frac{d^4}{20}$
	$\frac{bh^2}{24}$	$\frac{bh^3}{36}$
	$\frac{D^4 - d^4}{10D}$	$\frac{D^4 - d^4}{20}$

Tablo 4.1 Temel şekillerin dayanım ve atalet momentleri

4.2.3. Dayanım Momentinin Tanımı

Bir ankastre (konsol) kiriş, F kuvveti ile yüklendiğinde, eğilme meydana gelir. Kirişin ağırlık merkezinden geçen eksene, nötr eksen (tarafsız) adı verilir. Bu durumda, tarafsız eksen eğri hâline gelir. Daha önce de bahsedildiği gibi, kirişin üst kısmındaki lifler uzar, alt kısmındaki lifler kısalır. Buradaki gerilmeler en büyük maksimum değerini alır. Hooke kanununa göre; en büyük uzama, en büyük gerilme sınırında meydana gelir.

Kesitin dayanabileceği en büyük moment, eğilme momentidir. (Mb_{max}) . Ancak bu, makine elemanlarının boyutlandırılmasında yeterli olmaz. Boyutlandırma işleminde, dayanım momenti (W) kullanılır.

$$W = \frac{Mb}{\sigma_{em}}$$

Mb = Eğilme momenti(daN. cm)

σ_{em} = Emniyetli gerilme (daN/ cm^2)

Problem

Eğilme momenti 8500 daNcm, emniyetli gerilmesi 120 daN/cm^2 olan kirişin kesiti kare olduğuna göre karenin bir kenarı kaç cm'dir?

Çözüm

Verilenler

Md=8500 daNcm σ_b=120 daN/cm^2

İstenenler

a=?

Burada karenin boyutlandırılması için öncelikle dayanım momenti bulunmalı, dayanım momenti bulunduktan sonra temel şekillerin dayanım momenti hesaplanması formülleri kullanılarak karenin kenar uzunluğu hesaplanır.

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \Rightarrow W_b = \frac{M_b}{\sigma_b} = \frac{8500}{120} = 70{,}8 cm^3$$

$$W_b = \frac{a^3}{6} \Rightarrow a^3 = W_b.6 = 70{,}8.6 = 424{,}8 \Rightarrow a = 7{,}517 cm$$

4.3. Eğilmede Atalet ve Dayanım Momenti

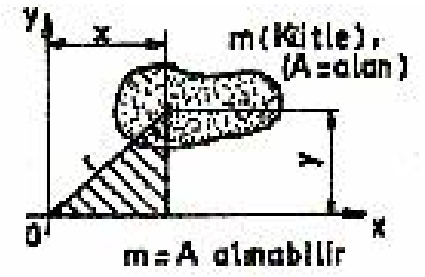
4.3.1. Atalet Momenti

4.3.1.1. Atalet Momentinin Tanımı

Atalet momenti cismin hareketine karşı bir dirençtir. Kütle ya da kesit alanının ağırlık merkezinin kendi düzlemindeki bir eksene uzaklığının karesi ile çarpımıdır.

$I = m.\ d^2$

$I = A.\ d^2$ şeklinde ifade edilirler.

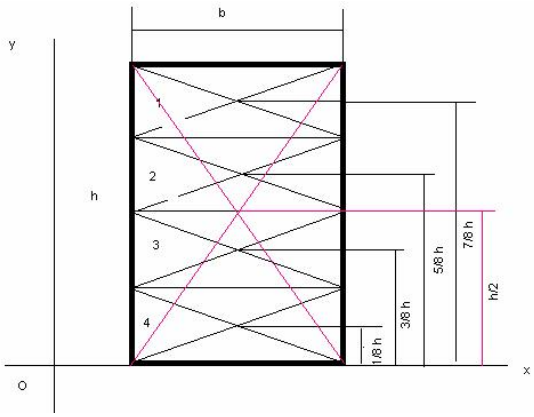


Şekil 4.3: Polar atalet momenti

4.3.1.2. Yüzeylerin Atalet Momentlerinin Bulunması (Taraflı ve Tarafsız Eksenlere Göre)

Pratik metot basit geometrik şekiller, eşit parçalara bölündükten sonra atalet momentleri hesaplanır. Eşit parça işlemlerinin çokluğu, daha doğru sonuca ulaşmamazı sağlar.

Örnek olarak dikdörtgeni ele alalım;



Yukarıdaki dikdörtgenin atalet momenti hesaplanırken dikdörtgenin alanı bulunur ve ağırlık merkezinin eksene uzaklığı ile çarpılarak da atelet momenti bunur.

Burada, d= ağırlık merkezinin eksene uzaklığı b= genişlik h= yükseklik

$$A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = \frac{A}{4}$$ A = b.h (Dikdörtgenin alanı)

$$y_1 = \frac{7}{8}\text{h}, \; y_2 = \frac{5}{8}\text{h}, \; y_3 = \frac{3}{8}\text{h}, \; y_4 = \frac{1}{8}\text{h}$$

$$I_A = A_1 . y_1^2 + A_2 . y_2^2 + A_3 . y_3^2 + A_4 . y_4^2$$

$$I_A = \frac{A}{4} . \left[y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_4^2 \right]$$

$$I_A = \frac{A}{4} \left[\left(\frac{7}{8} h \right)^2 + \left(\frac{5}{8} h \right)^2 + \left(\frac{5}{8} h \right)^2 + \left(\frac{1}{8} h \right)^2 \right]$$

$$I_A = \frac{b.h}{4} \left[\left(\frac{84}{64} \right) . h^2 \right]$$

$$I_A \cong \frac{b.h^3}{3}$$

Dikdörtgenin ağırlık merkezinden geçen eksene göre atalet momentini bulmak için, dikdörtgen I ve II parçalarına ayrılır. Parçaların tabanları x eksenine oturduğu kabul edilirse,

$$I_A = \frac{b.h^3}{3} \qquad I_x = 2.\ \frac{b.h^3}{3}$$

$$I_x = 2.\ \frac{b.\left(\frac{h}{2}\right)^3}{3} = 2.\ \frac{bh^3}{24} = \frac{bh^3}{12}\ cm^4$$

4.3.1.3. Birleşik Yüzeylerin Atalet Momentlerinin Bulunması

$$X_0 = \frac{\sum(AX)}{\sum A}$$

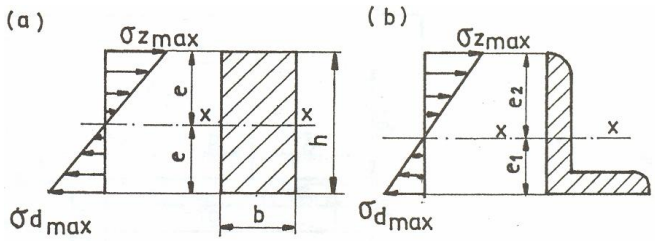
$$Y_0 = \frac{\sum(AY)}{\sum A} = \frac{A_1.y_1 + A_2.y_2}{A_1 + A_2}$$

Ağırlık merkezinden geçen eksene (Tarafsız eksen) göre atalet momenti

$$I_x = \left(I_{A1} + A_1 + d_1^2\right) + \left(I_{A2} + A_2 + d_2^2\right)$$

$$I_x = \frac{b_1.h_1^3}{12} + \left(b_1.h_1\right).d_1^2 + \frac{b_2.h_2^3}{12} + \left(b_2.h_2\right).d_2^2$$

4.3.2. Yüzeylerin Dayanım Momentlerinin Bulunması (Taraflı Ve Tarafsız Eksenlere Göre)



Şekil 4.4: Dayanım momenti

Dayanım momenti; atalet momentinin tarafsız ekseninden (x-x) itibaren kesit yüzeyinin, en üst ya da en alt kenarına olan uzaklığa bölümü ile bulunur. Simetrik kesitlerde, alt ve üst uzaklıklar (e) birbirine eşittir. Dolayısı ile bir dayanım momenti vardır. Simetrik olmayan şekillerde ise, uzaklıklar farklı olduğundan, iki dayanım momenti bulunur.

$$W_1 = \frac{I_x}{e_1} cm^3 \ , \quad W_1 = \frac{I_x}{e_2} cm^3$$ (En büyük değer alınır)

Dayanım momentinin bulunmasında örnek olarak dikdörtgen kesiti incelersek,

$$I_{x-x} = I = \frac{b.h^3}{12}$$

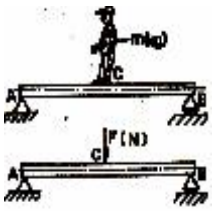
$$W = \frac{I}{e} = \frac{b.h^3}{12} : \frac{h}{2} = \frac{b.h^3}{12} \times \frac{2}{h}$$

$$W = \frac{b.h^2}{6} cm^3$$ (Dikdörtgenin dayanım momenti.

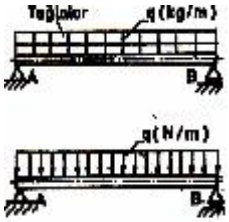
4.4. Eğilmede Yükleme Çeşitleri

4.4.1. Direk ve Tek Noktadan Etki Eden Yükleme

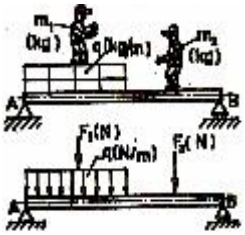
Kirişe eksenine dik şekilde bir noktadan etki eden yüklere, noktasal yük denir. Şekil 4.5'te bir işçinin dikildiği yer (C) nokta olarak kabul edilmiş ve işçinin etkisi noktasal yük olarak tanımlanmıştır (m= daN, F=N).



Şekil 4.5: Nokta yük



Şekil 4.6: Yayılı yük



Şekil 4.7: Karışık yükleme

4.4.2. Sürekli Yükleme

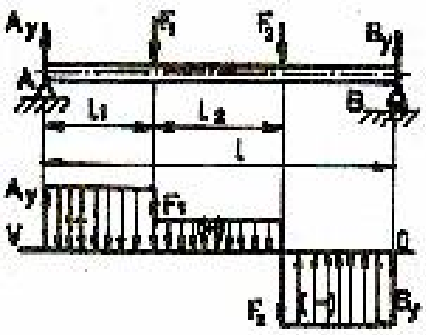
Uzunluğuna ya da bir alana yayılı olan yüklerdir. Bunlara yayılı yük denir. Şekil 4.6' da yayılı yük gösterilmiştir.

4.4.3. Karışık Yükleme

Kirişin üzerinde değişik yerlerinde noktasal ve yayılı yük bulunabilir. Ya da yayılı yük üzerinde bir de noktasal yük birlikte bulunabilir. Bu tür yüklemelere karışık yükleme denir. Bir inşatta yüksek yere malzeme nakleden işçilerin kalas üzerinde meydana getirdikleri yükleme örnek verilebilir. Şekil 4.7'de karışık yükleme gösterilmiştir.

4.5. Eğilmede Diyagram Çizilmesi

4.5.1. Kesme Kuvveti Diyagramının Çizilmesi

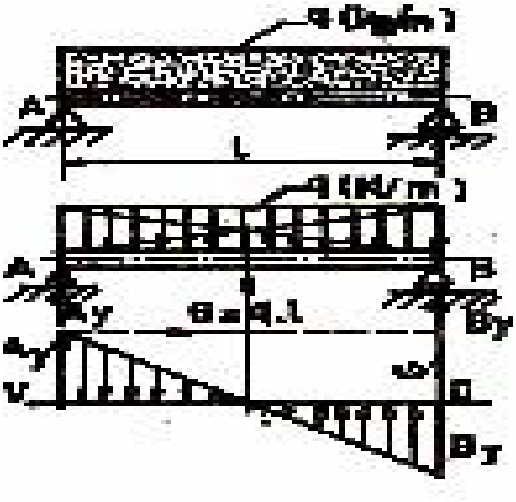


Şekil 4.8: Kesme diyagramı

Noktasal yüklere göre: Diyagram çizimi için önce analitik metotla mesnet tepkileri bulunur. Mesnet tepkilerinin bulunmasında, üç adet denge denkleminden yararlanılır. Bunlar:

$\sum M = 0$, $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, dır . Kiriş üzerindeki kuvvetlerden, düşey konumda ışınlar indirilir. Diyagram alanı çizilebilecek kadar boşluk bırakılarak, kiriş eksenine paralel kesme (V) referans doğrusu çizilir. Sırası ile her kuvvet kendi ışını üzerinde ve ok yönünde referans çizgisine göre işaretlenir.

Örnek olarak şekildeki diyagramı incelediğimizde Ay tepkisi V çizgisinden itibaren kendi ışını üzerinde, şiddeti kadar bir ölçek dâhilinde işaretlenir. Noktasal yüklerde kesme diyagramı, dikdörtgenler şeklindedir. Bu nedenle, Ay okunun ucundan kiriş eksenine paralel bir çizgi çizilir ve F1 ışını kestirilir. Bu noktadan yukarıya bakınca F1'in yönünün aşağıya doğru olduğu görülür. Dolayısı ile F1'in şiddeti kadar, aynı ölçek dâhilinde inilir. (Ay>F1) F1'in ucundan kiriş eksenine paralel tekrar çizgi çizilir. F2 ışınını kestiği noktadan, aynı ölçek dâhilinde F2 şiddeti kadar inilir. (F2 aşağıya bakıyor) F2'nin ucundan kiriş eksenine paralel çizilir ve By ışını kestirilir. Yukarıya bakıldığında, By'nin yönünün yukarıya doğru olduğu görülür. Buna göre, kesim noktasından itibaren yukarıya doğru By'nin şiddeti kadar ve aynı ölçekte çizim yapılır. By okunun ucu, V çizgisinde 0 (Sıfır) oluyorsa, diyagram doğru çizilmiştir sistem dengededir. Aksi hâlde, önceki işlemlerin birinde hata yapılmıştır. Kontrol edilerek sıfırlama işlemi sağlanmalıdır.



Şekil 4.9: Yayılı yük

Yayılı Yüklere Göre:

Mesnet tepkileri:

$$\sum M_A = 0$$

$$q.L.\frac{L}{2} - By.L = 0 \ , \ By = \frac{q.L}{2}(N)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$Ay - q.L + By = 0$$

$$Ay - q.L + \frac{q.L}{2} = 0$$

$$Ay = q.L/2 \quad \text{(N)}$$

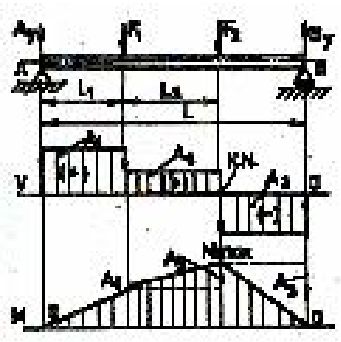
Pratik çizim: Noktasal yükte olduğu gibi, yine kesme referans doğrusu (V) çizilir. Yayılı yük, vektörel kuvvet hâline dönüştürülür. Her kuvvetten V çizgisine düşey ışınlar indirilir. Kesim noktalarından itibaren, kuvvet yönlerinde belli ölçek dâhilinde işaretlemeler yapılarak diyagram çizilir. Şekilde belirtilen yaylı yüklenmiş kirişin diyagramı şu şekilde çizilir. Ay tepkisi, kendi ışını üzerinde V çizgisinden itibaren, yukarıya doğru ölçek dâhilinde çizilir. Yayılı yüklerde kesme diyagramı üçgenler şeklindedir. Bu nedenle Ay'nin ucundan V doğrusuna paralel geçici ince çizgiler çizilir. Bu geçici çizgilerin By ışınını kestiği noktadan (G= q.L) kadar inilir. Bulunan nokta ile Ay'nin ucundaki ilk nokta birleştirilince kesme diyagramı çıkar. Ancak işlem bitmemiştir. Çünkü yukarıya bakınca, en son bulunan noktadan itibaren By kadar çıkılacağı anlaşılır. Bu işlem de yapıldığında, okun ucu V çizgisinde sıfır (O) oluyorsa, diyagram doğru olarak bulunmuştur.

4.5.2. Moment Diyagramının Çizilmesi

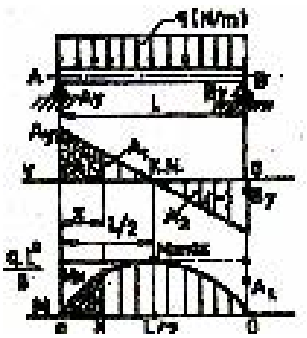
Moment diyagramı, kesme kuvveti diyagramındaki alan değerlerinden faydalanılarak çizilir. Yani, önce kesme kuvveti diyagramı çizme zorunluluğu vardır.

Buna göre; hesaplanan alanlar A1, A2, A3 olsun. V doğrusunun üstündekiler pozitif (+), altındakiler negatif (-) olarak işaretlenir (Şekil 4.10 Moment diyagramı). Kesme diyagramında kullanılan ve her kuvvetten indirilen ışınlar M referans doğrusunda kestirilir.

Moment diyagramında, başlangıç ve bitiş noktaları sıfırdır(O).



Şekil 4.10: Moment diyagramı



Şekil 4.11: Moment diyagramı

Dolayısı ile işaretlemeye, F1 ışını üzerinden başlanır. Her alan, komşu ışın üzerinde işaretlenir. Alanların + ve - olmasına göre, M çizgisinden itibaren aşağıda ve yukarıda işaretlenmesi söz konusudur. Buna göre; A, alanı + olduğundan F1, ışını üzerinde M' den itibaren yukarıda işaretlenir (Şekil 5.10. Moment diyagramı). Bulunan A1, noktasından M doğrusuna paralel olarak geçici bir çizgi çizilir. F_2 den gelen ışını kestiği noktadan, + olduğu için yukarıya doğru A2 kadar çıkılır. Yine bu noktadan geçici olarak M doğrusuna paralel By ışınına kadar bir çizgi çizilir ve kesim noktasından itibaren, A3 alanı - olduğu için aşağıya doğru A3 kadar işaretlenir. Bu nokta M çizgisinde sıfır oluyorsa, diyagram doğru çıkmıştır.

Daha sonra sırası ile 0, A1, A2, A3 (O) noktaları birer doğru ile birleştirilince, taralı olan moment diyagramını verir. Buradaki en büyük mutlak değer de Mmax değerini verir.

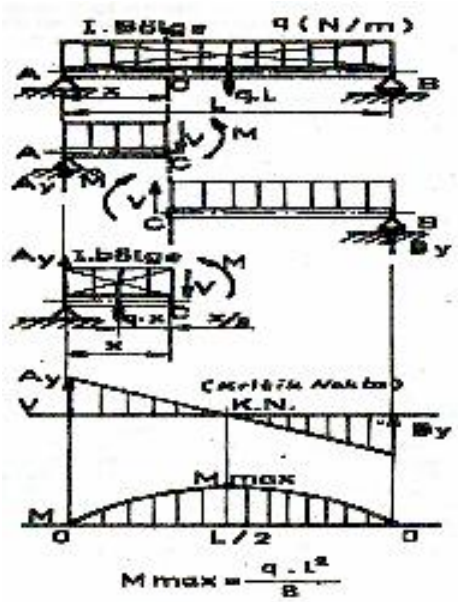
Yayılı yüklere göre:

Pratik metot; (alan metodu)

$$A_1 = \frac{Taban \times Yükseklik}{2} \qquad A_1 = \frac{\frac{L}{2}.A_y}{2} = \frac{q.L^2}{8}$$ Üçgenin alanı

Kesme kuvveti diyagramı her alan, yön işaretine göre, M çizgisinden itibaren işaretlenir. Bulunan noktalar birleştirilince, moment diyagramı parabol şeklinde çıkar. X mesafesindeki alan Mx noktasını verir. Kesme metodu ile: (Denklem kurarak) Mesnet tepkileri bulunur.

$$A_y = B_y = \frac{q.L}{2}$$



Şekil 4.12: Kesme metodu

Bölge sınırları belirlenir ve her bölge içinden, herhangi bir yerinden kesilir (Şekil 5.12 Kesme metodu). Sağdaki parça atılır, soldaki parçanın kesim yerinden itibaren moment denklemi kurulur.

$$\sum_{0}^{L}(M)_1 = A_y.y - q.x.\frac{x}{2} \quad \Rightarrow \quad \sum_{0}^{L}(M)_1 = A_y.y - q.\frac{x^2}{2}$$

Böylece, 1 bölge için moment denklemi yazılmış olur. Denklemde x'e sonsuz değer verilerek sonsuz nokta bulunabilir. Biz anlaşılması amacı ile üç nokta bularak çözüme gideceğiz.

X= 0 için; $A_y.0 - q.\frac{0}{2} = 0$

X= $\frac{L}{2}$ için; $\frac{q.L}{2}.\frac{L}{2} - q.\frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2}{2} = \frac{q.L^2}{8}$

X=L için; $\frac{q.L}{2}.L - q.\frac{(L)^2}{2} = 0$

Problem 1

Aşağıdaki şekilde görülen noktasal yüklenmiş çıkmalı kirişin, kesme kuvveti ve moment diyagramlarını çiziniz?

Çözüm

$$\sum M_A = 0$$

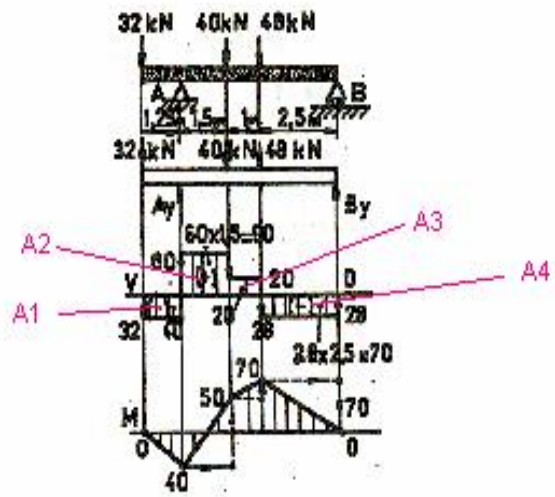
A noktasına göre moment alınır. Her bir kuvvetin A noktasına uzaklığı ile büyüklüğü çarpılır, kuvvetler A noktasını saatin dönüş yönünde döndürmeye zorluyorsa pozitif, saat dönüş yönünün tersi istikametinde dönmeye zorluyorsa negatif olarak alınır ve A nokasındaki toplam moment bütün kuvvetlerin momentlerinin toplamıyla bulunur. Sistem dengede ise toplam moment sıfır olmalıdır.

$$\Sigma M_A = -32.1{,}25 + 1{,}5.40 + 2{,}5.48 - 5.By = 0$$

$$-40+60+120-5.By = 0$$

$$By = \frac{140}{5} = 28kN$$

By bulunduktan sonra Ay'nin bulunması için B noktasına göre momet alınabileceği gibi; sisteme etkiyen düşey kuvvetlerin toplamının sıfır olmasından faydalanabiliriz, bu daha kolay bir yol olduğundan bu yol izlenecektir.



$$\sum F_Y = 0$$

By +Ay -40 – 48 -32 = 0

Ay =32+40 + 48-By = 0

Ay =32+40 + 48- 28 = 0

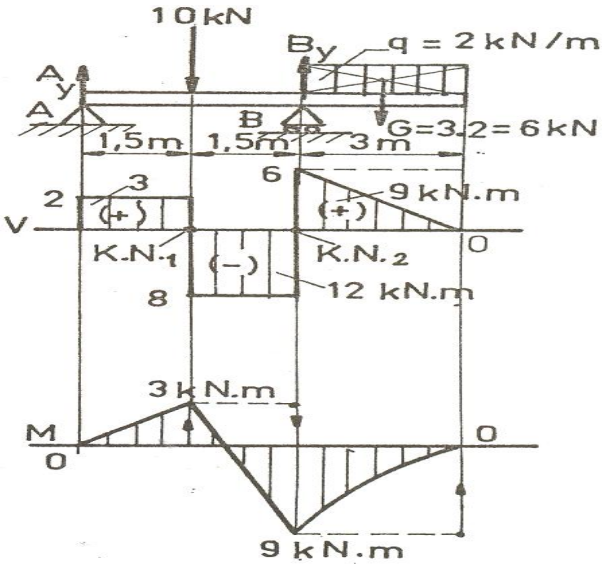
Ay =92 kN

Üstteki şekilde kesme kuvveti ve moment diyagramları çizilmiştir. Kesme kuvveti diyagramını çizmek için Ay ve By kuvvetlerini bulduktan sonra kiriş eksenine paralel çizdiğimiz V doğrusu üzerine 32 kN'lik kuvvette aşağıya ineriz. Ay noktasına kadar yatay gittikten sonra 92 kN yukarı çıkarız. V'ye paralel olarak 40 kN çizgisine kadar yatay gideriz. 40 kN aşağı yönlü olduğu için 40 aşağı ineriz. Yine V'ye paralel olarak 48 kN'nin etkidiği doğruya kadar paralel çizeriz. Bu noktadan 48 kN aşağı ineriz. V'ye paralel olarak By'nin hizasına kadar gideriz. Bulunduğumuz yerden By kadar çıkarız. Eğer değerimiz sıfırlıyorsa yaptığımız iş doğrudur.

Moment diyagramını çizebilmek için kesme kuvveti diyagramındaki alanlar kullanılır. V doğrusunun altındaki alanlar negatif, üstündeki alanlar ise pozitif olarak alınır. 32 kN'lik kuvetin M doğrusunu kestiği noktadan Ay kuvvetinin M noktasını kestiği noktaya kadar gidilir. Buradan A1 alanı kadar aşağı inilir (A1 alanı negatif bölgede). A1=32*1,25= 40 birim karedir. Bittiği noktadan M doğrusuna paralel olarak 40 kN luk kuvvetin uzantısını kesene kadar bir doğru çizilir. Buradan A2 alanı kadar yukarı çıkılır (A2 alanı pozitif bölgede). Bittiği noktadan 48 kN'luk kuvvetin doğrultusu kesilene kadar M doğrusuna paralel çizilir, 48 kN'luk kuvvetin doğrultusunun kesildiği noktadan A3 kadar yukarı çıkılır(A3 alanı pozitif bölgede). Buradan By kuvvetinin doğrultusu kesilinceye kadar M doğrusuna bir paralel çizilir, By'nin uzantısının kesildiği noktadan A4 alanı kadar aşağıya inilir (A4 alanı negatif bölgede). By uzantısında aşağıya doğru çizilen doğru M doğrusunda bitiyorsa diyagram doğrudur ve diyagramın tepe noktası maksimum moment değerini verir. Diyagramda maksimum moment 70 kNm olarak görülmektedir.

Problem 2

Aşağıdaki şekilde değişik kısımlarında noktasal ve yayılı yükler bulunan kiriş görülmektedir. Kesme kuvveti ve moment diyagramlarını çizerek max. momentin değerini hesaplayınız?



Çözüm

Öncelikle mesnet tepkileri bulunur ($\sum M_A = 0$ ve $\sum F_y = 0$ eşitlikleri kullanılarak). Kesme kuvvet diyagramı çizilir. Kesme kuvvet diyagramlarının altında kalan alanlar kullanılarak kesme moment diyagramı çizilir. Önceki örnek incelenmelidir.

Mesnet tepkileri,

$$\sum M_A = 0$$

10.1,5 – 3.By + 4,5.6 =0

$$B_y = \frac{42}{3} = 14kN$$

$$\sum F_y = 0$$

Ay – 10 + By – 6 = 0

Ay – 10 + 14 – 6 = 0

Ay = 2 kN

ve diyagramdan maksimum kesme momenti değeri ve etkileme noktası bulunur.

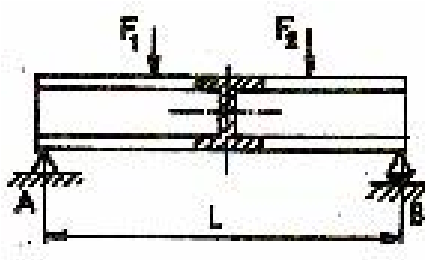
$M_{\max} = 9 kN.m$ ve 3. metrede

4.6. Eğilmeye Zorlanan Makine Elemanları

4.6.1. Kirişlerin Dayanımının Hesaplanması

Kirişin kesme ve moment diyagramı çizilerek, Mmax belirlenir. Bu değer, eğilme momentine (Mb) eşit alınır. Kesit atalet momenti (I), ağırlık merkezinden geçen eksenden itibaren en büyük uzaklığa bölünerek, dayanım momenti (W) bulunur (Şekil 5.13 Kiriş). Formülde yerine konularak kesit ölçüleri belirlenir. Kesite gelen Mmax belli ise, kesit ölçüleri profile ait olan standart çizgilerden de seçilebilir (IPG 300 TS 910/2 Fe 37 gibi).

$$\sigma_{bem} = \frac{M_{\max}}{Wb} = \frac{Mb}{Wb} \text{ daN/} cm^2$$

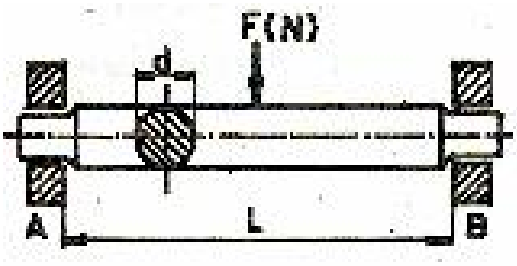


Şekil 4.13: Kiriş dayanımı

4.6.2. Millerin Dayanımının Hesaplanması

Miller eğilmeye çalıştıklarından şu formülle hesaplanırlar. $\sigma_{bem} = \frac{Mb}{Wb}$ burada Mb momenti kesme kuvveti ve moment diyagramından bulunan maksimum moment değerine eşit alınır. İçi dolu millerde $W = \frac{\pi . d^2}{32} cm^3$

$$\sigma_{bem} = \frac{Mb}{\frac{\pi . d^3}{32}} = \frac{Mb.32}{\pi . d^3} \qquad d = \sqrt[3]{\frac{Mb.32}{\sigma_{bem}.\pi}}$$



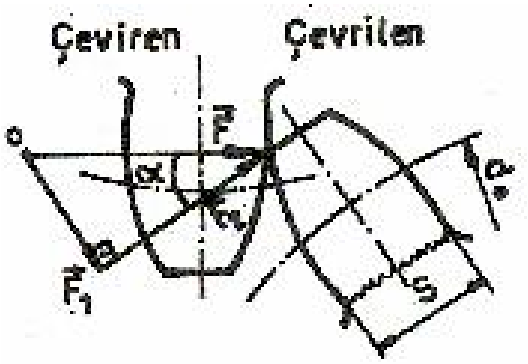
Şekil 4.14: Mil dayanımı

4.6.3. Muyluların Dayanımının Hesaplanması

Millerin yatak içindeki kısmı olan muylular, mile göre farklı çalışırlar. Mil eğilmeye çalışır. Muylu ise; eğilmenin yanında yatak yüzeyini de ezmeye çalışır. Bu durumda, yüzey basıncından dolayı iyi bir yağlama sağlanmazsa, burulma da yaşanabilir. Ancak bu ünitede eğilme problemi ele alınacaktır.

Millerin, muyluların ve kirişlerin dayanımlarının hesaplanabilmesi için gereken atalet momenti kesit alanlarına ve ağırlık merkezlerinin eksene uzaklığına göre bulunur ve eğilme moment değeri ise, kesme kuvvet diyagramı ve moment diyagramından elde edilen maksimum moment değerine eşit kabul edilerek hesaplanmalıdır.

4.6.4. Dişli Çarkların Dayanımının Hesaplanması



Şekil 5.15: Dişli çarklarda dayanım

Dişliler; eğilme, basılma ve kayma gerilimlerine çalışırlar. Kayma gerilimi az olduğundan, hesaplamalarda eğilme ve basılma gerilimleri dikkate alınır. Dişler temasa başladığında en büyük zorlanma, Kuvvet ($\vec{F}$) dişin ucuna etki edince meydana gelir. Dolayısı ile dayanım hesabının bu son duruma göre yapılması gerekir.

Md= 71620. $\frac{N}{n}$ da N.cm (Dişliyi döndürme momenti)

Dişliyi döndüren kuvvet ($\vec{F}$), temas noktasındaki $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerini meydana getirir. Çarkın dişini gerçekten eğmeye çalışan kuvvet F_2 'dir.

F_2 = Cosα .F (α = Kavrama açısı)

F_1 = Sin α .F

Md = F_2 .r (r = $\frac{d_0}{2}$)

Mb = F_2 .h (Diş eğilme momenti)

Eğilme Gerilimi ; $\sigma_{bem} = \frac{Mb}{Wb}$, $Wb = \frac{b.s^2}{6}$

$$\sigma_{bem} = \frac{F_2.h}{\frac{b.s^2}{6}} = \frac{6.Cos\alpha.F.h}{b.s^2}$$

Basılma Gerilimi; $\sigma_d = \frac{F}{A} = \frac{F_1}{b.s} = \frac{F.Sin\alpha}{b.s}$

İki gerilme toplanır, q ve e katsayıları işleme katılır, pay ile paydalar modül (m) ile çarpılır ve gerekli matematiksel düzenlemeler yapılırsa;

$m = \frac{2.Md.q}{b.e.d_0.\sigma_{em}}$, $m = \frac{2.71620.N.q}{b.e.d_0.n.\sigma_{bem}}$ (modül) bulunur.

e = 1, 25□ 1,75

q = Diş sayısına göre form sayısı (Z = 10□ 100 için ; q = 5,2□ 2,45)

PRATİK METOD: Fazla zorlanmayan yerlerde ve düşük devirlerde kullanılan dişlilerde iyi sonuç verir. Bu metot da kullanılan terim ve formüller, aşağıda açıklanmıştır .

$$t = 10.\sqrt[3]{\frac{450.N}{c\psi.Z.n}}$$ t = Adım (cm, mm)

$$V = \frac{\pi.d_0.n}{60.1000}$$ m/sn

m = $\frac{t}{\pi}$ (Modül)

N = Güç (BG)

b = ψ . T

(Diş genişliği cm, mm)

n = Devir sayısı (Devir / dak)

Z = Diş sayısı

ψ = İşletme faktörü (Temiz döküm: 2, Frezelenmiş: 3□ 5)

Malzeme	Çevresel Hız (V) M / S											
	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dökme Demir	27	27	26	23	21	19	18	17	16	14	13	12
Akma Çelik	84	81	78	69	63	57	54	51	48	42	39	36
Fosforlu Bronz	48	46	44	39	36	32	31	29	27	24	22	20

Tablo 4.1: Düz dişliler için direnç faktörleri (C)

Problem

Şekildeki dişli çark 50 bg gücü 1500 d/d'lık bir hızla iletmektedir. Bu dişlinin modülü 3,5, diş boyu 20 mm, diş yüksekliği 7,6 mm ve diş genişliği 5,5 mm ve dişlinin bülüm dairesi çapı 112 mm olduğuna göre dişlere etkiyen F2 kuvvetini ve dişin eğilme gerilimini hesaplayınız.

Çözüm

Verilenler

N=50 BG n=1500 d/d m=3,5 b=20 mm h=7,6 mm

s=5,5 mm

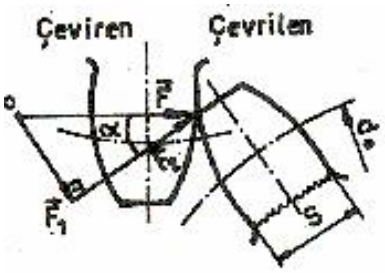
d_0=112 mm ise r=d_0/2=112/2=56 mm

İsteneler

F_2=? $\sigma_e = ?$

F_2 kuvvetinin bulunabilmesi için önce döndürme momenti bulunmalıdır. Döndürme momenti bulunduktan sonra F_2 kuvveti bulunur. Eğilme gerilmesini bulabilmemiz için eğilme momentini bulmamız gereklidir. F_2 ve h kullanılarak M_b eğilme momenti bulunur. Daha sonra dayanım momenti hesaplanır. Eğilme momenti ve dayanım momenti bulunduktan sonra eğilme dayanımı hesaplanır. Şimdi bu işlemleri anlatılan sırayla yapalım:

Not: İşlemler yapılmadan önce birimler de gerekli çevirmeler yapılmalıdır.



$M_d = \frac{71620.N}{n} = \frac{71620.50}{1500} = 2387\,daNcm$ döndürme momentini hesapladık şimdi:

$M_d = F_2.r \Rightarrow F_2 = \frac{M_d}{r} = \frac{2387}{5,6} = 426$ daN M_d yi kullanarak F_2 kuvvetini bulduk.

$M_b = F_2.h = 426.0,76 = 324\,daNcm$ eğilme momentide bulunduktan sonra eğilme gerilimini bulabilmemiz için birde dayanım momentini hesaplamamız gerekiyor;

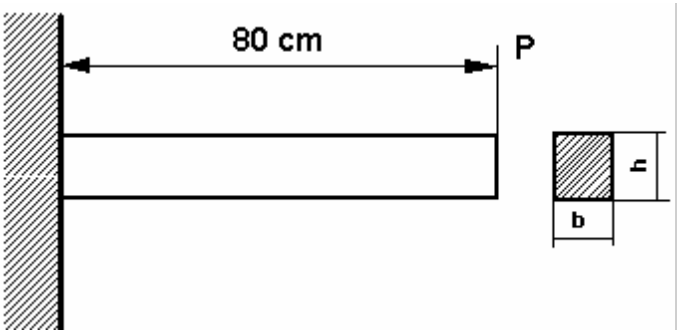
$W_b = \frac{bs^2}{6} = \frac{2.0,55^2}{6} = 1,82\,cm^3$ dayanım mometi de buludu ve son olarak eğilme gerilimi hesaplanır:

$\sigma_e = \frac{M_b}{W_b} = \frac{324}{1,82} = 178,02\,daN/cm^2$ olarak bulunur.

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1

Dikdörtgen kesitli bir ağaç kirişin kesit genişliği 6 cm ve yüksekliği 12 cm'dir. Uygun görülebilecek en büyük gerilme 80 daN/cm^2 olduğuna göre, kirişin taşıyabileceği en büyük eğilme momenti ne kadardır? P kuvveti ne kadar olabilir?



Çözüm 1

Verilenler

B= 6 cm h= 12 cm $\sigma_b = 80$ daN/cm^2 L= 80 cm

İstenenler

M_b=? P= ?

Kesit dikdörtgen olduğundan dayanım momenti

$$W_b = \frac{b.h^2}{6} = \frac{6.12^2}{6} = 144 cm^3$$

Eğilme w gerilmesi

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \Rightarrow 80 = \frac{M_b}{144} \Rightarrow M_b = 11520 \text{ daNcm}$$

$$M_b = P.L \Rightarrow P = \frac{M_b}{L} = \frac{11520}{80} \Rightarrow P = 144 \text{ daN}$$

ÖLÇME VE DEĞELENDİRME

Öğrenme faaliyetinde öğrendiğiniz bilgileri ölçmek için aşağıda verilen objektif testi kendinize uyğulayınız.

1. Eğilmeye zorlanan makine elemanlarından üç tanesini yazınız?
   A) …….
   B) ……
   C) ……

2. Prizmatik çubuklar ya da miller eksenlerine dik kuvvetlerle yüklenirlerse, çubuk ya da mil kesitinde ……. meydana gelir.

3. Yüklendiklerinde eğilmeye çalışan makine elemanlarına …….. denir.

4. Millerin yatak içinde kalan kısımlarına …….. denir .

5. Daire kesitli ve boyca uzun olan makine elemanlarına …….. denir.

6. Uzunluğuna ya da bir alana dağılmış olan yüklere …….. denir.

7. Kiriş üzerinden birden çok noktada yükleme olabilir. Bu yükleme şekline …… denir.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrar inceleyiniz. Bütün sorulara doğru cevap verdiyseniz bir sonraki öğretim faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ–5

AMAÇ

Burulma dayanımının tanımını yaparak, cisimlere uygulanan burulma dayanım şekillerini ve burulma dayanımıyla ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

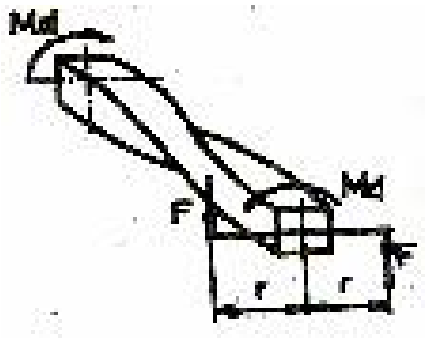
ARAŞTIRMA

Atölyenizde veya çevrenizde burulma dayanımına maruz kalan makine elemanlarını tespit ederek, cisimlere bu dayanımın ne şekilde geldiğini araştırınız. Bu dayanımın makine elemanları üzerindeki etkilerini gözlemleyerek, diğer dayanım şekilleri ile kıyaslayınız.

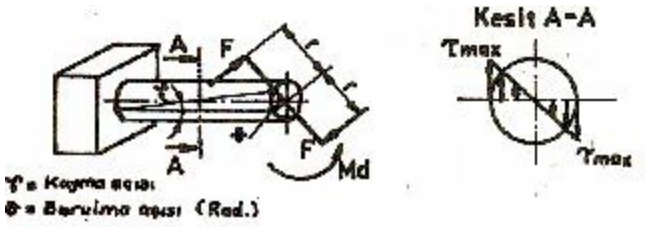
5. BURULMA DAYANIMI

5.1. Burulma Dayanımının Tanımı

Bir ucundan sabitlenmiş prizmatik ya da silindirik bir çubuk, ekseni doğrultusunda dik bir düzlemde etki yapan kuvvet çifti ile diğer ucundan döndürmeye zorlanırsa döndürme momenti (Md) meydana gelir. Pratikte buna, "Tork" denir (Şekil 6.1. Burulma).



Şekil 5.1: Burulma



Şekil 5.2: Burulma dayanımı

Çubuk kesitinin, ekseni etrafında dönmesine “Burulma” ve meydana gelen dayanımı da “Burulma Dayanımı” denir.

5.2. Burulma Momentinin Bulunması

Burulma momenti (Md): (Şekil 5.1 ve 5.2. Burulma momenti)

Md = 2.F.r (N.m, daN.cm) Md = Döndürme momenti (daN.cm)

Md = 71620. $\frac{N}{n}$ N = İletilen güç (BG)

n = Devir sayısı (Devir/dakika)

5.3. Polar Atalet ve Dayanım Momentinin Bulunması

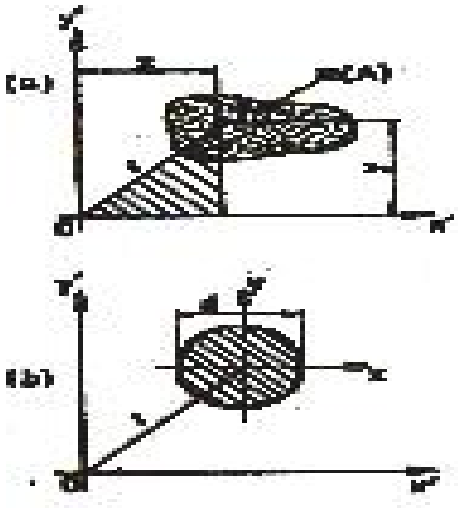
$I_p = I_x + I_y$ (Polar atalet momenti)

Dairenin Polar Atalet Momenti :

$$I_p = \frac{\pi.d^4}{64} + \frac{\pi.d^4}{64} = 2.\frac{\pi.d^4}{64} = \frac{\pi.d^4}{32}$$

Dairenin Polar Dayanım Momenti :

$$W_p = \frac{I_p}{d/2} = \frac{\pi.d^4}{32} \times \frac{2}{d} = \frac{\pi.d^3}{16}\, cm^3$$



Şekil 5.3: Polar atalet momenti

5.4. Millerin Burulma Dayanımının Bulunması

$$\tau_{\max} = \frac{Md}{Wp}$$

Md = Döndürme Momenti (daN.cm)

$$\tau_{\max} = \frac{Md}{\frac{\pi.d^3}{16}}$$

$\tau_{\max}$ = Max kayma (Burulma gerilmesi) daN/ cm^2

Wp = Polar dayanım momenti (cm^3)

$$\tau_{\max} = \frac{Md}{\frac{\pi.d^3}{16}} \quad , \quad d = \sqrt[3]{\frac{Md.16}{\pi.\tau_{em}}}$$

(mm, cm) $\tau_{\max} = \tau_{em}$

$$\theta = \frac{Md.L}{G.Ip}$$

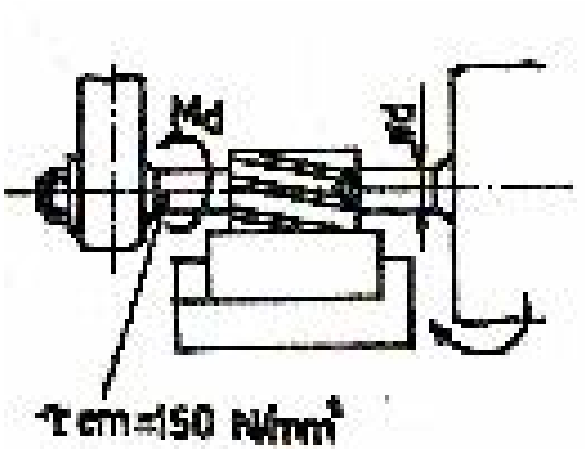
θ = Burulma açısı (Radyan)

G = Kayma modülü (daN/ cm^4),

Ip = Polar atalet momenti (cm^4)

Problem

Aşağıda görülen freze tezgâhının mili, emniyetli burulma (kayma) gerilmesi 150 N/mm^2 olup, 20 BG ile zorlanmaktadır. 200 devir/dakika ile dönen bu milin, emniyetli çapını bulunuz?



Çözüm

Verilenler

N = 20 BG n = 200 devir /dakika $\tau_{em} = 150\,N/mm^2 = 1500\,daN/cm^2$

İstenenler:

$\varnothing d = ?$

Bu problemde, önce döndürme momenti bulunur ve döndürme momenti ile burulma geriliminden faydalanarak dayanım momenti hesaplanır. Dayanım momentinden çap bulunur.

Döndürme Momenti (Md) :

$$Md = 71620.\frac{N}{n} \Rightarrow Md = 71620.\frac{20}{200} \Rightarrow \text{Md = 7162 daN. cm}$$

Emniyetli kayma gerilmesi:

$$\tau_{\max} = \frac{Md}{Wp} \le \tau_{em} \quad , \quad Wp = \frac{7162}{1500} = 4,77\,cm^3$$

Emniyetli Mil çapı $\varnothing d$:

$$Wp = \frac{\pi . d^3}{16}, \qquad d = \sqrt[3]{\frac{Wp.16}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4,77.16}{3,14}} = 2,9 \text{ cm}$$

Ya da direkt çap formülü de uygulanabilir.

$$d = \sqrt[3]{\frac{Md.16}{\pi . \tau_{em}}}$$ bu formülde değerler yerlerine konursa d=2,9 cm çıkar.

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1

Bir ucu ankastre olan bir çubuğun serbest ucuna 200 daN'lık kuvvet uygulanmaktadır. İlgili kuvvetin moment kolu 40 cm olup güvenli kayma gerilmesi $\tau_g = 800 kg/cm^2$ verildiğine göre çubuk çapını bulunuz?

Çözüm

Verilenler

$\tau_g = 800 kg/cm^2$ L = 40 cm F = 200 daN

İstenenler

d = ?

Bu problemde öncelikle döndürme momenti kuvvet ve kuvvet kolundan faydanılarak bulunur. Daha sonra kayma gerilmesi genel formülünden dayanım momenti bulunur. Dayanım momenti formülünden çap bulunur.

M_t=F.L=200x40=8000 daN cm

$$\tau_g = \frac{M_t}{W_p} \Rightarrow W_p = \frac{M_t}{\tau_g} = \frac{8000}{800} = 10 cm^3$$

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16} \Rightarrow d^3 = \frac{16 W_p}{\pi} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{16 W_p}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{16.10}{3,14}} = 3,7 cm$$

Problem 2

Çapı 8 cm olan bir milin güvenli kayma gerilmesi 1200 daN/cm^2 ve devir sayısı dakikada 200 olduğuna göre bu mile uygulanan gücü bulunuz?

Çözüm

Verilenler

d =8 cm $\tau_g = 1200 kg/cm^2$ n=200 d/d

İstenenler

N = ?

Kayma gerilmesi formülünden döndürme momenti hesaplanır. Döndürme momentinin genel formülünden milin ilettiği güç bulunur.

$$M_t = \tau_g . W_p = 1200.0,2.d^3 = 1200.0,2.8^3 = 122880 kgcm$$

$$M_t = 71620 \frac{N}{n} \Rightarrow N = \frac{M_t n}{71620} = \frac{122880.200}{71620} = 343,14 \text{ BG}$$

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki boşluklara size uygun gelen cevapları yazarak doldurunuz.

1. Dairesel kesitler, döndürme momenti uygulanınca , yine şekilleri …….. kalır.
2. Kesit alanı üzerinde alınan doğru çizgiler, burulma sonucunda yine …… olarak kalır.
3. Bir ucundan sabitlenmiş prizmatik ya da silindirik bir çubuk ekseni doğrultusunda dik bir düzlemde etki yapan kuvvet çifti ile diğer ucundan döndürmeye zorlanırsa ……... meydana gelir.
4. Gerilmeler merkezden dış yüzeye doğru ……..

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrar inceleyiniz. Bütün sorulara doğru cevap verdiyseniz bir sonraki öğretim faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ- 6

AMAÇ

Burkulma dayanımının tanımını yaparak, cisimlere uygulanan burkulma dayanım şekillerini ve burkulma dayanımıyla ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

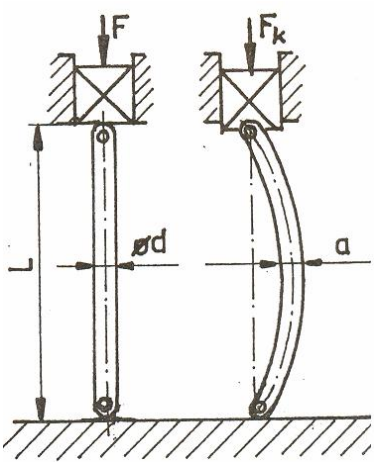
ARAŞTIRMA

Atölyenizde veya çevrenizde burkulma dayanımına maruz kalan makine elemanlarını tespit ederek, cisimlere bu dayanımın ne şekilde geldiğini araştırınız. Bu dayanımın makine elemanları üzerindeki etkilerini gözlemleyerek, diğer dayanım şekilleri ile kıyaslayınız.

6. BURKULMA DAYANIMI

6.1. Burkulma Dayanımının Tanımı

Basılma dayanımında incelenen çubukların, boyları kısa ve kesit alanları büyüktü. Burkulma dayanımında ise, ele alınan çubukların boyları, kesit alanlarına göre çok büyük olurlar.Kesit alanları küçük, boyları uzun çubuklara, "Narin Çubuk" denir (Şekil 6.1'de narin çubuk). Narin çubuklar eksenleri doğrultusunda yüklendiklerinde (F), bir eksenel sapma (a) yaparlar. Bu olaya "Burkulma", burkulmaya başlama sınırında meydana gelen maximum dayanıma da "Burkulma Dayanımı" denir.



Şekil 6.1: Narin çubuk

6.2. Burkulma Olayı ile İlgili Temel Kavramlar

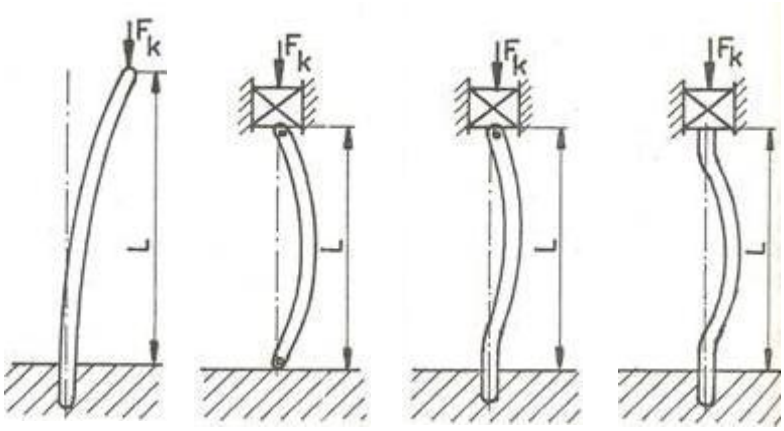
6.2.1. Kritik Yük (F_k)

Şekil 6.1'deki narin çubuğun ağırlığı ihmal edilsin. Başlangıçta, küçük bir F kuvveti uygulanmaya başlanırsa, eksenel sapma görülemeyecek kadar az olur. Kuvvetin artırılması sonunda bir yaylanma hareketi, devamında eğilme ve bir süre sonra da kırılma meydana gelir. Bu olaya "Burkulma=flambaj", burada tam kırılma sınırında etki kuvvetine de kritik yük (F_k) adı verilir.

6.2.2. Burkulma Boyu (Flambaj Boyu) (L_k)

Burkulma uzunluğu; çubuğun etkilendiği kritik yük belliyken, kesit alanı da göz önüne alınarak tespit edilen çubuk uzunluğudur. Şekil 6.2'de görülen çubuk, bir ucu mafsallı, diğer ucu dayatılmış olduğundan, L_k = L alınır.

Bu durumda çubuğun konumuna göre, L_k değerlerinin değiştiği anlaşılır. Şekil 6.2'de dört konuma göre burkulmaya çalışan çubuklar verilmiştir.



L_K = 2.L	L_K = L	L_K = 0,707.L	L_K = L/2
Bir ucu ankastre diğer ucu serbest	İki ucuda serbest ya da mafsallı	Bir ucu ankastre diğer ucu mafsallı	İki ucu da ankastre

Şekil 6.2: Burkulma şekilleri

6.2.3. Elastiklik Modülü (E)

Malzemelerin elastiklik modülü olan (E) , Hooke kanunundan açıklanmıştı. Örnek olarak en çok karşılaştığımız malzeme olan çeliğin elastiklik modülü, E = $2{,}1 \times 10^6$ daN/ cm^2 dir.

6.2.4. Narinlik Derecesi (λ)

Narinlik derecesi λ = lamda; burkulma dayanımında, çubukların kesit boyları ve uzunluğu ile ilgili bir büyüklüktür.

Önce jirasyon çapını bilmek gerekir. (r_j)

$$r_j^2 = \frac{I}{A}, \qquad r_j = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

I = Atalet momenti (cm^4)

A = Kesit alanı (cm^2)

Daha sonra çubuk uzunluğunun jirasyon yarıçapına bölünmesinden narinlik derecesi (λ) bulunur.

$$\lambda = \frac{L_k}{r_j}$$

L_k = Çubuğun burkulma (Flambaj) boyu (cm, mm)

r_j = Jirasyon yarıçapı (cm, mm)

6.3. Burkulma Gerilmesinin Hesaplanmasında Kullanılan Metotlar

6.3.1. Euler (Oyler) Metodu

Euler metodu dolayısı ile formülü, Hooke kanunun geçerli olduğu elastik bölgenin altındaki durumlarda geçerlidir. Buna göre Euler formülü;

F_k = Kritik yük, kuvvet (N)

$$F_k = \frac{\pi^2 . E . I_{\min}}{L_k^2}$$

E = Elastiklik modülü (daN/ cm^2)

I_{min} = En küçük atalet momenti (cm^4)

L_k = Çubuk flambaj boyu (cm)

Kritik yükün kesit alanına bölümü bize kritik burkulma gerilmesini verir. (σ_k)

$$\sigma_k = \frac{F_k}{A} = \frac{\pi^2 . E . I_{min}}{L_k^2 . A}, \qquad \sigma_k = \frac{\pi^2 . E . I_{min}}{L_k^2 . A} \qquad r_j^2 = \frac{I}{A} \Rightarrow I = r_j^2 . A$$

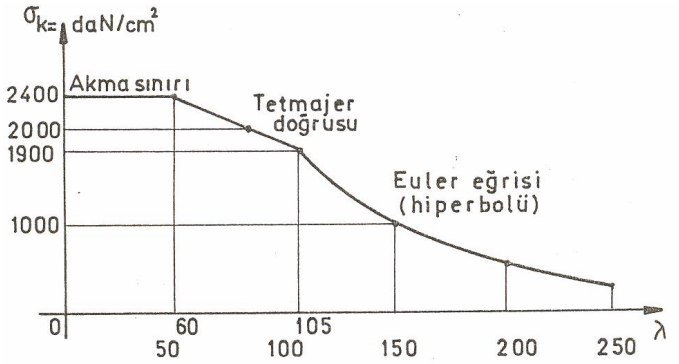
formülde yerine konulur çıkan değerde $\lambda = \frac{L_k}{r_j}$ formülüne uygulanırsa, şu değer bulunur;

$$\lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 . E}{\sigma_k}} \qquad \lambda = \text{Narinlik derecesi}$$

Elastik sınırının altında bile tehlike olabilir. Bu nedenle elastik sınırının hemen altındaki orantı sınırına göre hesaplar yapmak daha sağlıklı olur, böylece narinlik değeri bulunmuş olur. ($F_k = \sigma_0$) $\lambda_{sın} = \sqrt{\frac{\pi^2 . E}{\sigma_0}}$ σ_0 = Orantı sınırı burkulma gerilimi (daN / cm^2)

6.3.2. Tetmajer (Tetmayer) Metodu

Euler formülünün uygulanamadığı, orantı sınırı ile akma sınırları arasında yüklemelerde çubuklar, Tetmajer metodu ile hesaplanırlar (Şekil 6.3. Burkulma bölgeleri).



Şekil 6.3: Burkulma bölgeleri

Bu bölge, plastik şekil değişimi verdiğinden euler formülü uygulanamadığı gibi, basılma gerilmesinin de uygulanması doğru olmaz.

Tetmajer, çeşitli deneylerle yaklaşık formüller geliştirmiştir. Bu formüller gevrek malzemelerde daha iyi sonuçlar vermiştir. Çeşitli malzemelere göre bu değerler değişir (Tablo 6.1. Narinlik dereceleri ve kritik gerilmeler).

Malzeme Cinsi	Basılma Gerilmesi	Tetmajere Göre Hesap	Euler Göre	Tetmajere Göre Kritik Gerilmeler
Ahşap (Çam)	$\lambda \leq 1,8$	$1,8<\lambda<100$	$\lambda \geq 100$	$\sigma_K=293-1,94.\lambda$
Dökme Demir	$\lambda \leq 5$	$5<\lambda<80$	$\lambda \geq 80$	$\sigma_K=7760-120.\lambda+0,53.\lambda^2$
Fe 37	$\lambda \leq 10$	$10<\lambda<105$	$\lambda \geq 105$	$\sigma_K=3100-11,4.\lambda$
Fe 52	$\lambda \leq 10$	$10<\lambda<90$	$\lambda \geq 90$	$\sigma_K=3350-6,2.\lambda$

Tablo 6.1: Narinlik dereceleri ve kritik gerilmeler

6.3.3. Omega (ω) Metodu

Euler metodu orantı sınırı ve Tetmajer metodu da orantı sınırı ile akma sınırı arasında uygulanıyordu. Büyük vinç ve köprü ayakları gibi maksimum kuvvetlerle zorlanan ve emniyetli çalışılması gereken yerlerde, akma sınırı ve üzerinde gerilmeler meydana gelir. Bu tür problemler direkt olarak çözülemez; deneyler yapılarak kontrol edilip sonuca gidilir.

Çubukların emniyetli basılma gerilmesi, deneysel yol ile bulunan burkulma katsayısına (W) bölünerek güvenli (emniyetli) burkulma (Flambaj) gerilmeleri hesaplanır. Buna Omega Metodu adı verilir.

$$\sigma_{kem} = \frac{\sigma_{dem}}{\omega}, \qquad F_{kem} = \sigma_{kem}.A$$

(ω) çarpımı şeklindeki formül ;

$F_k.\omega \leq \sigma_{em}$ kontrol yapılarak çubuk kesitinin uygunluğu araştırılır.

Burada (A) ve (ω) değerleri bilinmiyor. Ancak, kesit alanının (A) geometrik şekli ve büyüklüğü belli olursa, narinlik derecesi bulunur ve sonrada (ω) elde edilir.

Boyut değerleri değiştirilerek, emniyetli gerilme bulununcaya kadar araştırılır.

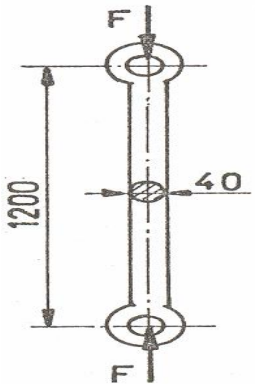
Tablo 6.2'de bazı malzemelerin (ω) katsayıları verilmiştir.

$\lambda \Rightarrow$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Malzemeler					ω Değerleri					
Ahşap	1,07	1,15	1,25	1,36	1,50	1,67	1,87	2,14	2,50	3,00
Dökme Demir	1,01	1,05	1,11	1,22	1,39	1,67	2,21	3,50	4,43	5,45
Fe 37	1,01	1,04	1,08	1,14	1,21	1,30	1,41	1,55	1,71	1,90
Fe 52	1,01	1,06	1,11	1,19	1,28	1,41	1,58	1,79	2,05	2,53
$\lambda \Rightarrow$	110	120	130	140	160	180	200	220	240	250
Malzemeler					ω Değerleri					
Ahşap	3,73	4,55	5,48	6,51	9,81	11,80	15,20	19,17	23,73	26,25
Dökme Demir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe 37	2,11	2,43	2,85	3,31	4,32	5,47	6,75	8,17	9,73	10,55
Fe 52	3,06	3,65	4,28	4,96	6,48	8,21	10,13	12,26	14,59	15,83

Tablo 6.2: ω Katsayıları

Problem

Şekilde görülen çubuğun iki ucuda mafsallı olup boyu 1200 mm ve çapı 40 mm'dir. Elastiklik modülü E= $2{,}1.10^6$ daN/cm^2 ve EKS=3 olduğuna göre, çubuğun taşıyabileceği emniyetli burkulma kuvveti nedir?



Çözüm

Verilenler

L_k = 1200 mm = 120 cm (L_k = L) d = 40 mm = 4 cm E = $2{,}1.10^6$ daN/cm^2
EKS = 3

İstenenler

$F_{kem} = ?$

Bu problemde, öncelikle jirasyon yarı çapı bulunur. Daha sonra narinlik derecesi hesaplanır. Emniyetli burulma kuvveti hesaplanmasında hangi yöntemin kullanılacağının belirlenmesi için, elde edilen narinlik derecesi sınır değeri olan 105 ile karşılaştırılır. 105'ten büyükse euler yöntemi kullanılır. Küçükse tetmajer yöntemi kullanılır.

$$r_j^2 = \frac{I}{A}, \qquad r_j = \sqrt{\frac{\pi.d^4}{64} : \frac{\pi.d^2}{4}} = \sqrt{\frac{d^2}{4^2}}$$

$$r_j = \frac{d}{4} = \frac{4}{4} = 1 \text{ cm}, \qquad \lambda = \frac{L_k}{r_j} = \frac{120}{1} = 120$$

λ >105 olduğu için, Euler formülü uygulanabilir.

$$F_k = \frac{\pi^2.E.I}{Lk^2} = \frac{3{,}14^2.2{,}1.10^6.3{,}14.4^4/64}{120^2} = \frac{2{,}6.10^8}{14400} \cong 18060\,daN$$

$$F_k \cong 18060\,daN$$

$$F_{kem} = \frac{F_k}{E.K.S.} = \frac{18060}{3} = 6020\,daN = 60200\,N$$

UYGULAMA FAALİYETİ

Problem 1

1.4 cm çapında dairesel kesitli iki ucu mafsallı bir çubuğun boyu 1 metredir. Narinlik derecesini bulunuz.

Çözüm 1

Verilenler

d= 1,4 cm L= 1 m

İstenenler

$\lambda = ?$

Dairenin kesit alanı $F = \frac{\pi d^2}{4}$

Dairenin atalet momenti $I = \frac{d^4}{20}$

$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14\, x 4^2}{4} = 12{,}56 cm^2$ F= 12,56 cm^2

$I = \frac{d^4}{20} = \frac{4^4}{20} = 12{,}8 cm^4 \Rightarrow I = 12{,}8 cm^4$

Konum 2 (L_k=L)

$\lambda = \sqrt{\frac{FL^2{}_k}{I}} = \sqrt{\frac{12{,}56\, x 100^2}{12{,}8}} = \sqrt{9812{,}5} \Rightarrow \lambda = 99{,}1$ olur.

Problem 2

Bir kolonun güvenli basılma dayanımı σ = 800 daN/cm^2 dir. Çapı 6 cm olan bu kolonun boyu ne olmalıdır ki burkulmaya uğramasın?

Kolonun bir ucu ankastre olup güvenlik katsayısı E.K.S = 5'dir. Problem çözümünde Euler (Oyler) formülü kullanınız. E= 2,1.10^6 daN/cm^2 alınacaktır.

Çözüm 2

Verilenler

$\sigma_g = 800$ daN/cm^2 d= 6 cm E.K.S = 5 E= 2,1.10^6 daN/cm^2

İstenenler

L= ?

$$I = \frac{d^4}{20} = \frac{6^4}{20} \Rightarrow I = 64{,}8 \text{ cm}^4$$

$$F = A\sigma_g \Rightarrow F = \frac{\pi d^2}{4}.800 \Rightarrow F = \frac{3{,}14.6^2}{4}.800 \Rightarrow P = 22608 \text{ daN}$$

$$F = \frac{\pi^2.E.I}{4.L^2 EKS} \Rightarrow 22608 = \frac{3{,}14^2.2{,}1.10^6.64{,}8}{4.L^2.5} \Rightarrow 452160.L^2 = 1341{,}69.10^6$$

$$L^2 = 2967{,}3 \Rightarrow L = \sqrt{2967{,}3} \Rightarrow L \cong 54{,}5\,cm$$

ÖLÇEME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki boşluklara size uygun gelen cevapları yazarak doldurunuz.

1. Kesit alanları küçük, boyları uzun olan çubuklara …… denir.
2. Narin çubuklar eksenleri doğrultusunda yüklendiklerinde, bir eksenel sapma meydana gelir. Bu olaya ……. denir.
3. Burkulma gerilmesinin hesaplanmasında ……. metotları kullanılır.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrar inceleyiniz. Bütün sorulara doğru cevap verdiyseniz bir sonraki öğretim faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ– 7

AMAÇ

Birleşik dayanımının tanımını yaparak, cisimlere uygulanan birleşik dayanım kuvvetlerini ve birleşik dayanımıyla ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

Atölyenizde veya çevrenizde burkulma dayanımına maruz kalan makine elemanlarını tespit ederek, cisimlere bu dayanımın ne şekilde geldiğini araştırınız. Bu dayanımın makine elemanları üzerindeki etkilerini gözlemleyerek, diğer dayanım şekilleri ile kıyaslayınız.

7. BİRLEŞİK DAYANIM

7.1. Birleşik Dayanımın Tanımı

Makine elemanlarının çalışmaları sırasında dayanımlı olmaları esastır. Bir dayanım şekline göre hesaplanmış makine elemanının, çalışma süresince hep aynı yüklemede kalması gerekir. Ancak, makine elemanları çalışırken, genellikle iki ya da daha fazla dayanım şekilleri ile karşılaşırlar. Bu durumda, yalnız bir dayanım şekline göre hesaplanmış makine elemanı, yeteri kadar dayanımlı olmaz. Makine elemanları üzerinde, aynı anda birkaç dayanım şeklinin bir arada olmasından meydana gelen dayanıma, “Birleşik Dayanım” denir.

Biz bu bölümde; çekme - basma ve eğilmeye, eğilme - burulmaya zorlanan makine elemanlarının birleşik dayanım hesaplarını ele alacağız.

7.2. Makine Parçalarında Birleşik Dayanımın Hesaplanması

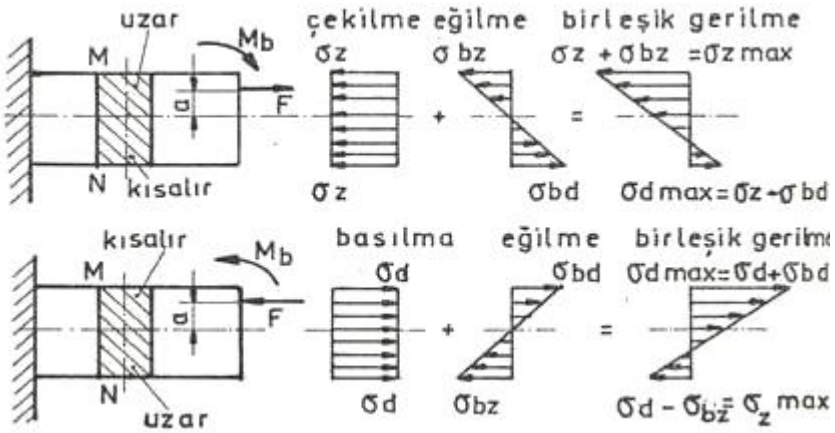
7.2.1. Çekme-Basma ve Eğilmeye Zorlanan Makine Elemanlarının Toplam Geriliminin Hesaplanması

Bir çubuk, Şekil 7.1’de görüldüğü gibi, eksenine paralel ve a kadar uzaklıkta bir F kuvveti ile zorlanmaktadır. Eksantrik adı verilen bu kuvvet çubuğa, bir kuvvet çifti şeklinde etki yapar. Bu durumda çubuk, dış kuvvetin etki yönüne göre çekme ya da basma ile birlikte eğilmeye çalışır. Bu birleşik dayanım durumu, basit dayanım şekillerine indirgenir. Çubuk,

yalnız çekme ya da basmaya çalışıyormuş gibi düşünülür. Her iki durumda da, çubuk kesit alanında normal gerilmeler oluşur. Normal gerilmeler, kesit alanına eşit dağılmış ve aynı yönlüdür. Ancak çekme ya da basma şekline göre, çözümlerde genellikle tepki yönleri esas alındığından, buna göre değişebilmektedir.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$ σ = Normal gerilme (daN/ cm^2)

F = Dış kuvvet (N), A = Kesit alanı (cm^2)



Şekil 7.1: Birleşik dayanım

Çubuk eksenine paralel ve a kadar uzaklıktaki kuwet (F), eğilme momentini (Mb) meydana getirir. Mb= F.a (daN. cm)

Eğilme yönüne göre çubuğun, bir tarafında uzama, bir tarafında kısalma meydana gelir. Eğilmeden oluşan ve uzamaya neden olan çekme gerilmeleri + pozitif, basılma gerilmeleri de - negatif işaretlidirler. Şekil 7.1'deki diyagramda da tarafsız eksenden itibaren, farklı yönlerde gösterilirler (σ_{bz}, σ_{bd}). Ayrıca, burada kesilme gerilmeleri de meydana gelir. Ancak bunlar küçük değerde olduklarından, dikkate alınmazlar.

Çubuğa normal kuvvet ile eğilmenin birlikte etki etmesinden meydana gelen toplam gerilme;

$$\sigma = \frac{F}{A}$$ ile $$\sigma_b = \frac{Mb}{Wb}$$ toplanır .

$$\sigma_{top} = \frac{F}{A} + \frac{Mb}{Wb} (daN/cm^2)$$

Şekil 7.1'deki kesitin M noktasındaki normal gerilme;

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A} + \frac{Mb}{Wb} (daN/cm^2)$$

Kesitin N noktasındaki gerilme;

$$\sigma_{d\max} = \frac{F}{A} - \frac{Mb}{Wb} (daN/cm^2) \text{ (Max basılma)}$$

Ayrıca, kontrol ve kesit ölçülerinin belirlenmesi için $\sigma_{\max}$ bulunup, $\sigma_{\max} \leq \sigma_{em}$ şartı sağlandıktan sonra işlem yapılmalıdır. Formüllerden de anlaşıldığı gibi, ikinci terimin önündeki + ve - işaretleri; F kuvveti, dolayısı ile Mb momentinin işaretlerine bağlıdır.

Eğilme yönüne göre $\sigma_{\max}$ değerleri değişebilmektedir.

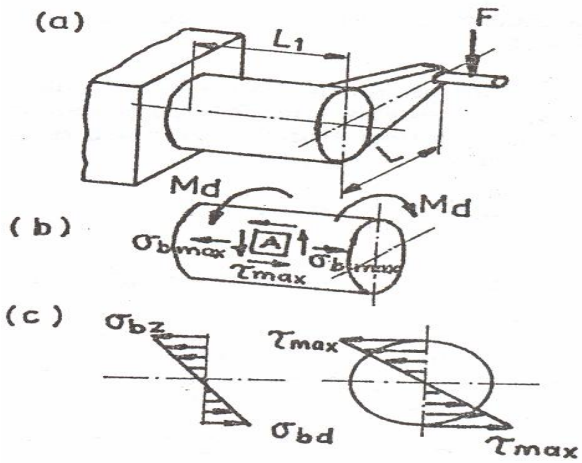
Yukarıdaki formüllerin yanısıra, ayrıca Şekil 7.1'deki gibi diyagramlar çizilir ve bunlara göre işlemler yapılırsa hata olmaz.

7.2.2. Eğilme ve Burulmaya Zorlanan Makine Elemanlarının Toplam Geriliminin Hesaplanması

Miller, muylular ve krank milleri gibi makine elemanları güç ve hareket ilettiklerinden, burulma ile birlikte eğilmeye de zorlanırlar.

Eğilme momenti ile burulma momentinin birlikte bulunması durumuna "Burulmalı Eğilme" denir. Teknik alanda; talaş kaldırma, civata sıkma vb. işlemlerde de aynı durum yaşanır.

Şekil 7.2'de bir mil, serbest ucundan eksantrik bir kuvvetle döndürülmeye zorlanıyor. Burada, burulma momenti ve eğilme momenti birlikte meydana gelmiştir. Kesme kuvveti ise ihmal edilmiştir.



Şekil 7.2: Eğilmeli burulma

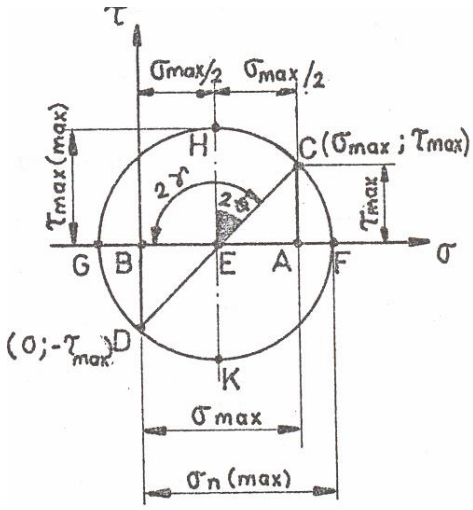
Md = F. L (Burulma momenti)

$$\sigma_{b\max} = \frac{Mb}{Wb} \text{ (Normal Gerilme)}$$

$$\tau_{\max} = \frac{Md}{Wb} \text{ (Kayma Gerilmesi)}$$

Eğilme sonucu oluşan $\sigma_{b\max}$ ve burulmadan dolayı meydana gelen kayma gerilmesi $\tau_{\max}$ milin dış yüzeyinde meydana çıkar (Şekil 7.2-b Eğilmeli burulma). Bu iki gerilmenin toplamı, maksimum gerilme bileşkesini verir.

Şekil 7.2-a'ya göre en tehlikeli kesit, ankastre dayanağının en üst ve en altında meydana gelir. Bu tehlikeli kesitin dış kısmından alınan A yüzey elamanının Mohr dairesi üzerinde incelenmesi, formül çıkışlarında ve anlaşılmasında kolaylık sağlar (Şekil 8.3 Mohr dairesi).



Şekil 7.3: Mohr dairesi

Mohr dairesini çizmek için, σ_{max} ve τ_{max} değerleri gözönüne alınır. Bir x ekseni üzerinde ölçekli olarak σ_{max} işaretlenir. Elde edilen A ve B noktalarından itibaren τ_{max} ve (-) τ_{max} değerleri işaretlenir. Bulunan D ve C noktaları birleştirilirse Mohr dairesinin merkezi (E) bulunur. EC yançaplı daire çizilerek, Mohr dairesi elde edilir.

Dayanım esaslarına göre, en büyük gerilmeler dikkate alınır. Şekil 7.3 incelenirse; BF gerilmesinin BA gerilmesinden, EH gerilmesinin de AC gerilmesinden büyük olduğu anlaşılır. Bunlara göre, milin boyutlandırılmasında büyük gerilmeler işleme konulur.

BF=BE+EF= $\sigma_{n\max}$

Ef=EC= $\sqrt{\left(\frac{\sigma_{\max}}{2}\right)^2 + \tau_{\max}^2}$ (Dik üçgen bağıntısı)

$$\sigma_{n\max} = \frac{\sigma_{\max}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\max}}{2}\right)^2 + \tau_{\max}^2}$$

$$\sigma_{n\min} = \frac{\sigma_{\max}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\max}}{2}\right)^2 + \tau_{\max}^2}$$

$$EC = \tau_{\max}(\max)\sqrt{\left(\frac{\sigma_{\max}}{2}\right)^2 + \tau_{\max}^2}$$

$$\tau_{\max} = \frac{Md}{Wp}, \qquad Wp = \frac{\pi.d^3}{16}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{Mb}{Wb}, \qquad Wb = \frac{\pi.d^3}{32}$$

Bu değerler, yukarıdaki formülde yerlerine konulursa;

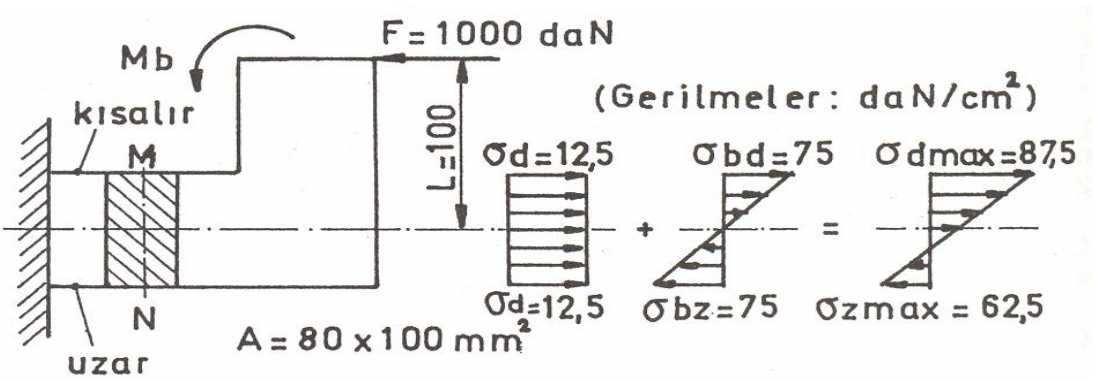
$$\sigma_{n\max} = \frac{16}{\pi.d^3}\left(Mb + \sqrt{Mb^2 + Md^2}\right)$$

$$\tau_{\max}(\max) = \frac{16}{\pi.d^3}\sqrt{Mb^2 + Md^2}$$

Ayrıca, $\sigma_{n\max} \leq \sigma_{em}$ ve $\tau_{\max(\max)} \leq \tau em$ sağlanmalıdır.

Problem

Aşağıda görülen parka L şeklindedir. Bir ucundan ankastre edilmiş ve diğer serbest ucundan F= 1000 daN kuvvetle basılma yönünde zorlanmaktadır. En tehlikeli kesitte meydana gelen max gerilmeleri bulunuz?



Çözüm

F = 1000 daN

Mb= F.L=1000.10=10.000 daN.cm

A = 80 $\times$ 100 mm^2 =8 $\times$ 10 cm^2

$$Wb = \frac{b.h^2}{6} = \frac{8.10^2}{6} = 133,3 cm^3$$

$$\sigma_{z\max} = -\frac{F}{A} + \frac{Mb}{Wb} = -\frac{1000}{80} + \frac{10000}{133,3} = -12,5 + 75 = +62,5 daN/cm^2$$

$$\sigma_{d\max} = -\frac{F}{A} - \frac{Mb}{Wb} = -\frac{1000}{80} - \frac{10000}{133,3} = -12,5 - 75 = -87,5 daN/cm^2$$

Yukardaki şekilden faydalanılarak çözümleme yapılır ve kontrole gidilir. Böylece problem kontrol edilmiş olur. Şekil 8.2 Birleşik dayanım diyagramlarından, b şekli ile çözüme gidilir. Diyagramlarda mutlak değerler esas alınır. İşaretler gözönüne alınmaz.

$$\sigma_{d\max} = \sigma_d + \sigma_{bd} = 12,5 + 75 = 87,5 daN/cm^2$$

UYGULAMA FAALİYETİ

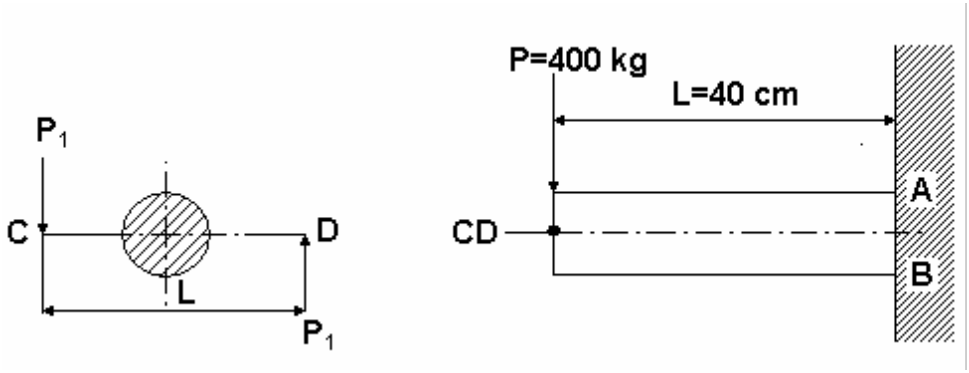
Problem 1

Bir ucu ankastre olan çubuğun serbest ucuna 400 daN bindirilmiş olup eğilme burulma etkisi oluşturulmuştur. En büyük normal gerilme ve en büyük kayma gerilmesini hesaplayınız?

Çözüm 1

Verilenler

P= 400 daN P_1 =200 daN Çubuk boyu L=40 cm Çubuk çapı d=8 cm Mt=P.L



İstenenler

$\tau_{max} = ?$

P kuvveti çubuğu eğilmeye zorlar.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_b}{W_b} + \frac{P.L}{\frac{\pi d^3}{32}} = \frac{400.40}{\frac{d^3}{10}} = \frac{16000.10}{8^3} = \frac{160000}{512} \Rightarrow$$ A ve B noktalarında $\sigma_{\max}$ =31,25 daN/cm^2 olur.

Çekilme basılma gerilmeleri

$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{W_t} = \frac{P.L}{\frac{\pi d^3}{16}} = \frac{200.40}{0,2.d^3} = \frac{8000}{0,2.8^3} = \frac{8000}{0,2.512} = \frac{8000}{102,4} \Rightarrow \tau_{\max} = 102,43$$

daN/cm^2 (en dış lifte oluşur)

En büyük normal gerilme

$$\sigma_{n\max} = \frac{\sigma_{\max}}{2} + \sqrt{\frac{(\sigma_{\max})^2}{2} + (\tau_{\max})^2} = \frac{32,25}{2} + \sqrt{\frac{(31,25)^2}{2} + (102,43)^2} \Rightarrow$$

$$\sigma_{n\max} = 15,625 + \sqrt{\frac{(31,25)^2}{2} + (102,43)^2} = 15,625 + \sqrt{244,14 + 10491,9} \Rightarrow$$

$$\sigma_{\max} = 15,625 + \sqrt{10736} = 15,625 + 103,6 \Rightarrow \sigma_{\max} = 119,22 \text{ daN/cm}^2$$

En büyük kayma gerilmesi $\tau_{\max} = 103,6 - 15,625 \Rightarrow \tau_{\max} = 87,925$ daN/cm^2 olur.

Problem 2

8 mm kalınlığındaki gereçler, bindirme kaynak konumunda birleştirilip, 6400 daN'lık kuvvet birleştirme alanına uygulanırsa kaynak uzunluğu ne kadar olmalıdır. τ = 957 daN/cm^2

Çözüm 2

Verilenler

k= 8 mm P= 6400 daN τ = 957 daN/cm^2

İstenenler:

L= ?

$$\tau = \frac{P}{0{,}707.K.L} \Rightarrow 957 = \frac{6400}{0{,}707.0{,}8.L} \Rightarrow 6400 = 541{,}27.L \Rightarrow L = \frac{6400}{541{,}27}$$

L=11,82 cm

Sacın her iki tarafında yapılacak kaynak boyu toplam kaynağın yarısı olduğundan

$$\frac{11{,}82}{2} = 5{,}91 \text{ cm}$$

Problem 3

12 mm kalınlığında 80 mm uzunluğunda gereçler, bindirme kaynak konumunda birleştirildiğine göre uygulanabilecek kuvvet kaç daN olabilir? (τ = 957 daN/cm^2)

Çözüm 3

Verilenler

K= 12 mm L= 80 mm= $\frac{80}{2} = 40mm = 4cm$ (τ = 957 daN/cm^2)

İstenenler:

P=?

$$\tau = \frac{P}{0{,}707 .K.L} \Rightarrow 957 = \frac{P}{0{,}707 .1{,}2.4} \Rightarrow P = 3247{,}6 \text{ daN/cm}^2$$

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki boşluklara size uygun gelen cevapları yazarak doldurunuz.

1. Makine elemanları üzerinde, aynı anda birkaç dayanım şeklinin bir arada olmasından meydana gelen dayanıma …….. denir.

2. Makine elemanlarına uygulanan dayanım şekilleri ……dayanımlarıdır.

3. Eğilme momenti ile burulma momentinin birlikte bulunması durumuna …….. denir.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarı ile karşılaştırınız. Doğru cevap sayınızı belirleyerek kendinizi değerlendiriniz. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt yaşadığınız sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrar inceleyiniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

Performans Testi (Yeterlik Ölçme)

Modül ile kazandığınız yeterliği aşağıdaki kriterlere göre değerlendiriniz.

Değerlendirme Kriterleri			
A – Basılma Dayanımı		Evet	Hayır
1	Emniyet kat sayısı ve emniyetli gerilme ile ilgili hesapları yaptınız mı?		
2	Direk yüklere göre basılma dayanımını hesapladınız mı?		
3	Dolaylı yüklere göre basılma dayanımı hesaplarını hesapladınız mı?		
B-Çekilme Dayanımı		Evet	Hayır
1	Çubukların çekme gerilimini hesapladınız mı?		
2	Zincirlerin çekme gerilimini hesapladınız mı?		
3	Halatların çekme gerilimlerini hesapladınız mı?		
4	Civataların çekme gerilimlerini hesapladınız mı?		
C-Kesilme Dayanımı		Evet	Hayır
1	Civataların kesilme dayanımlarını hesapladınız mı?		
2	Perçinlerin kesilme dayanımlarını hesapladınız mı?		
3	Kamaların kesilme dayanımlarını hesapladınız mı?		
4	Pimlerin kesilme dayanımlarını hesapladınız mı?		
5	Sacların kesilme dayanımlarını hesapladınız mı?		
D-Eğilme Dayanımı		Evet	Hayır
1	Yüzeylerin atalet momentlerini hesapladınız mı?		
2	Birleşik yüzeylerin atalet momentlerini hesapladınız mı?		
3	Yüzeylerin dayanım momentlerini hesapladınız mı?		
4	Kesme kuvveti diyagramını çizdiniz mi?		
5	Moment diyagramını çizdiniz mi?		
6	Kirişlerin dayanımını hesapladınız mı?		
7	Millerin dayanımını hesapladınız mı?		
8	Muyluların dayanımını hesapladınız mı?		
9	Dişli çarkların dayanımını hesapladınız mı?		
E-Burulma Dayanımı		Evet	Hayır
1	Burulma momentini hesapladınız mı?		
2	Polar atalet ve dayanım momentini hesapladınız mı?		
3	Millerin burulma dayanımlarını hesapladınız mı?		
F-Burkulma Dayanımı		Evet	Hayır

1	Euler (oyler) metodu ile burkulma gerilmesini hesapladınız mı?		
2	Tetmajer (Tetmayer) metodu ile burkulma gerilmesini hesapladınız mı?		
3	Omega metodu ile burkulma gerilmesini hesapladınız mı?		
G-Birleşik Dayanım		Evet	Hayır
1	Çekme-Basma ve eğilmeye zorlanan makine elemanlarında toplam gerilimi hesapladınız mı?		
2	Eğilme ve burulmaya zorlanan makine elemanlarında toplam gerilimi hesapladınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Yaptığınız değerlendirme sonucunda eksikleriniz varsa öğrenme faaliyetlerini tekrarlayınız.

Modülü tamamladınız, tebrik ederiz. Öğretmeniniz size çeşitli ölçme araçları uygulayacaktır. Öğretmeninizle iletişime geçiniz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ- 1 CEVAP ANAHTARI

1	B
2	D
3	D
4	B
5	B
6	A
7	C
8	D
9	C

ÖĞRENME FAALİYETİ- 2 CEVAP ANAHTARI

1	B
2	D
3	C
4	D
5	A

ÖĞRENME FAALİYETİ -3 CEVAP ANAHTARI

1	D
2	B
3	D
4	B

ÖĞRENME FAALİYETİ - 4 CEVAP ANAHTARI

1	Kirişler, miller, muylular
2	Kesme kuvveti ve eğilme momenti
3	Kiriş
4	Muylu
5	Mil
6	Yayılı yük
7	Karışık yükleme

ÖĞRENME FAALİYETİ -5 CEVAP ANAHTARI

1	Dairesel
2	Doğru Çizgi
3	Döndürme momenti
4	Artar

ÖĞRENME FAALİYETİ -6 CEVAP ANAHTARI

1	Narin çubuk
2	Burkulma
3	Euler, Tetmajer, Omega

ÖĞRENME FAALİYETİ -7 CEVAP ANAHTARI

1	Birleşik Dayanım
2	Basma, kesilme, eğilme, burulma, çekilme,
3	Burulmalı eğilme

Cevaplarınızı cevap anahtarları ile karşılaştırarak kendinizi değerlendiriniz. Bütün cevaplarınız doğru ise bir sonraki modüle geçmek için ilgililerle irtibata geçiniz.

KAYNAKÇA

- YANIK Abdullah, Cisimlerin Dayanımı Ders Notları, İstanbul, 2006.
- DURKAL Dursun, Cisimlerin Dayanımı, M.E. B, Ankara, 2001.
- NEBİLER İbrahim, Cisimlerin Dayanımı, Manisa, 1999.
- KARTAL Faruk, Çimentepe