

STRAIN-GAGE (STRENGEÇ) ÖLÇÜMLERİ
Doç. Dr. Okan ÖZDEMİR, Araş. Gör. Berkan ÇAY

! LÜTFEN DİKKAT!

- 1) DENEY FÖYÜNÜN TAMAMI **DENEYE GELMEDEN ÖNCE** OKUNMALIDIR...
- 2) DENEY FÖYÜYLE BİRLİKTE DENEYE KATILIM ZORUNLUDUR...
- 3) DENEYDE YAPILACAK ÖLÇÜMLERİ HER ÖĞRENCİ BİREYSEL OLARAK NOT ETMELİDİR...
- 4) RAPORLARIN **TESLİM SÜRESİ 1 HAFTADIR, GECİKMELİ RAPORLAR DEĞERLENDİRME DISİDİR...**

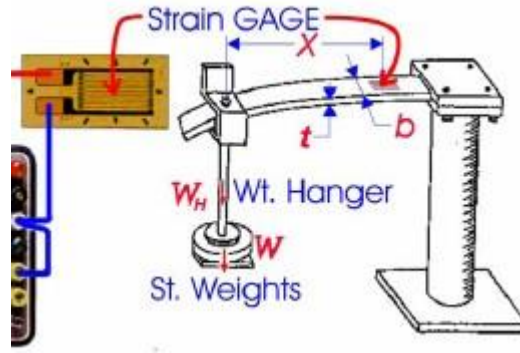
BAŞARILAR...

STRAIN-GAGE (STRENGEÇ) ÖLÇÜMLERİ

Doç. Dr. Okan ÖZDEMİR, Araş. Gör. Berkan ÇAY

1. DENEYİN AMACI

Ankastre olarak mesnetlenmiş bir malzeme üzerine yapıştırılmış olan strengaçler yardımı ile, Şekil 1’de gösterilen çökme metodunu kullanarak, malzemenin elastisite modülü (E) ve poisson oranı (ν) gibi karakteristik özellikleri belirlenebilecektir. Ayrıca malzeme üzerinde değişik noktadaki gerilme değerlerinin nasıl tespit edilebileceği yapılacak deneyler vasıtası ile öğrenilecektir. Makina konstrüksiyonunda önemli bir faktör olan ve malzeme üzerinde bulunan bir çentik ve/veya delik etrafındaki gerilme yığılma katsayısı (k) değerleri de yine yapılacak deneylerden tespit edilebilecektir.



Şekil 1. Ankastre bir kirişte çökme metodu kullanılarak birim deformasyon ölçümü

2. TANIMLAMALAR

Strain-Gage (Strengaç): Türkçeye şekil değiştirme (birim deformasyon) ölçer olarak çevrilmiştir, şekil değiştirme pulu olarak da adlandırılır. Üzerine yapıştırıldığı yüzeyde meydana gelen şekil değiştirmeyi ölçmek için kullanılır. Şekil değiştirme, cisim üzerine yük uygulandığında, birim uzunlukta meydana gelen deformasyon miktarı olarak adlandırılır. Başlangıç uzunluğundaki toplam deformasyonun, başlangıç uzunluğuna bölünmesi ile hesaplanır. Temel olarak tüm strain-gage’ler mekanik hareketi elektronik sinyale çevirmek için tasarlanmışlardır. Strain-gage mekanik şekil değiştirmenin fonksiyonu olarak değişen bir dirence sahiptir. Dirençteki değişim ohm-metre birimi cinsinden ölçülebildiği halde, birim uzama ölçüm cihazları, direnç değişimini voltaj birimine çevirir. Giriş şekil değiştirmesi ile çıkış voltajı arasındaki ilişki, sistem hassasiyetinin saptanmasında kullanılabilir.

Bir parça telin elektriksel direnci, telin boyu ile doğru orantılı ve kesit alanı ile ters orantılıdır. Şekil değiştirme ölçümü için, strain-gage yapının üzerine yapıştırılır. Direnç kesit alanı

ve/veya uzunluğa bağlı olarak değişir. Dirençteki bu değişim strain indikatör yardımı ile ölçülür.

Her bir strain gage, üretici firma tarafından belirlenmiş olan şekil değiştirme ile direnç arasında uygunluğu sağlayan ve gage faktörü denilen, hassasiyet faktörüne sahiptir.

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L}$$

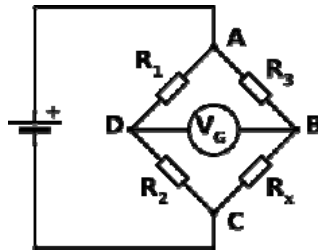
Burada; R : Strain gage'in deforme olmadan önceki direnci,

ΔR : Şekil değiştirme nedeniyle strain gage üzerinde oluşan direnç değişimi,

$\frac{\Delta L}{L} = \varepsilon$: Şekil değiştirme (Birim deformasyon), olarak adlandırılmaktadır.

Metalik strain gage'ler için gage faktörü genel olarak 2 civarındadır.

Wheatstone Köprüsü: Strain gage indikatörleri genellikle, Wheatstone köprü devresi formunda elektriksel olarak bağlı dört strain gage elemanı şeklinde kullanılır (Şekil 2). Wheatstone köprüsü, statik veya dinamik elektriksel direnç ölçmek için kullanılan bir köprü devresidir. Şekil 2'deki devrede, R_x ölçülmek istenen dirençtir. R_1 , R_2 ve R_3 direnci bilinen rezistanslardır ve R_2 direnci ayarlanabilir. Eğer bilinen iki koldaki iki direncin oranı (R_2 / R_1) bilinmeyen iki koldaki direncin oranına (R_x / R_3) eşitse, o zaman iki orta nokta (B ve D) arasındaki voltaj sıfır olacaktır ve V_g galvanometresinden hiç akım geçmeyecektir. Bu koşula ulaşana kadar R_2 değişir. Bu noktaya ulaşıldığında, kesinlik en üst seviyeye ulaşır. Bu yüzden, eğer R_1 , R_2 ve R_3 yüksek kesinlikli olarak biliniyorsa, o zaman R_x 'de yüksek kesinlikle ölçülebilir. R_x direncindeki çok küçük değişiklikler bile dengeyi bozar ve kolaylıkla saptanır.

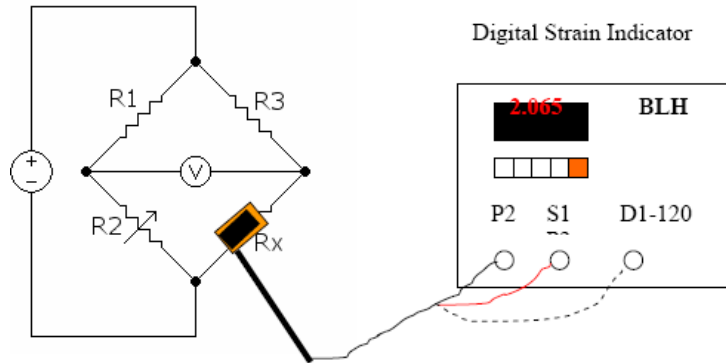


Şekil 2. R_x strain gage'li tipik Wheatstone köprü diyagramı

Strain gage Wheatstone köprüsü genellikle, sabit rezistans sayısına karşılık aktif strain gage elemanı sayısına bakılarak tanımlanır. Çeşitli yaygın konfigürasyonlar ve bunlar arasındaki ilişki Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Wheatstone Köprüsü

Köprü Tipi	Aktif Rezistans Elemanları	Hassasiyet Sabitleme Rezistansları	Genel Uygulamalar
Çeyrek Köprü (Quarter Bridge)	R_1	R_2, R_3, R_4	Kullanımı daha kolaydır. Malzeme karşılaştırması gerektirir.
Yarım Köprü (Half Bridge)	R_1, R_3	R_2, R_4	İstenmeyen ısıl etkilerin veya eğilme etkilerinin iptal edileceği durumlar.
Tam Köprü (Full Bridge)	R_1, R_2, R_3, R_4	-	Arttırılmış hassasiyet.



Şekil 3. Örnek bir Wheatstone köprü bağlantısı

Elastisite Modülü (E): Malzemenin dayanımının (mukavemetinin) ölçüsüdür. Birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup birim uzama başına gerilme olarak tanımlanır. Birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişki şöyle tanımlanabilir:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Malzemeye kuvvet uygulandığında, malzemede meydana gelen uzamalar elastik sınırlar içinde gerilmelerle orantılıdır. Buna “*Hooke Kanunu*” adı verilmektedir. Elastisite modülü malzemeye ait karakteristik bir özelliktir.

Poisson Oranı (ν): Malzemedeki enine birim deformasyonun boyuna birim deformasyona oranı “*Poisson oranı*” olarak ifade edilmektedir.

$$\nu = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \text{ olup burada; } \varepsilon_2, \text{ enine birim deformasyon ve } \varepsilon_1 \text{ ise boyuna birim deformasyon}$$

olarak adlandırılmaktadır.

Gerilme Yığılma Katsayısı (k): Eksenel kuvvet uygulanan çubukta delik ve/veya çentik varsa aşağıdaki özellikler bilinmelidir;

- a) Çentik ve/veya deliğin olduğu kesitte artık gerilme, üniform yayılmaz. Çentik dibinde maksimum değerini alır, uzaklaştıkça azalır.
- b) Çentik ve/veya delik olan bölge etrafında üç eksenli gerilme meydana gelir.

Çentik ve/veya delik dibindeki maksimum gerilmelerin üniform gerilmeye oranı “*Gerilme Yığılma Katsayısı*” (k) olarak tanımlanır. Pratikte en çok 1,5–3,2 arasında yer değişmektedir.

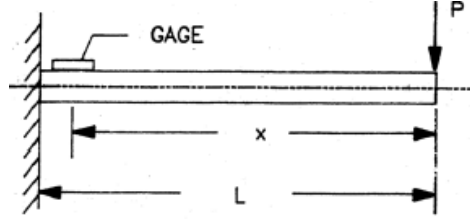
σ_1 , σ_2 ve σ_3 delik veya çentik etrafındaki gerilmeler ve σ_4 malzeme üzerindeki üniform gerilme olmak üzere, delik veya çentik etrafındaki gerilme yığılma katsayıları;

$$k_1 = \frac{\sigma_1}{\sigma_4}, k_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_4} \text{ ve } k_3 = \frac{\sigma_3}{\sigma_4} \text{ şeklinde bulunmaktadır.}$$

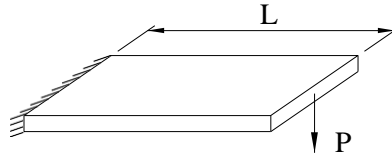
3. DENEYİN ÖNEMİ VE KULLANILDIĞI ALANLAR

Böyle bir deney düzeneği, yük etkisi altında, makina elemanları üzerindeki değişik noktalardan gerilme değerlerinin tespit edilmesi amacı ile ve makina elemanı üzerinde bulunan delik etrafındaki gerilme yığılma katsayılarının belirlenmesinde kullanılabilir. Ayrıca, elimizde strain gage olmadığı durumlarda ise, çökme metodu yardımı ile bir malzemenin elastisite modülünü (E) belirleme amacı ile de kullanılabilir. Ancak bu durumda deney standartlarına uygun numune çıkarmak gerekmektedir.

4. TEORİK BİLGİ



Strain Gage olmadan elastisite modülünün belirlenmesi:



Ankastre mesnetlenmiş bir kirişin ucunda meydana gelen maksimum deplasman;

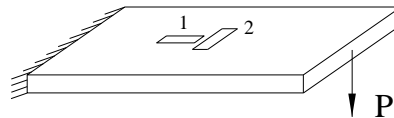
$$y_{\max} = \frac{P.L^3}{3EI} \text{ dir.} \quad (1)$$

Dikdörtgen kesite sahip bir kiriş için atalet momenti;

$$I = \frac{b.h^3}{12} \text{ dir.} \quad (2)$$

Eğer uyguladığımız P kuvvetinin değerini biliyorsak, kiriş ucunda meydana gelen maksimum deplasmanı mikrometre ile ölçüp, (1) numaralı denklem vasıtası ile kirişe ait elastisite modülünü tespit edebiliriz.

Strain Gage yardımı ile elastisite modülü ve poisson oranının belirlenmesi:



Eğilmeden dolayı meydana gelen gerilme;

$$\sigma = \frac{M.c}{I} \text{ ve} \quad (3)$$

P kuvvetinden dolayı meydana gelen eğilme momenti;

$$M = P.x \text{ dir.} \quad (4)$$

Hooke Kanunu'na göre;

$$\sigma = E.\varepsilon_1 \text{ dir.} \quad (5)$$

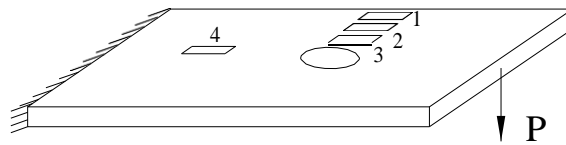
Değişik P kuvvetleri etkisi altında strain gage'ler üzerinden, strain indikatör yardımı ile, boyuna yöndeki strain (ε_1) değerleri okunur. Gerilme değerleri de (3) ve (4) denklemleri ile bulunduktan sonra elde edilen değerlerin tümü (5) denkleminde yerine konularak elastisite modülü (E) değeri hesaplanır.

Poisson oranını tespit etmek için enine yöndeki strain değerleri (ε_2) de strain indikatör yardımı ile tespit edilir.

$$\nu = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (6)$$

Elde edilen boyuna ve enine yöndeki strain değerlerinden (6) denklemi yardımı ile poisson oranı tespit edilir.

Strain Gage yardımı ile delik etrafındaki gerilme yığılma katsayılarının belirlenmesi



Öncelikle strain gage'ler üzerinden değerleri tespit edilecektir. Daha sonra (4) denklemi yardımı ile eğilme momenti değerleri ve (3) denklemi yardımı ile de eğilme momentinden kaynaklanan gerilme değerleri belirlenecektir. Hooke Kanunu'ndan (5) her bir noktadaki gerilme değerleri ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$) bulunacaktır.

$$k_1 = \frac{\sigma_1}{\sigma_4} \quad k_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_4} \quad k_3 = \frac{\sigma_3}{\sigma_4} \quad (7)$$

Delik etrafında meydana gelen gerilme yığılma katsayısı değerleri yukarıda verilen (7) denklemi yardımı ile tespit edilebilecektir.

5. CİHAZ VE APARATLAR

Ankastre kiriş aparatı



Şekil 4. Ankastre kiriş aparatı

Aparatın bir ucu kirişin ankastre mesnetlenebilmesi için bir düzeneğe sahiptir. Diğer ucunda ise, asılan ağırlığın etkisi ile kirişin uç kısmında meydana gelen düşey deplasmanı ölçebilmek için bir mikrometreye sahiptir.

Strain İndikatörü

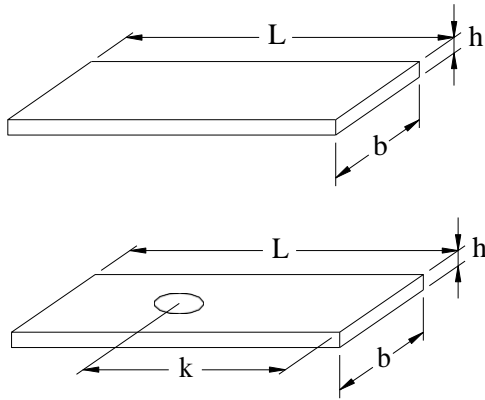


Şekil 5. Strain indikatörü

Strain indikatörü 10 kanallı olup aynı anda 10 tane strain gage üzerinden ölçüm alınabilmektedir. Hassasiyet açısından kullanılan strain gage'lerin gage faktörü değeri mutlaka bilinmeli ve indikatör üzerinde ayarlanmalıdır.

6. NUMUNELER

Yapılacak olan deneyler için kullanılan numunelere ait boyutlar aşağıda verilmektedir. Strain ölçümleri için strain gage'ler numune üzerinde değişik konumlara yapıştırılmaktadır. Şekil 6 (a,b ve c)'de uygulaması yapılan bazı deneylere ait örnek numuneler gösterilmektedir.



$$L=318 \text{ mm}$$

$$b=25 \text{ mm}$$

$$h=6 \text{ mm}$$

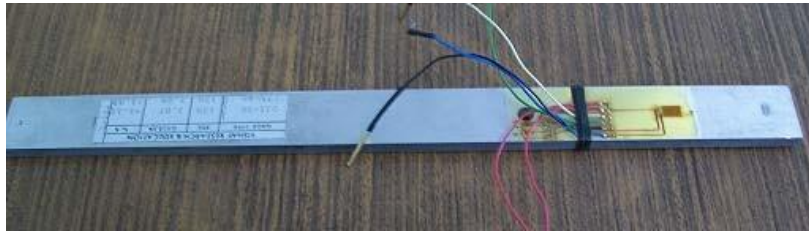
$$k=210 \text{ mm}$$



(a)



(b)



(c)

Şekil 6. Deneylere ait numuneler; (a) Elastisite modülü ve Poisson oranının belirlenmesi, (b) Malzeme üzerinde üç farklı noktada gerilmelerin tespiti, (c) Delik etrafındaki gerilme yığılma katsayısının belirlenmesi

7. DENEYİN YAPILIŞI

Bölüm 4'te verilen Teorik Bilgi kısmına ek olarak deneylerin yapılışında aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Strain Gage olmadan elastisite modülünün belirlenmesi:

Ankastre mesnetlenmiş kirişin ucuna asılan ağırlıktan dolayı kirişin ucunda meydana gelen maksimum deplasman, aparat üzerinde mevcut bulunan mikrometre yardımı ile ölçülür. Daha sonra teorik bilgiler kısmında verilen 1 numaralı denklemde yerine konularak elastisite modülü tespit edilir.

Strain Gage yardımı ile elastisite modülü ve poisson oranının belirlenmesi:

Üzerinde, biri boyuna ve diğeri de enine olmak üzere yapıştırmış iki adet strain gage bulunan numune (Şekil 6a) ankastre kiriş aparatına yerleştirilir. Öncelikle yüksüz durumda strain gage'ler üzerinden boyuna ve enine yöndeki birim şekil değıştirmeler (ϵ_1 ve ϵ_2) okunarak referans değerler alınır. Daha sonra değişik ağırlıklar asılarak ϵ_1 ve ϵ_2 değerleri tespit edilir. Bir önceki ölçüm ile bir sonraki ölçüm arasındaki farklar (ΔP , $\Delta\epsilon_1$ ve $\Delta\epsilon_2$) bulunur.

P (N)	ϵ_1 ()	ϵ_2 ()
0
X
Y

Elastisite modülünün tespiti için Hooke Kanunu'ndan faydalanılır. ΔP değerleri $\Delta\sigma$ değerlerine dönüştürülür (bkz. 4. Teorik Bilgi). Daha sonra her bir fark için $\Delta\sigma = E \cdot \Delta\epsilon_1$ bağıntısı kullanılarak elastisite modülleri tespit edilir. Her bir fark için bulunan elastisite modüllerinin aritmetik ortalamaları alınarak malzemeye ait elastisite modülü değeri tespit edilir.

$$E = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{n} \quad (8)$$

Poisson oranının tespiti için ise her bir fark için $\nu = -\frac{\Delta\varepsilon_2}{\Delta\varepsilon_1}$ bağıntısı kullanılarak poisson oranları bulunur. Her bir fark için bulunan poisson oranlarının aritmetik ortalamaları alınarak malzemeye ait poisson oranı değeri tespit edilir.

$$\nu = \frac{\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n}{n} \quad (9)$$

Strain Gage yardımı ile kiriş ucuna asılan ağırlığın belirlenmesi:

Kiriş üzerinde değişik noktalara strain gage'ler yapıştırılır (Şekil 6b) ve kiriş ankastre kiriş aparatına yerleştirilir. Öncelikle yüksüz durumda strain gage'ler üzerinden birim şekil değiştirmeler okunarak referans değerler alınır. Daha sonra şiddetini bilmediğimiz bir ağırlık kiriş ucuna asılarak, strain gage'ler üzerinden yeniden birim şekil değiştirme değerleri okunur. Her iki ölçüm arasındaki farklar alınarak elde edilen değerler Bölüm 4'te verilen Denklem 5'te yerine konulur. Bu deneyde elastisite modülünü bildiğimiz kabul edilerek Hooke Kanunu'ndan gerilmeler bulunur. Bulunan gerilme değerleri eğilmeden kaynaklanan gerilme formülünde (Denklem 3) kullanılarak buradan malzemeye uygulanan eğilme momenti değeri tespit edilir. Strain gage'in yapıştırıldığı konum (x mesafesi) bilindiği için Denklem 4 yardımı ile kiriş ucuna asılan ağırlık tespit edilir.

Kiriş üzerindeki diğer strain gage'ler için de aynı işlemler tekrarlanarak değişik P kuvveti değerleri tespit edilir. Daha sonra bunların aritmetik ortalamaları alınarak kiriş ucuna asılan ağırlığın şiddeti tespit edilir.

Strain Gage yardımı ile delik etrafındaki gerilme yığılma katsayılarının belirlenmesi:

Kiriş üzerine Şekil 6c'deki gibi yapıştırılan her bir strain gage üzerinden, önce yüksüz durumda daha sonra kiriş ucuna bir ağırlık asıldıktan sonra değerleri tespit edilir. Her bir ölçüm arasındaki farklar alındıktan sonra Denklem 4 yardımı ile eğilme momenti değerleri ve Denklem 3 yardımı ile de eğilme momentinden kaynaklanan gerilme değerleri belirlenir. Daha sonra Hooke Kanunu'ndan (Denklem 5) her bir noktadaki gerilme değerleri (σ_1 , σ_2 ,

σ_3, σ_4) bulunacaktır. Delik etrafında meydana gelen gerilme yığılma katsayısı değerleri Denklem 7 yardımı ile tespit edilir.

8. İSTENENLER

Deneylere her öğrenci iştirak etmeli, deneylerin her birini öğrenci yapmalıdır. Deney düzeneklerinin hazırlanması, numuneler üzerine starin gage yapıştırılması, strain gage'lerin indikatöre bağlanması gibi işlemler her öğrenci tarafından yapılmalıdır.

Deneyler sonucunda elde edilen veriler ve teorik işlemler detaylı bir şekilde belirtilmelidir. Bulunması hedeflenen ifadelere ulaşırken yapılan ara işlemler (eğilme momenti veya eğilme momentinden kaynaklanan gerilme gibi) açık bir şekilde gösterilmelidir.

9. REFERANSLAR

[1] <http://www.kostic.niu.edu>

[2] http://www.efunda.com/designstandards/sensors/strain_gages

[3] <http://www.vishay.com>