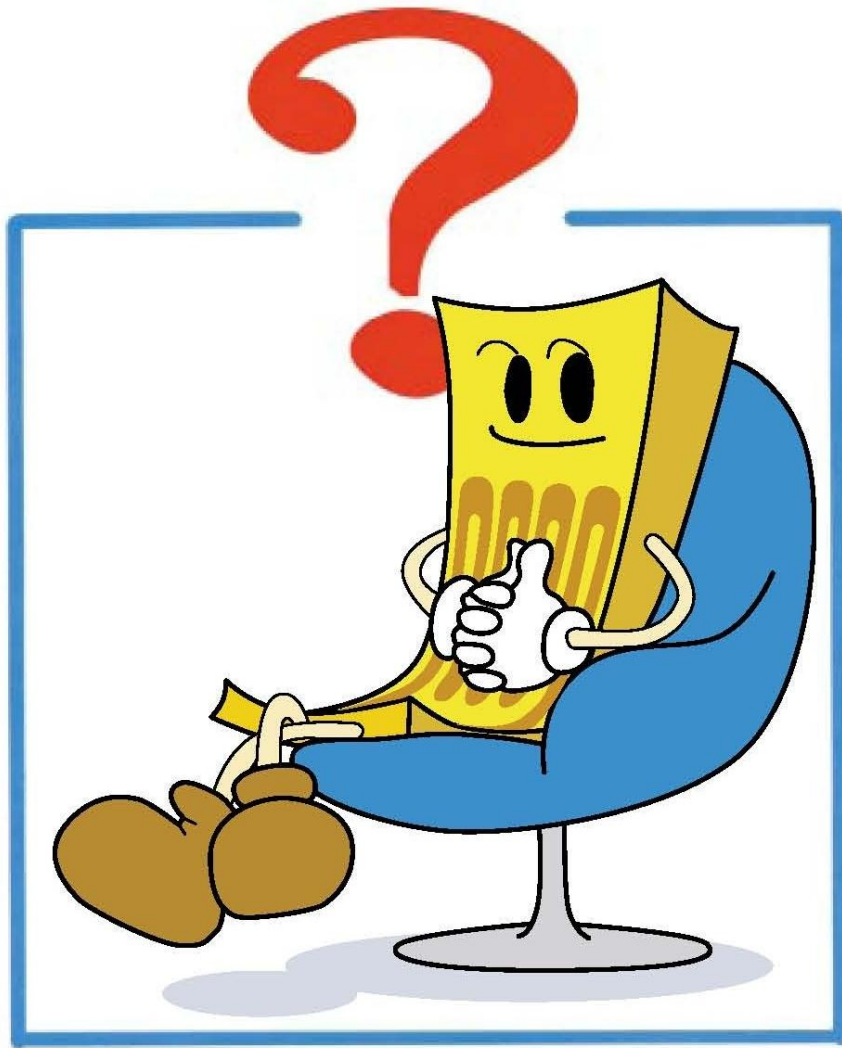


STRAIN GAGE

Nedir?



Strain Gage'ler

Günümüzde, her yeni uçak, kara ve demiryolu taşıtı geliştirilirken, daha az yakıt tüketimi ile daha hızlı gidebilen hafif yapılar tasarlanmaya çalışılmaktadır. Hafif ve daha verimli ürünler tasarlamak, daha hafif malzemeler seçerek ve daha ince yapılarla mümkün olmaktadır. Ancak ürünün güvenliğini tehlikeye atmayacak ölçüde gerekli mukavemetin sağlanması gerekmektedir. Bu açıdan bakarak eğer yalnızca mukavemet göz önünde bulundurulursa ürünün ağırlığı artacak ve ekonomik fizibilitesi azalacaktır.

Bu yüzden, güvenlik ve ekonomi arasındaki harmoni, yapı tasarımı için en önemli faktör olmaktadır. Gerekli mukavemeti bu harmoniye bağlı olarak sağlayan bir yapı tasarlamak için her malzemede oluşan gerilme (“stress”) dağılımını bilmek önemlidir. Buna rağmen, günümüz bilimsel seviyesinde stress ölçümüne ve değerlendirmesine direkt olarak imkan tanıyan bir teknoloji mevcut değildir. Bu nedenle malzemede oluşan iç gerilmeleri bulmak için malzeme yüzeylerindeki “strain” (gerinim) değerleri ölçülmektedir. Yüzey strain’lerini ölçmek için en çok kullanılan sensör elemanı strain gage’lerdir.

Dokümanın ilerleyen bölümlerinde “stress”, “strain” ve “strain gage”ler hakkında özet bilgi verilecektir.

Stress ve Strain (Gerilme ve Gerinim)

1. Stress, dışarıdan uygulanan kuvvete karşılık nesne tarafından içinde üretilen tepki kuvvetidir. Bkz. Şekil 1. Eğer bir obje dış kuvvete maruz kalıyorsa, orijinal şeklini korumak için içeriden bir itme kuvveti üretir. Oluşan itme kuvveti, iç kuvvet olarak da adlandırılır ve nesnenin enine kesit alanına bölünmesiyle elde edilen iç kuvvete stress denilir, birimi Pa (Pascal) ya da N/m² olarak ifade edilir.

Sütunun enine kesit alanının A (m²) ve dış kuvvetin P (N, Newton) olduğunu varsayalım. Dış kuvvet iç kuvvete eşit olduğunda, stress, σ (sigma):

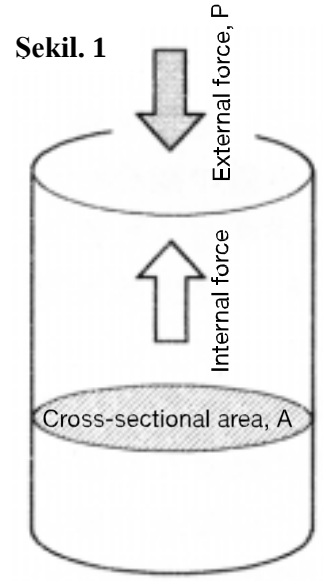
$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (Pa or N/m}^2\text{)}$$

Dış kuvvetin yönü, enine kesit alanına dik olduğunda, oluşan gerilmeye düşey gerilme denir.

2. Bir çubuk çekildiği zaman, ΔL kadar uzama meydana orijinal boyundan L+ ΔL boyuna uzar. Bu uzamanın (veya kısılmanın) ΔL , orijinal boy L'ye oranına strain denir ve ϵ (epsilon) işareti ile gösterilir.

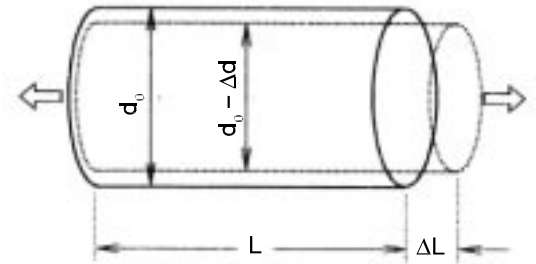
$$\epsilon_1 = \frac{\Delta L \text{ (boydaki değişim miktarı)}}{L \text{ (orijinal uzunluk)}}$$

Dış kuvvetle aynı yönde uzama (veya çekme) strain'ine boyuna strain denir. Strain uzama (veya kısılma) oranı olduğundan birimi olmayan mutlak bir sayıdır. Genellikle bu oran aşırı derecede küçük bir değerdir ve bu nedenle strain değeri "x10⁻⁶ (milyonda bir) strain", "µm/m" veya µε ile çarpılarak ifade edilir.



gelir, ve böylece L

Sekil. 2



Hooke Kanunu (law of elasticity)

Pek çok malzemede, gerilme ile strain arasında elastik limit aşılmadığı sürece oransal bir ilişki mevcuttur. Bu ilişki deneysel olarak Hooke tarafından 1678 yılında ortaya çıkarılmış ve bu nedenle Hooke's law veya elastikiyet kanunu olarak adlandırılmıştır. Malzemelerin sahip olduğu gerilme ve deformasyon arasındaki bu orantılı ilişkiyi sürdürdüğü limit için stres sınırına "orantılılık sınırı" denir (her malzemenin farklı bir oransal sınırı ve elastik sınırı vardır). Bugün malzeme mukavemeti üzerine yapılan teorik hesaplamaların neredeyse tümü bu kanunu baz almakta ve makine ve konstrüksiyon tasarımında bu kanun uygulanmaktadır.

Robert Hooke

İngiliz bilim adamı. Cambrige Üniversitesi mezunu. Özellikle matematik üzerine mükemmel bir yeteneği vardır. Geometri profesörü olarak Gresham kolejinde hizmet vermiştir. Deneysel olarak dünyanın yerçekimi merkezinin güneşin etrafında bir elips şeklinde döndüğünü doğrulamıştır. 1678 yılında Hooke kanununu yayınladı.

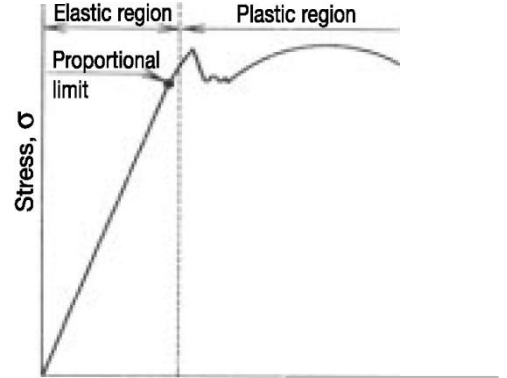
Çekilen çubuk uzama gerçekleşirken incelmektedir. Orijinal çapın d_0 olduğunu ve Δd tarafından inceltiltiğini varsayalım. Bu durumda çapsal yönde strain:

$$\varepsilon_2 = \frac{-\Delta d}{d_0} \text{ olur.}$$

Dış kuvvete ortogonal yönde olan straine yanal (çapraz) strain denir. Her malzemenin yanal strain'inin boyuna strain'e kesin bir oranı vardır ve pek çok malzemede bu oran 0.3 civarında gözlemlenmektedir. Bu orana Poisson oranı denir ve ν (nu) ile ifade edilir.

$$\nu = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = 0.3$$

Sekil. 3

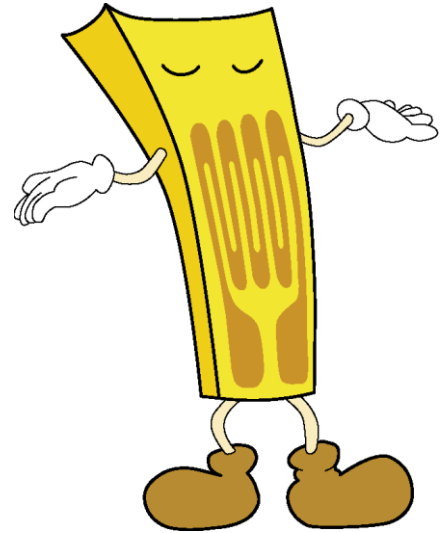


3) Pek çok malzemenin stress ve strain ilişkisi deneysel olarak uzun zamandır tanımlıdır. Şekil 3'te stress ile strain arasındaki tipik bir ilişki, düşük karbonlu çelik üzerinde gösterilmiştir. Stress ve strain'in lineer ilişkisi olduğu bölgeye orantılılık sınırı denir ve Hooke kanuna uygun olan bölgedir.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ ya da } E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Yukarıdaki denklemde stress ve strain arasındaki oransal sabit değeri, E, elastikiyet modülü veya young modülü olarak adlandırılır ve malzemeye bağlı olan bir değerdir.

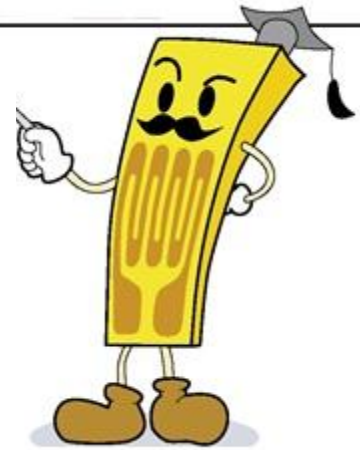
Yukarıda tanımladığı gibi stress, dış kuvvet tarafından yaratılan strain'in ölçümünden yola çıkarak öğrenilebilir olsa bile direkt olarak ölçülmesi mümkün değildir.



Simeon Denis Poisson

Fransız matematikçi. Pithiviers Loiret Fransa doğumlu ve Fontainebleau da yetiştirilmiş. 1798 yılında L'Ecole Polytechnique okuluna girmiş ve 1806 yılında adı Fourier'den sonra anılan bir profesör olmuştur. "Treatise on mechanics" (Treatise on Mechanics) çalışması uzun yıllar standart ders kitabı olagelmıştır.

Kütledeki potansiyel teorisi üzerine Poisson denklemi özellikle bilinir olmuştur. Matematik alanında belirli integral ve Fourier serilerinde bir dizi çalışma yapmıştır. Yukarıda bahsi geçen mekanik alanının yanında elektromanyetik teorisini geliştirdiği yer olan matematiksel fizik alanında ve pek çok makale yayınladığı astronomi alanında da bilinirliği vardır. Ömrünün son zamanlarında Fransa'da soylu rütbesine yükselmiş ve Paris'te yaşamını yitirmiştir.



Strain

Strain'in Büyüklüğü

Strain'in büyüklüğü ne mertebededir? Bunu anlamak için, dikey yönde üst kısmından 10 kN'luk (yaklaşık 1020 kgf) dış kuvvet etkiyen 1 santimetre karelik demir çubuktaki strain miktarını hesaplayalım. Önce, strain tarafından üretilen gerilme miktarını hesaplayacak olursak:

$$\sigma = \frac{P}{A} = m^2 \frac{10 \text{ kN} (1020 \text{ kgf})}{1 \times 10^{-4} \text{ m}^2 (1 \text{ cm}^2)} = \frac{10 \times 10^3}{1 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 100 \text{ Mpa} (10.2 \text{ kgf/mm}^2)$$

Bu değeri stress-strain ilişkisi tanımlamasında σ yerine koyarsak:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{100 \text{ MPa}}{206 \text{ GPa}} = \frac{100 \times 10^6}{206 \times 10^9} = 4.85 \times 10^{-4}$$

Strain genellikle milyonda bir olarak ifade edildiğinden

$$\epsilon = \frac{485}{1000000} = 485 \times 10^{-6}$$

Strain miktarı 485 $\mu\text{m/m}$, 485 $\mu\epsilon$ veya 485×10^{-6} strain olarak ifade edilir.

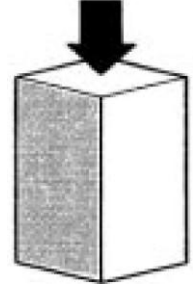
Strain'in Kutupları

Strain, çekme (uzama) ve basma (kısalma) strain'i olarak bulunmaktadır. Bunları birbirinden ayırmak için aşağıdaki iki işaret strain tiplerine atanmıştır.

Artı (+) çekme (uzama) strain'i için
Eksi (-) basma (kısalma) strain'i için

Sekil. 4

10 kN
(yaklaşık 1020 kgf)



Demir çubuk (E = 206 GPa)
of $1 \times 10^{-4} \text{ m}^2 (1 \text{ cm}^2)$

Sembol	İsim	Çarpan
G	Giga-	10^9
M	Mega-	10^6
k	Kilo-	10^3
h	Hecto-	10^2
da	Daka-	10^1
d	Deci-	10^{-1}
c	Centi-	10^{-2}
m	Milli-	10^{-3}
μ	Micro-	10^{-6}

Young modülü

Gerilmedeki elastikiyet modülü ve boyuna elastikiyet modülü de denilen modüldür. Young modülü, Hooke kanunu'na uyan malzemelerde, orantısallık sınırı içerisindeki düşey gerilmenin, gerilme yönünde ortaya çıkan düşey strain'e oranına dayanmaktadır. Bu elastikiyet modülü, çeşitli katsayıları arasında ilk tespit edilmiş olduğu için, genel olarak E, elastikliğin ilk harfi ile ifade edilir

18. Yüzyıldan bu yana düşey gerilmenin düşey strain'e orantısallık sınırı aşılmadığı sürece oransal olduğu bilinmektedir. Ancak orantısallık sabitinin değeri örneğin boyuna elastikiyet modülü olarak bilinmemektedir. Young, bu sabiti ilk tanımlayan ve böylece onuruna adı young modülü konulan kişidir.

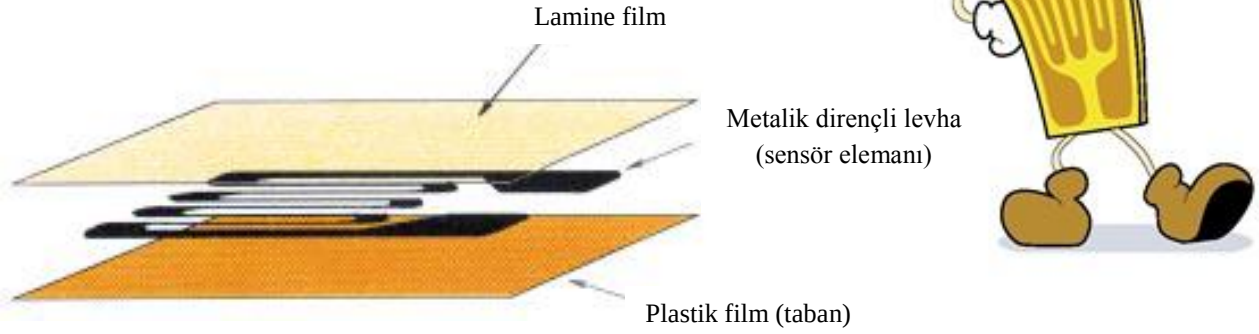
Thomas Young (1773-1829)

İngiliz doktor, fizikçi ve arkeolojist. Işık dalga teoremini canlandırarak çığır açan birisi olarak tanınmıştır.

Strain Gages

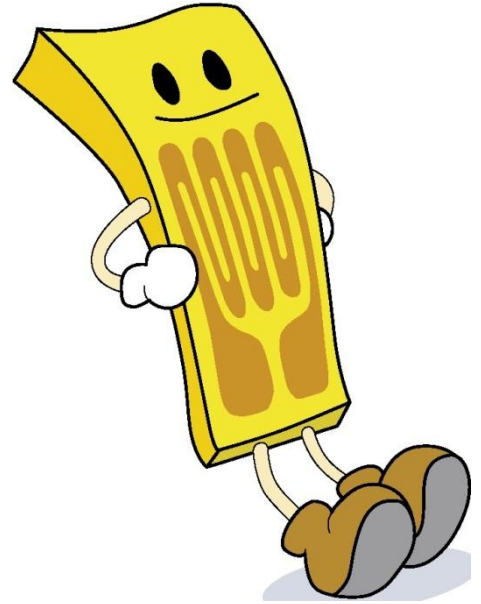
1. Strain Gage'lerin Yapısı

Pek çok tip strain gage bulunmaktadır. Bunların arasında yapısal olarak evrensel denilebilir strain gage; ince plastik bir film (15 to 16 μm kalınlığında) üzerine yerleştirilmiş ve üzeri lamine filmle kaplanmış grid şeklinde çok ince (3 to 6 μm) metalik dirençli sensör elemanından oluşur.



2. Strain Gage'lerin Prensibi

Strain gage ölçüm yapılan nesneye yapıştırılır. Bu nedenle ölçülen nesnenin üzerinde doğan birim şekil değişimine bağlı olarak sensör elemanında (metallik dirençli levha) uzama veya kısalma meydana gelmektedir. Mekanik uzama veya kısalmanın oluşumu sırasında, çoğu metalin elektrik direncinde değişim meydana gelmektedir. Strain gage bu prensipte bahsi geçen direnç değişiminden faydalanarak strain ölçümünü gerçekleştirmektedir. Strain gage'lerin sensör elemanı genellikle bakır-nikel alaşım levhalardan yapılmaktadır. Alaşım levhanın strain değişimine bağlı olarak sabit bir oranda direnç değişimi vardır.



Strain ölçüm metotları

Kabaca mekanik, optik ve elektriksel olarak gruplandırabileceğimiz pek çok çeşit strain ölçüm metodu mevcuttur. Strain geometrik olarak iki nokta arasındaki mesafe değişimi olarak anılabilecek bir büyüklük olduğundan, tüm metodlar bu mesafe değişiminin ölçüm yollarıdır. Eğer nesnenin elastiklik modülü biliniyor ise, strain ölçümü bize stress hesaplama imkanı tanımaktadır. Bu nedenle strain ölçümü, strain büyüklüğünü belirlemekten ziyade genellikle dış kuvvetin oluşturduğu stress'in ölçümü için gerçekleştirilmektedir.

Yukarıda bahsi geçen prensibi aşağıdaki gibi formülize eder isek:

$$\frac{\Delta R}{R} = K_s \cdot \epsilon$$

R: Strain gage'in orijinal direnci, Ω (ohm)

ΔR : Direnç değişimi içeren uzama veya kısalma, Ω (ohm)

K_s : Oransal sabit (Gage faktörü)

ϵ : Strain

Gage faktörü, K_s , kullanılan metalik malzemeye göre farklılık göstermektedir. Bakır-nikel alaşımlarının 2 civarında gage faktörü vardır. Bu nedenle bu alaşımdan yapılmış sensör elemanı kullanan strain gage, mekanik strain'in elektrik direnç değişiminin, strain'e dönüşümünü mümkün kılmaktadır.

Örneğin, 1000×10^{-6} değerinde strain'den kaynaklanan direnç değişimini hesaplayalım:

Genellikle strain gage'lerin direnç değeri 120Ω 'dur ve aşağıdaki denklem buna göre oluşturulmuştur:

$$\frac{\Delta R}{120 (\Omega)} = 2 \times 1000 \times 10^{-6}$$

$$\Delta R = 120 \times 2 \times 1000 \times 10^{-6} = 0.24 \Omega$$

Direnç değişimindeki oran ise:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{0.24}{120} = 0.002 = 0.2\%$$

Gerçekte bu şekildeki anlık direnç değişimini doğru olarak ölçmek oldukça zordur ve geleneksel bir ohmmetre ile ölçülmesi mümkün değildir. Bu nedenle anlık direnç değişimleri Wheatstone köprüsü adı verilen elektrik devresi kullanılarak strain amfisi ile ölçülmektedir.



Strain Gage ile Strain Ölçümü

Kullanımı nispeten kolay olduğundan, pek çok durumda strain ölçümü için genellikle strain gage'ler kullanılmaktadır. Bir metalik kablo çekildiği zaman, elektrik direncinde değişim meydana gelir. Elastik bölge içerisindeki uzama ve kısaltmalara oransal olarak metallerin elektriksel dirençlerinde değişim meydana geldiği deneysel olarak da ispatlanmıştır. Bahsi geçen kalitede metalik bir teli parça yüzeyine bağlayarak, parçanın üzerindeki strain miktarını, elektrik değişimine bağlı olarak belirleyebilmekteyiz. Direnç telinin çap $1/50$, $1/200$ aralığında olması ve yüksek özgül direnci olması beklenmektedir. Genellikle gelişmiş bakır-nikel alaşımları kullanılmaktadır. Çoğu zaman üzerinde bir köprü devresi barındıran bir amplifikatörlü cihaz kullanılarak direnç değişimi ölçülmektedir. Strain gage meydana gelen uzama ve kısaltmayı yüzlerce KHz'de takip edebildiğinden, uygun bir cihazla kombinasyonu ile ölçüm yapılmaktadır. Giden arabaların veya uçan uçakların parçaları üzerinde oluşan stress'in ölçümü, strain gage ve gage'e uygun cihaz kullanarak mümkün kılınmaktadır.

Wheatstone Köprüsü

1. Wheatstone köprüsü nedir?

Wheatstone köprüsü anlık direnç değişimlerinin tespitinde kullanılması uygun olan bir elektrik devresidir. Dolayısı ile strain gage'lerdeki direnç değişimlerini ölçmek amacıyla da kullanılmaktadır. Köprü Şekil 5'te gösterildiği gibi dört direnç içerecek şekilde konfigüre edilmiştir.

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4, \text{ veya}$$

$$R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4 \text{ olduğunu varsayarsak,}$$

Yukarıdaki nedenle, girişe hangi voltaj uygulanırsa uygulansın, çıkış, e , 0 olur. Bu şekildeki köprü durumuna "dengede" denir. Köprü dengeyi kaybettiği zaman, direnç değişimine bağlı olarak voltaj çıkışı gerçekleşir.

Şekil 6'da gösterildiği üzere, bir strain gage R_1 direnci yerine devreye bağlanmıştır. Gage strain yüklendiği zaman ve direnç değişimi meydana geldiğinde, ΔR , köprü devresi çıkışında voltaj, e ortaya çıkar.

$$e = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot E \text{ Bu da, } e = \frac{1}{4} \cdot K \cdot \epsilon \cdot E$$

ϵ dışındaki değerler bilinen değerlerdir, strain, ϵ , bu sayede köprü çıkış voltajını ölçerek belirlenebilmektedir.

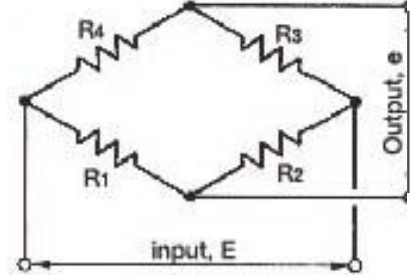
2. Köprü Yapıları

Yukarıda tanımlanmış olan yapıya 1-gage bağlandığından dolayı 1-gage sistem denilmektedir. 1- gage sistem dışında, 2-gage ve 4- gage sistemler de mevcuttur.

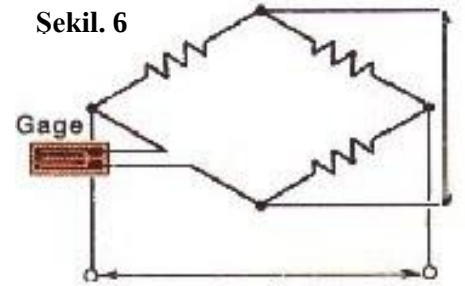
2-Gage sistem (Yarım Köprü)

2-gage sistemde, gage'ler Şekil 7'de gösterildiği gibi iki farklı şekilde bağlanabilir.

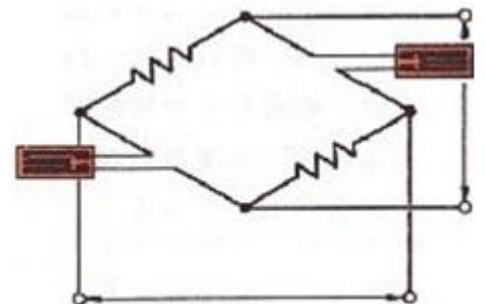
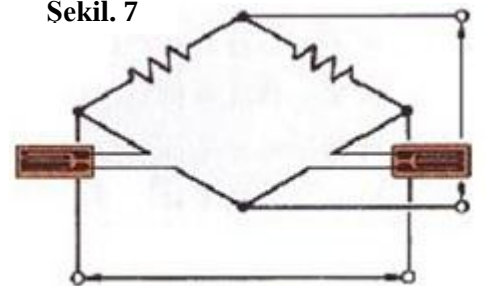
Sekil. 5



Sekil. 6



Sekil. 7



4-Gage sistemin (Tam Köprü) çıkış voltajı

4-gage sistemlerde dört adet gage köprünün dört bir köşesine bağlanmaktadır. Bu sistem strain ölçümü için nadiren kullanılsa da, strain gage tabanlı transducerlarda sıkça uygulanmaktadır.

Dört köşede bulunan gage'lerin dirençlerinde $R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2 + R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4$ değişimleri meydana geldiği zaman, sırasıyla köprü çıkış voltajı, e , aşağıdaki şekilde gerçekleşir:

$$e = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) E$$

Eğer dört köşede bulunan gage'ler, K_s gage faktörleri dahil, K_s ve edinilen strainler, $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ ve ϵ_4 , özellikleri bakımından eşit ise yukarıdaki denklem aşağıdaki gibi olacaktır.

$$e = \frac{1}{4} \cdot K_s (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4) E$$

1-gage sistemin (Çeyrek Köprü) çıkış voltajı:

Yukarıda 4-gage sistem için gösterilen denklemde, 1 gage sistemde oluşan direnç değişimi, R_1 , yalnızca bir köşede gerçekleşir. Bu yüzden, çıkış voltajı:

$$e = \frac{1}{4} \times \frac{\Delta R_1}{R_1} \times E \text{ veya, } e = \frac{1}{4} \times K_s \times \epsilon_1 \times E$$

Neredeyse tüm durumlarda, genel strain ölçümü 1-gage sistem kullanılarak gerçekleştirilir.

2-gage sistemlerin çıkış voltajı:

Dört köşe arasında direnç değişimini başlatan iki köşedir. Bu yüzden, Şekil 10(a)'daki iki gage sistem aşağıdaki çıkış voltajını meydana getirmektedir.

$$e = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} \right) E$$

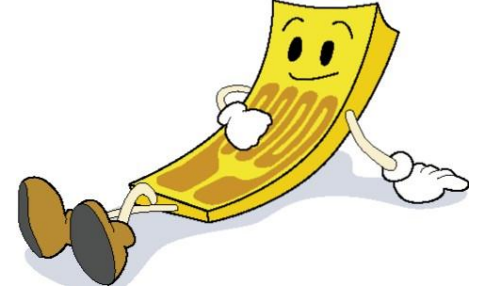
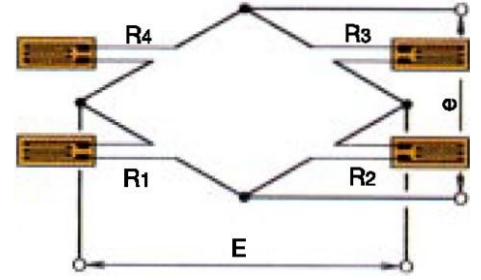
$$\text{veya, } e = \frac{1}{4} K_s (\epsilon_1 - \epsilon_2) E$$

Şekil 10 (b)'deki durumda ise:

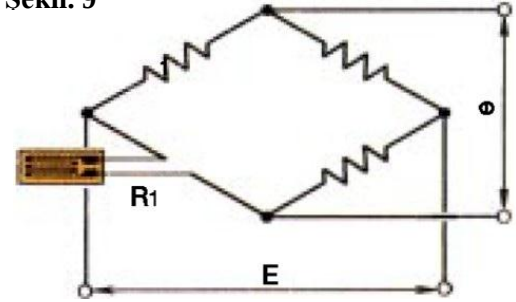
$$e = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_3}{R_3} \right) E$$

$$\text{veya, } e = \frac{1}{4} K_s (\epsilon_1 + \epsilon_3) E$$

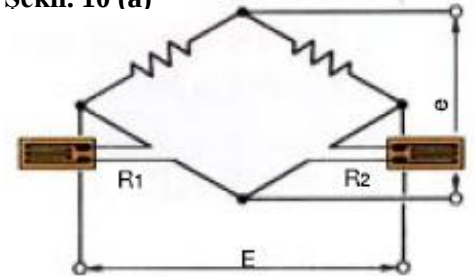
Şekil. 8



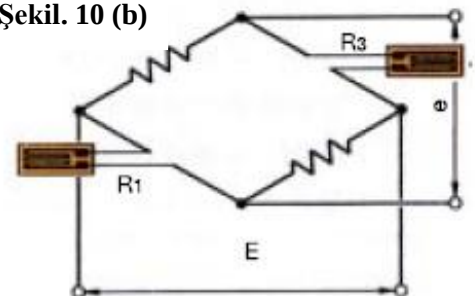
Şekil. 9



Şekil. 10 (a)



Şekil. 10 (b)



Bu demek oluyor ki ikinci gage tarafından meydana gelen strain, iki gage'in yerleştirildiği bölgeye göre yani birbirlerine zıt veya komşu kenarlarda olmalarına göre, birinci gage'ten doğan strain'den çıkartılır veya toplanır.

2- gage sistem uygulamaları

2-gage sistemler genellikle aşağıdaki durumlarda kullanılmaktadır. Birbirinden ayrı olarak bir kirişe uygulanan dış kuvvetten doğan eğilme ve çekme strainlerini bulabilmek için üst ve altta aynı pozisyona gage yapıştırılır.

Bu iki gage köprü'nün zıt veya komşu tarafına bağlıdır ve eğilme veya çekme gerilmesi bağımsız olarak bu şekilde ölçülür. 1. gage çekmeye (artı) maruz kalırken 2. gage basmaya (eksi) maruz kalır

Çekme gerilmesini öteleyerek yalnızca eğilme gerinimini ölçmek için 2.gage köprü'nün ters tarafına bağlanır. Böylece, e, köprü'nün çıkış voltajı aşağıdaki gibi olur:

$$e = \frac{1}{4} K_s (\epsilon_1 - \epsilon_2) E$$

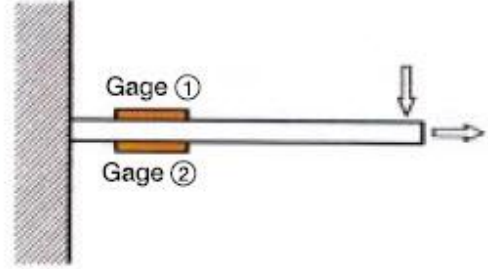
Çekme gerilmeleri artı ve aynı büyüklükte olduğundan $(\epsilon_1 - \epsilon_2)$ denklemde 0'dır ve böylece çıkış voltajı e'de sıfır olur. Diğer taraftan gage 1'deki eğilme gerilmesi artı ve gage 2'deki eğilme gerilmesi eksi olur. Böylece ϵ_2 , ϵ_1 'e çıkış voltajını ikiye katlayarak eklenmiş olur. Bu da Şekil 12'de gösterilen köprü konfigürasyonudur ve yalnızca eğilme strain'inin ölçülmesine imkan sağlar.

Eğer gage 2, karşı tarafa bağlanmış olsaydı köprü'nün çıkış voltajı, e:

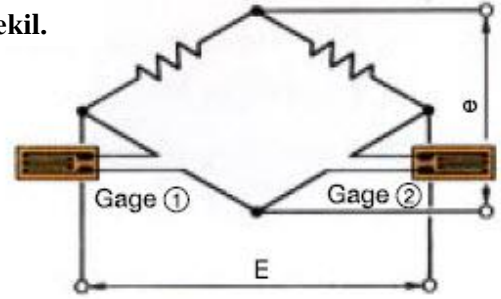
$$e = \frac{1}{4} K_s (\epsilon_1 + \epsilon_3) E \text{ olacaktı.}$$

Bu nedenle yukarıdakine ters olarak eğilme gerinimi için köprü değeri 0'ken çekme strain'i ikiye katlanmaktadır. Bu da Şekil 13'de verilen köprü konfigürasyonudur, eğilme strain'ini iptal ederek yalnızca çekme strain'inin ölçülebilmesine imkan verir.

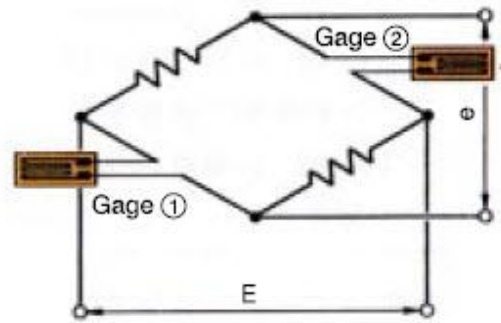
Şekil. 11



Şekil.



Şekil.



Sıcaklık Dengelenmesi

Strain ölçümündeki problemlerden biri de termal etkilerdir. Dış kuvvetler yanında değişen sıcaklıklar da ölçülen nesnenin uzamasına veya kışalmasına sabit bir lineer genişleme katsayısı ile etki etmektedir. Bu nedenle nesneye yapıştırılmış bir strain gage’te, termal olarak indüklenmiş gözlemlenebilir bir strain değişimi meydana gelmektedir. Sıcaklık dengelemesi bu sorunu ortadan kaldırmaktadır.

Aktif – Dummy Metodu

Aktif dummy metodu, iki gage sistemde aktif gage’in A olduğu ve ölçülen nesneye yapıştırıldığı ve dummy gage, D’nin ölçülen nesnenin stress yüküne sahip olmayan ancak ölçülen objeye etkiyen aynı sıcaklık koşullarında bulunan dummy bloka yapıştırıldığı 2 gage sisteminden oluşmaktadır. Dummy bloğun ölçülen obje ile aynı malzemeden yapılmış olması gerekmektedir.

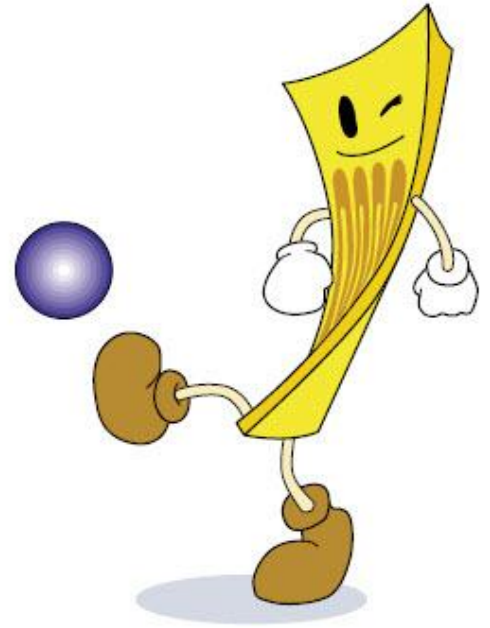
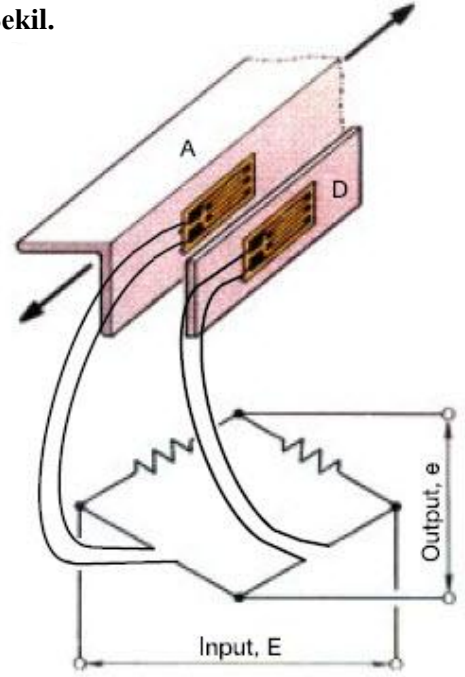
Şekil 14’te gösterildiği üzere iki gage köprüünün komşu kenarlarına bağlanmıştır. Ölçülen obje ile dummy blok aynı sıcaklık koşullarında olduğundan, termal olarak indüklenen uzama veya çekme ikisinin üzerinde de aynıdır. Bu nedenle gage A ve B yatağında termal olarak indüklenmiş aynı strain, çıkış değeri e ’nin sıfır olmasını sağlayacak şekilde dengelenmektedir çünkü köprüler komşu kenarlara bağlanmıştır.

Kendiliğinden Sıcaklık Dengelemesi Metodu (Self Temperature-Compensation Method)

Teorik olarak, yukarıda bahsi geçen aktif dummy metodu ideal sıcaklık dengeleme metodudur. Ama metod iki gage’in yapıştırılması ve aktif bloğun yerleştirilmesi gibi ekstra sorunlar içermektedir. Bu problemleri çözmek için, kendiliğinden sıcaklık dengeleme gage’i (SELCOM gage) tek bir gage ile sıcaklığın dengelendiği bir metod olarak geliştirilmiştir.

Kendiliğinden sıcaklık dengeleme gage’i ile algılayıcı elemanın sıcaklık sabitinin direnci, ölçülen nesnenin lineer genişleme katsayısı ile kontrol edilmektedir. Bu sayede gage eğer ölçülen nesne ile uyumlu ise dışarıdan herhangi bir termal etki almadan strain ölçümünü mümkün kılmaktadır. Bir kaç özel model dışında tüm KYOWA strain gage’lerinde kendiliğinden sıcaklık dengeme metodu kullanılmaktadır.

Sekil.



Kendiliğinden sıcaklık dengeleme metodunun prensibi

Bir önceki bölümde anlatıldığı üzere, birkaç özel model dışında, tüm KYOWA strain gage'leri "kendiliğinden sıcaklık dengelemeli" gage'lerdir. (SELCOM gages). Bu bölümde SELCOM gage'lerin çalışma prensibi kısaca açıklanacaktır.

SELCOM Gage'lerin Prensibi

Ölçülen nesnenin lineer genişleme sabitinin β_s olduğunu varsayalım ve strain gage'in direnç elemanının lineer genişleme sabitinin de β_g olduğunu varsayalım. Strain gage, ölçülen nesneye yapıştırıldığı zaman, şekil 15'te gösterildiği üzere, strain gage üzerinde meydana gelen termal olarak indüklenmiş strain aşağıdaki gibidir:

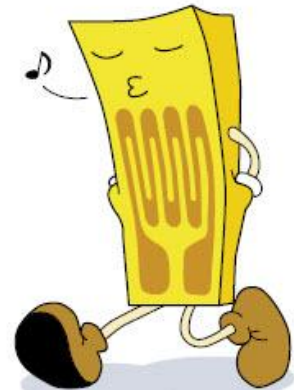
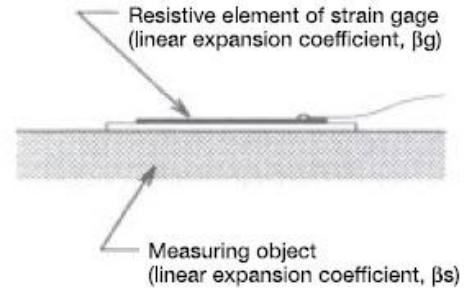
$$\epsilon_T = \frac{\alpha}{K_s} + (\beta_s + \beta_g)$$

α 'nın, direnç elemanının direncinin sıcaklık sabiti, K_s 'nin, strain gage'in gage faktörü olduğu durumda, gage faktörü K_s , direnç elemanının malzemesi ile tanımlanır ve lineer genişleme katsayıları β_s ve β_g , sırasıyla ölçülen nesne ve direnç elemanının malzemeleri ile tanımlanmaktadır. Böylece, direnç elemanının direncinin sıcaklık katsayısı, α 'nın kontrolü, termal-kaynaklı strain, ϵ_T 'yi yukarıdaki denklemde sıfır yapmak için yeterlidir.

$$\begin{aligned} \alpha &= -K_s (\beta_s - \beta_g) \\ &= K_s (\beta_s - \beta_g) \end{aligned}$$

Direnç elemanının direnç sıcaklık sabiti'nin, alfa'nın kontrolü, "foil" üretim sürecinde ısıtım işlemi ile kontrol edilebilmektedir. Bu değer, ölçülmek istenen nesnenin lineer genişleme katsayısına göre ayarlandığından, arzulanan malzeme dışındaki malzemelere strain gage'in uygulanması, sadece sıcaklık dengelenmesini geçersiz kılmaz aynı zamanda büyük ölçüm hatalarına sebep olur.

Sekil.



SELCOM gage applicable materials

Applicable materials	Linear expansion coefficient
Composite materials, diamond, etc.	$1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Composite materials, silicon, sulfur, etc.	$3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Composite materials, lumber, tungsten, etc.	$5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Composite materials, tantalum, etc.	$6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Composite materials, titanium, platinum, etc.	$9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Composite materials, SUS 631, etc.	$11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

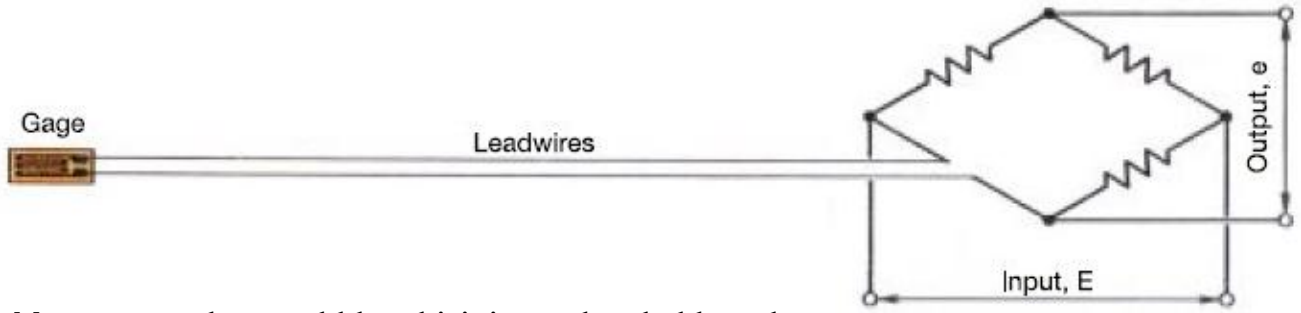
Applicable materials	Linear expansion coefficient
Corrosion/heat-resistant alloys, nickel, etc.	$13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Stainless steel, SUS 304, copper, etc.	$16 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
2014-T4 aluminum, brass, tin, etc.	$23 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Magnesium alloy, composite materials, etc.	$27 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Acrylic resin, polycarbonate	$65 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Giriş-Çıkış Kablosu Sıcaklık Dengelemesi

Kendiliğinden sıcaklık dengelemeli (SELCOM) gage kullanımı, gage çıkışında meydana gelen sıcaklık etkisini elimine etmektedir. Ancak gage ile strain gage köprüsü arasındaki kablolar da ortam sıcaklığından etkilenmektedir. Bu problemin de çözülmesi gerekmektedir.

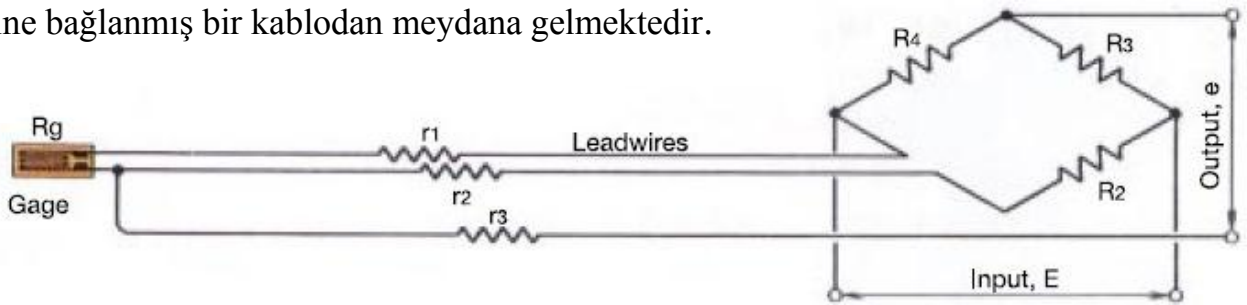
Şekil 16'da gösterilmiş olan 1-gage, 2-kablo sistemlerinde, gage'e bağlanan her bir kablonun direnci seri olarak eklenmekte ve bu yüzden kablolar eğer kısa ise herhangi bir sıcaklık problemi yaratmamaktadır. Ancak kablolar uzun ise, ölçümü olumsuz olarak etkilemektedir. Kablolarda kullanılan bakırın direncinin $3.93 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ sıcaklık katsayısı mevcuttur. Örneğin, eğer 0.3 mm^2 ve $0.062 \Omega/\text{m}$ ve herbiri 10 m uzunluğunda kablo kullanıldı ise (ileri geri mesafe: 20 m) sıcaklığın 1°C yükselmesi, strain miktarı göz önünde bulundurulduğunda çıkışta 20×10^{-6} değerinde strain oluşturacaktır.

Sekil.



Üç-kablo sistemi, bu sıcaklık etkisini ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir. Şekil 17'de gösterildiği üzere 3-kablo sistemi gage'in uçlarından birine bağlanmış iki kablo ve diğerine bağlanmış bir kablodan meydana gelmektedir.

Sekil.



2-kablo sisteminden farklı olarak 3-kablolu sistem, kablo direncini köprünün gage tarafına ve komşu tarafına dağıtmaktadır. Şekil 17'de kablo direnci r_1 , R_g 'ye seri olarak bağlanmakta ve kablo direnci r_2 , R_2 'ye seri olarak bağlanmaktadır. Yani kablo direnci köprünün komşu kenarlarına dağıtılmaktadır. Kablo direnci r_3 , köprünün çıkış voltajına bağlıdır ve bu nedenle hemen hemen ölçümde herhangi bir etki yaratmamaktadır.



Strain Gage Bağlama Prosedürü

Strain gage bağlama metodu kullanılan strain gage tipi, uygulanan yapıştırıcı ve uygulama ortamına bağlı olarak değişmektedir. Aşağıda oda sıcaklığında strain ölçümü amacıyla tipik kablo bağlantılı KFG gage'in düşük karbonlu çelik numunesine, CC-33A hızlı-kuruma siyanoakrilat yapıştırıcısı ile nasıl bağlanacağı anlatılacaktır.

(1) Strain gage'i seçin



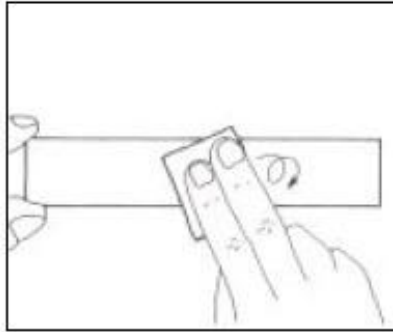
Strain gage modeli ve gage uzunluğunu, ölçülen nesne ve ölçüm amacına uygun olarak seçin. Ölçülen objeye uygulanabilir olan lineer genişleme katsayısı için sayfa 13'e bakınız. Mevcut olan 11 seçenekten en uygun olanını seçin.

(5) Yapıştırıcıyı uygulayın



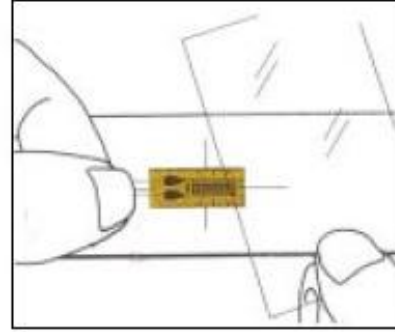
Strain gage'in ön ve arka tarafından emin olun. Strain gage'in arkasına bir damla CC-33A yapıştırıcısından damlatın. Yapıştırıcıyı yaymayın. Eğer yayılma meydana gelirse, kuruma hızı artacak dolayısı ile yapıştırma dayanımı azalacaktır.

(2) Toz ve boyayı temizleyin



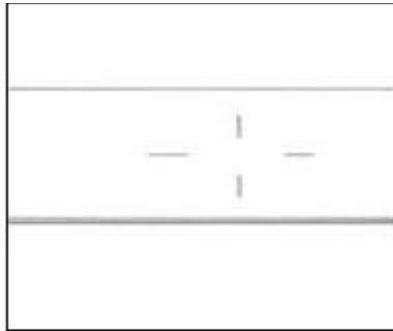
Zımpara kullanarak (#200 – 300), strain-gage'in bağlanacağı bölgeyi strain gage boyutundan daha geniş bir alanda zımparalayın. Eğer yüzeyde herhangi bir boya, pas ve kaplama varsa, taşlama veya zımpara bezi kullanarak yok edin.

(6) Strain gage'i ölçüm bölgesine yapıştırın



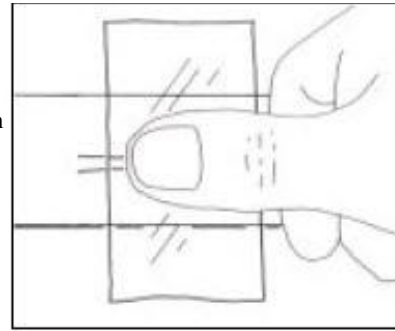
Yapıştırıcıdan bir damla uyguladıktan sonra strain gage'i ölçüm sahasına daha önceden çizmiş olduğumuz merkez çizgilerinin ortasına yerleştirin.

(3) Bağlama pozisyonuna karar verin



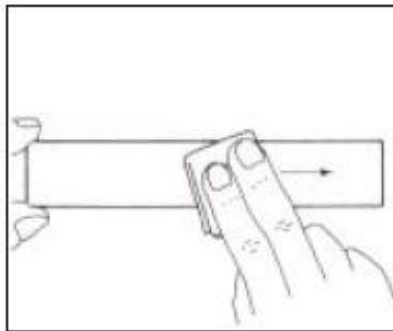
Bir kalem veya işaretleme pini ile strain yönünde ölçüm alanını işaretleyin. İşaretleme pini kullanırken strain gage bağlama yüzeyinde derin çizik oluşturmamaya özen gösterin.

(7) Strain gage'e bastırın



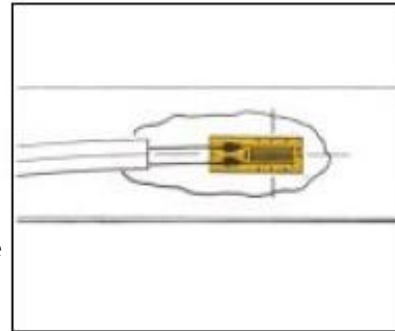
Strain gage'i polietilen katman ile kaplayın ve üzerine başparmağınızla bastırın. 5.'den 7. Basamağa kadar olan aşamaları seri bir şekilde hızlıca uygulayın. Strain gage uygulanacağı bölgeye bir kere yerleştirildikten sonra, pozisyonunu değiştirmek için kaldırmayın.

(4) Bağlama yüzeyinden yağı çıkarın ve temizleyin



Asetona ile, strain gage bağlama bölgesini temizleyin. Tozu toparlamak ve ardından yüzeyden uzaklaştırmak için yüzeyi sert bir şekilde tek yönde silin. İleri geri silme tozun geri gelmesine ve temizliğin tam olarak yapılamamasına neden olmaktadır.

(8) Bağlama işinin tamamlayın



Strain gage'e parmağınızla yaklaşık bir dakika baskı uyguladıktan sonra polietilen levhayı kaldırarak strain gage'in güvenli bir şekilde bağlandığından emin olun.. İyi ölçüm sonuçları, 60 dakika sonra yapıştırıcının kuruma süreci tam olarak tamamlanınca mümkün olacaktır.

Daha detaylı bilgi için RMC Mühendislik'le
rmc@rmc.com.tr bağlantıya geçebilir veya
KYOWA web sitesini ziyaret edebilirsiniz.



www.rmc.com.tr

www.kyowa-ei.com