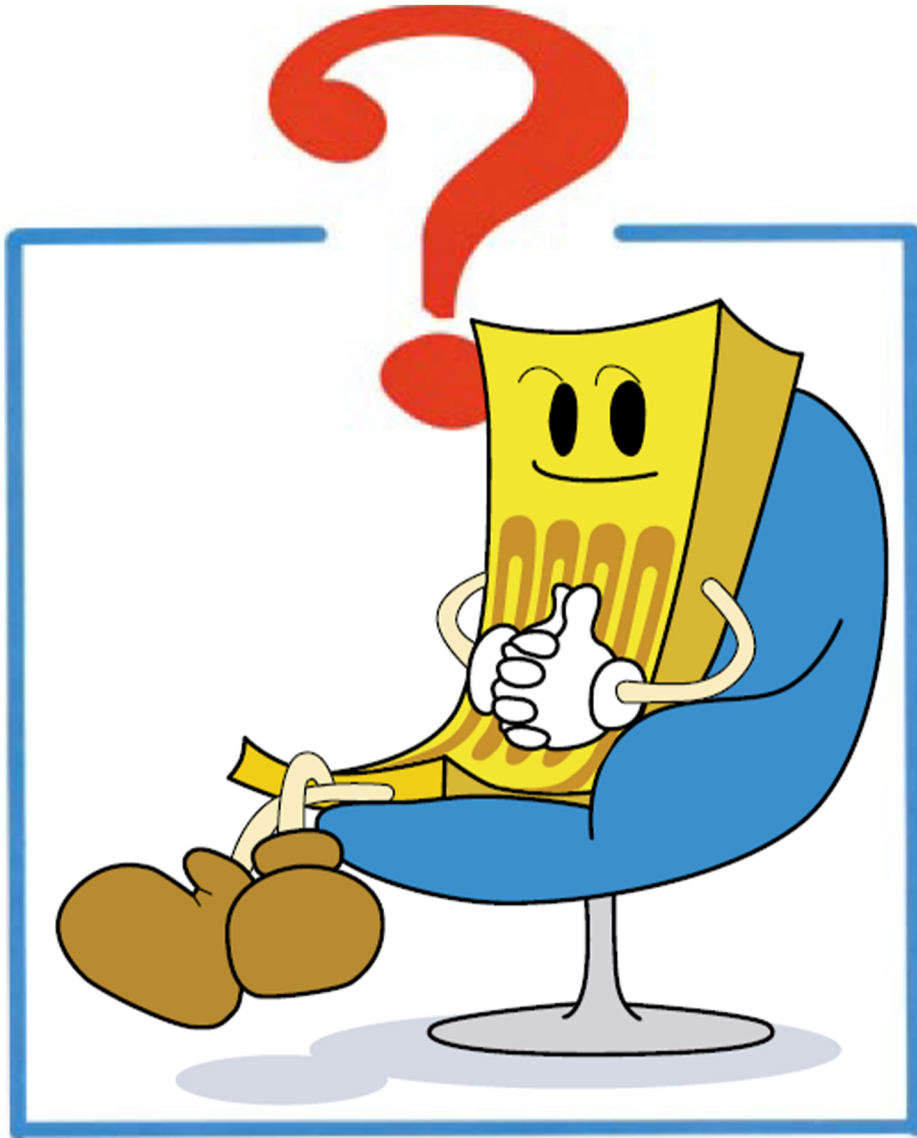


rmc

STRAIN GAGE

Nedir?



 **KYOWA**

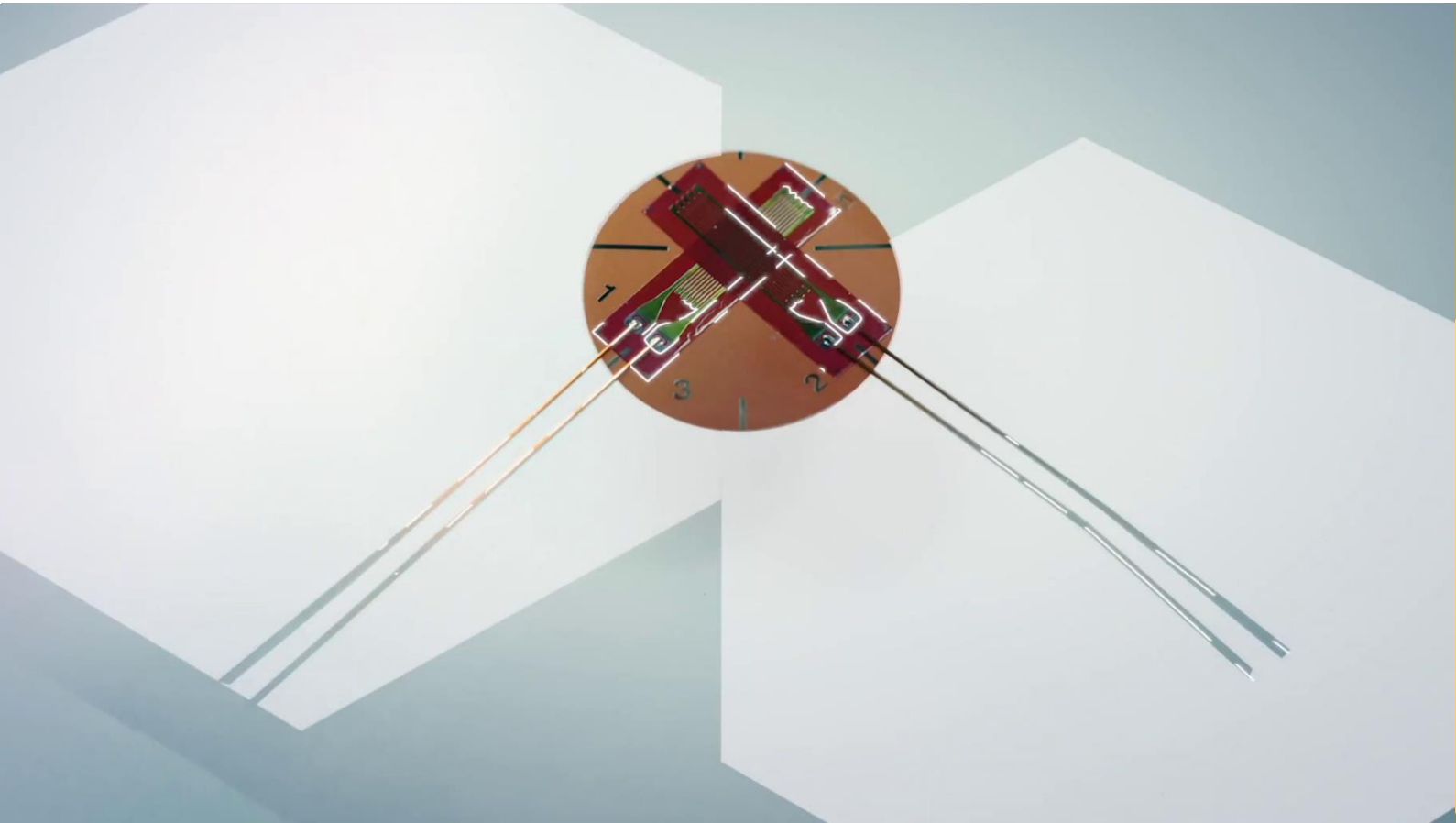


STRAIN GAGE NEDİR ?

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.



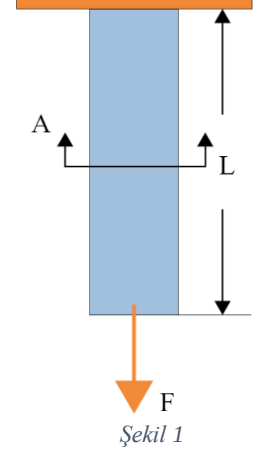
STRESS & STRAIN

(Gerilme ve Gerinim)

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.

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

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



$$\sigma = \frac{F}{A} \left(\frac{N}{m^2} \text{ ya da Pa} \right)$$

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

$$\epsilon = \frac{\Delta L \text{ (Boydaki değişim miktarı)}}{L \text{ (Orijinal uzunluk)}}$$



Şekil 2

Dış kuvvetle aynı yönde uzama (veya çekme) strain'ine boyuna strain denir. Strain uzama (veya kısalma) oranı olduğundan birimi olmayan mutlak bir sayıdır. Genellikle bu oran aşırı derecede küçük bir değerdir ve bu nedenle strain değeri " $\times 10^{-6}$ (milyonda bir) strain", " $\mu\text{m/m}$ " veya $\mu\epsilon$ ile çarpılarak ifade edilir.

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 inşaat tasarımı bu kanun uygulanmaktadır.

Robert Hooke

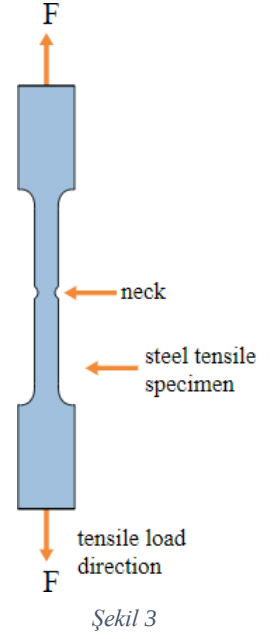
İngiliz bilim adamı. Cambridge Üniversitesi mezunu. Özellikle matematik üzerine mükemmel bir yeteneği vardır. Geometri profesörü olarak Gresham kolejinde hizmet vermiştir. Deneysel olarak dünyanın yerçekimi merkezinin güneşin etrafında bir elips şeklinde döndüğünü doğrulamıştır. 1678 yılında Hooke kanununu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

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

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d_0}$$

Dış kuvvete ortogonal yönde olan straine yanıl (çapraz) strain denir. Her malzemenin yanıl 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.

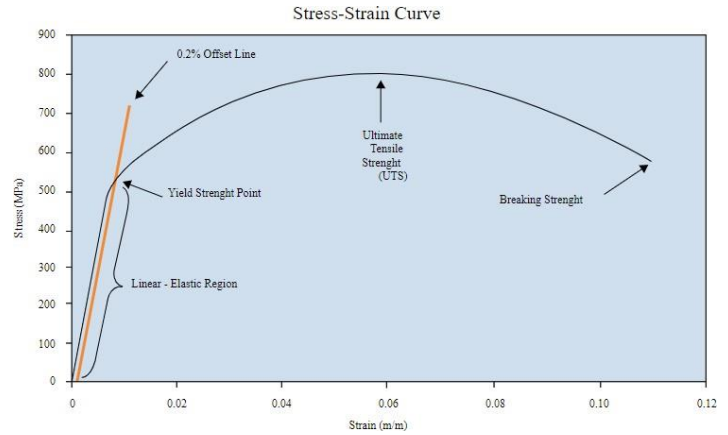
$$\nu = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = 0.3$$



Şekil 3

Pek çok malzemenin stress ve strain ilişkisi deneysel olarak uzun zamandır tanımlıdır. Şekil 4'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.

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



Şekil 4

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.

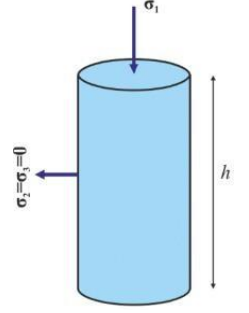
Kütledeki potansiyel teorisi üzerine Poisson denklemi özellikle bilinir olmuştur. Matematik alanında belirli integral ve Fourier serilerinde bir dizi çalışma yapmıştır. Yukarıda bahsi geçen mekanik alanının yanında elektromanyetik teorisini geliştirdiği yer olan matematiksel fizik alanında ve pek çok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



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:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{10kN(1020kgf)}{1 \times 10^{-4}m^2} = \frac{10 \times 10^3 N}{1 \times 10^{-4}m^2} = 100MPa \left(\frac{10.2kgf}{mm^2} \right)$$



Şekil 5

Bu değeri stress-strain ilişkisi tanımlamasında σ yerine koyarsak:

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

Strain genellikle milyonda bir olarak ifade edildiğinden

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = 485 \times 10^{-6}$$

Strain miktarı 485 $\mu m/m$, 485 $\mu\varepsilon$ veya 485 x 10-6 strain olarak ifade edilir.

Strain'in Kutupları

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

Artı (+) çekme (uzama) strain'i için

Eksi (-) basma (kısılma) strain'i için

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.

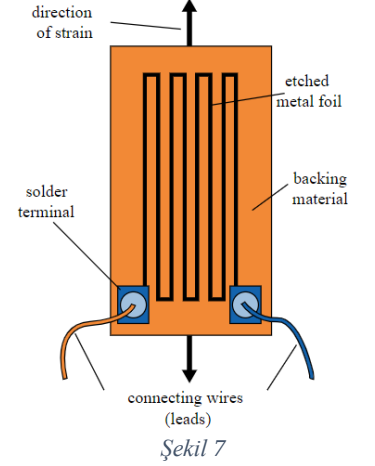
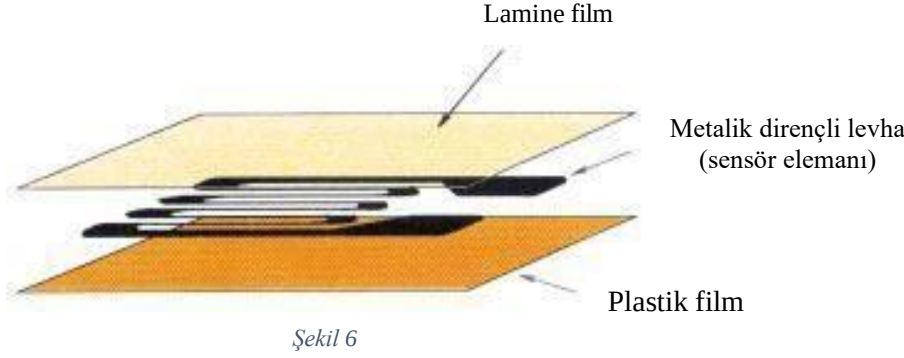
Thomas Young (1773-1829)

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

STRAIN GAGELERİN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

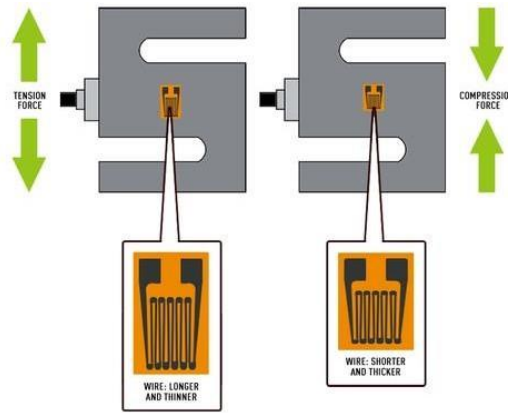
Strain Gage'lerin Yapısı

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



Strain Gage'lerin Çalışma 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:

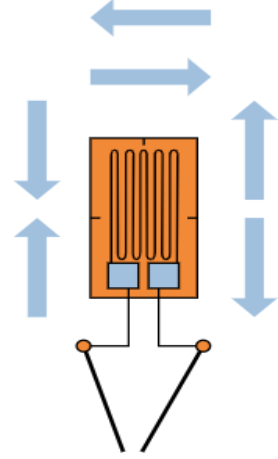
$$\frac{\Delta R}{R} = K_s \times \varepsilon$$

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

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

K_s : Oransal sabit (Gage faktörü)

ε : Strain



Şekil 7

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'ın 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:

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

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 kısalmalara 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 kısalmayı 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.

STRAIN GAGE TİPLERİ

Strain gage, gerilme veya deformasyon ölçümü için kullanılan bir sensördür. Uygulanan gerilme, strain gage'in direncinde değişikliklere neden olur.

Strain rosette ise gerilim ölçümünde kullanılan bir düzenlemedir ve genellikle üç veya daha fazla strain gage'den oluşur. Bu gage'ler, belirli bir açıyla birbirine yerleştirilir ve farklı yönlerdeki gerilmeleri ölçmek için kullanılır. Strain rosette, malzeme testleri, yapısal analizler ve gerilme durumunun daha kapsamlı bir analizi için kullanılır. Gerilme bileşenlerini ayrı ayrı ölçerek daha fazla bilgi sağlar ve malzemelerin davranışını anlamak ve tasarımları optimize etmek için önemli veriler sunar. Strain rosette, genellikle hassas ve doğru gerilme analizlerinde kullanılan güvenilir bir araçtır.

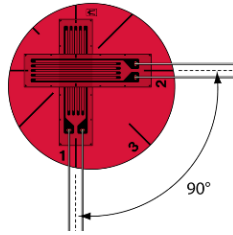
Rozetler, deneysel stres analizinde çok pratik ve önemli bir işlev gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. Örneğin; yüzeye iki adet SG uygulanarak maksimum strain ve stresin yönü büyüklüğü hesaplanabilirken, üç eksenli bir kombinasyonla maksimum stresin hem yönü hem de büyüklüğü hesaplanabilmektedir.

Eğer tek bir gerilme yönünü ölçmeniz gerekiyorsa veya yatırım sınırlıysa, tek eksenli SG seçilmelidir. Çünkü tek eksenli SG'ler genellikle iki eksenli veya üç eksenli SG'lerden daha ucuzdur.



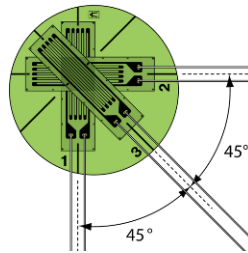
Şekil 8

Eğer asal eksenleri biliniyorsa ve asal stres ölçmek isteniyorsa, iki eksenli Gage rozeti (0-90 Tee rozet) seçilmelidir.



Şekil 9

Eğer Asal eksenleri bilinmiyorsa ve Asal stresleri ölçmek isteniyorsa üç eksenli bir rozet (0-45-90 dikdörtgen rozet veya 0-60-120 delta rozet) seçilmelidir.



Şekil 10



ROZET HESAPLAMALARI

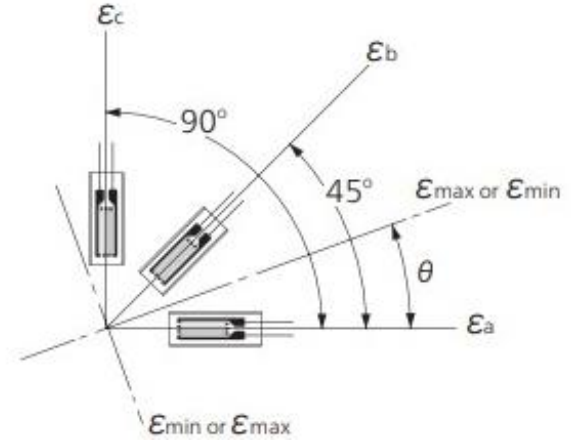
Genel olarak, eğer asal gerilimin yönü belirsiz ise yapı gerilimi ölçümü, üç eksenli bir rozet ölçer kullanılır ve ana gerilimin yönünü bulmak için ölçülen gerinim değerleri aşağıdaki denklemde hesaplanır. (Aşağıdaki denklem yalnızca belirli açılı üç eksenli rozet gageler içindir.)

Maksimum Asal Gerinim:

$$\epsilon_{\max} = \frac{1}{2} [\epsilon_a + \epsilon_c + \sqrt{2((\epsilon_A - \epsilon_B)^2 + (\epsilon_B - \epsilon_C)^2)}]$$

Minimum Asal Gerinim:

$$\epsilon_{\min} = \frac{1}{2} [\epsilon_a + \epsilon_c - \sqrt{2((\epsilon_A - \epsilon_B)^2 + (\epsilon_B - \epsilon_C)^2)}]$$



Şekil 11

Asal Gerinimin Yönü (From ϵ_A axis)

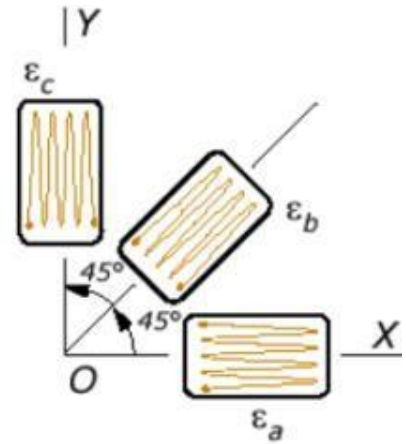
$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2\epsilon_B - \epsilon_A - \epsilon_C}{\epsilon_A - \epsilon_C} \right]$$

Maks. Kesme Gerinim

$$\gamma_{\max} = \sqrt{2((\epsilon_A - \epsilon_B)^2 + (\epsilon_B - \epsilon_C)^2)}$$

Maks. Kesme Gerilmesi

$$\tau_{\max} = \frac{E}{2(1 + \nu)} \times \sqrt{2((\epsilon_A - \epsilon_B)^2 + (\epsilon_B - \epsilon_C)^2)}$$



Şekil 12

Min. Asal Gerilme

$$\sigma_{\max} = \frac{E}{2(1 - \nu^2)} [(1 + \nu)(\epsilon_a + \epsilon_c) + (1 - \nu) \times \sqrt{2((\epsilon_A - \epsilon_B)^2 + (\epsilon_B - \epsilon_C)^2)}]$$

Min. Asal Gerilme

$$\sigma_{\min} = \frac{E}{2(1 - \nu^2)} [(1 + \nu)(\epsilon_a + \epsilon_c) - (1 - \nu) \times \sqrt{2((\epsilon_A - \epsilon_B)^2 + (\epsilon_B - \epsilon_C)^2)}]$$



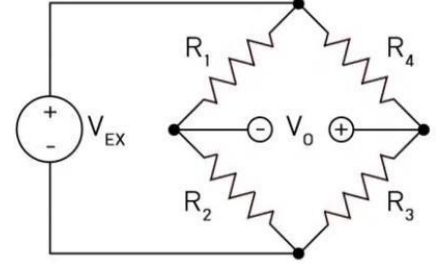
WHEATSTONE KÖPRÜSÜ

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 15'te gösterildiği gibi dört direnç içerecek şekilde konfigüre edilmiştir.

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

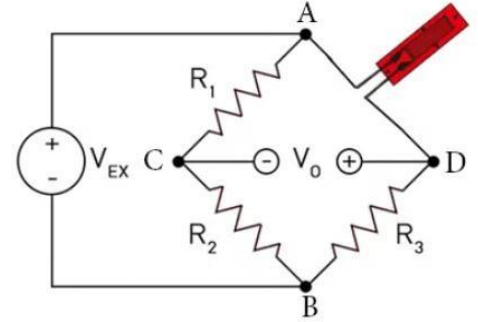
$$R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4 \text{ olduğunu varsayarsak,}$$



Şekil 13

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 16'da gösterildiği üzere, bir strain gage R4 direnci yerine devreye bağlanmıştır. Gage strain yüklendiği zaman ve direnç değişimi meydana geldiğinde, ΔR , köprü devresi çıkışında voltaj, e ortaya çıkar.



Şekil 14

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

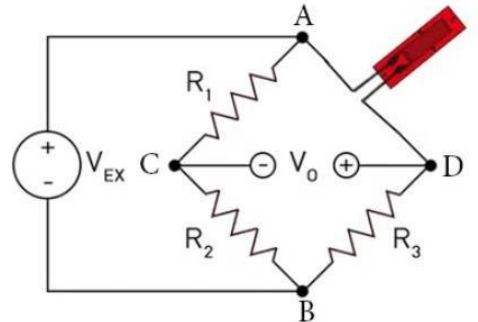
Köprü Yapıları

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

1–gageli sistemin (Çeyrek Köprü) çıkış voltajı:

Yukarıda 4-gage sistem için gösterilen denklemde, 1 gage sistemde oluşan direnç değişimi, R4, yalnızca bir köşede gerçekleşir. Bu yüzden, çıkış voltajı:

$$e = \frac{1}{4} \times \frac{\Delta R_4}{R_4} \times E \quad \text{veya} \quad e = \frac{1}{4} \times K_s \times \epsilon_4 \times E$$



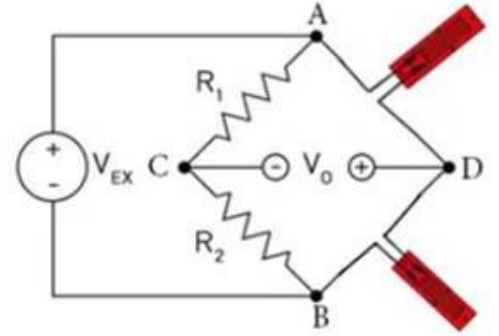
Şekil 15

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

2-gageli sistemin (Yarım Köprü) çıkış voltajı:

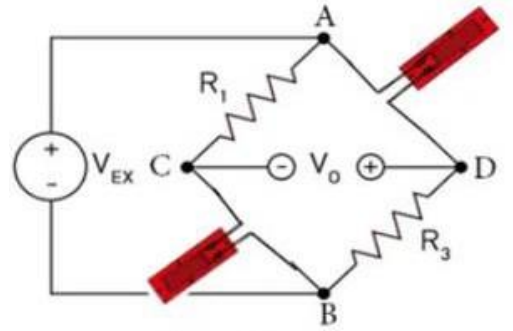
Dört köşe arasında direnç değişimini başlatan iki köşedir. Bu yüzden, Şekil 18'deki iki gage sistem aşağıdaki çıkış voltajını meydana getirmektedir.

$$e = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) E \quad \text{veya} \quad e = \frac{1}{4} \times K_s \times (\varepsilon_3 - \varepsilon_4) \times E$$



Şekil 16

$$e = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) E \quad \text{veya} \quad e = \frac{1}{4} \times K_s \times (\varepsilon_3 + \varepsilon_4) \times E$$



Şekil 17

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.

4-Gageli sistemin (Tam Köprü) çıkış voltajı

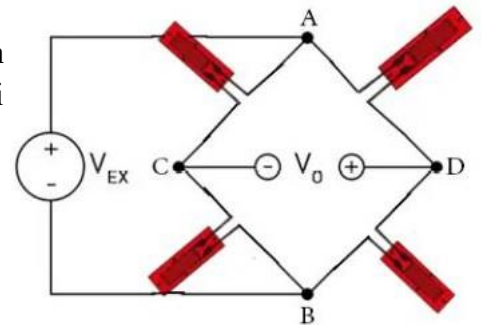
4-gage sistemlerde dört adet gage köprünün dört bir köşesine bağlanmaktadır. Bu sistem strain ölçümü için nadiren kullanılsa da, strain gage tabanlı transducerlarda sıkça uygulanmaktadır.

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:

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

Eğer dört köşede bulunan gage'ler, K, gage faktörleri dahil, Ks ve edinilen strainler, ε_1 , ε_2 , ε_3 ve ε_4 , özellikleri bakımından eşit ise yukarıdaki denklem aşağıdaki gibi olacaktır.

$$e = \frac{1}{4} \times K_s \times (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

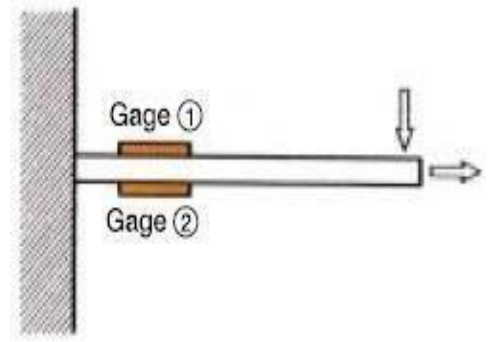


Şekil 18

2- gageli sistem için örnek bir uygulama

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.

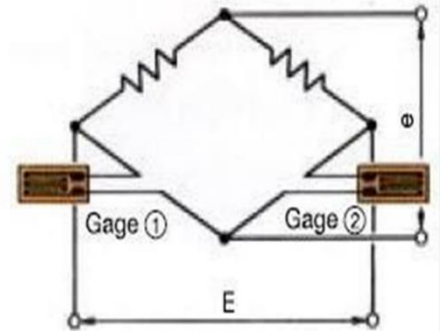
Bu iki gage köprünün zıt veya komşu tarafına bağlıdır ve eğilme veya çekme gerilmesi bağımsız olarak bu şekilde ölçülür. 1. gage çekmeye (artı) maruz kalırken 2. gage basmaya (eksi) maruz kalır.



Şekil 19

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

$$e = \frac{1}{4} K_s (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) E$$

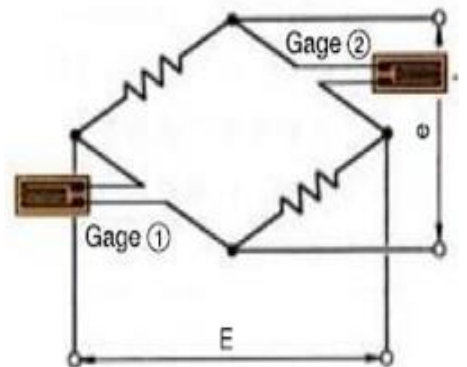


Şekil 21

Çekme gerilmeleri artı ve aynı büyüklükte olduğundan $(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$ 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 22'de gösterilen köprü konfigürasyonudur ve yalnızca eğilme strain'inin ölçülmesine imkan sağlar.

Eğer gage 2, karşı tarafa bağlanmış olsaydı köprünün çıkış voltajı, e:

$$e = \frac{1}{4} K_s (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) E$$



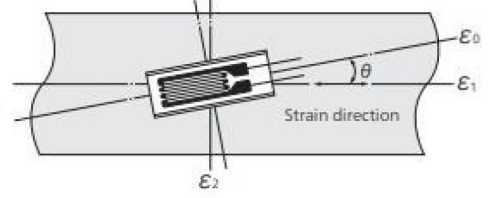
Şekil 23

olacaktır.

Bu nedenle yukarıdakine ters olarak eğilme gerinimi için köprü değeri 0'ken çekme strain'i ikiye katlanmaktadır. Bu da Şekil 23'de verilen köprü konfigürasyonudur, eğilme strain'ini iptal ederek yalnızca çekme strain'inin ölçülebilmesine imkan verir.

STRAIN GAGE KONUMLANDIRMADA AÇISAL HATALARIN HESAPLANMASI

Bir strain gage, amaçlanan gerinim eksenine göre küçük bir açısal hatayla bir test yüzeyine bağlandığında ölçüm, göstergenin yanlış hizalanması nedeniyle hatalı olup gerinimde de bu durum gözlenecektir. Asal gerilmenin olduğu ϵ_1 yönünden θ açısı kadar sapmayla yapılan bir yanlış hizalama sonucu gerinim değeri:



Şekil 22

$$\epsilon_0 = \frac{1}{2} ((\epsilon_1 - \epsilon_2) + (\epsilon_1 + \epsilon_2) \cos 2\theta)$$

Eğer $\epsilon_2 = -\nu \epsilon_1$; tek eksenli stres durumunda (ν : Poisson oranı)

$$\epsilon_0 = \frac{1}{2} ((1 - \nu) + (1 + \nu) \cos 2\theta)$$

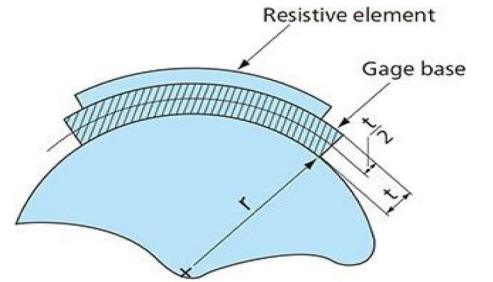


KAVİSLİ YÜZEYLERDE STRAIN GAGE YERLEŞİMİ

Eğimli bir yüzeye bağlı gerinim ölçerin direnç elemanında meydana gelen gerinim ϵ aşağıdaki denklemle ifade edilebilir.

Strain Gage Seçimi: Kavisli yüzeylere uygun olan strain gage'leri seçmeniz önemlidir. Genellikle bükülebilir veya esnek yapıya sahip olan strain gage'ler, kavisli yüzeylere daha iyi uyum sağlar. Esnek strain gage'ler, yüzeye daha iyi oturur ve deformasyonla birlikte hareket edebilir.

$$\epsilon = \frac{t}{2r+t}$$



Şekil 23

t=strain gage tabanı artı yapıştırıcı tabaka kalınlığı
r=strain gage bağlı yüzey yarıçapı

Örneğin, yapışkan tabaka dahil gage tabanı 0,015 mm kalınlıkta olan tek eksenli bir KFGS gage, $r = 1,5$ mm'lik kavisli bir yüzeye yapıştırılırsa, gerinim ölçer halihazırda yaklaşık 5000 $\mu\text{m}/\text{m}$ 'lik bir gerinim alır.

Gösterge faktörü K_s 2.00 ise,

$$\frac{\Delta R}{R} = 10000 \times 10^{-6}$$

Gage direnci 120 Ω ise, yaklaşık 1,2 Ω artar. Strain gage eğrinin içine bağlanırsa, direnç azalır.



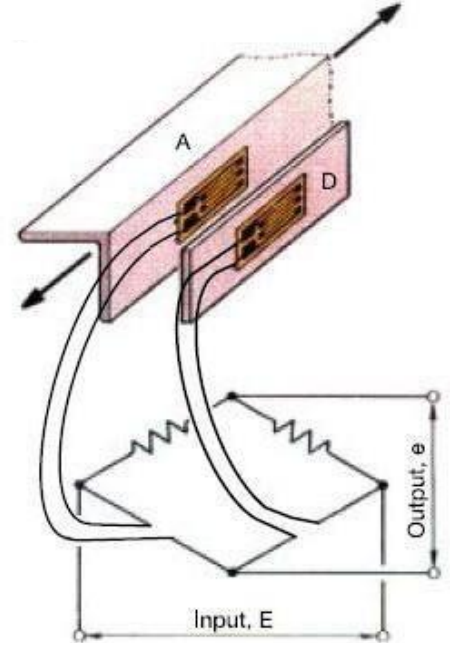
SICAKLIK KOMPANZASYONU

Strain ölçümündeki problemlerden biri de termal etkilerdir. Dış kuvvetler yanında değişen sıcaklıklar da ölçülen nesnenin uzamasına veya kısalmasına 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 26’da 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.



Şekil 24

Kendiliğinden Sıcaklık Kompanzasyon 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 elemanının 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. Birkaç özel model dışında tüm KYOWA strain gage’lerinde kendiliğinden sıcaklık dengeleme metodu kullanılmaktadır.

$$\varepsilon_T = \frac{a}{K_s} + (\beta_s - \beta_g)$$

Burada,

a: Direnç elemanının termal direnç katsayısı

K_s : Strain Gage’nin gage faktörü

β_s ve β_g : Ölçüm nesnesi ve gerinim ölçerin dirençli elemanı sırasıyla β_s ve β_g doğrusal genişleme katsayılarına sahiptir.



KENDİLİĞİNDEN SICAKLIK KOMPANZASYONU METODUNUN PRENSİBİ

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

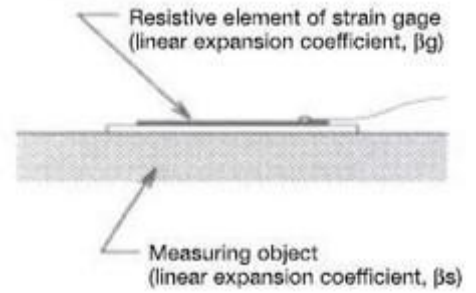
Ölçülen nesnenin lineer genişleme sabitinin β_s olduğunu varsayalım ve strain gage'in direnç elemanının lineer genişleme sabitinin de β_g olduğunu varsayalım. Strain gage, ölçülen nesneye yapıştırıldığı zaman, Şekil 27'de gösterildiği üzere, strain gage üzerinde meydana gelen termal olarak indüklenmiş strain aşağıdaki gibidir:

$$\varepsilon_T = \frac{a}{K_s} + (\beta_s + \beta_g)$$

a '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, a 'nın kontrolü, termal-kaynaklı strain, ε_T 'yi yukarıdaki denklemde sıfır yapmak için yeterlidir.

$$a = -K_s(\beta_s - \beta_g)$$

$$a = K_s(\beta_g - \beta_s)$$



Şekil 25

Direnç elemanının direnç sıcaklık sabiti'nin, α 'nın kontrolü, "foil" ü 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.

SELCOM gage applicable materials

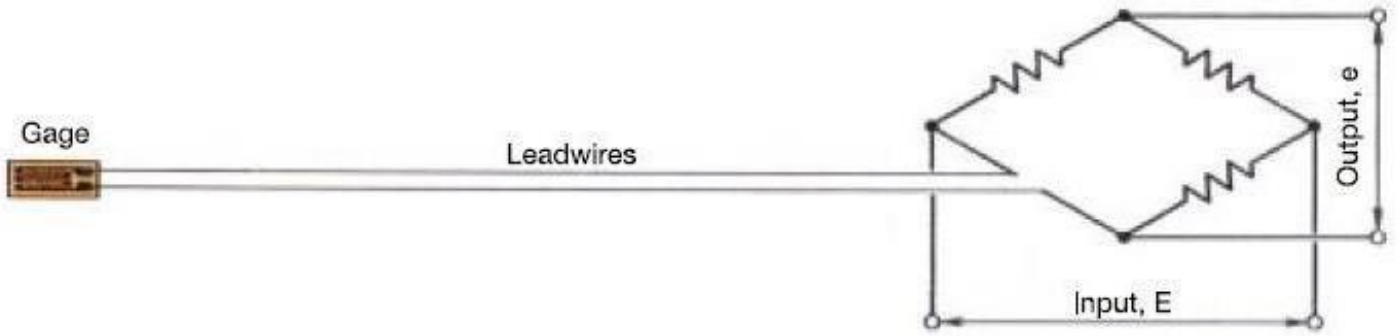
Applicable materials	Linear expansion coefficient
Composite materials, diamond, etc.	$1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Composite materials, silicon, sulfur, etc.	$3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Composite materials, lumber, tungsten, etc.	$5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Composite materials, 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	$65 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

GİRİŞ-ÇIKIŞ KABLOSU SICAKLIK DENGELEMESİ (Leadwire Effect)

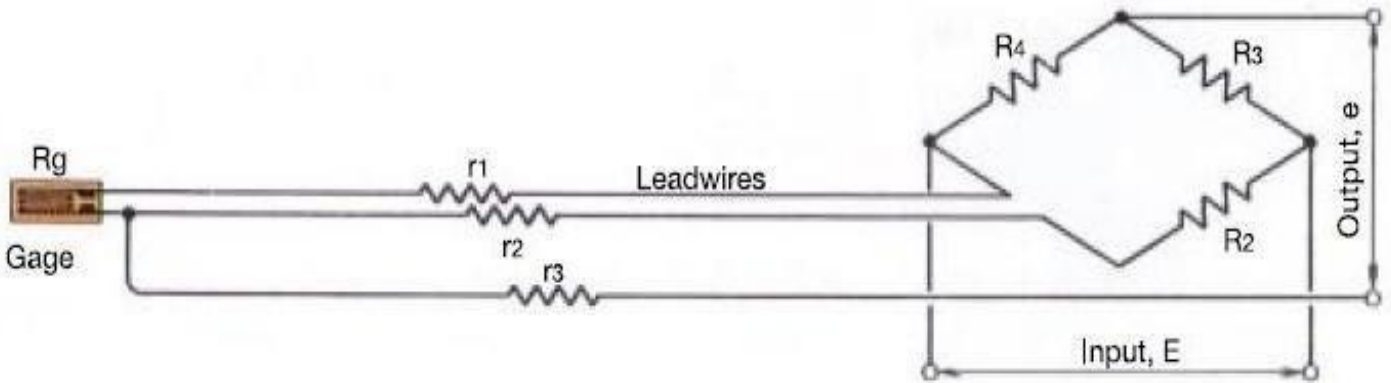
Kendiliğinden sıcaklık dengelemeli (SELCOM) gage kullanımı, gage çıkışında meydana gelen sıcaklık etkisini elimine etmektedir. Ancak gage ile strain gage köprüsü arasındaki kablolar da ortam sıcaklığından etkilenmektedir. Bu problemin de çözülmesi gerekmektedir.

Şekil 29'de 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.



Şekil 27

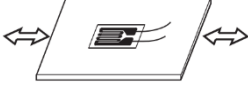
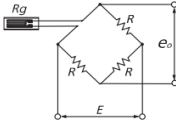
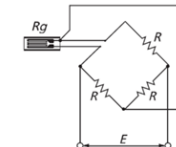
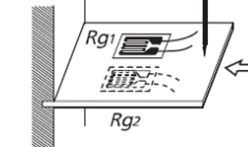
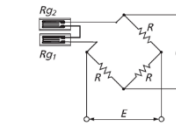
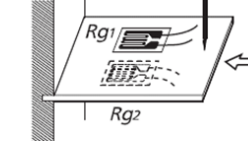
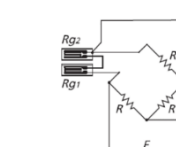
Üç-kablo sistemi, bu sıcaklık etkisini ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir. Şekil 30'da gösterildiği üzere 3-kablo sistemi gage'in uçlarından birine bağlanmış iki kablo ve diğerine bağlanmış bir kablodan meydana gelmektedir.



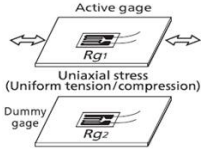
Şekil 28

2-kablo sisteminden farklı olarak 3-kablolu sistem, kablo direncini köprünün gage tarafına ve komşu tarafına dağıtmaktadır. Şekil 30'da 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.

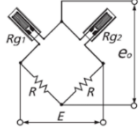
STRAIN GAGE KÖPRÜ TÜRLERİ

Basma-Çekme Gerilmesi  2 Kablolu Çeyrek Köprü Şeması 	$e_0 = \frac{E}{4} K_s \cdot \varepsilon_0$ <i>K_s: Gage Faktörü</i> <i>ε₀: Strain</i> <i>E: Besleme Gerilimi</i> <i>e₀: Çıkış Voltajı</i> <i>R_g: Gage Direnci</i> <i>R: Sabit Direnç</i>	Ortamdaki sıcaklık değişiminin az olduğu ortamlarda kullanımı uygundur. Sıcaklık kompanzasyonu yoktur. Ortam sıcaklığı değişimi ölçümü olumsuz yönde etkiler.
Basma-Çekme Gerilmesi  3 Kablolu Çeyrek Köprü Şeması 	$e_0 = \frac{E}{4} K_s \cdot \varepsilon_0$ <i>K_s: Gage Faktörü</i> <i>ε₀: Strain</i> <i>E: Besleme Gerilimi</i> <i>e₀: Çıkış Voltajı</i> <i>R_g: Gage Direnci</i> <i>R: Sabit Direnç</i>	Kablo kaynaklı sıcaklık etkisini ortadan kaldırır. Gage sıcaklık kompanzasyonu gerçekleştirmez.
Basma-Çekme Gerilmesi  2 Kablolu Çeyrek Köprü Şeması 	$e_0 = \frac{E}{4} K_s \cdot \varepsilon_0$ <i>R_{g1} ... Strain: ε₁</i> <i>R_{g2} ... Strain: ε₂</i> $\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}$ <i>R: Sabit Direnç</i> $R = R_{g1} + R_{g2}$ <i>R_{g1} & R_{g2}, 60 ohm dirençli strain gagelerdir.</i>	Sıcaklık kompanzasyonu yoktur. Ortam sıcaklığının değişimi ölçümü olumsuz yönde etkileyecektir. Eğilme gerilmesini ortadan kaldırır.
Basma-Çekme Gerilmesi  3 Kablolu Çeyrek Köprü Şeması 	$e_0 = \frac{E}{4} K_s \cdot \varepsilon_0$ <i>R_{g1} ... Strain: ε₁</i> <i>R_{g2} ... Strain: ε₂</i> $\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}$ <i>R: Sabit Direnç</i> $R = R_{g1} + R_{g2}$ <i>R_{g1} & R_{g2}, 60 ohm dirençli strain gagelerdir.</i>	Kablo kaynaklı sıcaklık etkisini ortadan kaldırılır. Gage sıcaklık kompanzasyonu gerçekleştirmez. Eğilme gerilmesini ortadan kaldırır.

Basma-Çekme Gerilmesi



Yarım Köprü Şeması



$$e_0 = \frac{E}{4} K_s \cdot \varepsilon_0$$

K_s : Gage Faktörü

ε_0 : Strain

E : Besleme Gerilimi

e_0 : Çıkış Voltajı

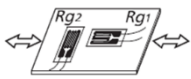
$R_{g1} \dots$ Strain: ε_0

$R_{g2} \dots$ Strain: 0

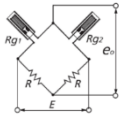
R : Sabit Direnç

Aktif Dummy yöntemiyle sıcaklık kompanzasyonu sağlar. Kablo kaynaklı sıcaklık etkisini ortadan kaldırır.

Basma-Çekme Gerilmesi



Yarım Köprü Şeması



$$e_0 = \frac{(1 + \nu)E}{4} K_s \cdot \varepsilon_0$$

ν : Poisson Oranı

E : Besleme Gerilimi

e_0 : Çıkış Voltajı

R_{g1}, R_{g2} Gage Direnci

$R_{g1} \dots$ Strain: ε_0

$R_{g2} \dots$ Strain: $-\nu \varepsilon_0$

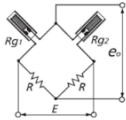
R : Sabit Direnç

Sıcaklık kompanzasyonu sağlar. Kablo kaynaklı sıcaklık etkisini ortadan kaldırır.

Eğilme Gerilmesi



Yarım Köprü Şeması



$$e_0 = \frac{E}{2} K_s \cdot \varepsilon_0$$

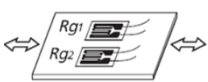
$R_{g1} \dots$ Strain: ε_0

$R_{g2} \dots$ Strain: $-\varepsilon_0$

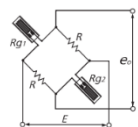
R : Sabit Direnç

Sıcaklık kompanzasyonu sağlar. Kablo kaynaklı sıcaklık etkisini ortadan kaldırır. Basma ve çekme gerilmelerini ortadan kaldırır.

Basma-Çekme Gerilmesi



Yarım Köprü Şeması (2 kablolu)



$$e_0 = \frac{E}{2} K_s \cdot \varepsilon_0$$

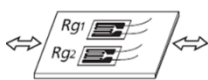
$R_{g1} \dots$ Strain: ε_0

$R_{g2} \dots$ Strain: ε_0

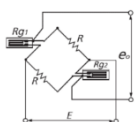
R : Sabit Direnç

Sıcaklık kompanzasyonu yoktur. Eğilme gerilmesini gagelerin karşılıklı yüzeylere konumlandırılmasıyla giderir.

Basma-Çekme Gerilmesi



Yarım Köprü Şeması (3 kablolu)



$$e_0 = \frac{E}{2} K_s \cdot \varepsilon_0$$

$R_{g1} \dots$ Strain: ε_0

$R_{g2} \dots$ Strain: ε_0

R : Sabit Direnç

$$e_0 = \frac{E}{2} K_s \cdot \varepsilon_0$$

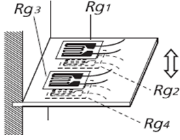
$R_{g1} \dots$ Strain: ε_0

$R_{g2} \dots$ Strain: ε_0

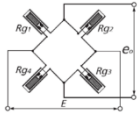
R : Sabit Direnç

Sıcaklık kompanzasyonu yoktur. Kablo kaynaklı sıcaklık etkisini ortadan kaldırır. Eğilme gerilmesini gagelerin karşılıklı yüzeylere konumlandırılmasıyla giderir.

Eğilme Gerilmesi



Tam Köprü Şeması



$$e_0 = K_s \cdot \varepsilon_0 \cdot E$$

$$R_{g1}, R_{g3} \dots$$

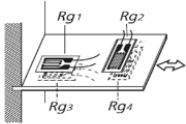
$$\text{Eğilme Strain: } \varepsilon_0$$

$$R_{g2}, R_{g4} \dots$$

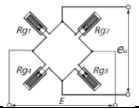
$$\text{Eğilme Strain: } -\varepsilon_0$$

Sıcaklık kompanzasyonu sağlar. Kablo kaynaklı sıcaklık etkisini ortadan kaldırır. Basma ve çekme gerilmesini, gagelerin karşılıklı yüzeylere konumlandırılmasıyla giderir.

Basma-Çekme Gerilmesi



Tam Köprü Şeması



$$e_0 = \frac{(1 + \nu)E}{2} K_s \cdot \varepsilon_0$$

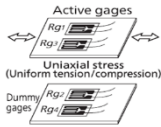
$$\nu: \text{Poisson Oranı}$$

$$R_{g1}, R_{g3} \dots \text{Strain: } \varepsilon_0$$

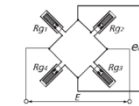
$$R_{g2}, R_{g4} \dots \text{Strain: } -\nu\varepsilon_0$$

Sıcaklık kompanzasyonu sağlar. Kablo kaynaklı sıcaklık etkisini ortadan kaldırır.

Basma-Çekme Gerilmesi



Tam Köprü Şeması (Aktif-Dummy)



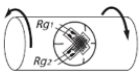
$$e_0 = \frac{E}{2} K_s \cdot \varepsilon_0$$

$$R_{g1}, R_{g3} \dots \text{Strain: } \varepsilon_0$$

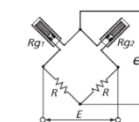
$$R_{g2}, R_{g4} \dots \text{Strain: } -\varepsilon_0$$

Sıcaklık kompanzasyonu sağlar. Kablo kaynaklı sıcaklık etkisini ortadan kaldırır. Eğilme gerilmesini, gagelerin karşılıklı yüzeylere konumlandırılmasıyla giderir.

Burulma Gerilmesi



Yarım Köprü Şeması



$$e_0 = \frac{E}{2} K_s \cdot \varepsilon_0$$

$$R_{g1}, \text{Burulma}$$

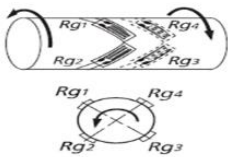
$$\text{Strain: } \varepsilon_0$$

$$R_{g2}, \text{Burulma}$$

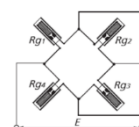
$$\text{Strain: } -\varepsilon_0$$

Sıcaklık kompanzasyonu sağlar. Kablo kaynaklı sıcaklık etkisini ortadan kaldırır.

Burulma Gerilmesi



Tam Köprü Şeması



$$e_0 = K_s \cdot \varepsilon_0 \cdot E$$

$$R_{g1}, R_{g3} \dots \text{Burulma}$$

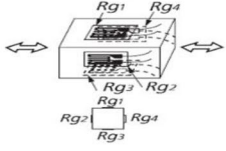
$$\text{Strain: } \varepsilon_0$$

$$R_{g2}, R_{g4} \dots \text{Burulma}$$

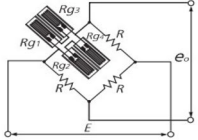
$$\text{Strain: } -\varepsilon_0$$

Sıcaklık kompanzasyonu sağlar. Kablo kaynaklı sıcaklık etkisini ortadan kaldırır.

Basma-Çekme Gerilmesi



Çeyrek Köprü Şeması (Ortalama Gerinim Ölçümü İçin)



$$e_0 = \frac{E}{4} K_s \cdot \varepsilon_0$$

$$\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{4}$$

R: Sabit Direnç

$$R_g = R$$

$$R = R_{g1} + R_{g1} + R_{g1} + R_{g1}$$

Sıcaklık kompanzasyonu yoktur.
Ortalama gerinim ölçümü sağlar.



STRAIN GAGE UYGULAMA KİTİ NO:1

- Strain Gage Kablosu [100m]
- Zımpara – 150, 240, 320, 400 [Grit]
- Gazlı Bez – 5 x 5 [100 Adet]
- İzopropil Alkol [2x 200mL]
- Metal Cetvel
- Marker Kalem [1 Adet]
- Kurşun Kalem [1 Adet]
- Alüminyum Bant
- Şerit Metre [3m]
- Yuvarlak Uçlu Makas
- Falçata seti [6 Parça]
- Şeffaf Bant
- Kağıt Bant
- İzole Elektrik Bantı
- Lehim Pastası [50gr]
- Cımbız Seti [4 Parça]
- T-F13B Glass-Epoxy Gage Terminalleri [100 Adet]
- CC – 33A Yapıştırıcı [5 x 2gr]
- Lehim Teli [100gr]
- Yan Keski
- Kablo Soyucu
- Strain Gage Dokümanı
- Takım Çantası
- Lehim İstasyonu [Weller]
- Dijital Multimetre [Fluke]
- AK22
- VM-Tape
- ŞEFFAF Pleksi Levha Cam Görünümlü Pleksi Saydam Akrilik (10x10cm)
- D-SUB (50 Adet)
- Eldiven
- Teorik ve Uygulamalı Eğitim (1 gün)



STRAIN GAGE UYGULAMA KİTİ NO:2

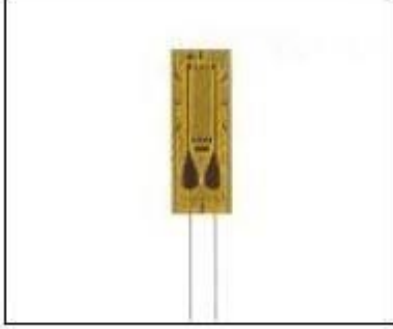
- Strain Gage Kablosu [100m]
- Zımpara – 150, 240, 320, 400 [Grit]
- Gazlı Bez – [10 Adet]
- İzopropil Alkol [1x 200mL]
- Metal Cetvel
- Marker Kalem [1 Adet]
- Kurşun Kalem [1 Adet]
- Yuvarlak Uçlu Makas
- Falçata seti [6 Parça]
- Şeffaf Bant
- Cımbız Seti [4 Parça]
- T-F13B Glass-Epoxy Gage Terminalleri [100 Adet]
- CC – 33A Yapıştırıcı [5 x 2gr]
- Lehim Teli [200gr]
- Kablo Soyucu
- Strain Gage Dokümanı
- Takım Çantası
- ŞEFFAF Pleksi Levha Cam Görünümlü Pleksi Saydam Akrilik (10x10cm)



STRAIN GAGE UYGULAMA ADIMLARI

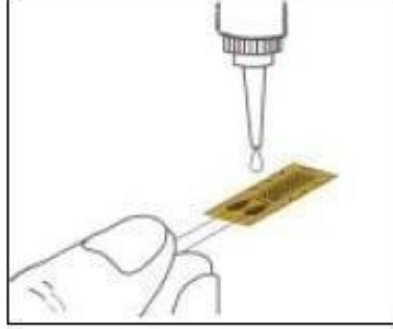
Strain gage bağlama metodu kullanılan strain gage tipi, uygulanan yapıştırıcı ve uygulama ortamına bağlı olarak değişmektedir. Aşağıda oda sıcaklığında strain ölçümü amacıyla tipik kablo bağlantılı KFG gage'in düşük karbonlu çelik numunesine, CC-33A hızlı-kuruma siyanoakrilat yapıştırıcısı ile nasıl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

(1) Strain gage'i seçin



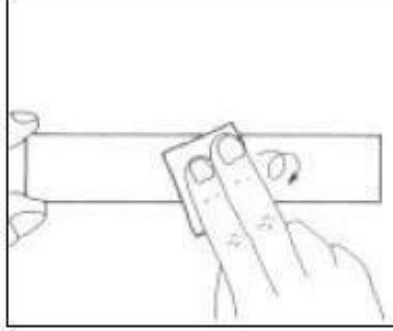
Strain gage modeli ve gage uzunluğunu, ölçülen nesne ve ölçüm amacına uygun olarak seçin. Ölçülen objeye uygulanabilir olan lineer genişleme katsayısı için en uygun olanını seçin.

(5) Yapıştırıcıyı uygulayın



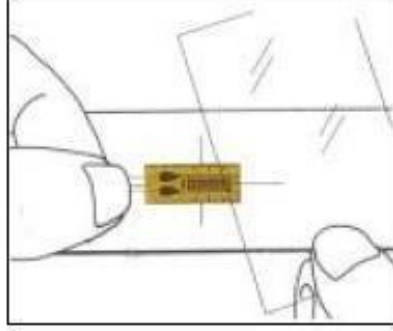
Strain gage'in ön ve arka tarafından emin olun. Strain gage'in arkasına bir damla CC-33A yapıştırıcısından damlatın. Yapıştırıcıyı yaymayın. Eğer yayılma meydana gelirse, kuruma hızı artacak dolayısı ile yapıştırma dayanımı azalacaktır.

(2) Toz ve boyayı temizleyin



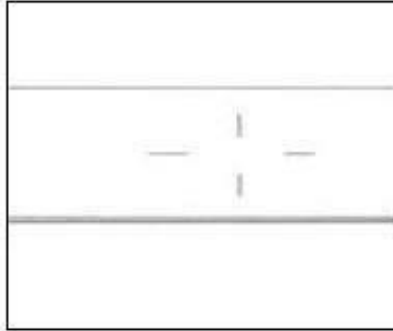
Zımpara kullanarak (#200– 300), strain-gage'in bağlanacağı bölgeyi strain gage boyutundan daha geniş bir alanda zımparalayın. Eğer yüzeyde Yapıştırıcıdan bir damla uyguladıktan sonra strain gage'i ölçüm sahasına daha

(6) Strain gage'i ölçüm bölgesine yapıştırın



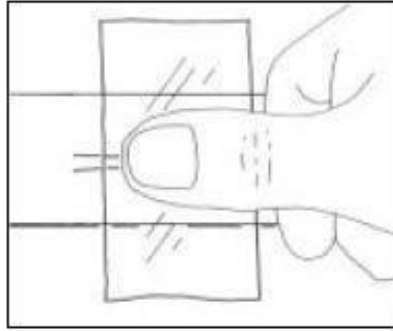
Yapıştırıcıdan bir damla uyguladıktan sonra strain gage'i ölçüm sahasına daha önceden çizmiş olduğumuz merkez çizgilerinin ortasına yerleştirin.

(3) Bağlama pozisyonuna karar verin



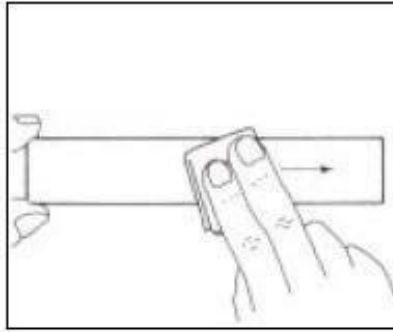
Bir kalem veya işaretleme pini ile strain yönünde ölçüm alanını işaretleyin. İşaretleme pini kullanırken strain gage bağlama yüzeyinde derin çizik oluşturmamaya özen gösterin.

(7) Bağlama işinin tamamlayın



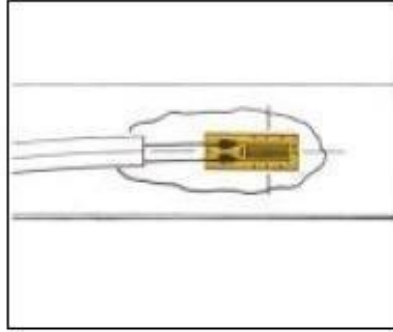
Strain gage'i polietilen katman ile kaplayın ve üzerine başparmağınızla bastırın. 5.'den 7. Basamağa kadar olan aşamaları seri bir şekilde hızlıca uygulayın. Strain gage uygulanacağı bölgeye bir kere yerleştirildikten sonra, pozisyonunu değiştirmek için

(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

(8) Strain gage'i seçin

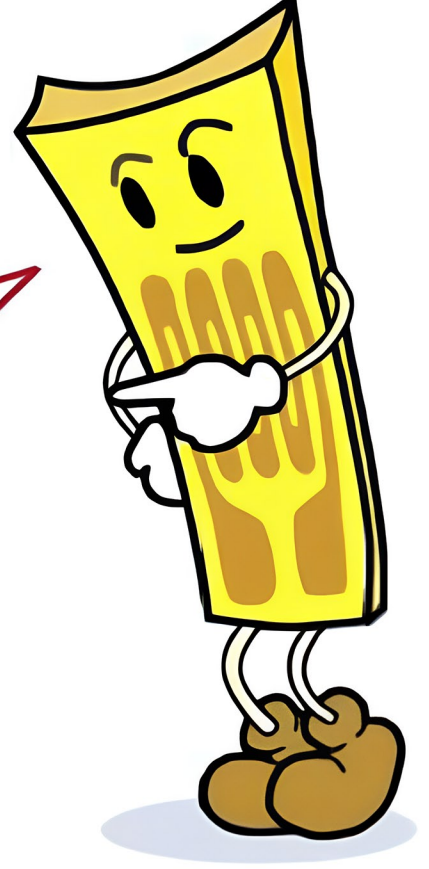


Strain gage'e parmağınızla yaklaşık bir dakika baskı uyguladıktan sonra polietilen levhayı kaldırarak strain gage'in güvenli bir şekilde bağlandığından emin olun. İyi ölçüm sonuçları, 60 dakika sonra yapıştırıcının kuruma süreci tam olarak tamamlanınca mümkün olacaktır.



rmc

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



KYOWA

Tel: (216) 290 51 72-73

Fax: (0216) 518 14 22

E-mail: destek@rmc.com.tr

Teknopark İstanbul Teknopark Bulvarı No:1/2A 101 Pendik/İSTANBUL