

Teknik Doküman
(Technical Document)

Kalın Numune Kullanılarak Yapılan Eksenellik Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Doç. Dr. Bülent AYDEMİR, Cemal VATAN, Dr. Haldun DİZDAR
TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (TÜBİTAK UME), Gebze/Kocaeli, TÜRKİYE,
bulent.aydemir@tubitak.gov.tr, cemal.vatan@tubitak.gov.tr, haldun.dizdar@tubitak.gov.tr

Özet

Malzeme test makinalarının eksenellik doğrulaması ölçümlerinin detayları ASTM E1012, ISO 23788 ve MIL-STD-1312B standartlarının yanı sıra, General Electric firmasının üretim detaylarını ele aldığı referans cihaz ile ilgili bilgiler S-400 ve PRI AC7101 dokümanlarında verilmiştir. Bu dokümanlarda tanımlandığı şekilde imal edilmiş olan eksenellik ölçüm cihazı ile malzeme test makinasının belirli kuvvet değerlerindeki eksenellikten sapma oranı ölçülür. Yapılan ölçüm sonucunda, malzeme test makinasının numune bağlama ekseninde oluşabilecek bozulmaların; eksenellikteki sapma toleranslarının içinde olup olmadığı sertifikalandırılabilir.

Bu çalışmada, ASTM E1012 standardına göre dikdörtgen kalın numune kullanılarak yapılan eksenellik ölçümü açıklanacaktır. Ayrıca, pratikte yapılmış olan bir eksenellik ölçüm sonucu ve değerlendirmesi örnek olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ASTM E1012, Eksenellik ölçümü, Kalın numune

Evaluation of Alignment Measurement Results Made Using Thick Sample

Abstract

The details of the alignment verification measurements of the material testing machines are given in ASTM E1012, ISO 23788 and MIL-STD-1312B standards, as well as the information about the reference device, in which General Electric company deals with the production details, in S-400 and PRI AC7101 documents. With the alignment measuring device manufactured as described in these documents, the rate of deviation from the alignment at certain force values of the material testing machine is measured. As a result of the measurement, the material testing machine is determined misalignment deviation from specific force value in use this method. In this way, alignment measurement values of materials testing machine can be certified.

In this study, alignment measurement using a rectangular thick sample according to ASTM E1012 standard will be explained. In addition, an alignment measurement result and evaluation made in practice are given as an example.

Keywords: ASTM E1012, alignment measurement, thick sample

1. GİRİŞ

Malzeme testi makinasının düzenli, doğru ve güvenilir ölçüm sonuçları elde ettiğini belgelendirmenin yollarından en önemlisi kalibrasyondur. Malzeme test makinalarının statik olarak doğruluklarının kontrolü için kullanılan kuvvet ölçme cihazlarının kalibrasyonları ISO 7500-1 veya ASTM E4 standartlarına göre gerçekleştirilir. Ayrıca, ekstansometre cihazının kalibrasyonu ise ISO 9513 veya ASTM E83 standartlarına uygun olarak yapılabilir. Zaman zaman kuvvet ve ekstansometre cihazı kalibre edilmiş ve uygun toleranslarda olduğu belirlenmiş malzeme test makinalarında yapılan ölçümler sonucunda yine cihaza bağlı farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Bu sorunun cihazın eksenellik probleminden kaynakladığı bulunmuş ve eksenellik problemlerinin oluşma nedenleri de şu şekilde sıralanmıştır:

- Numune tutma çenelerinin değişmesi,
- Farklı ve yeni numune tutma çenelerinin kullanılması,
- Hareketli tablanın konumlama hatası,
- Parçalarda aşınma ve hasar oluşması,

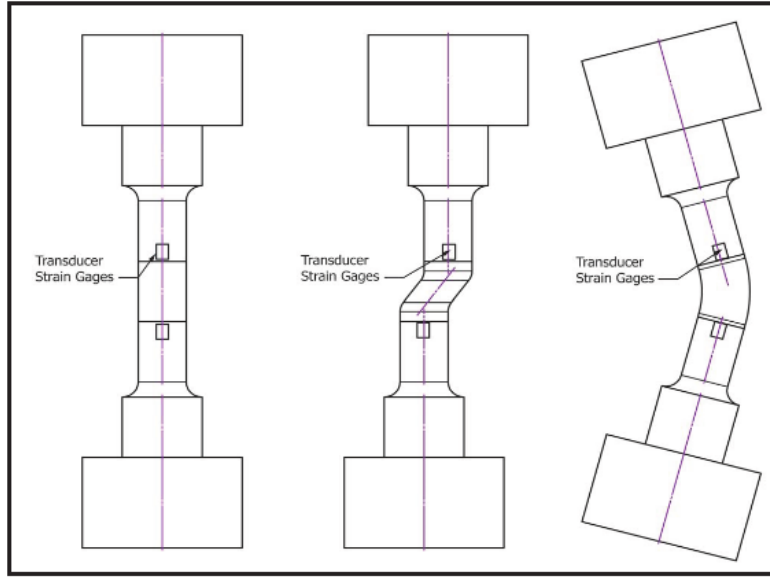
Bu nedenlerden dolayı malzeme test makinalarında eksenel kaçıklık ve bozulmalar meydana gelmektedir.

Bu sorunların tespit edilmesi üzerine cihazların eksenellik doğrulamalarının da yapılmasının gereği ortaya çıkmıştır. Ayrıca, havacılık sektöründeki büyük şirketler ve bazı akredite laboratuvarlar eksenelliğin önemli nedeniye, malzeme test makinalarının bu özelliklerinin de kalibre edilmiş olmasını istemektedirler.

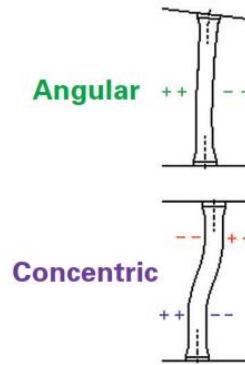
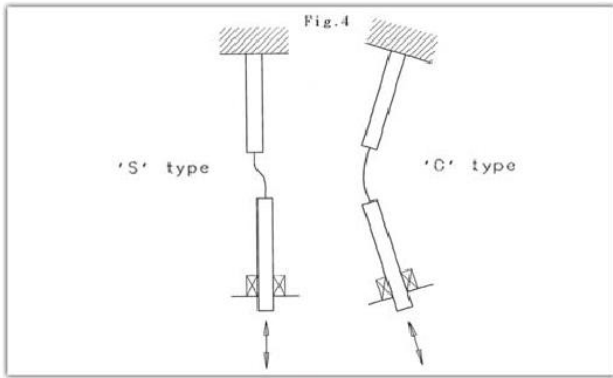
Eksenellik ölçümünün detayları ve beklenen tolerans değerleri ASTM E1012, ISO 23788 ve MIL-STD-1312B standartlarının yanı sıra, General Electric firmasının üretim detaylarını ele aldığı referans cihaz ile ilgili bilgiler S-400 ve PRI AC7101 dokümanlarında da verilmiştir. Bu dokümanlarda tanımlandığı şekilde imal edilmiş olan eksenellik ölçüm cihazı ile ölçülecek malzeme test makinasının belirli kuvvet değerlerinde eksenellikten sapma oranı belirlenir. ASTM E1012 standardında belirtilen prosedür, malzeme test makinalarında ölçülen cihazın eksenellikten sapma miktarının belirlenmesi için kabul edilebilir bir yöntem olup, bu çalışmada ASTM E1012 standardı esas alınmıştır.

ASTM E1012 standardında öncelikle eksenellik ölçüm sensörünün temel yapısı verilmiştir. Şekil 1’de sensörün üzerinde yer alan uzama ölçerlerin (strain gauge) pozisyonları ve eksen kayma şekilleri tanımlanmıştır. Şekil 1a’da eksenellik ölçüm cihazının tipi ve şekli belirtilmiş, Şekil 1b’de konsantrik (ortak merkezin kayması) veya S tip olarak eksenellikten sapma durumu; Şekil 1c’de ise açısal veya C tip eksenellikten sapma durumu ifade edilmiştir. Şekil 2’de ise bu durumların farklı gösterimleri görülmektedir. Tüm bu şekiller incelendiğinde açısal sapma durumunda eksenellik ölçüm cihazının karşıdan bakıldığında sol tarafında "+" ile ifade edilen çekme gerilmelerinin, sağ tarafında ise "-" ile ifade edilen basma gerilmelerinin olduğu görülür. Konsantrik tip sapma durumunda ise sol ve sağ tarafta her iki gerilmenin de olduğu görülmektedir. Malzeme test makinası üzerine bağlanmış eksenellik ölçüm sensörü üzerindeki uzama durumları ise Şekil 3’de verilmiştir.

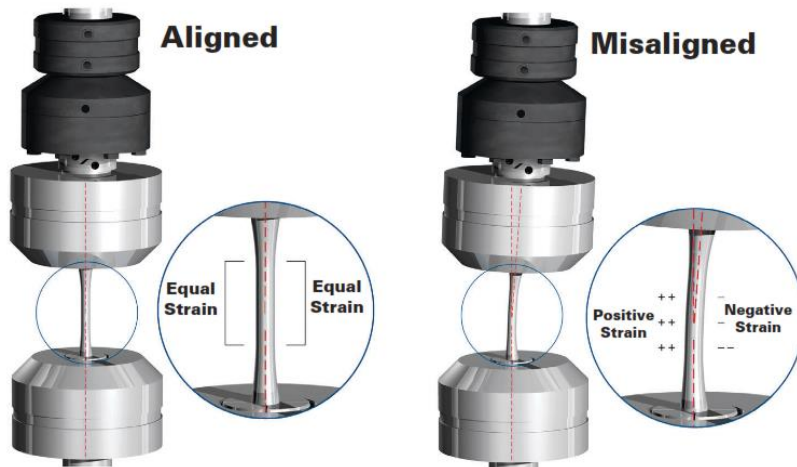
Bu çalışmada, eksenellik ölçüm standardı ve ölçüm yöntemi açıklanacaktır. Ayrıca, pratikte ASTM E1012 standardında tarif edilen dikdörtgen kalın tip numunede yapılmış olan bir eksenellik ölçüm sonucu ve değerlendirmesi örnek olarak verilmiştir.



Şekil 1. Uzama ölçerlerin pozisyonları ve eksen kayma şekilleri



Şekil 2. Açısal ve konsantrik (ortak merkezin kayması) tip eksenellik sapma durumlarının farklı gösterimleri



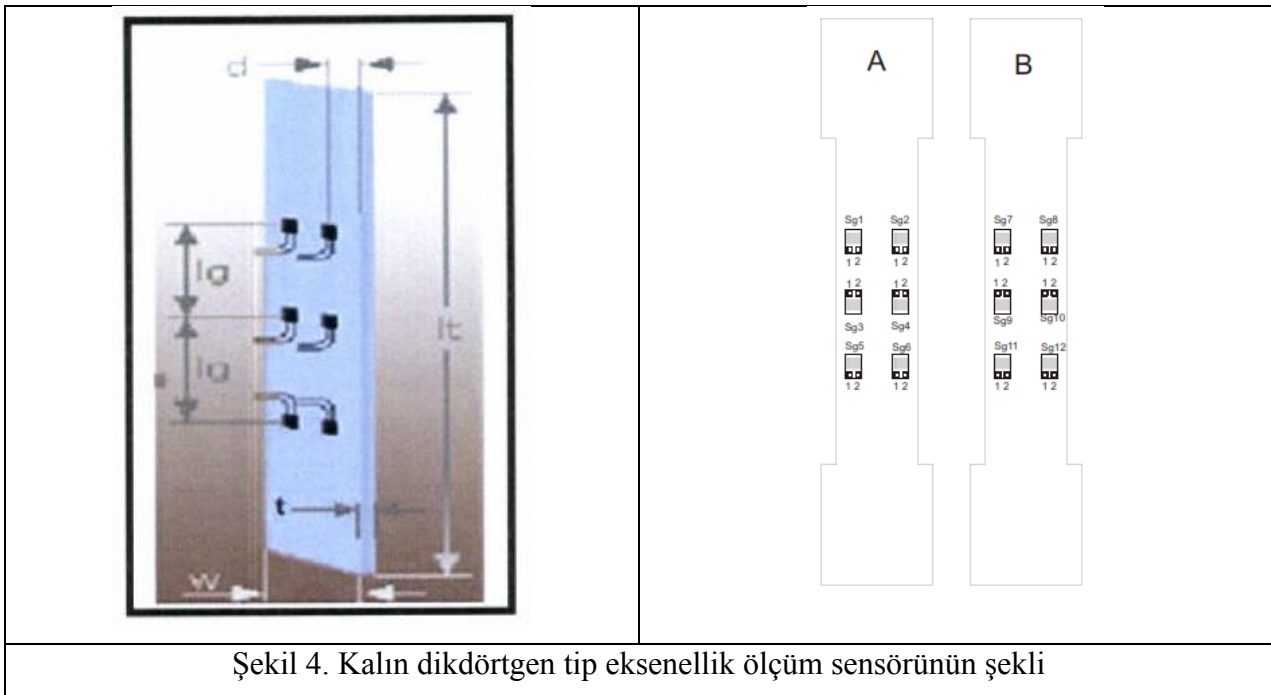
Şekil 3. Malzeme test makinası üzerine bağlanmış eksenellik ölçüm sensörü üzerindeki uzama durumları

2. EKSENELLİK ÖLÇÜMÜ

Eksenellik ölçümlerinin nasıl yapılması gerektiği ve sensörlerin tipleri ASTM E1012 standardında ifade edilmiştir. Bu standardın bir benzeri olarak ISO 23788 standardı kullanılabilir. Ancak havacılık sektöründe çalışan firmalar ve onların hizmet verdiği büyük şirketlerin talepleri ASTM standardı olması nedeniyle bu çalışmada da ASTM E1012 standardına göre eksenellik ölçüm örneği verilmiştir.

ASTM E1012 standardına göre 3 tip eksenellik ölçüm sensörü tanımlanmıştır. Bunlar silindirik, kalın dikdörtgen ve ince dikdörtgen tiptir. Bunların şekillerine standarttan ulaşılabilir, bu çalışmada ince dikdörtgen tip eksenellik sensörü için örnek hesaplamalar verilmiştir.

Şekil 4.'de kalın dikdörtgen tip eksenellik ölçüm cihazı incelendiğinde ön yüzeyinde 6 adet, arka yüzeyinde de 6 adet olmak üzere toplam 12 adet uzama ölçer sensöre sahip olduğu görülür. Sensörlerin aynı tip ve özelliklerde olması gereklidir. Bu uzama ölçerler bulundukları konuma göre üst (Sg1, Sg2, Sg7, Sg8), orta (Sg3, Sg4, Sg9, Sg10), alt (Sg5, Sg6, Sg11, Sg12) olarak isimlendirilirler. Standartta tanımlandığı şekilde uzama ölçerlerin ilk bağlandığı konum 0° olarak kabul edilmektedir. Cihaz, bu konumda iken makineye tutturulmadan boşta veri alınır, makine çeneleri tuttuktan ancak kuvvet değeri sıfırda iken tekrar veri alınır ardından cihazın konumu değiştirilmeksizin 3 farklı kuvvet değeri için veri alınır. Standartta ölçümlerde uygulanacak kuvvet değerleri tanımlanmamıştır. Uygulanacak kuvvet değerleri eksenellik ölçüm sensörünün şekline göre farklı değerlerde seçilebilir. Tablo 1.'de cihazın 0° derecedeki konumu için eksenellik ölçüm verileri örneklendirilmiştir. ASTM E1012 standardında üst, orta, alt konum için ön ve arka yüzey dikkate alındığında 4 adet uzama ölçer tanımlandığından bunlardan alınan veriler her bir grup için e_1 , e_2 , e_3 ve e_4 kısaltması ile ifade edilmiştir. Tablo 1.'de yer alan veriler aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Ancak bu tabloda sadece eksenellik ölçüm cihazının ilk bağlandığı konum olan 0° derece için alınan verilere yer verilmiştir. Yukarıda bahsedilen ölçüm prosedürü sensör 180° döndürüldükten sonra tekrarlanır. Son olarak da sensör 360° ile ifade edilen ilk konuma döndürüldükten sonra aynı ölçümlerin tekrar alınması sağlanır. 3 farklı konumda alınan veriler ile eksenellik ölçümü için istenen ölçümler tamamlanmış olur.



Tablo 1. 0° konumu için eksenellik ölçüm verileri

Kuvvet Adımları kN	0° Derece Konumundaki Ölçümler (Üst)			
	Kanal 1, Sg1	Kanal 2, Sg2	Kanal 3, Sg7	Kanal 4, Sg8
0	20,76	24,89	46,78	-26,77
30	-623,50	-611,10	-625,60	-628,90
60	-1250,00	-1215,00	-1244,00	-1260,00
90	-1879,00	-1805,00	-1853,00	-1900,00
Kuvvet Adımları kN	0° Derece Konumundaki Ölçümler (Orta)			
	Kanal 1, Sg3	Kanal 2, Sg4	Kanal 3, Sg9	Kanal 4, Sg10
Çene Tutma - 0	-20,64	22,12	20,77	-23,09
30	-623,400	-608,80	-625,40	-636,20
60	-1248,00	-1210,00	-1243,00	-1275,00
90	-1882,00	-1797,00	-1849,00	-1923,00
Kuvvet Adımları kN	0° Derece Konumundaki Ölçümler (Alt)			
	Kanal 1, Sg5	Kanal 2, Sg6	Kanal 3, Sg11	Kanal 4, Sg12
Çene Tutma - 0	11,00	12,00	13,00	14,00
30	-620,80	-603,50	-627,70	-637,80
60	-1245,00	-1200,00	-1248,00	-1278,00
90	-1882,00	-1782,00	-1852,00	-1928,00

ASTM E1012 standardında tanımlanan eşitliklerin kullanılması ölçümden alınan veriler hesaplanır. Öncelikle alınan verilerin ortalaması olan eksenel uzama değeri (a) hesaplanır.

$$a = \frac{(e_1 + e_2 + e_3 + e_4)}{4} \quad (1)$$

Bölgesel eğilme uzaması (b) ise

$$b_1 = e_1 - a \quad (2)$$

$$b_2 = e_2 - a \quad (3)$$

$$b_3 = e_3 - a \quad (4)$$

$$b_4 = e_4 - a \quad (5)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Bu değerler kullanılarak en büyük eğilme uzaması (B):

$$B = \frac{|b_1 - b_3|}{2} + \frac{|b_2 - b_4|}{2} \quad (6)$$

ve yüzde eğilme değeri (PB) de:

$$PB = \left(\frac{B}{a} \right) \times 100 \quad (7)$$

hesaplanır. Bu eşitliklerin uygulanması sonucu eksenellik ölçümü yapılan malzeme test makinasının eksenellikten sapma miktarını aşağıdaki tablolarda verildiği şekilde değerlendirilebilir. (Tablo 2.).

Tablo 2. Sıfırlanmış veriler tablosu

Kuvvet Adımları kN	0° Derecedeki Ölçümler (Üst)			
	e1	e2	e3	e4
30	-644,26	-635,99	-672,38	-602,13
60	-1270,76	-1239,89	-1290,78	-1233,23
90	-1899,76	-1829,89	-1899,78	-1873,23

Tablo 3. Üst bölge için bölgesel eğilme uzaması verileri tablosu

Kuvvet Adımları kN	0° Derecedeki Ölçümler (Üst)			
	b1	b2	b3	b4
30	-5,57	2,70	-33,69	36,56
60	-12,10	18,77	-32,12	25,43
90	-24,10	45,77	-24,12	2,43

Tablo 4. Üst bölge için en büyük eğilme uzaması (B) ve yüzde eğilme değeri (PB) verileri tablosu

Kuvvet Adımları kN	0° Derecedeki Ölçümler (Üst)	0° Derecedeki Ölçümler (Ust)
	B	PB
	-	%
30	30,99	-4,85
60	13,34	-1,06
90	21,68	-1,16

Yüzde eğilme oranı için müsaade edilen tolerans değerleri ASTM E1012 standardına göre yüzde eğilme (%) PB oranı için sınıflandırma tanımlanmıştır, bu sınıflandırmada Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Eksenellik doğrulanmasının sınıflandırılması (ASTM E1012)

Sınıf	Müsaade Edilen Yüzde Eğilme Oranı (% PB)
5	5
8	8
10	10

Tablo 4 de hesaplanan % PB değerleri ASTM E1012 standardında verilen sınıflandırma tablosuna göre < % 5 olması nedeniyle malzeme test makinasının eksenellik ölçüm sonucu sınıfı “5” olarak belirlenir.

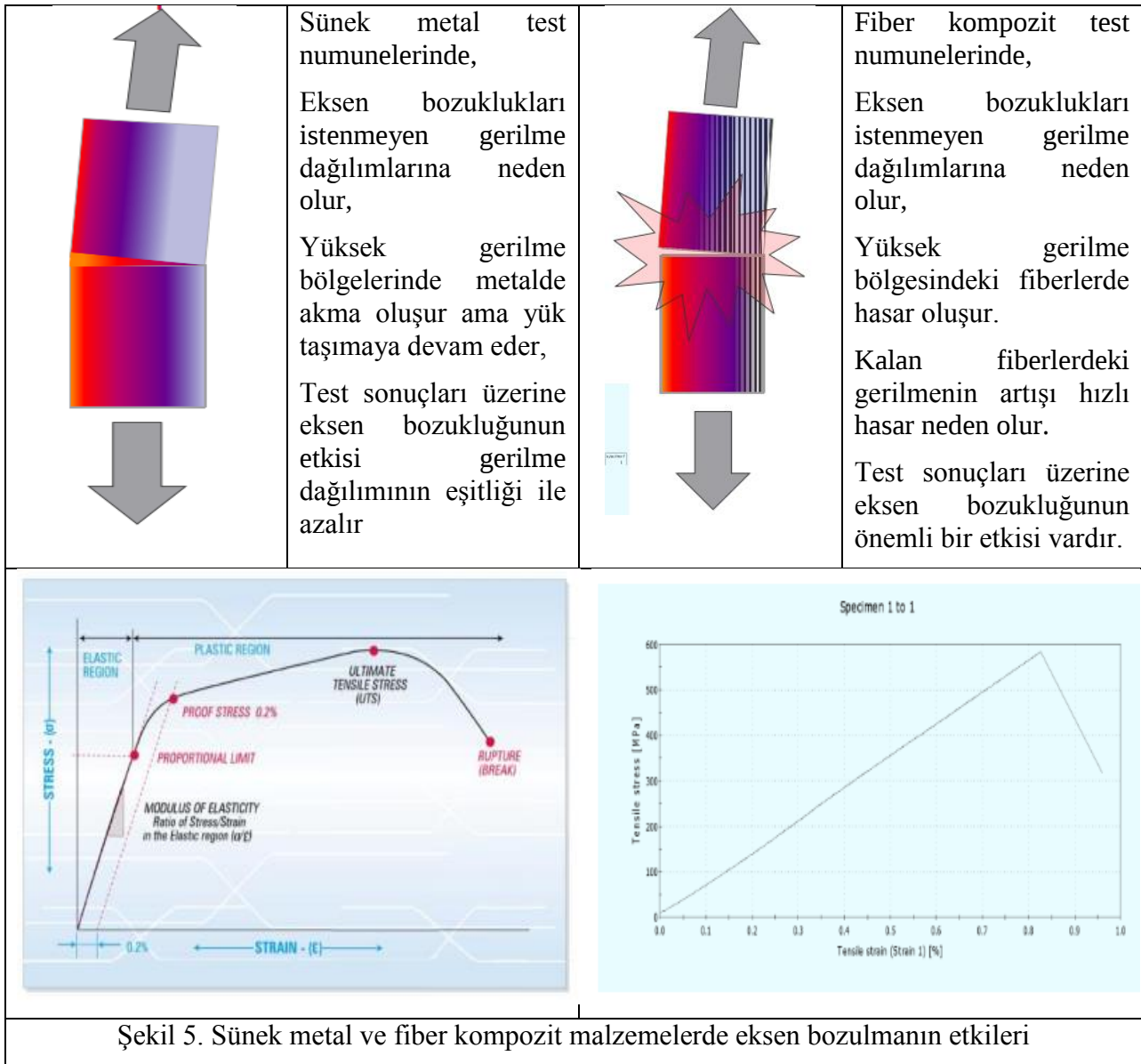
Ölçümler normal oda sıcaklığında gerçekleştirilir. Ölçümün gerçekleştirildiği sıcaklık sertifikada verilmelidir. Eğer sıcaklık değerleri (10 - 35) °C derece arasında değil ise ölçüm verilerinde kaymaların fazla olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu ölçümler kontrol amacıyla yapıldığı için bir belirsizlik hesabının değerlendirilmesine gerek yoktur.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

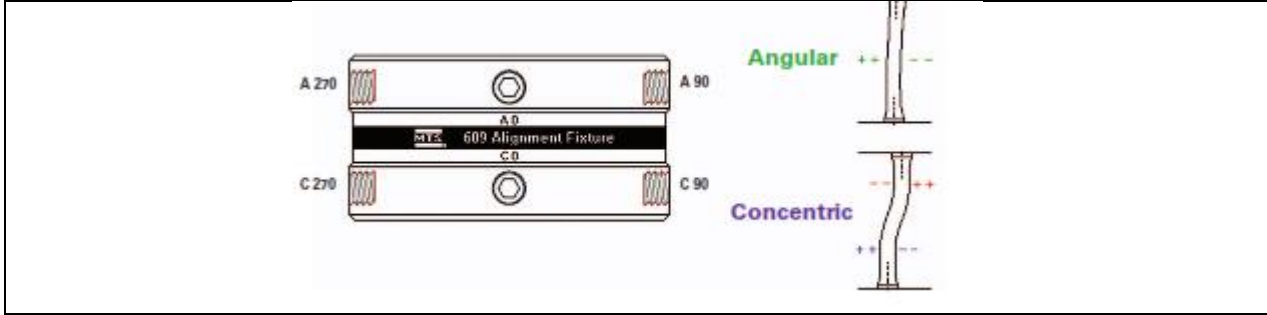
Malzeme test makinalarının eksenellik ölçümleri ASTM E1012 standardına uygun olarak yapılır. Ölçümlerin doğru olarak yapabilmek için ilgili standardın iyi bir şekilde anlaşılması gereklidir. Bu teknik dokümanda, ASTM E1012 standardında verilen bilgilerin daha iyi anlaşılabilmesi için eksenellik ölçümlerinin sayısal uygulaması detaylı olarak verilmiştir. Konu üzerinde çalışan veya çalışacak kişiler için standardın anlaşılmasını kolaylaştırmak ve rehber olarak kullanılabilmesi amacıyla hazırlanmıştır.

Eksenellik, yukarıda tarif edildiği şekilde özel bir sensör ve ekipmanlar ile gerçekleştirilebilen özel bir ölçümdür. Havacılık sektöründe yaygın olarak bilinen ama diğer sektörlerde yeni gündeme gelen bir konudur, "Eksenellik Neden Önemlidir" sorusunun cevabı aşağıdaki şekilde özetlenebilir.



Eksenellik probleminin çözümü için malzeme test makinası üreticileri montaj kısmına ilave bir eksenellik aparatı geliştirerek numune tutma çenesini gövdeye bağlayıp soruna çözüm üretmişlerdir. Bu aparat ile eksenellik doğrulaması sonucu uygun toleranslarda çıkmayan cihazın Şekil 6'da gösterildiği gibi üzerinde bulunan ayar vidaları ile gerekli ayarlar yapılmak suretiyle uygun toleranslar içine getirebilmektedir. Böyle

bir aparatın olmadığı malzeme test makinasında eksenellik sorunun düzeltilmesi nerede ise imkansızdır. Bu çalışma ile amacımız; eksenellik doğrulamasının yapılışı, hesaplanması ve cihazları hakkında bilgi sağlamaktır.



Şekil 6. Eksenellik ayarlama aparatı

KAYNAKLAR

- [1] Aydemir, B., 2011, G2KV-070 Eksenellik Doğrulama Testi Eğitim Dökümanı, TÜBİTAK UME
- [2] ASTM E1012, 2019, Standard Practice for Verification of Test Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application
- [3] ISO 7500-1, 2018, Metallic materials - Calibration and verification of static uniaxial testing machines - Part 1: Tension/compression testing machines - Calibration and verification of the force-measuring system
- [4] ASTM E4, 2020, Standard Practices for Force Verification of Testing Machines
- [5] ISO 9513, 2012, Metallic materials - Calibration of extensometer systems used in uniaxial testing
- [6] ASTM E83, 2016, Standard Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems
- [7] ISO 23788, 2012, Metallic materials - Verification of the alignment of fatigue testing machines
- [8] MIL-STD-1312B, 1984, Military standard, fastener test methods
- [9] S-400 2007, General Electric, GEAE Sourcing quality Specification
- [10] PRI AC7101, 2006, Nadcap
- [11] MTS service note, 2015, "Driving Variability from the Material Testing Equation"
- [12] Ian McEnteggart, 2015, Instron Note, "Composites Testing: Challenges & Solutions JEC Europe - March 2015", Instron
- [13] Trevisan, L., Fabricio, D.A.K., Reguly, A., "Study of the Misalignment of Test Specimens Submitted to Fatigue Test Through Different Fastening Systems", IJRMET, vol. 5, Issue 2, May - Oct 2015, ISSN : 2249-5762 (Online)
- [14] Instron Note, 2015, "Alignment Calibration", Instron