

YAPISAL YAPIŞTIRICILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENDİĞİ DENEYSEL YÖNTEMLER

Murat Demir AYDIN *,
Şemsettin TEMİZ **,
Adnan ÖZEL **

Bu çalışmanın amacı; tasarım için gerekli yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deneysel yöntemleri değerlendirmektir. Tüm uygulamalara yönelik tek bir deneysel yöntemin olmadığı açıktır ve en uygun yöntemin seçimi; yapıştırıcıların mekanik özelliklerine, uygun boyutlarda bulk numunelerin ve aparatların elde edilebilirliğine bağlıdır. Genelde, ölçümlerde en yüksek hassasiyetin burulma deneyleriyle başarıldığını söylemek doğrudur. Numune hazırlanamaması veya burulma deney düzeneğinin olmaması gibi sebeplerden bu deney mümkün değilse, daha sünek yapıştırıcılar için Arcan numune testi tatmin edicidir. Şekil değişiminin %20 den fazla olduğu yerlerde ise, TAST (Thick Adherend Shear Test) tavsiye edilir.

Anahtar sözcükler : Yapıştırıcı, deneysel yöntemler, çekme, kayma, burulma

The purpose of this work is to evaluate test methods used for determining mechanical properties of structural adhesives need for design. It is clear that no single method is superior for all application, and the choice of the most appropriate method depends on the mechanical properties of the adhesives, on the availability of bulk specimens of suitable dimensions and on the availability of suitable apparatus. As a broad generalization, it is fair to say that the highest precision in measurements is achieved with torsion test. If this test is not possible, perhaps because samples can not be prepared, or a torsion machine is not available, the Arcan specimen test is satisfactory for more ductile materials. Where behaviour above 20 % strain of interest, the TAST (Thick Adherend Shear Test) are favoured.

Keywords : Adhesive, experimental methods, tension, shear, torsion

GİRİŞ

Havacılık endüstrisinin öncülüğünde 1940'lardan günümüze hafif ve yüksek dayanımlı malzemelerde hızlı gelişmeler meydana gelmiştir. Kompozit malzemeler ve onların üretim yöntemlerinde özellikle son 15 yılda önemli atılımlar gerçekleştirilmiştir. Bu durum hava taşıtlarının birçok parçasında polimer matris kompozitlerin yeni uygulama alanı bulmasına sebep olmuştur [1]. Kompozit malzemelerde meydana gelen bu hızlı gelişim, yapısal elemanların birleştirme yöntemlerinde etkili ve güvenilir ilerlemelerin ortaya çıkmasını, dolayısıyla mekanik birleştirme yöntemlerinden uzaklaşmasını zorunlu hale getirmiştir [2]. Farklı malzeme, kompozit ve plastiklerin birleştirilmesinde tercih edildiklerinden birleştirme yöntemi olarak yapıştırıcıların kullanımı hızlı bir şekilde artmaktadır. Yapıştırma; kaynak, lehim, perçin vs. yanında endüstriyel bir birleştirme yöntemi olarak kullanılmaya başlandığından beri, başarılı bir yapıştırma için en önemli parametreleri bulmak amacıyla birçok araştırma, geliştirme ve mühendislik çalışması yapılmıştır [3].

Yapıştırma bağlantılarının son derece yaygın bir kullanım alanı (havacılık ve uzay sanayi, otomotiv ve inşaat sektörleri, elektrik-elektronik, deniz taşıtları, bio-medikal alan, spor ekipmanları vb.) sunmasına karşın, yapısal yapıştırıcının mekanik özelliklerinin belirlenmesi, güvenilirliği ve tekrarlanabilirliğinde yaşanan zorluklar, bu teknolojinin benimsenmesinde güçlüklerle karşılaşılmasına sebep olmaktadır. Bu durum, araştırmacıların dizayn amaçlarına uygun mekanik özelliklerin tespiti üzerine yoğunlaşmalarına sebep olmuştur.

Yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin (çekme ve kayma modülleri, Poisson oranı, akma ve çekme dayanımı vb.) doğru olarak belirlenmesi, yapıştırma bağlantısının tasarımında materyal seçimi, hasar kriterlerini belirleme, yüklü bağlantıdaki gerilme dağılımlarını hesaplayabilme ve kalite kontrol gibi parametrelerden dolayı oldukça önemlidir. Bu ayırt edici mekanik özellikler aşağıda verilen iki yöntemle belirlenebilir [4, 5].

- Bulk yapıştırıcı numunelerinden,
- Yapıştırıcı tabakasında üniform ve tek eksenli gerilme durumunu

* Atatürk Üni. Müh. Fak. ÜSİGEM

** Atatürk Üni. Müh. Fak. Makina Bölümü

temin edecek uygun önlemler almak şartıyla yapıştırma bağlantı numunelerinden.

Bu çalışmada yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin tespitinde kullanılan numunelerin nasıl hazırlanacağı, hangi deneysel yöntemlerin kullanılabileceği ve mekanik özelliklerin belirlenmesinde dikkate alınması gereken faktörler üzerinde durulmuştur.

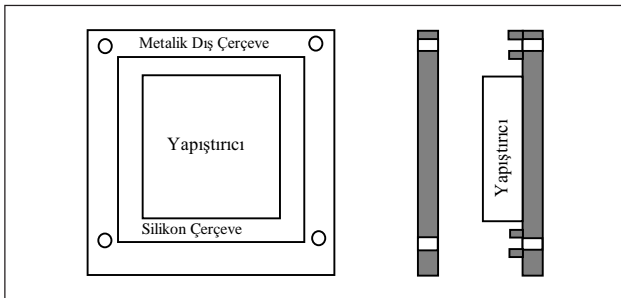
YAPIŞTIRICILARIN TEMEL MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Bir yapıştırıcının mekanik özellikleri tespit edilirken yukarıda bahsedildiği gibi bulk formda veya bağlantı formunda numuneler kullanılır. Bağlantı formundaki numunelerin kullanılması uygulama yerindeki orijinal yüklemeye tipini tam temsil etmesine karşın, önemli iki dezavantajı da beraberinde getirir.

- Bu tipteki numunelerle yapıştırıcı herhangi bir mekanik özelliğinden çok, yapıştırılan malzemenin yapışabilmesi test edilir.
- Yapıştırılan malzeme yapıştırıcı tabakasının sebep olduğu gerçek gerilme durumundan etkilenir ve yapıştırma bağlantı numunesi sadece kayma yüküne maruz kalsa bile çekme yükü veya çekme- kayma yüklerinin kombinasyonundan dolayı hasar oluşabilir. Bağlantı formundaki numunelerin bu dezavantajları bulk numunelerin kullanılmasıyla giderilebilir. Ancak bulk numuneler hazırlanırken bazı zorluklarla karşılaşılır.

Bulk Numunelerin Hazırlanması

Uygun boyutlu bulk numunelerin elde edilebilirliği



Şekil 1. Bulk Numunelerin Üretiminde Kullanılan Kalıp [6, 7].

farklı yüklemeye ve çevre şartlarında mühendislik plastikleri için geliştirilen ve standartlaştırılan yöntemleri kullanarak mekanik özelliklerin belirlenmesine olanak sağlayacaktır. Bu durum hem daha doğru hem de daha ucuzdur. Bulk numunelerin hazırlanması üzerine az sayıda çalışma yapılmıştır. Aynı zamanda bu çalışmalar numune üretimi hakkında çok az bilgi verir [8, 9]. Bulk numunelerin üretimi üzerine hazırlanmış standartlarda, yapıştırıcı bir kalıp içerisine dökülür (Şekil 1). Daha sonra, kalıp üzerindeki bir levha yardımıyla basınç uygulanır. Yapıştırıcı iç çerçevede yer alır. Kullanılan yapıştırıcının hacmi iç çerçevenin sınırladığından daha fazladır. Bu fazlalık basınç uygulamasıyla dış ve silikon çerçeveler arasına akar. Daha sonra, gerekli kürleşme şartları uygulanarak numunelerin üretimi gerçekleştirilir [6, 7]. Bununla birlikte, bulk numuneler hazırlanırken [10];

- İki bileşenli yapıştırıcılarda uniform karışım temin edilmeli,
- Hava boşlukları ve yabancı maddelerin oluşturduğu inkülyuzyonlar minimize edilmeli,
- Yapıştırıcının normalde kürleşmesi için gerekenin ötesinde sıcaklık artışı minimize edilmelidir.

İlk iki madde vakum altında karıştırma ve yapıştırıcının uygulanmasında özel düzeneklerin kullanılmasıyla, sıcaklık artımı ise; bir bileşenli yapıştırıcılar için daha düşük kürleşme sıcaklığı ve daha uzun kürleşme zamanı uygulayarak, daha kalın numunelerin tam kürleşmesi için ön kürleşme sıcaklığı uygulayarak ve kalıpta kalın metal levhaların (6 mm veya daha kalın) kullanılmasıyla minimize edilebilir.

Bulk Numunelerden Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Genellikle mekanik davranış, yük altında malzemelerin bünyesinde meydana gelen gerilme-şekil değiştirme arasındaki ilişkiyi açıklayan en genel kavramdır.

Yapıştırıcıların mekanik özellikleri temelde iki farklı yükleme (çekme ve kayma) şartında tespit edilir.

A. Çekme Deneyi

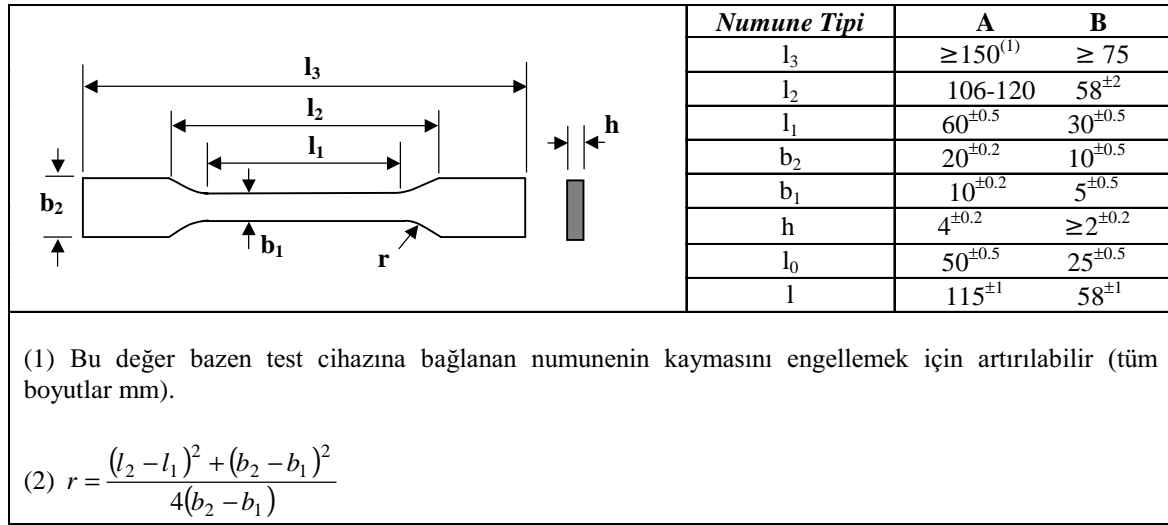
Yapısal yapıştırıcıların mekanik özellikleri, plastikler için geliştirilmiş standartlara uygun olarak hazırlanmış numunelerin (Şekil 2) çekme cihazına bağlanıp tek eksenli gerilme uygulanması ile belirlenebilir.

1- Numuneye temas halinde olanlar (Şekil 3),

- LVDT veya strain gauge ile ölçüm temeline dayanan extensometreler,
- Çekme şekil değişimini bileşenlerinin ölçümü için numuneler üzerine yerleştirilen extensometreler.

2- Numuneye temas halinde olmayanlar,

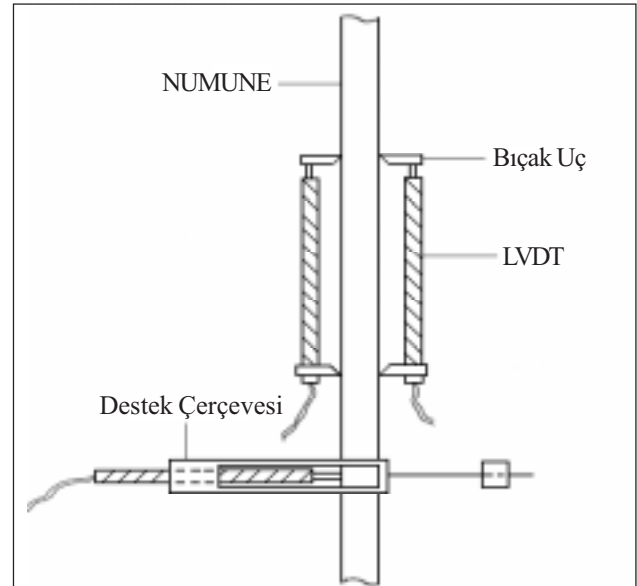
- Çene pozisyonuna göre,
- Video ve lazer Extensometreler



Şekil 2. Standart Çekme Deney Numunesi [11].

Çekme deneyinden elde edilecek yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin güvenilirliği, uygulanan kuvvet altında oluşan yer değiştirmelerin doğru tespitini gerektirir. Bu seçilen ölçüm sistemi kadar yapıştırıcının doğasına da bağlıdır. Genelde, uygulanan kuvvetin ölçülmesinde nadiren problemlerle karşılaşılmasına rağmen, yer değiştirmelerin ölçülmesinde çok büyük güçlüklerle karşılaşılır. Bu yüzden, çekme deneylerinde; şekil değişiminin belirlendiği ölçüm tekniği, deneylerde kullanılan şekil değiştirme oranı ve miktarı, numunelerin kalınlığı dikkate alınması gereken önemli noktalardır.

Sert (elastik modülü 1-4 GPa arasında) ve esnek (elastik modülü 0.01-1 GPa) yapısal yapıştırıcılar için şekil değişimini ölçen sistemler temelde iki kategoriye ayrılır [12]:



Şekil 3. Yukarıda Numuneye Göre 90° ve 180° de Yerleştirilen Extensometreler Görülmektedir. Bu Konumla Yerleştirilmiş Extensometrelerden Hem Yanal Hemde Boyuna Şekil Değişimleri Ölçülebilir.

Yapıştırıcı numuneleri üzerinden şekil değişimlerinin ölçülmesinde kullanıldığında strain gauge'lerin önemli hatalar verdiği görülür. İşçilik ve maliyetleri de dikkate alındığında diğer yöntemlerin kullanılamayacağı durumlar dışında tavsiye edilmezler [12].

Numuneye temas halindeki extensometreler % 10'nun altındaki şekil değişimlerinin tespitinde tekrarlanabilir sonuçlar üretir ve oldukça doğru ve uygun sistemlerdir [12]. Bununla birlikte yüksek doğruluk oranının sağlanabilmesi için numunenin her iki yüzeyine de extensometre yerleştirilerek şekil değiştirmelerin ortalaması alınmalıdır (Şekil 3). Diğer taraftan sert ve gevrek yapıştırıcılar için extensometrenin temas noktaları erken hasar oluşumuna neden olabilir.

Hasar anına kadar yüksek şekil değişimine uğrayan (esnek) yapıştırıcılar için temas halinde olmayan ölçüm sistemlerinin kullanılması daha doğru sonuç vermektedir. Bunun ana nedeni, esnek materyallerin vizko-elastik davranış sergilemeleri ve extensometre ağırlığının burkulmaya neden oluşudur. Bu yüzden temas halinde olmayan extensometrelerin esnek yapıştırıcı numunelerinde kullanılması büyük avantajlar sağlamaktadır. Ancak, % 2 'nin altındaki şekil değiştirmelerin tespitinde bu cihazlar doğru sonuçlar vermezler [13].

B. Kayma Deneyleri

Plastikler için kayma deneyleri, çekme deneyleri kadar gelişmemiş ve yapıştırıcıların bulk kayma deneyleri için sınırlı efor sarf edilmiştir. Bu yüzden bulk numunelerden kayma özelliklerin tespit edildiği standart bir deney yöntemi bulunmamaktadır [4]. Ancak, aşağıda bahsedilen yöntemler yapıştırıcıların kayma yükü altındaki mekanik davranışlarının belirlenmesinde kullanılabilir [14].

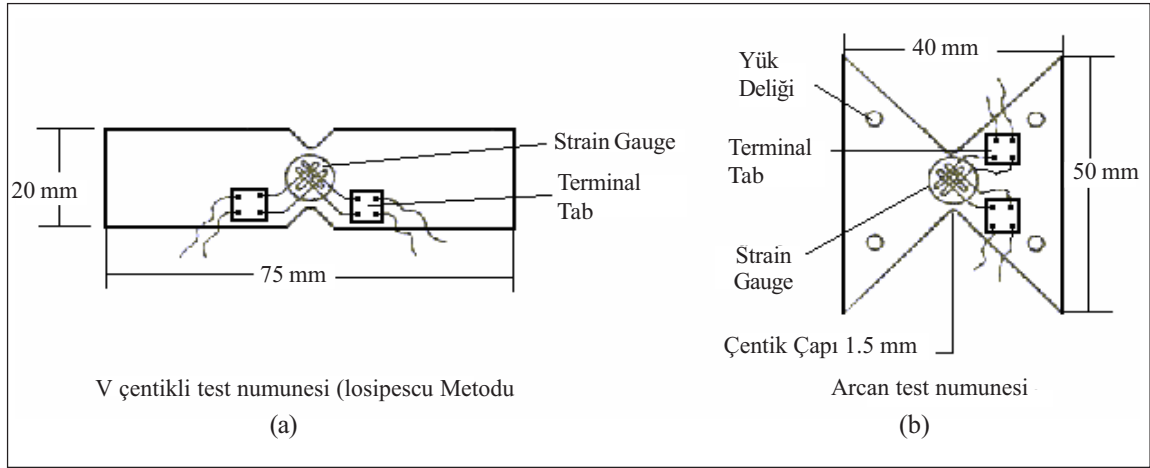
- **Burulma yöntemi:** Bu yöntemde silindirik bulk numuneler kullanılır (Şekil 4). Numuneye bir burulma momenti (M_b) uygulanır ve bilinen ölçüm

uzunluğunda açılma dönmesi (θ) tespit edilir. Ancak, bu tip deneysel yöntemler özel cihazların kullanımını gerektirir. Üstelik, deneylerde kullanılacak bulk numuneler bazı yapıştırıcılar için üretilmez ve yöntem özellikle küçük şekil değiştirmeler için doğrudur. Ayrıca numunenin kesiti boyunca düzgün olmayan kayma gerilmeleri oluştuğuna ve plastik şekil değiştirmelerin oluştuğu bölgede ölçülen gerilme-şekil değiştirme davranışında düzeltmelerin yapılması gerektiğine dikkat edilmelidir [15].



Şekil 4. Burulma Momentine Maruz Bulk Numune.

- **Çentikli kiriş (Iosipescu) yöntemi:** Bu yöntemde Şekil 5a 'da gösterilen çentikli bulk numuneler kullanılır ve çentikler arasındaki bölgede kayma gerilmesi üretecek şekilde yük uygulanır. Şekil değiştirmeler çentikli bölge üzerine yerleştirilen strain gauge 'ler yardımıyla belirlenebilir. Bu tip numunelerin kullanılmasında karşılaşılan en büyük problem çentik bölgesinde büyük lokal gerilme yığılmalarıdır. Merkezi bölgede kayma yüküyle hasar oluşumu öncesi, bu gerilme yığılmaları gevrek malzemelerde erken hasar oluşturabilir. Bu yüzden kayma gerilmesi-şekil değiştirme davranışı belirlenemez [16].
- **Çentikli levha (Arcan) yöntemi:** Arcan [17] tarafından geliştirilen bu yöntem; hem yapıştırıcılar ve kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin tespitine hem de daha ince bulk numunelerin kullanımına imkan sağlamaktadır (Şekil 5b). Ayrıca, strain gauge kullanılmasından kaynaklanan problemler, bu yöntem için geliştirilmiş özel tipteki



Şekil 5. Iosipescu ve Arcan Test Numuneleri [16].

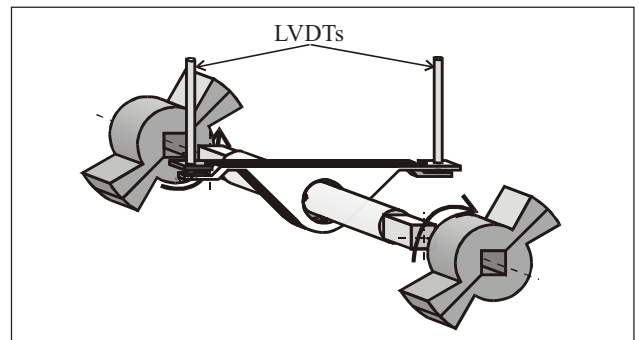
extensometrelerin kullanılmasıyla giderilebilir. Bu yöntem %10'nun altında kayma şekil değiştirmesi gösteren yapısal yapıştırıcılar için oldukça doğru sonuçlar verebilmektedir [16].

Bağlantı Numunelerinden Yapıştırıcıların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu durumda, yapıştırıcının ayırt edici mekanik özelliklerini belirleyebilmek için, yapıştırıcı tabakasında uniform ve tek eksenli gerilme ve kohozif hasar oluşturacak numunelerin kullanılması gereklidir. Ayrıca, aşağıda bahsedilen bağlantı numunelerinin kullanıldığı tüm deneysel yöntemlerden elde edilen mekanik özelliklerin, yapıştırıcı tabakasındaki şekil değişim oranına bağımlılık göstermesi potansiyel problem olarak karşımıza çıkar ve yapıştırıcının akma dayanımı civarındaki gerilme seviyelerinde son derece artar. Bu yüzden; bulk ve bağlantı numunelerinden elde edilen kayma verileri karşılaştırılırken, bu gerçek dikkate alınmalıdır [5, 18].

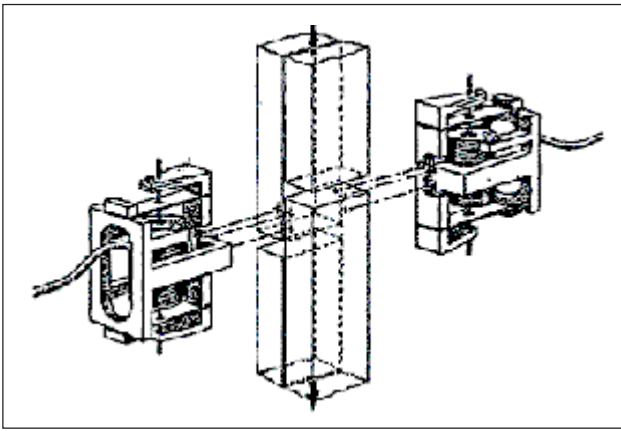
- **Burulma deneyi:** Deney sistemi, yukarıda bulk numuneler için tanımlanan yöntemdeki gibi yapıştırıcı ile birleştirilmiş silindirik alın bağlantı numuneleri üzerine burulma momenti uygulayarak, burulma momenti ve açısızal dönmelerin tespiti üzerine kurulmuştur. Uygulanan burulma momenti bir yük

hücresi kullanılarak kolayca ölçülebilir. Ancak, yapıştırıcı tabakasında (genellikle 0.5 mm kalınlıkta) oluşan kayma şekil değişimlerinin belirlenmesi, çok küçük açısızal yer değiştirmelerin ölçülmesini gerektirdiğinden, daha karışıktır. Bu yüzden, Şekil 6'da görüldüğü gibi, burulma cihazı için özel extensometreler dizayn edilmektedir. Bu extensometreler yardımıyla ölçüm uzunluğu bilinen numunelerden açısızal dönmeler belirlenmektedir. Bununla birlikte ölçülen açısızal dönmeler sadece yapıştırıcı tabakasındaki değil yapıştırılan malzemelerde oluşan dönmeyi de içereceğinden düzeltme yapılmalıdır. Burulma deneyi, özellikle küçük şekil değiştirme oranlarında kayma gerilmesi-şekil değiştirme davranışının belirlenmesinde oldukça uygun metotlardan birisidir [15].



Şekil 6. Burulma Cihazı İçin Dizayn Edilmiş Extensometre [15].

- **TAST (Thick Adherend Shear Test):** Tasarım amaçlarına uygun olarak yapıştırıcıların kayma gerilmesi-şekil değişiminin tespitinde kullanılan diğer alternatif yöntemde TAST yöntemidir. Bu yöntemde, şekil değiştirmelerin doğru ölçülmesi son derece önemlidir ve özel extensometrelerin kullanılmasını gerektirir (Şekil 7). Eğilme momentinin etkisinin minimize edildiği kalın ve rijit malzemelerin yapıştırılmasıyla üretilen tek tesirli bindirme bağlantılarından elde edilen mekanik özellikler,



Şekil 7. TAST Yönteminde Extensometrenin Numune Üzerine Yerleştiriliş Durumu [19].

burulma yöntemine göre daha ucuz ve kolaydır. Burulma deneyinin kullanılma imkanı yoksa ve %20'nin üzerinde kayma şekil değişimi göstereceği umulan yapıştırıcılarda TAST yöntemi tercih edilebilir [14].

- **Arcan bağlantı yöntemi:** Bu yöntemde, çentikli levha yöntemindeki bulk numuneler ile aynı geometri metal malzemelerin yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmesi ile elde edilir ve deneyler bu numuneler üzerinde yapılır. Benzer şekilde bu yöntemde de özel tasarlanmış extensometre kullanılır ve yapıştırılan malzemelerde oluşan deformasyonlar dikkate alınarak bir düzeltmenin yapılması gereklidir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı, özellikle sert yapıştırıcılarda ölçülen şekil değiştirmelerin çok doğru

sonuçlar vermemesidir [16]. Bu yüzden sert yapıştırıcılarda bulk numunelerin kullanımı daha fazla tercih edilir.

SONUÇ

Herhangi bir materyalle yapılacak tasarım için en önemli gereksinimlerden biri tek eksenli çeki yükü altında hasar anına kadar malzemenin göstereceği gerilme-şekil değiştirme davranışının belirlenebilmesidir. Yapıştırıcılardan bulk numuneler üretilebiliyorsa, bu verilerin elde edilebilirliği kolaylaşacaktır. Ancak, bulk numuneler hazırlanırken; iki bileşenli yapıştırıcılarda uniform karışım temin edilmeli, hava boşlukları ve yabancı maddelerin oluşturduğu inkülüzyonlar minimize edilmeli ve yapıştırıcının normalde kurluşmesi için gerekenden fazla sıcaklık artışı engellenmelidir. Diğer taraftan, çekme deneyinden elde edilecek yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin güvenilirliği, uygulanan kuvvet altında oluşan yer değiştirmelerin doğru tespitini gerektirir. Bu seçilen ölçüm sistemi kadar yapıştırıcının doğasına da bağlıdır. Genelde, uygulanan kuvvetin ölçülmesinde nadiren problemlerle karşılaşılmasına rağmen, yer değiştirmelerin ölçülmesinde çok büyük güçlüklerle karşılaşılır. Bu yüzden, çekme deneylerinde; şekil değişiminin belirlendiği ölçüm tekniği, deneylerde kullanılan şekil değiştirme oranı ve miktarı, numunelerin kalınlığı dikkate alınması gereken önemli noktalardır.

Çekme deneyleri tasarım verilerinin belirlenmesinde önemli bir basamak olmasına karşın, farklı gerilme durumları altında ek verilerin tespit edilmesi gereklidir. Yapıştırıcılar için kayma deneyleri bu ek verilerin belirlenmesinde oldukça önemli yer teşkil eder. Uygun önlemlerle, bulk numuneler üzerinde yapılan burulma ve Arcan deneyleri, ayrıca silindirik alın bağlantı numuneleri üzerinde burulma deneyi ve TAST yöntemlerinin her biri kayma gerilmesi-şekil değişimi verilerinin ölçülmesinde oldukça doğru sonuçlar

verebilmektedir. Sonuç olarak, bir yapıştırıcının kayma verileri tespit edilirken uygun yöntemin seçimi o yapıştırıcının şekil değiştirme oranı, uygun numunelerin elde edilebilirliğine ve ölçümde kullanılan aparatlara bağlıdır.

KAYNAKÇA

1. **Tomblin, J.S., Yang, C. and Harter, P.**, Investigation of Thick Bond Line Adhesive Joint. Final Report, DOT/FAA/AR-01/33, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, 2001.
2. **Van Rijn, L.P.**, Towards the Fastenerless Composite Design. Composites Part A 1996, 27A, 915-920.
3. **Vinson, J.K.**, Adhesive Bonding of Polymer Composites. Polymer Engineering and Science 1989, 29(19), 1325-1331.
4. **Jeandrou, J.P.**, Analysis and Design Data for Adhesively Bonded Joints. Int.J.Adhesion and Adhesives 1991, 11(2), 71-79.
5. **Aydın, M.D.**, Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Tek Tesirli Bindirme Bağlantısının Mekanik Özelliklerinin Deneysel ve Teorik İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2003.
6. **ISO 15166-1: 1998.** Adhesives-Methods of Preparing Bulk Specimens-Part 1: Two-Part Systems.
7. **ISO 15166-2: 2000.** Adhesives-Methods of Preparing Bulk Specimens-Part 1: Elevated Temperature One-Part Systems.
8. **Sharon, G., Dodiuk, H. and Kenig, S.**, HygroThermal Properties of Epoxy Film Adhesives. Journal of Adhesion 1989, 30, 87-104.
9. **Dodiuk, H., Sharon, G. and Kenig, S.**, Hygrothermal Properties of Adhesively Bonded Joints and Their Correlation With Bulk Adhesive Properties. J. Adhesion 1990, 33, 45-61.
10. **Duncan, B.C., Girardi, M.A. and Read, B.E.**, The Preparation of Bulk Adhesive Samples for Mechanical Testing. NPL Report DMM(B) 339, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK 1994.
11. **ISO 527-2: 1993.** Plastics- Determination of Tensile Properties, Part 2: Test Conditions for Moulding and Extrusion Plastics.
12. **Duncan, B.C. and Tomlins, P.E.**, Measurement of Strain in Bulk Adhesive Testpieces. NPL Report DMM(B) 398, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK 1994.
13. **Dean, G.D. and Duncan, B.C.**, Tensile Behaviour of Bulk Specimens of Adhesives. NPL Report DMM(B) 448, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK 1995.
14. **Dean, G.D., Duncan, B.C., Adams, R.D., Thomas, R. and Vaughn, L.**, Comparison of Bulk and Joint Specimen Tests for Determining the Shear Properties of Adhesives. NPL Report CMMT(B) 51, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK 1996.
15. **Thomas, R. and Adams, R.D.**, The Torsion Method for Bulk and Joint Test Specimens. MTS Adhesives Project 1, Report No 7, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK 1996.
16. **Duncan, B.C and Dean, G.D.**, Notched-Beam Shear (Iosipescu) and Notched-Plate Shear (Arcan) Methods for Bulk and Joint Test Specimens. NPL Report CMMT(B) 56, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK 1996.
17. **Arcan, M., Hashin, Z. and Voloshin, A.**, A Method to Produce Uniform Plane-Stress States With Applications To Fibre Reinforced Materials. Experimental Mechanics 1978, 141-146.
18. **Crocombe, A.D.**, Modelling and Predicting the Effects of Test Speed on the Strength of Joints Made with FM 73 adhesive. Int.J.Adhesion and Adhesives 1995, 15(1), 21-27.
19. **ASTM D5656, 1995.** Standart Test Method for Thick-Adherend Metal Lap-Shear Joints of the Stress-Strain Behaviour of Adhesives in Shear by Tension Loading.