8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı 7 – 9 Kasım 2007
Proceedings of 8th International Fracture Conference 7 – 9 November 2007
İstanbul/TURKEY

POLİOLEFİN MALZEMELERDE ÇEVRESEL GERİLME ÇATLAK İLERLEMESİ

Paşa YAYLA, Şenol ŞAHİN ve İlbeyi KILAVUZ

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü - Kocaeli

ÖZET

Metalik malzemelere göre daha ekonomik oluşlar, uzun ömürlülükler, hafiflikler ve yüksek performanslı olmaları dolayısı ile polipropilen (PP) ve polietilen (PE) gibi poliolefin hammaddeleri basınçlı ve basınçsız borularda her geçen gün artan oranda kullanılmaktadırlar.

Bu çalışmada doğal gaz ve içme suyu boru hatlarında yaygın olarak kullanılan yüksek yoğunluklu polietilen ile basınçlı ve basınçsız boru hatlarında kullanılan polipropilen malzemeden üretilen boru malzemenin yavaş çatlak ilerleme olayının mekanizması incelenmiş olup malzemelerin çatlak ilerleme direncini belirlemek üzere kullanılan test yöntemleri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: poliolefin, çevresel çatlak ilerlemesi, kalsiyum karbonat,

ENVIROMENTAL STRESS CRACK PROPAGATION IN POLIOLEFINE MATERIALS

ABSTRACT

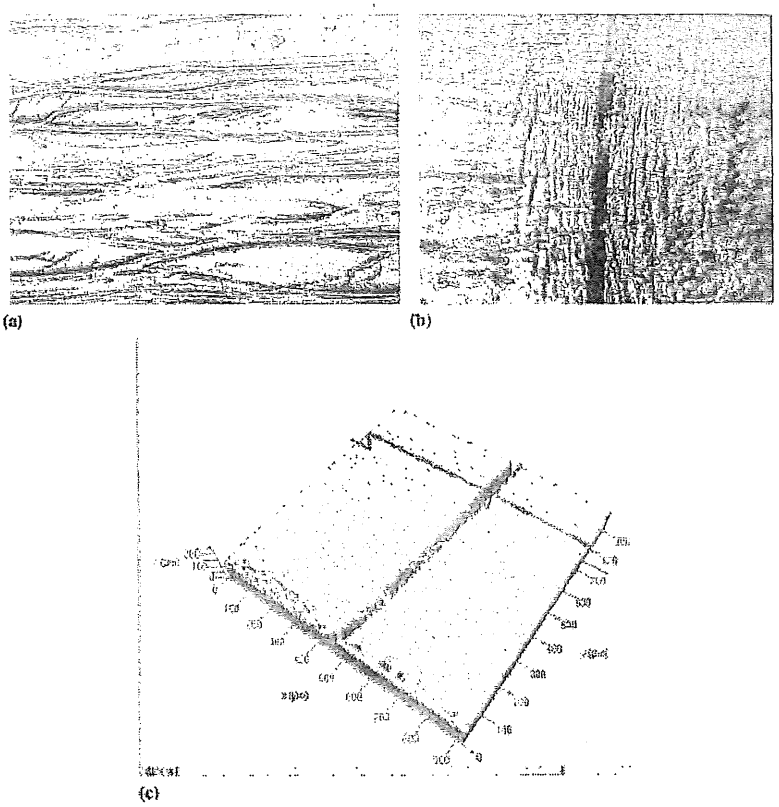
Due to their long life, economical advantages, lightness and high performance compared with metallic materials, the use of polyolefine raw materials, like polypropylene (PP) and polyethylene (PE), in both pressurized and non-pressurized piping systems is continuously increasing.

In this study the test methods used in assesing enviromental stress crack resistance of pipes made of high density polyethylene commonly used in natural gas and clean pressure water pipes and polypropylene commonly used in non-pressurized and pressurized pipes is detailed.

Keywords: Polyolefin, Calcium carbonate, Slow crack resistance, ESCR

1. GİRİŞ

Poliolefin grubu plastikler ekonomik oluşları, uzun ömürlülükleri ve hafiflikleri ve korozyona dayanıklılıkları gibi birçok özelliklerinden dolayı her geçen gün kullanımları artmaya devam etmektedir. Doğalgaz ve içme suyu boru hatlarında yaygın olarak kullanılan yüksek



Şekil 1:CLSM ile çekilmiş yüksek yoğunluklu polietilen mikrografikleri a) kontrol b) 2-D ve c) 3-D imajı [3]

2. YAVAŞ ÇATLAK İLERLEMESİ (YÇİ)

Plastiklerin zamana bağlı olarak hasar görmesi pek de bilmediğimiz bir mekanizmadır. Çünkü malzemelere uygulanan testler genellikle kısa süreli testler olup uzun süreli testler konusunda genellikle bilgilerimiz bulunmamaktadır. Bu nedenle de tasarım anında yanlış prensipler kullanılır ve plastik parçaların uzun süreli performanslarında problemler ortaya çıkar [5].

PP ve PE gibi yüksek oranlı yarı kristalin malzemelerin mükemmel kimyasal dirençlerine ve mukavemetlerine karşılık bu tür malzemelerde yavaş çatlak oluşumu önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Yüksek büyütmeli bir mikroskopla bir PE malzemenin mikroyapısı incelendiğinde yapının Şekil 2a'daki gibi iki farklı bölgeden oluştuğu görülür. Bunlardan ilki düzenli bir şekilde yerleşen ve PE moleküllerinin oldukça yönlendiği sıkı bir şekilde paketlenmiş üç boyutlu olan *kristalin bölgesi*dir. Yapının ikinci bölgesi ise moleküler bağların daha düzensiz olarak yerleşmiş olduğu *amorf bölge*dir. Bu şekilde iki farklı bölgeden oluşan yapı yarı kristal bir yapı olarak adlandırılır. Bu iki bölge arasındaki malzeme de ESCR için önemlidir.

Bir HDPE malzemenin mikroyapısı Şekil 1a'daki gibi yan dalları, molekül sonları ve gevşek döngüleri olan bir seri lamelli yapıdan oluşmaktadır. İlk defa Lustiger (1983) tarafında da belirtildiği gibi bu PE malzemeye yüksek ölçekli bir gerilme uygulandığında bu bağlayıcı zincirler komşu lameller arasında kalmakta olup daha sonra da artan gerilmeyle birlikte bağlayıcı moleküller uzayarak yapının bu bölgeden bel vererek plastik olarak şekil değişimine ve nihayetinde de kırılmasına neden olmaktadır (Şekil 2b ve 2c). Ancak uygulanan gerilme

yoğunluklu polietilen ve basınçlı ve basınçsız boru hatlarında kullanılan polipropilen malzemelere farklı oranlarda kalsiyum karbonat dolgu malzemesi ilave edilerek mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve maliyetin azaltılması çalışmaları devam etmektedir.

Ticari gelişimlerinin ilk günlerinde polietilenin bütün sıvılara dayanıklı olduğu düşünülüyordu. Yeni malzemenin bu dayanıklılığı yüzünden ilk olarak kullanıldığı yerlerden biri konsantre hidroflorik asitin muhafazasıydı. Bu aşamada kullanıcılardan bol miktarda polietilen hasarı haberi geldi. Polietilenin kablodaki kullanımı da yetersizdi ve oda sıcaklığında bile metil alkolle temasında çatlama gösteriyordu. Bu hataları tanımlamak için "Çevresel Gerilme Çatlağı" (ESC – Environmental Stress Cracking) ifadesi kullanıldı. Bu ifade ilk olarak 1959 yılında J.B. Howard tarafından kullanılmış olup Howard'a göre çevresel gerilme çatlağı "normalde aynı gerilme altında hasar oluşmayacak numune veya parçanın yüzeyden başlayan gevrek çatlaklı ya da çok eksenli gerilme altında bir ortamla temas ederken hasara uğraması" olarak tanımlanmıştır [1,2].

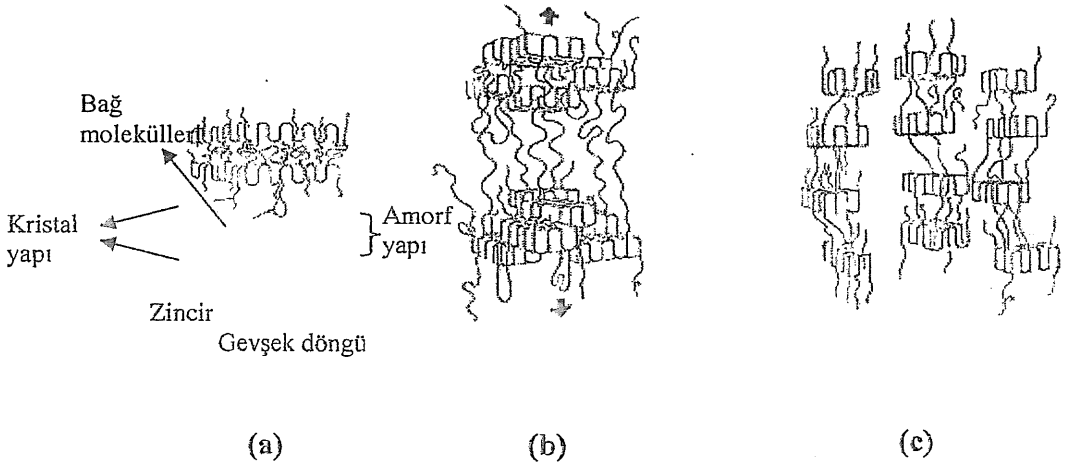
Polietilen ve polipropilen dünyanın sırasıyla en çok kullanılan birinci ve üçüncü polimerleridir. Polimer zincirinde dallanma yoksa lineer polietilen ya da yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) adını alır [3]. Lineer polietilen dallanmış polietilene göre çok daha dayanıklıdır ancak dallanmış polietilen daha ucuzdur ve üretimi daha kolaydır. Kimyasal özelliklerinin ve mekanik dayanımlarının daha iyi olması sebebiyle HDPE birçok saha uygulamalarında bolca kullanılmaktadır [4]

Bu uygulamalarda HDPE genellikle hem mekanik gerilmelere (aşırı yük ve artık gerilme gibi) hem de kimyasallara (temizlik malzemeleri, yağlayıcılar, aşındırıcılar, boyalar vs.) maruz kalmaktadır. Bu koşullar altında borularda genellikle çevresel çatlak ilerlemesine rastlanmıştır. Termoplastik polimerlerin hasarlarının yaklaşık %15'inden ESC'nin sorumlu olduğu sanılmaktadır, hatta bazı araştırmacılar bu rakamın %40 seviyesine çıktığına inanmaktadır. Bu yüzden ESC son dönemde birçok araştırmanın konusu olmuştur [5] . Çevresel çatlak ilerlemesinin başlangıç aşamalarında kimyasal ile temas eden yüzeyde sır çatlakları (craze) oluşur ve bu çatlaklar ilerleyerek parçada hasar oluşur.

Çevresel çatlak ilerleme direncinin belirlenmesinde 40'ı aşkın test metodu vardır. Ancak bunların en çok bilineni 1950'li yıllarda telefon endüstrisinde tel ve kablo kaplamaları için geliştirildiği için "Bell" test veya eğilmiş dar parça testi olarak da adlandırılan ASTM D1693 çevresel çatlak ilerleme direnci testidir. Bunun dışında ASTM F12148 polietilen boruların çevresel çatlak ilerleme direncinin tayini için standart test metodu ve test ortamının diğerlerinden farklı olarak Igepal yerine hava olduğu ASTM F1473 PE boruların ve reçinelerin ESC direncini ölçmek için *çentikli çekme t*esti de sıklıkla kullanılmaktadır [6]

Çevresel çatlak ilerlemesi direnci ve yavaş çatlak ilerlemesinde dikkate alınan bir diğer önemli husus da ilgili polimer ile içinde bulunduğu ortamın reaksiyona girmemesidir. Bu yüzden bazı çalışmalarda referans numune ile şartlandırılmış numune arasındaki farklar CLSM (Confocal Laser Scanning Microscopy – Lazer Taramalı Mikroskop), TGA (Termogravimetrik Analiz), DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre), FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy), Raman ve LS (Light Scattering – Işık Saçılması) gibi metotlarla incelenmekte ve polimer ile içinde bulunduğu ortamın reaksiyona girip girmediği ve bozunma miktarları tayin edilebilmektedir [3]

düşük olduğunda lameller arasındaki bağlar gerilme altında şekil değiştirerek uzamaları için yeterli zamanları olduğundan kısmen daha pürüzsüz gevrek bir kırılma göstererek lameller birbirlerinden ayrılırlar. Bu şekilde başlayan çatlaklar yavaş ilerlerler. Ancak yavaş ilerleyen çatlağın uzunluğu kritik bir değere ulaştığında bu çatlaklar hızlı çatlak ilerlemesini de tetikleyebilirler [8]



Şekil 2. HDPE malzemenin lamelli yapısı ve yüksek gerilme altında akarak hasara uğraması [10]

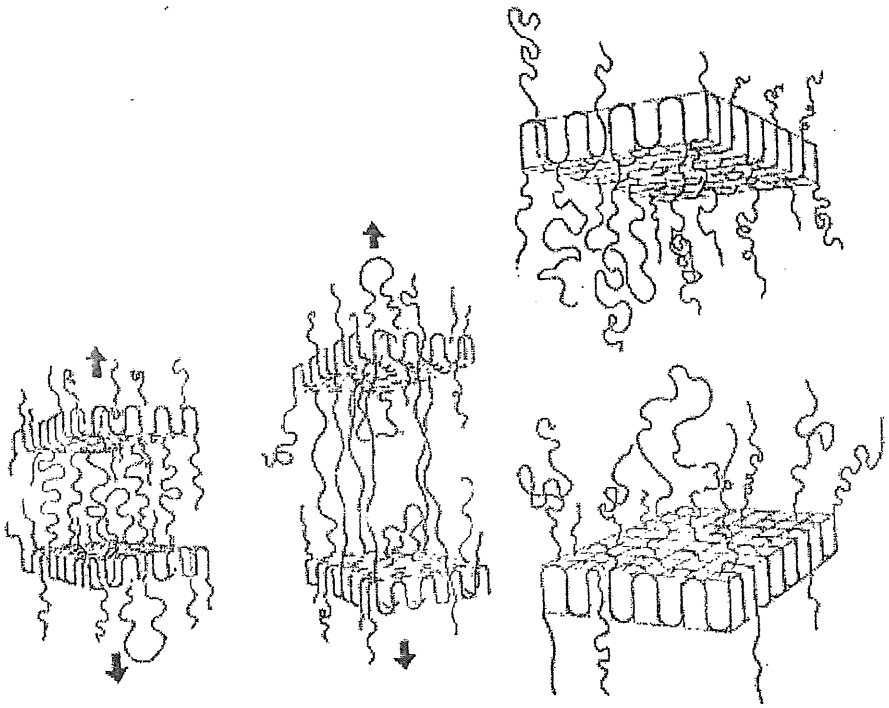
Pratikte uygun şartlar altında kullanıldıklarında plastikler mükemmel uzun süreli davranış sergilerler. Örneğin doğalgaz ve su iletim hatları gibi basınçlı boru hatlarında uzun süreli performans değerlendirmesi yapılmalıdır. Bunun için malzemenin yaşlanma davranışının bilinmesi gerekir. Bunu belirlemek üzere standart ektrapolasyon yöntemi kullanılarak elde edilen Eyring veya Arrhenius eğrileri olarak da bilinen *regresyon eğrileri* kullanılır.

Basınç altında polietilen borular sünek ve gevrek kırılma şeklinde hasara uğrarlar. Hasarın türü uygulanan gerilme ve sıcaklık belirlemektedir. Düşük sıcaklık ve yüksek gerilme sünek kırılmaya, yüksek sıcaklık ve düşük gerilme ise gevrek kırılmaya neden olur.

2.1 Sünek Kırılma

Boruda basınç altında meydana gelir ve boru çapında ve et kalınlığında aşırı şekil değiştirmeler sonucu oluşur. Boruda belirli bölgede önce aşırı şişmeler ve buna bağlı olarak da et kalınlığında incelmeler meydana gelir ve sonuçta " balık gözü " olarak da bilinen boru eksenine paralel çatlaklar/ yarılmalar oluşur. Bu tip hasarı belirleyen en önemli özellik boru et kalınlığında oluşan sürünme ile ortaya çıkan visko-elastik şekil değiştirmedir. Malzemede yoğunluk (kristalleşme) arttıkça malzemenin sürünme performansı iyileşip boru sünek kırılmaya karşı daha dirençli olacaktır. Bu tür bir hasar , boruya kimyasal olarak bir zarar

vermediği sürece test ortamından bağımsızdır. Boğma sonucu ortaya çıkan et kalınlığındaki incelmeler de bu tür hasarlara neden olabilir [11].



Şekil 3. HDPE malzemede düşük gerilme altında çatlak oluşumu [10]

2.2 Gevrek Kırılma

Burada hasar sonucunda boru et kalınlığında kayda değer bir şekil değişimi meydana gelmez. Ancak bu hasar sonucu boruda et kalınlığı boyunca eksenel yönde mikroçatlaklar oluşur. Basınç düştükçe çatlaklar kapanarak dışarıdan bakıldığında boruda herhangi bir hasarın varlığı tespit edilemez bir hale gelir. "Yavaş Çatlak İlerlemesi -YÇİ" olarak da adlandırılan bu hasar gerilmeye bağlı olduğundan hasarın ortaya çıkması, uygulanan gerilmeden ziyade ağırlıklı olarak ortama bağlıdır. Deterjan, alkoller ve bazı organik asitler gibi yüzey aktif malzemeler hasara uğrama süresini belirgin olarak kısaltırlar [12].

Moleküler açıdan gevrek kırılma, kristalleri birbirine bağlayan bağların kopması demektir. Bağ moleküllerinin sayısı arttıkça malzemenin çatlama direnci artar. Gevrek kırılmaya etki eden bir başka parametre ise moleküllerin kısa-yan bağlarıdır. Gevrek kırılma, sünek kırılmaya göre daha uzun sürelerde ortaya çıkar ve malzemenin yaşlanması konusunda önemli bir işarettir. Bu yüzden sünek ve gevrek kırılmanın tek bir grafik üzerinde gösterilmesi regresyon eğrilerinin eğiminde bir değişiklik ile kendini ortaya koymaktadır [12]

3. ÇEVRESEL ÇATLAK İLERLEME DİRENCİ

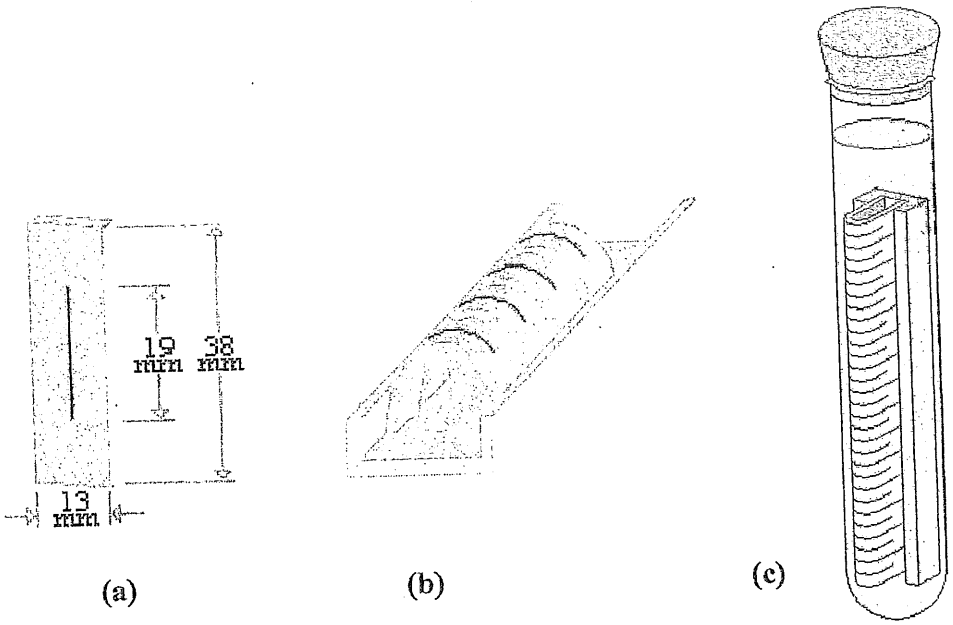
Çevresel çatlak ilerlemesi, kısmen düşük çekme gerilmesi ve çevresel koşullar altında bir malzemede oluşan çatlakların oluşmasıdır. Belli sıcaklık ve gerilme altında poliolefin maddeler bazı kimyasallara maruz kaldıklarında aynı sıcaklık ve gerilme altında bu kimyasalların bulunmadığı ortama göre daha erken hasara uğrar. Bu olaya çevresel çatlak

ilerlemesi (ESC) denir. Malzemenin çevresel çatlak ilerlemesine direncine de *çevresel çatlak ilerleme dayanımı* veya kısaca ESCR (Environmental Stress Cracking Resistance) adı verilir. ESC'den kaynaklanan hasarlar yavaşça oluşan ve zamanla ilerleyen çatlakların birleşmesiyle oluşur. Farklı malzemelerin farklı kimyasallara dayanımını belirlemek için kullanılan kırkın üzerinde farklı ESCR test metodu vardır. Bu metotlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

3.1 Etilen Plastiklerin Çevresel Çatlak İlerlemesinin Tayini için Standart Test Metodu (ASTM D 1693)

Bu teste göre (ESCR), test edilen numunelerin %50'sinde çatlağın oluştuğu saate karşılık gelen süredir.

ESCR testinde test numunelerini yavaş bir şekilde eğilerek numune tutucuya yerleştirilir. Daha sonra numune tutucu ve test numuneleri içinde belirli bir yüzey aktif kimyasal sıvı olan test tüpüne yerleştirilirler. Aynı anda çoklu numuneler test edilir.



Şekil 4. ASTM D 1693 tesit. a) Test numunesi, b) Numune Tutucusu, c) ESCR Testi

Test numunelerinde hasarın oluşup oluşmadığı düzenli olarak kontrol edilir. Çatlaklar genellikle çentiklerden başlayarak çentiğe dik bir şekilde ilerleyerek numunenin yan kenarlarına kadar ulaşır.

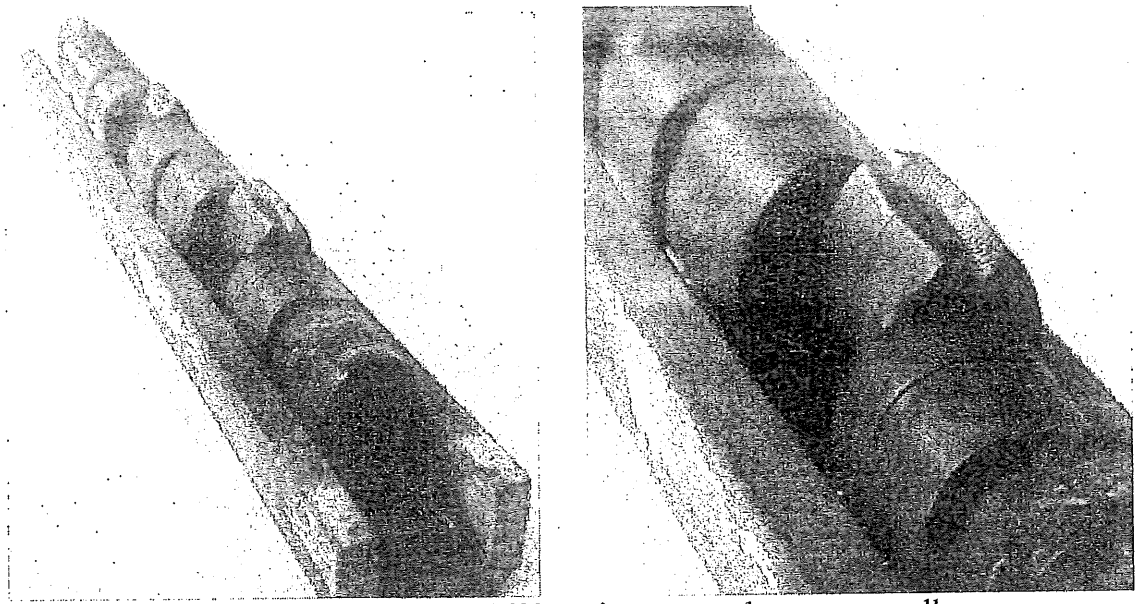
ASTM D1693 standardına göre üç tür test koşulu öngörülmüştür. Koşul A, yoğunluğu 0.910 and 0.925 gr/cm^3 olan polietilen için kullanılır. Koşul B, yoğunluğu 0.925 gr/cm^3 den daha yüksek olan polietilen için kullanılır. Koşul C ise ESCR değer oldukça yüksek olan malzemelerin hızlandırılmış testleri için kullanılır.

ASTM D1693 standardına göre, farklı numune ve test koşulları özet olarak Tablo 1'de özetlenmiştir.

ESCR Test Koşulları

Koşul		Kalınlık (mm)	Çentik Derinliği (mm)	Banyo Sıcaklığı (°C)
A	min	3	0.5	50
	max	3.3	0.65	
B	min	1.84	0.3	50
	max	1.97	0.4	
C	min	1.84	0.3	100
	max	1.97	0.4	

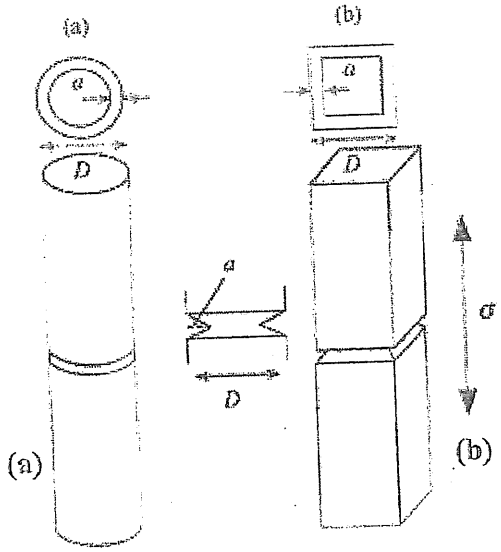
Şekil 5'de bu şekilde çatlamış bir numune görülmektedir.



Şekil 5. ASTM D 1693 testine göre çatlamış numuneller

3.2. Silindirik Çentikli Çubuk Testi

Hava içinde sürünme testi için silindirik ve orta noktasından çevresel olarak çentik açılmış numuneler kullanılır, Şekil 6.a. Çekme test numunesinin çevresi boyunca çentik açılması düzlem genleme oluşmasını ve sürünme şartlarında boyun vermenin oluşumunun önlenmesine yardımcı olur. Benzer numuneler kullanılarak nispeten yüksek yüklerde YÇİ testleri yapılmasını mümkün kılmaktadır. Numuneler genellikle talaş kaldırılarak işlenip daha sonra bir bıçak yardımıyla çatlak başlatılır. Hazırlanmış numuneler bir etüve bağlı olarak çalışan standart bir çekme cihazı kullanılarak testin yapılacağı ortam sıcaklığında yaklaşık 1 saat süre ile şartlandırıldıktan sonra sürünme testi başlatılır.



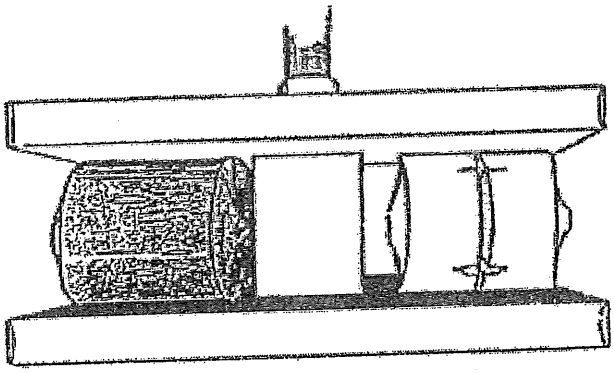
Şekil 6. (a) Silindirik çentikli çubuk testi ve (b) tam çentikli numune şekilleri

3.3. Tam Çentikli Sürünme Testi

Boru ile ilgilenenlerin genellikle kullandığı tam çentikli sürünme testinde deneyler hava yerine Igepal içinde yapılır. Kare prizma şeklinde 10x10x100 mm boyutlarında işlenmiş bir numunenin (Şekil 6b) ortasına bir çentik açılır ve testler bu numunelere yapılır. Numuneler testin yapılacağı ortam sıcaklığında yaklaşık 1 saat şartlandırıldıktan sonra sürünme testi başlatılır.

3.4 Polietilen Boruların Çevresel Çatlak İlerleme Direncinin Tayini için Standart Test Metodu (ASTM F1248)

Bu test metodu polietilen boruların yüksek sıcaklıklarda yüzey aktif maddelerin olduğu ortamlarda çevresel çatlaklara direncini tayin eder. Borudan elde edilen bir halka numuneye yüzey aktif bir sıvının içindeyken iki paralel levha arasında kontrollü bir şekilde sıkıştırılır. Zamana bağlı hasar kaydedilir. Test numunesi 50 °C ve % 25 Igepal çözeltisine konur. Çentik derinliği de en az et kalınlığının %20'si kadar olmalıdır.



Şekil. 7. ASTM F1248 standardında boru numunesinin ve baskı plakalarının şematik gösterimi

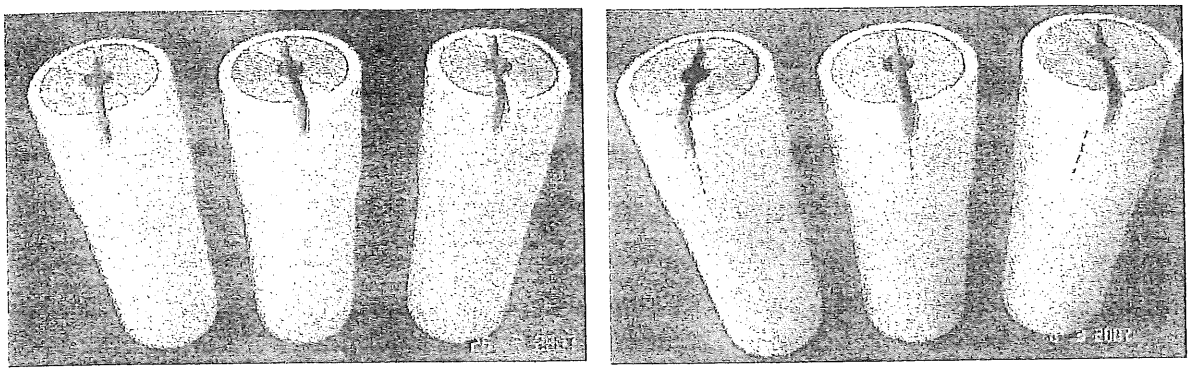
3.5. PE Boruların ve Reçinelerin Yavaş Çatlak İlerlemesine Direncini Ölçmek için Çentikli Çekme Testi (ASTM F1473)

Boru üzerinden veya plakalardan alınan numuneler hava içinde yüksek sıcaklıklarda sabit genleme testine maruz bırakılır. Test genellikle 80°C'de ve 2.4 MPa gerilme altında

gerçekleştirilir ancak farklı sıcaklık ve basınç metotları da mevcuttur. Zamana bağlı hasar kaydedilir.

3.6. PE Boruların Yavaş Çatlak İlerlemesine Direncini Ölçmek için Çentikli Koni Testi (TS ISO 13480)

Bu yöntemde belli uzunlukta kısa borunun bir tarafına eksenel yönde kalınlık boyunca bir çentk açılır. Çentiki ucun içine bir metalik koni yerleştirilerek boruda çevresel bir gerilmenin oluşması sağlanır.



(a) (b)

Şekil.8 Çentikli koni testi. a) Test başlangıç anı, b) Bir hafta sonra

Bu şekilde elde edilen boru numunesi içinde belli oranda yüzey aktif kimyasal bulunan bir kaba konarak bu kapta 80 °C' sıcaklıkta bir hafta bekletilir. Bu süre içinde çentikli uçta herhangi bir çatlak ilerlemesi yoksa veya çatlağın ilerleme hızı mm/gün olarak belli bir kritik değerin altında ise malzemenin ESCR direnci yeterli kabul edilir.

4. SONUÇ

Polietilende ortaya çıkan çevresel çatlak ilerlemesi lameller arası bir proses olup burada bsğ moleküllerinin gevşemesi sonucu meydana gelir. Malzemenin bu tür bir hasara karşı gösterdiği kırılma direnci belirlemede birçok test olmakla birlikte bunlardan birkaçı yaygın olarak kullanılmaktadır.

Malzemenin ESCR'sini etkileyen yapısal değişkenlerin başında kristalleşme oranı, moleküler ağırlık dağılımı, yan bağ uzunlukları ve lamellerin yönlenmesidir. Polietilenin molekül zincir uzunluğu arttıkça ESCR direnci de artmaktadır. Kristalleşme oranı arttıkça malzemenin yoğunluğu artmakta ve ESCR direnci azalmaktadır. Malzemede yan bağ arttıkça malzeme daha az kristalleşme oluşacağından malzemenin ESCR değeri de artacaktır.

KAYNAKLAR

Lustiger, A., "Understanding Environmental Stres Cracking in Polyethylene", Medical Plastics and Biomaterials Magazine, July 1996.

1. Howard, J.B., "A Review of Stres Cracking in Polyethylene", SPE J, 15:397, 1959
2. Ghanbari-Siahkali, A., Kingshott, P., Breiby, D.W, Arleth, L., Kjellander, C. K., Almdal, K., "Investigating the Role of Anionic Surfactant and Polymer Morphology on the Environmental Stress Cracking (ESC) of High-density Polyethylene", Polymer Degradation and Stability 89 p 442-453, 2005.
3. Smith, W. F., Çev. Kınıkoğlu, N.G., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayıncılık, 2001.

4. Al-Zubi, R., Strong, A. B., Lampson, M., Understanding Environmental Stres Crack Resistance (ESCR) in Rotomolded Polyethylene Tanks, Poly Processing Company, http://www.polyprocessing.com/pdf/technical /Understanding_ESCR.pdf (Mayıs 2007)
5. PPI Handook of Polyethylene Pipe, 1st Edition, 2006
6. ASTM D 1693, Environmental Stress-Cracking of Ethylene Plastics, American Society for Testing of Materials, Phil., USA, 1970.
7. Greig, J.M., Leevers, P.S., Yayla, P., 1992, "Rapid Crack Propagation in Pressurised Plastic Pipe, Part I: Full-scale and Small-scale RCP Testing" Engineering Fracture Mechanics, Vol. 42, No. 4, pp. 663-673
8. TS ISO 13480, Polietilen Borular – Yavaş çatlak Büyümesine Direnç – Koni Deney Metodu
9. Lustiger, A., (1983), The Molecular Mechanism of Slow Crack Growth in Polyethylene. Proceedings of the Eighth Plastic Fuel Gas Pipe Symposium, American Gas Association, Columbus, OH., pp 54-56
10. Yayla, P., Bilgin, Y., 2007, "Squeeze-off of Polyethylene Pressure Pipes: Experimental Analysis" Polymer Testing, Vol. 26, N. 1, pp 132-141
11. Yayla, P., Crack Propagation in Pressurized Plastic Pipes. 7. Uluslararası Kırılma Konferansı, 2005, Kocaeli

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Sayfa/Page

On the pre-fracture zone model in elastic body at the crack tip on the interface of media 1
Anatoly KAMINSKY, Leonid KIPNIS, Michael DUDIK, Genady KHAZIN

Özellikleri fonksiyonel olarak değişen malzemelerde karışık mod yükleme altında çatlak başlama açıları ve gerilim şiddet çarpanları 10
Crack initiation angles and stress intensity factors in functionally graded materials under mixed mode loading
Alpay ORAL, İbrahim Hakan ÇOPUR, Günay ANLAŞ

Fraktal geometriyle modellenmiş rijit pürüzlü yüzey ile kayma teması yapan yarı-sonsuz ortamdaki çatlak ilerlemesinin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi 20
Finite element analysis of crack propagation in a semi-infinite medium in sliding contact with a rigid rough surface modeled by fractal geometry
Alaettin ÖZER, Hasan SOFUOĞLU

Crack initiation and growth in circular saw made from tool steel 31
İsmail UCUN, Mehmet ÇOLAKOĞLU, Süleyman TAŞGETİREN

Çatlaklı kirişlerde yer değiştirmelerin analitik olarak belirlenmesi 41
Analytical determination of deflections of cracked beams
M.Arif GÜREL, Murat KISA, Mustafa ÖZEN

The Dugdale's type crack model for elliptic crack at multiaxial loading 51
Gregory GALATENKO

Üzerinde delik bulunan kesici diskin sonlu elemanlar metodu ile gerilme analizi 57
Stress analysis of sawing disc having hole by using finite element method
İsmail UCUN, Kubilay ASLANTAŞ, Süleyman TAŞGETİREN, İ.Sedat BÜYÜKSAĞIŞ

Near-surface penny-shaped crack at the interface of physical-mechanical properties of a material 67
V. P. KUSHNIRENKO, V. M. NAZARENKO

The critical velocity of a moving time-harmonic load acting on a pre-stressed plate resting on a pre-stressed half-plane 74
Surkay AKBAROV, Nihat İLHAN

Fracture of a three layer elastic panel 84
Mehmet Tarık ATAY

HMK kafesli metal ve alaşımların kırılma tokluğu üzerine bir standart projesinin geliştirilmesi. 94
Development of a standard project on fracture toughness of bcc metals and alloys.
Galip SAİD, Halil AYTEKİN

Ti-6Al-4V alaşımlarında çentiklerde superpozisyon etkisinin incelenmesi 104
Investigation of superposition effect of notched Ti-6Al-4V alloy
Asım GÜVEN, Tamer SINMAZÇELİK, Volkan GÜNAY

On the plastic zone formation near a crack in anisotropic body 115
Eugene KURCHAKOV, Gregory GAVRILOV

Sayfa/Page

The delamination buckling of the elastic and viscoelastic rectangular composite plate containing a band-crack 126
Surkay D. AKBAROV, Nazmiye YAHNİOĞLU, Ordjali G. RZAYEV

On the theoretical strength limit of the layered elastic composites in compression 137
Arzu ÇİLLİ

Fracture of an orthotropic plate with periodical system of collinear cracks under biaxial loading, 147
Olga BOGDANOVA

Influence of the scheme of fixing the shaft border sections of the shaft over the frequency coefficient of responsiveness toward registered one-side transverse symmetrical cracks 153
Varvara VESELINOVA-GUTEVA, Nikolay MINCHEV

Hafif silahlara karşı preslenerek ve preslenmeden üretilen yüksek yoğunluklu polietilen (UHMW-PE) zırh plakalarının terminal balistik özelliklerinin incelenmesi 176
The examination of terminal ballistic qualifications of high density polythene (UHMW-PE) armor plaque which are produced with pressing and without pressing against small arms
Can CANDAN

Bor katkılı zırh çeliklerinin kırılma davranışı 186
The fracture behavior of boron added armor steels
Şadi KARAGÖZ, Hakan ATAPEK

Effects of mechanically drilled parts on tensile ductility and fracture behavior of a structural steel 197
Somayeh ALIPOUR, Hassan FARHANGI, Changiz DEHGHANIAN

Strength characteristics of molybdenum in high-temperature gas medium 207
Anatoly BASHTA, Mikhail SELIVANOV

A semi-analytical method for solution of the linear viscoelasticity problems 212
Yuri CHORNOIVAN

Vida açmada talaşın oluşmasına harcanan işin vidalı parçanın yorulma dayanımına etkisi 218
The effect of the cutting energy on the fatigue life of the threaded specimens
Eldar FETULLAYEV, Hamza Kemal AKYILDIZ, Atila Abir İĞCİ

AISI 1045 çeliğinin düz ve fretting yorulma davranışları üzerinde indüksiyonla sertleştirmenin etkisi 227
Influence of induction hardening on fretting fatigue behavior of AISI 1045 steel
Recep SADELER, Ahmet Bilal SENGUL, Ayhan CELİK, Yasar TOTİK

Ticari saf titanyumun yorulma davranışı 236
Fatigue behavior of commercially pure titanium
Mehmet CİNGİ, Onur MEYDANOĞLU, Murat BAYDOĞAN,
Hüseyin ÇİMENOĞLU, E. Sabri KAYALI

Bilyeli dövme işlemi ve yüksek sıcaklığın, bakır ilaveli toz metal çelik parçaların yorulma dayanımına etkisinin incelenmesi 342
Investigation of the shot peening effect of elevated temperature on the fatigue strength of cubber added p/m steels
Ali BAŞARAN, Süleyman BAŞTÜRK, Remzi VAROL, Gürsev PİRGE, Hatice VAROL

	Sayfa/Page
Anisotropy of fracture toughness characteristics of prestrained orthotropic material under uniaxial cyclic loading Vladimir BASTUN	253
Poliolefin malzemelerde çevresel gerilme çatlak ilerlemesi *Environmental stress crack propagation in poliolefine materials* Paşa YAYLA, Şenol ŞAHİN, İlbeyi KILAVUZ	259
Kalsiyum karbonat mineral dolgu maddesinin polipropilen random kopolimer boru malzemesinin performansına etkisi *Effects of calcium carbonate mineral filler on the performance of pipe grade polypropylene random copolymer* Tülin ŞAHİN, Şenol ŞAHİN	269
UV ışınları yardımıyla kaplanan polikarbonatların mekanik özelliklerinin incelenmesi *Investigation of mechanical properties of polycarbonate coating by UV beams* Yalçın BOZTOPRAK, M.Vezir KAHRAMAN, Z.Seden AKDEMİR, Atilla GÜNGÖR	280
İmalat yöntemlerinin yüksek yoğunluklu polietilen'in (YYPE) tek eksenli çekme davranışı üzerindeki etkisi *The effect of manufacturing methods on uniaxial tensile behavior of high density polyethylene (HDPE)* Necmi DÜŞÜNCELİ, Özgen U. ÇOLAK	290
On influence of residual stresses on fracture of composite materials containing interacting cracks Viacheslav BOGDANOV	302
Long-term crack growth in 3-D reinforced polymer Mikhail SELIVANOV	312
Kalsiyum karbonat katkılı polipropilen random kopolimer malzemenin mekanik özelliklerine soğuk çekmenin etkisi *Effect of cold drawing on mechanical properties of calcium carbonate filled polypropylene random copolymer.* Şenol ŞAHİN, Tülin ŞAHİN	320
Sol-jel tekniğiyle kaplanan polikarbonatların fiziksel özelliklerinin incelenmesi *Investigation of physical properties of coated polycarbonates by sol-gel methods* Yalçın BOZTOPRAK, M.Vezir KAHRAMAN, N. Apohan KAYAMAN, Atilla GÜNGÖR	330
Buckling, post-buckling and failure analysis of hat stiffened composite panel Faruk ELALDI	338
Al-Mg alaşımı üzerine yapılan farklı kompozit yamaların çentikli çekme dayanımına etkisi *Effect of different composite patches upon notched tensile strength of Al-Mg alloy* Ahmet SAMANCI, Ahmet AVCI	346
Effects of sebs and sebs-g-ma modifications on the fracture behavior of i-pp/glass bead and I-pp/wollastonite composites Onur BALKAN, Halil DEMİRER, Ayhan EZDEŞİR, Hüseyin YILDIRIM, Ülkü YILMAZER	351

Sayfa/Page

E-Camı/Epoksi tabakalı kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışına numune boyutlarının etkisi 361
Size effect on low velocity impact behavior of laminated e-glass composite
Mesut UYANER, Memduh KARA, Necati ATABERK

Termal çevrimlere maruz bırakılmış polimer kompozitlerin düşük enerjili tekrarlı darbeler altındaki davranışlarının incelenmesi 369
Low velocity repeated impact behavior investigation of thermal aged polymer composites
Onur ÇOBAN, Mustafa Özgür BORA, Tamer SINMAZÇELİK, İsmail CÜRGÜL

Farklı enerjilerde ardışık tekrarlı darbelere maruz kalan polimer kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi 380
Impact behavior investigation of repeatedly impacted polymer composites at various energies
Mustafa Özgür BORA, Onur ÇOBAN, Tamer SINMAZÇELİK, İsmail CÜRGÜL

Farklı çatlak açılarına sahip çelik tel takviyeli polietilen kompozitlerin yorulma yükü altında kırılma davranışlarının incelenmesi 390
Investigation of the fracture behavior of woven steel reinforced polyethylene composites on the fatigue load with inclined cracks
Ahmet AVCI, Ömer Faruk ERKENDİRCİ

Çelik tel takviyeli Zn-Al 5 (Zamak 5) alaşımının kırılma davranışı 401
Fracture behavior of steel wire reinforced Zn-5%Al (Zamac 5) alloy
Hüseyin ARIKAN, Füsun SAHAR

Yüzey çentikli Al-Mg alaşımı üzerine yapılan farklı kompozit yamaların çekme dayanımına etkisi 409
Effect of different composite patches upon tensile strength of Al-Mg alloy with a surface notch
Ahmet SAMANCI

Tabakalı kompozitlerin darbe cevabına vurucu şeklinin etkisi 415
Influence of the impactor shape on the impact response of composite laminates
Memduh KARA, Mesut UYANER

Cam kumaş takviyeli termoplastik kompozitlerde kırılma davranışlarının incelenmesi 422
Investigation of the fracture behavior of woven glass reinforced polyethylene composites
Ahmet AVCI, Mürsel EKREM, Ömer Faruk ERKENDİRCİ

Çelik tel takviyeli polietilen kompozitlerde yorulma çatlak büyümesi 435
Fatigue crack growth of woven steel reinforced polyethylene composites
Ömer Faruk ERKENDİRCİ, Ahmet AVCI, Ahmet AKDEMİR

Sürekli alümina fiberlerle takviyeli çok tabakalı seramik kompozitlerde fiber-matriks ara yüzeyinin hasar mekanizmaları ve mekanik özelliklere etkisi 445
The effects of matrix-fibre interface on the damage mechanisms and mechanical properties of continuous alumina fibre-reinforced multilayer ceramic matrix composites
Cengiz KAYA, Figen KAYA, Ted BUTLER, Krishan K. CHAWLA

An investigation on ITZ microstructure of the concrete containing waste vehicle tire 453
Mehmet EMİROĞLU, Servet YILDIZ, M. Halidun KELEŞTEMUR

Effect of extrusion process on ductility and fracture behavior of SiCp/ aluminum-alloy composites 460
Amir PAKDEL, H. FARHANGI, M. EMAMY

age		Sayfa/Page
361	Effect of hot extrusion temperature on particle breakage and fractography of silicon carbide-reinforced Al-6061 alloy composite materials Amir PAKDEL, H. FARHANGI, M. EMAMY	470
369	Yapıştırma bağlantılarının dayanımı üzerine kürleşme basıncının etkisi *The effect of curing pressure on the strength of adhesively bonded joints* Murat Demir AYDIN, Şemsettin TEMİZ, Adnan ÖZEL	470
380	Biçimlenebilen magnezyum alaşımlardan kaynaklı birleştirmelerin yorulma dayanımı değerlendirmelerinde mikro-destek etkisi konseptinin uygulanması *Application of the micro-support concept for assessment of the fatigue strength of the welded joints of the magnesium wrought alloy AZ31* Özler KARAKAŞ, Alper GÜLSÖZ, Christoph MORGENSTERN, C. Morris SONSINO,	480
390	Martin VOGT, Klaus DILGER	
	Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen polietilen levhalarda kaynak bölgesi özelliklerinin belirlenmesi *Determination of welded zone properties on friction stirs welded polyethylene sheets* Armağan ARICI, Alpay Tamer ERTÜRK	490
401	A parametric study on fatigue life behavior of spot welded joints Ahmet Hanifi ERTAŞ, Fazıl Önder SÖNMEZ	498
409	Horizontal split-web fractures of flash butt welded rails Hassan FARHANGI, Seyed Mostafa MOUSAVIZADEH	509
415	Investigation of the effects of aging on the room and high temperature tensile properties and fracture of stainless steel 316L weld metal Asadollah KARIMIYAN, Hassan FARHANGI and Ali Amari ALLAHYARI	518
422	Filaman sarım kompozit boruların mix moda göre statik iç basınç altındaki hasar davranışı *Failure behavior of filament wound composite pipes under static internal pressure according mix mode* Hüseyin ARIKAN	527
435	Bir ambulansa ait direksiyon çolak kolunun hasar analizi *Failure analysis of a steering arm at an ambulance* Ali GÖKŞENLİ, Barlas İ. ERYÜREK	534
445	Dizel otomobil pompa milinin yorulma kırılması analizi *Fatigue failure analysis of diesel automobile pump axle* Mustafa YAŞAR	544
453	Pim bağlantılı tabakalı kompozit plakada ön gerilme momenti ile geometrik parametre değişiminin hasar analizine etkisi *Effect of preload moment and geometrical parameters to failure behavior of pin-loaded laminated composite plates* Yeliz PEKBEY	554
460	An investigation on failure analysis of titanium gas turbine compressor blades H. Sepehri AMIN, A. KERMANPUR, S. Ziaei RAD, H. FARHANGI, M. MOSADDEGHFAR	563

	Sayfa/Page
Fractographic and microstructural investigation of the failure of high temperature Nimonic 80a insert bolts Hassan FARHANGI, Peyman SAMIMI	570
Fractographic investigation of the failure of second stage gas turbine blades Hassan FARHANGI, Ali Asghar FOULADI MOGHADAM	577
Fractographic investigation of failures in 316L stainless steel orthopedic condylar blade plate Fariba NAGHDI, Hassan FARHANGI, Maryam ZAHIRI AZAR, Ali AMMARI ALLAHYARI	585
Çeşitli kaynaklardan farklı seviyelerde çinko içeren rasyonlarla beslenen japon bıldırcınlarının kemik biyomekanik özellikleri *Bonebiomechanical characteristics of Japanese quails fed diets with different levels of zinc from various sources* Yılmaz BAHTİYARCA, Anakız KOLAŞ, Mesut UYANER	593
Kür süresinin betonun kırılma parametreleri üzerine etkisinin incelenmesi *Investigation of effect of curing time on fracture parameters of concrete* Kürşat Esat ALYAMAÇ, Ragıp İNCE	600
Kısa çevrimli yorulma çatlaklarının tahribatsız muayene yöntemi ile incelenmesi *Detection of low cycle fatigue cracks by non destructive inspection* Mehmet ŞİMŞİR, Alpay ANKARA	610
Kompozit demiryolu fren balatalarının sürtünme ve aşınma özellikleri *Friction and wear properties of composite railway brake linings* Ahmet TOPUZ, Ergin KORMAZ, Polat TOPUZ	619
Betonun çarpma mukavemetinin tesbiti *Determination of impact strength of concrete* Erdinç ARICI, Resul DURSUN, Ragıp İNCE	628
Geleneksel betonda nem oranı-kırılma parametreleri ilişkisinin belirlenmesi *Determination of relationship between moisture rate and fracture parameters for conventional concrete* Kürşat Esat ALYAMAÇ, Ragıp İNCE	634
SAE 304L çeliklerin tek V alın kaynak dikişinde porozitenin ultrasonik yöntemle optimum tespiti *Optimum ultrasonic inspection conditions of single V butt-welded SAE 304L austenitic stainless steels* Memduh KURTULMUŞ, Onur FİDANER, A.İrfan YÜKLER	644
Yağ analiz programı ile aşınmaya bağlı hasar analizi *Destruction analysis depend on the wearing with oil analysis program* Burak GÖKALP, H. İbrahim SARAÇ, Cenk ÇELİK	651
Tekrarlanan gaz nitrasyon işleminin AISI H13 ekstrüzyon kalıbının kırılma hasarına etkisi *Effect of repeated gas nitriding on the gross cracking failure of H13 extrusion dies* Nazım Özkan ASAN	665
Fracture under initial stresses acting along cracks: Approaches, Concepts and Results A.N. GUZ, V.M. NAZARENKO	677

ge
70

77

85

93

500

510

519

628

634

644

651

665

677

	Sayfa/Page
Asymptotical solving behavior in fracture mechanics problem for near-surface crack under initial stresses M.V. DOVZHYK, V.M. NAZARENKO	696
Çelik tel takviyeli lamel grafitli dökme demirin kırılma davranışının incelenmesi *Investigation of fracture behavior of steel fiber reinforced lamellar graphite cast iron* Mehmet ŞİMŞİR	700

BİLİM KOMİTESİ / SCIENTIFIC COMMITTEE :

Surkay AKBAROV	Yıldız Teknik Üniversitesi / Yildiz Technical University
Ahmet AVCI	Selçuk Üniversitesi / Selçuk University
Hüseyin ÇİMENOĞLU	İstanbul Teknik Üniversitesi / İstanbul Technical University
Mustafa DORUK	Orta Doğu Teknik Üniversitesi / Middle East Technical University
A.N.GUZ	Ukranian Acad. of Science
Şadi KARAGÖZ	Kocaeli University
Eyüp Sabri KAYALI	İstanbul Technical University
Mustafa KOÇAK	GKSS Res. Cent.
B.M. NAZARENKO	Ukranian Acad. of Science
Galip SAİD	Kocatepe Üniversitesi / Kocatepe University
Necati TAHRALI	Yıldız Teknik Üniversitesi / Yildiz Technical University
Ahmet TOPUZ	Yıldız Teknik Üniversitesi / Yildiz Technical University
Hikmet ÜÇIŞIK	Boğaziçi Üniversitesi / Bosphorus University
Ahmet ÜNAL	Yıldız Teknik Üniversitesi / Yildiz Technical University
Nazmiye YAHNİOĞLU	Yıldız Teknik Üniversitesi / Yildiz Technical University
Paşa YAYLA	Kocaeli Üniversitesi / Kocaeli University
Mehmet YÜKSEL	Pamukkale Üniversitesi / Pamukkale University
Öktem VARDAR	Işık Üniversitesi / Işık University
Sakin ZEYTİN	Sakarya Üniversitesi / Sakarya University

DÜZENLEME KURULU / ORGANIZING COMMITTEE

Mustafa DORUK	Orta Doğu Tek. Üniversitesi / Middle East Technical University
Ahmet TOPUZ	Yıldız Tek. Üniversitesi / Yildiz Technical University
Şadi KARAGÖZ	Kocaeli Üniversitesi / Kocaeli University
Surkay AKBAROV	Yıldız Teknik Üniversitesi / Yildiz Technical University
Ahmet AVCI	Selçuk Üniversitesi / Selçuk University
Eyüp Sabri KAYALI	İstanbul Tek. Üniversitesi / İstanbul TTechnical University
Halidun KELEŞTİMUR	Fırat Üniversitesi / Fırat University

YÜRÜTME KURULU / EXECUTIVE COMMITTEE

Prof. Dr. Ahmet TOPUZ	Yıldız Teknik Üniversitesi / Yildiz Technical University
Assit Prof.Dr. Ergün KELEŞOĞLU	Yıldız Teknik Üniversitesi / Yildiz Technical University
Assist.Prof.Dr. Reşat KÖŞKER	Yıldız Teknik Üniversitesi / Yildiz Technical University
Resarch Assist. Murat DANIŞMAN	Yıldız Teknik Üniversitesi / Yildiz Technical University

8. ULUSLARARASI KIRILMA KONFERANSI

BİLDİRİLER KİTABI

PROCEEDINGS OF THE 8th INTERNATIONAL FRACTURE CONFERENCE

07-09 KASIM / NOVEMBER 2007

Editörler / Editors:

Ahmet TOPUZ

Ergün KELEŞOĞLU **Murat DANIŞMAN**

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

İSTANBUL, TURKEY