

HMK METAL VE ALAŞIMLARININ KIRILMA TOKLUĞUNU ARTTIRMA İMKANLARI

Galip SAİD

AKÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, AFYON

ÖZET

Bu çalışmada “karşılıklı” kırılma modeli temel alınarak hacim merkezli kübik (HMK) kristal yapıya sahip olan metal ve alaşımlarının kırılma tokluğunu (K_{Ic}) arttırma imkanları incelenmiştir.

Kırılma tokluğu malzemenin integral mekanik özelliği olup konstrüksiyonda daima bulunan mikro veya makro çatlakları göz önünde tutarak, konstrüksiyonun ömür uzunluğunu belirlemektedir. Bu nedenle malzemelerin kırılma tokluğunu tayin etmek büyük önem taşımaktadır. Ancak standarda uygun olarak söz konusu çeliklerin kırılma tokluğunu saptamak için büyük engelleri yenmek gerekmektedir. Kırılma tokluğu ile malzemenin kolay tayin edilen basit mekanik özellikleri ve iç yapı parametreleri arasındaki ilişkileri açıklamak bu problemin çözümünde önemli bir yer tutmaktadır.

Bu çalışmada ortaya koyulmuş teorik temeller kırılma tokluğunu oldukça kolay bir tarzda saptamak, yüksek kırılma tokluğuna sahip olan metal alaşımlar keşif etmek ve hacim merkezli kübik kristal yapıya sahip olan metal ve alaşımların kırılma tokluğunu elde etmek için yeni bir standart geliştirmek imkanını sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kırılma tokluğu, Karakteristik mesafe, Hacimsel gerilim şeması, Sünek-gevrek geçiş sıcaklık sınırı, Tane boyutu, Lokal kritik gerilim.

TECHNIQUES FOR THE IMPROVEMENT OF FRACTURE TOUGHNESS OF BCC METALS AND ALLOYS

ABSTRACT

In this study, based on the equivalent fracture model, the techniques for the improvement of fracture toughness (K_{Ic}) of body centered cubic (BCC) alloys have been investigated.

Fracture toughness is an integral mechanical property, which consider the micro and/or macro cracks always exist in any construction and determine the life period of a construction. So, the determination of the fracture toughness of a material is importantly desired. On the other hand, the standard test methods (ASTM E 399-72) include many difficulties to overcome. This concludes that, the relation between basic mechanical properties, easily available from basic experiments, and micro structural parameters by means of fracture toughness is a key phenomena in the solution of mentioned issue.

The fundamental theories obtained in this study give the possibility of relatively easy determination of fracture toughness, the discovery of metals and alloys having high fracture toughness and the establishment of a new standard procedure to obtain the fracture toughness of BCC metals and alloys.

Keywords: Fracture toughness, Characteristic distance, Volumetric stress scheme, Ductile-brittle transition temperature, Grain size, Local critical stress

1. GİRİŞ

Çalışma [1]'de kırılmanın makroskobik karakteristiği olarak kabul edilmiş kırılma tokluğu (**K_{İC}**), kırılmanın mikro mekanizmasını temsil eden σ_c , ρ_c parametrelerine ve malzemenin akma gerilimine (σ_{ag}) bağlı olarak incelenmeye tabi tutulmuştur ve bunlar arasındaki bağımlılık böyle formüller ile ifade edilmiştir

$$K_{Ic} = K_{\mu} (\sigma_c / \sigma_{ag})^{1-n/2n} \quad (1)$$

$$\text{burada } K_{\mu} = \sigma_c (\pi \rho_c)^{1/2} \quad (2)$$

σ_c - lokal kritik gerilim;

ρ_c - karakteristik mesafe;

n - deformasyon sağlama katsayısı (pekleşme katsayısı).

“Karşılıklı” kırılma modeli deneylerde tasdik edilmiş olan mikro çatlakların ana çatlak ucundan belirli ρ_c mesafede meydana gelmesi ve sonra onların ana çatlak ile kavuşması üzerine esaslaşmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Lokal kritik σ_c gerilim etkisinden meydana gelen mikro çatlakların kaynakları, metal olmayan katkıları, ikinci fazın çekirdekleri, tane sınırları v.b. olmaktadır. Genel olarak, σ_c çatlak ucundan ρ_c mesafede iç yapının en zayıf bölgesinde mikro çatlakların meydana gelmesi için yeterli olan en düşük çekme gerilimdir. Bu nedenle "karşılıklı" kırılma modeli σ_c ve ρ_c parametrelerini kapsayan formül (2) ile ifade edilmiştir.

Denklem (1) düzlem deformasyon şemasına uygun olan gevrek kırılma anlamını ifade etmektedir. Bu şart sıcaklık ve şekil değişme hızından bağımsız olarak iç yapı parametresi olan ρ_c ve σ_c geriliminin kırılma tokluğunu K_{ic} ve çeliğin sıcaklık hem de şekil değiştirme hızına bağımlı olan karakteristikleri ile ilişkisini ortaya çıkarmaktadır.

Denklem (1)'in elde edilmesinden görmek olabilir' ki sıcaklık azaldıkça çatlak ucunda kırılma anında plastik saha azalır. Azami durumda, yani pek düşük sıcaklıklarda, kırılma anında çatlak ucunda meydana gelen elasto-plastik sınır ancak ρ_c mesafeye eşit olduğunda, mikro çatlakın meydana gelmesi ve sonraki kırılma lokal kritik gerilimin akma gerilimine eşitliğinde gerçekteşir. Bu olay incelenen malzemenin en düşük kırılma tokluğuna uygundur. Böylelikle, $K_{ic} = K_{\mu}$ olduğunda, K_{μ} fiziksel olarak, incelenen çeliğin gevrek durumuna uygun olan en düşük kırılma tokluğu anlamını ifade etmektedir. Bundan başka, $K_{ic} = K_{\mu}$ denkliği, sağlamlaşma katsayı $n = 1$ olduğunda makro plastik deformasyonun gerçekteşmediğini göstermektedir. Böylelikle, K_{μ} kırılma tokluğu K_{ic} 'in $T=0$, K sıcaklığına uygun olan değerini temsil ederek, $K_{ic}(T)$ grafiğinde bir başlangıç nokta (değer) olmaktadır.

Denklem (1) 'in elde edilmesinde ρ_c , σ_c ve bunlara bağlı olan K_{μ} 'in sıcaklık ve şekil değişme hızından bağımsız olduğu temel olarak kabul edilmiştir.

Böylelikle, çeliklerin K_{ic} değerine birinci sırada ρ_c ve σ_c parametreleri etki etmektedir. Söz konusu olarak, şunu ifade etmek mümkündür ki, çeliklerin iç yapısından bağımsız olarak, iç yapıların çeşitli bileşenlerinin içinde öyle bir zayıf bölge olabilir ki, bu bölge kırılma kaynağının ilk meydana çıkmasına neden olur. Çeliğin iç yapısında böyle bölgeler arasındaki ortalama mesafe ρ_c ile korelasyon yapılarak bulunmalıdır. Dolayısıyla,

kırılma tokluğunu arttırmak açısından çeliklerin iç yapısını mükemmelleştirmek için daima ρ_c parametre değerinin artırılması, hem de gevrek kırılma tarzını temsil eden σ_c parametresinin artırılması gerekir. Çalışma [2]'de bileşimi çeşitli olan çelikler için ρ_c ve σ_c parametrelerinin doğası ve onların sayısal değerleri tayin edilmiştir.

Özellikle, çeşitli az karbonlu, düşük alaşımlı çelikler için elektron metalografisi yöntemiyle tanelerin ortalama çapı d ve ρ_c parametresi arasında denklik tespit edilmiştir. Yani, $T = 0$ K sıcaklığında çatlak ucundaki elasto-plastik sınırın uzunluğu çelik iç yapısının bir tane ortalama çapına eşit olduğu iddia edilebilir. Bu mesafede etki eden lokal kritik gerilim σ_c ise etkili gerilim $[\sigma_{ag}(0) - \sigma_0]$ olarak kabul edilebilir, yani

$$\sigma_c = [\sigma_{ag}(0) - \sigma_0], \quad (3)$$

burada $\sigma_{ag}(0)$ – akma gerilimin $T = 0$, K sıcaklıktaki değeri;

σ_0 -- akma gerilimin atermik (sıcaklıktan bağımsız) kısmı.

Kırılma tokluğunun tayin edilmesinde kırılma mekaniğinin temel şartlarından biri olan düzlemsel şekil değişme şemasının yerine getirilmesi, çatlak ucunda makro plastik deformasyonun olmadığına eşdeğerdir. Bu ise çatlak ucunda belirli sıcaklıkta gerçekleşen hacimsel gerilim şemasını (σ_1/σ_i) göz önünde tutmaktadır. Çalışma [2]'de gösterildiği gibi çatlak ucunda gerçekleşen σ_1/σ_i değeri,

$$\sigma_1/\sigma_i = (1 - 2\nu)^{-1}, \quad (4)$$

dır, burada ν - Poisson katsayısı. Çatlak ucunda $\nu = 0,3$ olduğunda formül (4)' e göre $\sigma_1/\sigma_i = 2,5$ olur.

Derinliği t ve uç yarıçapı r 'ye eşit olan uzun cüruf katkılar için $t/r \rightarrow \infty$ olduğunda büyük olmayan elasto-plastik bölgeler için teorik çözümlerden elde edilmiş $\sigma_1/\sigma_i = 2,58$ [3].

Belli olduğuna göre, çentik uç yarı çapı arttıkça en büyük normal gerilim olan σ_1 çentik ucundan numunenin merkez tarafına kayar. Çentikten çatlaga geçildiğinde σ_1 sıkı olarak çatlak zirvesine ρ_c mesafesine kadar yaklaşır. Metal malzemelerde tane sınırının dislokasyonların hareketine engel olması nedeniyle mikro çatlakın meydana gelme ihtimali tane sınırlarında

gerçekleşmesi uygun bulunmaktadır. Bu ise, normal gerilimin en büyük değerinin bir tane çapı mesafesinde , yani $d \approx \rho_c$ 'de, meydana gelmesine neden oluyor.

Ferrit tane çapları 0,106 ve 0,409 mm 'e eşit olan polikristal demir için akma geriliminin sıcaklığa bağımlılığını incelediğimizde $[\sigma_{ag}(0) - \sigma_0]$ değerinin iri taneli demirde ufak taneli demirinkine göre daha büyük olduğu ortaya çıkmıştır [2]. Böylelikle, formül (2)'ye göre en düşük kırılma tokluğu K_{Ic} ($T=0$ K sıcaklığına uygun kırılma tokluğu K_{Ic}^0)

$$K_{Ic} = K_{Ic}^0 = [\sigma_{ag}(0) - \sigma_0] (\pi d)^{1/2} \quad (5)$$

iri taneli çelikte ufak taneli çeliğe göre büyük olur.

Bilindiğine göre , tane çapının azalması metal dayanımlığının, özellikle akma geriliminin, artmasına neden olur. Aynı zamanda iri çaplı tane için $\sigma_c = [\sigma_{ag}(0) - \sigma_0]$ değerinin büyük olması da göz önünde tutulursa, formül (1)'in sağ tarafında yer alan (σ_c/σ_{ag}) oranı ufak taneli çelikler için iri taneli çeliklerinkine göre düşük olur.

Sağlamlaşma katsayısı n ' in dislokasyon doğası göz önünde tutulursa, bu parametrenin değeri ufak taneli metal için iri taneli metale göre düşük olmalıdır. Bu durum deney sonuçları ile ispatlanmıştır [1,2]. Böylelikle formül (1) 'deki $(1-n)/2n$ üssü ufak taneli çelikler için iri taneli çeliklerinkine göre büyüktür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma [2]'de çatlak ucunda gerçekleşen plastik deformasyonun termoaktivasyon doğaya sahip olduğu göz önünde tutularak K_{Ic} için böyle bir bağımlılık elde edilmiştir:

$$K_{Ic} = K_{Ic}^0 \exp (\alpha m T), \quad (6)$$

Burada α ve m - akma gerilim ve kırılma tokluğunun sıcaklığa hassalığını göz önünde tutan parametreler.

Formül (1) ve (6) birlikte incelenmeye tabi tutulduğunda ve (4)'e göre düzlemsel şekil değişme şartı yerine getirilirse, çalışma [2]'de malzemenin temel mekanik özellikleri ile K_{ic} arasında şöyle bir bağımlılık elde edilmiştir:

$$\ln(K_{ic} / K_{ic}^0) = [T / T^* \chi^* \ln (A / \sigma_{ag}^*)], \quad (7)$$

burada $\chi^* = (1 - n^*) / 2n^*$, n^* - sağlamlaşma katsayısı n 'nin $T = T^*$ sıcaklıkta $\sigma_1 / \sigma = 2,5$ 'ye uygun olan değeri;

σ_{ag}^* - akma geriliminin $T = T^*$ sıcaklığına uygun olan değeri;

T^* - çatlaklı numunenin sünek-gevrek geçiş sıcaklık sınırı ($S_{kop} / \sigma_{ag} = f(T)$ grafiğinden elde edilir, burada S_{kop} - kopma mukavemet).

Önce yapılmış olan analize benzer olarak formül (7)' de parantez içerisini de K_{ic} 'in en büyük değerini elde etmek amacı göz önünde tutularak inceleyelim.

K_{ic}^0 değerine ait sonuçlar iki durumda da değişmezdir. İri taneli çelikler için χ^* değeri ufak taneli çeliklere göre düşük, T^* ve σ_c / σ_{ag}^* ise iri taneli çelikler için büyük olur.

(1) ve (7) formüllerden şöyle bir denklik elde edilir:

$$\chi \ln (A / \sigma_{ag}) = T / T^* (\chi^* \ln (A / \sigma_{ag}^*)) \quad (8)$$

Eğer χ ' in sıcaklığa göre sabitliği göz önünde tutulursa (söz konusu olan çelikler için pratik sıcaklıklar aralığında bu durum geçerlidir ve çeşitli iç yapıya sahip olan çelikler için çalışma [1]'de $\chi = 1,5$, yani $n = 0,25$ tavsiye edilmiştir), o halde $0 \leq T \leq 0,2T_{er}$, K sıcaklık aralığında H.M.K. kafesine sahip olan metal ve alaşımlar için, belirli tolerans üzerinde, formül (8) geçerlidir.

4. SONUÇLAR

Böylelikle, (1) ve (7) formüllerinin analizinden görülmektedir ki H.M.K. kafese sahip olan metal ve alaşımların kırılma tokluğu, temel olarak metalin tane çapına (karakteristlik mesafe ρ_c 'den), yani çatlak ucundan normal gerilimin en büyük değere eriştiği mesafeye bağımlıdır. Normal gerilimin etkisinden $\rho_c \approx d$ mesafesinde mikro çatlaklar meydana gelmektedir.

Metalin tane çapı ise (1) ve (7) formüllerinde yer alan tüm parametrelerin (σ_{ag} , $\sigma_{ag}(0)$, σ_o , n , T^*) değerlerini tayin etmektedir. Tane apı ise ısıl işlem rejimlerine bağımlıdır.

Yukarıda yapılmış olan genel analizler göstermektedir ki iri taneli metal ve alaşımların kırılma tokluğu ufak taneli metal ve alaşımların kırılma tokluğundan daha büyüktür. Bu sonuç bazı araştırıcıların fikrine uygundur [4], bazılarının ise uygundur [5].

Eğer tane sınır düzeni tane gövde düzeninden daha bozuk olduğu ve tane sınırından ana çatlak ucuna kadar mesafe (tane çapı) değeri göz önünde tutulursa iri taneli metalin kırılma tokluğu ufak taneli metalinkine göre büyük olması söz konusu olmaktadır.

Sonuçta şunu kayıt etmek mümkündür ki, metalin tane boyutunun kırılma tokluğuna etkisini sayısal olarak değerlendirmek için bu ve başka çalışmalar [6-8] kapsamında geniş bir alanda araştırmalar yapılmalıdır.

5. KAYNAKLAR

1. Krasovski A. Yan. (1980). Metallerin Düşük Sıcaklıklarda Gevrekliği. 340s. Kiev, Nauk. Dumka.
2. Saidov G.İ. (1992) Düşük ve Orta Mukavemetli eliklerin Kırılma Tokluğuna Ait Problemler. Mukavemet Problemleri, N2, s.60-64.
3. Kopelman L.A. (1978). Kaynak Kavşaklarının Gevrek Kırılmaya direnci. 232s. Moskova, Maşinostroenie.
4. Lahtin Yur. M. (1983), Metal Bilgisi ve Isıl İşlemler, Moskova, Metalürji, 360s.
5. Zolotorevski V.S. (1983), Metallerin Mekanik Özellikleri, Moskova, Metalürji, 352s.
6. Romaniv O.N. (1979), Kostrüksyon eliklerin Kırılma Tokluğu, Moskova, Metalürji, 176s.

7. Saidov G.I. (1997), A Termal Activation Aproach to the Crack Resistance of Steels. Fatigue Fracture Engng. Mater. Struct. Vol. 20. N1. P.41-47.
8. Saidov G.İ. (1992), Relation Between the Mikromechanical Destruction Factors of Low and Middle Strength Sreels. Doğa; Turkish J. of Physics. 16, p.269-279.