

ÇELİKLERDE AKMA SINIRI VE «AKMA SINIRI UZAMASI»

Dr. M. ÖZEL *)

Dr. E. Z. AKA **)

ÖZET :

Bu yazıda, metallerin ve alaşımların önemli mekanik özelliklerinden olan «akma sınırı» ile «akma sınırı uzaması» açıklanmış, ilgili tarifler verilmiş ve akma olayının dislokasyon teorisine izahı yapılmıştır. Özellikle, akma sınırı uzamasının literatürde farklı değerler gösterdiği belirtilerek, bu farklılığın izahına çalışılmıştır.

SYNOPSIS :

In this article the «yield point» and the «yield point elongation», which are two important mechanical properties of metals and alloys, are explained; some pertinent definitions are given, and the yield point phenomenon is explained by dislocation theory. It has been pointed out that the «yield point elongation» indicates different values in the literature and an attempt has been made to clear out the discrepancies.

GtBtŞ :

Teknik gelişmelerin çok hızlı olduğu bu sırada, yeni tesislerin kuruluşundan önce olduğu kadar, yerleşmiş imalat usullerinin kontrolü için de deneylere dayanılması gerektiği şüphe götürmeyen bir gerçek olarak kabul edilir.

Mühendisliğin hemen bütün dallarında, bilhassa yapı ve makine ile ilgili olanlarda, özellikleri önceden bulunmuş malzeme kullanılır. Başarılı «seri imalat» için, test ve kalite kontrolü şarttır. Mamullerin kabulü, elverişli standartların hazırlanması; deney ve kontrol sisteminin hakkıyla anlaşılması mümkündür. Bu gösterir ki, belli mekanik özelliğin «tarifi» ile ne demek istendiğinin açıkça anlaşılması gerekir, aksi halde deney neticelerinin yanlış «tefsir» leri fena sonuçlara yol açabilir.

Metal ve alaşımların önemli mekanik özelliklerinden ikisi «akma sınırı» ve «akma sınırı uzaması»dır. Farklı kitaplarda (Merriam, 1965, Davis - Troxell, 1941, Dieter, 1961) bu iki deyimle farklı değerler kastedildiği dikkati çekmiş bulunmaktadır. Bura-

da, bu farkları belirtip aradaki ayrılığın giderilmesine çalışılacaktır. Aynı zamanda konuyla ilgili diğer «tarif» ve «deyimler» le sünek ve gevrek kopma tarzları ve akma olayının dislokasyon teorisi ile izahı yapılacaktır.

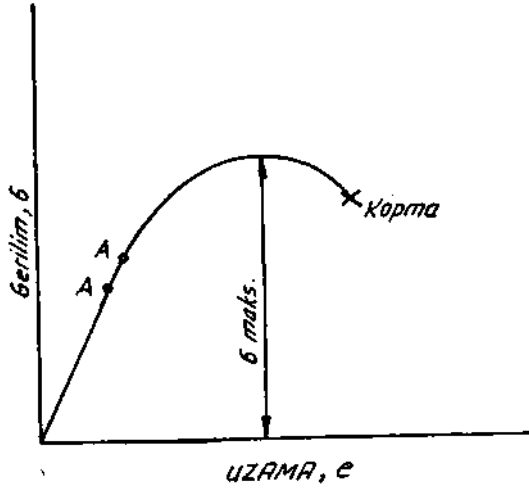
AKMA OLAYI :

«Akma sınırı» ve «Akma Sınırı uzaması» m açıklamadan önce, bazı malzemelerdeki elastik - plâstik şekil değiştirmeye ilgili genel tarifleri vermek faydalı olur.

Sünek bir metalin mekanik özellikleri çekme deneyleriyle elde edilir. Böyle bir deneyde; özel şekilli bir malzemeye, kopuncaya kadar gittikçe artan, eksensel bir yük etkendirilir. Neticeler, bir gerilim - uzama (stress-strain) diyagramı ile gösterilir. Şekil: 1'de Alüminyum veya Bakır gibi metaller için tipik bir gerilim - uzama eğrisi görülmektedir. Eğrinin, başlangıçtaki doğrusal kısmı, OA, elâstik bölgedir. Bu bölgede metal Hooke kanununa uyararak uzar. A noktasına «elâstik sınırı» adı verilir. Elâstiklik sınırı: metalin, yük kaldırdığı zaman, daimi bir deformasyon göstermeden dayanabileceği veya eski şeklini alabileceği maksimum gerilim olarak tarif edilir.

*) Dr. Metallürjl Yük. Müh. Etlbank - Ankara.

**) Dr. Metallürjl Yük. Müh. Etlbank - Ankara.



Şekil: 1. — Alüminyum veya Bakır gibi sünek metaller için tipik gerilim-uzama eğrisi.

Elâstiklik sınırının kesin olarak tayini çok güçtür ve uzama oranını ölçen âletin hassasiyetine bağlıdır. Bu nedenle, elâstiklik sınırı yerine genellikle «oranlılık sınırı (Proportionality Limit) kullanılır (A'noktası). «Oranlılık sınırı», gerilme - uzama eğrisinin doğrusallıktan ayrıldığı gerilim olarak tarif edilir. Grafiğin bu bölgedeki eğimi, «elâstiklik modülü» nü verir.

Orantılı sınırından sonra, deformasyon arttıkça, metal daha dayanıklılaşır ve uzama için daha fazla yük gerekir. Zamanla yük maksimum bir değere varır.

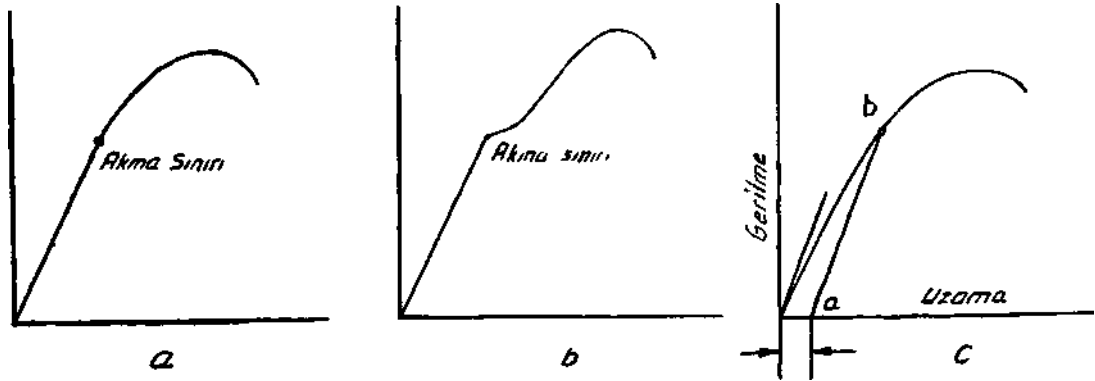
Maksimum gerilim = orjinal kesit oranı = «En yüksek çekme dayanımı»nı verir. (Ultimate tensile strength).

Bazı hallerde, elâstiklik sınırını hesaba almayıta, önceden kararlaştırılmış plâstik bir uzama oranı verecek gerilimi ölçmek daha pratiktir. Bunun için, kararlaştırılmış uzama oranı, gerilim - uzama diyagramında işaret edilir (Şekil 2c) ve «a» dan modül eğimine paralel ve eğriyi kesecek «b» noktasından bir çizgi çekilir. Seçilen uzama miktarına «pruf streyn» (proof strain) ve «b» hizasındaki gerilmeye de «pruf gerilim» (proof stress) adı verilir. (Offset Metodu).

Genellikle kullanılan, «pruf streyn» değerleri % 0,1, % 0,2 ve % 0,5 dir. Bu değerlerle çakışan gerilimler de % 0,1 lik pruf gerilim v.s. olarak tanınmalıdır. Yüksek gerilim uygulanan alanlarda, % 0,1 lik pruf gerilim ve normal bir çok mühendislik işlerinde de % 0,5'lik pruf gerilim esas değer olarak alınır.

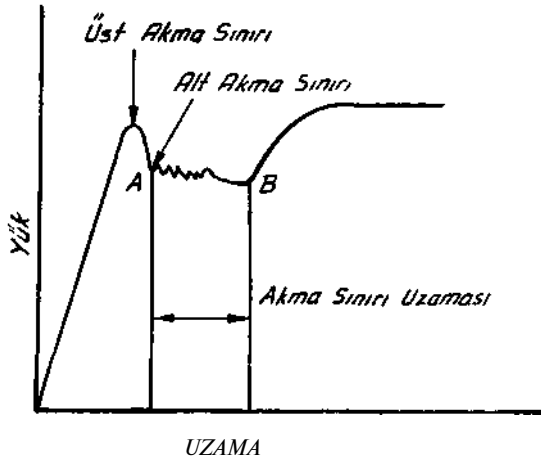
Plâstik tarzda şekil değiştiren bir çok malzemede, elâstikten plâstik safhaya yavaş yavaş bir geçiş görülür, Şekil: 1. Bunun için, elâstiklik sınırını kesinlikle bulmak çok zordur. Halbuki bir çok alaşımlarda, özellikle düşük karbonlu çeliklerde, âni ve bölgesel bir değişme gösteren ve toplu plâstik akmanın gerçekten başladığı bir nokta vardır, Şekil: 2a,b ve 3. Böyle bir nokta «akma sınırı» diye bilinir. Böylece, akma sınırını: İlâve yük olmadığı halde, uzamanın arttığı, en düşük gerilim olarak tarif edebiliriz. Diğer bir tarif tarzı da şudur: Malzemenin plâstik deformasyona uğramadan dayanabileceği en yüksek gerilime akma sınırı adı verilir.

«Akma sınırı» plâstik maddelerde görülen plâstik akmanın başladığı akma safhasıyla karıştırılmamalıdır. Bu tip akma safhasında akma sınırında görülen, gerilme - uzama eğrisindeki, ani değişme yoktur.



Şekil: 2. — Gerilim-uzama eğrilerinde akma ve yaklaşık elâstik sınırı, (a) Keskin Akma sınırı, (b) Basamaklı Akma sınırı, (c) Tipik bir gerilim - uzama eğrisinde, «prof-gerilim» in bulunuşu.

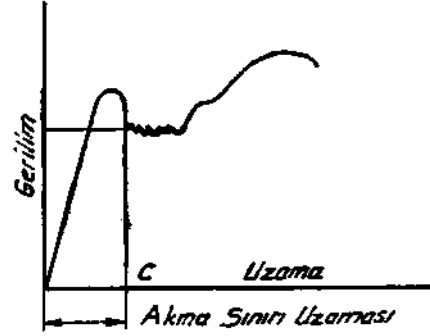
Bölgesel değişme gösteren malzemelerde, ani düşmenin olduğu yüke (veya gerilmeye) «üst akma sınırı» ve değişmeyen yük değerine de «alt akma sınırı» denir. Bazı kitaplarda özellikle Amerikan kitaplarında (Dieter, 1961) değişmeyen yük safhasında yer alan uzama ya «akma sınırı uzaması» adı verilir, Şekil 3. İngiliz kitaplarında (Merriman, 1965) ise «Akma sınırı uzaması», alt akma sınırına tekabül eden daimi uzama miktarı (c) olarak tarif edilir, Şekil: 4. Şekil: 3 deki «Akma sınırı uzaması» değişmeyen yük safhasında meydana gelen toplam deformasyona; Şekil 4 teki «akma sınırı uzaması» da alt akma sınırı



Şekil: 3. — Düşük karbonlu çeliklerde görülen tipik gerilim-uzama eğrisi. Akma-sınırı-uzaması'nın birinci tip izahı görülmektedir, (Dieter, 1961).

rına erişilinceye kadar yer alan toplam deformasyona tekabül etmektedir. Bu farkları grözönüne alarak, hangi fikrin kastedildiğine dikkat etmek lâzımdır, zira yukardaki açıklamaya göre, her iki halde «akma sınırı uzaması» deyiimiyle tamamen farklı özellikler (gerçekler) anlatıldığı aşikârdır. Mamafih, hangi esasa göre değerlendirme yapıldığı bilinirse, deney neticelerinden sonra tefsirler yapmamak için hiç bir sebep yoktur.

Şekil 3 de AB safhasında düzensiz bir deformasyon olmaktadır. "Üst akma sınırında, metalde, gözle de görülebilen deforme olmuş bir band oluşur. Bu band oluşuktan sonra da, yük aniden alt akma sınırına düşer. Daha sonra, deney malzemesinde büyük bir uzama meydana gelerek band malzemeyi boydan boyda kapsar. Normal hallerde, birkaç band aynı anda farklı yoğunlaşma noktalarında oluşur. Genellikle bu bantlar çekme eksenineyle 45° lik bir açı yaparlar. Bu bantlara «Lüder



Şekil: 4. — Akma-sınırı-uzaması'nın başka bir şekilde gösterilişi, (Merriman, 1965).

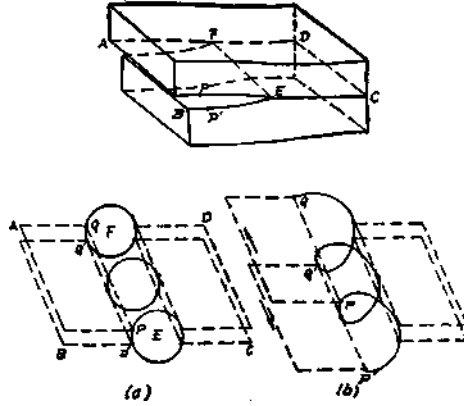
Band» lan veya «Hartmann Çizgileri» denir, ve bu tip şekil değiştirmeye de «Piobert Olayı» adı verilir. Eğri üzerindeki her zig-zag, meydana gelen yeni bir Lüder banda tekabül eder. Bantlar deney malzemesinin boyunu kapsadıktan sonra, plâstik akma, uzama ile normal tarzda artma gösterir.

Akma - sınırına, ilk olarak düşük - karbonlu çeliklerde rastlanmıştır. Son zamanlarda bir çok metal ve alaşımda da akma - sınırı bulunduğundan, bugün akma sınırı genel bir olay olarak kabul edilmektedir. Demir ve çeliğe ilâve olarak, nitrojeni! demir (Low, Schwartabart, 1949 ve Cottrell, Churchman, 1950) kadmiyum (Smith, 1947 ve Cottrell, Gibbons, 1948) çinko (Orowan, 1934 ve Cottrell, Warn, 1950) a ve fi - pirinç ve alüminyum yekpare kristalleriyle; molibden, titan ve alüminyum alaşımlarında da akma sınırları müşahade edilmiştir (Dieter, 1961).

TEORİ :

Genellikle, akma sınırı ile çok az miktardaki empürite maddeler arasında bir bağlantı vardır. Örneğin, Karbon ve Nitrojenin düşük - alaşımlı çeliklerden tamamen giderilmesi ile akma sınırının da giderildiği gösterilmiştir. Mamafih, bu iki elementten birinin sadece % 0,001 miktarı dahi akma sınırının tekrar müşahade edilmesini sağlamaktadır, (Low Gessamer, 1944).

Cottrell'in izahına göre (Cottrell, 1963), katı eriyik sertleşmesi, eriyen atomlar ile dislokasyonların bir nevi «atmosfer» halinde ilişkilerinden doğmaktadır. Pozitif bir kenar dislokasyonunun, üst kısımdaki atomları basık, kayma düzlemi altındaki atomları ise sünük bir halde olduklarından; bükülmenin streyn enerjisi, büyük atomların genişlemiş, küçük atomların da basık bölgelerde toplanmasıyla



Şekil: 5. — Gevrek metallere gerilim-uzama eğrileri (a) tamamen gevrek, (b) kısmen gevrek.

azaltılabilmektedir. Empürite atomları, pozitif bir kenar dislokasyonun kayma düzleminin alt kısmındaki genişlemiş bölgede toplanmaktadır. Bu dislokasyon eriyen - atom atmosferiyle çevrili olduğu zaman bölgesel enerji daha düşük olacağından, böyle bir dislokasyonu hareket ettirmek için daha yüksek gerileme ihtiyacı vardır. Gerilim yeter derecede yükseldiği takdirde dislokasyonda atmosferden uzaklaşarak daha küçük bir gerilimle harekete geçebilmektedir.

Daha önce belirtildiği gibi, bir dislokasyonun eriyen atom atmosferiyle ilişkisinin en iyi örneği, demir ve diğer metallere üst ve alt akma sınırlarının oluşudur. Üst akma sınırının, empürite atomlarının atmosferden uzaklaşmasına tekabül etmektedir. Dislokasyonlar, eriyen atomların kendilerine doğru, difüze olmaları ile tesbit edilmekte, böylece kristalin streyn enerjisi azalmış olmaktadır. Orjinal teoride (Cottrell, 1963) eriyen atomların yalnız kenar - dislokasyonlarına dağılacığı kabul edilmişti. Daha sonraları, teori vida - dislokasyonlarıyla empürite atomları arasında çok kuvvetli bağıntılar olduğunu gösterecek şekilde düzeltilmiştir. Bu, eriyen atomlar, kristali simetrik olmayacak şekilde değiştirmeleri sonunda bir de, vida - dislokasyonunun çekme - kısmı teşekkül ettiği için mümkündür, (Cocharde, vd 1955).

Dislokasyon yakınında eriyen atomların, bölgesel yoğunluğu (C) ile, ortalama yoğunluk (C₀) arasında şöyle bir bağıntı vardır :

$$C = C_0 \cdot e^{-U/kt}$$

U = ilişki (interaction) enerjisi. Demir içindeki karbon ve nitrojen atomları için iliş-

ki enerjisi 0.5 -1.0 ev. arasında bir değer taşımaktadır, (Dieter, 1961).

Sıcaklık azaldıkça, eriyen atom atmosferi yoğunlaşmakta ve kritik bir sıcaklığın altında, bu atmosfer eriyen atomlardan ibaret bir hat haline gelmektedir. Bu atomlar pozitif kenar - dislokasyonun tam merkezinde altında ve dislokasyonun boyuna paralel olarak maksimum ilişki enerjisi olan pozisyonlar almaktadırlar.

Dislokasyonu atmosferinden sökecek gerilim ile mesafe arasında bir grafik çizildiğinde gerilimin bir maksimum değerden geçtiği görülür. Bu sebeple, kısa mesafeler için dislokasyonun atmosferine dönmeye temayül ettiği görülmekte, fakat belli bir gerilimden sonra ve atmosferden uzaklaştıkça, dislokasyonun hareketi kolaylaşmaktadır. Dislokasyonların atmosferlerinden sökülmeleri diğer bir kısım dislokasyonların da serbest bırakılmasına müncer olmaktadır. Böylece sökülen bu dislokasyonlar, tane sınırlarında (grain boundaries) yığılırlar. Yığın gerilim yoğunlaşması, tatbik olunan gerilimle birleşip komşu tanedeki dislokasyonların da sökülmesine ve böylece, Lüder - bandların yayılmasına sebep olmaktadır.

Keskin akma sınırının teorisini özetlemek için şunlar söylenebilir: Eriyik - atom atmosferleri sabittirler ve böylece dislokasyonlar kristalle sabit pozisyonlarda çivilenmişlerdir. Böyle hallerde plâstik akma temini için, dislokasyonların atmosferlerinden uzaklaştırılması ve bunun için de, uygulanan gerilimin dislokasyonu çivileyen gerilimden yüksek olması gerekir. Bir dislokasyonla atmosferi arasındaki kuvvetli bağlardan dolayı, uygulanan bu gerilim normal olarak serbest dislokasyonları hareket ettirmek için gerekli gerilimden daha yüksektir. Böyle olunca, malzeme şu iki halden biri durumunda olacaktır : Birincisi «akmamış» haldir ki, dislokasyonlar çivilenmiş haldedirler ve deformasyonda sadece elâstikidir. İkinci hal ise «fazla akıcı» haldir ve dislokasyonlar uygulanan gerilim altında hareket etmekte serbesttirler ve böylece plâstik deformasyona sebep olurlar. Birinci halden ikinciye geçiş, plâstik deformasyon başlangıcına tekabül eder. Dislokasyonlar atmosferlerinden kurtuldukları zaman, daha düşük kuvvetler altında hareket edebildikleri için malzemede aniden yumuşar. Bu iki hal bazı metal ve alaşımlarda empürite atomlar dolayısı ile meydana gelmektedir. Meselâ, çelikte bu tesirin görülmesi için karbon miktarının maksimum % 0.001 ilâ 0.1 değerleri arasında

olması gerekir. Şayet çelikte, daha fazla karbon veya başka alaşım elementleri mevcutsa, keskin akma - sınırı daha belirsiz olmaktadır.

İRDELEME :

Metallerin seçiminde akma mukavemetinin ve elâstik - plâstik dönüşmenin önemi büyüktür. Yapı malzemeleri ve makine elemanları fonksiyonlarını çeşitli sebeplerden dolayı yapamıyabilirler. (Dayanısızlık : failure).

- 1) Aşırı elâstik deformasyon,
- 2) Aşırı plâstik deformasyon veya akma,
- 3) Kopma veya kırılma.

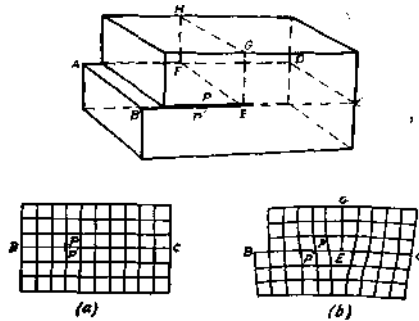
İyi bir malzeme seçimi için, dayanısızlık tiplerinin anlaşılması önemlidir. Çünkü malzemenin yük taşıma kapasitesini sınırlayacak ve yükü boyut arasında bağıntı kuracak bir parametre bulmak gerekmektedir. Farklı tipteki dayanısızlıklar için farklı parametreler kullanılır.

tki çeşit aşırı elâstik deformasyon mümkündür :

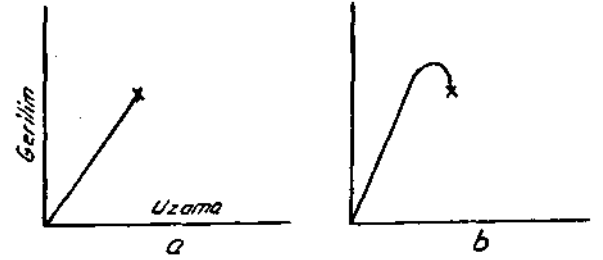
i) Dengeli şartlar altında aşırı eğilme. Gittikçe artan yükler altında bir kirişin eğilmesi gibi.

ii) Ani burkulma. Dengesiz şartlar altında bir kolonun burkulması gibi .

Bir makina parçasının aşırı elâstik deformasyonu, sanki parça tamamen kırılmış gibi, makineyi aksatabilir. Meselâ, çok esnek bir shaft, yatağın hızla aşınmasına sebep olabilir. Ani burkulma şeklindeki aksaklık ince bir sütun üzerine dışardan etkilendirilen basınç kritik bir değeri geçince yer alabilir.



Şekil: 6. — ABCD kayma düzleminde EF kenar - dislokasyonunun görünüşü (üstte) ve bir kenar - dislokasyonunun streyn modeli : (altta); (a) Deformasyondan önce, (b) Deformasyondan sonra, (Cottrell, 1963).



Şekil: 7. — ABCD kayma düzleminde EF vida-dislokasyonunun görünüşü (üstte) ve bir vida-dislokasyonunun streyn modeli (altta) : (a) Deformasyondan önce, (b) Deformasyondan sonra, (Cottrell, 1963).

Aşırı elâstik deformasyon dayanısızlığı malzemenin mukavemeti ile değil, elâstik modülüyle ilgilidir.

Genellikle, elâstik modülü üzerinde metalürjik kontrol gücüdür. Bu sebeple, bir parçanın katılığını (stiffness) arttırmak için en etkili metod, şekli değiştirmek ve kesit alanını büyültmektir.

Akma veya aşırı plâstik deformasyon, metalin elâstik sınırı aşıldığı zaman başlar. Akma ile meydana gelen şekil değişmesi parçanın görevini yapmasına mani olabilir. Normal sıcaklıklarda statik olarak yüklenen sünek bir malzeme deforme olduğu zaman «deformasyon sertleşmesi» ne uğrar. Bundan dolayı deformasyonu arttırmak için gerilimi de arttırmak gerekecektir. Eksensel ve kompleks yükleme şartlarında aşırı plâstik deformasyonla kırılma olayı meta'in akma mukavemeti ile kontrol edilebilmektedir.

Metallerin yük altında davranışları, genellikle sünek veya gevrek olarak sınıflandırılabilir. Bu ayrılım materyalin plâstik deformasyona uğrayıp uğramamasına bağlıdır. Şekil: 1'de çekme halinde, sünek bir metalin gerilim - streyn eğrisi görülmektedir. Tamamen gevrek bir materyal elâstik sınırdan kopar (Şekil: 5a), halbuki, normal şartlarda gevrek olan bir metal, meselâ font, kırılmadan önce bir miktar plâstiklik gösterir. (Şekil: 5b).

Bölgesel gerilimleri yeniden dağıttığı için, elverişli süneklilik önemli bir mühendislik problemidir. Mamafih, gerilim yoğunlaşması olmasa bile, gevrek bir materyalde kırılma gene ani olacaktır. Çünkü akma gerilimi ile çekme mukavemeti hemen hemen aynıdır.

îzah edilen bu hususla, metallerde akma mukavemetinin ve çeliklerde «akma sınırı»nın önemini ortaya koymaktadır. Bu sebeple, çelik kullanılan yerlerde, bu tip neticelerin nasıl meydana geldiğini anlamak gerekir.

«Akma - sınırın Uzaması», Şekil: 3'e göre, deneyin sabit yük safhasında meydana gelen toplam deformasyonu göstermektedir ki, bu literatürde rastlanan diğer şekle nazaran daha mantıklı bir anlam taşımaktadır.

BİBLİYOGRAFİK TANITIM

- [1] Merriman, A.D. : A Concise Encyclopaedia of Metallurgy, Macdonald ve Evans Ltd., Londra, 1965, S. 1161.
- [2] Davis, H.E., Troxell, G.E. : Testing and Inspection Of Engineering Materials, Mc. Graw - Hill Book Company, New York, 1941.
- [3] Dieter, G.L. Jr. : Mechanical Metallurgy, Mc. Graw-Hill Book Company, New York, 1961, S. 132-134.
- [4] Schwartzbart, H., Low, J.R. : Metals, 1. 1949, S. 637.
- [5] Churchman, A.Z., Cottrell, A.H. : Nature, 167, 1950, S. 943.
- [6] Smith, C.L. : Nature, 160, 1947, S. 466.
- [7] Cottrell, A.H., Gibbons, D.F. : Nature, 162, 1948, S. 488.
- [8] Orowan, E. : Zelt, Phys, 89, 1934, S. 634.
- [9] Wain, HJL., Cottrell, A.H. : Proc. Phys. Soc, B, 63, 1950, S. 339.
- [10] Low, JR., Gessamer, M. : Trans. AIME, 158, 1944, S. 207.
- [11] Cottrell, A.H. : Dislocations And Plastic Flow In Crystals, Oxford At The Clarendon Press, 1963.
- [12] Cottrell, A.H., Bilby, B.A. : Proc. Phys. Soe. (Londra), 624, S. 49.
- [13] Cocharadt, A.W., Schoek, G., Wiedersich, H. : Acta Met., 3 1955, S. 533.