7. DENİZLİ MALZEME SEMPOZYUMU - 2 - 3 - 4 NİSAN 1997
7. DENIZLI WERKSTOFF -TAGUNG - 2. - 3. - 4. APRIL 1997
PAÜ - MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ - ÇAMLIK 20017 DENİZLİ - Tel: 0258. 266 20 06 - Fax: 0258.266 20 12

ELASTİK-PLASTİK YÜKLEMEYE MARUZ BİR KİRİŞTE ARTIK GERİLMELERİN TEORİK ANALİZİ

A. Osman KURBAN, Durmuş ODABAŞ
Erciyes Üniversitesi, Müh. Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kayseri

ÖZET

Hooke Kanununa uymayan malzemelerde yapılan deneylerde, eğilme esnasında liflerin uzayıp kısalması, bunların tarafsız yüzeyden olan uzaklıklarıyla orantılıdır. Daimi şekil değişikliğine uğrayan çelik kirişlerdeki lifler yükün kaldırılmasından sonra başlangıçtaki uzunluklarını almamaktadır.Böylece artık gerilmeler oluşmaktadır.Bunlar, plastik gerilme dolaysıyla deformasyon sonucu meydana gelir.Artık gerilmeler ; par- çaların üretiminde, mekanik veya ısıl etkiler sonucu oluşan ve bazı önemli seviyelere ulaşabilen iç gerilmelerdir.Plastik deformasyon, yumuşak çelik, bakır ve aluminyum gibi sünek malzemelerin daha zor bir şekil almasına neden olmaktadır. Sünek malzemelerde; uzamanın etkisiyle olan plastik deformasyonun neden olduğu sertleşme başlangıçtaki akma noktasının yükselmesi şeklinde izah edilebilir. Artık gerilmelerden oluşan deformasyon işi ve bunun büyüklüğü önemli olduğundan, bu çalışmada bu değerlerin analitik hesaplama metotları araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Plastik Deformasyon, Elasto-plastik Yükleme, Artık Gerilme

THEORETICAL ANALYSIS OF RESIDUAL STRESSES IN THE EFFECTS OF ELASTO-PLASTIC LOADING FOR MATERIALS

ABSTRACT

In the experimentals about materials that do not obey Hooke's Law, during bending, lengthening and shortening of lifs is related to the distance of them from unbiaed surface.Lifts in the steel frame which are subjected to continuous deformation do not recover their initial shape after the removal of load.Because of this reason, residual stresses occur. These are the result of plastic stresses and therefore of deformations. Residual stresses occur after the effects of mechanic and heating of produced pieces and sometimes, they are very important levels in inside stresses.Plastic deformations make it more diffucult for ductile materials such as soft steel, Aluminum and copper to take their shape.In ductile materials stiffness caused by plastic deformation under effect of lengthening can be expressed as the increase of initial flowing point.Deformation work and its extensions due to residual stresses is important and the analytic methods of those are investigated.

Key Words : Plastic Deformation, Elasto-Plastic Loading , Residual Stress

1.GİRİŞ

Hooke Kanununa uymayan malzemelerdeki kirişlerde yapılan deneylerde, eğilme esnasında liflerin uzayıp kısalması, bunların tarafsız yüzeyden olan uzaklıklarıyla orantılı olarak değişmektedir. Makina mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan çelik malzemelerdeki lifler; yükün kaldırılmasında sonra başlangıçtaki uzunlukları almamaktadır. Böylece

artık gerilmeler oluşmaktadır. Bu gerilmeler plastik gerilme dolaysıyle deformasyon sonucu oluşurlar. Artık gerilmeler parçaların üretimi esnasında, mekanik veya ısıl etkiler sonucu oluşan ve bazen önemli seviyelere ulaşabilen iç gerilmelerdir. Artık gerilmelerin oluştuğu bir kısım makina parçaları dişli çarklar, demir yolu, tekerlekler ve hadde gövdeleridir [İmmak, Fetvacı,1993].Artık gerilmelerle oluşan, çoğu kez istenilmeyen deformasyon işi ve bunun büyüklüğü hesaplanabilmektedir. Malzemelerin elasto-plastik durumu, elastik bölge aşılarak belirli bir gerilme değerine ulaşıldıktan sonra, malzemenin gösterdiği davranışlar olarak incelenebilir.Plastik deformasyonlar yükleme işlemi sona erdikten sonra geri dönmemektedir.Plas- tik deformasyonun başlangıcı bir akma kriteri yardımı ile belirlenmekte olup, akma sonrası deformasyon, malzeme direncinin büyük ölçüde düşüşü sonucu ortaya çıkmaktadır [İnan,1967]. Plastik deformasyon dikkate alınarak, artık geril- meye neden olan modül, moment ve sehim diyağ- ramları elde etmek mümkündür.

Makina elemanlarının yorulma dayanımlarını artırmak için artık gerilmelerin oluşturulması konusunda birçok farklı metot uygulanmaktadır.Bu metodların başlıcaları şunlardır:

(a) Elementlerin yüzey tabakasına diffüzyonu (Sementasyon, nitrürasyon vs. gibi kimyasal işlemler)

(b)Mikroyapının değiştirilmesi :Parçaların değişik bölgelerindeki sıcaklık farklılığı ve hacmindeki artış durumu.

(c) Mekanik yolla elde edilmesi : Haddeleme, bilya püskürtme ve plastik deformasyon metotlarıdır.

Elasto-plastik araştırmanın yapılabilmesi için üç önemli faktörün dikkate alınması gerekir :

(1) Elastik şartlarda malzeme davranışını tanımlamak için gerilme ve şekil değiştirmeler arasında lineer bir ilişki olmalıdır.

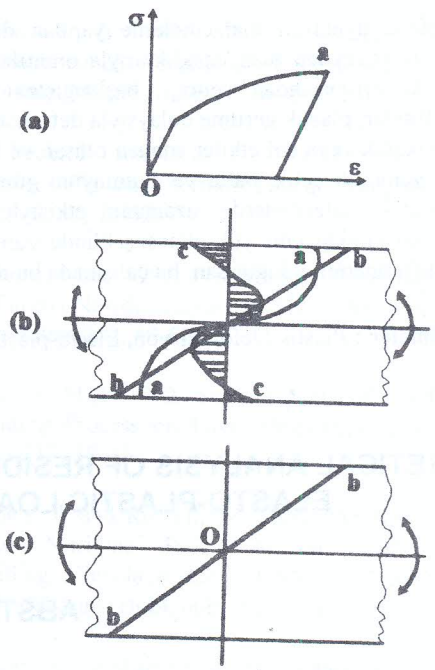
(2) Akmanın oluştuğu noktada bir akma kriterinin dikkate alınması gerekir.

(3) Akma başladıktan sonra gerilme ve şekil değiştirmeler için bir formulasyona ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada son maddede belirtilen faktör üzerinde durulmuştur.

2. PLASTİK DEFORMASYON SONUCU OLUŞAN ARTIK GERİLMELER

Elastik sınır içinde kalmak şartı ile izotrop bir çubuğa bir eğilme momenti uygulanır ve yükleme sona erdirilirse, çubuk ilk şeklini alır.Uygulanan moment artırıldığında çubuğun herhangi bir yerinde, elastik sınır üzerinde gerilmeler oluşursa, o noktada akma meydana gelir.Eğmeye çalışan kuvvet ve moment kaldırıldığında, akma görülen kısımların dışındaki bölgeler ilk durumuna gel- meye çalışır.Çubuğun her noktasında gerilmelerin sıfır olması gerekirken, plastik deformasyona uğ- rayan bölgelerde gerilme olduğu görülmektedir. Bunlar geriye kalan artık gerilmelerdir [Şekil 1].



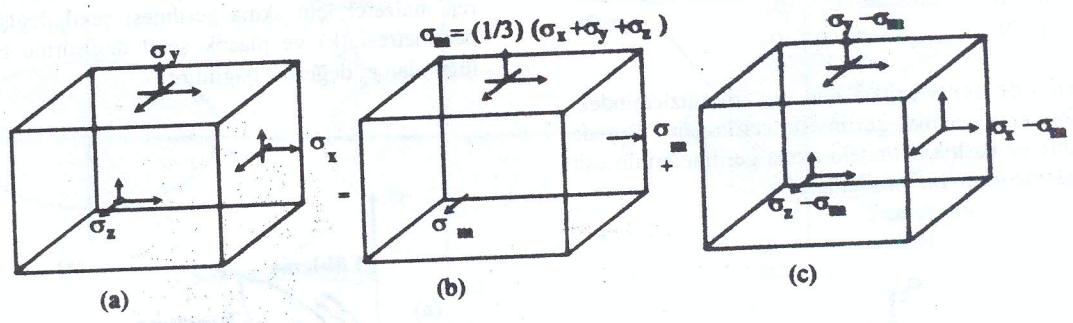
Şekil 1: Eğilme etkisinde kalan bir çubukta oluşan artık gerilmeler.

Artık gerilmelerin hesabı; tam elastik olarak hesaplanmış gerilmelerden, elastik olmayan gerilmeler çıkarılarak veya toplanarak yapılmaktadır [Zienkiewcz, 1982].Ayrıca kaynak işlemi sonucunda oluşan artık gerilmeler, pratikte ölçme yöntemi ile tespit edilebilmektedir.Bu ölçümlerde optik-mekanik mikroskop kullanılmaktadır.

Enine ve boyuna doğrultuda artık gerilmeler ile asal gerilmelerin yönleri ve büyüklükleri elastik kabullerden gidilerek MİG, Tozaltı ve elektrik ark kaynağı yöntemleri için bulunmuştur [Salman ve arkadaşları,1995].

2.1. Şekil Değiştirme Enerjisi Bileşenleri

Şekil-2'de verilen gerilmeler süperpozisyon ilke- sine göre kısımlara ayrılmıştır. Şekil-2b'deki gerilme durumu çarpılma (distorsiyon) olmadan hacim- de bir değişiklik meydana getirmektedir [Timoshonko, 1965].



Şekil-2:Genel halde verilen gerilmelerin kısımlara ayrılması.

Bu durum

$$P_{ij} = \begin{vmatrix} \sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_m \end{vmatrix} \qquad (1)$$

bağıntısı ile verilmektedir.Genleşme gerilme ten- sörü veya küresel gerilme tansörü olup, $P_{ij} = \sigma_m \delta_{ij}$ şeklinde yazılabilir ve δ_{ij} simetrik tansör veya Kronecker delta olarak bilinir. Yani

$$\delta_{ij} \begin{cases} 1 & i = 0 \\ 0 & i = j \end{cases} \qquad (2)$$

olarak yazılır. (σ_m) gerilmesi

$$\sigma_m = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) / 3$$
$$\sigma_m = (\sigma_{1+} \sigma_{2+} \sigma_3) / 3 \qquad (3)$$

şeklinde hesaplanan ortalama gerilmedir. Benzer şekilde ε_m ortalama şekil değiştirme ise $\varepsilon_m = (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) /3$ olarak verilebilir. Küresel gerilme tensörünün uygulanmasına ilave edilen normal şekil değiştirmenin toplamı $\varepsilon_t = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$ dir.Bu ise sadece hacimdeki değişikliği gösterir.Böylece birim hacim başına absorbe edilen genleşme şekil değiştirme enerjisi

$$U = (3/2)\, \sigma_m \varepsilon_m = \sigma_m^2 / 2K_T$$
$$U = (1/18K_T)\, (\sigma_{x+} \sigma_{y+} \sigma_z)^2 \qquad (4)$$

olarak ifade edilir.Şekil değiştirme sertleşme parametresi K_T ise

$$K_T = (1/3)E / (1-3\nu) = - P/ R \qquad (5)$$

şeklinde bir eşitlik ile tanımlanır.Burada P hidro- statik basınç olup, $-P = \sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$ 'dir. Diğer yan- dan $\tau_{xy} = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$ olarak birbirine eşittir.Şekil-2c'de görülen gerilme durumu ise $S_{ij} = \sigma_{ij} - P_{ij} = \sigma_{ij} - \sigma_m \delta_{ij}$ ifadesi ile verilmiştir.

2.2. Akma Kriterleri

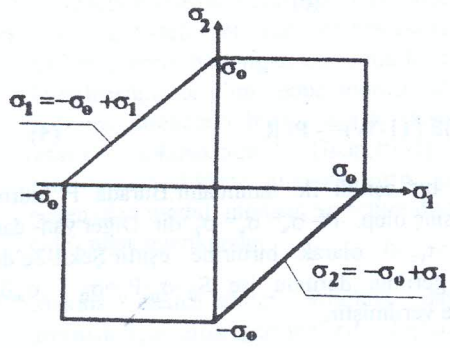
Plastik deformasyonun başlangıcı akma kriterine göre belirlenir.Bu nedenle, malzemede oluşacak gerilmeler, akma kriterleri ile değerlendirilmek- tedir [İnan,1967]. Malzemenin akma gerilmesi ile ilgili birçok kriter olup, metaller için en çok kullanılanları Tresca ve Von Mises teorileridir. Bunlardan en çok kulanılan kriter Tresca Krite- ridir. Coulomb teorisi olarak da bilinen bu kriter kayma gerilmesinin normal kayma halinde ortaya çıkan maksimum kayma gerilmesinin değerine ulaştığında, akmanın meydana geleceğini kabul etmektedir [Mendelson,1968].Maksimum kayma gerilmeleri

$$\tau_1 = - 1/2(\sigma_2 - \sigma_3) \Rightarrow (\sigma_2 - \sigma_3) = -\sigma_o$$
$$\tau_2 = - 1/2(\sigma_1 - \sigma_3) \Rightarrow (\sigma_1 - \sigma_3) = -\sigma_o \qquad (6)$$
$$\tau_3 = - 1/2(\sigma_1 - \sigma_2) \Rightarrow (\sigma_1 - \sigma_2) = -\sigma_o$$

eşitlikleri ile verilmektedir.Maksimum kayma ge- rilmeleri maksimum ve minimum asal gerilmeler arasındaki farkın yarısına eşittir. Normal çekme halinde $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ olduğundan, akma durumundaki maksimum kayma gerilmeleri 0.5 σ_0 değerine eşit olur.Tresca kriterine göre (6) denklemlerinde verilen altı şarttan herhangi biri yeterli değere ulaştığında, akmanın meydana geleceği kabul edilir.$\sigma_3 = 0$ olduğu iki eksenli durum için aşağıda verilen ifadeler tanımlanmıştır:

$$
\begin{aligned}
&\sigma_1 > 0, \quad \sigma_2 < 0 \Rightarrow \sigma_1 - \sigma_2 = \sigma_o \\
&\sigma_2 < 0, \quad \sigma_2 > 0, \Rightarrow \sigma_1 - \sigma_2 = -\sigma_0 \\
&\sigma_2 > \sigma_1 > 0 \Rightarrow \sigma_2 = \sigma_o \\
&\sigma_1 > \sigma_2 > 0 \Rightarrow \sigma_1 = \sigma_o \\
&\sigma_1 < \sigma_2 < 0 \Rightarrow \sigma_1 = -\sigma_o \\
&\sigma_2 < \sigma_1 < 0 \Rightarrow \sigma_2 = -\sigma_o
\end{aligned} \qquad (7)
$$

Şekil-3'de akma kriteri için σ_1, σ_2 düzlemindeki maksimum kayma gerilmesi verilmiştir. Burada çekme ve basma halindeki akma gerilmelerinin eşit olması teorinin bir sınırlamasıdır.



Şekil-3:Maksimum kayma gerilmesi teorisi.

Tresca kriteri (maksimum kayma gerilmesi kriteri) deneysel değerlere daha fazla uyum sağlamakta olup, dizaynçılar tarafından kullanılmaktadır [Dowling, 1993].Bu kriterde maksimum ve minimum gerilmeler bilinmelidir.Tam kayma halinde $\sigma_1 = -\sigma_2 = k$ ve $\sigma_3 = 0$ olup, Tresca kriteri bu şartlara uygulanırsa $\sigma_2 - \sigma_2 = 2k = \sigma_a$ ve $k = (1/2)\,\sigma_a$ ifadesiyle, tam kayma halindeki akma gerilmesinin yarısına eşit olduğu görülmektedir.

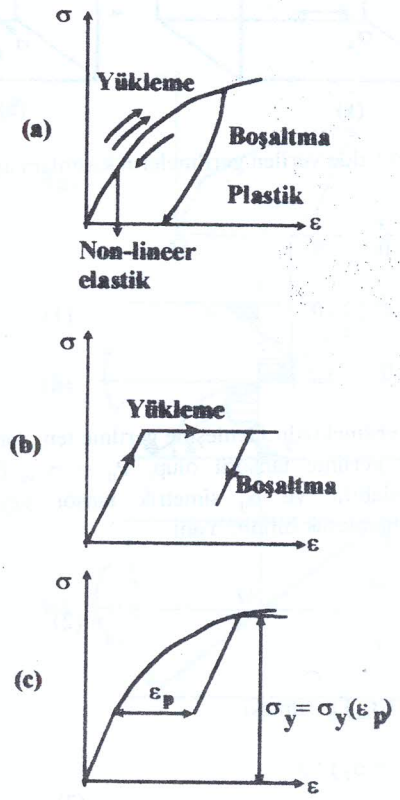
Çarpılma (distorsiyon) Enerjsi Teorisi (Von Mises) akma kriteri ise distorsiyon enerjisinin normal çekme halinde, akma konumundaki distorsiyon enerjisine eşit olduğunda akmanın başladığı kabul edilir.

3. PLASTİSİTENİN ESASLARI

3.1. Genel Teori

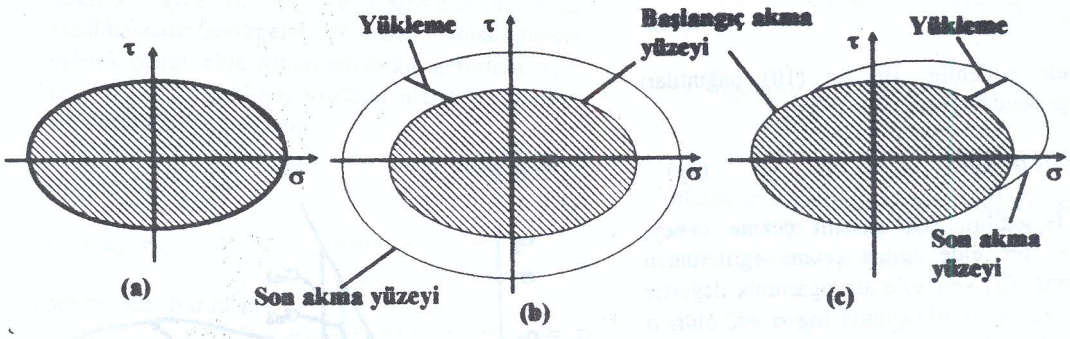
Katıların plastik davranışı tek eksenli olmayan gerilme-şekil değiştirme bağıntıları yardımıyla karakterize edilir. Gerçekte plastisite, yük kalktığı zaman kalıcı şekil değişimlerinin bulunmasıdır (Şekil-4).

Burada akma gerilmelerinin bir sınırı olup, bu sınırın üzerindeki bütün gerilmeler için lineer veya nonlineer bir elastisite bağıntısı kullanılır.Ayrıca şekil değiştirme sertleşmeli plastik davranış gösteren malzeler için akma gerilmesi şekil değiştirme parametresi (k) ve plastik şekil değiştirme büyük lüğü olan ε_p değerine bağlıdır.



Şekil-4: Tek eksenli davranış
(a) Nonlineer elastik ve plastik davranış.
(b) İdeal plastik davranış.
(c)Şekil değiştirme sertleşmeli plastik davranış.

Plastisitede kullanılan bir kısım krıter ve bağıntıların isimleri şunlardır : (1) Akma yüzeyi (Haigh-Wertergaard gerilme uzayı), (b) Normalite kriteri; (c) Şekil değiştirme sertleşmesi; (d)Toplam gerilme-şekil değiştirme bağıntıları; (e) Prandtl-Reuss ve Ramber-Osgood bağıntısı ile iki boyutlu elasto-plastik probleme sayısal yaklaşımdır. Yukardaki kriterlerden en yaygın kullanılanları şekil değiştirme sertleşmesi ve Ramber-Osgood bağıntılarıdır.



Şekil-5: Akma yüzeyinin plastik deformasyonla değişimi

3.2. Şekil Değiştirme Sertleşmesi

Akmanın başlamasından sonra plastik şekil değiştirmenin derecesi plastik deformasyonu oluşturan gerilmelerin şiddetine bağlıdır.Plastik deformasyonun her derecesinde akma yüzeyleri, plastik şekil değiştirmeye bağlı olarak değişir (Şekil-5).Şekil-5a'da tam plastik davranış görülmektedir. Şekil-5b'de görülen izotropik şekil değiştirme sert- leşmesinde bir sonraki akma yüzeyi önceki akma eğrisine göre üniform bir artış göstermektedir. Buna karşılık bir sonraki akma yüzeyleri formu korunmakta olup, gerilme sertleşmesi yer değişik- liği ise kinematik sertleşme oluşturmaktadır (Şekil-5c). Şekil değiştirme sertleşmesinin toplam plastik işi (Wp)'nin bir fonksiyonu olduğu varsayılırsa, $W_p = \int \sigma_{ij}(d\varepsilon)_p$ olarak ifade edilebilir. Burada $(d\varepsilon)_p$ plastik şekil değişim miktarı olup,

$$(d\varepsilon)_p = \sqrt{(2/3)\,[(d\varepsilon_{ij})_p\,(d\varepsilon_y)]}^{1/2} \qquad (8)$$

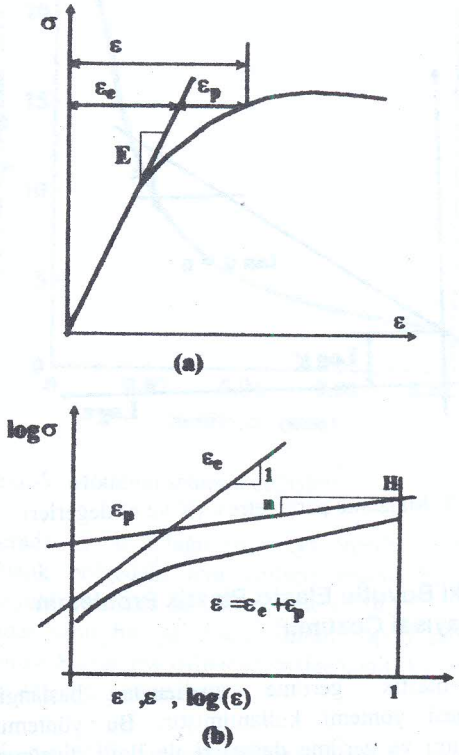
olarak ifade edilmektedir.

3.3. Ramber-Osgood Bağıntısı

Bu bağıntı birçok malzemenin gerilme-şekil değiştirme eğrilerini hassas bir şekilde vererek yaygın kullanım alanı bulmuştur. Elastik ve plastik şekil değişmeler (ε_e , ε_p) Şekil-6'da verilmiştir. Şekildende görüldüğü gibi plastik şekil değiştirme esasta elastik eğimden sapmadır. Gerilme ve birim şekil değiştirme büyüklükleri için diyagramdan yararlanılmakta olup, toplam plastik şekil değiştirme ifadesi

$$\sigma = K\,\varepsilon_p^{\,n} \qquad (9)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.Burada (n) şekil değiştirme sertleşmesi üssü, (K) ise şekil değiştirme sertleşmesi parametresidir.Elastik şekil değiştirmeyi gerilme türünden ifade etmek için malzemenin elastiklik modülü (E)'den faydalanılır.



Şekil-6: Ramber-Osgood gerilme-şekil değiştirme diyağramı

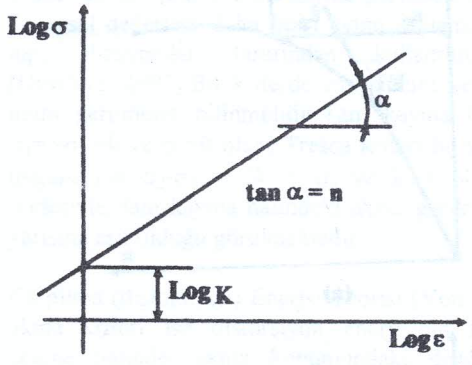
Buna göre toplam şekil değiştirme

$$\varepsilon_T = \varepsilon_e + \varepsilon_p = (\sigma/E) + \varepsilon_p \qquad (10)$$

olarak ifade edilebilir. (9) ve (10) bağıntıları birlikte değerlendirilirse,

$$\varepsilon = (\sigma/E) + (\sigma/K)^{1/n} \qquad (11)$$

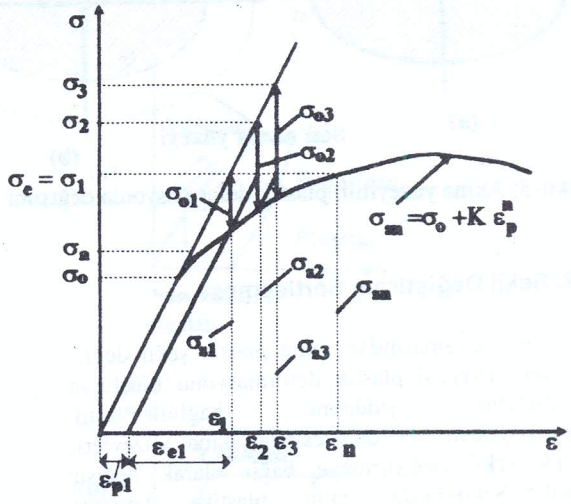
ifadesi elde edilir. Tek eksenli çekme deneyi sonuçlarına göre elde edilen çekme eğrilerinden faydalanılarak, (σ) ve (ε)'a ait logaritmik değerler hesaplanabilir. ε_p=1 olduğunda log σ =K olur. σ gerilmesi ile buna karşılık gelen toplam ε_T değişimi arasında çizilen grafik logaritmik bir eğridir. Küçük şekil değiştirmelerde bu eğri elastik
şekil değiştirmelere karşılık gelen eğrinin 1 olduğu doğruya yaklaşır. Buna karşılık büyük şekil değiştirmelerde n plastik şekil değiştirme doğrusuna yaklaşır.(K) ve (n) değerlerinin elde edilmesinde Şekil-7'den yararlanılabilir.(8) denkleminin logaritması alınırsa log σ = LogK + nLog ε_p ifadesinden K ve n değerleri hesaplanabilir.



Şekil-7: Malzeme parametresi (K ve n) değerleri

3.4. İki Boyutlu Elasto-Plastik Problemin Sayısal Çözümü

Elasto-plastik gerilme analizinde başlangıç gerilmesi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanımı ve gerilme değerleri ile ilgili diyağram Şekil-8'de verilmiştir.Bu yöntemde lineer elastik olarak hesaplanmış olan σ_1 gerilmesinin toplam şekil değiştirmesi (deformasyonu) ε_1'dır.



Şekil-8: Başlangıç gerilmesi metodu.

Burada σ_1 gerilmesine karşılık gelen gerilme farkı olan σ_{o1} değerini belirlemek için σ_{s1}'in bilinmesi gerekir.K ve n değerleri elde edildikten sonra $\sigma_{s1}=\sigma_o+K\varepsilon_p^n$ ifadesinden

$$\sigma_{s1}=\sigma_o+K(\varepsilon-\varepsilon_e)^n \qquad (12)$$

$$\sigma_{s1}=\sigma_o+K[(\sigma_1/E)-(\sigma_{s1}/E)^n$$

yazılabilir.Bu son eşitlikteki σ_{s1} değeri Newton-Raphson yöntemi kullanılarak hesaplanır. σ_{o1} gerilme farkı, $\sigma_{o1}=\sigma_1-\sigma_{s1}$ olarak, bir sonraki basamağı ise $\sigma_2=\sigma_1-\sigma_{o1}$ veya genel olarak $\sigma_n=\sigma_1-\sigma_{o(n-1)}$ şeklinde bulunur.Hesaplamada, son iterasyona ait toplam deplasmanlar % si belli değere ulaşıncaya kadar devam edilmektedir. Tek eksenli gerilme halinde

$$(U_{n+1}-U_n)/U_n \le 0.001 \qquad (13)$$

şartı sağlandığında iterasyona son vermek gerekir.
İki eksenli gerilme halinde ise Von Mises akma kriteri dikkate alınarak

$$\sigma_e=(1/\sqrt{2})\,[(\sigma_x-\sigma_y)^2+\sigma_x^2+\sigma_y^2+\tau_{xy}^2]^{1/2} \qquad (14)$$

ifadesine göre eşlenik gerilmeler dikkate alınır. Şekil-8'e göre $\sigma_e > \sigma_a$ ise elasto-plastik analiz yapılmaktadır.Gerilmeler tek eksenli olmadığından eşlenik olarak elde edilen başlangıç gerilmesi $\sigma_o = (\sigma_{ox}, \sigma_{oy}, \sigma_{oxy})$ şeklinde vektörel olarak yazılabilir. Bu durumda formulasyon

$$\sigma_{oi} = (\sigma_i)\,(\sigma_{oi} / \sigma_e)$$
$$\sigma_{oi} = \sigma_e - \sigma_{si} \qquad (15)$$

şeklini alır. Buradan

$$\varepsilon_{to} = \sigma_e / E$$
$$\varepsilon_p = \varepsilon_{to} - \sigma_{si} / E \qquad (16)$$

yazılarak, σ_{si} ifadesi (13) denklemi dikkate alınarak

$$\sigma_{si} = \sigma_a + K\varepsilon_p^n$$
$$\sigma_{si} = \sigma_a + K[(\sigma_e/E) - (\sigma_{si}/E)]^n \qquad (17)$$

şeklinde Newton-Raphson yöntemi ile bulunur. Daha sonra σ_{oi} kadar bir büyüklük elde edilme tedir. σ_n değeri için

$$\sigma_n = \sigma_1 + \sigma_{o(n-1)} \qquad (18)$$

yazılabilir.Burada da (13) ifadesindeki uygunluğa bakılarak iç gerilmeler; elasto-plastik gerilmelerden, elastik gerilmelerin çıkarılması ile bulunmaktadır.

3.5. Hooke Kanununa Uymayan Kriterlerde Modül, Moment Ve Sehim Değerleri

Kirişlerde artık gerilmeye neden olan ve gerilme kuvvetlerine göre değişen, icra edilmiş modül (E_r), icra edilmiş moment (M_r) ile sehim (Δ) olmak üzere, modül büyüklüğü

$$E_r = (24 / \Delta^3) \int_0^{\varepsilon} \sigma\,\varepsilon\,d\varepsilon \qquad (19)$$

bağıntısıyla ifade edilmiştir.Bu son ifadenin integrali alınarak ve $\varepsilon = \Delta/2$ ifadesi kullanılarak

$$E_r = 3\,\sigma / \Delta \qquad (20)$$

eşitliği elde edilmiştir. Kirişlerde eğrilik yarıçapı (r), (b) ve (h) geometrik büyüklükler olmak üzere,

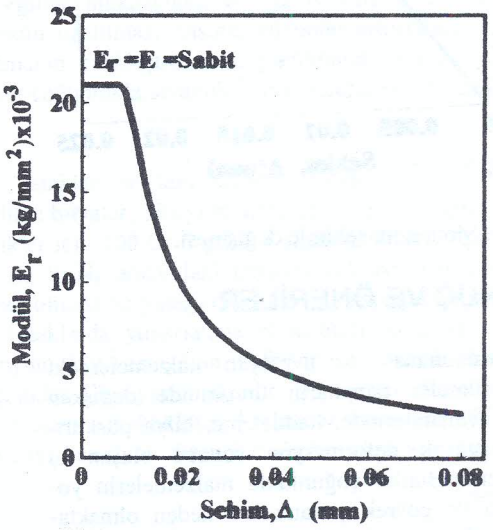
$$M_r=(bh^3/12)\,(1/r)\,(24/\Delta^3) \int_0^{\varepsilon} \sigma\,\varepsilon\,d\varepsilon \qquad (21)$$

olarak icra edilmiş moment değeri yazılabilir.Kiriş için bxh=10x10 mm^2 alınarak ve $M_r = I\,(1/r)E_r$ ve $r=h/\Delta$ değerleri kullanılarak

$$M_r = I\,(\Delta/10)\,E_r \qquad (22)$$

bağıntısı yazılabilir.

Maksimum gerilme ve şekil değişiminin σ_{max}=68 daN/mm^2 ve ε_{max} =0.138 olarak alınması durumunda, farklı sehimlerdeki modülün değişimini veren diyağram Şekil-9'da gösterilmiştir.

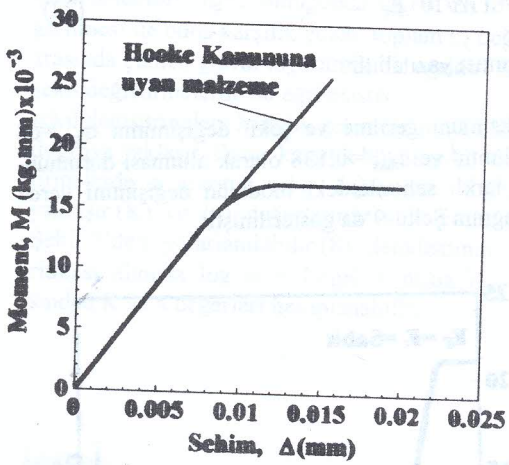


Şekil-9: Modülün sehimle değişimi.

Burada E_r büyüklüğü (Δ) veya (h/r)'ye bağlıdır. Elastik bölgedeki icra edilmiş modül E_r (yeni modül), elastisite modülüne eşit ve orantı sınırına kadar sabit bir değerdedir.Sehim değeri arttıkça, Hooke Kanununa uymayan malzemenin E_r değerinin düştüğü görülmektedir.

(20) ve (21) ifadeleri dikkate alınarak, moment-sehim değişimini gösteren diyagram Şekil-10'da verilmiştir. Bu diyagram σ_{max}= 68 daN/mm^2 ve ε_{max}

= 0.138 değerleri için elde edilmiştir.Diyağramlara göre sehim değeri arttıkça Δ=0.01'in üzerindeki sehim değerlerinde Hooke Kanununa uymayan malzemenin artık gerilmeye neden olan moment değerinin sabit kaldığı görülmektedir.Uygulanan gerilme ve şekil değişiminin düşürülmesi halinde modül ve moment değerlerinin daha da düştüğü görülmektedir. Sehim (Δ) 'ın küçük değerlerinde malzeme Hooke Kanununa uymaktadır.



Şekil-10: Momentin sehimle değişmesi.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hooke Kanununa uymayan malzemelerdeki artık gerilmeler parçaların üretiminde değişken sıcaklık değişimlerinde, haddeleme, bilya püskürtme ve plastik deformasyon sonucu oluşan iç gerilmelerdir.Bunlar çoğunlukla malzemelerin yorulmasına ve gevrek çatlamasına neden olmaktadır.Bu çalışmada plastik deformasyon sonucu oluşan artık gerilmeler üzerinde durulmuştur.

Kirişlerde artık gerilmeye neden olan gerilme değerleri araştırılmış, malzemedeki farklı gerilme ve şekil değişimleri için elde edilen modül-sehim ve moment-sehim diyagramları verilerek bunların üzerinde analizler yapılmıştır.

Elasto-plastik gerilme analizlerinin bir kısım teorileri bu çalışmada açıklanmış olup, artık gerilmelerin hesabında, şekil değiştirme sertleşmesi, Ramber-Osgood bağıntısı ile iki boyutlu elasto-plastik problemlerin sayısal çözüm metodu ve iç gerilmeye neden olan şekil değiştirme parametreleri verilmiştir.Sehimin yaklaşık 0.01'den büyük değerlerinde, modül değeri azalırken Hooke Kanununa uymayan kirişlerde momentin sabit kaldığı görülmüştür.
Bir kısım uygulamalarda artık gerilmeler dış kuvvette aynı yönde etki ediyorsa, malzemede hasar oluşturmaktadır.Bu gerilmelerin giderilmesi için bazen yüksek sıcaklıkta gerilme giderme tavı uygulanıp, malzemenin akma sınırı daha aşağı noktalara çekilebilir.

Teorik araştırmayla birlikte yapılacak olan pratik çalışmanın mukayese edilmesi ve artık gerilme değerlerinin ölçülmesi tasarımcılar için daha da yararlı olacaktır. Bu çalışmada değerlendirilen kiriş malzemesi yerine daha değişik kesitli malzeme kullanılarak, bulunacak sonuçlar ile ilgili diğer bir çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR

Dowling, N.E., 1993, Mechanical Behaviour of Materials, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.

İmrak, C.E.,ve Fetvacı, C., 1993, Makina Parçalarının Yorulma Dayanımını Artık Gerilme Yardımıyla Artırma, Mühendis ve Makina Dergisi, Sayı 403, S.26-30, Makina Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.

İnan, M., 1967, Cisimlerin Mukavemeti, İTÜ, Makina Fakültesi, İstanbul.

Mendelson, A., 1968,Plasticity, Theory and Application, The Macmillan Company, New York, USA.

Salman, S., Yiğit, Ş., ve Gülmey, E., 1995, Kaynak İşlemi Sonucunda Oluşan Artık Gerilmelere Değişik Bir Ölçme Yöntemi İle Yaklaşım, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiri Kitabı, s. 249-260.

Şahingil, A. T.,1996, Elasto-Plastik Yüklemeye Maruz Malzemelerde Artık Gerilmelerin Analizi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.

Timashenko, S. P., 1965, Cisimlerin Mukavemeti, 3. Baskı, İTÜ Yayınları, No 144, İstanbul.

Zienkiewcz, O.C., 1982, Finite Element Method, Mc Graw -Hill Book Company.