

## YUMUŞAK ÇELİKLERDE AKMA VE YAŞLANMA OLAYI \*)

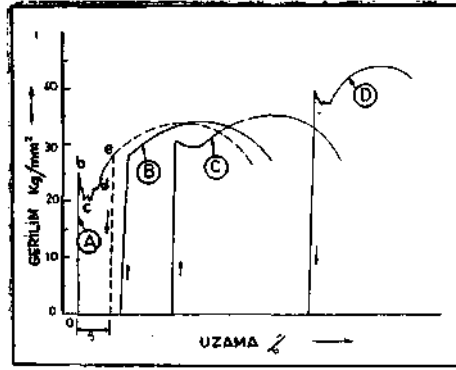
Veli AYTEKİN\*\*)

### ÖZET :

Yumuşak çeliklerde eskiden beri bilinen akma ve yaşlanma olayları, Karabük ve Ereğli menşeli çelikler üzerinde yapılan çekme ve Erichsen deneyleri ile incelenmiştir. 20-500 °C aralığında yapılan çekme deneyleri ile evvelâ sıcaklığın akma ve kopma dayanımları ile kopma uzaması üzerine etkisi araştırılmış, sonra da belirli ön - deformasyonlar uygulamak suretiyle bilhassa deformasyon yaşlanması üzerinde durulmuştur. Akma ve deformasyon yaşlanması özelliklerinin sıcaklık ve diğer bazı faktörlere göre nasıl değişebileceği, özel deneylerle tes-hil edildikten sonra sonuçların, dislokasyon teorisi ile basit bir izahı yapılmıştır.

### 1. Giriş ve Gaye :

Çeliklerde akma olayı çok eskiden beri bilinmektedir. Akma ve yağlanma özellikleri en açık olarak çekme deneyinde meydana çıkmaktadır. Normal haldeki karbon çeliklerinin çekme deneyi esnasında, elastiklik sınırından hemen sonra, uygulanan yük aynı kaldığı ve hattâ bir miktar azaldığı halde, malzemenin belirli bir plâstik uzamaya devam etmesi olayına «Akma» denilmektedir. Şekil : 1 de (A) gerilim - uzama eğrisinin (bed) kısmı akmaya tekabül eden bölgedir.



Şekil: 1 — Az karbonlu çeliklerin tipik «gerilim - uzama» eğrileri :

(A) Normal çelik; (B) % 5 uzatılıp derhal yük uygulandıktan sonra akma ve yaşlanma göstermemiş olan çelik; (C) % 5 uzatılıp denhal yük uygulandıktan sonra, sıcakta bekletilerek yüklendiği için akma ve yaşlanma gösteren çelik; (D) % 5 uzatıldıktan sonra, akma gösteren ve aşırı yaşlanma sebebiyle kopma uzaması azalmış olan, oldukça gevrekleşmiş çelik.

\*) Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu tarafından desteklenmekte olan MAG—8A sayılı araştırma projesinin bir parçasıdır.

\*\*) Prof. Dr.; İ.T.Ü. Tatbiki Metalürji Kürsüsü.

Akma olayı, malzemenin belirli noktalara inhisar eden mevzii deformasyonlardan ileri geldiği için, malzeme yüzeyinde Lüder bantları adı verilen mevzii pürüzler meydana getirmektedir. Plâstik deformasyonun başlangıcında husule gelen bu yüzey pürüzleri, sadece malzemenin şeklini bozmakla kalmayıp ayrıca yüzeye boya, emay ve benzeri kaplamalar yapılmasında mahzurlar da doğurmaktadır.

Fakat akma olayının asıl önemi, bunun «deformasyon yağlanması» adı verilen diğer bir özellik olan yakın ilgisinden ileri gelmektedir. Karbon çelikleri akma olayından (veya belirli bir ön deformasyondan) sonra kendi haline bırakılacak olursa, belirli bir bekleme süresinin sonunda sertlikleri ile akma ve kopma dayanımları artmakta, buna mukabil plâstiklik özellikleri (meselâ kopma uzaması) az veya çok azalmaktadır.

Şekil : 1 de (C) ve (D) eğrileri bu çeşit bir özelliği göstermektedir. Bu gerilim - uzama eğrileri elde edilmeden önce numune % 5 kadar bir ön uzatmaya tâbi tutulup - sıcaklığa bağlı olarak - yeteri kadar yaşlanmaya terk edilmiş ve ondan sonra yük tekrar uygulanarak bu eğriler bulunmuştur. Bu şekilde belirli bir ön deformasyondan sonra, malzemenin bekletilmesi sonucunda özelliklerinin değişmesi olayına «deformasyon yaşlanması» adı verilmektedir. Dikkat edilecek olursa, Şekil: 1 deki (B) eğrisinin ön deformasyondan sonra yeteri kadar bekletilmediği için, akma ve yaşlanma göstermemiş olan bir malzemeyi temsil ettiği anlaşılmaktadır. Çeliklerde aşırı yaşlanma, kırılabilirlik veya gevreklik meydana getirdiği için bilhassa 200 - 300 °C sıcaklıkları aralığında önem taşımaktadır.

Bu araştırmanın gayesi, yumuşak çelik-

lerde yüzey pürüzleri ve kırılmalık gibi arızalar meydana getiren akma ve yaşlanma özelliklerini inceliyerek, bunlara kargı alınacak en uygun tedbirleri tespit etmektedir.

Akma ve yaşlanma olaylarına etki yapan çeşitli faktörler arasında en önemlisi «sıcaklık» faktörüdür. Soğuk işlenmede (yani endüstride uygulanan her türlü şekil verme ile fabrikasyon işlemlerinde) genellikle az karbonlu çelikler kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı bu tebliğin konusu olan araştırmalara evvelâ yumuşak çeliklerin mekanik özelliklerine sıcaklığın etkisi incelenerek başlanmıştır. Bulunan sonuçlar, özel deneyler uygulanarak elde edilen ilâve bilgilerle karşılaştırılmak suretiyle akma, deformasyon sertleşmesi, deformasyon yaşlanması ve yumuşama özellikleri arasındaki bağıntılar araştırılmıştır.

## 2. Deneysel Çalışmalar :

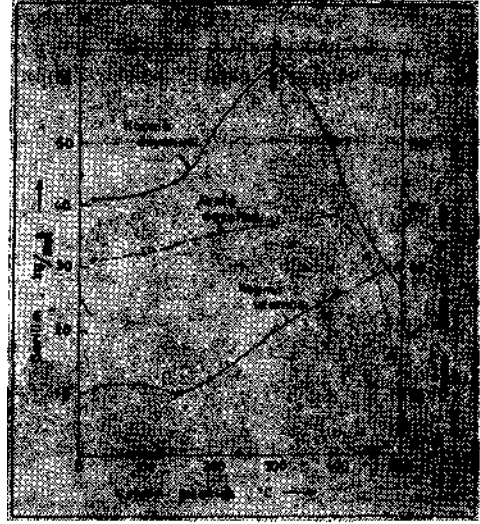
### 2.1. Sıcaklığın mekanik özelliklere etkisi :

Yumuşak çeliklerin mekanik özelliklerine sıcaklığın etkisini incelemek için Karabük'te (St. 37) çeliğinden imâl edilmiş olan 16 mm. çapında yuvarlak çubuk kullanılmıştır. Bilindiği veçhile, genel olarak St. 37 çeliği % 0,16-0,22 C; % 0,42-0,50 Mn; en çok % 0,06 S ve en çok % 0,06 P ihtiva eden bir sâde karbon çeliğinden ibarettir. Çekme deneyinde ölçüye esas alınan numune kalınlığı 10 mm., boyu ise 105 mm. dir. Numune iki ucundan vidalanarak tutuculara ve dolayısıyla çekme cihazına bağlandıktan sonra, etrafına yerleştirilen fırın ısıtılmağa başlanmış ; ısıtma hızı yaklaşık olarak 100°C/saat mertebesinde tutulmuştur. Fırına uygulanan volt ve amper ayarlanarak istenilen sabit sıcaklığa ulaşıldıktan sonra çekme deneyleri yapılmıştır. Sıcaklığın deney süresince + 3 °C sabit tutulması kolaylıkla sağlanabilmektedir. Bütün numuneler aynı çubuktan hazırlandığı için, bileşim ve malzemeye ait diğer değişken faktörlerin etkisi asgarî hadde indirilmiştir. Çekme deneyi esnasında yükün uygulanma hızı 0,3 (kg/mm\*), san.-i olarak sabit tutulmuştur. Gerilimin ve % uzamanın hesaplanması için mutâd olduğu veçhile, deneyin başlangıcındaki numune kesiti ve boyu ile deney esnasındaki uzama miktarları ölçülmüştür.

St. 37 özelliğinde Karabük mamulü yumuşak çeliğin çeşitli sabit sıcaklıklarda elde edilen «gerilim - uzama» diyagramları Şekil: 2 de gösterilmiştir. Bu diyagramlardan faydalanılarak bulunmuş olan Şekil : 3 deki grafikler ise akma dayanımı, kopma dayanımı ve kopma uzaması ile deney sıcaklığı arasındaki bağıntıları göstermektedir.



Şekil: 2 — Karabük St 37 çeliğinin çeşitli sabit sıcaklıklarda elde edilen «gerilim - uzama» diyagramları.

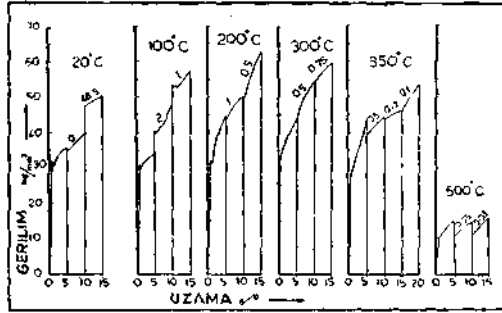


Şekil : 3 — Karabük St. 37 çeliğinin mekanik özellikleri Ue çekme sıcaklığı arasındaki bağıntı.

### 2.2. Deformasyon yaşlanmasının çekme deneyi ile incelenmesi :

Deformasyon yaşlanması evvelâ bölüm 2.1. de adı geçen Karabük mamulü St. 37 çubuğundan alınan numuneler üzerinde çekme deneyi yapılarak incelenmiştir. Numune, sı-

çaklığı istenilen sabit seviyeye getirildikten sonra, evvelâ % 5 kadar bir uzatmaya tâbi tutulmuş ve derhal yük indirilerek aynı sıcaklıkta beklemeye terkedilmiştir. Belirli bir bekleme süresi sonunda tekrar yüklenen numuneye yine % 5 uzatma uygulanmış ve akma özelliği ile gerilim uzama grafiğinden yaşlanma olayı incelenmiştir. Böylece aynı numune ile sabit bir sıcaklıkta birkaç deney tekrarlanabilmiştir. Aynı numune üzerinde bu suretle yapılan kademeli deneylerde, her kademe başlangıcında numunenin kesiti ve boyu, o kademedeki deney için gerilim ve zamanın hesaplanmasında esas olarak kabul edilmiştir. Çekme deneyleri diğer yönlerden özdeş şartlarda yapılmıştır.

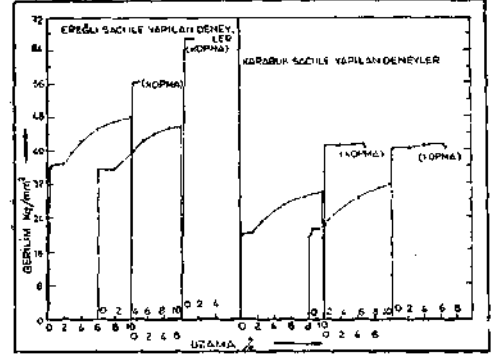


Şekil : 4 — Karabük St. 37 çeliğinin, farkta sabit sıcaklıklarda % 5 ön uzatmaya tâbi tutulduktan sonra, aynı sabit sıcaklıklarda deformasyon yaşlanması özelliği.

Eğrilerin üzerindeki sayılar (saat) cinsinden deneyden önce bekleme süresini belirtmektedir.

St. 37 çeliğinde deformasyon yaşlanması tespit etmek üzere yapılan deney sonuçlarını gösteren tipik gerilim - uzama diyagramları Şekil : 4 de gösterilmiştir. Aynı çubuktan alınan numuneler 20", 100", 200", 300", 350" ve 500 °C sabit sıcaklıklarda deneye tâbi tutulmuş her sıcaklık için ayrı bir numune kullanılmıştır. Eğrilerin üzerinde bulunan sayılar (saat) cinsinden o deneyden önceki bekleme süresini belirtmektedir.

Karabük ve Ereğli saclarında deformasyon yaşlanması özelliklerini tespit ve mukayese etmek için aynı özel deneyler uygulanmıştır. (Karabük sacı 2 mm. kalınlıkta, ticarî kalite siyah sactır; Ereğli sacı ise, DİN 17100 St. 37 - 2 özelliğinde 3,1 mm. kalınlıktadır). Bu saclardan alınan çekme numuneleri % 10 uzatıldıktan sonra, 250 °C da yarım saat tavlaniıp tekrar çekme deneyine tâbi tutulmuşlar ve Şekil ; 5 deki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil : 5 — Ereğli'nin DİN 17100. St. 37-2 sacı ile Karabük'ün St. 34 siyah sacının deformasyon yaşlanması özellikleri.

(Numune, % 10 uzatıldıktan sonra 250 °C da yarım saat tavlaniıp, tekrar çekme deneyine kopuncaya kadar devam edilmiştir. Ereğli sacının kalınlığı 3.1 mm., Karabük'ünk ise 2.0 mm. dir. Her iki sacın ikişer defa deney yapılmıştır).

### 2.3. Deformasyon sertleşmesi ve deformasyon yaşlanmasının Erichsen deneyi ile incelenmesi :

Yumuşak çelikten saclarda sertleşme ve yaşlanma olayının Erichsen deneyi ile incelenmesi için Ereğli menşeli iki cins sac kullanılmıştır. Nominal kalınlığı 1 mm. olan bu sacların özellikleri aşağıda verilmiştir. :

(a) Rimmed 212 (Söndürülmemiş çelik) sac bileşimi (%) :

C	Mn	P	S
0,065	0,28	0,013	0,016
Si	Cr	Mo	
0,002	0,010	0,024	

(Çelik üstü açık kalıplara dökülmüş, sıcak haddeden sonra dekape edilmiş ve 2 mm. den itibaren soğuk haddelenerek 1 mm. nihai kalınlığa indirilmiş, 660 °C kadar koruyucu atmosferde ısıtılıp tavlanimış en sonunda da 26/10/1965 tarihinde temper haddesinde % 1 kadar yüzey ezmeye tâbi tutulmuştur).

(b) Al killed 600 (Söndürülmüş çelik) sac bileşimi (%) :

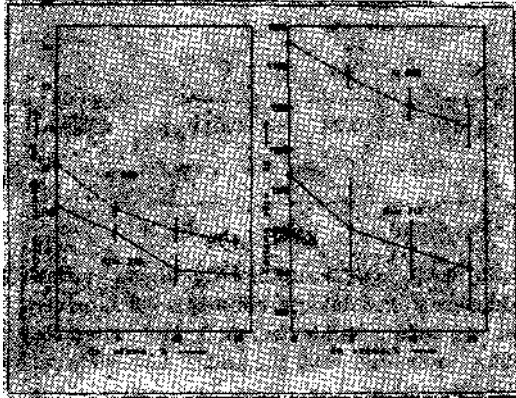
C	Mn	P	S
0,07	0,34	0,015	0,022
Si	Cr	Cu	Mo
0,016	0,035	0,020	0,028

(Alüminyum ile söndürülmüş olan bu çelik (a) daki saçlar gibi işlenmiş, temper haddesinde 13/10/1965 tarihinde yine % 1 kadar yüzey ezmeye tâbi tutulmuştur.)

Gerek (Rim. 212) ve gerekse (Al. 600) saçları denin sıvama işlerinde kullanılan kaliteli saçlardır. Bunlardan (Al. 600) saçının bilhassa daha az yaşlanan ve hattâ yaşlanma göstermeyen saç niteliğinde olması gerekmektedir. [1].\*)

Erichsen deneyi DİN 50101'e uygun olarak aynı saçı kesilmiş 7x30 cm. boyutunda saç levhaları üzerinde yapılmıştır. Her levhada üçer deney tekrarlanarak, bulunan üç sonucun aritmetik ortalaması alınmıştır.

özellikleri yukarıda verilmiş olan saçlar evvelâ çekme cihazında % 5,10 ve 15 oranında uzatılmak suretiyle soğuk deformasyona tabi tutulmuş ve sonra da derhal Erichsen deneyi yapılmıştır. Erichsen deneyi sonuçları, mutad olduğu veçhile, (çatlama anındaki bilya derinliği = Erichsen derinliği, mm. cinsinden) ve (çatlama anındaki bilya yükü, kg. cinsinden) ölçülmüştür. Al. 600 ve Rim. 212 saçları için bu suretle bulunan sonuçlar Şekil : 6 da gösterilmiştir. Her iki cins saçın deformasyon sertleşmesi sonunda plâstik şekil alma özellikleri mühim miktarda düşmekte olduğu bu şekillerden anlaşılmaktadır.

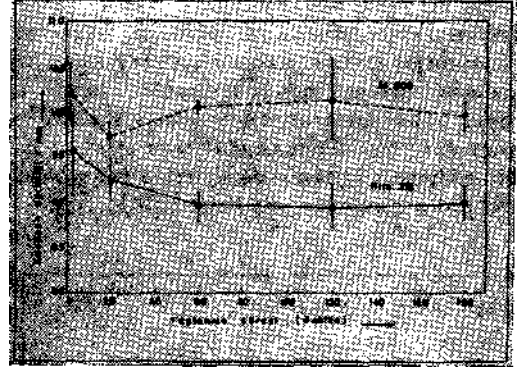


Şekil: 6 — Ereğli'nin Al. 600 (söndürülmüş) saçı ile Rim. 212 (söndürülmemiş) saçının, farklı oranlarda ön uzamadan sonra, Erichsen deneyi ile tespit edilen deformasyon sertleşmesi özellikleri.

(Dikey çizgiler, sonuçların dağılım bölgesini göstermektedir. Al. 600 «acının kalınlığı 1.0i mm., Rim. 212 nin kalınlığı ite 0.77 mm. dir).

\*) Köşeli parantez içindeki rakamlar yazının sonunda verilen referansları göstermektedir.

Aynı saçlarda deformasyon yaşlanması özelliklerinin incelenmesi için numuneler önce % 5 kadar uzatılmış ve sonra da 100 °C da, farklı sürelerle yaşlanmaya terkedilmiştir. Belirli süreler sonunda yapılan Erichsen deneyi ile elde edilmiş olan sonuçlar Şekil : 7 de gösterilmiştir.



Şekil: 7 — Ereğli'nin Al. 600 ve Rim. 212 kalite saçlarının, % 5 ön ozamadan sonra, 100 °C da yaşlanma süresi ile Erichsen derinliği sonuçları arasındaki bağıntı.

Yine aynı saçların Brinell sertliği ölçülerek, deformasyon sertleşmesi ve deformasyon yaşlanması özelliklerinin incelenmesi istenmiş ise de, sertlik metodu ile yaşlanma özelliğinin hassas olarak tespit edilemeyeceği kanısına varılmıştır. Soğuk deformasyon deneyi sonuçları ise aşağıda gösterilmiştir :

AL 600 saçı Rim. 212 saçı

Normal sertlik	90	106
% 10 uzamış sertlik	106	124
Fark (%)	+18	+17

(Sertlikler T.S. 139 a göre ölçülmüş ; Bilya çapı = 1 mm. Daldırma yükü = 30 kg, Yük uygulama süresi = 30 san. alınmıştır.)

### 3. Sonuçlar ve İrdeleme :

#### 3.1. Sıcaklığın mekanik özelliklere etkisi :

St 37 çeliğinden hazırlanan yuvarlak çubuklarla yapılmış çekme deneyleri sonunda elde edilen Şekil : 2 ve 3 deki bağıntıların incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar çıkmaktadır :

a) Akma dayanımı 20 °C dan 400 °C a kadar devamlı olarak yaklaşık  $1,9 \times 10^{-2}$  (kg/mm<sup>2</sup>)/°C oranında yükselmekte, 400 °C

dan itibaren hızla düşmektedir. Sıcaklık yükseldikçe akma sınırının tâyini güçleşmektedir.

b) Kopma dayanımı 150 °C a kadar akma dayanımına paralel bir şekilde artmakta, 150 °C dan sonra ise, çok daha hızlı bir yükselişle 300 °C da maksimum bir değere ulaşmaktadır. 300 °C in yukarısında bu değer tekrar hızla düşmektedir. Kopma dayanımının maksimum değeri, oda sıcaklığındaki değerin 1,5 katı kadardır.

c) Kopma uzamamı, oda sıcaklığından itibaren evvelâ nisbeten yavaş, sonra da oldukça hızlı olarak devamlı büyümektedir. 500 °C dakl kopma uzaması, oda sıcaklığındaki değerin 5 katı kadardır.

### 3.2. Deformasyon yaşlanması:

St. 37 çeliğinde deformasyon yaşlanmasını tayin etmek için yapılan özel çekme deneyleri sonunda elde edilmiş olan Şekil : 4 deki diyagramlardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir :

a) 20 °C da, verilmiş olan şartlar altında, numune 48 saat kadar beklemeden sonra mühim miktarda yaşlanmaya uğramıştır. 100 °C da ise, numune 1 saat beklemeden önce dahi yaşlanmaya uğramıştır.

b) 200 °C ve 300 °C sıcaklıklarda deformasyon yaşlanması bariz olarak görülememiştir. 350 °C ve 500 °C sıcaklıklarda ise, deformasyon yaşlanmasının tersin\* olarak, sıcaklıktan dolayı yumuşama etkisi hakim duruma geçmiştir.

c) Şekil: 4 deki deneylerde daima ön deformasyon ve yaşlanma aynı sıcaklıkta yapılmıştır; meselâ 300 °C da yaşlanmayı incelemek için, numune evvelâ 300 °C da ısıtılmış ve sonra % 5 uzatılarak, yüksüz halde aynı sıcaklıkta yaşlanmaya terkedilmiştir, ön deformasyon sıcaklığının da yaşlanmaya etkisi olabileceği düşünülerek, Şekü : 5 deki deneylerde, İlk uzatma (% 10 olarak) oda sıcaklığında yapılmış ve ondan sonra numune derhal 250 °C daki fırında yarım saat yaşlanmaya tâbi tutulmuştur. Bu suretle bulunan sonuçlar, Şekil: 4 deki sonuçlardan farklıdır : Her iki saçta da bariz bir deformasyon yaşlanması görülmektedir; ancak Ereğli'nin DİN 17100. St. 37-2 kalite saçı yaşlandıktan sonra, kırılған hale gelmiş ve plâstiklik özelliği tamamen kaybetmiştir. Karabük'ün St. 34 kalite saçı ise yaşlanmadan sonra bile % 5 - 7 kadar uzayabilen bir plâstiklik özelliği gösterebilmektedir. Dikkat edilirse Şekil: 4 de

200 °C ve 300 °C sıcaklıklardaki eğrilerin eğimi çok büyük ve dolayısıyla deformasyon sertleşmesi fazladır ; deformasyon yaşlanması ise görülememektedir. Şekil : 5 deki eğrilerde ise, bariz miktarlarda deformasyon yaşlanması görülebilmektedir. Diğer bir deyimle, 200 °C ve 300 °C sıcakta iken çekülen numune, adeta deney süresince yaşlanmış durumda olduğu için, sonradan yaşlanmaya uğramamıştır; sıcaklığın yüksek oluşu sebebiyle, çekme esnasında numunenin bu nevi sertleşmesine (veya yaşlanmasına) «dinamik yaşlanma» adı verilmektedir. 200 - 300 °C sıcaklıklarda deformasyona uğrayan yumuşak çeliklerin, dinamik yaşlanma etkisi ile kopma dayanımlarının artışı, Şekil : 2 de de bariz olarak görülmektedir.

d) Şekil : 4 de hem dinamik ve hem de statik yaşlanma vuku bulmaktadır. Şekil : 5 de ise, deney sıcaklıkları düşük (20 °C civarında) olduğu için dinamik yaşlanmadan ziyade, statik yaşlanma vardır. Dinamik ve statik yaşlanma adı verilen iki cins yaşlanmanın meydana getirdiği farklı sonuçlar, başka araştırmacılar tarafından da tespit edilmiştir [2]. Dinamik yaşlanma bölgesi de (Mavi gevreklik) bölgesi adı da verilmektedir.

### 3.3. Erichsen deneyi ile sertleşme ve yaşlanmanın incelenmesi :

Şekü : 6 ve 7 de gösterilmiş olan grafiklerden, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir :

a) Al. 600 ve Rim. 212 oins saçların her ikisinin de deformasyon sertleşmesi sonunda plâstiklik özellikleri, yaklaşık olarak aynı oranda düşmektedir.

b) Al. 600 saçı, derin sıvama için, Rim. 212 saçına nazaran daha üstün özellikler göstermektedir. Deneyden önce, Al. 600 saçının ölçülen hakikî kalınlığı 1,06 mm., Rim. 212 saçımnki ise 0,77 mm. olarak bulunmuştur. Aradaki kalınlık farkı Al. 600 saçı lehine 0,4 mm. kadar bir Erichsen derinliği değeri sağlıyahilirse de, kanaatimizce, asıl üstünlük Al. 600 saçının tam deokside olmuş çelikten mamul olduğu için temiz bir yapıya sahip bulunmasından ileri gelmektedir.

c) Belirtilmiş olan şartlarda, her ne kadar Al. 600 saçı oranla Rim. 212 saçı daha fazla yaşlanma temayülü göstermiş ise de, genellikle, Erichsen deneyi' ile yaşlanma özelliğinin hassas olarak izlenmesi mümkün olmayacağı anlaşılmıştır.

d) Aynı sebepten dolayı, yağlanmanın Brinel sertliği ölçülmesi metodu ile de hassas olarak incelenemeyeceği sonucuna varılmıştır.

#### 3.4. Sonuçların teorik izahı :

Metallerin plâstik deformasyonu ile ilgili bütün özellikleri, bugün dislokasyon teorisi ile izah olunmaktadır. Buna göre, metallerin plâstik deformasyonu, bunların içerisinde bulunan «dislokasyon» adlı (yapı hataları) nın hareket ederek doğrudan doğruya veya dolaylı bir halde yüzeye çıkmasının bir sonucudur. Karbon çeliklerinde erimiş haldeki C ve N gibi küçük boyutlu atomlar, dislokasyonların meydana getirdiği gerilim bölgelerinde belirli yerlere toplanmak suretiyle iç gerilimleri azaltmakta ve bu suretle daha stabil bir düzen meydana getirmektedir. Erimiş atomların «Cottrell atmosferi» adı verilen bu nevi dağılımından dolayı dislokasyonların hareketi güçleşmekte ve neticede malzemenin plâstik deformasyona karşı dayanımı artmaktadır [3]. Ancak yüksek bir dış gerilim (üst akma sınırı) uygulanıp dislokasyonlar bir defa atmosferden uzaklaştırılınca, bunların hareketi bir an için kolaylaşmaktadır. Akma deformasyonu sonunda kolay hareket eden dislokasyonlar, harcanmış ve aynı zamanda biriktirilen dislokasyonlar da yenilerinin hareketini güçleştireceğinden, malzeme tedrici olarak sertleşmektedir. (Deformasyon sertleşmesi). Bu durumda, eğer sıcaklık müsait ise, bir yandan da yumuşama etkisi kendini hissettirmeye başlar; zamanla sıcaklık etkisi, sertleşmiş malzemedeki düzeni adeta arttırmak suretiyle, mevcut dislokasyonların daha kolay hareket etmesine ve aynı zamanda çok sayıda yeni dislokasyonların da meydana gelip harekete geçmesine imkân hazırlamaktadır (sıcaklık yumuşaması). Böylece İM ters etki, yani «sertleşme» ve «yumuşama» etkileri altında malzemenin gerilim - uzama diyagramı elde edilmektedir. Çekme deneyi esnasında, deformasyonun başlangıcı olan akma sınırı civarında, henüz deformasyon sertleşmesi husule gelmediği için, sıcaklığın akma dayanımına etkisi azdır ; buna mukabil kopma dayanımı ise, sertleşme ve yumuşama hızları arasındaki dengeye bağlı bulunduğu için, sıcaklığa daha hassas olarak tabidir. Esasen, bu araştırmanın yapıldığı şartlarda, 400°C'nin üstündeki sıcaklıklarda dislokasyonların N ve C atmosferinden ayrılması için gerekli ilâve gerilimin, diyagramda belli olmayacak kadar küçüldüğü anlaşılmak-

tadır. Bu sebepten dolayı yüksek sıcaklıklarda akma olayının tefrik edilmesi imkânsızdır.

Sıcaklık yükseldikçe, kopma uzamasının büyümesi, dislokasyonların sayısının artmasının ve bunların rahatlıkla hareket edebilmelerinin bir sonucudur.

Bir miktar deformasyona uğradıktan sonra yaşlanmaya terkedilen çelikte, sıcaklık ve zaman yeterli olduğu takdirde, C ve N atomları tekrar dislokasyonların etrafına toplanıp «atmosfer» teşkil etmekte ve böylece yeniden akma olayı müşahade edilebilmektedir. Ancak, ön deformasyon işlemi, 200 °C ve daha yukarı sıcaklıklarda yapılmış ise, deformasyon cereyan ederken hem mevcut dislokasyonlarda C ve N toplanması süratle devam etmekte ve hem de yeni dislokasyonlar meydana gelerek, bunlar da deformasyona iştirak etmektedir. Dinamik yaşlanmaya tekbül eden bu şartlarda malzemenin sertliği hızla artmakta (gerilim - uzama eğrisinin eğimi büyümekte) ve keza bu nevi bir ön deformasyondan sonra bariz bir akma veya yaşlanma olayı da müşahade edilememektedir.

Eğer ön deformasyon düşük sıcaklıklarda yapıldıktan sonra malzeme yüksek sıcaklıkta yaşlandırılırsa, bu defa hem atmosfer teşekkül etmekte ve hem de dislokasyonlar üzerinde karbür ve nitrür çökmesi gibi olaylar cereyan etmekte, böylece malzeme büsbütün gevrekleşmektedir.

#### T E Ş E K K Ü R

Bu araştırma Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunun desteği ile, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Tatbiki Metalürji Kürsüsü imkânlarından da istifade edilerek yapılmıştır. Yazı sahibi, maddi ve manevi desteklerinden dolayı bu müesseselere ve ayrıca I&Boratuvar çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Ast. Y. Müh. Ergin Çavuşoğlu ile Ast. Y. Müh. Feridun Dikeç'e teşekkürlerini sunar.

#### R E F E R A N S L A R

- [1] Mc Cannon H.E. ; «The Making, Shaping and Treating of Steel». United States Steel Co., Pittsburgh, U.S.A., 8 ci baskı, 1964.
- [2] Leslie, W.C., ve Keh A.Ş.; «Mechanical Working of Steel» Metallurgical Society (AIME) Conferences, V. 26, Gordon and Breach Science Publ., New York, 1965.
- [3] Cottrell A.H. ve Bilby B.A. ; «Proc. Phys. Soc. V. 62A, (England) 1949.