

YILDIZ UNIVERSITESI
FEN BİLİMLERİ ENSTİTUSU

KAYNAK İŞLEMİ SONUCUNDA OLUŞAN ARTIK
GERİLMELER VE BİÇİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MET. MÜH. SERDAR SALMAN

İSTANBUL 1987

YILDIZ UNIVERSITESI
FEN BILIMLERI ENSTITUSU

KAYNAK ISLEMI SONUCUNDA OLUSAN ARTIK
GERILMELER VE OLÇULMESI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MET.MUH.SERDAR SALMAN

İSTANBUL 1987

I Ç I N D E K I L E R

1. GİRİŞ	1
2. ARTIK GERİLMELERİN SEBEPLERİ.....	7
2.1 Makroskobik ve Mikroskobik Seviyedeki Artık Gerilmeler.....	8
2.2 Artık Gerilmelerin Oluşumu.....	10
2.2.1 Uyumsuzluğun ortaya çıkardığı artık gerilmeler.....	10
2.2.2 DÜzensiz dağılmış elastik olmayan gerinimlerin meydana getirdiği artık gerilmeler.....	13
2.2.3 Artık gerilmelerin denklik şartı.	17
2.3 Kaynak Sırasındaki Isısal Gerilmeler ve Neticede Ortaya Çıkan Artık Gerilmeler.....	17
2.4 Kaynak Metalindeki Artık Gerilmeler ve Reaksiyon Gerilmeleri.....	20
3. ARTIK GERİLMELERİN ETKİLERİ.....	24
3.1 Çekme Gerilmeleri Altında Kırılmalar...	24
3.1.1 Çekme yüklemesine maruz kaynaklarda artık gerilme değişimleri.....	24
3.1.2 Düşük seviyede uygulanan gerilmelerin altındaki gevrek kırılma veya stabil olmayan kırılma.....	27

3.1.3 Kaynakların gevrek kırılmalarında gerilme gidermenin etkileri.....	31
3.2 Basma Yüklemesi Altında Burkulma.....	32
3.2.1 Basma yükü altında kolonlar	33
3.2.2 Basınç altındaki plakalar ve plaka yapılar.....	35
3.3 Yorulma Kırılması.....	37
3.4 Çevrenin Tesirleri.....	38
4. KAYNAKLARDA TİPİK ARTIK GERİLMELER.....	40
4.1 Tipik Kaynaklardaki Artık Gerilmelerin Dağılımı.....	40
4.1.1 Delik kaynağı.....	40
4.1.2 Kaynak yapılmış şekil ve kolonlar.....	42
4.1.3 Plakalarda alın kaynağı.....	44
4.2 Kaynaklarda Artık Gerilmeleri Etkileyen Değişik Faktörler.....	44
4.2.1 Ana metal ve kaynak metali	44
4.2.2 Numunenin uzunluğu.....	46
4.2.3 Plaka kalınlığı.....	49
4.2.4 Kaynak metotları.....	50
4.2.5 Kaynak işlem planı.....	50
5. KAYNAKLARDA ARTIK GERİLMELERİN ÖLÇÜLMESİ...	52
5.1 Artık Gerilmelerin Ölçülmesinde Kullanılan Tekniklerin Sınıflandırılması.....	52

5.2 Gerilme-relaksasyon Teknikleri	
Kullanmak Suretiyle Artık Gerilmelerin	
ölçülmesi.....	57
5.2.1 Elektrik dirençli gerinim	
ölçerleri kullanılarak plaka	
bölme tekniği.....	60
5.2.2 Mathar-Soete delme tekniği.....	64
5.2.3 Gunnert delme tekniği.....	65
5.2.4 Rosenthal-Norton bölme tekniği...	66
5.2.5 Fotoelastik kaplama-delme	
tekniği.....	66
5.3 Röntgen (X-Ray) difraksiyon Teknikleri	
ile Artık Gerilmelerin ölçülmesi.....	68
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	73
6.1 Deneyde Kullanılan Malzeme.....	73
6.2 Artık Gerilmelerin ölçümü için ön	
Hazırlık Kısmı.....	74
6.3 Optik Mekanik Sistemde Çalışan	
Mikroskopta Kaynak öncesi ölçümler.....	81
6.4 Optik Mekanik Sistemde Çalışan	
Mikroskopta Kaynak sonrası ölçümler....	85
7. SONUÇLAR.....	96

-ÖZET-

Bu çalışmada kaynak işleminde oluşan artık gerilmelerin önemi belirtilmeye çalışılmış ve kullanılan belirli bir yöntem ile artık gerilmelerin ölçülmesine katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

Tezin başlangıcında artık gerilmelerin sebepleri, etkileri tipik artık gerilmeler ile artık gerilmeleri ölçme teknikleri hakkında teorik bilgiler verilmiştir.

Tezin ikinci bölümü ise deneysel çalışmalardan oluşmaktadır. Kullanılan değişik kaynak yöntemleri ve şartları ile çalışmalar yapılmıştır. Oluşan artık gerilme boyutları yönleri ve tipleri Optik-mekanik ölçümler yapılarak bulunmuştur. Ölçümler sonucu alınan değerlerin hassas bir şekilde hesabı için bilgisayar ile programlama yapılmıştır.

Tezin son bölümünde ölçme neticelerinin ve ölçme yönteminin belirtilmesi ile ilgili sonuç bölümü verilmiştir.

-SUMMARY-

In this study, the significance of the residual stresses which were occurred during the welding process has been tried to be shown and contributing to the measurement of the residual stresses by means of a particular method has been purposed.

The theoretical informations about the reasons of the residual stresses and its effects, typical residual stresses and the measurement techniques of the residual stresses were given in the first part of this work.

The second part of the work is constituted of experimental studies. Experiments have been made by using different welding methods under the different welding conditions and the formation of the dimensions of residual stresses, its directions and types have been found by the application of optical/mechanical measurements. On the other hand, a computer has been programmed in order to calculate the values of measurements accurately.

In the final part of the work, a conclusion was given about the results of measurements and measurement methods.

1. GIRIS :

Kaynak işlemlerinin çoğunda malzeme bölgesel olarak ısıtıldığından malzeme içerisindeki sıcaklık dağılımı eşit değildir ve kaynak işlemi devam ederken değişiklikler meydana gelir. ITAB'ın ve kaynak metalinin (ITAB+kaynak metalı=kaynak bölgesi) sıcaklığı ana metalin sıcaklığından oldukça yüksektir. Ergimiş olan kısım katılaşıırken ve büzülürken kaynak bölgesi üzerinde çekme gerilmeleri yapmaya başlar. Kaynak metalı ilk katılma esnasında sıcak ve buna bağlı olarak da dayanımı zayıftır ve küçük gerilmeler oluşabilir. Ortam sıcaklığına doğru soğurken kaynak metalinin çekmesi kaynak bölgesi üzerinde gittikçe yükselen bir gerilme gösterir ve neticede ana metal ve ITAB'ın akma sınırına ulaşır. (1)

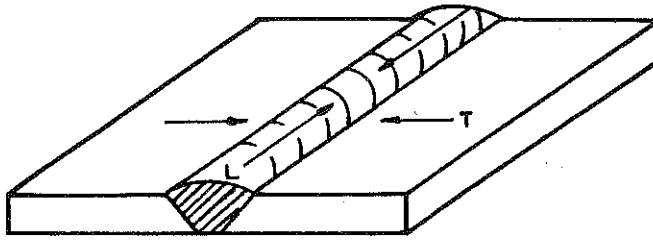
Bir kaynak daima kademe kademe yapılır, bu da kaynağın yeni soğumaya başlamış kısımlarının daha sonradan yapılacak olan kaynak kademelerinin çekmesine dayanım göstermesini sağlar. Bu nedenle ilk yapılan kaynak dikişlerinde kaynak doğrultusunda boyuna çekmelere sebep olur.(şekil 1-1'de gösterildiği gibi kaynak gidişatı boyunca). Buna ilaveten alın kaynağı yaparken kaynak yerinin hazırlanması veya kök

pasolarının sertleştirme etkisinden dolayı kaynağın enine istikamette az bir hareketine izin verilir. Bu tip kaynaklarda şekil 1-1'de görüldüğü gibi enine artık gerilmelerde olacaktır. Şekil 1-2'de gösterildiği gibi köşe kaynaklar için çekme gerilmeleri kaynak boyunca ve yüzeye çapraz olacaktır. Bu gerilmelerin çeşit ve dağılımları oldukça karmaşıktır.

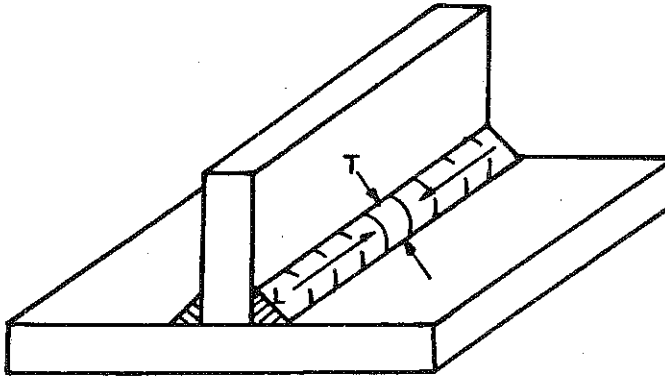
Artık gerilmelerin, kaynaklarda iki ana etkisi vardır: Birincisi distorsiyona yol açarlar ve ikincisi kaynaklarda beklenmeyen hataların doğmasına sebep olurlar. Distorsiyon, ısıtılan kaynak bölgesinin uniform olmayan bir şekilde soğurken büzülmesinden meydana gelir. Bu büzülme kaynağın bir tarafında çekilme meydana getirerek kaynak kesitinde değişken güçler oluşumuna yol açarlar. Bu gerilmelere karşılık kaynakta elastiki gerinimler oluşur ve bu uniform olmayan gerinimler makroskobik seviyede distorsiyona neden olur. Bu distorsiyon muhtemelen alın birleştirmelerde boyuna ve enine çekme veya büzülme dolayısıyla kaynak yüzeyindeki çekme köktekinden fazla olduğunda açısal değişimden dolayı görülebilir. Bu olay daha sonra plakalarda kaynak uzunluğu boyunca enine eğilmeler oluşturur. Bunlar şekil 1-3'de gösterilmiştir. (1)

Köşe kaynaklarındaki distorsiyonlar alın kaynaklarındakilere benzerler : Açısal distorsiyon olduğu kadar enine ve boyuna çekmelerde bu kaynaklardaki dengesiz gerilmelerin neticeleridir (şekil 1-4). Ancak köşe kaynakları

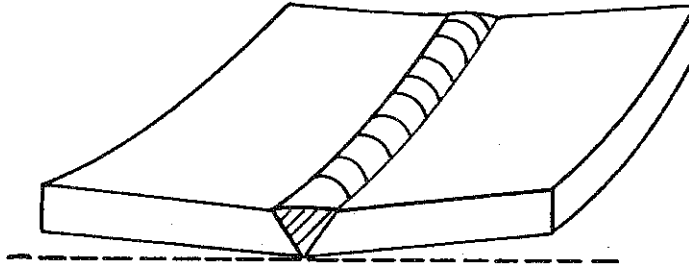
diğer kaynaklarla birlikte yapıldıklarından ortaya çıkan distorsiyon da karmaşık olabilir. Kaynaklarda ortaya çıkan bu distorsiyonlar onların kullanımlarında karar vermek için önemli bir faktördür.



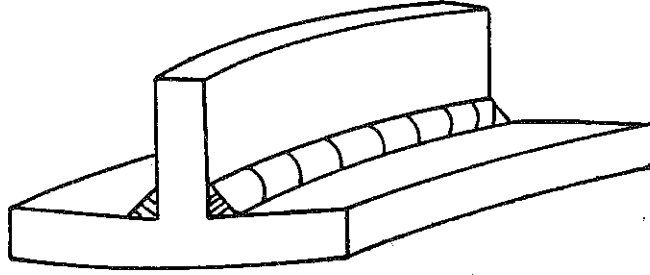
Şekil 1.1- Alın kaynağında boyuna (L) ve enine (T) çekme gerilmeleri (1).



Şekil 1.2- Köşe kaynağında boyuna (L) ve enine (T) çekme gerilmeleri (1).



Şekil 1.3- Alın kaynağında distorsiyon (1).



Şekil 1.4- Köşe kaynağında distorsiyon (1).

Bir dizi teknik sayesinde distorsiyonların kontrolü mümkündür. Kaynak yapmadan önce veya kaynak işleme esnasında kaynaklı birleştirmenin geometrisini kontrol teknikleri, en çok kullanılanlarıdır. Bunlardan bir tanesi iş parçasını kaynaktan önce yerleştirerek böylece kaynak distorsiyonlarının onları istenen nihai şekle sokmasını sağlamak veya iş parçalarını kaynak sırasında hareket ettirmeyecek (ve haliyle distorsiyona uğramıyacak) şekilde gerdirmektir. Kaynak yapılacak yerdeki göçen kaynak malzemesinin (dolgusunun) kaynak merkezi hattının her iki tarafında da dengeli olacak şekilde dizayn etmek de bir diğer faydalı tekniktir. Kaynak tekniğinin seçimi ve işlemin sırasında distorsiyon ve artık gerilmeleri etkiler. Kaynakta distorsiyona uğramış bazı bölgeler işlem bittikten sonra mekanik olarak düzeltilebilir. Eğer gerekirse ısısal ve alevle de düzeltme uygulanabilir. (2)

Artık gerilmeler ve distorsiyonlar düşük seviyede uygulanan gerilmelerde meydana gelirse burkulma ve gevreklikten doğan çatlamları arttırarak malzemelerin kırılma dayanımını etkiler. Artık gerilme ve onunla birlikte oluşan distorsiyon ortaya çıkmışsa burkulma tahmin edilenden daha düşük bir basma yükü yaratır.Çekmede,artık gerilme düşük gevreklikteki kaynak bölgelerinde yüksek bölgesel gerilmelere yol açabilir ve neticede gevrek çatlamlar başlayabilir ve bu çatlamlarda zaten mevcut olan düşük gerilmeler vasıtasıyla arttırılır. Buna ilaveten,artık gerilmeler yorulma ve korrozyon hatalarına yol açabilir.

Artık gerilme hem ısısal ve hemde mekanik araçlarla önlenir. Isısal yolla gerilme giderme işlemi esnasında kaynak metalinin akma noktası plastik akmanın oluşmasına yetecek ve böylece gerilmelerin gevşemesine imkan verecek kadar düşük bir derecede ısıtılır. İşlem sırasında kaynağın mekanik özellikleride değişebilir, bu değişim daimi olmasa da genellikle dikiş boyunca daha uyumlu bir dağılım yapar.Bir çok çelik kaynağı gevrek kırılma dayanımı ısısal yolla gerilme giderme ile arttırılır.Bunun sebebi yalnızca kaynak içerisindeki artık gerilmelerin azaltılması değil aynı zamanda ITAB'daki sert kaynağın bu işlemle tavlanması(ve böylece daha dayanımlı hale getirilmesi) dir. Mekanik gerilme giderme işlemleri de artık gerilmeleri azaltır ama kaynağın veya ITAB'ın mikro yapısını değiştirmez. Bu neticeleri elde etmek için kaynaklara çekiçleme,emniyet gerilmesi (akma sınırına kadar gerilme) ve diğer teknikler de uygulanır.(1)

Kaynaklanmış yapının güvenirliliğini arttırmada temel problemi tanımanın önemi vardır. Mühendisler yalnızca artık gerilmenin ve distorsiyonun etkilerini azaltmayı değil, aynı zamanda çatlakların, gözenekliliğin ve diğer düzensiz oluşumların azaltılması; kaynak esnasında ısıl etkilere bağlı olarak malzeme hatalarının teşekkülü; tahribatsız testin uzunluğu; ve fabrikasyon maliyeti dahil olmak üzere diğer bir çok yönlerini de hesaba katmalıdırlar. Uygulama mühendisleri işlem ve muamelelerin avantaj ve dezavantajlarını farklı yönlerden incelemelidirler. Mesala az bir distorsiyona sebep olan bir işlem veya muamele çok fazla gözenekliliğe sebep olabilir.(4)

Artık gerilmelerin ve distorsiyonların etkileri hakkındaki bilgilerimizi arttırmak bu etkileri azaltmayı başarmamız manasına gelmez. Bu işi bir dizi farklı yollarla başarabiliriz, bunlardan bazıları:

- a- Artık gerilmeyi ve distorsiyonu öncelikle uygun işlemler ve muameleler seçmek suretiyle azaltmak.
- b- Gerilme giderme ve distorsiyonu ortadan kaldırmak için daha iyi yollar geliştirme.
- c- Artık gerilmeyi ve distorsiyonu en aza indirmek için yapısal dizaynı ve malzemeyi değiştirme(1).

2. ARTIK GERİLMELERİN SEBEPLERİ :

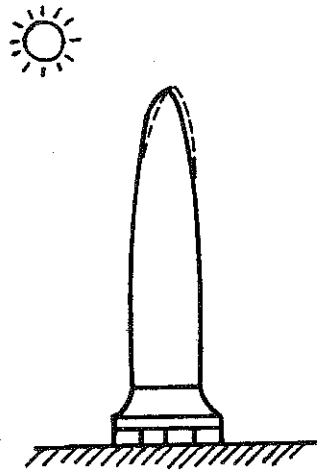
Artık gerilmeler, bir konstrüksiyonda tüm harici yükler kaldırılrsa bile mevcut olabilecek gerilmelerdir. Bu artık gerilmeler: iç gerilmeler, ana gerilmeler, dahili gerilmeler, reaksiyon gerilmeleri ve gizli gerilmeler şeklinde birçok teknik terimler ile adlandırılır. Bir konstrüksiyon değişken sıcaklık değişimlerinin etkisinde kaldığında ortaya çıkan artık gerilmelere genellikle ısıl gerilmeler denir.

Artık gerilmeler metal yapılar içerisinde değişik imalat basamakları sırasında bir çok sebeplerden dolayı ortaya çıkarlar. Bu gerilmeler plakalar, çubuklar ve profiller gibi bir çok malzeme içerisinde haddelene, döküm, dövme v.b. işlemler esnasında ortaya çıkarlar. Bunlar kaynak yaparken olduğu gibi metal parçaları kesme, bükme, taşlama v.b. işlemlerle şekillendirirken de oluşurlar. (2)

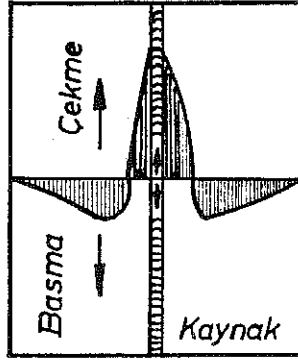
Çeşitle aşamalardaki ısıl işlemlerde artık gerilmeleri etkileyebilir. Mesela, gerilme gidermek için yapılan ısıl işlemler, artık gerilmeleri azaltırken, sertleştirme işlemleri artık gerilmeye sebep olur.

2.1 Makroskobik ve Mikroskobik Seviyedeki Artık Gerilmeler :

İçerisinde artık gerilme bulunan bölgeler çok büyük ölçülerdeki metal yapılardan çok küçük ölçülerdeki yapılara kadar çeşitlidirler.Şekil 2-1 değişik büyüklükteki yapılar üzerinde oluşan makroskobik artık gerilmeleri göstermektedir. Mesela bir yapı yalnızca bir taraftan güneş enerjisi ile ısıtıldığında şekil 2-1 a'da görüldüğü gibi yapı içerisinde ısıl gerilmeler ve ısıl distorsiyonlar meydana gelir.Şekil 2-1 b, kaynak neticesi oluşmuş artık gerilmeleri göstermektedir:artık gerilmeler kaynak dikişine yakın bölgelere dağıtılmıştır.Şekil 2-1 c,taşlama neticesi oluşmuş artık gerilmeleri göstermektedir:artık gerilme yüzey etrafında oldukça ince bir tabakaya yoğunlaşmıştır.

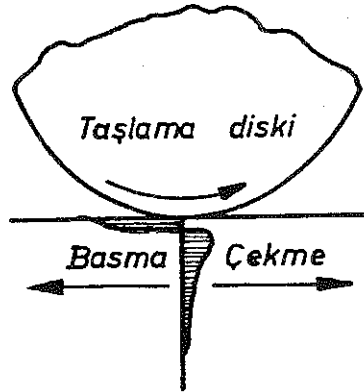


A. Güneş enerjisi ile ısınan yapıda termal distorsiyon oluşumu



*b. Kaynak sonucunda
oluşan artık
gerilmeler*

Sekil 2.1-b



*C. Taşlama sonucunda
oluşan artık
gerilmeler*

Sekil 2.1-c

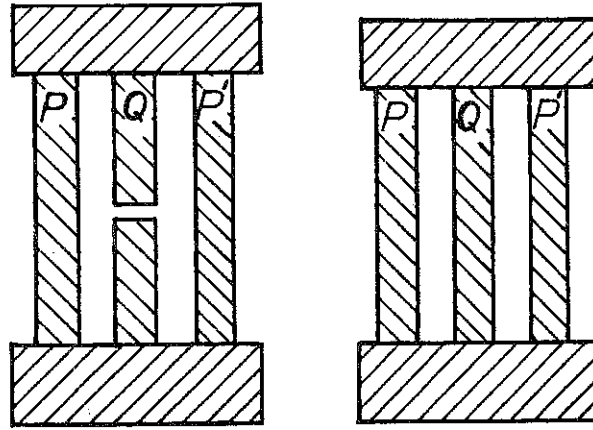
Sekil 2.1 Değişik ölçülerdeki makroskobik artık gerilmeler (2).

Artık gerilmeler mikroskobik seviyelerde görülebilir. Mesela artık gerilmeler,çelik içerisinde martenzitik yapıların etrafındaki bölgelerde meydana gelir,zira nisbeten düşük sıcaklıklarda meydana gelen martenzit oluşumu metalin genişlemesine sebep olur.Atomik seviyedeki artık gerilmeler dislokasyonlar etrafındaki bölgelerde de vardır.Bu bölüm esasen makroskobik seviyede artık gerilmelere değinmektedir.(2)

2.2 Artık Gerilmenin Oluşumu :

Artık gerilmeler onları oluşturan mekanizmalara göre sınıflandırılır .Bu mekanizmalar,yapısal uyumsuzluk,plastik ve ısısal gerinimler dahil olmak üzere elastik olmayan gerinimlerin düzensiz dağılımıdır.

2.2.1 Uyumsuzluğun ortaya çıkardığı artık gerilmeler: Şekil 2.2 farklı boydaki çubukların zorla bağlanması durumunda artık gerilmelerin ortaya çıktığı basit bir durumu göstermektedir.Kısa olan çubukta,(Q) çekme gerilmeleri ve daha uzun olan çubuklarda,(P ve P'), basma gerilmeleri oluşmaktadır.(1)



a. Serbest durum

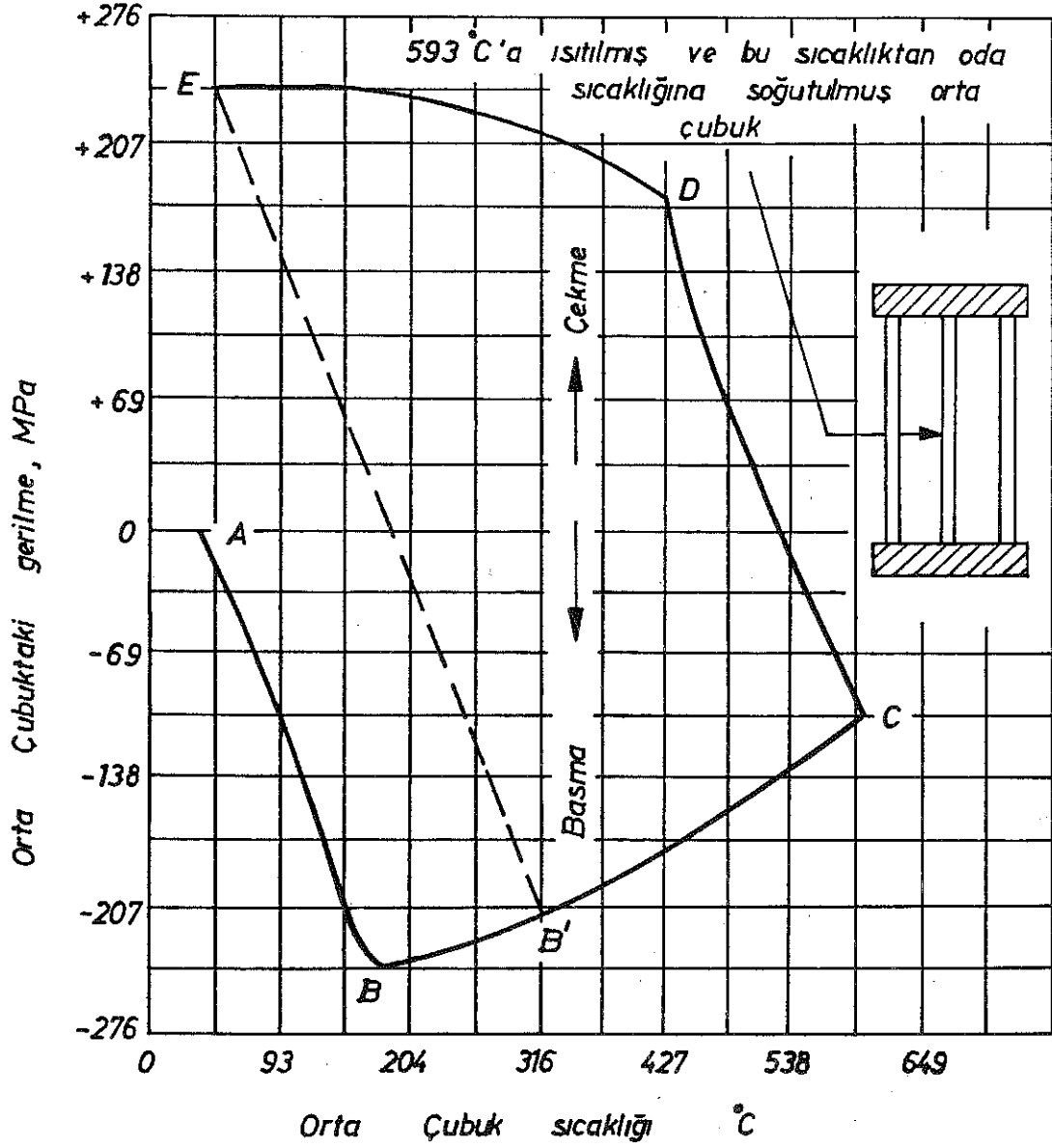
b. Sınırlandırılmış durum

Sekil 2.2 Farklı boydaki çubukların zorla bağlanması durumunda artık gerilmelerin ortaya çıktığı pozisyonlar (1).

Sekil 2-3 bir ısıtma ve soğutma dönüşümünün artık gerilmelere yol açıp nasıl uyumsuzluk yarattığını göstermektedir. Şekilde eşit uzunlukta üç adet karbon çeliğinin kesit bölgeleri iki rijit blok ile bağlanmıştır. Bloklar ve orta çubuk 593°C 'a ısıtılmış ve oda sıcaklığına kadar yeniden soğutulmuştur, bu arada yan çubuklarda oda sıcaklığında tutulmuştur. Orta çubuktaki gerilmenin sıcaklığa bağlı olarak (nokta nokta gösterildiği şekil 2.3 diyagramı), artık gerilmelere nasıl dönüştüğünü göstermektedir. İki yandaki çubuklar ortadaki tek çubuğun deformasyonuna karşı dayanırken her iki yandaki çubukların gerilmeleri ortadaki çubuktaki gerilmenin yarısına eşit ve göstergede denklik şartının tersine eşittir.

Orta çubuk ısıtıldığında, çubukta basma gerilmeleri oluşur, çünkü genişleme eğilimi yan çubuklar tarafından zorlanır. Orta çubuğun sıcaklığı yükselirken, içindeki gerilme

AB çizgisinde gösterildiği gibi değişir. B noktasında gösterildiği gibi sıcaklık yaklaşık 170°C iken basma da akma gerilmesine varılır.



Şekil 2.3 Üç çubuktan oluşmuş kesitte orta çubuğun sıcaklık-gerilme eğrisi (1).

B noktasının ilerisinde, sıcaklık, yükselirken orta çubuktaki gerilme BC eğrisinde gösterildiği gibi her karşılık gelen sıcaklıkta akma gerilmesine sınırlandırılır.

Sogutma esnasında sıcaklık 593°C 'a düştüğü zaman orta çubuktaki hareket yine elastikidir. Orta çubuğun basma gerilmesi hızla düşer, çekmeye dönüşür ve D noktasında gösterildiği gibi çekmede akma gerilmesine ulaşılır. Sonra sıcaklık daha da düşerken orta çubuktaki gerilme DE eğrisi ile gösterildiği gibi bir kere daha her karşı gelen sıcaklıkta akma gerilmesine sınırlandırılır. Bu yüzden, oda sıcaklığında akma gerilmesine eşit olan bir çekme artık gerilmesi orta çubukta toplanır. Yan çubuklardaki artık gerilmeler basma gerilmeleridir. Ve orta çubuktaki çekme gerilmelerinin yarısına eşittir. B'E çizgisi, aynı ölçüdeki artık gerilmenin ki bu oda sıcaklığında akma gerilmesine eşittir, orta çubuğun 315°C 'den daha yüksek herhangi bir sıcaklıkta ısıtılmasıyla oluşacağını göstermektedir. (1)

2.2.2 Düzensiz dağılmış elastik olmayan gerinimlerin meydana getirdiği artık gerilmeler : Daha öncede belirtildiği gibi bir malzeme, uniform olarak ısıtıldığında uniform bir biçimde genleşir ve ısısal gerilmeler oluşmaz. Diğer yandan, bir malzeme uniform olmayan bir şekilde ısıtıldığında ısısal gerilmeler oluşur. Artık gerilmeler de plastik gerinimler gibi elastik olmayan düzensiz biçimde dağıtılmış gerinimler mevcut olduğu zamanlar oluşur. Aşağıdakiler, iki boyutlu bir düzlem gerilmelerde ($\sigma_x=0$) artık gerilme alanı için temel bağıntılardır:

a- Gerinimler elastik ve elastik olmayan olarak gruplanabilir:

Gerinimler :

$$\epsilon_x = \epsilon'_x + \epsilon''_x$$

$$\epsilon_y = \epsilon'_y + \epsilon''_y$$

$$\gamma_{xy} = \gamma'_{xy} + \gamma''_{xy} \dots\dots 2.1$$

$\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}$ toplam gerinim unsurları,

$\epsilon'_x, \epsilon'_y, \gamma'_{xy}$ elastik gerinim unsurları

$\epsilon''_x, \epsilon''_y, \gamma''_{xy}$ elastik olmayan gerinim unsurları

olduğunda

*Genel bir üç boyutlu gerilme alanında, altı gerilme unsuru bulunur. $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{zy}, \tau_{zx}$

Elastik olmayan gerinim, plastik gerinim, ısıl gerinim v.b.olabilir.**

** Isıl gerilme durumunda $\epsilon''_x = \epsilon''_y = \alpha \Delta T, \gamma''_{xy} = 0$

burada α lineer ısıl genleşme katsayısı, ΔT sıcaklığın ilk sıcaklıktan değişimidir. Eger elastik olmayan gerinim unsurları bu durumun lineer fonksiyonları ise, (3)

$$\epsilon''_x = a + bx + dy, \quad \epsilon''_y = \epsilon + fx + gy, \quad \gamma''_{xy} = k + lx + my$$

sonra R=0 Netice olarak artık gerilme olmayacaktır.

b- Gerilme ile elastik gerinim arasında bir Hooke kanunu vardır, bu yüzden:

$$\epsilon'_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu\sigma_y)$$

$$\epsilon'_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - \nu\sigma_x)$$

$$\gamma'_{xy} = \frac{1}{G} \tau_{xy} \dots\dots\dots 2.2$$

c- Gerilme eşitlik şartlarını sağlamalıdır :

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots 2.3$$

d- Toplam gerinim uygunluk şartını sağlamalıdır:

$$\left[\frac{\partial^2 \epsilon'_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon'_y}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma'_{xy}}{\partial x \partial y} \right] + \left[\frac{\partial^2 \epsilon''_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon''_y}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma''_{xy}}{\partial x \partial y} \right] = 0 \dots\dots\dots 2.4$$

2.3 ve 2.4 eşitlikleri gösteriyor ki,artık gerilmeler aşağıda gösterildiği gibi elastik olmayan gerinim tarafından belirlenen R değeri "0" olmadığı zaman oluşur:

$$R = - \left[\frac{\partial^2 \epsilon_x''}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_y''}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma_{xy}''}{\partial x \partial y} \right] \dots\dots 2.5$$

Uygunsuzluk(tutarsızlık,zıtlık)olarak tanımlanan "R" değeri artık gerilmelerin sebebi olarak gösterilebilir.

Birçok araştırmacı artık gerilmelerin matematik analizini yapmışlardır.Gerilme unsurlarını hesaplamak için birçok eşitlikler vardır. σ_x, σ_y ve γ_{xy} elastik olmayan gerinimin belli değerleri için $\epsilon_x'', \epsilon_y'', \gamma_{xy}''$ Bu matematik analizlerden önemli bulgular elde edilmiştir.Bunlardan bazıları:

1) Bir konstrüksiyondaki artık gerilmeler,o konstrüksiyona harici yük uygulandığında meydana gelen değişiklikleri ölçmek suretiyle hesaplanamaz.(Bu yüzden konstrüksiyon artık gerilmeleri hesap etmek için kesilmelidir.)

2) Elastik gerinim unsurları $\epsilon_x', \epsilon_y', \gamma_{xy}'$ hesaplandıktan sonra: σ_x, σ_y ve γ_{xy} artık gerilmeleri 2.2 eşitliğinden hesaplanabilir.Bununla birlikte artık gerilmelere sebep olan elastik olmayan gerinim unsurları $\epsilon_x'', \epsilon_y''$ ve γ_{xy}'' artık gerilmenin oluşumu hakkında bilgi sahibi olmadan hesap edilemez.

2.2.3 Artık gerilmelerin denklik şartı: Artık gerilmeler harici kuvvetler olmadan ortaya çıktığı için artık gerilmelerin oluşturduğu nihai güç ve nihai moment sıfıra varmalıdır:

$$\int \sigma dA = 0 \quad \text{herhangi bir düz kesitte 2.6 ve}$$
$$\int dM = 0 \quad \dots \dots 2.7$$

Herhangi bir deney ile hesap edilen artık gerilme verilerinin yukarıdaki şartlara uygunluğunu kontrol etmek çok önemlidir.

2.3 Kaynak Sırasındaki Isısal Gerilmeler ve Neticede Ortaya Çıkan Artık Gerilmeler :

Sekil 2.4 kaynak sırasında sıcaklık ve gerilme değişimlerini şematik olarak göstermektedir. X eksenı boyunca bir plaka üzerinde kaynak dikişı yapılmaktadır v hızıyla hareket eden kaynak arki şekil 2.4 a'da gösterildiği gibi o başlangıcına yerleştirilmiştir.

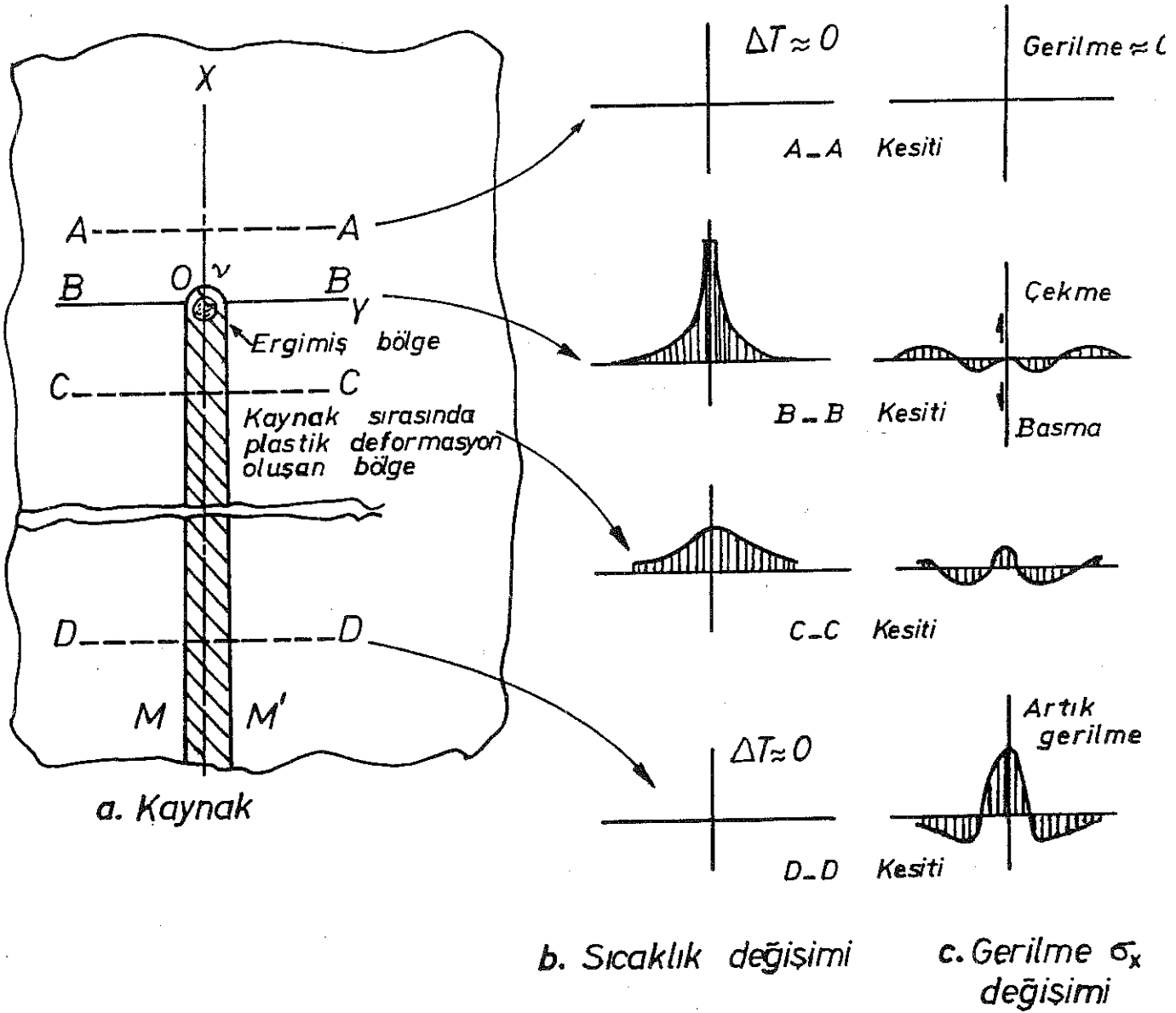
Sekil 2.4 a'da çapraz taranmış olan 'bölge,M-M' kaynakda ısısal dönüşüm esnasında plastik deformasyonun meydana geldiği sahadır. o başlangıçlı yanındaki elips,metalın eridiği bölgeyi göstermektedir.Taranmış bölgenin dışında kalan bölge bütün kaynakta ısısal dönüşüm sırasında elastik kalmıştır.(2)

Şekil 2.4 b. belirli kısımlardaki sıcaklık dağılımını göstermektedir. Kaynak arkının başındaki A-A kesiti boyunca kaynağa bağlı olarak sıcaklık değişimi ΔT , hemen hemen sıfırdır. Kaynak arkını kesen B-B boyunca sıcaklık dağılımı oldukça diktir. Kaynak arkından biraz uzaktaki C-C kesiti boyunca, sıcaklık değişimi dağılımı daha az diktir. Kaynak arkından oldukça uzak olan D-D kesiti boyunca kaynağa bağlı olarak sıcaklık değişimi yine hemen hemen sıfıra inmiştir.

Şekil 2.4-c X doğrultusu boyunca bu kesitlerin σ_x gerilme dağılımını göstermektedir. y doğrultusundaki gerilme σ_y ve makaslama gerilmeside τ_{xy} iki boyutlu bir gerilme alanında mevcuttur.

A-A kesiti boyunca kaynağa bağlı ısıl gerilmeler hemen hemen sıfırdır. B-B kesiti boyunca gerilme dağılımı şekil 2.4-c'de gösterilmiştir. Kaynak arkı altındaki bölgelerdeki gerilmeler sıfıra yakındır, çünkü erimiş metal yükleri desteklemez. Arkdan bir miktar uzak olan bölgelerdeki gerilmeler basma gerilmesidir, çünkü bu bölgenin genişmesi etrafındaki metal tarafından yani düşük sıcaklıklarda sınırlandırılır. Bu bölgelerin sıcaklıkları oldukça yüksek ve metalin akma dayanımı düşük olduğundan bu bölgelerdeki gerilmeler ana metalin karşılık gelen sıcaklıklarındaki akma dayanımı kadar yüksektir. Basma gerilmesinin büyüklüğü kaynaktan gittikçe artan bir mesafe veya azalan sıcaklık ile büyür. Bununla birlikte kaynaktan uzak bölgelerdeki çekme gerilmeleri kaynak yakınındaki bölgelerin basma gerilmeleri

ile aynı ölçüdedir. Bu yüzden, B-B kesiti boyunca gerilme dağılımı şekil 2.4-c'de gösterildiği gibidir.



Sekil 2.4 Kaynak sırasında sıcaklık ve gerilme değişimlerinin şematik gösterimi (2).

Sekil 2.4-c'de gösterildiği gibi C-C kesiti boyunca kaynak metali ve ana metal soğumuş ve büzölmeye başlayarak kaynak yakınındaki bölgelerde çekme gerilmelerini ortaya çıkarmıştır. Kaynağa olan mesafe arttıkça gerilmeler önce basma ve sonra çekme şeklindedir. D-D kesiti boyunca kaynak yakınındaki bölgelerde yüksek çekme gerilmeleri oluşurken aynı zamanda kaynağa uzak olan bölgelerde de basma gerilmeleri oluşur.

Önceki paragraflardan da anlaşılacağı üzere, kaynak işlemi esnasında ısıl gerilmeler oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar değişen sıcaklıklarda plastik deformasyonu da içeren karmaşık bir mekanizma tarafından meydana getirilir. Plastik deformasyonu incelemek özellikle yüksek sıcaklıklarda, zor olduğundan bugün oldukça sınırlı durumlarda mesela nokta kaynağındaki gibi çok basit analizler kullanılmaktadır.

2.4 Kaynak Metalindeki Artık Gerilmeler ve Reaksiyon Gerilmeleri:

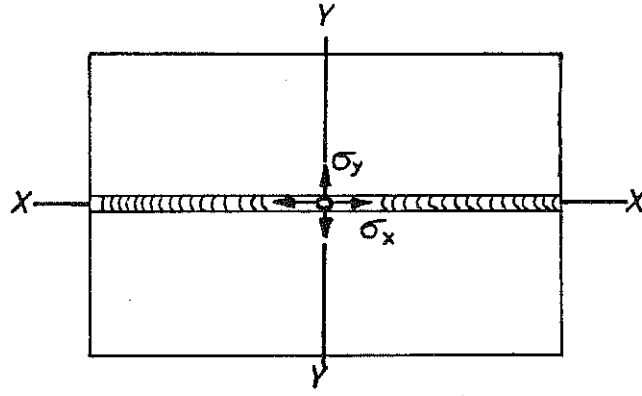
Kaynaklanmış yapıların üretimi sırasında ortaya çıkan artık gerilmeler şöyle sınıflandırılabilirler:

- 1) Serbest (sınırlanmamış) parçaların kaynağında ortaya çıkan artık gerilmeler
- 2) Dışarıdan konulan sınırlandırıcının sebep olduğu reaksiyon gerilmeleri.

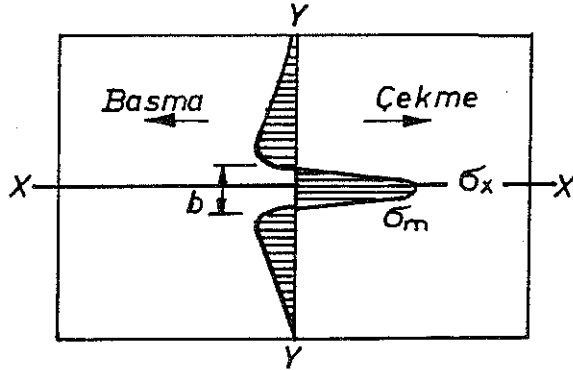
Şekil 2.5'de alın kaynağı içerisindeki hem boyuna hemde enine artık gerilmelerin tipik bir dağılımı gösterilmiştir. Bu tip gerilmeler σ_x olarak gösterilen kaynak doğrultusuna paralel olanlar ve σ_y olarak gösterilen ona enine olan gerilmelerdir.

Şekil 2.5-b'de boyuna artık gerilmelerin σ_x dağılımını göstermektedir. Büyük ölçüdeki çekme gerilmeleri kaynak yakınındaki bölgede ortaya çıkarlar. Bu gerilmeler hızla azalır ve kaynak metalinin genişliğinin bir kaç katı bir mesafeden sonra basma gerilmesi haline gelir. Gerilme dağılımı iki parametre tarafından karakterine edilir: 1-) Kaynak bölgesinde maksimum gerilme σ_m ve 2-) Artık gerilmedeki çekme bölgesinin genişliği b. Düşük karbonlu çelikte yapılan kaynak işlemlerinde maksimum artık gerilme σ_m genellikle kaynak metalinin akma gerilmesi kadar yüksektir. (2)

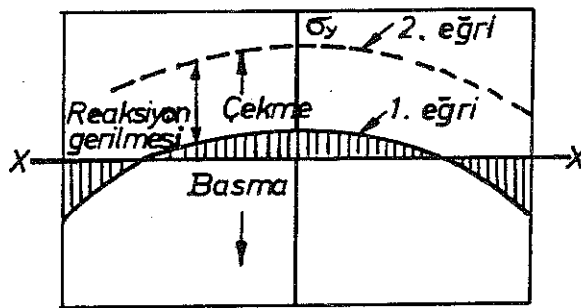
Kaynak boyunca artık gerilmenin dağılımı σ_y şekil 2.5-c'de 1. egride gösterilmiştir. Birleşim bölgesinin orta bölümünde nisbeten düşük ölçüde çekme gerilmesi ve uçlarında basma gerilmesi oluşur.



a. Alın kaynağı



b. Y-Y Doğrultusunda σ_x 'in dağılımı



c. X-X Doğrultusunda σ_y 'nin dağılımı

Şekil 2.5 Alın kaynağında artık gerilmelerin tipik dağılımı (2).

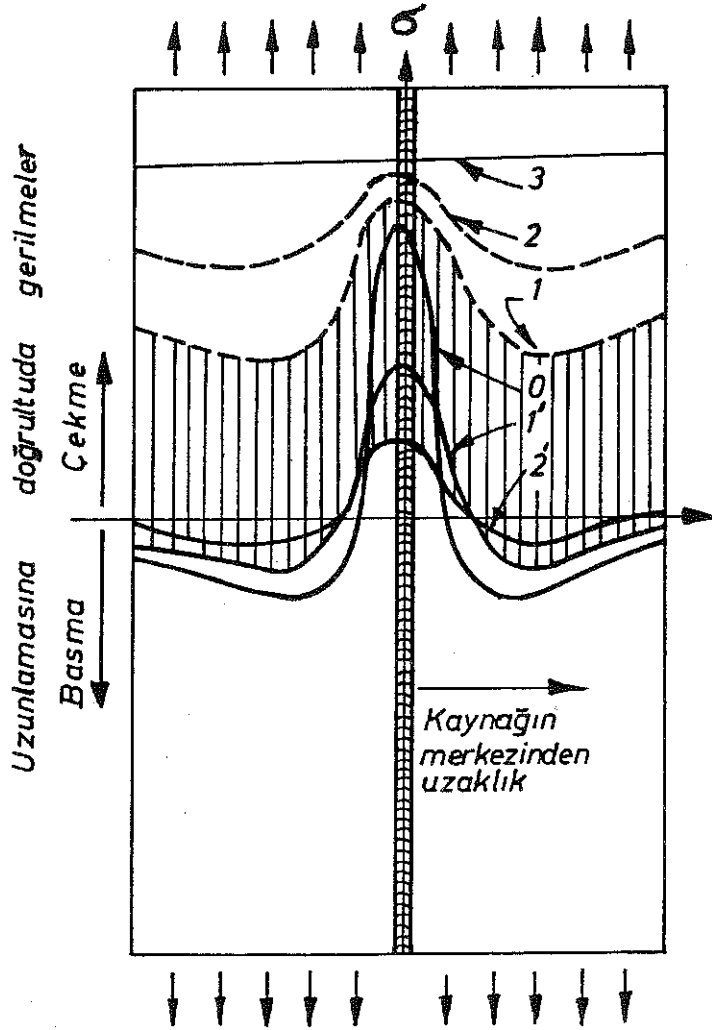
Eger kaynak birleşiminin yana doğru büzülmesi dışarıdan sınırlayıcılar ile sınırlandırılmışsa kaynak boyunca hemen hemen uniform olan çekme gerilmesi reaksiyon gerilmesi olarak artar. Bununla birlikte harici sınırlayıcıların σ_x artık gerilmeler üzerinde az bir etkisi vardır. Eger kaynak 25 mm (1 inç) kalınlığında kuvvetli (ağır) bir plaka üzerine yapılıyorsa kalınlık doğrultusunda artık gerilmeler σ_z önemli hale gelir.

3. ARTIK GERİLMELERİN ETKİLERİ :

Belli şartlar altında artık gerilmeler kaynaklanmış yapıların kırılma dayanımlarını azaltırlar: Bununla birlikte bu şartlar altında dayanım kaybı fazla olur. Genelde kırılmalar düşük seviyede uygulanmış gerilmeler altında meydana gelirse artık gerilmeler önemlidirler.(1)

3.1 Çekme Gerilmeleri Altında Kırılmalar :

3.1.1 Çekme yüklemesine maruz kaynaklarda artık gerilme değişimleri: Şekil 3.1 bir alın kaynağı çekme yüklenmelerine maruz kaldığında artık gerilmelerin nasıl değiştiğini göstermektedir. O eğrisi kaynaklanmış durumda boylamasına artık gerilmelerin yatay dağılımını göstermektedir. Uniform çekme gerilmesi $\sigma = \sigma_1$ uygulandığında gerilme dağılımı 1. egrideki gibi gösterilecektir. Kaynağın yakınındaki bölgelerdeki gerilmeler akma gerilmesine ulaşacaklardır ve gerilmenin çöğunluğu kaynağa uzak olan bölgelerde artacaktır. Çekme gerilmesi uygulaması ile σ_2 ye yükseldiğinde gerilme dağılımı eğri 2'de gösterildiği gibi olacaktır. Uygulanan gerilimin seviyesi yükseldikçe kaynak kesiti boyunca gerilme dağılımı daha düzenli hale gelecektir :Yani kaynak artık gerilmesinin gerilme dağılımına etkisi azalacaktır.(1)



Eğri-0: Kaynak yapılmış durumda artık gerilmeler

Eğri-1: $\sigma = \sigma_1$ halinde gerilme dağılımı

Eğri-2: $\sigma = \sigma_2$ halinde gerilme dağılımı

Eğri-3: Genel akma halinde gerilme dağılımı

Eğri-1': $\sigma = \sigma_1$ uygulandıktan ve bu gerilme kaldırıldıktan sonra artık gerilmelerin dağılımı

Eğri-2': $\sigma = \sigma_2$ uygulandıktan ve bu gerilme kaldırıldıktan sonra artık gerilmelerin dağılımı

Şekil 3.1 Üniform çekme yükü uygulandıktan sonra yükün kalkmasıyla oluşan artık gerilmelerin alın kaynağında şematik dağılımları (1).

Uygulanan gerilmenin seviyesi yükseldikçe genel akma ortaya çıkar:Bütün kesit boyunca akma oluşur.Genel akmada gerilme dağılımı eğri 3 ile gösterilmiştir.Genel akmanın ötesinde,artık gerilmenin gerilme dağılımı üzerinde etkisi hemen hemen yoktur.(1)

Diğer bir hususta şudur:Çekme yüklerinden sonra artık gerilme dağılımı kalmaz.Eğri 1 yüklerin boşalmasından sonra çekme gerilmesi $\sigma = \sigma_1$ kaynağa uygulanıp serbest bırakıldığı zaman kalan artık gerilmeleri göstermektedir.Eğri 2 ise çekme gerilmesi $\sigma = \sigma_2$ uygulanıp serbest bırakıldığı zaman artık gerilme dağılımını göstermektedir.

Orijinal artık gerilme dağılımına göre(eğri 0) mukayese edince yüklemeden ve yüklerin boşaltılmasından sonraki artık gerilme dağılımı daha düzgündür.Yüklemenin seviyesi arttıkça boşalmadan sonraki artık gerilme dağılımı daha düzgün hale gelmektedir:Yani kaynak artık gerilmesinin gerilme dağılımı üzerine etkisi azalmaktadır.

Buraya kadar yaptığımız inceleme artık gerilmenin etkileri hakkında bizi şu ana neticelere götürmektedir:

1-) Artık kaynak gerilmesinin kaynaklanmış yapıların verimi üzerindeki etkisi sadece düşük seviyelerde uygulanan gerilmelerin altında ortaya çıkan gevrek kırılma ve gerilme korozyon çatlaması gibi olaylarda önemlidir.

2-) Uygulanan gerilmenin seviyesi yükseldikçe artık gerilmenin etkisi azalmaktadır.

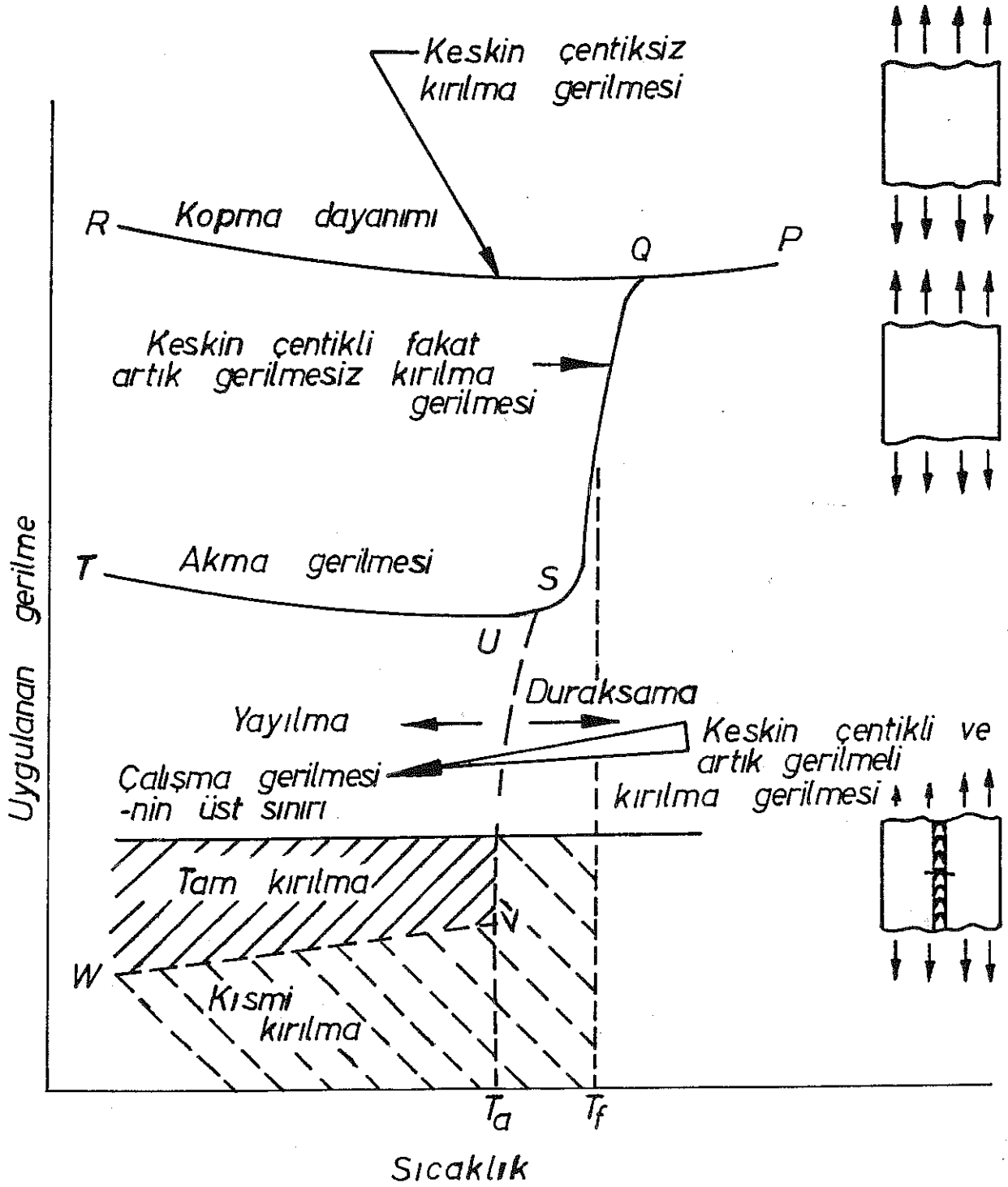
3-) Akmanın üstünde uygulanan gerilmelerin altındaki artık gerilmelerin kaynaklanmış yapıların verimi üzerindeki etkisi gözardı edilebilir.

4-) Tekrarlanan yüklemelerden sonra artık gerilmenin etkisi azalmaya yöneliktir.

3.1.2 Düşük seviyede uygulanan gerilmelerin altındaki gevrek kırılma veya stabil olmayan kırılma : Artık gerilmelerin kaynaklanmış çelik yapıların gevrek kırılmaları üzerindeki etkileri için yoğun çalışmalar yapılmıştır.

DeneySEL Çalışmalar: Araştırmacılar gemiler ve diğer yapılardaki gevrek kırılmalardan elde edilen bilgilerle çentikli örneklerden elde edilen deneysel sonuçlar arasındaki farklılıkları incelemişlerdir. Gerçek kırılmalar malzemenin akma gerilmesinin oldukça altında oluşmuşlardır. Bununla birlikte çentik açılmış bir örneğin kırılma gerilmesi örnekler çok keskin çatlaklar içermesi durumunda bile, akma gerilmesi kadar yüksektir. Kaynakların düşük seviyede uygulanan gerilme kırılmaları üzerinde bir dizi araştırma yürütülmüştür. Belli test şartları altında bir örneğin bütün kırığı uygulanan gerilmenin büyüklüğü malzemenin akma gerilmesinden önemli ölçüde düşük olduğu zaman ortaya çıkmıştır.(5)

Sekil 3-2 Kaynaklanmış karbon çeligi örneklerinin değişik sıcaklıklarda genel kırılma dayanımı eğilimleri ve keskin çentik ile artık gerilmenin kırılma dayanımı üzerine etkilerini göstermektedir.



Şekil 3.2 Keskin çentik ve artık gerilmelerin kırılma dayanımı üzerine etkisi (5).

Bir örnekte keskin bir çentik yoksa PQR eğrisinde de gösterildiği gibi kırılma (Test sıcaklığında gösterildiği gibi) malzemenin kopma dayanımında olacaktır. Bir örnekte keskin bir çentik varsa (ancak artık gerilme olmamalı), kırılma PQST eğrisinde gösterilen gerilmede olur. Sıcaklık T_f kırılma geçiş sıcaklığından yüksekse, yüksek gerilme de yüksek bir enerji (kesme tipi) kırılması olur. Sıcaklık T_f 'den düşükse, kırık görünümü bir düşük enerji (ayrılma) tipine dönüşür. Ve kırıktaki gerilme düşerek akma gerilmesine yaklaşır. Çentik yüksek çekme artık gerilmelerinin bulunduğu bölgelerde bulunuyorsa şu çeşit kırılmalar görülür:

1-) T_f 'den daha yüksek sıcaklıklarda, kırılma gerilmesi kopma dayanımıdır. (PQR eğrisi). Artık gerilmelerinin kırılma gerilmesi üzerine hiç bir tesiri yoktur.

2-) T_f 'den daha düşük fakat çatlak önleme sıcaklığı T_a 'dan yüksek olan oda sıcaklıklarında düşük bir gerilmede bir çatlak başlayabilir ancak bu önlenecektir.

3-) T_a 'dan daha düşük olan sıcaklıklarda çatlak başlangıcındaki gerilmeye bağlı olarak şu iki olaydan biri olur:

a- Eğer gerilme VW kritik gerilmeden düşükse, çatlak küçük bir yol katettikten sonra durdurulacaktır. Tam kırık ST akma gerilmesinde oluşacaktır.

b- Eğer gerilme VW'dan yüksekse tam kırılma oluşacaktır.

Artık gerilmenin stabil olmayan kırık üzerindeki etkisini incelemek için kırılma mekanik kavramları kullanılmaktadır (6). Bu tür bir inceleme şunu

göstermektedir:Stabil olmayan bir çatlak artık gerilmelerin olmadığı bir ortamda normal olarak stabil olacak olan çatlaklardan daha iyi gelişebilmektedir.Olayların gelişimi şöyledir: Artık gerilmelerin olmadığı bir bölgede küçük bir dönüşüm altında hata meydana geldiğinde,hataadaki gerilme şiddeti K malzemenin kırılması için K_c kritik değerinden azdır. K hem hatadaki gerilme hemde bunun uzunluğu için bir fonksiyondur.Eğer hata bir kaynak birleştirmesinin yakınında veya içinde olacak şekilde yüksek artık gerilme bölgesinde olursa gerilme şiddeti çok yüksek bir değere varır,belki de K_c değerine varır ve çatlak stabil olmayan bir şekilde artık gerilme bölgesinden çıkana kadar devam eder.Bu noktada çatlak,gerilmenin durumuna göre durdurulabilir veya büyümeye devam eder.Eğer bütün bünyedeki gerilme düşükse gerilme şiddeti düşük bir değere inebilir ve çatlak boyutunun büyümesi durdurulabilir.Buna karşın eğer çatlak boyutu hali hazırda azalan gerilme alanına rağmen K 'da önemli bir artış kaydedebilecek kadar geniş ise K değeri hata ile birleşerek K_c değerini geçebilir.Bu ikinci durumda çatlak stabil olmayan büyümeye devam edecek ve neticede yapı kırılacaktır.

Bu inceleme daha önceki yapılanlara oldukça benziyor ancak burada kırılma kontrol parametresi olarak kırılma sıcaklığı yerine kritik bir çatlak büyüklüğü ve K değeri kullanılıyor.iki yaklaşım birbirine yabancı değildir,bir malzeme için kritik K değeri, K_c ,bir sıcaklık fonksiyonudur ve böylece bir malzeme içerisinde sıcaklığı T_a değerine yükseltmek K_c 'yi çatlakı durdurmaya yetecek kadar yükseltmeye eşittir.

3.1.3 Kaynakların gevrek kırılmalarında gerilme gidermenin etkileri: Kaynaklarda artık gerilmeler uygun oran ve dağılımda plastik deformasyon elde etmek suretiyle azaltılabilirler. Plastik deformasyon ısıl olarak, mekanik olarak veya bu ikisinin birleşimi olarak uygulanabilir. Gerilme giderme işlemi olarak bilinen bu teknikte kaynaklanmış yapı bir fırın içerisine malzemenin kalınlık ve tipine bağlı olarak belirlenen bir süre boyunca belli bir sıcaklıkta ısıtılır ve sonra yavaş yavaş soğutulur (1).

Bir kaynağa bir yük uygulandığında artık gerilmeler bölgesel plastik deformasyona göre yeniden dağılırlar. Yük kaldırıldığında bu gerilmeler azalır. Mekanik gerilme giderme denilen bu etki karbon çeliğinden yapılmış, kaynaklanmış ve çentik açılmış geniş plaka örnekler üzerinde bir dizi deneyler halinde gösterilmiştir.

Bir dizi testte değişik gerilme seviyelerine çatlak başlangıcı için kritik sıcaklık T_c 'den yüksek olan 20 °C 50,100,150,200 ve 230 Mpa (7250,14500,21760,29010 ve 33360 psi) değerlerinde harici yük yüklenmiştir. Sonra yük azaltılmıştır. Bu mekanik gerilme giderme işlemlerinden sonra örnekler ve uygulanan gerilme yükleri -30 °C altına yeniden soğutulmuştur. Bu örneklerde bu kadar düşük sıcaklıkta bile çatlaklar yalnızca yükleme öncesi gerilmeler aşıldığında ortaya çıkmıştır.

Diger bir dizi testte örnekler bir saat süresince 320, 420,520 ve 620 °C (608,788,968 ve 1148°F) sıcaklığında bir fırına yerleştirilmek suretiyle ısısal gerilme giderme işlemine tabii tutuldu.Bu örneklerde kırılma gerilmeleri kaynakların yüksek sıcaklıklarda ısısal işleme tabii tutulduklarında yüksektiler,bu da şunu gösteriyor:yüksek sıcaklıklarda ısıtmak suretiyle daha fazla gerilme giderilmektedir.

3.2 Basma Yüklemesi Altında Burkulma :

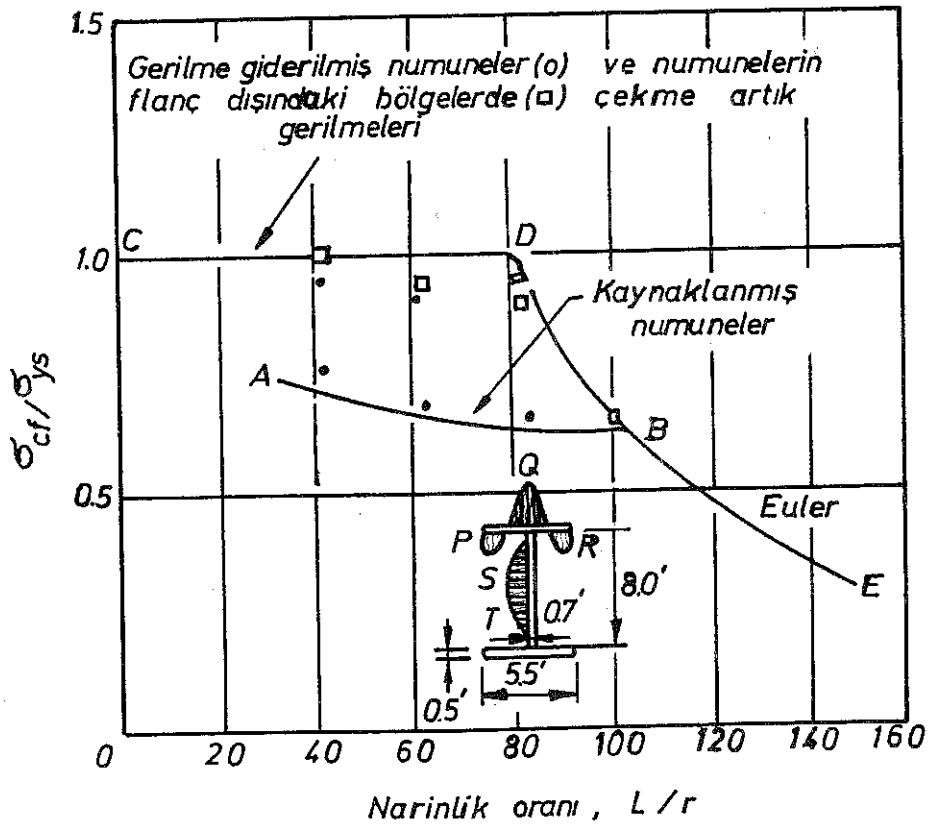
Eksenel basma yüklemesi eğilme veya burulma yüklemesine maruz kaldıklarında,ince çubuklardan veya plakalardan meydana gelen metal yapılarda burkulma veya stabil olmayan hatalar ortaya çıkar.Artık basma gerilmeleri bir metal yapının burkulma dayanımını azaltırlar, ve ayrıca artık gerilmelerin ortaya çıkardığı başlangıç distorsiyonlarıda burkulma dayanımını azaltırlar.Artık gerilmelerin kaynak edilmiş yapıların burkulma dayanımları üzerindeki etkileri ile ilgili problemleri şöyle sıralayabiliriz : (6)

- 1- Artık gerilme içeren dik kolonların burkulma dayanımı.
- 2- Artık gerilme içeren düz plakaların burkulma dayanımı.
- 3- Artık gerilmelerle birlikte başlangıç distorsiyonları içeren plaka ve kolonların burkulma dayanımı.

3.2.1 Basma yüklemesi altında kolonlar: Bazı araştırmacılar tarafından inşaat kolonlarının stabil olmaması hem analitik ve hem de deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmalar sonunda artık gerilmelerin kaynak yapılmış kolonların burkulma dayanımlarını özellikle bunlar Universal makinelerden yapılmış olduklarında önemli ölçüde azaltmaktadır (6).

Şekil 3.3 Eksenal basma yüklemesi altında Universal makinelerden yapılmış (freze gibi) ve kaynak yapmak suretiyle kurulmuş çelik I profillerini burkulma dayanımlarını göstermektedir. Şekil numunenin narinlik oranı L/r ile (L numunenin uzunluğu ve r ise dönme yarıçapıdır), malzemenin kritik gerilmesi ve akma dayanımı oranı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. PQR ve ST eğrileri, flanç ve flanç bağlantısı içerisinde olduğu halde kaynaklanmış bir kolonun uzunlamasına doğrultuda artık gerilme dağılımını göstermektedir. Flanç bağlantı ve flanç plakaları arasındaki kaynak ekleri kaynak yakınındaki bölgelerden artık çekme gerilmelerinin oluşmasına ve flanç dışındaki bölgeler ile flanç bağlantı plakası içindeki bölgelerde basma gerilmelerinin oluşmasına sebep olur. AB eğrisi kaynak yapılmış kolonların burkulma dayanımlarını ve CDE eğrisi ise gerilme giderilmiş numunelerin ve flanç dışındaki bölgelerdeki aynı zamanda bünyelerinde çekme artık gerilmeleri bulunan numunelerin burkulma dayanımlarını göstermektedir. AB ve CDE eğrileri

teorik analizler neticesi elde edilmişlerdir:DE Euler denilen egridir.AB ise artık gerilmenin burkulma dayanımı üzerindeki etkisi hesaba katılarak elde edilmiştir.Kolonların zayıf eksenlerinde burkulma meydana gelmiştir.Kaynaklanmış, universal makinelerden yapılmış numuneler diğer tip numunelerden daha düşük kritik burkulma dayanımına sahip olmuşlardır,bu da şunu gösterir:Düzensiz bir artık gerilme dağılımı burkulma dayanımını önemli ölçüde zayıflatır.Deneysel bulgular ile teorik değerler arasında çok yakın bir uyum elde edilmiştir.Eğer kolonda da başlangıç distorsiyonları varsa burkulma dayanımı dahada zayıflayacaktır.



Şekil 3.3 Kolonların burkulma dayanımlarına artık gerilmelerin etkileri (6).

Diğer yandan oksijen kesme ile hazırlanmış plakalardan yapılmış olan kolonlarda flanç dışındaki bölgelerde normal olarak artık çekme gerilmeleri görülmüştür.Şekil 3.3'den bu konular içerisinde artık gerilmelere daha uygun bir model çizmekte ve gerilmesi giderilmiş kolonlara benzemektedir. Bu durumda plakayı oksijen kesme ile hazırlarken ve sonra kolona kaynak yaparken ortaya çıkan artık gerilmeler burkulma dayanımı açısından birbirini dengeleyecek şekilde birleşirler.Bu kolonların verimi sıcak haddelenmiş olanlarınkine hemen hemen eşit olmalıdır.

3.2.2 Basınç altında plakalar ve plaka yapıları: Şekil 3.4 artık gerilmelerin panel yapılarının burkulma dayanımları üzerine etkilerini göstermektedir.Şekil 3.4 'ü hazırlarken artık gerilme dağılımları üzerinde gösterildiği şekilde alınmıştır.Burada:

(1) Kaynak yakınındaki bölgelerde çekme artık gerilmeleri σ_{ys} akma gerilmeleri kadar yüksektir,ve ηt genişliğindeki bölgede yayılırlar.Burada t plaka kalınlığı ve η kaynağın her iki tarafındadır.

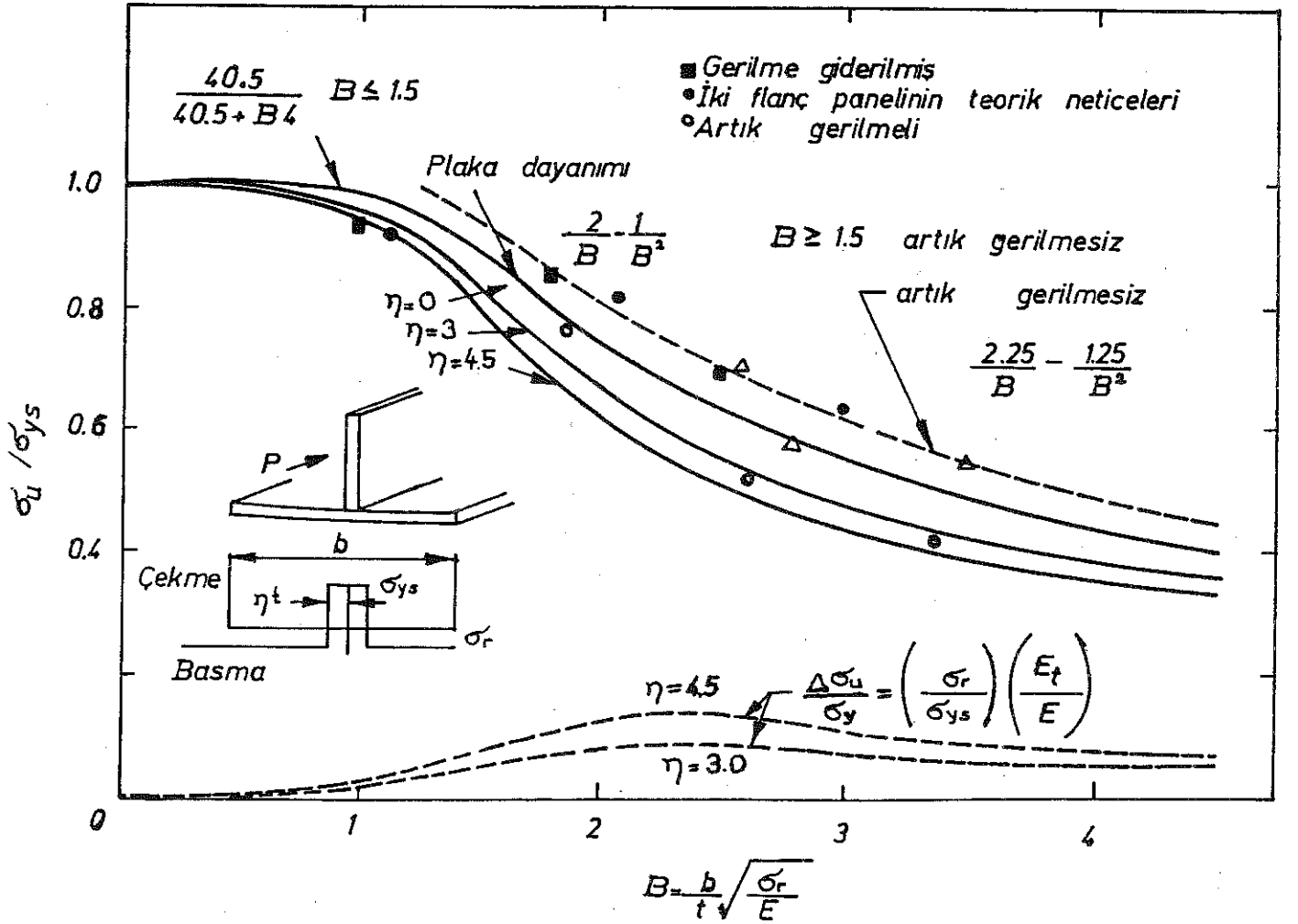
(2) Kaynaga uzak olan bölgelerde basma artık gerilmeleri sabittir.(tamamı σ_r 'ye eşittir).Buradan,(7)

$$(b-2\eta t)\sigma_r = 2\eta t.\sigma_{ys} \dots\dots 3.1$$

$$\sigma_r = \frac{2\eta}{b/t-2\eta} \sigma_{ys} \dots\dots 3.2$$

Şekil 3.4 de'ki eğriler σ_u/σ_{ys} değerlerini göstermektedir.Burada σ_u , $\eta=0$ (artık gerilme yok) için burkulma dayanımıdır. $\eta=3$ ve $\eta=4.5$ burada ayrıca $\Delta\sigma_u/\sigma_{ys}$

değerleri gösterilmektedir. $\Delta\sigma_u$,artık gerilmelere bağlı olarak burkulma dayanımındaki azalma : E, tanjant modülüdür. Sekil karmaşık görünmekle beraber tasarımcıların kaynak yapılmış panelleri burkulma dayanımlarını hesap etmekte kullanılabilecekleri bir yaklaşım sunmaktadır.



Şekil 3.4 Sağlamlaştırılmış panellerin burkulma dayanımları (7).

3.3 Yorulma Kırılması :

Bir numunenin özellikle yüzey kısmında basma artık gerilmeler bulunduğunda yorulma dayanımı artmaktadır. Bir çok araştırmalar sonucunda, numunelerde basma artık gerilmeleri mevcut olduğu zaman yorulma dayanımı (belli bir yük veya yorulma limitinin altında kırılmada çevrim sayısı) artmıştır. (9) Mesela araştırmacılar deneysel olarak belli tiplerdeki kaynaklanmış numunelerin bölgesel nokta ısıtması, bunların yorulma dayanımını arttırdığını bulmuşlardır. Diğer yandan bazı araştırmacılar artık gerilmelerin tekrarlanan yükleme sırasında atıldığını, bu yüzden artık gerilmelerin kaynakların yorulma dayanımı üzerindeki etkisinin önemsiz olduğuna inanmaktadırlar.

Yorulma kırılmasının önemli bir karakteristiği bir çok yorulma çatlığının yüzeyde oluşmasıdır. Yüksek yorulma dayanımı elde etmek için yüzeyin düzlüğü çok önemlidir. Örneğin kaynak takviyesini kaldırma, yüzey bozukluklarını taşıma ve diğer işlemler gerilme konsantrasyonunu azaltmada ve yorulma dayanımını arttırmada etkilidir. (8)

Artık gerilmelerin kaynakların yorulma dayanımları üzerinde etkilerini belirlemek için yapılan deneylerde numunelerin yüzey şartları dikkatlice kontrol edilmelidir. Yüzeyinde basma artık gerilmeleri bulunan bir numunede yüksek yorulma dayanımı olması olağandır. Yine de

numune bir yorulma çatlamaına sebep olan bir keskin çentik bulunduruyorsa kötü netice verebilir.(9)

3.4 Çevrenin Tesirleri :

Malzeme belli bir çevreden etkilenip gevrekleşiyor ve bünyesinde artık gerilmeler taşıyorsa herhangi bir harici yükleme olmaksızın kaynak içerisinde çatlaklar oluşabilir.Gerilme korozyon çatlamaı belli bir çevreden etkilenmiş bir malzeme içerisinde oluşan gevrek tip kırılmadır ve bu oyuklaşma,galvanik korozyon,taneler arası korozyon yahut kavitasyon gibi diğer bölgesel korozyon çeşitleriyle karıştırılmamalıdır.Belli çevre şartlarından etkilenmiş bir dizi demir ve demir dışı alaşımlar üzerinde gerilme korozyon çatlamaaları gözlenmiştir.Bazı önemli terkipler tablo 3.1 de verilmiştir.(10)

Yüksek dayanımlı çelikler hidrojene karşı duyarlıdır.Kaynaklarda bir çok çatlaklar kaynak işlemi sırasında hidrojen tarafından ortaya çıkarılmaktadır.Hacim merkezli kübik (BCC) kristal yapıllı çeliklere ilaveten,titanyum,zirkonyum ve bunların alaşımlarında hidrojen tarafından gevrek kırılmaya uğratılabilir.(10)

Değişik çeliklerin kaynaklarında hidrojenin sebep olduğu çatlaklar incelenerek bu çatlakların şeklini incelemek suretiyle bir kaynak içerisinde artık gerilmeleri dağılımını

belirlemeye yarayacak bir teknik geliştirilmeye çalışılmıştır.(11)

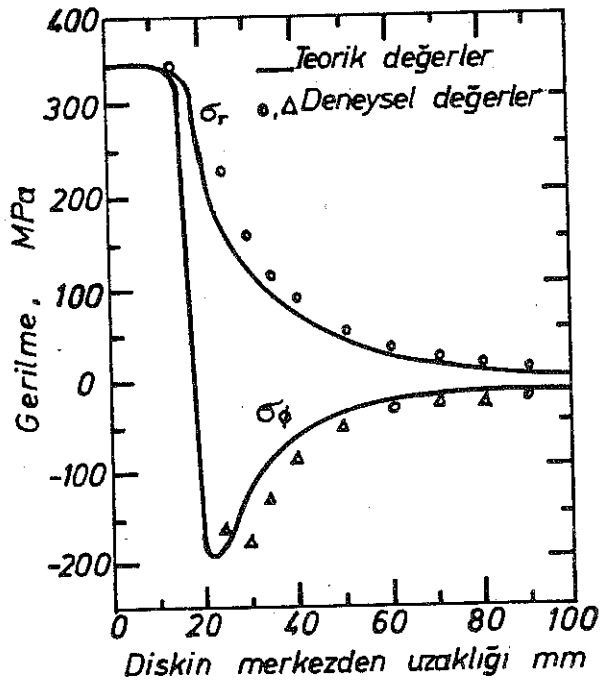
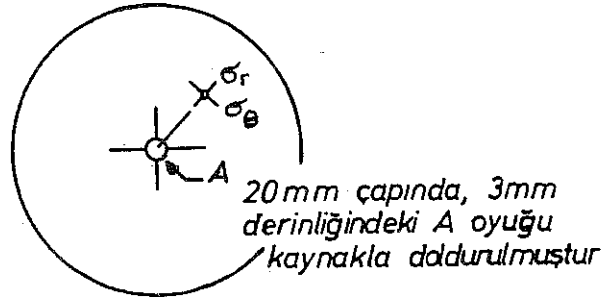
Tablo 3.1-Gerilme korozyon çatlamasına sebep olan çevreler.(10)

Alaşımlar :	Hassas çevreler :
Düşük alaşımlı çelikler	Nitratlar, hidroksitler, hidrojen sülfid
Kromlu paslanmaz çelikler (%12 Cr'dan daha fazla)	Hidrojen sülfid, su buharı
Ostenitik paslanmaz çelikler (18 Cr-8 Ni)	Kloritler, hidroksitler
Alüminyum alaşımları	Sodyum klorit, tropik çevreler
Titan alaşımları	Kırmızı alevli nitrik asit, klorlu hidrokarbonlar.

4. KAYNAKLARDAKI TİPİK ARTIK GERİLMELER :

4.1 Tipik Kaynaklardaki Artık Gerilmelerin Dağılımı:

4.1.1 Delik kaynağı: Şekil 4.1 dairesel bir delik kaynağı içindeki artık gerilme dağılımını göstermektedir. Kaynak içinde ve komşu bölgelerdeki, malzemenin akma gerilmesi kadar yüksek olan çekme gerilmeleri hem radyal (merkezden çevreye doğru) hemde tangental (teğetsel) bir istikamette oluşmuştur. Kaynaktan uzakta olan bölgelerde radyal gerilmeler çekme σ_r , teğetsel gerilmeler σ_θ basmadır; her iki gerilmede kaynağa olan mesafe r ile doğru orantılı olarak azalmaktadır (12).

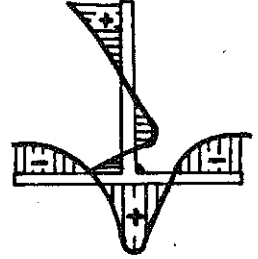
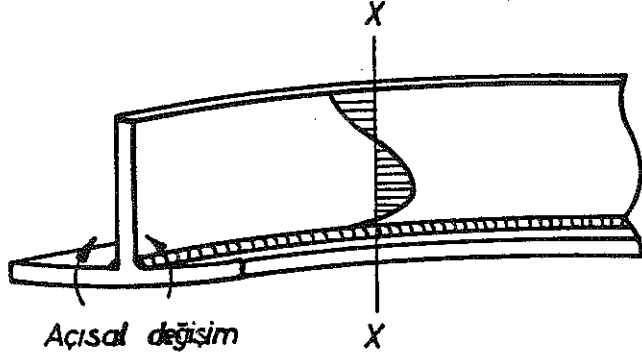


Sekil 4.1 Delik kayna\u011fı i\u00e7inde artık gerilmelerin deneysel ve teorik da\u011fılımları

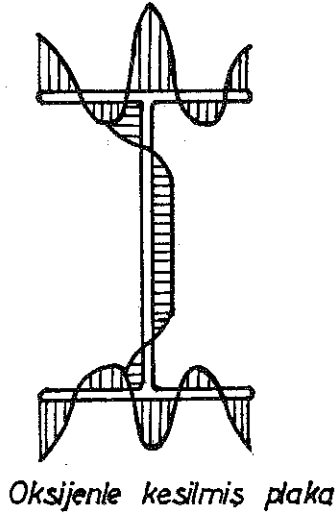
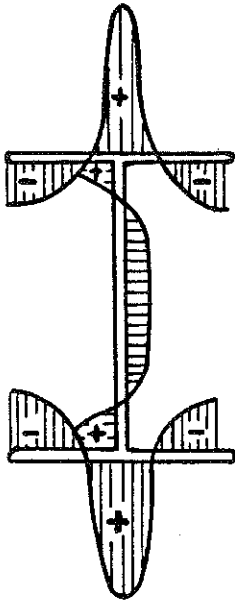
4.1.2 Kaynak yapılmış şekil ve kolonlar:Şekil 4.2, kaynak yapılmış parçalardaki tipik artık gerilme dağılımlarını göstermektedir.

Şekil 4.2-a,T şeklindeki bir parca içinde oluşan artık gerilme ve distorsiyonu göstermektedir.Kısım XX 'de olduğu gibi kolonun bir miktar uzağında bulunan bir kısımda eksene paralel istikametteki yüksek çekme artık gerilmeleri kaynağın etrafında oluşurlar.Sağdaki şekil,kısım XX içinde eksene paralel artık gerilmelerin dağılımlarını göstermektedir.Flanç içerisinde kaynak etrafındaki gerilmeler çekme ve kaynağa uzak olan bölgelerde basmadır.Flançın bağlantı kısmının üst kenarı etrafındaki bölgelerde bulunan çekme gerilmeleri,kaynağın boyuna çekmesinin sebep olduğu boyuna bükülme distorsiyonundan ileri gelmektedir.Açısal distorsiyonda oluşur (12).

Şekil 4.2-b ve c,H şeklinde parçalarda ve ondan sonraki sırada ise kaynaklanmış bir kutu içerisinde ortaya çıkan tipik artık gerilme dağılımlarını göstermektedir.Artık gerilmeler eksene paralel oluşmaktadır.Kaynak etrafındaki bölgelerde bunlar çekme ve kaynağa uzak olan bölgelerde basma gerilmeleri olarak ortaya çıkarlar.

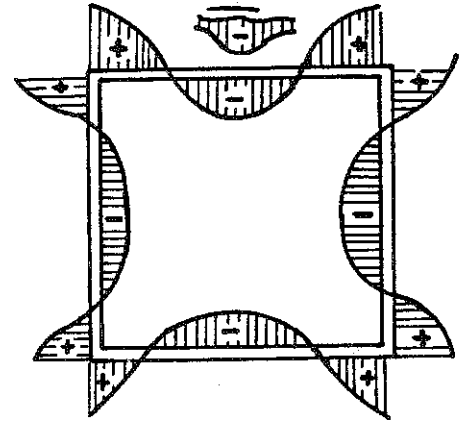


a. T-şeklindeki kaynaklanmış parçada artık gerilmeler ve distorsiyon



Universal freze

b. H-şeklindeki parçalarda artık gerilmeler

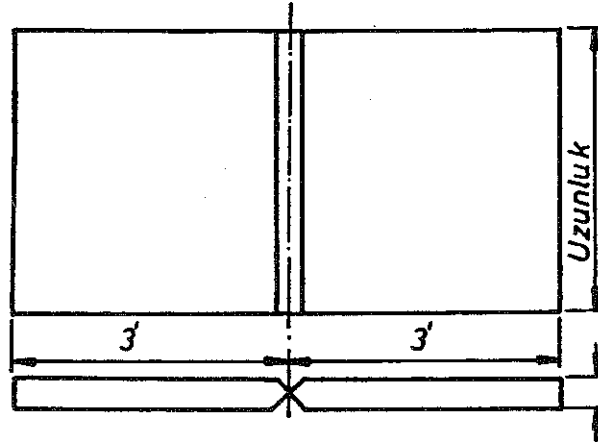


c. Kutu şeklindeki parçada artık gerilmeler

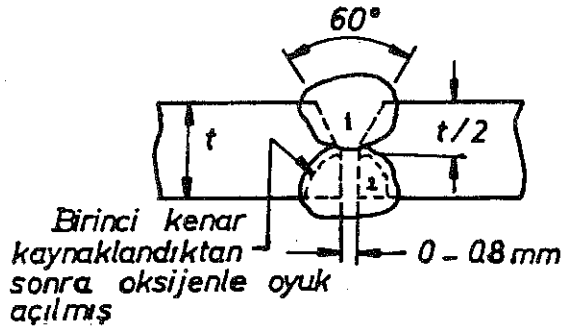
4.1.3 Plaklarda alın kaynağı: Alın kaynağı yapılmış plaklarda oluşan tipik artık gerilmeler daha önceden açıklanmış ve şekil 2.5 'de verilmiştir. Bu bölümün devam eden kısmında bu gerilmelerin boyutları üzerinde durulmaktadır.

4.2 Kaynaklarda Artık Gerilmeleri Etkileyen Değişik Faktörler:

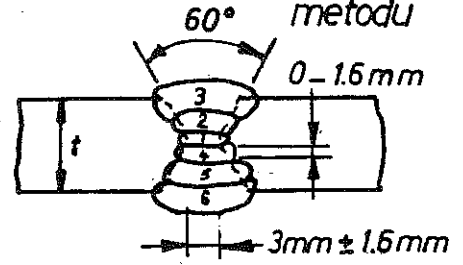
4.2.1 Ana metal ve kaynak metal: Kaynak metal ve ana metal akma gerilmeleri kadar yüksek olan artık gerilmeler karbon çeligi kaynaklarında oluşmaktadır. Buna ilaveten Al birleştirmeler içerisindeki kaynak bölgesi etrafında bulunan artık gerilmeler metalin akma gerilmeleri kadar yüksektir. Bununla birlikte, yüksek dayanımlı çelik kaynaklarındaki artık gerilmeler çoğu zaman akma gerilmesi değerlerinden oldukça düşüktür.



a. Toz altı ark metodu



b. Örtülü elektrodlarla ark metodu



Sekil 4.3 Artık gerilmeler üzerindeki kaynak uzunluğunun tesirinin incelenmesi için numuneler (12).

Elektrod:EH14 6 mm F62-

Elektrod: 1. ve 4. pasolar

EH14-200

için 4 mm E 6010 2.3.5.6.

pasolar için 6 mm E 6012

Voltaj:92 V

Akım :1050 A

Akım : Kök pasolarında

Ark geçiş hızı: 5.2

150-165 A, diğer pasolarda

mm/s

300-320 A.

Ayrıntılar: 1.pasodan

Ayrıntılar: 1.2.3. pasolar

önce arka taraf oksijen-

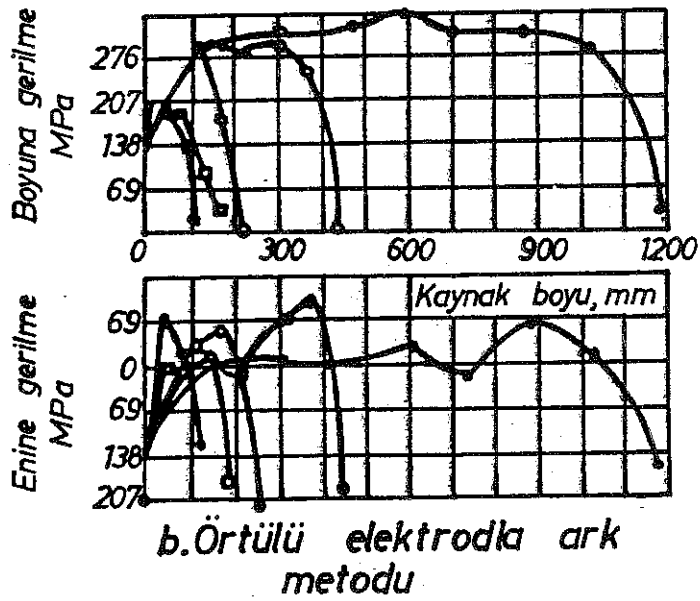
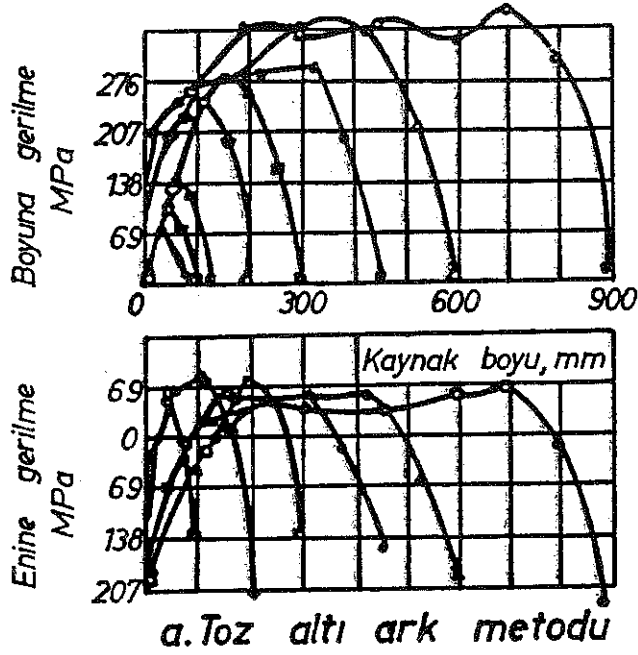
4.5.6. pasolara göre

le oyulmuş.

hazırlanıyor.

4.2.2 Numunenin uzunluğu: Sınırlandırılmamış (serbest durumdaki) düşük karbonlu çelik alın kaynaklarında kaynak uzunluğunun artık gerilmeler üzerine etkisini incelemek için, şekil 4.3'de görüldüğü gibi toz altı ark işlemleri ve örtülü elektrodla ark metodu(elle yapılan ark kaynağı) vasıtasıyla iki sıra kaynak hazırlandı.(12) Her sıra içerisinde, tek değişken şekil 4.4'te verildiği gibi kaynağın uzunluğu idi. Her numunenin genişliği tam sınırlandırma yapmaya yetecek kadardı. Şekil 4.4, (kaynaklar boyunca) bu iki işlem tarafından yapılan boyuna ve enine artık gerilme dağılımlarını göstermektedir.(2)

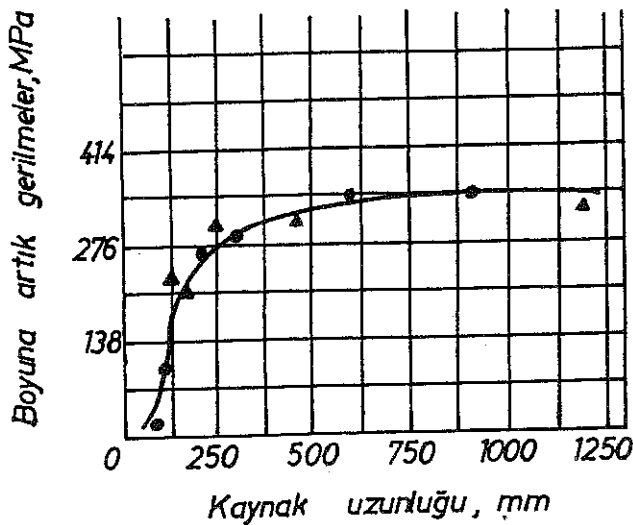
Boyuna artık gerilmeler kaynakların her iki ucunda sıfır olmalıdır ve kaynakların merkezi bölgelerinde yüksek çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Kaynak boyu uzadıkça merkezi bölgelerde maksimum gerilmeler çoğalmaktadır. Bu etki içerisinde maksimum gerilmenin her levha için kaynak uzunluğu karşısında nokta nokta gösterildiği şekil 4.5 'de açıkça verilmektedir. Şekil 457 mm 'den uzun olan kaynakların boyuna doğrultuda yüksek çekme gerilmeleri oluşturması gerektiğini göstermektedir. 457 mm.'den daha uzun kaynaklarda boyuna artık gerilmeler merkezi bölgede uniform olmaktadır.



Şekil 4.4 Farklı uzunluktaki alın kaynaklarında artık gerilme dağılımları (2).

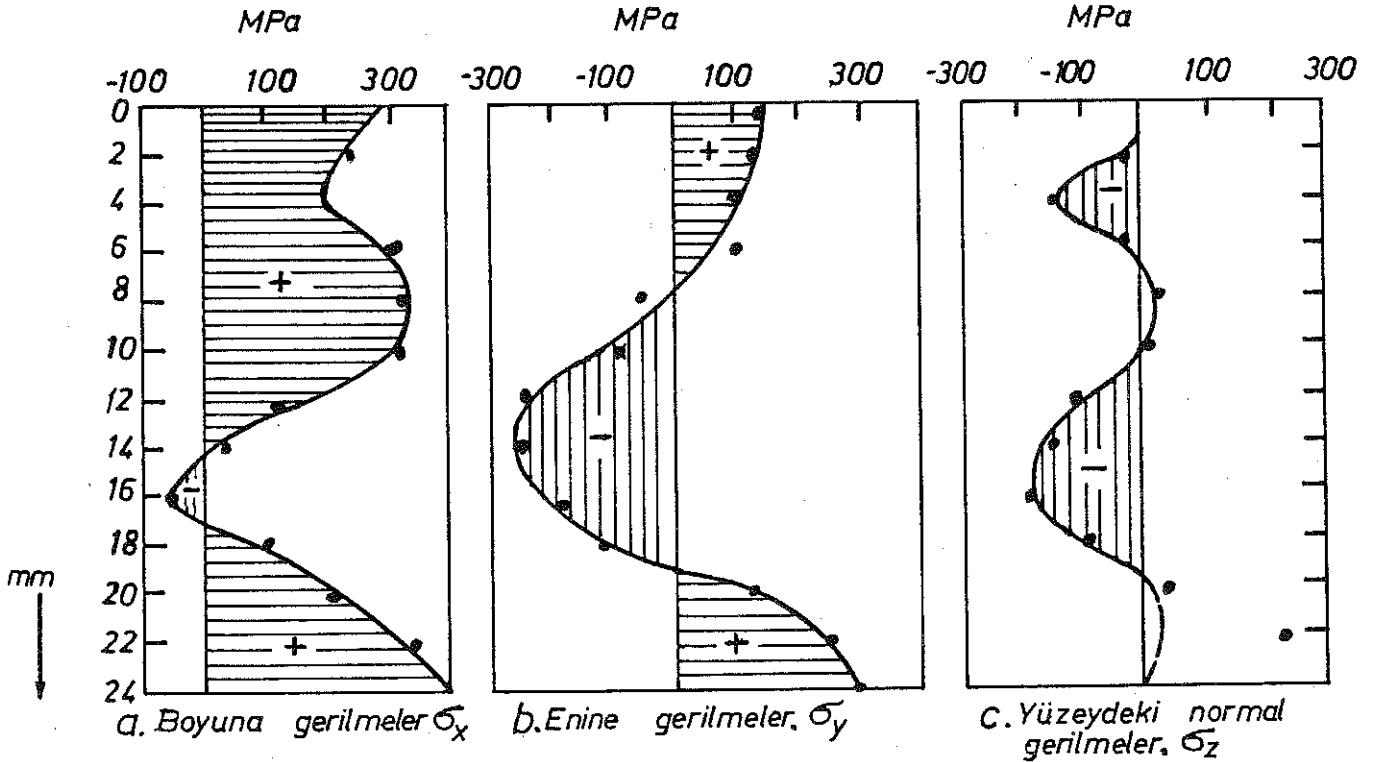
Şekil 4.4'de gösterilen enine artık gerilmeleri ele alırsak gerilmelerin merkezi bölgelerde çekme ve plaka kenarlarında basma olduğunu görürüz. Kaynak uzunluğu merkezi bölgede maksimum çekme gerilmeleri ve plaka kenarlarındaki maksimum gerilmelere az bir etki yapmaktadır.

Toz altı ark işlemi ile örtülü elektrotla ark metodu ile yapılan kaynaklarda artık gerilme dağılımları birbirinin aynı olmuştur. Örtülü elektrotla ark kaynağı ile yapılan kaynaklarda gerilme dağılımları bir ölçüde dengesiz iken, toz altı ark işlemi ile yapılan kaynaklarda düzgün gerilme dağılımları elde edilmiştir.



Şekil 4.5 kaynak uzunluğunun boyuna artık gerilmeler üzerine etkisi(2).

4.2.3 Plaka kalınlığı: Şekil 4.6 alın kaynağı ile birleştirilmiş bir kaynak metali içinde kalınlık doğrultusundaki artık gerilmelerin dağılımını göstermektedir, burada kaynak 25 mm.(1 inç) kalınlığında, 500 mm.(20 inç) uzunluğunda ve 500 mm.(20 inç) genişliğinde düşük karbonlu çeliğe yapılmıştır. Şekilde boyuna gerilmeler σ_x , enine gerilmeler σ_y ve plaka yüzeyine normal gerilmeler σ_z şeklinde gösterilmiştir. Kaynaklar 2.5 ile 5.0 mm.(0.1 ile 0.2 inç) çapında örtülü elektrotlar ile yapılmıştır. Kaynak işlemleri açısız distorsiyonu en aza indirebilmek için değişmeli olarak her iki taraftan yürütülmüştür.



Şekil 4.6 Alın kaynağı ile birleştirilmiş bir kaynak metali içindeki kalınlık doğrultusundaki artık gerilme dağılımları (3).

Neticeler Gunnert delme tekniği(daha sonra izah edilecek teknik) kullanılarak elde edilmiştir.(3) Şekil 4.6'a ve b'de de gösterildiği gibi plakanın her iki yüzeyine yakın bölgelerdeki boyuna ve enine gerilmeler çekme gerilmeleri olarak ortaya çıkmıştır.Kaynağın içindeki basma gerilmeleri kolayca anlaşıldığı gibi kaynakta üst ve kök pasolarını yaparken ortaya çıkmıştır.

Şekil 4.6-c'de plaka yüzeyindeki normal gerilmelerin σ_z dağılımını göstermektedir.Her iki yüzeyde de σ_z sıfır olmalıdır.Burada gösterilen durumda artık gerilmeler basma idi.Bununla birlikte bir çok araştırmacı σ_z 'nin kalın bir kaynağın içinde çekme olabileceğine inanmaktadır.

4.2.4 Kaynak metotları: Genellikle örtülü elektrotla ark,toz altı ark,gaz metal ark(MIG ve MAG)ve gaz tungsten ark (TIG)metodları dahil olmak üzere bir çok farklı işlemlerle yapılan kaynaklarda benzer artık gerilmeleri oluştuğuna inanılır. Mesela şekil 4.4-a ve b örtülü elektrotla ark ve toz altı ark işlemlerinin oluşturduğu artık gerilmelerin benzer olduklarını göstermektedir.

4.2.5 Kaynak işlem planı : Uzun bir alın kaynak birleştirmesini kaynak yaparken artık gerilmeleri ve distorsiyonu azaltmak için geri adım,kalıplama,kısımların monte edilmesi,kademeli kaynak v.b. bir çok kaynak tarzı kullanılır.Uygun bir kaynak planı seçmek özellikle yüksek sınırlandırıcılı karmaşık yama kaynağı birleştirmelerinde

önemli bir uygulama problemi.

Kaynak işlem planının artık gerilmeler üzerine etkisi uzun uzun incelenmiştir. Sınırlandırılmış alan kaynaklarında ve dairesel yama kaynaklarında kaynak işlem planının artık gerilmeler ve çekme üzerine etkisi hakkında yapılan geniş bir araştırmada kaynak işlem planı şöyle sınıflandırılmıştır:(12)

1-) Çok tabakalı işlem planlarında önce tüm kaynak uzunluğu boyunca birinci tabaka tamamlanır (birinci tabakayı tamamlamak için ileriye düz, geri adım, atlama gibi birçok yollar olabilir), sonra 2. tabakayı ve diğerlerini tamamlamaya gidilir.

2-) Blok kaynak işlem planında, birleştirme uzunluğunun bir kısmı veya bir bloğu tamamıyla kaynatılır, sonra müteakip blok kaynatılır ve böyle devam eder.

Bu araştırmada elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir:

1-) Kaynak boyunca oluşan artık gerilmeleri ele alırsak, kaynak işlem sırasının etkisi azdır: test edilen bütün kaynaklarda yüksek boyuna çekme gerilmeleri görüldü.

2-) Kaynak işlem planının değiştirilmesi enine çekmede, sınırlandırılmış birleştirmelerde oluşan toplam gerinim enerjisinin miktarında ve dairesel yama kaynaklarının iç plakalardaki reaksiyon gerilmelerinin miktarında önemli değişimlere sebep oldu. Blok kaynak işlem planları genellikle çok tabakalı işlemlerden daha az çekme, daha az gerinim enerjisi ve daha az reaksiyon gerilmelerine sebep oldu.

5. KAYNAKLARDA ARTIK GERILMELERIN ÖLÇÜLMESİ :

5.1 Artık Gerilmelerin Ölçülmesinde Kullanılan Tekniklerin Sınıflandırılması:

Metallerdeki artık gerilmelerin ölçülmesi için bir çok teknik önerilmiş ve denenmiştir. Tablo 5-1 halen artık gerilmeleri ölçmek için var olan teknikleri şöyle sınıflandırmaktadır: 1- Gerilme relaksasyon teknikleri(13) 2- Röntgen (X-Ray) difraksiyon teknikleri(14) 3- Gerilmeye hassas özellikleri kullanan teknikler(3) 4- Çatlama teknikleri(3).

Gerilme relaksasyon tekniklerinde, artık gerilmeler elastik gerinim değişimini ölçmek suretiyle hesap edilir. Bu numuneleri kesmek veya bir parça koparmak suretiyle artık gerilmelerin relaksiyona uğradığı zaman olur. Bir çok durumlarda gerinim değişmesini ölçmek için elektrikli veya mekanik gerinim ölçerler kullanılır.(grup A-1) Artık gerilmeleri belirlemek için numunelerin bölünmelerine ait bir dizi teknik vardır. Bazı teknikler plakalar için uygunken diğer bazıları silindirler, borular veya üç boyutlu katılar için uygulanabilirler. Gerilme relaksiyonu sırasında gerinim değişimi elektrik veya mekanik gerinim ölçerleri kullanmak yerine bir kafes sistemi, gevrek kaplama veya foto elastik kaplamalar kullanmak suretiyle hesap edilir(grup A-2). Yalnız gerilme relaksasyon tekniklerinin bir dezavantajı bunların tahribe sebep olucu özellikleridir: Numune tamamen veya kısmen bölünmelidir. Buna rağmen gerilme relaksiyon teknikleri güvenilir bilgiler verdiklerinden kaynaklı birleştirmelerdeki

artık gerilmeleri ölçmek için kullanılan en yaygın tekniktir (15).

Kristal yapıya sahip metallerdeki elastiki gerinim röntgen difraksiyon teknikleri kullanarak kafes parametresi ölçmek suretiyle belirlenir. Gerilimsiz durumdaki bir metalin kafes parametresi bilindiğinden veya ayrı ayrı hesap edilebileceğinden, metalin içindeki elastik gerinim işleme veya delme yapmaksızın bir tahribe yol açmadan hesap edilebilir. Bugün mevcut iki teknik vardır: Röntgen (X-Ray) film tekniği ve röntgen (x-Ray) difraktometre tekniği. Röntgen (x-Ray) difraksiyon teknikleri ile yüzey gerinimleri çok küçük alanda belirlenebilir, mesela bir 0,003 mm derinliğe ve çapa kadar. Röntgen (X-ray) difraksiyon teknikleri, bilyalı yataklar ve dişli çarkları gibi yerlerdeki artık gerilmeleri işleme ve taşlamadan sonraki yüzey artık gerilmelerini belirlemede yegane uygulanabilir tekniklerdir. (14)

Bununla birlikte röntgen (X-Ray) difraksiyon tekniklerinin bazı dezavantajları vardır. Öncelikle, oldukça yavaş işlenmelidir. Her ölçme noktasında ölçümler herbiri 15 ila 30 dakikalık film tekniği için süre gerektiren iki yönde yapılmalıdır. İkinci olarak ölçümler özellikle bu teknik atomal yapıda distorsiyona uğramış ve ısı işleme tabi tutulmuş malzemelere tatbik edilirse pek doğru sonuç vermez.

Metallerdeki artık gerilmeleri gerilmeye hassas özellikleri ölçülmesi suretiyle belirlemek için çalışmalar yapılmaktadır. Bu gerilme ölçme teknikleri arasında ultrasonik ve sertlik metodu vardır. (3)

Ultrasonik tekniğin, polarize edilmiş ultrasonik dalgaları kullanma ve polarize edilmiş ultrasonik dalgaların (fotoelastik teknige benzer olarak) polarizasyon açısı içindeki gerilme tesiri değişiminden faydalanma ihtimali vardır veya bu metod, ultrasonik dalgaların absorblanmasında gerilme değişmelerinden faydalanacaktır. Sertlik tekniği ise sertlikteki gerilme oluşumu değişimlerinden faydalanmaktadır.

Numune içerisindeki artık gerilmelerin ortaya çıkardığı çatlakları incelemek suretiyle artık gerilmeleri inceleme teknikleri geliştirilmiştir. Çatlaklar hidrojen veya gerilme korozyonu tarafından başlatılmış olabilir. Çatlama teknikleri karmaşık artık gerilme dağılımları olan karmaşık yapı modelleri içerisindeki artık gerilmeleri incelemek için faydalıdır. Bununla birlikte bu teknikler nicel (sayısal) bilgiden ziyade nitel bilgiler vermektedir.

Bu bölümün ana noktası kaynaklara uygulanabilen teknikler üzerinedir.

Tablo 5.1-Artık gerilmeleri ölçmede kullanılan tekniklerin sınıflandırılması.(3)

A-1 Elektriki ve mekanik gerinim ölçerleri kullanan gerilme reaksiyon teknikleri.	özellikle plakalara uygulanabilen teknikler.	1.Elektrik direnç- li gerinim ölçer kullanım bölme tekniği.
---	--	---

- 2.Gunnert tekniği
- 3.Mathar-Scate delme tekniği
- 4.Stablein devamlı frezeleme tekniği

Dolu silindirler ve borulara uygulanabilen teknikler.	5.Hegn-Baver devamlı işleme tekniği	6.Mesnager-Sachs delik delme tekniği
---	-------------------------------------	--------------------------------------

özellikle üç boyutlu katılama uygulanan teknikler	7.Gunnert delme tekniği	8.Rosenthal-Norton bölme tekniği
---	-------------------------	----------------------------------

A-2 Elektriki ve mekanik gerinim ölçerler haricinde düzenekler kullanan gerilme re- laksiyon teknikleri

9.kafesli sistem bölme tekniği
10.Gevrek kaplama- delme tekniği
11.Fotoelastik kap lama-delme tekniği

B Röntgen(X-Ray)difraksiyon teknikleri

12.Röntgen(X-Ray) film tekniği
13.Röntgen(X-Ray) difraktometre tek- niği

C Gerilme hassas özellik- Ultrasonik leri kullanan teknikler. teknikler

14.Polarize edil- miş ultrasonik dal ga tekniği
15.Ultrasonik za- yıflatma tekniği

16.Sertlik teknik- leri

D Çatlama teknikleri

17.Hidrojen-indük- siyon çatlama tek- niği
18.Gerilme koroz- yon çatlama tekni- gi

Bu tekniklerden hiç biri laboratuvar aşamasından öteye gidememiş ve hiç biride kaynaklardaki artık gerilmeleri ölçmede başarıyla kullanılamamıştır.

5.2 Gerilme-Relaksiyon Teknikleri Kullanmak Suretiyle Artık Gerilmelerin Ölçülmesi :

Gerilme-Relaksiyon teknikleri,yükün boşaltılması sırasında ortaya çıkan gerinimler malzeme plastik deformasyona uğradığında dahi elastiktir,faktörüne dayalıdır.Bu yüzden artık gerilmeleri malzemenin niteliği hakkında bir bilgi sahibi olmaksızın belirlemek mümkündür.(15)

Aşağıdaki paragraflar,kaynaklarda kullanılabilecek gerilme-relaksiyon tekniklerine dayalı olarak artık gerilmeleri ölçmede kullanılan beş tekniği açıklamaktadır. Birinci ve ikinci teknikler özellikle plakalarda kullanılabılır,üçüncü ve dördüncü tekniklerde üç boyutlu katılarda kullanılabılırler.İlk dört teknik elektrik ve mekanik gerinim ölçerler,son teknik ise fotoelastik kaplama kullanmaktadır.

Bu teknikler içerdiği prensip temeline,kullanılan gerinim ölçme tekniğine veya bunları geliştirmiş veya açıklamış kimselerin isimlerine göre adlandırılmıştır.Bu beş teknikten her birinin uygulama safhaları,avantajları ve dezavantajları tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2-Artık gerilmeleri ölçmede kullanılan gerilme-relaksiyon tekniklerinin özeti (1):

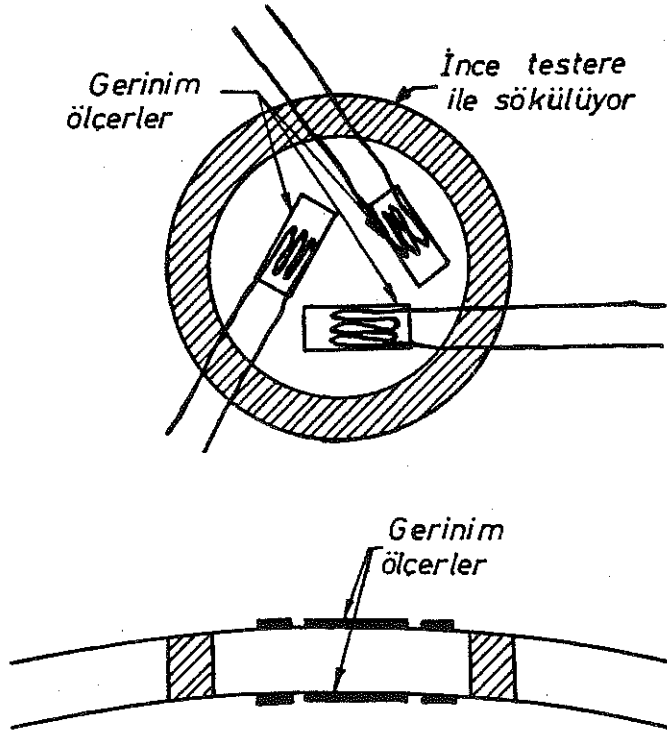
Teknik	Uygulama	Avantajlar	Dezavantajlar
1.Elektrik direnç gerilme ölçer kullanarak plaka bölme tekniği	Nisbeten daha çok yönlü ölçüm yüzeyi her şekilde yerleştirilmiştir.	Güvenilir-metod Basit prensipler sek ölçüm hassasiyeti	Tahrip edici Numuneden alınan parçanın bölgesi üzerinde ortalama gerilmeler verir; bölgesel olarak toplanmış (belli bir bölgede)gerilmeleri ölçmeye uygun değil.İşlem bazen pahalı ve zaman alıcı
2.Mathar-Soete delme tekniği	Laboratuvar ve alan çalışmaları rında kullanılır.Yatay ve dikey ve üst yüzeylerde kullanılabilir.	Basit bir prensip.Test parçasına az bir hacimde sarı gerilmeler yaratılabilir, buda ger malzeme birleştirilmesinde kullanılması uygundur.	Delme işleminin dış sınır çizgisinde plastisite verilir.Kaynak gerinimleri dikey ve üst yüzeylerde ve dikey yarataabilir, buda gerilmeler ölçüm neticelerini yanıltabilir. Metot büyük bir dikkatle kullanılmalıdır.

3.Gunnert Laboratuvar ve Sađlam ve ba- Dikey istikamet-
delme alan çalıřmala- sit düzenek te llen geri-
teknigi rında kullanıla-yarı tahrip limlerde nispe-
bilir.Plakanın edici.Test ten daha fazla
yüzeyi esasen parçasına ver- yanılığı.Plakanın
yatay olmalıdır diği zarar altı herhangi
onarılabilir. bir düzenek için
tutturulmaya m-
sait olacak ge-
kilde açık olma-
lı pratik eđiti-
mi gerektirir.

4.Rosenthal- Laboratuvar l- ölçümler dik- Problemlı,zaman
Norton bölme mleri için katle yapıldı- alıcı,tamamiyle
teknigi ğında oldukça tahrip edicidir.
doğru veriler
elde edilir.

5.Fotoelas- Esasen bir la- Bölgesel azami Bazen açılan de-
tik kaplama boratuvar meto- gerilmeyi l- ligin kenarında
delme tekni- dudur ancak mayi mümkün kı-oluşan plastik
gi belli şartlar lar.malzemeye gerinimlere
dahilinde alan az hasar verir karşı hassasdır
lmlerinde de
kullanılabilir.

5.2.1 Elektrik dirençli gerinim ölçerleri kullanılarak plaka bölme tekniği : Bu teknikte test malzemesi veya numunenin yüzeyine elektrik direnç gerinim ölçerleri yerleştirilir.Sonra şekil 5.1'de görüldüğü gibi test malzemesinden üstünde gerinim ölçer bulunan küçük bir parça alınır.ölçüm parçanın alınışı esnasında ortaya çıkan ϵ_x , ϵ_y γ_{xy} gerinim değişimlerinden yapılır.



Şekil 5.1 Plakaya komple gerilme-relaksasyon tekniği uygulanmıştır (13).

Eğer parça yeterince küçükse, parça alındıktan sonra içerisinde artık gerilmelerin var olmayacağı tahmin edilebilir ve böylece aşağıdakiler doğru sayılır:

$$\begin{aligned}\bar{\epsilon}_x &= -\bar{\epsilon}'_x \\ \bar{\epsilon}_y &= -\bar{\epsilon}'_y \\ \bar{\gamma}_{xy} &= -\bar{\gamma}'_{xy} \dots\dots\dots 5.1\end{aligned}$$

Burada $\bar{\epsilon}'_x$, $\bar{\epsilon}'_y$ ve $\bar{\gamma}'_{xy}$ artık gerilmenin gerinim elamanlarıdır. 5.1 eksi işaretler, çekme artık gerilmeleri ortaya çıkınca, gerilme relaksasyonu sırasında çekme (uzama değil, yok) olduğunu belirtir. Böylece artık gerilmeler şöyledir:

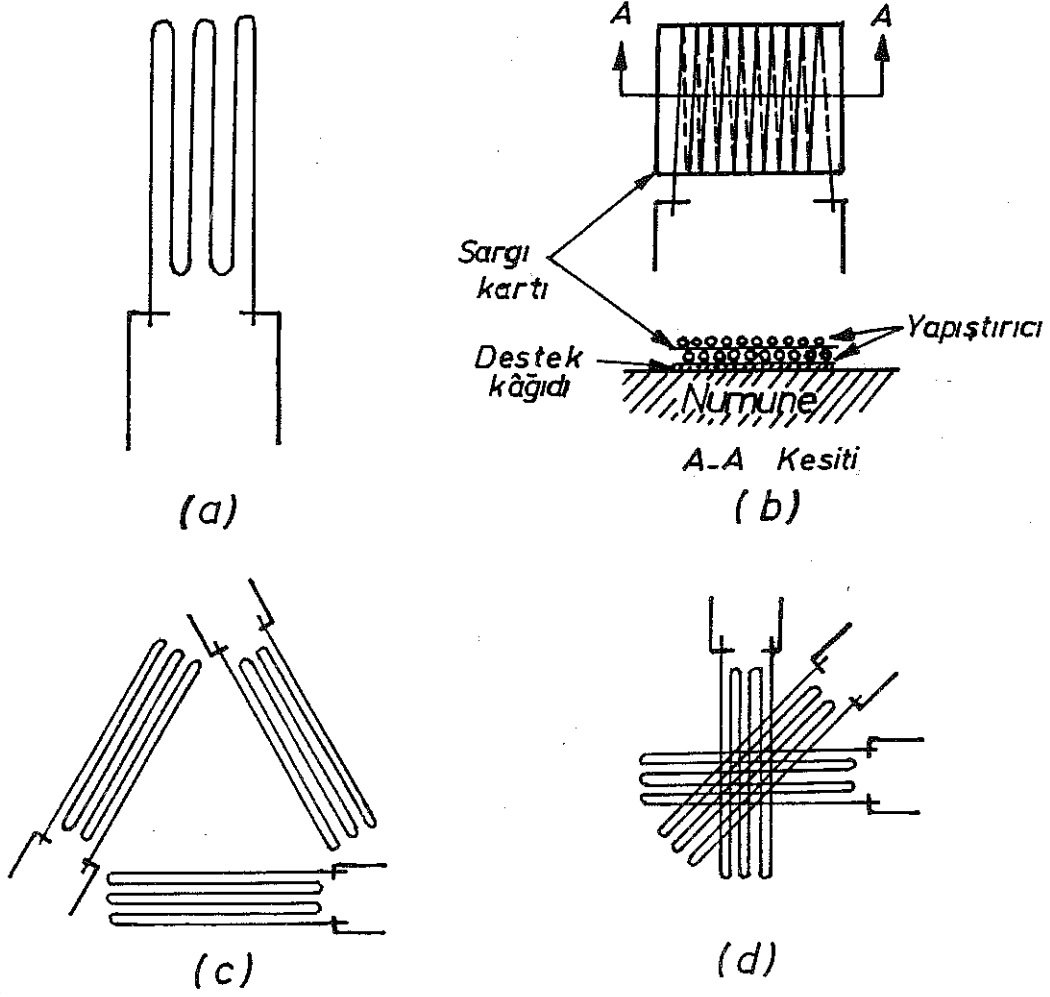
$$\begin{aligned}\sigma_x &= -\frac{E}{1-\nu^2} (\bar{\epsilon}_x + \nu \bar{\epsilon}_y) \\ \sigma_y &= -\frac{E}{1-\nu^2} (\bar{\epsilon}_y + \nu \bar{\epsilon}_x) \\ \tau_{xy} &= -G \bar{\gamma}_{xy} \dots\dots\dots 5.2\end{aligned}$$

Artık gerilmelerin bükme vasıtasıyla meydana gelmiş olması muhtemel olduğundan gerinim ölçümlerinin plakanın her iki yüzünde yapılması tavsiye edilir. Her iki yüzeydede ölçülen ortalama gerinim değeri, plaka gerilme elamanını; her iki yüzeydeki gerinimler arasındaki fark ise bükmenin sebep olduğu gerilme elamanını gösterir. Tablo 5.3'de çeşitli elektrik direnç gerinim ölçer malzeme çeşitleri ve birleşimleri verilmiştir (15). Şekil 5.2'de tel sarımlı gerinim ölçerler gösterilmiştir.

Tablo 5.3 Genellikle kullanılan gerinim ölçer alaşımlarının gerinim hassasiyeti Fm ve bileşimleri (22).

Malzeme	% Bileşim	Fm
Izoelastik	55.5 Fe, 36 Ni, 8 Cr, 0.5 Mo	3.6
Karma	74 Ni, 20 Cr, 3 Al, 3 Fe	2.0
Nikel Krom V	80 Ni, 20 Cr.	2.1
Alaşım 479	92 Pt, 8 W	4.0
Nikel		12.1
Platinyum		6.1
Gümüş		2.9
Bakır *		2.6
Yumuşak Demir *		4.2

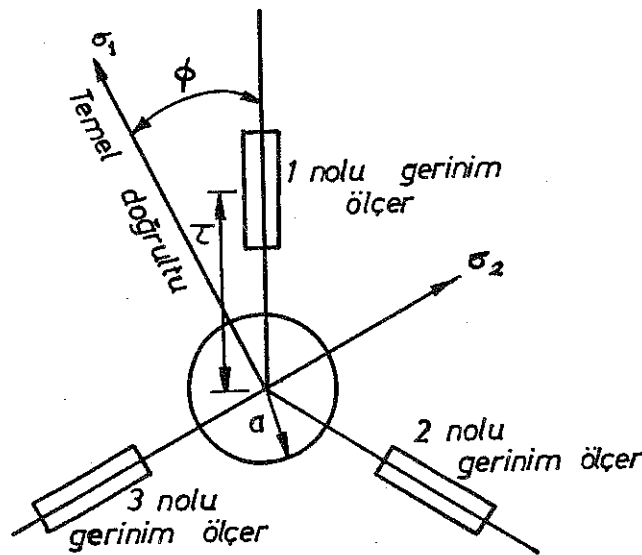
* Genelde fazlaca kullanılmazlar, fakat Kelvin deneylerinde kullanıldıklarından dahil edilmişlerdir.



Şekil 5.2 Tel sarımlı gerinim ölçerlerin tipik formları (22).

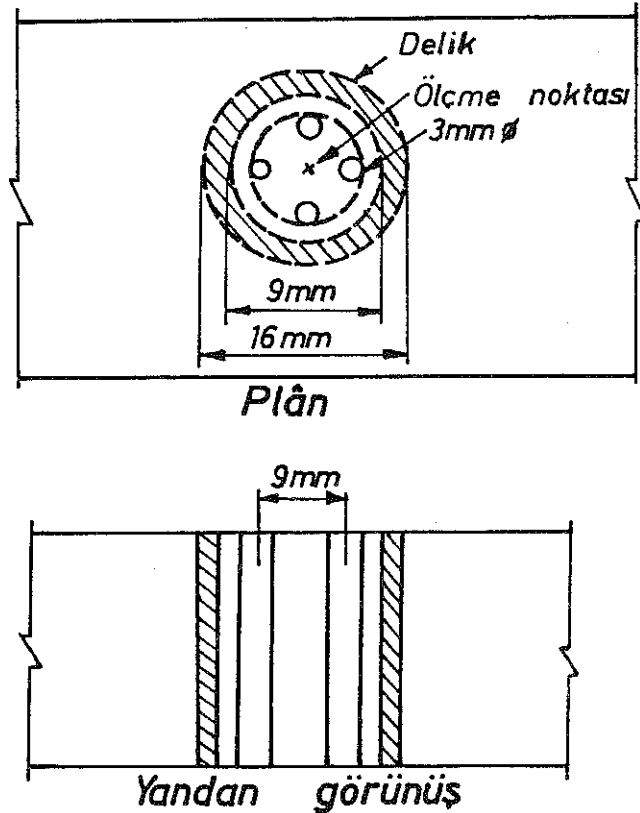
5.2.2 Mathar-Soete delme tekniği: Artık gerilmeler taşıyan bir plakada küçük yuvarlak delik açıldığında deliğin dışındaki bölgelerdeki artık gerilmeler kısmen giderilmiştir. Açılan deliğin dışındaki bölgelerdeki gerilme azalmasını ölçmek suretiyle delinen bölgede mevcut artık gerilmeleri belirlemek mümkündür. Bu delik delmek suretiyle gerilme ölçme metodu ilk defa Mathar tarafından kullanılmış ve Soete tarafından daha sonra geliştirilmiştir. (17)

Şekil 5.3'de gösterildiği gibi artık gerilmeleri ölçmede kullanılan en yaygın yöntem, gerinim ölçerlerin bir yıldız şeklinde birbirinden 120 derece yerleştirilerek merkezinde bir delik açmaktır. Ama gerilmelerin büyüklükleri ve yönleri üç gerinim ölçerdeki gerinim değişikliklerini ölçmek suretiyle hesaplanabilir.



Şekil 5.3 Mathar-Soete delme tekniğinde 120° yıldız konumunda gerinim ölçerler (17).

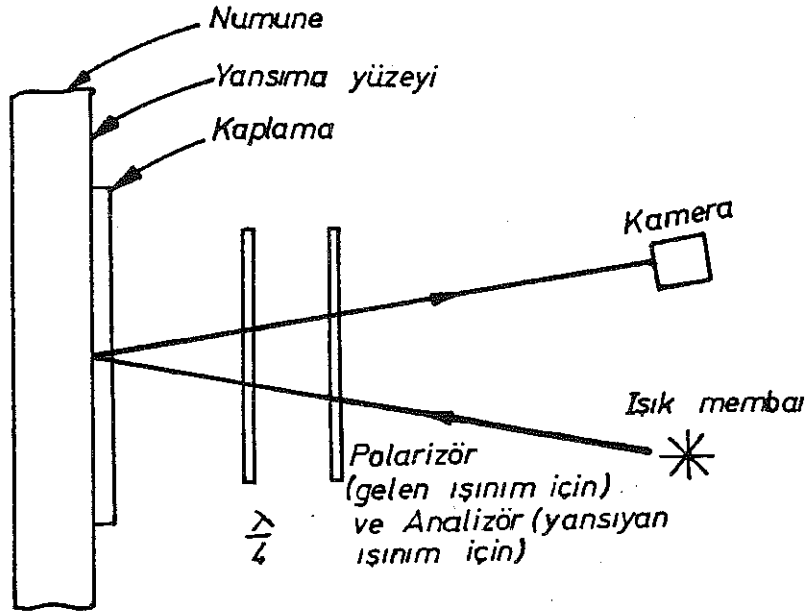
5.2.3 Gunnert delme tekniği: Şekil 5.4'de gösterildiği gibi ölçme noktasında plaka üzerine 9mm(0,36 inç) çapında bir dairede 3 mm (0,12 inç) lik dört tane paralel delik açılır. Plaka yüzeyinin altında değişik seviyelerde bu deliklerin çapları arasındaki mesafe özel olarak tasarlanmış mekanik bir gerinim ölçerle ölçülür. Yüzeiden aşağıda, plaka yüzeyi ile gerinim ölçer konumu arasındaki dikine mesafede değişik seviyelerde ölçülür. Sonra basamaklar halinde deliklerin çevresinde 16 mm (0,63 inç) bir delik matkap ile açılır ve aynı ölçümler yapılır. Formüller ölçüm verilerinden numune içindeki artık gerilmeleri hesap etmeye yeterlidir. (3)



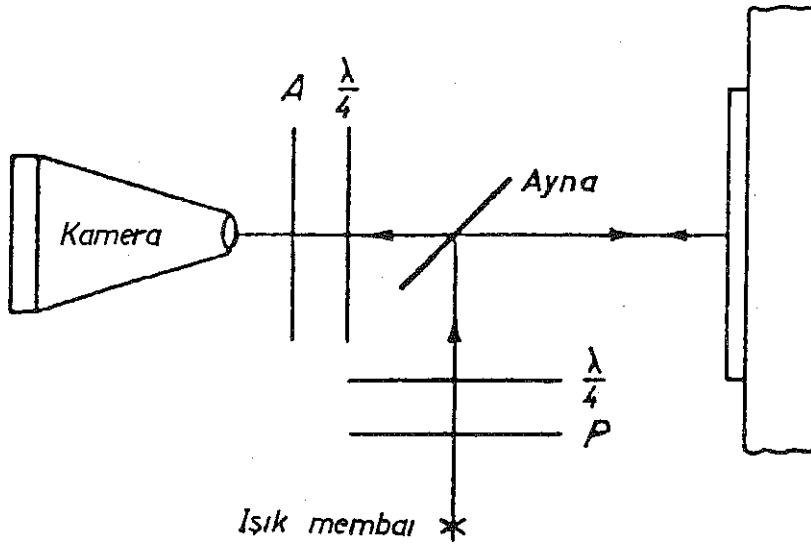
Şekil 5.4 Gunnert delme yöntemi (3).

5.2.4 Rosenthal-Norton bölme tekniği : Rosenthal ve Norton ağır bir kaynak içerisindeki artık gerilmeleri ölçmek için bir teknik öne sürmüşlerdir. Kaynaktan ,plakanın tam kalınlığında iki dar blok,biri kaynağa paralel diğeri çapraz kesilir ve dar bloklarda halen mevcut olan artık gerilmeler ölçülür.Formüller iki faktörden yararlanarak kaynak içindeki artık gerilmeleri belirlemeye kafidir. 1) Dar blokları keserken oluşan gerinim değişiklikleri. 2) Bloklarda kalan artık gerilmeler.(15)

5.2.5 Fotoelastik kaplama-delme tekniği: Numune üzerine fotoelastik bir kaplama yerleştirilir.ölçme noktasında fotoelastik kaplamaya ve numunenin bir kısmına belli bir derinlikte (Mesela çap'a eşit)bir delik delinir.Eğer artık gerilmeler varsa delik kenarındaki bölgelerde çift ışık kırılması(ışığın çift kırılma yaparak iki eşit olmayan ışın oluşturması)olur.Analizlerle çift ışık kırılması ile gerinim azalması (delmeden dolayı oluşan) belirlenir ve delinen bölgede oluşan artık gerilmeler hesaplanır(17). Şekil 5.5 ve 5.6'da fotoelastik kaplama tekniği için dairesel polariskopların şematik gösterilişi verilmektedir.



Sekil 5.5 İzokromatik paterenlerin tesbiti için dizayn edilmiş yansımaya tipte polariskop (22)



Sekil 5.6 Fotoelastik kaplama analizi için dizayn edilmiş yansımaya tipte polariskop (22).

5.3 Röntgen (X-Ray) Difraksiyon Teknikleriyle Artık Gerilmelerin Ölçülmesi :

Metalik kristal yapıllı bir malzemeye harici veya dahili kuvvetler uygulandığında kristal kafesi bozulur,böylece atomlararası mesafede değişiklikler oluşur.Deformasyon elastik limitini geçtiği zaman kafes düzlemi boyunca kayma neticesi plastik deformasyon meydana gelir.Her durumda,atomlararası mesafenin değişimi gerilme ile orantılıdır.

Şekil 5.7'de bir latis düzleminde yansıyan ışın görülmektedir.Şekil 5.8'de gösterildiği gibi monokromatik düz bir dalganın AB doğrultusunda atomik düzlemlere verildiğini varsayalım.Birbirini izleyen paralel atom düzlemlerinden yansıtılan ışınlar bir doğrultuda,BC difraksiyon doğrultusunda kuvvetlenirler.Bragg's kanunu difraksiyon şartını şöyle izah eder (14).

$$n\lambda = 2d\sin\theta \dots\dots\dots 5.3$$

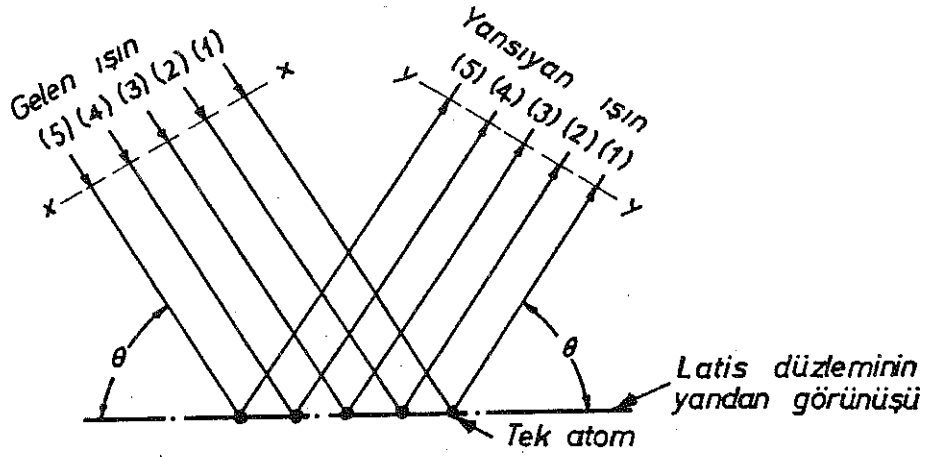
Burada:

λ = düşen ışığın dalga boyu

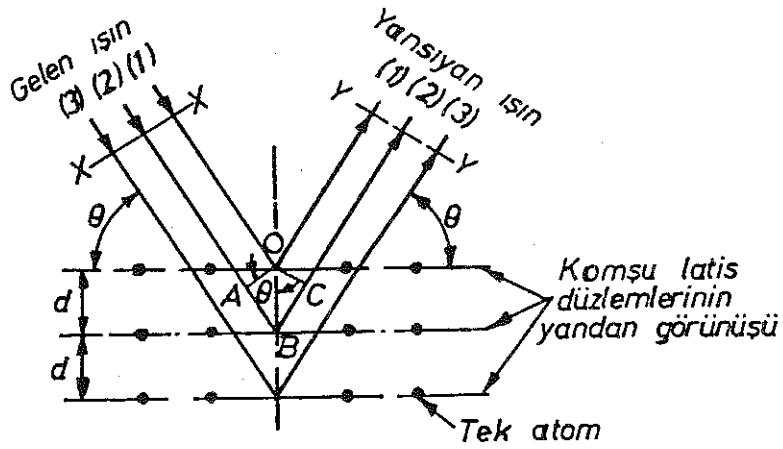
θ = düşen veya yansıyan ışığın,yansıtılan düzlemlerin yüzey ile arasındaki açı

d = düzlemlerarası mesafe

n = yansımalar sırası (n=1.2.3.....)



Sekil 5.7 Bir latis düzleminde yansıyan ışının görünüşü ışığın aynadan yansımaya benzer şekildedir (22).



Sekil 5.8 Komsu latis düzleminde yansıyan ışınlar. Bu yansımalar aynı fazda ise dalga boyu $2d \sin \theta$ nin tam katlarındadır (14).

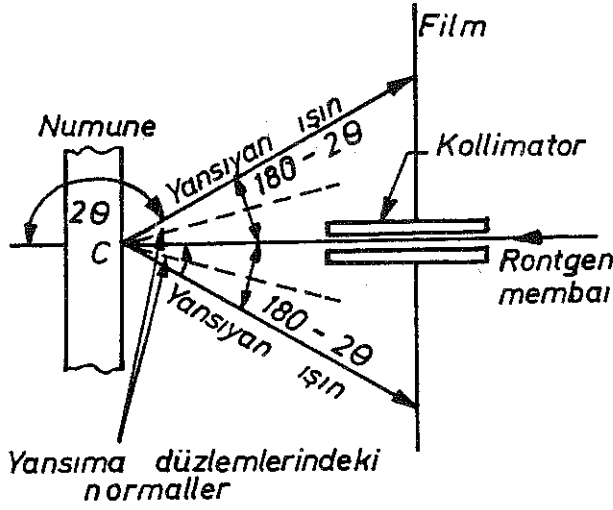
Eşitlik 5.3 şunu göstermektedir:röntgenin dalga boyu biliniyorsa,düzlemlerarası mesafe d , θ açısını büyütmek suretiyle belirlenebilir.

Şekil 5.9 röntgen difraksiyon tekniklerinin şematik diyagramını göstermektedir.Difraksiyon modellerini kayıt etmek için iki yaygın teknik kullanılır: 1-) Şekil 5.9-a'da gösterilen fotografik veya röntgen (X-Ray)difraktometre veya sayıcı tüp tekniği.

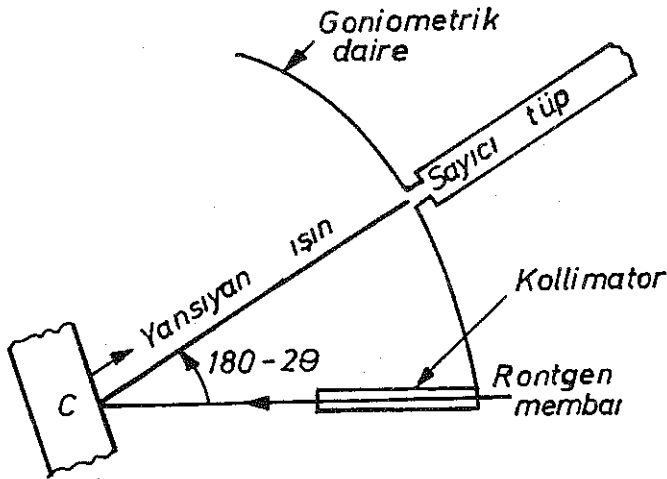
Şekil 5.9-a,film tekniği için uygulanan portatif bir düzenegi göstermektedir.Düzenek esasen gelen röntgen ışığına dik vaziyette yerleştirilmiş ışık tutucu bir kaset içindeki bir filmden oluşmaktadır.Işık bir delik vasıtasıyla film içine sokulmuş iğne deliği sistemiyle paralel hale getirilir. Film numunenin difraksiyona uğrattığı ışınları kaydeder ve banyo edildiğinde dairesel halkalar gösterir.Filmden numuneye olan uzaklığın böldüğü bir difraksiyon halkasının çapı iki tam ($180-2\theta$) verir,bundan da eşitlikteki θ elde edilir,5.3 eşitliği gibi.

Şekil 5.9-b bir röntgen difraktometre düzenegini göstermektedir.Bir çok durumlarda röntgen difraksiyon metoduyla film metodu birbirinden dedektör ve numune ile röntgen ışığının yaptığı açı ile ayrılırlar.Film metodunda röntgen ışığı ile numune arasındaki açı 90 derecedir,ancak difraksiyon metodunda bu θ derecedir.Yansıtılan ışığın şiddetini kaydetmek için goniometrik bir daire boyunca bir

sayıcı ve alıcı delik hareket ettirilir. Difraksiyon açısı max. şiddet açısı olarak belirlenir.



a. Portatif röntgen (X-ray) film tekniği

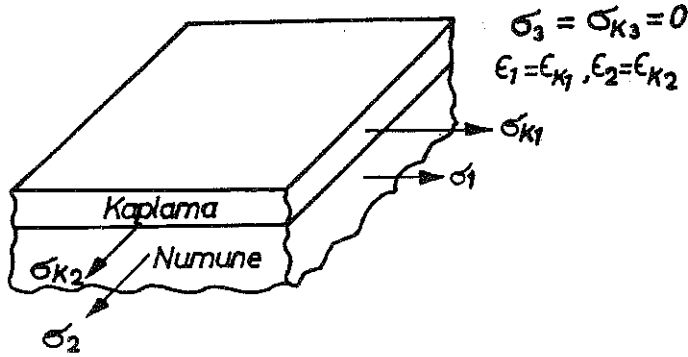


b. Röntgen (X-ray) difraktometre tekniği

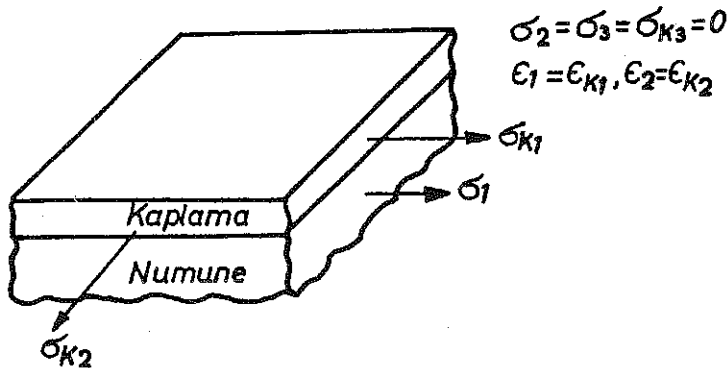
Sekil 5.9 Röntgen (X-Ray) difraksiyon tekniklerinin şematik diyagramı (14).

Röntgen difraktometre tekniği genellikle film tekniğinden daha doğru neticeler verir. Bununla birlikte günümüzde yalnızca laboratuvarlarda kullanılmaya müsait difraktometre düzenekleri mevcuttur ve test edilecek numunelerin ölçüsü aletin ölçüsüne göre sınırlıdır.

Şekil 5.10 ve 5.11 'de tablo 5.1 deki A-2 Grup ve gerilme reaksiyon tekniklerinden gevrek kaplama tekniği hakkında düzenek verilmiştir.



Şekil 5.10 İki yönlü yüklenmiş numune için numune ve kaplamadaki gerilmeler(22).

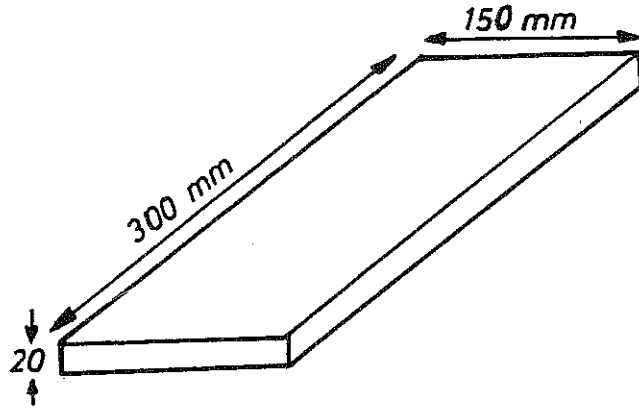


Şekil 5.11 Tek yönlü yüklenmiş numune için numune ve kaplamadaki gerilmeler(22).

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR :

6.1 Deneyde Kullanılan Malzeme :

Kaynak edilecek ve ölçümleri alınacak malzeme St 37 olup bu malzemeden şekil 6.1 de verilen ölçülerde altı adet ikişer,ikişer 3 değişik kaynak metodu için hazırlanmıştır.



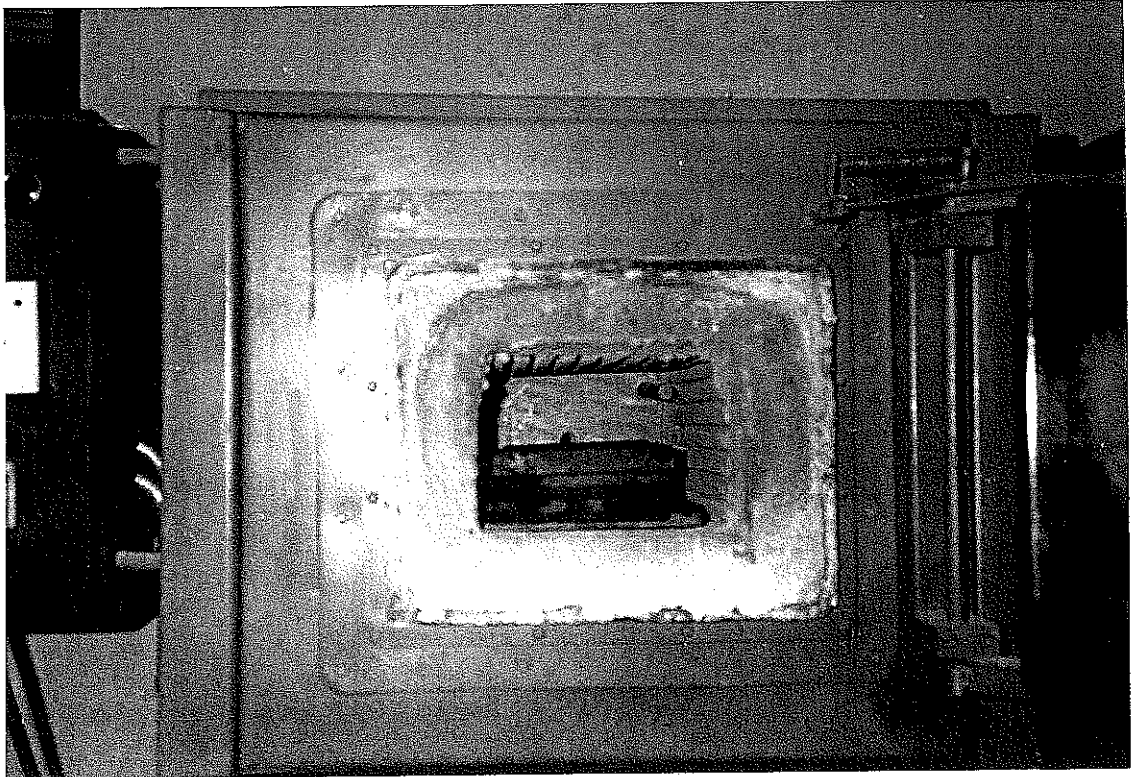
Şekil 6.1 Deney malzemesi boyutları.

6.2 Artık Gerilmelerin ölçümü için ön Hazırlık Kısmı :

Bu bölüm St 37 malzemelerimizin Toz altı, MIG ark kaynağı ve Elektrik ark kaynağı yapıldıktan sonra artık gerilmelerin optik-mekanik yolla ölçümü için gerekli ön hazırlık bölümünü kapsamaktadır.

Malzeme daha önce Üretiminden v.b. işlemlerden oluşan gerilmeleri gidermek için St 37 malzeme ilgili standartlardan (18,19,20) 650°C da $t \leq 50$ mm için 1.5 saat bekletilmiş ve fırında soğutulmuştur. Burada t malzeme kalınlığıdır.

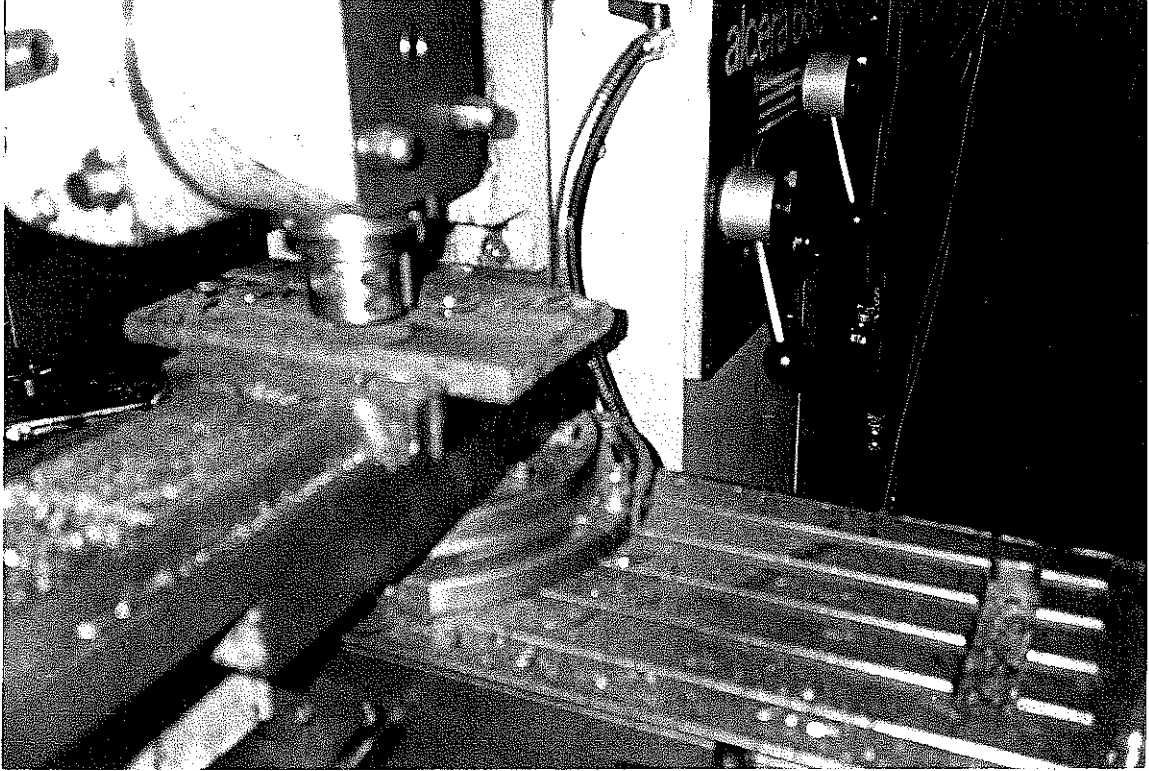
Altta fotoğrafı görülen fırında olan bu işlemden kullanılan fırın 1200°C kapasiteli, rezistanslı tav fırınıdır.



Şekil 6.2 Malzemelere gerilme giderme tavlı uygulanması.

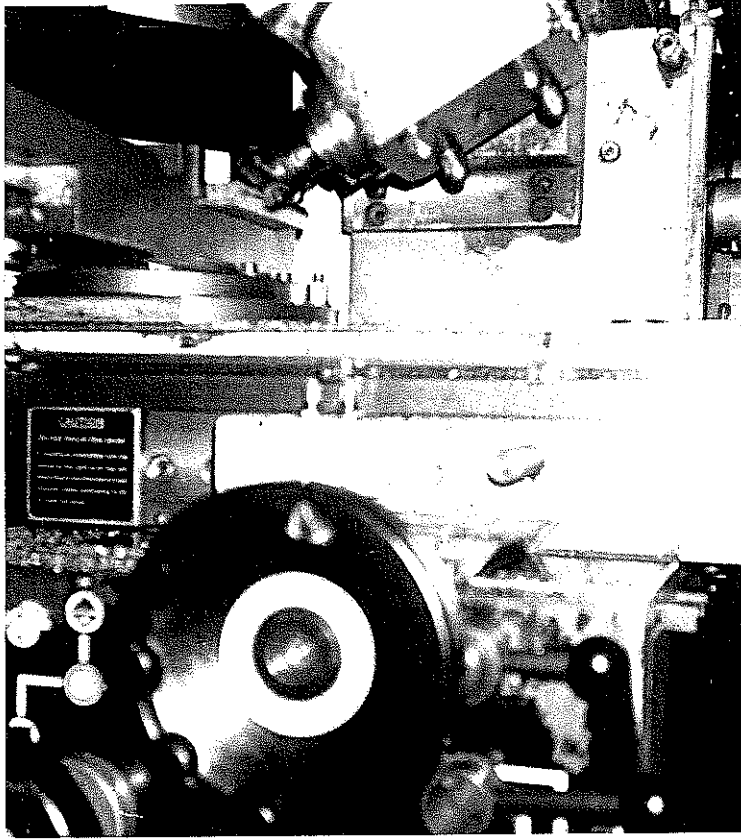
Daha sonra gerilme gidermesi yapılan parçanın yüzeyine optik-mekanik ölçümler için çizim yapılabilmesi amacıyla gerekli yüzey temizleme işlemleri yapılmıştır.

Önce frezede ince talaş alınıp yüzeyi oksitlerden ve girinti çukuntılardan temizlenir.

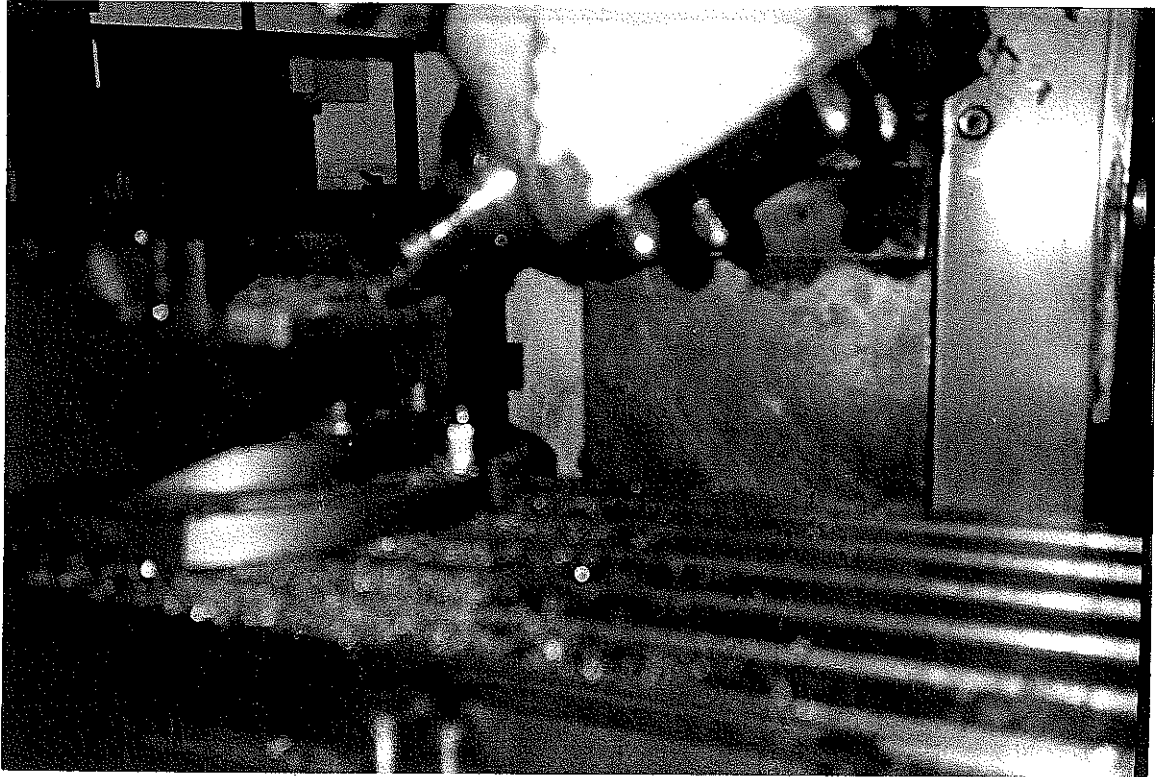


Sekil 6.3 Malzeme yüzeyinin temizlenmesi

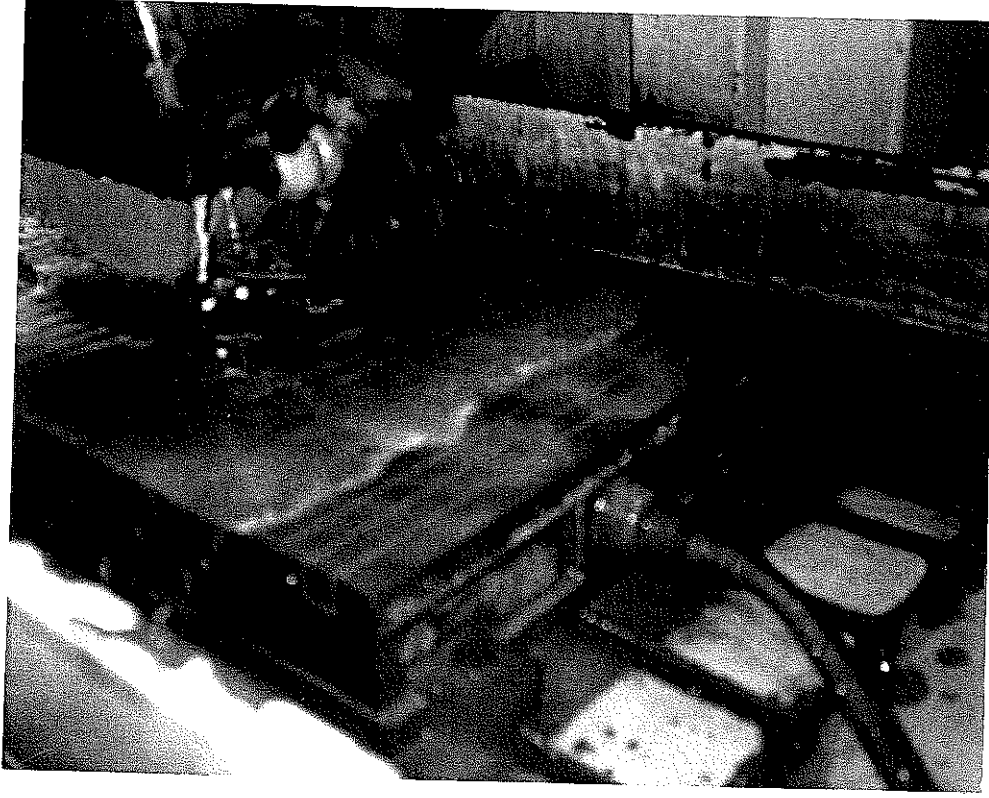
Parça temizlenmesi şekil 6.3 de gösterilmiştir. Parçalarının yüzeylerinin işlenmesi yanında kullanılacak kaynak yöntemine göre standartlardan (21) MIG ark kaynağı için X, Toz altı kaynağı için Y ve Elektrik ark kaynağı için V kaynak ağızı açılmıştır.(Kaynaklı birleştirmeler alın kaynağı şeklindedir) Kaynak ağızlarının açılma işlemi freze ile olmuştur.Şekil 6.4 de X kaynak ağızı ve şekil 6.5 de Y kaynak ağızı açılması gösterilmiştir. Şekil 6.6 da Y ve şekil 6.7 de V kaynak ağızlı parçanın taşlaması yapılmıştır.



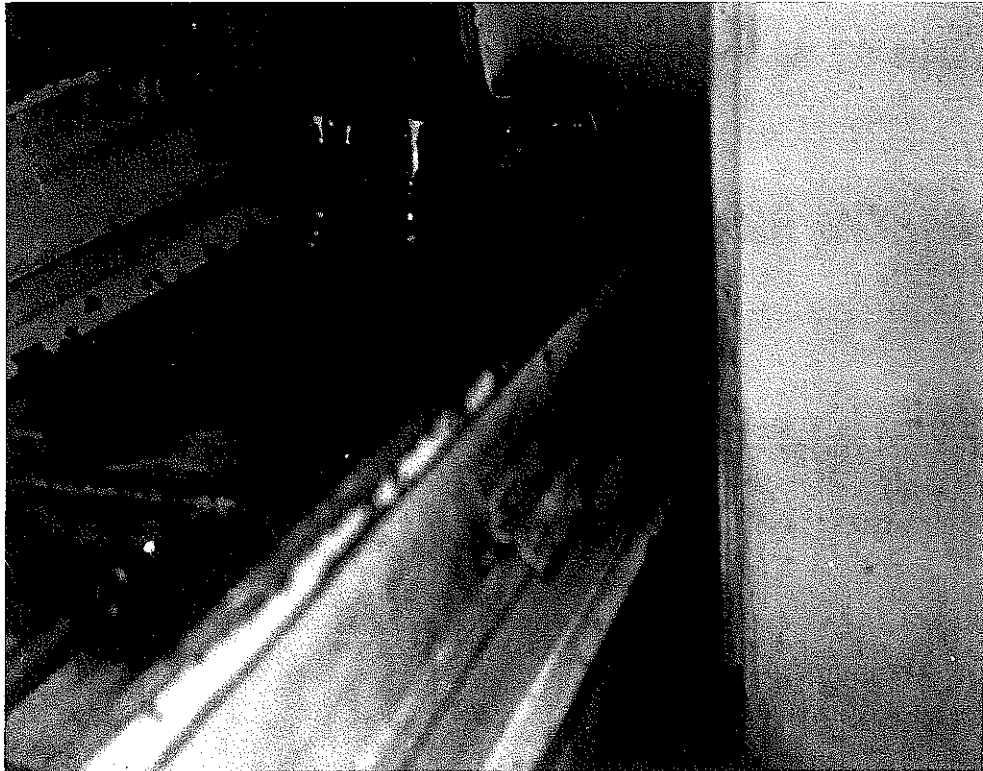
Sekil 6.4 Malzemeye x kaynak ağızı açılması.



Sekil 6.5 Malzemeye y kaynak ağızı açılması.



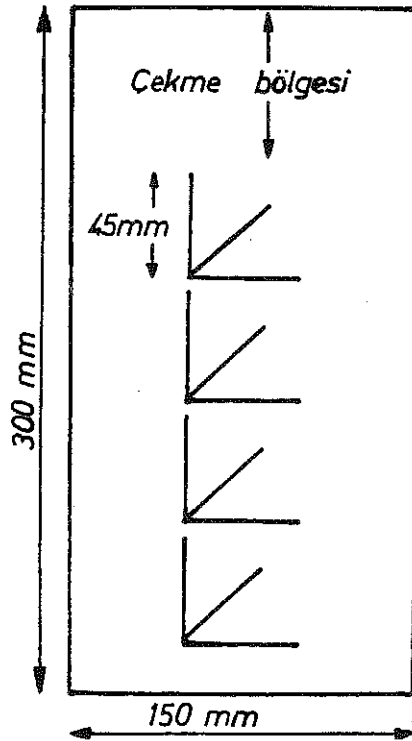
Şekil 6.6 Malzemenin taşlanması.



Şekil 6.7 Malzemenin taşlanması.

Taşıma işlemi bittikten sonra malzemelerin optik-mekanik ölçümler için üç elemanlı dikdörtgen rozet konumunda (22) olacak şekilde 45 mm boyunda çizimler yapılabilmesi için malzemelerimiz göztaşı ile markalanmış ve çizecek ile çizilmiştir.Şekil 6.8 de çizilmiş halde görüldüğü gibi burada kaynak yapılacak kısımlar 150 mm lik kısımlar olup kaynak yapılacak kısım ile çizilen üç elemanlı rozet konumu arasında bir boşluk bırakılmıştır.Bu boşluk çekme bölgesidir (17).

$$c = \frac{H(Q/V)}{\sigma_y \epsilon t}$$



Şekil 6.8 Optik-mekanik ölçüm öncesi malzeme üzerindeki çizimler.

Çekme bölgesi genişliği : C

Boyutsal olmayan sabite 0,11-0.13 arasında : H

Kaynak edilen malzemenin akma gerilmesi N/mm^2 : σ_y

Kaynak hızı mm/dak. : V

Kaynakla temas eden Levha kalınlıkları toplamı. mm: ξ_t

Isı girişi Watt : Θ

Şekil 6.8 deki çekme bölgesi olarak görülen bölgenin hesabı yukarıdaki formülle yapılmıştır.

Bu formül kullandığımız MiG, Toz altı ve Elektrik ark kaynak yöntemleri için tek tek hesaplanmıştır. (23,24,25)

MiG için :

V = 6 mm/sn

Θ = 9600 watt

Tozaltı için:

V = 8 mm/sn

Θ = 30600 watt

Aynı zamanda malzeme ile ilgili diğer değerlerle her üç yöntem için aynıdır.

ξ_t = 40 mm

σ_y = 250 N/mm^2

H = 0,11-0.13

Buna göre MiG için çekme bölgesi genişliği 50 mm Tozaltı için 65 mm; Elektrik ark kaynağı için 75 mm. dir. Elektrik ark kaynağı için kaynak hızı tam olarak tesbit edilemeyeceğinden toleranslı olarak 75 mm. alınmıştır.

Y. 0,01-0,02 =

6.3 Optik-mekanik Sistemde Çalışan Mikroskopta Kaynak Öncesi Ölçümler :

Bu ölçümlere geçmeden önce bu mikroskop hakkında bilinmesi gerekli özellikler şöyledir.

Bu atölye mikroskobu optik-mekanik sistemde çalışan ve kullanılan çok sayıda aksesuar ve parçalarla ölçüm kapasitesi arttırılabilen çok yönlü,yüksek pozisyonlu bir ölçme cihazıdır.

Boyut,vida ölçümleri,açı ölçümleri ve form kontrolleri yapılabilir.Cihazın konstrüksiyonu gölge-resim metoduna göre düzenlenmiştir.Uygun objektif ve oküler başlığı kullanılarak ölçülen yüzeye temas olmaksızın yüksek ölçme hassasiyetine ulaşılır. Üstten aydınlatma tertibatı ile üst yüzey tetkikleri yapılmasında mümkündür.

Cihazın skala değerleri ise şöyledir :

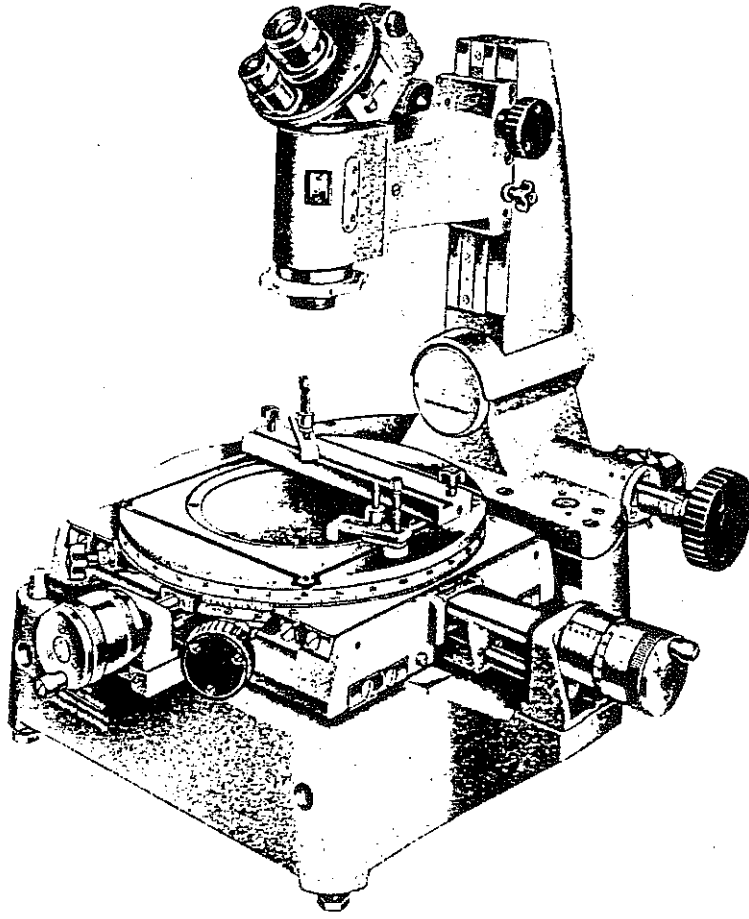
Ölçme tanburu	0.01
Yuvarlak tabla	1°
Yuvarlak tabla verniyeri	3'
Vida oküleri W2	10'
Açı ölçme oküleri	1'

Cihazın ölçme sahası :

X - doğrultusunda	0-150 mm
Y - doğrultusunda	0-50 mm
Yuvarlak ölçme tablası skalası	0°-360°
Vida oküler (W2) skalası	± 7°
Açı ölçme oküleri skalası	0°-360°
Büyütme	obj 3X ile 30 X

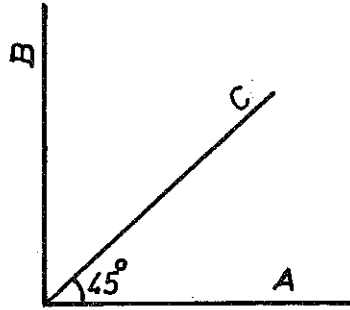
Ayrıca görüntü projeksiyona alınabilir veya fotoğraf çekilebilir.

Şekil 6.9 da bu mikroskop gösterilmiştir.



Şekil 6.9 Atölye mikroskopunun görünüşü.

ölçümler şekil 6.10'de gösterildiği rozet konumunda ki çizimler üzerinde yapılmıştır. Ayrıca şekil 6.8'de görüldüğü gibi malzememiz üzerinde çekme bölgesi dışında rozet konumunda ve her üç çizim boyu 45 mm olacak şekilde çizilmiştir. Ayrıca iki rozet konumu arasında 5 mm dir.



Şekil 6.10 Rozet konumu

6.4 Optik-mekanik Sistemde Çalışan Mikroskopta Kaynak Sonrası Ölçümler :

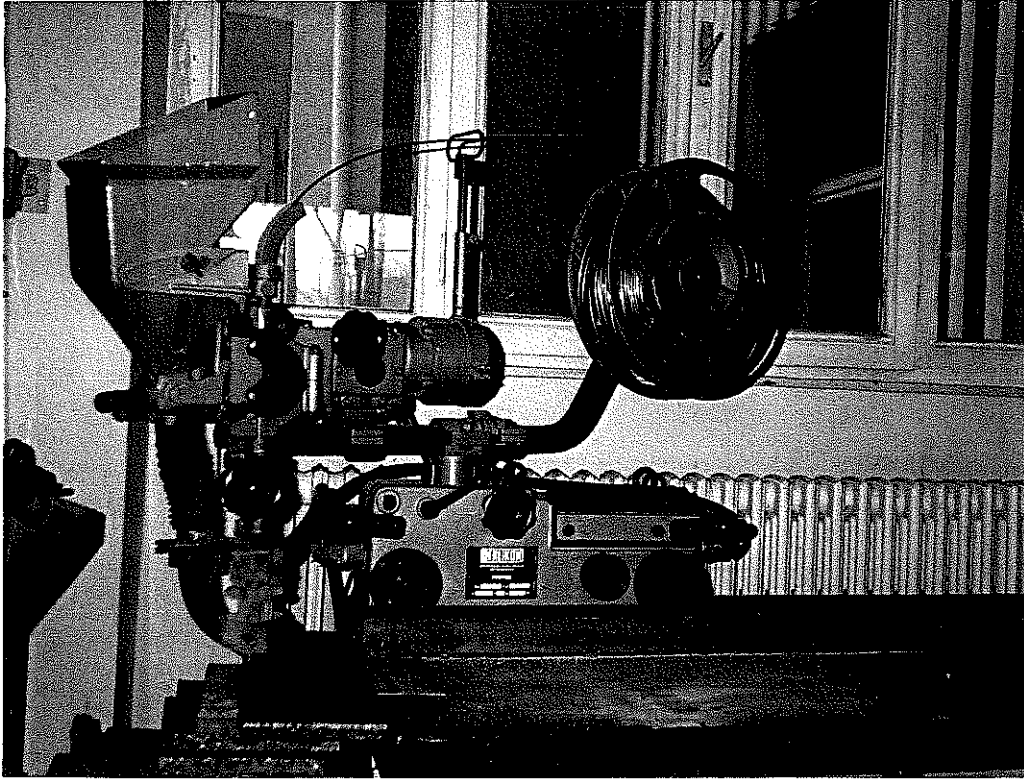
Mikroskopta yaptığımız ilk ölçümler X_1, Y_1, Z_1 ile ifade edilmiştir. Kaynak öncesi yapılan bu ölçümler tablo 6.1 de ve master programı şeklinde Fortran 4'de programladığımız kısımda verilmiştir. İlk 8 ölçüm MIG kaynağına aittir. MIG kaynağını takip eden 10 ölçüm Toz altı kaynağı içindir. En son 2 ölçüm ise Elektrik ark kaynağına ait ölçümlerdir.

Kaynak sırasında kullanılan makineler, elektrodlar kaynağın özelliğine göre farklılık göstermektedir.

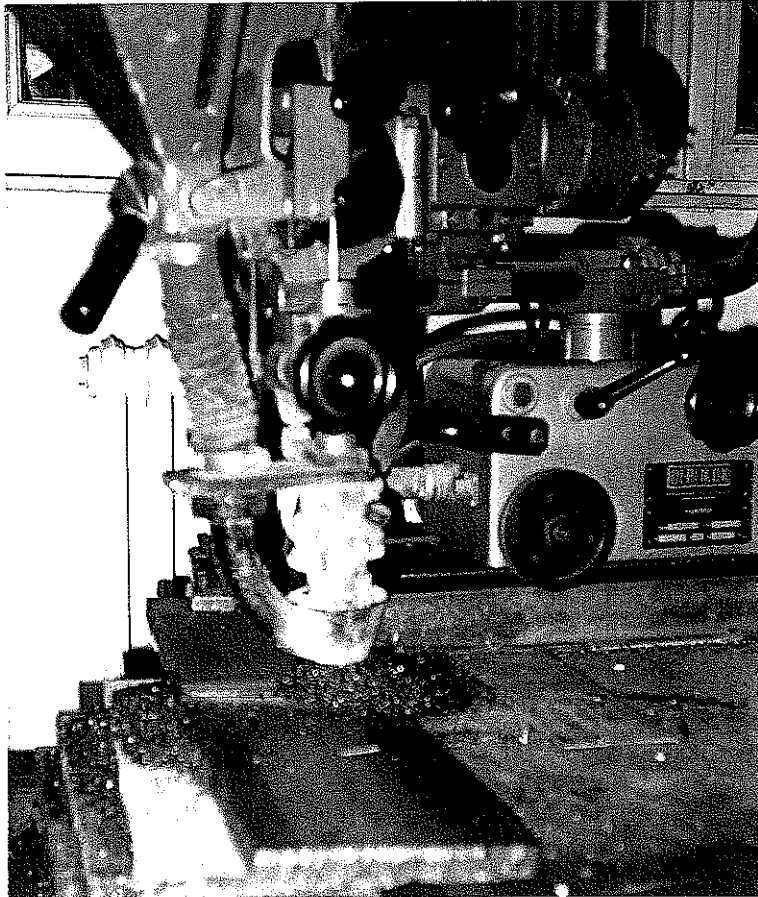
Sekil 6.11 'de Toz altı kaynak makinesi görülmüyor. Sekil 6.12 Toz altı kaynağı St 37 malzememize yapılırken ve şekil 6.13 ise kaynak bittikten sonra dikişin formu görülmektedir.

Bu kaynağı yaparken kullandığımız doneler şöyledir: (24)

Ark gerilimi U (Volt)	34
Akım şiddeti I (Amper)	900
Kaynak hızı vs. (m/dak.)	0.50



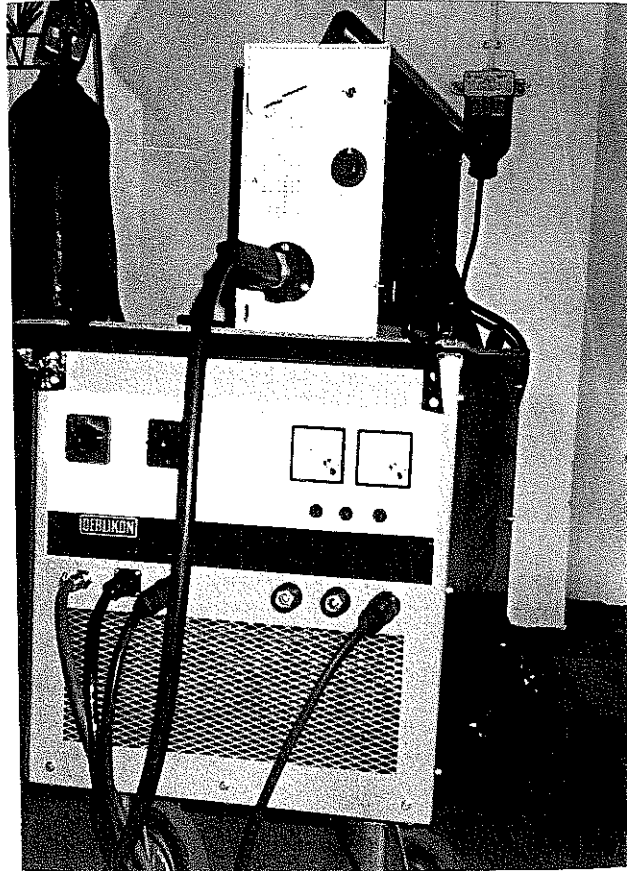
Şekil 6.11 Toz altı kaynak makinasının görünüşü.



Şekil 6.12 Malzemeye toz altı kaynağının uygulanması.



Şekil 6.13 Malzemeye toz altı kaynağı uygulanması sonrası.



Şekil 6.14 MIG Kaynak makinesinin görünüşü.

Kaynak tozu özellikleri : Ergitilmiş tip manganez-silikat bir tozaltı kaynak tozudur. 1.5 mm'den itibaren çeşitli sac kalınlıklarında tek veya çok pasolu kaynağa elverişli olup 1.2 m/dak.'ya kadar kaynak hızlarında kullanılabilir.Güzel görünüşlü kaynak dikişleri elde edilir.Paslı saclarda gözenek meyli asgaridir.Ana bileşim elamanları (tozun).SiO₂ +TiO₂:%40, CaO+MgO:%10 Al₂O₃+MnO:%45.

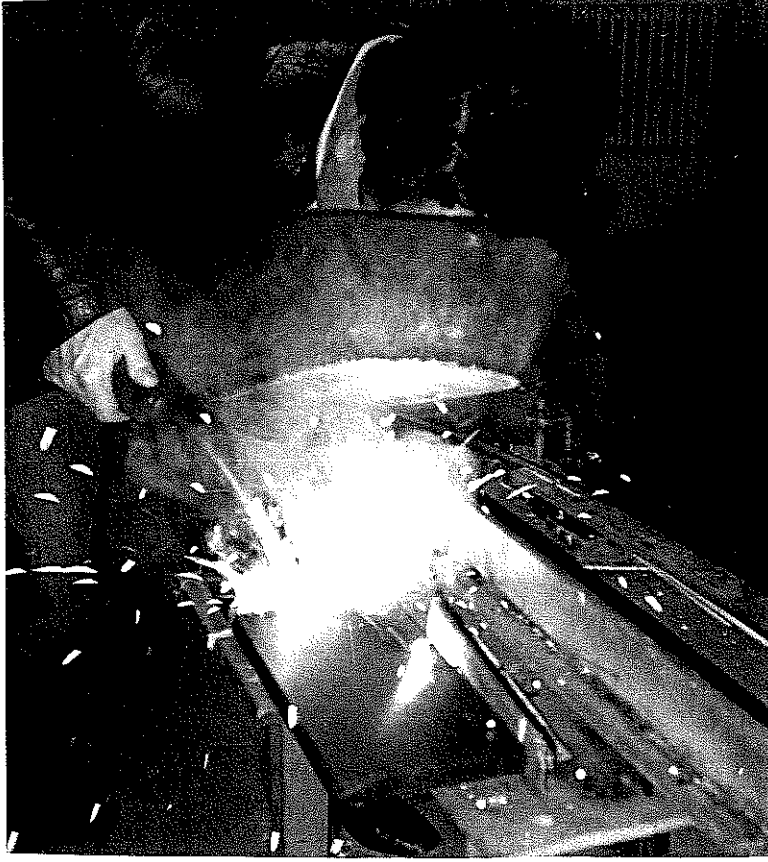
Kaynakta kullandığımız OS 1150 Oerlikon'un tozaltı kaynakları için ürettiği kaynak tozudur. Kaynak 2 paso halinde yapılmıştır.

Tozaltı kaynak elektrodu olarak OE-S1 kullanılmıştır. % 0.40 C:% 1.2 Mn:% 0.5 Si:%4 Cr bileşimindedir.

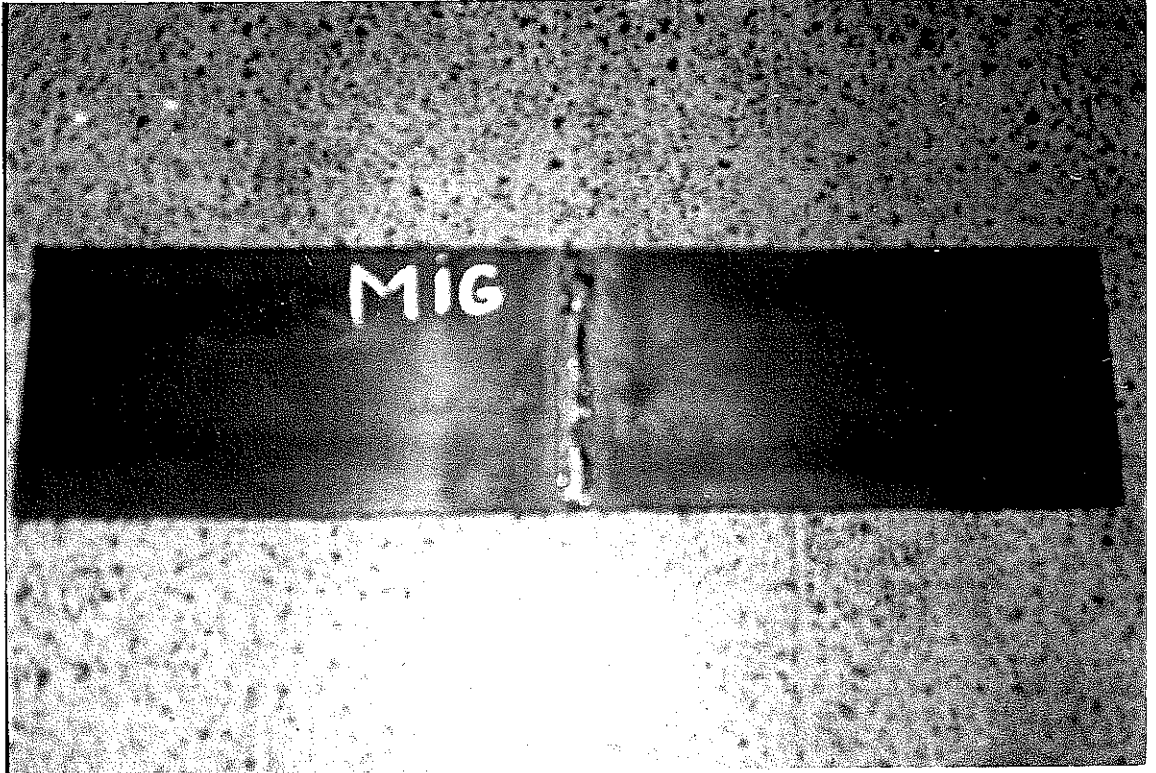
MIG kaynak yöntemi için kullanılan makine şekil 6.14 de dir.Sekil 6.15 'de kaynak yapılırken ve 6.16 kaynak yapıldıktan sonraki dikiş formu görülmektedir.

MIG kaynağında kullanılan doneler şöyledir : (23)

Ark gerilimi U ±0.5(Volt)	30
Akım şiddeti I (Amper)	320
Kaynak hızı V _s (mm/dak.)	400
Tel sürme hızı V _t (m/dak)	6
Elektrod çapı del (mm)	1.6
Paso sayısı	2



Şekil 6.15 Malzemeye MIG kaynağı uygulanması.



Şekil 6.16 Malzemeye MIG kaynağı uygulanması sonrası.



Sekil 6.17 Elektrik ark kaynağında kullanılan jeneratör kaynak makinasının görünüşü.



Sekil 6.18 Malzemeye elektrik ark kaynağı uygulanması.

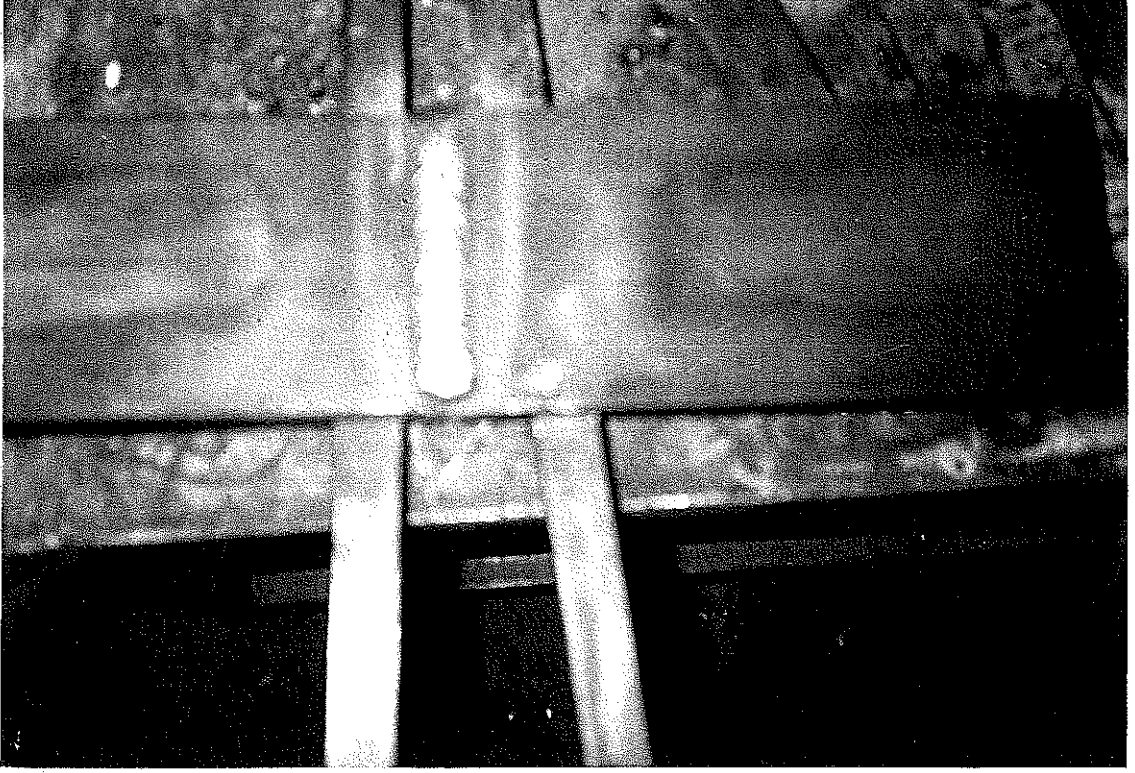
Son olarak Elektrik ark kaynağında kullanılan jeneratör kaynak makinesi şekil 6.17 de görülmüyor. Şekil 6.18 ise elektrik ark kaynağı yapılırken ve şekil 6.19 kaynak bittikten sonra dikişin formu görülmektedir.

Elektrik ark kaynağında kullanılan doneler şöyledir(25) : Kök pasoda kullanılan elektrod Overcord-S rutil tip kalın örtülü elektroddur, kimyasal bileşimi % 0.06-0,1 C , % 0,4-0.6 Mn , % 0.3 Si

Akım şiddeti 100-140
Akım cinsi Alternatif veya Doğru
akım.(-) kutup
Elektrod çapı 3.25 mm
Paso sayısı 1

Daha sonraki pasolar bazik tip elektrod olan Supercito kullanılmıştır. Kimyasal birleşimi şöyledir % 0.08-0.1 C, % 0.8 Mn. % 0.6 Si dur. Bazik elektrodla kaynak yaparken kullanılan doneler şöyledir :

Akım şiddeti 140-180 Amper
Akım cinsi Doğru akım pozitif (+)
kutup
Elektrod çapı 4 mm.
Paso sayısı 9



Şekil 6.19 Malzemeye elektrik ark kaynağı uygulanması sonrası.

Kaynak öncesi ölçülen değerler X_1 Y_1 Z_1 ile ifade edilmiştir. Kaynak sonrası yine optik-mekanik yolla ölçülen değerler ise X_2 Y_2 Z_2 ile ifade edilmiştir.

Bu değerlerin yardımıyla şu sonuçlar bulunmuştur :

a = ϵ_x ... X yönündeki gerinim

b = ϵ_y ... Y yönündeki gerinim

c = ϵ_z ... Z yönündeki gerinim

e₁ = ϵ_1 ... asal gerinim

e₂ = ϵ_2 ... asal gerinim

S_x = σ_x ... X yönündeki gerilme

S_y = σ_y ... Y yönündeki gerilme

S₁ = σ_1 ... asal gerilme

S₂ = σ_2 ... asal gerilme

S_u = σ_{xx} ... yalnız X yönünde ölçme yapılması halindeki gerilme

g = ...tg 2 β ... asal gerinim yönü

E = elastisite modülü

+ = çekme

- = bası

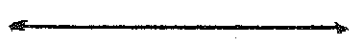
M = 0.3 (poison oranı)

E = 21000 kg/mm²

$$a = \frac{X_1 - X_1}{X_1}, \quad b = \frac{Y_1 - Y_1}{Y_1}, \quad c = \frac{Z_1 - Z_1}{Z_1}$$



$$e_1 = \frac{a+b}{2} + \frac{\sqrt{(a-b) + (2c-a-b)}}{2}$$



$$e_2 = \frac{a+b}{2} - \frac{\sqrt{(a-b) + (2c-a-b)}}{2}$$

E

$$e_x = \frac{(a+Mb)}{1-M^2}$$

E

$$e_y = \frac{(b+Ma)}{1-M^2}$$

E

$$e_z = \frac{(e_1 + Me_2)}{1-M^2}$$

E

$$\epsilon_z = \frac{E}{1-\mu^2} (\epsilon_x + \mu \epsilon_y)$$

$$\mu = 0.3 \quad (\text{poisson oranı})$$

$$E = 21000 \text{ Kg/mm}^2 \quad (\text{elastisite modülü})$$

$$\text{tg } 2\beta = \frac{2\epsilon_z - \epsilon_x - \epsilon_y}{\epsilon_x - \epsilon_y}$$

7. SONUÇLAR:

Artık gerilmeler metal yapılar içerisinde çeşitli imalat basamakları sırasında birçok sebeplerden dolayı ortaya çıkarlar. Bu gerilmeler plakalar, çubuklar ve profiller gibi birçok malzeme içerisinde yalnız kaynak işleminde değil haddeleme, döküm, dövme v.b. işlemler esnasında da ortaya çıkarlar. Artık gerilmeler emniyet gerilmesi üzerinde önem kazandıklarından malzemede gevrek çatlamalara yol açarlar. Bu çatlamalara ilaveten yorulma ve korozyon hatalarına da sebep olurlar. Bu nedenlerle artık gerilmelerin saptanması ve ölçümünün ne kadar gerekli olduğu açıktır.

Optik-mekanik mikroskop kullanarak enine ve boyuna doğrultuda artık gerilmeler ile asal gerilmeler, yönleri ve büyüklükleri kaynak çekme bölgesi dışında elastik kabullerden giderek uygulanan MIG, Tozaltı ve Elektrik ark kaynağı yöntemlerinde bulunmuştur.

Bu optik-mekanik ölçümlerde en önemli sorun ölçüm hassasiyetidir. Eğer iyi bir ölçüm hassasiyetinde çalışılmazsa yöntem kaba bir ölçüm yöntemi olarak yetersiz kalır.

Yapılan ölçümler sonucu enine, boyuna gerilmeler ve asal gerilmeler Elektrik ark kaynağında en büyük, MIG kaynağında daha az ve Tozaltı kaynağında en düşük degerdedir.

Bilindiği gibi artık gerilmeleri etkileyen nedenlerden olan özgül ısı, ısı iletme kabiliyeti, ısı uzama katsayısı, elastiklik modülü , parçanın hacmi ve formu deneyde sabit değerlerdir. Artık gerilmeleri etkileyen diğer iki neden olan sıcaklık farkı ve kaynak hızı kaynak yöntemlerine bağlı olması sebebiyle artık gerilme büyüklükleri değişmektedir.

Optik-Mekanik yolla ölçüm laboratuvar deneylerinde pratik ve ekonomiktir. Ölçü hassasiyetide ölçme aletinin hassasiyetine ve ölçen kişiye bağlıdır.

Bu yöntemin endüstriyel alanda kullanımı için ölçü aleti geliştirilerek hassas ölçme yapılabilir. Fakat çok büyük konstrüksiyonlarda uygulanması gerekli rözet konumunda çizimler yapılması ve malzemeye ait ön bilgilerin bilinmemesi nedeniyle sınırlıdır.

Bu çalışmada kullanılan kaynak yöntemleri ve parametreleri değiştirilip değişik sonuçlar elde edilebilir bir diğer deney çalışması olabilir.

Tablo 6.1- Mikroskopiyla yapılan ölçüm sonuçları

abcd 2	44.082	45.070	45.040	44.083	45.042	45.052
abcd 2	44.067	44.070	45.029	44.077	44.090	44.063
abcd 2	44.124	44.095	45.094	44.094	44.065	45.089
abcd 2	44.081	45.007	45.075	44.076	45.022	45.08
abcd 2	44.081	45.018	45.001	44.099	45.028	45.010
abcd 2	44.079	45.023	45.060	44.093	45.008	45.068
abcd 2	45.028	45.057	45.082	45.033	45.064	45.080
abcd 2	46.013	45.005	46.018	46.004	45.000	46.004
abcd 2	44.097	45.043	45.051	44.066	45.042	45.038
abcd 2	44.071	45.011	44.098	44.069	45.007	44.136
abcd 2	44.878	44.028	45.061	44.858	44.021	45.051
abcd 2	44.046	44.096	45.035	44.061	44.078	45.022
abcd 2	45.008	45.025	44.096	45.048	45.017	44.086
abcd 2	45.054	46.045	46.020	45.051	46.034	46.010
abcd 2	44.078	45.014	45.007	44.090	45.024	45.014
abcd 2	45.035	44.106	45.092	45.034	44.092	45.080
abcd 2	44.051	44.090	44.089	44.053	44.073	44.078
abcd 2	44.694	44.094	45.091	44.679	44.087	45.090
abcd 2	44.036	44.086	45.012	44.063	44.116	45.034
abcd 2	44.051	44.028	44.052	44.071	44.052	44.118

```

c      master program
      dimension title(4)
1      read(5,5) title,iflag
5      format(4a1,1x,i1)
      read(5,*) x1, y1,z1,x2,y2,z2
      write(6,20) title
20     format(2x,4a1)
      write(6,30) x1,y1,z1,x2,y2,z2
30     format(2x,3hx1=,f10.3,1x,3hy1=,f10.3,1x,3hz1=,f10.3,1x,3hx2=,f10.
13,1x,3hy2=,f10.3,1x,3hz2=,f10.3)
      a=(x2-x1)/x1
      b=(y2-y1)/y1
      c=(z2-z1)/z1
      f=(2.*c-a-b)
      h=2.1e4/(1.-0.3**2)
      e1=(a+b)/2.+(((a-b)**2+f**2)**0.5)/2.
      e2=(a+b)/2.-(((a-b)**2+f**2)**0.5)/2.
      sx=h*(a+(0.3*b))
      sy=h*(b+(0.3*b))
      s1=h*(e1+(0.3*e2))
      s2=h*(e2+(0.3*e1))
      su=a*2.1e4
      g=(2.*c-a-b)/(a-b)
      write(6,40) a,b,c,f,e1,e2,sx,sy,s1,s2,su,g
40     format(2x,2ha=,e12.6,1x,2hb=,e12.6,1x,2hc=,e12.6,1x,2hf=,e12.6,/
22x,3he1=,e12.6,1x,3he2=,e12.6,1x,3hsx=,e12.6,1x,3hsy=,e12.6,1x,
33hs1=,e12.6,1x,3hs2=,e12.6,/,2x,3hsu=,e12.6,1x,2hg=,e12.6)
      if(iflag.eq.1) stop
      go to 1
      stop
      end

```

```

      abcd
x1=   44.082 y1=   45.070 z1=   45.040 x2=   44.083 y2=   45.042 z2=   4
5.052
a= .226725E-04 b=-.621253E-03 c= .266368E-03 f= .113132E-02
e1= .351578E-03 e2=-.950159E-03 sx=-.377777E+01 sy=-.186376E+02 s1= .153532E+0
1 s2=-.194927E+02
su= .476123E+00 g= .175691E+01
      abcd
x1=   44.067 y1=   44.070 z1=   45.029 x2=   44.077 y2=   44.090 z2=   4
4.063
a= .226889E-03 b= .453834E-03 c=-.214528E-01 f=-.435864E-01
e1= .221338E-01 e2=-.214531E-01 sx= .837783E+01 sy= .136150E+02 s1= .362259E+0
2 s2=-.341838E+02
su= .476467E+01 g= .192057E+03
      abcd
x1=   44.124 y1=   44.095 z1=   45.094 x2=   44.094 y2=   44.065 z2=   4
5.089
a=-.679874E-03 b=-.680408E-03 c=-.110903E-03 f= .113848E-02
e1=-.110903E-03 e2=-.124938E-02 sx=-.203999E+02 sy=-.204122E+02 s1=-.112089E+0
2 s2=-.295996E+02
su=-.142774E+02 g= .213362E+04
      abcd
x1=   44.081 y1=   45.007 z1=   45.075 x2=   44.076 y2=   45.022 z2=   4
5.080
a=-.113452E-03 b= .333268E-03 c= .110950E-03 f= .208370E-05
e1= .333270E-03 e2=-.113454E-03 sx=-.310878E+00 sy= .999804E+01 s1= .690540E+0
1 s2=-.310918E+00
su=-.238249E+01 g=-.466445E-02
      abcd
x1=   44.081 y1=   45.018 z1=   45.001 x2=   44.099 y2=   45.028 z2=   4
5.010
a= .408288E-03 b= .222096E-03 c= .199970E-03 f=-.230443E-03
e1= .463323E-03 e2= .167061E-03 sx= .109596E+02 sy= .666288E+01 s1= .118486E+0
2 s2= .706287E+01
su= .857405E+01 g=-.123766E+01
      abcd
x1=   44.079 y1=   45.023 z1=   45.060 x2=   44.093 y2=   45.008 z2=   4
5.068
a= .317610E-03 b=-.333150E-03 c= .177528E-03 f= .370596E-03
e1= .366673E-03 e2=-.382212E-03 sx= .502305E+01 sy=-.999449E+01 s1= .581560E+0
1 s2=-.628178E+01
su= .666981E+01 g= .569482E+00
      abcd
x1=   45.028 y1=   45.057 z1=   45.082 x2=   45.033 y2=   45.064 z2=   4
5.080
a= .111066E-03 b= .155358E-03 c=-.443392E-04 f=-.355102E-03
e1= .312139E-03 e2=-.457151E-04 sx= .363861E+01 sy= .466074E+01 s1= .688672E+0
1 s2= .110600E+01
su= .233238E+01 g= .801724E+01

```

```

abcd
x1= 46.013 y1= 45.005 z1= 46.018 x2= 46.004 y2= 45.000 z2= 46
.004
a=-.195572E-03 b=-.111122E-03 c=-.304227E-03 f=-.301760E-03
e1=.332970E-05 e2=-.310025E-03 sx=-.528252E+01 sy=-.333368E+01 s1=-.206948E+0
1 s2=-.713136E+01
su=-.410702E+01 g=.357324E+01
abcd
x1= 44.097 y1= 45.043 z1= 45.051 x2= 44.066 y2= 45.042 z2= 4
5.038
a=-.702956E-03 b=-.221888E-04 c=-.288573E-03 f=.147999E-03
e1=-.142379E-04 e2=-.710906E-03 sx=-.163757E+02 sy=-.665664E+00 s1=-.525023E+0
1 s2=-.165041E+02
su=-.147621E+02 g=-.217400E+00
abcd
x1= 44.071 y1= 45.011 z1= 44.098 x2= 44.069 y2= 45.007 z2= 4
4.136
a=-.453564E-04 b=-.889031E-04 c=.861763E-03 f=.185779E-02
e1=.862018E-03 e2=-.996277E-03 sx=-.166217E+01 sy=-.266709E+01 s1=.129954E+0
2 s2=-.170232E+02
su=-.952484E+00 g=.426619E+02
abcd
x1= 44.878 y1= 44.028 z1= 45.061 x2= 44.858 y2= 44.021 z2= 4
5.051
a=-.445578E-03 b=-.158989E-03 c=-.221969E-03 f=.160629E-03
e1=-.138016E-03 e2=-.466551E-03 sx=-.113833E+02 sy=-.476967E+01 s1=-.641496E+0
1 s2=-.117221E+02
su=-.935713E+01 g=-.560487E+00
abcd
x1= 44.046 y1= 44.096 z1= 45.035 x2= 44.061 y2= 44.078 z2= 4
5.022
a=.340539E-03 b=-.408236E-03 c=-.288675E-03 f=-.509654E-03
e1=.419034E-03 e2=-.486731E-03 sx=.503235E+01 sy=-.122471E+02 s1=.630035E+0
1 s2=-.833124E+01
su=.715132E+01 g=-.680651E+00
abcd
x1= 45.008 y1= 45.025 z1= 44.096 x2= 45.048 y2= 45.017 z2= 4
4.086
a=.888751E-03 b=-.177751E-03 c=-.226826E-03 f=-.116465E-02
e1=.114510E-02 e2=-.434095E-03 sx=.192791E+02 sy=-.533253E+01 s1=.234200E+0
2 s2=-.209000E+01
su=.186638E+02 g=-.109203E+01
abcd
x1= 45.054 y1= 46.045 z1= 46.020 x2= 45.051 y2= 46.034 z2= 4
6.010
a=-.666349E-04 b=-.238848E-03 c=-.217343E-03 f=-.129203E-03
e1=-.450952E-04 e2=-.260388E-03 sx=-.319129E+01 sy=-.716545E+01 s1=-.284335E+0
1 s2=-.632115E+01
su=-.139933E+01 g=-.750251E+00

```

```

abcd
x1= 44.079 y1= 45.014 z1= 45.007 x2= 44.090 y2= 45.024 z2= 4
5.014
a= .249588E-03 b= .222116E-03 c= .155531E-03 f=-.160642E-03
e1= .317339E-03 e2= .154365E-03 sx= .729745E+01 sy= .666348E+01 s1= .839189E+0
1 s2= .575922E+01
su= .524135E+01 g=-.584747E+01
abcd
x1= 45.035 y1= 44.106 z1= 45.092 x2= 45.034 y2= 44.092 z2= 2
5.080
a=-.221928E-04 b=-.317416E-03 c=-.266061E-03 f=-.192514E-03
e1= .641869E-05 e2=-.346027E-03 sx=-.270963E+01 sy=-.952247E+01 s1=-.224745E+0
1 s2=-.794081E+01
su=-.466048E+00 g=-.652095E+00
abcd
x1= 44.051 y1= 44.090 z1= 44.089 x2= 44.053 y2= 44.073 z2= 4
4.078
a= .454636E-04 b=-.385536E-03 c=-.249531E-03 f=-.158990E-03
e1= .596584E-04 e2=-.399731E-03 sx=-.161974E+01 sy=-.115661E+02 s1=-.139064E+0
1 s2=-.881154E+01
su= .954735E+00 g=-.368887E+00
abcd
x1= 44.694 y1= 44.094 z1= 45.091 x2= 44.679 y2= 44.087 z2= 4
5.090
a=-.335602E-03 b=-.158751E-03 c=-.221652E-04 f= .450023E-03
e1=-.541392E-05 e2=-.488939E-03 sx=-.884370E+01 sy=-.476253E+01 s1=-.350990E+0
1 s2=-.113207E+02
su=-.704764E+01 g=-.254465E+01
abcd
x1= 44.036 y1= 44.086 z1= 45.012 x2= 44.063 y2= 44.116 z2= 4
5.034
a= .613144E-03 b= .680547E-03 c= .488744E-03 f=-.316203E-03
e1= .808499E-03 e2= .485192E-03 sx= .188610E+02 sy= .204164E+02 s1= .220167E+0
2 s2= .167940E+02
su= .128760E+02 g= .469126E+01
abcd
x1= 44.051 y1= 44.028 z1= 44.052 x2= 44.071 y2= 44.052 z2= 4
4.119
a= .454030E-03 b= .545068E-03 c= .152096E-02 f= .204282E-02
e1= .152197E-02 e2=-.522876E-03 sx= .142512E+02 sy= .163520E+02 s1= .315026E+0
2 s2=-.152963E+01
su= .953462E+01 g=-.224391E+02

```

K A Y N A K L A R

1.Masubuchi, K.,

Residual Stresses and Distortion,

AWS Welding Handbook Seven Edition, Volume 1,
Miami Florida, 1981, 222-248

2.Masubuchi, K.,

Control of Distortion and Shrinkage in Welding,
Welding Research Council Bulletin, 1970,149

3.Harger, O.J.,

Handbook of Experimental Stress Analysis, New
York, 1960, 459-578

4.Anık, S.,

Kaynaklı Parçalarda Oluşan Çekme ve Çarpılmalar,
Mühendis ve Makina, Cilt 24, Sayı 284, Haziran
1988, 26-28

5.Kihara, H., and Fujita, Y.,

The influence of Residual Stresses on the
instability problem, International Institute of
Welding (Distributed in the United States by the
American Welding Society), London, 1960

6.Tall, L., Huber, A.W., and Beedle, L.S.,

Residual Stress and Instability of Axially loaded
columns, International of Welding (Distributed in the
United States by the American Welding Society), London,
1960

7. Faulkner, D.,

Compression Strength of Welded Ship Panels, International Publication at Department of Ocean Engineering, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1971

8. Munse, W. H.,

Fatigue of Welded Steel Structures, Welding Research Council, New York, 1964

9. Tetelman, A. S., and Mc Evily, A. J.,

Fatigue of Structural Materials, John Wiley and Sons, New York, 1961

10. Uhlig, H. H.,

Corrosion and Corrosion Control, and Introduction to Corrosion Science and Engineering, John Wiley and Sons New York, 1963

11. Masubuchi, K., and Martin, D. C.,

Investigation of Residual Stresses by Use of Hydrogen cracking, Welding Journal Part I 40(12), 1961, 553-563

12. Guyot, P.,

A Note on the Shrinkage and Distortion of Welded Joints, Welding Journal 26(9), 1967, 519-529

13. Maulbetsch, J. I.,

Optical Methods of Strain Measurement, Handbook of Experimental Stress Analysis, John Wiley and Sons, New York, 1950, 118-159

14. Cullity, B. O.,

X-ışınlarının Difraksiyonu, çev. Ali Sümer, İTÜ, 1966

15. Soete, W.,

Measurement and Relaxation of residual Stresses, Welding Journal 28(8), 1949, 354-364

16. Kammer, E.W., and T.E. Pardue.,

Electric Resistance Changes of Fine Wires During Elastic and Plastic Strains, SESA, Vol. III, no. 1, 1949, 7-20

17. TOPUZ, A.,

Gerinin ölçerleri, Fotoelastik kaplama ve Mekanik yöntemlerle artık ısı gerilmelerin ölçülmesi, Doçentlik Tezi, İDMMA Makina Böl., İstanbul, 1979

18. ASME.,

USA Standart Code For Power Boilers, Section I

19. ANSI.,

USA Standart Code For Power Piping, B 31.1

20. BS.,

British Standart Code For Pressure Vessels, 2633

21. TS.,

Kaynak ağızları, Birinci baskı, Ankara, Ocak, 1981

22. J.W. Dally., W.F. Riley.,

Strain-Measurement Methods and Instrumentation, Experimental Stress Analysis, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1965, 423-428

23. Oerlikon, A.S.,

Gazaltı Kaynak Elektrodları Katalogu, İstanbul, 1984

24. Oerlikon, A.S.,

Tozaltı Kaynakı Toz ve Elektrodları Katalogu
İstanbul, 1984

25. Oerlikon, A.S.,

Elektrod Katalogu, İstanbul, 1984

TEŞEKKÜR

Beni bu çalışmada yönlendiren, yardımlarını esirgemeyen tez yöneticim değerli hocam Yıldız Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümü Başkanı Doç.Dr.Ahmet TOPUZ'a sonsuz minnetlerimi sunarım.

Çalışmamda gerekli ikazları ve yardımlarını gördüğüm hocam Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi öğretim üyelerinden Yrd.Doç.Dr.Irfan YUKLER'e makalelerin çevrilmesinde ve tezin birçok safhasında yardımını gördüğüm M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Araştırma Görevlisi Ramazan KÖSE'ye i.T.Ü.Sakarya Mühendislik Fakültesi Metalurji Bölümü Araştırma Görevlisi İsmail Hakkı SAFTER'e teşekkür ederim.

Ayrıca deneysel çalışmalarımın bir bölümünü laboratuvarlarında yapma olanağını sağlayan Oerlikon A.Ş. Genel Müdürü Sayın Celil LAYIKTEZ'e,kaynak atölyesi şefi sayın Hacı DOLUTAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

ATAKÖY, Ocak 1987

Serdar SALMAN