

**KAYNAK DİSTORSİYONLARI VE SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİYLE ANALİZİ**

126815

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Mehmet ALTAN
(503991117)**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 4 Ocak 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Ocak 2002**

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Murat VURAL (İ.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Selma AKKURT (İ.T.Ü.)

Y. Doç.Dr. Mustafa ÖZDEMİR (İ.T.Ü.)

OCAK 2002

126815

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın oluşturulmasında bana yol gösteren ve her zaman desteğini gördüğüm tez danışmanım Doç. Dr. Murat VURAL'a teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bana her türlü desteği veren aileme de teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2002

Mehmet ALTAN



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ŞEBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2 . KAYNAKTAN SONRA OLUŞAN ARTIK GERİLMELER	2
2.1 Artık Gerilmelerin Nedenleri	5
2.2 Kaynaklı Parçalardaki Reaksiyon Gerilmeleri ve Artık Gerilmeler	6
3. KAYNAKTA ÇEKME VE DİSTORSİYONLAR	8
3.1 Kaynaklı Yapılarda Oluşan Başlıca Distorsiyon Tipleri	9
3.2 Alın Kaynağında Enine Çekme	11
3.3 Tek Pasolu Bir Alın Bağlantıdaki Enine Büzülme Mekanizmaları	13
3.4 Çok Pasolu Kaynak Sırasındaki Enine Büzülme	14
3.5 Alın Bağlantılarının Boylamasına Büzülmesi	16
3.6 Boylamasına Büzülmelerden Oluşan Eğilme Distorsiyonu	18
3.7 Açısal Distorsiyon	19
3.7.1 Alın Kaynağının Açısal Distorsiyonu	20
3.7.2 Köşe Kaynaklarında Açısal Distorsiyon	22
3.7.3 Açısal Distorsiyon ve Boyuna Eğilme Distorsiyonu	24
3.7.4 Boyuna Eğilme Distorsiyonu	27
3.7.5 Kaynak Paso Sayısının Açısal Distorsiyona Etkisi	29

3.8 Metal Niteliklerinin Distorsiyona Etkisi	30
3.8.1 Isıl Genleşme Katsayısı	30
3.8.2 Isıl İletkenlik	30
3.8.3 Akma Mukavemeti	31
3.8.4 Elastiklik Modülü	31
3.9 Distorsiyonların Kontrolü	32
4. KAYNAK DİSTORSİYONLARININ SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİYLE ANALİZİ	33
4.1 Sonlu Elemenlar Yöntemi	33
4.2 Ansys Bilgisayar Paket Programı	35
5. YAPILAN ÇALIŞMALAR	36
5.1 Problemin Tanımı	36
5.2 Problemin Çözüm Aşamaları	37
6. ÇIKARILAN SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
KAYNAKLAR	48
EKLER	49
ÖZGEÇMİŞ	62

KISALTMALAR

SEM : Sonlu Elemanlar Metodu
ITAB : Isının Tesiri Altında Kalan Bölge



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: Alın dikişindeki enine (T) ve boylamasına (L) büzülme Gerilmeleri	3
Şekil 2.2	: Alın kaynaklı yapıdaki distorsiyon.....	3
Şekil 2.3	: Alın kaynaklı bir bağlantıda kalan gerilmelerin dağılımı.....	5
Şekil 2.4	: Alın birleştirmede artık gerilmelerin tipik dağılımı.....	6
Şekil 3.1	: Katılma sırasındaki çekme	8
Şekil 3.2	: Kaynak distorsiyon tipleri	9
Şekil 3.3	: Kaynaklı parçalarda meydana gelen temel boyut değişimleri...10	
Şekil 3.4	: Alın kaynağındaki üniform olmayan çekme kuvvetleri.....	11
Şekil 3.5	: Alın kaynaklarında oluşan enine çekme miktarları.....	13
Şekil 3.6	: Çok pasolu alın kaynaklarındaki kaynak metali ağırlığının enine çekmeler üzerine etkisi	14
Şekil 3.7	: İyi puntalanmış V ve X dikişlerinde enine distorsiyonun sac Kalınlığıyla değişimi	15
Şekil 3.8	: Çeşitli Ağız Şekillerine sahip olan dikişlerinin enine distorsiyonu, sac kalınlığı 12 mm	15
Şekil 3.9	: Alın kaynağında boyuna çekme	17
Şekil 3.10	: Alın kaynaklarının distorsiyonları	19
Şekil 3.11	: Alın kaynağında üniform olmayan çekme kuvvetleri	20
Şekil 3.12	: Alın kaynağında açısall distorsiyonun oluşum mekanizması	20
Şekil 3.13	: Açısall distorsiyonu azaltmak için tasarlanmış çift V kaynak ağızı	21
Şekil 3.14	: A tarafının kaynağında açısall distorsiyon B tarafının kaynağında Atarafının direnci	21
Şekil 3.15	: T profilde üniform olmayan çekme kuvvetleri	22
Şekil 3.16	: T profilde açısall distorsiyon	22
Şekil 3.17	: Levha kalınlığının ve birim boya düşen kaynak metali ağırlığının açısall distorsiyona etkisi	23
Şekil 3.18	: Alın kaynaklı levhalarda şekil ve boyutlardaki değişme.....	24
Şekil 3.19	: Alın kaynağında distorsiyonların engellenmesi	25
Şekil 3.20	: Açısall distorsiyonu azaltmak için tasarlanmış ağızlar	26
Şekil 3.21	: Boylamasına eğilme momentinin oluşumu	27
Şekil 3.22	: Boylamasına eğilme distorsiyonu	27
Şekil 3.23	: Alın Kaynağında paso sayısının açısall distorsiyona etkisi	29
Şekil 3.24	: Açısall çarpılmanın ön bükme ile dengelenmesi	30
Şekil 5.1	: Alın kaynaklı parçanın 3 boyutlu görüntüsü	36
Şekil 5.2	: Analizde seçilen 3 boyutlu katı eleman	37
Şekil 5.3	: AH çeliğinin sıcaklığa bağlı ısı taşınım katsayısı, özgül Isısı ve ısı iletim katsayısı.....	37
Şekil 5.4	: AH çeliğinin sıcaklığa bağlı poisson oranı, ısıl genleşme katsayısı ve elastisite modülü	38

Şekil 5.5	: Değerleri girilerek programın kendi oluşturduğu elastisite modülünün sıcaklığa bağlı değişimi	38
Şekil 5.6	: Modelin elemanlara bölünmüş şekli	39
Şekil 5.7	: Kaynaklı parçada 1. saniye sonundaki sıcaklık dağılımı	40
Şekil 5.8	: Kaynaklı parçada 60. saniye sonundaki sıcaklık dağılımı	40
Şekil 5.9	: Kaynaklı parçada 1 saat sonundaki sıcaklık dağılımı	41
Şekil 5.10	: Kaynaklı parçanın kaynak sonucundaki deforme olmuş hali ile başlangıç durumunun üst üste gösterilişi	42
Şekil 5.11	: Kaynaklı yapıdaki Von Mises kriterine göre hesaplanan gerilmelerin dağılımı	42
Şekil 5.12	: Hesaplanan Açısal Distorsiyonlar	43
Şekil 5.13	: Açısal distorsiyonların parça kalınlığına ve ağız açılarna bağlı 3 boyutlu grafiği	44
Şekil 5.14	: Açısal distorsiyonların parça kalınlığına ve ağız açılarna bağlı grafiği	44
Şekil 5.15	: Açısal distorsiyonların ağız açılarna ve parça kalınlığına bağlı grafiği	45
Şekil 5.16	: Açısal distorsiyonların kaynak dikiş hacmine ve ağız açılarna bağlı grafiği	45
Şekil E.1	: 50°'lik ağız açısında ve 10 mm parça kalınlığındaki 1.98°'lik Distorsiyon	50
Şekil E.2	: 50°'lik ağız açısında ve 20 mm parça kalınlığındaki 4.52° lik distorsiyon	50
Şekil E.3	: 50°'lik ağız açısında ve 30 mm parça kalınlığındaki 5.57° lik Distorsiyon.....	51
Şekil E.4	: 50°'lik ağız açısında ve 40 mm parça kalınlığındaki 4.58° lik Distorsiyon	51
Şekil E.5	: 50°'lik ağız açısında ve 50 mm parça kalınlığındaki 4.32° lik Distorsiyon	52
Şekil E.6	: 55°'lik ağız açısında ve 10 mm parça kalınlığındaki 3.30° lik Distorsiyon	52
Şekil E.7	: 55°'lik ağız açısında ve 20 mm parça kalınlığındaki 4.81° lik Distorsiyon	53
Şekil E.8	: 55°'lik ağız açısında ve 30 mm parça kalınlığındaki 5.46° lik Distorsiyon	53
Şekil E.9	: 55°'lik ağız açısında ve 40 mm parça kalınlığındaki 4.33° lik Distorsiyon	54
Şekil E.10	: 55°'lik ağız açısında ve 50 mm parça kalınlığındaki 4.10° lik Distorsiyon	54
Şekil E.11	: 60°'lik ağız açısında ve 10 mm parça kalınlığındaki 3.50° lik Distorsiyon	55
Şekil E.12	: 60°'lik ağız açısında ve 30 mm parça kalınlığındaki 4.72° lik Distorsiyon	55
Şekil E.13	: 60°'lik ağız açısında ve 40 mm parça kalınlığındaki 4.86° lik Distorsiyon	56
Şekil E.14	: 60°'lik ağız açısında ve 50 mm parça kalınlığındaki 4.56° lik Distorsiyon	56
Şekil E.15	: 65°'lik ağız açısında ve 10 mm parça kalınlığındaki 4.12° lik Distorsiyon	57

Şekil E.16	: 65°'lik ağız açısında ve 20 mm parça kalınlığındaki 4.86° lik Distorsiyon	57
Şekil E.17	: 65°'lik ağız açısında ve 30 mm parça kalınlığındaki 4.72° lik Distorsiyon	58
Şekil E.18	: 65°'lik ağız açısında ve 40 mm parça kalınlığındaki 4.69° lik Distorsiyon	58
Şekil E.19	: 65°'lik ağız açısında ve 50 mm parça kalınlığındaki 4.05° lik Distorsiyon	59
Şekil E.20	: 70°'lik ağız açısında ve 10 mm parça kalınlığındaki 4.41° lik Distorsiyon	59
Şekil E.21	: 70°'lik ağız açısında ve 20 mm parça kalınlığındaki 4.58° lik Distorsiyon	60
Şekil E.22	: 70°'lik ağız açısında ve 30 mm parça kalınlığındaki 4.51° lik Distorsiyon	60
Şekil E.23	: 70°'lik ağız açısında ve 40 mm parça kalınlığındaki 4.36° lik Distorsiyon	61
Şekil E.24	: 70°'lik ağız açısında ve 50 mm parça kalınlığındaki 4.35° lik Distorsiyon	61



SEMBOL LİSTESİ

μ	: Toplam büzölme
α	: Isıl genleşme katsayısı
ν	: Poisson oranı
σ	: Gerilme
σ_x	: X Eksenî yönündeki artık gerilmeler
σ_y	: Y Eksenî yönündeki artık gerilmeler
σ_m	: Maksimum artık gerilme
Str	: Enine çekme
Aw	: Kaynağın enine alanı
T	: Plakanın kalınlığı
D	: Kök açıklığı
Δl	: Enine büzölme
S	: Kaynak metalinin kalınlığı
v	: Kaynak hızı
I	: Kaynak akımı
V	: Ark voltajı
L	: Kaynak uzunluğu
l_0	: Başlangıçtaki uzunluk
ΔQ	: Sıcaklık değişimi
Tcr	: Kritik levha kalınlığı
F	: Büzölme kuvveti
d	: Büzölme kuvveti eksenî ile tarafsız eksen arası uzaklık

KAYNAK DİSTORSİYONLARI VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE ANALİZİ

ÖZET

Yerel olarak ısıtılmış bir metal iç gerilmeler oluşturur. Isınan bölgeler genişlerken bunun civarındaki soğuk kısımlar bunu az veya çok engeller. Bu şekilde ısınan bir bölge soğursa doğal olarak bir büzülme gerçekleşir ve bu büzülme önemli bir şekil değişimine neden olabilir. Ayrıca malzemede daima bir iç gerilme de kalır.

Bir kaynak konstrüksiyonunda kaynak bölgesi de yerel olarak ısıtılan bölgeyi temsil eder. Kaynak dikişindeki malzeme ergiyip katılaşır. Kaynak dikişinden malzemeye bir ısı geçişi olur. Bütün bu olaylar neticesinde kaynaklı parçada distorsiyonlar meydana gelir. Distorsiyonlar ise boyut hassasiyetini olumsuz yönde etkiler.

Distorsiyonları düzeltmek için kaynaktan sonra ek bir işlem yapmak gerekir. Fakat imal edilmiş parçalarda asla fazla miktarda düzeltme istenmemelidir. Düzeltme ile iç gerilme koşulları kötüleşebilir. Bu da emniyete etki eder. Bunun için daha projelendirme sırasında çekmeler, distorsiyonlar gibi şekil değişimleri miktarını olabildiğince düşük tutacak tasarım yapılmalıdır. Böylelikle düzeltme işlemlerinden de tasarruf yapılır. Bazı durumlarda ise distorsiyonlardan kaçınmak için daha kalın saclar kullanılabilir veya distorsiyonları azaltmak için farklı kaynak ağız şekilleri kullanmak gerekebilir.

Bu nedenlerden ötürü kaynaklı parçalarda oluşan distorsiyonların önceden tahmini yıllardan beri önemli bir araştırma konusu olmuştur. Yapılan deneysel çalışmalarla bir çözüme ulaşıp farklı durumların distorsiyonlar üzerine etkileri bulunabilir, fakat deneysel çalışmalar birçok farklı durumun ve karmaşık problemlerin çözümünde yeterli olmamaktadır. Bu bakımdan bu gibi durumlarda bilgisayar teknolojisi kullanılarak sonlu elemanlar metodu ile bununla ilgili yazılımlar kullanılarak çözüm daha çabuk bir şekilde yapılabilir.

Kaynaklı parçalarda oluşan distorsiyonlar araştırılıp incelendikten sonra yapılan çalışmada kaynaklı parçalarda kaynaktan sonra oluşan distorsiyonlardan açısız distorsiyon SEM ile analiz edilmiş, ağız açılarının ve parça kalınlığının eşleşmesiyle elde edilen 25 farklı durum ele alınmıştır. Bu durumların hepsi ayrı ayrı ANSYS bilgisayar paket programında modellenip analizi yapılmıştır. Çıkan sonuçlar bir başka bilgisayar programı olan EXCEL’de grafik haline dönüştürülmüştür. Daha sonra bulunan sonuçlar, bu konuda yapılan araştırmalar ve deneyler sonucu ortaya konan bilgilerle karşılaştırılmış ve sonuçların benzer olduğu görülmüştür.

WELDING DISTORTIONS AND ANALYSIS WITH FINITE ELEMENT METHOD

SUMMARY

A locally heated metal form internal stresses. While heated parts expand, cooler parts around this heating inhibit this more or less. If a region so heated cools down, a shrinkage will naturally take place and this shrinkage may cause an important change of form. Moreover, there will always be an internal stresses within the material.

In a welding construction, the welding region represents the locally heated region. The material on the welding seam will melt down and solidify. There will be a heat transition from the welding seam to the material. As a result of all these, distortions will form on the welded part. And the distortions will negatively affect dimensional sensitivity.

An additional operation is required after welding to correct the distortions. However, over-correction should not be required in the produced parts. Conditions of internal tension may deteriorate by correction. And this will affect safety. Therefore, from the very beginning, one should make designs that will keep the amount of form changes such as shrinkages and distortions at the minimum as much as possible. Thus, saving will be made from correction operations. As for some occasions, thicker iron sheets may be used to avoid distortion or one may need to use different welding edges to decrease distortions.

For these reasons, prior estimation of distortions formed on welded parts has for years been an important research subject. With experimental researches conducted, one may reach a solution and the effects of different situations on distortions may be found, however different experimental efforts do not suffice in the settlement of many different situations and complicated problems.

In this respect, in such occasions, the solution may be accelerated through finite elements method by using computer technology and software related thereto.

Angular distortion has been analyzed by FEM in the distortions formed after welding at the welded parts in the study conducted after the distortions of welded parts are searched for and examined, and 25 different situations obtained by matching of edge angles and part thicknesses are taken into consideration. The obtained results are converted into a graphic in EXCEL, another computer program. Then, these results are compared to the researches and experimentation conducted in this matter and it is seen that the results were similar.

1.GİRİŞ

Kaynaklı çelik yapıların inşasında imalatçılar çoğu zaman yapının düzgünlüğünü ve çalışmasını etkileyen kaynak sonucu oluşan distorsiyonla karşılaşır. Bu problemle başa çıkabilmek için kaynaktan dolayı meydana gelen distorsiyonun tipini ve miktarını önceden tahmin etmek gerekir.

Yakın zamanda, birçok araştırmacı kaynak yüzünden oluşan çeşitli tipteki distorsiyonu açıklamak ve önceden tahmin etmek için sayısal ve deneysel bazı teknikler kullanmışlardır.Kaynaktan dolayı meydana gelen distorsiyonun belirlenmesi için çoğu zaman deneysel formüller kullanılır.

Kaynak sırasında oluşan çarpılma ve kendini çekmelerin ortadan kaldırılması, kaynaktan sonra büyük masraflara neden olan doğrultma ve düzeltme işlemlerine gerek gösterir. Doğrultma işlemleri zaman kaybına neden olduğu gibi, parçada yeni yeni gerilmeler de doğurur. Kaynaktan sonra gerek duyulan düzeltme işlemlerine harcanan zaman göz ardı edilemeyecek kadar fazladır. Hatta bazı durumlarda düzeltme işlemi için harcanan zaman kaynak için harcanan zamana eşit olduğu görülmüştür. Bu da çarpılmaları en aza indirmek için, uygun bir kaynak tasarımının yapılmasının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada SEM (Sonlu Elemanlar Metodu) yardımıyla alın kaynağındaki distorsiyonlar incelenmiştir. Ele alınan parçanın farklı ağız açıları ve kalınlıklarındaki distorsiyon değerlerinin bulunması amaçlanmıştır.

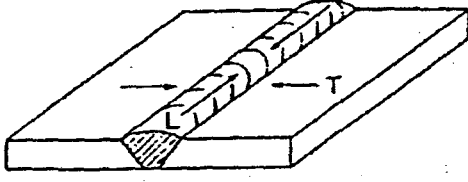
Çalışmanın sonunda kaynak ağız açısının ve parça kalınlığının açısal distorsiyona etkisinin ne kadar fazla olduğu anlaşılmış ve bulunan değerler grafik ile gösterilmiştir.

2. KAYNAKTAN SONRA OLUŞAN ARTIK GERİLMELER

Fizik yasasına uygun olarak ısınan bir parça genişir. Isıl genişleme her doğrultuda aynıdır. Isıl genişleme katsayısı büyüdükçe ısıl genişleme miktarı artar. Daha sonraki soğuma ile metal parça yeniden büzülür. Basit parçaların boyutları (eğer her yönden serbestçe ve ısı homojen olarak dağılmışsa) bütün bu ısıtma ve soğutma sırasında ya hiç değişmez ya da çok az değişir. Yani başlangıç durumuna göre büzülme yoktur. Yerel olarak ısıtılmış bir metal ise tamamen farklı davranır. Bu yerel ısıtma iç gerilmeler oluşturur. Zira, ısınan bölgeler genişirken bunun civarındaki soğuk kısımlar bunu az veya çok engeller. Böyle ısınan bir bölge soğursa doğal olarak bir büzülme takip eder ve bu büzülme önemli bir şekil değişimine neden olabilir. Fakat daima bir iç gerilme kalır. Bu gözlemler bir kaynak konstrüksiyonuna yöneltirirse kaynak dikişi iş parçasındaki yerel olarak ısıtılmış bölgeyi temsil eder.

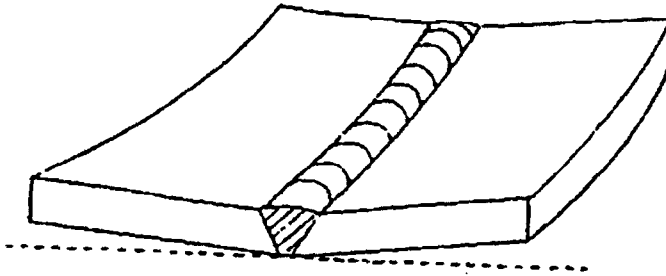
Bir kaynaklı parça, kaynak işlemi sırasında yerel olarak erime sıcaklığına kadar ısınır; ancak soğuma parçanın genelinde ve ısıtma hızına göre daha yavaş gerçekleşir. Bu nedenle kaynaklı parçadaki soğuma sırasındaki sıcaklık dağılımı üniform değildir ve kaynak işlemi sırasında bağlantı boyunca yapısal ve metalürjik değişiklikler ortaya çıkar. Kaynak banyosu katılaşmaya ve büzülmeye başladığında, kendisini çevreleyen esas metal ve ısıнын tesiri altındaki bölgeye gerilme uygular. Ortam sıcaklığına kadar ulaşana kadar kaynak bölgesinin uyguladığı gerilmeler artar ve giderek esas metalin ve ısıнын tesiri altındaki bölgenin akma dayanımına ulaşır.

Bir kaynak dikişi belirli kaynak hızıyla yapılırken, kaynağın yeni katılaşmış olan bölümleri, kaynak banyosunun diğer kısmının büzülmesine karşı koyar. Sonuçta, Şekil 2.1’de gösterildiği gibi, ilk kaynak yapılmış kısımlar kaynak dikişi doğrultusunda çekmeye zorlanırlar. Bir alın birleştirme durumunda ya kaynak ağız formundan ya da mevcut pasoların sınırlayıcı etkisinden dolayı kaynak bölgesinin enine hareketi, genel olarak azdır. Kaynak dikişindeki büzülmenin sonucu olarak, Şekil 2.1’de gösterildiği gibi enine artık gerilmeler de olacaktır.



Şekil 2.1 Alın dikişindeki enine (T) ve Boylamasına (L) büzülme gerilmeleri

Kaynaklı parçalardaki artık gerilmelerin iki büyük etkisi olur. Ya distorsiyona yol açar ya da kaynaklı parçalarda erken hasara sebep olabilirler; ya da bunların her ikisi aynı anda gerçekleşebilir. Isınan kaynak bölgesi, üniform olmayan büzülme davranışı gösterir. Bunun nedeni, kaynak dikişinin enine kesitinin bir kısmındaki büzülmenin, bu enine kesite eksantrik kuvvetler uygulaması ve dolayısıyla büzülme miktarlarının eşit olmamasıdır. Bunun sonucu olarak distorsiyon oluşur. Kaynaklı parça bu gerilmelere karşılık olarak elastik bir biçimde şekil değiştirir ve üniform olmayan bu şekil değişimi sonucu gözle görülebilen miktarda bir distorsiyon ortaya çıkar. Kaynak dikişinin üst bölgesi, kök bölgesine göre daha fazla büzüldüğünden, distorsiyon, alın birleştirmelerde uzunlamasına ve enine çekmeye ek olarak açısal bir çarpılma (dönme) olarak da ortaya çıkabilir. Açısal çarpılma ise, kaynak uzunluğu boyunca levhada enine eğilmeye sebep olur. Bütün bu etkiler Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Alın kaynaklı yapıdaki distorsiyon

Bir kaynaklı parçadaki distorsiyon, kaynağın kullanımı açısından önemli bir faktördür. Distorsiyon kontrolü değişik tekniklerle yapılabilir. En çok kullanılan teknikler, kaynak bağlantısının geometrisini ya kaynaktan önce ya da kaynak sırasında kontrol eder. Bu tekniklerden bazıları; parçanın kaynak sonunda istenen geometri oluşacak şekilde yerleştirilmesi veya parçaların kaynak sırasında distorsiyona uğramasının engellenmesidir.

Bir başka teknik ise yığılan kaynak metalini, kaynak simetri ekseninin her iki tarafında dengelenecek şekilde tasarlamak ve kaynak yapmaktır. Kaynakta yöntem seçimi ve sırası, distorsiyonu ve artık gerilmeleri etkilemektedir. Bazı distorsiyona uğramış kaynaklı parçalar kaynaktan sonra gerekliyse mekanik veya ısı olarak doğrultulabilir.

Artık gerilmeler ve distorsiyon, malzemelerin kırılma davranışını da etkiler; düşük dış gerilme seviyelerinde dahi, burkulma ve gevrek kırılma olasılığını artırır. Artık gerilmelerin ve oluşan distorsiyonun bir arada olması halinde ise, burkulma, beklenenden daha düşük basma zorlamalarında oluşur. Çekme halinde ise, artık gerilmeler, düşük tokluğa sahip kaynak bölgelerinde yüksek yerel gerilmelere yol açan ve sonuçta, düşük gerilmeler tarafından iletilebilen gevrek tip çatlakları oluşturabilir. Bunun yanında artık gerilmeler, yorulma ve korozyon hasarlarını da artırır.

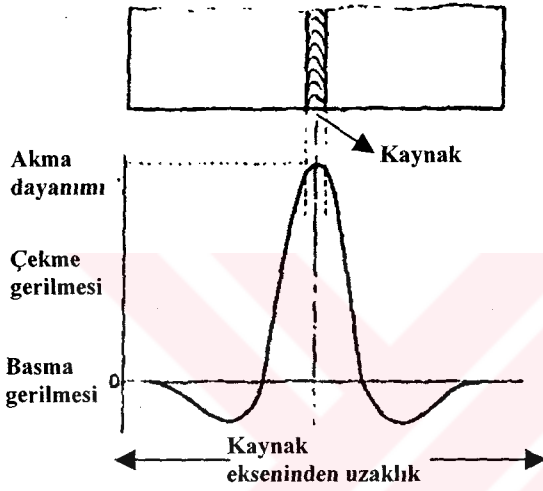
Artık gerilmeler, hem ısı hem de mekanik işlemlerle azaltılabilir veya en aza indirilebilir. Isıl gerilme giderme işlemi sırasında kaynaklı parçanın malzemesinin akma sınırı, plastik şekil değişiminin oluşabileceği daha düşük bir seviyeye düşürür ve böylelikle gerilmelerin azalması sağlanır. Bir ısı gerilme giderme işlemi sonunda, kaynak parçasının mekanik özellikleri de etkilenir. Örneğin, kaynak dikişindeki artık gerilmeler azaltıldığından ve ITAB temperlendiğinden, çoğu kaynaklı çelik parçanın gevrek kırılmaya karşı direnci, gerilme giderme ile artırılır. ITAB'ın tokluğu bu işlemle artar. Ayrıca mekanik gerilme giderme işlemleri de artık gerilmeleri azaltır ama kaynağın ve ITAB'ın iç yapısı ve sertliği değişmez.

Kaynaklı metal yapıların güvenilirliğinin artırılması çok önemlidir. Mühendisler, tasarım aşamasında artık gerilmelerin ve distorsiyonun etkilerini, süreksizliklerin varlığını, kaynaklı parçanın mekanik özelliklerini, tahribatsız deney şartlarını ve de toplam imalat maliyetleri göz önünde bulundurulmalıdırlar.

2.1 Artık Gerilmelerin Nedenleri

Artık gerilmeler, bir kaynaklı parçada tüm dış yükler kaldırıldıktan sonra kalan gerilmelerdir. Artık gerilmeler bir yapının üniform olmayan sıcaklık değişimine maruz kaldığında oluşur ve ısıl gerilmeler olarak da adlandırılır.

Bu gerilmeler hem enine, hem de boyuna çekme gerilmeleridir. Boyuna gerilmeler halinde kaynağın kendisi ve ısıtılmış levhanın bir kısmı, akma gerilmesi civarında gerilmeye maruzdurlar.(Şekil 2.3)



Şekil 2.3 Alın kaynaklı bir bağlantıda kalan gerilmelerin dağılımı

Isı etkisi altındaki bölgeden levhaya doğru hareket edildiğinde, gerilme önce sıfıra düşer. Bu noktanın ötesinde basma gerilmeleri bölgesi mevcuttur.

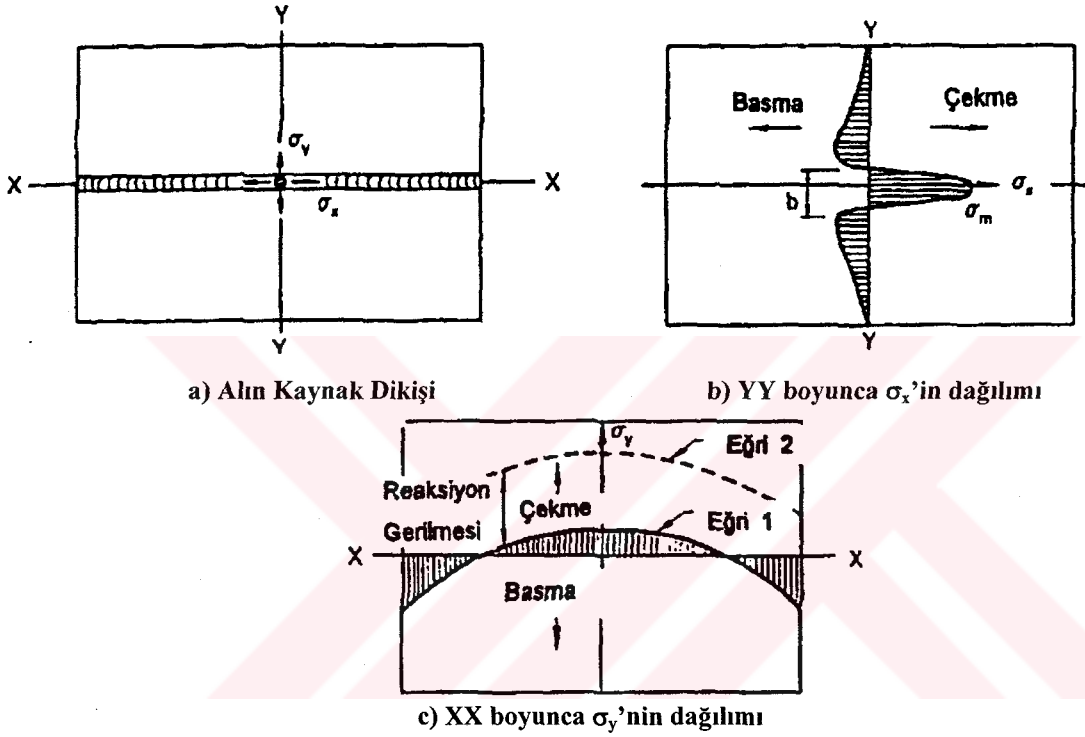
Kaynak sonrası ısıl işleme tabi tutulmamış kaynak bağlantılarının büyük bir kısmı kalan gerilmeleri içerir. Distorsiyonu en aza indirmek için geliştirilen yöntemler kalan gerilmelerin dağılımını değiştirebilir, ancak bunları yok edemez.

2.2 Kaynaklı Parçalardaki Reaksiyon Gerilmeleri ve Artık Gerilmeler

Kaynaklı yapıların imalatı sırasında oluşan artık gerilmeler,

- (a) Serbest parçaların kaynağında oluşan artık kaynak gerilmeleri ve
- (b) Dış tespit varlığından doğan reaksiyon gerilmeleri

olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 2.4, tek pasolu bir alın birleştirmedeki enine ve boylamasına artık gerilmelerin tipik dağılımını gösterir.



Şekil 2.4 Alın birleştirmede artık gerilmelerin tipik dağılımı

Göz önüne alınan gerilmeler, σ_x ile gösterilen kaynak yönüne paralel gerilmeler ve σ_y ile gösterilen enine gerilmelerdir. Şekil 2.4 (a)

Şekil 2.4 (b), σ_x boyuna artık gerilmelerin dağılımını göstermektedir. Bu şekildeki σ_m , maksimum gerilmeyi göstermektedir. b ise artık gerilmelerin çekme bölgesinin genişliğidir. Düşük karbonlu çelikten mamul kaynaklı parçalarda σ_m maksimum artık gerilme, hemen hemen kaynak metalinin akma sınırına eşittir. σ_y artık enine gerilmelerin kaynak dikişi boyunca dağılımı, Şekil 2.4 (c) deki 1. Eğri ile gösterilmiştir.

Bağlantının yanal deformasyonu, bir dış tespit sistemi tarafından sınırlanmışsa, kaynak dikişi boyunca yaklaşık olarak üniform olan çekme gerilmeleri, reaksiyon gerilmeleri olarak artık gerilmelerin üzerine eklenir. Bu durum Şekil.2.4 d (c)'deki 2. eğri ile gösterilmiştir.

Dış tespit sistemi, artık gerilmelerin şiddetini etkileyebilir ancak gerilme dağılımı üzerine etkisi çok küçüktür. Kalınlık yönündeki artık gerilmeler σ_z , kaynaklı parçanın kalınlığının 25 mm'den fazla olması durumunda önem kazanır.

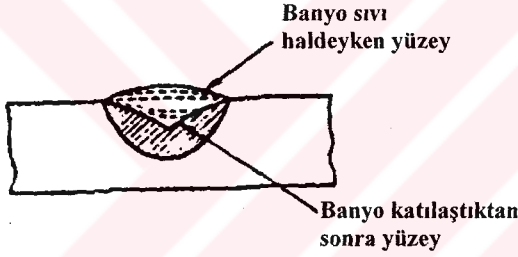


3. KAYNAKTA ÇEKME VE DİSTORSİYONLAR

Kaynak sırasındaki çekme üç bileşenden meydana gelmiştir.

- a) Sıvı metalin büzülmesi
- b) Katılaşma sırasındaki hacim değişimi
- c) Katı metalin büzülmesi

Kaynakta erime ve katılaşma aynı anda geliştiğinden uygulamada sıvı metalin büzülmesi ile katılaşma sırasındaki hacim değişimini beraber incelemek gerekir. Katılaşma çevrimi sırasında bir kaynak bağlantısının kesitine bakıldığında iki safhanın da birbirini etkilediği görülebilir.



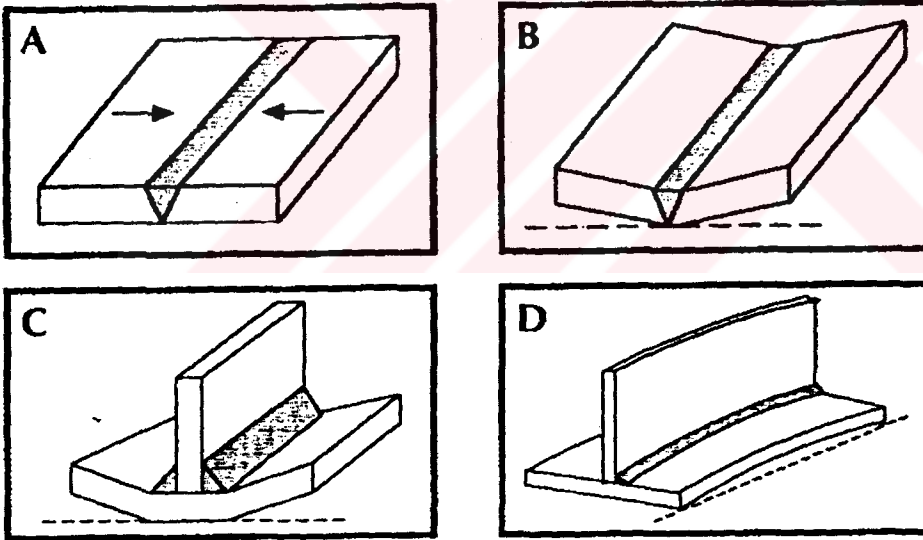
Şekil 3.1 Katılaşma sırasındaki çekme

Katılaşma cephesi yukarıya simetri eksenine doğru ilerlerken, katı metal yerini aldığı sıvı metalden daha az yer işgal eder yani katı metalin yoğunluğu daha yüksektir. Erimiş metalin de büzülme oluştu, kaynak banyosunun yüzeyinin orijinal seviyesinin altına düşmesi sonucunu doğurur. Bununla birlikte erimiş elektrod malzemesinin ilavesi ve kaynak banyosunun ön tarafındaki esas metalin erimesi ile, söz konusu alan aynı anda erimiş ilave metalle beslenir. Böylece sıvı halden katılaşma ve soğuma sırasında önemli ölçüde çekme meydana gelmesine rağmen, hacimdeki azalmayı dengelemeye yeterli ilave metal bulunduğu sürece, kaynak yüzeyi bununla ilgili bir belirti göstermez.

Kaynaktan sonra kaynak metali hale sıcaktır ve tüm bağlantı oda sıcaklığına soğuyuncaya kadar ısı esas metale doğru akmaya devam eder. Bu soğuma safhası sırasında kaynak metali hem bağlantının uzunluğu boyunca, hem de buna dik açıda büzülür. Bu kaynak metalinin hacminin daha küçük hale gelmesi anlamına gelirse de bunun oluşumu kaynak metaline bağlı esas metalin zorlama etkisi ile engellenir.

3.1 Kaynaklı Yapılarda Oluşan Başlıca Distorsiyon Tipleri

Kaynak sırasında uniform olmayan ısınma ve soğuma çevrimleri sonucunda kaynak metalinde ve ısıdan etkilenen bölgede ısı genlemeler ve genlemelerden kaynaklanan gerilmeler yüzünden de malzemenin büzülmesine yol açan iç kuvvetler ortaya çıkar. Kaynak yapılan cismin şekline ve büzülmenin biçimine göre eğilme, burkulma ve dönme gibi çeşitli deformasyonlar ortaya çıkar. Kaynak distorsiyonları denen bu boyutsal değişimlerin bir kısmı şekil 3.2' de gösterilmiştir.



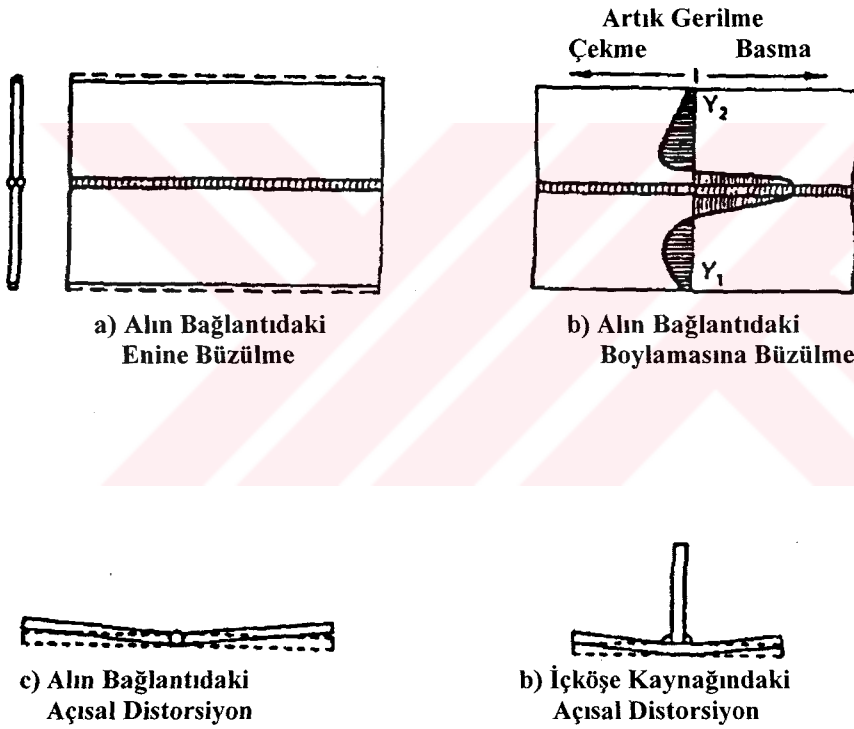
Şekil 3.2 Kaynak distorsiyon tipleri A-Alın kaynağında enine çekme B-Alın kaynağında açısıl distorsiyon C- T profilde açısıl distorsiyon D-T profilde boyuna distorsiyon

Distorsiyon, kaynaklı bir yapıda ısınma-soğuma çevrimi sonucu oluşan kendini çekme, çarpılma, kasılma ve büzülme gibi istenmeyen boyutsal değişimlerdir.

Kaynaklı yapılarda distorsiyon, kaynak sırasında üç temel boyut değişimi şeklinde ortaya çıkar.

1. Kaynak dikişine dik yönde meydana gelen enine büzülme
2. Kaynak dikişine paralel yönde meydana gelen boylamasına büzülme
3. Kaynak dikişi çevresinde dönme içeren açısal çarpılma

Bu değişimler Şekil 3.3'de gösterilmiştir.

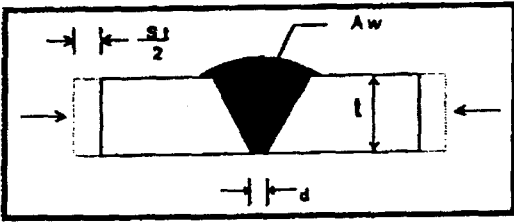


Şekil 3.3 Kaynaklı parçalarda meydana gelen temel boyut değişimleri

Şekil 3.3 (a)'da, büzülmenin kaynak dikişi boyunca üniform olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte, gerçek yapılardaki kaynaklı alın birleştirmelerde meydana gelen enine büzülme, çoğunlukla daha karmaşıktır.

3.2 Alın Kaynağında Enine Çekme

Enine çekme kaynağın oda sıcaklığına kadar soğumasından sonra ortaya çıkan kaynak çizgisine dik doğrultudaki boyutsal küçülmedir. Şekil 3.4



Şekil 3.4 Alın kaynağındaki üniform olmayan çekme kuvvetleri

Genel olarak büzülen kaynak metali, levhaları kaynak eksenine doğru çekmeye çalışır. Bunun sonucunda da tüm bağlantı alanı enine çekme gerilmelerine maruz kalır. Sıcak kaynak metali soğuk levhalardan daha düşük akma gerilmesine sahip olduğundan, şekil değiştirme önce kaynaktan başlar. Ancak soğumanın daha sonraki safhalarında akma gerilmeleri eşit hale geldiğinden, esas malzemede de bir miktar akma oluşur ve kaynaklı levhanın toplam genişliğinde bir azalma meydana gelir.

Oluşan enine çekme miktarı kaynak metalinin toplam hacmine bağlıdır. Ancak genel kural olarak; bağlantıya dik yönde herhangi bir noktadaki toplam enine daralma, kaynağın enine kesit alanı ile doğru, levha kalınlığı ile ters orantılıdır.

Enine çekmenin büyük çoğunluğunun kaynak metalinden ana metale ısı geçişi yüzünden etkilenen ana metalin çekmesinin sonucudur. Karbonlu veya düşük alaşımlı çeliklerde enine büzülmenin hesaplanması için aşağıdaki denklem (1.1) kullanılabilir.

$$\text{Str} = \frac{0,2A_w}{T} + 0.05D \quad (1.1)$$

Burada $Str = Enine \text{ çekme (mm)}$

$Aw = Kaynağın \text{ enine alanı (mm)}$

$T = Plakanın \text{ kalınlığı (mm) ve}$

$D = Kök \text{ açıklığı (mm)}$

Bu denkleme göre enine çekmenin kaynağın enine alanının arttıkça artacağı görülmektedir.

Verilen kalınlıktaki plaka için enine çekmeyi azaltıcı etkili yol bu alanı azaltmak olacaktır. Bu da özellikle plakanın kalınlığı 25 mm'den fazla olduğu durumlarda tek V kaynak ağzı şekilleri tercih etmek gerekir.

Daha niteleyici bilgi edinmek için kaynak parametreleriyle bağıntılı, çekmenin ısı geçişine bağlı olduğunu gösteren denklem (1.2) kullanılabilir.

$$\Delta l = \frac{17,4 \times W \times 10^{-3}}{S \times U} \quad (1.2)$$

$\Delta l = Enine \text{ büzülme (mm)}$

$S = Kaynak \text{ metalinin kalınlığı (mm)}$

$U = Kaynak \text{ hızı (mm/dak)}$

$W = I \times V \text{ arkın elektrik gücü}$

$I = Kaynak \text{ akımı (A)}$

$V = Ark \text{ voltajı (V)}$

Denklem (1.2), çekmenin ısı girdisinin artmasıyla arttığını gösterir. Bir kaynak bağlantısı birçok değişik yöntemlerle ve farklı ısı girdileri ile kaynak edilebilmekle beraber çekmeyi azaltmak için ısı girdisini azaltmak gerekmektedir. Çok pasolu alın kaynağında çekme göreceli olmakla birlikte diğer pasolarda azalmaktadır. Bunun sebebi ise kaynak metali erime alanının artmasıyla çekme direncinin artmasıdır. Bu göz önüne alınırsa tek bir büyük pasonun çekmeyi azalttığı görülebilir. (Şekil 3.5)

Büyük boyutlu, iyi puntolanmış yapı elemanlarında yapılmış ölçmelerin ortalama değerleri					
Dikiş kesiti	Kaynak türü	Çekme miktarı mm	Dikiş kesiti	Kaynak türü	Çekme miktarı mm
	Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, her iki pasoda yatay pozisyonunda	1,0		Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, 20 passo, kök oyulması yok	3,2
	Çıplak elektrod ile ark kaynağı	1,4		1/3 örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, 2/3 tozaltı kaynağı tek passo	2,4
	Örtülü elektrod ile 5 passo, kök oyulması yok	1,6		Bakır altlık ile tozaltı kaynağı, tek passo	0,6
	Örtülü elektrod ile 5 passo, kök oyulmuş ve 2 passo çekilmiş	1,8		Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, ağız açısı 120° tavsiye edilmez	3,3
	Örtülü elektrod ile her iki taraftan 4'er passo çekilmiş	1,8		Altlık kullanılarak tek taraftan örtülü elektrod ile ark kaynağı	1
	Derin nüfuziyetli elektrod ile kaynatılmış	1,6			
	Gaz erime kaynağı (sağ kaynak)	2,3			

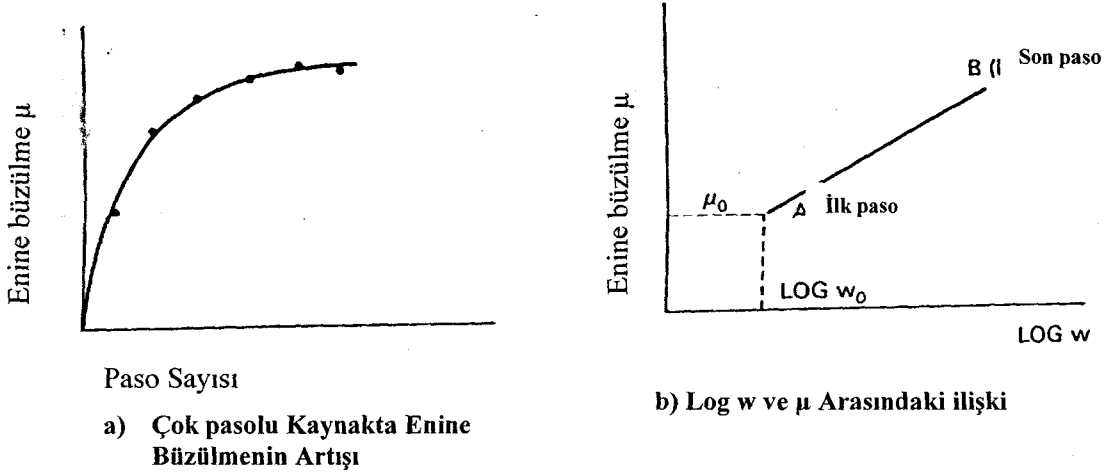
Şekil 3.5 Alın kaynaklarında oluşan enine çekme miktarları

3.3 Tek Pasolu Bir Alın Bağlantıdaki Enine Büzülme Mekanizmaları

Tek pasolu bir alın kaynağının enine büzülmesinin önemli bir kısmı, esas metalin büzülmesinin sonucudur. Esas metal, kaynak sırasında genleşir. Kaynak metali katılaşmaya başladığında, genleşmiş esas metal büzülür. Bu büzülme, enine büzülmenin temel kısmını oluşturur.

3.4 Çok Pasolu Kaynak Sırasındaki Enine Büzülme

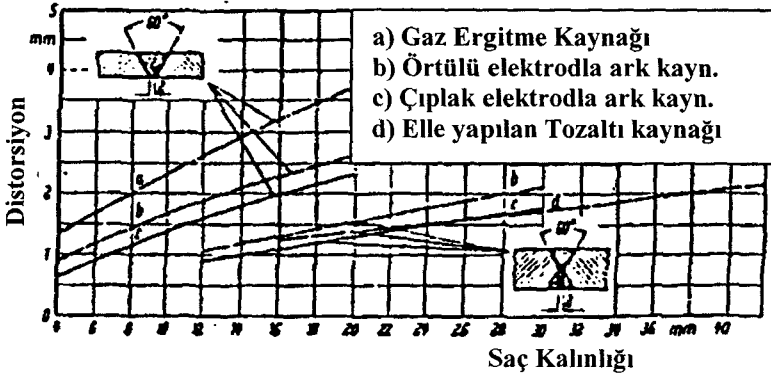
Alaşımsız yapı çeliklerinde, alın birleştirmelerin çok pasolu kaynağı sırasında, enine büzülme her pasoda artar.



Şekil 3.6 Çok pasolu alın kaynaklarındaki kaynak metali ağırlığının enine çekmeler üzerine etkisi

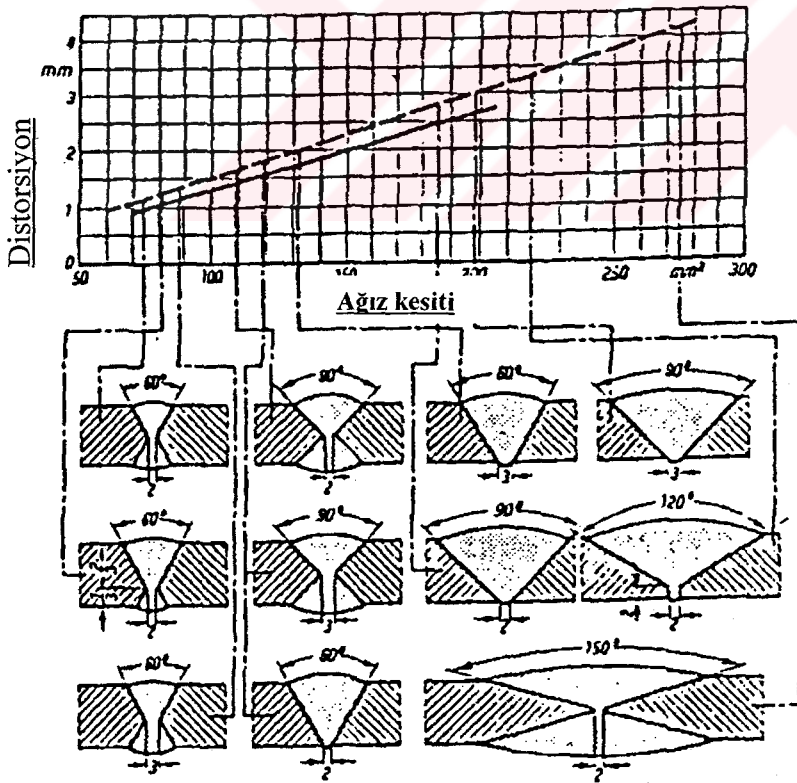
Şekil 3.6 (a)'da gösterildiği gibi ilk pasoda daha çok olan büzülme miktarı daha sonraki pasolarda azalmaktadır. Kaynak dikişinin kesiti büyüdükçe büzülmeye karşı olan direnç artar. Şekil 3.6 (b)'de gösterildiği gibi kaynak metalinin ağırlığının logaritması ile toplam büzülme miktarı arasındaki lineer bir ilişki vardır.

Basit olarak sabitlenmemiş alın dikişlerinin alın kaynağındaki distorsiyonların büyüklüğü kaynak banyosuna (dikiş kesitinin) büyüklüğüne, çevreleyen malzemeye (kütleye) ve kaynak yöntemine bağlıdır. Aynı düzlemdeki distorsiyondan başka bir V dikişinde çok az bir açılmal distorsiyon da ortaya çıkar. Şekil 3.7'de iyi puntalanmış V ve X dikişlerinin farklı kaynak yöntemlerine ve sac kalınlıklarına göre enine distorsiyonu gösterilmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi 4 farklı kaynak yönteminde de enine distorsiyon miktarı sac kalınlığının artmasıyla artmaktadır.



Şekil 3.7 İyi puntalanmış V ve X dikişlerinde enine distorsiyonun sac kalınlığıyla değişimi

Şekil 3.8 de ise kaynak dikiş biçiminin ve özellikle dikiş hacminin distorsiyona yaptığı etki görülmektedir.



Şekil 3.8 Çeşitli Ağız Şekillerine sahip olan dikişlerinin enine distorsiyonu, sac kalınlığı 12 mm

3.5 Alın Bağlantılarının Boylamasına Büzülmesi

Kaynaklı yapıların emniyeti için en büyük tehlikeler boyuna distorsiyonun etkisiyle ortaya çıkar. Boyuna çekme kaynak uzunluğuna paralel doğrultudaki boyutsal küçülmedir. Boyuna çekme miktarı enine çekmeyle karşılaştırıldığında oldukça küçüktür. Bu değerde kaynak uzunluğunun 1/1000'i kadardır. Aşağıdaki bağıntı, kaynak akımı, kaynak uzunluğu ve plaka kalınlığı ile bağıntılı olan boyuna çekmenin miktarını vermektedir.

$$\Delta l = \frac{12IL}{T} 10^{-7} \quad (1.3)$$

Δl = Boyuna çekme,

I = Kaynak akımı (A)

L = Kaynak uzunluğu (mm)

T = Plakanın kalınlığı (mm)

Boylamasına çekme doğrudan doğruya kaynak uzunluğuna bağlı olduğu için boyuna çekmeyi azaltmak uygun olan yerlerde aralıklı kaynak yapmakla mümkün olur.

Boydaki azalmayı hesaplamak için bir diğer eşitlik ise aşağıdaki gibidir.

$$I_1 = I_0 (1 - \alpha \Delta \theta) \quad (1.4)$$

$$\text{veya } I_1 = I_0 - I_0 \alpha \Delta \theta \quad (1.5)$$

I_0 = Başlangıçtaki uzunluk

I_1 = $\Delta \theta$ °C soğuduktan sonraki uzunluk

α = Doğrusal genleşme katsayısı

$\Delta \theta$ = Sıcaklık değişimi (°C)

Bu nedenle doğrusal çekme veya büzülme $I_0 \alpha \Delta \theta$ 'ya eşittir. Düşük karbonlu çelik için aşağıdaki veriler kullanılabilir:

$$\alpha = 14.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta \theta = \text{Erime sıcaklığı} - \text{Oda sıcaklığı}$$

$$= 1500^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$$

$$= 1480^{\circ}\text{C}$$

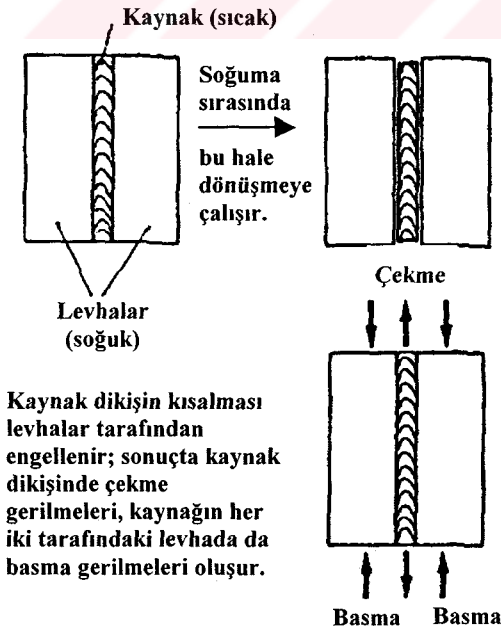
Kaynağın 1 metre uzunluğunda olduğunu farz edelim:

$$l_0 \alpha \Delta \theta = 1000 \text{ mm} \times 143 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \times 1480^{\circ}\text{C}$$

$$= 21.2 \text{ mm}$$

α 'nın değeri belirtilen sıcaklık aralığı boyunca sabit kalmadığından, yukarıdaki değer sadece yaklaşık bir değerdir. Ancak bu değer, kaynağın uzunluğu boyunca önemli miktarda büzülmenin meydana geldiğini göstermektedir. Uygulamada ölçülen büzülme bu değerden önemli ölçüde düşüktür ve kaynağın metre uzunluğu başına 1 mm mertebesinde dir.

Bunun nedeni sıcak kaynak elemanının her iki tarafta soğuk levhalara bağlı olması ve serbestçe kendini çekememesidir. Levhalar az çok rijit olarak düşünülebilir. Böylece kaynak metali büzülmeye çalışırken, başlangıçtaki uzunluğunda tutularak plastik şekil değişimine maruz bırakılır. Bu, kaynak bölgesinde çekme kuvvetlerinin, levhalarda ise basma yönünde tepki kuvvetlerinin ortaya çıktığı anlamına gelir.



Şekil 3.9 Alın kaynağında boyuna çekme

Eğer bu levhalar mükemmel rijit olsalardı, soğuma çevrimi tamamlandığında kaynak bağlantısı levhaların başlangıçtaki uzunluğuna eşit uzunlukta olurdu. Ancak oluşan basma gerilmelerinin şiddeti oldukça yüksektir ve gerilmeler esas metalin basmadaki akma dayanımını aştığından, levhaların kendileri bağlantının genel uzunluğunu azaltacak şekilde plastik şekil değiştirir. Soğuk levhanın akma dayanımının sıcak kaynak metalinkinden daha yüksek olması nedeniyle, bu şekil değiştirme kaynak elemanında oluşabilecek şekil değiştirme miktarından önemli ölçüde küçüktür. Kaynak bağlantılarında çekme sırasında oluşan gerilmelerin şiddeti ile ilgili bulgular şöyledir. Düşük karbonlu çeliklerde ortaya çıkan sıcaklıklarda

1×10^{-3} mm/mm (yani bağlantının 1 m uzunluğu başına 1 mm kasılma)'lık basma genlemesine ulaşmak için gerekli basma gerilmesi değeri 150 ila - 170 N/mm²'dir.

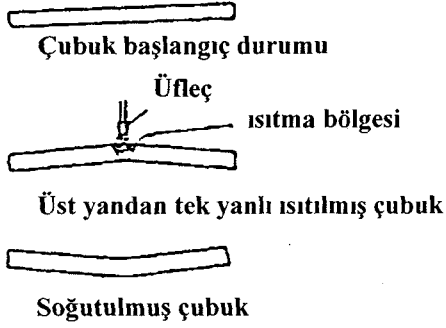
3.6 Boylamasına Büzölmelerden Oluşan Eğilme Distorsiyonu

Kaynak dikiş, kaynaklı yapının tarafsız eksenile çakışmadığında, kaynak metalinin boylamasına büzölmesi, yapının boylamasına distorsiyonunu yol açan eğilme momentleri oluşturur.

Kaynak bağlantılarında, malzeme kaynak sonucu oluşan ve tespiti çok zor olan iç gerilmeler, çekmeler ve çarpımalara maruz kalır. Kaynak edilen bölgedeki malzeme ergiyip katılaştığından yapısı döküm yapısına benzer. Kaynak dikişinden malzemeye geçiş bölgesindeki kristal yapı farkı mukavemete etki eder.

3.7 Açısal Distorsiyon

Çubuğun ya da yapı elemanının tek yönlü ısıtılması bir gerilme etkisi yapar. Burada ortaya çıkan açısal distorsiyonların ölçüsü yerel olarak alınan ısı miktarına ve çevredeki malzemeye olan ısı iletimine bağlıdır.



Şekil 3.10 Alın kaynaklarının distorsiyonları

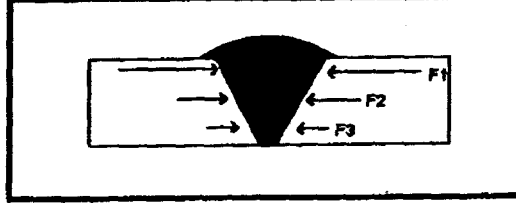
Burada ısınan kısım ısı kaynağı yönünde bükülür ve aynı anda yığılır. Soğuduğunda yığılma tamamen geri dönmez ısınan kısımlar bir kısalma gösterirken yan tarafında bulunan yüzeyler ısı kaynağı yönünde bükülür. (Şekil 3.10)

Distorsiyonlar boyuna, enine ve açısal olmak üzere üç kısma ayrılır. Bu üç distorsiyon tarzı birlikte etki eder. Fakat olayları daha kolay anlamak için birbirinden bağımsız olarak ele almak gerekir. Pratikte genellikle bu üç distorsiyon tarzından biri, bazen ikisi, nadiren de üçü birden önemli olur.

Bir çubuğun ısıtılmasında benzer olaylar kaynakta da ortaya çıkar. Sadece genleşmeler daha azdır. Fakat değişik koşullar nedeniyle kısalma ve distorsiyon daha büyüktür. Burada da enine ve boyuna distorsiyonları ayırmak gerekir.

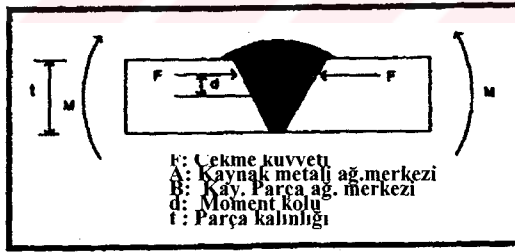
3.7.1 Alın Kaynağının Açısal Distorsiyonu

Alın kaynaklarının açısal distorsiyonu, levhanın kalınlık yönünde üniform olmayan ısı çekmeler neticesinde ortaya çıkan açısal değişimdir. (Şekil 3.11)

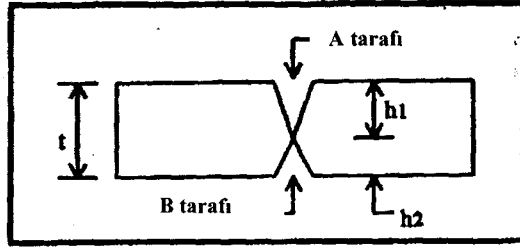


Şekil 3.11 Alın kaynağında üniform olmayan çekme kuvvetleri

Bu üniform olmayan ısı çekme kaynak sırasında kalınlık doğrultusunda düzgün olmayan ısınmadan kaynaklanmaktadır. Açısal değişim birkaç faktöre bağlıdır. Örneğin bağlantının şekli ve boyutları, levhanın kalınlığı ve kaynak yöntemidir. Açısal distorsiyonun miktarının hesabı için genel ve basit bir formül yoktur, fakat bu distorsiyonun oluşum şeklini anlamak, distorsiyonu azaltmaya ve bazı durumlarda yok etmeye yardımcı olur. Tek V kaynak ağızlarında (şekil 3.12), (A) kaynak metalinin ağırlık merkezinden geçtiği farz edilen çekme kuvvetleri B kaynaklı parçanın ağırlık merkeziyle çakışmaz ve levhayı eğmeye çalışan M momenti oluşturur. Bu mekanizma tek ve çok pasolu kaynaklarda da aynıdır.

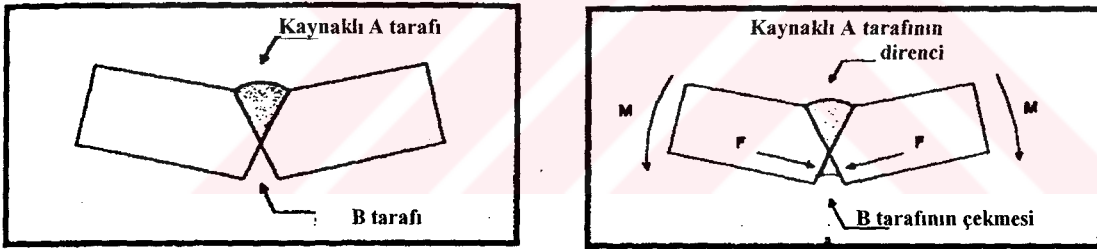


Şekil 3.12 Alın kaynağında açısal distorsiyonun oluşum mekanizması



Şekil 3.13 Açısal distorsiyonu azaltmak için tasarlanmış çift V kaynak ağzı

Açısal distorsiyon miktarı “M” momentinin artmasıyla artar. M momentinin artış değeri, “d” uzunluğunun artmasına ve F çekme kuvvetlerine bağlıdır. F ve d değerleri kaynak metalinin birim boya düşen ağırlığına ve levhanın kalınlığına bağlıdır. Çift V ağzılı kaynak yaparak ve çift V ağız kalınlığını kontrol ederek açısal distorsiyon en aza indirgenebilir veya yok edilebilir. A tarafını kaynak yaparken (şekil 3.14) levha önceki anlatılan mekanizma tarafından yukarı bükülür ve B tarafında kaynak olmadığı için buradan bir dirençle karşılaşmaz.

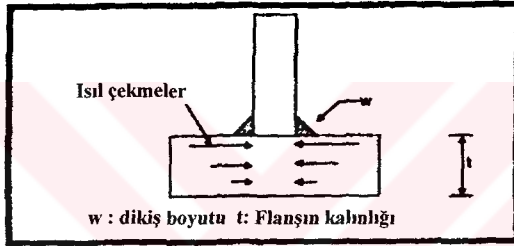


Şekil 3.14 A tarafının kaynağında açısal distorsiyon B tarafının kaynağında A tarafının direnci

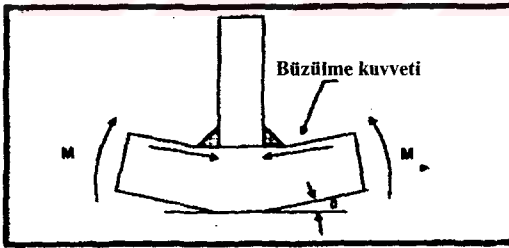
B tarafını kaynak yaparken, burada diğer taraftan daha yüksek oranda açısal değişim ortaya çıkar fakat A kaynağı tarafından dirençle karşılaşır. Bu açısal değişim kaynak işlemi bittikten sonra da devam eder ve oranı h_1/h_2 oranına bağlıdır. Bu oran levhanın kalınlığına ve kaynak yöntemine bağlı olarak <1 , >1 veya 1 'dir. Bazı deneysel sonuçlara göre 32 mm'den ince olan levhalar için bu açısal değişim oranı 1 'den büyük, 32 mm'den kalın levhalarda 1 'den küçüktür. İlk kaynak yapılan A tarafındaki farklı açısal çarpımları karşılamak için farklı h_1/h_2 oranları gerekecektir.

3.7.2 Köşe Kaynaklarında Açısal Distorsiyon

Alın kaynağındaki açısal distorsiyona benzer olarak köşenin kalınlık doğrultusunda ısı çekmesi M momentini oluşturur ki bu da köşe kaynağı yaparken açısal distorsiyona sebep olur. (Şekil 3.15) Genel olarak açısal distorsiyon köşe kaynağının boyutuna köşenin kalınlığına ve kaynak yöntemine bağlıdır. Dizayn parametrelerini göz önüne alırsak köşenin boyutu, levha kalınlığı ve kaynak koşulları açısal distorsiyonun oluşmasında büyük rol oynar. Açısal distorsiyon ancak levha kalınlık doğrultusunda üniform ısınma sağlanırsa en aza indirgenir. Bu da kaynak koşullarına özellikle ısı girdisi ve nüfuziyetine bağlıdır.

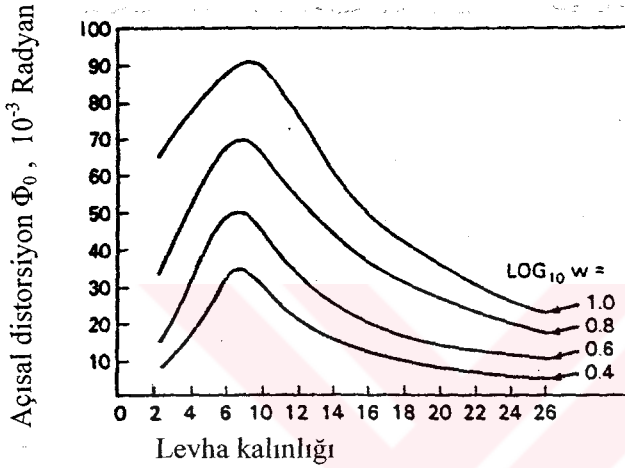


Şekil 3.15 T profilde uniform olmayan çekme kuvvetleri



Şekil 3.16 T profilde açısal distorsiyon

Birçok koşulun ve değişkenin rol oynadığı köşe kaynağı açısai distorsiyonun miktarını bulabilecek genel formüller yoktur. Nitekim şekil 3.17’de gösterildiği gibi bazı grafikler, ve birtakım koşullar altında elde edilen denklemler açısai distorsiyonuna hangi parametrelerin etki ettiğini gösterir. Şekil 3.17’de verilen kalınlıktaki plaka için kaynak dikişinin boyutu arttıkça açısai distorsiyonunda arttığını ve bir dikiş boyutu için açısai distorsiyonun maksimum olduğu kritik kenar kalınlığı t_{cr} ’in olduğunu gösteriyor.



Şekil 3.17 Levha kalınlığının ve birim boya düşen kaynak metali ağırlığının açısai distorsiyona etkisi

Bu grafikte t_{cr} yaklaşık olarak 10-12 mm’dir. t_{cr} ’den az olan kalınlıklarda kenarının doğrultusunda üniform ısınma sağlandığı için ve ısıl büzülme nedeniyle ortaya çıkan açısai değişim üniform olduğundan distorsiyonda azalma görülür. t_{cr} ’den daha kalın levhalarda da kenarın m momentine olan direnci arttığından ve rijitlikte artma olduğundan açısai distorsiyonda azalma görülür. 1.6 denklemi, tek pasolu elektrik ark kaynağında kaynak yöntemlerinin açısai distorsiyona etkisini vurgulamaktadır.

$$\delta = Cl \left(\frac{1}{h\sqrt{vh}} \right)^{2.5} \times \exp \left(-c2 \frac{I}{h\sqrt{vh}} \right) \quad (1.6)$$

d = açısal değişim

c_1, c_2 = kaynak koşuluna ve kullanılan elektrod çapına bağlı olan sabitler

I = kaynak akımı (A)

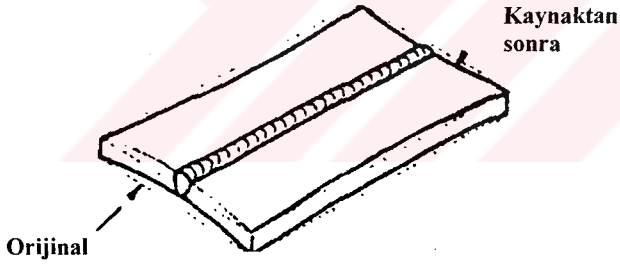
V = kaynak hızı (cm/s)

h = levhanın kalınlığı (cm)

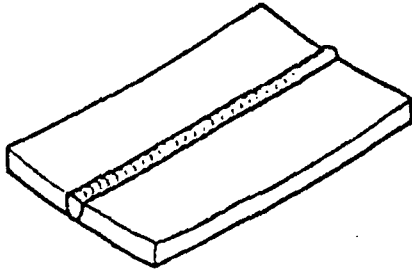
Belirli bir kenar kalınlığı için açısal distorsiyon miktarı I/V değerine bağlıdır. Bir kaynak farklı kaynak yöntemleriyle yapılabileceğinden bu da I ve v 'nin değişik değerler alması demektir.

3.7.3 Açısal Distorsiyon ve Boyuna Eğilme Distorsiyonu

Hem enine, hem de boyuna çekme göz önüne alındığında birbirine alın kaynağı ile kaynaklanmış iki levhanın şekli sonuçta, Şekil 3.18 (a) da gösterildiği gibi olur. Ancak, çekme nötr eksen civarında üniform olarak dağılmadığı ve kaynak bir anda soğumayıp zamanla soğuduğu için, bu yaklaşım uygulamada geçerli değildir.



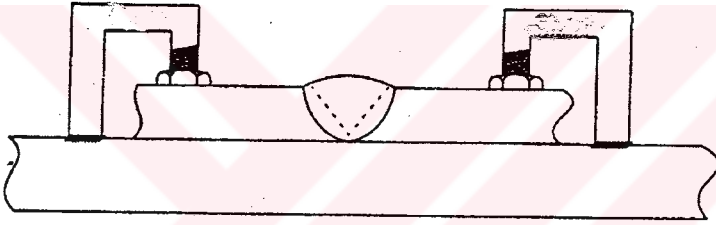
(a) Tüm kalınlık boyunca üniform çekme sonucu oluşan şekil değişim.



(b) Simetrik olmayan çekme distorsiyon oluşturmaya eğilim gösterir.

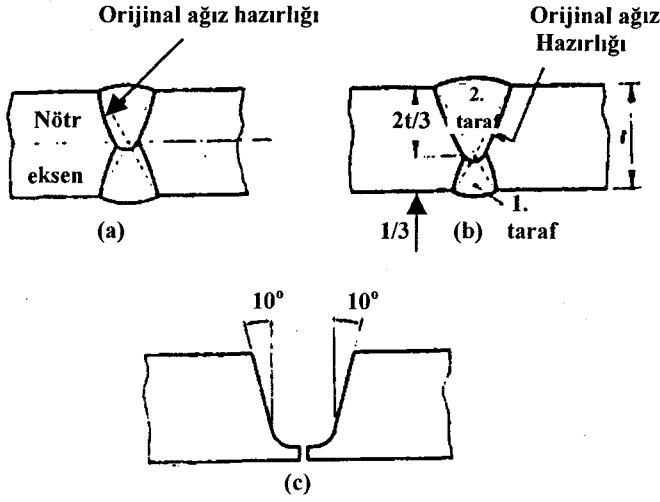
Şekil 3.18 Alın kaynaklı levhalarda şekil ve boyutlardaki değişme

60° ağız açısı hazırlanarak yapılmış bir alın kaynağına bakıldığında bağlantının üzerindeki kaynak metali genişliğinin kökteki genişliğe nazaran çok daha büyük olduğu görülür. Çekme miktarı soğuyan metalin genişliği ile orantılı olduğundan kaynağın üstünde çok daha büyük bir büzülme oluşacaktır. Bunun sonucunda da, birçok üretim işlemlerinde de olduğu gibi, levhalar serbestçe hareket edebiliyorlarsa birbirlerine nazaran döneceklerdir. Bu hareket “açısal distorsiyon” olarak bilinir.(Şekil3.18 (b)). Bitmiş ürünün kabul edilebilmesi için levhaların ve bağlantılarının düzeltilmesi gerektiğinden, açısal distorsiyon üretici için problemler oluşturan bir olaydır. Bu nedenle açısal distorsiyon miktarını minimum bir değere düşürebilmek için tedbirler alınmalıdır. Bağlantıyı oluşturan levhaların veya sacların hareketini engellemek için mengeneler kullanılabilir.(Şekil 3.19)



Şekil 3.19 Alın kaynağında distorsiyonların engellenmesi

Fakat bu çoğu zaman mümkün olmayabilir. Bu durumda çözüm nötr eksen civarındaki çekme miktarını dengelemeye yönelik uygun kaynak işlemlerinin tasarlanmasını gerektirir. Bunun için genel olarak iki yaklaşım kullanılabilir. Bağlantının her iki tarafının da kaynak edilmesi veya levhanın kalınlığı boyunca daha üniform kaynak genişliği verecek ağız hazırlığının kullanılması. (Şekil 3.20)

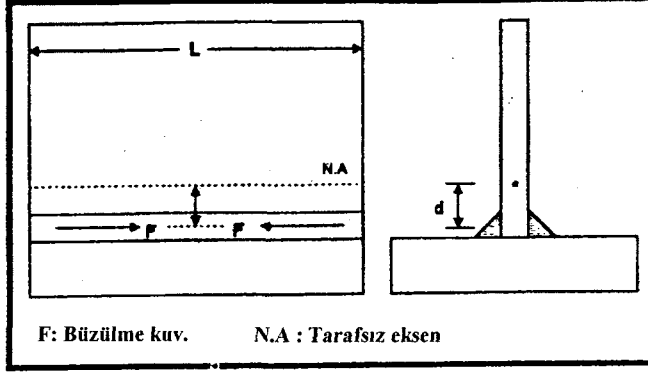


Şekil 3.20 Açısal distorsiyonu azaltmak için tasarlanmış ağızlar

- a) Çift V bağlantıları nötr eksenin her iki tarafında da az çok eşit miktarda daralma meydana getirerek çekmeyi dengeler. Bu tek V'ye nazaran daha az açısal distorsiyon oluşturur.
- b) İki kaynak pasosu daima sonraki pasolardan daha fazla açısal dönme oluşturduğundan, simetrik bir çift V ile tamamen düz bir bağlantı elde etmek zordur. Bu nedenle bir asimetrik ağız hazırlığı tercih edilmelidir. Böylece ikinci tarafta bulunan daha büyük miktardaki kaynak metali, birinci kaynak sırasında oluşan distorsiyonu geriye doğru çeker.
- c) Bir başka çözüm olarak hemen hemen paralel kenarlı tek U ağız da kullanılabilir. Bu bütün kesit boyunca üniform kaynak genişliğine oldukça yakın bir çözüm getirir.

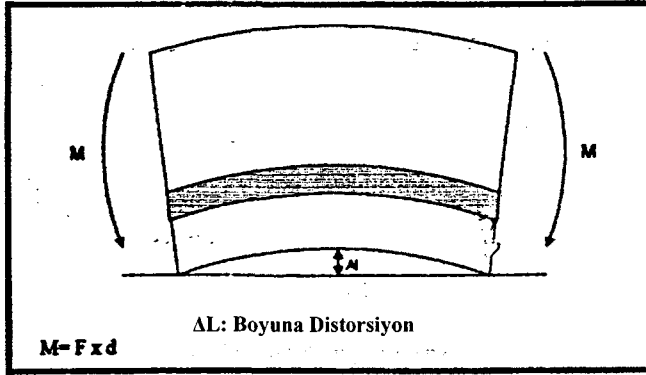
3.7.4 Boyuna Eğilme Distorsiyonu

Bu tip distorsiyon kaynağın tarafsız eksenine paralel olarak boyuna çekme kuvvetlerinin sebep olduğu eğilme gerilmeleri sayesinde oluşur.(Şekil 3.21)



Şekil 3.21 Boylamasına eğilme momentinin oluşumu

Bu tip distorsiyon genellikle kaynaklı kirişlerin imalinde görülür. Tarafsız ekseninden d kadar uzunlukta bulunan kaynak merkezinden geçtiği farz edilen F büzülme kuvveti, M momenti oluşturur ve şekil 3.22’de gösterildiği gibi bağlantıyı eğmeye zorlar. Artık distorsiyon büzülme kuvvetinin şiddetine ve kaynağın gösterdiği dirence bağlıdır.



Şekil 3.22 Boylamasına eğilme distorsiyonu

Dönme miktarını hesaplamak için aşağıdaki denklem (1.7) kullanılabilir.

$$\Delta l = \frac{F \times d \times L^2}{8EI} \quad (1.7)$$

F = Büzülme kuvveti,

d = Büzülme kuvveti eksenine ile tarafsız kuvvet arası uzaklık

I = Tarafsız eksen etrafındaki bağlantının eylemsizlik momenti.

L = Kiriş boyu

E = Elastisite modülü

Büzülme kuvveti F'in kaynak enine alanına bağlı olduğunu varsayarak denklem (1.8) aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\Delta l = \frac{0,005 A_w \times d \times L^2}{I} \quad (1.8)$$

A_w = Kaynak enine alanı

L ve I parametreleri verilen bir geometrik dizaynda eğilme distorsiyonu " A_w " kaynak enine alanına, d moment koluna ve kaynak sırasına bağlıdır. Tarafsız eksenle simetrik olarak dengelenmiş kaynaklarda ve I profil kirişlerde eğilme momentleri eşit ve zıt yönlüdür, fakat en son oluşan distorsiyon kaynak sırasına bağlıdır.

Eğer iki kenarda aynı anda kaynak edilirse bağlantının direnç alanında bir artış olur ve en son oluşan distorsiyon diğer tarafını kaynak ederken oluşan momentle bozulmaz. Tarafsız eksenle simetrik olarak dengelenmemiş kaynaklarda, kaynak sırasını belirlerken her kaynaktan sonra her bir kaynağın ayrı ayrı etkilerini analiz etmek ve kaynak direnç alanının artışını dikkate almak gerekir.

Çekme kuvvetinin kaynak enine alanına bağlı olmasından dolayı birim boyda oluşan kaynak metali miktarı açısız distorsiyonun kontrolünde önemli bir rol oynar. Kaynak metali miktarını azaltacak herhangi bir girişim distorsiyonu azaltmaya yardım eder.

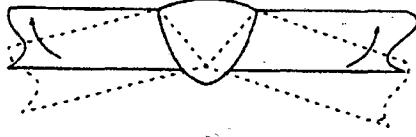
3.7.5 Kaynak Paso Sayısının Açısal Distorsiyona Etkisi

Bir V dikişinin açısal distorsiyonu şekil yapısına bağlıdır. Distorsiyon büyüklüğü paso sayısı ile belirlenir. Bir V alın dikişi önce kök kaynak yapılır. Daha sonra ağız dolana kadar diğer pasolar çekilir. Her kaynak pasosu az bir enine distorsiyona neden olur. Kaynak ağzının dolgusunun artmasıyla üst taraf daha fazla büzülür. Bu dikişin kökü etrafında bir dönem büzülmesi hareketine neden olur. Ne kadar çok sayıda paso üst üste yapılırsa açısal distorsiyonda o kadar büyük olur. Bu nedenle dik bir ağız daha az açısal distorsiyon verir. Üst pasoların çekilmesinde kaynak dikişi tüm derinliğince ne kadar fazla ısınırsa açısal distorsiyon o derece az olur. Şekil 3.23'de paso sayısının açısal distorsiyona etkisi görülmektedir.

Dikiş kesiti	Kaynak türü	Çarpılma açısı	Dikiş kesiti	Kaynak türü	Çarpılma açısı
	Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, iki paso	1°		Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, sekiz geniş paso	7°
	Çıplak elektrod ile elektrik ark kaynağı, üç paso	1°		Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, 22 dar paso	13°
	Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, beş paso	3 1/2°		Bakır aletlik ile tek paso tozaltı kaynağı	0°
	Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, beş paso, kök tersten oyulmuş ve üç paso çekilmiş	0°		1/3 Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, 2/3 tozaltı kaynağı tek paso	2°
	Gaz eritme kaynağı (sağ kaynak)	1°		Çelik band aletlik ile tozaltı kaynağı iki paso	5°
	Gaz eritme kaynağı iki taraftan aynı anda dik pozisyonda	0°			

Şekil 3.23 Alın Kaynağında paso sayısının açısal distorsiyona etkisi

2 mm çaplı örtülü çubuk elektrodlarla kaynakta 5°'ye kadar açısal çarpılma beklenebilir. Bu değer ön bükme (ters bükme) ile dengelenebilir.(şekil 3.24)



Şekil 3.24 Açısal çarpılmanın ön bükme ile dengelenmesi

Kök kaynağının açısal distorsiyona etkisi büyük saç kalınlıklarında azdır. X dikişlerinde alternatif olarak çevirmek suretiyle ve dikişin bölünmesiyle çarpılmalar bir yandan giderilmektedir. Simetrik bir X dikişinde her iki yandaki kaynak metali aynıdır.

3.8 Metal Niteliklerinin Distorsiyona Etkisi

Metalin ısı genleşme katsayısı, ısı iletkenliği, elastikiyet modülü ve akma mukavemetinin yaklaşık değerlerinin bir kaynaklı konstrüksiyonda bilinmesi, tasarımcı ve kaynakçıya distorsiyon sorununun göreceli etkisini önceden kestirmekte yardımcı olur.

3.8.1 Isıl Genleşme Katsayısı

Isıl Genleşme katsayısı, bir metalin ısıtıldığında uğradığı genleşme ya da soğuduğunda meydana gelen çekmenin bir ölçüsüdür. Yüksek ısı genleşme katsayılı metaller, belli bir ısı değişmesi için, düşük katsayılı metallere göre daha fazla genişler ve çekerler. Yüksek ısı genleşme katsayısı metallerde, hem kaynak metalinin hem de kaynağa komşu metalin daha fazla büzülmesi nedeniyle, kaynaklı konstrüksiyonun distorsiyona uğrama olasılığını artırır.

3.8.2 Isıl İletkenlik

Isıl İletkenlik, bir malzeme içinden ısı akış kolaylığının bir ölçüsüdür. İzafî olarak düşük ısı iletkenliğe sahip metaller (Örneğin paslanmaz çelikler ve nikel esaslı alaşımlar) ısıyı hızla dağıtmazlar. Yüksek ısı iletkenliğe sahip metaller (Al, Cu) ısıyı hızla dağıtırlar. Düşük ısı iletkenliğe sahip metallerin konstrüksiyonlarında dik bir ısı gradyan meydana gelir, bu da kaynakta ve komşu levhada çekme etkisini artırır.

3.8.3 Akma Mukavemeti

Akma mukavemeti, kaynak metalinde, bir kaynaklı konstrüksiyonun distorsiyon derecesini etkileyen bir başka parametredir. Soğuma sırasında bir kaynaklı birleşmenin çekmesini sağlayabilmek için gerilmeler kaynak metalinin akma mukavemetine varmalıdır. Kaynak alanında bir malzemenin akma mukavemeti ne kadar yüksek ise konstrüksiyonu distorsiyona uğratma yolunda etki yapan artık gerilmeler de o kadar yüksek olur.

3.8.4 Elastiklik Modülü

Elastiklik Modülü, bir malzemenin rijitliğinin ölçüsüdür. Yüksek elastiklik modüllü bir metal distorsiyona daha dayanıklı olur.



3.9 Distorsiyonların Kontrolü

Kaynak distorsiyonlarının kontrolü ve en aza indirgenmesi için çeşitli kaynak parametrelerinin distorsiyon üzerine olan etkilerini deneysel formüllerle birlikte incelemek gerekir. Bir formülü seçerken göz önünde bulundurulması gereken bir hususta formülün belirli bazı koşullar altında elde edildiğini bilmek ve bunu gerçek koşullara uyarlamaktır.

Distorsiyon, kaynaklı yapıların imalinde, birçok değişkene ve boyutsal değişimlere bağlı olduğundan çok karmaşıktır. Nitekim ortaya çıkan en son distorsiyonu düzgün bir dizayn ve kaynak yöntemi uygulanırsa en aza indirmek mümkün olur. Kaynaklı yapılardaki distorsiyon 3 ana boyutsal değişimin sonucudur; enine çekme, boyuna çekme ve açısal değişim.

İlk ve önemli nokta, distorsiyonun bütün şekillerinin özgül ısı girdisiyle, yani birleşmeyi tamamlamak için gerekli birim uzunluk başına ısıyla arttığıdır. Bu nedenle ısı girdisini ve aynı zamanda genellikle ergimiş metal kesit alanını asgaride tutan yöntemler daha az distorsiyon meydana getirir.

Kaynak yöntemleri distorsiyon tipine ve miktarına etki eder. Kaynaklı yapılarda kaynak yöntemi içinde, kaynak işlemi, kaynak parametreleri, kaynak sırası, ön ısıtma ve bağlantı detayları gibi faktörler distorsiyona etki eder. Sonuç olarak, bir yapının kaynak distorsiyonunun kontrolü ve tahmini için bir metod tanımlarken yukarıdaki faktörlerin hangisinin en fazla etkisi olduğunu belirlemek gerekir.

Çubuklar ve borular gibi hazır satın alınan bir çok malzemede şekillendirme, doğrultma ve ısıtıl işleminden ötürü kalan gerilme sistemleri mevcuttur ve bu gerilmelerin daha sonraki kaynak işlemleriyle karşılıklı etkileşimleri beklenmeyen distorsiyon olaylarının kaynağı olabilir.

4. KAYNAK DİSTORSİYONLARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE ANALİZİ

4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, fizik ve mühendislik problemlerinin matematiksel çözümünde kullanılan sayısal çözüm metotlarından biridir. Bu metot mühendislerin karşılaştığı birçok karmaşık ve zor problemlerde kullanılmaktadır. Kullanılan yerler, gerilme analizi, akışkanlar mekaniği, ısı transferi, mekanik titreşimler, vb.

Sonlu elemanlar yönteminin temel kavramları sıcaklık, basınç, veya deplasman gibi herhangi bir sürekli niceliğin küçük ve sürekli parçaların birleşmesi ile oluşan bir modele dönüştürülmesidir.

Bu teknik 1950' li yıllarda bilgisayarın gelişmesi ile ortaya çıkmış ve günümüzde de sıkça kullanılır hale gelmiştir. Bilgisayar teknolojisi ve yazılımdaki gelişmelere paralel olarak, mühendislik alanındaki gelişmelerle birlikte sonlu elemanlar yöntemi de karışık problemlere uygulanmakta ve güvenli sonuçlar vermektedir.

Bu metoda göre, orijinal geometri malzemenin yüzeyinde ve içinde noktalar içeren elementler dizisi tarafından yerleştirilir. Model cevabı tekil bir element için ele alınır. Önce tekil bir elementin noktasal cevabı çıkarılır, daha sonra katının bütünüdürün davranışı her bir elementin katkısı birleştirilerek elde edilir.

Sonlu elemanlar yöntemi günümüzde sıkça kullanılmaktadır ve diferansiyel eşitlikte düzenlenen fiziksel problemlerin tümünü kapsar. Sonlu elemanlar yönteminin birçok avantajı vardır. Bu da onun birçok uygulamada kullanılmasına olanak verir. Bu avantajlardan bazıları şöyledir;

1. Bitişik elemanlardaki malzeme özellikleri aynı olmayabilir. Bu özellik birkaç malzemenin birleştirildiği cisimlerde uygulanabilmesine imkan vermektedir.
2. Düzgün olmayan sınırlara sahip şekiller, eğri kenarlı elemanlar kullanılarak analiz edilebilir.

3. Eleman boyutları analizci tarafından değiştirilebilir. Böylece önemli değişiklikler beklenen bölgelerde daha küçük elemanlar kullanılarak hassas işlemler yapılabilirken, aynı parçanın diğer bölgeleri büyük elemanlara bölünerek işlem hızı artırılabilir.
4. Süreksiz yüzey yüklemeleri gibi sınır durumları, yöntem için zorluk oluşturmaz. Karışık sınır durumları kolaylıkla ele alınabilir.
5. Yukarıda sayılan kapasitelere sahip bir program yazılırsa sadece tek bir duruma değil birçok probleme uygulanabilecek bir yöntem geliştirilmiş olur.

Sonlu elemanlar yönteminin en büyük dezavantajı bilgisayara ve bilgisayar programlarına olan ihtiyacıdır. Çünkü çok küçük problemler için bile sayısal birçok hesaplamaları gerektirir. Günümüzde sonlu elemanlar yöntemi esasıyla çözüm yapan çok sayıda bilgisayar paket programları mevcuttur. Bunlardan bazıları; ANSYS, NASTRAN, IDEAS, ADAMS, LUCAS, FLOTRAN vs.'dir. Bu çalışmada ise ANSYS 5.4 kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlar metodu ile bir problemin çözümünde belli bir sıra takip edilir. Bu sıra genel olarak aşağıdaki gibidir;

1. **Ön işlem** : Bu bölümde problemin modeli kurulur. Model kurulurken yapılan işlemler ise genel olarak şöyledir:
 - a) Başlık Verme : Burada konuyla ilgili başlık verilmektedir.
 - b) Eleman Tipinin Seçimi: İki boyutlu bir şekil, en basit olarak üçgen elemanlara bölünebilir. Eğer ele alınan cismin kenarları doğrusal değilse, bu eğrilik küçük elemanlar kullanılarak belli bir yaklaşıklıkla ifade edilebilir.
Bazı problemlerde çözüm bölgesinin üç boyutlu olarak ele alınması gerekebilir. Bu durumda sonlu eleman tiplerinin de üç boyutlu olarak seçilmesi gerekir.
 - c) Malzeme Özelliklerinin Girilmesi: Kurulan modelin malzemesine ait bazı özellikler girilir. Elastiklik modülü, poisson oranı, akma dayanımı, ısıl genleşme katsayısı gibi.

2. **Model Geometrisinin Oluşturulması** : Model geometrisi iki şekilde oluşturulmaktadır. Birincisi, programda hazır bulunan geometrilerin birbirleri ile kesiştirilmesi, eklenmesi, çıkarılması gibi işlemlerle oluşturma; ikincisi ise çizgilerin ve alanların kullanıldığı klasik yöntemlerle geometri oluşturmaktır.
3. **Modelin Elemanlara Bölünmesi** : Oluşturulan model, çözüm için gerekli olan sonlu elemanlara bölünür.
4. **Yüklerin Uygulanması ve Çözüm** : Bu bölümde, analiz tipleri ve opsiyonları tanımlanır, sonrada yükler uygulanır. Eğer yükü basamaklamak gerekliyse bu basamaklar girilir ve son olarak da çözüm gerçekleştirilir.
5. **Çözümlerin Değerlendirilmesi (Son İşlem)** : Bu bölümde, elde edilen ve veri tabanında toplanan çözümler okutulur ve okutulan sonuçlar, görüntüler veya listeler halinde çıktı olarak alınır.

4.2 Ansys Bilgisayar Paket Programı

Ansys, sonlu elemanlar analizi ve dizaynı için geliştirilmiş bir bilgisayar programıdır. Ansys programı hemen hemen her türlü sonlu eleman analizi, endüstri, otomobil, uçak sanayi, demiryolları, makineler, elektronik, güç üretimi, güç transmisyonu, biyomekanik... vs. gibi daha birçok yerde kullanılır. Ansys programı genel amaçlı bir programdır yani mühendisliğin bütün kollarında (örneğin yapısal, mekaniksel, elektriksel, elektromagnetik, elektronik, termal, akışkan ve biomedikal) kullanılabilir.

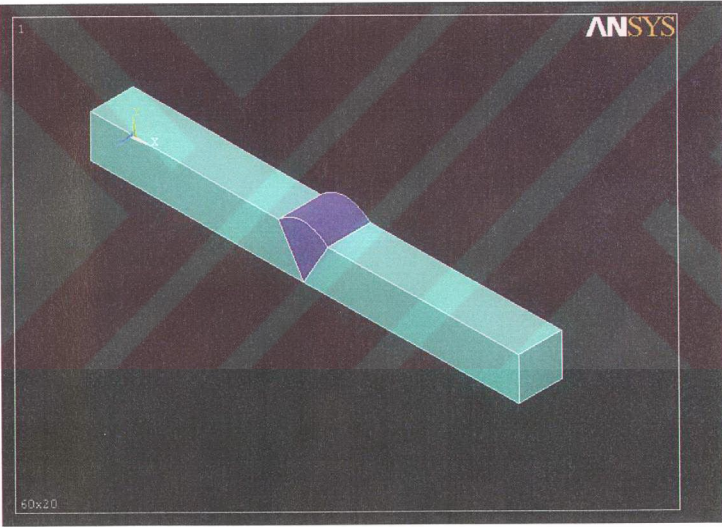
5. YAPILAN ÇALIŞMALAR

5.1 Problemin Tanımı:

Bu çalışmada kaynaklı bağlantılarının en çok kullanılan şekli olan alın kaynağında kaynaktan sonra oluşan distorsiyonlar ANSYS 5.4 bilgisayar paket programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiştir.

Kaynak sonucu meydana gelen distorsiyonlardan biri olan açılmal distorsiyonun farklı kaynak ağız açılarında ve farklı parça kalınlıklarındaki miktarı incelenmiştir.

Parça 3 boyutlu modellenerek böylelikle parçada kaynaktan sonra oluşan tüm distorsiyonların açılmal distorsiyona olabilecek etkisinde göz önüne alınmıştır. Ele alınan parça şekil 5.1’de gösterilmiştir.

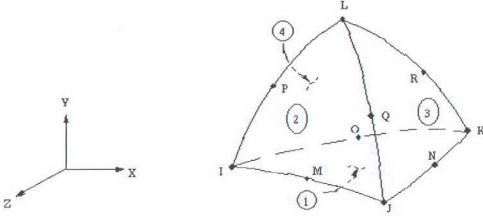


Şekil 5.1 Alın kaynaklı parçanın 3 boyutlu görüntüsü

Kaynak dikişinin elektrik ark kaynağı yöntemiyle, tek pasoda oluşturulduğu kabul edilmiştir.

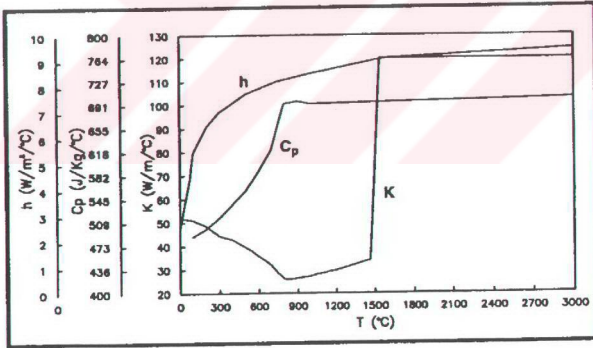
5.2 Problemin Çözüm Aşamaları

Analize başlarken kullanılacak olan eleman tipi seçilir. Isıl analizde 3 boyutlu katı eleman 87 (solid 87) seçilir. Bu eleman şekil 5.2’de gösterilmiştir.

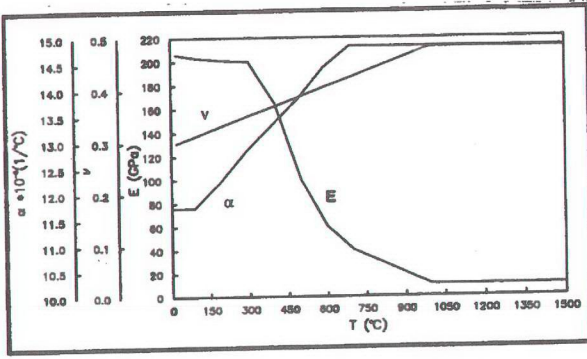


Şekil 5.2 Analizde seçilen 3 boyutlu katı eleman

Yapısal analize geçerken ise aynı elemanın eşleniği olan 3 boyutlu katı eleman 87 (solid 87) seçilir. Daha sonra kaynaklı parçanın sıcaklığa bağlı malzeme özellikleri girilir. Malzeme olarak AH 36 çeliği seçilmiştir. Bu çeliğin sıcaklığa bağlı malzeme özellikleri şekil 5.3 ve 5.4’de gösterilmiştir.

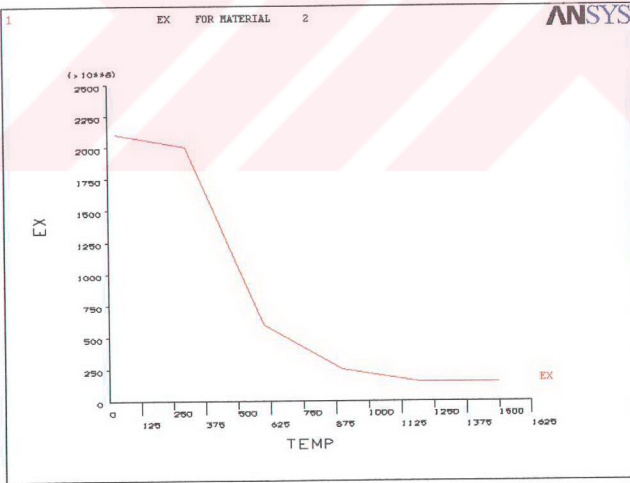


Şekil 5.3 AH çeliğinin sıcaklığa bağlı ısı taşınım katsayısı, özgül ısı ve ısı iletim katsayısı



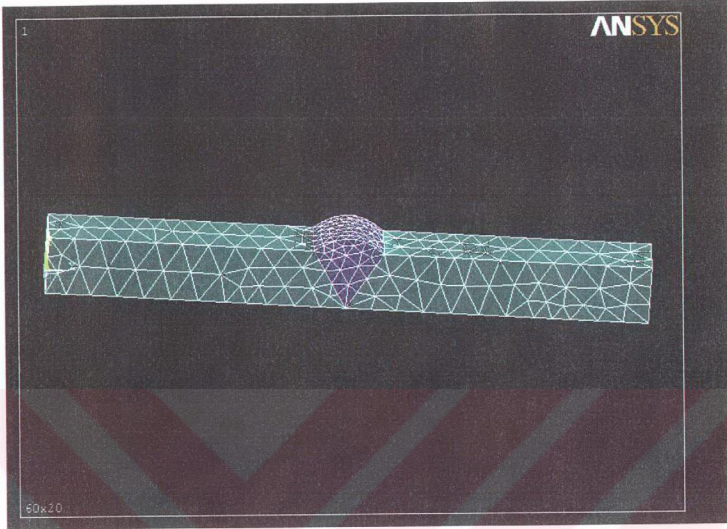
Şekil 5.4 AH çeliğinin sıcaklığa bağlı poisson oranı, ısıl genleşme katsayısı ve elastisite modülü

Malzeme özellikleri grafiklerden okunarak ayrı ayrı ANSYS veri tabanına girilir. Program kendi içinde bunların grafiğini oluşturarak kullanacağı sıcaklıklardaki malzeme özelliklerini kendi grafiğinden okur. Örnek olarak Elastisite modülü için oluşturduğu malzeme grafiği şekil 5.5' de gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Programın kendi oluşturduğu elastisite modülünün sıcaklığa bağlı değişimi

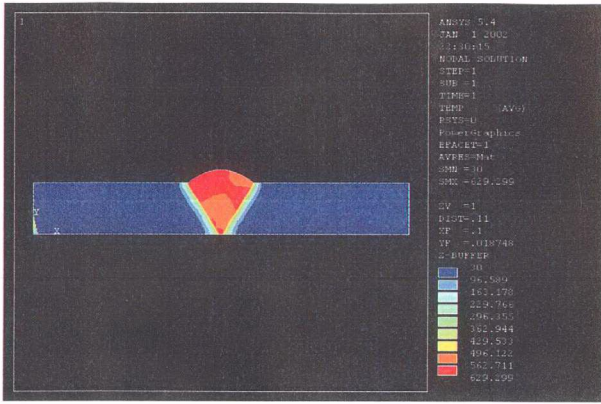
Parçanın modeli oluşturulduktan sonra elemanlara bölünür. Model elemanlara bölündükten sonraki görüntüsü şekil 5.6'daki gibidir.



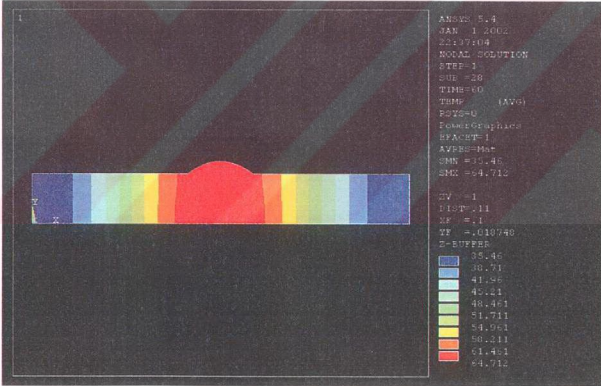
Şekil 5.6 Modelin elemanlara bölünmüş şekli

Model elemanlara bölündükten sonra geriye kalan başlangıç şartları da seçilir. Kaynak metalinin başlangıç sıcaklığı 1450°C esas metalinki ise 30°C olarak seçilir.

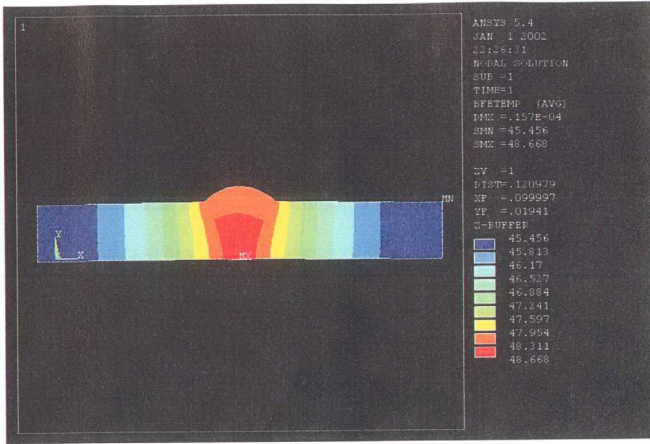
Isıl analiz çözüldükten sonra program sonuçları oluşturduğu veri kütüğüne ve sonuç dosyasına yazar. Kaynak metalinden esas metale ısı geçişinin değişik zamanlardaki durumu aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Kaynaklı parçada 1. saniye sonundaki sıcaklık dağılımı



Şekil 5.8 Kaynaklı parçada 60. saniye sonundaki sıcaklık dağılımı

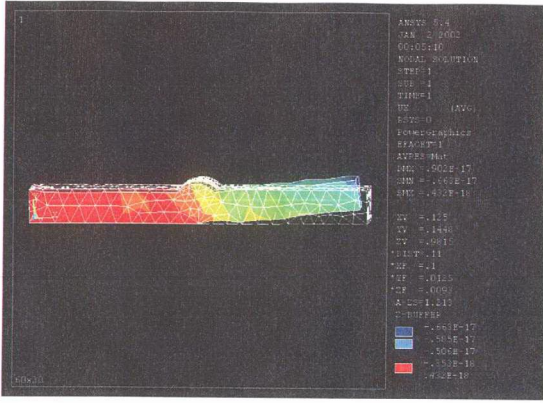


Şekil 5.9 Kaynaklı parçada 1 saat sonundaki sıcaklık dağılımı

Kaynak metalinin sıcaklığı 1. saniye sonunda 629°C 'a, 60. saniye sonunda ise 64°C 'a düştüğü, esas metalin sıcaklığının ise 30°C 'dan 60 saniyede 58°C 'a yükseldiği görülmektedir. Şekil 5.9'dan ise parçanın 1 saat sonunda ortam sıcaklığına yaklaştığı görülmektedir.

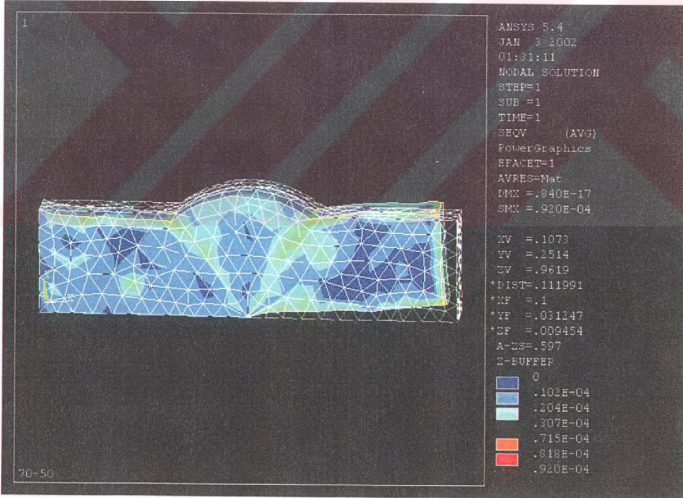
Yapısal analize geçildiğinde ise önce eleman tipi değiştirilerek 3 boyutlu katı eleman 92 seçilir. Daha sonra ısıl analiz sonucundaki değerler sonuç dosyasından okunur. Parçanın açısız distorsiyonunu daha rahat görebilmek için parça bir tarafından sınırlandırılır. Böylelikle parçanın diğer tarafı açısız distorsiyondan ötürü yukarı kalktığı görülebilir. Yapısal analiz çözdürüldükten sonra oluşan deformasyonlar görüntülenir. Şekil 5.10'da 60° ağız açılı ve 20mm kalınlığındaki parçanın kaynak sonucundaki deforme olmuş hali ile başlangıç durumu üst üste gösterilmiştir.

Parçanın kaynaktan sonraki Von Mises kriterine göre hesaplanan gerilme dağılımı ise şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Kaynaklı parçanın kaynak sonucundaki deforme olmuş hali ile başlangıç durumunun üst üste gösterilişi.

Her durum için ayrı ayrı bir model oluşturularak benzer analiz 5 farklı ağız açısı ve 5 farklı parça kalınlığı için toplam 25 kere yapılarak ortaya çıkan açılal distorsiyonlar incelenmiştir. Yapılan bu analizler sonucu ortaya çıkan şekil değişimleri eklede sırasıyla gösterilmiştir.



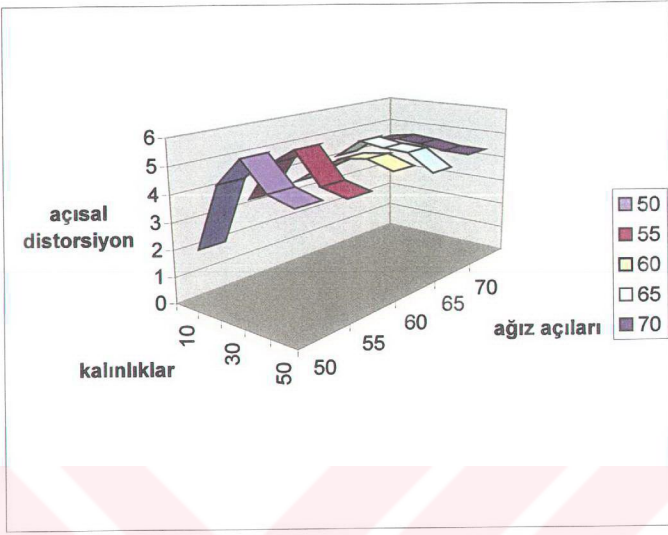
Şekil 5.11 Kaynaklı yapıdaki Von Mises kriterine göre hesaplanan gerilmelerin dağılımı

Ortaya çıkan açıs al distorsiyonların miktarları derece olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar şekil 5.12’de gösterilmiştir.

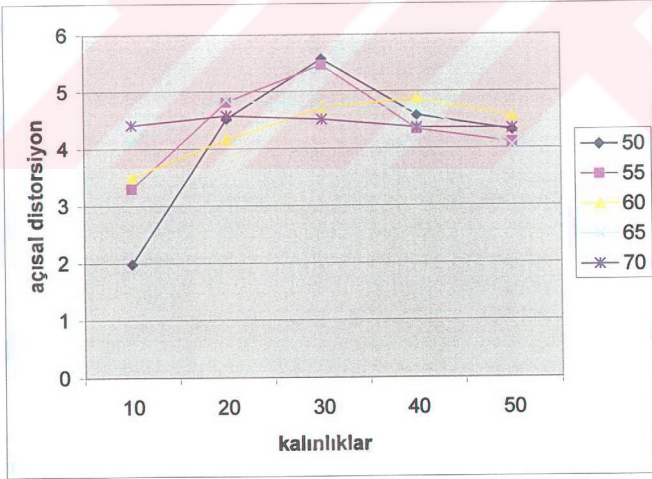
Ağız Açıları	50°	55°	60°	65°	70°
Kalınlıklar	Açısal Distorsiyon (°)				
10 mm	1.98	3.30	3.50	4.12	4.41
20 mm	4.52	4.81	4.16	4.86	4.58
30 mm	5.57	5.46	4.72	4.72	4.51
40 mm	4.58	4.33	4.86	4.69	4.36
50 mm	4.32	4.10	4.56	4.05	4.35

şekil 5.12 Hesaplanan Açısal Distorsiyonlar

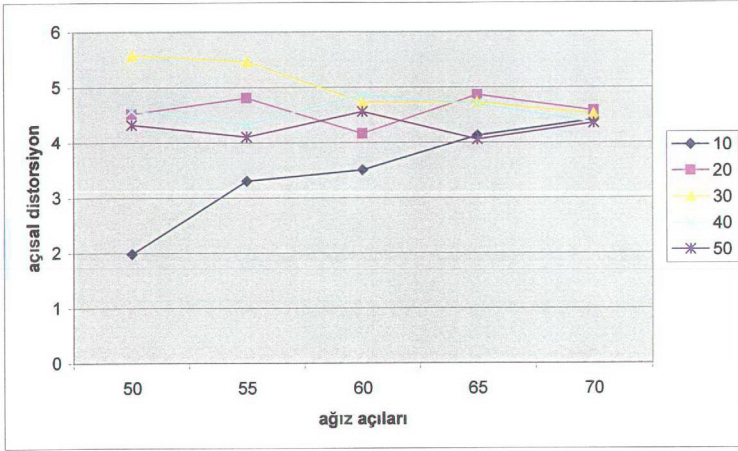
Bu tablo Excel alışma dosyasına aktarılıp veriler grafik veritabanına girilerek ortaya çıkan grafik 4 farklı şekilde gösterilmiştir.



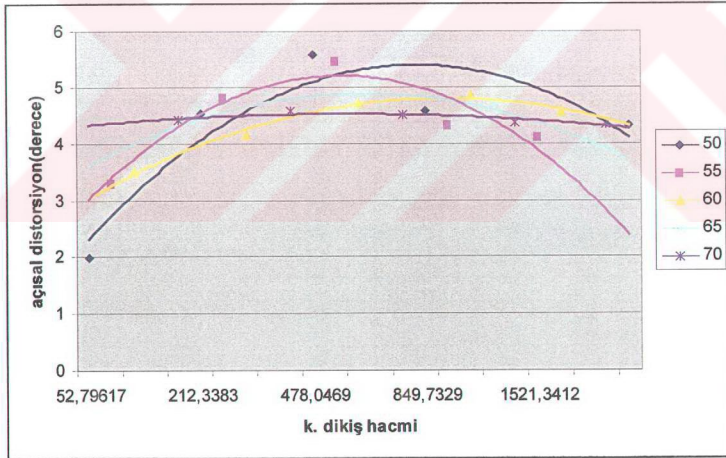
Şekil 5.13 Açısal distorsiyonların parça kalınlığına ve ağız açılarına bağlı 3 boyutlu grafiği



Şekil 5.14 Açısal distorsiyonların parça kalınlığına ve ağız açılarına bağlı grafiği



Şekil 5.15 Açısal distorsiyonların ağız açıklarına ve parça kalınlığına bağlı grafiği



Şekil 5.16 Açısal distorsiyonların kaynak dikiş hacmine ve ağız açıklarına bağlı grafiği

7. ÇIKARILAN SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bütün kaynaklı parçalar az veya çok distorsiyona uğrarlar ve daima parça içinde artık gerilmeler kalır. Kaynaktan sonra oluşan distorsiyon parçanın kalitesine etki eder ve düzgün çalışmasını engelliyebilir. Bu bakımdan kullanıldığı yere göre düzeltme işlemleri gerektirebilir. Fakat düzeltme işlemleri uzun zaman alabilir ve ekonomik değildir. Bu bakımdan daha proje aşamasında parçada oluşabilecek distorsiyonları önceden tahmin etmek ve bunları önleyecek biçimde tasarım yapmak gerekmektedir. Distorsiyonları önceden tahmin etmek için deneysel çalışmalar yapılır. Fakat farklı durumlar ve karışık problemler için deneysel çalışmalar yapmak her zaman mümkün olmayabilir. Bu durumlarda numerik metotlara başvurulur. Hesaplar bilgisayar ortamında çözüldüğünden karmaşık problemleri çözmek daha hızlıdır ve kolaydır. Bu şekilde yapılan analizler neticesinde kaynaklı parçalarda farklı durumlarda ortaya çıkan distorsiyonlar kolayca belirlenir ve ona göre önlem alınır.

Kaynaktan sonra kalan gerilmeler ise parçanın emniyetine etki eder. Artık gerilmeler sistemin çalışma gerilmeleriyle birleşip gevrek kırılmaya ve gerilmeli korozyona sebebiyet verir. Bu bakımdan iş parçasından aşırı emniyet istenmemelidir. Parçada kalan artık gerilmeler ısıl işlemlerle giderilebilir. Fakat ısıl işlemler ekonomik yapılmalıdır. Ancak emniyet veya işleme tamlığı gerekiyorsa ısıl işlem öngörülmalıdır.

Bütün bu sebeplerden ötürü kaynaktan sonra oluşabilecek artık gerilmelerin önceden tahmininin yapılması ve ona göre dizayn yapmak gerekir. Bu durumlarda da SEM metodu kullanılarak Bilgisayar programları yardımıyla sistemde kaynaktan sonra oluşabilecek artık gerilmeler önceden belirlenir. Bu da tasarımcılara çok büyük kolaylıklar getirir. Bu bilgiler ışığında yapılan sistem tasarımları daha emniyetli olur aynı zamanda maliyetten büyük tasarruf sağlar.

Bu çalışmada kaynak konstrüksiyonlarında en fazla kullanılan bağlantı tipi olan alın kaynağındaki distorsiyonlar araştırılmış ve analizleri yapılarak ağız açılarının ve parça kalınlığının açısız distorsiyona etkisi incelenmiştir.

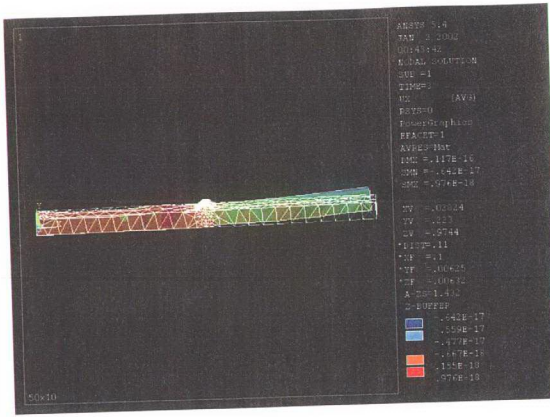
Alınan sonuçlara bakıldığında bütün açılarda parça kalınlığı arttıkça açısız distorsiyon miktarı önce artmakta, bir üst seviyeye ulaştıktan sonra giderek azalmaktadır. Bunun nedeni parça kalınlığının artmasıyla birlikte kaynak dikişinin hacmi arttığı için kendini çekmeler daha büyük olur ve açısız distorsiyon da artar. Fakat parça kalınlığının artmasıyla birlikte parçanın rijitliğinde bir artış meydana gelir ve açısız distorsiyonu engeller. Parça kalınlığı daha da arttığında açısız distorsiyon miktarı artan parça rijitliğiyle azalır. Bu etki grafikten de görülebilir.

KAYNAKLAR

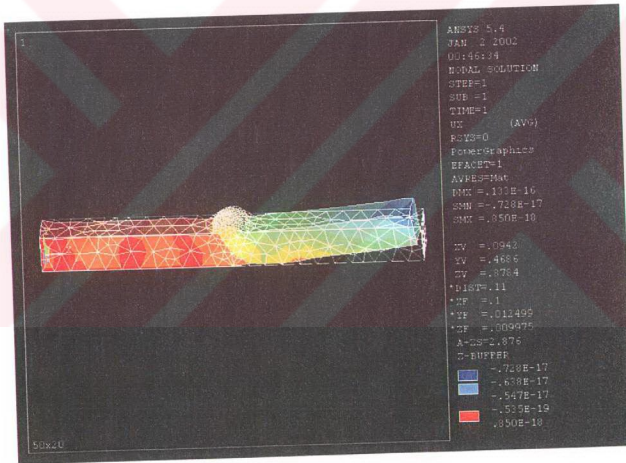
- [1] **Anık, S., Anık, E.S. ve Vural, M.** , 1993. 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı – Cilt 2, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [2] **N.N.**, 1989. Welding Handbook, Vol. 1- Welding Technology, Eighth Edition, Second Printing, AWS, USA
- [3] **Eryürek, B., Bodur, O., Dikicioğlu, A.**, 1996, Kaynak Teknolojisinin Esasları, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [4] **Puchaicela, P.**, August 1998. Control of distortion of welded steel structures, Welding Journal, 49-52
- [5] **Michaleris, P., Debicari, A.**, April 1997. Prediction of welding distortion, Welding Journal, 172-181
- [6] **Michaleris, P., Sun, X.**, November 1997. Finite element analysis of thermal tensioing mitigating weld buckling distortion, Welding Journal, 451-457
- [7] **Robert W. Messler , JR** Principles of Welding –1999 New York USA
- [8] **Von Prof. Dr. – Ing. Habii. H. Koch** Handbuch der Schweißtechnologie Lichtbogenschweißen Herausgegeben Düsseldorf , Band 19 1961
- [9] **Christov, S.C. Christova M.M.** 1998. Residual Stresses in Butt Welded Joints of Pipes and Their Reduction and Redistribution, Pipeline Welding İ.T.Ü. İstanbul, 11-13 May 165-172
- [10] **Masubuchi, K.**, 1980 Analysis of Welded Structures, Pergoman Press, Tokyo
- [11] **ANSYS Thermal Analysis Guide** 2.nd Edition. SAS IP, Inc.

EKLER

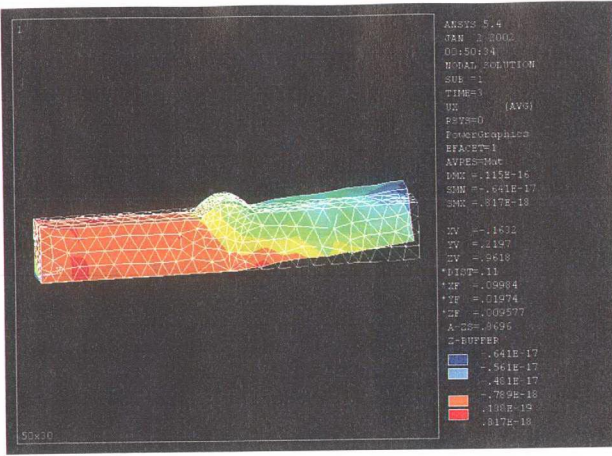




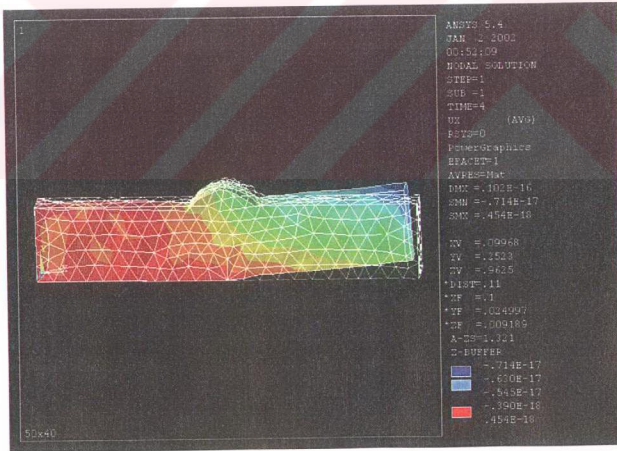
Şekil E.1 50°'lik ağız açısında ve 10 mm parça kalınlığındaki 1.98°'lik distorsiyon



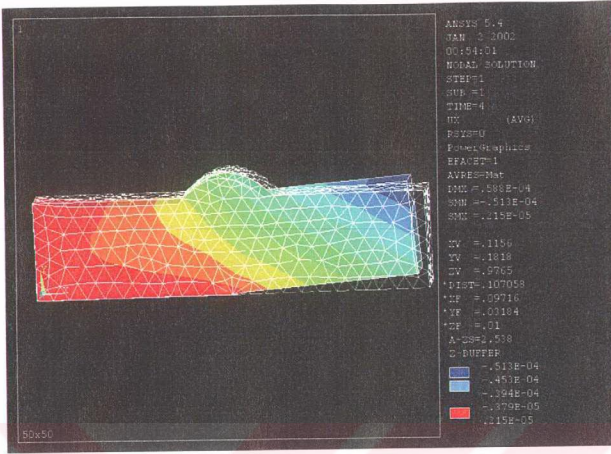
Şekil E.2 50°'lik ağız açısında ve 20 mm parça kalınlığındaki 4.52°'lik distorsiyon



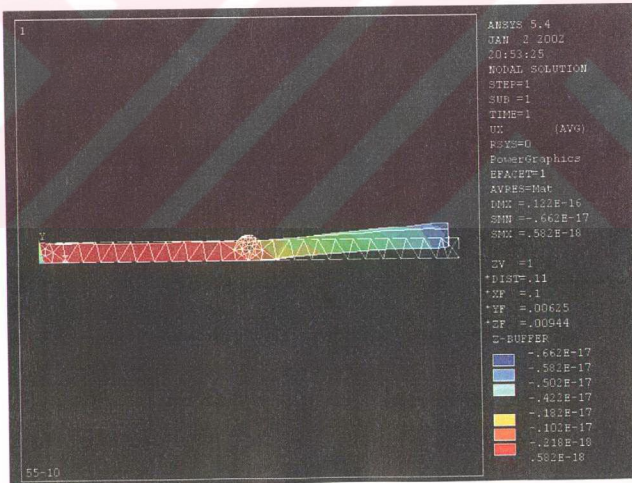
Şekil E.3 50°'lik ağız açısında ve 30 mm parça kalınlığındaki 5.57° lik distorsiyon



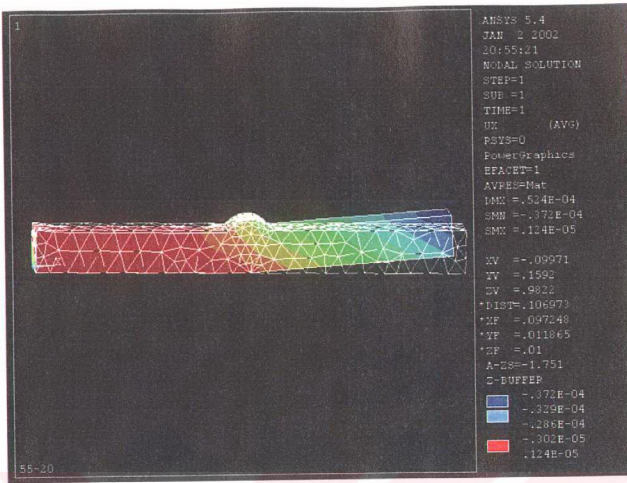
Şekil E.4 50°'lik ağız açısında ve 40 mm parça kalınlığındaki 4.58° lik distorsiyon



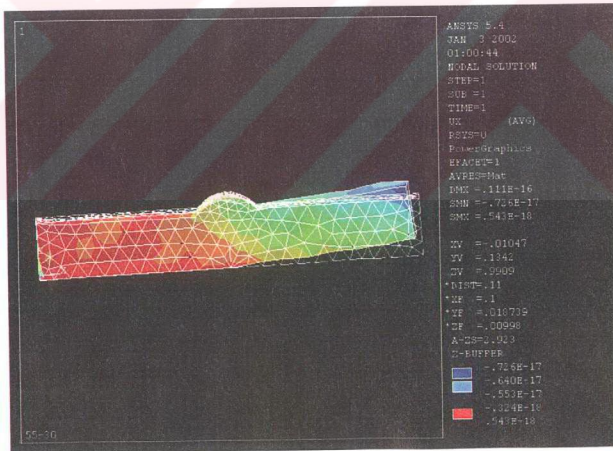
Şekil E.5 50°'lik ağız açısında ve 50 mm parça kalınlığındaki 4.32° lik distorsiyon



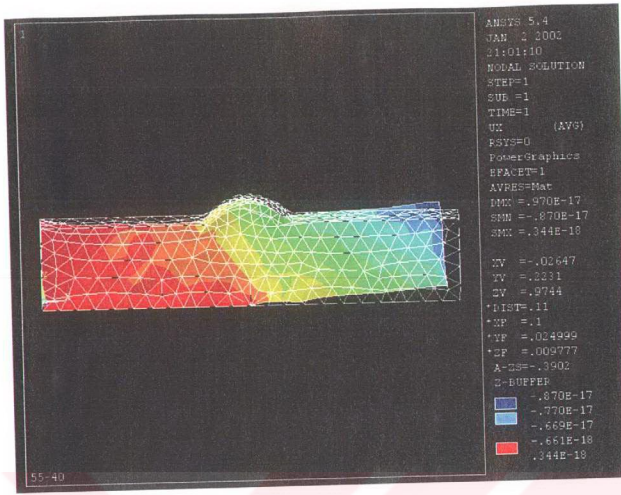
Şekil E.6 55°'lik ağız açısında ve 10 mm parça kalınlığındaki 3.30° lik distorsiyon



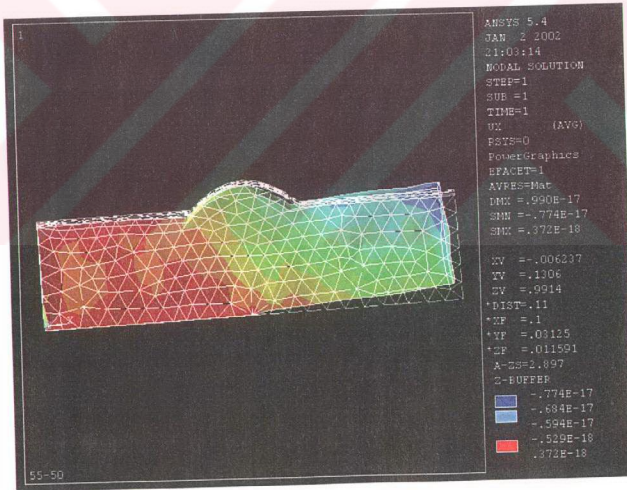
Şekil E.7 55°'lik ağız açısında ve 20 mm parça kalınlığındaki 4.81° lik distorsiyon



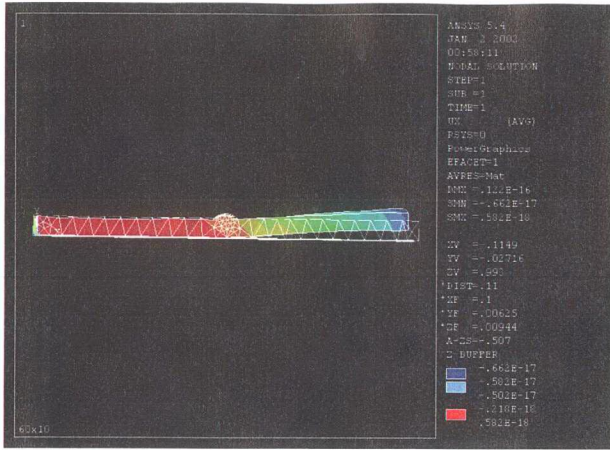
Şekil E.8 55°'lik ağız açısında ve 30 mm parça kalınlığındaki 5.46° lik distorsiyon



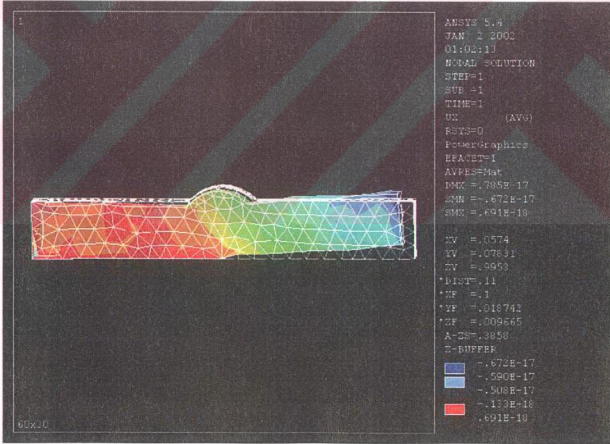
Şekil E.9 55°'lik ağız açısında ve 40 mm parça kalınlığındaki 4.33° lik distorsiyon



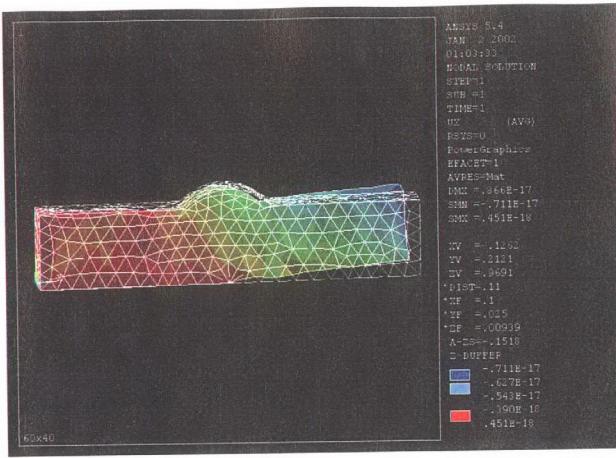
Şekil E.10 55°'lik ağız açısında ve 50 mm parça kalınlığındaki 4.10° lik distorsiyon



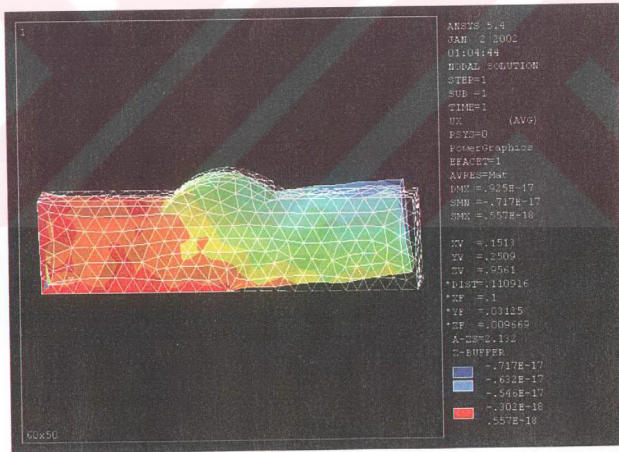
Şekil E.11 60°'lik ağız açısında ve 10 mm parça kalınlığındaki 3.50° lik distorsiyon



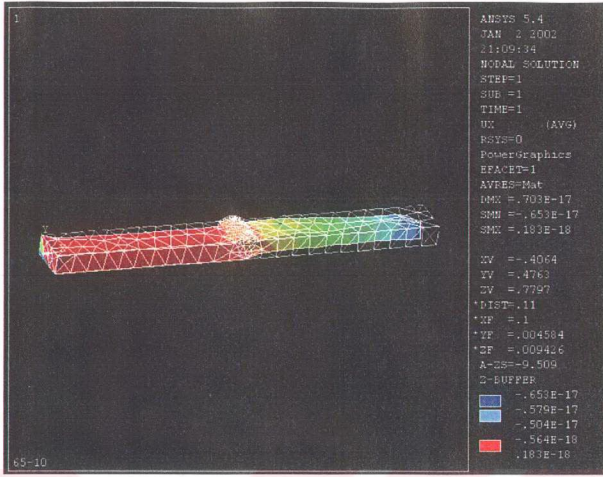
Şekil E.12 60°'lik ağız açısında ve 30 mm parça kalınlığındaki 4.72° lik distorsiyon



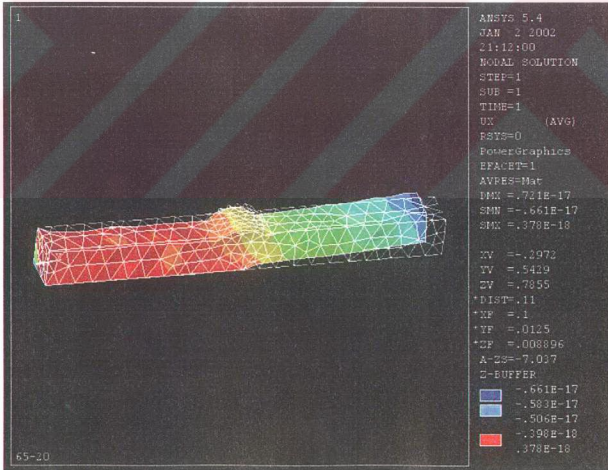
Şekil E.13 60°'lik ağız açısında ve 40 mm parça kalınlığındaki 4.86° lik distorsiyon



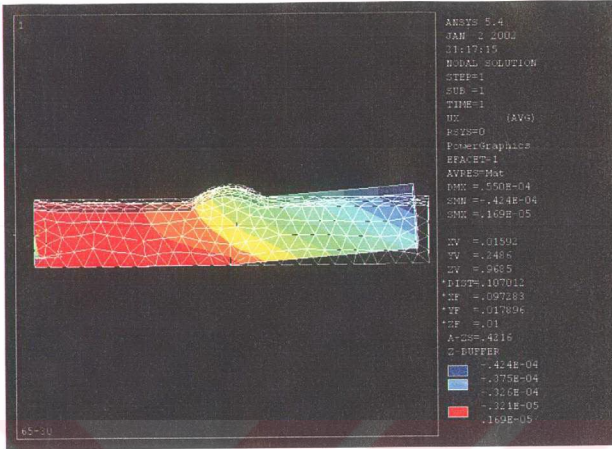
Şekil E.14 60°'lik ağız açısında ve 50 mm parça kalınlığındaki 4.56° lik distorsiyon



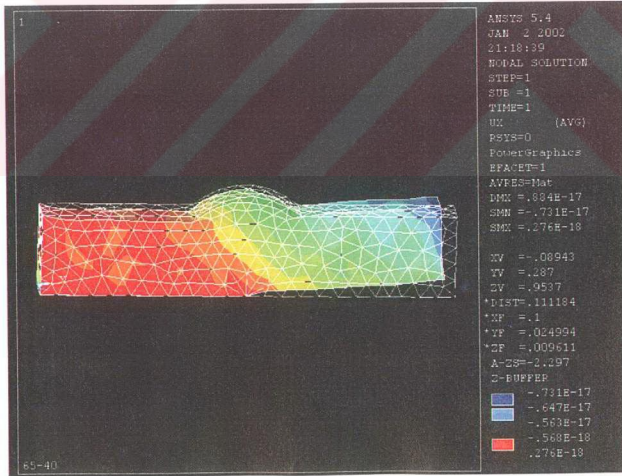
Şekil E.15 65°'lik ağız açısında ve 10 mm parça kalınlığındaki 4.12° lik distorsiyon



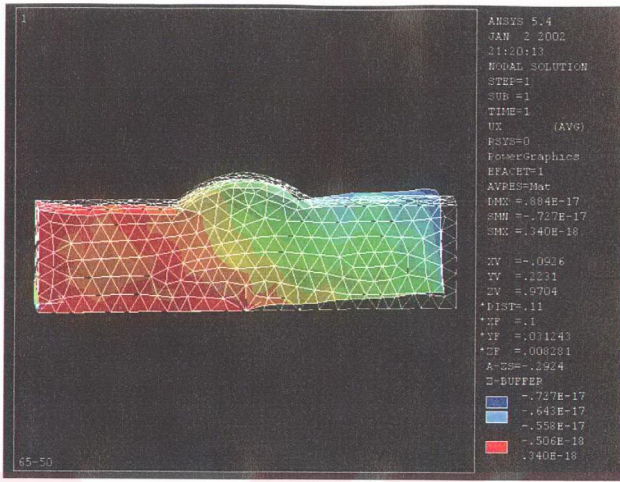
Şekil E.16 65°'lik ağız açısında ve 20 mm parça kalınlığındaki 4.86° lik distorsiyon



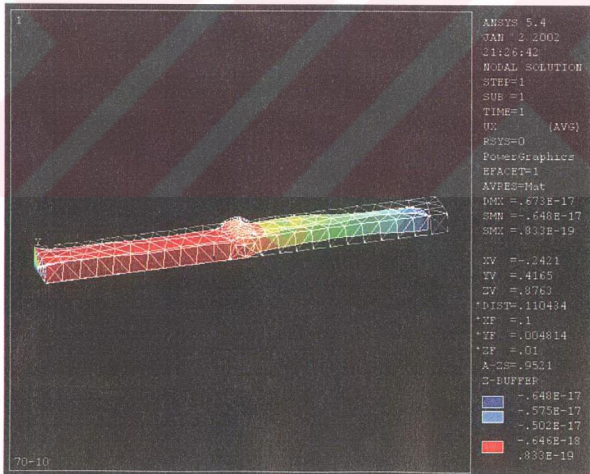
Şekil E.17 65°'lik ağız açısında ve 30 mm parça kalınlığındaki 4.72° lik distorsiyon



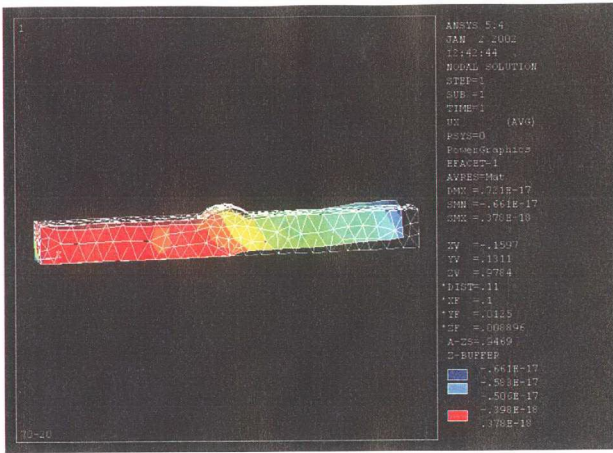
Şekil E.18 65°'lik ağız açısında ve 40 mm parça kalınlığındaki 4.69° lik distorsiyon



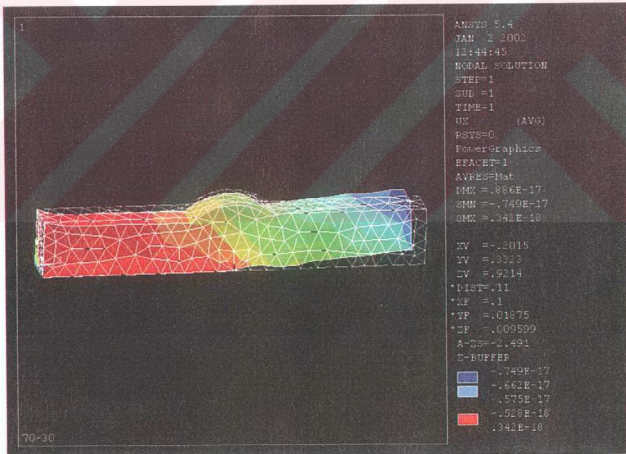
Şekil E.19 65°'lik ağız açısında ve 50 mm parça kalınlığındaki 4.05° lik distorsiyon



Şekil E.20 70°'lik ağız açısında ve 10 mm parça kalınlığındaki 4.41° lik distorsiyon



Şekil E.21 70°'lik ağız açısında ve 20 mm parça kalınlığındaki 4.58° lik distorsiyon



Şekil E.22 70°'lik ağız açısında ve 30 mm parça kalınlığındaki 4.51° lik distorsiyon

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Altan, 12 Haziran 1976'da İstanbul'da doğmuştur. Orta öğrenimini Özel Dost Lisesinde ve lise öğrenimini ise Özel Evrim Lisesi'nde yapmıştır.

1995-1999 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde eğitimini tamamlamıştır.

1999 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Makina Mühendisliği Yüksek Lisans Programına başlamıştır.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ