

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128577

KAYNAK İŞLEMİNDE OLUŞAN ŞEKİL  
BOZUKLUKLARI, SEBEPLERİ, GİDERİLMESİ

Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Mak.Müh.Ali Furkan ÇETİN

F.B.E.Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında  
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr.Can KARAHASANOĞLU

Y.Doç.Dr. CAN KARAHASANOĞLU *Can Karahasanoğlu*  
Prof. Nurullah Gültekin *Nurullah Gültekin*  
prof Dr. Ahmet Topuz *Ahmet Topuz*

İSTANBUL, 2002

128577

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK DİKİŞİNDEKİ KENDİNİ ÇEKME ve BÜZÜLME.....	3
2.1 Kaynak Dikişinin ve Çevresinin Metalurjik Yapısı.....	5
2.2 Kaynak Dikişinin Tanesel Yapısı.....	6
2.3 Isıl Etki Altındaki Alan.....	6
2.3.1 Kaba taneli yakın alan.....	7
2.3.2 İnce taneli uzak alan.....	8
2.4 Kaynak Dikişindeki Kendini Çekme ve Büzölmelerin Oluşumu.....	8
2.5 Kaynak Dikişindeki Kendini Çekme ve Büzölmelere Karşı Etki Eden Faktörler.....	10
2.5.1 Malzemenin metalurjik özellikleri.....	10
2.5.2 Konstrüksiyonun rijitliği.....	10
2.5.3 Kaynak tekniği.....	11
2.5.4 Kaynak ortamının etkisi.....	12
2.5.5 Isıl gerilmeler.....	12
3. KAYNAK GERİLMELERİ VE KAYNAK İŞLEMİNDE OLUŞAN ŞEKİL BOZUKLUKLARI.....	15
3.1 Kaynak Gerilmeleri.....	15
3.1.1 Boylamasına gerilmeler.....	18
3.1.2 Enine gerilmeler.....	18
3.1.3 İç köşe dikişlerinde kendini çekme gerilmeleri.....	19
3.2 Kaynak İşleminde Oluşan Şekil Bozuklukları.....	19
3.2.1 Metal niteliklerinin şekil bozukluklarına etkileri.....	22
3.2.2 Şekil bozuklukları çeşitleri.....	24
3.2.2.1 Enine şekil bozuklukları.....	24
3.2.2.2 Açısal şekil bozuklukları.....	24
3.2.2.3 Boylamasına şekil bozuklukları.....	24
3.2.2.4 Kalınlık çekmeleri.....	25
3.2.3 Çeşitli kaynak şekillerine göre şekil bozuklukları çeşitleri. ....	25
3.2.3.1 Alın dikişlerinde enine şekil bozuklukları.....	25
3.2.3.2 İç köşe dikişlerinde enine şekil bozuklukları.....	29
3.2.3.3 Alın kaynağında açısal şekil bozuklukları.....	29
3.2.3.4 İç köşe birleştirmelerinde açısal şekil bozuklukları.....	31
3.2.3.5 Alın dikişlerinde boylamasına şekil bozuklukları.....	33
3.2.3.6 İç köşe dikişlerinde boylamasına şekil bozuklukları.....	34

4.	KAYNAK İŞLEMİ SIRASINDA OLUŞAN ISIL GERİLME VE ŞEKİL BOZUKLUKLARININ ÖNLENMESİ.....	35
4.1	Şekil Bozukluklarının Önceden Tahmini ve Denetimi.....	35
4.1.1	Bilgisayar programları ile yapılan gerilme dağılımını inceleme çalışmaları	38
4.1.2	Kaynağın ısı işlemleri.....	42
4.1.2.1	Kaynak öncesi ısı işlemi.....	45
4.1.2.2	Kaynakla birlikte uygulanan ısı işlemi.....	45
4.1.2.2.1	Ön ısıtma ile kaynak.....	46
4.1.2.2.2	Basit ön ısıtma ile kaynak.....	46
4.1.2.2.3	Sabit çalışma sıcaklığında kaynak.....	47
4.1.2.2.4	Çalışma sıcaklığının kaynakla yükselmesi.....	47
4.1.2.2.5	Sonradan ısıtılmalı kaynak.....	47
4.1.2.2.6	Ön ve sonradan ısıtılmalı kaynak.....	48
4.1.2.3	Kaynaktan sonra ısı işlemi.....	48
4.1.2.3.1	Gerilim azaltma tavlama.....	48
4.1.2.3.2	Normal tavlama.....	49
4.1.2.3.3	Sertleştirme.....	49
4.1.2.3.4	İslah.....	49
4.1.2.3.5	Çözme ya da ani soğutma tavlama.....	50
4.1.2.3.6	Vakumla ısı işlemi.....	50
4.2	Konstrüktif Önlemler.....	51
4.3	İmalat Sırasında Alınacak Önlemler.....	53
4.4	Kaynak Planları.....	56
4.4.1	Kaynak sırası planı.....	57
4.4.1.1	Kaynak sırası planlarının düzenleme şekli.....	58
4.4.1.2	Kaynak sırası planının içeriği.....	58
4.4.1.2.1	Yazılı kısım.....	58
4.4.1.2.2	İş sırası listesi.....	59
4.4.1.2.3	Resimler.....	60
4.4.1.3	Dikiş sırasının atölye resmi üzerinde gösterilmesi.....	60
4.4.1.4	Kaynak modeli.....	60
4.5	Kaynak İşleminde Kullanılan Fikstürler.....	60
4.5.1	Fikstürlerin kullanılma amaçları ve önemi.....	61
4.5.2	Fikstürlerin sınıflandırılması.....	61
4.6	Kaynaklı Parçaların Kaynak İşleminde Sonra Düzeltilmesi.....	62
4.6.1	Tavlama yolu ile düzeltme.....	62
4.6.2	Mekanik yol ile düzeltme.....	64
4.6.3	Isının ve mekanik yolun birlikte kullanılması.....	67
5.	UYGULAMA.....	68
6	SONUÇ.....	76
	KAYNAKLAR.....	79
	EKLER .....	81
Ek 1	2.4 mm İlave Malzeme Teknik Sertifikası.....	81
Ek 2	Uygulamaya Ait Fotoğraflar.....	82
Ek 3	Remas A.Ş’de Yapılan Uygulama Çalışmaları.....	84

Ek 4	Tekfen İmalat ve Mühendislik'te Yapılan Uygulama Çalışmaları.....	87
Ek 5	Tekersan A.Ş'de Yapılan Uygulama Çalışmaları.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....		105



## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1	Uzaması ve kısalması kesinlikle engellenen kısa çubuğun ısınma ve soğuma aşamalarında iç gerilmelerinin değişimi..... 15
Şekil 3.2	Kaynak çevresinde oluşan çekme ve basma bölgeleri ..... 16
Şekil 3.3	Kaynakta kalıntı gerilmelerin enine dağılımı..... 17
Şekil 3.4	Şekil bozukluklarının şematik olarak gösterilmesi..... 19
Şekil 3.5	Gerilme ve şekil değişimlerinin oluşumunun şematik gösterimi..... 21
Şekil 3.6	Çeşitli kaynak mekanizmalarında oluşan şekil bozuklukları..... 22
Şekil 3.7	Çeşitli çekme ve çarpılma şekilleri..... 25
Şekil 3.8	Kaynaklı bir parça üzerinde çekme türlerinin etkileri..... 26
Şekil 3.9	Çeşitli kaynak şekillerine göre pratik enine şekil bozuklukları miktarları ..... 27
Şekil 3.10	Dikiş kalınlığının saç kalınlığına oranlarına göre enine şekil bozuklukları miktarları..... 28
Şekil 3.11	Malsius'a göre iç köşe birleştirmelerinde şekil bozuklukları miktarları ..... 30
Şekil 3.12	İnce saçlarda kendini çekmenin parçayı düzlemsellikten saptırması.. 31
Şekil 3.13	Malsius'a göre çeşitli alın dikişi şekillerine göre açısasal şekil bozuklukları miktarları..... 32
Şekil 3.14	St 37 çeliğinden yapılmış iç köşe birleştirmelerinde açısasal çekmenin kaynak dikiş yüksekliği ile değişimi..... 33
Şekil 3.15	St 37 ve St 42 çeliklerinin iç köşe kaynağında çekilen paso sayısının açısasal çarpılmaya etkisi..... 33
Şekil 4.1	LSND tekniği ile düz parçaların kaynatılması..... 36
Şekil 4.2	LSND tekniği ile silindirik parçaların kaynatılması..... 37
Şekil 4.3	Paslanmaz çelik için klasik sistemle LSND tekniğinin karşılaştırılması..... 37
Şekil 4.4	Alüminyum alaşımı için klasik sistemle LSND tekniğinin karşılaştırılması..... 37
Şekil 4.5	Sonlu elemanlar yöntemine göre hazırlanmış V kaynak ağızı ağ yapısı..... 39
Şekil 4.6	İç ve dış bükey kaynak için blok şemaları..... 40
Şekil 4.7	İç ve dış bükey kaynak ağ yapısı..... 41
Şekil 4.8	İç ve dış bükey sınır koşulları gösterimi..... 42
Şekil 4.9	İç ve dış bükey gerilme sonuçları..... 42
Şekil 4.10	Kaynak bölgesi $\sigma_x$ ve $\sigma_y$ değişimleri..... 43
Şekil 4.11	Kaynak bölgesi $\tau_{xy}$ değişimleri..... 44
Şekil 4.12	Şekil bozukluklarını en aza indirmek için alınan konstrüktif önlemler..... 53
Şekil 4.13	Önceden açı verilerek şekil bozukluklarının engellenmesi..... 54
Şekil 4.14	Çeşitli tespitleme yöntemleri..... 56
Şekil 4.15	Uygun kaynak sırası yardımı ile çekme ve çarpılmaların en aza indirilmesi..... 59
Şekil 4.16	Çeşitli ısıtma teknikleri..... 65
Şekil 4.17	T Profilinin tespit tertibatları ile doğrultulması..... 66
Şekil 4.18	Profilin bir basınç gerilmesi tatbik eden aletle doğrultulması..... 66
Şekil 4.19	T Profilinin bir presle düzeltilmesi..... 66
Şekil 5.1	Şaçların ve takviyelerin kaynatılması..... 72
Şekil 5.2	Kaynak sırası planlarının gösterilmesi..... 72

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 5.1 TIG kaynağına ait veriler.....	70
Çizelge 5.2 Ergimeyen elektrod ile ilave malzeme arasında ark oluşturularak yapılan kaynağına ait veriler.....	70
Çizelge 5.3 Gazaltı kaynak parametreleri.....	71
Çizelge 5.4 Gerilim giderme derecesinin üstünde yapılan deneyin sonuçları.....	74



## ÖNSÖZ

Tez çalışmam esnasında beni bu konuya yönlendiren, bana özgür bir çalışma ortamı hazırlayan ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Sayın Hocam Yrd.Doç.Dr. Can Karahasanoğlu Bey'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamın uygulama bölümünde benden yardımlarını esirgemeyen Uşak Seramik San. A.Ş. Genel Müdürü Sevgili babam Nevzat Çetin Bey'e, bana imalatlarını açmakla kalmayıp, imalatlarına ait bilgiler, teknik resimler ve parametreler vererek tezime destek olan Remas A.Ş. Genel Müdürü Sayın Yalçın Boyacıoğlu Bey'e, Tekfen İmalat ve Mühendislik Kalite Güvence Müdürü Sayın Süleyman Halıcıoğlu Bey'e, Tekfen İmalat Ve Mühendislik İzmit Fabrikası Müdürü Sayın Mehmet Emin Bilgin Bey'e, Tekersan A.Ş. Fabrika Müdürü Sayın Besim Panço Bey'e, Mühendislik Hizmetleri Müdürü Sayın Mesut Bilgin Bey'e, Bakım Onarım Müdürü Sayın Ali Yaman Bey'e, Kalite Güvence Müdürü Sayın Salih Yıldırım Bey'e, Arctech Firmasından Sayın Emin Külahlı Bey'e, BİEM firması ortaklarından Sayın Bülent Öztoran Bey'e, tezimin tüm aşamalarında bana destek olan ablam Yrd.Doç.Dr.Nihan Çetin Demirel, eniştem Yrd.Doç.Dr.Tufan Demirel ve tüm aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.



## ÖZET

Kaynaklı konstrüksiyonların imali sırasında, konstrüksiyonun servis davranışını ve bütünlüğünü etkileyen kaynak çarpılmaları olabilir. Bu problemi çözmek için çarpılmaların tip ve miktarı konusunda bilgi sahibi olmak istenir. Kaynak süresince, kaynak metalinde ve yakın bölgelerde, kompleks termal gerilimlere sebep olan uniform olmayan ısınma ve soğumalar oluşur. Gerinimlerden oluşan gerilmeler, iş parçasının çekmesine neden olan iç gerilmeler oluşturur. Çarpılmanın yapısına ve kaynaklı parçanın şekline göre de eğilme, dönme, bükülme gibi deformasyonlar oluşur. Şekil bozuklukları şu ana formlarda ortaya çıkar; uzunlamasına şekil bozuklukları, enlemesine şekil bozuklukları, açısız şekil bozuklukları, yaylanma ve çanaklanma, belverme ve kıvrılma. Kalınlıkta oluşan uniform olmayan çekmeler açısız şekil bozukluklarına neden olurlar. Boylamasına yaylanma kaynak işleminin eksenden yapılmadığı dönemlerde ortaya çıkar. Oluşan boylamasına çekmeler malzemenin eğik şekil almasına neden olurlar. Uzunlamasına ve enlemesine çekmeler malzemede belverme ve kıvrılmaya neden olurlar. İnce saçların kaynağında uzun süreli gerilmeler elastik eğilmelere yol açar. Şekil bozukluklarının tipini ve derecesini belirleyen ana faktörler şunlardır; ana metal özellikleri, ısıl etki altında kalınan süre, kaynak dizaynı, kaynak miktarı ve kaynak planları. Dizayn aşamasında şekil bozuklukları kaynağın ıslahı, kaynak hacminin azaltılması, kaynak tekrarının azaltılması şeklinde önlenabilir veya azaltılabilir. Kaynak esnasında ise parçalar önceden ısıtılarak, önceden şekil verilerek ve tespit ettirilerek önlenabilir. Şekil bozuklukları dizayn ve imalat aşamasında engellenemediği dönemlerde de uygun düzeltme teknikleri uygulanabilir. Bunlar mekanik ve ısıl düzeltmelerdir.

Bilgisayarlı simülasyon teknikleri, şekil bozukluklarını önceden tahmin eden ve buna bağlı olarak parça imalatına başlamadan önlemleri alarak maliyetleri düşürme potansiyeline sahiptirler. Bundan dolayı bilgisayarlı simülasyon teknikleri üzerine çalışmalar ve geliştirmeler yapılmalıdır. Yeni çalışmalarda kaynak bölgesini soğutan, kaynağa komşu bölgelerinde ısınmasını sağlayan kaynak metotları üzerinde durulmalıdır.

**Anahtar Kelimeler :** Şekil bozuklukları, ısıl gerilmeler, şekil bozukluklarının sebepleri, şekil bozuklukları tipleri, şekil bozukluklarının önlenmesi

## ABSTRACT

During the fabrication of welded steel structures, fabricators come face to face with welding distortion, which affects the integrity and service behavior of the structures. In order to deal with this problem, it is necessary to predict the specific type and amount of distortion resulting from the welding operations. During welding, there are non uniform heating and cooling cycles in the weld and adjacent base metal, which causes complex thermal strains. The stresses resulting from the strains produce internal forces causing shrinkage of the material. Depending on the shrinkage pattern and the shape of the structure welded, various deformations such as bending and rotation take place. Distortion occurs in these forms; longitudinal shrinkage, transverse shrinkage, angular distortion, bowing and dishing, buckling and twisting. Non uniform contraction through thickness produces angular distortion in addition to longitudinal and transverse shrinkage. Longitudinal bowing in welded plates happens when the weld centre is not coincident with the neutral axis of the section so that longitudinal shrinkage in the welds bends the section into a curved shape. Cladplate tends to bow in two directions due to longitudinal and transverse shrinkage of the cladding this produces a dished shape. In plating, long range compressive stresses can cause elastic buckling in thin plates, resulting in dishing, bowing and rippling. Distortion due to elastic buckling is unstable. If you attempt to flatten a buckled plate it will probably snap through and dish out in the opposite directions. The principal factors affecting the type and degree of distortion are; parent metal properties, amount of restraint, joint design, part fit up and welding procedure. At the design stage distortion can be often prevented or at least restricted by considering; elimination of welding, weld placement, reducing the volume of weld metal, reducing the number of runs, use of balanced welding. In designs where this is not possible, distortion maybe prevented by; pre-setting of parts, pre-bending of parts, use of restraint. As it is not always possible to avoid distortion during fabrication, several well established corrective techniques can be employed as mechanical techniques and thermal techniques.

Use of computer simulative techniques has the potential to significantly reduce the cost of welded fabrications by allowing for predictions to be made long before the material is put down on the workshop floor. Further studies and improvements will be made in these computer simulation techniques. And also in new studies, new welding techniques will be made that cooling the weld zone and heating both side zones adjacent to the weld.

**Keywords:** Distortions, thermal strains, factors of distortion, types of distortion, prevention of distortion

## 1. GİRİŞ

Şekil bozuklukları hemen hemen bütün kaynaklı konstrüksiyonlar için potansiyel problemdir. Kaynak işleminde kullanılan ısı, malzemelerin önce genleşmesine soğuma sürecinde ise büzülmesine neden olmaktadır. Kaynak dikişlerindeki şekil değiştirmeler kaynak yeri çevresinde bölgesel olarak sınırlandırılmış olmaktadır. Daha geniş bölgedeki soğuk malzeme şekil değiştirme eğilimine direnç etkisi gösterdiğinden bu durum kaynak bölgesine basma gerilimi şeklinde yansımaktadır. Soğuma sürecinde ise genleşmiş malzemenin başlangıç durumuna dönmesi gerekir. Isı etkisi ile oluşan yığılmada bu mümkün olamamakta bu durumda kaynak gerilmeleri, kaynak öz gerilmeleri veya artık gerilmeler olarak adlandırılan çekme gerilmelerini ortaya çıkarmaktadır.

Şekil bozuklukları ısı etkisi altında ortaya çıkan yığılmaların, soğuma sürecinde başlangıç boyutlarına dönememesi veya kalan gerilmelerin malzemenin akma sınırından büyük değerlere ulaşması, dolayısıyla plastik şekil vermenin ortaya çıkması şeklinde tanımlanabilirler.

Şekil bozuklukları, kaynak işlemi sırasında ve kaynak işleminden sonraki soğuma sırasında olmak üzere iki şekilde meydana gelirler. Şekil bozukluklarının kaynaklı konstrüksiyon için en büyük zararı bir düzeltme işlemi gerektirdiğinden getirdiği mali yüküdür. Kaynak işlemi sırasındaki sıcaklık, ısınma ve soğuma hızları, ana malzemenin genleşme katsayısı, ana ve ilave malzemenin mekanik özelliği ve dolayısıyla akma sınırı, şekil bozukluklarını etkileyen en önemli faktörlerdir. Birçok etken metalin şekil bozukluğunu etkilediğinden şekil bozukluklarının önceden tahmini çok zordur. Fiziksel ve mekanik nitelikler ısı uygulandığında değişmektedir. Örneğin kaynak alanının sıcaklığı arttıkça akma sınırı, elastikiyet modülü ve ısı genleşme katsayısı ile özgül ısı artar. Bu değişimler bu kez ısı akışını ve ısının üniform dağılımını olumsuz yönde etkiler.

Bu tez çalışmasında öncelikle kaynak işleminde ısı gerilmelerin oluşumu incelenmiştir. Kaynak dikişinin ve çevresinin metalurjik yapısı araştırılmış kaynak dikişinin taneseli yapısı ve ısı etkisi altındaki alan hakkında bilgi verilmiştir. Kaynak dikişindeki kendini çekme ve büzülmelerin oluşumu detaylandırılmış, kaynak dikişindeki kendini çekme ve büzülme karşı etki eden faktörler irdelenmiştir. Bu çalışmaların ardından şekil bozukluklarının tanımı yapılmış, çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu şekil bozuklukları çeşitleri

örneklendirilmiştir. Kaynak işlemi sırasında oluşan ısı gerilme ve şekil bozukluklarının önlenmesi için gereken tedbirlerin başında şekil bozukluklarının önceden tahmin ve denetimi gelir. Bu bölümde sonlu elemanlar yöntemine dayanarak yapılan modellemeler hakkında bilgi verilmiştir. Bununla beraber bu yöntemlerin henüz uygulamaya uzak oldukları da belirtilmiştir. Şekil bozukluklarının önceden tahmin ve denetimi başlığı altında kaynağın ısı işlemi de incelenmiştir. Önlemler, konstrüktif ve imalat sırasında alınacak önlemler olarak sınıflandırılmışlardır. Önleme yöntemleri içinde en önemlisi olan kaynak planlarının anlamı açıklanmış, kaynak sırası planlarının düzenleme şekli, içeriği, atölye resmi üzerinde gösterilmesi, kaynak modeli konuları işlenmiştir. Kaynak işleminde otomasyonun gelişimiyle kaynak işleminde kullanılan fikstürler aynı zamanda şekil bozukluklarının engellenmesinde de rol oynamaktadırlar. Son olarak kaynaklı parçaların kaynak işleminden sonra düzeltilmesi konusuna girilmiş bu yöntemlerden tavlama ve mekanik düzeltmeler hakkında bilgi verilmiştir.

Tez çalışmasının uygulama bölümünde ise TIG kaynağı ve ilave malzeme ile ergimeyen elektrod arasında ark oluşturarak 1-2-3-4-5 mm'lik saçlar birleştirilmiş, bu iki yöntem birbirleri ile mukayese edilmiştir. Bu uygulamadaki amaç parçaya az ısı vererek oluşabilecek şekil bozukluklarını sınırlamaktır. Uygulama çalışmasının diğer aşaması kaynak işleminde oluşan şekil bozukluklarının engellenmesi için endüstride alınan önlemlerin incelenmesidir. Bu amaç ile Remas A.Ş., Tekfen İmalat Mühendislik ve Tekersan A.Ş'de uygulama çalışmaları yapılmıştır.

## 2. KAYNAK DİKİŞİNDEKİ KENDİNİ ÇEKME VE BÜZÜLME

Her ergitme kaynağında parçaların her tarafı birden aynı şekilde ısınıp soğumadığı için serbest hareket edebilen kısımlarda dahi büzülme ve büzülme gerilmeleri meydana gelir. Kısmen engel olunan ısı genleşmeleri, çok büyük iç gerilmelere, bunlarda çatlama ve kırılmalara sebep olabilir.

Kaynak büzülmesinin oluşum nedenlerinin bilinmesi malzeme ve mukavemet bilgisi kadar önemlidir. Bunun için bir kaynak konstrüksiyonunu planlayan ve tatbik eden her mühendisin kaynak edilen kısımların emniyet ve sağlamlığını sağlayabilmesi için bu büzülme olaylarını bilmesi gereklidir. İlk kaynak konstrüksiyonlarından beri ısı büzülme ve büzülme gerilmelerinin üzerinde yeterli derecede veya hiç durulmaması yüzünden pek çok zarar görülmüştür. Bu yüzden sık sık pahalıya mal olan düzeltmeler gerekmekte , çatlamalarda ise ondan da pahalı tamirat işleri çıkmaktadır ( Birgi, 1967 ).

Tespit edilen bir metodla birleştirilecek olan bir malzemenin ana problemi kaynak kabiliyetidir. Metalsel malzemeler, kaynak işlemi ile şekillendirmeye aynı derece yatkın bulunmamaktadırlar. Kaynağa elverişlilik olarak tanımlanabilecek bu teknolojik kavram, bir birleştirme veya dolgu işleminde seçilen malzeme, uygulanan yöntem ve konstrüksiyon ile kalınlık faktörlerinin bir arada düşünülmesiyle anlam kazanmaktadır. Bir malzemenin kaynak kabiliyetinin yüksek olduğu ifadesinden, o malzemenin ön görülen yöntemle, herhangi bir önlem almadan, tasarlanmış konstrüksiyona uygulanabilmesi anlaşılmaktadır. Bu uygulama sonucu elde edilen kaynak dikişinin ise amaçlanan kalite seviyesinde olması ön şart olarak gerekmektedir.

Malzemenin kaynak uygulamasındaki tutumu, kimyasal birleşimi, üretim metodu, üretim ve daha sonraki aşamalarda görmüş olduğu işlemlerin etkilerine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Konstrüksiyon, tasarlanmış bir yapının boyutları, biçimi ve kesitleri ile tanımlanabilir. Bir konstrüksiyonda önceden belirlenmiş bu boyut, biçim ve kesitlere bağlı kalınarak seçilen malzeme ile imal edilebilmesi, öngörülmüş bulunan gerek mekanik gerekse diğer dayanım özelliklerine ulaşılabilmesi sağlamaktadır. Bu durumun gerçekleşmesi ise, seçilen kaynak yönteminin bu konstrüksiyona uygulanabilmesi ön şartına bağlı bulunmaktadır. Kaynak yöntemlerinin, kaynak kabiliyeti kavramı içinde özel bir yeri bulunmaktadır. Bu yöntemlerin geliştirilmesindeki ana amaç, kaynak kabiliyetlerinde artımlar sağlamaya yönelik bulunmaktadır. Seçilen bir yöntemle iyi kaynak edilebilen bir

malzeme, kalınlığın artması ile aynı yöntemle, bir ön tavlama işlemi koşulu ile kaynak edilebilmekte, farklı bileşimdeki bir malzeme ise örnek olarak alınan bu yöntemle ancak şartlı olarak veya hiç kaynak edilememektedir (Gültekin, 1991).

Ergime bölgesi genellikle kaynak banyosundaki türbülansın etkisiyle, katılaşmadan evvel iyice birbirine karışmış esas ve kaynak metalinden oluşmuştur. Esas metalin kaynak metaline oranı çeşitli kaynak usullerine bağlı olup geniş bir aralıkta değişir. Belirli bileşim ve miktardaki kaynak ve esas metalin karışımından meydana gelen ergime bölgesi, metalin hesaplanan bileşiminin kimyasal analiz neticesi bulunanınki ile aynı değildir. Zira alaşım elemanının bazıları kaynak esnasında yanma dolayısıyla kayıba uğramaktadır. Yanma derecesi, kullanılan ısı kaynağına, kaynak yerini çevreleyen atmosfere ve kullanılan kaynak usulüne göre değişir. Eğer hava atmosferine karşı koruma tam değilse, oksijen ve azot ergime bölgesi atmosferi tarafından muhafaza edilir. Oksijen kaynağa önemli bir rol oynar ve kaybedilmeyen birçok yanmalara sebep olur.

Oksijen alaşımda mevcut birçok elemanlarla birleşerek kaynağın kalitesine olumlu veya olumsuz etkisi olan oksitler meydana getirir. Mesela kaynak banyosunda ergimiş haldeki çeliğin içinde bulunan karbonla CO<sub>2</sub> oluşturur ve bu gaz katılaşma esnasında dışarı çıkarken gözenekler meydana getirebilir.

Kaliteli bir kaynak dikişi elde edebilmek için kaynak yerini havanın tesirinden korumak veya diğer bir yöntemle meydana gelecek kimyasal ve metalurjik reaksiyonları kontrol altında tutmak gereklidir. Oksijenle olacak reaksiyonları kontrol için kullanılan bir yöntem ilave kaynak metaline manganez, silisyum ve bazen de alüminyum ve titan gibi deoksidan maddelerin ilavesidir. Örtülü elektrodlarla yapılan ark kaynağında yanan elemanları karşılamak ve aynı zamanda kaynak dikişinden istenen bazı özellikleri sağlamak amacıyla katıklar elektrod örtüsüne ilave edilir. Çıplak elektrod ve koruyucu gaz atmosferi altında yapılan ark kaynağında ise katılan elemanlar elektrod teline ilave edilmelidir. Karbondioksit gazının koruyucu gaz olarak kullanıldığı çelik kaynağında elektrod teline deoksidan olarak silisyum ve manganez katılır. Böylece ark atmosferinde karbondioksitin ayrışmasından çıkacak olan oksijenin sebebiyet vereceği porozite önlenmiş olur (Güleç, 1967).

Karbondiyoksit atmosferi altında ark atmosferinde serbest halde oksijen bulunmasına rağmen kaynak teline ilave edilen alaşım elemanınun yeniden telafisi gayet iyidir. Fakat silisyum, manganez ve titanyum gibi deoksidanların telafisi çok düşüktür.

Kaynak yerinin katılaşması kendisini çevreleyen esas metale ısı iletimi ile olur ve oldukça iri sütunlar şeklinde kristaller meydana gelir. Bilhassa kalın parçalardaki derin nüfuziyetli kaynaklarda, bu iri silindirik kristallerin birleştiği yerde segregasyondan dolayı bir boşluk oluşur ve zayıflama olur.

Katılma esnasında, genellikle büyük iç gerilmelerin tesir ettiği iç köşe kaynaklarında, iri silindirik taneler segregasyonla ilgili olarak kaynak dikişini, sıcak çatlama bakımından hassas hale getirir (Anık ve Tülbentçi, 1966).

## **2.1 Kaynak Dikişinin ve Çevresinin Metalurjik Yapısı**

Kaynak bir ergitme ve katılma işlemi olduğundan kendine özgü bir metalurjik yapı ile doğar. Bu yapının ana metalin başka yöntemlerle oluşturulmuş yapısından farklı olması doğaldır.

Yapı denilince akla ilk gelen hususlardan birisi kimyasal bileşimdir. Kaynağın kimyasal bileşimi ana metalinkinden farklı olabilir. Kaynak dikişi ana metal ile dolgu metalinin karışımından oluşmuştur. Dolgu metalini uygun seçmek suretiyle dikişin alaşım yapısı ana metalin yapısına yaklaştırılabilir. Fakat bazı alaşım elementleri ergitmenin yüksek sıcaklığında yanarak, kimyasal bileşik oluşturarak veya ayrışarak kısmen kaybolurlar. Kayıp, elektrodun bu elementler yönünden zengin yapılmasıyla karşılanabilir.

Alaşım yönünden sorun sadece ana metal ile kaynak metali arasında değildir. Kök pasoda ana metalin kapak pasosunda elektrodun katkısı çoğunluktadır. Geniş dikişlerde orta pasolar sadece dolgu metalinden ibaret olabilir.

Ana metal ile dolgu metalinin karışım oranları, kaynak yöntemi, elektrod çapı, ilerleme hızı gibi değişkenlere bağlıdır.

## 2.2 Kaynak Dikişinin Tanesel Yapısı

Tanesel yapıyı şekillendiren birinci etken soğuma rejimidir. Yavaş soğuma iri taneler, hızlı soğuma ince taneler oluşturur. Taneler ısı kaçışının hakim olduğu doğrultuda uzarlar ve en kötü halde birer sütuncuk şeklini alırlar. Buna yapının yönlenmesi denir. Tanelerin büyümesi ve yönlenmesi mekanik özelliklerin zayıflamasına neden olur. Her paso kendinden önceki pasolar üzerinde yüksek sıcaklıklara kadar çıkan bir ısı işlem uygular. Her yeni pasoda alttaki pasoların ısı işlemi tekrarlanır. Bu işlemler taneseli yapıyı ıslah ederler. Dolayısıyla taneler küçülür, yönlenme kaybolur. Sonuç olarak kaynağın çok paso ile serilmesi işçiliği artırsa da özellikler yönünden arzulanan bir yapı oluşturur.

Kaynak dikişinin fiziksel sınırı metalin ergime sınırındadır. Kaynak parlatılıp dağlanan kesitinde bu sınır çıplak gözle görülebilir. Kaynağın yüksek sıcaklığı ergime sınırının ötesinde kalan ana metal kesimleri üzerinde etkili olur. Kaynak dikişini çevreleyen bu kuşağa, kaynağın ısı etki alanı denir.

Kaynak sırasında ısı etki alanında meydana gelen gelişmeler olumsuz etki yaratırlar. Burada iki temel değişiklik söz konusudur;

- Ana metalin mevcut billursal düzeni çöker ve şartların oluşturduğu yeni bir düzen doğar.
- Daha önce ısı işlemlerle malzemeye kazandırılmış olan özellikler bozulur.

## 2.3 Isıl Etki Altındaki Alan

Eğer ısının tesiri altında kalan bölgede erişilen azami sıcaklık, kaynağın merkezine olan mesafenin fonksiyonu olarak bilinmekte ve esas metalin tipi ve şartları da tanınmakta ise kaynak sonrası meydana gelecek yapıyı normal olarak önceden tahmin etmek mümkündür. Bununla beraber bazı hallerde soğuma hızının da hesaba katılması gerekir.

Katı halde yalnız tek kararlı fazı olan esas metalde, ısının tesiri altında bulunan bölgedeki yapı değişikliği, ergiyen bölgenin civarındaki yüksek sıcaklığa erişen kısımlarda tane büyümesi şeklinde kendini gösterir. Bu tip yapılar, saf alüminyum ve bakırın kaynağında görülür.

Soğuk şekil değiştirmeye maruz kalmış metallerde, mesela soğuk haddelenmiş bir levhada sıcaklığın o metal için yeniden billurlaşma ve deformasyon derecesini aştığı kısımlarda yeniden billurlaşma meydana gelir. Sıcaklığın yeniden billurlaşma noktasına eriştiği yerlerde taneler küçük, fakat aştığı kısımlarda ise büyük olur.

Soğuk şekil değiştirmiş metallerde yapılan kaynakta sertlik ve çekme mukavemeti, esas metalin yeniden billurlaşma bölgesinde azalır. Zira soğuk şekil değiştirme ile elde edilen sertlik burada nötralize edilmiş olur.

Yaşlandırma sertleşmesine tabi tutularak mukavemeti arttırılmış bir alaşımda ısının tesiri altında kalan bölgenin mukavemetinde de bir azalma olur.

Soğuk şekil değiştirmiş veya yaşlandırma yoluyla sertleştirilmiş levhalar seçilirken genellikle en yüksek mukavemetine göre hesaplanırlar. Fakat kaynak bölgesindeki mukavemetin normal olarak tavllanmış metalin mukavemetinden daha iyi olmadığını da unutmamak gerekir.

### **2.3.1 Kaba taneli yakın alan**

Kaynağa yakın olan ve sıcaklığı 1100 °C'nin üzerine çıkan fakat ergime derecesine de ulaşmayan kesimdir. Aşırı yükselen sıcaklığın etkisiyle çelik taneleri birbirleriyle kaynarak daha büyük taneler haline dönüşürler.

Çelikte 1100 °C kırmızı akkorluğun beyaz akkorluğa dönüştüğü sıcaklık düzeyidir. Al, V, Nb, Zr gibi çelik içinde bulunması gereken katıklar veya kalıntılar anılan sıcaklığın altında çökmek, ayrışmak ve tane sınırlarında toplanmak eğilimindedirler. Çeliğin tane sınırlarında anılan maddelerden oluşan duvar, tanelerin birbirlerine kaynamalarını önler. Yani söz konusu sıcaklığın altında tane büyümesi zayıf olasılıktır.

Sonuç olarak yakın alanda yapı hem kaba taneli ve hem de serttir. Kaynak dikişinin en zayıf yeri normal olarak burasıdır. Gerek çatlama ve gerekse korozyonla yıpranma en fazla burada bulunur.

### 2.3.2 İnce taneli uzak alan

Sıcaklığın alt kritik sınırının üzerine çıktığı fakat tane büyümesi oluşturacak kadar da yükselmediği ana malzeme kesimidir. Gerek sıcaklığın nispeten küçük kalması ve gerekse bu sıcaklıkta kalış süresinin kısalığı, ince taneli bir yapı ortaya koymuştur. Bu kesimde taneler malzemenin orijinal tanelerinden de küçüktür. Bu kısımda martenzit oluşumu da azdır. Dolayısıyla sertleşme fazla değildir. Uzak alan kaynak dikişinin az sorunlu dış çevresidir.

### 2.4 Kaynak Dikişindeki Kendini Çekme ve Büzölmelerin Oluşumu

Kaynak işleminde kullanılan ısı, malzemelerin önce genişmesine, soğuma sürecinde ise büzölmesine neden olmaktadır. Kaynak dikişlerindeki şekil değiştirme, kaynak yeri çevresinde bölgesel olarak sınırlandırılmış olmaktadır. Daha geniş bölgedeki soğuk malzeme, şekil değiştirme eğilimine direnç etkisi gösterdiğinden bu durum kaynak bölgesine basma gerilimi şeklinde yansımaktadır. Soğuma sürecinde ise genişmiş malzemenin başlangıç durumuna dönmesi gerekir. Isı etkisi ile oluşan yığılmada bu mümkün olamamakta bu durumda kaynak gerilmeleri, kaynak öz gerilmeleri veya artık gerilmeler olarak adlandırılan çekme gerilmeleri ortaya çıkmaktadır.

Büzölme ise kaynak işleminde malzemedeki oluşan kalıcı şekil değişiklikleridir. Bu oluşum ısı etkisi altında ortaya çıkan yığılmaların, soğuma sürecinde başlangıç boyutlarına dönememesi veya kalan gerilmelerin malzemenin akma sınırından büyük değerlere ulaşması, dolayısıyla plastik şekil vermenin ortaya çıkması şeklinde tanımlanmaktadır.

Kaynak metali ana metalle birlikte ergiyip katılaştığından azami genişmiş durumda olur. Bir katkı olarak mümkün olan en büyük hacimi işgal eder. Soğumada düşük sıcaklıkta normal olarak işgal edeceği hacime çekmeye çalışır ama komşu ana metal tarafından tespit edilmiş olduğundan bunu yapamaz.

Kaynak içinde gerilmeler oluşur. Bunlar sonunda ana metalin akma mukavemetine ulaşırlar. Bu noktada kaynak gerilir ya da akar ve incelir. Böylece de düşük sıcaklığın gerektirdiği hacime uyarlanır. Bu uyumla sadece kaynak metalinin akma mukavemetini aşan gerilmeleri giderilmiş olur. Bu arada kaynak oda sıcaklığına ulaşır, artık kımıldayamayacak şekilde ana

metal tarafından tespit olunmuştur. İçinde yaklaşık olarak metalin akma mukavemetine eşit değerde hapis kalmış çekme gerilmeleri bulunacaktır. Dış tespit unsurları kaldırılacak olursa içinde hapis kalmış gerilmeler kısmen giderilirken ana metali harekete geçirirler. Böylece de kaynaklı konstrüksiyon şekil bozukluklarına uğrar.

Serbest parçalarda deformasyonlar maksimum ve gerilmeler sıfırdır. Tespit edilmiş parçalarda deformasyonlara engel olunmuştur, tavlanan bölgeler uzarlar ve gerilmeler maksimum olur.

Genellikle gerilmeler ince malzemelerde maksimum ve büyük kütleli parçalarda minimum olur. Bu sonuncu durumda kaynakların kendileri bu gerilmelerin etkilerini taşımak zorunda kalırlar ki bu gerilmeler ve çatlama ihtimalleri çevre sıcaklığının düşüklüğü oranında tehlikeli olurlar.

Bu nedenle 0 °C'nin altındaki bir sıcaklıkta kaynak işlemine girilmemelidir. Bu alt sınır orta ve az veya çok alaşımlı çeliklerde 5 °C'dir. Hızlı bir soğuma sert çekmeler oluşturur ve metalin su almaya hassas olması halinde daha sert ve daha az şekil değiştirebilir hale gelmiş olan komşu bölgeleri kırılgan yapar.

Kaynağa komşu ana metalde çekme, şekil bozukluklarına götüren gerilmelere eklenir. Kaynak sırasında kaynağa komşu ana metal az çok ergime derecesine tavlannmıştır. Buna karşılık kaynaktan birkaç santimetre uzaklıktaki ana metalin sıcaklığı önemli derecede daha azdır.

Bu büyük sıcaklık farkı birleşecek parçaların tespit edilmiş olmaları halinde uniform olmayan genişmeye neden olurlar ki bunu ana metal hareketi ya da metal yer değiştirmesi takip eder. Arklı birleşmeden sonra ana metal tıpkı kaynak metali gibi soğur ve çeker. Çevredeki metal, tavlannmış ana metali normal olarak çekmeden engelleyecek olursa iç gerilmeler gelişir. Bunlar kaynak metalinde gelişmiş gerilmelerle birlikte konstrüksiyonun şekil bozukluklarına uğrama eğilimini arttırırlar (Çırak, 1989).

## 2.5 Kaynak Dikişindeki Kendini Çekme ve Büzülmelere Karşı Etki Eden Faktörler

Kaynak işlemi sırasında oluşan kendini çekme ve büzülmelerin meydana gelmesine etkiyen başlıca beş ana faktör vardır. Bunlar malzemenin metalurjik özellikleri, konstrüksiyonun rijitliği, kaynak tekniği, kaynak ortamının etkisi ve ısı gerilmeleridir.

### 2.5.1 Malzemenin metalurjik özellikleri

Kaynak edilen malzemelerin farklı özelliklere sahip olmaları büzülme ve gerilmelerde farklılıklar ortaya çıkarmaktadır. Özellikle ısı genleşme katsayısı, ısı iletkenlik, akma sınırları, ergime sıcaklıkları bu oluşumlarda rol oynamakta ayrıca bunlardan oluşum eğilimlerinin saptanmasında da faydalanılmaktadır.

Kaynak dikişinin soğuması esnasında çeşitli iç yapılar meydana gelir. Soğumanın yavaş olması halinde östenitik yapı tamamen perlitik yapıya dönüşür. Çabuk soğuma esnasında da dikişin yanındaki bölgede malzemenin karbon miktarına veya alaşım derecesine göre trostik ve sorbitik gibi ara yapılar veya en kötü hal olan martenzit bir iç yapı meydana gelebilir. Geçiş bölgesindeki bu ara yapılar dikişin şekil değiştirme kabiliyetini azalttığı gibi iç gerilmelerin meydana gelmesine de sebep olur. Bunun için bilhassa alaşımlı veya yüksek karbonlu çeliklerde kalın kesitli parçalara büyük önem vermek gerekir. Parçaya kaynaktan önce bir ön tavlama uygulanarak sıcaklık alanlarını mümkün mertebe düzenli şekilde yaymak ve diğer tehlikeleri önlemek mümkündür (Anık, 1969).

### 2.5.2 Konstrüksiyonun rijitliği

Bir kaynak bölgesindeki gerilme ve büzülmeleri, transfer edilen ısının mertebesi, dikiş boyutları, dayanımı ve sürekliliği belirler. Konstrüksiyonun rijitliği şekil değişikliğini engellemekte bu durumda yüksek kaynak gerilimi ortaya çıkmaktadır. Aksi halde süreklilik göstermeyen yığılmalarla, çarpılmalar meydana gelmektedir. Özellikle konstrüksiyondaki kesit farklılıkları, ilave parçalar, kaburgalar, kıvrıma gibi şekilsel dayanımların dış konstrüktif etkenlerle iyileştirilmesi gerekmektedir. Dikiş kalınlığı ve biçimi veya çeşidi bu oluşumlarda etkilidir. Bir dikiş biçimi seçiminde temel prensip mümkün olduğu kadar hacimin küçük seçimi ve dikişin ağırlık merkezine göre simetrik tasarlanmasıdır.

Kaynak esnasında meydana gelen ısı gerilmeler düzensiz soğuma nedeniyle konstrüksiyonda basma kuvvetleri meydana getirir. Konstrüksiyonun rijiditesine göre bu basma kuvvetleri birtakım çarpılma veya kabarmalar meydana getirir. Burkulmaya karşı rijidite derecesi, konstrüksiyonun formuna bağlı olduğu gibi, bilhassa saç konstrüksiyonlarda tespit derecesine de bağlıdır. Düzensiz haller çarpılmaya karşı rijiditeyi düşürür. Bunun için de saç konstrüksiyonlar da burkulma mukavemetini yükseltecek bazı takviyeler konur.

Isıl uzamaya karşı rijiditeyi arttırmakla, yüksek sıcaklıkta akma sınırı düştüğünden plastik bir yığılma meydana gelir. Soğuma esnasında da 600 °C nin altında, akma sınırı yükseldiğinden kendini çekme gerilmeleri meydana gelir. Kendini çekmeye karşı tatbik edilen rijidite derecesine ve soğuma şartlarına göre tek veya çok eksenli gerilmeler meydana gelir. Sonucusu özellikle akma sınırının azalmasına neden olur. Yüksek gerilmelerde, gerilme çatlaklarının meydana çıkmasına neden olur. Düşük rijidite soğuma esnasında büyük çarpılmalar oluşturur.

### 2.5.3 Kaynak tekniği

Genel olarak en iyi kaynak yöntemi ana parçaya en az ısı yükleyen uygulamalardır. Büzülmelerin azaltılmasında birim dikiş enerjilerinin küçültülmesi ayrıca yüksek ısı iletme özelliğine sahip çelik, bakır gibi elemanların kullanılması önerilmektedir. Büzülme oluşumunda dikiş ekseni boyunca farklı değerlere ulaşılması dikiş emniyeti bakımından daha fazla güvensizlik ortaya çıkarır. Bu nedenle kaynak parametrelerinin tümünün, tasarlanmış dikiş boyu süresince sabit tutulması bir ön koşul olarak ortaya çıkmaktadır.

Elektrik ark kaynağındaki ısı miktarı oksii-asetilen kaynağına nazaran daha azdır. Diğer taraftan elektrik ark kaynağında verilen ısı miktarı elektrodun bağlandığı kutupla değiştiği gibi alternatif akımda da farklıdır. Bunun için ince saçlar elektrod pozitif kutupla bağlanarak veya alternatif akımla kaynak edilir. Büyük ısı miktarı geniş bir tavlama bölgesi ile büyük çapta kendini çekmelerin meydana gelmesine sebep olur.

Elektrod tipi ve çapı, kaynak kalitesi üzerinde etkilidir. En fazla ısı miktarını 3,25 mm çapındaki elektrod vermektedir. Bu da kök pasosunun ince çaplı bir elektrod ile çekilmesi halinde çatlama tehlikesinin fazla olacağını gösterir.

Aynı kaynak hızında yüksek ark gücü ile çalışılması halinde konstrüksiyona verilen ısı miktarı arttığı gibi kendini çekme miktarı da fazlaşır.

Kaynak hızı denildiği zaman alevin veya arkın ilerleme hızı akla gelir. Aynı ark gücünde kaynak hızı yükselirse parçaya verilen ısı miktarı da azalır. Tavlama bölgesinin darlığı dolayısıyla da kendini çekme miktarı küçülür. Ve dikişte büyük gerilme uçları meydana gelir.

#### **2.5.4 Kaynak ortamının etkisi**

Normal olarak kaynak işlemi atmosfer ortamında oda sıcaklığında yapılır. Elektron bombardıman ya da difüzyon kaynağında olduğu gibi ortamın farklılığı diğerleri ile karşılaştırıldığında daha az önemlidir. Koşulların farklılığı büzülme için esas olan ısı miktarlarında farklılıklar göstermektedir. Büzülmeler, dikiş merkezine göre üç eksenli olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca kaynak edilen saçın üst ve alt yüzeyinde harcanan ısı da sabittir. Birçok alın ve köşe kaynağında ise durum buna uymamaktadır. Ayrıca açılmalarda birleştirmelerde alt ve üst yüzeylerde farklı büzülme kuvvetleri oluşmakta dolayısıyla kaynak edilen parçada açılmalarda bir değişim ortaya çıkmaktadır.

#### **2.5.5 Isıl gerilmeler**

Bir parçanın bölgesel olarak tavlama sırasında uzamanın engellenmesi ile oluşan gerilmelere ısıl gerilmeler adı verilir. Bu gerilmelerin büyüklüğü aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- Sıcaklık farkı
- Kaynak hızı
- Özgül ısı
- Isı iletme kabiliyeti
- Radyasyonla ısı yayılımı
- Parçanın hacmi ve formu
- Elastiklik modülü
- Isıl uzama katsayısı

Kaynak yerindeki sıcaklık farkının büyüklüğüne göre, meydana gelen gerilmelerde büyük olur. Kaynak yapılan malzemenin ergime noktasının düşüklüğüne göre gerekli ısı miktarı ve kendini çekme azalır. Genel olarak karbon ve alüminyum, manganez, bakır gibi alaşım elemanları malzemenin ergime noktasını düşürür. Kaynak metalinin taşıdığı ısı miktarı, kaynak usulü, ilave metal ve kaynak şartlarına bağlıdır.

Özgül ısının büyüklüğüne göre soğuma yavaş olduğundan soğuma esnasında ısıl gerilmeler büyük bir zaman süresi aldığından daha iyi şekilde giderilmiş olur.

Bir malzemenin ısı iletme kabiliyeti küçüldükçe kaynak yerine verilen ısının parçadaki yayılma hızı da azalır ve ergime noktasına daha çabuk erişilir. Dolayısıyla da çekme miktarı küçülür. Alaşım elemanları genel olarak ısı iletme kabiliyetini azaltır. Mesela çelikte, ısı iletme kabiliyetini karbon, manganez, silisyum ve krom gibi elemanlar azalmasına rağmen çeliğin sertleşmesiyle de bu kabiliyet yükselir. Bunun için alaşımli çeliklerde dikişteki mahalli sıcaklık alaşımli çeliklerdekinden çok daha yüksektir. Böylece bu bölgelerde konstrüksiyonun rijitliğine göre parçada gerilmeler ve çarpılmalar meydana getirecek kuvvetli kendini çekme kuvvetleri meydana gelir.

Isı kaynağının parçaya temas etmeden ışınlarla sıcaklığı yayması da kendini çekmelere sebep olur. Bunun bütün kendini çekmeye göre derecesi gayet azdır.

Kaynak yapılan parçanın kalınlığı, ağız formu ve dikişin ölçüleri verilen ısı miktarı ve ısı dağılışı üzerine önemli etki oluşturur. İnce saçlarda sarf edilen ısı miktarının kesitte yayılan ısıyla teması daima kötü olduğundan bu ısı yayılması dolayısıyla kuvvetli kendini çekme ve çarpılmalar meydana gelir. Elektriki verileri küçültmek, kaynak hızını yükseltmek ve parçanın altına ısıyı iyi ileten bir parça koyarak çarpılmaları azaltmak mümkündür. Diğer taraftan konstrüksiyonun formu, özellikle kaynak dikişlerini teşkil tarzı, kaynak sırası ve puntalama durumu ile meydana gelecek kendini çekme ve çarpılmalar arasında büyük bir bağlantı vardır (Adsan, 1976).

Hemen hemen bütün metalik malzemeler belirli bir zorlamaya kadar elastiktir. Yani tatbik edilen zorlamada gerilme ve uzama miktarları orantılı olarak artar ve zorlama kaldırıldığında parça eski haline döner. Elastiklik sınırı aşıldığı zaman kalan bir şekil değiştirme meydana gelir.

Isıl uzama katsayısı sıcaklığa bağlı bir değerdir. Çelikte alaşım elamanlarının ısıl uzama katsayısı üzerine etkisi çok azdır. Karbon ve krom, ısıl uzama katsayısını bir miktar dūřurur ve ısıl işleme de biraz yūkselir.

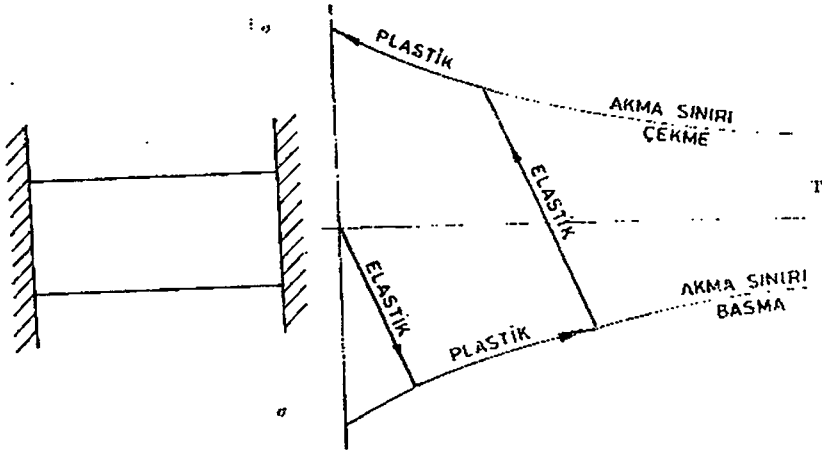


### 3. KAYNAK GERİLMELERİ VE KAYNAK İŞLEMİNDE OLUŞAN ŞEKİL BOZUKLUKLARI

Bu bölümde kaynak işleminde oluşan kaynak gerilmeleri hakkında bilgi verilmiş, gerilme çeşitleri incelenerek, bu gerilmelerin yol açtığı şekil bozuklukları, oluşum şekilleri ve çeşitleri ile tanımlanmıştır.

#### 3.1 Kaynak Gerilmeleri

Bütün cisimler ısınırken genişirler, soğurken çekerler. Metallerde olay daha belirgindir. Genleşme veya çekme herhangi bir şekilde engellenirse iç gerilmeler doğar. Olayın belki en kolay anlatımı Şekil 3.1'de görülen çubuk üzerinde yapılabilir. Kısa çubuk her iki baştan uzamasına ya da kısalmasına imkan vermeyecek şekilde tesbit olunmuştur. Böyle bir çubuk ısıtıldığı zaman içinde basınç gerilmeleri doğar. Durumu Şekil 3.1'deki (T- $\sigma$ ) diyagramından izlemek mümkündür. Basınç gerilmeleri elastik sınır içerisinde sıcaklıkla orantılı olarak artar. Akma sınırına gelindiğinde metal içinde hareket başlar. Dolayısıyla gerilmeler o düzeyi aşamaz. Çubuk soğutulmaya başlayınca boyu kısalma isteyeceğinden basınç gerilmeleri de küçülerek sıfıra iner. Sıcaklığın daha da azalması ile bu kez çekme gerilmeleri filizlenir. Bundan da önce elastik, sonra akma sınırına ulaşınca plastik olarak büyür. Çubuğun sıcaklığı başlangıç değerine döndüğünde içinde akma dayanımına eş değer çekme gerilmeleri kalmıştır (Gölcü, 1989).

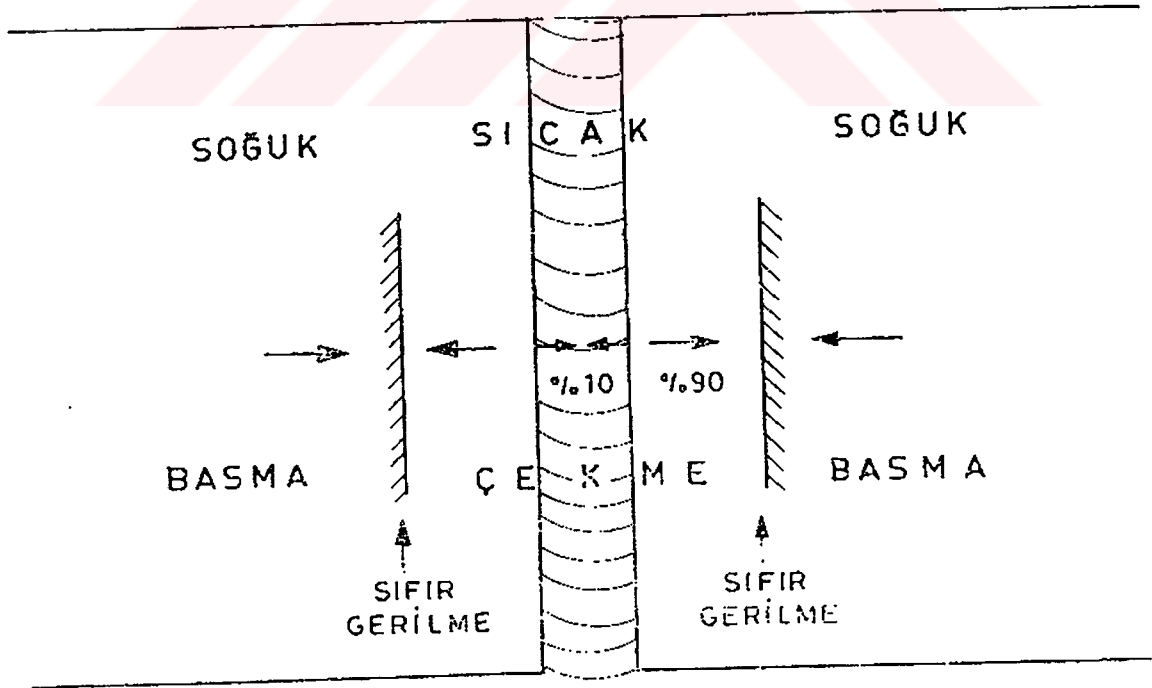


Şekil 3.1 Uzaması ve kısalması kesinlikle engellenen kısa çubuğun ısınma ve soğuma aşamalarında iç gerilmelerin değişimi

Çelikte 150 °C sıcaklık yükselmesi tam rijit koşullar altında kalıcı gerilmelerin oluşmasına yeterlidir. Sıcaklık bunun iki katı dolayına vardığında kalıcı gerilmeler akma dayanımı mertebesine ulaşır.

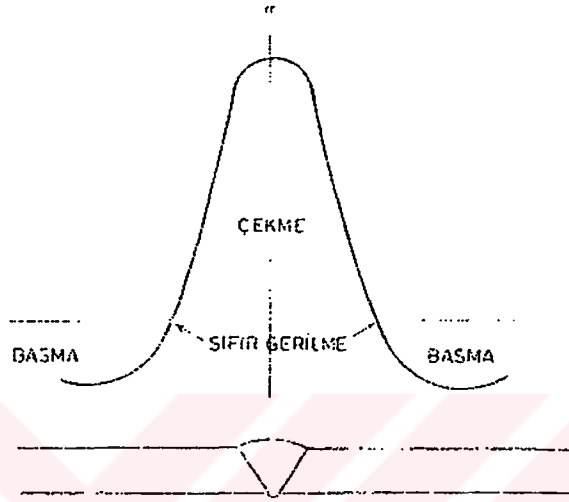
Kaynak dikişinde ergimiş metal kendisinden daha serin ana metal kütlesi ile çevrilidir. Bu serin kütle onun soğuması sırasında çekmesini engellediğinden durumu Şekil 3.1'deki rijit çubuk örneğine benzetmek mümkündür. Dolayısıyla kaynak dikişi soğuduğu zaman aynen çubuktaki gibi akma dayanımı mertebesinde çekme gerilmelerine sahip olabilir. Şekil 3.2'de bu durum gösterilmektedir.

Aslında kaynak dikişinde koşullar sözü edilen rijit çubuk örneğinden daha da olumsuzdur. Dikişin iki tarafındaki ana metal bölgeleri kaynak sırasında ergime derecesine varan sıcaklıklara kadar ısınırlar. Soğuma sırasında bu bölgelerde, fakat kaynak metalinin zıt yönünde çekerler. Dolayısıyla ana metal dikiş içindeki gerilmeleri daha da arttırıcı bir davranış içindedir. Kabaca denebilir ki kaynak dikişi içinde oluşan kalıntı çekme gerilmelerinin sadece %10 kadarı bizzat dolgu metalinin kendini çekmesinden meydana gelir, %90 kadarı ana metalin çekmesinden kaynaklanır.



Şekil 3.2 Kaynak çevresinde oluşan çekme ve basma bölgeleri (Gölcü, 1989)

Kaynak bölgesinde gerilim dağılımının diyagramı şekil 3.3'te gösterilmiştir. Kaynak ekseninde doruğa ulaşan çekme gerilmesi kaynak sınırının az ötesinde sıfıra iner. Oradan öte de basınç gerilemesine dönüşür. Basınç gerilmesi kaynak bölgesindeki çekme gerilmesini dengeler.



Şekil 3.3 Kaynakta kalıntı gerilmelerinin enine dağılımı (Gölcü, 1989)

Metalin yerel olarak yumuşayınca kadar her tavlama, soğumayı takip eden gerilmelerin ortaya çıkmasına sebep olur. Gerilme ihtiva etmeyen bir kaynağın yapılması hemen hemen imkansızdır. Meydana gelen gerilmeleri aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz.

Kaynak işleminin yapılışı sırasında meydana gelen gerilmelere kaynak gerilmeleri denir.

Kaynak birleştirmesinin soğumasının ardından kaynak işlemi tarafından verilen gerilmelere kalan kaynak gerilmeleri denir.

Dikiş düzlemine ve parça yüzeyine paralel bir düzlemdeki gerilmelere boylamasına gerilmeler adı verilir.

Dikiş düzlemine dikey ve parça yüzeyine paralel bir düzlemdeki gerilmeler enlemesine gerilmeler olarak adlandırılırlar. Dikişe ve parça yüzeyine dikey bir düzlemdeki gerilmelere ise derinlemesine gerilmeler adı verilir.

### 3.1.1 Boylamasına gerilmeler

Eğer konstrüksiyon sıkı bir şekilde tespit edilmemiş ise dikişteki boylamasına çekme kuvvetleri, boylamasına ve enlemesine gerilme etkisi meydana getirir.

Dikiş boyunca dikişe ait bölgelerde boylamasına büyük çekme gerilmeleri meydana gelir. Söz konusu basma reaksiyon gerilmeleri, yeterli miktarda tavlanan kısımlarda ortadan kalkar. Dikişin sonlarında bir basma ve ortasında da bir çekme etkisi meydana çıkar. Bu da hemen enine bir gerilmenin doğmasına neden olur.

Boylamasına gerilmelerin en yüksek olduğu yer, kaynak metalinin hemen yanındaki tavlanan dar bölgedir. Bu gerilmeler dikişte enine çatlaklar meydana getirebilir. Yavaş kaynak yaparak veya bir ön tavlama tatbik ederek boylamasına gerilmeleri azaltmak mümkündür. Fakat böylece saçtaki reaksiyon gerilmelerinin miktarı yükselmekte ve bu da kamburlaşma tehlikesini doğurmaktadır.

### 3.1.2 Enine gerilmeler

Sınırlanmış kendini çekmeler nedeniyle dikişe dikey olarak meydana gelen dış enine gerilmeler, boylamasına kendini çekme kuvvetlerinin meydana getirdiği enine gerilmelerle birleşir.

Sıcaklık alanının kaynak yerinden başa doğru düzenli olarak yayılması dikiş boyunca meydana gelen enine gerilmelerin azalmasını sağlar. Bunun için enine gerilmeler sıçrama veya geri adım kaynak usulleriyle azaltılabilir. Bu yöntemler özellikle az kaynak metalinin yığılması ve ısının çabuk yayılması, dolayısıyla artan çatlama tehlikesinden ötürü kök pasolarının kaynağı için çok elverişlidir. Yüksek kaynak hızı ile çalışmada enine kaynak gerilmeleri azalır.

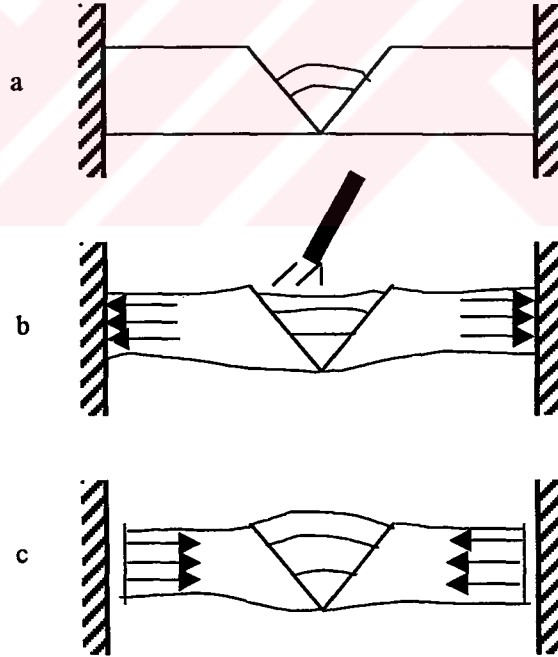
### 3.1.3 İç köşe dikişlerinde kendini çekme gerilmeleri

Parçanın yalnız yüzeyi ergidiği zaman genişleme ve kendini çekme, boylamasına ve enine yönlerde kuvvetli bir tehdiye uğrar. Tespit edilmiş çift taraflı bir iç köşe dikişinde birinci köşe dikişi enine istikamette bir etki yapar.

Böylece büyük kısmı dikişte toplanan üç eksenli bir gerilme hali meydana gelir. Bunun bütün dikiş kesitince her tarafında çekme tesiri yapan hacimsel bir gerilme hali meydana getirdiği tahmin edilmektedir.

### 3.2 Kaynak İşleminde Oluşan Şekil Bozuklukları

Şekil bozuklukları kaynaklı konstrüksiyonun kaynak işlemi sırasında oluşan ısıl gerilmeler sonucu biçimce ve boyutça bozulmasıdır. Şekil bozuklukları kaynak işlemi sırasında ve kaynak işleminden sonraki soğuma sırasında olmak üzere iki şekilde meydana gelir.



Şekil 3.4 Şekil bozukluklarının şematik gösterilmesi


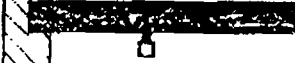




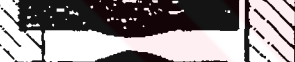





Şekil 3.4'de görüldüğü gibi iki taraftan genişlemesi engellenmiş iki parçanın kaynağında verilen ısı nedeni ile parçalar uzamak eğilimindedirler, ancak her iki taraftan sınırlandırılmış olduklarından genişleme meydana gelmez ve iç gerilmeler oluşur. Bütün metallerde akma

sınırı sıcaklığın bir fonksiyonudur. Kaynak dikişi civarı aşırı ısıtılmış durumda olduğundan akma sınırı çok küçük değerlerdedir. Bu durumda kaynak dikişi bu iç gerilmeleri elastik olarak karşılayamaz ve bir yığılma meydana gelir. Kaynak işleminden sonra parçalar soğumaya bırakıldığından büzülme meydana gelecektir. Kaynak dikişi bölgesinin bir kalıcı şekil değiştirmeye kalınlığı arttığına soğuma sonucunda parçalar her iki taraftan boyca kısılır. Şekil bozukluklarının oluşması kaynaktan sonra soğuma sırasında da olabilir. Soğuma sırasında kendini çekmek isteyen kaynak dikişine ana malzemenin soğuk kısımları karşı koyar. Bunun sonucu olarak da iç gerilmeler ve gerilmelerin büyüklüğüne bağlı olarak da şekil bozuklukları meydana gelir. Şekil bozuklukları kaynak işlemi sırasında oluşan gerilmelerden önemsiz kabul edilemez. Çünkü kaynaklı konstrüksiyonların geometrisini bozarlar ve bir düzeltme işlemi gerektirdiklerinden maliyeti arttırırlar (Karadeniz, 1978).

Şekil bozukluklarını şu faktörler etkiler:

- Kaynak işlemi uygulanan konstrüksiyonun rijiditesi
- Kaynak işlemi sırasındaki sıcaklık, ısınma ve soğuma hızları
- Ana malzemenin genleşme katsayısı
- Ana ve ilave metalin mekanik özelliği ve dolayısıyla akma sınırı (Doğan, 1979).

Bir kaynaklı konstrüksiyonda şekil bozuklukları pek çok etkene bağlı olduğundan hassas olarak önceden tahminini olanaksız kılar. Hesapların kısmen bile olsa üzerine dayandığı fiziksel ve mekanik nitelikler ısı uygulandığında değişmektedir. Örneğin kaynak alanının sıcaklığı arttıkça çelik levhanın akma sınırı, elastikiyet modülü ve ısıl genleşme katsayısı ile özgül ısı artar. Bu değişimler bu kez ısı akışını ve ısının uniform dağılımını olumsuz yönde etkiler. Böylece de ısıtma sırasında olup bitenlerin hassas hesabını zorlaştırır. Şekil 3.5'te gerilme ve şekil değişimlerinin oluşumu, uzama ve büzülmelerin durumlarına göre şematik olarak gösterilmiştir (Anık ve Vural, 2001).

Uzama ve büzülme serbestçe mümkün	Isının davranışı	Sekil değişimi	Gerilme
	Oda sıcaklığı	Başlangıç boyu	yok
	Isınma	Uzama	yok
	Soguma	Kısalma	yok
	Son durum	Başlangıç boyu	yok
<b>Uzama sınırlanmış Büzülme serbestçe mümkün</b>			
	Oda sıcaklığı	Başlangıç boyu	yok
	Isınma	Sınırlanmış uzama	Bası gerilmeleri, sonra 0
	Soguma	Kısalma	yok
	Son durum	Kısalma ortada yığılma	yok
<b>Uzama ve Büzülme sınırlanmış</b>			
	Oda sıcaklığı	Başlangıç boyu	yok
	Isınma	sınırlanmış uzama	Bası gerilmeleri, sonra 0
	Soguma	sınırlanmış büzülme	Çeki gerilmeleri
	Son durum	Başlangıç boyu Ortada yığılma, biraz büzülme	Çeki gerilmeleri

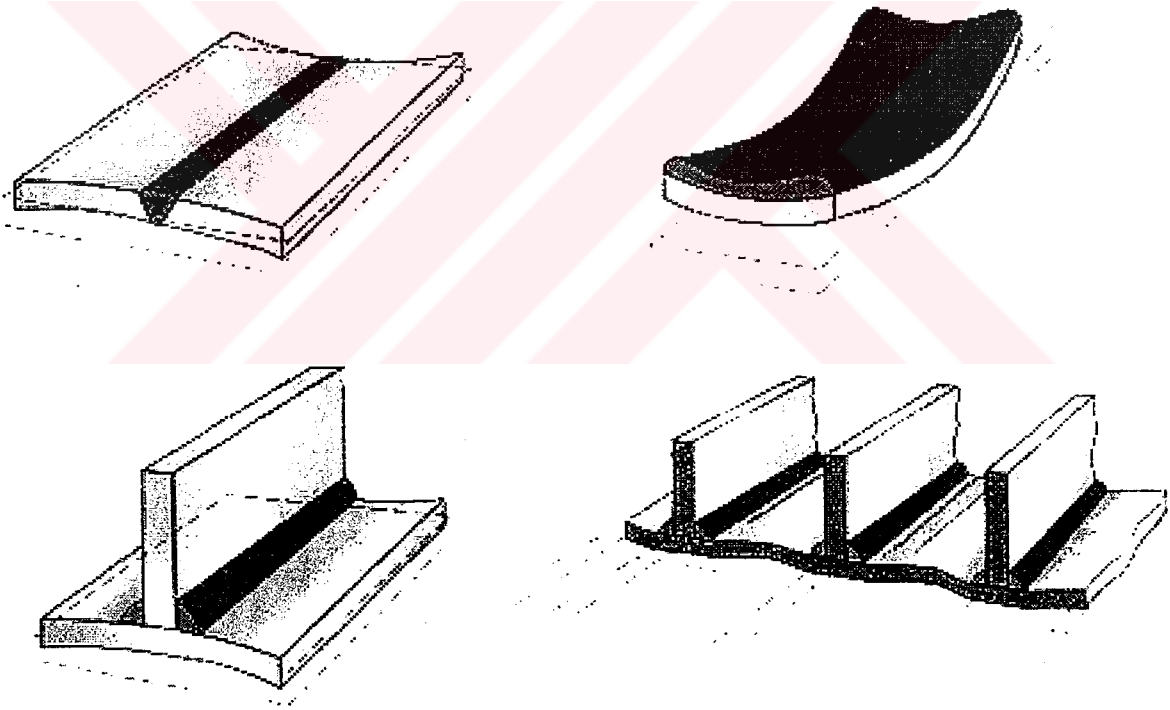
Davranış	Sekil değişimi	Gerilme
Büzülme sınırlanmış	düşük	büyük
Büzülme serbestçe mümkün	büyük	düşük

Şekil 3.5 Gerilme ve şekil değişimlerinin oluşumunun şematik gösterimi

Yukarıdaki bilgilerin ışığında kaynağın esas itibarıyla izoterm olmayan tabiatına bağlı sayıda olaya neden olduğu anlaşılır. Ark kaynağının oksijen-asetilen kaynağına göre kalori girdisinin

daha çok yerleştirdiği de dikkate alındığında birleşme tipinin ana metal içinde ısı dağılımına arz edilen kesitle doğru orantılı olarak etkili olduğu görülür. Bu kesit bir T ve özellikle haç şekli birleşmede örneğin bir alın kaynağına göre daha büyük olacaktır. Sıcak bölümler genişlemeye çalışacak ama soğuk bölümlerin karşı koymasını zorlukla yeneceklerdir. Bu itibarla bunlar plastik olarak sıkıştırılmış ve ezilmiş olacaktır. İlk boyutlardan hareket eden soğumada, çekmeye soğuk bölgelerce engel olunacak böylece de bakiye ya da kaynağa özgü gerilmeler meydana gelecektir.

Bu değişik olguların mekanizması kaynakta şöyle özetlenebilir; serbest parçalarda deformasyonlar maksimum ve gerilmeler sıfırdır. Tespit edilmiş parçalarda deformasyonlara engel olunmuştur, ısıtılan bölgeler uzarlar ve gerilmeler maksimum olur. Şekil 3.6'da çeşitli kaynak mekanizmalarında oluşan şekil bozuklukları gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Çeşitli kaynak mekanizmalarında oluşan şekil bozuklukları (Leggatt, 2000)

### 3.2.1 Metal niteliklerinin şekil bozukluklarına etkisi

Metalin ısıl genişleme katsayısı, ısıl iletkenliği, elastikiyet modülü ve akma mukavemetinin yaklaşık değerlerinin bir kaynaklı konstrüksiyonda bilinmesi tasarımcı ve kaynakçıya, şekil bozuklukları sorununun tahmininde yardımcı olur.

Isıl genleşme katsayısı, bir metalin ısıtıldığında uğradığı genleşme ya da soğuduğunda ortaya çıkan çekmenin ölçüsüdür. Isıl iletkenlik bir malzeme içinden ısı akış kolaylığının bir ölçüsüdür. Akma mukavemeti kaynak metalinde bir kaynaklı konstrüksiyonun şekil bozuklukları derecesini etkileyen bir başka parametredir. Soğuma sırasında bir kaynaklı birleşmenin çekmesini sağlayabilmek için gerilmeler kaynak metalinin akma mukavemetine varmalıdırlar. Gerilme ve incelmenin olmasından sonra kaynak ve buna komşu ana metal yaklaşık olarak akma mukavemetlerine gerilmiş olurlar. Kaynak alanında bir malzemenin akma mukavemeti ne kadar yüksek olursa, konstrüksiyonu şekil bozukluklarına uğratma yolunda etki yapan bakiye gerilmeler o denli yüksek olur. Buna karşılık düşük mukavemetli metallerde daha zayıf olur.

Metallerin akma mukavemeti ısı ya da mekanik işlemlerle değiştirilebilir. Örneğin orta karbonlu, yüksek karbonlu ve alaşımlı çeliklerin ısı işlemi akma mukavemetini ciddi şekilde artırabilir. Soğuk işlemede, birçok paslanmaz çelik, bakır ve alüminyum alaşımları üzerinde aynı etkiye sahiptir. Çarpılmayı asgariye indirmek için metaller mümkün olduğunca tavllanmış halde kaynak edilmelidir.

Paslanmaz çeliğe karşı yumuşak çelik; yumuşak çelikte genellikle kullanılan paslanmaz çeliklerin akma mukavemetiyle elastikiyet modülleri aynı genel mertebelerde olup muhtemel şekil bozukluklarında az farka işaret ederler. Bununla birlikte paslanmaz tiplerinin ısı iletkenliği yumuşak çeliğinkinin yaklaşık üçte biridir. Bu özellikler çekme etkisini artıracaktır. Paslanmaz çeliğin ısı genleşme katsayısı yumuşak çeliğinkinin yaklaşık 1.5 katıdır. Bu da yine kaynağa komşu levhada çekmeyi artıracaktır. Bu itibarla aynı kaynak miktarı için paslanmaz çelik, yumuşak çeliğe göre daha fazla çarpılmaya uğrayacaktır.

Alüminyuma karşı yumuşak çelik; alüminyumun genleşme katsayısı çeliğinkinin yaklaşık iki katıdır. Her iki metal yaklaşık aynı sıcaklıkta kaynak edilebilseydi alüminyumun çekme etkisi çok daha fazla olurdu. Ancak çeliğin ergime sıcaklığı alüminyuma göre çok yüksek olduğundan genleşme faktörleri az çok eşitlenir. Alüminyumun ısı iletkenliği çeliğinkinin yaklaşık dört katı olup ısı alüminyumda daha hızlı akar, dolayısıyla kaynağa komşu levha da daha düşük sıcaklık farkı olur. Bu da alüminyumda daha az şekil bozukluklarına götürür. Alüminyumun elastikiyet modülü, çeliğinkinin üçte biri mertebesinde olduğundan alüminyumda aynı bakiye gerilme için daha yüksek şekil bozuklukları olur.

Akma mukavemeti alüminyum alaşımı ve bunun ısıl işlemine göre geniş sınırlar içinde değişebilir. Göreceli olarak bunun şekil bozukluklarına etkisi ikinci derecede kalır. Böylece de alüminyum ve çelikte şekil bozukluklarını artıran ve azaltan etkenler az çok birbirini dengeler, şöyle ki şekil bozuklukları beklentisi iki metal için az çok aynı olur.

Yüksek mukavemetli çeliğe karşı yumuşak çelik; bu metallerin şekil bozukluklarını etkileyen nitelikleri arasında tek ciddi fark akma mukavemetleridir. Doğal olarak bu yüksek mukavemetli çelikte daha yüksek olacağından artan şekil bozuklukları söz konusu olacaktır. Yüksek mukavemet nedeniyle muhtemelen daha küçük ya da daha ince kesit kullanılacak olup bu da şekil bozukluklarını artıracaktır (Oğuz,1986 ).

### **3.2.2 Şekil bozuklukları çeşitleri**

Kaynak edilen parçaların eksenler boyunca kendini çekmelerinde eksenin cinsine göre şekil bozuklukları, enine şekil bozuklukları, açısal şekil bozuklukları, boylamasına şekil bozuklukları ve kalınlık çekmeleri olarak ortaya çıkarlar.

#### **3.2.2.1 Enine şekil bozuklukları**

Kaynak edilen parçadaki kaynak dikişine dik yani y eksenini boyunca meydana gelen büzülme enine şekil bozuklukları denir.

#### **3.2.2.2 Açısal şekil bozuklukları**

Enine şekil bozukluklarının özel bir şekli olup parçanın ilk başlangıç durumuna göre kendisini bir  $\alpha$  açısı kadar çekmesidir.

#### **3.2.2.3 Boylamasına şekil bozuklukları**

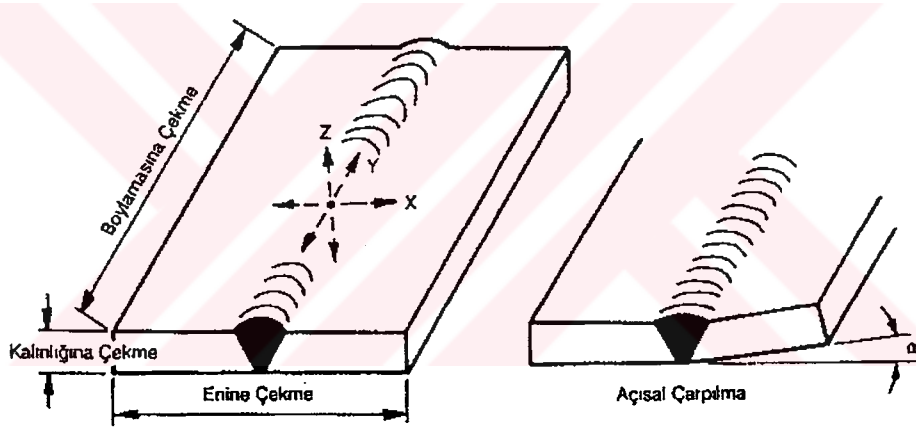
Parçanın kaynak dikişi yönünde yani x eksenini boyunca, kendisinin büzülmesine boylamasına şekil bozuklukları denir.

### 3.2.2.4 Kalınlık çekmeleri

Parçanın kendisini kalınlığı, yani z eksenini boyunca çekmesine kalınlık şekil bozuklukları denir. Ancak bu değer çok küçüktür ve uygulamada hemen hemen hiçbir önem taşımaz.

### 3.2.3 Çeşitli kaynak şekillerine göre şekil bozuklukları çeşitleri

Aşağıda alın dikişlerinde enine şekil bozuklukları, iç köşe dikişlerinde enine şekil bozuklukları, alın kaynağında açılmal şekil bozuklukları, iç köşe birleştirmelerinde açılmal şekil bozuklukları, alın dikişlerinde boylamasına şekil bozuklukları ve iç köşe birleştirmelerinde boylamasına şekil bozuklukları hakkında bilgi verilmiştir. Şekil 3.7’de çeşitli çekme ve çarpılma şekilleri, Şekil 3.8’de ise kaynaklı bir parça üzerinde çekme türlerinin etkileri görülmektedir.

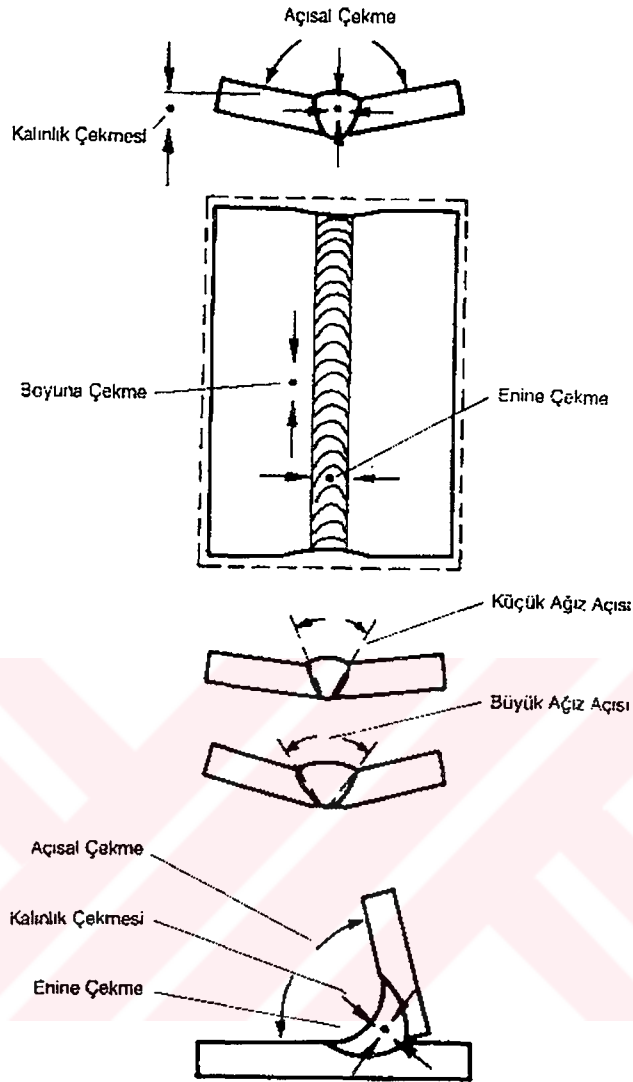


Şekil 3.7 Çeşitli çekme ve çarpılma şekilleri (Tülbentçi, 1998)

#### 3.2.3.1 Alın dikişlerinde enine şekil bozuklukları

Enine çekme, parçada kaynak dikişine dik eksen boyunca ortaya çıkan kendini çekmedir. Tavlanan kaynak ağızı kaynak işlemi sırasında genleşerek ağız formunu daraltır. Soğuma sırasında da enine şekil bozuklukları meydana gelir. Bu şekil bozuklukları % 90-95 esas metalin ısıl uzaması ve % 5-10 da kaynak metalinin kendini çekmesi sonucunda ortaya çıkar.

Enine şekil bozukluklarının büyüklüğü, kaynak yerine verilen ısı miktarına, kaynak ağızı formuna, ağız genişliğine ve dikişin boyuna bağlıdır. Şekil 3.9’da çeşitli kaynak şekillerine göre enine şekil bozuklukları miktarları görülmektedir. Şekil 3.10’da ise dikiş kalınlığının sac kalınlığı oranlarına göre enine şekil bozuklukları miktarları verilmiştir.



Şekil 3.8 Kaynaklı bir parça üzerinde çekme türlerinin etkileri (Tülbentçi, 1998)

Sınırlandırılmamış enine şekil bozukluklarının hesaplanması için birçok araştırmacı çalışmalar yapmıştır ve enine şekil bozuklukları değeri için çeşitli formüller bulmuşlardır. Bu ampirik formüller şunlardır

$$\text{-Malsius'a göre } \Delta l = 1,3 * (0,6 * \lambda_1 * k * (Q/s) + \lambda_2 * b)$$

$\Delta l$  : kendini çekme miktarı (mm)

$\lambda_1$  : sabit (0,0044)

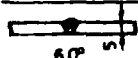






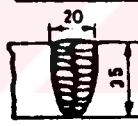


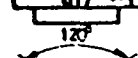
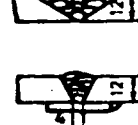
$\lambda_2$  : sabit (0,0093)

k : sabit (çıplak elektrod ile yapılan ark kaynağında 43, örtülü elektrodla yapılan ark kaynağında 50)

Q : kaynak dikişinin kesiti ( $\text{mm}^2$ )

s : saç levhanın kalınlığı (mm)

b : ortalama ağız genişliği (mm)

Kesit	Enine (mm) Çekme	Doldurma şekli
	1.0	2 paso ve örtülü elektrod ile ark kaynağı
	1.4	4 paso ve çıplak elektrod ile ark kaynağı
	1.6	5 paso ve örtülü elektrod ile ark kaynağı
	1.8	5 paso ve örtülü elektrod ile ark kaynağı; kök ters taraftan 2 paso ile kaynatılmış.
	1.8	Her tarafı 5 paso ve örtülü elektrodla ark kaynağı
	1.6	Derin nüfuziyet elektrodu ile ark kaynağı
	2.3	Sağa gaz kaynağı
	3.2	20 paso ve örtülü elektrod ile ark kaynağı
	2.4	1/3'ü örtülü elektrodla 2/3'ü tozaltı kaynağı ile
	0.6	Bakır altlık üzerinde bir paso ile tozaltı kaynağı
	3.3	120° lik ağız açısında örtülü elektrodla ark kaynağı (tavsiye edilmez)
	1.5	Altlık üzerinde örtülü elektrod ile ark kaynağı

Şekil 3.9 Çeşitli kaynak şekillerine göre pratik enine şekil bozuklukları miktarları  
( Anık ve Tülbentçi , 1987)

A/s (dikiş kalınlığı/saçkalınlığı)	mm
0.33	0
0.5	0.1
0.6	0.3
0.7	0.7
1.0	1.0

Şekil 3.10 Dikiş kalınlığının saç kalınlığına oranlarına göre enine şekil bozuklukları miktarları

Gilde'ye göre ise:

$$\Delta l = (0,24 * 6000 * k * \alpha * U * I * a) / (s * V * \lambda)$$

$\Delta l$  : kendini çekme (mm)

k : ark ısısından faydalanma faktörü

$\alpha$  : çizgisel ısı uzama değeri

U : gerilim

I : akım şiddeti

a : sıcaklık iletme katsayısı

s : saç kalınlığı

V : arkın dikiş boyunca ilerleme hızı

$\lambda$  : ısı iletme katsayısı

Alın dikişlerinde enine şekil bozuklukları derecesini düşürmek için şu hususlara uymak gerekir:

- Kaynak dikişi muntazam bir şekilde puntalanmalıdır.
- Sıçrayarak veya geri adım usulü ile kaynak yapılmalıdır.
- Kaynak hızı yükseltilmelidir.
- İnce çaplı elektrod ile çok pasolar halinde kaynak yapılmalıdır. Ancak bu durumda kök pasosunda çatlama tehlikesi ve açılmal şekil bozukluklarının yükselmesi göz önüne alınmalıdır.

- Kaynak ağızı gayet düzgün hazırlanmalı ve ağız boyunca aynı aralığı muhafaza etmelidir ( Gölcü, 1989 ).


### 3.2.3.2 İç köşe dikişlerinde enine şekil bozuklukları









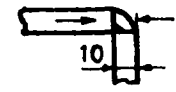
Yatay saçın tavlanan kısımlarının genişmeyi sınırlandırması enine şekil bozukluklarının meydana gelmesine sebep olmakta ve büyüklüğü şu şekilde ifade edilmektedir: Dikiş kalınlığı; a, saç kalınlığı; s ise burada  $a/s = 0,3$  ise şekil bozuklukları az,  $a/s = 0,5$  ise şekil bozuklukları normal  $a/s = 0,8$  ise şekil bozuklukları fazladır. Şekil 3.11’de iç köşe birleştirmelerindeki şekil bozuklukları verilmiştir. İç köşe dikişlerindeki enine şekil bozuklukları alın birleştirmelere nazaran daha küçüktür.

### 3.2.3.3 Alın kaynağında açısal şekil bozuklukları

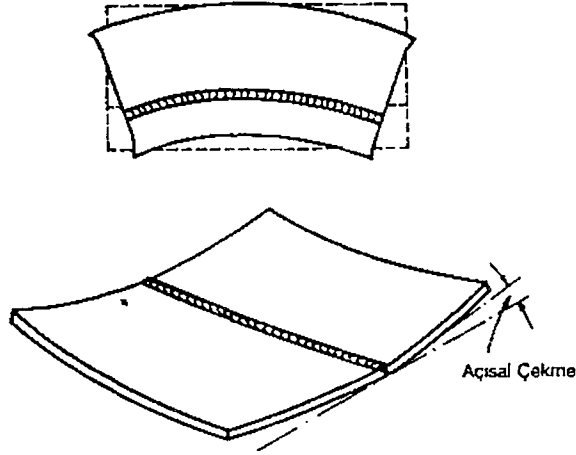
Tek taraftan ve bilhassa V kaynak ağızı ile kaynak edildiğinde saçların üst yüzeyi daha çok ısınacağından yüzeyin çekmesi daha fazla olacak ve saç kanatlarının uçları yukarı doğru kalkacaktır. Şekil 3.12’de ince saçlarda kendini çekmenin parçayı düzlemsellikten saptırması şematik olarak gösterilmiştir. Bu sırada oluşan açısal şekil bozukluklarının büyüklüğü kaynak ağzının şekline, pasoların teşkil tarzına ve saç kalınlığına bağlıdır. Şekil 3.13’de çeşitli alın kaynağı durumlarında açısal şekil bozuklukları miktarları görülmektedir.

Kaynaktan evvel parçalara ters yönde açı vermekle veya kök pasoyu ters taraftan temizleyerek yeniden bir paso çekmekle açısal şekil bozukluklarını en az düzeye indirmek mümkündür. Kaynak sırasında parçaların sıkı bir şekilde tespiti de açısal şekil bozukluklarını azaltır.



Kesit	Enine (mm) çekme	Doldurma şekli
	0,5	
	0,3	Yatay pozisyonda ikişer paso
	0	Yatay pozisyonda ikişer paso
	0,5	Yatay pozisyonda ikişer paso
	0,8	Yatay pozisyonda ikişer paso
	1,0	Oluk pozisyonu
	1,3	Dikme kaynak pozisyonu
	0	Yatay pozisyonda ikişer paso
	0	Yatay pozisyonda ikişer paso

Şekil 3.11 Malsius'a göre iç köşe birleştirmelerinde şekil bozuklukları miktarları (Anık ve Tülbentçi, 1987)

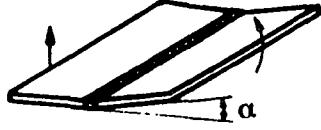













Şekil 3.12 İnce saçlarda kendini çekmenin parçayı düzlemsellikten saptırması (Anık ve Vural, 2001)

#### 3.2.3.4 İç köşe birleştirmelerinde açısal şekil bozuklukları

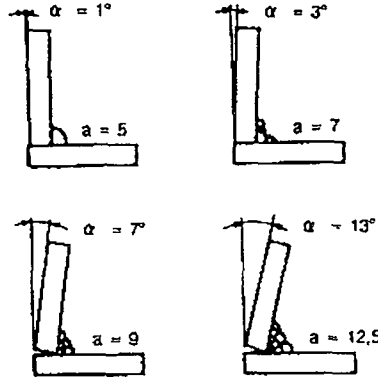
İç köşe birleştirmelerinde tek taraflı tavlama sonucunda saçta meydana gelen sıcaklık farklılıkları şekil bozukluklarına sebep olur. İnce saçlarda saç kalınlığı boyunca sıcaklık farkı az olduğu için hafif açısal şekil bozuklukları ortaya çıkar. Kalın levhalarda da sıcaklık farkları büyük olmasına rağmen meydana gelen yüksek gerilmeler, ısıl şekil bozukluklarına karşı koyduğundan açısal şekil bozuklukları azdır. Şekil 3.14'te St 37 çeliğinden yapılmış iç köşe birleştirmelerinde açısal çekmenin kaynak dikiş yüksekliği ile değişimi gösterilmiştir.

Kalın çaplı bir elektrod ile bir paso halinde kaynak yapıldığı zaman oluşan açısal şekil bozuklukları aynı dikiş yüksekliği için ince çaplı elektrodla çok pasolar halinde yapılan kaynağa nazaran daha azdır. Temasın kötü olması halinde ve iki parçanın arasındaki mesafenin büyümesinde açısal şekil bozuklukları oranı büyür. Şekil 3.15 St 37 ve St 42 çeliklerinin iç köşe kaynağında çekilen paso sayısının açısal çarpılmaya etkisi gösterilmiştir.



Kesit	Açısal ( $\alpha$ ) çarpılma	Doldurma şekli
	1°	2 paso ve örtülü elektrod ile ark kaynağı
	1°	3 paso ve çıplak elektrod ile ark kaynağı
	3 1/2°	5 paso ve örtülü elektrodla ark kaynağı
	0°	5 paso ve örtülü elektrodla ark kaynağı; kök ters taraftan 3 paso ile kaynaklanmış.
	1°	Sağ gaz kaynağı
	0°	İki taraftan dikey pozisyonda gaz kaynağı
	7°	8 geniş paso ve örtülü elektrodla ark kaynağı
	13°	22 dar paso ve örtülü elektrodla ark kaynağı
	0°	Bakır altlık üzerinde bir paso ile tozaltı kaynağı
	2°	1/3 örtülü elektrodla ark kaynağı 2/3 bir paso ile tozaltı kaynağı
	5°	Çelik band altlık üzerinde 2 paso ile tozaltı kaynağı

Şekil 3.13 Malsius'a göre çeşitli alın dikişi şekillerine göre açısal şekil bozuklukları miktarları (Anık ve Tülbentçi, 1987)



Şekil 3.14 St 37 çeliğinden yapılmış iç köşe birleştirmelerinde açısal çekmenin kaynak dikiş yüksekliği ile değişimi (Tülbentçi, 1998)

Dikiş kesiti ve parça kalınlığı mm	Kaynak türü	Çarpılma açısı	Dikiş kesiti ve parça kalınlığı mm	Kaynak türü	Çarpılma açısı
	Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı	3°		Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, her dört paso da yatay pozisyonda	1,5°
	Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, her iki paso da yatay pozisyonda	3°		Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, tek bir paso	0°
	Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, her iki paso da yatay pozisyonda	1°		Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, üç paso	1°
	Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, her üç paso da yatay pozisyonda	2°		Tozalıtı kaynağı, tek bir paso	0°

Şekil 3.15 St 37 ve St 42 çeliklerinin iç köşe kaynağında çekilen paso sayısının açısız çarpılmaya etkisi (Anık ve Tülbentçi, 1987)

### 3.2.3.5 Alın dikişlerinde boylamasına şekil bozuklukları

Kaynak yerindeki ilave metalin ergimesi sırasında dikişin civar bölgeleri genişlemek ister. Dikişin yanındaki soğuk bulunan civar kısımlar boylamasına uzamayı engeller ve plastik bir yığılma meydana gelir. Bu boyuna şekil bozukluklarının oluşma nedenidir.

Ölçülebilen boylamasına şekil bozuklukları miktarı azdır ve pratik olarak yalnız dikişin sonlarında bir kısalma olabilir. Dikişin boyu uzadıkça metre dikiş boyuna düşen kendini çekme miktarı azalır. Alın kaynağında bu miktar 0,1 ile 0,3 mm/m dir. Bununla beraber dikişte yüksek miktarlarda uzunlamasına çekme gerilmelerinin meydana gelmesi halinde bütün kendini çekme kuvvetleri bilhassa ince saçlarda dikişlerin arasındaki bölgelerde bombelikler meydana getirirler. Ölçülebilen mertebedeki boylamasına şekil bozuklukları kaynak hızını yükselterek veya kaynağa ara verilerek azaltılabilir. Kaynak ağzlarının kaynaktan önce çekiçle dövülmesi, preslenmesi veya haddeden geçirilmesi yani soğuk şekil değiştirme işlemlerinden birine tabi tutulması halinde boylamasına şekil bozuklukları azaltılabilir.

### 3.2.3.6 İç köşe dikişlerinde boylamasına şekil bozuklukları

Dikişin içersinde meydana gelen çekme kuvvetleri konstrüksiyonun rijitleşmesine karşı bir etki yaratır. Bunun için kirişlerdeki boylamasına şekil bozuklukları kiriş kesiti/ dikiş yüzeyi oranına bağlıdır. Kendini çekme momenti, boylamasına gerilmelerin sebep olduğu kendini çekme kuvvetleri, kaynakta ağırlık merkezinden geçen eksenin dışındaki bir kendini çekme momenti meydana getirir. Bu momentte bilhassa kaynakları simetrik olmayan konstrüksiyonlarda bir çarpılma etkisi yapar.

Eğer kaynak dikişleri konstrüksiyonun ağırlık merkezinde bulunur veya ağırlık merkezinden geçen eksene göre simetrik olursa kendini çekme momenti sıfırdır. Simetrik kaynak dikişlerinin aynı zamanda kaynak edilmesi gerekir. Eğer önce birinci dikiş kaynak edilir sonra da ikinci dikişin kaynağına geçilirse birinci dikişin sebep olduğu şekil bozukluklarını ortadan kaldırmaz.

Kaynak dikişinin asimetrik bir tarzda tertip edilmesi halinde tek taraflı kendini çekme kuvvetlerinin etkisi parçaya tatbik edilen bir ön sehim ile dengelenir bu işleme ön sehim tespiti denir.

#### **4. KAYNAK İŞLEMİ SIRASINDA OLUŞAN ISIL GERİLME VE ŞEKİL BOZUKLUKLARININ ÖNLENMESİ**

Her zaman malzemeler ısıtıldığında genleşecek, soğutulduklarında ise tekrar eski konumuna gelmek isteyecektir. Genleşme ve kendini çekme derecesi, ulaşılan sıcaklık ve daha sonra soğutulacak sıcaklığa bağlıdır. Şekil bozukluklarının önlenmesi uygun tespitleme, önceden ısıtma, veya dengeli yavaş soğutma ile yapılabilir (Smith, 1989). Kaynak işlemi sırasında oluşan ısıl gerilmeler ve şekil bozukluklarının önlenmesi için gerek dizayn gerek imalat sırasında alınacak birçok önlem vardır. Bu önlemler dizayn sırasında ve imalat sırasında alınabilecek tedbirler olarak ikiye ayrılırlar. Yine bu tedbirlerden kaynak planlarının hazırlanması günümüzde büyük önem taşımaktadır. Hele bazı incelemeler sonucu kaynaktan sonraki doğrultma işlemleri için kaynak süresine eş bir zaman harcadığı göz önünde tutulursa bu konunun önemi hakkında bir fikir edinilebilir. Onun için bu konuyu önlemleri sıraladıktan sonra ayrı olarak incelemek yerinde olur.

Bu sebeplerden dolayı kaynak işlemi sırasında oluşan ısıl gerilme ve şekil bozukluklarının önlenmesi konusunu incelerken öncelikle şekil bozukluklarının önceden tahmin ve denetimi konusu hakkında bilgi verilmesi gereklidir. Son yıllarda gerilimler ve gerilim dağılımları konusunda bilgisayarla yapılan modelleme sistemleri ile kaynak işlemi öncesinde, kaynak işlemi sırasında ve kaynak sonrasında yapılan ısıl işlemleri de bu başlık altında toplamak uygun olacaktır. Şekil bozukluklarının engellenmesi için alınması gereken konstrüktif önlemler ile imalat sırasında alınması gereken önlemler sıralandıktan sonra kaynak planları hakkında bilgi vermek gereklidir. Günümüzde özellikle otomasyonun kaynaklı imalatta da söz sahibi olmasıyla bu imalat konusunda önemli yeri olan ilave donatımların yani fikstürlerin oluşabilecek şekil bozukluklarına karşı etkisi göz önüne alındığında bu konuyu da ayrı bir başlık altında incelemek doğru olacaktır. Bölümün sonunda ise tüm bu önlemlere rağmen oluşan şekil bozukluklarının giderilmesi için uygulanan ısısal ve mekanik yöntemler anlatılmıştır.

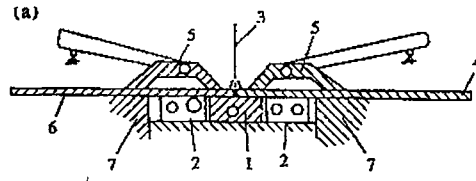
##### **4.1 Şekil Bozukluklarının Önceden Tahmini ve Denetimi**

Isıl kaynak ve kesme süreçlerini takip eden büzülme ve şekil bozuklukları özellikle ince saçtan konstrüksiyon yapanların önüne çok sayıda sorun çıkarabilirler. Bunun temel nedeni bu süreçlere bağlı uniform olmayan ısı alanıdır. Bunun sonucunda ortaya çıkan ısının etkisi

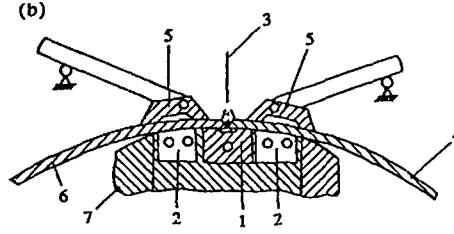
malzemede elastik sınır aşılmadan biçimlenemez ve ısı kaynağı konstrüksiyon üzerinden geçip gittikten sonra arkasında kalıcı şekil bozuklukları ve gerilmeler bırakırlar. Başlıca güçlük belli ilk boyutlardan hareketle imalatın son boyut ve şeklini önceden tahmin etmektir. Talaş kaldırarak kaynak sonrası şekil bozuklukları düzeltilmesi boş yere bir uğraş olur. Gerilmiş malzemedan talaş kaldırılması iç dengeyi bozduğundan dolayı, konstrüksiyonun daha sonra da şekil bozukluklarına uğrama riski mevcuttur.

İlk ve önemli nokta şekil bozukluklarının bütün şekillerinin özgül ısı girdisiyle yani birleşmeyi tamamlamak için gerekli birim uzunluk başına ısıyla arttığıdır. Bu itibarla ısı girdisini ve aynı zamanda genellikle ergimiş metal kesit alanını asgaride tutan yöntemler daha az şekil bozuklukları oluşturacaklardır. Böylece elektron hüzmeye yöntemi düşük şekil bozukluklarının bir ucunu geniş açılı bir hazırlık üzerine uygulanan oksisasetilen veya tozaltı kaynağında yüksek şekil bozukluklarının diğer ucunu oluştururlar.

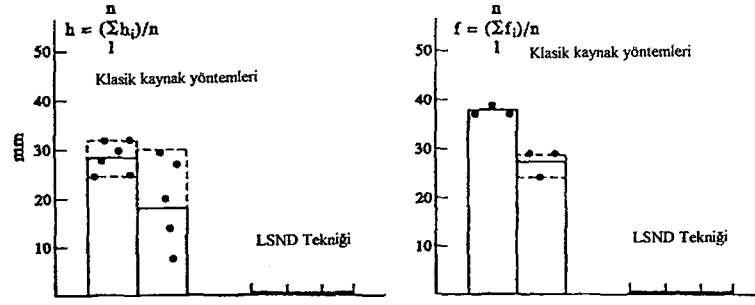
Parçaya düşük ısı verilerek gerilmeleri azaltmak için pekçok yöntem uygulamaya çalışılmıştır. Q. Guan vd. 1994 yılında, 87100959 Çin patent numarası ile LSND tekniği adını verdikleri bir çalışma yapmışlardır(Low Stress Non Distortion). Şekil 4.1'de düz parçaların bu yöntemle kaynatılmasının, Şekil 4.2'de ise silindirik parçaların bu yöntemle kaynak edilmesinin şekilleri verilmiştir. Şekilde 1 numara ile soğutma, 2 numara ile ısıtma, 3 numara ile kaynak arki, 4 ve 6 numara ile parçalar, 5 numara ile iki noktadan tespitleme elemanı, 7 numara ile ise mandrel tutucu gösterilmiştir. Yapılan çalışmada 5083 Alüminyum alaşımı ve 18-8 paslanmaz çelik levhalar kullanılmıştır. 1.6 mm kalınlığındaki 500 mm uzunluğundaki paslanmaz çelik ve alüminyum alaşımı deney parçalarına ait sonuçları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Grafiklerde  $h$ ; yatay,  $f$ ; ise dikey çarpılmayı ifade ediyor.



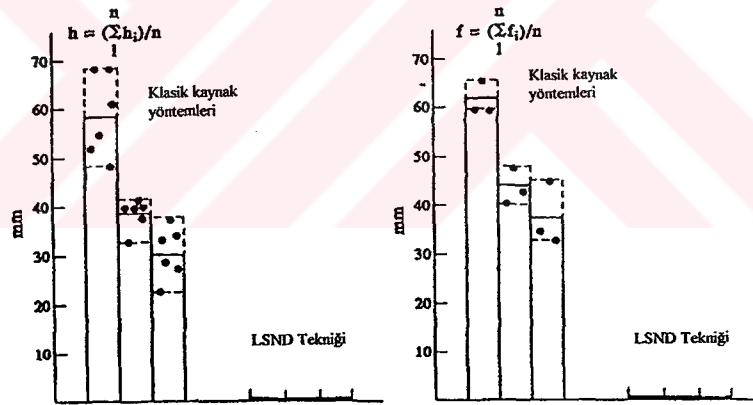
Şekil 4.1 LSND tekniği ile düz parçaların kaynatılması



Şekil 4.2 LSND tekniği ile silindirik parçaların kaynatılması



Şekil 4.3 Paslanmaz çelik için klasik sistemle LSND tekniğinin sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.4 Alüminyum alaşımı için klasik sistemle LSND tekniğinin sonuçlarının karşılaştırılması

Bir kaynakta meydana gelen çekme kuvvetini azaltmak için herşeyin yapılmış olmasından sonra konstrüksiyonun bu kuvveti çekip çekemeyeceğinin saptanması gerekir. Uzunlamasına çekme durumunda aksel rijitlik söz konusudur. Ama her yönüyle imalat ve montajda güçlük çıkaran düzlem dışı şekil bozuklukları için eğilme rijitliği azamiye çıkarılıp kaynağın merkezi mümkün olduğu kadar konstrüksiyonun nötr eksenlerine yakın getirilmelidir. Açısal şekil bozuklukları da yüzey köşe kaynaklarından kaçınarak azaltılabilir.

Şekil bozuklukları kaynağın bakiye basma gerilmeleri içeren bir bölgede uygulanması halinde çok daha büyük olur. Buna karşılık bakiye gerilmenin çekme gerilmeleri içeren bir bölgede uygulanması halinde şekil bozuklukları azalır.

Çubuklar ve borular gibi hazır satın alınan birçok malzemede şekillendirme, doğrultma ve ısıl işlemlerden ötürü bakiye gerilme sistemleri mevcuttur ve bu gerilmelerin daha sonraki kaynak işlemleriyle karşılıklı etkileşimleri beklenmeyen şekil bozuklukları olaylarının kaynağı olabilir (Stinchcomb, 1989).

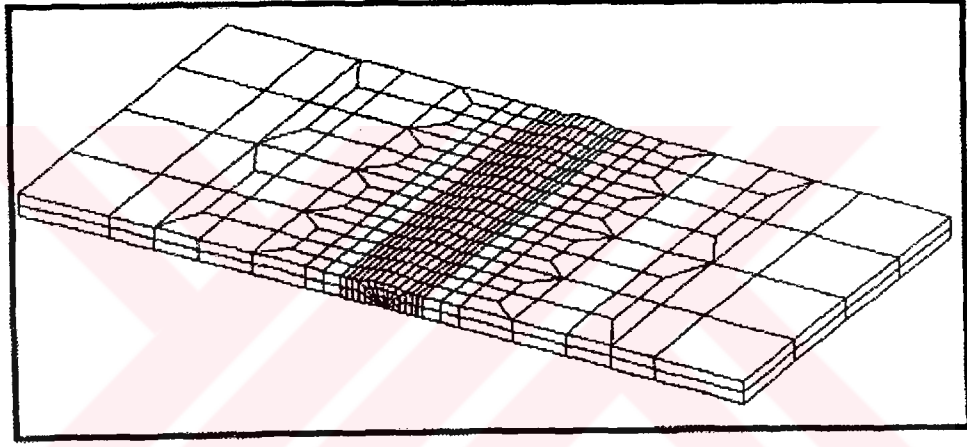
Şekil bozukluklarının etkilerini asgariye indirmek için tasarım ve planlama açısından her mümkün olan yapıldıktan sonra imalat süreci sırasında bunun dikkatle denetimi önerilir. Gelişmekte olan şekil bozuklukları kontrol altına alınıp uygun önlemlere başvurulmalıdır.

Aşağıda son yıllarda bilgisayar programları ile yapılan modelleme teknikleri hakkında bilgi verildikten sonra kaynağın ısıl işlemi anlatılmıştır. Tüm bu işlemler şekil bozukluklarının denetim altında tutulabilmesi içindir. Bunu asgariye indirmek için alınması gereken önlemler, konstrüktif önlemler ve imalat sırasında alınacak önlemler olarak maddeler halinde sıralanmıştır.

#### **4.1.1 Bilgisayar programları ile yapılan gerilme dağılımını inceleme çalışmaları**

Bilgisayar destekli tasarım tekniklerinin son yıllardaki gelişimine paralel olarak, kaynakta oluşabilecek şekil bozukluklarının önceden tahmin edilmesi ve buna göre önlem alınmasını sağlamak amacıyla pekçok simülasyon teknikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. İlk yapılan modeller uygulamayla çok fazla bağdaşmadığı için yeni modellemelerde amaç sistemin doğruluğu olduğu kadar, endüstride uygulanabilirliğidir. Örneğin, Bachorski ve Painter'ın 1999 yılında yayınladıkları makalede, çekme kuvvetleri metodu sonlu elemanlar metoduna dayanır ve kaynak sonrasında oluşabilecek şekil bozukluklarının önceden tahmini konusunda önemli bir metod sunmuşlardır. Modellemenin uygulamasında çelik konstrüksiyonlarda V kaynak ağzı uygulamaları yapılmıştır. Bu modellemede amaç, kaynak metalinin kompozisyonu, kalınlıkları ve kaynak ağzı açlarına göre kaynak parametleri verilerek şekil bozukluklarının önceden tahmini sağlanmaktadır. Şekil 4.5'te yayınlanan makalede bulunan 90°'lik tek taraflı kaynak ağzı açılmış malzemenin sonlu elemanlar yöntemine göre oluşturulan ağ yapısı gösterilmektedir.

Simülasyon yöntemleri ile ilgili önemli çalışmaların ilkinin Goldak 1992 yılında yapmıştır. Yine 1992 yılında Brown ve Song geniş konstrüksiyonların kaynağında sonlu elemanlar yönteminden faydalanmışlardır. Tsai 1995 yılında lineer yaylı elemanların kullanımıyla termal çekmelerin modellemesini yapmış ve geniş kaynaklı yapılarda şekil bozukluklarına karşı gelişmeler sağlamıştır. 1999 yılında ise bu yöntemleri kullanarak ince alüminyum levhalarda şekil bozukluklarını incelemiştir. Michaleris ise 1997 yılında alüminyum alaşımları için simülasyon metodu geliştirmiştir. Bu çalışmaların bir çoğu sonlu elemanlar yöntemine dayanmaktadır. Bu konuda makaleleri bulunan pek çok bilim adamı bu çalışmaların pek çok önemli sonuç vermelerine rağmen bu modelleme tekniklerinin çok kompleks olduklarından dolayı endüstride uygulanabilirliği için daha çalışmalara ve zamana ihtiyacı olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.5 Sonlu elemanlar yöntemine göre hazırlanmış V kaynak ağzı ağ yapısı

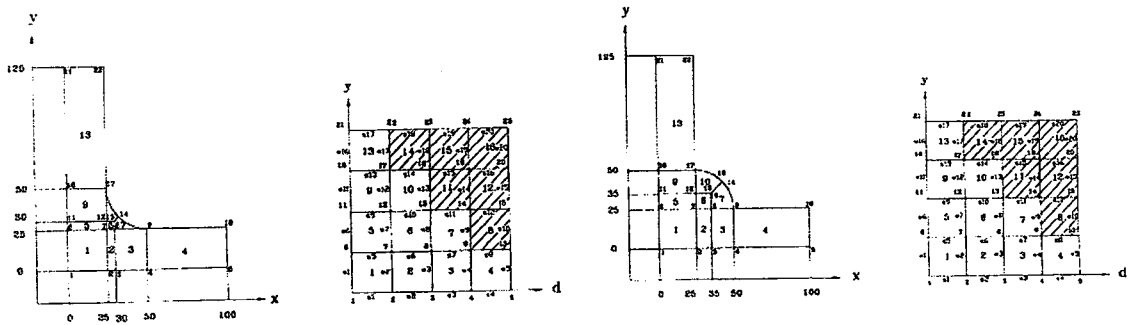
Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak herbirinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm yöntemidir. Sonlu elemanlar yönteminin temel prensibi, öncelikle bir elemana ait sistem özelliklerini içeren denklemlerin çıkartılıp tüm sistemi temsil edecek şekilde eleman denklemlerini birleştirerek sisteme ait lineer denklemin elde edilmesidir.

Sonlu eleman yöntemiyle problemin çözümünde ilk adım eleman tipinin belirlenmesi ve çözüm bölgesinin elemanlara ayrılmasıdır. Çözüm bölgesinin geometrik yapısı belirlenerek bu geometrik yapıya en uygun gelecek elemanlar seçilmelidir. Seçilen elemanların çözüm kümesini temsil edebilmesine bağlı olarak elde edilecek sonuçlar gerçek çözüme yaklaştırılmalıdır.

Ülkemizde de bu tür çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. 2001 yılında Kaynak Teknolojisi 3. Ulusal Kongresine katılan Şemsettin Çimen ve Sinan Aydın köşe kaynağında kaynak formunun gerilme dağılımını nasıl etkilediğini görebilmek amacı ile iç bükey ve dış bükey kaynak formlarını sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Bunun için qbasic ve fortran programlama dilleri kullanılarak bir program kullanılmıştır. Bu programda Zienkiewicz. O. C'nin ağ oluşturma yöntemi kullanılmıştır. Ağ oluşturma sisteminin temel mantığı, az sayıdaki anahtar noktalar için girilmiş olan elemanların süreklilik ve düğüm koordinat bilgilerinden yola çıkarak, işlem yapılan bölgenin istenen incelikte elemanlara bölünmesi olarak tanımlanmaktadır.

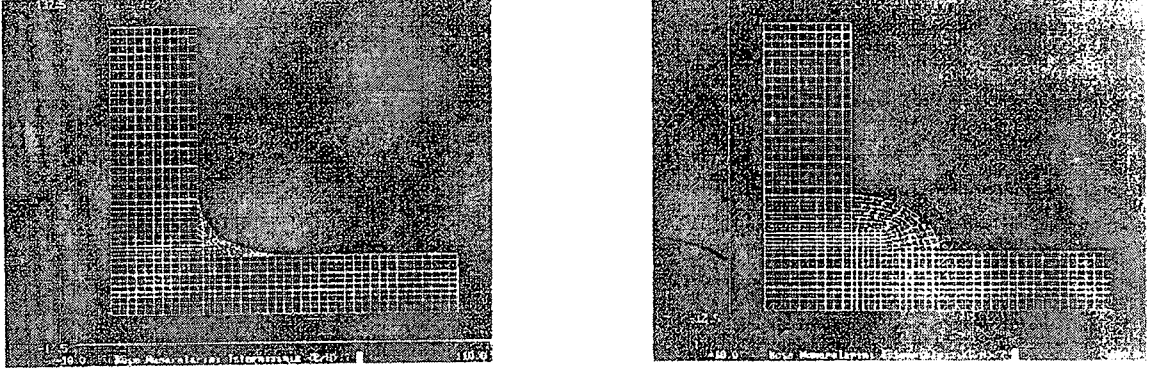
Hazırlanan veri dosyaları ile kaynaklı parçalar bölümlere ayrılmışlardır. Bu bölümler istenilen sayıda alt bölümlere ayrılabilir. Eğrisel yüzeylerin incelenmesinde üç düğümlü elemanların kullanılması ile daha hassas sonuçlar elde edildiğinden üç düğümlü elemanlar tercih edilmiştir. Bunun sebebi eğrisel yüzeylerde hesaba katılmayan alanların üç düğümlü elemanlarda daha az olmasıdır.

Ağ oluşturma programına veri hazırlamak için öncelikle incelenilecek parça ölçekli olarak çizilip ardından kabaca bölümlere ayrılmaktadır. Herbir elemana ve köşe noktalarına birer numara verilerek yeni bir koordinat sistemi tanımlanır ve blok şeması oluşturulur. Blok şemasında da elemanlara, orta noktalarına ve köşelerine numaralar verilmektedir. Blok şemasında olup gerçekte olmayan bloklara boş bloklar denir. İncelenen parçada eğrisel kenarlar varsa bu kenarların orta noktalarının yatay ve düşey ekseninde olduğunu anlamak için blok diagramından faydalanılır. Şekil 4.6'da iç bükey ve dış bükey kaynak için blok şemaları gösterilmiştir. Şekillerde taralı olan bloklar boş blok olarak adlandırılan ve program tarafından işleme sokulmayan bloklardır. Bu blok şemalarındaki bilgilerden yararlanılarak ağ oluşturma programına veri dosyası hazırlanabilmektedir.



Şekil 4.6 İç ve dış bükey kaynak için blok şemaları

Ağ oluşturma programı çalıştırıldıktan sonra oluşturulan çıktı dosyasında elde edilen eleman sayısı, sistemdeki toplam düğüm noktası sayısı, malzeme numarası, problemin boyutu, herbir elemanın kaç düğümden oluştuğu ve elemanların koordinatları belirtilmektedir. Şekil 4.7'de iç bükey ve dış bükey kaynak için qbasic'te oluşturulan ağ yapıları gösterilmiştir.

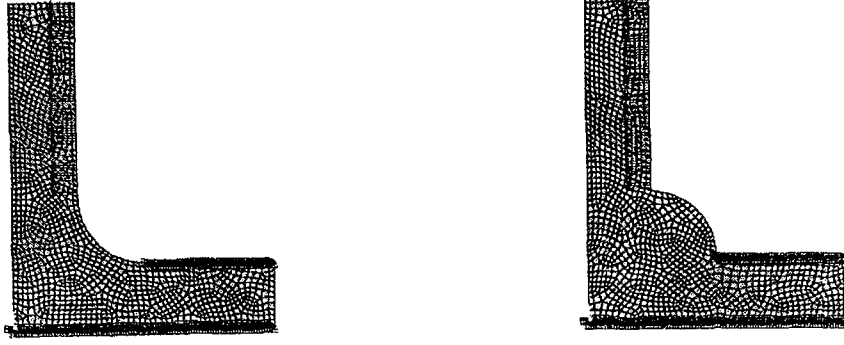


Şekil 4.7 İç ve dış bükey kaynak ağ yapısı

Sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme hesaplarının yapılabilmesi için gerekli ilk adım olan ağ oluşturma ve elemanlara numara verme işlemlerinden sonra, inceleme yapılacak parçanın malzeme özellikleri, sınır koşulları ve uygulanacak yüklerin yerlerini belirlemek ve düzenlemek için ayrı bir program yapılmıştır. Bu program çizim programı gibi ağ oluşturma programının çıktıları kullanarak çalışmakta ve elde edilen sonuçlar bir çıktı dosyasına aktarılmaktadır.

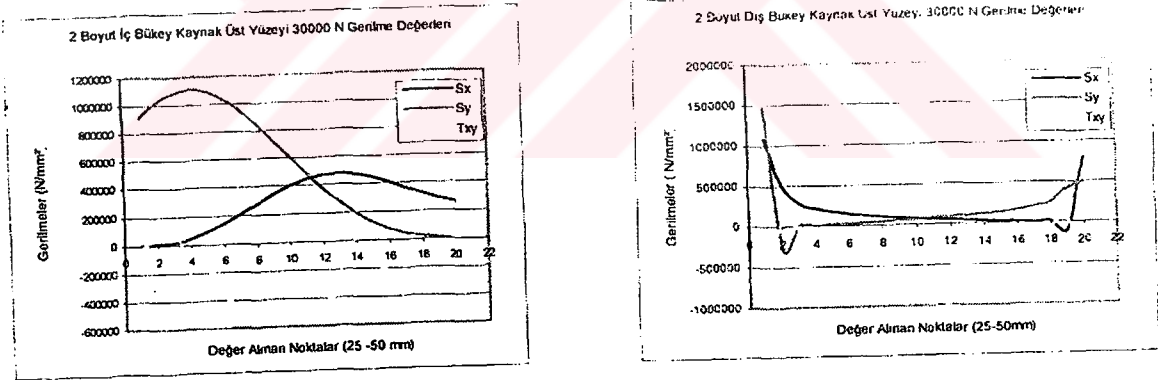
Gerilme hesapları için hazırlanan gerilme analiz programı ise veri düzenleme programının çıktı dosyasını kullanarak çalışmakta ve istenilen hesapları yaparak sonuçları isteğe bağlı olarak ekrana ya da çıktı dosyasına yazmaktadır.

Çıktı dosyasında önceki programlarda verilen bilgilerin tamamı ve sistemdeki elemanları oluşturan düğümlerin koordinatları ve numaraları, düğümlerin x ve y yönündeki yer değiştirmeleri, mesnet tepkileri ve elemanlardan oluşan gerilme değerleri bulunmaktadır. Şekil 4.8'de iç ve dış bükey kaynak için sınır koşulları ve kuvvetlerin uygulanış tipi verilmektedir.



Şekil 4.8 İç ve dış bükey sınır koşulları gösterimi

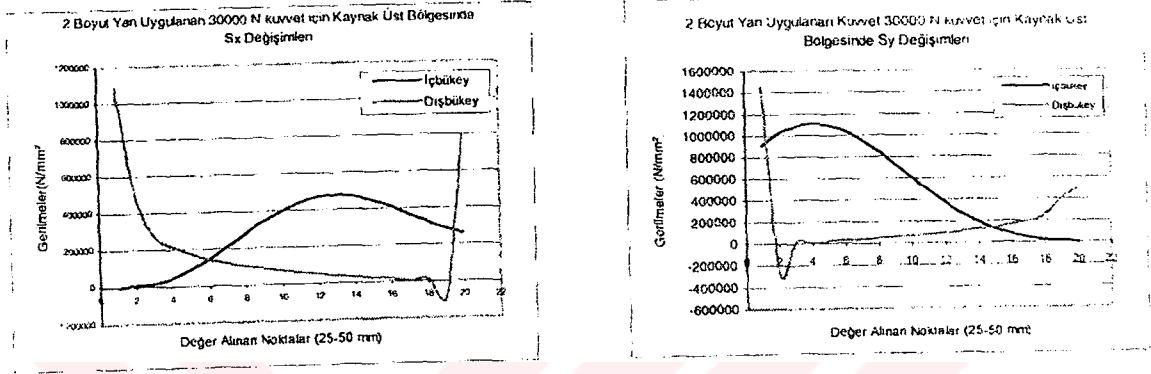
Gerilme analiz programından elde edilen sonuçlar ile inceleme alanı olan kaynak üst yüzey bölgesindeki elemanlara ait gerilme değerleri alınıp, grafik haline getirilmiştir. Şekil 4.9'da 30000N'luk kuvvet etkisinde oluşan gerilme değerleri verilmiştir. Grafiklerde  $S_x = \sigma_x$ ,  $S_y = \sigma_y$ ,  $T_{xy} = \tau_{xy}$  gerilme değerlerini temsil etmektedir. Şekildeki grafiklerde,  $\sigma_x$  yataydaki normal gerilme,  $\sigma_y$  düşeydeki normal gerilme ve  $\tau_{xy}$  kayma gerilmesini göstermektedir.



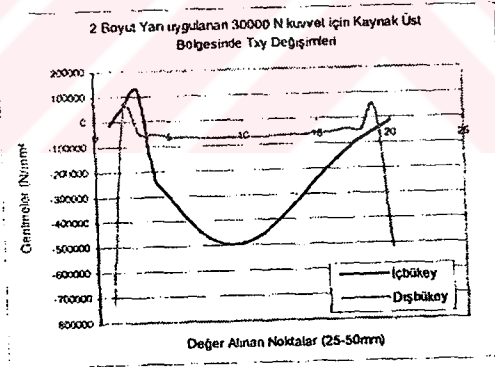
Şekil 4.9 İç ve dış bükey gerilme sonuçları

İç ve dış bükey kaynak için inceleme bölgesinde elde edilen gerilme değerleri Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Şekil 4.10'da görülebileceği gibi,  $\sigma_x$  değerleri dış bükey kaynakta kaynağın başlangıç ve bitiş bölgelerinde oldukça yüksek değerler almakta iken orta bölgelerde gerilme yok denecek kadar azdır. İç bükey kaynakta kaynağın başlangıcında ve son bölümlerinde gerilme değeri az iken orta bölgede gerilme en yüksek değere ulaşmaktadır. Dış bükey kaynak için elde edilen  $\sigma_y$  değerlerinde, kaynağın başlangıç bölgesinde yüksek değerlere ulaşılmış, sonradan gerilme değeri aniden azalma göstermiş, orta noktalarda sıfır

değerine yaklaşmış ancak son bölgelerde ise yine artış göstererek iç bükey kaynağa göre yüksek değerlere ulaşmıştır. İç bükey kaynakta, başlangıca göre kararlı bir azalma söz konusu olup kaynağın sonunda gerilme sıfıra düşmüştür. Şekil 4.11’de değerine bakıldığında dış bükeyde ve iç bükeyde gerilmelerin büyük bölümü negatif değer almakta ancak diğer gerilme çeşitlerinde olduğu gibi dış bükeyde köşelerde, iç bükeyde ise orta bölümlerde gerilme yığılması oluşmakta ve bu bölümlerde gerilmeler en yüksek değerlerine ulaşmaktadır.



Şekil 4.10 Kaynak bölgesi  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  değişimleri



Şekil 4.11 Kaynak bölgesi  $\tau_{xy}$  değişimleri

Bilgisayar programları ile yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre iç bükey kaynakta oluşan gerilme dağılımı dış bükey kaynağa göre daha düzgün ve değer olarak daha düşüktür.

Kaynak bağlantılarının ısı işleme kaynak öncesi, kaynak sırasında ya da kaynak sonrası uygulanması farklı sonuçlar yaratır. Malzemenin kimyasal özelliklerine bağlı olarak ısı işlemin gerekli olup olmadığı, gerekli ise konstrüksiyonun durumu, zorlama koşulları ve büyüklüğüne göre işletmede en ekonomik nasıl uygulanacağı tam belirlenmelidir ( Topbaş, 1985 ).

#### **4.1.2.1 Kaynak öncesi ısı işlem**

Kaynak öncesi ısı işlemin amacı parçaları kaynak için hazırlamaktır. Bu durum malzeme iç yapısının kaynak için gerekli olan özellikleri karşılamadığında söz konusudur. Örnek olarak çelik döküm, kırılğan ve uygun olmayan döküm yapısını gidermek için kaynak öncesinde normal tavllanır. Kritik şekil değiştirme derecesinin altında yaklaşık % 5 civarında soğuk şekil değiştirmiş alaşımsız ya da düşük alaşımlı yumuşak çelik parçaların kaynağında kural olarak kaynak öncesi normal tavlama veya toparlanma tavlama uygulanarak kaynak ısı ile kaynak bağlantısının belirli sıcaklık alanlarında kritik işlemle kaba taneli rekristalizasyon ya da suni dinlendirme önlenir. Ayrıca kritik şekil değiştirme derecesinin üzerinde soğuk şekil değiştirmiş parçalarda da farklı sıcaklık dağılımının değişik rekristalizasyon etkisi doğurması önceden rekristalizasyon tavlama yapılarak önlenir. Çok farklı kesit, form ve boyutlardaki parçalarda kaynaktan önce genellikle gerilim giderme yapılır. Yapının homojenliğinin yanında döküm, haddeleme, dövme, zımbalama, ya da doğrultma işlemlerinde oluşan iç gerilmelerin, muhtemelen kaynakta çatlak oluşma eğilimini yükseltmesi bu ısı işlemle önlenir (Özden, 1985).

#### **4.1.2.2 Kaynakla birlikte uygulanan ısı işlem**

Birçok alaşımsız, düşük ve yüksek alaşımlı çelikte kaynaktaki sıcaklık dağılımı, yalnızca kaynak olayına bağımlı değildir. Kimyasal özelliklerine ve döküm malzemesine bağımlılık ile kullanılan kaynak birleştirme malzemesi, kaynak sonrası istenilen özelliklerin sağlanabilmesi için kaynakla birlikte ısı işlemin etkenleridir. Isıl işlem malzeme kalitesine, parçaların formuna bağlı olarak değişik şekillerde uygulanır.

#### 4.1.2.2.1 Ön ısıtma ile kaynak

Ön ısıtma teriminden parçanın tamamının ya da parçanın kaynak yapılacak bölgesinin öngörülen bir ön ısıtma sıcaklığına ısıtılması anlaşılır. Ön ısıtma işleminin sağladığı yararlar şunlardır.

Çeliğin kimyasal özellikleri, çelik sertleşebilir ise ön ısıtma yapmadan çeliğin kaynak edilmesinde ayrıca ısıtma yapılmamasına rağmen kaynak ısısı ile ana malzeme östenitik sahaya ısınır ve müteakip hızlı soğumada kritik soğuma hızı aşılabılır. Meydana gelen sert yapı ısıl ve dönüşüm gerilmeleri etkisiyle çatlama tehlikesi doğurur. Ön ısıtma ile ısı birikimi sağlanır, soğuma hızı düşürülür ve sert martenzit yapının oluşumu engellenir ya da azaltılabilir.

Parçanın formu ve boyutları; rijit ve kalın cidarlı konstrüksiyonlarda çok eksenli ısıl gerilmeler olumsuz etki yapacak tarzda görülebilir. Ön ısıtmayla daha büyük ve geniş sahada iyi plastik şekil değişebilirlik yaratılacağından ısıl gerilmeler karşılanır. Böylece gevrek kırılma tehlikesi azaltılabilir.

Hidrojen kırılabilirliği ve çentik hassasiyeti; yaklaşık 200 °C'nin üzerinde ön ısıtmadan sonra kaynak yapılırsa özellikle ark kaynağında kaynak maddesi ve geçiş bölgesi arasında oluşabilen hidrojen difüzyonu sonucu hidrojen kırılabilirliği tehlikesi azaltılır. Ayrıca çeliğin nispeten düşük sıcaklıklardaki soğukta kırılabilirlik eğilimi daha yüksek parça sıcaklıklarına çıkılarak daha az çentik hassasiyeti sağlanır.

Sertleşme olayı için kimyasal özellikleri yanında çelik üretim yönteminin, yapıdaki tane büyüklüğünün, parça boyutlarının, kaynak dikişi form ve kalınlığının, kaynak yönteminin, elektrod çapının ve örtü tipinin de göz önünde tutulması gerekir.

#### 4.1.2.2.2 Basit ön ısıtma ile kaynak

Kaynak yeri arzu edilen sıcaklığa ulaştığında ön ısıtma sona erdirilir. Kısa bir sıcaklık dengelemesinden sonra kaynak başlar. Kaynak esnasında kaynaktan da ısı alınmasına rağmen çalışma sıcaklığı düşer. Ancak parça asbest veya benzeri ısı tutucu malzemelerle örtülürse soğutma istenildiği gibi yavaşlatılabilir. Bu çalışma tarzı daha çok St 50, St 60,

C 35 ve C 45 gibi sertleşebilen alaşımsız ve düşük alaşımlı malzemelerde, basit formlu parçaların kaynağında kullanılır.

#### 4.1.2.2.3 Sabit çalışma sıcaklığında kaynak

Parça sıcaklığı kaynak esnasında da en azından ön ısıtma sıcaklığında tutulur, yani kaynak sabit çalışma sıcaklığında yapılır. İzotermik kaynak özel bir durumdur. Çelik martenzit oluşumunun başlangıcı üzerindeki bir çalışma sıcaklığında kaynak edilirse ve çalışma sıcaklığı östenitik sahadaki dönüşüm sonrasına kadar perlit kademesinde tutulursa buna izotermik kaynak denir.

İzotermik kaynak yöntemi daha çok düşük alaşımlı sıcaklığa dayanıklı çelikler ve düşük alaşımlı ıslah çelikleri için uygundur.

#### 4.1.2.2.4 Çalışma sıcaklığının kaynakla yükselmesi

Sertleşebilir çeliklerde kaynak esnasında meydana getirilen ısı birikimiyle ilave bir ön ısıtma yapılmaksızın martenzit oluşumu önlenemez. Bunun için kaynak sırasında meydana gelen ısınma yeterli düzeyde olmalı ve parçanın soğumasında kritik soğuma hızı aşılmamalıdır. Gerekli ısı birikimine, birbiri peşi sıra diğer pasolarında ara verilmeden devam edilmesi ya da mümkün olduğunca kalın elektrodlarla çalışılmakla ulaşılabilir.

#### 4.1.2.2.5 Sonradan ısıtılmalı kaynak

Sonradan ısıtma işlemi kaynak tamamen soğumadan kaynakla bağlantılı olarak uygulanır. Bu nedenle bu yöntem bağlantılı ısıtma işlemi de denir. Sonradan ısıtılmalı kaynağa örnek olarak sonradan bölgesel tavlama gösterilebilir. Basit olarak uygulanan ve az masraf gerektiren bu yöntem söz konusu parçada henüz mevcut olan kaynak ısısından yararlanma ve böylece gerekli sıcaklığa daha kısa zamanda ulaşma şeklindedir.

Sonradan ısıtılmalı kaynak işlemiyle kalite ve çentik darbe dayanımı, özellikle düşük alaşımlı kazan çeliklerinde kaynak bağlantılarında önemli ölçüde iyileşir. Tozaltı kaynak yönteminde de daha iyi kalite değerlerine ulaşılır.

#### 4.1.2.2.6 Ön ve sonradan ısıtmalı kaynak

İyi sertleşebilen çeliklerde kaynak çalışma sıcaklığından direkt olarak soğutulacak olursa sertleşmiş yapı meydana gelebilir. Bundan dolayı böyle parçalar kaynak işleminden sonra arada soğutma olmaksızın 600 ila 700 °C sıcaklığında tavlanylabilir. Böylece sonradan ısıtma işlemi yapılmadığında meydana gelen martenzitik yapıya nazaran daha az çatlak eğilimi doğar aynı zamanda çok iyi gerilme dengelemesi de yapılmış olur.

Bir diğer örnek olarak da dökme demirin sıcak kaynağı verilebilir. Burada kaynak işlemi parçada yaklaşık 450 ila 650 °C sıcaklıklarında koyu kırmızı renkte ön ısıtma yapıldıktan sonra uygulanır. Parçanın ağırlığı ve boyutlarına göre ön ısıtma için 6 saat ya da daha uzun süre gereklidir. Kaynaktan sonra ara verilmeksizin sıcaklık dengelemesi için kısa bir ısıtma periyodu gereklidir. Kontrollü ve dengeli soğutma parçanın boyutlarına bağlı olarak birkaç gün içinde gerçekleştirilir.

#### 4.1.2.3 Kaynaktan sonra ısıtma işlemi

Kaynaktan sonra ısıtma işlemi, kaynatılmış parçalar oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra uygulanır. Bu nedenle takip eden ısıtma işlemi olarak tanımlanması mümkündür. Çelik kalitesi ve kaynak edilen parçalardan istenilenlere göre bu tür ısıtma işlemleri gerilim azaltma tavlama, normal tavlama, ıslah, çözme ya da ani soğutma tavlama ve meneviş olarak uygulanmaktadır. Uygulanma amacı ve ulaşılmak istenilen nihai özellikler açısından çeliklere genel olarak uygulanan ısıtma işlemlere benzediğinden bu tür işlemler detaylı bir şekilde açıklanmamış yalnızca tanımlamaları verilmiştir.

##### 4.1.2.3.1 Gerilim azaltma tavlama

Daha çok 600-650 °C sıcaklıklarında uygulanır. Isıtma ve soğutma mümkün olduğunca yavaştır, tavlama sıcaklığında bekleme süresi parça cidar kalınlığına bağlı olarak değişir. Kaynak sonrası yapıda kalan iç gerilmeler azaltılarak tehlikeli olmayacak seviyeye indirilir. Gerilme dışında diğer özelliklerde fazla değişim meydana gelmez.

#### 4.1.2.3.2 Normal tavlama

Ötektoid altı çeliklerde  $A_3$  dönüşüm sıcaklığının ötektoid üstü çeliklerde  $A_1$  dönüşüm sıcaklığının hemen üstüne kadar dönüşüm bölgesi hızlı geçilecek şekilde ısıtma ve ardından sakin havada soğutma işlemidir. Çeliklerde tane yapısını inceltmek ve homojen yapı elde etmek amacıyla kullanılır.

#### 4.1.2.3.3 Sertleştirme

Kaynak bir anlamda küçük çaplı bir döküm işlemidir. Burada ergiyik metalde çok hızlı bir ısı transferi gerçekleşir ve kaynak çevresi bölge aniden ısınır. Aynı problemler dökümde de görülür. Her iki işlemde de çekme, çatlama, curuf ve gaz delikleri oluşumu gibi problemler görülür. Isıdan etkilenen bölgenin boyutları pek çok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterir. Buna bağlı olarak oldukça yumuşak olması gereken mikro yapı çok sert olabilir.

Ötektoid altı çeliklerde  $A_3$  sıcaklığının, ötektoid altı çeliklerde  $A_1$  sıcaklığının üzerine ısıtılmış ve östenitik duruma getirilmiş malzemenin yapıda martenzit teşekkül ettirecek şekilde kritik soğuma hızının üzerindeki bir hızla ani olarak soğutulması ya da perlit yapı elde edilecek şekilde izotermik soğutulması işlemleri dönüşümle sertleştirme olarak tanımlanır. Kural olarak soğutma işlemi sonunda yapıda martenzit mevcutsa mutlaka meneviş işlemi de uygulanmalıdır.

Teorik olarak kaynaktaki mukavemetin ana metalin mukavemetinden daha fazla olması beklenmez ancak ona yakın olması istenir. Bu yüzden elektrod seçimi bu kadar önemlidir. Özellikle ısıl işlemi daha karmaşık olan titanyum, nikel esaslı alaşımlar ve alüminyum kaynaklarında iyice önem kazanır. Hangi alaşım olursa olsun kaynak sonrası ısıl işlemde amaç kaynağın kendisinin mekanik özelliklerinin ana metalinki ile aynı veya benzer olmasıdır.

#### 4.1.2.3.4 Islah

Sertleşebilir çeliklerde oldukça yüksek çekme dayanımı yanında yüksek elastiklik modülü ve yeterli süneklilik sağlanması amacıyla ıslah işlemi uygulanır. Islah işlemi normal koşullarda

sertleştirme ve yaklaşık 450-670 °C sıcaklıkları arasında meneviş işlemlerinin toplamıdır. İstenilen mekanik özelliklerin büyüklüğüne göre meneviş sıcaklığı uygulanır.

#### 4.1.2.3.5 Çözme ya da ani soğutma tavlaması

Özellikle stabil hale getirilemeyen östenitik krom nikelli çeliklerde mümkün olduğunca homojen yapıda ve yüksek çekme dayanımına ulaşmak için uygulanır. Bu tavlama genellikle 1000 °C'nin üzerindeki yüksek sıcaklıklarda yapının çözülmesi ve ardından ani soğutma yapılması şeklinde uygulanır. Bu tavlama ani soğutma tavlaması olarak tanımlanmaktadır.

Kaynaktan sonra ayrıca meneviş işlemi de uygulanabilir. Böylece bölgesel farklı sertleşmiş yapı yumuşatılarak hem daha homojen yapı amaçlanır, hem de iç gerilmeler azaltılır.

Eğer kaynakta yüksek çalışma sıcaklıklarına rağmen çatlak tehlikesi giderilemezse kaynak esnasında uygulanan ısı işlemlere ilave olarak yukarı da belirtilen ısı işlemlerinde uygulanması gerekir. Bu şekilde kaynak bağlantısında ilave bir yapının oluşturulmasıyla arzu edilen en uygun özelliklere ulaşılabilir.

#### 4.1.2.3.6 Vakumla ısı işlem

Kaynak gerilimini azaltmanın etkin yöntemlerinden bir tanesi vakumlu ısı işlemidir. Vakumlu ısı işlemde fırınlama süresini kesit kalınlıkları ve parça ağırlıkları belirler. 45 ila 1125 kg aralığındaki kaynaklarda proses sırasıyla 5 ila 12 saat arasında uygulanır. İç sıcaklıklar 579 °C'ye çıkana kadar parça yavaşça ısıtılır. Isıtmanın dengeli bir dağılım ile yapılabilmesi için kaynak içine yerleştirilen ısı çiftlerinden yararlanır. Kaynak bu sıcaklıkta en az 30 dakika süre ile tutulur.

Gerilim oluşumunu engellemek için kaynak soğutulur. Yani yavaşça bir soğuma için önce ısıtıcılar kapatılır ve 425 °C'ye gelinceye kadar beklenir. Bu noktada azot soğuması gerçekleşir ve sıcaklık 66 °C'ye kadar düşürülür (Irving, 1999)

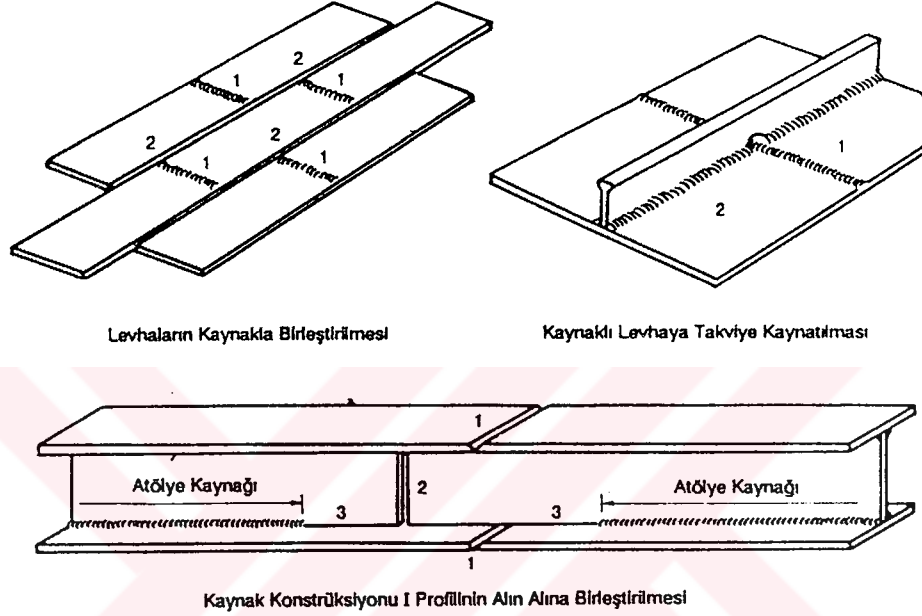
## 4.2 Konstrüktif Önlemler

- Kaynak tekniğine uygun dizayn yapılmalıdır. Şekil 4.12’de kaynakta oluşabilecek şekil bozukluklarını en aza indirmek için alınabilecek konstrüktif önlemlere ait örnekler verilmiştir. Levhaların kaynakla birleştirilmesinde önce 1 numara ile verilen enine dikişler yapılır. Daha sonra ortadan dışa olmak üzere 2 numara ile verilen boylamasına dikişler yapılır. Kaynaklı levhaya takviye kaynatılmasında ilk olarak 1 numara ile verilen alın dikişleri kaynak edilir, böylece parça enine büzülebilir daha sonra 2 numara ile verilen iç köşe kaynakları yapılır. I profilinin alın altına birleştirilmesinde ilk önce 1 numara ile verilen kalın, yatay levha kaynak yapılır. Sonra 2 numara ile verilen dikey levha kaynak yapılır. En son olarak iç köşe dikişleri kaynak yapılır.
- Kaynak dikişleri ölçüden fazla olmamalıdır. Mümkün olduğunca kaynak metalinin hacimi azaltılmalıdır. Yapılan hesapların verdiği veya standartların verdiği değerlerin üstüne çıkılmamalıdır. Bir birleşmeye ne kadar fazla metal konulursa çekme kuvvetleri de o kadar fazla olur. Birleşmenin çalışma gereklerine uygun şekilde bir kaynağı doğru boyutlandırmak sadece şekil bozukluklarını asgariye indirmekle kalmaz ayrıca kaynak metali ve zamandan da tasarruf eder. Bir köşe kaynağında kaynak metali miktarı bir düz ya da hafifçe dışbükey dikiş, alın birleştirmelerinde de uygun ağız hazırlık ve ayarı ile elde edilir. Aşırı dışbükey bir dikişteki kaynak metali fazlası mukavemeti arttırmaz sadece çekme kuvvetlerini artırır (Allen, 2000).
- Eğer mümkünse bilhassa ince saçlarda iç köşe dikişleri aralıklı olarak seçilmelidir. Kaynak metalini asgaride tutmanın bir başka yolu da mümkün olan her yerde sürekli kaynak yerine aralıklı kaynak kullanmaktır. Örneğin levhalara bayrak bağlantıların da aralıklı kaynak, kaynak metali miktarını %75’ e kadar azaltılabilir, bununla birlikte gerekli mukavemeti verir.
- Mümkün olduğu kadar az paso kullanılmalıdır. Enine çekmelerin sorun yarattığı durumlarda kalın elektrodla daha az paso, ince elektrodla daha çok sayıda pasoya tercih edilir. Her pasonun meydana getirdiği çekme birikme eğiliminde olup çok paso kullanıldığında toplam çekmeyi artırır.
- Kaynak dikişleri ya konstrüksiyonun ağırlık eksenine rastlamalı ya da simetrik olarak tertip edilmelidir ( Blodgett, 1990 ).
- Kuvvet hatlarının akışı bakımından alın birleştirmeleri kullanılmalıdır.
- Kuvvet akışlarının keskin yön değiştirmelerinden kaçınılmalıdır.

- Kendini çekme kuvvetleri olumlu yönde kullanılmalıdır. Parçalar kaynaktan önce pozisyon dışında tertiplenerek çekme kuvvetlerinin bunları istenilen konstrüksiyon şekline getirmesi sağlanabilir. Birkaç deneme kaynağın gerekli pozisyon dışı tertip miktarını saptayabilir.
- Parçaların önceden eğilmesi ya da yaylandırılması kaynaktan ileri gelen şekil bozukluklarını engellemek için karşıt mekanik kuvvetlerin kullanılmasına basit örnek oluşturur. Levhalar yaylandırıldıklarında kaynak ağzının üst kısmı uzar ve böylece de tamamlanan kaynak bunun düz levha üzerine yapılmış olanına göre hafifçe daha uzun olur. Kaynaktan sonra işkenceler çıkarıldığında levhalar düz hale dönerler ve böylece de kaynak düz çizgiye kısalarak uzunlamasına kendini çekme kuvvetlerini giderme olanağını sağlar. Her iki etki üst üste biner ve kaynaklı levhalar istenilen düzlüğü korurlar. Şekil 4.13'de önceden açı verilerek oluşabilecek şekil bozukluklarının engellenmesine ait örnekler verilmiştir.
- Çok eksenli gerilme halinin meydana gelmesi engellenmelidir. Çeşitli kaynak dikişlerinin aynı yerde toplanması halinde parçanın bazı kısımları ayrılarak gerekli önlemler alınmalıdır.
- Kaynak dikişleri birbirine çok yakın olmamalıdır. Alın kaynak dikişleri arasında en az 200 mm'lik bir aralık bırakılmalıdır.
- İnce saç konstrüksiyonlarda burkulma mukavemeti konstrüktif önlemlerle takviye edilmelidir.
- Mümkün olduğu kadar iyi şekil değiştirme kabiliyetine sahip malzemeler kullanılmalıdır.
- Konstrüksiyon kaynak sırasında mümkün mertebe uzun süre kendini çekebilecek şekilde dizayn edilmelidir.
- Elektrod çapı ve akım şiddeti kaynak ve gerilme tekniği bakımından uygun tespit edilmelidir. Böylece parçaya gereksiz miktarda fazla ısı verilmesi engellenmiş olur.
- Uygun bir kaynak sırası planı hazırlanmalıdır. İyi planlanmış bir kaynak sırasında kaynak metalinin, konstrüksiyon bir yere çektiğinde bir başka yerdeki daha önce yapılmış çekme kuvvetlerini telafi edecek şekilde değişik yerlere dağıtılması söz konusudur.
- Kaynak süresi asgaride tutulmalıdır. Kaynak sırasında sürekli ısınma ve soğuma devreleri yer aldığından ve ısı iletiminin de zamanı gerektirmesi nedeniyle süre faktörü şekil bozukluklarını etkiler. Genellikle kaynağın hızla onu çevreleyen büyük metal hacmi ısıtıp genişmeden bitirilmesi istenir. Gerçekten kullanılan kaynak yöntemi elektrodun tip ve çapı, akım şiddeti ve kaynak hızı bir kaynaklı konstrüksiyonun çekme ve şekil

bozuklukları derecesini etkiler. Elle demir tozlu elektrod veya otomatik kaynak teçhizatı kaynak süresini ve ısıdan etkilenen metal miktarını ve şekil bozukluklarını azaltır.

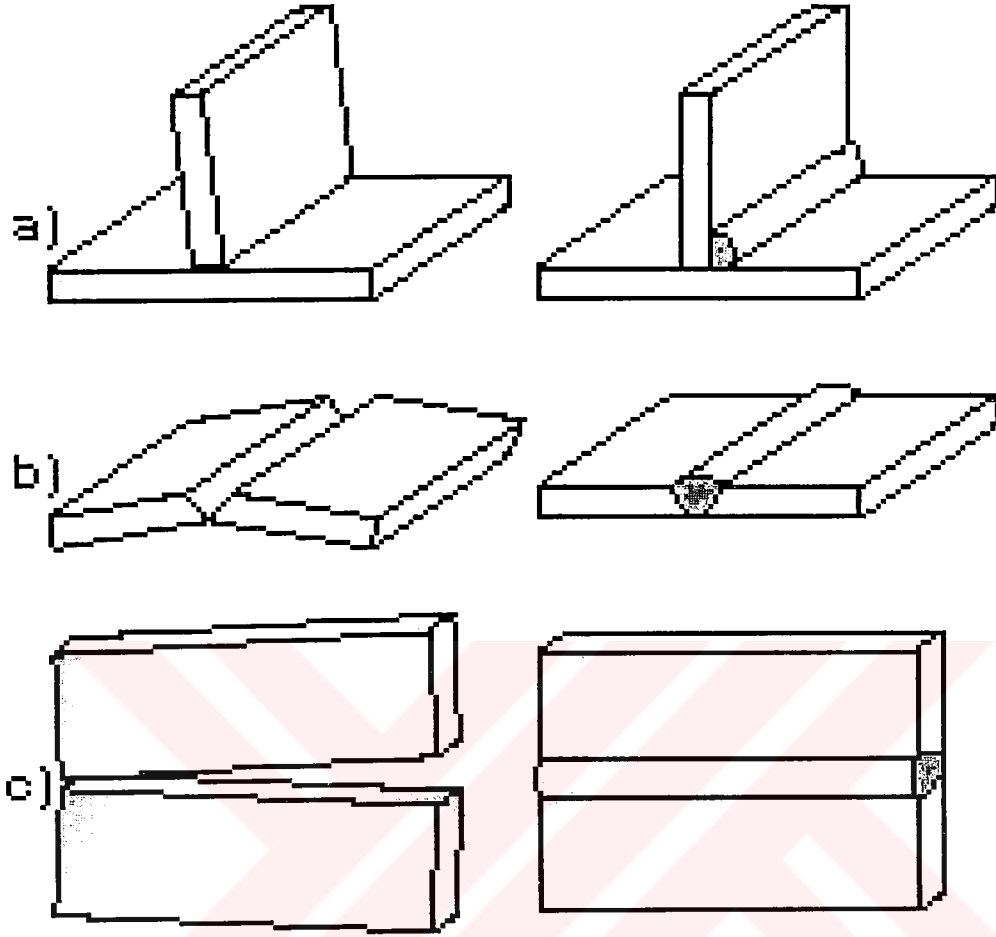
- Bir alın dikişi ile bir iç köşe dikişinin birbirini kesmesi durumunda ilk önce alın dikişi kaynak edilir. İç köşe kaynağının evvela kaynak edilmesi alın kaynağının enine şekil bozukluklarını azaltır.



Şekil 4.12 Şekil bozukluklarını en aza indirmek için alınan konstrüktif önlemler (Anık ve Vural, 2001)

#### 4.3 İmalat Sırasında Alınacak Önlemler

- Kök pasosunda meydana gelecek çatlakların önlenmesi için bu paso kalın bir elektrodla kaynak edilmelidir.
- Gerilme uçlarının küçük olması için genel olarak kalın çaplı elektrod kullanılmalıdır.
- Açısal şekil bozukluklarını azaltmak için kaynak ağızları mümkün mertebe kalın tabakalar halinde doldurulmalıdır. Deneyler iki taraflı dolgu kaynaklarında sıra olarak az fakat kalın tabaka şeklinde yapılan kaynakta, çok sıralı ama ince tabakalı kaynağa göre şekil bozukluklarının daha az olduğu gözlemlenmiştir (Mathers, 2000).
- Kaynak ağzının dar pasolar halinde doldurulması halinde kaynağa önce ağız kenarlarından başlanmalı ve sonra ortadaki paso kaynak edilmelidir.
- Üst pasolar gerilme uçları oluşturduğundan tek taraflı ağız şekillerine çok sayıda dar pasolarla kaynak yapmaktan kaçınılmamalıdır.

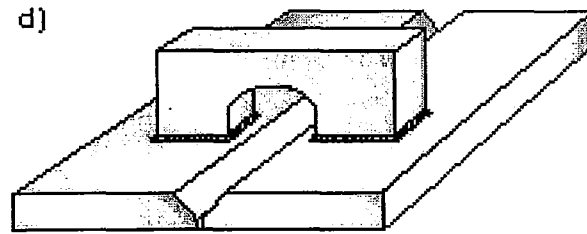
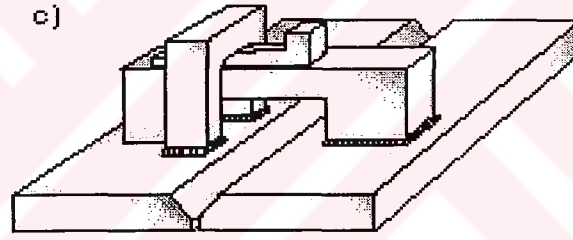
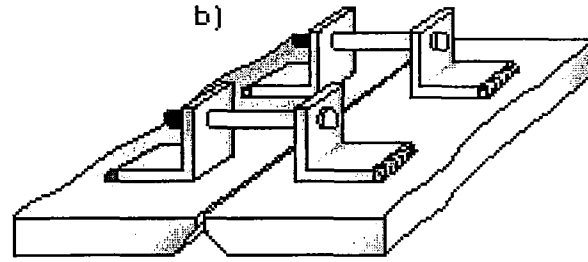
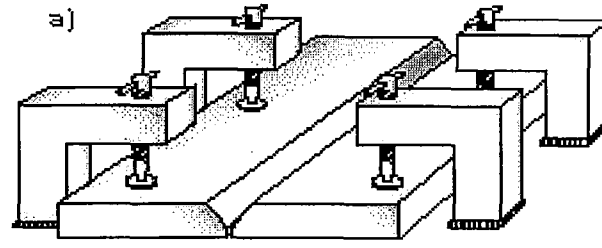


Şekil 4.13 Önceden açılı verilerek şekil bozukluklarının engellenmesi (Andrews,2000)

- Açısal şekil bozukluklarını azaltmak için simetrik dikişler değiştirilerek kaynak edilmelidir.
- Olanaklar elverdiği kadar sıçrama veya geri adım usulünde kısa dikişler çekerek kaynak yapılmalıdır.
- Paralel dikişlerin birbirlerine ters yönde kaynak edilmeleri şekil bozukluklarını asgariye indirebilir. Bayrak gibi takviyeler mümkün olduğu kadar en son kaynak edilmelidir.
- Bir yama veya deliğin kaynağında enine gerilmeleri azaltmak ve çatlama tehlikesini önlemek için yamaya hafif bombelik verilmeli ve kaynak kas kat usulü yapılmalıdır.
- Bağlama tertibatları içerisinde kaynak yapılması mümkün olmayan parçalar enine kendini çekme yönünde uygun bir hareket miktarına izin verecek şekilde el mengeneleri ile tespit edilmelidir.
- Kirişlerin dikey kısımlarının birbirlerine alın olarak birleştirmelerinde dikey levhanın kendini çekebilmesi için boğaz dikişleri 300 mm kadar açık bırakılmalıdır.

- Kaynak esnasında geçiş bölgesi sertleşen malzeme veya kalın kesitlerde bir ön tavlama yapılmalı veya kalın bir elektrod seçilmelidir. Ön tavlama kaynak işleminden önce kaynak edilecek parçaların belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılması demektir. Malzemenin özelliği ve kesitine göre 100-150 °C arasında değişen bir sıcaklığa kadar ön tavlama yapmakla soğuma hızını düşürmüş olur. Böylelikle sertleşme eğilimi azaltılmış olur.
- Kaynak ağzları dikkatli bir şekilde hazırlanmalıdır.
- Verilen değerden daha yüksek bir akım şiddeti ile çalışılmamalıdır.
- Enine şekil bozukluklarını azaltmak için parça kaynaktan evvel puntalanmalıdır. İki parça arasında eğimli bir aralık bırakılarak serbest kendini çekme sağlanmalıdır.
- Kaynak planına uyulmalıdır.
- İç bükey köşe dikişlerinden kaçınılmalıdır. Düzgün olmayan gerilme dağılışı çatlamalara sebep olabilir.
- Yanma çentik ve oyuklarından gerilme yığılmalarına sebep olduklarından kaçınılmalıdır. Pasoların kaynaktan sonra çekiçlenmesi gerilme uçlarını yok eder. Çünkü çekiçleme maksimum çekme gerilmesi planına dik bir basma kuvveti meydana getirir ve plastik akışa yardım eder. Esas itibarıyla dikişi çekiçleme onu gerer ve inceltir ve böylece de metal soğurken çekmesinden oluşan gerilmeleri plastik deformasyon yoluyla giderir. Ancak bu yöntem büyük dikkatle kullanılmalıdır. Örneğin bir kök paso hiçbir zaman çekiçlenmemelidir, çünkü ya bir çatlağı gizlemeye yardım eder ya da doğrudan çatlak oluşturur. Genellikle son pasoda çekiçlemeye müsaade edilmez çünkü burada da bir çatlağı kapatarak muayeneyi şaşırtabilir, ayrıca da istenmeyen işleme sertleşmesi meydana getirebilir. Böylece de her ne kadar pasolar arasında çekiçlemenin şekil bozuklukları veya çatlak sorununun tek çözüm yolu olduğu birçok durum varsa da bu tekniğin kullanılma durumu dardır. Çekme kuvvetlerinin giderilmesinin başlıca yolu gerilim giderme tavlamasıdır.
- Kaynaklı konstrüksiyon statik zorlamaya maruz bırakılırsa bölgesel olarak akma sınırını geçirebilir ve gerilme uçları yok edilmiş olur.
- Alçak sıcaklıkta oksitlen tavlama ve arkasından da hemen soğutmakla gerilme uçları düşürülmüş olur.
- Dikişin üzerindeki fazla çıkıntı ve çentikler çok eksenli gerilmelere yol açtıklarından mekanik olarak ortadan kaldırılmalıdır.
- Parçalar önceden bağlanabilir. Kaynak esnasında serbest bırakılan parçalar kendini çekmelerle beraber düz bir konum alır. Şekil 4.14'te önceden tespitlenmiş parçalara ait

uygulamalar verilmiştir. Bunun en büyük avantajı herhangi bir ek maliyet getirmemesidir.



Şekil 4.14 Çeşitli tespitleme yöntemleri

#### 4.4 Kaynak Planları

Kaynak planı kaynak tekniğine ait bütün bilgileri içerir ve işletmeci için belirli bir iş talimatı özelliğini taşır. İşletmeye ait planlama ve ön hesaplamada göz önünde tutulması gereken önemli bir belgedir.

Bir kaynak planında aşağıdaki bilgiler bulunur.

- Parçalar; kaynak yapılacak bütün parçalar parça listesindeki pozisyon numarasına göre sıralanır.
- Malzeme; kaynak yapılacak parçaların malzemesi standartlara veya işletmenin kendi bünyesinde kullanılan esasa göre verilir. Farklı iki malzemenin birbiri ile kaynak yapılması halinde iki malzeme arasında bir aralık bırakılmalıdır.
- Kaynak usulü
- Kaynak ağzının şekli
- Dikişin kalınlığı
- Paso sayısı
- Kaynak pozisyonu
- Kaynak dikişlerinin sayısı; burada bilhassa aynı uzunluktaki, aynı kalınlıktaki, aynı pozisyondaki, aynı elektrod ve aynı usulle kaynak yapılan bütün dikişlerin sayısı belirtilmelidir.
- Kaynak dikişlerinin boyu
- Kaynak dikişlerinin toplam uzunluğu
- Elektrod tipi
- Elektrodun çapı
- Elektrodun miktarı; her tip ve çap için gerekli elektrod miktarı kg olarak ifade edilmelidir.
- Kaynak zamanı
- Toplam zaman
- Ücret grubu
- Düşünceler; planın düşünceler kısmında ısıl işleme ve muayeneye tabi tutulacak dikişler ile bunlara ait işlemler hakkında bilgi verilir.

#### 4.4.1 Kaynak sırası planı

Birleştirilecek parçalara ait kaynak ağzı, kaynak dikiş ve pasolarını düzenleyen ve takip edilecek kaynak sıralarını gösteren planlara kaynak planları veya kaynak programları denir. İmalat sırasında bu plana uymakla şekil bozukluklarının önüne geçilmiş olur. Şekil 4.15'te uygun kaynak sırası yardımı ile çekme ve çarpılmaların en aza indirilmesine ait örnekler verilmiştir. Birinci örnekte uzun kaynaklı ve kısa kaynaklı pasolarda geri adım yöntemi ile

çekme ve çarpılmaların en aza indirilmesi gösterilmiştir. İkinci örnekte mil doldurmadaki kaynak sırası belirtilmiştir. Üçüncü örnekte yamada kaynak sırası kesit alınarak gösterilmiştir. Son örnekte ise bir silindirik tankın tabanında kaynak sırası belirtilmiştir. İlk olarak enine kısa dikişler, ikinci olarak boylamasına dikişler, üçüncü olarak çevresel dikişler, dördüncü olarak boylamasına dikişler, beşinci olarak çevresel dikişler, altıncı olarak ise üçüncü ve dördüncü olarak kaynatılan parçaların ters dikişlerinin kaynak yapılması gösteriliyor.

#### **4.4.1.1 Kaynak sırası planlarının düzenleme şekli**

Kaynak sırası planı aşağıdaki kısımlardan oluşur.

- Teknik resimler; bu teknik resimler kaynak tekniğine ait verilen esaslar içerisinde hazırlanır ve gerekli tüm teknik bilgileri içerir.
- Montaj resimleri; bilhassa karışık konstrüksiyonlarda gereklidir.
- Kaynak yöntemi
- Gerekli kaynak araç ve gereçleri
- Gerekli imalat süresi; burada örneğin verilen kaynak sırasına uymak için kaç kaynakçıya ihtiyaç olduğu ve parçayı taşımak veya döndürmek için ne gibi taşıma veya kaldırma işlemlerine ihtiyaç duyulduğu da göz önüne alınır.

#### **4.4.1.2 Kaynak sırası planının içeriği**

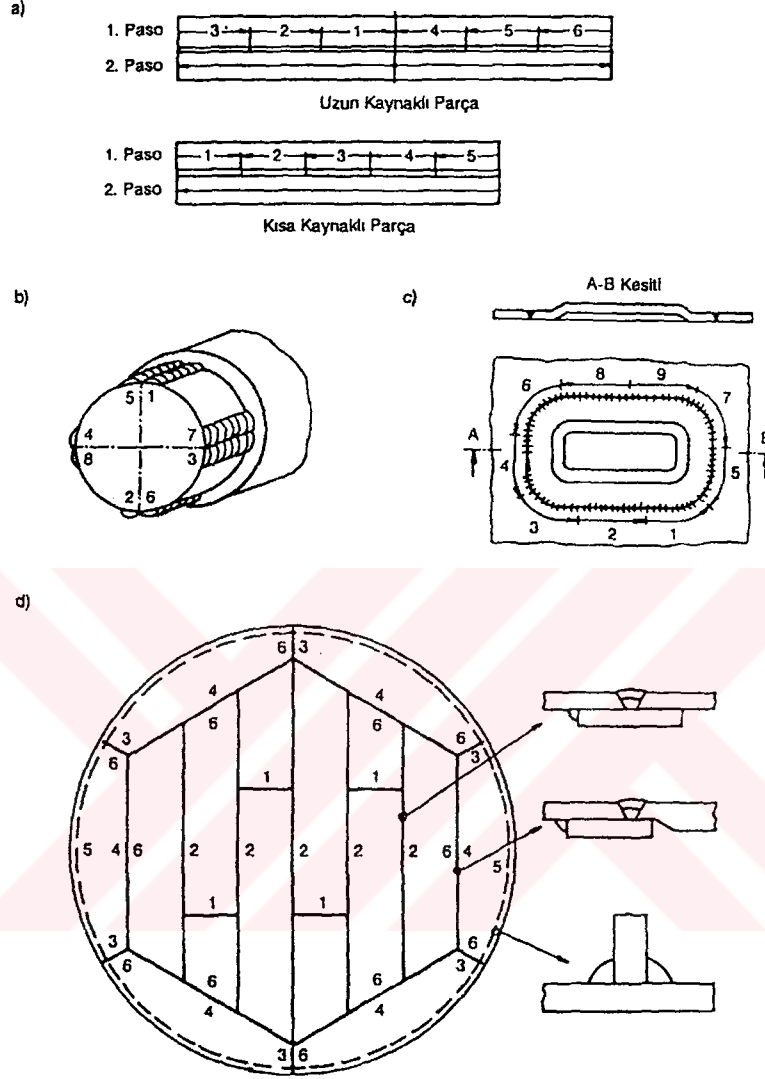
Kaynak sırası planı üç ana kısımdan oluşur; yazılı kısım, iş sırası listesi ve resimler.

##### **4.4.1.2.1 Yazılı kısım**

Bu kısımda aşağıdaki hususlara ait yazılı bilgi verilir.

- Malzeme
- Kaynak usulü
- Elektrod
- Kaynakçı usul testi
- Kaynak konstrüksiyonu boyutları
- Kaynakçı sayısı

- Sorumlu mühendis



Şekil 4.15 Uygun kaynak sırası yardımı ile çekme ve çarpımların en aza indirilmesi  
(Anık ve Tülbentçi, 1987)

#### 4.4.1.2.2 İş sırası listesi

Bu listede de şu bilgiler bulunur.

- İş sırası
- Kaynak ağzı şekli ve hazırlama tarzı
- Kaynak sırası
- Gerekli kaynak aparatları

- Isıl işlem bilgileri
- Ön tavlama bilgileri

#### 4.4.1.2.3 Resimler

- Krokiler; kaynak yapılacak konstrüksiyonun perspektif bir resmi çizilmeli ve resim üzerinde bütün kaynak dikişlerine bir numara verilmelidir. Karışık kısımların ayrı bir krokisi çizilerek kaynak sırası gösterilmelidir. Çizilen krokilerde kaynak dikişlerine ait tüm bilgiler olmalıdır.
- Kaynak yönü; kaynak yönü belirli oklarla gösterilmelidir.
- Kaynakçı sayısı; konstrüksiyonun veya bir dikişin birkaç kaynakçı ile kaynak yapılması halinde tek kaynakçı tarafından kaynak yapılacak kısımlar roma rakamı ile gösterilmelidir.
- Dikiş sırası; her kaynakçı tarafından kaynak yapılacak dikişler numaralandırılır. Aynı numaraya sahip kısımlar ayrı kaynakçılar tarafından aynı anda kaynak edilmesi gerekir. Resim üzerinde görünmeyen dikişlere verilen numaralar parantez içine alınmalıdır.

#### 4.4.1.3 Dikiş sırasının atölye resmi üzerinde gösterilmesi

Kaynak planı yapılmadığı veya yapılamadığı durumlarda uygun dikiş sırasını atölye resmi üzerinde vermek gerekir. Bu gibi durumlarda dikiş sırası kare içerisine alınmış bir rakamla ve kaynak yönü de bir okla gösterilir.

#### 4.4.1.4 Kaynak modeli

Bazı özel konstrüksiyonların kaynağında ayrılabilen bir modelin yapılması faydalıdır. Bu model üzerinde kaynak sırası renkli olarak gösterilir ve model daima kaynakçının yanında bulunur. Böylece kaynakçı kaynak sırasını model üzerinde takip eder.

### 4.5 Kaynak İşleminde Kullanılan Fikstürler

Kaynak esnasında meydana gelen gerilmeler neticesinde, kaynak konstrüksiyonunda oluşabilecek şekil bozukluklarını önlemek, aynı zamanda kaynak işleminin olabirliği ile

şekil ve boyut tamlığı açısından önemli olan pozisyonlama ve merkezlemeyi sağlamak için kullanılan çeşitli konstrüksiyondaki tutturma aparatlarının tümüne fikstür adı verilmektedir.

#### **4.5.1 Fikstürün kullanılma amaçları ve önemi**

Fikstürün kullanılması her kaynak yöntemi için zorunludur. Kaynak fikstürü, kaynak edilecek parçaları uygun pozisyonda tutar. Yani fikstürün en önemli kullanılma amaçlarından biri, kaynak edilecek parçaları uygun pozisyonda tutmaktır. Kullanılacak olan fikstürler için şu faktörler göz önüne alınmalıdır.

- Kaynak teçhizatı kolayca girebilmelidir.
- Kaynak sonrası düzgün geometrik şekil elde edilmelidir.
- Düzgün kaynak dikişi elde edilmelidir.
- Kaynak hızı çalışmada rahatlık sağlayacak kadar yüksek olmalıdır.

Kaynak fikstürleri özel bağlantı plakaları, masaları veya diğer çalışma araçlarının üzerinide bağlanmış olabilirler. Bu uygulama da kaynağın en ekonomik şekilde yapılmasına imkan tanımaktadır.

#### **4.5.2 Fikstürlerin sınıflandırılması**

Fikstürler için yapılacak sınıflandırmada dört genel bölüm düşünülebilir.

Kullanım amacına göre fikstürler, sadece kaynak edilecek parçaları birbirine tutturmak için kullanılan fikstürler, kaynak parçalarını, esas kaynak işlemi boyunca bir arada tutmak için kullanılan fikstürler ve pozisyonlama aparatı olarak kullanılan ve kaynak parçalarının hareket ettirilip en uygun kaynak pozisyonuna getirilmesini sağlamak için kullanılan fikstürler olarak sınıflandırılırlar. Kaynak pozisyonlama fikstürleri, pozisyoner olarak da isimlendirilirler. Kaynak esnasında parçayı istenilen konuma getirerek kaynak işlemini kolaylaştırmak için kullanılan yardımcı kaynak donatımıdır.

Tutturma tipine göre fikstürler; mekanik fikstürler, pnömatik fikstürler, hidrolik fikstürler olarak sınıflandırılırlar. Mekanik fikstürlerde tutturma işlemi, mekanik olarak gerçekleştirilir. Bu tip fikstürlere örnek olarak her atelyede görülebilecek olan mengene,

işkence, kenet ve bu amaçla kullanılan diğer aparatları gösterebiliriz. Hidrolik ve pnömatik fikstürler, otomatik fikstürler olarak da bilinmektedir. Otomatik fikstürler de maliyetleri hayli yüksek olmasına karşın kaynak işlemini son derece hızlandırdığı ve iyileştirdiği için sıkça kullanılmaktadır. Otomatik fikstürler sayesinde işlem hızı arttığı ve kaynak kalitesi yükseldiği gibi hata oranı da oldukça azalmaktadır. Tutturulacak olan parçaların boyutunun veya ağırlığının çok büyük olması veya başka nedenlerden dolayı pnömatik fikstürler yerine hidrolik fikstürlerde tercih edilebilir.

Konumuna göre fikstürler; kaynak makinasından ayrı bir mekanizma olan fikstürler ve kaynak makinası ile birleşik olan fikstürler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Burada birinci gruptaki fikstür türüne mengenerler, işkenceler ve kaynak pleytlerini örnek verebiliriz. İkinci gruptaki fikstürler ise robotik ve otomatik ark kaynaklarında kullanılan fikstür tipleridir.

Hareketine göre fikstürler; sabit ve hareketli fikstürler olarak sınıflandırılabilirler. Birinci grupta fikstür ve kaynak edilecek parça sabittir. Hareketli fikstürlerde ise fikstür aparatının kendisi öteleme veya dönme hareketi yapmaktadır. Bu durumda kaynak yapan teçhizat da hareketli veya sabit olabilir (Karahasanoğlu ve Altınok, 2001).

#### **4.6 Kaynaklı Parçaların Kaynak İşleminde Sonra Düzeltilmesi**

Bundan önceki bölümlerde sıralanan önlemlere rağmen kaynaklı konstrüksiyonlarda kaynak sırasında meydana gelen şekil bozukluklarının düzeltilmesi önem taşıyan bir işlemdir ve büyük zaman kayıplarına yol açmaktadır. Maliyeti büyük ölçüde etkileyen bu düzeltme işlemleri uygun bir plan dahilinde dikkatlice yapılırsa düzeltme zamanı en aza indirilmiş olur. Bu düzeltmeler tavlama yardımı ile, mekanik yolla veya hem tavlama hem mekanik yolu beraber kullanarak yapılabilir.

##### **4.6.1 Tavlama yolu ile düzeltme**

Her şeyden önce yapılacak düzeltmenin başarılı olabilmesi için malzemenin özelliklerini iyi bilmek gerekir. Yüksek karbonlu ve hafif alaşımlı çelikler ancak şartlı olarak düzeltilebilir. Küçük bir deney ile tavlama öncesi ve sonraki çekme mukavemeti çentik darbe mukavemeti ve kopma uzamalarının tespit edilmesi gereklidir.

Tavlama işleminde kullanılan alev nötr veya asetilen fazlı bir karakter taşımalıdır. Yanıcı gaz olarak asetilen kullanılmasına rağmen LPG, havagazı gibi diğer gazlardan da istifade edilmektedir.

Tavlama sırasında alevin çekirdeği ile parça arasındaki mesafe takriben 5 mm kadar olmalıdır ki parça düzgün bir şekilde tavlanabilsin. İnce saçlarda uygun bir üfleç ve kalın parçalarda da büyük numara bir üfleç kullanılmalıdır.

Tavlama sıcaklığı 650-850 °C arasında bulunmalıdır. Bu sıcaklığı pratik olarak tavlanan parçaların renginden anlamak mümkündür. Renk koyu kırmızı, koyu kiraz kırmızısı veya kiraz kırmızısı olduğu müddetçe tavlama ile düzeltme başarılı olabilir. Eğer 850 °C'nin üzerine çıkılırsa tavlanan kısımlarda istenmeyen iç yapı dönüşümlerine yol açılabilir. Diğer taraftan aşırı tavlama soğuma hızını yükselteceğinden istenmeyen bir martenzit oluşumuna yol açar. Bundan dolayı tav sıcaklığı daima kontrol altında bulundurulmalıdır. Ayrıca doğrultma işlemi yapılırken hava şartları da kontrol altında tutulabilir. Genellikle 0 °C'nin altındaki sıcaklıklarda tavlama işlemi uygun değildir. Tavlanan kısmın genişliği doğrultulacak parçanın kalınlığına ve uygulanan metoda bağlıdır. Tavlama sahasının geniş tutulması malzemenin akma yeteneğinin kaybolmasına yol açabilir.

Tavlama çarpılmanın meydana geldiği sahanın dış tarafına uygulanır. Böylece daha evvel büzülen yerler soğuma sırasında çekmeye maruz kalarak düzelirler. Bu kendini çekmenin etkisi tavlama yerinin parçanın tarafsız eksene olan mesafesi ile değişir. Noktasal, çizgisel, ve kama biçiminde tavlama teknikleri şekil bozukluklarını engellemede kullanılan tekniklerdir. Noktasal ısıtma burkulmayı engellemek için yapılır. Eğer ince plaka şekil bozukluklarına uğramışsa düzeltme konveks taraftan noktasal ısıtma ile düzeltilir. Eğer burkulma düzenli ise ısıtma simetrik olarak yapılır. Dolgu kaynağında meydana gelen açısız şekil bozuklukları çizgisel ısıtma ile giderilir. Parça dolgu kaynağının tersinden ısıtılarak oluşan gerilmeler giderilir. Şekil 4.16'te çeşitli ısıtma teknikleri gösterilmiştir. Birinci resimde noktasal ısıtma, burkulmayı engellemek için yapılır. Eğer ince plaka şekil bozukluğuna uğramış ise düzeltme konveks taraftan noktasal ısıtma ile yapılır. Eğer burkulma sürekli ise ısıtma simetrik olarak yapılır. İkinci şekilde çizgisel ısıtma gösterilmiştir. Dolgu kaynağında olan açısız şekil bozuklukları kaynağın ters tarafından ısıtılarak oluşan gerilmelerin bertaraf edilmesi prensibine dayanır. Geniş malzemelerde de üçüncü şekilde gösterildiği gibi tüm yüzeyin ısıtılması gereklidir.

Tavlanacak bölgeleri az ısı tatbik ederek birkaç defa tavlama, aksi yöndeki yeni şekil bozukluklarına sebep olacak kuvvetli ısı miktarına nazaran daha avantajlıdır. Yeteri derecede tavllanmış bir bölgenin ikinci defa tekrar tavlama doğru değildir. Sonraki tavlama daha önce tavlama kısımların arasına gelmelidir.

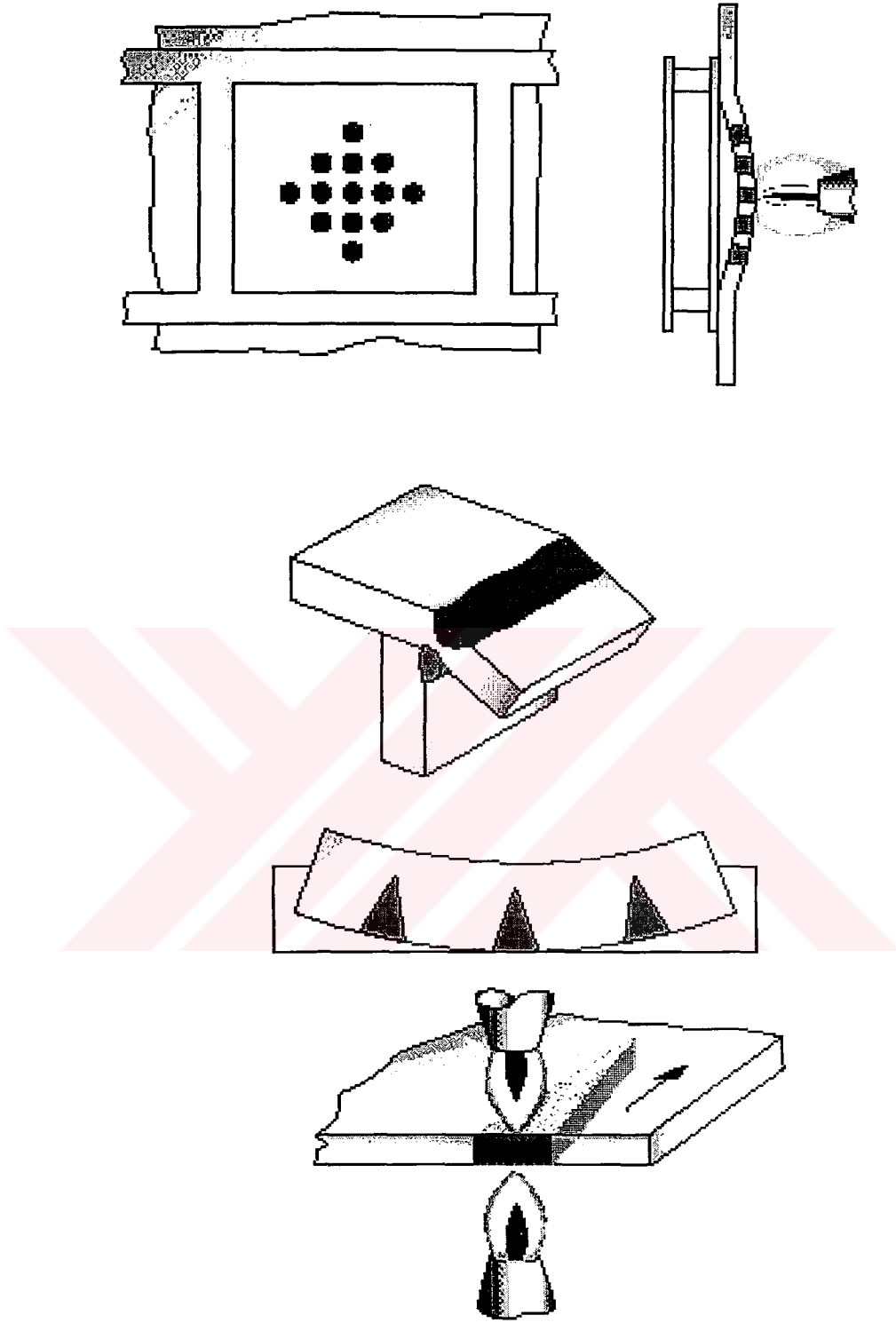
Tavlı kısmı, basınçlı hava ile çabuk soğutmakla da kendini çekme etkisini kuvvetlendirmek mümkündür. Yalnız bu işlem sertleşmeyen malzemelere uygulanmalıdır. Bu arada parçaları suya sokarak soğutmaktan kaçınılmalıdır.

#### 4.6.2 Mekanik yol ile düzeltme

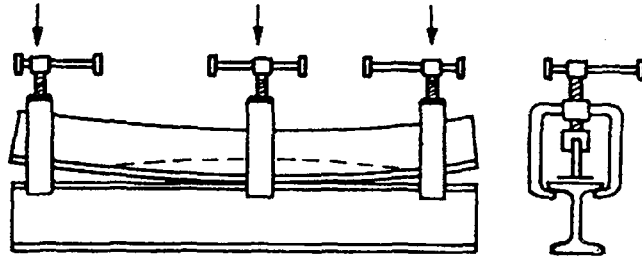
Mekanik yolla yapılan düzeltmeler çekiç ve tokmak kullanılarak yapılan düzeltmeler, pres ve kalıp kullanılarak yapılan düzeltmeler ve çeşitli basma gerilmesi tatbik edilen tertibatlarla yapılan düzeltmelerdir.

Bu tip tavlama olmaksızın yapılan düzeltmeler genellikle küçük miktardaki çarpımalara uygulanır. 3 mm kalınlığa kadar saçlar tokmakla dövülerek doğrultulur. 10 mm den kalın levhalar ve kaynak dikişleri, profiller basma gerilmesi uygulanan tertibatlar yardımı ile düzeltilirler.

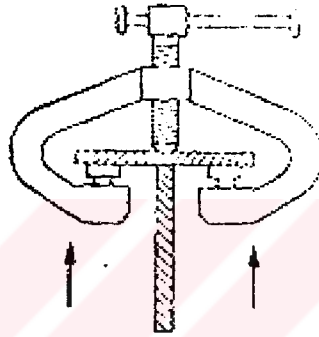
Çekiçleme de bugün en çok kullanılan usullerendir. Hafif çekiç darbeleri bir basma kuvveti yaratırlar ve plastik akışa yardım ederler. Ancak çekiçlemenin gereğinden fazla yapılması yüksek bir soğuk şekil değiştirme meydana getirir ve metalin çentik darbe mukavemetini düşürür. Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da çeşitli mekanik yolla düzeltme usulleri görülmektedir.



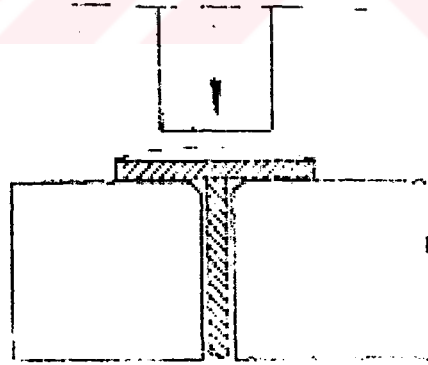
Şekil 4.16 Çeşitli ısıtma teknikleri (Verhaegle,Leggatt,2000)



Şekil 4.17 T profilinin tespit tertibatları ile doğrultulması (Anık, 1969)



Şekil 4.18 Profilin bir basınç gerilmesi tatbik eden aletle doğrultulması (Anık, 1969)



Şekil 4.19 T profilinin bir presle düzeltilmesi Anık, 1969)

Kaynakta çekişleme her paso için ayrı ve paso henüz tam soğumadan yapılır. Sıcaklık olayın püf noktalarından biridir. Paso kırmızı rengini kaybetmesinden hemen sonra çekişlenmelidir. Çekişleme siyah sıcaklıkta yapılacaksa faydalıdır. Metalin mukavemetini kazanmadığı, gerilmelerin oluşmadığı sıcaklıkta çekişlemenin anlamı yoktur.

#### 4.6.3 Isının ve mekanik yolun birlikte kullanılması

Bundan önce sayılan yöntemlerle, tavlama ve mekanik yolun birlikte kullanılmasıdır. Genellikle yöntemlerden biri kullanılırken düzeltme etkisini arttırmak için diğer yöntem yardıma çağırılır. Tavlama yapıldığında çekiç veya tokmak kullanılarak düzeltme etkinleştirilir. Aynı şekilde bir baskı tertibatında düzeltilen bir profile tavlama uygulaması düzeltmeyi çabuklaştırır. Bu da göstermektedir ki düzeltme bir işlemler bütünüdür ve en çabuk ve en uygun bir düzeltme yapmak için yerine göre tavlama ve mekanik yol ayrı ayrı veya beraber kullanılmalıdır.



## 5. UYGULAMA

Uygulama bölümünde gaz tungsten ark kaynağı ve ergimeyen elektrod ile ilave malzeme arasında ark oluşturarak kaynak işlemi yapıldı. Gaz tungsten ark kaynağı tungsten elektrodun ergimeksizin oluşturduğu arkın yüksek ısısı ile yapılmaktadır. Kaynak süresince koruyucu gaz, kaynak alanını ve elektrodun havadan oksitlenmesini ve kaynak ısısını arkın çevresinde kesif bir gaz tabakası şeklinde sararak korur. Elektrod sadece arkı meydana getirir. Koruyucu metal, ark kaynağındaki gibi kendisi ergiyerek bileşiğe katkıda bulunmaz. Eğer birleşme yerinde herhangi bir yardımcı kütlesi zorunlu ise oksitlenilen kaynağındaki gibi ek teli kullanılır. Uygulamalarda ilave ek teli kullanarak kaynak işlemini gerçekleştirildi.

TİG kaynağı ısıtıldığı zaman çok kısa sürede oksitlenme yeteneği olan magnezyum kaynağı için geliştirilmiştir. Sonraları TİG kaynağının gelişmesi ile alüminyum, paslanmaz çelik, yüksek karbonlu çelikler, bakır ve alaşımları ile nikel ve alaşımlarının da kaynatılması için uygun olduğu görülmüştür. TİG kaynağı özellikle ince gereçlerde kaynak sağlamlığı ve dikiş bitim yerlerindeki kaynağın diğer birleşme yerlerindeki gibi olması istenilen yerlerde çok aranan kaynak türüdür. Bununla beraber 3.2 mm'ye kadar olan veya kalın çelik levhaların kaynağı başarılı olarak yapılmaktadır.

Uygulama da 1-2-3-4-5 mm'lik St 37 malzemelerin birleştirilmeleri yapılmıştır. Ergimeyen elektrod olarak 1.60\*175 mm'lik tungsten elektrod kullanılmıştır(WT 20, DIN EN 26848, ID 85619). İlave malzeme olarak ise SGMo kullanılmıştır. İlave malzemenin çapı ise 2.4 mm'dir. İlave malzemenin analiz sertifikası Ek 1'de verilmiştir.

Kaynak ark ısısından yararlanarak ergiyik ortamı hazırlanan parçanın kenarından başlanarak yapılır. Arkı başlatmadan önce elektrot boyu kaynatılacak parçalara göre ayarlanmalıdır. Yatay kaynak için elektrot ucu memeden yaklaşık 3.2-5 mm. uzunlukta olmalıdır. Uygulamalarda doğru akımlı kaynak makinası kullandığından arkı oluşturmak için elektrodu parçaya yaklaştırıp değdirerek ark oluşturuldu. Ark oluşur oluşmaz arkı koruyarak elektrod parçalardan yaklaşık 3 mm. yüksekte tutuldu. Kaynak hızını sabitlemek için, pense otomatik ilerleme makinasına bağlandı. Uygulamada 1 ve 2 mm'lik parçalarda 75-80 A, 3-4-5 mm'lik parçalarda ise 90-120 A ile çalışıldı.

Uygulamanın ikinci bölümünde ise ergimeyen elektrod ile ilave malzeme arasında ark oluşturarak kaynak yapıldı. Bu yöntemdeki amaç parçaya ısı verilmesini engellemektir. Şekil bozukluklarının en önemli sebeplerinden olan parçanın ısınması engellenerek kaynak yapılması uygulamada zorluk çıkardı. Otomatik makinaya bağlanan pense ile ilave malzeme arasında ark oluşturuldu fakat ark ilave malzemenin düzenli beslenememesi sebebiyle kaynak yüzeyinde istenilen kaliteye erişilemedi. Ergimeyen elektrod olarak 1.6 mm'lik tungsten elektrod kullanıldı. İlave malzeme olarak 2.4 mm çapında SGMo kullanıldı.

İlave malzeme ile ergimeyen elektrod arasında ark oluşturmak suretiyle yapılan kaynakta beklentimiz, parçaya birim dikiş enerjisi başına aktarılan enerjinin daha düşük olması sonucu parçayı daha az ısıtmaktır. Amaç öncelikle ince saçlarda büyük deformasyona yol açan ısı gerilmeleri bu yolla engellemektir. İlave malzeme artı kutuba, ergimeyen elektrod ise eksi kutuba bağlı olarak deneyler yapıldı. Akım değeri olarak 90-110 A ile çalışıldı. Daha ince çaplı (2 mm) malzemeler kullandığında teller kızarıyor ve kullanılamaz hale geliyordu. Parça ısıtılmadığı içinde daha küçük akım şiddetlerinde de arkı oluşturmak problem yaratıyordu. Hız tüm deney boyunca 12 cm/dk olarak sabit tutuldu. Bu otomatik ilerleme mekanizmasının müsaade ettiği minimum hızdı. Fakat ince saçlarda bu düşük hız bile ilave malzemenin beslenmesindeki problemlerden dolayı yüksek geldi. Koruyucu gaz olarak ise tüm uygulamalar sırasında argon gazı kullanıldı. Gaz basıncı 35 bar, debisi ise 20 lt/dk idi. Sadece ince malzemelerin (1.2 mm) kaynağında gaz debisi 16 lt/dk değeri ile çalışıldı. TIG kaynağına ait veriler Çizelge 5.1'de, ergimeyen elektrod ile ilave malzeme arasında ark oluşturmak suretiyle yapılan kaynak birleştirmelerine ait veriler ise Çizelge 5.2'de verilmiştir. Fakat 1 mm'lik saçlarda ilave malzemenin beslenmesindeki problemlerden dolayı kaynak başarıyla uygulanamamış, parçalar delinmiş ve bu sebepten dolayı şekil bozuklukları dereceleri belirlenememiştir.

Uygulamalarda gerçekleştirilen TIG kaynağında ve ergimeyen elektrod ile ilave malzeme arasında ark oluşturarak yapılan kaynakta gazın kullanım amacı, kaynak alanını havanın etkilerinden korumaktır. Koruyucu gaz havayı kaynak alanı içinde kimyasal, metalurjik ve fiziksel bileşik oluşturmadan dışarı atar. Böylece bu gazın koruyuculuğunda yapılan kaynak diğer kaynak tiplerine göre daha dayanıklı, birleşme yeri daha sağlam ve kenar yemeleri minimum denecek kadar azdır. Koruyucu gaz kaynağı ile çelik, alüminyum gibi gereçler pasta kullanılmaksızın ve diğer kaynak tekniklerine göre en az deforme işlemi ile kaynak edilebilir. Aynı zamanda kaynak alanı koruyucu gaz içerisinde çok iyi görüldüğünden

Çizelge 5.1 TIG kaynağına ait veriler

Malzeme Kalınlığı (mm)	Elektrot Çapı (mm)	İlave Malzeme Çapı (mm)	Akım Şiddeti (A)	Gaz Basıncı (bar)	Gaz Debisi (lt/dk)	Açısal Şekil bozuklukları (derece)
1	1.6	2.4	90	35	16	-
2	1.6	2.4	95	35	16	2.1
3	1.6	2.4	105	35	20	1.9
4	1.6	2.4	110	35	20	1.9
5	1.6	2.4	120	35	20	1.5

Çizelge 5.2 Ergimeyen elektrod ile ilave malzeme arasında ark oluşturularak yapılan kaynağına ait veriler

Malzeme Kalınlığı (mm)	Elektrot Çapı (mm)	İlave Malzeme Çapı (mm)	Akım Şiddeti (A)	Gaz Basıncı (bar)	Gaz Debisi (lt/dk)	Açısal Şekil bozuklukları (derece)
1	1.6	2.4	95	35	16	-
2	1.6	2.4	95	35	16	1.7
3	1.6	2.4	100	35	20	2.0
4	1.6	2.4	100	35	20	2.0
5	1.6	2.4	110	35	20	2.5

herhangi bir endişe olmadan rahatlıkla kaynak olanağı sağlar. Kaynak sırasında çok az duman, alev veya sıçramayla beraber kaynak çevresinde oluşan normal sestense daha az bir ses duyulur. Yapılan kaynakta hiç curuf kalma olanağı bulunmadığı için dikiş yüzeyi temizdir. Bu hallerde kaynak birleşmelerde birden fazla dikiş yapılması zorunluluğu çok yararlı netice vermektedir.

Tezin ekler kısmında yapılan uygulamaya ait resimler ve bilgiler verilmiştir. Ek 1’de 2.4 mm çapında ilave malzemenin sertifikası, Ek 2’de ise atölyede çalışma düzeni ve aparatları, TIG kaynağının yapılışı, 1-2-3-4-5 mm’lik saçların TIG kaynağı ile birleştirilmesi, 1-2-3-4-5 mm’lik saçların ergimeyen elektrod ile ilave malzeme arasında ark oluşturularak yapılan kaynak işlemi ile birleştirilmesine ait resimler verilmiştir.

Uygulama çalışmalarının son bölümünde kaynak işlemlerinde oluşan şekil bozukluklarının önlenmesi için sanayide uygulanan yöntemlerin araştırmasını yapıldı. Bu bölümde Remas Redüktör, Tekfen Mühendislik - İmalat ve Tekersan Jant işletmeleri imalatlarında kullandıkları kaynak yöntemleri konusunda imkan vererek, kullanmış oldukları yöntemleri izleme ve değerlendirme şansı verdiler. Remas Redüktör' de imal edilen bilyalı seramik değirmenleri özellikle seramik sanayinde yaş metotla seramik hammaddesi, sır, boya ve her çeşit mineralin metalik kirlenmeye maruz kalmadan öğütülmesini sağlar. İmalatı incelenen U şaseler, bu değirmenlerin tahrik ünitelerinin bağlı oldukları şase ve kızaklardır. Remas A.Ş. bünyesinde üretimini yapmakta oldukları U Profili şaselerinin imalat işlemlerini kalite güvence bünyesinde bir sisteme oturtmuştur ve bu sistemde sürekliliği sağlamaktadır. Firma imalatında NPU 220 ve St 37 saçlar kullanmaktadır. Kaynak yöntemi olarak ise gazaltı kaynak yöntemini kullanmaktadırlar. Kullanılan gaz Argoshield, argon ile karbondioksitin karışımı olup, değişik uygulama amaçlarına göre belirlenmiş olan 3 değişik karışım oranına göre 5, 20, TC adları ile anılır. Firma uygulamalarında Argoshield 5 gazını kullanmayı tercih etmiştir. Gazın fiziksel özellikleri argon ile hemen hemen aynıdır. Kullanılmakta olan SG2 gazaltı kaynak telleri, alaşımsız ve düşük alaşımlı yapı çeliklerinin, ince taneli yapı çeliklerinin, kazan ve boru çeliklerinin, gemi saçlarının ve dökme çeliklerin kaynağına uygundur. Gazaltı kaynağı ile kaynatılan parçalar aşağıda Tablo 5.3'te belirtilen kaynak parametrelerine göre kaynatılmaktadır.

Çizelge 5.3 Gazaltı kaynak parametreleri

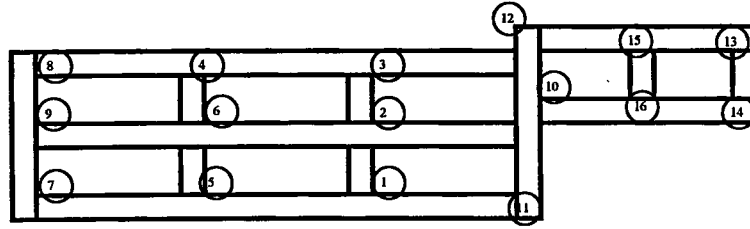
MALZEME CİNSİ	MALZEME KALINLIĞI	KADEM E	TEL HIZI	AKIM (A)	GERİLİM (V)	TEL CİNSİ	TEL ÇAPI	GAZ DEBİSİ
St 37-42-44	8-10	12	7	225-250	22-24	SG2	1,2	15(lt/dk)
St 52.3	10-18	14	10	250-270	24-26	SG2	1,2	15(lt/dk)
St 60	18-25	16	12	270-315	26-28	SG2	1,2	15(lt/dk)
St 70	25-30	17	13	315-360	28-30	SG2	1,2	15(lt/dk)

U profilli şaselerin üretilmesi için uygulamada kullanılmak üzere aşağıdaki talimat oluşturulmuştur.

- U profiller teknik resime (Ek 3) göre yerleştirilir.
- Şekil 5.1’de verilen poz no 1’e göre U profillerinin alt plaka saçı konulur.
- Alt plaka saçı koyulduktan sonra, kaynakta doğabilecek çekmeleri engellemek için kılıçlamasına boydan boya bir U profili kaynatılır. Bu parça Şekil 5.1’de poz no 2 ile verilmiştir.
- U profillerinin kaynağı Şekil 5.2’ de verildiği gibi dik pozisyona getirilerek, rakam sırasına göre kaynatılır.
- Tam ters çevrilip arka kısımlar kaynatılır.
- Yatay pozisyonda U profillerinin düz kaynağı yapılır.
- Alt plaka saçı kaynatıldıktan sonra diğer düz kaynaklar yapılır.
- Tam ters çevrilerek arka taraf kaynatılır.
- Şase üzerine saç parçalar yerleştirilerek saçların düz kaynağı yapılır.
- Şase üzerine konan saç parçaların arka taraflarında kaynatılması için şase tam ters çevrilerek kaynak tamamlanır.



Şekil 5.1 Şaçların ve takviyelerin kaynatılması



Şekil 5.2 Kaynak sırası planlarının gösterilmesi

U profilli şaselerin imalatının en son safhası talaşlı imalat bölümüdür. Borverk tezgahına bağlanan bu parçalar Ek 3’te verilen teknik resimde 18 nolu yatak bağlantı saçı ile 10 numaralı motor bağlantı saçıdan talaş kaldırılarak son ölçüler kontrol edildiğinde izlenen iki imalatta 2 mm.lik çarpılmalar meydana gelmiştir. Bu değerler işletmenin kabul kriterleri

İNİNDE OLDUĞUNDAN DOLAYI TALAŞLI İMALATA GEÇİLMİŞ VE BÖYLELİKLE TAHİRİK ÜNİTELERİNİN MONTAJINA GEÇİLMİŐTİR. YUKARIDA BELİRTİLEN KAYNAK SİRASI PLANLARI OLUŐTURULMADAN BU PARÇALARDA OLUŞAN ŞEKİL BOZUKLUKLARI TALAŞ KALDIRILARAK GİDERİLEMEDİĞİNDEN DOLAYI TAVLAMA YOLUYLA DÜZELTME ÇALIŞMALARININ YAPILMAKTA OLDUĞU FIRMA YETKİLİLERİNCE BELİRTİLMİŞTİR. HATTA DÜZELTİLEMEDİĞİ İÇİN İSKARTAYA ATILAN ŞASELERİN OLDUĞU BELİRTİLMİŞTİR. EK 3’TE REMAS A.Ő’DEKİ UYGULAMAYA AİT FOTOGRAFLAR VERİLMİŞTİR.

TEKFEN İMALAT VE MÜHENDİSLİK A.Ő.’DE YAPILAN UYGULAMADA AMACIM SANAYİDE GERİLİM GİDERME TAVLAMASININ HANGİ KOŞULLARDA YAPILDIĞINI GÖRMEK VE BU KONUDA BİLGİ SUNMAKTI. GERİLİM GİDERME TAVININ UYGULANDIĞI FIRININ FOTOGRAFLARI EK 4’TE VERİLMİŞTİR. İSİL İŞLEM FIRINDA YAPILMAKTADIR VE K TİPİ 12 ADET TERMOKUPL KULLANILMAKTADIR. TERMOKUPL PARÇANIN ÜST ORTA VE ALT YÜZEYLERİNE YERLEŞTİRİLİR. DAHA SONRA PUNTA İLE BAĞLANIR. TEKFEN İMALAT VE MÜHENDİSLİĞİN ASIL İMALAT KONUSU BASINÇLI KAP İMALATLARIDIR. FAKAT ÜLKEMİZDE YAŞANAN EKONOMİK KRİZ DOLAYISILYLA FIRMA ELİNDE BULUNDURDUĞU GERİLİM GİDERME TAVI UYGULANABİLECEK FIRININDAN DOLAYI VE FIRMANIN KAYNAKLI İMALATA YATKINLIĞINDAN DOLAYI EK 4’TE RESİMLERİ VERİLEN PARÇALARIN İMALATINI UZEL MAKİNA ADINA YAPMAKTADIR. İNCELENEN VE FOTOGRAFLARI EK 4’TE VERİLEN PRES ANA ŐASESİNİN KAYNAĞINDA GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİ KULLANILMIŐTİR. KULLANILAN PLATİNALAR ST 44, KAYNAK TELİ ÇAPI 1.2 MM, SG2 GAZALTI KAYNAK TELİDİR. KORUYUCU GAZ OLARAK BU UYGULAMADA DA ARGOSHIELD 5 KARIŞIM GAZI KULLANILMIŐTİR. İMALAT ACİL SİPARİŞ ÜZERİNE YAPILDIĞINDAN DOLAYI TEKNİK YÖNDEN PEKÇOK AKSAKLIKLAR GÖZLEMLENMİŞTİR. FAKAT BU UYGULAMADAKİ ASIL AMAÇ GERİLİM GİDERME TAVLAMASINI İNCELEMektİ. PRES ANA ŐASESİNİN İMALATINDA KAYNAK İŞLEMİ EL İLE YAPILYOR. KAYNAK HIZI YAKLAŞIK 400 MM/DK DİR. DİKİŞ KALINLIĞININ MALZEMELERDEN İNCE OLANININ %70’İ KADAR OLMASI ÖNGÖRÜLMÜŐTÜR. ORTALAMA DİKİŞ KALINLIKLARI 16 MM’DİR. GENELLİKLE BİR KÖK VE 3 PASO İLE KAYNAK YAPILYOR. KAYNAK 29-30 VOLT VE 270-275 AMPER DEĞERLERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLDİ. PARÇADA YAPILAN HESAPLARA GÖRE YAKLAŞIK 1,2 KM.LİK KAYNAK YAPILMASI ÖNGÖRÜLDÜ. GENELLİKLE İKİ ELEMAN SİMETRİK OLARAK KAYNAK İŞLEMİNİ GERÇEKLEŐTİRDİ. BURADA GÖZLENEN EN BÜYÜK AKSAKLIK KAYNAK SİRASI PLANLARININ OLUŐTURULMAMASI İDİ. NİTEKİM BU KAYNAK SİRASI PLANLARININ OLUŐTURULMAMASINDAN DOLAYI ÜST PLATİNADA 12 MM.LİK ŞEKİL BOZUKLUĞU OLUŐTU. İKİNCİ PARÇANIN İMALATINDA PARÇANIN ALTINA İKİ ADET TAKVİYE KAYNATILARAK BU ŞEKİL BOZUKLUĞUNUN 9 MM’YE DÜŐMESİ SAĞLANDI. PARÇA KALINLIĞININ 32 MM OLMASI VE PARÇA DAHA SONRA TALAŞLI İMALATA TABİ TUTULACAĞINDAN DOLAYI BU ŞEKİL BOZUKLUKLARINDAN ZİYADE ÜZERİNDE DURULAN KONU GERİLİM GİDERME TAVLAMASI İDİ. BU KADAR ÇOK KAYNAĞA, DOLAYISILYLA İSİYA MARUZ KALAN PARÇA İÇİN BU DA SON DERECE DOĞALDIR. İZLENEN GERİLİM GİDERME TAVLAMASINDA FIRIN 300 °C’YE KADAR SERBEST OLARAK İSİTİLDİ. 300 °C’DEN SONRA PARÇA

maksimum 200 °C/saat ısıtılarak 560-600 °C sıcaklığa getirildi. Bu parçanın bekleme sıcaklığıdır, parça bu sıcaklıkta 90 dakika bekletilir. Parça bu 90 dakikanın sonrasında saatte maksimum 250 °C soğutulur. 300 °C'ye ulaşıldığında ise fırın kapakları açılarak durgun havada serbest soğumaya bırakılır. Isıl işlem iş emri Ek 4'te grafikleri ile verilmiştir. Tekfen imalat ve mühendislik A.Ş.'de yapılan çalışma esnasında 1981 yılında yapılan gerilim giderme derecesinin üstündeki ısıl işlemin malzeme mekanik özellikleri ve etkisine ait bir deneye ulaşılmıştır. Yapılan deneyin ve ulaşılan sonuçların farklı ısıl işlemlerin yol açacağı sonuçlar aşağıda gösterildiği gibi tespit edilmiştir.

St 50 malzemedan 2 adet silindirik test parçası hazırlanmış, parça no 1'e 720 °C'de 2 saat süre ile ısıl işlem uygulanmış parça no 2 ise ısıl işleme tabi tutulmamıştır. Deney sonuçları Tablo 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4 Gerilim giderme derecesinin üstünde yapılan deneyin sonuçları

Özellikler	Parça No.1	Parça No.2
Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	124.68	126.67
Akma mukavemeti (kg/ mm <sup>2</sup> )	37.7	39.5
Kopma mukavemeti (kg/ mm <sup>2</sup> )	49.7	54.8
% uzama (50 mm'de)	32	31.6
% uzama (60 mm'de)	28.7	28.3

Gerilim giderme derecesi 600 °C'nin üstünde, 720 °C'de uzun süre ile yapılmış olan ısıl işlem malzemenin akma mukavemetinde %4.77 ve kopma mukavemetinde %10.26 azalmaya sebep olmuştur.

Üçüncü sanayi uygulaması ise Tekersan Jant A.Ş.'de yapıldı. Buradaki amaç seri imalatlarla, otomatik makinalarla yapılan kaynaklı imalatları incelemek ve bu inceleme ile kaynakta oluşan ısıl gerilmelerin yol açtığı şekil bozukluklarının hangi yöntemlerle önlendiğini tespit etmektir. Son derece hassas imalatın gerekli olduğu jant sektöründe otomatik jantı ve saç jant hattında yapılan imalatlar incelendi. Tekersan A.Ş.'de saç jant hattında 16 SDC-5.50 F jant imalatı incelendi. Bu imalatta disk çembere ilk önce puntalanır. Puntalama işlemi çember döndürülerek 6 noktadan yapılır. Bu işlemin yapılmış olduğu fikstür Ek 5'te verilmiştir. Puntalanan malzeme otomatik kaynak makinasına bağlanarak öncelikle içten komple koruyucu gazlı, sürekli ark kaynağı ile kaynatılır. Isıdan dolayı oluşacak gerilmelere ters etki

verecek olan dıştan kaynakta bu işlemin hemen arkasından yapılarak oluşabilecek şekil bozuklukları nötralize edilmiş olur. Kaynak açılı olarak yapılır. İzlenen jant imalatında parça  $360^{\circ} \pm 2^{\circ}$  kaynatılır. Başlama açısı  $0.1-0.3^{\circ}$ 'dir. Kaynak akımı 330 A, kaynak gerilimi ise 35 V'tur. Jantın bağlanmış olduğu tablanın hızı 30 devir/dk'dır. Bu imalatla ilgili olan resimler Ek 5'te verilmiştir. Tekersan A.Ş.'de izlenen ikinci jant imalatı otomatik jant hattı imalatıdır. Bu janttaki imalat diğerinin aksine puntalama olmadan ve komple kaynak yapılmadan olmaktadır. Bu jantta imalat diskin çembere sıkı montajı ile başlar. Kaynak otomatik, çok kafalı gaz altı kaynak makinasında yapılmaktadır. 4 adet kaynak kafası dönen janta 3 cm.lik dört noktadan kaynak yapmaktadır. Yerleştirilen 4 kafa birbirinin simetriği olarak eşit açılarda yerleştirilmiştir. Parçada sanki 4 adet kaynakçı bir anda kaynak yapıyormuşçasına simetrik kaynak yapılarak oluşabilecek şekil bozuklukları engellenmeye çalışılmaktadır. Çemberlerde bu imalat yöntemleri herhangi bir deformasyona yol açmıyor. Fakat diskin yüzeyinde oluşan çarpılmalar kaynak işleminden sonra jantın prese bağlanarak disk yüzeyinin preslenmesi ile oluşan veya oluşabilecek şekil bozukluğu istenilen değerlerde bertaraf edilir. Bu presleme aynı zamanda mekanik yolla, oluşan gerilmelerin giderilmesini sağlamaktadır. Tekersan'da yapılan çalışma esnasında traktör jantlarında kullanılan kulak punta ve kaynak fikstürünün oluşabilecek şekil bozukluklarının önlenmesi amacıyla kullandığı gözlenmiştir. Bu aparatın teknik resmi de Ek 5'te sunulmuştur.

## 6. SONUÇ

Bundan önceki kısımlarda yapılan incelemeler kaynağın basit bir ergiterek birleştirme olayı olmadığını göstermektedir. Kaynak işlemi sırasında oluşan gerilmelerin iyi incelenmemesi sonucu kaynağın hafife alınması ileride onarımı mümkün olmayan zararlara yol açabileceği gibi, meydana gelen biçim bozulmaları nedeni ile imalat süresi ve maliyeti gereksiz yere arttırabilir. Bu gerilmelerin etkilerini azaltmak için emniyet katsayısının yüksek tutulması maliyetin arttırılması demektir. Bundan dolayı daha konstrüksiyon safhasında gereken önlemler alınmalı ve imalatçı tarafından belirli bir kaynak programına uygun yöntemlerle imalat sırasında alınması gereken önlemler saptanmalıdır. Sorumluların gerekli önlemleri alabilmeleri için şu konulara dikkat etmeleri gerekmektedir.

- Kaynak ısı çevriminin etkileri
- Kaynak hataları ve bunların ömür sürelerine etkileri
- Kaynakla ilgili ısı işlemler
- Kırılma ve bozulma şekilleri
- Kaynak yöntemleri ve uygulama alanları
- Kaynak ilave malzemeleri

Konstrüksiyonun herhangi bir yerindeki zorlamaları hesaplamak ve o noktada yeterli kesit sağlamakla konstrüktörün sorumluluğunun bitmemesi gerekir. Çünkü bu işlem konstrüksiyon kademelerinden sadece birisidir. Konstrüksiyon çalışmaları sırasında kaynak işleminde ve imalatın diğer kademelerinde meydana gelecek metalurjik değişiklikler ve bunların mekanik özelliklere olan etkileri gözden uzak tutulmamalıdır. Kaynak yöntemleri ve bunların sağladığı olanaklar iyi incelenmelidir. İmalat yöntemi konstrüksiyonun çalışma ömrünü etkileyecekse kaynaklı imalatın nasıl yapılacağını belirten kaynak programları projeye eklenmelidir. Hiçbir zaman kaynak yöntemi ve usul seçimi fabrika veya atölye personeline bırakılmamalıdır. Bu arada izin verilebilecek şekil bozuklukları ve bunların nasıl kontrol edileceği de konstrüksiyon aşamasında iyice incelenmelidir. Ayrıca kaynak kusurlarına ne ölçüde müsaade edilebileceği ve gerekli asgari kalitenin ne olacağı da iyice incelenmeli ve gereksiz yere imalat olanakları zorlanmamalıdır. Bunların yanında eldeki kalite kontrol olanakları ile hataların ne ölçüde tespit edilebileceği de gözden uzak tutulmamalı konstrüksiyon sırasında bu olanaklara göre tedbir alınmalıdır. Sonuç olarak imalat sırasında ve sonrasında uygulanacak olan tedbirlerle ve uygulanması gereken yeni

kalite güvence sistemleri ile gerekli koşulları sağlayan imalatlar daha düşük maliyet ile sağlanacaktır.

Bu sebeplerden dolayı yapılan çalışmada öncelikle kaynak metalurjisi hakkında bilgi verilmiş, kaynak bölgesinde ortaya çıkan ısıl gerilmeler ve bu gerilmelerin neden olduğu şekil bozuklukları üzerinde durulmuştur. Kaynak işleminde oluşabilecek şekil bozukluklarının önceden tahmini, önceden önlem almak bakımından çok önemlidir. Son yıllarda özellikle sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak geliştirilen modellemelerin amacı da özellikle kompleks yapılarda oluşabilecek deformasyonları önceden tespit ederek atölye personelini uyarmak, buna göre önlem almaktır. Pekçok yazarın da belirttiği gibi bu çalışmalarda tek amaç sanayide uygulanabilirliği sağlamaktır. Kaynak işleminde oluşan şekil bozukluklarının ana nedeni ısıl gerilmeler olduğundan dolayı kaynağın ısıl işlemine ayrı bir önem verilmiş, kaynak öncesi, kaynak sırası ve kaynak sonrasında yapılan ısıl işlemler açıklanmıştır. Oluşabilecek şekil bozukluklarının önlenmesinde en önemli yöntem kaynak planlarının doğru ve kaynak tekniğine uygun olarak hazırlanmasıdır. Bu konuda da örnekler verilmiştir. Oluşacak şekil bozukluklarının giderilmesi için alınması gereken önlemler konstrüksiyon aşamasında ve imalat sırasında olmak üzere incelenmiştir. Alınan tüm önlemlere rağmen oluşan şekil bozukluklarının giderilmesi için uygulanan ısıl ve mekanik düzeltme yöntemleri açıklanmıştır.

Çalışmanın uygulama bölümünde gerçekleştirilen TIG kaynağında ve ergimeyen elektrod ile ilave malzeme arasında ark oluşturarak yapılan kaynaklara ait veriler Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de belirtilmiştir. Şekil bozuklukları miktarları incelenecek olursa TIG kaynağının ergimeyen elektrodla ilave malzeme arasında oluşturulan ark ile yapılan kaynak yöntemine göre daha başarılı olduğu görülecektir. Ekler kısmındaki fotoğraflar incelendiğinde kaynak dikişleri yönünden de TIG kaynağının daha başarılı olduğu saptanmıştır. Ergimeyen elektrodla ilave malzeme arasında oluşturulan ark vasıtasıyla yapılan kaynakta karşılaşılan en büyük problem arkın sürekliliğinin sağlanamamasıydı. Bu da ilave malzemenin otomatik bir yöntemle beslenmemesinden kaynaklanıyordu. Her ne kadar ergimeyen elektrod otomatik ilerleme makinasıyla sabit hızda hareket ediyor olsa da malzeme elle beslendiğinden arkta kesilmeler meydana gelmiştir. Bu kesilmelerden dolayı da kaynak yüzeyinde ve dikişinde bozukluklar oluşmuştur. Bu kaynak yöntemini uygulamaya çalışmadaki amacımız, TIG kaynağı araç ve gereçlerine sahip bir atölyede bu araçları kullanarak farklı bir yöntem üzerinde çalışmak ve şekil bozukluklarının ana sebeplerinden

olan ısısal gerilmeleri minimize etmektir. Kaynak sırasında parçalar istenildiği şekilde fazla ısıtılmadan kaynak tamamlandı. Kaynak işleminin aynı zamanda kısmi bir döküm işlemi olduğunu da göz önüne alırsak, parçada yeteri kadar ısınmanın bu işlemin ana şartı olduğunu da gözardı etmeden kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın en faydalı yanı, bu yöntemde çeşitli teknik aksaklıklara ve yetersizliklere rağmen TIG kaynağına yakın sonuçlara ulaşılmıştır. Bu konu üzerine daha sonra yapılacak araştırma ve çalışmalarda bilhassa ilave malzemenin otomatik olarak beslenmesine önem verilmesi, koruyucu gazın ilave malzeme üzerinden de arka yardımcı olmasının sağlanması bu yöntemi daha da başarılı kılacaktır.

Uygulama bölümünde yapılan endüstri çalışmalarında özellikle Remas firmasında yapılan çalışmada kaynak sıralarının oluşturulmasının imalatta istenilen kalite değerlerine ulaşılmasını sağladığı gözlenmiştir. Tekfen İmalat ve Mühendislikte yapılan çalışmada amaç gerilim giderme tavlama uygulamasının uygulamasını incelemektir. Fakat incelenen örnekte karşılaşılan şekil bozukluğu ve bu şekil bozukluğu nedeniyle yapılan düzeltme çalışmalarının işletmeye getirdiği ek maliyetler dikkat çekici idi. Gözlenen en büyük eksiklik herhangi bir kaynak planı oluşturmadan imalata başlanmasıdır. Kaynakta tecrübe mutlaka çok önemlidir. Fakat bilimsel çalışmalarında sağladığı faydalardan mutlaka yararlanılmalıdır. Aksi halde pres ana şasesinde yaşanan problemlerle çok sık karşılaşılır. İkinci imalatta kullanılan takviyeler %25 oranında şekil bozukluğunu engellemiştir. Bu da parça için önemli bir gelişmedir.

Yapılan bu çalışmaların sonunda kaynak işleminin basit bir ergitip soğutma işlemi olmadığı gerçeğine bir kez daha ulaşılmıştır. Kaynak sonrası oluşabilecek gerilme ve şekil bozukluklarının önceden tahmini mutlaka yapılmalıdır. Bu yönde bilgisayar destekli modellemelere öncelik verilerek yeni metotlar geliştirme ve bu metotların kullanım sahalarının yaygınlaştırılması gereklidir. Isısal gerilmeleri sınırlayacak, parçanın ısınmasını kontrol edebilecek kaynak yöntemleri üzerinde mutlaka durulmalı, bilgisayar destekli modellemelerde olduğu gibi bu geliştirilecek metotların endüstride kolayca uygulanabilirliği için çalışmalar yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Adsan, K., (1976), Kaynak Teknolojisi, Yüksek Teknik Öğretmenlik Okulu Matbaası, Ankara.
- Allen, J., (2000), TWI Job Knowledge For Welders, [www.twi.co.uk](http://www.twi.co.uk).
- Andrews, R.,(2000), TWI Job Knowledge For Welders, [www.twi.co.uk](http://www.twi.co.uk).
- Anık, S., (1969), Kaynak Tekniği 1, Teknik Üniversite Yayınları, İstanbul.
- Anık, S., Tülbentçi, K., (1966), Kaynak Metalurjisi, Teknik Üniversite Yayınları, İstanbul.
- Anık, S., Tülbentçi, K., (1987), Ark Kaynakçısının El Kitabı, Böhler Elektrodları ve Kaynak Çubukları, İstanbul.
- Anık, S., Vural, M., (1996), Gazaltı Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Anık, S., Vural, M., (2001), Kaynak Teknolojisi Kurs Notları, Ford Otosan, İstanbul.
- Bachorski, A., Painter, M.J., (1999), Residual Stress and Distortion, [www.adl.dmt.csiro.au](http://www.adl.dmt.csiro.au).
- Bachorski, A., Painter, M.J., (1999), Finite Element Prediction of Distortion During Gas Metal Arc Welding Using The Shrinkage Volume Approach, Journal of Materials Processing Technology, 92-93:405-409.
- Birgi, M., (1967), Büzülmeler ve Büzülme Gerilmeleri, Teknik Üniversite Yayınları, İstanbul.
- Blodgett, W., (1990), Design Of Welding Structures, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, Ohio.
- Brown, S., Song, H., (1992), Finite Element Simulation of Welding of Large Structures, Journal of Engineering for Industry, 114:441-451.
- Çırak, H., (1989), Kaynak Dikişinde Gerilme ve Büzülmeler, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çimen, S., Aydın, S., (2001), Kaynak Formunun Gerilme Dağılımına Etkisinin İncelenmesi, Kaynak Teknolojisi 3. Ulusal Kongresi, 19-20 Ekim 2001, İstanbul.
- Doğan, M., (1979), Kaynakta Isı Etkisi Altında Kalan Bölgede Farklı Isınmanın Meydana Getirdiği Biçim Değişimleri ve Isıl Gerilmelerin Tetkiki ve Önleme Çareleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi, İstanbul.
- Gölcü, R., (1989), Kaynaklı Yapıların Dizayn Esaslarının Tetkiki, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Guan, Q., Guo, D.L., (1994), Low Stress Non Distortion Welding a New Technique for Thin Materials, Welding International, 8:41-47.

Güleç, Ş., (1967), Kaynak Bağlantılarının Metalurjisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.

Gültekin, N., (1991), Kaynak Tekniği, Engin Matbaası, İstanbul.

Irving, B., (1999), Why Heat Treating is Crucial in Welded Fabrication, Welding Journal, Feb 1999:45-51

Karadeniz, H., (1978), Kaynak İşlemi Sonucu Oluşan Isıl Gerilmeler ve Bunların Doğurduğu Şekil bozukluklarının İncelenmesi ve Giderilme Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Üniversitesi, İstanbul.

Karahasanoğlu, C., Altınok, B., (2001) Kaynak İşleminde Kullanılan İlave Donatımlar, Kaynak Teknolojisi 3. Ulusal Kongresi, 19-20 Ekim 2001, İstanbul.

Leggatt, R., (2000), TWI Job Knowledge For Welders, [www.twi.co.uk](http://www.twi.co.uk).

Mathers, G., (2000), TWI Job Knowledge For Welders, [www.twi.co.uk](http://www.twi.co.uk).

Michaleris, M., (1997), Computer Aided Simulation of Welding Distortion in Advanced Materials, [www.me.psu.edu](http://www.me.psu.edu).

Oğuz, B., (1986), Ark Kaynağı, Oerlikon Kaynak Elektrodları, İstanbul.

Smith, D., (1989), Welding Skills And Technology, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, Ohio.

Stinchcomb, C., (1989), Welding Technology Today Principals And Practices, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, Ohio.

Topbaş, M., (1985), Kaynağın Isıl İşlemi, Lisans Üstü Kaynak Tekniği Yaz Okulu Ders Notları, İstanbul.

Tsai, C.L., (1999), Welding Distortion of a Thin Plate Panel Structure, Welding Research Supplement, May 1999:156-165.

Tülbentçi, K., (1998), Gazaltı Kaynak Yöntemi, Arcotech Yayınları, İstanbul.

Verhaegle, G., Leggatt, R., (2000), TWI Job Knowledge For Welders, [www.twi.co.uk](http://www.twi.co.uk).

EK 1 2.4 mm İlave Malzeme Teknik Sertifikası

Certificato di Analisi - Bescheinigung - Analysis Certificate



Bescheinigung	12235
Works Certificate Number	20/12/99
Dated	4587
Reference Number	

GA2100	GAZ-ARK KAYNAK MALZEMELERİ	TR
	HIRDAVATÇILAR CARŞISI 66 8000	
	KARAKOY İSTANBUL	

Werkzeugnis - Work Certificate - EN 10204 - 3.1.B

Chemical Analysis

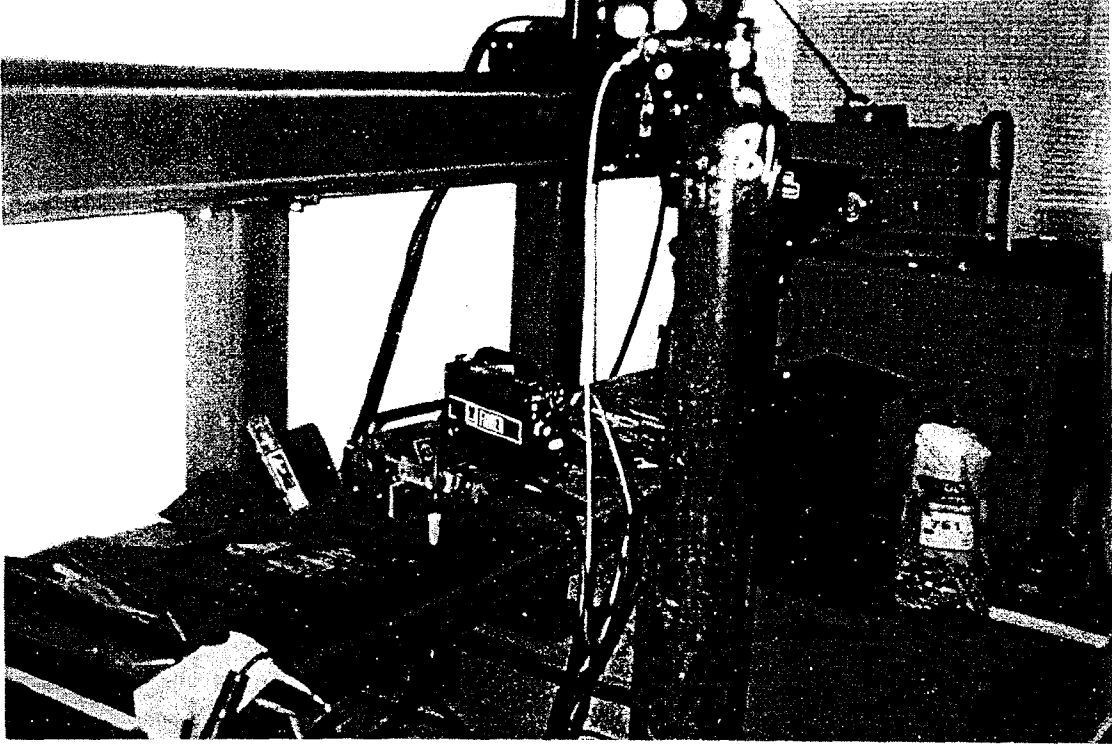
Heat	Grade	Ø mm	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cu	% Cr	% Mo	% Ni	% V	% W	% Ti	% Al	% Zr	% Sn	% Nb	% As	% Sb	ppm N	ppm O
952 12	C2M	R 2,40	0,064	0,570	1,070	0,007	0,005	0,220	2,390	1,010	0,050	0,004						0,006	0,003	0,003	60	
897 12	C5M	R 2,40	0,082	0,430	0,460	0,004	0,008	0,210	5,720	0,580	0,090	0,005			0,010		0,008	0,002	0,003	0,003	60	
952 12	C2M	R 2,00	0,064	0,570	1,070	0,007	0,005	0,230	2,390	1,010	0,050	0,004						0,006	0,003	0,003	60	
1005 12	MAK10	R 2,40	0,071	0,860	1,400	0,015	0,010	0,180	0,040	0,020	0,030	0,005			0,006		0,004		0,002		75	59
1020 12	MO	R 2,00	0,082	0,650	1,080	0,009	0,010	0,220	0,050	0,560	0,040	0,003			0,003		0,006		0,002		70	67
1020 12	MO	R 2,40	0,082	0,650	1,080	0,009	0,010	0,210	0,050	0,520	0,040	0,003			0,003		0,006		0,002		70	67
958 12	T1	R 2,40	0,080	0,680	1,370	0,011	0,013	0,220	0,560	0,230	0,540	0,003			0,002	0,008	0,007	0,002	0,003	0,000	70	
865 12	MO	R 1,20	0,083	0,630	1,030	0,009	0,010	0,180	0,040	0,490	0,050	0,004			0,003	0,006	0,007	0,006	0,003			

Heat	Grade	Ø mm	Kg	Date	Order
952 12	C2M	R 2,40			
897 12	C5M	R 2,40			
952 12	C2M	R 2,00			
1005 12	MAK10	R 2,40			
1020 12	MO	R 2,00			
1020 12	MO	R 2,40			
958 12	T1	R 2,40			
865 12	MO	R 1,20			

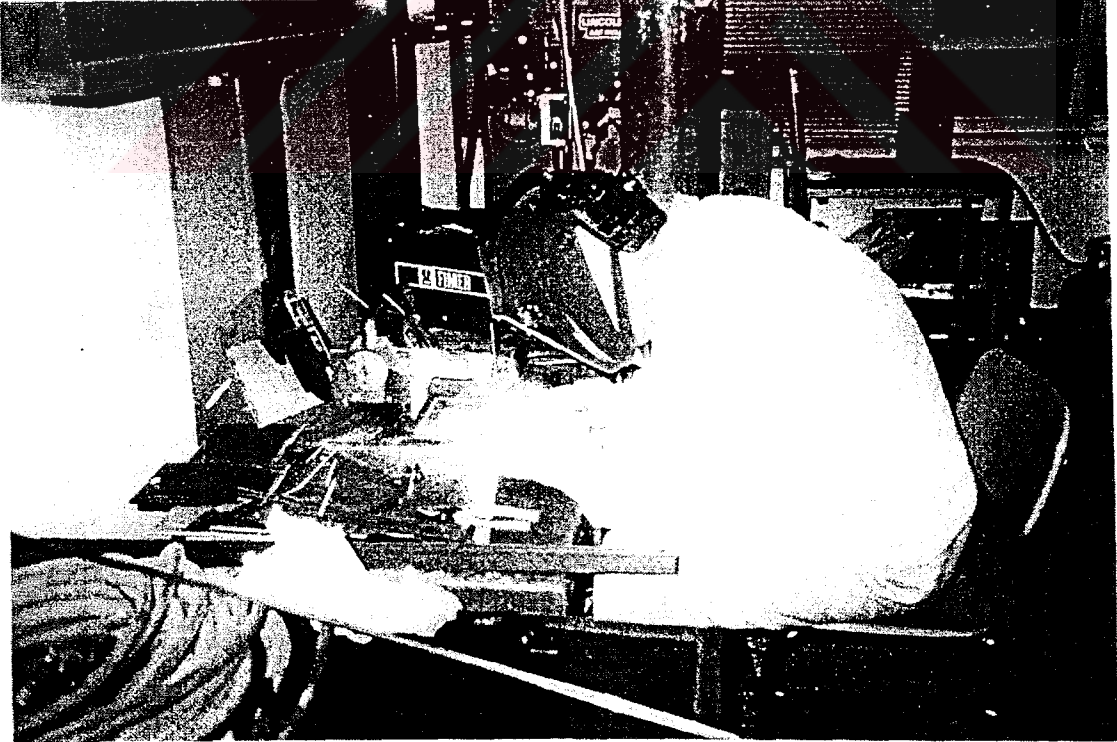
Surveyor



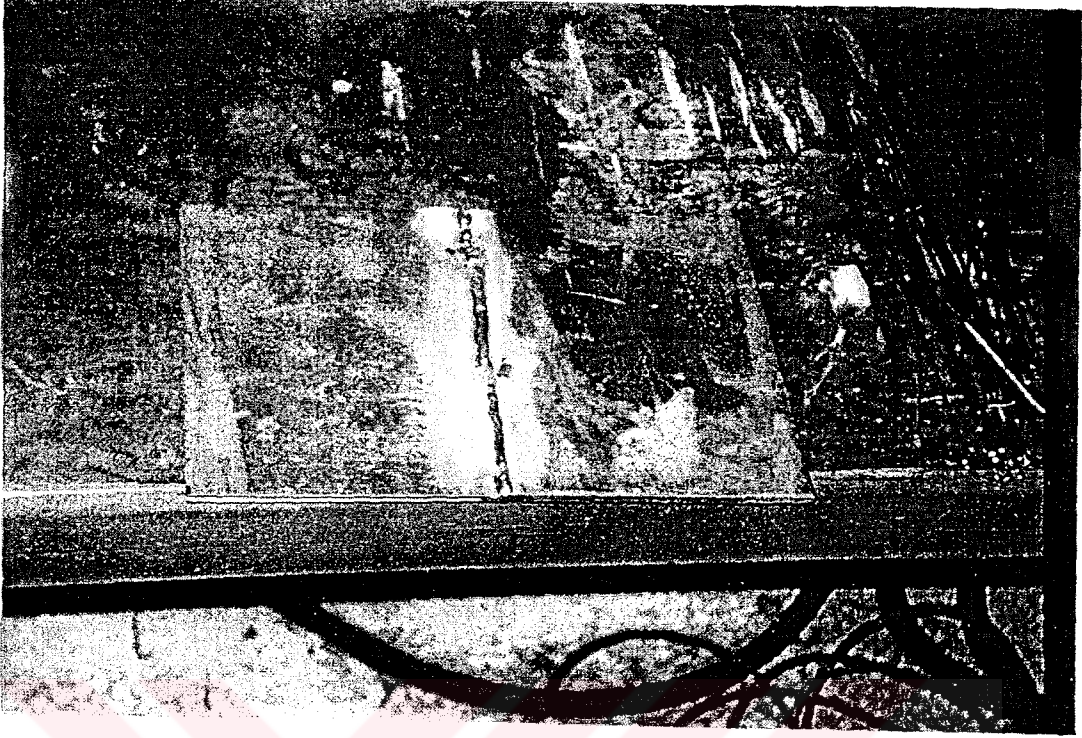
Quality Control Dept



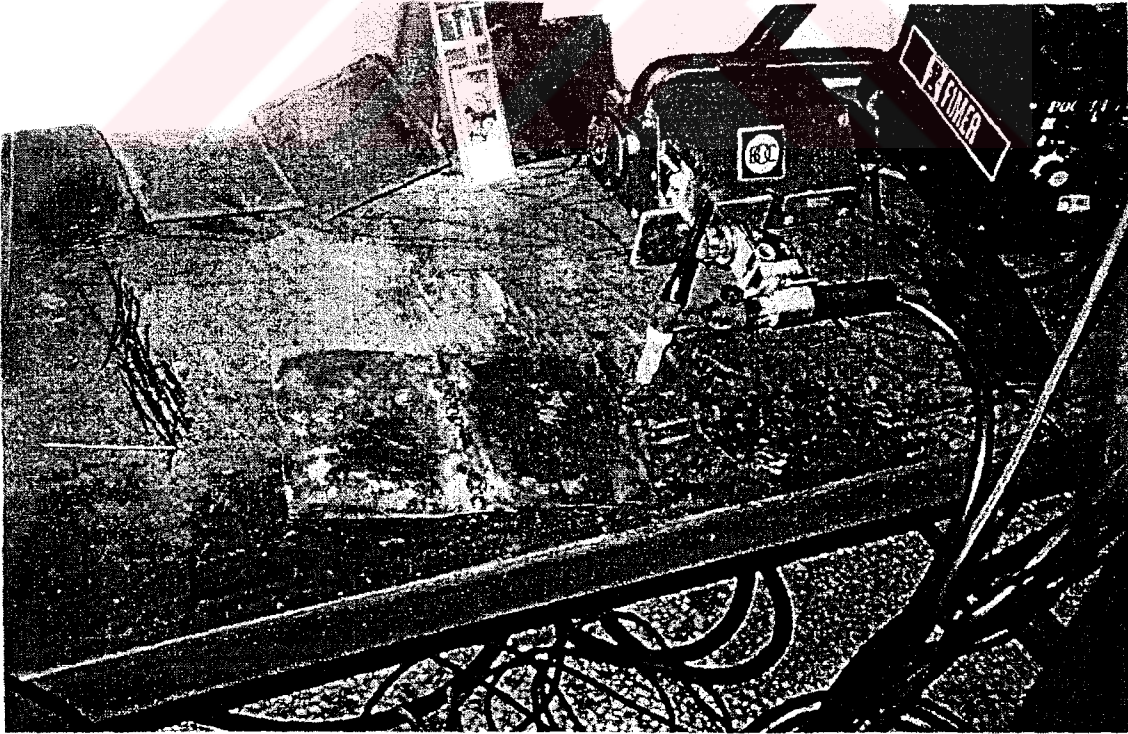
Atölye Düzeni



TIG Kaynağı

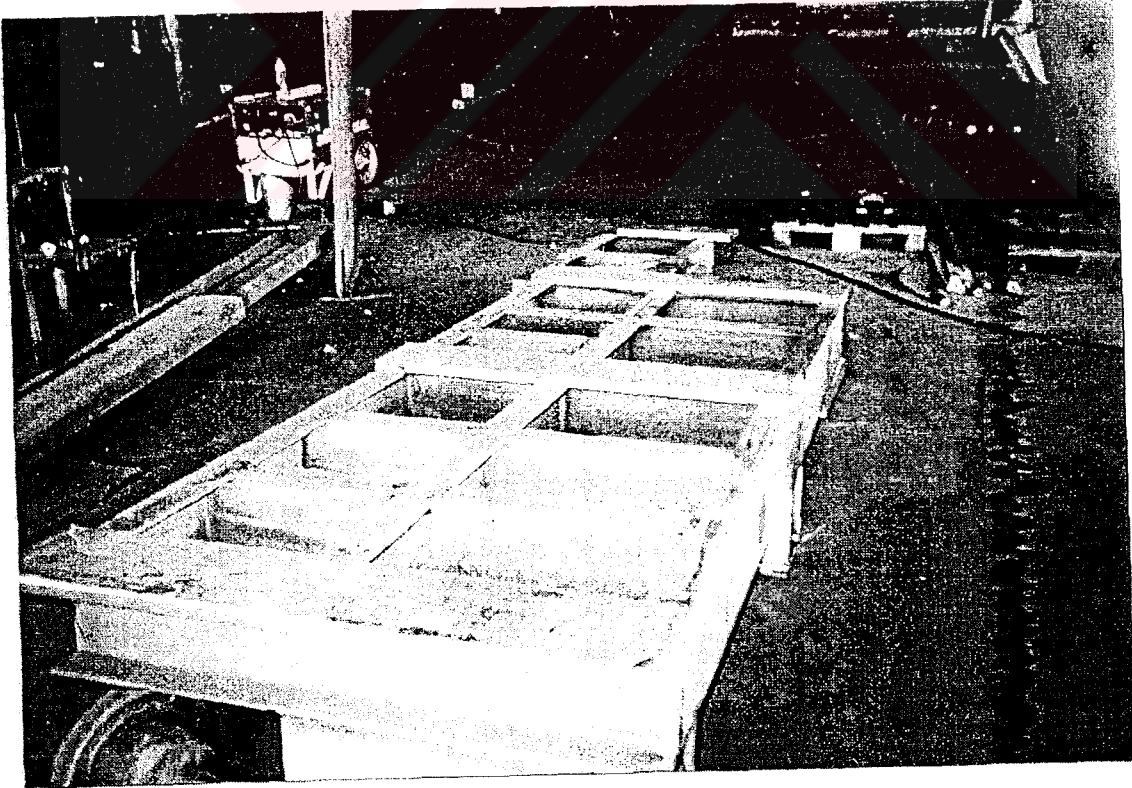
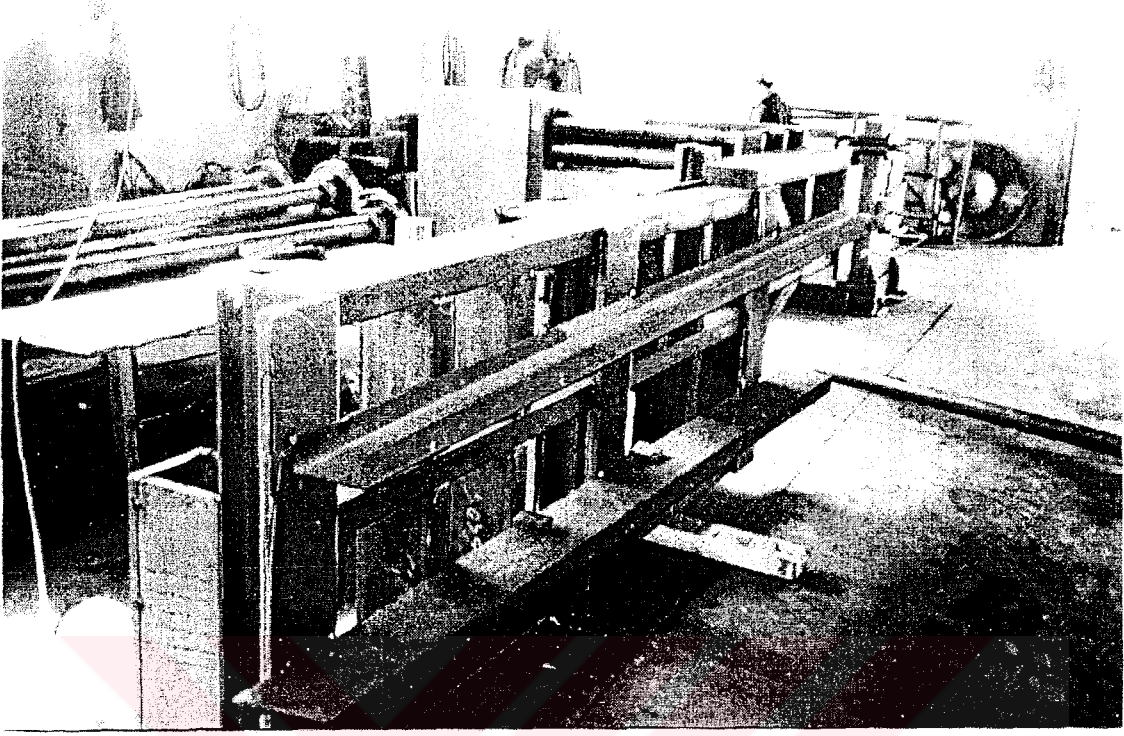


5mm'lik Saçların TIG Kaynağı ile Birleştirilmesi

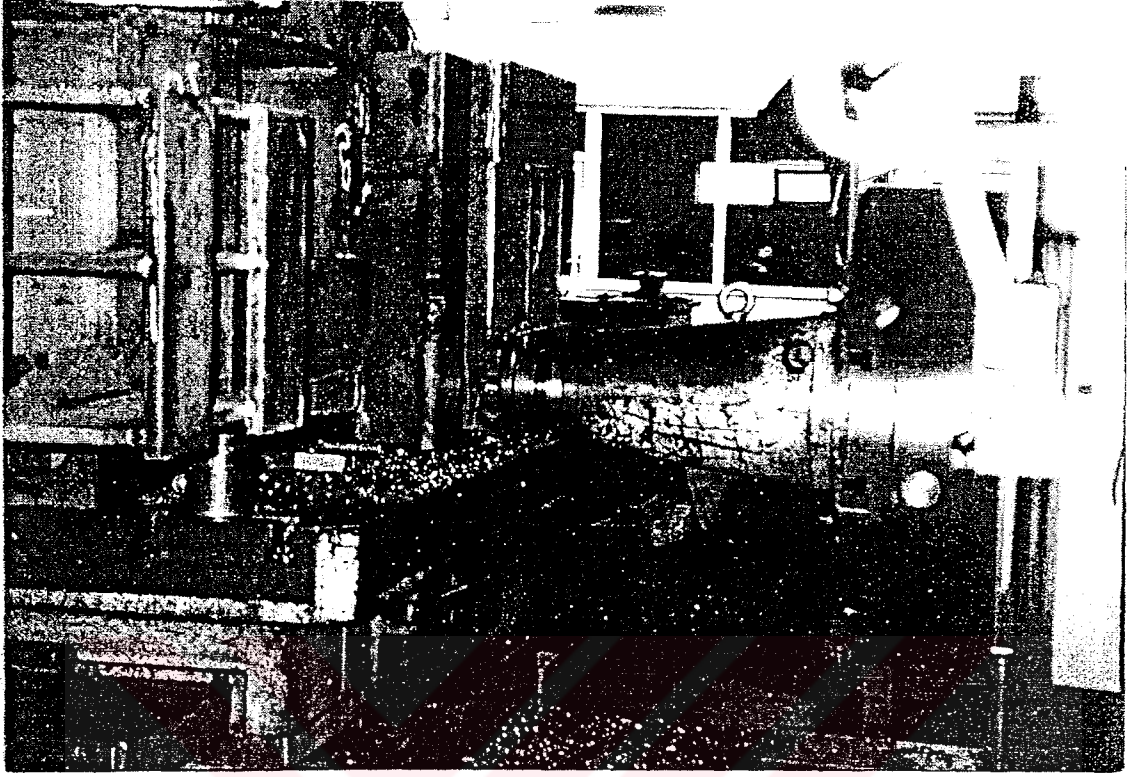


1 mm'lik Saçların Ergimeyen Elektrod ile İlave Malzeme Arasında Ark Oluşturularak Yapılan Kaynak İşlemi





Remas A.Ş'de üretilen U şase profile ait fotoğraflar

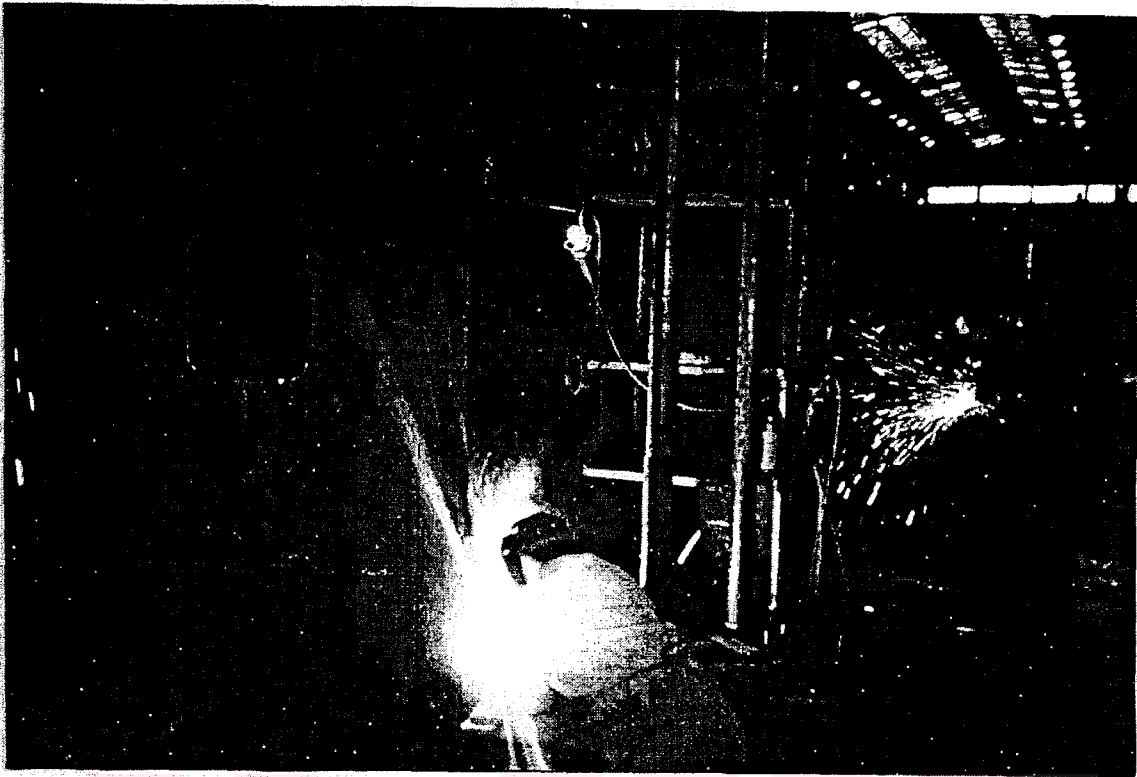


U şase profilin talaşlı imalat aşaması

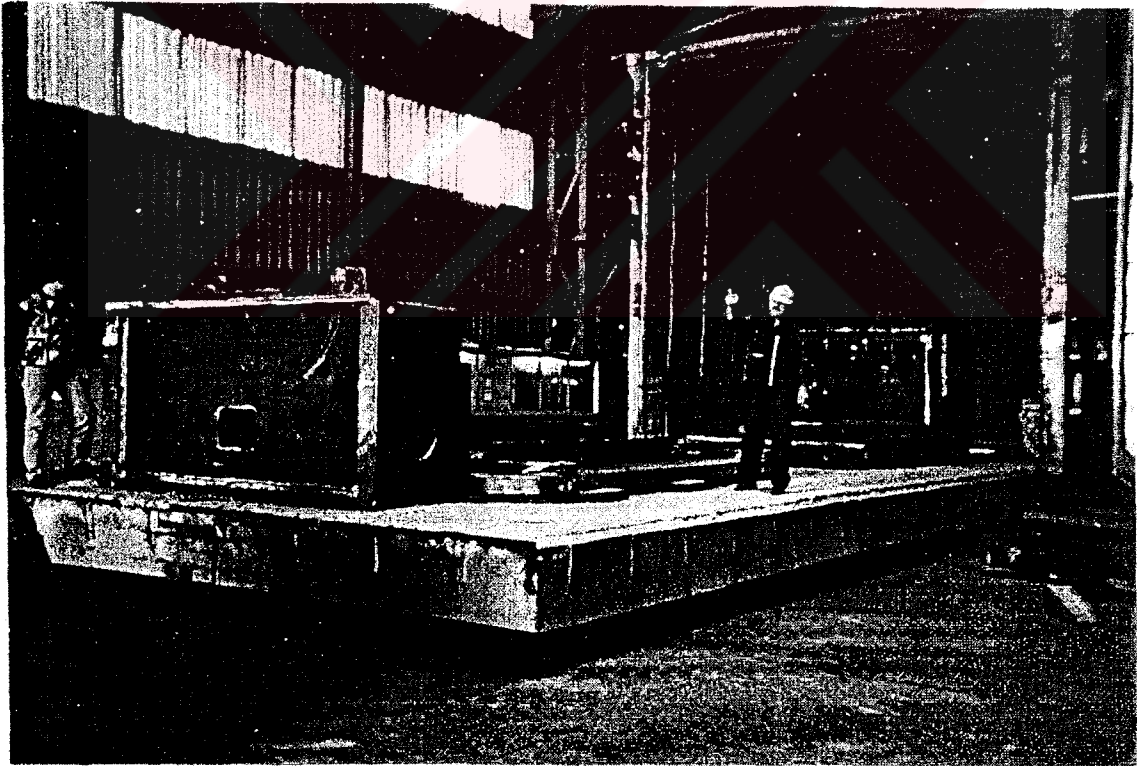
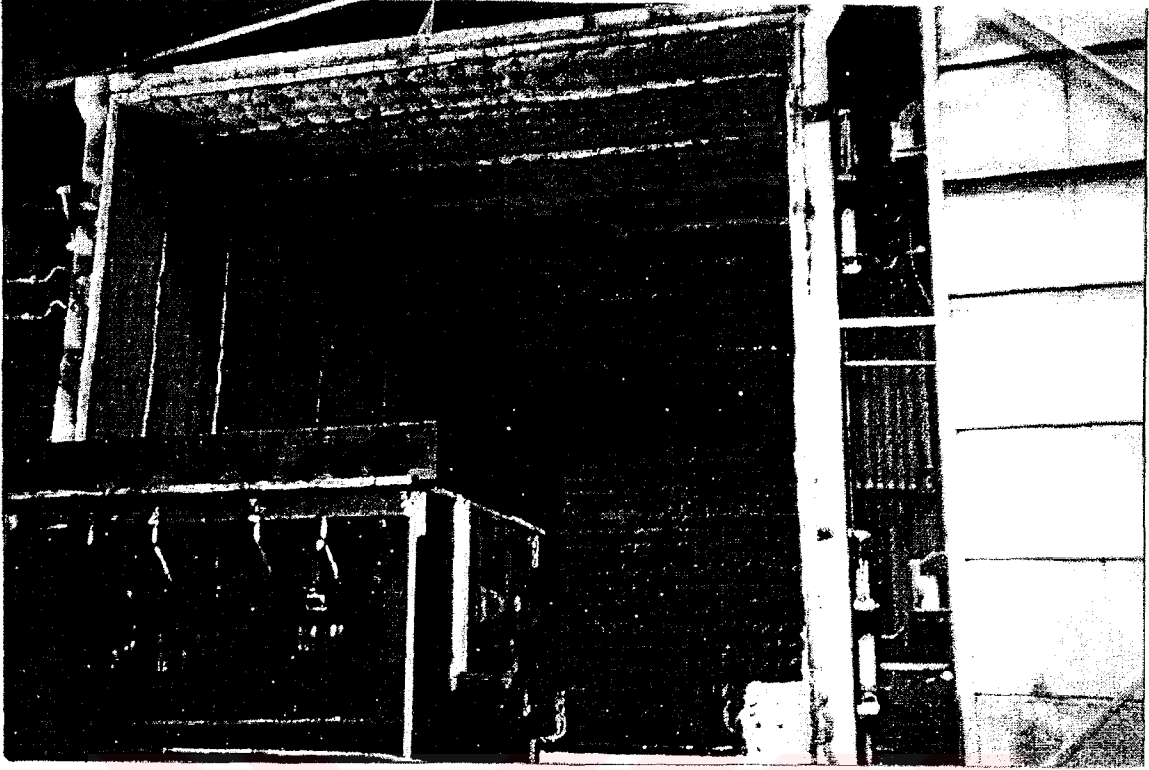
## Ek 4 Tekfen İmalat ve Mühendislikte Yapılan Uygulama Çalışmaları

TEKFEN İMALAT VE MÜHENDİSLİK A.Ş.		ISIL İŞLEM İŞ EMRİ HEAT TREATMENT WORK ORDER			İş Emri / WORK ORDER NO. 589-595-03			
REV. :								
Tarih/DATE : 28.09.1998								
Sayfa/PAGE : 1 / 2								
Isıl İşlemin Tipi / TYPE OF HEAT TREATMENT : Gerilim Giderme / POSTWELD HEAT TREATMENT								
Isıl İşlem fırında yapılacaktır / HEAT TREATMENT WILL BE PERFORMED IN FURNACE								
Termocouple		Yerli/LOCATION : TOP/MIDDLE/BOTTOM		Tipi/TYPE : K (NiCr-Ni)		Sayısı/QTY : 12		
THERMOCOUPLE		Bağlama Yöntemi/METHOD OF ATTACHMENT : Punta/TACKWELD		WPS NO. : -----				
Kod-Standard/CODE-STANDARD :								
Prosedür/PROCEDURE :								
NO	İş JOB NO.	Ekipman ITEM NO.	İşin Adı JOB NAME	Müşteri CUSTOMER	Parça PART	Adet QTY.	MAX. Kalınlık THICK. (mm)	Malzeme MATERIAL
1	589	---	950-65 1/2 PLATEN PRES	UZER MAKİNA	ANA ŞASE	1	---	ERD 3015
2	589	---	950-65 1/2 PLATEN PRES	UZER MAKİNA	YAN KOL	2	---	ERD 3015
3	589	---	950-65 1/2 PLATEN PRES	UZER MAKİNA	ÜST OMUZ	2	---	ERD 3015
4	589	---	950-65 1/2 PLATEN PRES	UZER MAKİNA	ÜST OMUZ	1	---	ERD 3015
5	---	---	MUHTELİF KAYNAKLI PARÇA	UZER MAKİNA	YATAĞI	3	---	---
Şarj Rejimi CHARGE REGIME		Birim UNIT	Kod Sınırları CODE LIMITS		Uygulanacak Şarj Değerleri CHARGE DATA TO BE APPLIED			
Başlangıç Isısı INITIAL TEMPERATURE		* C	MAXIMUM 300		MAXIMUM 300			
Isıtma Hızı HEATING RATE		* C/Saat	Serbest FREE		Serbest FREE			
300 °C'e kadar BELOVE 300 °C		* C/HOUR	180 °C/HOUR PER INCH ( MAXIMUM 180 °C/HOUR )		MAXIMUM 200			
300 °C'nin üzerinde ABOVE 300 °C		* C/HOUR	MINIMUM 530		MINIMUM 560			
Bekleme Sıcaklığı DWELL TEMPERATURE		* C	MAXIMUM 580		MAXIMUM 600			
Bekleme Süresi DWELL TIME		Dakika MINUTES	MINIMUM 2 Dak.MIN./MM		MINIMUM 90			
Soğuma Hızı COOLING RATE		* C/Saat	Durgun havada serbest soğuma FREE IN STILL AIR		MAXIMUM 250			
300 °C'nin altında BELOVE 300 °C		* C/HOUR	Durgun havada serbest soğuma FREE IN STILL AIR		Durgun havada serbest soğuma FREE IN STILL AIR			
300 °C'nin altında BELOVE 300 °C		* C/HOUR	Durgun havada serbest soğuma FREE IN STILL AIR		Durgun havada serbest soğuma FREE IN STILL AIR			
<p>Bu grafik sadece bilgi içindir THIS CHART IS FOR INFORMATION ONLY</p>								
TEKFEN			Otorite/AUTHORITY		Müşteri/CUSTOMER			
Hazırlayan PREPARED BY		Onay / APPROVAL						
KSM/BA Manager		FMD/AC Manager						
Isıl İşlem yukarıdaki şartlarda yapılmıştır. / HEAT TREATMENT HAS BEEN PERFORMED IN ABOVE CONDITIONS.								
Şarj No./CHARGE NO. : 98/167			Şarj tarihi/CHARGE DATE :					
Başlangıç zamanı/STARTED AT : 0900			Bakım Departmanı / MAINTENANCE DEPARTMENT					
Bitiş zamanı/COMPLETED AT : 1330			Adı/NAME : MEVLİTAH KANARCI					
Harcanan LPG miktarı/LPG CONS. : 800 kg			Tarih/DATE : 30/09/1998					
Grafik Hızı/CHART SPEED : 300/12			İmza/SIGNATURE					

Isıl İşlem İş Emri



Pres ana şasesine ait fotografiar



Gerilim giderme fırınına ait fotoğraflar







Kaynak Elektrodları ve Telleri San. A.Ş. | Welding Electrodes and Wires Industry Inc.

Merkez: Okçumusa Caddesi Tezgü İş Hanı No:2 Kat:6 80020 Şişhane-İSTANBUL / TÜRKİYE Tel: (0 212) 253 05 01 Fax: (0 212) 253 05 88  
Fabrika: Öksüzce Çiftliği 59500 Veliköy-ÇERKEZKOY/TÜRKİYE Tel: (0 282) 674 41 06 Fax: (02 82) 674 41 11/17

## SERTİFİKA / CERTIFICATE

EN 10204-2.2/3.1.B

MÜŞTERİ / PURCHASER	TEKERSAN A.Ş.
ÜRÜN ADI / BRAND NAME	SG2
STANDARTI / SPECIFICATION	AWS A5.18 : ER 70 S-6 EN 440 : G3 S11 DIN 8559 : SG2 TS 5618 : SG2
BOYUTLARI / SIZE (mm)	Ø 1.20
PARTİ NUMARASI / BATCH NUMBER	1877472

### TEST ŞARTLARI / TEST PARAMETERS

AKIM TİPİ TYPE OF CURRENT	AKIM ŞİDDETİ (A) WELDING CURRENT	ARK GERİLİMİ (V) ARC VOLTAGE	KORUYUCU GAZ SHIELDING GAS	ÖN FAY (°C) PREHEAT TEMP.	PASOLAARASI SICAKLIK (°C) INTERPASS TEMP.
DC (+)	240	30	CO <sub>2</sub>	-	150

### KİMYASAL ANALİZ / CHEMICAL COMPOSITION OF WIRE

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
0.065	0.85	1.49	0.009	0.010	-	-	-	0.14

### MEKANİK ÖZELLİKLER / MECHANICAL PROPERTIES


AKMA YIELD (N/mm <sup>2</sup> )	ÇEKME TENSİLE (N/mm <sup>2</sup> )	UZAMA ELONG. (%)	KESİT DAR. RED. OF AREA (%)	DARBE DAYANIMI ISO V		SERTLİK HARDNESS
440	555	30	-	-30°C	77 J	-

### AÇIKLAMALAR / REMARKS

TARİH / DATE	ONAY / APPROVED BY
May 29, 2001	HICRAN ONAR KALİTE GÜVENÇE MÜDÜRÜ

10.3-F5 rev.1

SG2 Kaynak teli sertifikası

		<b>MALZEME MUAYENE RAPORU</b>		Rapor No : 01 / 0071
		<b>KORUYUCU KAYNAK GAZI</b>		Tarih : 09 / 11 / 2001
İmalatçı :	<b>BOS</b>		M.G.F. No :	01172
Malzemenin Tanımı :	<b>Argoshield 5 (MTP)</b>		Miktar :	4 Set.
Parti No :	9090048 - 9091017 - 9001539 - 9097158			

## Ölçüm - Kontrol Sonuçları

Karakteristik	Spesifikasyon	Kullanılan Teçhizat	Numune 1	2	3	4	5	6	7	8
1 % Argon	min 92.5 max 93.5	Sertifika Değeri	93.3	93.2	93.4	93.3				
2 % Karbondioksit	min 4.5 max 5.5	Sertifika Değeri	4.7	4.8	4.6	4.6				
3 % Oksijen	min 1.8 max 2.2	Sertifika Değeri	2.0	2.0	2.0	2.0				
6 Net Ağırlık		Kg	1500	1500	1500	1500				
7 Vana Kaçağı Kontrolü	Olmamalı	Ses Kontrolü	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN				
8 Tanıtım Etiketleri	Okunaklı olmalı	Göz Kontrolü	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN				
9 Ambalaj		Göz Kontrolü	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN				

## Karar

 Kabul Şartlı Kabul Red

## Açıklamalar


HAZIRLAYAN

İsmail GÜLEÇ



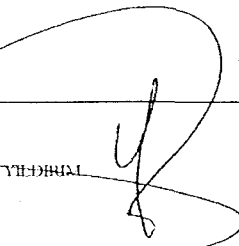
KONTROL

Sevgi TOPRAK



ONAY

Sami YILDIZ



Tekersan Jant Sanayi A.Ş. TJ.60.FOR.0225.1

Dağıtım :

 Planlama / Stk. Dış Tic. İlg. Stk.

Koruyucu gaz muayene raporu

**BOS**

341-F002	Rev:0	12.10.1999
----------	-------	------------

**ANALİZ SERTİFİKASI**

Dolum Tarihi - Saati : 07/11/2001 - 11:01  
Tüp No : 9001539

	Min	Mak	Ölçülen
Oksijen	% 1.8	2.2	2.0
Azot	% 0.05	0.2	0.05
Argon	% 92.5	93.5	93.35
KarbonDioksit	% 4.5	5.5	4.6
Nem	ppm 0.0	5.0	2.0

**BOS**

341-F002	Rev:0	12.10.1999
----------	-------	------------

**ANALİZ SERTİFİKASI**

Dolum Tarihi - Saati : 07/11/2001 - 16:20  
Tüp No : 9091017

	Min	Mak	Ölçülen
Oksijen	% 1.8	2.2	2.0
Azot	% 0.05	0.2	0.05
Argon	% 92.5	93.5	93.15
KarbonDioksit	% 4.5	5.5	4.8
Nem	ppm 0.0	5.0	2.0

**40MCP Argoshield 5 (MTP 15 Tüp)**

Yukarıdaki spesifikasyonlar sağlanmıştır.

YETKİLİ İMZA

Burak AKCORA

**40MCP Argoshield 5 (MTP 15 Tüp)**

Yukarıdaki spesifikasyonlar sağlanmıştır.

YETKİLİ İMZA

Burak AKCORA

**Koruyucu gaz analiz sertifikası**

MALZEME MUAYENE RAPORU		Rulo Saclar		Rapor No	10087		
				Tarih	23.24.02.2001		
İmalatçı	ERDEMİR	Düme İşlemi	Gün-Mer	MGF No	1311-312-315-316		
Malzemenin Tanımı	6,00 ±0,30 x 186 ±1,2			Mikajın	10		
Kalitesi	E 3844			adet rulo =	16740		
				Düzen No	018980		
				kg rulo sac malzeme	3269		
Mekanik Özellikler	Alma Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	Cekme Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	% Uzama	Kesime Testi			
Sarname Değeri	275 min	410 - 560	20 min				
Kalıte Sertifikasındaki Değerler	348,3	451,3	36,0				
Testin Edilen Değerler							
Değerlendirme	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN			
Kimyasal Kompozisyon (%)	C	Mn	S	P	N	As	Nb
Sarname Değeri	0,19 max	1,10 max	—	0,01 max	0,02 max	—	0,02 min
Kalıte Sertifikasındaki Değerler	0,145	0,650	0,022	0,008	0,006	—	0,06
Testin Edilen Değerler							
Değerlendirme	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN
Spesifikasyon	SERTLİK MM (HRB)		MİKROYAP		DANE BOYUTU		MİKRO KIRILIK
Testin Edilen Değer							
Değerlendirme							
Sıra No	Bütün No Eşket No	Tanımlı Eşket ve Eşket Başlıklar	Rulo Ambalajı Uygunluğu	Rulo Ebadı Uygunluğu	Malzeme Yüzeyi Kontrolü	Genetik Ölçümü	
1	10038384000 / 121621	Gerekli Bilgiler Mevcut	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	1 Üçüm	2 Üçüm
2	10038384000 / 121621	Gerekli Bilgiler Mevcut	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	186,2	186,2
3	10038384000 / 121621	Gerekli Bilgiler Mevcut	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	186,3	186,3
4	10038384000 / 121621	Gerekli Bilgiler Mevcut	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	186,4	186,4
5	10038384000 / 121621	Gerekli Bilgiler Mevcut	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	186,5	186,5
6	10038384000 / 121621	Gerekli Bilgiler Mevcut	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	186,6	186,6
7	10038385000 / 121606	Gerekli Bilgiler Mevcut	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	186,7	186,7
8	10038385000 / 121606	Gerekli Bilgiler Mevcut	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	186,8	186,8
9	10038385000 / 121606	Gerekli Bilgiler Mevcut	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	186,9	186,9
10	10038385000 / 121606	Gerekli Bilgiler Mevcut	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	Sarnameye Uygun	187,0	187,0
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
Değerlendirme		Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Min 186,1	Max 186,5
AÇIKLAMALAR					SONUÇ		
1					Kalıte	Sarı Kalite	Red
2					Mekanik Özellikler	X	
3					Kimyasal Kompozisyon	X	
4					Tanımlı Eşket	X	
5					Rulo Ambalajı	X	
6					Rulo Ebadı	X	
7					Malzeme Yüzeyi	X	
8					Genetik	X	
					Sertlik		
					Mikro Yapı		
					Dane Boyutu		
					Mikro Kırık		
					KARAR		
Hazırlayan		Kontrol		Onay			
İsmail GÜLEC		Sevgi UĞUR		Sahih YERİ DİRİM			
Tekersan Jant Sanayi A.Ş. T.J.60.FOR.0202.8				Dağıtım: <input type="checkbox"/> Plantama / Satınalma <input type="checkbox"/>			
				<input type="checkbox"/> Dış Tic. İç Stn. <input type="checkbox"/>			
				<input type="checkbox"/>			

Çember malzemesi muayene raporu



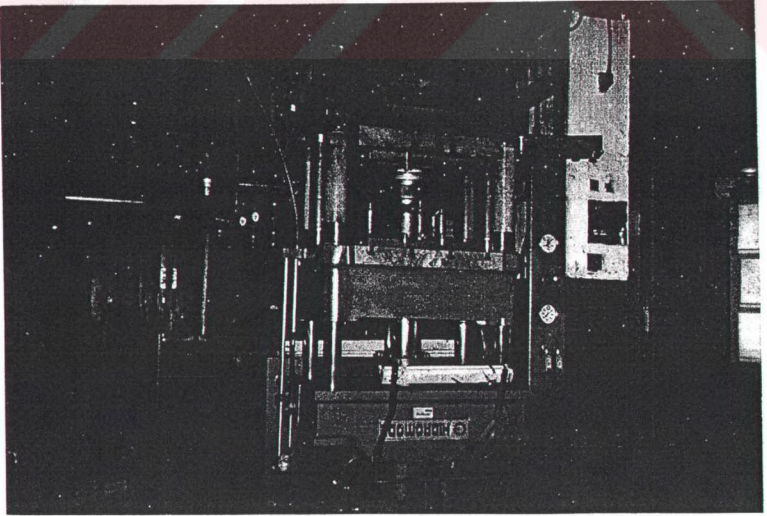
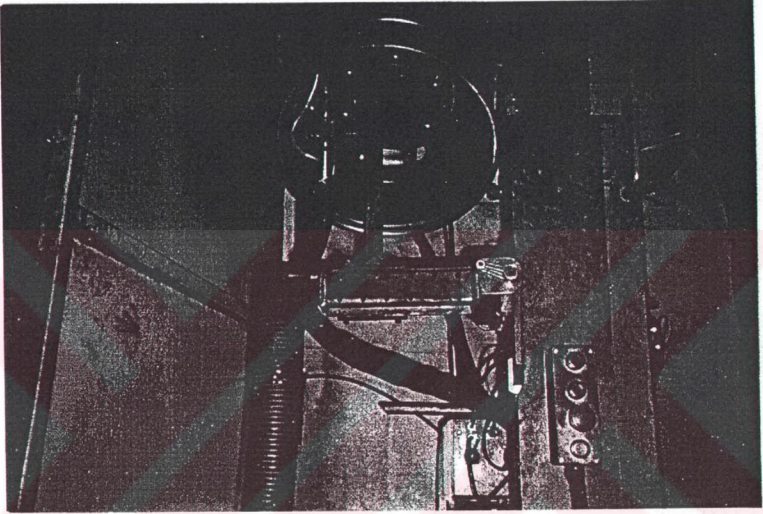
MALZEME MUAYENE RAPORU		Rapor No	10046					
Levha Saclar		Tarih	15.03.2001					
İmalatçı	ERDEMİR	MGF No	356					
Malzemenin Tanımı	9.00x10.35 x 1500x20 x 2150x11	Miktarı	30					
Katitesi	E 3336	PLK KG =	6840					
		Doküman No	015200					
		Sipariş No	13280					
			kg rufo sac malzeme					
<b>Mekanik Özellikler</b>	Akma Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	% Uzama	Katama tesisi				
Sarıma Değeri	225 min	343 - 441	25 min					
Katite Sertifikasındaki Değerler	275,7	400,2	38,0					
Tespit Edilen Değerler								
Değerlendirme	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN				
<b>Kimyasal Kompozisyon (%)</b>	C	Mn	Si	S	P	N	Al	Tb
Sarıma Değeri	0,12 max	0,25 - 0,65	0,10 max	0,02 max	0,02 max	0,008	0,065 max	0
Katite Sertifikasındaki Değerler	0,052	0,504	0,008	0,006	0,008	0,008	0,029	0
Tespit Edilen Değerler								
Değerlendirme	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN	UYGUN
<b>Speifikasyon</b>	SERTLİK MİN (HRB)		MİKROYAPI		DANE BOYUTU			
Tespit Edilen Değer								
Değerlendirme								
Sıra No	Boşluk No Eski No	Tanımlı Etkeli ve Etkeli Bilgiler	Levha Ambajı Uygunluğu	Levha Ebatı Uygunluğu	Malzeme Yüzey Kontrolü	Genişlik Ölçümü	Uzunluk Ölçümü	
1	10030230000000 / 1517547	Genel Bilgiler Mevcut	Sarıma Uygun	Sarıma Uygun	Sarıma Uygun	1610	2151	
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								
Değerlendirme		Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Min: 2151	Max: 2151	
<b>AÇIKLAMALAR</b>					<b>SÖZLÜC</b>			
1					Kontrol	Sarılı Kabul	Red	
2					Mekanik Özellikler	X		
3	Erdemirden OPSAN'a sevki edildi.				Kimyasal Kompozisyon	X		
4					Tanımlı Çelik	X		
5					Malzeme Yüzey	X		
6					Artesiyel	X		
7					Genişlik	X		
8					Uzunluk	X		
					Seramik	X		
					Mikroyapı	X		
					Dane Boyutu	X		
					BAĞIR	X		
Hazırlayan	Smail GÜLEÇ		Kontrol	Sevki UĞUR	Çinay	Sahil YEDİRİM		
Tekersan Jant Çenaya A.Ş. T.J.60 F.0R.0201.3			Dağıtım		<input checked="" type="checkbox"/> Planlama / Satınalma	<input type="checkbox"/>		
					<input type="checkbox"/> Diş Tec. ve Çim	<input type="checkbox"/>		
					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Eregli'den Opsan'a Sevki Edildi. (30 Plk.)  
(İkn. Vurulması İçin Bildirilmesi)

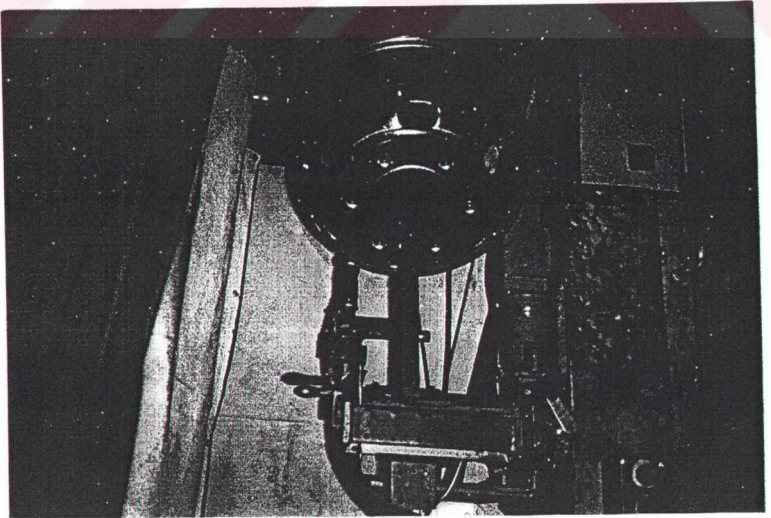
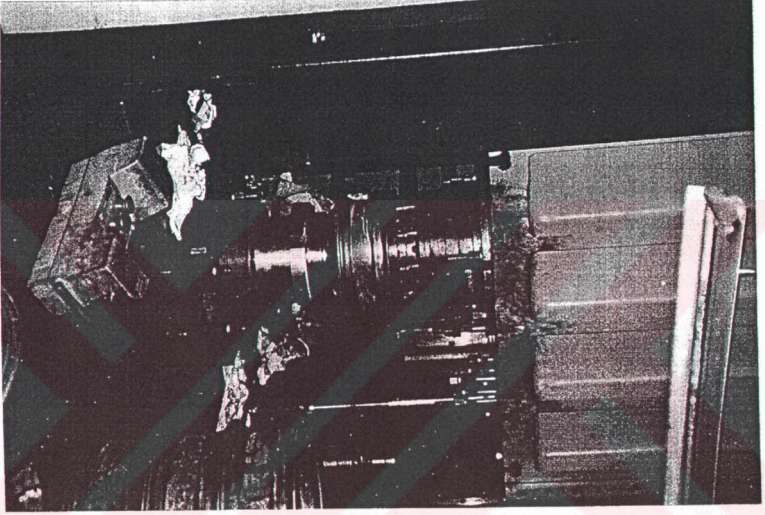
Disk malzemesi muayene raporu



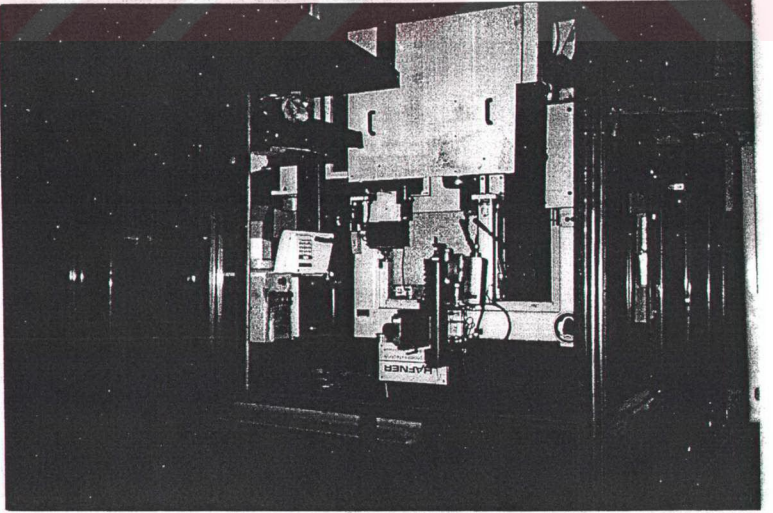
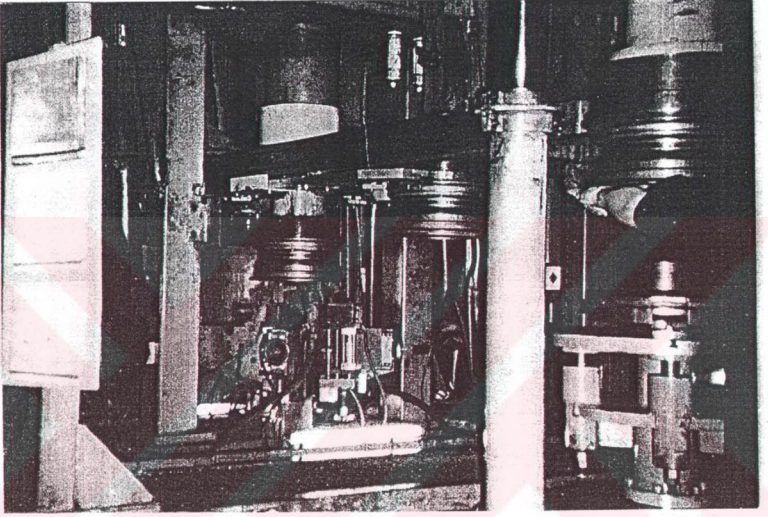
Sag jant punta fıksütu ve otomatik iç kaynak makınası



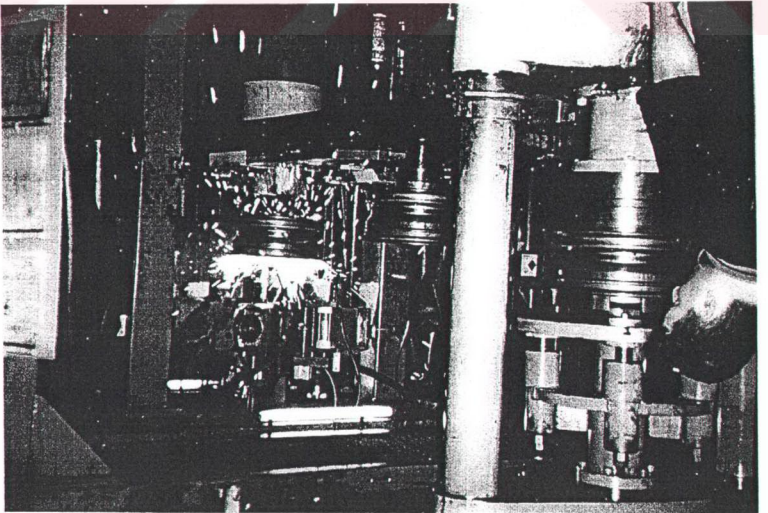
Sağ jant dış otomatik kaynak makinası ve disk doğrulama presi



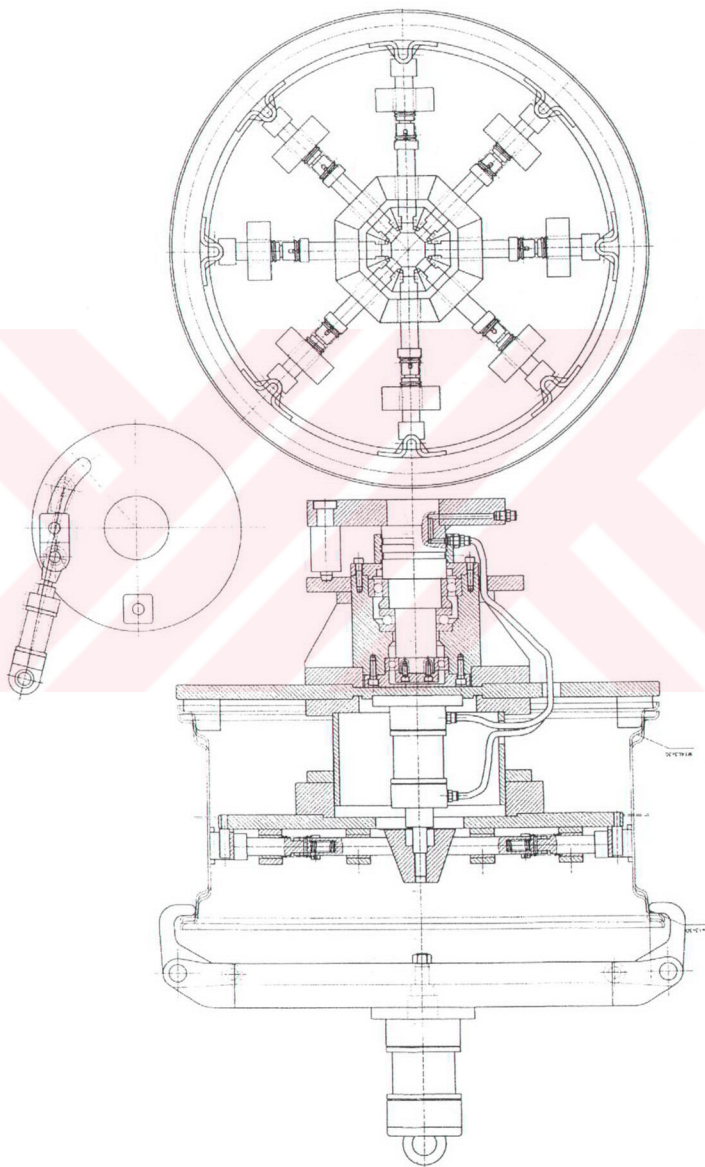
Sag jant kalibrasyon makinası ve otomobil jantı dört katlı otomatik kaynak makinası



Dört katlı otomatik kaynak makinesi gelişme anı



Traktör jantı kulak punta ve kaynak fikstürü



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum Tarihi	02. 02. 1974	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1985-1992	Nişantaşı Anadolu Lisesi
Lisans	1992-1997	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek lisans	1997-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programı
<b>Çalıştığı Kurumlar</b>	1997- 2001	Uşak Seramik San. A.Ş. Makina Bakım Şefi