

**KAYNAKLI PARÇALARIN  
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ  
Ayşegül YILDIZ**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYNAKLI PARÇALARIN SONLU  
ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

**Ayşegül YILDIZ**

Prof. Dr. Nurettin YAVUZ  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2011  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Ayşegül YILDIZ tarafından hazırlanan “KAYNAKLI PARÇALARIN SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/ oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Nurettin YAVUZ

**Başkan** : Prof. Dr. Nurettin YAVUZ  
U.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
İmza

**Üye** : Prof. Dr. Ali BAYRAM  
U.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
İmza

**Üye** : Prof. Dr. Recep EREN  
U.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi  
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı  
İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Kadri ARSLAN**  
**Enstitü Müdürü**  
.../.../2011

**U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

25/ 02/ 2011

Ayşegül YILDIZ

**ÖZET**

Yüksek Lisans Tezi

**KAYNAKLI PARÇALARIN SONLU  
ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ****Ayşegül YILDIZ**Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**Danışman:** Prof. Dr. Nurettin YAVUZ

Bu çalışmanın hedefi, MAG kaynak yöntemi kullanılarak alın kaynağı ile birleştirilen ST 37 çelik plakaların deneysel çalışmalar sonucu elde edilen verilerle, Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak yapılan analizden elde edilen verilerin mukayesesini yapmaktır.

Parçalar arası mesafe, gaz debisi ve akım değerleri için farklı kaynak parametreleri seçilerek kaynatılan parçalarda sıcaklık dağılımı ve çarpılma miktarı tespit edilmiştir. Kaynaklı numunelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerini belirlemek için, çekme testi, sertlik ölçümü, mikroyapı çalışmaları ve kaynak nüfuziyeti incelemesi yapılmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile modelleme, kaynak işlemini fiziksel kurallara göre simule edebilmek için önemli bir araçtır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analizi gerçekleştirmek için HyperMesh 10.0 programından faydalanılmıştır.

Simülasyon ve deneysel çalışmalarının karşılaştırılması sonucunda Sonlu Elemanlar Yöntemi ile elde edilen sıcaklık ve çarpılma sonuçlarının, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** MAG kaynak yöntemi, kaynak parametreleri, sonlu elemanlar yöntemi

**2011, viii+ 58 sayfa.**

**ABSTRACT**

MSc Thesis

**ANALYSIS OF WELDED PARTS  
BY FINITE ELEMENT METHOD****Ayşegül YILDIZ**Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering**Supervisor:** Prof. Dr. Nurettin YAVUZ

The aim of this thesis is, making a comparison between the data obtained from experimental study and analysis of finite element method which is joined with MAG welding method by using butt joint for St37 steel.

Distribution of temperature and displacement are observed by selecting different parameters for distance between parts, gas flow and current input. To get mechanical and microstructural characteristics of welded samples , tensile test, measurement of hardness, study of microstructure and welding penetration have been done.

Modelling with finite element method is a very important tool to simulate welding operation due to the physical rules. To perform the analysis of finite element method, HyperMesh 10.0 is used.

As a result of making comparison between simulation and experimental studies, it is obtained that the results of distribution of temperature and displacement are compatible with each other.

**Key words:** MAG welding method, welding parameters, finite element method.

**2011, viii+58 pages.**

## TEŞEKKÜR

Öncelikle bu konuyu önerip, tez çalışmamın gerçekleştirilmesinde bana yol gösteren tez danışmanım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Nurettin YAVUZ' a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın deney aşamasında bana deneyimini aktaran Sayın Ar. Gör. Dr. Rukiye ERTAN' a, deneysel çalışmanın yürütülmesi için numune tedariki ve gerekli ekipmanın kullanılmasında destek sağlayan Grammer Koltuk Sistemleri A. Ş. yöneticileri ve çalışanlarına, beni yetiştirip öğrenim ve iş hayatım boyunca başarı elde etmemi sağlayan başta annem- babam olmak üzere tüm aileme teşekkürü borç bilirim.

Ayşegül YILDIZ  
25/ 02/ 2011

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER.....	2
2.1. Literatür Taraması.....	2
2.2. Kaynak Teknolojisi.....	6
2.2.1. Gazaltı Kaynak Yöntemi.....	9
2.2.2. Metal Aktif Gaz ( MAG) Kaynak Yöntemi.....	10
2.2.3. Kaynak Parametrelerinin Seçimi.....	14
2.2.4. Robot Kaynağı.....	15
2.2.5. Metallerin Kaynak Kabiliyeti.....	16
2.2.5.1. Çelikler ve Özellikleri.....	17
2.2.5.2. Çeliklerin Kaynağı.....	18
2.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	20
2.3.1 Geometrinin Oluşturulması.....	21
2.3.2 Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması.....	22
2.3.3. Malzeme ve Eleman Sabitlerinin Belirlenmesi.....	22
2.3.4. Yük ve Sınır Koşullarının Belirlenmesi.....	22
2.3.5. Çözüm.....	22
2.3.6. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1. Numunelerin Hazırlanmasında Kullanılan Malzeme ve Cihazlar.....	23
3.2. Deneysel Çalışmalar ile İlgili Numunelerin Ölçümünde Kullanılan Cihazlar.....	25
3.3. Numunelerin Hazırlanması ve Deney Prosedürü.....	28
3.4. Uygulanan Deneyler.....	31
3.4.1.Çekme Deneyi.....	31
3.4.2. Sertlik Ölçümü.....	32
3.4.3. Kaynak Bölgesinin Mikro Yapısının Görüntülenmesi.....	33
3.4.4. Kaynak Dikişinin Nüfuziyetinin İncelenmesi.....	34
3.4.5. Numunelerin ve Kaynak İşleminin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi.....	35
3.4.5.1.Problemin Tanımı.....	35
3.4.5.2. Modelin Hazırlanması ve Analiz.....	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1. Deneysel Çalışmalar ile İlgili Bulgular.....	37
4.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İlgili Bulgular.....	48
5. SONUÇ.....	55
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	58



**SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ****Simgeler**

Rm

ReH

E

 $\nu$ 

Rho

A

K

H

T<sub>parça ref</sub>T<sub>ortam</sub>**Açıklama**

Çekme Dayanımı

Akma Dayanımı

Elastisite Modülü

Poisson Oranı

Yoğunluk

Isıl Genleşme Katsayısı

Isıl İletkenlik

Isı Transfer Katsayısı

Referans Parçanın Sıcaklığı

Ortam Sıcaklığı

**Kısaltmalar**

ITAB

CAD

MAG

MIG

**Açıklama**

Isı Tesiri Altındaki Bölge

Computer Aided Design ( Bilgisayar Destekli Tasarım)

Metal Aktif Gaz Kaynak Yöntemi

Metal Inert Gaz Kaynak Yöntemi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1.	Kaynaklı bir parçanın distorsiyona uğramış hali..... 8
Şekil 2.2.	MAG kaynak yönteminin prensibi..... 11
Şekil 2.3.	Bir kaynak bağlantısının çeşitli kısımları..... 20
Şekil 3.1.	Kaynak işleminde kullanılan kaynak robotu..... 25
Şekil 3.2.	Sıcaklık ölçümünde kullanılan pirometre..... 25
Şekil 3.3.	Çarpılmaların ölçüldüğü 3D ölçüm cihazı..... 26
Şekil 3.4.	Zımpara/ parlaticı..... 26
Şekil 3.5.	Çekme testinin yapıldığı çekme test cihazı..... 27
Şekil 3.6.	Sertlik ölçümlerinin alındığı sertlik ölçme cihazı..... 27
Şekil 3.7.	Mikroskop ..... 28
Şekil 3.8.	Kullanılan numunelerin ölçüleri (mm cinsinden)..... 28
Şekil 3.9.	Kaynak işlemine hazırlık amacıyla, iki parçanın kenarlarından puntalanması..... 29
Şekil 3.10.	Sıcaklık ölçümlerinin alındığı noktaların parça üzerindeki konumları..... 29
Şekil 3.11.	Kaynatılacak parçaların kaynak robotuna tutturulması..... 30
Şekil 3.12.	Kaynak işleminin akabinde sıcaklık ölçümünün yapılması..... 30
Şekil 3.13.	Çekme numunesi..... 31
Şekil 3.14.	Çekme testi cihazına bağlanmış numune ve kopması..... 32
Şekil 3.15.	Sertlik ölçümlerinin alındığı noktaların parça üzerindeki konumları..... 33
Şekil 4.1.	Belirlenen noktalar için yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları..... 37
Şekil 4.2.	Kaynak dikişinin orta noktası için yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları..... 38
Şekil 4.3.	Belirlenen noktalar için 16 dakika sonra ölçülen sıcaklık ölçüm sonuçları..... 38
Şekil 4.4.	Meydana gelen distorsiyonlar..... 39
Şekil 4.5.	Çekme deneyi sonucu elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri..... 41
Şekil 4.6.	Çekme dayanımı grafiği..... 41
Şekil 4.7.	Sertlik ölçüm sonuçları..... 42
Şekil 4.8.	Kaynak bölgesinde mikroyapı X400 ..... 44
Şekil 4.9.	Isı tesiri altındaki bölgede mikroyapı X400 ..... 45
Şekil 4.10.	Kaynak dikişi nüfuziyeti..... 47
Şekil 4.11.	1 saniye sonunda meydana gelen sıcaklık değişimleri..... 48
Şekil 4.12.	1 saniye sonunda meydana gelen deplasman..... 49
Şekil 4.13.	1 saniyen sonunda meydana gelen gerilim dağılımı..... 49
Şekil 4.14.	Kaynak işlemi sonunda meydana gelen sıcaklık değişimleri..... 50
Şekil 4.15.	Kaynak işlemi sonunda meydana gelen deplasman ..... 50
Şekil 4.16.	Kaynak işlemi sonunda meydana gelen gerilim dağılımı..... 51
Şekil 4.17.	45 saniye sonra meydana gelen sıcaklık dağılımı..... 51
Şekil 4.18.	Deneyisel çalışma ve analiz sonucu elde edilen sıcaklık ölçümlerinin mukayesesi..... 52
Şekil 4.19.	45 saniye sonra meydana gelen deplasman..... 53

Şekil 4.20.	45 saniye sonra meydana gelen gerilim dağılımı.....	53
Şekil 4.21.	16 dakika sonra meydana gelen sıcaklık dağılımı.....	53
Şekil 4.22.	16 dakika sonra meydana gelen deplasman.....	54

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Kaynak işlemleri yapılırken kullanılan parametreler.....	23
Çizelge 3.2. Ana metalin kimyasal bileşimi.....	24
Çizelge 3.3. Ana metalin mekanik özellikleri.....	24
Çizelge 3.4. Kaynak telinin kimyasal bileşimi.....	24
Çizelge 3.5. Kaynak telinin mekanik özellikleri.....	24
Çizelge 4.1. Kaynak işlemi yapılmamış numune için çekme deneyi sonrası elde edilen veriler.....	39
Çizelge 4.2. Model üzerinde belirtilen Node ID' leri için okunan sıcaklık değerleri.....	52

## 1. GİRİŞ

Herhangi bir malzemenin başka bir malzeme ile birleştirilmesi veya kaynaklanması mühendislik uygulamalarında daima ihtiyaç duyulan işlemlerden biridir. Bir malzemenin kaynak edilebilirliği, o malzemenin daha yaygın olarak kullanılmasını sağlayan ve o malzemedeki parça üretim yönteminin tayin edilmesinde önemli rol oynayan bir özelliğidir.

Herhangi bir işlemle ısıtılan metalde iç gerilmeler meydana gelir; ısınan bölge genişlerken bu bölgenin etrafındaki soğuk bölgeler bunu engeller. Soğuyan bu bölge büzölmeye neden olacağı için parçada şekil değişikliğine neden olabilir. Ayrıca kaynak bölgesinden malzemeye doğru ısı geçişi olur. Meydana gelen distorsiyonlar, boyut hassasiyetini olumsuz etkiler.

Otomotiv ve makine sanayinde kullanılan ince çelik levhalarda meydana gelen distorsiyonlar yapının düzgünlüğünü ve imalatın kalitesi ile verimliliğini etkiler. Bu tarz sorunlarla başa çıkmak için meydana gelebilecek olumsuzlukları önceden tespit etmek önemlidir.

Hareketli ısı kaynağı prensibinin en çok kullanıldığı imalat yöntemi olan kaynaklı imalat için kaynak işleminin bulunduğu bölgede gösterdiği ısı transferi birçok akademik çevre tarafından da incelenmiştir.

Artık gerilmeler, distorsiyonlar ve sıcaklık etkisinin öğrenilmesinin çeşitli teknik yöntemleri bulunmakta; fakat bu yöntemler büyük maliyet ve zaman istemektedir. Günümüzde kullanımı artan Sonlu Elemanlar Yöntemi ile meydana gelebilecek olumsuzluklar öngürülebilir, zaman ve maliyet açısından kazanç sağlanabilir.

Araştırmacılar, bahsi geçen olumsuz etkileri önceden hesaplamak için analitik ve deneysel metotlar geliştirmişlerdir. Bununla birlikte bilgisayar teknolojisindeki ve özellikle sonlu elemanlar yöntemindeki gelişmeler, kaynaklı yapılardaki artık gerilmelerin analizini kolaylaştırmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Literatür Taraması

Teng ve Lin'in (1998) Tayvan'da yürüttükleri çalışmada, alın kaynaklarında kaynak şartlarının artık gerilmelere etkileri tartışılmıştır. Bu çalışmada, tek pasolu ark kaynağı yöntemi kullanılarak birleştirilen çelik plakalardaki artık gerilmeler sonlu elemanlar tekniği ile hesaplanmıştır. Ayrıca kaynak hızı, numune boyutları, harici mekanik sınırlayıcılar ve ön ısıtma işlemlerinin kaynak ile birleştirme neticesinde oluşan artık gerilmeler üzerindeki etkileri de tartışılmıştır. Yapılan bu çalışmaların neticesinde, alın kaynağında, kaynak dikişinin ortasında çeki gerilmeleri bulunmuştur ve bu gerilmelerin büyüklüğünün akma gerilmesi değerinde olduğu saptanmıştır. Kaynak uçlarında bası gerilmeleri bulunmuştur. Orta bölgelerdeki enine artık gerilmeler artan numune boyu ile azaltılmıştır. Erime bölgesine yakın bölgelerde oluşan çeki artık gerilmelerinin numune kalınlığının azalması ile arttığı gözlemlenmiştir. Yüksek kaynak hızı, kaynak ark ısısının etkisi altındaki bölgelerde artık gerilmeleri azaltmıştır. Sınırlandırılmış birleştirmelerdeki artık gerilmeler, sınırlandırılmamış birleştirmelere nazaran daha yüksek değerlerde olmuştur. Ön ısıtma işleminin ise kaynak işleminde meydana gelen artık gerilmeleri azalttığı bu çalışma doğrultusunda gözlenmiştir.

Wu ve ark.'nın (2001) yapmış oldukları çalışmada, iki çelik plakanın alın kaynaklı birleştirilmesi işlemi simüle edilmiştir. Sonlu eleman (FE) analizi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, kaynak işlemi süresince oluşturulan sıcaklık dağılımını elde etmek için lineer olmayan geçici bir termal analiz yapılmıştır. Gerilme analizi, termal analizden elde edilen sıcaklıklar ile geliştirilmiştir. Termal ve gerilme analizlerinde genel amaçlı ANSYS FE programı kullanılmıştır. Kaynak metali, esas metal ve ısıdan etkilenen bölgenin malzeme özellikleri sıcaklık bağımlıdır. Ancak, kaynak metali ve ısıdan etkilenen bölgenin malzeme özelliklerine ilişkin bilgilerin eksikliğinden, her iki bölgenin termal ve mekanik özelliklerinin bu analizde esas metalin özelliklerinin aynısı olduğu varsayılmıştır. Yayımlanmış deneylerden ve nümerik simülasyonlardan elde edilmiş artık gerilme ve distorsiyonların sonuçlarıyla bu

çalışmadakiler karşılaştırılarak modelin geçerliliği kanıtlanmıştır. Artık gerilmeler üzerine çeşitli faktörlerin etkileri incelenmiştir.

Teng ve ark. (2002) alın kaynaklı birleştirmelerde kaynak geometrisi parametrelerinin (kaynak dikişi yarıçapı, kaynak ağzı açısı, levha kalınlığı vb.) ve kaynak işlemi neticesinde meydana gelen artık gerilmelerin kaynak bölgesinde çatlak başlangıcına ve kaynak yorulmasına olan etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında sonlu elemanlar çözümü ile deneysel çalışma sonuçlarını incelemişlerdir. Kaynak işlemi dolayısıyla lokal olarak meydana gelen ısınma ve hızlı soğumanın kaynak bölgesinde artık çekme gerilmelerinin oluşmasına neden olduğunu tespit etmişler ve bu artık gerilmelerin kaynaklı yapının yorulma dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden biri olduğunu belirtmişlerdir.

Vural ve arkadaşı yapmış oldukları bir çalışmada; levhaların alın kaynağında, kaynak sonrası oluşan distorsiyon olayının önemli bir problem olduğunu ve ısı girdisi, ağız formu, parça kalınlığı distorsiyonu etkileyen önemli parametreler olduğunu tespit etmiştir. Alın kaynağı yapılan levhalarda parça kalınlığının ve ağız formunun distorsiyona etkisi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz etmiştir ( Vural Akkuş 2003).

Bu çalışmada kaynak konstrüksiyonlarında en fazla kullanılan bağlantı tipi olan alın kaynağındaki distorsiyonlar araştırılmış ve analizleri yapılarak ağız açılarının ve parça kalınlığının açısal distorsiyona etkisi incelenmiştir. Alınan sonuçlara ve elde edilen grafiklere bakıldığında bütün ağız açılarında parça kalınlığı arttıkça açısal distorsiyon miktarı önce artmakta, bir üst seviyeye ulaştıktan sonra distorsiyon giderek azalmaktadır. Parça kalınlığının artmasıyla birlikte, yapıda hem dikiş hacmi artar hem de parçanın rijitliğinde bir artış meydana gelir. Belli bir levha kalınlığı değerine kadar, kaynak sonrası parçanın davranışı üzerinde kaynak hacmindeki artış daha etkindir. Kaynak hacminin artmasıyla, kaynak sonrası kendini çekmeler de daha fazla olur ve açısal distorsiyon kalınlıkla beraber giderek artar. Ancak kritik bir kahillik değerinden sonra, yapının davranışı üzerinde parçanın rijitliğindeki artış miktarı daha etkin olmaya başlar ve bu rijitlik artışı açısal distorsiyonu engeller. Elde edilen bu sonuçlar göz önüne

alınarak kaynaklı konstrüksiyonların tasarlanması, hem daha emniyetli hem de daha ekonomik kaynaklı bağlantılarının elde edilmesini mümkün hale getirmektedir ( Vural Akkuş 2003).

Yerel olarak ısıtılmış bir metal iç gerilmeler oluşturur. Isınan bölgeler genişirken, bunu civarındaki soğuk kısımlar bunu az veya çok engeller. Bu şekilde ısınan bir bölge soğursa, doğal olarak bir büzülme gerçekleşir ve bu büzülme önemli bir şekil değişimine neden olabilir. Ayrıca malzemede daima bir iç gerilme de kalabilir. Bir kaynak konstrüksiyonunda kaynak bölgesi de yerel olarak ısıtılan bölgeyi temsil eder. Kaynak dikişindeki bölge ergiyip katılır. Kaynak dikişinden malzemeye bir ısı geçişi olur. Bütün bu olaylar neticesinde kaynaklı parçalarda distorsiyon meydana gelir. Distorsiyonlar ise boyut hassasiyetini olumsuz yönde etkiler ( Vural ve ark. 2003).

Kaynaklı çelik yapıların inşasında imalatçılar çoğu zaman yapının düzgünlüğü ve çalışmasını etkileyen kaynak sonucu oluşan distorsiyonlarla karşılaşılır. Bu problemle başa çıkabilmek için kaynaktan dolayı meydana gelen distorsiyonun tipini ve miktarını önceden tahmin etmek gerekir ( Vural ve ark. 2003).

Doerk ve ark. (2003) kaynaklı birleştirmelerde meydana gelen yapısal gerilmeleri hesaplamada kullanılan değişik yöntemleri incelemişler ve bu yöntemlerin karşılaştırmasını yapmışlardır.

Benli ( 2004) yaptığı çalışmada alın kaynağı ile birleştirilen parçalarda meydana gelen artık gerilmeleri sonlu elamanlar yöntemi kullanarak analiz etmiştir.

Gonçalves ve arkadaşları (2005) yayınladıkları makalede kaynak işlemi sırasındaki ısı değişimleri için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışma sonrası kaynaklı bölgede ısı transferinin kaynak işlemi bittikten sonrası içinde soğuma işlemi olarak devam ettiğinden söz etmişlerdir. Kaynak işlemlerinin endüstride yapısal imalatta çok yaygın olarak kullanıldığından bahsetmişlerdir. Bu sebeple kaynak geometrisi üzerinde çalışmışlardır. Rosenthal modelinin çok iyi bir kaynaklı imalata ısı transferi seçeneği olduğunu göstermişlerdir.



Durmuşoğlu (2006) yaptığı çalışmada MAG kaynak yönteminde, işlem parametrelerinin kaynaklı bağlantının kalitesine ve mekanik özelliklere etkilerini incelemiştir.

Tapıcı (2006)' nın çalışmasında, endüstriyel robotların kullanıldığı imalat sistemlerine global bir bakış sergilenip, bu yaklaşım özele indirgenerek robotla gazaltı kaynağı yapan bir esnek imalat hücresinin tasarım ve uygulama safhaları ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Ele alınan manuel kaynak prosesine yönelik iyileştirme çalışmasında izlenen yolda sırasıyla, kaynak uygulanan elik profil parçaların düzgün şekilde konumlandırılmasını sağlayan bir fikstür tasarımı sistematik bir şekilde yürütülmüş, tasarlanan fikstür üzerinde uygun kaynak parametreleri seçilerek kaynak robotuna kaynak yaptırılmıştır. Yüksek ısı girdisi olan kaynak işleminin bir sonucu olarak meydana gelen çarpılmaları karşılayacak şekilde ters aı verilen fikstrde farklı hızlarda kaynaklar yapılarak ısı girdisinin kaynak distorsiyonlarına etkisi incelenmiştir. Parçada oluşan distorsiyonların artan ısı girdisiyle arttığı gözlenmiştir. Kaynak yapılan is parçaları hassas şekilde ölçülerek fikstür performansı doğrulanmış, kaynak sonrası uygun geometrik toleranslar yakalanarak yaklaşımın doğruluğu kanıtlanmıştır.

Deng ve ark. (2007) kaynakla birleştirilen parçaların kaynak bölgelerinde meydana gelen kaynak deformasyonunu sayısal metotla analiz etmişler, sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sayısal metotla kaynak deformasyonunu tahmin edebilmek için 3 boyutlu termal elastik plastik sonlu elemanlar modelini kullanmışlardır. Sonlu elemanlar sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir. Kaynak deformasyonuna flanş kalınlığının etkisini incelemişlerdir. Termal elastik plastik sonlu elemanlar modelinin kaynak deformasyonunun tahmini için efektif bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır. Açısal deformasyona neden olan en önemli etkenin kalınlık boyunca olan sıcaklık gradienti olduğu gözlemlemişlerdir.

Yumurtacı (2007) yaptığı çalışmada, MAG kaynağında elektrod tipinin kaynak dikişi özelliklerine etkisini incelemiştir. Farklı ilave malzeme kullanımının, kaynak dikişinin mekanik özelliklerine etkilerini saptamak amacıyla çekme ve sertlik deneyleri yapılmış, daha sonra da makroskopik incelemeler yapılmıştır. Makroskopik incelemelerde

kaynaklı numunelerin nüfuziyet derinlikleri ölçülerek farklı parametrelerin nüfuziyet üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Arı (2008) yapmış olduğu çalışmada aralarında yatay ve düşey yönde 2 mm' lik boşluk bırakılarak kaynakla birleştirilmiş parçaların kaynak bölgesinde doğan gerilmelerin dağılımı sonlu elemanlar yöntemiyle analiz etmiştir. Birbirine düşey yönde boşluk bırakılarak kaynak yapılan parçalarda kaynak kökünde kesme etkisinin; yatay yönde boşluk bırakılarak kaynak yapılan parçalarda ise kaynak kökünde yırtılma etkisinin önem kazandığı belirtmiştir.

Leblebici' nin (2009) çalışmasında günümüzde imalat teknolojilerinde yaygın olarak kullanılan kaynaklı imalat ile ilgili olarak kaynak esnasında meydana gelen ısı yayılımı ve kaynak malzemesindeki ısı transferi üzerine durulmuştur. Kaynak enerji değerleri belirtilmiştir. Hareketli ısı kaynağının teorik ısı iletim denklemi olan Rosenthal denklemi üzerine durulmuştur. Rosenthal'in almış olduğu ihmallere göre analitik formüller gösterilmiştir. Pik sıcaklığının yayılımı ile hareketli ısı kaynağı sonrası sıcaklık yayılımı için deney seti hazırlanıp kaynak yapılarak veriler kayıt edilmiştir. Bu veriler grafiksel olarak hazırlanıp incelenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapılmıştır.

## **2.2. Kaynak Teknolojisi**

Kaynaklı imalatın genel tanımı, iki tane aynı ya da ayrı metalin ısı kullanarak veya basınç kullanarak ilave elektrot kullanmadan ya da kullanarak yapılmış olan tahribatsız sökülemeyen birleştirme işlemi şeklinde yapılabilir.

Metalik malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisini birden kullanarak ve aynı cinsten ve erime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmeye "metal kaynağı" adı verilir. İki parçanın birleştirilmesinde ilave bir malzeme kullanılırsa, bu malzemeye "ilave metal" adı verilir ( Anık 1991).

Kaynak mikroskobik olarak da söyle tanımlanabilir: Kaynak, birleştirilecek parçaların birleşme yüzeylerindeki atomların karşılıklı olarak birbirlerinin çekme bölgelerine getirilmesidir. Sıvı fazdaki bir malzemenin atomları arasında hemen hemen hiç çekim kuvveti yoktur ve dolayısıyla sıvı malzemenin atomları tamamen hareketlidir. Katı halde ise malzemenin atomları arasında bir çekim kuvveti vardır. Atomlar bu çekim kuvvetlerinin etkisiyle birbirlerine göre belirli bir uzaklıkta dengede bulunurlar ve bu sayede katı bir kütleyi oluştururlar. Kaynak işleminde atomlar birbirlerine yaklaştırılır ve böylece atomlar karşılıklı olarak birbirlerini çekmeye başlarlar ve kaynak işlemi, yani birleştirme gerçekleşmiş olur (Aydın 2001).

Birleştirilecek elemanların birleşme bölgesinde ergiyerek birbirine karışması ve böylece moleküllerin kohezyonla birbirine bağlanması olayıdır. Kaynağın mukavemetinin irdelenmesi ise klasik mühendislik yaklaşımlarından farklılık arz etmektedir. Isı etkisi ile kaynak civarında ergime sonucu ITAB denilen "Isı tesiri altındaki bölge" oluşmakta ve burada özellikler değişmektedir. Örneğin, malzemeye yapılan ısı işlemlerle kazanılan özellikler bu bölgede ortadan kalkmaktadır. Kaynak bölgesinde cüruf nedeniyle kalıntılar oluşmakta ve metalürjik olarak ana malzemedan farklılaşmaktadır (Anık 1991).

Bütün eritme kaynak yöntemleri temel olarak bir döküm işlemini andırır. Kaynak metali, elektrik arkı veya gaz alevinin yüksek sıcaklığı karşısında erir ve daha önceden hazırlanmış olan kaynak ağzı içine dökülür, bu arada kaynak ağzının kenar yüzeyleri de bir miktar erir ve dolayısı ile erimiş kaynak metali ve esas metal karışarak kaynak ağzı içinde katılaştır. Bu esnada, kaynatılan parçaların kaynak dikişine bitişik kısımlarında, metalin erime sıcaklığından ortam sıcaklığına kadar, çeşitli sıcaklık derecelerine ısınmış bölgeler ortaya çıkar. Böylece kaynak esnasında malzeme istenmeden, kaynak işlemince tayin edilmiş bir ısı çevrimine tabi tutulmuş olur (Dikicioglu 2006).

Bu olaydan ötürü kaynak bölgesinde, çeşitli ısı işlemler görmüş ve dolayısıyla mekanik özellikleri ve iç yapısı gerek esas metal ve gerekse kaynak metalinden farklı çeşitli bölgeler ortaya çıkar. Bu farklı özelliklerdeki bölgelerde, tüm yapının zorlanması

halinde, gerilme ve şekil değişiminde olduğu gibi korozyona dayanıklılıkta da esas metalden farklı davranışlar görülür ( Dikicioglu 2006).

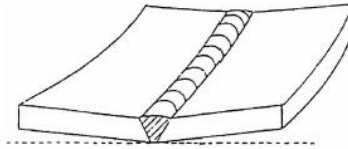
İki levhanın yan yana getirilen kenarları boyunca çekilen kaynak dikişlerine küt dikişler denir. Levha kenarlarının işleme şekline göre küt kaynak dikişleri özel isimler alırlar.

Kaynak ağızları farklı şekillerde olur ve bunların başlıcalarını I, V, K, J, Y, U, X şekillerindeki ağız yapıları oluşturur (Anık ve ark. 1993).

Küt kaynak dikişinin kalınlığı levha kalınlığıdır. Ancak birleştirilen levhaların kalınlıkları birbirinden farklı ise küt dikişin kalınlığı bu parçalardan en incenin kalınlığına eşit alınır. Farklı kalınlıktaki levhaların birleştirilmesinde, levha kalınlıkları arasındaki farkın büyüklüğüne bağlı olarak küt dikiş tatbiki değişir.

Kaynakta en çok, maksimum ısının olduğu eritme kaynağında artık gerilmeler oluşur. Artık kaynak gerilmeleri, kaynak yapılan parçalardaki ısıl genleşme ve büzülmenin sınırlanmasıyla oluşur ( Vural 2003).

Kaynak işlemi neticesinde kaynaklı parçalarda meydana gelen artık gerilmeler, ya distorsiyona yol açarlar ya parçada erken hasara sebep olurlar ya da her ikisine de neden olmadan sadece iç gerilme olarak kalabilirler. Bu etkiler ayrı ayrı gerçekleşebileceği gibi aynı anda da parçada gerçekleşebilir.



Şekil 2.1. Kaynaklı bir parçanın distorsiyona uğramış hali

Kaynak işlemi neticesinde ısınan kaynak bölgesi uniform olmayan büzülme davranışı gösterir, çünkü kaynak dikişinin enine kesitindeki büzülme, bu enine kesite eksantrik kuvvetler uygular ve böylece büzülme miktarları eşit olmaz. Sonuç olarak distorsiyon meydana gelir ( Şekil 1.1). Kaynaklı parçalar gerilmeler neticesinde elastik olarak şekil

değiştirir ve parçada gözle görülebilecek oranda distorsiyonlar meydana gelir. Alın kaynaklı birleştirmelerde, kaynak dikişinin üst bölgesi, kök bölgesine nazaran daha fazla büzülür.

Artık gerilmeler ve distorsiyonlar, kaynaklı parçanın performansını olumsuz etkiler. Özellikle çentikli bölgelerde kırılmalar görülebilir. Gözenek ve aşırı yüzey girintileri gibi kaynak hataları da çentik etkisi yapar (Vural 2003).

Artık gerilmeler ve distorsiyonların olumsuz etkilerinden, uygun kaynak prosedürleri, kaliteli işçilik ve sıkı denetim ile kaçınılabılır. Yüksek hidrojen seviyeleri de kırılabilirliği artırır ( Vural 2003).

### **2.2.1. Gazaltı Kaynak Yöntemi**

Bu yöntemde kaynak için gerekli ısı, sürekli beslenen ve eriyen tel elektrodun üzerinden geçen akıma gösterdiği direnç ile oluşur. Elektrod çıplak bir tel olup, bir elektrod besleme tertibatı ile kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrod, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı, dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur.

Kaynak bölgesine sürekli şekilde sürülen, masif haldeki tel elektrod eriyerek tükendikçe kaynak metalini oluşturur. Kaynak işlemi sırasında elektrod, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden kaynak torcundan gelen gaz veya gaz karışımı tarafından korunur. Koruyucu gaz olarak argon, helyum veya karbondioksit kullanılır. Kaynak işlemi sonucunda düzgün ve yüksek nüfuziyetli kaynak dikişleri elde etmek mümkündür. Atölye koşullarında uygulanabilen bu yöntem temiz malzemenin kaynaklanmasına uygundur. Koruyucu gaz, kaynak bölgesini tam olarak koruyabilmelidir, aksi takdirde çok küçük bir hava girişi dahi kaynak metalinde hataya neden olur.

Gazaltı kaynak yöntemleri ile kaynak maliyeti düşürülmüş, kaynak süresi kısaltılmış ve kaynakçının dikisin kalitesine olan etkisi azaltılmıştır. Ayrıca bu yöntemler günümüz teknolojisinde yer alan otomatik veya mekanize kaynak yöntemleri diye isimlendirilen modern yöntemler arasındadır (Ören 2002).

Gazaltı kaynağı, bugünün sanayisinde, Türkiye’de ve dünyada en yaygın olarak kullanılmakta olan kaynak türüdür. Prosesin, diğer kaynak yöntemlerine oranla kullanım ve maliyetler yönünden avantajlı oluşu, yöntemin bu denli yoğun kullanılmasına neden olmuştur. Gazaltı kaynağında, iyi bir kaynak dikişi elde edebilmek için, proses parametrelerinin doğru seçilmesi oldukça önemlidir. İyi bir kaynak dikişi yanında, maliyetler de göz önünde bulundurularak, en az sarfiyatla, en ekonomik ve en iyi kaynak dikişini elde edebilmek için, proses parametrelerinin optimum seviyelerinin kullanılması gereklidir (Güral 2003).

Eriyen elektrodla gazaltı kaynağı fikri 1920’lerde ortaya atılmış olmakla birlikte, ticari anlamda ancak 1948’den itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Önceleri yöntem soy gaz koruması altında yüksek akım yoğunluklarında ince elektrodlarla gerçekleştirilen bir kaynak yöntemi olarak benimsenmiş ve temelde alüminyumun kaynağına kullanılmıştır. Eriyen metal elektrod ve soy gaz kullanılması nedeniyle yöntem MIG (Metal Inert Gas) kaynağı adı verilmiştir. Yöntemde daha sonra düşük akım yoğunluklarıyla ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO<sub>2</sub>) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler, aktif koruyucu gazın kullanıldığı yöntem MAG (Metal Active Gas) kaynağı adının verilmesine neden olmuştur.

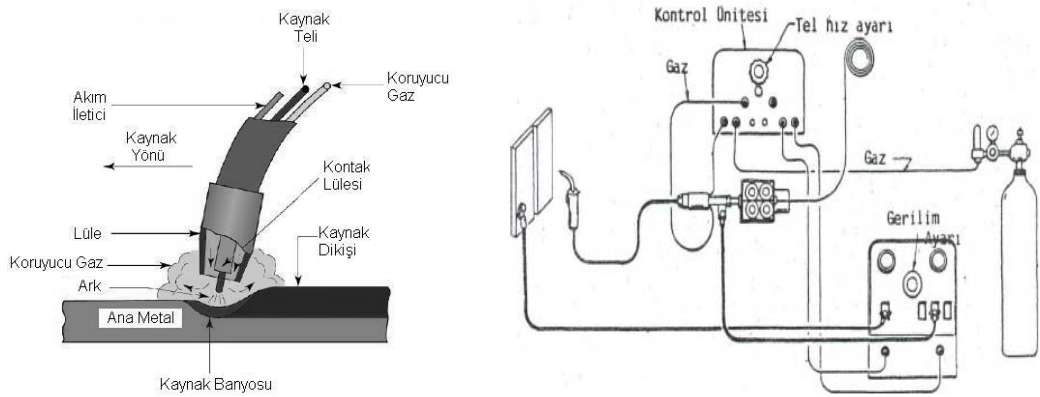
### **2.2.2. Metal Aktif Gaz ( MAG) Kaynak Yöntemi**

MAG diğer bir deyimle, aktif gaz koruması altında eriyen elektrod ile yapılan kaynak yöntemi, son yıllarda büyük bir gelişme göstermiş yalın karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında önemli ölçüde kullanılır hale gelmiştir. Koruyucu gaz olarak karbondioksit kullanılır ( Tülbentçi 1990).

Diğer kaynak yöntemlerinde kullanılan argon gazının pahalı olması dolayısıyla, daha ucuza elde edilen gazların kullanılması için yapılan araştırmalar sonunda en uygun gazın karbondioksit olduğu görülmüştür ( Eryürek 2003).

Sanayisi gelişmiş ülkelerde günümüzün en çok kullanılan yarı otomatik kaynak yöntemi olan MAG kaynak yöntemi son yıllarda ülkemizde hızlı bir şekilde yayılmaktadır.

Kullanılan koruyucu gazın ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gerekir. Önceleri yalnız CO<sub>2</sub> koruması altında yapılan bu yöntemde, gereken durumlarda arkı yumuşatmak, sıçramayı azaltmak için CO<sub>2</sub>' ye Ar karıştırılıp kullanılmaktadır. Ar + CO<sub>2</sub>' nin içine az miktarda O<sub>2</sub> ilave edilerek Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>'den oluşan üçlü gaz koruması altında daha kalın çaplı elektrodlar ile her pozisyonda çalışabilme olanağı sağlanmış ve düzgün görünüşlü kaynak dikişleri elde edilebilmiştir. Ayrıca bu yöntemin kullanılması ile işlemlerin hızlanmasına ve otomatikleşmesine olanak sağlanmıştır. (Ertürk 1991).



Şekil 2.2. MAG kaynak yönteminin prensibi ve kaynak donanımı blok şeması

Alaşımsız çelikler, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum, bakır, titanyum ve nikel alaşımları gibi ticari açıdan önemli tüm metaller uygun koruyucu gaz, elektrod ve kaynak değişkenlerini seçmek şartıyla, bu yöntemle kaynak edilebilirler (Şekil 2.2).

Bir MIG/ MAG kaynak donanımı şu kısımlardan oluşur:

- Bir kaynak tabancası.
- Tel şeklindeki elektrot ve muhafazasını kaynak kablosunun, soğutma suyu giriş ve çıkış elemanlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli hortum.
- Tel şeklindeki elektrodun hareketini sağlayan tertibat.
- Kaynak akımının geçişini, soğutma suyunun devreye girişini, koruyucu gazın akışını ve telin hareketini sağlayan kumanda dolabı.
- Kaynak akım üretici.
- Üzerinde basınç düşürme ventili ve gaz debisi ölçme tertibatı bulunan koruyucu gaz tüpü.

Bu kaynak yönteminde doğru akım kullanılır. Elektrodun kolaylıkla eriyebilmesi ve üretilebilirliğin artırılması açısından ötürü, daha yüksek bir akım yoğunluğu ile çalışılır. Ark boyunun sabit kalması için sürekli olarak; eriyen kaynak metali miktarına göre elektrot telinin kaynak donanımı tarafından otomatik olarak ilerletilmesi, bu yöntemde kaynakçının çalışma şartlarını kolaylaştırır. Ancak bu yöntemde akım yoğunluğunun yüksekliği dolayısı ile kuvvetli bir ışınlım oluştuğunda gözlerin ve cildin korunması için gereken önlemler alınmalıdır.

Bu kaynak yönteminin kaynağın bir üretim yöntemi olarak kullanılması halinde, örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağına nazaran çok büyük üstünlükler göstermektedir.

**Kaynak dikişinin ağırlığı:** Bütün eritme kaynağı yöntemlerinde, kaynak dikişinin ağırlığı, eriyen metal miktarının dolayısı ile enerji sarfiyatının bir göstergesidir. Kaynak dikişi kaynak metali ve esas metalin kesiti boyunca değişen oranlarda bir karışımdır, elektrod miktarı ise kaynak maliyetini etkileyen en önemli faktördür.

MAG kaynağında kullanılan kaynak telinin örtülü elektrod ile karşıtıldığında oldukça ince olması, daha dar bir kaynak ağzı içinde çalışabilme olanağını sağlamaktadır. Konstrüksiyonun elverdiği hallerde ağız açısının 30° 'ye kadar düşürülmesi halinde dahi hatasız kaynak dikişi elde edilebilmektedir.



**Elektrik enerjisi tüketimi:** MIG-MAG yönteminde, kaynak dikiş hacminin elektrik ark kaynağına göre daha küçük olması, elektrik enerjisinin tüketiminin azalmasına neden olmaktadır, zira eriyen metal miktarı birim dikiş boyunda daha az olmaktadır. Ayrıca aynı akım şiddetinde, bir saat zarfında eriyen elektrod miktarı MAG yönteminde daha fazladır.

Kaynak esnasında elektrod değiştirme ve cüruf temizleme gibi zaman kaybettirici unsurların olmayışı nedeni ile kaynak sürekli olarak yapılabilmekte ve dolayısı ile de makinanın boşta çalışmasından kaynaklanan elektrik enerjisi kayıpları ortadan kalkmaktadır.

**Elektrod kaybı:** Örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağında elektrodun uç kısmının (koçanın) kullanılmadan atılması ve sıçrama kayıpları dolayısı ile % 20'ye erişen bir kayıp ile karşılaşılır. MAG veya MIG yönteminde koçan kaybı yoktur, burada sadece sıçramalardan ortaya çıkan % 3-5 civarında bir kayıp vardır; bu da olaya büyük bir ekonomiklik kazandırmaktadır.

**Cüruf temizleme:** Kaynak banyosu, havanın olumsuz etkilerinden koruyucu gaz tarafından korumaktadır ve dikiş üzerinde temizlemeyi gerektiren bir cüruf oluşmaz. MAG yöntemi uygulamalarında dezoksidasyon ve oksidasyon sonucu dikiş üzerinde ince bir tabaka halinde SiO<sub>2</sub>, MnO, FeO, CuO gibi oksitlerden oluşan bir cüruf ile karşılaşılırsa da, bu cüruf bir temizleme işlemi gerektirmez ve üzerine yeniden kaynak yapılabilir;

Dikiş içinde kalmış cüruf, kaynak dikişinin mukavemetini şiddetli bir şekilde zayıflattığından, cüruf kalıntısı gibi bir kaynak hatasının MAG kaynak yönteminde görülmemesi, bu yöntemin en önemli üstünlüklerinden bir tanesidir.

**Uygulama kolaylığı:** Ark boyu makine tarafından sabit tutulmakta ve cüruf da bulunmadığından, kaynakçıların yetiştirilmesi çok daha kısa zamanda gerçekleşmekte ve ucuza mal olmaktadır.

İnce (0.6-1 mm) saclar da kolaylıkla kaynatabilmekte; ayrıca arkın tutuşturulması örtülü elektroda nazaran çok daha kolay olduğundan, puntalama işlemleri çok kolay ve sıhhatli bir şekilde yapılabilir. Kalın parçalar daha az sayıda paso ile kaynatılabilirlerinden parçalarda ortaya çıkan distorsiyonlar azalmakta ve dolayısı ile de doğrutma işlemleri için sarf edilen zaman ve işçilik azalmaktadır.

Bu yöntemin tartışılmaz üstünlüklerinden bir tanesi mekanizasyon ve otomasyona olan yatkınlığıdır; günümüzde bilhassa robotlar yardımı ile bu yöntem montaj hatlarında büyük bir üstünlük sağladığı gibi birçok sahada da tozaltı kaynak yönteminin yerini almaktadır.

Yöntemin en önemli dezavantajı, kaynak makinelerinin ilk yatırım maliyetlerinin, elektrik ark kaynak makinelerine nazaran oldukça daha yüksek olmasıdır; ilk bakışta bu makineler biraz karışık bir görünüşte olmalarına rağmen kullanılmaları büyük bir zorluk göstermez. Kaynağa başlamadan evvel örtülü elektrod halinde seçilmiş bulunan elektrod çapına ve türüne göre makine kutup durumu ve kaynak akım şiddeti ayarlanırken, gazaltı makinelerinde tel elektrod ilerleme hızı, gaz debisi, kaynak gerilimi ayarlanır ve tel iletme düzeni, torçtaki gaz lülesi ve diğer mekanik kısımlar bakım ve kontrolden geçirilir ve bu da büyük bir tekniği bilgi ve maharet gerektirmez.

### **2.2.3. Kaynak Parametrelerinin Seçimi**

Kaynak parametreleri kaynak işlemini ve elde edilen kaynak bağlantısının kalitesini belirleyen en önemli unsurlardır. Kaynak parametreleri, kaynaklanan metal veya alaşım ile kaynak metalinin türü ve kaynak ağız geometrisi göz önünde bulundurularak saptanır. Bu parametrelerin seçimi kaynakçının çalışma koşullarını kolaylaştırdığı gibi gereken özellikte kaynaklı bağlantı elde edebilme olasılığını da arttırır.

Kaynak parametreleri, kaynak öncesi saptanan ve kaynak süresince değiştirilmesi mümkün olmayan parametreler, birinci derecede ayarlanabilir ve ikinci derecede ayarlanabilir parametreler olmak üzere üç ayrı grupta incelenebilir.

Birinci gruba giren parametreler kaynağın uygulanmasından önce saptanan, kaynak koruyucu gaz türü, elektrod tür ve çapı gibi etmenlerdir ve bunların kaynak işlemi esnasında değiştirilmesine olanak yoktur. Bu parametreler, kaynaklanan malzemenin türü, kalınlığı, kaynak pozisyonu, erime gücü ve bağlantıdan beklenen mekanik özellikler göz önüne alınarak saptanır.

Birinci derecede ayarlanabilir diye adlandırılan, ikinci gruba giren parametreler, ilk gruba giren parametreler seçildikten sonra, kaynak dikişini kontrol altında tutan, dikişin biçimini, boyutlarını, arkın devamlılığını ve kaynaklı bağlantının emniyetini etkileyen değişkenlerdir. MIG-MAG kaynağında bu parametreler akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızıdır ( Tülbentçi 1990).

Bu parametreler kolaylıkla ölçülebildiği gibi, kaynak esnasında da gereken hallerde yeniden ayarlanabilen ve tüm dikişi en sıkı ve etkin bir biçimde kontrol altında tutan etmenlerdir.

Üçüncü gruba, kaynak işlemi süresince sürekli olarak değişen ve kaynak dikişinin biçimini oldukça şiddetli bir şekilde etkileyen parametreler girer. Bu parametrelerin önceden seçilip değerlendirilmeleri oldukça zordur ve bazı hallerde etkileri de açık bir şekilde görülmez. Bunlar genelde ikinci gruba giren parametreleri etkileyen ve dolaylı olarak da kaynak dikişinin biçimini belirleyen parametrelerdir. MIG-MAG kaynağında bunlar torç açısı ve elektrod serbest uç uzunluğu olarak sıralanabilir.

#### **2.2.4. Robot Kaynağı**

Robot terimi, endüstriyel uygulamalarda kullanılan, üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir, çok amaçlı, bir yerde sabit duran veya hareket edebilen manipülatör olarak tanımlanır.

Her sektörün kendine göre zorlukları vardır fakat kaynak; uygulama sahası, ürün çeşitliliği, sağlığa etkileri ve teknik gereklilikleri ile en zor uygulamalardan biridir. Yapılabilecek en ufak hata direkt olarak ürün kalitesini etkiler. İşin, yüksek dikkat ve

fiziksel çaba gerektiren doğası kalifiye personel ihtiyacını doğurur. Kaynak işçisinin el-göz koordinasyonunun güçlü olması, uzun süre odaklanabilmesi gerekmektedir. Fakat işçi ne kadar tecrübeli ve yetenekli de olsa kaynak hataları tamamıyla engellenemez .

Günümüz çalışma şartları ve rekabet ortamında, yapılan işin mükemmelliği ve kalitesi büyük önem kazanmış durumdadır (Asai ve Takashima 1994). İşte bu şartlar altında robot kullanımıyla, kalite arttırılmakta, standart üretim sağlanmakta, işçilik ve malzeme giderleri azaltılmaktadır. Ayrıca, robotlar insanları monoton ve ağır hacimli işlerden, kaynakhane ve boyahanenin zehirleyici etkili ortamlarından kurtarır ve dar alanlarda bir çok işlemin yapılması imkanını tanırlar.

Bunların yanı sıra, kaynak işlemleri sırasında robotları kullanmak beraberinde farklı sorunlar da doğuracaktır. Nitekim robot kullanmak üretim sürecini daha karmaşık bir hale getirir. Robotun programlanması, bakımı ve sistem tasarımı için eğitimli, yetkin iş gücüne gereksinim duyulur.

Robotlarda ağırlıklı olarak CO<sub>2</sub>, MIG, MAG ve TIG ark kaynağı yöntemleri kullanılmaktadır. Bunların içinde de en çok uygulama alanı bulan yöntem MAG kaynağıdır ( Gök ve Afyon 1999).

### **2.2.5. Metallerin Kaynak Kabiliyeti**

Endüstride kullanılan kaynak usulleri, genelde kaynak yerinin metalin erime veya solidüsüne yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılmasını gerektirmektedir. Gerek kaynak bağlantısının ekonomikliği ve gerekse de diğer teknolojik ve metalürjik etkenler bu ısıtmanın mümkün mertebe yerel olmasını öngörür, bu ise ısı kaynağının yüksek bir sıcaklık derecesine ve büyük bir enerji yoğunluğuna sahip olmasını gerekli kılar.

Isıtılan kaynak bölgesi, bitişik soğuk metale kondüksiyon ( iletim) ile ısı yaydığından, ısı kaynağı kaynak bölgesinden uzaklaştıkça hızlı bir soğuma meydana gelir.

Metalsel malzemelerin, yüksek sıcaklığa kadar ısınması neticesinde, bir takım içyapı değişiklikleri, kimyasal reaksiyonlar, difüzyon hızının artması, mekanik ve fiziksel özelliklerin değişmesi gibi bir takım olaylar meydana gelir. bu olayların bir kısmı tersinir kabul edilebilir, yani hızlı soğuma neticesi metalsel malzemenin, bazı özelliklerinin eski haline döndüğü kabul edilebilir, fakat diğer bazıları ise tamamen farklı bir durum gösterir.

Bir metal veya alaşımın yüksek bir kaynak kabiliyetine sahip olması, hiçbir özel tedbire başvurmadan, her türlü çalışma şartları altında, tatminkar bir kaynak kalitesi elde edilebileceği anlamına gelir. Yani kaynak kabiliyeti, malzeme, kaynak usulü ve konstrüksiyon üçlüsünün ortasında ve bunlarla yakın organik bağı olan bir kavramdır.

#### **2.2.5.1. Çelikler ve Özellikleri**

Herhangi bir malzemenin başka bir malzeme ile birleştirilmesi veya kaynaklanması mühendislik uygulamalarında daima ihtiyaç duyulan işlemlerden biridir. Bir malzemenin kaynak edilebilirliği, o malzemenin daha yaygın olarak kullanılmasını sağlayan ve o malzemedeki parça üretim yönteminin tayin edilmesinde önemli rol oynayan bir özelliğidir.

Belirli uygulamalar için farklı tür çelikler üretilir. Bu çelikler uygulama için gerekli mikro yapıyı, özellikleri ve fonksiyonelliği sağlayabilmek için hassas kompozisyon limitleri ve işleme koşullarında üretilir.

Çelikler; demir (Fe) ve karbon ( C ) alaşımlarıdır fakat mekanik özellikleri ( ayrıca elektriksel veya manyetik özellikleri de) ilave edilen çeşitli diğer elementlerden etkilenmektedir. Bu diğer elementlerle birlikte ilave edilen karbon, demirin kristal yapısını ( allotropik) değiştirir. Bu yapısal değişim çeliğin üretimi sırasında oluşur ve çeliğin mikro yapısı istenen çeliğin özelliklerine doğru değişir.

Karbon (C) katkısı, çeliği sertleştirerek çekme mukavemetini artırır. Karbon katkısı arttırıldıkça çeliğin sünekliği ve kaynaklanabilirliği azalır. Mangan ( Mn) çeliğin

dayanımını arttıran etki gösterir. Bunun yanında sertleşebilme ve kaynak kabiliyetini de artırır. Silisyum (Si) oksijen giderici olarak kullanıldığı için çelik içinde yer alır. Çeliğin akma, çekme dayanımını ve elastikiyetini artırır. Fosfor (P) çeliğin akma ve çekme dayanımını artırır, yüzde uzamayı ve eğme özelliklerini çok fazla kötüleştirir, soğuk kırılma eğilimi yaratır, talaşlı şekillendirme kabiliyetini artırır. Fosfor çelik içinde üretim işlemlerinden kalan bir elementtir ve istenmeyen özellikleri nedeniyle mümkün mertebe yapıdan uzaklaştırılır. Kükürt (S) elementinin akma ve çekme mukavemetine etkisi yok denecek kadar azdır. Fakat malzemenin yüzde uzamasına ve tokluğuna etkisi çok fazladır. Kükürt malzemenin tokluğunu ve sünekliğini önemli ölçüde azaltır. Ayrıca kaynaklanabilirliği kötü yönde etkiler. Az miktarda kullanıldığı takdirde molibden (Mo), krom (Cr), vanadyum (V) ve kolombiyum (veya Nb niobyum) da çeliğe atmosferik korozyon direnci ve tokluk kazandıran katkılardır.

Çeliğin kimyasal kompozisyonunun 200 yıllık bir çalışmanın sonucudur ve sadece 1960'lardan bu yana daha bilimsel temelli araştırmalar yapılmaktadır.

#### **2.2.5.2. Çeliklerin Kaynağı**

Bir kaynak bağlantısının özelliğini etkileyen faktörlerin başında, kaynak işlemi esnasında ortaya çıkan yüksek sıcaklığın lokal dağılımı ve değişimi karşısında esas metalin davranışlarıdır.

Kaynak bağlantısının bulunduğu ve kaynak esnasında tatbik edilen ısıdan etkilenen bölgelerin tümüne kaynak bölgesi ismi verilir. Bu bölge erime bölgesi ve ITAB olmak üzere iki kısımdan meydana gelmiştir.

Erime bölgesi kaynak esnasında tatbik edilen ısının tesiri ile eriyen ve kaynağı takiben katılaştıran bölgedir. ITAB'dan erime çizgisi adını verdiğimiz, kaynak esnasında erimiş ve erimemiş kısımlar arasındaki sınırla ayrılır. Bu sınır parlatılmış ve dağlanmış bir kaynak bağlantısı enine kesiti üzerinde çıplak gözle dahi görülebilir.

Erime bölgesi kaynak metali ve esas metalin karışımından ibarettir. Tek pasolu kaynak dikişlerinde, bu bölgede esas metal ve kaynak metali, kaynak banyosundaki şiddetli türbülansın etkisiyle iyice karışmıştır ve oldukça homojen bir bileşim arz eder; buna mukabil çok pasolu kaynaklarda, her pasonun esas metalle karışma oranı farklıdır, örneğin kalın parçaların çok pasolu kaynak dikişlerinde, orta kısımlarda, esas metale rastlanmayabilir.

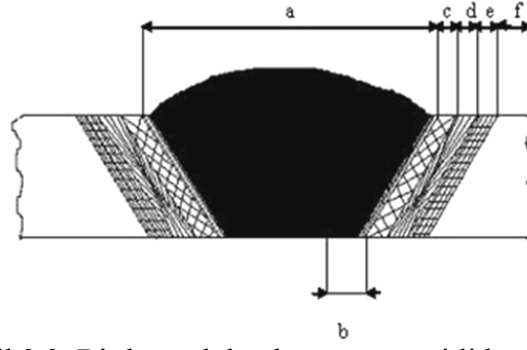
Erime bölgesinde esas metalin kaynak metaline oranı, tatbik edilen kaynak usulüne ve paso sayısına bağlı olarak geniş bir aralık içinde değişir.

ITAB, kaynak metali ile esas metalin birleştiği sınırdan itibaren esas metal tarafında kaynak işlemi esnasında uygulanmış olan ısının oluşturduğu çeşitli ısıl çevrimlerden etkilenmiş ve dolayısıyla iç yapı değişimine uğramış bölgedir.

Çeliklerin kaynağında, bu bölgede kaynak esnasında sıcaklık 1450°C ile 700°C arasında değiştiğinden (basit karbonlu), erişilen maksimum sıcaklık derecesi, soğuma hızı ve çeliğin bileşimine bağlı olarak çeşitli iç yapı ve dolayısıyla özellikler gösteren kısımlar ortaya çıkmaktadır.

Kaynak esnasında, ITAB süratli bir şekilde de ısınmakta ve sonra da parça kalınlığı, kaynağa tatbik edilen enerji ve ön sıcaklığının fonksiyonu olarak oldukça hızlı soğumaktadır; çeliğin bileşimine göre bu soğuma hızı, kritik soğuma hızını aştığında, genellikle 900 °C' nin üstündeki bir sıcaklığa kadar ısınmış bölgelerde sert dolayısıyla kırılabilir bir yapı elde edilir. Genellikle ITAB diye isimlendirilen bu kısım kaynak bağlantısının en kritik bölgesini teşkil eder ve birçok çatlama ve kırılmalar ve bölgede meydana gelir.

Çeliklerin kaynağında ITAB, iç yapıdaki tane büyüklüğü bakımından iri taneli, ince taneli, kısmen dönüşmeye uğramış ve iç yapı değişikliğine uğramamış olmak üzere dört bölgeden oluşmaktadır.



Şekil 2.3. Bir kaynak bağlantısının çeşitli kısımları  
a ve b: Kaynak Metali, c: İri Taneli Geçiş Bölgesi  
d: İnce Taneli Bölge e: Kısmen Dönüşen Bölge f: Esas Metal

Kaynak metali ( Erime bölgesi ): Kaynak işlemi sırasında bağlantının ( birleşmenin ) eritilen kısmının enine kesitidir. ( Şekil 2.3.-a ) Bu kısım yalnız esas metal veya esas metal ile kaynak metalinin bir karışımından oluşabilir.

Isının tesiri altında kalan bölge ( Geçiş bölgesi ): Kaynak işlemi esnasında ısıdan ötürü iç yapı ve özellik bakımından değişikliğe uğrayan ve kaynak metaline bitişik esas metale ait bölgedir. ( Şekil 2.3. – c, d, e )

Kaynak bölgesi: Eriyen ve ısının tesiri altında kalan bölgelerin toplamıdır. ( Şekil 2.3. – a, b, c, d ve e )

Esas metal: Kaynak işlemi sırasında iç yapı özellik bakımından etkilenmeyen bölgedir. (Şekil 2.3. – f)

### 2.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Mühendislik problemlerine analitik çözüm uygulanması geometrinin, yüklemenin ve sınır koşullarının basit olduğu durumlarda mümkündür. Aksi halde sonlu elemanlar yöntemi gibi sayısal yöntem uygulamak kaçınılmaz olmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminde problem diferansiyel denklemlerle veya integral ifadelerle tanımlanır.

Sonlu elemanlar yöntemi karmaşık mühendislik problemlerinin yaklaşık sayısal yöntemlerle çözümüne yarayan yöntemdir. Bu yöntemde sürekli ortam, davranışı sonlu



sayıda parametre ile belirlenebilen sonlu sayıda parçalara (elemanlara) bölünür ve tüm sistem elemanların toplamı olarak düşünülür. Sonlu parçalar üzerinde yapılan hesaplamalar yaklaşık sonuçla tüm sisteme genişletilir. Sonlu elemanlar metodunun önemli özelliği tüm problemi temsil etmek üzere elemanları bir araya koymadan önce her bir elemanın formüle edilebilmesidir.

Sonlu elemanlar yöntemi ilk olarak 1950'li yıllarda karmaşık savaş uçağı gövdelerinde oluşan gerilmeleri incelemek için geliştirilmiş ve daha sonra birçok mühendislik alanında uygulanmaya başlanmıştır.

Bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ile yapı içerisindeki eleman sayısı çok büyük olsa bile sonlu problemler kolayca çözülebilmektedir. Böylece sonsuz bilinmeyenli problemler sonlu eleman bölme işlemiyle sonlu sayıda bilinmeyenli probleme indirgenir.

Sonlu elemanlar yöntemi birkaç malzemenin birleştirildiği cisimlerde uygulanabilmesine imkan vermektedir. Düzgün olmayan sınırlara sahip şekiller, eğri kenarlı elemanlar kullanılarak analiz edilebilirler. Eleman boyutları kullanıcı tarafından değiştirilebilir. Böylece önemli değişiklikler beklenen bölgelerde daha küçük elemanlar kullanılarak hassas işlemler yapılabilirken, aynı parçanın diğer bölgeleri büyük elemanlara bölünerek işlem hızı arttırılabilir. Süreksiz yüzey yüklemeleri gibi sınır durumları yöntem için zorluk oluşturmaz. Karışık sınır durumları kolaylıkla ele alınabilir.

### **2.3.1 Geometrinin Oluşturulması**

Çözümü istenen problem geometrisi kullanılan paket program içerisinde ya da CAD programında oluşturulur. Model başka CAD programında oluşturulursa, iges, dxf, model, catpart, catproduct, prt, amr, step gibi formatlar ile transfer edilebilir.

### **2.3.2 Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması**

Karmaşık olan model geometrisi daha küçük ve davranışı bilinen elemanlara bölünerek sonlu elemanlar modeli oluşturulur. Model ne kadar hassas olarak küçük elemanlara bölünürse, elde edilecek sonuçlar da gerçeğe o kadar yakın değerlerde olacaktır. Ancak fazla eleman sayısı demek modeldeki bilinmeyen sayısının da artması demektir ki bu da bilgisayarlarda daha fazla hesaplama yapılması anlamına gelir ve sonucun elde edilme süresi uzar. Genellikle sonlu elemanlar paket programları otomatik olarak sonlu elemanlar modelini oluştursalar da, bazı hassas bölgeler üzerinde düzeltmeler yapmak gerekebilmektedir.

### **2.3.3. Malzeme ve Eleman Sabitlerinin Belirlenmesi**

Elastisite modülü, yoğunluk, ısı transfer katsayısı, ısı genleşme katsayısı, ısı iletkenlik gibi malzeme özellikleri sabit olarak kullanıcı tarafından belirlenmelidir.

### **2.3.4. Yük ve Sınır Koşullarının Belirlenmesi**

Model zerine gelen yükler belirlenir. Bu aşamada modelin bağlantı Őekilleri kullanıcı tarafından doğru bir Şekilde tanımlanmalıdır.

### **2.3.5. zm**

Bu aşamada sonlu elemanlar modelinin denklemleri, seçilen bir matris çözüm yöntemi vasıtasıyla çözülür.

### **2.3.6. Sonuçların Değerlendirilmesi**

Elde edilen analiz sonuçlarının liste halinde ya da grafiksel olarak ekranda görüntülenmesi işlemidir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada MAG kaynak yönteminde, kaynak yapılan parçalar arasındaki mesafe, akım değeri ve kullanılan gazın debisinin kaynak dikişi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla bir numune referans olarak alabileceğimiz değerler kullanılarak ( Çizelge 3.1.) kaynak edilmiştir. Değiştirilen her bir parametre için ise ikişer farklı numune kaynatılmıştır. 2 numaralı numuneyi kaynatırken referans kabul ettiğimiz parametreler kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Kaynak işlemi yapılırken kullanılan parametreler

	Numune Numarası						
	1	2	3	4	5	6	7
İki Plaka Arası Mesafe (mm)	0	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,8
Akım Değeri (A)	50	50	50	50	50	60	40
Gazın Debisi (lt/dk)	11	11	11	18	15	11	11

Kaynak işlemi yapılırken, distorsiyonların vuku bulması için parçalar her tarafından fiştir aracılığıyla sabitlenmeyip, sadece robotta kaynağın yapılması için gerekli olan tek taraftan sabitleme yapılmıştır.

Kaynak esnasında ve kaynak sonrasında kaynağın soğumasının etkisiyle kullanılan metalin yapısının üniform olmayan bir büzölme sonucu ortaya çıkan şekil bozukluğunu tespit etmek için, parçaların düzlemselliği ölçülmüştür.

Daha sonra numuneler çekme deneyi ve sertlik deneylerine tabi tutulmuş, en son aşamada ise mikroskopik incelemeler yapılmıştır.

#### 3.1. Numunelerin Hazırlanmasında Kullanılan Malzeme ve Cihazlar

Deneyisel çalışmalarda ana metal olarak St37 düşük karbonlu yapı çeliği kullanılmıştır. Bu malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 3.2.' de, mekanik özellikleri ise Çizelge 3.3. ' te gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.2. Ana metalin kimyasal bileşimi

Kimyasal Birleşim (%)				
C	Mn	Si	S	P
0,11	0,7	0,16	0,029	0,022

Bütün yapı çelikleri, bileşimlerine katılan çeşitli bileşenlerle mukavemet ve kaynaklanabilirlik özelliği kazanırlar.

Çizelge 3.3. Ana metalin mekanik özellikleri

Çekme Dayanımı ( Rm) ( MPa)	Akma Dayanımı (ReH) ( MPa)	% Uzama
360-510	235	24-26

Kaynak teli olarak, Oerlikon marka 1 mm çapında birleştirme amaçlı alaşımsız gazaltı kaynak teli ( SG3) kullanılmıştır. Bu tip tellerin, yüzeyi bakır kaplıdır. Alaşımsız yapı çeliklerinin, ince taneli karbon-manganez çeliklerinin ve gemi levhalarının gazaltı kaynak yöntemi ile kaynatılmasında kullanılır. Yüksek silisyum kaynak dikişinin yüzeyindeki süreksizlikleri azaltarak daha düzgün ve sağlıklı kaynak dikişlerinin elde edilmesine olanak sağlar. Kullanılan kaynak telinin kimyasal bileşimi Çizelge 3.4.' te, mekanik özellikleri ise Çizelge 3.5' te gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.4. Kaynak telinin kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim (%)					
C	Mn	Si	P	S	Cu
0,07-0,10	1,6-1,9	0,8-1,2	<0,025	<0,025	<0,30

Çizelge 3.5. Kaynak telinin mekanik özellikleri

Çekme Dayanımı ( Rm) ( MPa)	Akma Dayanımı (ReH) ( MPa)	% Uzama
590	480	26

SG3 kaynak telinin standartlardaki gösteriliŖi:

AWS A5.18 : ER 70S-6

TS 5618 : SG 3

DIN 8559 : SG 3

EN 440 : G4 Si1

Kullanılan gazın karıŖım oranı %82 Ar + %18 CO<sup>2</sup> Ŗeklindedir.

Kullanılan MIG/ MAG kaynak robotu IGM markadır( Ŗekil 3.1.).



Ŗekil 3.1. Kaynak iŖleminde kullanılan kaynak robotu

### 3.2. Deneylerde Kullanılan Numunelerin lümünde Kullanılan Cihazlar

Kaynak iŖleminin bitmesinin ardından, belirlenen noktalar üzerinden alınacak olan sıcaklık değerlerinin ölçümünü yapmak için Raytek marka PM Plus model pirometre kullanılmıŖtır ( Ŗekil 3.2.).



Ŗekil 3.2. Sıcaklık lümünde kullanılan pirometre

Kaynatılan parçaların düzlemselliğinin ölçümü Zett Mess marka Geo- As model üç boyutlu ölçüm cihazında yapılmıştır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Çarpımların ölçüldüğü 3D ölçüm cihazı

Kaba ve ince zımparalama yapılarak numunelere parlaklık kazandırılmış, bunun için su jetli Struers marka DAP-V model zımpara/ parlaticı kullanılmıştır. Numunelerin parlatılmasının sebebi pürüzsüz, düz, deformasyonsuz, çizgisiz yüzey, parlak, açık ve görüntüsünü cam gibi elde etmektir.



Şekil 3.4. Zımpara/ parlaticı

Çekme deneyi için Uludağ Üniversitesi Malzeme ve Metalurji Laboratuvarında bulunan U- Test marka elektromekanik universal test cihazı kullanılmıştır ( Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Çekme testinin yapıldığı çekme test cihazı

Reicherter- Stiefelmayer marka, KL2 model sertlik ölçüm cihazı ile numunelerin sertlik ölçümleri yapılmıştır ( Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Sertlik ölçümlerinin alındığı sertlik ölçme cihazı

Numunelerde ısının etkisi ile meydana gelen tane irileşmesi ve küçülmesinin gözlemlenmesi amacıyla ultrasonik görüntüleme yapılmış, bunun için Nikon marka mikroskop kullanılmıştır ( Şekil 3.7.). Kaynak nüfuziyetinin gözlenmesi için de Olympus marka SZX7 model mikroskop kullanılmıştır.



(a)

(b)

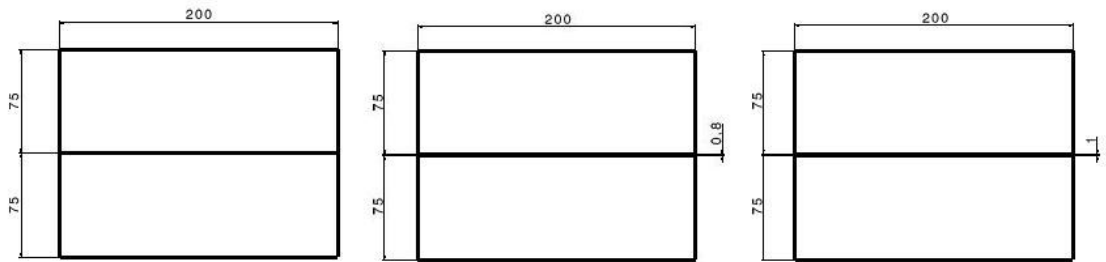
Şekil 3.7. Mikroskop

(a) Mikroyapının görüntülediği mikroskop

(b) Kaynak dikişinin nüfuziyetinin incelendiği mikroskop

### 3.3. Numunelerin Hazırlanması ve Deney Prosedürü

Yapılan çalışmada, 7 adet kaynak numunesi kullanılacağı için toplamda 14 adet parça kullanılmıştır. Deneyde kullanılan parçaların hepsi aynı boyutta olup, 200x75 mm uzunluğunda ve 3 mm kalınlığındadır ( Şekil 3.8.).



Şekil 3.8. Kullanılan numunelerin ölçüleri (mm cinsinden)

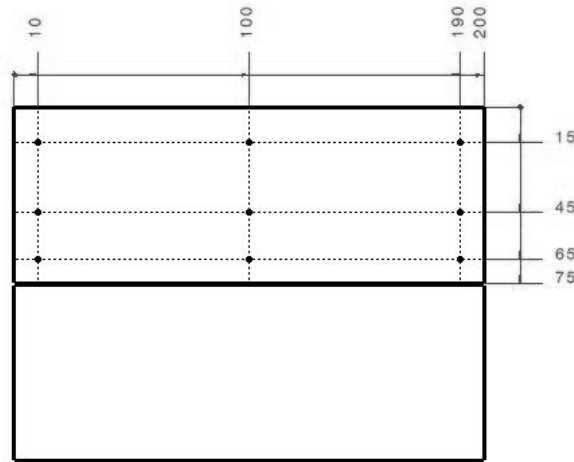


Kaynak işlemine başlamadan önce kaynatılacak iki parça birbirine uç noktalarından puntalanmıştır ( Şekil 3.9.). Bu işlem yapılırken, incelenen parametrelerden birinin iki parça arası mesafe olduğu göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 3.9. Kaynak işlemine hazırlık amacıyla, iki parça kenarlarından puntalanmıştır

Sıcaklık ölçümlerinin her numune için aynı noktadan yapılabilmesi için uygun işaretlemeler yapılmıştır (Şekil 3.9. ve 3.10.). Bu noktalardan ölçüm alınırken sağdan sola ( Şekil 3.10.' a göre) ve kaynak dikişinden parça kenarına doğru okuma yapılmıştır. Ayrıca kaynak dikişinin orta noktasından da ölçümler alınmıştır.



Şekil 3.10. Sıcaklık ölçümlerinin alındığı noktaların parça üzerindeki konumları

Numune, kaynak robotuna tutturulurken malzeme üzerinde sıcaklık dağılımını etkilemeyecek, kaynak bölgesine temas etmeyecek ve çarpılmanın oluşmasını engellemeyecek şekilde olmasına dikkat edilmiştir ( Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Kaynatılacak parçaların kaynak robotuna tutturulması

Kaynak işleminin tamamlanmasının akabinde pirometre aracılığı ile belirlenen noktalardan sıcaklık ölçümleri alınmıştır ( Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Kaynak işleminin akabinde sıcaklık ölçümünün yapılması

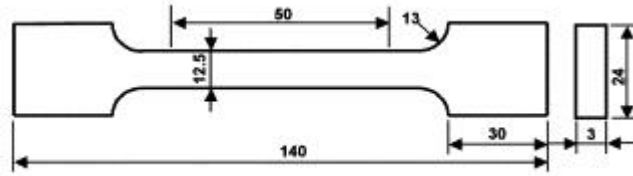
### 3.4. Uygulanan Deneyler

#### 3.4.1. Çekme Deneyi

Çekme deneyi malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması amacıyla yapılır. Çekme deneyi ilgili standartlara göre hazırlanan deney numunesinin, tek ekseninde ve sabit bir hızla kopuncaya kadar çekilmesi işlemidir (Savaşkan 1999).

Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulandığında, aynı esnada da numunenin uzaması kaydedilir.

Bu çalışmada numuneler  $200 \times 75 \times 3$  mm ebatlarında kesilmiştir. Bu ebatlardaki iki adet numune karşılıklı olarak birleştirilmiştir. Kaynakla birleştirildikten sonra parçaların iki yüzeyi taşlanarak hem fazla kaynak metali temizlenmiş hem de iki yüzeyin birbirine paralel olması sağlanmıştır. Daha sonra parçalar TS 287 EN 895/1996 standardına göre kesildikten sonra kenarları işlenerek Şekil 3.13.'deki ölçülere uygun numuneler elde edilmiştir.



Şekil 3.13. Çekme numunesi

Ayrıca ana metalin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla ana metalden 3 adet çekme çubuğu numunesi de yapıp, çekme testine tabi tutulmuştur.

Numuneler iki kısımdan ibarettir. Numunenin baş kısımları; yük tatbik edilmek için tutulan kısımlardır ve diğer bölgeye göre daha büyük boyutludur. Numunenin orta kısmı; yük tatbik edildiğinde deformasyonun yer alması arzu edilen daha küçük boyutlu

bölgedir. Deney sonuçları bu kısımda yapılan ölçmelerle tespit edilir. Numunenin bu kısmında, kesit ile uzunluk arasında belli bir ilişki vardır.



Şekil 3.14. Çekme testi sonrasında kopmuş malzeme

### 3.4.2. Sertlik Ölçümü

Bir malzemenin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Bilimsel anlamda ise, bir malzemenin dislokasyon hareketine veya plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç sertlik olarak ifade edilir. Sertlik deneyinde, bir malzemenin yüzeyine batırılan bir uca veya kesici takıma karşı gösterdiği direnç ölçülür (Savaşkan, 1999).

Vickers sertlik ölçme yöntemi, sertliği ölçülecek malzeme yüzeyine, tabanı kare kesitli ve tepe açısı  $136^\circ$  olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında batırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegenlerinin ölçülmesinden ibarettir.

Deneyden sonra Vickers sertlik değerini bulmak için kare şeklindeki izin köşegenlerini hassas, bir şekilde ölçmek gerekir. Bu ölçme, alete ilâve edilmiş metalürji mikroskobu sayesinde yapılmaktadır; numune üzerinde meydana getirilen izin görüntüsü mikroskop yardımıyla ölçme ekranına aktarılır. Ölçme ekranındaki hareketli iki cetvel yardımıyla köşegenlerin uzunlukları ölçülür.

Vickers sertliği ölçüsü, geniş çubuklardan saçlara kadar her ölçüde malzeme çeşidine uygulanabilir. Genel olarak numunelerin alt ve üst yüzeyleri, yük bindiği zaman numune hareket etmeyecek veya kaymayacak şekilde düz olmalıdır. Kalınlık olarak da,

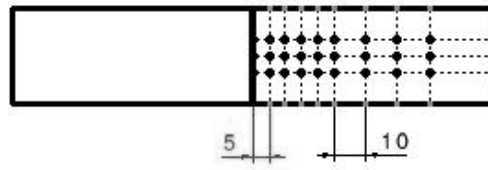
piramit dalıcı ucun, numunenin öbür yüzeyinde bir çıkıntı meydana getirmeyecek derecede kalın olması yeterlidir.

Mukavemetin (ve bir ölçüde sertliğin) mikro yapıya bağlılığı malzemede mevcut fazlara, onların dağılım ile yoğunluğuna ve malzemenin tane boyutu ile ilişkilidir. Eğer bir metal, ince tanelerden meydana gelmişse, sertliği ve mukavemeti yüksektir; kaba taneli çeliğin ise sertliği düşük olduğu gibi tokluğu da kötüdür.

Sertliği ölçülecek malzemenin yüzeyleri oksitlerden, girinti ve çıkıntılardan arındırılmış olmalıdır. En önemlisi yüzeyin pürüzsüz ve parlak olması istenir. Bu nedenle hazırlanan numunelere 180, 400, 600 ‘ lük zımpara kağıdı ile zımparalama işlemi uygulanmıştır.

Sertlik deneyleri basit ve tahribatsız deneyler olduğundan, malzemenin diğer özellikleri hakkında, malzemeyi elden çıkarmadan bir fikir edinilebilir. Daha sonra örnek üzerinde diğer deneyler de yapılabilir.

Bu çalışmada, numuneler 30 mm’ lik şeritler halinde kesilip her numuneden bir şerit Şekil 3.15.’ de gösterildiği gibi ( kayak bölgesi yakınında 5 mm ve ana metale yaklaşıpta 10 mm mesafe ile) işaretlenerek HV 0,2 ile 1, 981 N’ luk kuvvet 15 saniye boyunca uygulanarak sertlik ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3.15. Sertlik ölçümlerinin alındığı noktaların parça üzerindeki konumları

### 3.4.3. Kaynak Bölgesinin Mikro Yapısının Görüntülenmesi

Uygulanan çekme deneyi ve sertlik ölçümlerinden elde edilen verilerin incelenmesi sırasında yorumlamalara yön vermesi bakımından faydalı olması nedeniyle numunelerin mikro yapısı incelenmiştir.

Kaynak bölgesi, oluşan ısı ile mikro yapısal olarak farklı bölgelere sahip olmaktadır. Bundan dolayı her bir parametre için hazırlanan numuneler mikroskop altında incelenmesine olanak verecek şekilde hazırlanmıştır.

Bu amaçla sertlik ölçümünde kullanılan numuneler, kaynak bölgesi ortada kalacak şekilde kesildikten sonra numuneler arasında boşluk kalmayacak şekilde üst üste yerleştirilerek birbirine cıvata ile bağlanmıştır.

Numunelerin mikroskopik incelemeye uygun hale getirilmesi için parlatılması gerekir. Bu işlemin temel amacı, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak suretiyle, ışığı iyi yansıtan bir yüzey elde etmektir. Zira metal mikroskopları numune yüzeyinden yansıyan ışınları incelemektedir.

Parlatma terimi, zımparalama ve parlatma adımlarını içerir. Zımparalama için zımpara kağıtları kullanılır. Parlatma ise pasta, sprej veya çözelti halinde aşındırıcının özel olarak dışarıdan katılması ile malzemeler için farklılık gösteren özel kumaşlar üzerinde yapılır.

Mikroskop altında inceleyeceğimiz birleştirilmiş numuneler, parlatma makinesinde 60, 180, 280, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200' lük (birim alandaki aşındırıcı partikül sayısı) zımpara kağıtları ile zımparalanmıştır. Parlatma için ise 0,03  $\mu$ ' luk alümina solüsyonu kullanılmıştır. Parlatma sırasında numune ile zımpara ve aşındırıcı arasında sürtünmeden ileri gelebilecek ısınmayı engellemek için su kullanılmıştır.

Parlatma işlemi sonucunda elde edilen yüzeyler ışığı eşit miktarda yansıttığından yapının detayları gözlenemez; bunu sağlamak için yapıda kontrast oluşturmak gerekir; bunun için dağlama yapılır. Bu amaçla % 2' lik nital solüsyonu kullanılmıştır.

#### **3.4.4. Kaynak Dikişinin Nüfuziyetinin İncelenmesi**

Numuneler kaynak yoluna 90° lik açı ile kesilip, parlatma makinesinde numunelerin kesilen yüzeyleri parlatılmıştır. Numuneler %10' luk nitrik asitin bulunduğu sıvıya

sokulmuştur. Bunun yapılmasının sebebi kaynak bölgesinin rengini koyulaştırmaktır. Bunun sonucunda da mikroskop altında kaynak bölgesinden alınacak kaynak genişliği ve kaynak derinliği gibi ölçüler daha iyi ölçülebilecektir.

### **3.4.5. Numunelerin ve Kaynak İşleminin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi**

Kaynaklı birleştirme şekillerinden biri olan alın kaynağı ile birleştirme neticesinde oluşan termal dağılım, malzemede meydana gelen şekil değişimi ve gerilmelere ait değerler elde edilmiştir.

Hazırlık ( pre-process) aşamasında HyperMesh 10.0 kullanılarak sonlu elemanlara ayırma işlemi yapılmış, çözücü ( solver) olarak Radioss 10.0 kullanılmış, sonuçların grafiksel olarak görüntünmesi ( post- process) aşamasında da HyperView 10.0 kullanılmıştır.

#### **3.4.5.1. Problemin Tanımı**

Kaynak işlemi sonucu elde edilmek istenen veriler incelerken, kaynatılacak parçalar arası mesafenin 0,8 mm olduğu numune ve bundan alınan ölçümler kullanılmıştır.

Kaynaklı parçalar üç boyutlu modellenerek, kaynak dikişinin tek pasoda oluşturulduğu ve kaynak ana metali ile kaynak metalinin malzemesinin aynı olduğu varsayılarak St37 düşük alaşımlı yapı çeliği kullanıldığı kabul edilmiştir.

#### **3.4.5.2. Modelin Hazırlanması ve Analiz**

Kaynak yapılan parçalar Catia V5 R19' da modellenmiş olup, geometri step formatında HyperMesh 10.0 programına transfer edilmiştir.

Transfer edilen geometrinin sonlu elemanlara ayrılması işlemi analiz sonuçları üzerinde etkisi olan bir durumdur. Bu nedenle bu işlem yapılırken mümkün olan en düzgün şekilde elemanlara ayırma tercih edilmedi.

Transfer edilen geometrinin yüzeyi iki boyutlu olarak elemanlara ayrılıp, elde edilen 2D elemanlar x eksenine doğrultusunda ötelenerek üç boyutlu elemanlar elde edilmiştir. Bu işlem neticesinde 10881 adet node ve 7170 adet eleman elde edilmiştir.

Kullanılacak metalin malzeme özellikleri sisteme girilerek, model için malzeme bilgisi oluşturulmuştur.

$$E = 2,1 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

$$\nu = 0,3$$

$$\rho = 7841,72 \text{ Kg/ m}^3$$

$$\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ (1/ } ^\circ\text{C)}$$

$$K = 46,7 \text{ W}$$

$$H = 40$$

$$T_{\text{parça ref}} = 293 \text{ K}$$

$$T_{\text{ortam}} = 300 \text{ K}$$

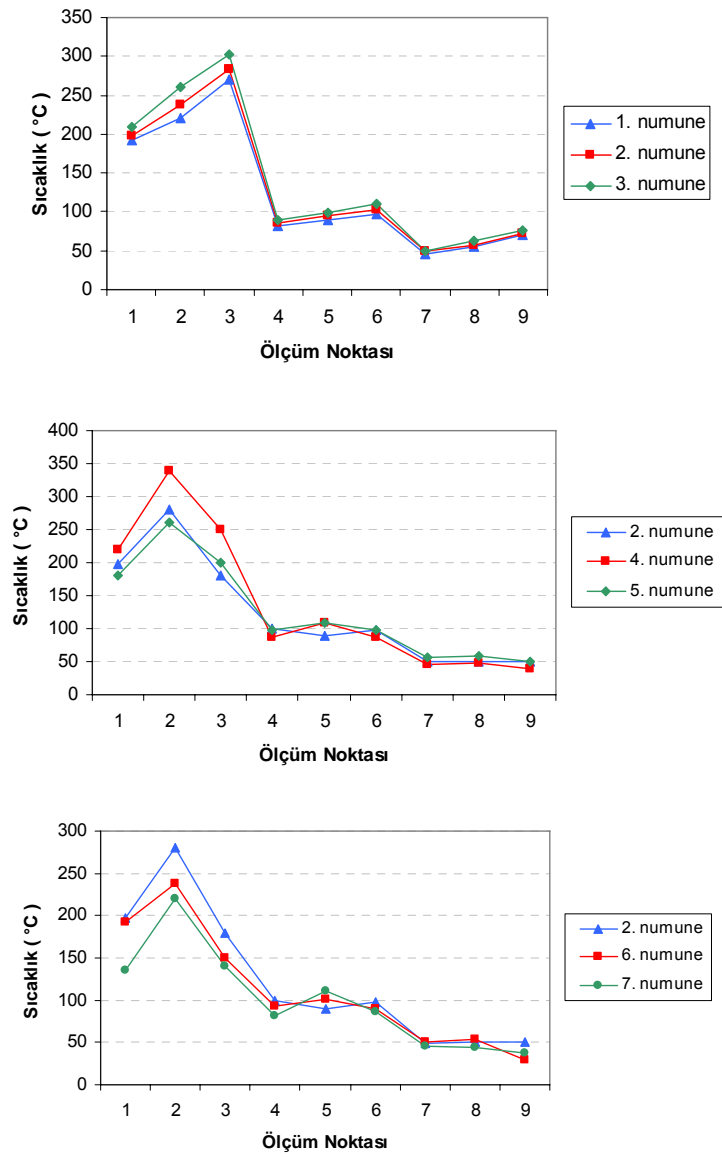
Hazırlanan modele özellik tanımlaması yapılarak modelin 3 boyutlu programa olduğu tanıtılmıştır. Daha sonra oluşturulan malzeme kartı ile model arasında ilişkilendirme yapılarak, kaynak işlemi esnasında olduğu gibi tek taraftan sabitleme yapılarak sınır şartları belirlenmiştir. Kaynak dikişine sıcaklık uygulaması başlatıldıktan sonra çözücüde analiz yaptırılmış olup, sonuçlar grafikler halinde görüntülenmiştir.



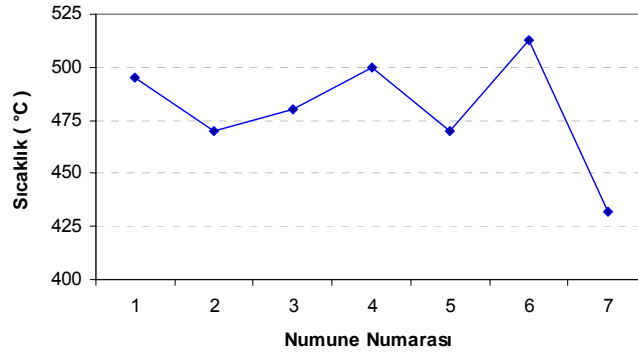
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Deneysel Çalışmalar ile İlgili Bulgular ve Tartışma

Kaynak işleminin akabinde parçalar fikstürden çıkarılmadan, önceden belirlenip işaretlenen noktalardan sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Şekil 4.1.' de referans verilerle kaynatılan 2 numaralı parça ile mukayeseli olarak grafikler verilmiştir. Şekil 4.2.' de ise kaynak dikişinin orta noktasından alınan sıcaklık ölçümleri verilmiştir.

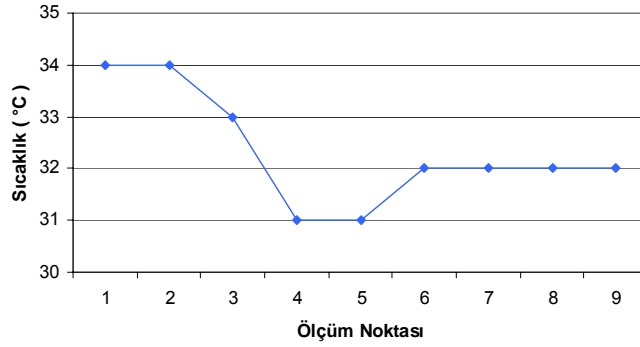


Şekil 4.1. Belirlenen noktalar için yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları



Şekil 4.2. Kaynak dikişinin orta noktası için yapılan sıcaklık ölçüm sonuçları

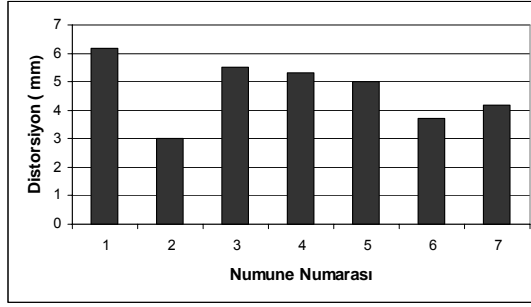
Kaynatılan parçalar, açık havada soğumaya bırakılmış olup, belirlenen noktadaki sıcaklık ölçümü 16 dakika sonra tekrar yapılmış ve yaklaşık olarak oda sıcaklığına düştüğü tespit edilmiştir ( Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Belirlenen noktalar için 16 dakika sonra ölçülen sıcaklık ölçüm sonuçları

Kaynak işlemi ile soğuk bir metalin herhangi bir noktasına ani olarak, büyük bir ısı verilmektedir. O nokta, büyük hızla ergimeye varacak kadar ısınmakta, ısınan metal ise genişlemek istediği için civarındaki ergimemiş ve biraz ilerisindeki soğuk kalmış kısımları da bu genişlemeye sürüklemek ister. Metal yumuşaksa parçanın her noktası, aldığı ısı payı oranında, birbirinden farklı olarak genişler, parça çarpılır, ilk şeklini kaybeder.

Şekil 4.4.' de soğuyan plakalarda meydana gelen şekil değişikliğinin 3D ölçüm cihazında ölçülmüş değerleri verilmiştir. Bu veriler numunelerde meydana gelen en yüksek değerdeki şekil değiştirmelerini göstermektedir.



Şekil 4.4. Meydana gelen distorsiyonlar

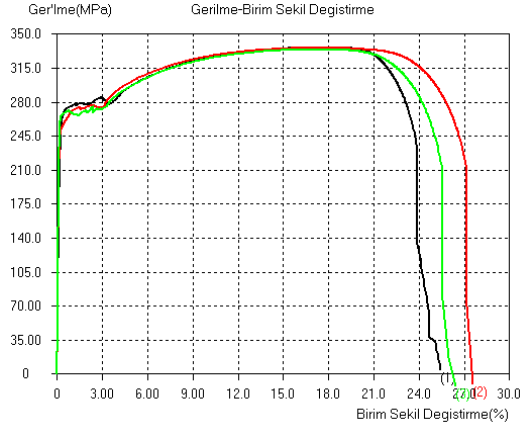
Ana metalin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla ana metalden 3 adet çekme numunesi de yapıp, çekme testine tabi tutulmuştur. Kaynak işlemi yapılmamış numune için çekme deneyi sonrası elde edilen verilerden ( Çizelge 4.1.) yola çıkarak, kullanmış olduğumuz yapı çeliğinin akma dayanımının, standartlarda verilen asgari değeri sağladığını; çekme dayanımının ise belirtilen değer aralığında olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.1. Kaynak işlemi yapılmamış numune için çekme deneyi sonrası elde edilen veriler

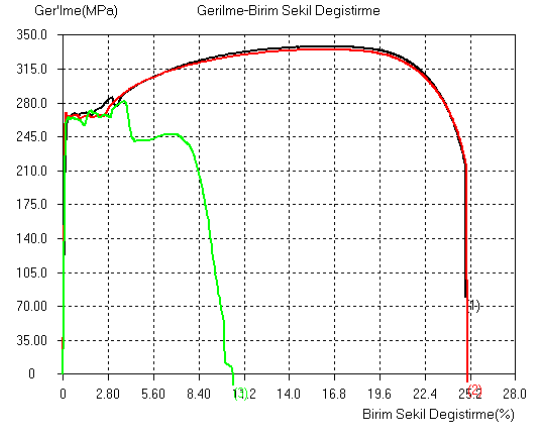
Kaynak Yapılmamış Esas Metal	Akma Dayanımı ( ReH) ( MPa)	Çekme Dayanımı ( Rm) ( MPa)	% Uzama
1	307	376	29.3
2	300	366	30.4
3	300	368	30.9
<b>Ortalama</b>	<b>302.34</b>	<b>370</b>	<b>30.2</b>

Şekil 4.5.' de verilen grafikler incelendiğinde akma ve çekme dayanım değerlerinin kaynak işlemi yapılmamış numune için elde değerlerden nispeten düşük olduğu görülmektedir. Buna sebep olarak bu numunelerin kaynak işlemi ile metalürjik özelliklerinin değişmiş olabileceği düşünülmektedir.

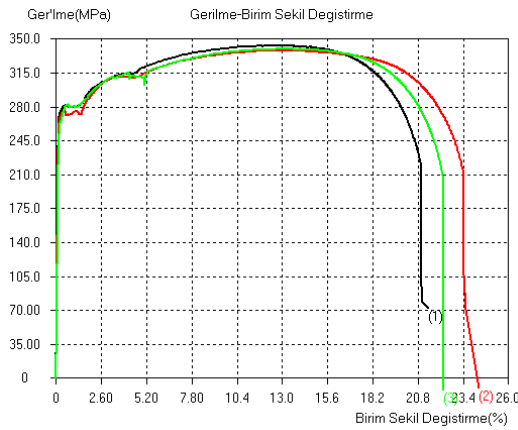
2. ve 5. numunelerden alınan 3. ölçümlerde elde edilen grafiğin olması gereken bir davranış göstermediği görülmektedir ( Şekil 4.5.(b), 4.5.(e)). Buna malzemenin metalürjik yapısının değişmesi, numune boyutlarının simetrik ve paralel olmayan yüzeyler neden olmuş olabilir.



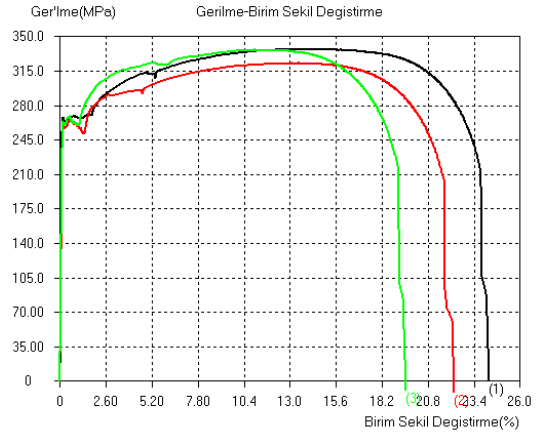
(a)



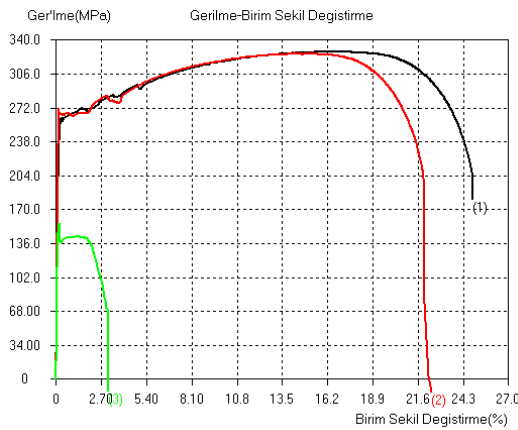
(b)



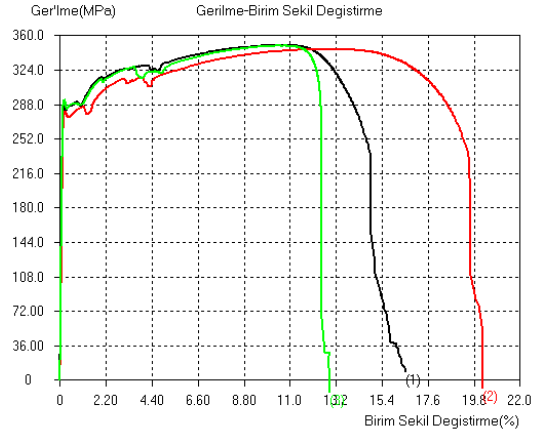
(c)



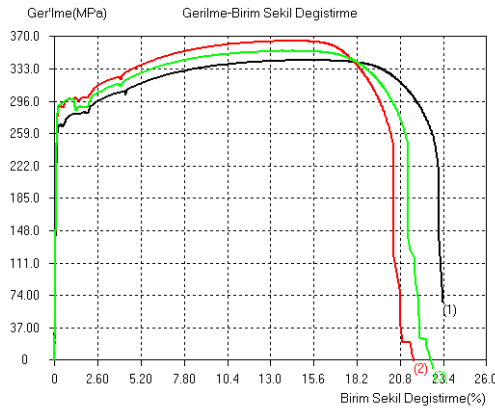
(d)



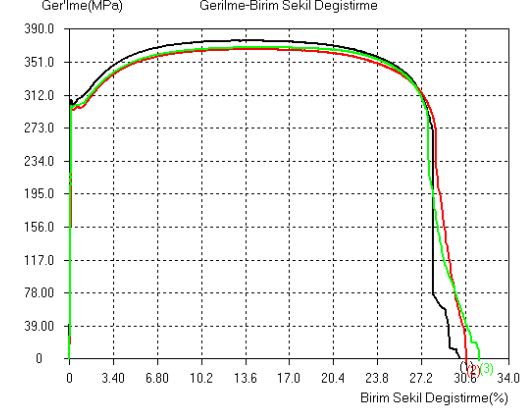
(e)



(f)



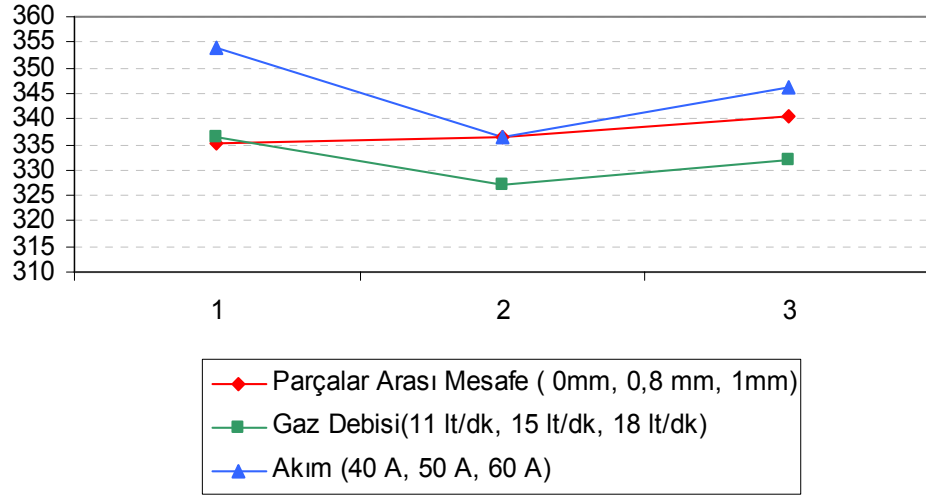
(g)



(h)

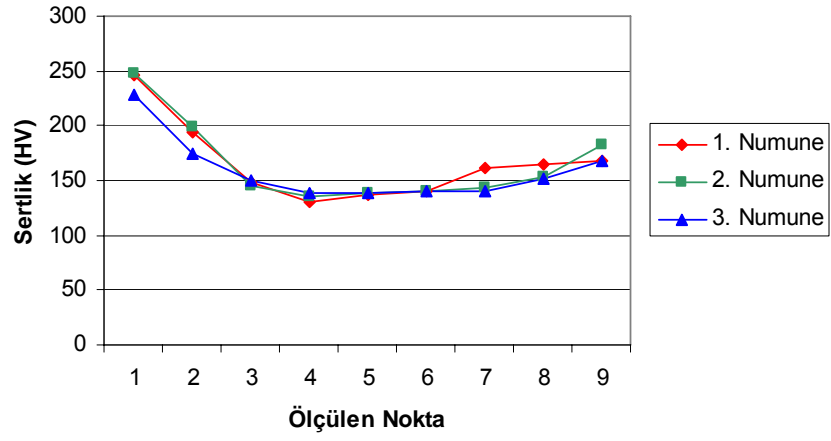
Şekil 4.5. Çekme deneyi sonucu elde edilen gerilme-birim şekil değıştirme grafikleri  
 (a) 0 mm; 50 A; 11 lt/ dk (b) 0, 8 mm; 50 A; 11 lt/ dk (c) 1 mm; 50 A; 11 lt/ dk  
 (d) 0, 8 mm; 50 A; 18 lt/ dk (e) 0, 8 mm; 50 A; 15 lt/ dk (f) 0, 8 mm; 60 A; 11 lt/ dk  
 (g) 0, 8 mm; 40 A; 11 lt/ dk (h) Kaynak yapılmamış numune

Çekme deneyinde, numunelerin tamamı deney sırasında ısı tesiri altındaki bölgeden kopmuştur. Bazı numuneler için uygun olmayan akma ve çekme davranışı nedeniyle erken kopma görülmüştür.

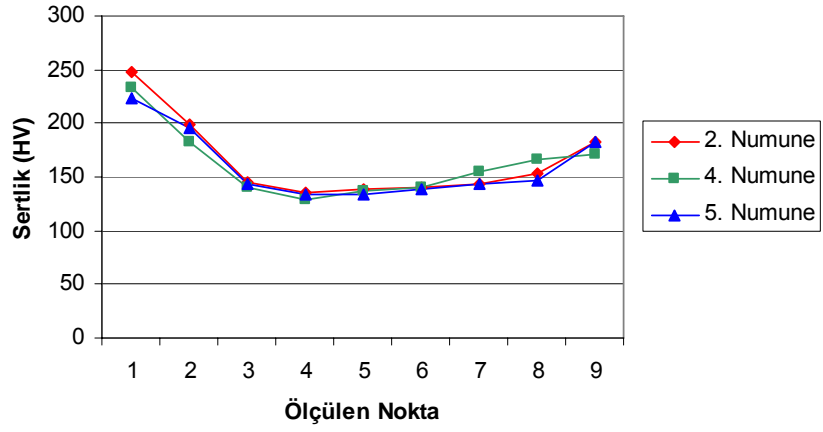


Şekil 4.6. Çekme dayanımı grafiği

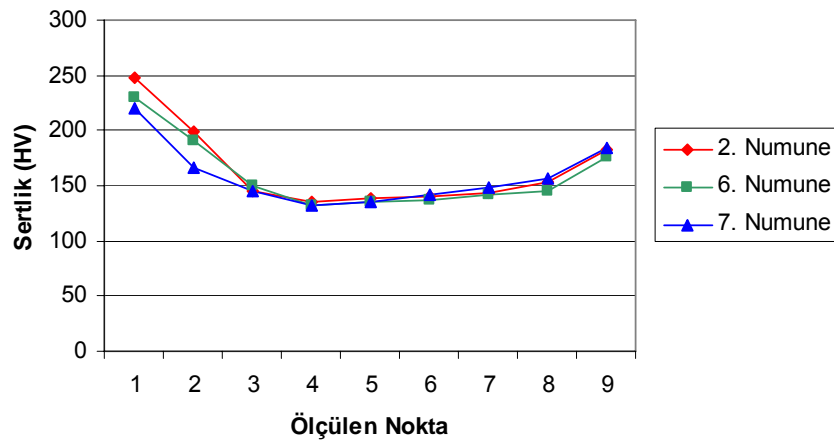
Şekil 4.7.' de sertlik ölçüm sonuçları birbirleri ile mukayeseli olarak verilmiştir. Sertlik ölçümleri elde edilen bilgiler malzeme yapısı ile ilgili fikir vermesi açısından önemlidir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.7. Sertlik ölçüm sonuçları  
(a) Parçalar arası mesafenin etkisi (b) Gaz debisinin etkisi (c) Akımın etkisi

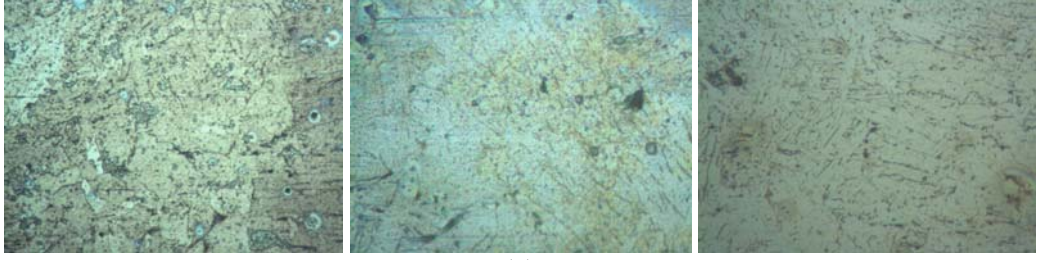
Elde ettiğimiz grafiklerden yola çıkarak, en yüksek sertlik değerlerini kaynak bölgesinden elde edildiği görülmektedir.

Parçalar arasındaki mesafenin 0 mm ve 0,8 mm olduğu numunelerde, elde edilen sertlik değerlerinde büyük farklılıklar görülmemiştir. Mesafenin 1 mm olduğu numunede, mesafenin fazla olmasından ötürü kaynak teli bir noktada daha uzun süre durmuş ve uygulanan ısının daha fazla olmasının neticesi olarak sertlikte düşüş görülmüştür. Kullanılan gaz debisinin 11 lt/ dk olduğu numunede, atmosfer ile diğer numunelerde olduğundan fazla etkileşim içinde olması sonucu daha çabuk soğumaya bağlı daha yüksek sertlik görülmektedir. Akım değerinin 40 A olduğu numunenin kaynak bölgesinde uygulanan ısının daha düşük olmasından ötürü soğuma da daha yavaş olmuş, bu da sertliğin daha düşük olmasına sebebiyet vermiş olabilir. Uygulanan 50 A'lık akımda sertlik değeri en yüksek ölçülmüştür. Bu da uygulanan bu değer için optimum akım değeri olabileceğini düşündürmüştür.

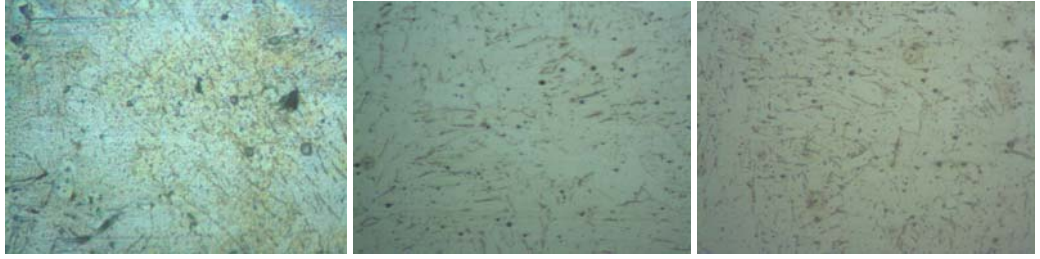
Tüm numunelerde ısı tesiri altındaki bölgenin, parça üzerinde 5-50 mm arasındaki bölge olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgede tane irileşmesine bağlı olarak sertliğin düşüşe uğradığı ana metale yaklaştıkça tanelerin küçülmesinden ötürü sertliğin artmaya başladığı görülmektedir.

Parçalar arasındaki mesafenin olmadığı numunede, kaynak telinin daldırılması için mesafe olmaması ve işlemin daha hızlı bitmesi sonucu oluşan ısının nispeten düşük olmasından ötürü sertlikte düşüş olduğu görülmektedir. Mesafenin 0 mm ve 0,8 mm olduğu parçalarda bariz bir fark tespit edilmemiştir. Gaz debisinin değişiminin ısı tesiri altındaki bölgede yapılan ölçümlerde benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. 60 A'lık akım uygulanan numunede yüksek sıcaklık sonucu oluşan ısıdan etkilenme fazla olduğu için sertlikte düşüş tespit edilmiştir.

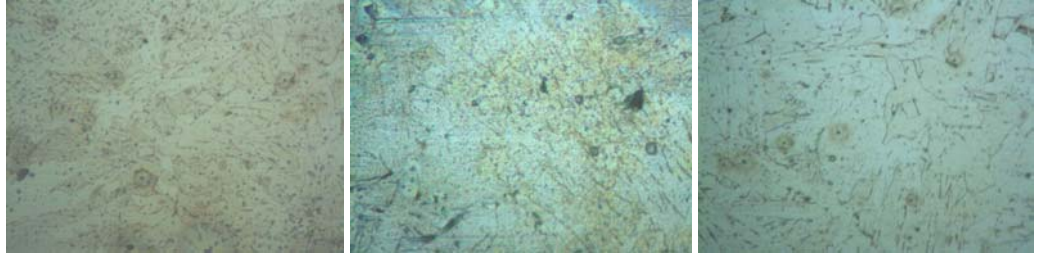
Mikroyapı çalışmaları sonucunda kaynak bölgesinde tanelerin kolonsal yönelme gösterdiği, ısının tesiri altında kalan bölgede ( ITAB) tane irileşmesinin meydana geldiği tespit edilmiştir. Ana metalde tanelerin yeniden küçüldüğü gözlenmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.8. Kaynak bölgesinde mikroyapı X400

(a) Parçalar arasındaki mesafenin etkisi ( soldan sağa 0 mm- 0,8 mm- 1 mm)

(b) Gaz debisinin etkisi ( soldan sağa 11 lt/ dk- 15 lt/ dk- 18 lt/dk)

(c) Akımın etkisi ( soldan sağa 40 A- 50 A- 60 A)

Yapılan ölçümlerden, kaynak bölgesinde kullanılan dağlayıcı sıvının etkisi ile tane içinde de yanmalar görülmektedir.





(a)



(b)



(c)

Şekil 4.9. Isı tesiri altındaki bölgede mikroyapı X400

(a) Parçalar arasındaki mesafenin etkisi ( soldan sağa 0 mm- 0,8 mm- 1 mm)

(b) Gaz debisinin etkisi ( soldan sağa 11 lt/ dk- 15 lt/ dk- 18 lt/dk)

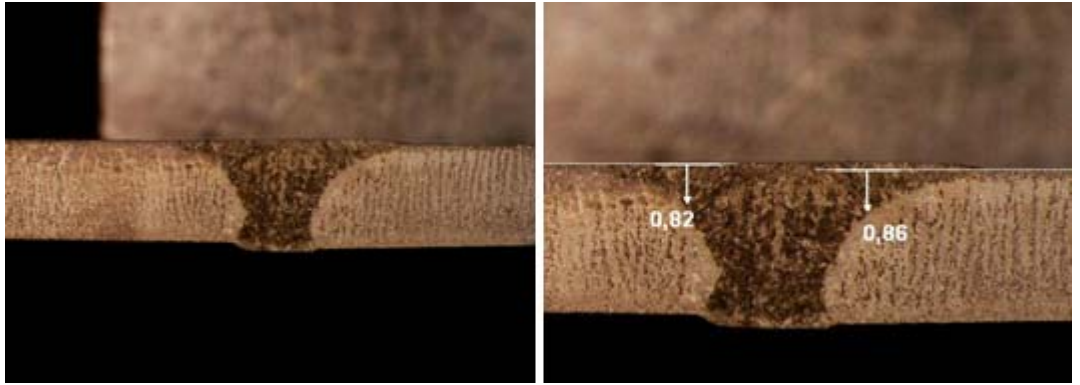
(c) Akımın etkisi ( soldan sağa 40 A- 50 A- 60 A)

Parçalar arasındaki mesafenin 0 mm olduğu numunede tanelerde meydana gelen büyüme, oluşan ısının az olmasından ötürü azdır. 0,8 mm ve 1 mm olan numunelerde ise, oluşan ısı süre ve miktar olarak da daha fazla olduğu için tanelerde büyüme daha fazladır.

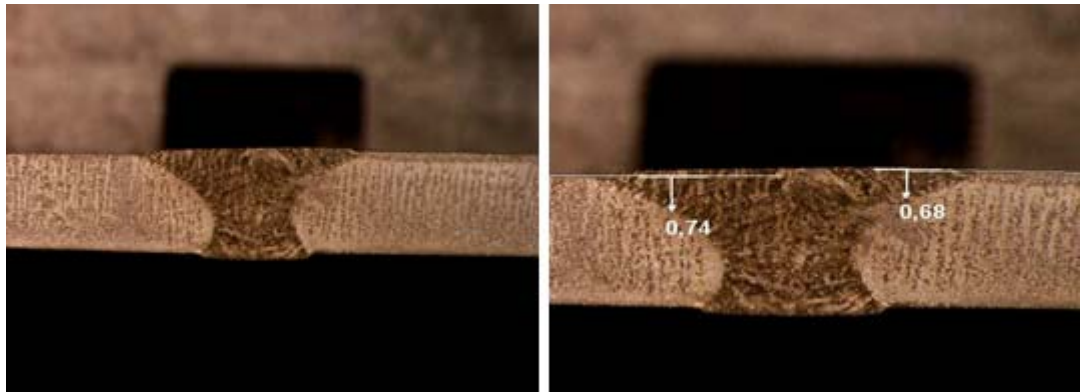
Gaz debisinin 11 lt/ dk olduğu numunede de tanelerde nispeten daha az büyüme gözlenmektedir. 15 lt/ dk ve 18 lt/ dk olan numunelerde ise birbiri arasında fark görülmeyip, tanelerde diğer numuneye nazaran daha fazla büyüme görülmektedir.

Kullanılan akım değerinin 60 A olduğu numunede oluşan ısının çok fazla olmasından ötürü tanelerde belirgin büyüme görülmektedir.

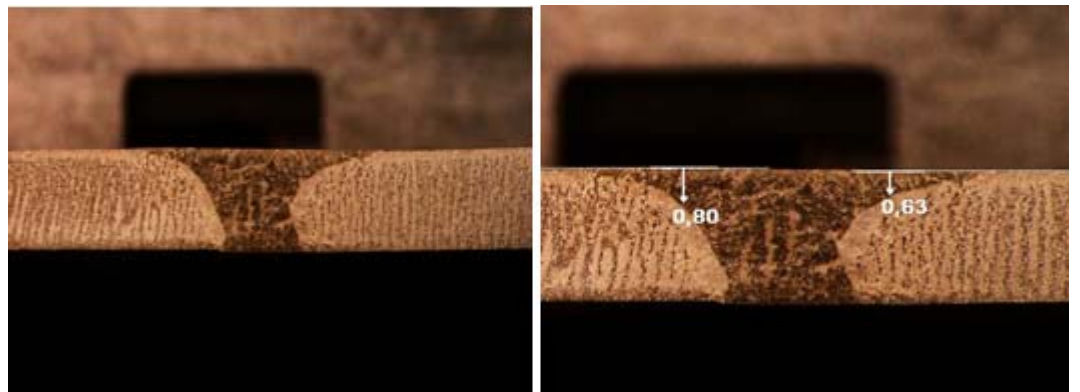
Birleştirme sırasında istenilen güvenilirliğin ve sağlamlığın sağlanabilmesi, esas metalde ergimenin oluştuğu derinlik olarak adlandırılan nüfuziyet ile elde edilir. Literatürden edinilen bilgilere göre akım ve gaz debisinin kaynak dikişi ve nüfuziyet üzerinde de etkileri olmaktadır. Bu sebeple, nüfuziyet incelenirken gaz debisi ve akım değerlerinin değiştirildiği parçalar ele alınıp, referans değerlerle kaynak işlemi yapılan parça ile mukayese edilmiştir. Nüfuziyet incelemesi esnasında elde ettiğimiz veriler Şekil 4.9.' da verilmiştir.



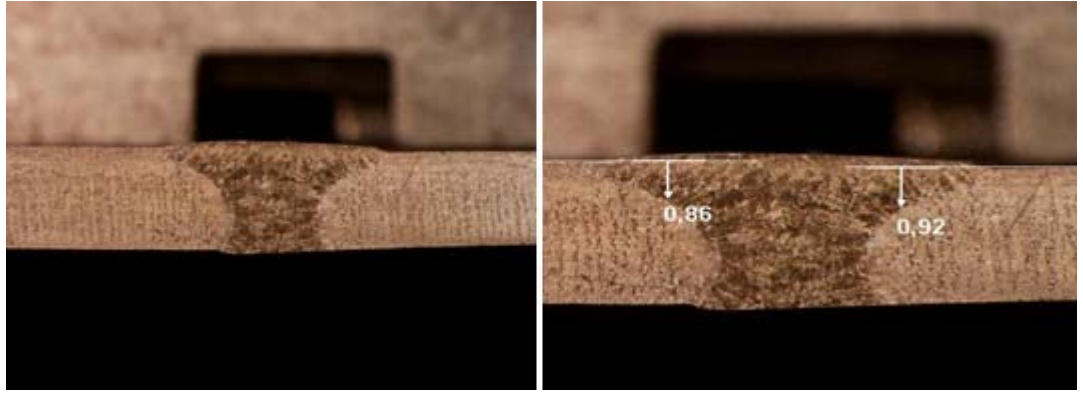
(a)



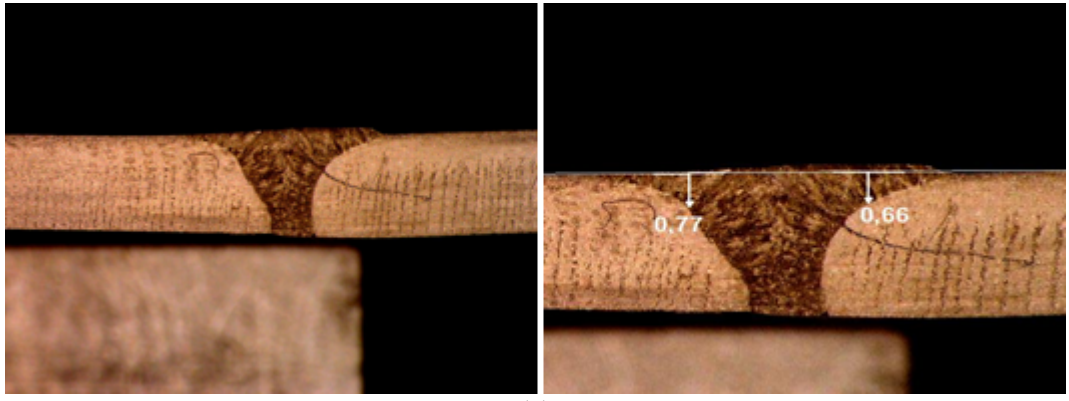
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.10. Kaynak dikişi nüfuziyeti

(a) 0,8 mm; 50 A; 11 lt/ dk (b) 0, 8 mm; 50 A; 18 lt/ dk (c) 0, 8 mm; 50 A; 15 lt/ dk  
(d) 0, 8 mm; 60 A; 11 lt/ dk (e) 0, 8 mm; 40 A; 11 lt/ dk

Kaynak dikişi önceki deneyler için taşlanarak temizlenmiş olduğu için kaynak dikişinin boyunu incelememiz mümkün değildir. Ancak bu durum elde etmek istediğimiz sonuçların eldesinde bir problem teşkil etmemektedir.

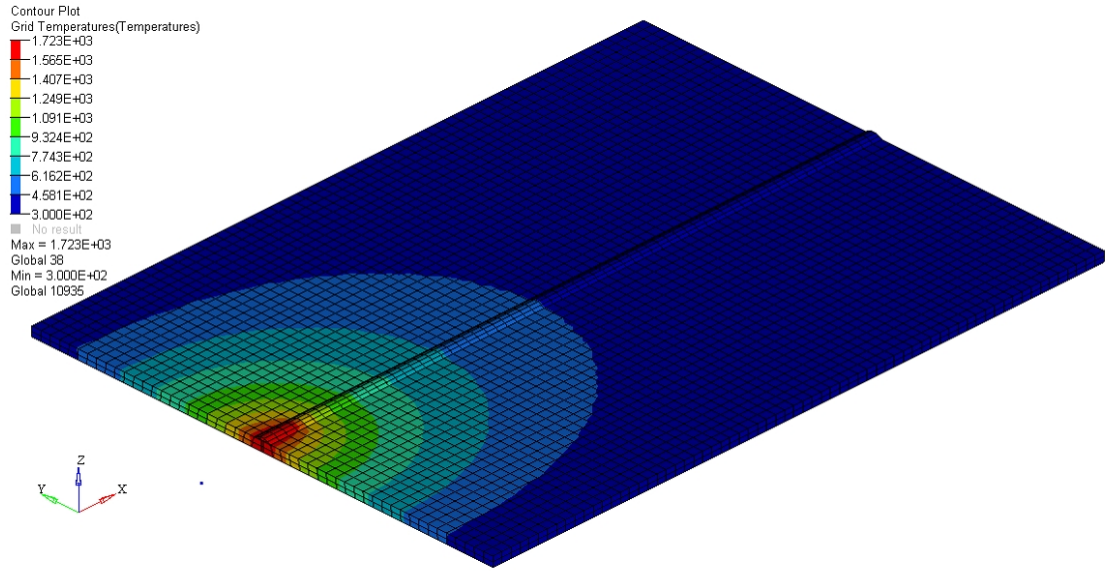
Referans parametrelerle yapılan kaynak sonrası elde edilen (11 lt/ dk), herhangi bir problem teşkil etmeyen olması istenen türden bir dikiştir.

Gaz debisinin gerektiğinden fazla olması durumunda, genelde kaynak dikişinin üst kısımlarında gözenekler ve köpürme görülür. Ancak gaz debisinin 18 lt/ dk ve 15 lt/ dk ile kaynatılan parçalarda böyle bir durumun söz konusu olmadığı görülmektedir.

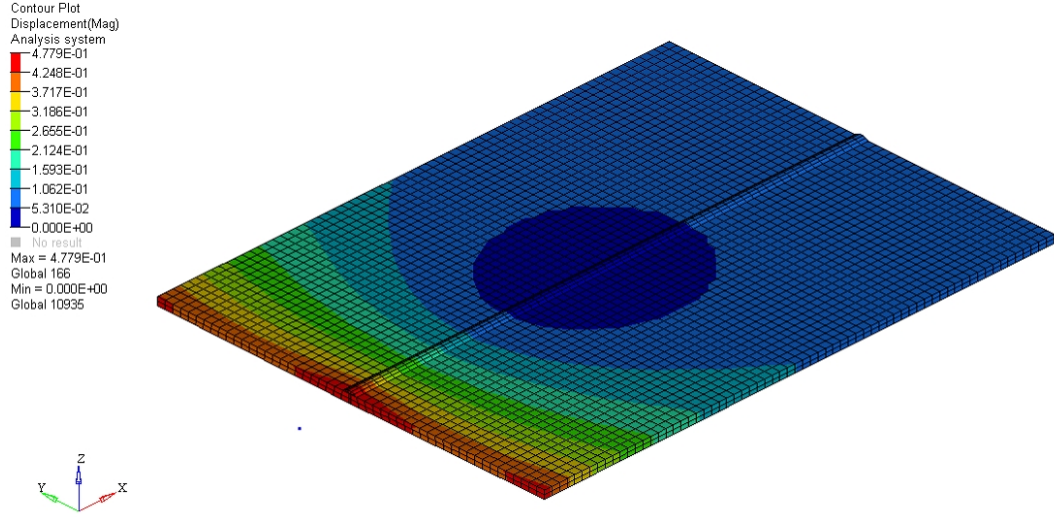
Kullanılan akım değeri, oluşturulacak ısı ile orantılıdır. Yüksek ısı girdisinde de eriyen metal havuzu genişler. Yapılan işlemlerde akım değerinin 60 A olduğu parçada ana metalin daha fazla eridiği ve kaynak dikişinin daha geniş olduğu görülmektedir.

Görüntülerden kaynak yapılacak parçalardan birinin diğerine nispeten daha fazla eridiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak, kaynak telinin tam ortaya konumlandırılmadığı düşünülmektedir.

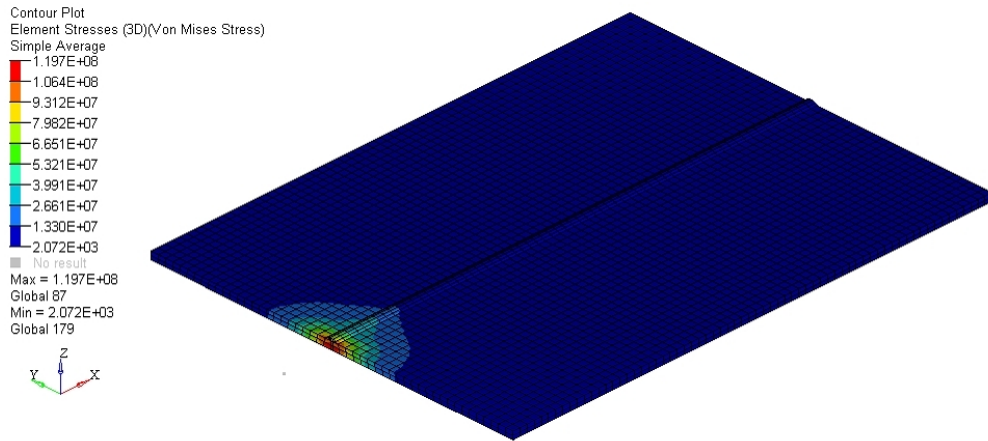
#### 4.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İlgili Bulgular ve Tartışma



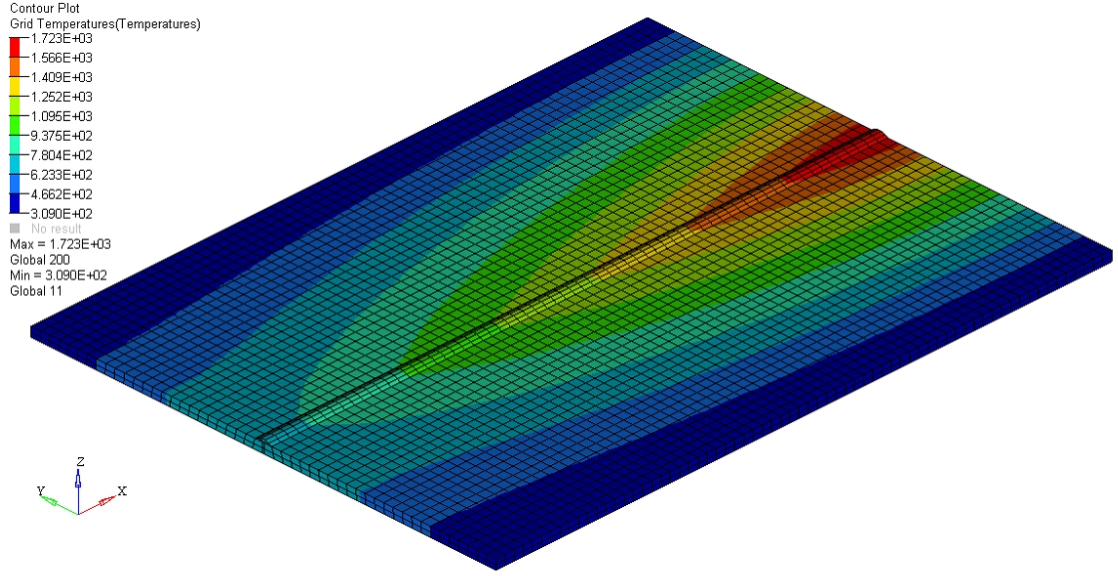
Şekil 4.11. 1 saniye sonunda meydana gelen sıcaklık değişimleri



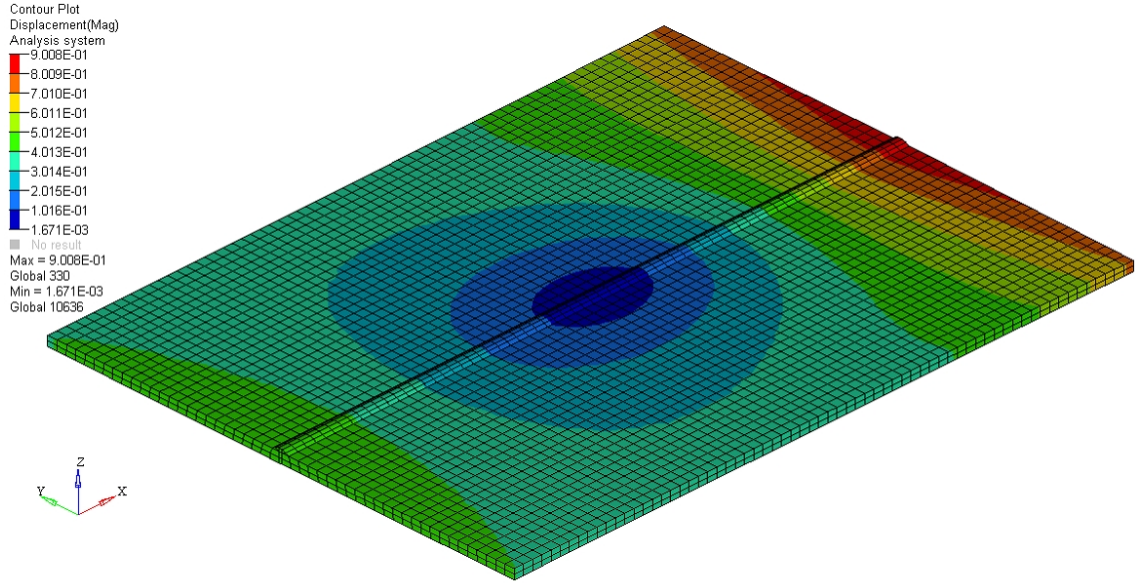
Şekil 4.12. 1 saniye sonunda meydana gelen deplasman



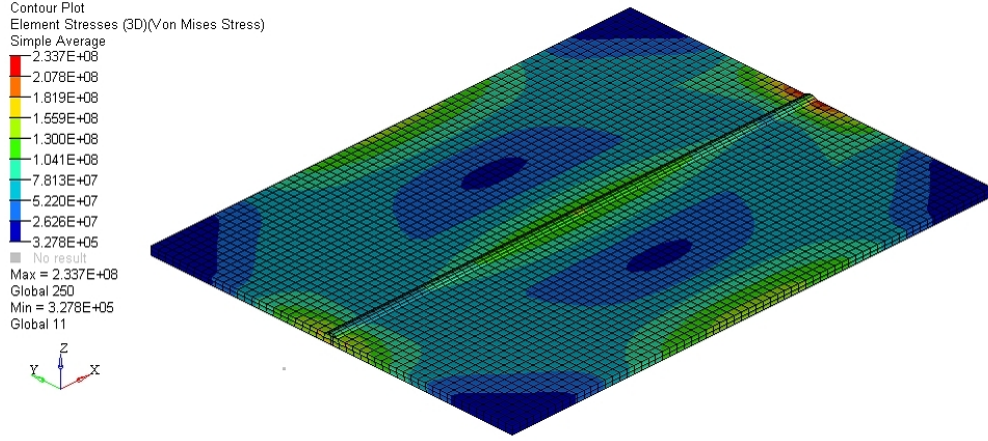
Şekil 4.13. 1 saniye sonunda meydana gelen gerilim dağılımı



Şekil 4.14. Kaynak işlemi sonunda meydana gelen sıcaklık değişimleri



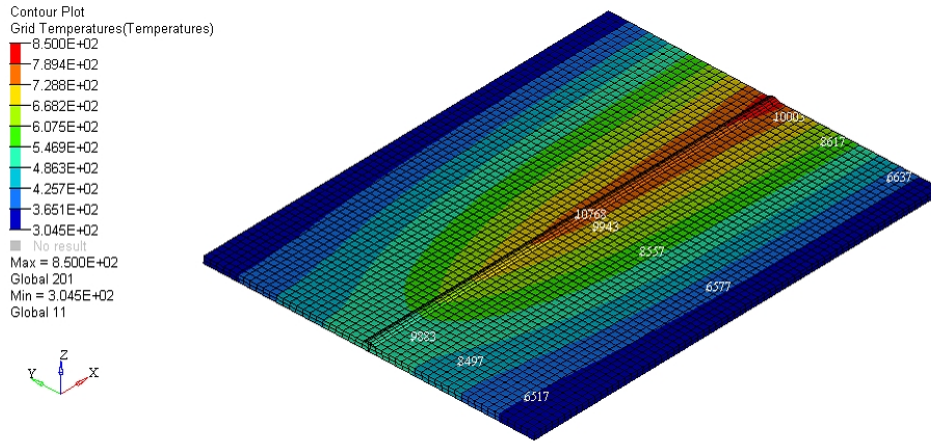
Şekil 4.15. Kaynak işlemi sonunda meydana gelen deplasman



Şekil 4.16. Kaynak işlemi sonunda meydana gelen gerilim dağılımı

Verilen sıcaklık dağılımı grafiklerinde ( Şekil 4.11., 4.14.), kaynak anında parçada görülen sıcaklıklar görülmektedir. Bunun sonucunda parçada gerilme ve az da olsa deplasman oluşmaktadır ( Şekil 4.12., 4.13., 4.15., 4.16.).

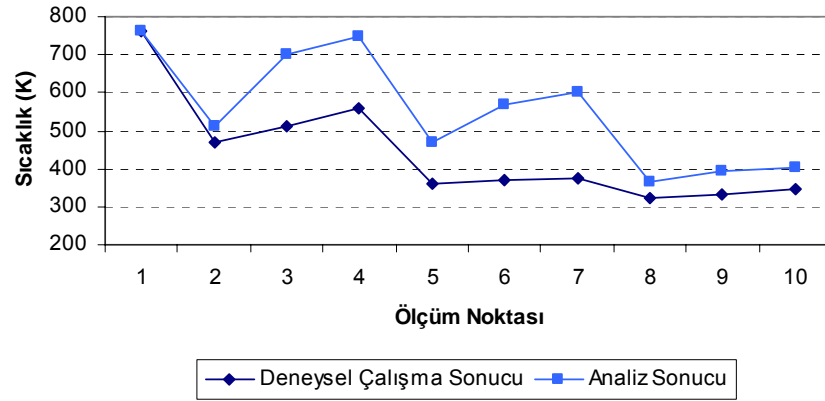
Parçaların kaynatılmasından 45 saniye sonra pirometre ile sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Kaynak dikişinin merkezinden alınan sıcaklık değeri sisteme girilerek, sıcaklık ölçümü yapılan diğer noktalar için elde edilecek sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. ( Şekil 4.14. ve Çizelge 4.2.)



Şekil 4.17. 45 saniye sonra meydana gelen sıcaklık dağılımı

Çizelge 4.2. Model üzerinde belirtilen Node ID' leri için okunan sıcaklık değerleri

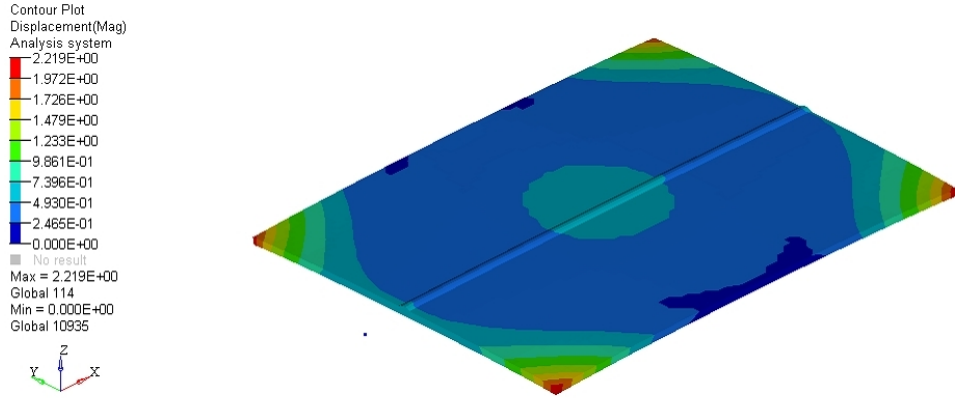
Node ID	Sıcaklık (K)
10768	7.64E+02
10003	7.50E+02
9943	7.02E+02
8617	6.02E+02
8557	5.70E+02
9883	5.12E+02
8497	4.67E+02
6637	4.05E+02
6577	3.93E+02
6517	3.63E+02



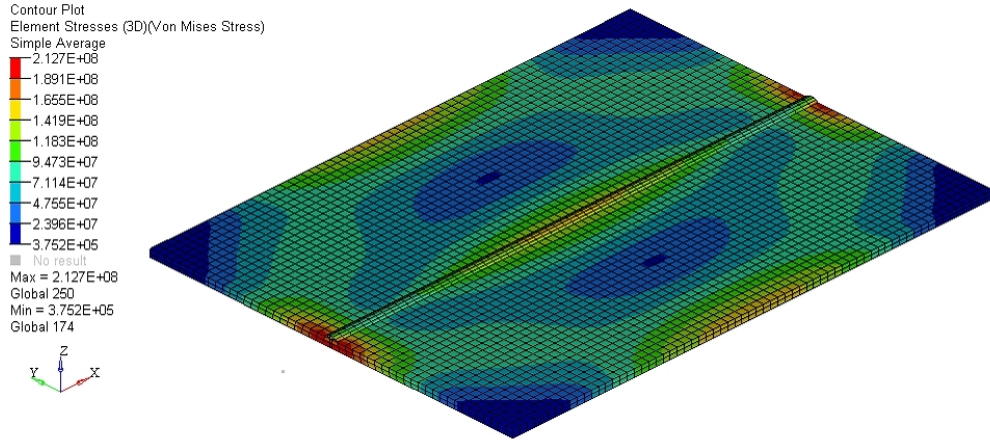
Şekil 4.18. Deneyisel çalışma ve analiz sonucu elde edilen sıcaklık ölçümlerinin mukayesesi

Ölçümler ve analiz sonucu elde edilen sıcaklık ölçümleri arasında bazı noktalarda farklılık görülmektedir. Ölçümler manuel olarak yapıldığından ötürü insandan kaynaklanan hatalar buna sebep olarak gösterilebilir. Ayrıca, en önemli etkenin kaynak edilen parçanın hızla soğumaya devam ettiğinden dolayı, tüm ölçümlerinin aynı anda yapılamaması olduğu düşünülmektedir.

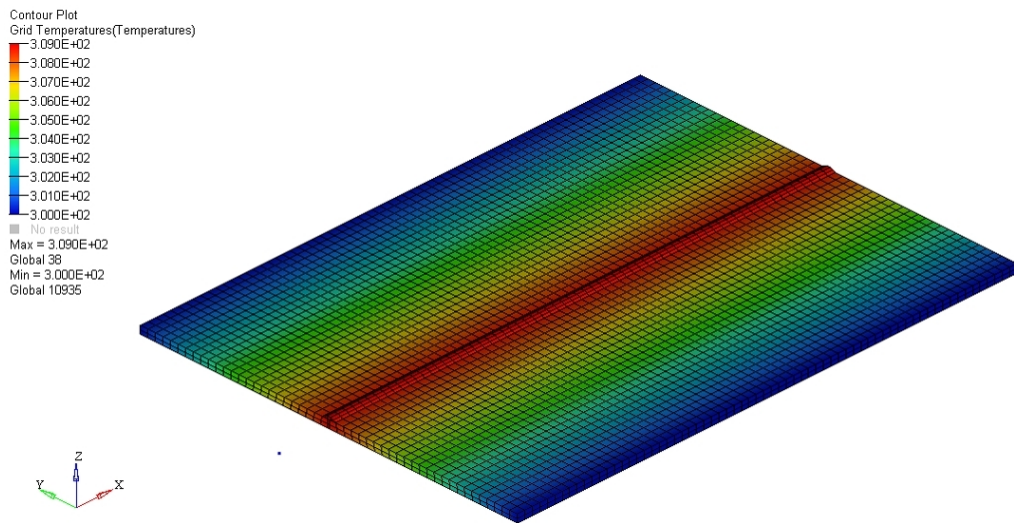




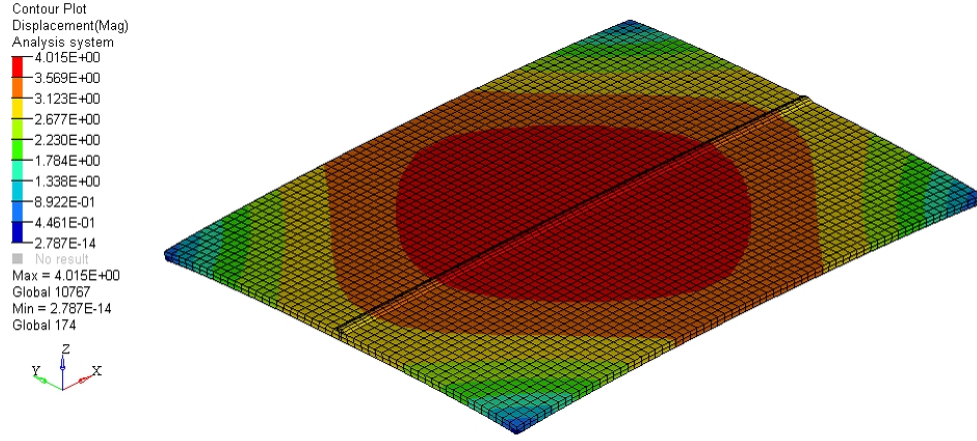
Şekil 4.19. 45 saniye sonra meydana gelen deplasman



Şekil 4.20. 45 saniye sonra meydana gelen gerilim dağılımı



Şekil 4.21. 16 dakika sonra meydana gelen sıcaklık dağılımı



Şekil 4.22. 16 dakika sonra meydana gelen deplasman

Yapılan analiz neticesinde elde edilen azami çarpılma 4, 015 mm olarak bulunmuştur. Deneylerde ise yapılan ölçümde bu değer 3 mm olarak tespit edilmişti. Sonuçların farklı çıkmasının nedeni, sıcaklık ölçümünde belirtilmiş nedenlerden ötürü analiz ile elde edilen sıcaklık değerlerinin daha yüksek olmasıdır.

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa ortam şartlarının, modellemenin iyileştirilip, ölçüm hatalarının da en aza indirilmesi ile çok daha iyi sonuçlar alınabilir.

## 5. SONUÇ

Sac kalınlığının 3 mm' den fazla olması durumunda kaynak ağızı hazırlanması kaynak dikişinin kalitesi ve emniyet beklentisini karşılama açısından önemlidir.

Kaynak yapılacak parçalar arasında, kaynak dikişinin yeterli olmasına imkan verecek kadar boşluk bırakılmalıdır.

Akım şiddeti kaynak esnasında erime gücünü ve nüfuziyeti etkileyen bir faktördür. Yüksek akım değerlerinde kaynak dikişinin kesiti artar, birim uzunluk başına parçanın çektiği ısı miktarı daha fazla olacağından daha çok ısınır ve ergimiş metal daha yüksek sıcaklıkta olur. Bunun neticesinde de ergimiş metal daha akıcı olacağından daha çok yayılır ve daha geniş ve daha yassı bir dikiş meydana getirir. Ayrıca nüfuziyet de artar. Oluşan ısı miktarı da fazla olacağından dolayı malzemede meydana gelecek tane irileşmesi de fazla olur. Tanelerin küçük olduğu bölgelerde malzemenin sertliği ise daha yüksektir.

Düşük gaz debisi, yetersiz korunmaya neden olurken, çok düşük veya yüksek olması da gözenek oluşumuna neden olur. Gaz korumasının az olduğu dikişlerde tane büyüklüğü de az olur.

Sonlu elemanlar yönteminde, ele alınan sistem ile ilgili parametreler ve ortam koşulları ile ilgili girilen bilgiler gerçeği ne kadar yansıtırsa elde edilecek sonuçlar o kadar doğru olur. Yaptığımız bu çalışmada elde ettiğimiz sıcaklık dağılımı ve deplasman miktarları ile deneysel çalışmada edindiğimiz veriler birbirine yakındır. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa ortam şartlarının, modellemenin ve ölçüm hatalarının en aza indirilmesi ile çok daha iyi sonuçlar alınabilir.

Daha sonra yapılacak çalışmalarda, ele aldığımız parametrelerin kullanılan parça üzerindeki yorulma etkisi ile malzemenin korozyona karşı dayanımı incelenip, malzeme üzerinde çentik-darbe testi ve tokluk ölçümleri yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Anık, S. 1991.** Kaynak Tekniği El Kitabı. Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul.
- Anık,S., Anık, E., Vural, M. 1993.** 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Cilt II, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Arı, S. 2008.** Enine Dikişli Kaynak Bağlantılarının Sonlu Elemanlar Metodu ile Gerilme Analizi. ( *Y. Lisans Tezi*), ZKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.
- Asai, K., Takashima, S. 1994.** Manufacturing, Automation Systems and CIM Factories, Chapman & Hall, London
- Aydın, S. 2001.** Kaynak Formunun Gerilme Dağılımına Etkisinin İncelenmesi. ( *Y. Lisans Tezi*), CÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas.
- Benli, S. 2004.** Kaynaklı Parçalarda Oluşan Artık Gerilmelerin İncelenmesi. ( *Y. Lisans Tezi*), DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Konstrüksiyon-İmalat Anabilim Dalı, İzmir.
- Deng, D., Liang, W., Murakawa, H. 2007.** Determination of welding deformation in filletwelded joint by means of numerical simulation and comparison with experimental measurements. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol: 183: 219-225.
- Dikicioğlu, A. 2006.** Kaynaklı İmalat Ve Tasarım Ders Notları
- Doerk, O., Fricke, W., Weissenborn, C. 2003.** Comparison of different calculation methods for structural stresses at welded joints. *International Journal of Fatigue*, Vol: 25: 259-369.
- Durmuşoğlu, Ş. 2006.** Gazaltı Kaynağında Kaynak Kalitesine Tesir Eden Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisi. ( *Y. Lisans Tezi*), KÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Ertürk, İ. 1994.** MIG/ MAG Kaynak Yönteminde Kaynak Parametrelerinin Sıçrama Kayıplarına Etkilerinin İncelenmesi. (*Doktora Tezi*), GÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Eryürek, İ.B. 2003.** Gazaltı Kaynağı, Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., 85 s.
- Güral, G. 2003.** Gazaltı Kaynağında Proses Parametrelerinin Optimizasyonu. ( *Y. Lisans Tezi*), DEU, Fen Bilimleri Enstitüsü Konstrüksiyon-İmalat Anabilim Dalı, İzmir.
- Gök, G. V., Afyon, Ç. 1999.** Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi, Kaynak Teknolojisi 2.Ulusal Kongre Ve Sergisi, 11-14 Kasım 1999, Ankara.
- Leblebici, S. 2009.** Kaynak İşlemi Sırasında Isı Geçişinin Deneysel Ve Teorik Analizi. ( *Y. Lisans Tezi*), OGÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Ören, E. 2002.** MAG Kaynağında Kaynak Parametrelerinin İç Köşe Dikiş Geometrisine Etkisi. ( *Y. Lisans Tezi*), İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tapıcı, U. Ç. 2006.** Robotla Kaynak Uygulaması için Fikstür Tasarımı Ve Kaynak Distorsiyonlarının Analizi. ( *Y. Lisans Tezi*), İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Teng T. L., Fung C. P., Chang P. H. 2002.** Effect of weld geometry and residual stresses on fatigue in butt-welded joints. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol: 79: 467-482.
- Teng, T. L., Lin, C. C. 1998.** Effect of welding conditions on residual stresses due to butt welds. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 75: 857-864.
- Tülbentçi, K. 1990.** MIG-MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı. Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul, 216 s.

**Vural, M. 2003.** İmal Usulleri Dersi Kaynak ve Birleştirme Teknolojisi Notları, Ders Kitabı: Materials and Processes in Manufacturing, Degarmo, Black, Kohser, 9.Edition – 2003, Wiley., İstanbul.

**Vural M., Akkuş A. 2003.** Kaynak Ağız Formunun ve Parça Kalınlığının Distorsiyona Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi. Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi, 23-25 Ekim 2003, İstanbul, Kocaeli.

**Wu, A., Syngellakis, S., Mellor, B.G. 2001.** Finite Element Analysis of Residual Stresses in a Butt Weld. The Post Graduate Conference in Engineering Materials Proceedings, 2001, University of Southampton.

Yayla, P., “yapı Çeliklerinde Karbon Eşdeğeri ile Kaynak Kabiliyeti Arasındaki Bağını”, (*Y. Lisans Tezi*), İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Yumurtacı, M. 2007.** MAG Kaynağında Elektrod Tipinin (Çıplak Tel – Özlü Tel) Kaynak Dikiş Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. (*Y. Lisans Tezi*), YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayşegül YILDIZ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Siirt / 18.05.1984  
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca

### Eğitim Durumu

Ortaokul- Lise : Yıldırım Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesi ( 1996-2003)  
Önlisans : Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi  
Dış Ticaret Bölümü ( 2005- 2007)  
Lisans : Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi  
Makine Mühendisliği Bölümü ( 2003- 2007)

Çalıştığı Kurum ve Yıl : Grammer Koltuk Sistemleri A. Ş. ( 2008- Devam)  
İletişim ( e- posta) : [aysegulyldz@gmail.com](mailto:aysegulyldz@gmail.com)