



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK PLATİNA MALZEMELERE DİK POZİSYONDA
TOZ ALTI KAYNAĞI YÖNTEMİNİN UYGULAMA PARAMETRELERİNİN
İNCELENMESİ VE YÖNTEMİN MODELLENMESİ

Ramadan SONCU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2009



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK PLATİNA MALZEMELERE DİK POZİSYONDA
TOZALTI KAYNAĞI YÖNTEMİNİN UYGULAMA PARAMETRELERİNİN
İNCELENMESİ VE YÖNTEMİN MODELLENMESİ

Ramadan SONCU

Prof. Dr. Nurettin YAVUZ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2009

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK PLATİNA MALZEMELERE DİK POZİSYONDA
TOZALTI KAYNAĞI YÖNTEMİNİN UYGULAMA PARAMETRELERİNİN
İNCELENMESİ VE YÖNTEMİN MODELLENMESİ

Ramadan SONCU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 03 / 08 / 2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nurettin YAVUZ
Danışman

Prof. Dr. Ali BAYRAM
Jüri Üyesi

Prof. Dr. Recep EREN
Jüri Üyesi

ÖZET

Günümüzde yaygın olarak kullanılan birleştirme yöntemlerinden biri olan kaynak işlemi, endüstrinin önemli uygulama alanlarından biridir. Kaynak uygulamasının diğer birleştirme yöntemlerine göre önemli üstünleri bulunmaktadır. Kaynak problemlerini doğru tanımlamak, kaynaklı birleştirme sonrası konstrüksiyonun güvenilirliğini kontrol altında tutabilmek için çok önemlidir. Kaynak prosesinin en önemli problemleri kaynak sonrası meydana gelen artık gerilme ve distorsiyonlardır. Artık gerilmeler, konstrüksiyonun güvenilirliğini olumsuz yönde etkiler. Distorsiyonlar ise, parçanın boyut hassasiyetini olumsuz yönde etkiler. Bu sebeple, kaynak prosesini daha iyi anlamak, kaynak sonrası oluşan artık gerilme ve distorsiyonların etkilerini önceden tahmin etmek önemli bir araştırma konusu olmuştur. Sonlu elemanlar yöntemi ile modelleme, kaynak işlemini fiziksel kurallara göre simule edebilmek için önemli bir araçtır.

Bu çalışmada, tozaltı kaynağının dik (saat 3 yönünde) pozisyonda kaynağının, termomekanik analizi sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 2 boyutlu termal analiz ısı çevrime göre gerçekleştirilmiştir. Kaynak edilmiş parça üzerindeki sıcaklık dağılımı zamana bağlı olarak bulunmuştur. Termal analiz sonuçları kaynak sonrası parça üzerinde oluşan kalıntı gerilmeleri ve distorsiyonların belirlenmesi amacıyla mekanik analize girdi olarak kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modeli, yapılan deneysel çalışma ile doğrulanmıştır.

Modelleme ile malzemenin kaynak sonrası davranışları önceden tahmin edilebilmektedir. Kaynak parametrelerinin optimizasyonu da gerçekleştirilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tozaltı Kaynağı, Artık Gerilmeler, Sonlu Elemanlar Modellemesi, Isıl Analiz

ABSTRACT

Welding process, which is one of widely utilised joining process, is one of the important application area for industry. Welding process has some important advantages from other joining application. Identification of welding problem is very important to take under control of structure reliability after welding. The most important problems of welding are residual stress and distortion after welding application. Residual stresses are negatively impact to reliability of structure. Distortions are negatively impact to accuracy of weldment. In this reason, In order to better understand the welding process and its effects on structure, is an important research subject. Finite Element Modelling is a special tool to do simulation of welding.

In this study, thermo-mechanic analysis of submerged arc welding at vertical position (3 o'clock direction) has been made using finite element method. First, 2D thermal analysis has been made by the thermal cycle that occurs in welding process. Thermal analysis has been made as transient analysis. Then the results those obtained from thermal analysis have been used in mechanical analysis as input to define residual stress and distortion after welding. Model has been confirmed by experimental results.

The situation of the material after welding can be estimated by modelling. The optimisation of welding parameters can be made.

Key Words: Submerged Arc Welding, Residual Stress, Finite Element Modelling, Thermal Analysis

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
GİRİŞ.....	1
1. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
1.1. Tozaltı Kaynağı	4
1.1.1. Yöntemin Esası ve Önemi	4
1.1.2. Tozaltı Kaynağı Yönteminin Üstünlükleri ve Sınırlamaları	6
1.1.2.1. Yöntemin Üstünlükleri	6
1.1.2.2. Yöntemin Sınırlamaları	8
1.1.3. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri.....	8
1.1.4. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları.....	9
1.1.4.1. Kaynak Tozundan Beklenen Özellikler.....	9
1.1.4.2. Tozların Kimyasal Bileşimleri ve Kaynak Metaline Etkileri	10
1.1.4.3. Kaynak Tozlarının Fiziksel Etkileri	10
1.1.5. Tozaltı Kağnağında Dikişin Formu ve Buna etki Eden Faktörler	11
1.1.5.1. Akım Şiddetinin Dikişin Formu Üzerine Etkisi.....	12
1.1.5.2. Akım Yoğunluğunun Dikişin Formu Üzerine Etkisi	13
1.1.5.3. Ark Geriliminin Dikişin Formu Üzerine Etkisi	13
1.1.5.4. Kaynak Hızının Dikişin Formu Üzerine Etkisi.....	14
1.1.5.5. Kaynak Yapılan Parçanın Eğiminin Dikişin Formu Üzerine Etkisi	15
1.1.5.6. Akım Cinsi ve Kutup Durumunun Dikişin Formu Üzerine Etkisi.....	15
1.1.5.7. Kaynak Ağız Açısının Dikişin Formu Üzerine Etkisi.....	17
1.1.5.8. Kaynak Tozu Tane Büyüklüğünün Dikişin Formu Üzerine Etkisi.....	17
1.1.6. Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemleri	17
1.1.6.1. Tandem Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemi	17
1.1.6.2. Paralel Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemi.....	18
1.1.6.3. Seri Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemi	19

1.1.6.4. Bant Elektrodlarla Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemi	19
1.1.6.5. Kızgın Tel Usulü Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemi	20
1.1.6.6. Dik (Saat 3 Yönünde) Pozisyonda Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemi	20
1.1.7. Tozaltı Ark Kaynak Yönteminde Kaynak Hataları	21
1.1.7.1. Çatlaklar	22
1.1.7.2. Gözenekler	25
1.1.7.3. Curuf Kalıntıları	26
1.1.7.4. Nüfuziyet Azlığı	27
1.1.7.5. Yanma Oluk ve Çentikleri	29
1.1.7.6. Delikler (Delinmeler)	30
1.2. Çeliklerin Isıl Özellikleri ve Kaynak Bölgesi	31
1.2.1. Çelik parçaların kaynağında kaynak bölgesi	31
1.2.2. Çeliklerin ısıl özellikleri	32
1.3. Kaynak Sırasında Oluşan Artık Gerilmeler ve Nedenleri	33
2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE KAYNAK İŞLEMİNİN MODELLENMESİ	38
2.1. TERMAL MODEL ANALİZİ	38
2.2. YAPISAL MODEL ANALİZİ	45
3. MATERYAL VE YÖNTEM	48
4. TARTIŞMA	54
5. SONUÇLAR	56
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	60
TEŞEKKÜR	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1. Kaynak metali kimyasal kompozisyonu	48
Çizelge 3.2. Kaynak metali mekanik özellikleri	48
Çizelge 3.3. Kaynak tozunun kimyasal kompozisyonu.....	49
Çizelge 3.4. Kaynak parametreleri	50
Çizelge 3.5. Kaynak sonrası ölçüm alınan nokta aralıklarının kaynak metalinden y yönünde uzaklıkları.....	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Tozaltı ark kaynağının prensibi	4
Şekil 1.2. Tozaltı ark kaynağı yönteminin şematik diyagramı	5
Şekil 1.3. Örtülü elektrodla Elektrik Ark kaynağı ve tozaltı ark kaynağı ısı bilançosu	7
Şekil 1.4. İç ve dış dikiş formunun şematik gösterilişi.....	12
Şekil 1.5. İç ve dış dikiş formlarının minimum ve maksimum değerlerinin gösterilişi	12
Şekil 1.6. Tel çapının dikiş formu üzerindeki etkisi.....	13
Şekil 1.7. Ark geriliminin dikiş formu üzerindeki etkisi.....	14
Şekil 1.8. Kaynak hızının dikiş formu üzerindeki etkisi	14
Şekil 1.9. Kaynak ağız açısının dikiş formu üzerindeki etkisi.....	17
Şekil 1.10. Tandem tozaltı kaynağı yönteminin prensibi	17
Şekil 1.11. Paralel tozaltı kaynağı yönteminin prensibi	18
Şekil 1.12. Seri tozaltı kaynağı yönteminin prensibi.....	19
Şekil 1.13. Bant elektrodla tozaltı kaynağı yönteminin prensibi	20
Şekil 1.14. Dik (Saat 3 yönünde) pozisyonda tozaltı kaynağı yönteminin prensibi	21
Şekil 1.15. Alın ve Köse Birleştirmelerinde Segregasyon Bölgeleri	31
Şekil 1.16. Isının etkisi altındaki bölgedeki tane yapısı değişimi	32
Şekil 1.17. Kaynak sırasında ısının tesiri altındaki bölge.....	33
Şekil 1.18. Bir alın dikişindeki enine (T) ve boyuna (L) büzülme gerilmeleri.....	34
Şekil 1.19. Bir T bağlantısındaki enine ve boylamasına büzülme gerilmeleri	35
Şekil 1.20. Bir alın kaynaklı birleştirmede distorsiyon	35
Şekil 1.21 Bir T bağlantıdaki distorsiyon	36
Şekil 2.1. Sonlu eleman modeli.....	39
Şekil 2.2. Kaynak metali termal özellikleri	41

Şekil 2.3. Kaynaktan 2 dk sonra parçadaki sıcaklık dağılımı	42
Şekil 2.4. Kaynaktan 1 saat sonra parçadaki sıcaklık dağılımı.....	42
Şekil 2.5. Modelin elemanlara bölünmüş görüntüsü ve belirlenen 7 noktanın koordinatları...	43
Şekil 2.6. Belirlenen 7 noktanın sıcaklık-zaman grafiği	43
Şekil 2.7. Kaynak metali mekanik özellikleri	45
Şekil 2.8. Von Misses kriterine göre hesaplanan gerilmelerin dağılımı.....	46
Şekil 2.9. Von Misses kriterine göre hesaplanan yer değiştirmeler	46
Şekil 2.10. Dik pozisyonda kaynak sonrası yer değiştirmeler	47
Şekil 3.1 Kaynak ağız detayı	48
Şekil 3.2. Dik (Saat 3 yönünde) pozisyonda tozaltı kaynağı.....	50
Şekil 3.3. Kaynak sonrası sıcaklık ölçümü	51
Şekil 3.4. Sonlu elemanlar yöntemi ile kaynak sonrası ölçülen sıcaklık değerleri karşılaştırması	51
Şekil 3.5. Yer değiştirme ölçüm noktaları ve ölçüm aleti	52
Şekil 3.6. Sonlu elemanlar yöntemi ile kaynak sonrası ölçülen yer değiştirme miktarları karşılaştırması	53

SİMGELER DİZİNİ

ρ	- Yoğunluk (kg/m ³)
c	- Özgül ısı (j/kg ^{°K})
Q	- İç ısı üretim oranı (W/m ³)
t	- Zaman (sn)
k	- Isıl iletim katsayısı (W/m ² °K)
A	- Yüzey alanı (m ²)
T	- Geçerli olan sıcaklık (K)
T_{ort}	- Ortam sıcaklığı (K)
h	- Isı transfer katsayısı (W / m ² K)
ε	- Etkin yayınım oranı
σ	- Stefan Boltzman sabiti(5.67x10 ⁻⁸ Wm ⁻¹ K ⁻⁴)
ε^{th}	- Termal yer değiştirme (m / m)
$\alpha(T)$	- Termal genişleme katsayısı (m / m ^{°K})
ν	- Poisson oranı
E_o	- Elastiklik modülü(Pa)

GİRİŞ

Kaynak işleminde, birleştirilecek parçalar bölgesel olarak ergime sıcaklığına kadar ısıtılır. Fakat kaynak sonrası parçanın soğuma işlemi, ısınma işlemine göre çok daha uzun sürede gerçekleşir. Parçaların üzerinde soğuma esnasında ısınma ve soğumadan kaynaklanan sıcaklık farklarından dolayı artık gerilmeler ve distorsiyonlar oluşur.

Kaynak yapılan parçalarda meydana gelen artık gerilmeler, malzemelerin tam ve doğru imalinde ve işlenmesinde önemli problemler yaratır. Çünkü bu gerilmeler gevrek kırılmaya neden olur ve kaynak yapılan malzemenin direncini düşürür. Artık gerilmelerin büyüklüğü ve dağılımı ile kaynak şartları üzerindeki etkilerinin analizi birbirleri ile bağlantılı işlemlerdir.

Bu nedenle artık gerilmelerin tahmin edilmesi, konstrüksiyonun güvenliği açısından önemlidir. Birçok araştırmacı, artık gerilmeleri önceden hesaplamak için analitik ve deneysel metodlar geliştirmişlerdir. Özellikle sonlu elemanlar yönteminde yaşanan gelişmeler, kaynaklı yapıların daha kolay analiz edilmesi ve kaynak sonrası parçalar üzerinde meydana gelen artık gerilmelerin tahmin edilmesini kolaylaştırmıştır. (Benli 2004)

Bu çalışmada, dik pozisyonda tozaltı ark kaynağının termo-mekanik analizi yapılmıştır. Termal analiz sonucu elde edilen sıcaklık dağılımı mekanik analize girdi olarak kullanılmış ve kaynak sonrası parça üzerindeki artık gerilmelerin ve deformasyonların, kaynak parametrelerine bağlı olarak tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Termal analiz zamana bağlı olarak yapılmış ve parça üzerindeki sıcaklık dağılımı zamana bağlı olarak tespit edilmiştir.

1. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaynak işleminin kaynak bölgesine uyguladığı ısı çevrim, bu bölgenin iç yapısını değiştirmekte ve dolayısıyla mekanik özellikleri farklı bir bölge ortaya çıkmaktadır. Isının tesiri altında kalan bölge olarak adlandırılan bu bölgenin kaynak dikişinin etrafında birkaç milimetre genişliğinde bulunuşu, bu bölgeye sertlik ve metalografik muayene dışında diğer muayene usullerinin uygulanmasını imkansız kılmaktadır. Kaynağa uygulanan sıcaklığın dağılımı dolayısıyla çeşitli bölgelerde farklı sıcaklıklara kadar ısınmış ve soğumuş gayet dar bir bölge olan ITAB içerisinde iç yapı bakımından teorik olarak homojen bir bölge mevcut değildir. Dolayısıyla bu kısmın özellikleri hakkında fikir sahibi olabilmek amacıyla simülasyon çalışmaları yapılmaktadır. (Tülbentçi 1984)

Diğer bir çalışmada ise (Prasad ve Narayanan 1996), kaynaklı yapılarda meydana gelen artık gerilmelerin ve yapının dayanımının tespitinde kaynak işlemi sırasında sıcaklık ve soğuma sürelerinin analizlerinin esas alınması gerekliliği savunulmuş ve son yıllarda non-lineer sıcaklığa bağlı mekanik özelliklere sahip sayısal yöntemlerin geliştirilmesinin önemi vurgulanmıştır.

Dong ve arkadaşları, çevresel kaynaklı bir boruda meydana gelen artık gerilmeleri üç boyutlu sonlu eleman yöntemi ile hesaplamışlardır. Çevresel olarak hareket eden bir ısı kaynağına sahip kabuk eleman modelinin, düşük maliyetli ve artık gerilmelerin tahmininde başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak başlangıç ve bitiş noktalarına yakın bölgelerdeki zamana bağlı artık gerilme davranışları bu çalışma dahilinde tartışılarak, boru cidar kalınlığının ve kaynak hızının artık gerilmeler üzerindeki etkileri gösterilmiştir. (Dong ve ark. 1997)

Michaleris ve Sun tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, bir seri sonlu eleman simülasyonu ve deneyler yapılarak ısı germe tekniğinin analizi yapılmıştır. Hesaplanan ısı analizleri doğrulamak amacıyla deneysel çalışmalarda termokupl ölçümleri yapılmış ve meydana gelmesi tahmin edilen artık gerilmeleri doğrulamak amacıyla da delik delme yöntemi kullanılmıştır. (Michaleris ve Sun 1997)

Hong ve arkadaşlarının 1998 yılında yaptıkları çalışmada iki boyutlu sonlu elemanlar modeli kullanılarak çok pasolu kaynak dikişlerinde meydana gelecek olan tahmini artık gerilmeler hesaplanmıştır. Kullanılan modeller beş pasolu bir levhanın düzlemsel kaynağı ile altı pasolu bir borunun çevresel kaynağıdır. Yapılan deneysel çalışmalarla modellerden elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmış ve kaynak için ısı girdisi büyüklüğü ile başlangıç sıcaklık şartlarının artık gerilmelere etkisi araştırılmıştır. (Hong ve ark. 1998)

Murugan ve arkadaşları, 2001 yılında Hindistan' da AISI 304 tipi paslanmaz çeliklerde ve düşük karbonlu çeliklerde çok pasolu kaynak işlemi sonucunda meydana gelen sıcaklık dağılımı ve artık gerilmeler X-ışını difraksiyon yöntemi ile ölçülmüştür. El ile yapılan çok pasolu ark kaynağı ile birleştirilmiş farklı kalınlıklardaki AISI 304 tipi paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çelik malzemelerde meydana gelen sıcaklık dağılımı ve artık gerilmeler gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, kaynak işlemi neticesinde oluşan artık gerilme dağılımını incelemek için, kaynak işlemi sırasındaki sıcaklık dağılımını ölçmenin ve anlamının önemli olduğu belirtilmiştir. (Murugan ve ark. 2001)

Wen ve arkadaşlarının(2001) çeşitli kaynaklardan bildirdiğine göre kaynak işlemi, özellikle de ark kaynağı; plazma-metal etkileşimleri, metal-gaz \ toz reaksiyonları, kaynak banyosu akışkan akışı, elektromanyetik hareket, faz dönüşümü, ısı transferi, kaynak metali kimyası, ısının tesiri altında kalan bölge mikroyapısı, artık gerilmeler, mekanik özellikler vb. gibi anlaşılması zor fiziksel, kimyasal ve mekanik olguların etkileşimini içeren kompleks bir prosestir. Önceleri, bu konuyla ilgilenen araştırmacılar ve bilim adamları çalışmalarının büyük bir kısmını kaynak fiziksel metalurjisi, kaynak metali ve ısının tesiri altında kalan bölge mikroyapılarının karakterizasyonu ve kaynak prosesinin optimizasyonu konularına ayırırken; son zamanlarda nümerik simülasyon, kaynak prosesinin analizi ve optimizasyonuna yardımcı bir araç olarak artarak kullanılmakta ve özellikle kaynaktaki artık gerilme ve uzamaların belirlenmesinde uygulanmaktadır. (Wen ve ark. 2001)

Zhu ve Chao (2002) tarafından yapılmış çalışmada, sonlu eleman kaynak simülasyon kodu (WELDSIM) kullanılarak detaylı üç boyutlu lineer olmayan termal ve termo mekanik analizler gerçekleştirilmiştir. Kaynak prosesinin bilgisayarlı simülasyonunda geçiş sıcaklığındaki her sıcaklık bağımlı malzeme özelliğinin, artık gerilme ve distorsiyonların etkisini incelemek amaçlanmıştır. Alüminyum levhaların kaynağı, üç grup halindeki malzeme özellikleri yani sıcaklığın fonksiyonu olan, oda sıcaklığı değerleri ve kaynaktaki tüm sıcaklık

değişimi sürecindeki ortalama değerler kullanılarak simülasyonda dikkate alınmıştır. (Zhu ve Chao 2002)

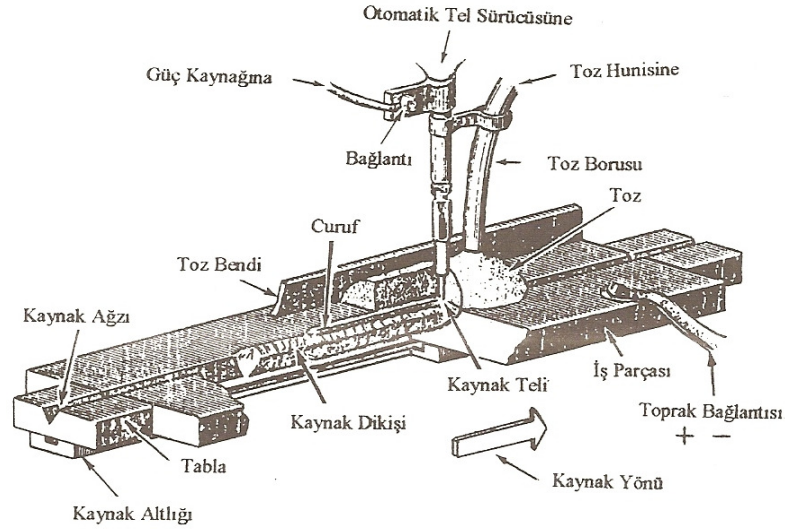
Kaynak işlemi, günümüzde en yaygın olarak kullanılan birleştirme yöntemlerinden birisidir. Bu nedenle, kaynak edilmiş parçaların emniyetinin sağlanması birleştirmelerin kullanıldığı tüm yapının güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. (Polat 2003)

1.1. Tozaltı Kaynağı

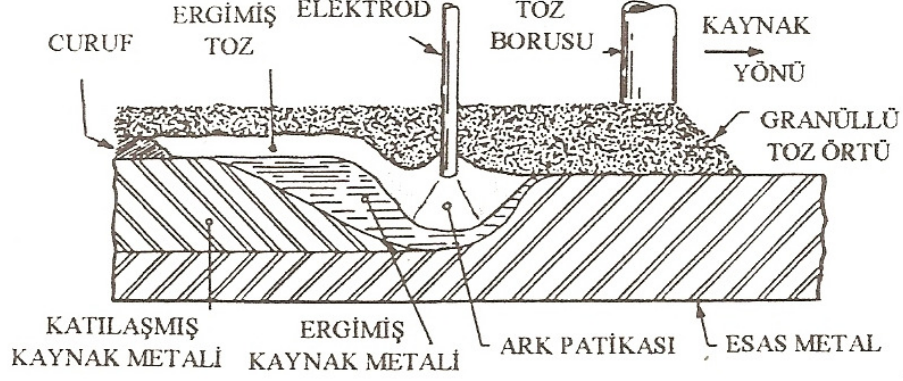
1.1.1. Yöntemin Esası ve Önemi

Tüm kaynak yöntemlerinde ana tema, elektrot telini mekanik bir tertibat yardımı ile otomatik olarak sürekli ilerletip, ark bölgesine çok yakın bir yerden de akım vererek telin yüklenebileceği akım şiddetini artırıp, ergime gücünü yükseltmektir. Burada en önemli konu, elektrot örtüsünün görevini yüklenecek faktörün devreye sokulmasıdır. Elektrot örtüsünün görevleri içinde en önemlisi ve en vazgeçilmezi bir koruyucu gaz atmosferi oluşturarak kaynak banyosunu atmosferdeki oksijen ve azotun olumsuz etkilerinden korumasıdır.

Şekil 1.1'de tozaltı ark kaynağının prensibi görülmektedir. Burada kesit görünüş üzerinden tozaltı ark kaynağı elemanları gösterilmektedir. Şekil 1.2'de ise yöntemin şematik diyagramı yer almaktadır.



Şekil 1.1. Tozaltı ark kaynağının prensibi (Giachino ve ark.1973)



Şekil 1.2. Tozaltı ark kaynağı yönteminin şematik diyagramı(Cary 1989)

Bu kaynak yönteminde, bir bobinden sağılan kaynak teli bir motorun tahrik ettiği makaralar arasından ve bir temas memesinden geçerek kaynak bölgesine gönderilir. Gerekli akımı temas memesinden alan tel ile iş parçası arasında ark oluşur ve ayrı bir kanaldan gelen silikat ve toprak alkali metalleri içeren özel bir toz ark bölgesini havanın olumsuz etkilerinden korur.

Kaynak teli ve iş parçası arasında oluşan arkın sıcaklığından tel ve esas metalin bir bölümü ergiyerek istenen birleşmeyi sağlar. Ark, bir toz örtüsü altında bulunduğu için çevreye ışınım yapmaz ve bu şekilde ark enerjisinin büyük bir bölümü (yaklaşık % 64) doğrudan doğruya kaynak için tüketilmiş olur.

Tozaltı kaynak yönteminde, tel elektroda uç kısmına yakın bir yerden ve özel bir bakır temas memesi tarafından akım verildiğinden, çok yüksek akım şiddetlerine çıkmak olanağına erişilir. Bu bakımdan, tozaltı kaynak yöntemi çok güçlü bir kaynak yöntemidir ve bir paso ile takriben 85 mm ve iki paso ile 180 mm ve çok paso ile 300 mm' ye kadar kaynak yapabilmeye olanağı sağlar. Kaynak yapılacak en ince sac ise 1,2 mm'dir. 5-50 mm arasındaki uygulamaları daha yaygındır. Gemi inşa endüstrisinde, basınçlı kaplar ve depolama tankları imalinde, demiryolu vagonları, otomotiv endüstrisi, boru imali, çelik binalar ve köprüler için kolon ve kirişler imali, inşaat makinaları yapımı gibi alanlarda çeşitli uygulamaları vardır.

Dakikada 2m ve daha yüksek kaynak hızları ile çalışılabilir. Bu yöntemde normal elektrik ark kaynağına nazaran elektrod teli daha yüksek bir akım şiddeti ile yüklenebildiğinden daha derin nüfuziyetli ve geniş banyolu dikişler elde edilir. Örneğin 4 mm çapındaki bir elektrodla

elektrik ark kaynağında 150-190 Amper arasında kaynak yapılırken, tozaltı ark kaynağında 400-650 Amper arasında bir akım ile kaynak yapılabilir. Derine işleme kabiliyeti iyi olduğundan kaynak ağızı açmadan 30 mm'ye kadar kalınlıktaki parçaların iki taraftan kaynağında kullanılabilir. Akım şiddetinin yüksekliği büyük bir kaynak banyosu oluşturur ve derin nüfuziyet sağlar. (Tülbentçi 1984)

1.1.2. Tozaltı Kaynağı Yönteminin Üstünlükleri ve Sınırlamaları

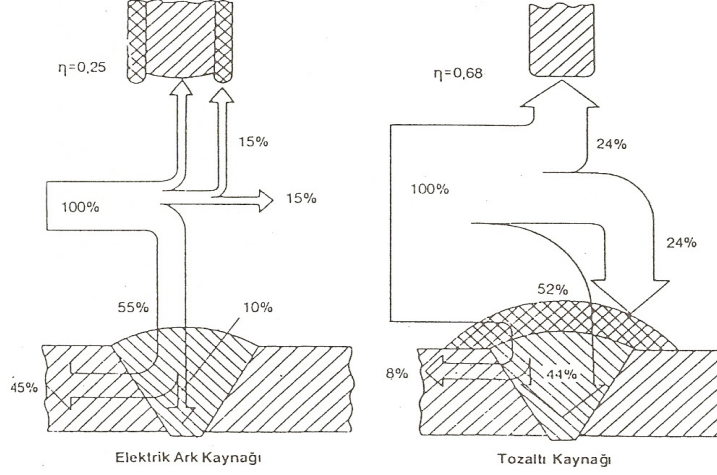
1.1.2.1. Yöntemin Üstünlükleri

Tozaltı ark kaynağının karakteristik özellikleri; kaynak süresi boyunca arkin örtülü bir ortam içinde oluşumu, işlemin sürekliliği, yüksek ergime verimi, kaynak dikiş kalitesinin yüksekliği ve uygulamada işlem parametreleri yönünden oldukça geniş bir çalışma serbestliğine sahip olduğu şeklinde belirtilebilir.

1) Yüksek kaynak gücü ve kaynak hızı: Tozaltı kaynak yönteminde kullanılan akım şiddeti 200 – 2000 Amper arasında değişir. Çok telli tekniklerde 5000 Amper'e kadar çıkılabilir. Bu olay, bu yöneme çok yüksek bir ergime gücü kazandırmakta ve ayrıca kaynak hızı da 6 – 300 m/saat arasında ayarlanabilmektedir. Bu bakımdan, tozaltı kaynak yöntemi diğer alışılmış kaynak yöntemlerine göre yüksek bir ergime gücü ve kaynak hızına sahiptir.

2) Derin nüfuziyet: Yöntemin derine işleme kabiliyeti iyi olduğundan daha dar ve daha az derin kaynak ağızları kullanılabilir. Bu daha az kaynak malzemesi kullanılması demektir. Kaynak akım şiddetinin yüksek olması nedeni ile bu yöntemde ağız açmadan bir paso ile 18 mm ve ağız açarak da iki paso ile 180 mm kalınlığındaki parçalar rahatlıkla kaynak edilebilir.

3) Enerji ekonomisi: Bu yöntemde, elektrik enerjisinin büyük bir bölümü kaynak için kullanıldığından(% 68) büyük bir enerji ekonomisi sağlanmaktadır. Şekil 1.3.'de örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağı ve tozaltı ark kaynağındaki ısı bilançosu değerleri görülmektedir.



Şekil 1.3. Örtülü elektrodla Elektrik Ark kaynağı ve tozaltı ark kaynağı ısı bilançosu(Anık 2000)

4) Elektrod ekonomisi: Tozaltı kaynak yönteminde ark, tozaltında yandığından sıçrama kaybı yoktur ve tel elektrot kullanıldığından koçan kaybı da yoktur. Ayrıca yüksek nüfuziyet dolayısı ile daha fazla esas metal ergidiğinden, ek kaynak metali(elektrot) gereksinimi daha azdır.

5) Güvenilir düzgün görünüşlü kaynak dikişi: Ergiyen tozlardan oluşan cüruf etkili bir şekilde dikişi havanın etkisinden korur, yavaş soğumayı sağlar. Dikişin yüzeyinin düzgün oluşmasını sağladığı gibi yanma çentikleri de olmaz. Neticede düzgün ve emniyetli bir dikiş elde edilir.

6) Kaynak dikişi faktörüne kaynakçı faktörünün etkimemesi: Bu yöntemde elektro – mekanik ayar ve kontrol sisteminin varlığı, kaynakçı faktörünü ortadan kaldırmaktadır. Kaynakçı, kaynak dikişi kalitesine etkiyen bir faktör olmadığından, bu yöntemde kaliteli işçiyeye gerek yoktur ve ayrıca kaynakçı bedenen de az yorulmakta ve dolayısı ile bu konu maliyeti de etkilemektedir.

7) Yüksek ark kararlılığı: Ark bölgesinde cüruf, arkın sürekliliğini çok iyi bir biçimde koruyabilmektedir. Bu konu özellikle yüksek akım şiddeti ve büyük kaynak hızlarının kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır.

8) Özel koruyucu donanımlara gerek duyulmaması: Ark toz altında olduğundan zararlı ışınların etkisi olmaz. Gaz ve toz oluşumu da çok azdır. Bu nedenle özel koruyuculara gerek yoktur.(Kaluç 2004)

1.1.2.2. Yöntemin Sınırlamaları

- Pahalı makine ve donanıma gerek duyulur. Bu sebepten yatırım masrafları yüksektir.
- İnce saçların kaynağı için uygun bir yöntem değildir.
- Kısa boylu ve karışık şekilli parçaların kaynağına elverişli değildir.
- Yatay pozisyonda kaynak için uygundur. İç köşe kaynağı yapılabilir. Dik pozisyon için özel tertibatlar geliştirilmiştir. Fakat dik pozisyon için günümüzde elektro-curuf kaynağı tercih edilmektedir. Tavan pozisyonunda ise kaynak yapmak mümkün değildir.
- Kaynak tozunun yayılması ve kaynaktan sonra toplanması için ilave teçhizat gereklidir. Ayrıca çoğu zaman altlık plakaları ve bağlama düzenleri gereklidir.
- Nüfuziyetin fazla olmasından dolayı ana malzemedeki kaynak dikişine karışma fazla olur. Bu kaynak dikişinin mekanik özelliklerini ve kaynak hatalarının oluşma ihtimalini etkiler.
- Çok pasolu kaynakta tek elektrodlu çalışmada her pasodan sonra cüruf temizlenmelidir. Çoğu zaman dar kaynak ağzı içinde tozaltı kaynak cürufunun temizlenmesi zor bir işlemdir. (Kaluç 2004)

1.1.3. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri

Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak telleri yüksek kaliteli bir çeliktir. Özellikle kimyasal safiyeti ve içerdiği yüksek manganez miktarı ile normal tellerden ayırt edilirler. Çeşitli maksatlar için 1.2 ve 12 mm çap aralığındaki teller kullanılır. Tellerin tamamen yuvarlak ve iyi kalibre edilmiş olmaları gerekir. Verilen toleransları aşmamasına dikkat etmelidir.

Kullanılan tellerin yüzeylerinin tamamen düz, yağ, pislik ve pastan arındırılmış olmaları gerekmektedir. Bu teller bakır veya bronz kaplı olarak piyasaya arz edilir. Telin üzerindeki ince bakır tabakası meme içerisinde akım geçişini iyileştirdiği gibi paslanmaya karşı da korumuş olur. Paslanmaya karşı korunma sağlanmadığı takdirde, tamamen çıplak teller de

kullanılabilir. Üzeri paslı teller kesinlikle kullanılmamalıdır. Bu gibi teller memede kontakt zorlukları meydana getirir ve memenin çabuk aşınmasına sebep olur. Teller ancak uygun memelerde kullanılmalıdırlar; aşınmış veya büyük çaplı memelerin kullanılması da kontakt zorluklarına sebep olur.

Kontakt zorlukları sebebiyle akım üniform bir şekilde oluşumuna izin vermez ve dolayısıyla kaynak bölgelerine verilen ısı miktarı değişir, bu olay dikişin bozulmasına ve bazı durumlarda da gözenek oluşumuna sebep olur.

Tozaltı kaynağında kaynak metalini alaşımlandırmak için 3 ayrı yöntem uygulanır:

- 1 - Alaşımlı tel kullanmak
- 2- Yumuşak çelik tel ve alaşım elemanı içeren toz kullanmak
- 3- Kompoze edilmiş elektrod kullanmak. Bu elektrodlar alaşım elemanı içeren bir örtü ve yumuşak çelik telden ibarettir.

Toz ve tel seçiminde, kaynak esnasında cüruf ve kaynak banyosu arasında çok şiddetli reaksiyonların meydana geldiği ve bununda kaynak dikişinin Si ve Mn muhtevasını şiddetle etkilediği göz önünde bulundurulmalıdır. Si ve Mn miktarları haricinde tozaltı kaynak yönteminde Cr, Ni, ve Mo miktarında kayda değer bir değişme görülmez. Bu bakımdan az alaşımlı çelikler için genellikle aynı bileşime uygun türde kaynak telleri seçilmelidir. (Anık 1991)

1.1.4.Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları

1.1.4.1. Kaynak Tozundan Beklenen Özellikler

İyi bir kaynak tozunun aşağıdaki hususları gerçekleştirmesi gerekir:

- Kararlı bir ark sağlanmalıdır. Bilhassa alternatif akım ile kaynakta, akım yön değiştirirken arkın sönmesini önlemelidir.
- İstenen kimyasal bileşim ve mekanik özelliklere sahip bir kaynak dikişi vermelidir.
- Uygun ve temiz bir iç yapı sağlamalıdır.

- Kaynak dikişinde, herhangi bir gözenek ve çatlak teşekkülüne sebep olmamalıdır.
- Kök pasolarının ve dar aralıkların kaynağında, cürufu kolayca kalkabilmelidir.
- Gözenek oluşumuna sebep olacak organik maddeler ihtiva etmemelidir.
- Az nem çekmelidir.

1.1.4.2. Tozların Kimyasal Bileşimleri ve Kaynak Metaline Etkileri

Genel olarak kaynak tozlarının büyük bir kısmını, SiO_2 ihtiva eder. SiO_2 kaynak tozunun yüksek akım şiddetiyle yüklenmesini temin eder. Aynı zamanda iyi bir deoksidandır ve cürufu daha akıcı hale getirir. Tozların içerisinde miktar olarak ikinci büyük madde, MnO 'dir. MnO dikişin emniyeti bakımından önemlidir. Fakat tozun içerisindeki MnO miktarı arttıkça, yüksek akım şiddetiyle yüklenebilme kabiliyeti azalır. Bu sebepten yüksek akım şiddetiyle yüklenen tozlarda MnO bulunmaz. Fakat manganezsiz ve silisyum miktarı yüksek tozlar kir ve pasa karşı çok hassas olduğundan, parçaların kaynak ağızlarının çok iyi temizlenmesi gerekir.

Tozda bulunan SiO_2 kaynak sırasında redüklenecek, dikişe Si verir. SiO_2 miktarı arttıkça, dikişe geçen Si miktarı da artar. Silisyum kaynak esnasında kaynak banyosunu deokside ederek, dikişin gözeneksiz çıkmasını temin eder; kükürt ve fosfor segregasyonunu azaltır. Kaynak dikişindeki silisyum ve manganez birbirlerine göre miktarları, dikişin mekanik özellikleri yönünden önemlidir. Manganezin silisyuma oranı en az 2/1 olmalıdır. (3/1'e kadar çıkabilir). Bu oran üzerinde seçilen kaynak teli ve tozunun etkisi olduğu kadar, çalışma şartlarının da tesiri vardır. Çalışma şartlarında akım şiddeti yükseldikçe, manganez ve silisyumun yanma oranı artar. Böylece dikişe geçen manganez ve silisyum miktarı azalır. Kaynak hızının artması, ark geriliminin azalması kaynak metalindeki manganez ve silisyum oranını azaltır. Yine kaynak teli çapının ve kaynak ağız açısının artması, dikişteki manganez ve silisyum miktarlarını artırmaktadır.

1.1.4.3. Kaynak Tozlarının Fiziksel Etkileri

Kaynak tozunun özgül ağırlığı, erime aralığı, akıcılığı, tane büyüklüğü ve yığılma yüksekliği kaynak dikişi üzerinde aşağıdaki fiziksel etkileri yapar:

- Ark bölgesini atmosferin zararlı etkilerine karşı korur.
- Katılaştıran cüruf, dikişin yavaş soğumasını sağlar.

- Dikişin dış formunu oluşturur.
- Esas metal ile kaynak metali arasındaki geçiş bölgesinde çentik oluşturmaz. (Anık 1991)

1.1.5. Tozaltı Kaynağında Dikişin Formu ve Buna etki Eden Faktörler

Tozaltı kaynağında oluşan kaynak cürufu, dikişe metalürjik yönden etkisine paralel olarak, katılaşma aşamasında da bir işlem etkeni rolüne sahiptir. Uygulama ile oluşturulan dikişler özellikle dendritik bir yapı görünümündedir. Yapısal oluşumda, soğuma hızının yavaşlamasına bağlı olarak taneler irileşmektedir. Bu oluşumda diğer etkenler olarak, ergitilen ilave malzemeleri metalsel banyo büyüklüğü, curuf tabakasının kalınlığı sayılabilir.

Kaynak banyosunda kristalleşme dikiş yanlarından başlayarak, çubuk kristal olarak dikiş ortasına doğru yayılır. Bu kısımda metalsel banyonun zayıflaması ile çubuk kristallerinin muntazamlığı kaybolur, arzu edilmeyen kaynak kesit ve kalitesi ortaya çıkar. Bu nedenle uygun kaynak parametreleri ile çalışmak ve dikiş biçim oranları sınır değerlerini dikkate almak ön şart olarak gereklidir.

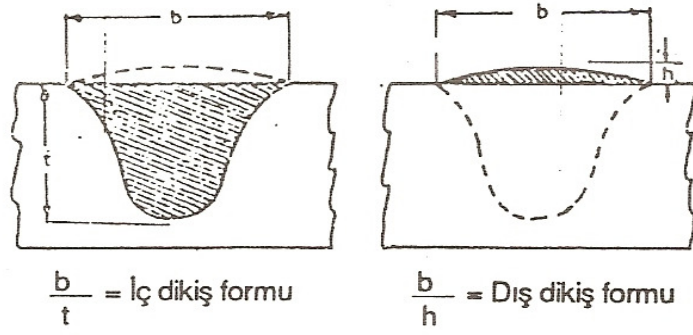
Tozaltı kaynağında dikişin formu çok geniş sınırlar arasında değişebilir. Eğer belli bir usulde, kaynak karakteristikleri yerinde seçilirse, belirli faktörlerin kaynak esnasındaki tesirlerini tespit etmek mümkün olur. Kaynak dikişinin kesiti incelendiğinde burada bir iç ve bir dış dikiş formu olmak üzere iki farklı formun mevcut olduğu görülür (Şekil 1.4). Her dikiş formu nüfuziyet derinliği, erime genişliği ve dikiş yüksekliği ile karakterize edilir.

Nüfuziyet derinliği (t), erime genişliği (b) ve dikiş yüksekliği de (h) ile gösterirsek; iç dikiş formu (b/t) ve dış dikiş formu (b/h) şeklinde ifade edilir ve

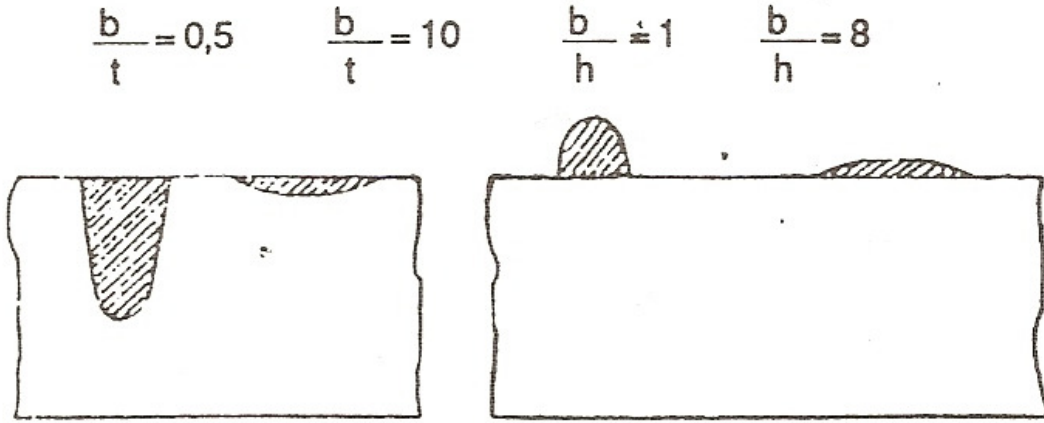
$$b / t = 0,5 - 10$$

$$b / h = 1 - 8$$

arasında değişir (Şekil 1.5) (Anık 1982)



Şekil 1.4. İç ve dış dikiş formunun şematik gösterilişi



Şekil 1.5. İç ve dış dikiş formlarının minimum ve maksimum değerlerinin gösterilişi

1.1.5.1. Akım Şiddetinin Dikişin Formu Üzerine Etkisi

Akım şiddeti dikişin formu üzerine en büyük tesiri olan faktörlerden birisidir; akım şiddeti arttıkça iç dikiş formu b/t değişmekte, bu oran küçülmekte yani nüfuziyet artmaktadır. Bu sebepten ötürü akım şiddeti kaynak edilen parça kalınlığına uygun olarak tespit edilmelidir. Aksi halde (t) nüfuziyet parça kalınlığından daha büyük olur ve parça delinir. Çok ufak olduğunda da iyi bir birleşme meydana gelmez.

1.1.5.2. Akım Yoğunluğunun Dikişin Formu Üzerine Etkisi

Akım yoğunluğu da dikişin formuna tesir eden faktörler içindedir. Bilindiği gibi akım yoğunluğu akım şiddetinin tel kesitine oranıdır (I/F -amper/mm²). Akım yoğunluğunun artması; yani aynı akım şiddetinde tel çapının azalmasıyla ile akım şiddeti de artacağından dikişin nüfuziyeti artar, ayrıca akım yoğunluğunun artması ile erime gücü de arttığından dikişin yüksekliğinde (h) bir artma görülür. (Şekil 1.6)



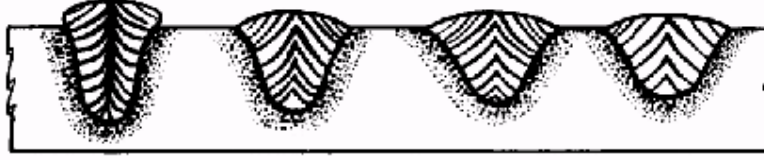
Şekil 1.6. Tel çapının dikiş formu üzerindeki etkisi

1.1.5.3. Ark Geriliminin Dikişin Formu Üzerine Etkisi

Gerilimin değişmesi ile arkın boyu da değişir. Bazı cins tozlar yüksek gerilim ile çalışmayı gerektirir. Bu gibi tozlarla düşük gerilimde çalışılırsa cüruf dikişin üzerinden zor kalkar. Böyle bir durumda kaynakçı ark gerilimini yükseltmelidir.

Yüksek bir ark gerilimi, uzun arkla çalışmayı gerektirdiğinden fazla miktarda tozun cüruf haline geçmesine sebep olur. Bu ise kaynak dikişinin kimyasal bileşimine tesir eder. Meselâ asit karakterli bir tozla kaynak yapılması halinde, dikişin silisyum miktarı artar.

Ark geriliminin çok düşük seçilmesi ise bazı kaynak hatalarının ortaya çıkmasına sebep olur. Ark boyunun artması ile arkın parça üzerinde kapladığı alan da artar. Bu ise kaynak dikişinin genişliğini artırır. Şu halde ark gerilimi en bariz tesirin dikişini eni üzerinde göstermektedir. Gerilimin artması nüfuziyet ve dikiş yüksekliğine olumlu yönde tesir eder. (Şekil 1.7)



Şekil 1.7. Ark geriliminin dikiş formu üzerindeki etkisi

1.1.5.4. Kaynak Hızının Dikişin Formu Üzerine Etkisi

Kaynak dikişinin formu üzerine tesir eden faktörlerden olan kaynak hızı yükseldikçe nüfuziyet derinliği ile dikiş genişliğinin azaldığı görülmektedir. (Şekil 1.8) Kaynak hızı diğer taraftan toz sarfiyatına da tesir eden faktörler arasındadır; hızın düşmesi ile toz sarfiyatı da artar.

Kaynak hızının artması dikişlerin daha dikkatli olarak kaynak edilmesini gerektirir. Yüksek hızlarda dikişte gözenekler ve dikiş kenarlarında çentik hataları meydana gelmektedir. Bugün gerekli şartlar sağlandığında yüksek hızlarda da kaliteli dikişler elde edilebilmektedir. İnce saçların birleştirilmesinde 350 cm/dak kadar hızlara erişilmiştir.

Kaynak hızı azaldıkça birim dikiş boyuna verilen ısı miktarı artar. Böylece ısı tesiri altındaki bölge genişler ve normal kaynak hızlarında delinmemesi icap eden parçalarda delinme tehlikesi başlar. Düşük kaynak hızlarında elektrod fazla uzaklaşmadan banyo katılaşmaya başlayacağından, dikiş üzerindeki balıksırtı çizgiler arasındaki açı büyüktür. Kaynak hızı yükseldikçe bu açı daralır.



Şekil 1.8. Kaynak hızının dikiş formu üzerindeki etkisi

1.1.5.5. Kaynak Yapılan Parçanın Eğiminin Dikişin Formu Üzerine Etkisi

Tozaltı kaynağı esas olarak yatay pozisyonda yapılır. Burada bilhassa parçanın durumu ve kaynak yönü dikiş formuna tesir eder. Parçanın bulunduğu yatay düzlemde 6°'ye kadar bir eğime sahip olması pek önemli değildir. Mesela, 6°'den daha büyük eğimli yüzeylerdeki yokuşun aşağı yapılan kaynaklarda nüfuziyet az ve dikiş geniştir. Yokuş yukarı yapılan kaynaklarda ise, nüfuziyet ve dikiş yüksekliği çok fazladır.

Silindirik parçaların kaynağında telin pozisyonunun dikey eksenin sağında veya solunda bulunması ve telin ucu ile dikey eksen arasındaki mesafenin fazlalığı veya azlığı dikişin formuna etkileyen önemli bir faktördür.

En uygun yer, telin, parçanın dikey eksenine yakın ve kaynak yönüne göre yokuş yukarı kaynak yapacak tarafta bulunmasıdır. Telin konumu ile eksen arasındaki mesafe yokuş yukarı istikamette artarsa nüfuziyet azalır ve dikiş genişler. Aynı zamanda cüruf kalıntılarına sebep olur. Eğer bu mesafe yokuş aşağı istikamette artarsa nüfuziyet ve dikiş yüksekliği fazlalaşır.

1.1.5.6. Akım Cinsi ve Kutup Durumunun Dikişin Formu Üzerine Etkisi

Tozaltı kaynağında hem alternatif hem de doğru akım kullanılabilir. Her iki akımın da ayrı kullanılma sahaları ve dikiş formu üzerine ayrı etkileri mevcuttur. Doğru akım kullanıldığı hallerde dikiş formunun, nüfuziyetin ve süratin kontrolü hassas olarak yapılabilen ve ark daha kolay teşekkül etmektedir. Özellikle;

- Ark ateşlemesinin çabuk olmasının arzu edildiği
- Arkın sıkı bir kontrolünün gerekli olduğu
- Yüksek süratle özel yörüngelerin kaynak edilmesinin gerekli olduğu hallerde doğru akım tercih edilmelidir.

Dikiş formunun kontrol altına alınabilmesi bilhassa ters kutuplama (elektrod pozitif kutupta) ile daha hassas olarak yapılabilir. Doğru kutuplama yapıldığı hallerde eriyen tel miktarı artmakta, buna mukabil nüfuziyet ters kutuplamaya nazaran azalmaktadır. Bu sebeple doldurma işlemlerinde doğru kutuplama (elektrod negatif kutupta) tercih edilir, yalnız ters kutuplamada ark ancak yüksek akım şiddetlerinde kararlıdır.

Doğru akımın bütün bu avantajları ve yüksek kaynak hızları sağlaması yanı sıra, kullanılan akım membarları bakımının zor ve maliyetlerinin pahalı oluşu bugünün endüstrisini alternatif akımı kullanmaya doğru yönlendirmektedir. Alternatif akım yüksek hızlarda kaynak yapmaya müsait olmamasına rağmen bugün yüksek güçlerin gerektiği ağır sanayide tercih edilmektedir. Çünkü kullanılan kaynak transformatörlerinin bakımı kolay ve fiyatları doğru akım makinelerine kıyasla çok ucuzdur. İlk ateşleme zorluğu bugün ilave edilen yüksek frekans cihazlarıyla halledilmiştir. Elde edilen dikişin nüfuziyeti ve kaynak teli erime gücü doğru akımla her iki kutuplama ile elde edilen değerlerin aşağı yukarı ortalamasıdır.

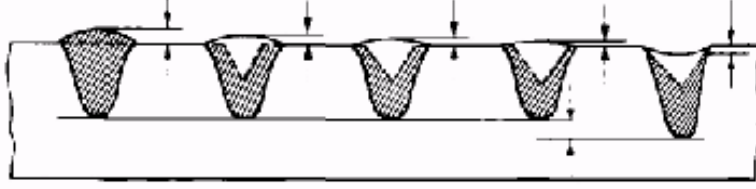
Alternatif akım ark parlamasını minimuma indirir. Topraklama bir problem çıkarmaz. Bundan ötürü bilhassa ark parlamasının önlenmesinin gerektiği hallerde, boruların iç kaynağında topraklamanın problem çıkardığı hallerde birden fazla arkın aynı anda kullanıldığı yerlerde tercih edilir. Parçaya bağlanan kablonun bağlantı yeri arkın üflemesine tesir eder. Bunun neticesinde de dikişin iç formu değişir ve yetersiz bir birleşme elde edilir. Kablonun bağlantı yeri uygun bir ark üfleme sağlanacak şekilde seçilmelidir. Bu da, kaynak yapılan iki parçanın her birinin baş ve sonuna (dikişin sağına ve soluna) gelmek üzere dörtlü bir bağlantı yapmakla gerçekleştirilir.

Çok uzun kablolar omik gerilim düşümünü yükselttiğinden, pratikte kullanılan kablo uzunluğu (toprak ve kaynak kablolarının toplamı) 40 metreyi aşmamalıdır. Kablo kesitleri de tatbik edilen akım şiddetine bağlı olarak, en uzun devrede kalma süresinde, kablonun el ile tutulabilecek bir sıcaklıktan daha fazla ısınmayacağı tarzda seçilir.

Diğer önemli bir nokta da kaynak kablosu sarılmış vaziyette yerde iken veya kaynak makinesinin üzerinde bulunduğu sırada kaynak yapmaktır. Bu takdirde kabloda büyük bir endüktif gerilim düşmesi meydana gelir. Bu da arka tesir eder ve neticede kaynak işlemi bozar. Kaynak kablosunun yerde yalnız bir yarım daire teşkil edecek şekilde bulunmasına müsaade edilir.

1.1.5.7. Kaynak Ağız Açısının Dikişin Formu Üzerine Etkisi

Kaynak ağız açısının genişliği ve iki parça arasında bırakılan aralık, dikiş formunu etkileyen faktörler arasındadır. Ağız açısının artması ile dikişin eni artar ve (h) dikişin yüksekliği fazla miktarda azalır. İki parça arasındaki aralığın artması ile nüfuziyet fazla miktarda artar, dikişin genişliği artar. Bununla birlikte yüksekliği fazla miktarda azalır (t artar, b azalır.) (Şekil 1.9)



Şekil 1.9. Kaynak ağız açısının dikiş formu üzerindeki etkisi

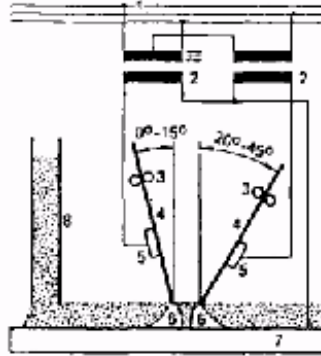
1.1.5.8. Kaynak Tozu Tane Büyüklüğünün Dikişin Formu Üzerine Etkisi

Tozun tane büyüklüğü arttıkça; nüfuziyet ve dikiş yüksekliği az miktarda düşmekte, dikiş genişliği de bir miktar artmaktadır.(Anık 2000)

1.1.6. Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemleri

1.1.6.1. Tandem Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemi

Birbirini takip eden ve aynı yörüngede hareket eden iki elektrod ile yapılan bir tozaltı kaynak usulüdür (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Tandem tozaltı kaynağı yönteminin prensibi

Bu sistem aşağıdaki avantajları sağlamaktadır:

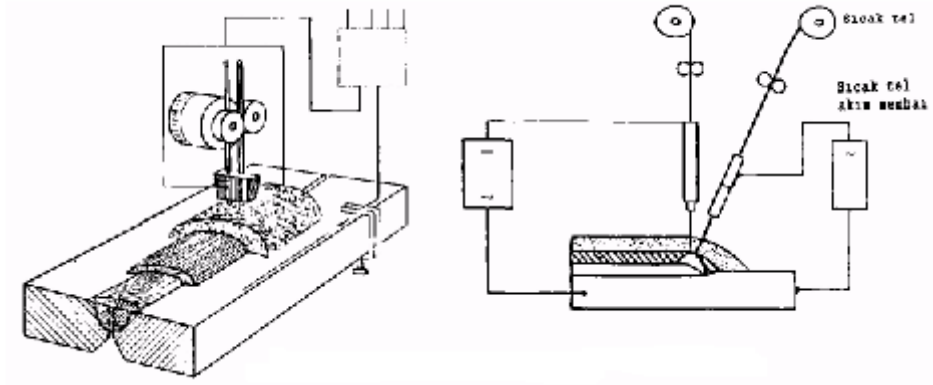
- Kaynak hızı yükselir
- Gözenek teşekkülü büyük ölçüde önlenir
- Dikişlerin çatlamaya karşı emniyeti artar
- Dikişlerin kalitesi yüksektir.

Yukarıda sayılan sebeplerden dolayı tandem usulü, doldurma kaynakları ve paslı parçaların kaynaklarında iyi netice vermektedir.

1.1.6.2. Paralel Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemi

İki elektrodun yan yana hareket etmesiyle, yapılan kaynak usulüdür (Şekil 1.11). Bu usulün sağladığı faydalar şöyledir:

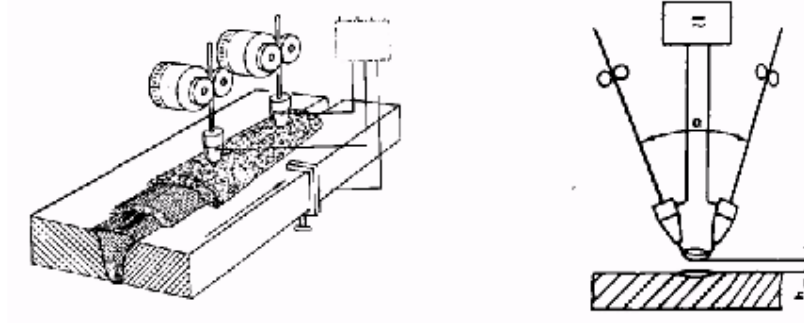
- Nüfuziyet kontrol edilir.
- Kaynak banyosunun parçayı delme tehlikesi azalmaktadır.
- Aralık doldurma kabiliyeti artmıştır.
- Dikiş formunu değiştirme imkânı ortaya çıkar.



Şekil 1.11. Paralel tozaltı kaynağı yönteminin prensibi

1.1.6.3. Seri Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemi

Şekil 1.12 'de şematik olarak verilen bu usulde, nüfuziyet ve esas metal ile kaynak telinin karışım oranlarının kontrolü mümkün olmaktadır. Böylece nüfuziyeti az, doldurma kaynaklarının yapılması mümkün olmaktadır. Bu usulde kaynak arkı, birbirine seri olarak bağlanmış iki elektrod arasında meydana gelir. Bu ark sayesinde, parçalar erir.



Şekil 1.12. Seri tozaltı kaynağı yönteminin prensibi

Bu usulün sağladığı faydalar şöyledir:

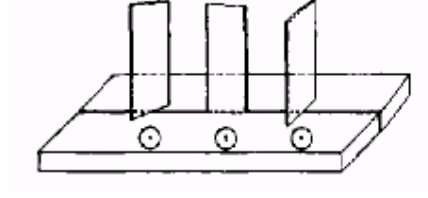
- Erime gücü fazladır
- Toz sarfiyatı azdır
- Nüfuziyeti az olduğundan, ince sacların ve kaplı sacların kaynağı için uygundur.

1.1.6.4. Bant Elektrodla Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemi

Tel elektrod yerine, bant şeklindeki elektrodun kullanıldığı bir tozaltı kaynak usulüdür. Böylece şu avantajlar elde edilmektedir:

- Erime gücü yüksektir
- Nüfuziyet azdır
- Dikişte gözenek azdır
- Yüksek bir ekonomi sağlanır.

Bant elektrodla genellikle, dikdörtgen kesitlidirler ve ark bütün elektrod kesitinde teşekkül eder. Elektrodun hareketi enine, boyuna ve diagonal biçimde olabilir (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. Bant elektrodla tozaltı kaynağı yönteminin prensibi

1.1.6.5. Kızgın Tel Usulü Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemi

Tandem usulün bir alternatifidir burada tellerden bir tanesi elektrik direnci ile ısıtılarak kaynak banyosuna ithal edilir bu şekilde elektrik enerjisinden tasarruf sağlanır. Tozaltı kaynağı son senelerde memleketimizde oldukça geniş bir tatbikat sahası bulmuştur. Özel sektörde ve bilhassa likit gaz tüpü imalatında ve Devlet Karayolları Bakım Atölyelerinde dozer ve traktörlerin aşınan yürüyüş takımlarının doldurulmasında kullanılmaktadır.

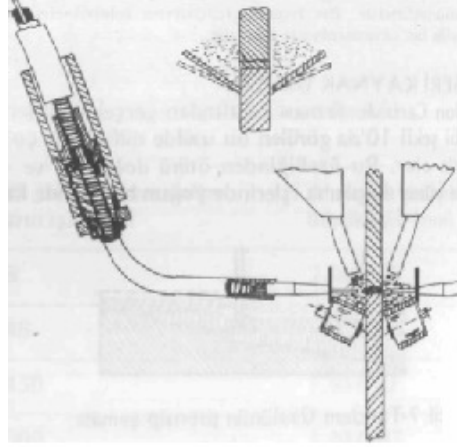
1.1.6.6. Dik (Saat 3 Yönünde) Pozisyonda Tozaltı Ark Kaynağı Yöntemi

Bu usulde tel ve parçanın konumu akrep ve yelkovanın saat 3'deki durumunu andırıldığından bu şekilde bir isim kullanılmaktadır. Gene Lincoln firması tarafından geliştirilmiş olan bu usulün prensip şeması 1.14 'de görülmektedir.

Burada parça dik, dikiş ise yere paraleldir. Bir seferde parçanın iki taraftan aynı anda kaynatılması mümkündür. Böylece hızlı ve dengeli kaynak yapma imkânı olmaktadır. Tozun düşmemesi için şekilde görüldüğü gibi kaynak kafasıyla beraber hareket eden özel kayışlar mevcuttur. Bu usul bilhassa gemi inşaatında geniş bir tatbikat sahası bulmuştur.

Dik pozisyonda tozaltı kaynağı ile diğer kaynak pozisyonlarına göre daha küçük çaplı elektrodla ile çalışabilme olanağı sağlanmaktadır. Bu yöntemin kullanılması ile daha düşük akım değerleri ile kaynak yapılabilir. Toz sarfiyatı daha azdır. Daha dengeli kaynak

yapılabildiği için kaynak sonrası parça üzerinde distorsiyon ve kalıcı gerilmelerin daha küçük değerlerde olması beklenir. (Rossi 1954)



Şekil 1.14. Dik (Saat 3 yönünde) pozisyonda tozaltı kaynağı yönteminin prensibi(Rossi 1954)

1.1.7. Tozaltı Ark Kaynak Yönteminde Kaynak Hataları

Bir kaynak dikişinin istenilen birleştirmeyi sağlayabilmesi için kaynak bölgesinde oluşan kaynak hatalarının asgari seviyede gerçekleşmesi gereklidir. Kaynak hataları kaynak dikişinin homojenliğini olumsuz yönde etkiler ve kaynak dikişinin mukavemetini düşürür.

Tozaltı kaynağında öne çıkan başlıca kaynak hatalarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- a) Çatlaklar
- b) Gözenekler
- c) Cüruf kalıntıları
- d) Birleştirme azlığı
- e) Yanmadan kaynaklanan oluk ve çentik oluşumu
- f) Delikler

1.1.7.1. Çatlaklar

Kaynak dikişinde meydana gelen hataların en tehlikelisi çatlaklardır. Çatlaklar gerek esas metalde gerekse kaynak metalinde meydana gelebilir.

Esas metalde meydana gelen çatlakların nedeni; ısının tesiri altında kalan bölgenin sertleşmesidir. Bunun yanı sıra soğuma hızı, malzemenin metalurjik özellikleri, konstrüksiyonun şekli v.s. bu hususa tesir eden faktörlerdir.

Kaynak dikişinde oluşan çatlakların nedenlerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Gazı alınmamış esas metal
- Segragasyon bölgeleri
- Ana(esas) metalin yüksek karbonlu olması
- Silisyum ve manganez miktarının fazlaşması
- Konstrüksiyonun rijitliği
- Dikişin zorlanmaya maruz kalması
- Uygun olmayan bir çalışma tekniğinin seçilmesi

Gazı alınmış esas metal kullanımı, dikişte kaynak sonrası oluşan çatlakları önlemek açısından çok önemlidir. Esas metal olarak gazı alınmamış bir çeliğin kullanılması durumunda şu tedbirler alınmalıdır:

- Kaynak banyosu küçük seçilmeli
- Kaynak hızı azaltılmalı
- Kaynak işlemi çok pasolu olarak uygulanmalı
- İç köşe dikişlerinde ark gerilimi biraz yükseltilmeli
- Kaynak hızı ve akım şiddeti azaltılmalı
- Telin konum açısı değiştirilmeli
- Kaynak kafasına, kaynak yönünün ters tarafına doğru bir eğim verilmeli,
- Daha ince kaynak teli kullanılmalı
- Yüksek manganez içeren kaynak teli seçilerek iyi bir deoksidasyon sağlanmalı
- Bazik karakterli bir toz kullanılmalı

Segragasyon bölgeleri de esas metale ait kusurlar arasındadır. Kaynak edilen parçanın bir kısmında böyle bir kusura rastlanması durumunda dikişin o kısmı sökülmesi ve yüksek manganiz içeren bir kaynak teli ve bazik kaynak tozu ile kaynak edilmelidir.

Esas metalin içerdiği karbon miktarının fazla olması halinde, dikişteki çatlama eğilimini azaltmak için şu tedbirler alınmalıdır:

- Kaynak banyosu küçük tutulmalı
- Kaynak hızı azaltılmalı,
- Kaynak dikişi soğuma hızı azaltılmalı
- Cüruf uzun bir süre (dikiş soğuyuncaya kadar) dikiş üzerinde kalmalı
- Bazik karakterli kaynak toz kullanmalı
- Esas metal ön tavlama işlemine tabi tutulmalı
- Kaynak işlemi çok pasolu olarak uygulanmalı
- Doğru akımda elektrod negatif (-) kutba bağlanmalı
- Kaynak teli ince çaplı olarak seçilmelidir.

Silisyum veya manganiz miktarının zenginleşmesiyle dikişte oluşması muhtemel çatlaklar için şu tedbirler alınmalıdır:

- Tel-toz kombinasyonunun metalurjik etkisi değiştirilmeli
- Kaynak banyosunun silisyum miktarını arttıracak kaynak tozu kullanılmamalı
- Manganiz -silisyum oranı değiştirilmeli
- Ark gerilimi değiştirilmelidir.

Konstrüksiyon rijitliğinin dikişte meydana getirebileceği çatlakları önlemek için şu tedbirler alınmalıdır:

- Parçalar arasındaki aralık uygun olmalı
- Parçanın serbest olarak kendini çekebilmesi sağlanmalı
- Sünek bir kaynak dikişi oluşturulmalı
- Bazik karakterli kaynak tozu kullanmalı
- Kaynak dikişinin hacmi değiştirilmeli
- Çalışma tekniği değiştirilmeli

Dikişin erken zorlanmaya maruz kalmasıyla meydana gelebilecek çatlakları önlemek için aşağıdaki tedbirlere başvurulabilir:

- Dikişin tamamen katılaşmasına kadar beklenilmeli
- Parça, dikiş katılaşmadan hareket ettirilmemeli
- Dikişin katılaşması esnasında çekme, basma, eğme veya burma gibi bir zorlama uygulanmalı
- Tamamen deokside edilmiş bir malzeme kullanılmalıdır.

Yanlı bir çalışma tekniğinin sebep olduğu çatlamlar aşağıdaki tedbirlere başvurulularak önlenebilir:

- Ark gerilimi yükseltilmeli
- Kaynak hızı azaltılmalı
- Akım yoğunluğu değiştirilmeli
- Tozun tane büyüklüğüne ve yığılma yüksekliğine dikkat edilmeli
- Ağız açısı arttırılmalı
- Akım cinsi değiştirilmeli (Doğru akım kullanmak daha uygundur).
- Kutup değiştirilmeli
- Parçaya bağlanan kablonun yeri değiştirilmeli ve bazen de parçanın her iki tarafına gelecek şekilde çift bağlantı yapılmalıdır.

Gerek dikişte ve gerekse esas metalde meydana gelen çatlakların yegâne tashih şekli, hatalı yerin sökülüp çıkartılması ve yeni kaynak edilmesidir.

Dış zorlamanın şiddetli ve şekli ne olursa olsun, çatlaklar daima bağlantının mukavemetini düşürür. Bu kaynaklı birleştirilmelerde çatlama oluşmaması için gerekli önlemler alınmalıdır.

1.1.7.2. Gözenekler

Kaynak dikişinde meydana gelen gözeneklere şu durumlarda oluşur:

- Esas metalin içeriğindeki harici safiyet elemanlar
- Kaynak ağızlarında bulunan boya, pas, yağ, gres ve kav gibi pislikler
- Kaynak tozunun rutubetli olması
- Kaynak tozunun içerisine yabancı maddelerin karışmış olması
- Arkın dışarıya ışık çıkarması
- Kaynak telinin kirli ve paslı olması
- Uygun olmayan çalışma tekniğinin seçilmesi

Esas metalin terkindeki gayri safiyet elemanları gözenek teşekkülüne sebebiyet verdiği zaman en iyi çare esas metali değiştirmektir. Aksi durumda şu tedbirler alınmalıdır:

- Dikişin manganez içeriği artırılmalı
- Tel-toz kombinasyonunun metalürjik etkisi değiştirilmemeli
- Kaynak ağız açısı artırılmalıdır.

Kaynak ağızlarının üzerindeki pisliklerin sebebiyet verdiği gözeneklerin oluşumunu engellemek için şu tedbirler alınmalıdır:

- Kaynak ağızı boya, yağ, pas, diğer pisliklerden arındırılmalı
- Kaynak ağızları hazırlanmasından hemen sonra kaynak işlemi gerçekleştirilmelidir.
- Parçalar paslanabilecekleri bir atmosferde depolanmamalı
- Kuvvetli deoksidan özelliğe sahip kaynak tozu kullanılmalıdır

Kaynak tozunun rutubete maruz kalmaması kaynağın kalitesi açısından önemlidir ve şu tedbirler alınmalıdır:

- Kaynak tozları kaynaktan önce 2-3 saat 300 C' de ısıtılmalı
- Kaynak tozları daima kuru yerlerde (klima tesisatı bulunan) depolanmalı
- Kaynak tozları nem çekmeyecek şekilde paketlemelidir.

Kaynak tozlarının içerisindeki yabancı maddelerin gözenek teşekkülüne sebebiyet vermemesi için şu hususlara dikkat edilmelidir:

- Kaynak tozunun içerisinde bulunan ve gaz teşkil eden tahta talaşı, kağıt, tütün, gibi maddeler ayıklanmalı
- Kaynak tozunda bulunan pas ve kav gibi maddeler çıkarılmalı, cüruf elenerek ayıklanmalı
- Kaynak tozu, kaynak yerinden emilerek alınmalı

Kaynak arkının dışarıya ışık çıkarmasıyla meydana gelen gözeneklerin oluşumunu engellemek için şu tedbirlerin alınması gereklidir:

- Kaynak tozunun yığılma yüksekliği arttırılmalı
- İnce taneli kaynak tozu kullanılmalı
- Kaynak tozunun kaynak bölgesine veriliş tarzı değiştirilmeli
- Kaynak tozunun sevk borusundaki cüruf arındırılmalıdır.
- Kaynak teli üzerindeki yağ, pas, gres, boya gibi pislikler temizlenmeli. Teller kuru yerlerde depolanmalıdır.

1.1.7.3. Cüruf Kalıntıları

Kaynak dikişinde oluşan iç cüruf kalıntılarının başlıca sebepleri şunlardır:

- Yetersiz nüfuziyet
- Kaynak pasolarının birbirini yetersiz kesmesi
- Kaynak yapılmamış kısımların oluşumu
- Yüksek ark gerilimi
- Yüksek kaynak hızı
- Telin kesintili bir şekilde kaynak yerine gelmesi

İç cüruf kalıntılarını önlemek için alınması gereken tedbirler şunlardır:

- Akım şiddeti yükseltilmeli
- Akım yoğunluğu yükseltilmeli
- Ark gerilimi düşürülmeli
- Kaynak kafasına uygun bir eğim verilmeli
- Çevresel dikişlerin kaynağında telin memenin dışında kalan kısmının boyu ayarlanmalı
- Bağlantı yerlerindeki cüruflar temizlenmeli
- Kaynak telinin parçaya dikey olarak gelmesine dikkat edilmeli
- Bakır çeneler ve tahrik makaraları gibi aşınan kısımlar değiştirilmelidir.

Cürufun öne doğru akması ve parçanın eğimi dış cüruf kalıntılarına sebep olur. Bunu önlemek için de aşağıdaki tedbirler alınmalıdır:

- Akım şiddeti düşürülmeli
- Kaynak hızı yükseltilmeli
- Kaynak gerilimi düşürülmeli
- Parça yatay pozisyona getirilmeli.
- Parçaya hafif yukarıya doğru bir eğim verilerek yukarıya doğru kaynak yapılmalı
- Elektrod (+) kutba bağlanmalı
- Az akıcı bir kaynak tozu seçilmeli
- İri taneli bir kaynak tozu tercih edilmeli
- Kaynak ağız açısı arttırılmalı
- Çok pasolu kaynak yöntemi kullanılmalıdır.

1.1.7.4. Nüfuziyet Azlığı

Uygun olmayan çalışma tekniği ile kaynak yapılması sonucunda yeterli nüfuziyet sağlanamaz. Yapılan kaynaklı birleştirme yetersizdir. Bu durumdan sakınmak için şu önlemler alınmalıdır:

- Akım şiddeti yükseltilmeli
- Kaynak telinin çapı küçültülmeli
- Akım yoğunluğu yükseltilmeli
- Ark gerilimi düşürülmeli
- Kaynak hızı duruma göre ayarlanmalı
- Telin memenin dışında kalan kısmının boyu azaltılmalı
- Kablonun parçaya bağlantısı birkaç yerden yapılmalı
- Kaynağın başlangıcı ve sonundaki bitiş krateri eklenen bir ilave parça üzerine gelmemeli ve bunlar sonra kesilerek atılmalıdır.

Gözenek oluşumuna uygun olmayan çalışma tekniği sebep oluyor ise; şu değişiklikler yapılmalıdır.

- Ark gerilimi azaltılmalı
- Kaynak hızı küçültülmeli
- Akım yoğunluğu azaltılmalı
- Kablonun parçaya bağlanma yeri veya şekli değiştirilmeli, çift bağlantı şekli tatbik edilmeli
- Punta yapılmamalı, sadece bağlama tertibatları kullanılmalı
- Akımın cinsi ve kutup değiştirilmeli

Bazı durumlarda gözenekler kanallar halinde teşekkül eder. Gözenek kanalları adı verilen bu hatalar özellikle kök pasolarının iyi bir erime sağlamamaları neticesinde meydana gelir. Bu tür gözeneklerin oluşumunu engellemek için alınması gereken tedbirler şunlardır:

- Kökte derin bir erime sağlanmalı
- Akım şiddeti yükseltilmeli
- Ark gerilimi azaltılmalı
- Kaynak hızı küçültülmeli
- Akım yoğunluğu yükseltilmeli
- Punta yerleri cürüflardan temizlenmeli
- Kaynak telinin konumu değiştirilmelidir.

Bir kaynak dikişinin içerisinde bulunan gözenekler, dikişin taşıyıcı kesitini azalttığından mukavemetini düşürür. Aynı zamanda bölgesel gerilme yığılmalarına sebep olur. Gözenekler bağlantının mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Özellikle yorulma mukavemeti üzerine etkisi büyüktür. Dağınık halde çok küçük gözenekler bağlantının statik mukavemetine fazla tesir etmez. Fazlaca gözenek içeren dikişler sökülerek yeniden kaynak edilmelidir.

Kaynak ağızlarının uygun bir şekilde hazırlanmaması durumunda şu tedbirler alınmalıdır:

- İyi bir kaynak ağızı hazırlamalı
- Uygun bir kaynak ağız açısı seçilmeli
- Bakır altlık değiştirilmeli
- Kaynak banyosunun basınç tesiri artırılmalı
- Puntalama işlemi temiz ve dikkatli yapılmalıdır.

1.1.7.5. Yanma Oluk ve Çentikleri

Yanma sebebiyle oluşan olukların başlıca sebepleri şunlardır:

- Uygun olmayan çalışma tekniği
- Parça pozisyonunun uygun olmaması
- Yanlış kafa ayarı
- Parçaların kaynak ağızlarının iyi hazırlanmaması

Uygun olmayan çalışma tekniğinin sebep olduğu yanma oluklarının önlemek için şu tedbirler alınır:

- Akım şiddeti düşürülmeli
- Akım yoğunluğu azaltılmalı
- Ark gerilimi yükseltilmeli
- Kaynak tozu değiştirilmeli
- Kaynak hızı azaltılmalı

Parça pozisyonunun uygun olmaması neticesinde meydana gelen olukları önlemek için aşağıdaki tedbirlere başvurmak gerekir:

- Parça yatay pozisyona getirilmeli
- Kaynak kafası parçaya tam dikey duruma getirilmeli
- Kaynak telinin memeden dikey olarak çıkışı sağlanmalı
- Kaynak otomatı parça ile paralel konumda olmalı,

Kaynak kafasının yanlış ayarı neticesinde oluşan yanma oluklarını önlemek için şu tedbirler alınmalıdır:

- Yatay pozisyondaki iç köşe dikişlerinde kafa yatay düzlemlerle 60° lik bir açı teşkil etmeli
- Tel ucunun yatay iç köşe dikişin merkezine olan mesafesi değiştirilmeli (takriben 1.5 2.5mm)
- Dairesel dikişlerin kaynağında, tel ucu mesafesi ile telin eğimi değiştirilmeli

1.1.7.6. Delikler (Delinmeler)

Dikişteki delinmelere yanlış bir çalışma tekniğinin seçilmesi, tesisattaki fonksiyon arızaları ve uygun olmayan kaynak ağız hazırlama sebep olmaktadır. Yanlış çalışma tekniğinin sebep olduğu delinmelerden sakınmak için şu tedbirler alınmalıdır:

- Akım şiddeti azaltılmalı
- Ark yoğunluğu düşürülmeli
- Ark gerilimi yükseltilmeli
- Kaynak hızı artırılmalı
- Kaynak kafasına, kaynak yönünün ters tarafına doğru bir eğim verilmeli
- Parçaya küçük bir eğim verilmeli ve kaynak aşağıya doğru yapılmalı
- Kablonun parçaya bağlantısı iki veya daha fazla yerden yapılmalı
- Kutup değiştirilmeli
- Kullanılan tozun tane büyüklüğü değiştirilmeli

Kaynak ağzının uygun hazırlanmaması ve fonksiyon arızalarının sebebiyet verdiği delinmeler aşağıdaki tedbirlerle önlenir:

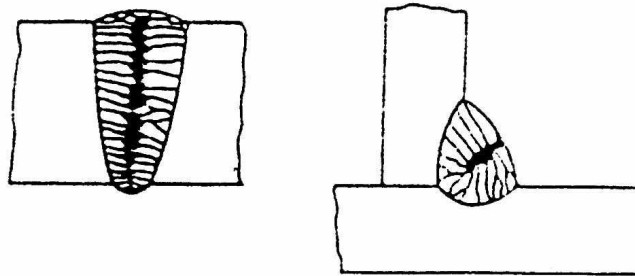
- Kaynak ağzları düzeltilmeli
- Ağız açıları verilen toleranslar arasında kalmalı
- Uygun bir altlık kullanılmalı
- Bağlantı tertibatları kontrol edilmeli
- Altlığın parçaya basma basıncı yükseltilmeli
- Altlık ile parça arasındaki hava boşluğu giderilmeli
- Donatımdaki elektrik ve mekanik arızalar giderilmeli
- Sabit bir kaynak hızı seçilmelidir. (Anık 1982)

1.2. Çeliklerin Isıl Özellikleri ve Kaynak Bölgesi

1.2.1. Çelik parçaların kaynağında kaynak bölgesi

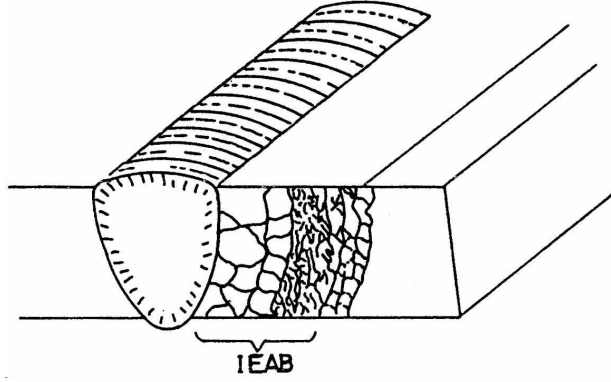
Kaynak bölgesi ikiye ayrılır. Bunlar, kaynak metali ve ısının tesiri altındaki bölgedir (ITAB). Ergiyen bölge, kaynak banyosunda meydana gelen türbülansın dolayı katılaşmadan önce birbirlerine karışmış esas metal ve kaynak metalinden oluşur.

Uygulanan kaynak yöntemi ve kaynak ağız formuna bağlı olarak karışımdaki esas metalin kaynak metaline oranı değişiklikler gösterebilir. Kaynak metalinin katılması, kendini çevreleyen esas metale ısı iletimi ile olur ve bölgenin yapısı iri ve uzun tanelidir. Kalın parçaların nüfuziyet kaynağında, ergiyen bölgenin ortasında segregasyondan dolayı bir boşluk meydana gelir. Bu durum Şekil 1.15' de gösterilmiştir.



Şekil 1.15. Alın ve Köse Birleştirmelerinde Segregasyon Bölgeleri

Isının tesiri altındaki bölge (ITAB), kaynak metalinin esas metal ile birleştiği kısımdan itibaren takriben 1400 ile 700°C arasında bir sıcaklığın etkisi altındaki bölgedir. Çelik malzemenin kaynağında bu bölgedeki tane yapısının değişimi Şekil 1.16' de gösterilmiştir.



Şekil 1.16. Isının etkisi altındaki bölgedeki tane yapısı değişimi

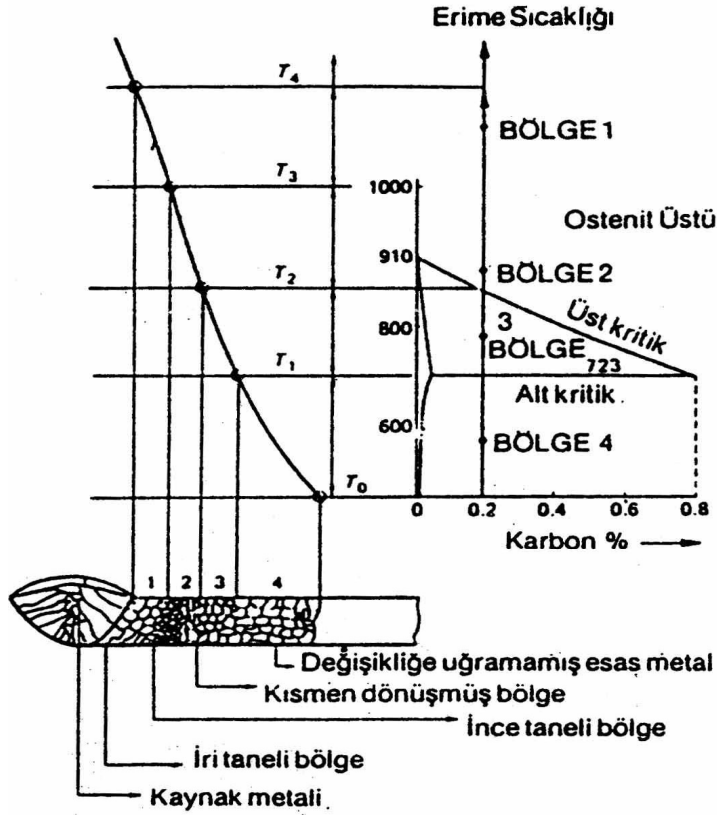
Bu bölgenin sıcaklık dağılımı, kaynak şartlarına bağlıdır. Isının etkisi altındaki bölgedeki sıcaklık dağılımı ve soğuma hızı bilinirse, kaynaktan sonraki iç yapının bilinmesi mümkün olabilir (Cerit 1996).

1.2.2. Çeliklerin ısı özellikleri

Kaynak işlemi vasıtasıyla birleştirilen metallere uygulanan ısı çevrim, kaynak bölgesinde metalurjik dönüşümler meydana getirir ve bu dönüşümler neticesinde malzemelerin mekanik özellikleri değişir. Kaynak bölgesindeki sıcaklık dağılımı ve değişimi bilindiği takdirde bu özelliklerdeki değişimler önceden tahmin edilebilir. (Şekil 1.17)

Kaynak bölgesindeki sıcaklık dağılımı ve değişiminde, malzemenin ısı özellikleri ve kaynak edilecek parçaların geometrisi etkilidir.

Kaynak işlemi esnasında kaynak bölgesi sıcaklığının malzemenin ilk sıcaklığı ile ergime sıcaklığının üzerinde bir sıcaklık değeri arasında geniş bir aralıkta değişmesi, malzemenin ısı özelliklerinde de çok büyük değişiklikler meydana getirir. Isıl özellikler sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişmektedir.



Şekil 1.17. Kaynak sırasında ısının tesiri altındaki bölge

1.3. Kaynak Sırasında Oluşan Artık Gerilmeler ve Nedenleri

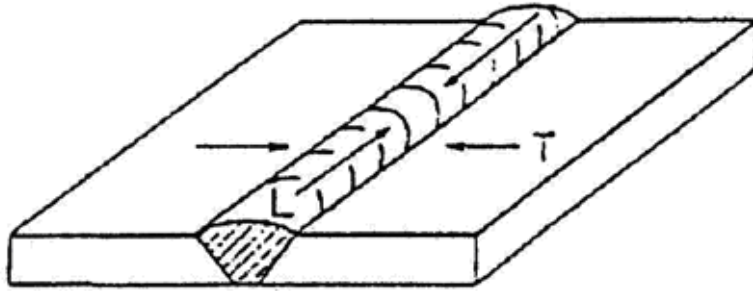
Bir kaynaklı parçada tüm dış yükler kaldırıldıktan sonra kalan gerilmelere artık gerilmeler adı verilir. Literatürlerde artık gerilmeleri tanımlamak için farklı teknik terimler kullanılmıştır. Bunlar iç gerilmeler, başlangıç gerilmeleri, reaksiyon gerilmeleri, hapsolmuş gerilmeler ve doğal gerilmeler olarak adlandırılabilir.

Uniform olmayan sıcaklık değişimine maruz kalan bir yapıdan meydana gelen gerilmelere ısıl gerilmeler denmektedir. Kaynak işleminde malzemeler lokal olarak ergime sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Ancak soğuma işlemi, ısıtma işlemine nazaran daha yavaş gerçekleşir. Isıtma ve soğuma işlemleri arasındaki bu farklılıklar neticesinde kaynak ile birleştirilen malzemelerde artık gerilmeler ve distorsiyonlar oluşur.

Kaynak işlemi ile lokal olarak ergime sıcaklığına kadar ısıtılan kaynaklı parçalarda, soğuma işlemi parça genelinde ve ısınma işlemi hızına nazaran daha yavaş meydana gelir. Bu sebepten dolayı, soğuma işlemi esnasında kaynaklı parçadaki sıcaklık dağılımı uniform değildir ve bağlantı boyunca yapısal ve metalurjik değişiklikler meydana gelir. Soğuma işleminin başlamasıyla, kaynak metali ve kaynak metaline bitişik ısının etkisi altındaki bölgenin sıcaklıkları, esas metalin sıcaklığından çok daha yüksektir.

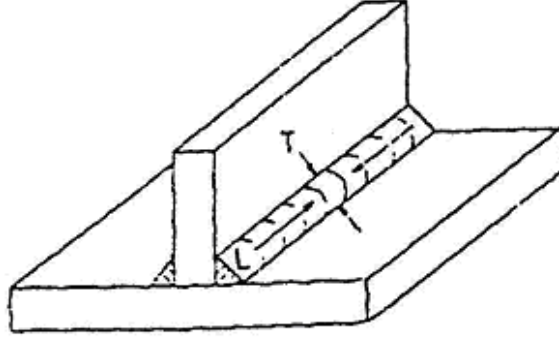
Kaynak dikişi katılaşıp, büzülürken, kendisini çevreleyen esas metal, ısı etkisi altındaki bölgeye gerilme uygular. Kaynak metali, katılaşmanın başlangıcında sıcaktır ve mekanik özellikleri esas metale nazaran daha zayıftır. Bu sebeple uyguladığı gerilmenin değeri düşüktür. Kaynak bölgesinin sıcaklık değeri ortam sıcaklığına ulaşana dek uygulanan gerilme değeri artar ve esas metal ile ısının etkisi altındaki bölgenin akma dayanımına ulaşır.

Kaynak işlemi esnasında, yeni katılaştıran bölgeler, kaynak dikişinin diğer bölgelerinin büzülmesine karşı koyarlar. Şekil 1.18’ de gösterildiği gibi, ilk kaynak yapılan bölgeler kaynak dikişi doğrultusunda çekiye zorlanırlar. Alın birleştirmelerde, kaynak ağız formundan ya da mevcut pasoların sınırlayıcı etkisinden dolayı kaynak bölgesinin enine hareketi yok denecek kadar azdır. Kaynak dikişindeki büzülmenin neticesinde Şekil 1.18’ de görülen enine artık gerilmeler meydana gelecektir.



Şekil 1.18. Bir alın dikişindeki enine (T) ve boyuna (L) büzülme gerilmeleri

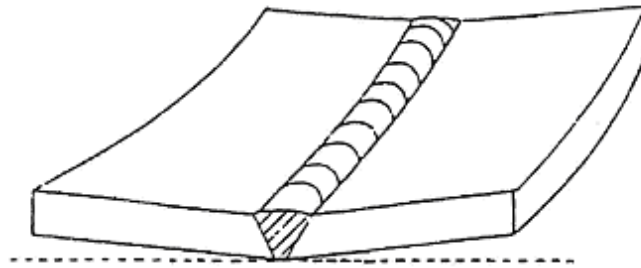
İç köşe kaynaklarında, kaynak dikişinde meydana gelen gerilmeler Şekil 1.19’ de gösterilmiştir. Büzülme neticesiyle meydana gelen bu gerilmeler, kaynak yüzeyine dik ve paralel çeki gerilmeleridir.



Şekil 1.19. Bir T bağlantısındaki enine ve boylamasına büzülme gerilmeleri

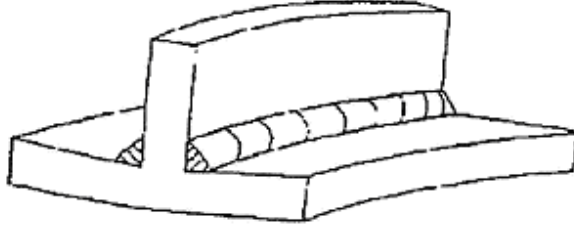
Kaynak işlemi neticesinde kaynaklı parçalarda meydana gelen artık gerilmeler, ya distorsiyona yol açarlar ya parçada erken hasara sebep olurlar ya da her ikisine de neden olmadan sadece iç gerilme olarak kalabilirler. Bu etkiler ayrı ayrı gerçekleşebileceği gibi aynı anda da parçada gerçekleşebilir. 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. Kaynaklı parçalar gerilmeler neticesinde elastik olarak şekil değiştirir ve parçada gözle görülebilecek oranda distorsiyonlar meydana gelir.

Alın birleştirmelerde, kaynak dikişinin üst bölgesi, kök bölgesine nazaran daha fazla büzülür. Bu sebeple bu tip kaynaklı birleştirmelerde uzunlamasına, enine çarpılmalara ek olarak açısız çarpılma da meydana gelebilir. Açısız çarpılmalar, kaynak dikişi boyunca levhada enine eğilmelere neden olur. Bu etkiler Şekil 1.20' de gösterilmiştir.



Şekil 1.20. Bir alın kaynaklı birleştirmede distorsiyon

İç köşe kaynaklarında da, Şekil 1.21’ de görülebileceği gibi alın kaynağındakine benzer enine, boyuna büzülme ve açısız distorsiyonlar görülür.



Şekil 1.21 Bir T bağlantıdaki distorsiyon

Farklı tekniklerle, kaynak işlemi sonucunda oluşacak distorsiyonlar engellenebilir. Bu tekniklerden birinde parça kaynak işlemi sonunda oluşması istenen geometride yerleştirilir ya da kaynak esnasında distorsiyona uğraması engellenir. Bir başka teknikte ise, kaynak metali, simetri ekseninin her iki tarafında dengeli olacak şekilde konstrüksiyon tasarlanır ve bu dizayn doğrultusunda kaynak yapılır. Seçilen kaynak yöntemi ve kaynak sırası, distorsiyon ve artık gerilme oluşumunda çok etkili parametrelerdir. Distorsiyona uğrayan kaynaklı parçalar eğer gerek görülürse, kaynak işleminden sonra ısıl işlemlerle doğrultulabilir.

Kaynaklı parçada meydana gelen artık gerilme ve distorsiyonlar, malzemelerin kırılma davranışını etkiler. Düşük değerlerdeki harici gerilmelerde dahi burkulma ve gevrek kırılma meydana gelir. Parçada artık gerilme ve distorsiyonların birlikte olması halinde, burkulma beklenenden çok daha düşük bası zorlamalarında meydana gelir. Çeki halinde ise, düşük tokluğa sahip kaynak bölgelerinde artık gerilmeler yüksek lokal gerilmelere sebep olur ve sonuç olarak düşük değerlerdeki gerilmeler tarafından ilerletilebilen gevrek tip çatlaklar oluşturulabilir. Ek olarak artık gerilmeler yorulma ve korozyon hasarlarını da artırır.

Kaynaklı parçalarda, kaynak işlemi neticesinde meydana gelen artık gerilmeleri azaltmak için ısıl işlemler uygulanabilir. Isıl gerilim giderme işlemlerinde parça malzemesinin akma sınırı, plastik şekil değişiminin oluşabileceği daha düşük seviyeye düşürülür ve böylece gerilmeler azaltılır. Isıl gerilim giderme işlemlerinden parçanın mekanik özellikleri de etkilenir. Örneğin, kaynaklı parçada ısının etkisi altındaki bölge temperlenerek kaynak dikişindeki artık gerilmeler azaltıldığında, çelik parçaların gevrek kırılmaya karşı direnci artar. Kaynaklı metal yapılarda güvenilirliğini artırılması çok önemlidir. Mühendislerin

tasarım aşamasında, artık gerilme ve distorsiyonun etkilerini, süreksizliklerin varlığını, parçanın mekanik özelliklerini, tahribatsız deney şartlarını ve toplam imalat maliyetlerini göz önünde bulundurmaları gerekmektedir.

2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE KAYNAK İŞLEMİNİN MODELLENMESİ

2.1. TERMAL MODEL ANALİZİ

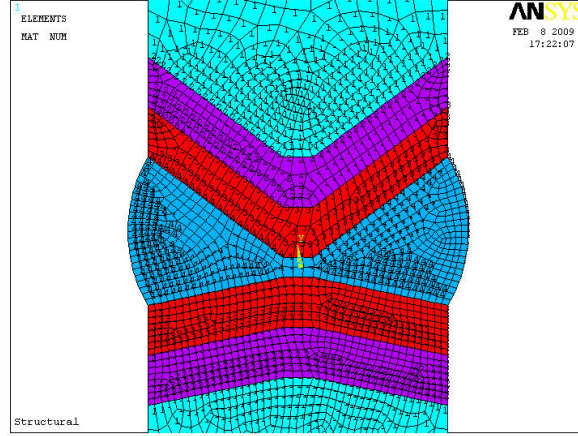
Sonlu elemanlar yöntemi ile analiz kaynaklı birleştirme esnasında oluşan yapıyı daha iyi anlamamızı sağlar. Analiz sonuçları ile kaynak sonrası parçanın durumunu önceden tahmin edebiliriz. Böylece, parça üzerinde kaynağın etkilerini daha iyi anlayabilir ve kaynaklı yapının optimizasyonunu sağlayabiliriz. (Simion ve ark. 2006)

Sonlu elemanlar yönteminin statik analiz, akışkan mekaniği, ısı transferi, elektromanyetik analiz ve akustik gibi birçok fiziksel olayın çözümünde uygulama alanı bulması ve bilgisayarlara uygulanması kolay bir algoritmaya dayanması karşılaşılan problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. (Kocabıçak ve Çalışkan 2000)

Bu çalışmada; sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla kaynak işlemi sonucunda oluşan sıcaklık dağılımı zamana bağlı olarak hesaplanmıştır. Dik pozisyonda tozaltı ark kaynağı ile kaynak edilmiş 500 mm x 1300 mm boyutlarında ve 60 mm kalınlığında AH 36 çeliği 2 parçanın, X kaynak ağzı açılarak ısıl analizi yapılmıştır. Bu amaçla kaynaklı parça 2 boyutlu modellenerek kaynak dikişinin tozaltı ark kaynağı ile tek pasoda oluşturulduğu kabul edilmiştir. Termal analiz sonuçları mekanik analize girdi olarak kullanılmıştır.

Dik pozisyonda tozaltı ark kaynağının sonlu elemanlar yöntemiyle termal analizi için 2 boyutlu model hazırlanmıştır. Eleman seçiminde hassas bir analiz yapmak amacıyla 4 düğüm noktasında sahip Transient Thermal Solid (Quad 4 Node 55) elemanı seçilerek elemanlara bölme işlemi (mesh) yapılmıştır.

Parça 4 ayrı bölgeye bölünerek analiz yapılmıştır. Birinci bölge esas metal, ikinci bölge ısının tesiri altında kalan bölge, üçüncü bölge ısının tesiri altında kalan ara bölgeyi, dördüncü bölge ise kaynak metalini temsil etmektedir. Modelin elemanlara bölünme sonrası görüntüsü Şekil 2.1' deki gibidir. Sonlu eleman modeli 9070 adet düğüm noktası ve 8053 adet eleman içermektedir. Daha hassas bir analiz yapabilmek için ısıl değişimlerin daha büyük olduğu kaynak bölgesi ve ITAB'da bölgesel olarak daha çok eleman kullanılarak daha sık bir "mesh" yapısı tercih edilmiştir.



Şekil 2.1. Sonlu eleman modeli

Termal analizde sınır koşulları ve ısı tranferi ve ısı kayıplarının modellenmesi önemlidir. Kaynak işlemi süresince zamana bağlı ısı transfer analizi için şu denklem kullanılır:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} (x,y,z,t) = \nabla \cdot q(x, y, z, t) + Q(x, y, z, t)$$

ρ : yoğunluk (kg/m^3)

c : özgül ısı ($\text{j/kg}^\circ\text{K}$)

T : geçerli olan sıcaklık (K)

Q : iç ısı üretim oranı

t : zamanı ifade etmektedir.(sn)

Modele daha sonra Fourier ısı akış denklemini uygulanır.

$$q = -k \nabla T$$

k : ısıl iletim katsayısı

Isı kayıpları yüzeyden konveksiyon ve radyasyon şeklinde gerçekleşir. (Fanous ve ark. 2006)

$$q_{kayıp} = q_{konveksiyon} + q_{radyasyon}$$

$$q_{kayıp} = h_{total} \times A(T - T_{ort})$$

A: yüzey alanı (m²)

T: geçerli olan sıcaklık (K)

T_{ort}: ortam sıcaklığı (K)

h_{total}: konveksiyon ve radyasyon ile ısı transfer katsayılarının toplamı

$$h_{total} = [h + \epsilon\sigma(T + T_{ort})(T^2 + T_{ort}^2)]$$

h: konveksiyon ile ısı transfer katsayısı

ϵ : etkin yayılım oranı(0.51)

σ : Stefan Boltzman sabiti(5.67x10⁻⁸ Wm⁻¹ K⁻⁴)

Bu çalışmada kullanılan çeliğe ait termal malzeme özellikleri :

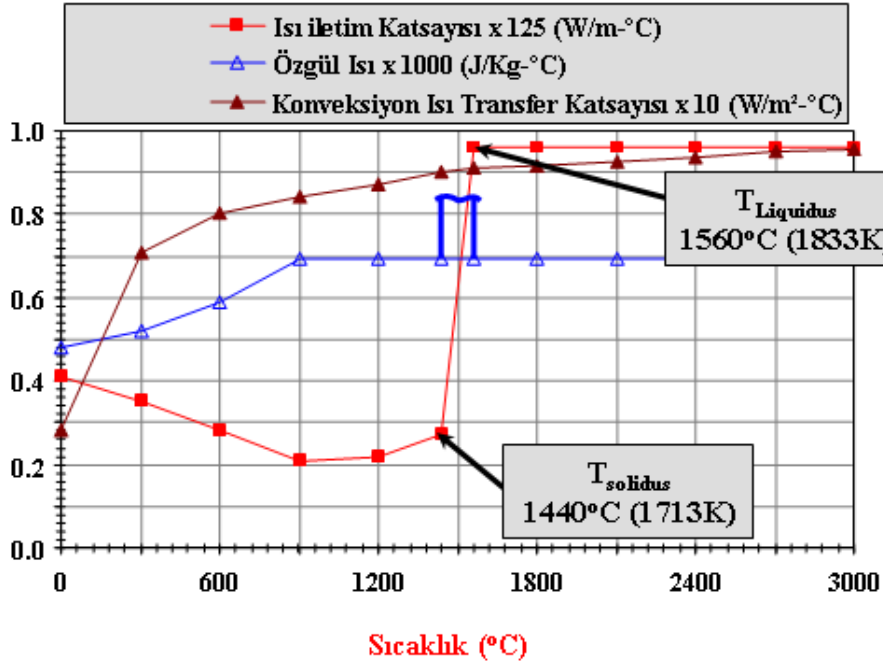
ρ (yoğunluk) : 7841,72 kg/m³

k (ısı iletim katsayısı) : 46,7 W/m^{°K}

c (özellik ısı) : 437,36 j/kg^{°K}

Kaynak işleminde, faz değişiminin simule edilmesinde; ısı iletim katsayısı, özgül ısı, yoğunluk gibi termal malzeme özellikleri ve sıcaklığa bağlı değişim gösteren , young modülü, poisson oranı, termal genleşme katsayısı, akma mukavemeti gibi yapısal malzeme özellikleri termo – mekanik analize girdi olarak kullanılmıştır. (Malik ve ark. 2007)

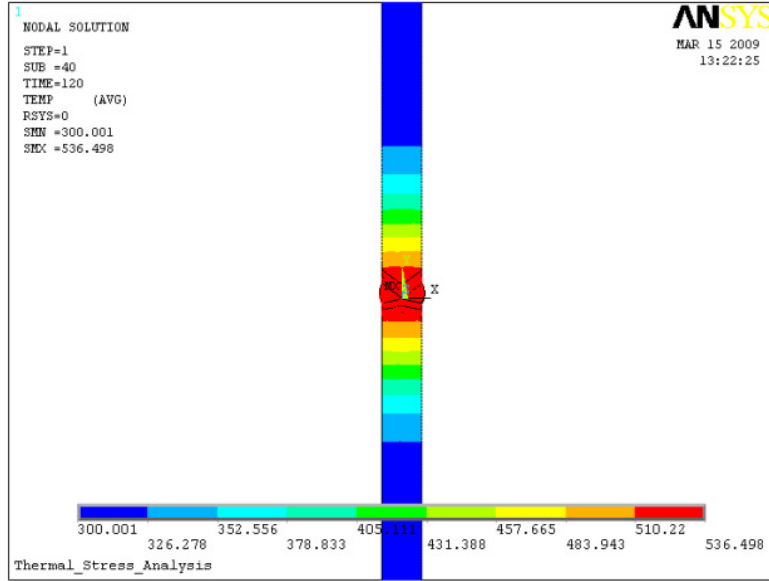
Kaynak metali malzeme özellikleri aynı malzemenin sıcaklığa bağlı değişim gösteren termo-mekanik malzeme özellikleri girilir. Bu malzeme özelliklerine ait değerler Şekil 2.2’de gösterilmiştir.(Teng ve ark. 2002)



Şekil 2.2. Kaynak metali termal özellikleri

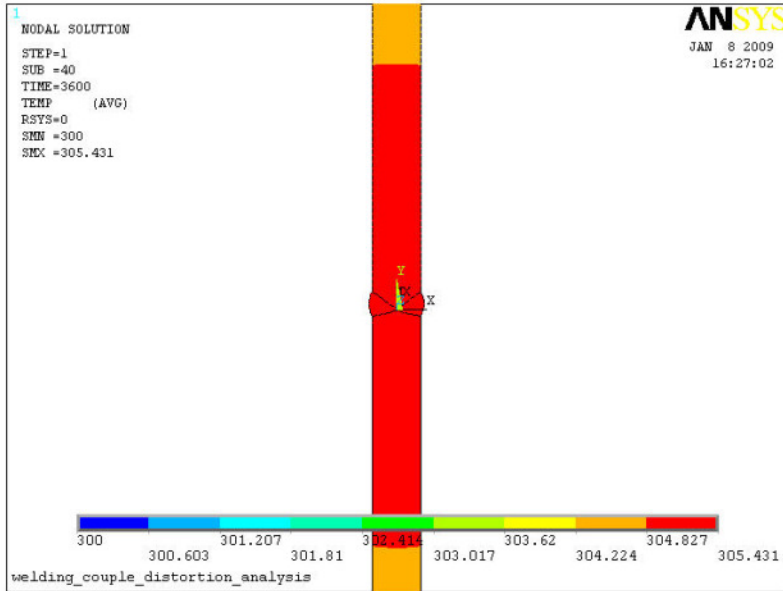
Malzeme özellikleri girilip, model elamanlara bölündükten sonra başlangıç şartları da seçilir. Kaynak metalinin başlangıç sıcaklığı 2100°K, esas metalinki ise 300°K olarak kabul edilir. Ortam sıcaklığı da 300°K olarak kabul edilmiştir.

Tüm bu yükleme şartları altında parçanın ısıl analizi çözümlenerek, program sonuçları veri dosyasına kayıt edilir. Kaynak metalinden ana metale ısı geçişi kaynak yapılmasından 2 dk ve 1 saat sonrasında parça üzerindeki sıcaklık dağılımı Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’ da gösterilmiştir. Şekil 2.5’ de kaynak metali, ITAB ve esas metal üzerinde seçilen noktalar, Şekil 2.6’ da ise seçilen bu noktalardaki sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak gösterilmiştir.

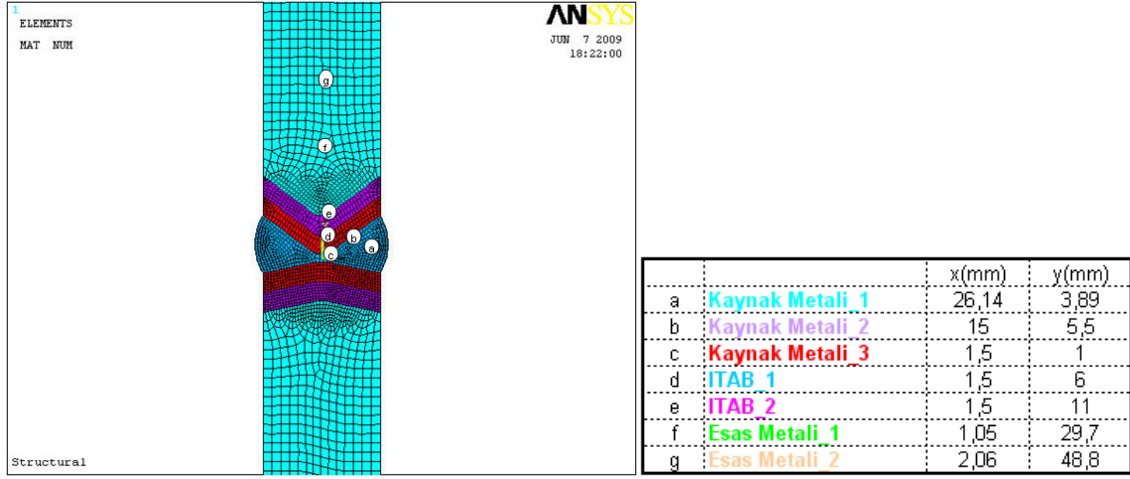


Şekil 2.3. Kaynaktan 2 dk sonra parçadaki sıcaklık dağılımı

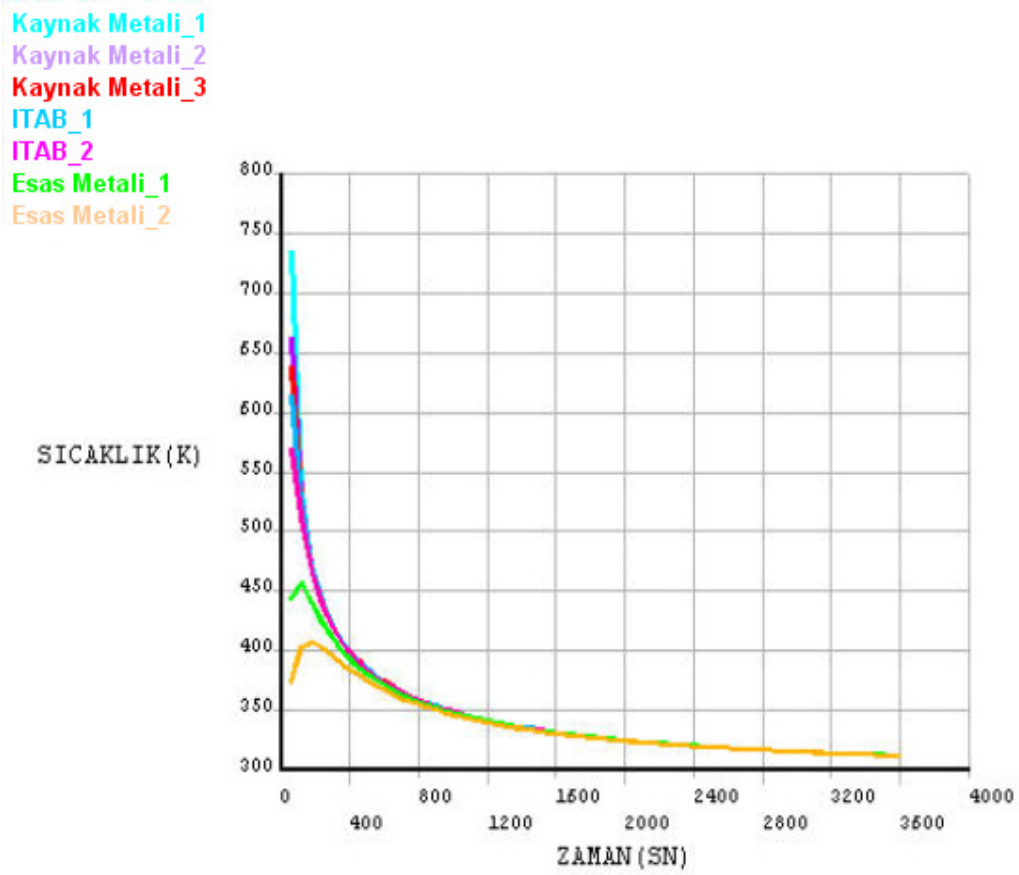
Kaynak işleminden 2 dk sonra parça üzerindeki sıcaklık dağılımı Şekil 2.4' de görülmektedir. Kaynak metalinden esas metale ısı akışı sürerken, kaynak metali ortam sıcaklığına soğumaktadır.



Şekil 2.4. Kaynaktan 1 saat sonra parçadaki sıcaklık dağılımı



Şekil 2.5. Modelin elemanlara bölünmüş görüntüsü ve belirlenen 7 noktanın koordinatları



Şekil 2.6. Belirlenen 7 noktanın sıcaklık-zaman grafiği

Şekil 2.3' te görüldüğü gibi kaynaktan 2 dk sonra kaynak metali sıcaklığı 536 °K e düşmüştür. Esas metale ısı transferi gerçekleşmiştir. Şekil 2.4'da kaynaktan 1 saat sonra esas metal ve kaynak metali ısı dengeye gelmiştir. Parça üzerinde nispeten homojen bir sıcaklık dağılımı görülmektedir. Parça ortam sıcaklığına kadar soğumuştur. Şekil 2.4 parça üzerindeki sıcaklık dağılımını açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Şekil 2.6' da kaynak bölgesinden 48.8 mm uzaklıktaki nokta ile kaynak bölgesinden 1 mm uzaklıktaki noktaların neredeyse ısı dengeye geldiği görülmektedir.

Isının tesiri altında kalan bölgenin ve parça üzerindeki sıcaklık dağılımının belirlenmesi parça üzerinde oluşabilecek kalıntı gerilmelerin ve distoryonların belirlenmesinde kolaylık sağlayacaktır. X kaynak dikişi uygulanması ve kaynağın her iki yönden aynı anda uygulanması parça üzerinde daha dengeli bir sıcaklık dağılımı meydana gelmesinde önemli bir faktördür.

Elde edilen zamana bağlı sıcaklık dağılımı mekanik analize girdi teşkil edecektir. Mekanik analizde, termal analize benzer olarak, kaynak metali malzeme özellikleri sıcaklığa bağlı olarak girilecektir.

2.2. YAPISAL MODEL ANALİZİ

Belirtilen şartlar ile gerçekleştirilen termal analiz sonucu ile kaynak sonrası zamana bağlı sıcaklık dağılımı bulundu. Zamana bağlı olarak bulunan sıcaklık dağılımı mekanik analize girdi olarak kullanıldı.

Termo-mekanik analiz sonucunda parçadaki yer değiştirme miktarı teorik olarak şu şekilde bulunabilir:

$$\varepsilon^{th} = \alpha(T) \times (T - T_{ref})$$

ε^{th} : termal yer değiştirme miktarı

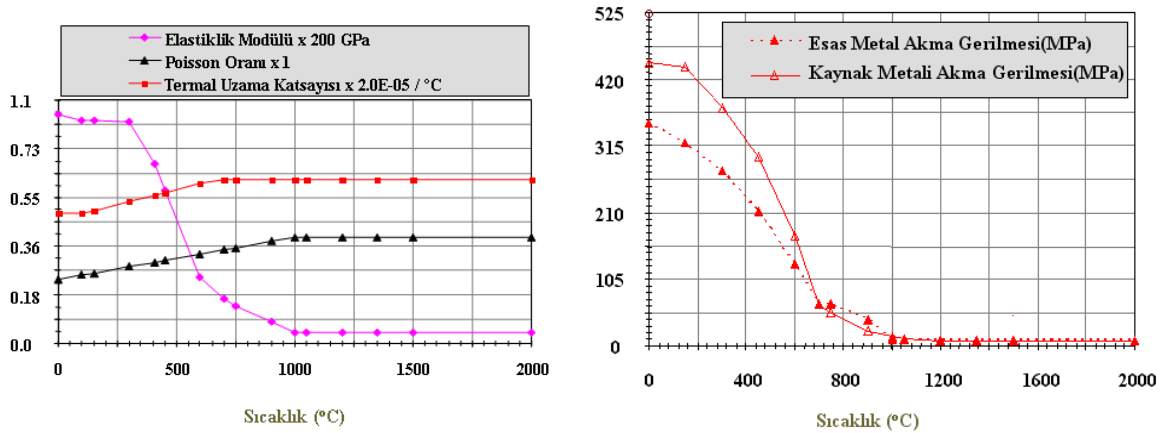
$\alpha(T)$: termal genleşme katsayısı

Bu çalışmada kullanılan çeliğe ait yapısal malzeme özellikleri :

ν (poisson oranı) : 0,3

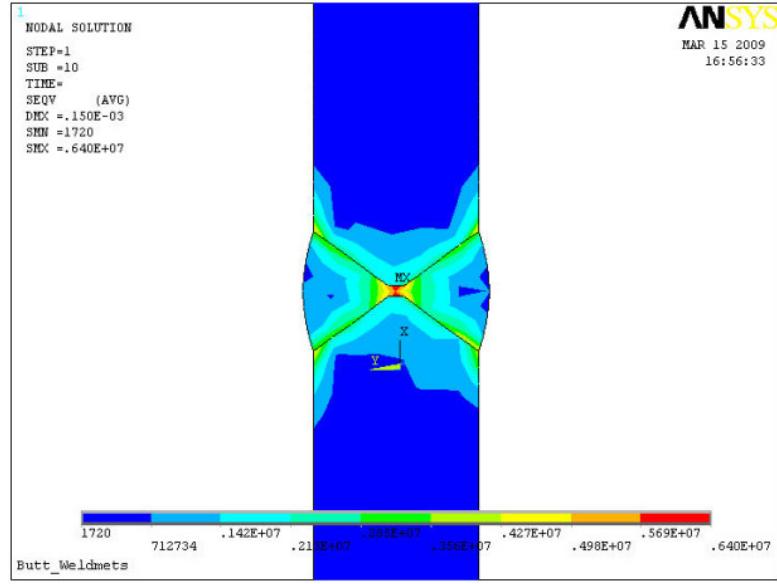
E_0 (elastiklik modülü) : 210 GPa

Şekil 2.7'den görülebileceği gibi kaynak metali mekanik özellikleri sıcaklığa bağlı olarak girilmiştir. (Malik ve ark. 2007)



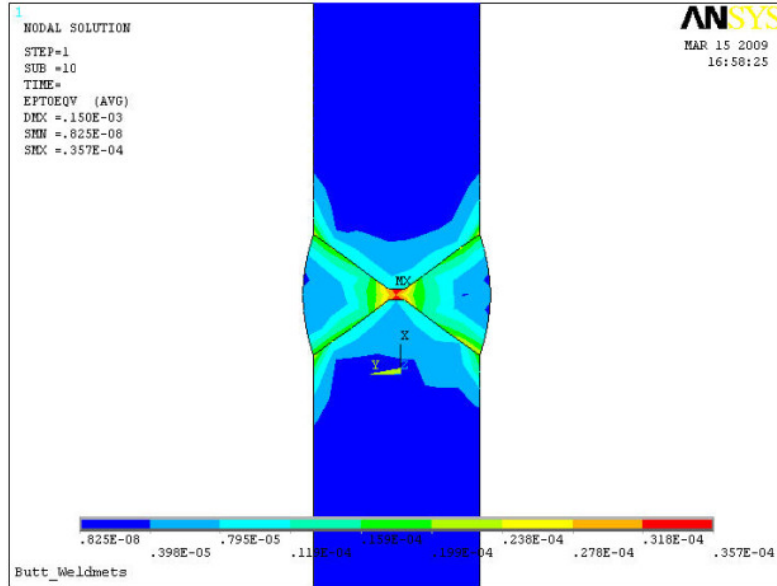
Şekil 2.7. Kaynak metali mekanik özellikleri

Tüm bu yükleme şartları altında esas metal alt yüzeyine UY=0 şeklinde deplasman uygulayarak termo-mekanik analiz gerçekleştirilmiştir.



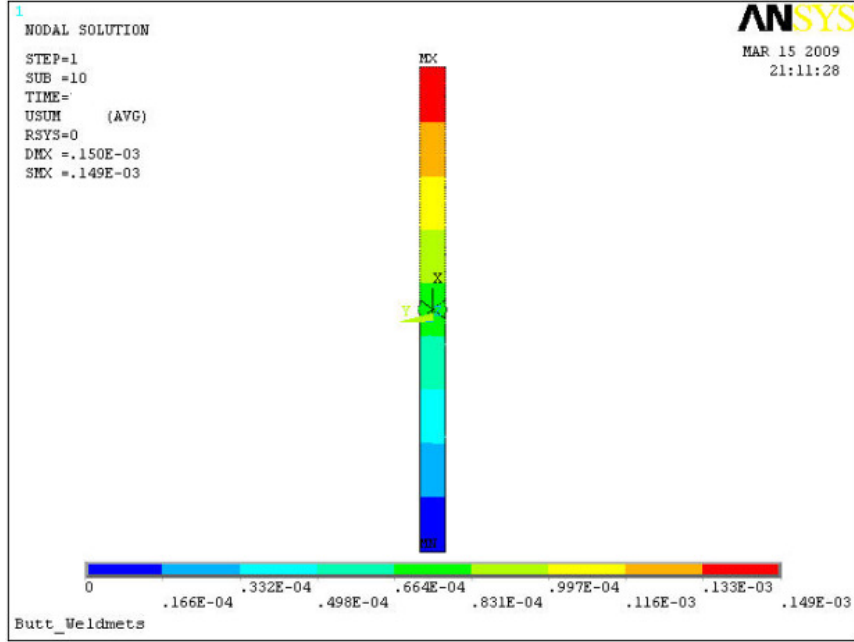
Şekil 2.8. Von Misses kriterine göre hesaplanan gerilmelerin dağılımı

Şekil 2.8'de kaynak modelinin Von Mises Kriterine göre hesaplanan parça üzerindeki gerilme dağılımı görülmektedir. Parça üzerinde oluşan en büyük gerilmelerin kaynak metali kökünde ve kaynak metali ile esas metal arasındaki geçiş bölgesinde olduğu görülmektedir.



Şekil 2.9. Von Misses kriterine göre hesaplanan yer değiştirmeler

Şekil 2.9’da kaynak modelinin Von Mises Kriterine göre hesaplanan plastik deformasyon bölgelerini görebiliriz. En büyük şekil değişimlerinin kaynak metali kökünde ve kaynak metali ile esas metal arasındaki geçiş bölgesinde olduğu görülmektedir.



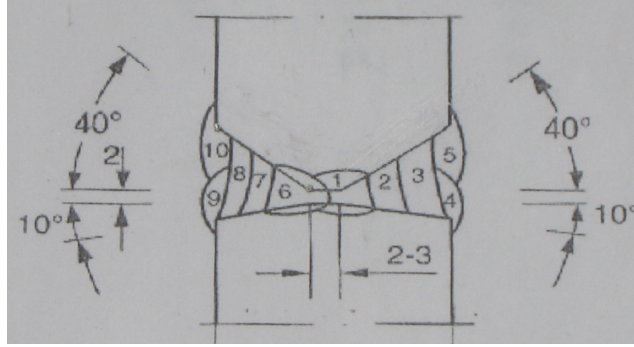
Şekil 2.10. Dik pozisyonda kaynak sonrası yer değiştirmeler

Şekil 2.10’da parça üzerindeki yer değiştirmeler görülmektedir. Alt parçaya $UY=0$ yönünde deplasman uygulanması parça üzerindeki şekil değişimlerinin üst parçada daha yüksek olmasına yol açmıştır.

Uygulanan yöntem ile kaynak sonrası parça üzerindeki en fazla yer değiştirmenin yaklaşık 0.15 mm olacağı tahmin edilmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, AH 36 kalitesindeki imalat çeliği olan, 60 mm kalınlığında 500x1300 mm boyutlarındaki platina parçaların kaynağı, ESAB LAF 1000 DC otomatik tozaltı kaynak kaynak makinesi kullanılarak, saat 3 pozisyonunda X kaynak ağızı açılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1’de kaynağa ilişkin kaynak ağızı detayı gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Kaynak ağız detayı

Kullanılan kaynak teli OK Autrod 12.20 ve tel çapı ise 3.2 mm’ dir. Kaynak metali kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kaynak metali kimyasal kompozisyonu

Kaynak metali kimyasal birleşimi(%)				
C	Si	Mn	P	S
0.07	0.8	1.45	< 0.025	< 0.025

Çizelge 3.2. Kaynak metali mekanik özellikleri

Akma Mukavemeti ReL(Mpa)	Çekme Mukavemeti Rm(Mpa)	Çentik - Darbe Dayanımı(J)
410	510	+20 °C'de 135 J, 0 °C'de 125 J, -20 °C'de 80 J, -40 °C'de 55 J

Kullanılan kaynak teli, orta ve yüksek dayanımlı yapı çeliklerinin tozaltı ve elektrocuruf kaynağı için kullanılan bakır kaplamalı bir kaynak telidir.

Kaynak tozu olarak ESAB OK 10.71 (EN 760: SA AB 1 67 AC H5) kullanılmıştır. Kaynak tozunun kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.3' te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Kaynak tozunun kimyasal kompozisyonu

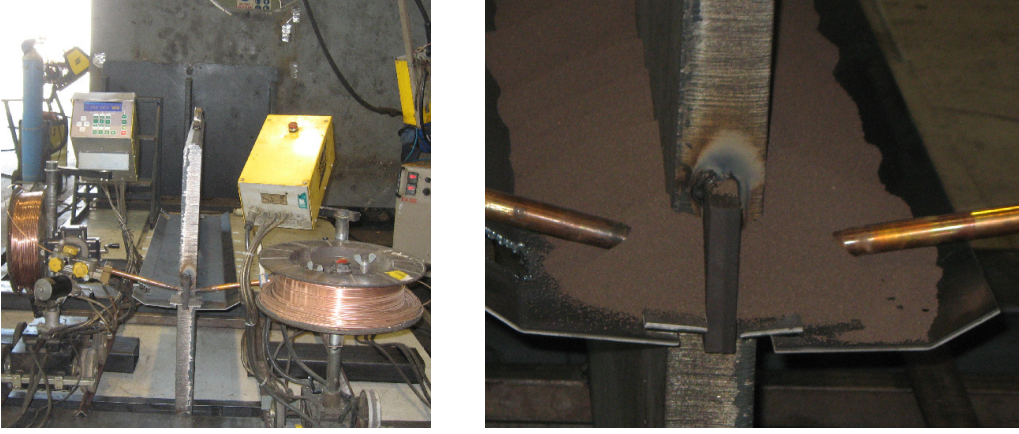
Kaynak tozunun kimyasal birleşimi(%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaF ₂	MgO	FeO	TiO	S	Na ₂ O	K ₂ O
18.2	31.1	6.1	18.8	27.3	3.5	1.2	0.005	2.5	0.3

Kullanılan kaynak tozu, bazik aglomera tipinde ve az miktarda Si ve Mn alaşımlı bir tozaltı kaynağı tozudur. Özellikle karbonlu çeliklerin, orta ve yüksek dayanımlı çeliklerin tek ya da çok pasolu birleştirmelerinde kullanılmaktadır. AC ya da DC kaynak akımlarında, yüksek akım taşıma kabiliyetiyle tek ve çok telli uygulamalarda olumlu sonuç verir.

Yoğunluk : 1.2 kg/dm³

Baziklik indeksi : 1.6' dir.

Kaynak işlemi bu şartlar altında Şekil 3.2' de gösterildiği gibi, çift taraflı olarak 7'şer paso ile gerçekleştirilmiştir. Kaynak tozları şekilde görüldüğü gibi her paso öncesi kaynak bölgesine doldurulmuştur. Böylece kaynak esnasında tozlarının kaynak bölgesini tamamen doldurması sağlanmış ve kaynak bölgesinden parçacıkların düşmesinin önüne geçilmiştir.



Şekil 3.2. Dik (Saat 3 yönünde) pozisyonda tozaltı kaynağı

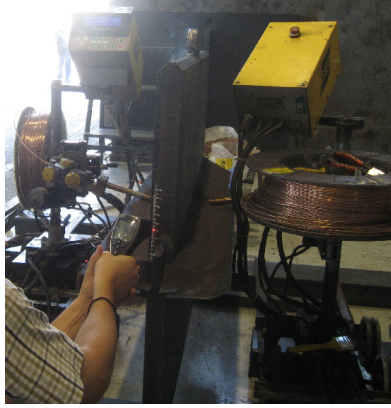
Distorsiyonların asgari düzeyde gerçekleşmesi, homojen bir ısı dağılımı elde edilmesi için her iki tarafta aynı kaynak parametreleri kullanılarak kaynak işlemi eş zamanlı olarak yapılmıştır. Kaynak parametreleri Çizelge 3.4' te belirtilmiştir.

Çizelge 3.4. Kaynak parametreleri

Paso No	Akım Cinsi	Akım (Amper)	Voltaj (Volt)	Kaynak Hızı (cm/dk.)
1	DC	400	28	21
2		420	27	18
3		450	24	18
4		450	24	18
5		450	24	18
6		450	24	20
7		450	24	20

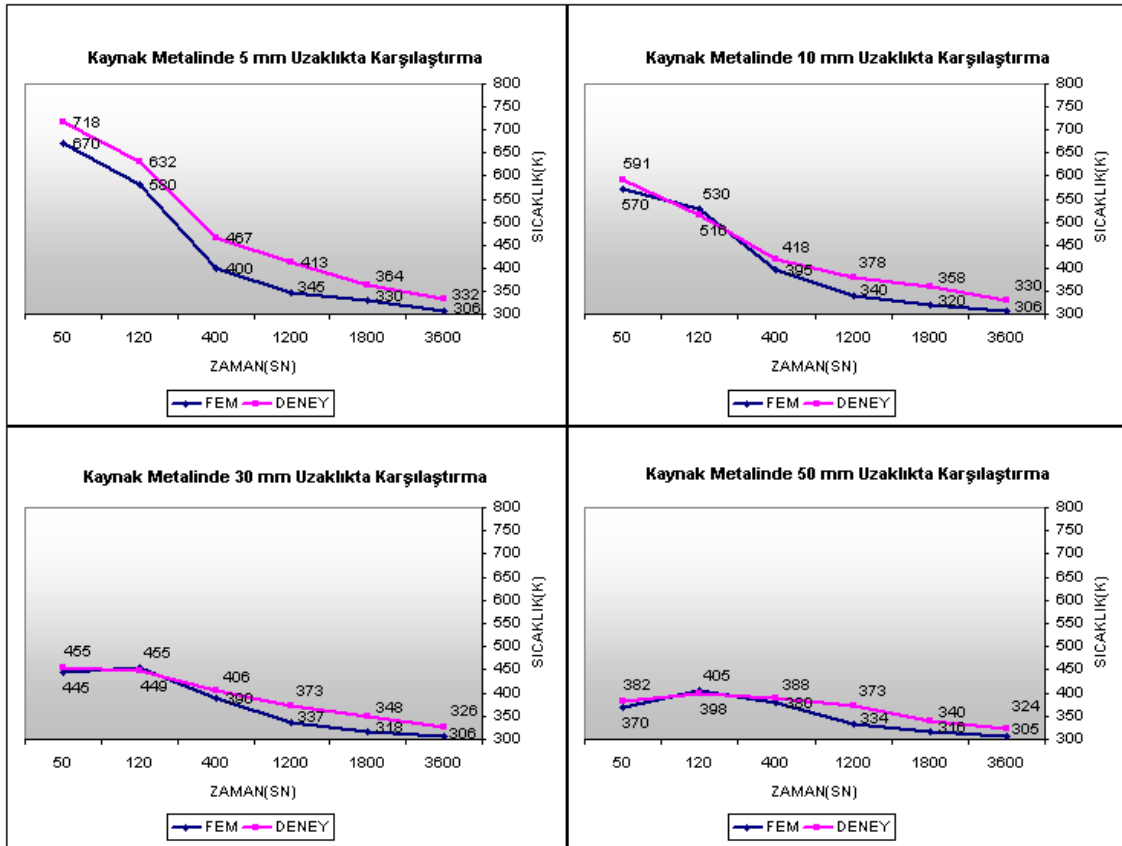
Kaynak sonrası Şekil 3.3' te belirtilen noktalarda belirli zamanlarda sıcaklık ölçümü gerçekleştirilmiştir. Parça üzerindeki sıcaklık dağılımı, farklı zamanlarda ölçülmüştür.

Parçanın kaynak öncesi sıcaklığı: 26.2 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.3. Kaynak sonrası sıcaklık ölçümü

Kaynak metalinden 5 mm, 10 mm, 30 mm ve 50 mm uzaklıkta bulunan noktalar için kaynak yapıldıktan 50 sn, 120 sn, 400 sn, 1200 sn, 1800 sn ve 3600 sn sonra sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Şekil 3.4’ da sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanan değerler ve yapılan çalışma sonucu ölçülen arasındaki karşılaştırma gösterilmiştir.



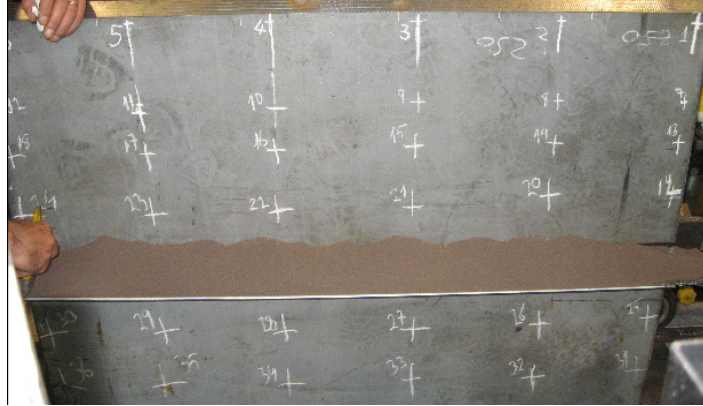
Şekil 3.4. Sonlu elemanlar yöntemi ile kaynak sonrası ölçülen sıcaklık değerleri karşılaştırması

Yapılan çalışma sonucunda belirlenen şartlarda parça üzerinde homojen bir ısı dağılımı elde edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanan sıcaklık değerleri, yapılan çalışma sonucu ölçülen sıcaklık değerleri ile doğrulanmıştır.

Isıl analiz sonucunda kaynaktan 50 sn sonra, kaynak metalinden 50 mm uzaklıktaki noktanın sıcaklığı yaklaşık 82°C artmıştır. Kaynak metalinden esas metali ısı transferi hızlı bir şekilde devam ederken kaynak metali ısı dengeye gelebilmek için soğumaktadır. Kaynak metalinde 5 mm uzaklıktaki noktanın sıcaklık dağılımı incelendiğinde; 50 sn sonunda 718°C ' e ve 2 dk sonra bu noktada ki sıcaklığın 632°C ' ye düştüğü görülmektedir.

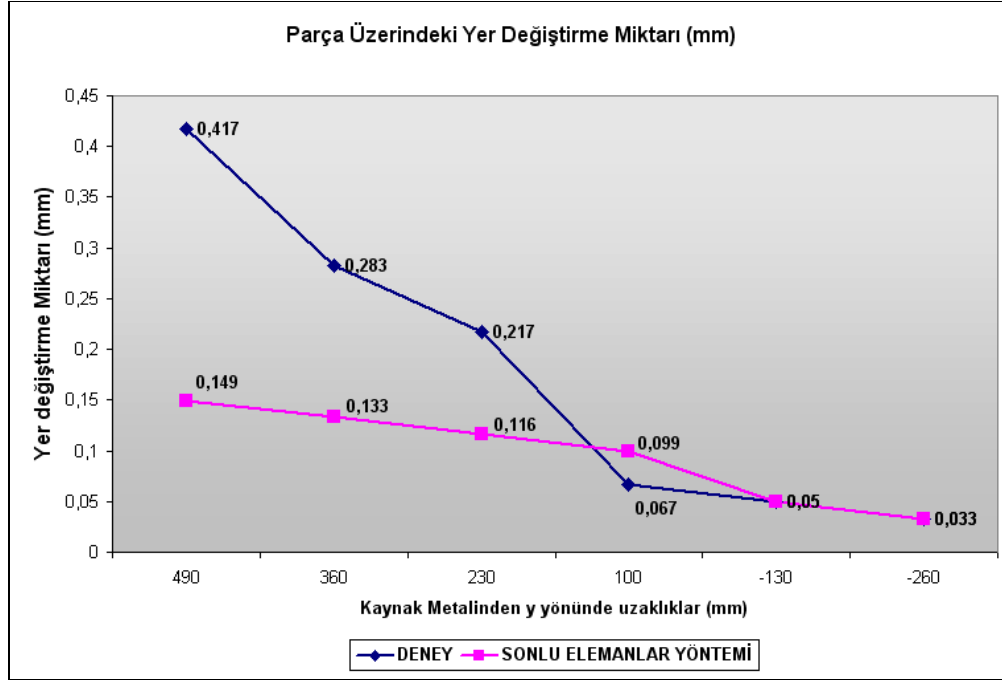
Parça yaklaşık 1 saat sonra ortam sıcaklığına soğumaktadır. Kaynaktan yaklaşık 30 dk sonra tüm parça üzerinde homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmektedir.

Parça üzerindeki yer değiştirmeler Şekil 3.5' de belirtilen 36 nokta üzerinden ölçülmüştür. Kaynağa başlamadan önce ölçülen değer ile kaynak sonrası ölçülen değer arasındaki sapma belirlenmiştir. Noktalar arasında yatay olarak 250 mm, dikey olarak ise 130 mm aralık mevcuttur.



Şekil 3.5. Yer değiştirme ölçüm noktaları ve ölçüm aleti

Şekil 3.6' da sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan sonuçlar ve yapılan çalışma sonrası elde edilen yer değiştirmeler karşılaştırılmıştır. Aynı sırada bulunan 6 nokta için ortalama bir değer alınmıştır. Parçanın alt yüzeyi sabitlenmiştir.



Şekil 3.6. Sonlu elemanlar yöntemi ile kaynak sonrası ölçülen yer değiştirme miktarları karşılaştırması

Çizelge 3.5. Kaynak sonrası ölçüm alınan nokta aralıklarının kaynak metalinden y yönünde uzaklıkları

Ölçüm Alınan Nokta Aralıkları	Kaynak Metalinden y yönünde Uzaklık (mm)
1-6	490
7-12	360
13-18	230
19-24	100
25-30	-130
31-36	-260

Yapılan çalışma sonucunda en fazla yer değiştirme serbest olan üst parçanın kaynak bölgesine uzak noktalarında meydana gelmiştir. Özellikle yer değiştirmelerin düşük olduğu alt parçada sonlu elemanlar yöntemi sonuçları ile deney sonrası ölçülen değerler neredeyse bire bir tahmin edilebilmiştir. Üst parçanın serbest olması özellikle kaynak bölgesinden uzak noktalarda daha düşük sıcaklık değişimlerine maruz kalsa bile daha fazla moment etkisi göstermesine neden olmuştur. Parçadaki en fazla yer değiştirmeler sonlu elemanlar yöntemi ile tahmin edildiği gibi üst parçada kaynak metaline en uzak noktada gerçekleşmiştir.

4. TARTIŞMA

Kaynak işlemleri ile birleştirmede, parçanın ergime sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa çıkılır ve soğuma ile süreç tamamlanır. Sıcaklık değişimlerinin yüksek olması ile parçalar az ya da çok distorsiyona uğrarlar ve daima kaynak yapılmış parça içerisinde kalıcı gerilmeler meydana gelir.

Kaynak işleminden sonra kalan gerilmeler parçanın emniyetine önemli ölçüde etki eder. Kalıcı gerilmeler parça üzerinde beklenmedik bir zamanda gevrek kırılmaya sebep olabilir. Kalıcı gerilmeler çeşitli gerilim giderme yöntemleri ile giderilebilir. Konstrüksiyonun emniyeti açısından kalıcı gerilme ve distorsiyonları önceden tahmin edebilmek önemlidir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kaynak işlemi sonrasında parça üzerinde oluşacak kalıcı gerilmeler tahmin edilebilmektedir. Bu da kaynak konstrüksiyonun daha emniyetli ve daha az maliyetli imalinde yardımcı olur.

Kaynak işleminde ısı çevrim çok önemlidir. Parça üzerinde homojen bir ısı dağılımının sağlanması, kaynak sonrası oluşan distorsiyon ve kalıcı gerilmelerin kontrol altında tutulması açısından önemlidir. Dik (Saat 3) pozisyonda X kaynak ağzı açılarak tozaltı kaynağı çift taraflı kaynak yapılması, aynı kaynak parametrelerinin kullanılması ve kaynak hızının her iki tarafta aynı değerde yapılabilmesi(kaynakçı faktörünün sonuçlara etki etmemesi) daha hızlı ve dengeli kaynak yapabilmek açısından önemlidir. Kaynak işlemi sonrasında homojen bir sıcaklık dağılımının sağlanması parça üzerindeki distorsiyon oluşumlarını engelleyecek yönde etki edecektir.

Dik (Saat 3 yönünde) pozisyonda tozaltı kaynağı yapılması durumunda yatay pozisyona göre akım değeri %10-20 azaltılabilir. Bu da ısı girdisinin azalması ve sıcaklık değişiminin daha az olmasıdır. Distorsiyonların asgari düzeyde tutulabilmesi açısından parça üzerindeki sıcaklık değişiminin asgari düzeyde tutulması önemlidir.

Analiz sonucunda elde edilen ısı çözümleri, kaynak işlemi sonrasında parçadaki ısı dağılımının nasıl geliştiğini göstermektedir. Deneysel olarak sonuçlar doğrulanmıştır.

Yapısal analizde, kaynak işlemi sonrasında parça üzerinde kalan artık gerilmeler gözlemlenmiştir. Soğuma başlangıcında malzemenin büzölmeye karşı gösterdiği direnç,

kaynak metaline yakın bölgelerde x - ekseni boyunca yüksek çeki gerilmelerini meydana getirir. Kaynaktan uzak bölgeler de bası gerilmeleri oluşmaktadır. y - ekseni boyunca incelenen artık gerilmelerin, kaynak kökü ve kaynak dolgusu orta yüzeyleri ile kaynak metali ve esas metal birleşme yüzeylerinde yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada açılan X kaynak ağzı ile çift taraflı olarak 7 paso kaynak işlemi sonrasında doldurulmuştur. Seçilen kaynak hızı ile her bir paso yaklaşık olarak 6.5 dk, toplam kaynak işlemi 45.5 dk sürmektedir. Her bir paso sonrası, kaynak bölgesinin temizlenmesi ve bir sonraki pasoya hazırlık süresi yaklaşık 2.5 dk pasolar arası bekleme süresi yaklaşık 17.5 dk'dır. Dik pozisyonda saat 3 yönünde yapılan kaynak işlemi, kaynak sonrası kaynak bölgesinin temizlenme süreleri ile birlikte yaklaşık olarak 63 dk sürmektedir.

Tozaltı kaynağı genellikle yatay pozisyonda uygulanmaktadır. Çalışmanın X kaynak ağzı açılarak yatay pozisyonda yapılması durumunda öncelikle tek tarafı 7 paso ile doldurulacaktır. Sonrasında parçanın diğer kaynak ağzı çevirilerek kaynak işlemi tamamlanacaktır. Burada bir taraf için 7 paso kaynak ve kaynak bölgesinin bekleme süreleri toplamı yaklaşık 63 dk'dır. Parçanın tekrar çevrilmesi ve aynı şekilde diğer kaynak ağzının doldurulması ile işlemi yaklaşık 65 dk sürecektir. Yatay pozisyonda yapılan kaynak işlemi, kaynak sonrası kaynak bölgesinin temizlenme süreleri ile birlikte yaklaşık olarak 128 dk sürmektedir.

Tozaltı kaynağı ile dik pozisyonda saat 3 yönünde yapılan kaynak ile yatay pozisyonda yapılan kaynak uygulaması karşılaştırıldığında uygulama süresi yönünden büyük avantaj sağladığı görülmektedir. Aynı zamanda aynı anda çift taraflı kaynak yapılması ile parça üzerindeki ısı dağılımı yatay pozisyon uygulamasına göre daha homojen bir dağılım gösterecektir. Bunun sonucunda kaynak sonrası parça üzerindeki distorsiyonların daha düşük olarak gerçekleşmesi beklenmektedir. Sonuç olarak uygulanan yöntem ile işçilik, ekipman maliyeti, ergonomi ve ekipman kapasite kullanımı konularında avantaj sağlamaktadır.

5. SONUÇLAR

- Dikey pozisyonda(saat 3 yönünde) yapılan kaynak ile yatay pozisyonda yapılan uygulamaya göre iş zamanında %50 kazanç sağlanmaktadır. İşçilik maliyeti, ekipman kapasite kullanımı, birim zamanda parça üretimi konularında maliyet kazancı getirmektedir.
- Yapılan çalışma yatay pozisyon uygulamasına göre daha ergonomiktir.
- Kaynak sonrası parça üzerindeki sıcaklık dağılımı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kaynak öncesi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar yapılan deneysel çalışma ile doğrulanmıştır.
- Kaynak sonrası parça üzerindeki yer değiştirmeler yapılan sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kaynak öncesi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar yapılan deneysel çalışma ile doğrulanmıştır.
- Kaynak sonrası parça üzerindeki en fazla 0.5 mm çarpılma meydana gelmiştir. Çift taraflı olarak aynı kaynak parametreleri ile eş zamanlı olarak yapılan kaynak sonrası çarpılmalar asgari düzeyde tutulabilmiştir.
- En fazla sıcaklık değişimi kaynaktan 11 mm uzaklığa kadar olan noktalar arasında gerçekleşmiştir. Isının tesiri altında kalan bölgenin kaynak metalinden 11 mm uzaklığa kadar olan bölge olduğu tahmin edilmiştir.

KAYNAKLAR

ANIK, S. 1975. Kaynak Tekniği (Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti). İ.T.Ü. Matbaası, 3, İstanbul, s.10 – 155.

ANIK, S. 1975. Kaynak Tekniği (Tozaltı Kaynağı ve Koruyucu Gazla Kaynak). İ.T.Ü. Makine Fakültesi Offset Atölyesi, 2, İstanbul, s.1-106.

ANIK, S. 1991. Kaynak Tekniği El Kitabı (Yöntemler ve Donanımlar) Gedik Holding A.Ş. Yayınları, İstanbul, 244 s.

ANIK, S. ve M. VURAL . 2000. 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı. Birsen Yayınevi, İstanbul.

BENLİ, S. 2004. Kaynaklı Parçalarda Oluşan Artık Gerilmelerin İncelenmesi. Y.L. Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 54 s.

CARY, H.B. 1989. Modern Welding Technology. Prentice Hall 2nd Edition, New Jersey. s. 8, 164-177, 481-485.

CERİT, M.A. 1996. Makina Mühendisliği El Kitabı Üretim ve Tasarım El Kitabı , TMMOB Mak. Müh. Odası Yayınları, 2, Ankara.

DONG, Y., J.K. HONG, C.L. TSAI, P. DONG. 1997. Finite Element Modeling of Residual Stresses in Austenitic Stainless Steel Pipe Girth Welds. Welding Journal, Columbus, s. 442-449.

E.ROSSİ, B. 1954. Welding Engineering. McGraw – Hill Book Company, New York, s. 138-159.

FANOUS, IFZ., M.Y.A. YOUNMAN, A.S. WIFI. 2003. Study of the Effect of Boundary Conditions on Residual Stresses in Welding Using Element Birth and Element Movement Techniques, ASME Journal of Pressure Vessel Technology, Egypt.

GIACHINO, J.W., W. WEEKS, G.S. JOHNSON. 1973. Welding Technology. American Technical Publishers Inc, Illinois.

HONG, J.K., C.L. TSAI, P.DONG. 1998. Assessment of Numerical Procedures for Residual Stress Analysis of Multipass Welds. Welding Journal, Columbus, s. 372-378.

KOCABIÇAK, Ü. ve M. ÇALIŞKAN. 2000. Makina Tasarımında Sonlu Elemanlar Yöntemi. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü.

MALİK A.M., E.M. QUARESHI, N.U. DAR. 2007. Analysis of Circumferentially Welded Thin-Walled Cylinders: Effects of Welding Process Parameters on Residual Stresses. Proceedings of the 5th International Conference on Physical and Numerical Simulation of Materials Processing (ICPNS 2007), Zhengzhou.

MICHALERIS, P. ve X. SUN. 1997. Finite Element Analysis of Thermal Tensioning Mitigating Weld Buckling Distortion. Welding Journal, Columbus, s. 451-457.

MICHALERIS, P. ve A. DEBICCARI. 1997. Prediction of Welding Distortion, Welding Journal, Columbus, s. 76. 172 - 181.

MURUGAN, S., S.K. RAI, P.V. KUMAR, T. JAYAKUMAR, B. RAJ. 2001. Temperature Distribution and Residual Stresses Due to Multipass Welding in Type 304 Stainless Steel and Low Carbon Steel Weld Pads. International Journal of Pressure Vessels and Piping, Mumbai, s. 78, 307-317.

POLAT, F.G. 2003. Kaynak Edilmiş Parçaların Bilgisayar Destekli Mukavemet Analizleri, Y.L. Tezi, Uludağ Üniversitesi.

PRASAD, N.S. ve T.K.S NARAYANAN. 1996. Finite Element Analysis of Temperature Distribution During Arc Welding Using Adaptive Grid Technique. Welding Journal, USA, s. 123-128.

SIMION, C., C. MANU, S. BASET, J. MILLARD. 2006. Distortions Generated by Welding Process Using ANSYS-FEA. Atomic Energy of Canada Limited, Alberta.

TENG, T.L., P.H.CHANG, W.C. TSENG. 2002. Effect of Welding Sequences on Residual Stresses. Computers and Structures, Taiwan, s. 81, 273-286

WEN, S. W., P. HILTON, D.C.J. FARRUGIA. 2001. Finite Element Modelling of a Submerged Arc Welding Process. Journal of Materials Processing Technology, UK, s.119. 203-209.

ZHU, X.K. and Y.J. CHAO. 2002. Effects of Temperature-Dependent Material Properties on Welding Simulation. Computers and Structures, Columbia, s. 80. 967-976.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Bursa' da doğdu. Bursa Erkek Lisesi'ni bitirdikten sonra 2001 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümüne başlayarak 2005 yılında mezun oldu. 2006 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Özel sektörde çeşitli kurumlarda çalıştı.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Nurettin YAVUZ ve deneylerin yapılmasında katkıda bulunan BAYKAL MAKİNA A.Ő.' ye teőekkürü bir borç bilirim.