

**GEMİ SACI KAYNAKLI BAĞLANTILARINDA
KALINTI GERİLİMİ ANALİZİ**

**2014
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Mustafa ALTINEL

**GEMİ SACI KAYNAKLI BAĞLANTILARINDA KALINTI GERİLİMİ
ANALİZİ**

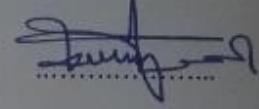
Mustafa ALTINEL

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2014**

Mustafa ALTINEL tarafından hazırlanan "GEMİ SACI KAYNAKLI BAĞLANTILARINDA KALINTI GERİLİMİ ANALİZİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Naci KURGAN



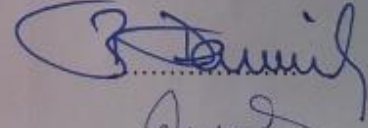
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 11/06/ 2014

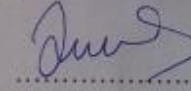
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

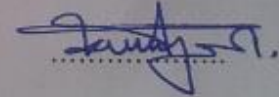
Başkan : Doç. Dr. Bilge DEMİR (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Naci KURGAN (KBÜ)



...../...../2014

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mustafa ALTINEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GEMİ SACI KAYNAKLI BAĞLANTILARINDA KALINTI GERİLİMİ ANALİZİ

Mustafa ALTINEL

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Naci KURGAN

Haziran 2014, 82 sayfa

Bu çalışmada, Grade A gemi sacı paslanmaz çelik plakalar MIG – MAG kaynak yöntemi ile farklı koruyucu ortamlar kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynak işlemleri karışım gaz (CO₂ ve Argon) koruyucu gaz ortamında aynı değerlerde ki kaynak akımında gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemleri aynı kaynak parametrelerinde alın alına olmak üzere yapılmış ve tüm birleştirmelerde ilave metal olarak ELCOR B 70 tipi ilave tel kullanılmıştır. Gemi imalatında kullanılan sacların kaynaklı bağlantılarında servis ortamında kalıntı gerilmeler çok daha düşük yüklerde hasarlara neden olmaktadır. Bu nedenle bu hasarlara engel olabilmek için kalıntı gerilmelerin ölçülmesi ve modellenerek daha önceden belirlenebilmesi çok önemlidir.

Bu çalışmada gemi saclarının kaynaklı bağlantılarında oluşacak kalıntı gerilmeler deneysel olarak ölçülmüş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, kaynak

esnasında termal etkiye maruz kalan plakanın kaynak noktasından başlayarak geriye doğru oluşan kalıntı gerilimi ölçülmesidir.

Ölçüm için EA-06-062RE-120 model rozet tipi 3 adet gerilimölçer kullanılmıştır. Gerilim ölçerler kalıntı gerilmesi ölçülecek noktada 0^0 , 45^0 ve 90^0 lik açılarda yerleştirilerek kalıntı gerilme ölçülmüştür. Yapılan çalışmada, kaynak ile birleştirilen malzemelerin kaynak dikişine dik düzlemdeki 4 farklı noktada kalıntı gerilme ölçümleri yapılmıştır. Soğuma başlangıcında malzemenin büzölmeye karşı gösterdiği direnç, kaynak metaline yakın bölgelerde yüksek çekme gerilmelerini meydana getirir. Denge kuralına göre de kaynaktan uzak bölgeler de basma gerilmeleri oluşmaktadır. Artık gerilmelerin, kaynak kökü ve kaynak dolgusu orta yüzeyleri ile kaynak metali ve esas metal birleşme yüzeylerinde yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Kalıntı gerilme, gemi sacı, MIG - MAG kaynağı, karışım gaz, gerilimölçer.

Bilim Kodu : 914.1.093

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

RESIDUAL STRESS ANALYSIS OF SHIP STEEL WELDED JOINT

Mustafa ALTINEL

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Naci KURGAN

Haziran 2014, 82 pages

In this study, Grade A ship plate stainless steel plate MIG - MAG welding method are joint using different protective mixture gas. Welding processes mixed gas (CO₂ and argon) at the same value in protective gas atmospheres was carried out in the welding current. Welding procedures to be taken in the same welding parameters in all assemblies to be made and additional metal wire was used as the ELC B 70 type added. Vessels used in the manufacture of steel welded joints in the residual stresses in the service environment has caused much more damage at low loads. Therefore, to prevent this damage modeled predetermined residual stress measurement and would be very important.

In this study, the residual stresses will occur in welded joints of ship plates experimentally measured and the results are evaluated. Study, during welding of the plate exposed to thermal effects, starting from the source voltage is to measure the resulting residue.

For measuring EA-06-062R-120 model badge type 3 strain gauge is used. The voltage at the point to measure the residual stress measured at 0, 45 and 90 placed at angles of residual stress was measured. In the study, the source of the materials joined by four different points in the plane perpendicular to the weld seam was measured for residual stress. Cool at the beginning of the resistance to shrinkage of the material, high tensile stresses in the regions close to the weld metal form. From the balance according to the rule consists of compressive stress in remote areas. Of residual stress, the root of the weld and weld filler weld metal and base metal with a central surface of the joining surfaces has been observed in high concentrations.

Key Words : Residual stress, steel for ship building, MIG - MAG welding, strain gage.

Science Code : 914.1.093

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Naci KURGAN'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Yorulma deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi öğretim üyesi Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ ve araştırma görevlisi Ali Taner KUZU'ya teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımcı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	3
KALINTI GERİLMELER	3
2.1. KALINTI GERİLİMİN NEDENLERİ	3
2.2. KALINTI GERİLMELERİN OLUŞUMU	5
2.2.1. Isıl Gerilmeler Neticesinde Meydana Gelen Kalıntı Gerilmeler	5
2.2.2. Mekanik Etkilerde Kalıntı Gerilmelerin Oluşumu	7
2.3. KALINTI GERİLİM ÖLÇÜMÜNDE KULLANILAN TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ.....	9
2.3.1. X-ışını Kırınımı Yöntemi	10
2.3.2. Manyetik Barkhausen Gürültüsü Yöntemi	12
2.3.3. Ultrasonik Yöntem.....	15
2.3.4. Nötron Işınımı Kırınımı Yöntemi.....	16
2.3.5. Raman Tayf Ölçüm Yöntemi.....	17
2.4. KALINTI GERİLİM ÖLÇÜMÜNDE KULLANILAN TAHRİBATLI MUAYENE YÖNTEMLERİ.....	17
2.4.1. Delik Delme Metodu	18
2.4.2. Halka Çekirdek Metodu (Ring Core Method).....	20

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3.	21
MIG/MAG KAYNAĞI.....	21
3.1. MIG/MAG KAYNAK DONANIMI	22
3.2. MIG/MAG KAYNAĞI AKIM ÜRETEÇLERİ.....	22
3.3. KORUYUCU GAZLAR	23
3.4. MIG/MAG KARIŞIM GAZLAR.....	24
BÖLÜM 4.	25
GEMİ SACI.	25
BÖLÜM 5.	27
5.1. DENEY MALZEMELERİNİN HAZIRLANMASI	27
5.2. NUMUNELERİN MIG/MAG KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLMESİ.....	29
5.3. GERİLİM ÖLÇERLERİN YERLEŞTİRİLMESİ.....	30
5.4. GERİLİM ÖLÇERLERE KABLO BAĞLANTISININ YAPILMASI.....	33
5.5. GERİLME ÖLÇMEDE SİSTEMİN KURULMASI.....	34
5.6. ÖLÇME İŞLEMİNİN YAPILMASI.....	36
5.7. ÇEKME DENEYİ	38
BÖLÜM 6.	39
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	39
6.1. KALINTI GERİLME DENEYİ	39
6.1.1. Kaynak Noktasına En Yakın Birinci Gerilim Ölçer	41
6.1.2. Kaynak Noktasına En Yakın İkinci Gerilim Ölçer.....	47
6.1.3. Kaynak Noktasına En Yakın Üçüncü Gerilim Ölçer.....	50
6.1.4. Kaynak Noktasına En Yakın Dördüncü Gerilim Ölçer	54
6.2. ÇEKME DENEYİ	58
BÖLÜM 7.	60
SONUÇLAR	60
KAYNAKLAR	62

ÖZGEÇMİŞ 65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Gerilim ölçer direnç telleri	4
Sekil 2.2. Sıcaklık ve gerilme dağılımı.....	6
Şekil 2.3. Kalıntı gerilmelerin kaynağı.....	8
Şekil 2.4. Taşınabilir X ışını kırınımı	10
Şekil 2.5. X-ışınımı kırınımı yöntemi şematik gösterimi	11
Şekil 2.6. SAE 4340 çeliğinde taşlama sonucu oluşan yüzey kalıntı gerilimlerinin X ışını kırınımı yöntemi ile bulunması	11
Şekil 2.7. Ferromanyetik malzeme içerisindeki domenler ve manyetik dipoller	12
Şekil 2.8. Domenler dağınık durumda yönlenmiş	13
Şekil 2.9. Manyetik Barkhausen yöntemi.....	13
Şekil 2.10. Kaynaklı plakalarda kaynak işlemi sonrası kalıntı gerilim dağılımının Manyetik Barkhausen gürültüsü yöntemi ile bulunması.....	14
Şekil 2.11. Kaynaklı plakalarda X-ışını kırınımı yöntemi ile Barkhausen gürültüsü yönteminin karşılaştırılması	14
Şekil 2.12. Ultrasonik yöntem kullanılarak tren tekerleklerindeki kalıntı gerilimlerin ölçülmesi	16
Şekil 2.13. Kaynaklı plakalardaki kalıntı gerilimlerin Nötron ışını kırınımı ve X-ışını kırınımı sonuçlarının karşılaştırılması	17
Şekil 2.14. Delik delme yöntemi ile kalıntı gerilme ölçümünde kullanılan rozetler.	19
Sekil 2.15. Halka çekirdek yöntemi.....	20
Şekil 3.1. Gazaltı kaynağının prensibi	21
Şekil 3.2. Kaynak akım üreteçlerinde V – I karakteristiği	23
Şekil 5.1. Kaynak ağzı için planyada işlem.....	27
Şekil 5.2. MIG-MAG kaynak için hazırlık.....	28
Şekil 5.3. Kaynak yapılmadan önce plakaların yerleştirilmesi	28
Şekil 5.4. Kaynaktan sonraki plakalar	29
Şekil 5.5. Kaynak yapılmış gemi sacı üzerinin zımparalanması	31
Şekil 5.6. Kaynak yapılmış gemi sacı üzerinin temizlenmesi	31
Şekil 5.7. Kaynak edilmiş gemi sacı üzerine gerilim ölçer şematik yerleşimi	32
Şekil 5.8. Kaynak edilmiş gemi sacı üzerine gerilim ölçer yerleşimi	32

Sayfa

Şekil 5.9. Rozetteki gerilim ölçerlere kablo bağlantıları görünümü	33
Şekil 5.10. Delik delme deney setleri ayar mekanizmaları	34
Şekil 5.11. Delik delme deney setleri çalışmaya hazır mekanizma	35
Şekil 5.12. Kabloların girişlere takılması	35
Şekil 5.13. Gözetleme merceğinden bakış	36
Şekil 5.14. Çekme numunesi hazırlama	37
Şekil 5.15. Shimadzu çekme deney cihazı	38
Şekil 6.1. Ölçüm cihazına kablo yerleşimi.....	39
Şekil 6.2. Kurulumu hazırlanmış deney	40
Şekil 6.3. Gerilim ölçer ile ölçülen p, q ve t değerleri.....	42
Şekil 6.4. Gerilim ölçer ile ölçülen yüzde %p, q ve t değerleri.....	43
Şekil 6.5. Kaynaklı bağlantıdaki maksimum ve minimum kalıntı gerilme grafiği .	46
Şekil 6.6. Gerilim ölçer ile ölçülen p, q ve t değerleri.....	48
Şekil 6.7. Gerilim ölçer ile ölçülen yüzde %p, q ve t değerleri.....	49
Şekil 6.8. Kaynaklı bağlantıdaki maksimum ve minimum kalıntı gerilme grafiği .	50
Şekil 6.9. Gerilim ölçer ile ölçülen p, q ve t değerleri.....	52
Şekil 6.10. Gerilim ölçer ile ölçülen yüzde %p, q ve t değerleri.....	53
Şekil 6.11. Kaynaklı bağlantıdaki maksimum ve minimum kalıntı gerilme grafiği .	54
Şekil 6.12. Gerilim ölçer ile ölçülen p, q ve t değerleri.....	55
Şekil 6.13. Gerilim ölçer ile ölçülen yüzde %p, q ve t değerleri.....	56
Şekil 6.14. Kaynaklı bağlantıdaki maksimum ve minimum kalıntı gerilme grafiği .	57
Şekil 6.15. Kaynaklı bağlantıdaki çekme deneyi stress - strain grafiği.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 5.1. Grade A gemi sacı çelik plaka ve dolgu malzemesi kimyasal ve mekanik özellikleri.....	29
Çizelge 5.2. Kaynak parametreleri	30
Çizelge 5.3. Gerilim ölçer özellikleri	30
Çizelge 6.1. Birinci gerilim ölçer sonuçları.....	41
Çizelge 6.2. Birinci gerilim ölçer p, q ve t değerleri	41
Çizelge 6.3. Birinci gerilim ölçer p, q ve t değerlerinin yüzde değerleri	43
Çizelge 6.4. Hesaplanan P ₀ , Q ₀ ve T ₀ değerleri.....	44
Çizelge 6.5. P ₀ , Q ₀ ve T ₀ değerlerinin 1.000.000 bölünmüş değerleri.....	45
Çizelge 6.6. σ_x ve σ_y değerleri.....	45
Çizelge 6.7. σ_{max} ve σ_{min} değerleri.....	46
Çizelge 6.8. İkinci gerilim ölçer sonuçları.....	47
Çizelge 6.9. İkinci gerilim ölçer p, q ve t değerleri	48
Çizelge 6.10. İkinci gerilim ölçüm p, q ve t değerlerinin yüzde değerleri	49
Çizelge 6.11. σ_{max} ve σ_{min} değerleri.....	50
Çizelge 6.12. Üçüncü gerilim ölçer sonuçları	51
Çizelge 6.13. Üçüncü gerilim ölçer p, q ve t değerleri	51
Çizelge 6.14. Üçüncü gerilim ölçüm p, q ve t değerlerinin yüzde değerleri	52
Çizelge 6.15. σ_{max} ve σ_{min} değerleri.....	53
Çizelge 6.16. Dördüncü gerilim ölçer sonuçlar	54
Çizelge 6.17. Dördüncü gerilim ölçer p, q ve t değerleri	55
Çizelge 6.18. Dördüncü gerilim ölçüm p, q ve t değerlerinin yüzde değerleri.....	56
Çizelge 6.19. σ_{max} ve σ_{min} değerleri.....	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- σ : kalıntı gerilme
 σ_c : yüzey eksenli kalıntı gerilme
 ε : elastik gerilim
 p_0 : homojen izotropik kalıntı gerilme
 p : homojen izotropik elastik gerilim
 q_0 : homojen 45^0 kesme gerilimi
 q : homojen 45^0 kesme uzaması
 t_0 : x-y Kesme stresi
 t : x-y Kesme uzaması
 σ_{\max} : maksimum kalıntı gerilme
 σ_{\min} : minimum kalıntı gerilme

KISALTMALAR

ASTM : American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Standartları)

MIG : Metal Inert Gas (Metal Soy Gaz)

MAG : Metal Argon Gaz (Metal Aktif Gaz)

SG : Strain-Gage (Gerilim Ölçer)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ülkemizde gemi inşaatı son zamanlarda büyük önem verilmekte ve hızla sektörel olarak önem kazanmaktadır. Gemi inşaatı için en fazla çelik ve kaynak teknoloji yer almaktadır. Bu sebeple gemi imalatında karşılaşılan en büyük sorunlarda bu iki konuda oluşmaktadır. Bu sebeple Grade A gemi sacında en çok kullanılan kaynak yöntemi olan MIG/MAG kaynağı Ülkemizde gemi inşaatı sektöründe pek kullanılmayan deneysel mukavemet yöntemlerinden biri olan SG (Strain-Gage) rozetleriyle şekil değiştirme ölçümünün kısa tanımı ve sektörde uygulanmış çalışma alanlarının bir kısmı tanıtılacaktır. Bu yöntem gerek bilimsel araştırmalar için gerekse gemi üzerinde meydana gelen problemlerin çözümü için diğer yöntemlere göre oldukça ekonomik ve uygulanması kolaydır.

Kalıntı gerilimler çeşitli üretim/imalat aşamalarından sonra parçada kalan elastik gerilimlerdir. Kaynaklı imalat, döküm, yüzey işlemleri ve ısıl işlemler sonucunda malzeme içerisinde homojen olarak dağılmadan kalan plastik deformasyonlar veya ısıl değişimler, kalıntı gerilim oluşmasındaki ana nedenlerdendir [1].

3 boyutlu bir elemanda şekil değiştirme her üç boyutta birden meydana gelir. Böyle bir elemanın direncinin değişimini incelersek hangi ekseninde ne büyüklükte deformasyon olduğunu anlamak imkânsızdır. Ayrıca parçanın boyutları büyükse parça üzerinden direkt olarak ölçüm imkânsızdır. Bu nedenlerden dolayı istediğimiz bir ekseninde ölçüm yapabileceğimiz yardımcı bir elemana ihtiyacımız vardır. Bu yardımcı elemanın adı Kalıntı Gerilim Ölçer Rozet (Strain-Gage Rozet)'tir. Bu rozetler bir doğrultuya yönlendirilmiş dairesel kesitli bir teli içeren yalıtılmış elemanlardır. Bu rozeti ölçüm yapmak istediğimiz parçanın üstüne istediğimiz doğrultuda yapıştırıp direnç değişimini ölçebiliriz ve bu yolla birim şekil değiştirmeyi hesaplayabiliriz [2].

Bu çalışmanın amacı, sanayide katma değeri yüksek gemi imalatında kullanılan Grade A gemi sacını, MIG/MAG kaynak yöntemiyle karışım (Argon ve CO₂) koruyucu gaz kullanılarak birleştirilerek, kaynak kabiliyetinin, gerilimölçer (strain gage) ile mekanik özelliklerinin araştırılması ve incelenmesidir.

Tezin yazımında, genel itibarıyla literatür - makale incelemesi ve deneysel çalışmalar olmak üzere iki kısım olarak yazılmıştır. Birinci bölüm “Giriş” olup burada çalışma hakkında kısa özet verilmiştir. İkinci bölümde, kalıntı gerilimi ve bu çalışmada kullanılan ölçüm tekniği ve çeşitleri, özellikle Delik Delme Metodu (Holl Drilling metodu) anlatılmıştır. Üçüncü bölümde Çeliklerin kaynağında kullanılan MIG/MAG kaynak yöntemi detaylı bir biçimde tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde bu çalışmada kullanılan gemi sacı olarak kullanılan çelikleri içine literatür taramasıyla anlatılmıştır.

Beşinci bölümde, konunun daha iyi anlaşılabilmesi ve yüksek öğretim düzeyinde deneysel çalışma yapacak kişilere yardımcı olabilmesi için çalışmanın amacının belirlenmesinin yanında, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, kullanılan ilave metal, kaynak makinesi, kaynak parametreleri, kaynaklı numunelerden deney numunelerinin çıkartılması, kaynaklı bağlantılara uygulanan mekanik testler ve testlerin uygulanış parametreleri tanıtılmıştır.

Altıncı ve son bölümde ise deneysel çalışmalar sonucu elde edilen verilerin deneysel çalışmanın amacına uygun bir biçimde yorumlanarak sonuçlandırılmıştır.

BÖLÜM 2

KALINTI GERİLMELER

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 denilmektedir.

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 [4].

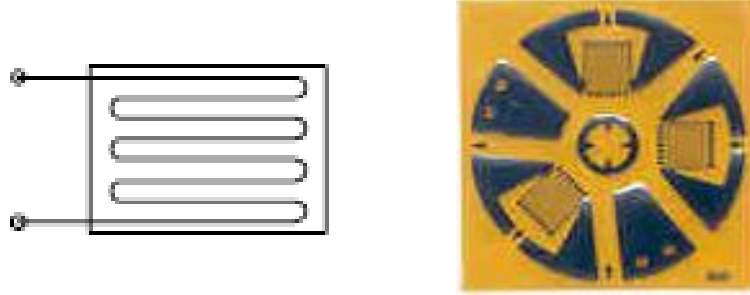
Kompleks termal stresler kaynak boyunca lokal ısı etkisiyle oluşur. Kalıntı gerilimi ve çarpılma kaynak işleminden sonra ifade edilir. Geçici ısıl gerilmeler, kalıntı gerilimi ve çarpılma bağlantı noktalarında hatalara ve birçok kere kırılmaya sebep olur. Kaynak yapılan alanlarının yakınlarında ki yüksek çekme gerilimi, benzer şartlar altında kaynak noktalarında erken hatalara sebep olmaktadır [5].

2.1. KALINTI GERİLİMİN NEDENLERİ

Yapısal gerilim, başlangıç gerilimi, kilitlenme gerilimi gibi ifade edilen Kalıntı gerilimi, malzeme üzerine uygulanan yük kaldırıldıktan sonra oluşur. Bir malzemeye farklı sıcaklık değişimleri uygulandığı zaman kalıntı gerilimi oluşur. Bu gerilime termal gerilim olarak ifade edilir. Gerilim şiddeti birim alana uygulanan yük olarak tanımlanır. Diğer bir ifadeyle milimetre kareye uygulanan kilogramkuvvet (kgf/mm^2) veya inç kareye uygulanan pound kuvvetidir. Metal yapılarda, imalat esnasında

(döküm, haddeleme, şekillendirme, alevle kesme, torna-freze gibi talaşlı imalat esnasında) birçok sebepten kalıntı gerilimi oluşur.

Soğuma işleminin başlamasıyla, kaynak metali ve kaynak metaline bitişik ısının etkisi altındaki bölgenin sıcaklıkları, esas metalin sıcaklığından çok daha yüksektir. Kaynak dikişi katılaşır, 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.



Şekil 2.1. Gerilim ölçer direnç telleri.

Kalıntı gerilimin ölçülmesinde birçok ölçme metodu vardır. Kalıntı gerilmelerin ölçümlerinde tahribatlı veya tahribatsız teknikler kullanılabilir.

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. İlâveten artık gerilmeler yorulma ve korozyon hasarlarını da artırır.

Kaynaklı parçalarda, kaynak işlemi neticesinde meydana gelen artık gerilmeleri azaltmak için ısıtma işlemleri 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.

2.2. KALINTI GERİLMELERİN OLUŞUMU

Kaynak işlemi neticesinde kaynaklı parçada meydana gelen kalıntı gerilmeler, kendilerini oluşturan mekanizmalara göre; yapısal uyumsuzluk ya da ısıl genleşmeler sonucunda oluşan gerilmeler olarak sınıflandırılabilir.

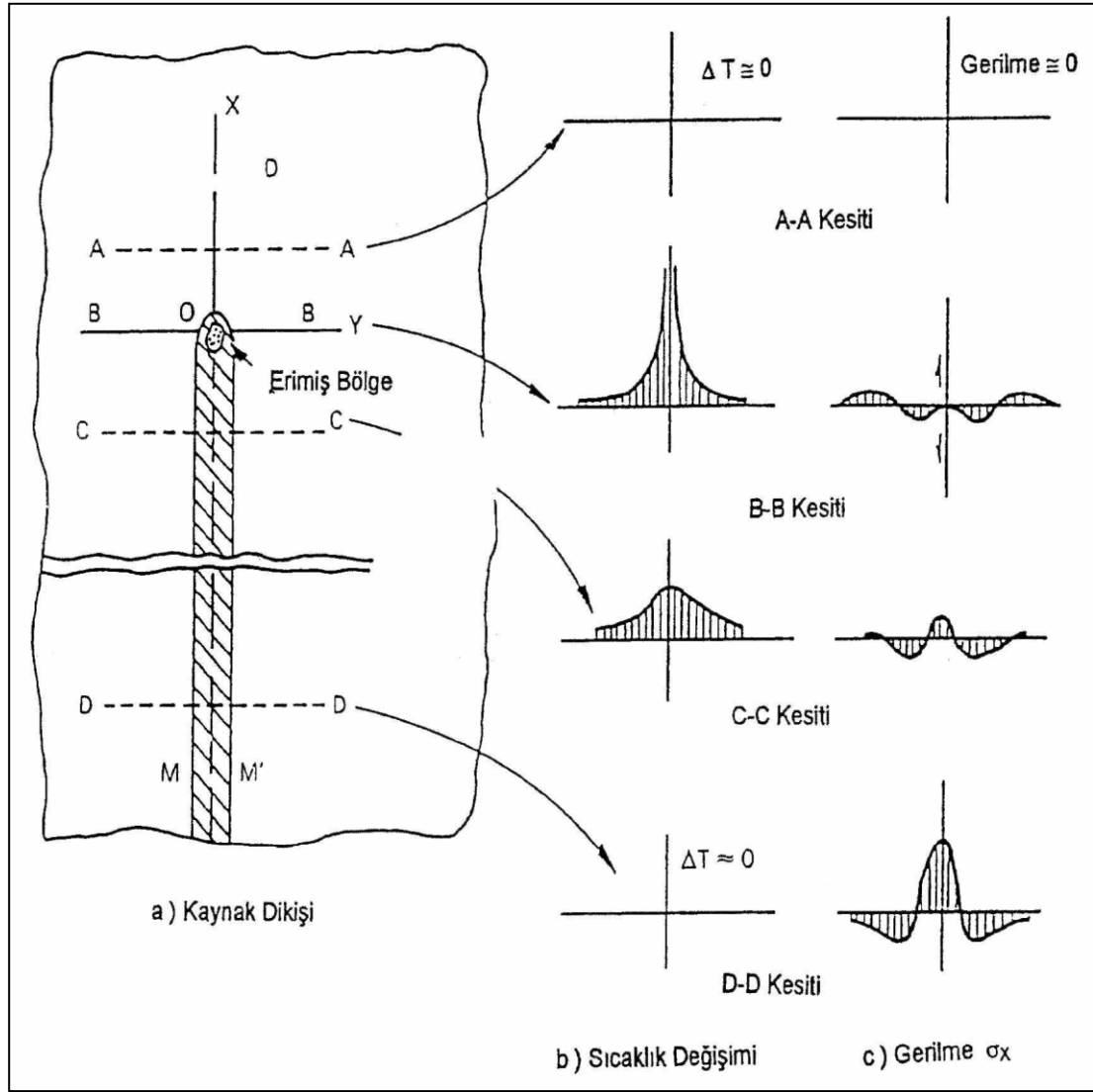
2.2.1. Isıl Gerilmeler Neticesinde Meydana Gelen Kalıntı Gerilmeler

Sekil 2.2' de kaynak işlemi esnasında sıcaklık ve gerilmelerdeki değişiklikler şematik olarak gösterilmiştir. Bir levha üzerinde x-x doğrultusu boyunca kök bir paso oluşturulmuştur. Yerel bir O noktasında, v sabit hızıyla hareket eden kaynak arkı Sekil 2.2.a' da gösterilmiştir.

x-x doğrultusu üzerinde A,B,C ve D noktalarındaki sıcaklık dağılımı Şekil 2.2.b'de açıklanmıştır. Kaynak arkı önündeki A-A kesitinde, kaynak sebebi ile oluşan sıcaklık değişimi hemen hemen sıfırdır. Kaynak arkı gerisindeki B-B kesitinde ise sıcaklık dağılımı diklidir. Kaynak arkı gerisindeki C-C kesitindeki sıcaklık dağılımında diklik daha azdır. Çok geride kalan D-D kesitinde ise sıcaklık değişimi neredeyse sıfırdır ve uniform bir dağılıma sahiptir.

A-A, B-B, C-C ve D-D kesitlerindeki x yönündeki gerilmelerin dağılımı (σ_x) Şekil 2.2.c' de verilmiştir. A-A kesitindeki kaynak sebebiyle meydana gelen ısıl gerilmeler sıfırdır. Kaynak dikişi altındaki B-B kesitindeki gerilmeler de sıfıra yakındır çünkü sıvı metal yük taşımaz. Isının etkisi altındaki bölgelerdeki gerilmeler, bası gerilmeleridir çünkü düşük sıcaklıktaki çevre metaller (esas metal) bu bölgelerin

genleşmesini engeller. Kaynak arkı yakınındaki metal sıcaklığı çok yüksektir ve sonuç olarak akma dayanımları düşüktür. Bası gerilmeleri, metalin mevcut sıcaklığındaki akma seviyesindedir. Kaynak bölgesinden uzaklaştıkça bası gerilmelerinin değeri bir maksimum değeri ulaşır. Denge şartlarından dolayı belirli bir uzaklıkta, çeki gerilmelerinin, ısının etkisi altındaki bölgelerdeki bası gerilmeleri ile dengelenmesi gerekir. B-B kesitindeki bu denge durumu ve gerilme dağılımı Şekil 2.2.c' de ifade edilmiştir.



Şekil 2.2. Sıcaklık ve gerilme dağılımı.

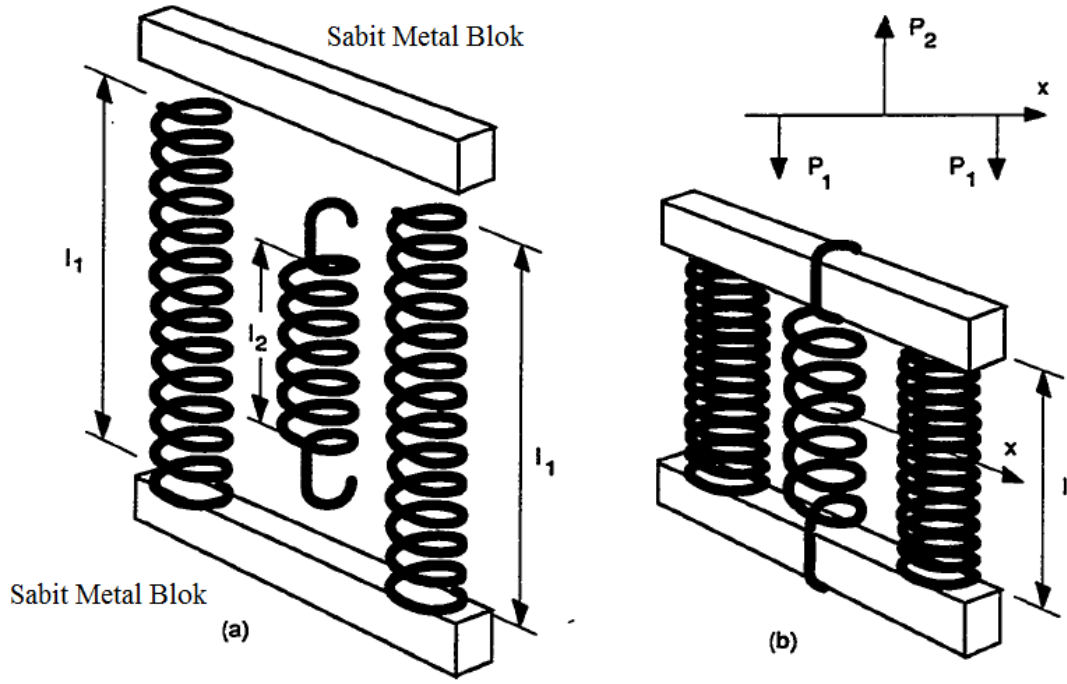
C-C kesitinde, kaynak metali ve ısının etkisi altındaki bölge artık soğumuştur ve büzölmeye baslar. Bu nedenle kaynak metali çeki gerilmelerine sebep olur. Şekil

2.2.c' de, gerilme dağılımından da görüleceği gibi oluşan çeki gerilmeleri, esas metaldeki bası gerilmeleri tarafından dengelenmiştir.

Kalıntı gerilmelerin son durumu D-D kesitinde gösterilmiştir. Bu kesit boyunca, kaynak dikişinden uzakta esas metalde bası gerilmeleri, kaynak dikişi ve ısının etkisi altındaki bölgelerde ise çok yüksek çeki gerilmeleri meydana gelmiştir. Tüm bu gerilme dağılımları Şekil 2.2.c' de gösterilmiştir [3].

2.2.2. Mekanik Etkilerde Kalıntı Gerilmelerin Oluşumu

Kalıntı gerilmeleri ölçmek için herhangi bir metoda karar vermeden önce kalıntı gerilmelerin oluşumunun anlaşılması gerekir. Kalıntı gerilmeleri oluşturan en yaygın mekanizmalar, bileşeni elastik sınırı ötesinde geren dış etkenlerden kaynaklanır. Dış etkenler bileşen üzerinden kaldırıldığında, uyumsuzluklar plastik olarak deforme olmuş bölge ve hala elastik olarak davranan deforme olmuş bölgenin etrafı arasında meydana gelir. Plastik olarak gerilmiş kısımlar çevresindeki elastik malzemeyle uyum elde edene kadar elastik olarak yer değiştirme eğiliminde olacak ve sonuçlanan gerilmelere kalıntı gerilmeler denilecektir. Meydana gelen makro kalıntı gerilmelerden sorumlu dış etkenler; kaynak gibi termal kaynaklar, nitrürleme gibi kimyasal işlemler veya faz dönüşümleri malzeme sınırlarında çekme uygulaması biçiminde yer alabilir [6,7]. Şekil 2.3.a'da görüldüğü gibi l1 uzunluğunda birbirinin aynı iki helisel yaydan, farklı uzunluktaki başka bir yaydan $l2 < l1$ ve tamamen rijit metal bloklardan oluşan mekaniksel bir montaj dikkate alalım, eğer merkezdeki yay Şekil 2.3.b'de görüldüğü gibi bloklara kanca ile tutturulacak olursa, montaj doğal olarak bloklar arasındaki yayların uzunluklarını dikkate alınmadığı bir denge pozisyonu oluşturacaktır [6].



Şekil 2.3. Kalıntı gerilmelerin kaynağı a) Yaylar gerilmemiş, b) Yaylar gerilmiş [6].

Şekil 2.3. incelendiğinde, merkez çekme yüküne maruz kaldığı için başlangıçta kısalmış, oysa dışarıdaki yaylar basmaya çalışmaktadır. Bu haliyle, sisteme hiçbir dış kuvvet uygulanmamaktadır. Montaj tarafından karşılanan bütün yükler statik olarak dengededir ve yaylarda gerinim enerjisi depolanmasına neden olur. Bu durum düzensiz plastik ya da termal gerinim sonrası söylenen ve bileşenleri çevreleyen kalıntı gerilme durumları ile aynıdır.

Bu üç yay benzetimi iki metal plakanın kaynaklanmasıyla oluşan farklı termal gerinim içeren gerçek bir örnek için uygulanabilir. Merkezdeki yay ısıl etkilenmiş bölgenin son durumunu ve dıştaki iki yay da çevredeki elastik malzemeyi ifade edebilir [6]. Ark kaynağının neden olduğu kalıntı gerilmelerin oluşumu kısa süreli elastik-plastik termal gerilme alanlarını ve metalürjik faz dönüşümlerini içeren çok karmaşık işlemleri kapsar [8].

İşleme, biçimlendirme, birleştirme, döküm ve kaplama gibi imalat işlemleri neticesinde oluşan düzensiz plastik deformasyonlardan ileri gelir. Bu işlemlerin

bazıları termal etkilerin sonucu olarak plastik ya da viskoplastik deformasyonlar oluşturur,

- Nitrüleme gibi kimyasal işlemler,
- Faz dönüşümüne neden olan ısı işlemler [9].

Metallerin soğuk şekillendirilmesi ve işlenmesi gibi işlemler düzensiz elastik-plastik deformasyonla bütünleşmiştir. Talaş kaldırma yoluyla metallere uygulanan bir çok biçimlendirme işlemi malzemenin yüzey topografyasında değişiklikler oluşturur. İş parçasından küçük metal parçacıklarının ayrılması kama biçimli kesici takımın kuvvetle iş parçasının içerisine batmasıyla sağlanır ve malzeme ilk önce elastik daha sonra da plastik olarak deforme olarak talaşın fiziksel ayrılmasını meydana getirir.

Bundan dolayı, iş parçası üzerinde yeni biçimlenmiş yüzey alt katmanların zorlamasıyla gerinmiş bir durumda kalır. Kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği (talaş kaldırma miktarı), malzeme özellikleri, takım geometrisi ve şartları, soğutma vb. gibi çeşitli parametrelere bağlı olan seviyeler alt yüzey kalıntı gerilme durumunun oluşumunu etkiler [10]. Eğer kısmi ısı oluşumu yüksek miktarda ise, faz dönüşümleri veya viskoplastik deformasyonlar da gerilmelerin son halini etkileyebilir [11].

2.3. KALINTI GERİLİM ÖLÇÜMÜNDE KULLANILAN TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ

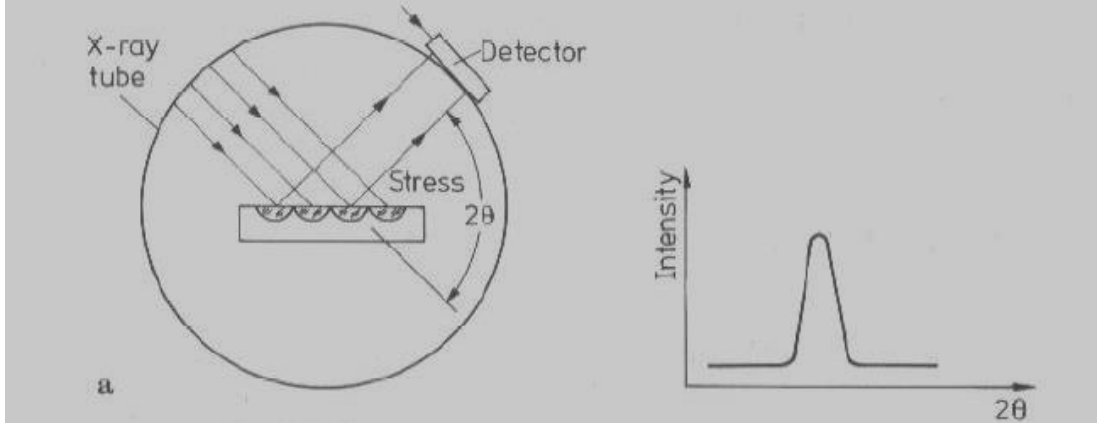
Kalıntı gerilim ölçümünde en çok kullanılan tahribatsız yöntem X-ışını kırınımıdır. Son yıllarda Manyetik Barkhausen yöntemi ile kalıntı gerilim ölçümlerinde de gelişme sağlanmıştır. Kalıntı gerilim ölçümünde kullanılan diğer tahribatsız muayene yöntemleri ise ultrasonik metot, nötron ışını kırınımı metodu ve Raman tayf ölçüm metodudur [1].

2.3.1. X-Işını Kırınımı Yöntemi

X-ışını kırınımı metodu kalıntı gerilimlerin bulunmasında oldukça doğru sonuçlar veren bir yöntemdir. Kristal yapı içerisinde bulunan atomik düzlemler arasındaki mesafe, uygulanan gerilimler veya malzeme içerisinde kalan kalıntı gerilimler sayesinde uzayıp kısalır. Bu mesafenin artması o bölgede oluşan bir çekme gerilimi ifade ederken mesafenin azalması ise basma gerilimlerin varlığını gösterir. X-ışını kırınımı yönteminde malzemeye gönderilen X-ışınları malzeme içerisindeki kristal düzlemlerden yansır. Bu sırada malzemeye gelen ışınların yönü değiştirilerek en çok yansımanın olduğu açı bulunur. Bulunan açı ve Bragg yasası kullanılarak iki atomik düzlem arasındaki mesafe hesaplanır. Malzeme içerisinde kalıntı gerilimler mevcutsa bu mesafe parçanın gerilim olmayan haline göre farklılık gösterir. Bu farklılık kullanılarak parçanın içerisinde kalan kalıntı gerilimler hesaplanabilir.

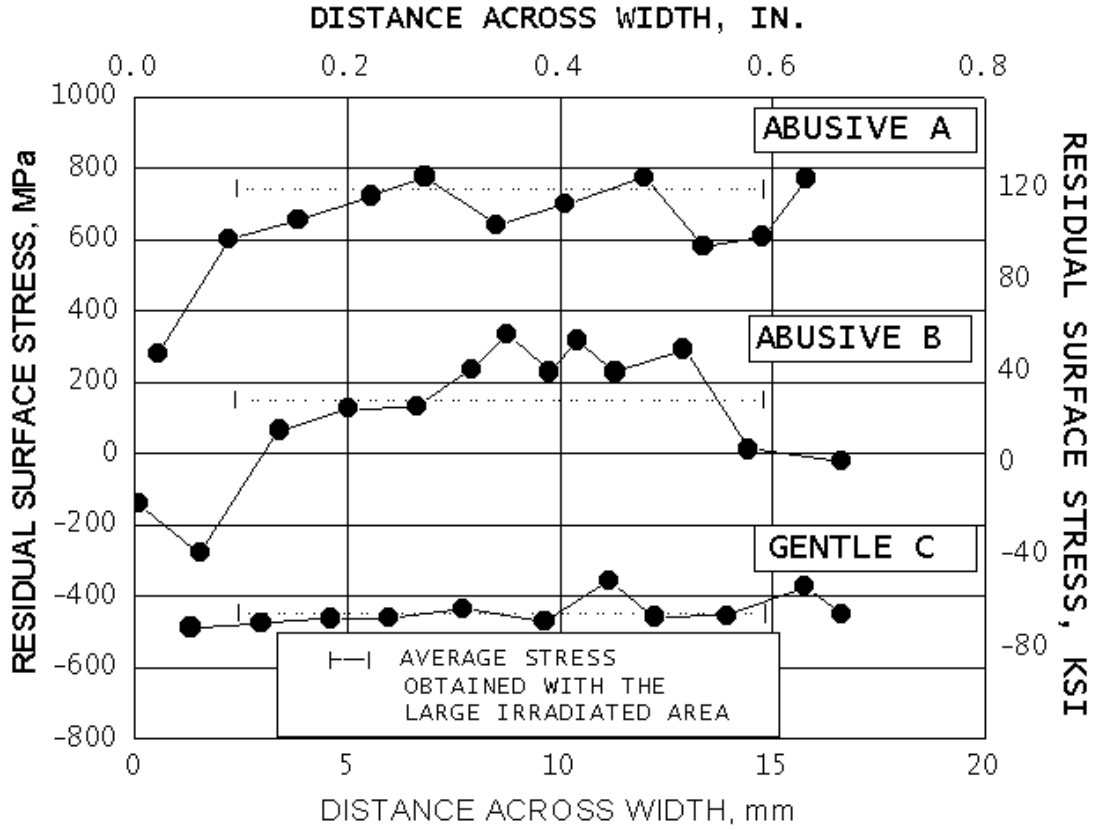


Şekil 2.4. Taşınabilir X ışını kırınımı; 1-yüksek voltaj kaynağı; 2-X-ışını tüpü; 3-ışın düzenleyici ünitesi; 4-kontrol ünitesi; 5-örnek.



Şekil 2.5. X-ışınımı kırınımı yöntemi şematik gösterimi.

Özellikle ince kaplamalarda 2-3 μm derinliğe kadar ölçümler yapılabilmektedir. Tahribatsız bir yöntem olması dolayısıyla birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bu uygulamalara ve sonuçlara örnek olarak taşlama işlemi sonucunda ortaya çıkan kalıntı gerilimlerin ölçülmesi örneğini verebiliriz.

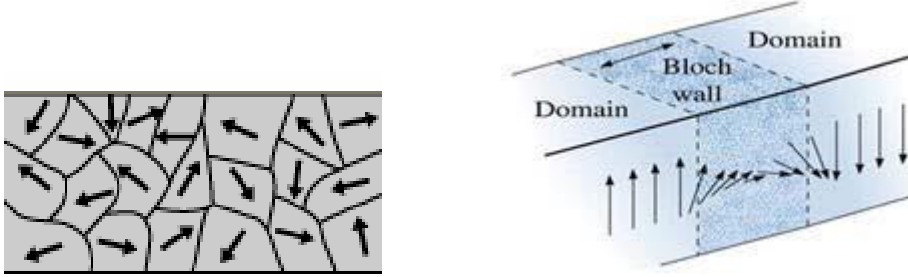


Şekil 2.6. SAE 4340 çeliğinde taşlama sonucu oluşan yüzey kalıntı gerilimlerinin X-ışını kırınımı yöntemi ile bulunması [12].

X-ışını kırınımı yöntemi, saha uygulamaları için çok uygun değildir. Bu yöntemle yapılan ölçümler uzun sürmekte ve cihazların fiyatları da diğer yöntemlere oranla daha fazladır. Günümüzde ise taşınabilir, hızlı ve daha ekonomik olan tahribatsız muayene yöntemlerine olan talep artmaya başlamıştır. Bu nedenle Manyetik Barkhausen Gürültüsü yöntemi bu alandaki araştırmaların başında gelmektedir.

2.3.2 Manyetik Barkhausen Gürültüsü Yöntemi

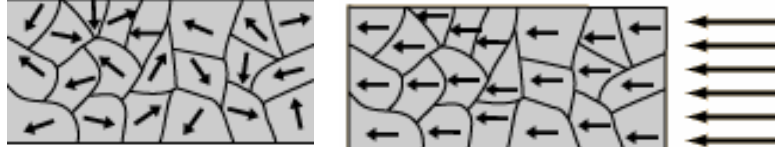
Barkhausen gürültüsü, ferromanyetik malzemeler içinde yer alan manyetik dipollerin hareket etmesi veya yönlendiği sonucunda ortaya çıkan ses sinyalleridir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, ferromanyetik malzemeler içlerinde manyetik dipollerin olduğu küçük bölgelerden oluşurlar. Bu bölgelere domen adı verilir. Domenler birbirlerinden domen duvarları sayesinde ayrılırlar. Domenler ferromanyetik malzeme içinde mıknatıslanmanın homojen olarak dağıldığı bölgelerdir ve boyutları yaklaşık olarak 0,1 mm.den birkaç mm 'ye kadar değişebilir. Bu bölgeler içerisinde, yaklaşık 1012-1018 adet manyetik dipol aynı yönde yönlenecek şekilde domen sınırlarını belirlerler. İki ayrı domen birbirlerinden domen duvarları (Bloch duvarları) ile ayrılır. Domenler içindeki iki farklı yöne yönlendiği manyetik dipoller bu duvarlar içerisinde birinden diğerine doğru yön değiştirirler.



Şekil 2.7. Ferromanyetik malzeme içindeki domenler ve manyetik dipoller.

Ferromanyetik malzemeler mıknatıslanmadan önce manyetik dipoller, domenler içerisinde karışık ve dağınık bir şekilde yönlendiği halde bulunurlar (Şekil 2.8.a). u sırada net manyetik alan şiddeti sıfırdır. Dışarıdan bir kuvvet veya manyetik alan uygulanmaya başlandığında başlangıçta dağınık halde bulunan manyetik dipoller

uygulanen kuvvet veya manyetik alan yönünde dönmeye başlarlar (Şekil 2.8.b). Dönme hareketi domen duvarlarının hareket etmesiyle gerçekleşir.



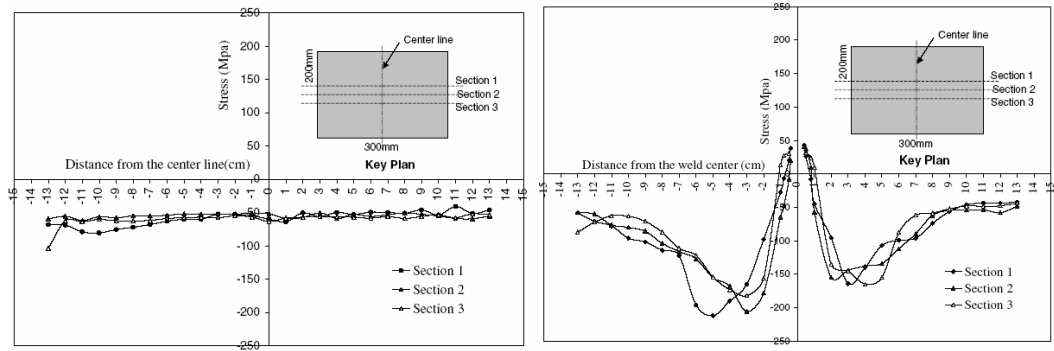
Şekil 2.8. a) Domenler dağınık durumda yönlendirilmiş, b) Manyetik alan uygulandıktan sonra domenler uygulanan alan yönünde yönlendirilmiş.

Bu metot magnetoelastik veya mikromagnetik metot olarak da adlandırılır. Ferromanyetik bir malzemenin mıknatıslanma sırasında oluşturduğu manyetik gürültüyü analiz ederek bir ölçüm yapar. Ölçüm derinliği 10 mm 'ye kadar ulaşabilir. Malzeme geometrisine göre özel olarak hazırlanabilen problemler aracılığı ile malzeme mıknatıslanırken aynı anda malzeme üzerinden ölçüm alınır. Bu ölçümler manyetik parametre (MP) cinsindedir. Ölçülen bu değerlerin gerilim değerlerini bulabilmek için ise ölçümleme eğrileri kullanılır. Bu eğriler ölçüm yapılacak malzemeyle aynı malzemeden imal edilerek bilinen gerilimlere karşılık gelen manyetik parametre değerleri bulunarak oluşturulur. Daha sonra bu eğriler kullanılarak parça içerisindeki kalıntı gerilim değerleri hesaplanabilir. Manyetik Barkhausen yöntemi ile kalıntı gerilimlerin yanı sıra ısıtılmalardan sonra veya kaynaklı imalat sonucunda oluşan mikro yapı değişiklikleri de bulunabilir. Genel olarak, ölçülen MP değerleri sertlik arttıkça azalır. Bunun yanında malzeme içinde bulunan çekme kalıntı gerilimleri MP değerlerini yükseltirken basma kalıntı gerilimleri ise düşürür.

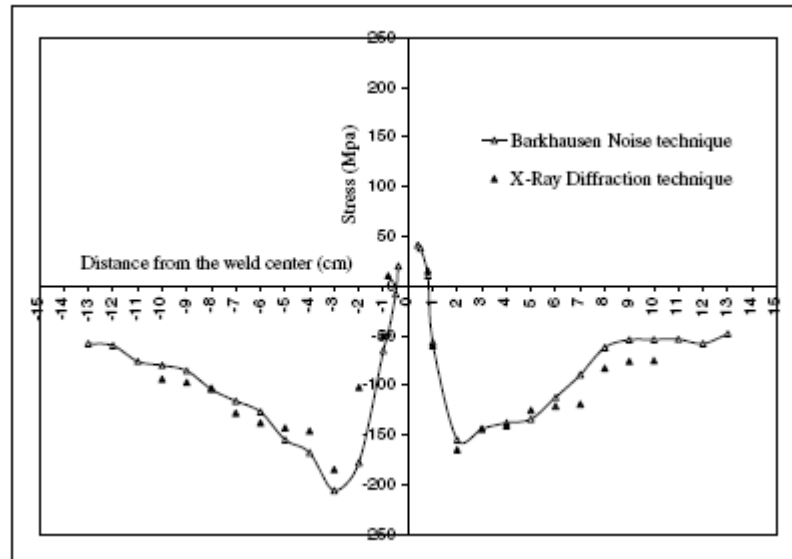


Şekil 2.9. Manyetik Barkhausen yöntemi.

Manyetik Barkhausen Gürültüsü yöntemi tahribatsız bir muayene yöntemidir. Bu nedenle kullanımda olan parçalarda bile güvenli bir şekilde kullanılabilir. Kolay kullanımı, hızlı sonuç verebilmesi ve taşınabilir olması nedeni ile günümüzde önemi daha da artmıştır. Bilinen diğer tahribatsız kalıntı gerilim ölçüm yöntemleriyle kıyaslandığında doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Manyetik Barkhausen gürültüsü yöntemi ile kaynaklı imalat (Şekil 2.10 ve 2.11) ve parça yüzeyinde basma kalıntı gerilimleri oluşturarak yorulma ömrünü arttırmak için uygulanan bilyeli dövme işlemleri sonucunda ortaya çıkan kalıntı gerilimler verimli bir şekilde ölçülebilmektedir.



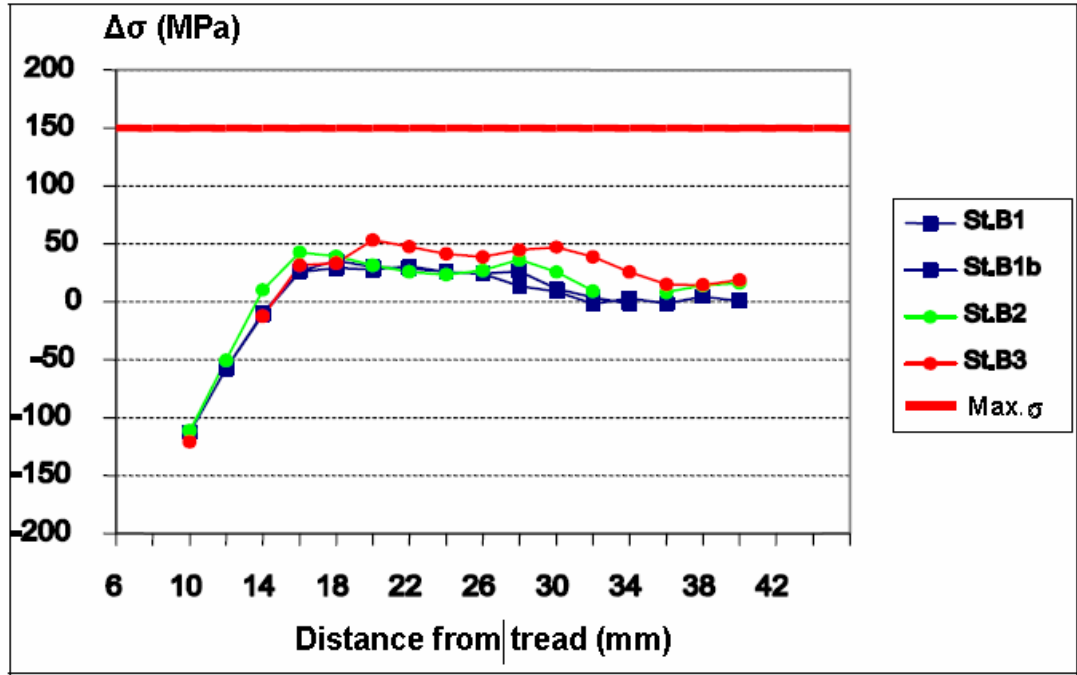
Şekil 2.10. Kaynaklı plakalarda kaynak işlemi sonrası kalıntı gerilim dağılımının Manyetik Barkhausen gürültüsü yöntemi ile bulunması [13].



Şekil 2.11. Kaynaklı plakalarda X-ışını kırınımı yöntemi ile Barkhausen gürültüsü yönteminin karşılaştırılması [13].

2.3.3. Ultrasonik Yöntem

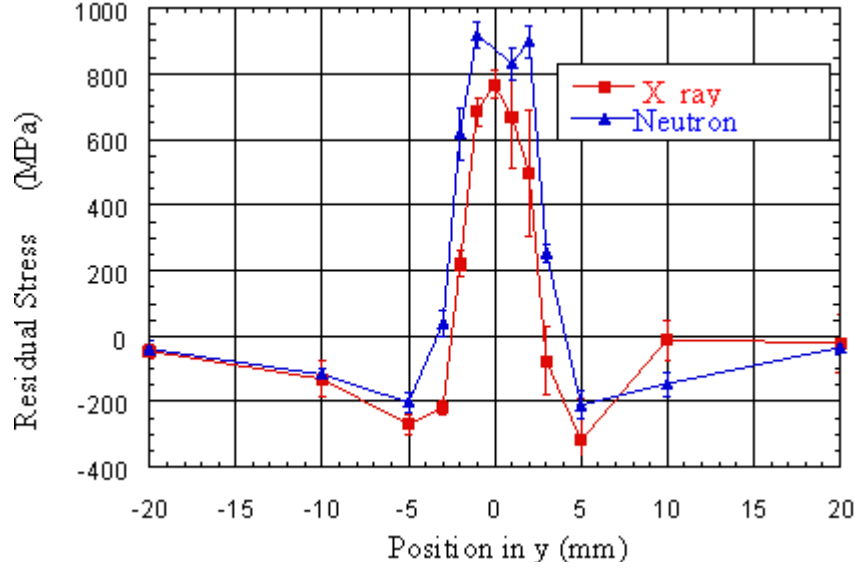
Ultrasonik yöntem, malzemede ilerleyen dalgaların (boyuna veya enine) hızlarının varolan gerilimlerden etkilenecek şekilde değişmesi prensibini esas alır. Malzeme içerisinde bulunan kalıntı gerilimler ses dalgalarının ilerlemesine engel oluşturdukları için ses dalgalarının hızlarını yavaşlatırlar. Bu sayede malzeme içerisinde ilerleyip arka yüzeyinden yansıyan ses dalgalarının gidiş geliş mesafesi gerilimsiz olan bir malzemeye oranla farklı olur. Bu farklılık toplam uçuş zamanı olarak ölçülebilir. Fakat bu fark nano saniye mertebesinde olduğu için ölçümü çok hassas cihazlar gerektirir. Ultrasonik yöntem kullanılarak makro kalıntı gerilimler malzemenin derinliğinden bağımsız olarak bulunabilir. Bunun yanında izotropik olmayan malzemelerde, yöne bağlı olarak ses hızları değişebildiğinden bu bölgeden alınan uçuş mesafesi farklılıklarını ayırt etmek oldukça zordur. Ayrıca mikroyapı değişikliklerinin olduğu bölgelerde de ses hızları değiştiğinden bu bölgelerde de bu farklılıkların ölçülmesi oldukça zorlaşmaktadır. Bu zorlukların dışında ultrasonik yöntem oldukça hızlı, kolay ve ucuz bir tahribatsız kalıntı gerilim ölçme yöntemidir. Bu nedenle ultrasonik yöntemle kalıntı gerilim ölçme üzerine çalışmalar sürdürülmektedir. Ultrasonik yöntemle kalıntı gerilim ölçümünde en sık kullanılan prob EMAT (Electro Magnetic Acoustic Transducer) problarıdır. Yüzeye temas etmeden de malzeme içerisine ses dalgaları gönderebilen bu problarla yüzey (Raigleigh) dalgalarını oluşturmak mümkündür. Ultrasonik yöntem ve EMAT probu kullanılarak tren tekerleklerinde üretim sırasında oluşan kalıntı gerilimler ölçülebilmektedir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Ultrasonik yöntem kullanılarak tren tekerleklerindeki kalıntı gerilimlerin ölçülmesi [15].

2.3.4. Nötron Işınımı Kırınımı Yöntemi

Nötron ışını kırınımı yöntemi, X-ışını kırınımı gibi malzemenin kristal yapısındaki atomik düzlemler arasındaki mesafeyi ölçerek kalıntı gerilimlerin hesaplanmasını sağlar. Fakat, bu yöntemde malzemeye X-ışınları yerine daha yüksek enerjili nötronlar gönderilir. Bunun sonucunda malzemenin daha derin noktalarından ölçümler alınabilir. Ölçüm derinliği alüminyum için 250 mm 'ye çelik için ise 37 mm 'ye kadar ulaşabilir. Bu yöntem, sadece laboratuvar ortamında gerçekleştirilebilmektedir ve kullanılan cihazlar oldukça pahalıdır. Bu nedenle genellikle araştırma geliştirme çalışmalarında kullanılmaktadır.



Şekil 2.13. Kaynaklı plakalardaki kalıntı gerilimlerin Nötron ışını kırınımı ve X-ışını kırınımı sonuçlarının karşılaştırılması [16].

2.3.5. Raman Tayf Ölçüm Yöntemi

Raman tayf ölçüm yöntemi malzeme üzerine gönderilen lazer ışınlarının malzeme ile etkileşimini ölçerek kalıntı gerilimlerin bulunması sağlar. Malzemeye gönderilen lazer ışınları atomların titreşmesine neden olur. Saçılan ışınların incelenmesi sonucunda malzemenin fiziksel ve kimyasal yapısı hakkında bilgi edinmek mümkün olur. Raman tayf ölçüm metodunda çözünürlük çok fazladır ve genellikle yüzey kalıntı gerilimlerin ölçümünde kullanılır. Günümüzde Raman tayf ölçümü üzerindeki çalışmalar daha çok kompozit malzemelere uygulanabilirliği üzerinde devam etmektedir.

2.4. KALINTI GERİLİM ÖLÇÜMÜNDE KULLANILAN TAHRİBATLI MUAYENE YÖNTEMLERİ

Tahribatlı tekniklerde, mekaniksel işlemler sonucunda, parçada oluşan yeni gerilme denge durumuna göre kalıntı gerilmeler belirlenir. Bu gerilmelerin ölçümünde genellikle gerinim ölçer kullanılır. Delik delme ve katman kaldırma yöntemleri en sık kullanılan tahribatlı kalıntı gerilme ölçüm teknikleridir. Bunların başlıcaları;

- Delik Delme Metodu (Hole Drilling Method)
- Yüzük Delme Metodu (Ring Core Method)'dur.

2.4.1. Delik Delme Metodu (Holl Drilling Method)

Delik delme metodu kalıntı/kalıcı gerilmelerin ölçülebilmesi için kullanışlı ve etkili bir yöntemdir. İlk olarak Mathar tarafından 1934 yılında geliştirilmiştir. Yarı tahribatlı kalıntı/kalıcı gerilme ölçme tekniği olarak da adlandırılır. ASTM E 837'ye göre standartlaştırılmıştır. Bu yöntem ile yüzeye yakın kalıntı/kalıcı gerilmeler oldukça hassas bir şekilde ölçülebilir. Ölçüm hassasiyeti delme derinliğine bağlı olarak değişir. Artan delme derinliği ile ölçüm hassasiyeti azalır. Delme derinliği yaklaşık olarak gerinim ölçer dairesi çapının (D) yarısını geçmemelidir.

Kalıcı gerilme ölçmede kullanılan delik delme metodu bir bileşenin yüzeyine yapıştırılmış üç gerinim ölçer rozetin merkezinden bir deliğin delinmesi esasına dayanır. Ayrıca yukarıdaki bölümlerde serbest yüzeylere dik gerilmelerin bu serbest yüzeylerde daima sıfır olacağına dikkat çekilmiştir. Sonuç olarak, eğer gerilmeli bileşenin yüzeyinde bir delik meydana getirilirse, bu deliğin kenarındaki radyan gerilmeler sıfıra indirgenir. Gerilmelerin yeni bir dağılımı genel olarak deliğin etrafında meydana gelir. Deliğin yüzeyindeki radyal gerinim tamamen gevşeyecektir, fakat gerilimdeki bu değişimleri doğrudan ölçmek için deliğe yeterince yakın gerilim ölçer elemanlarını yerleştirmek uygulanabilir değildir.

Gerinim ölçerler rozetteki delikten yüzeye sınırlı bir mesafede yerleştirilmiş ve gerçek kalıcı gerilme hesaplanacağı zaman bu ofset mesafesi uygun toleranslar içinde olmalıdır. Gerinim ölçerler delinecek deliğin merkezi etrafında çevresel olarak 0°, 90° ve 225°'lik açılarla değişmeyecek şekilde yerleştirilir ve rozetin merkezinden eşit aralıklarla çıkarılan bu açı uzantıları deliğin merkezi ile çakışacak şekildedir.

Gerilim ölçerler iki tabaka kâğıt ya da plastik arasına yerleştirilen yaprak biçimli çok ince kalınlıklı levha/küçük çaplı telden oluşur. Genellikle 0.03 mm çaplı tel ya da 0.003 mm kalınlıklı yaprak levha kullanılır. Ölçer pullar dış yüzeyden ölçüm yapılacak yüzeye yapıştırılırlar. Yük etkisi altında söz konusu yüzeyde şekil değişimi

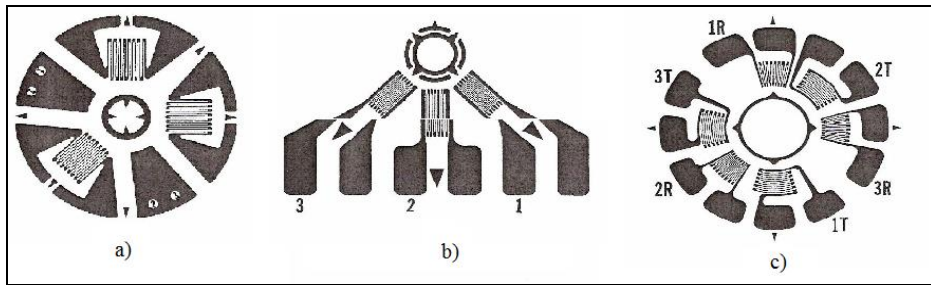
olduğunda tel ızgara yüzeyle birlikte uzar yada kısılır. Bu boy değişimi ölçerin elektriksel direncinde değişime yol açar. Ölçerin uçlarına bağlanan bir akım köprüsü elektrik direncindeki değişimi uzunluk değişimine dönüştürür. Bu amaçla kullanılan akım köprüsüne Wheatstone köprüsü adı verilir [5].

Bu yöntemde normalde delik delindikten sonra gerilmeler ölçülür fakat buna rağmen delik delinirken de belirli aralıklarda da gerilimi ölçmek mümkündür.

Asağıda ASTM E837-08 standartlarında verilen ve delik delme yöntemi ile kalıntı gerilme ölçmekte kullanılan gerilim ölçerler görülmektedir.

Delik çapı en az, maksimum çapın %60 kadar olmalıdır. Ayrıca numune üzerinde birden fazla ölçüm alınacak ise, delikler arası mesafenin en az delik çapının altı katı olması önerilir. Yöntemin uygulanışı altı temel adımdan oluşur.

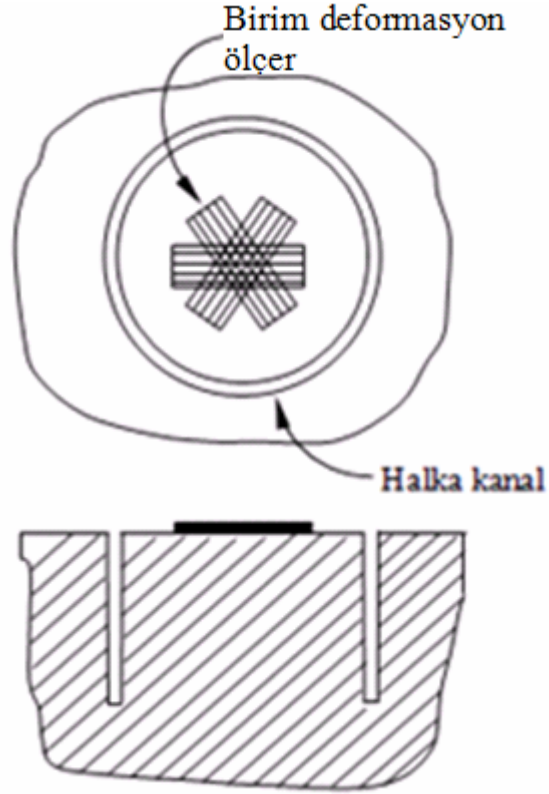
- Malzemede, kalıntı gerilmelerin ölçüleceği noktaya RGÖ yapıştırılır,
- Ölçerler kablolarla bir gerinim indikatöre bağlanır [3].
- Yüksek hızlı bir delici hassas bir şekilde rozetin delik merkezine yerleştirilir,
- Gerinim ölçerlerin algıladığı gerinim değerleri sıfırlanır ve RGÖ üzerindeki delme işlemi gerçekleştirilir,
- Delme işlemi ile birlikte adım adım gerinimler daire merkezinden okunur,
- Çeşitli analitik işlemler veya paket programlar yardımıyla, belirlenen gerinimlerden asal ve aksenal gerilmeler ile asal gerilmelerin oluştuğu açı bulunur.



Şekil 2.14. Delik delme yöntemi ile kalıntı gerilme ölçümünde kullanılan rozetler a) Üç elementli 120°'lik direnç ölçme rozeti b) Üç elementli 90°'lik direnç ölçme rozeti c) Altı elementli rozet.

2.4.2. Halka Çekirdek Metodu (Ring Core Method)

Halka çekirdek metodu, delik delme yönteminin değişik bir biçimidir. Halka çekirdek metodu, delik delme yönteminin değişik bir biçimidir. Bu yöntemde delik delme yöntemindeki gibi rozet içerisinde bir delik delinmesi yerine rozet'in dış çevresine halka şeklinde bir kanal açılmaktadır. Halka çekirdek yöntemi Şekil 4.6'da sematik olarak gösterilmiştir [17].



Şekil 2.15. Halka çekirdek yöntemi [17].

Bu yöntem ile delik delme yöntemine göre daha büyük birim deformasyon gevşemeleri ölçülebilmektedir. Yöntemin hassasiyeti delik delme metoduna göre daha yüksektir [17].

soy gaz koruması altında yüksek akım yoğunluklarında ince elektrotla gerçekleştirilen bir kaynak yöntemi olarak benimsenmiş ve temelde alüminyum kaynağında kullanılmıştır. Ergiyen metal elektrot ve soy gaz kullanılması nedeniyle yönteme MIG (Metal Inert Gaz) kaynağı adı verilmiştir. Yöntemde daha sonra daha düşük akım yoğunluklarıyla ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO₂) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler, aktif koruyucu gazın kullanıldığı yönteme MAG (Metal Active Gaz) kaynağı adının verilmesine neden olmuştur. Bu ad ayırımı sadece yöntemin adını belirtmek isteyenlerde sıkıntı yaratmış ve bu nedenle çeşitli ülkeler yöntemi belirtmek amacıyla değişik adlar kullanmaya başlamıştır. Amerika da bu yönteme “GMAW – Gaz Metal Ark Kaynağı”, İngiltere ve Almanya’da “MIG/MAG Kaynağı” adı verilmektedir. Ülkemizde de, “Ergiyen Elektrotla Gazaltı veya MIG/MAG Kaynağı” adları kullanılmaktadır [19].

3.1. MIG MAG KAYNAK DONANIMI

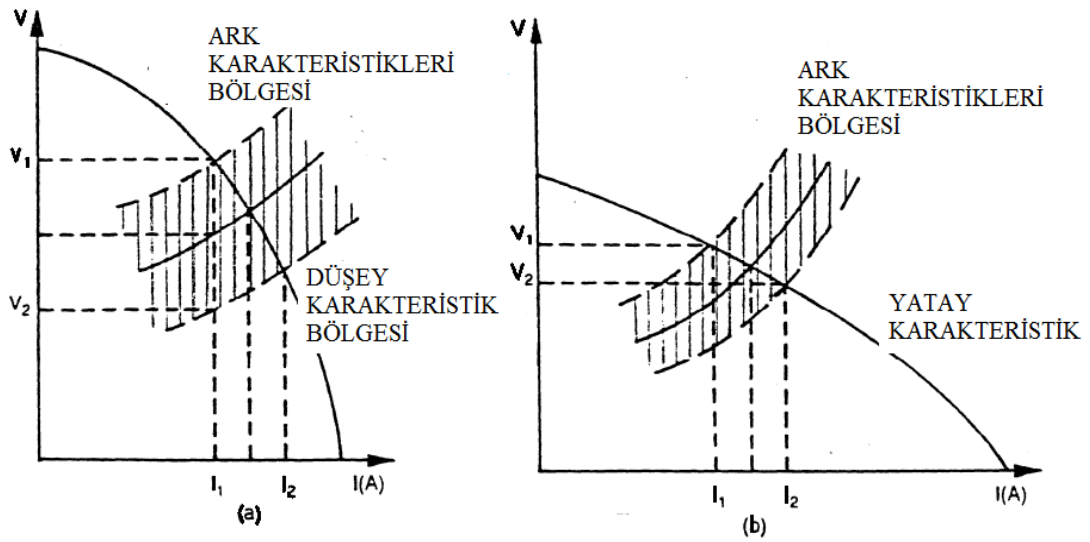
MIG/MAG kaynak donanımı şu kısımlardan oluşur.

- Kaynak tabancası diye adlandırılan kaynak torcu
- Tel şeklindeki elektrot ve muhafazasını, kaynak ve şalter kablosunu, gaz hortumunu ve gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli hortum; torç bağlantı paketi
- Tel şeklindeki elektrodun hareketini sağlayan tertibat.
- Kaynak akımının geçişini, soğutma suyunun devreye girişini, koruyucu gazın akışını ve telin hareketini sağlayan kumanda dolabı.
- Kaynak akım üretici
- Üzerinde basınç düşürme ventili ve gaz debisi ölçme tertibatı bulunan koruyucu gaz tüpü [20].

3.2. MIG/MAG KAYNAĞI AKIM ÜRETEÇLERİ

MIG/MAG kaynağında kullanılan kaynak akım üreteçlerinin V karakteristiği örtülü elektrot ile yapılan elektrik ark kaynağı ve TIG kaynağında kullanılan akım

üreteçlerinden çok farklıdır. MIG/MAG kaynak yönteminde kullanılan akım üreteçleri yatay karakteristiktir; Sabit gerilimli diye de adlandırılan bu kaynak akım üreteçlerinde, gerilimin tamamen sabit tutulması mümkün olmadığı gibi aynı zamanda mahzurludur. Zira böyle bir üreteçte elektrot iş parçasına temas ettiğinde gerilim düşecek ve akım şiddeti sonsuz yükselecektir ve bu da elektrot ucunda ani bir patlamaya ve şiddetli sıçramaya neden olur; bu bakımdan bu tür kaynak akım üreteçlerinde her 100 amper için azami 7 V kadar ark gerilimi düşümüne müsaade edilir; bu değer kaliteli üreteçlerde 2 ila 5 V arasındadır.



Şekil 3.2. Kaynak akım üreteçlerinde V – I karakteristiği a) Düşey karakteristik (TIG ve elektrik ark kaynağı için) b) Yatay karakteristik (MIG/MAG kaynağı için).

Bu tip kaynak akım üreteçlerinde iç ayar diye isimlendirilen ark boyu ayarı vardır. Bu tip üreteçlerde ark gerilimi ve tel ilerleme hızı\e buna bağlı olarak da akım şiddeti ayarlanır. Bu tür makinelerde tel ilerletme motoru, seçilmiş sabit bir devirde döner, yani diğer bir deyimle tel hızı sabittir.

3.3. KORUYUCU GAZLAR

Gazaltı kaynak yöntemlerinin üç tür sarf malzemesi vardır, bunlar elektrik enerjisi, koruyucu gaz ve kaynak metalidir. Kaynak telinin kimyasal bileşimi ve koruyucu gazın türü kaynak metalinin bileşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli

faktörlerdir. Bütün gazın kaynak yöntemlerinde olduğu gibi koruyucu gazın MİG – MAG yönteminde ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gereklidir.

MİG - MAG kaynağında inert ve aktif gazlar veya bunların çeşitli oranlarda karışımı kullanılır. Genel olarak asal gazlar, reaksiyona girmediklerinden demir dışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif ve asal gaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında uygulama alanı bulmaktadır. Kaynak işlemi için gaz seçiminde çeşitli faktörlerin göz önünde bulundurulması gereklidir;

Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Kaynatılan metal veya alaşımın türü,
- Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi,
- Kaynak hızı,
- Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi,
- Tedarik edilebilirlik ve gazın maliyeti,
- Kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler.

3.4. KARIŞIM GAZLAR

Ark atmosferinin karakteri, kullanılan çeşitli gaz ve gaz karışımlarına bağlı olarak değişir. He ve Ar karışımları koruyucu gaz olarak yukarıda belirtilmiş olan özellikleri karışım oranına göre gösterirler. Argon gazına az miktarda Oksijen, çeşitli oranlarda CO₂ ilave ederek karışım gazlar elde edilir [20]. Çalışmasını yaptığım MIG/MAG kaynağında % 50 oranında CO₂ kullanılmıştır.

BÖLÜM 4

GEMİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN SAC MALZEMELER

Yapı çeliği; endüstriyel binalarda, köprü ve demiryollarında, geçici ve kalıcı zemin altyapı projelerinde, denizde yapılan dalgakıranlarda, gemi yapımında, şehirlerarası elektrik kabloları taşıyan direklerde, petrol ve gaz offshore platformlarda, çok amaçlı sosyal tesisler, ticari yapılar, binaya yük bindirmeyen çatı katları gibi alanlarında kullanılmaktadır [21].

Gemiler, çok çeşitli ve karmaşık yapıya sahip deniz yüklerine maruz kalırlar. Bu yükler altında hareket eden bir gemide, hem enine hem de boyuna gerilme ve sekil değiştirmeler meydana gelir. Bu gerilme ve sekil değiştirmeleri karşılayabilmesi, geminin dayanıklılığı açısından önemlidir. Bu yüzden, gemi inşasında kullanılan yapı malzemelerinden istenen özellikler, gemi üzerine gelecek çekme, basma ve kesme gerilmelerini karşılayabilme özelliği, sertliği, sünekliği, kırılganlığı, yorulmaya dayanımı, yoğunluğu ile yanma mukavemeti vb. özelliklerdir.

Gemilerde kullanılan yapı çeliklerinin kaynağa uygunluğunda dikkate alınması gereken en önemli husus çelikteki karbon miktarıdır. Çelikteki karbon miktarı % 0,2'nin üzerine çıktığında, ön tavlama ve kaynaktan sonra son tavlama gibi önlemlerin alınması gerekmektedir [22]. Gemi yapımında diğer endüstriyel sektörlerden farklı olarak daha kalın levhalı yapılar kullanılmaktadır. Farklı yapılara sahip konstrüksiyonlar farklı malzemeler ve kaynak yöntemleri gerektirmektedir [23]. Gemi inşa çeliklerinin yapısı ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, uygun kaynak yöntemi ve dolgu metalinin seçimi, kaynak esnasında yüksek ısı sonucunda oluşan deformasyonların nedenleri ve çareleri, kaynak planları ve kaynak parametrelerinin seçimidir. Üretimde uygun kaynak yöntemi seçimine ve kaynak kalitesinin kontrolüne dikkat edilmeli, yapılacak kaynak uzunlukları ve sırası önceden tespit edilmelidir. Nüfuziyet durumu, kaynak pozisyonu, elektrot verimi,

ergime gücü, malzeme özellikleri uygun kaynak yöntemi seçilmeli ve uygulanmalıdır [24,25].

Gemi yapımında ilk olarak kullanılan örtülü elektrotla ark kaynağı; kolay uygulanma şekli, kullanımı kolay makinelerle olması sebebi ile yaygın olarak kullanılmaktadır [20,26]. Elektrod örtüsü de aynı anda yanarak erir. Bu esnada açığa çıkan gaz ark bölgesini korur ve oluşan cürufta kaynak dikişini örterek kaynak bölgesinin korunmasını sağlar [27]. Örtülü elektrotlar ile ark kaynağı ilk kaynak yöntemi olması nedeniyle gemi üretiminde kullanılmasının yanında, zamanla bu kaynak yöntemin dezavantajları nedeniyle yarı-otomatik bir yöntem olan gazaltı kaynak yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır [20].

Gazaltı kaynak yönteminin avantajları arasında; elektrot değişimleri için harcanan zamanın ortadan kaldırılması, kaynak başlangıç ve bitişinde sıkça karşılan gözenek, krater çatlağı hatalarının önüne geçilmesi, yarı-otomatik olan bu yöntemin kaynakçılar tarafından uygulamasının kolay olması, derin nüfuziyet elde edilmesidir [28]. Otomatik taşıyıcı sistemlere ve kaynak robotlarına adaptasyonun mümkün olması nedeniyle gazaltı kaynak yöntemleri tersanelerde en çok kullanılan yöntemlerden biri olmuştur

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. DENEY MALZEMELERİNİN HAZIRLANMASI

Bu çalışmada 7 mm kalınlığındaki Grade A gemi sacı paslanmaz çelik plakalara 45⁰ lik kaynak ağzı Şekil 5.1 de görüldüğü üzere açılmıştır. Hazırlanan plakaların kaynak esnasında ısıl etkilerden dolayı oluşabilecek kalıntı gerilim veya çarpılmaya sebebiyet vermemek için mengene sistemine kaynak yapılacak saclar yerleştirilerek sabitlenmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.1. Kaynak ağzı için planyada işlem.

Kaynaklı bağlantıda kullanılan MİG/MAG kaynağı parametrelerinde telin hızı 7,5 mm/s olarak belirlenmiştir. 24 volt 250 amper'lik enerjiyle yaklaşık cm de 44 kj enerji oluşmaktadır. Bu ısı enerjisi kaynak bölgesinden uzaklaştıkça metal içerisinde basma ve çekme gerilimleri oluşturmaktadır (Çizelge 5.2).



Şekil 5.2 MIG-MAG kaynak için hazırlık.

Kaynak esnasında ısı enerjiden dolayı kalıntı gerilimin daha iyi ölçülmesi ve kaynaktan hemen sonra çarpılma (distortion) oluşmaması için basit bir sistem yapılmıştır (Şekil 5.2).



Şekil 5.3. Kaynak yapılmadan önce plakaların yerleştirilmesi.

Şekil 5.4'te görüldüğü üzere kaynak işlemi bittiğinde gözle yapılan ilk incelemede kaynak bölgesinden uzaklaştıkça renk değişimi gözlenmektedir. Gerilim ölçer rozetlerin yüzeye yapıştırılması için yerleştirilmesi ve ölçümün doğru olması için sac plaka temizlendiğinden kaynak sonrası renk değişimi net görülmektedir.



Şekil 5.4. Kaynaktan sonraki plakalar.

5.2. NUMUNELERİN MIG/MAG KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLMESİ

Grade A gemi sacı paslanmaz çelik plakalara MIG–MAG gaz altı kaynak makineleri kullanarak alın kaynağı yapılmış ve dolgu teli olarak Çizelge 5.1 deki malzeme kullanılmıştır. Kaynak parametreleri Çizelge 5.2 deki gibidir. Bu numunelerin kaynak hatalarına sebebiyet vermemek için Karayolları Atölyelerinde kapalı alanda yapılmıştır. Alın kaynağı yapılan metal sacların arasında 1 -2 mm boşluk bırakılarak kaynağın daha iyi nüfus etmesi sağlanmıştır (Şekil 5.3).

Çizelge 5.1. Grade A gemi sacı çelik plaka ve dolgu malzemesi kimyasal ve mekanik özellikleri.

Malzeme	C	Mn	P	S	Si	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Grade A	0,21	0,68	0,035	0,035	0,35	290	420	15
Dolgu Malzemesi	0,05	1,3	<0,015	<0,015	0,5	480	680	22

Çizelge 5.2.Kaynak parametreleri.


Kaynak Paso Sayısı	Voltaj (V)	Amper (A)	Koruyucu Gaz	Kaynak Teli Hızı (mm/s)	Isı Girişi (kJ/cm)
Tek sefer	24	250	Argon + CO ₂	7,5	44

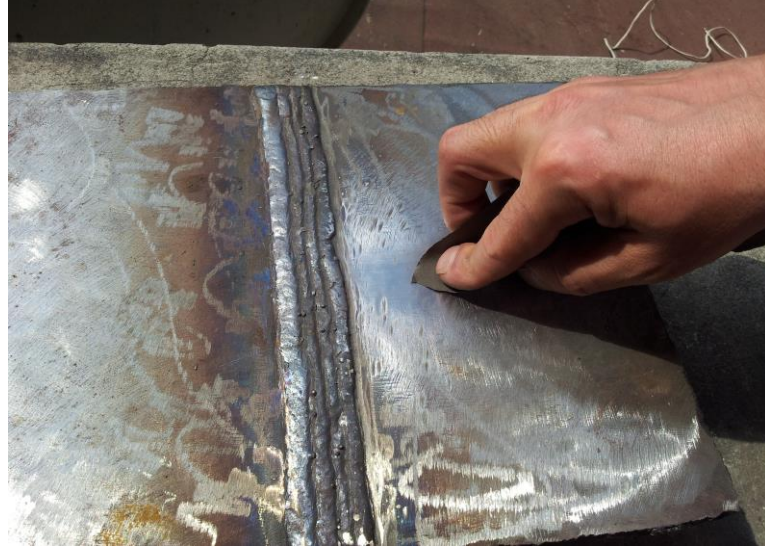
Kapalı atölye ortamında çizelge 5.2. verilen parametrelere göre gemi sacına alın kaynağı yapılmış ve tabii soğuma aşamasından sonra mengene sisteminden çıkarılmıştır.

5.3. GERİLİM ÖLÇERLERİN YERLEŞTİRİLMESİ

Amacımız kaynak esnasında termal etkiye maruz kalan plakanın kaynak noktasından başlayarak geriye doğru oluşan kalıntı gerilimi ölçülmesidir. Ölçüm için EA-06-062RE-120 model rozet tipi 4 adet gerilim ölçer kullanılmıştır. Her bir Rozette Gerilim ölçerler kalıntı gerilmesi ölçülecek noktada 0⁰, 45⁰ ve 90⁰lik açılarda yerleştirilmiştir. Kullanılan gerilim ölçerlerin özellikleri Çizelge 5.3.'de verilmiştir. Kullanılan rozetler 2 mV hassasiyetinde olduğu için tüm uygulama esnasında aşırı özen gösterilmiştir. Gerilim ölçer yapıştırmadan önce yapıştırılacak yüzey önce kalın sonra ince zımpara ile zımparalanır. İnce zımpara yaparken tek yönde zımparalanmıştır. Yüzey temizlemesi esnasında aşırı kaygan yüzey istenmemektedir. Gerilim ölçerin yapıştırılabilmesi için tek yönde zımparalandığında hafif honlanmış yüzey oluşması sağlanmıştır. Gerilim ölçer yapıştırma esnasında kullanılacak diğer yüzey temizleme sıvıları, yapıştırıcı ve yapışmayı hızlandırıcı sıvı kullanılmıştır.

Çizelge 5.3. Gerilim ölçer özellikleri.

Rozet Gerilim Ölçer	Ölçme boyu (mm)	Ölçme merkez dairesi çapı (D) (mm)	Delik çapı (D ₀) (mm)	Ölçme faktörü (K)	Direnç (Ω)
EA-06-062RE-120 	1,57	5,13	maks. 2	2,09	120 (±0.2%)



Şekil 5.5. Kaynak edilmiş gemi sacı üzerinin zımparalanması.

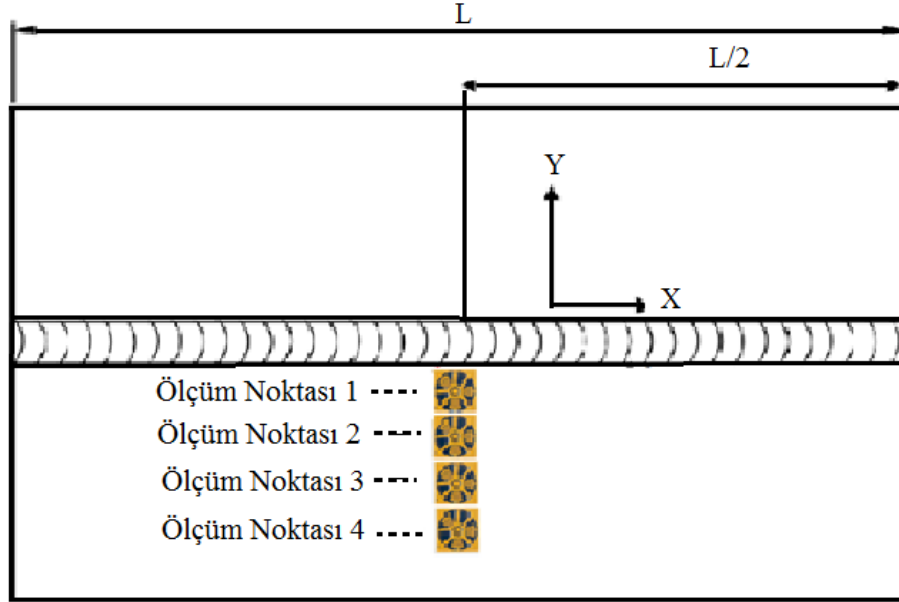
Kaynak bölgesine en yakın noktadan gerilim ölçerleri yapıştırabilmek için yüzeyin uygun hale getirilmesi sağlanmıştır (Şekil 5.5.). Zımparalama işlemi belli bir yönde yapılmıştır. Daire çizilerek yapılmamalıdır. Bu sayede tek yönde ve kaba zımparadan ince zımparaya geçilerek çok parlak olmayan honlanmış bir yüzey elde edilmiştir.



Şekil 5.6. Kaynak edilmiş gemi sacı üzerinin temizlenmesi.

Zımpara ile honlanan yüzey çok iyi temizlenmiştir. Gerilim ölçer firmaların imal ettikleri temizleme sıvıları ile veya aseton ile yüzey çok iyi temizlenmiştir. Yüzey

temizliği pamuklu veya çok temiz bezle kimyasal kullanarak leke kalmayınca kadar temizlenmiştir.



şekil 5.7. Kaynak edilmiş gemi sacı üzerine gerilim ölçer şematik yerleşimi.

Gerilim ölçerlerin yüzeye yapıştırılacak yerler temizlendikten sonra Y eksenini boyunca kesinlikle el deymeden üreticilerin uygun yapıştırıcısıyla şekil 5.7. de ki gibi yapıştırılmıştır.



şekil 5.8. Kaynak edilmiş gemi sacı üzerine gerilim ölçer yerleşimi.

Gerilim ölçerin imalatçıların kendilerine göre yüzey temizleme sıvıları mevcuttur. Fakat aseton kullanılarak, pamuklu kulak temizleyiciyle yüzey temizlenmiştir. Bu işlem pamukta en küçük leke dahi kalmayınca kadar yapılmıştır. Yüzey temizlendikten sonra ne yüzeye nede rozete el ile temas olmamalıdır. Gerilim ölçer için özel imal edilen yapıştırıcı ve hızlı yapışmasını sağlayan sıvı rozetin altına sürülerek üzerine kuvvetlice 1 dakika boyunca baskı uygulanmıştır. Rozet yapıştıktan sonra ohm metre ile 120 ohm olduğu mutlaka ölçülür.

5.4. GERİLİM ÖLÇERLERE KABLO BAĞLANTISININ YAPILMASI

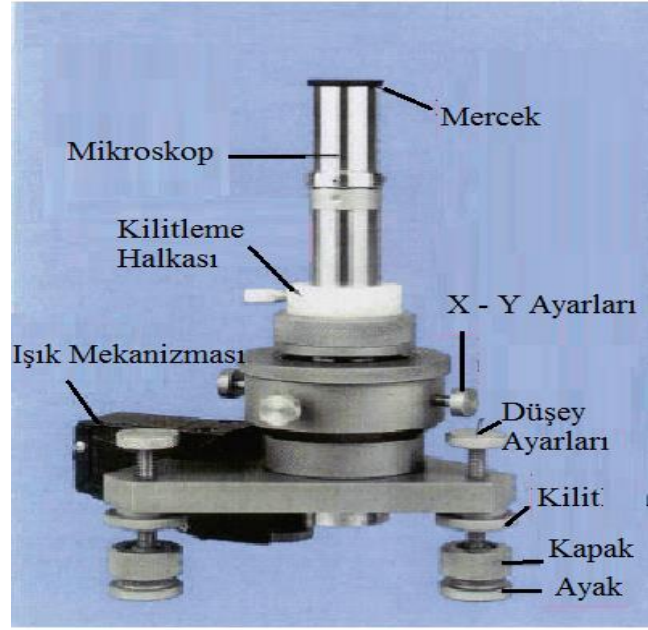
Rozet üzerinde 0, 45 ve 90 dereceler ile yerleştirilen gerilim ölçere lehim ile üç adet kablo bağlantısı yapılır. 2 kablo gerilim ölçerin bir ayağına, diğer kablo diğer ayağına lehimlenmiştir. Gerilim ölçerlerin üzerinde yazılı numaralara çok dikkat etmek gerekir. Kablolar verilerin işleneceği bilgisayar programı tarafından algılanabilmek için özel bir cihaza bağlanmıştır. Bir defada 4 adet gerilim ölçer bağlanabilir. Bizim kullandığımız rozette 3 adet gerilim ölçer vardır. Her bir gerilim ölçer için 2 ayağa lehimlenmiş 3 kablo bu cihaza bağlanmış ve bağlantı biçimi Şekil 5.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Rozetteki gerilim ölçerlere kablo bağlantılarının görünümü.

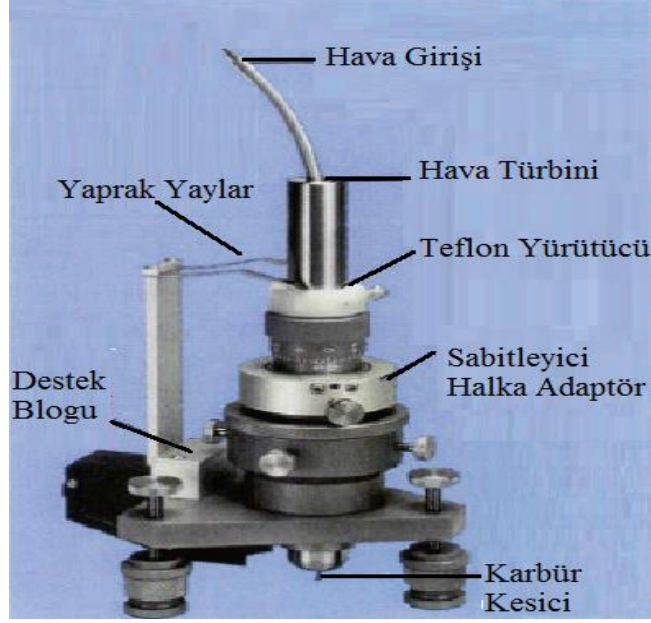
5.5. GERİLME ÖLÇMEDE SİSTEMİN KURULMASI

Plakalar üzerine belirli mesafelerde yerleştirerek ASTM 837 – 08 e göre deney hazırlanmıştır..ASTM 837 – 08 Delik Delme metodun deney esnasında yapılması gereken standardı belirlemiştir. Delik Delme metot için kullanılacak ekipmanlar özellikli olup Şekil 5.10 de belirtilmiştir.



Şekil 5.10. Delik delme deney setleri ayar mekanizmaları [29].

Gerilim ölçerin gemi sacı üzerine yapıştırılmasından sonra delik delme işlemini yapacak freze deney seti sacın üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 5.9). Her bir gerilim ölçerin tek tek delik delme işlemi yapılacağından gerilim ölçerin bağlantı kablolarının yönlerinin iyi ayarlanması gereklidir. Deney setinin hızla dönen frezeden etkilenmemesi için ayaklarına özel kalın çift taraflı yapışan bantlarla sabitlenmiştir. Delme işleminden önce mercek bölümünden freze ucunun gerilim ölçerin tam ortasında olduğuna dikkat edilerek sabitlenmiştir (Şekil 5.13 - Şekil 5.14).



Şekil 5.11. Delik delme deney setleri çalışmaya hazır mekanizma [29].

Deney seti mikroskopa sabitlendikten sonra yaprak yaylar ile destek bloğu sayesinde sabitlenmiştir. Mikroskop çıkarılarak sabitleyici adaptör, yukarı aşağı ince ayar aparatı ve hava türbini yerleştirilmiştir. Hava türbininde gerilim ölçerin ebatlarına göre freze uç takılmıştır.



Şekil 5.12. Kabloların girişlere takılması.



Şekil 5.13. Gözetleme merceğinden bakış.

Çift olarak lehimlenen kablo yan yana cihazın soketine tutturulur (Şekil 5.8). Diğer tek olan ise cihazın yan yana yerleştirilen kabloların sol tarafına tutturulur. Üçayak üzerine sabitlenen ünite deney plakasına tam yerleştirilir ve gerilim ölçer, mikroskop tüpün üstündeki mercekle tam ortalanır (Şekil 5.13).

5.6. ÖLÇME İŞLEMİNİN YAPILMASI

Gerilim ölçerin delik çapına uygun freze uç seçilir. Freze uç hava türbinin ucuna sabitlenmiştir. Hava türbinini yaklaşık dakikada 50.000 ila 400.000 devir ile döndürülür. Tabii üçayaklı düzenek ayakları çift taraflı yapışkan olan kalın bantla sabitlenir. Delme işi 8 aşamada 0,25 mm aralıkla yapılmıştır. Her aşamada freze uç kontrol edilir. Delik delme metodunda 2 mm derinlikten fazla delme yapılmaz ve veri alınmaz [29].

Deney kurulumu tamamlandıktan sonra ölçüm cihazının kalibrasyon ayarlarına geçilir. Beş (5) erli grup halinde satılan Gerilim ölçerlerin paket üzerinde K (kalibrasyon hata payı) değerleri teker teker girilir. Sonra balans düğmesine basılarak kablo bağlantılarının olduğu 3 adet köprünün ölçüm voltajının 0000 olacak şekilde olması sağlanır. Eğer bağlantı halinde + veya - değerler oluşuyorsa bağlantı hatasının var olduğu anlaşılır. Tekrar kontrol edilerek tekrar balans yaptırılır.

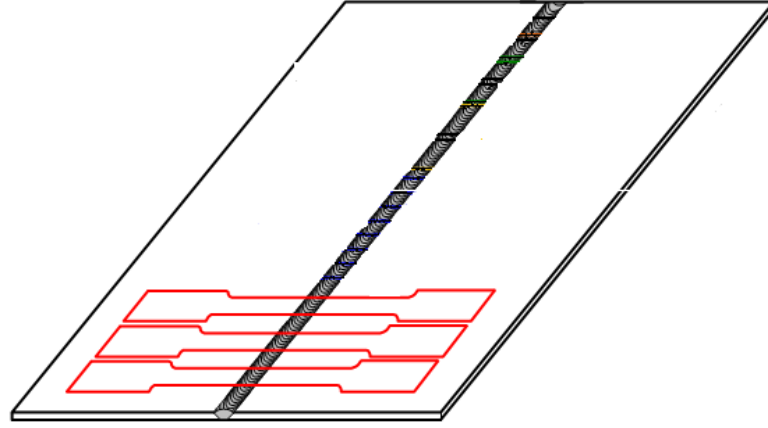
Kurulum hazırlandıktan sonra kompresör çalıştırılarak hava sisteme verilmiştir. Burada hava ile çalışan matkabın hızının mutlaka 50.000 – 400.000 dev/dak olacak şekilde olmasına dikkat edilerek çalıştırılmıştır. Her 0.25 mm lik delme işinde biraz beklenmiş ve okunan değerlerin sabit kalmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca özel olarak kullanılan freze çakısı veya küçük matkap ucunun parça koparıp koparmadığına bakılarak sürekli kontrol edilmiştir. Freze ucu 3 veya 4 kesme açılı uçtur. Bu uçlar birkaç delmeden sonra kumpasla ölçülür. Eğer uçlar kırılmışsa diğer uçla değiştirilir. Ölçülen değerler 2 mV hata payı olduğundan deney boyunca tüm parametrelere dikkat edilmiştir.

Deneyde yüksek basınçlı hava ile çalışan özel delme aparatının üç ayağının çok iyi sabitlenmesi gerekir. Kaynak bölgesinden enine doğru 4 adet gerilim ölçerde yapılacak ölçümlerde ayakların sürekli sabitlenmesi sağlanmıştır.

5.7. ÇEKME DENEYİ

Kaynakla birleştirilmiş numunelerin zarar görmemesi için kesme işlemleri lazer jeti ile gerçekleştirilmiştir. Kalan kısımdan 3'er adet çekme için numune kesilmiştir (Şekil 5.14.).

Çekme testleri 1 mm/dk sabit yükleme hızıyla, 5 tonluk Shimadzu çekme test cihazıyla % 0.5 hassasiyetiyle yapılmıştır (Şekil 5.15) Grade A gemi sacının kaynaklı birleşiminden sonra kalıntı gerilimi ölçümü yapılmış, parçadan üç adet çekme deneyi numunesi alınmıştır.



Şekil 5.14. Çekme numunesi hazırlama.



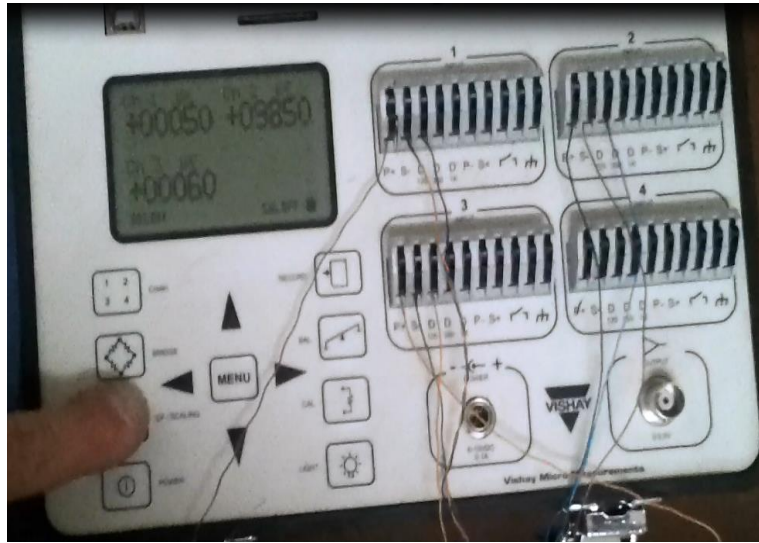
Şekil 5.15. Shimadzu çekme deney cihazı (KBÜ Makine Laboratuvarı).

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

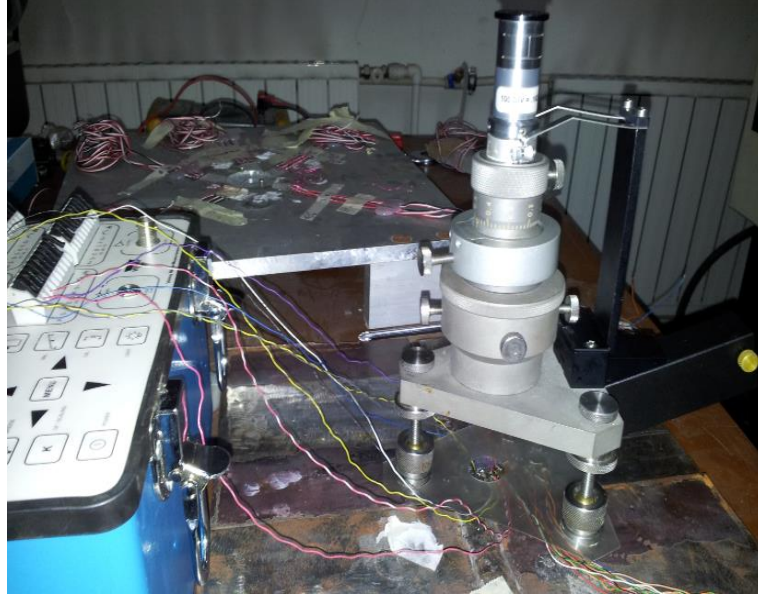
6.1. KALINTI GERİLME DENEYİ

Deney setinin yerleştirilmesi ve gerilim ölçerin tam ortasının delmeye göre ayarlanmasından sonra her bir gerilim ölçer kablo wheatstone köprüsü prensibine göre çalışan gerilim ölçme cihazına bağlanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta her gerilim ölçerin üzerinde 3 (üç) bağlantı kablosu vardır. İki kablo bir ayağa diğer kablo bir ayağa lehimlenmiştir. Buradan tekli olan P₊ ya diğer ikili kablo hemen yanındaki kısımlara sabitlenir.



Şekil 6.1. Ölçüm cihazına kablo yerleşimi.

Kablo bağlantıları Şekil 6.1. de gösterildiği üzere, bağlantı kablolarının sabitlenmesine dikkat edilmiştir. Eğer kablo soketleri bağlantısı uygun şekilde sabitlenmezse gerilim ölçere bağlı kanallarda sıfırlama sağlanamaz.



Şekil 6.2. Kurulumu hazırlanmış deney.

Üç ayaklı freze bağlantısı gerilim ölçerin üzerinde sabitlenmesi ve kablo bağlantıları şekil 6.2. de gösterilmiştir.

Kompresörle hava beslemesi yapılan freze her bir adımı 0.25 mm olacak şekilde 8 adımda delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar aşağıda belirtilen tablolarda oluşturulmuştur. Delme işlemi esnasında her ilerlemede (ϵ_1) değerleri tabloda oluşturulmuş ve devamında değişken olmayan izotropik gerinim (p), değişken olmayan 45° kesme gerinimi (q) ve x-y ekseninde kesme gerinimi (t) değerleri bulunmuştur.

$$P=(\epsilon_{ch1}+\epsilon_{ch3})/2 \quad (6.1)$$

$$q=(\epsilon_{ch3}-\epsilon_{ch1})/2 \quad (6.2)$$

$$t=(\epsilon_{ch3}+\epsilon_{ch1}-2\epsilon_{ch2})/2 \quad (6.3)$$

p : Değişmeyen (Uniform) izotropik gerinim $\mu\text{m}/\text{m}$

q : Değişmeyen (Uniform) 45° kesme gerinimi $\mu\text{m}/\text{m}$

t : x-y ekseninde kesme gerinimi $\mu\text{m}/\text{m}$

$\epsilon_{1,2,3}$: Açığa çıkan gerinim ölçümleri (m/m)

Buradan her bir gerilim ölçerin çizelge ve şekilleri aşağıda kademe kademe verilmiştir. ϵ_{ch1} , ϵ_{ch2} , ϵ_{ch3} değerleri Ölçüm cihazında ekranda görülen değerlerdir. Her

bir rozetten cihaza bağlantı yapılan noktalarda kalibrasyon yapılan cihaz, delik delme kademelerinde değerler okunur. Okunan değer Eşitlik 6.1, Eşitlik 6.2, Eşitlik 6.3 de belirtilen formüllere yerleştirilerek sonuçlar elde edilmiştir.

6.1.1. Kaynak Noktasına En Yakın Birinci Gerilim Ölçer

Mikroskoptan gerilim ölçer tam olarak sıfırlandıktan sonra, üç ayaklı delik delme aparatı tam olarak sabitlendikten sonra, yüksek basınçlı hava ile dönen freze uç delme işlemine geçilir. Her 0.25 mm delme işlemi yapılır. Burada dikkat edilmesi gereken her kademede bir miktar beklenir ve ϵ değerlerini sabitlenmesi beklenir. Ayrıca her delme işleminden sonra freze uç gözle veya merceklerle kontrol edilir. Uçta herhangi bir parça kopması var mı yok mu diye kontrol edilir. 3 adet gerilim ölçerin 0° , 90° ve 45° yerleşmiş olan Rozet tipi gerilim ölçerin çıkan sonuçlar ile Eşitlik 6.1, Eşitlik 6.2, Eşitlik 6.3 kullanılarak Çizelge 6.1 elde edilmiştir.

Çizelge 6.1. Birinci gerilim ölçer sonuçları.

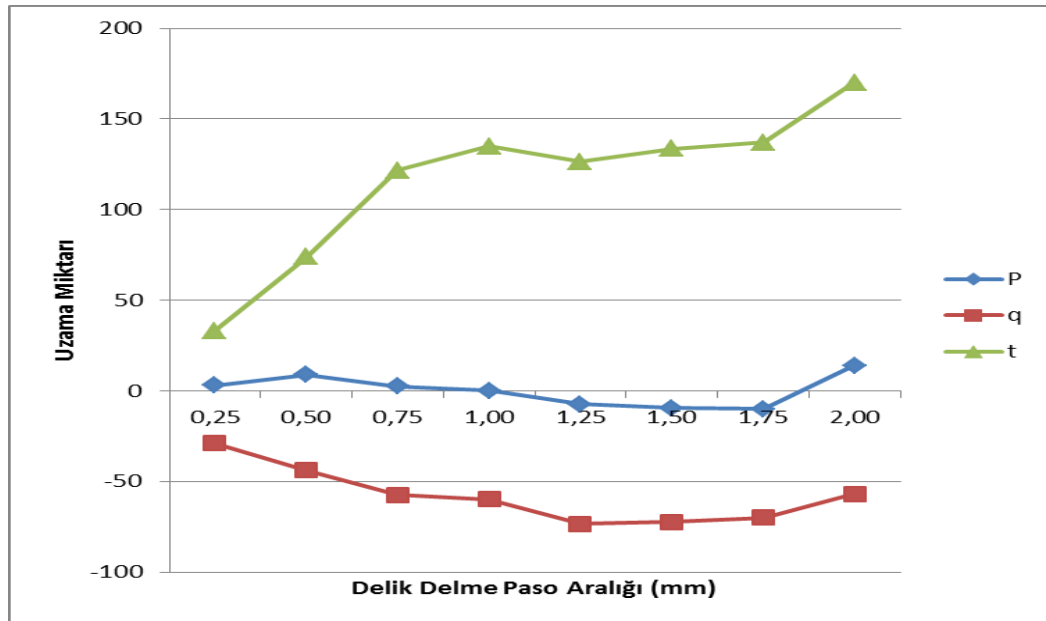
Delik Delme Paso Aralığı (mm)	$0^\circ (\epsilon_1)$	$90^\circ (\epsilon_2)$	$45^\circ (\epsilon_3)$
0,25	32	-30	-26
0,5	53	-65	-35
0,75	60	-119	-55
1	60	-135	-60
1,25	66	-134	-81
1,5	63	-143	-82
1,75	60	-147	-80
2	71	-156	-43

Çizelge 6.2. Birinci gerilim ölçer p, q ve t değerleri.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	p	q	t
0,25	3	-29	33
0,5	9	-44	74
0,75	2,5	-57,5	121,5
1	0	-60	135
1,25	-7,5	-73,5	126,5
1,5	-9,5	-72,5	133,5
1,75	-10	-70	137
2	14	-57	170

Çizelge 6.1 de görüldüğü üzere 0,25 mm delme işlemi yapılırken derinlik arttıkça gerinim eksi (-) yönde olduğu görülmektedir. Fakat x-y eksenindeki kesme gerinimi pozitif (+) yönde değerler ortaya çıkmaktadır.

Eşitlik 6.1, Eşitlik 6.2 ve Eşitlik 6.3 de verilen formüllerle çözümlenir. Buradan p, q ve t değerleri tablo haline getirildikten sonra aşağıdaki grafik oluşur. Tablodan anlaşılacağı üzere kaynak noktasına en yakın rozet, ısıl etkilere en fazla maruz kalan alanda çekme kuvvetinin olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.3. Gerilim ölçer ile ölçülen p, q ve t değerleri .

Yukarıda hesaplamalardan elde edilen p, q ve t değerlerinin yüzde değerleri aşağıda olduğu gibi hesaplanır.

$$\%p=p1/p8$$

(6.4)

$$\%q=q1/q8$$

$$\%t=t1/t8$$

p_0 : Her delik delme kademe sonrası gerinim $\mu\text{m}/\text{m}$

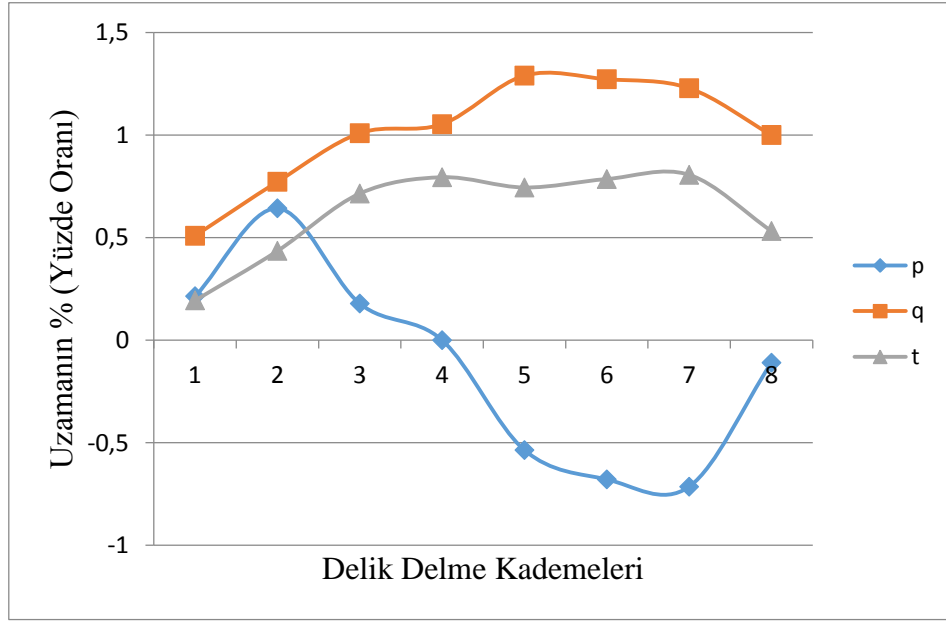
q_0 : 45° Her delik delme sonrası kesme gerinimi $\mu\text{m}/\text{m}$

t_0 : x-y yönünde her kademede kesme gerinimi $\mu\text{m}/\text{m}$

Çizelge 6.3. Birinci gerilim ölçerin p, q ve t değerlerinin yüzde değerleri.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	p_0	q_0	t_0
0,25	0,214286	0,508772	0,194118
0,50	0,642857	0,77193	0,435294
0,75	0,178571	1,008772	0,714706
1,00	0	1,052632	0,794118
1,25	-0,53571	1,289474	0,744118
1,50	-0,67857	1,27193	0,785294
1,75	-0,71429	1,22807	0,805882
2,00	-0,1098	1	0,532081

6.4 te belirtilen formüller yukarıdaki tabloda tüm değerlere uygulanmıştır. Kalıntı gerilimi ölçümü ASTM 837-08 de belirtilen kademelere devam edilmiştir.



Şekil 6.4. Gerilim ölçer ile ölçülen yüzde %p, q ve t değerleri.

Deneysel sonucu elde edilen veriler, izotropik gerilim ve kesme gerilimi kalibrasyon sabiti kullanılarak her bir kademedeki gerilim miktarı Eşitlik 6.5, Eşitlik 6.6 ve Eşitlik 6.7 te yerine koyularak bulunur.

$$P_0 = (-E * p_0) / \alpha(1+\vartheta) \quad (6.5)$$

$$Q_0 = (-E * q_0) / \beta \quad (6.6)$$

$$T_0 = -E * t_0 / \beta \quad (6.7)$$

E (Elastik Modülüs) = 20000

ϑ (poison oranı) = 0,3

Eşitliklerde kullanılan sembollerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

α : İzotropik gerilim kalibrasyon sabiti

β : Kesme gerilimi kalibrasyon sabiti

P_0 : Her bir kademedeki gerilim miktarı Mpa

Q_0 : 45° her bir kademedeki kesme gerilimi Mpa

T_0 : x-y yönünde her bir kademedeki kesme miktarı Mpa

Yukarıda P_0 , Q_0 ve T_0 değerleri üstteki %p, q ve t değerleri ile hesaplanır ve çizelge 6.4 de yazılır.

Çizelge 6.5. P_0 , Q_0 ve T_0 değerlerinin 1.000.000 bölünmüş değerleri.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	P_0	Q_0	T_0
0,25	-0,362	1,60665	-1,8283
0,5	-1,086	2,43767	-4,0997
0,75	-0,3017	3,1856	-6,7313
1	0	3,3241	-7,4792
1,25	0,90498	4,07202	-7,0083
1,5	1,1463	4,01662	-7,3961
1,75	1,20664	3,87812	-7,59
2	-1,6893	3,1579	-9,4183

Delik delme yöntemi esnasında her bir pasoda çizelge 6.4'de hesaplandığı üzere derinliğe inildikçe gerilim miktarı artmakta ve son kademe de azalarak çekmeden basma kuvvetine döndüğü görülmektedir.

P_0 , Q_0 ve T_0 değerleri ile X ve Y eksen yönünde gerilimi olan σ_x ve σ_y değerlerinin hesaplaması Eşitlik 6.8 ve Eşitlik 6.9 ile Çizelge 6.6'da hesaplanmıştır.

$$\sigma_x = P_0 - Q_0 \quad (6.8)$$

$$\sigma_y = P_0 + Q_0 \quad (6.9)$$

σ_y : Y eksen yönünde gerilim MPa

σ_x : X eksen yönünde gerilim MPa

Çizelge 6.6 da görüldüğü üzere x yönünde değerler azalarak kompresyon oluşmakta ve y yönünde artan gerilim görülmektedir.

Çizelge 6.6. σ_x ve σ_y değerleri.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	σ_x	σ_y
0,25	-1,9686	1,2447
0,5	-3,5236	1,3517
0,75	-3,4873	2,8839
1	-3,3241	3,3241
1,25	-3,167	4,977
1,5	-2,8703	5,1629
1,75	-2,6715	5,0848
2	-4,8472	1,4686

Kaynak bölgesine en yakın olan Birinci Gerilim ölçerin maksimum ve minimum değerleri Eşitlik 6.10 ve Eşitlik 6.11 ile hesaplanarak elde edilmiştir.

$$\sigma_{\max} = P_0 + (Q^2 + T^2)^{1/2} \quad (6.10)$$

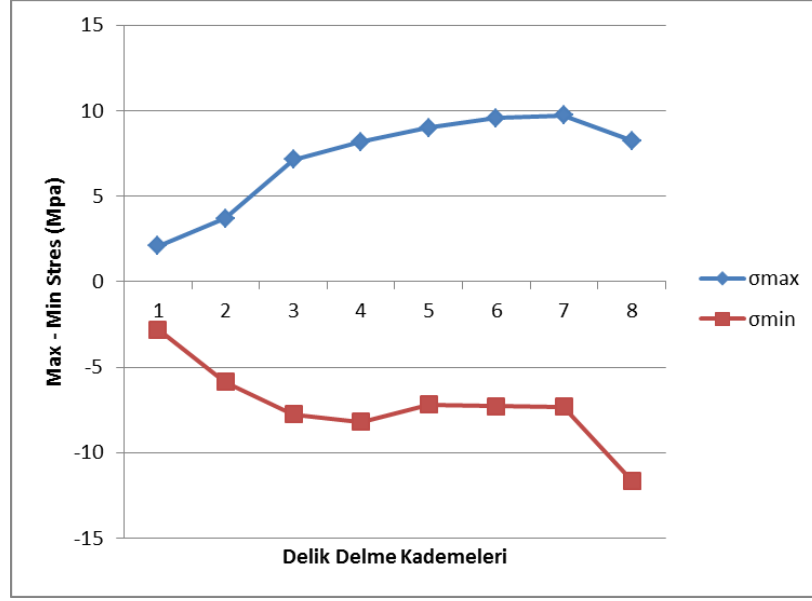
$$\sigma_{\min} = P_0 - (Q^2 + T^2)^{1/2} \quad (6.11)$$

σ_{\min} : Minimum gerilim MPa

σ_{\max} : Maksimum gerilim MPa

Çizelge 6.7. σ_{\max} ve σ_{\min} değerleri.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	σ_{\max}	σ_{\min}
0,25	2,0719	-2,7959
0,5	3,68372	-5,8557
0,75	7,14538	-7,7487
1	8,18465	-8,1847
1,25	9,01039	-7,2004
1,5	9,56271	-7,2701
1,75	9,73003	-7,3168
2	8,24431	-11,623



Şekil 6.5. Kaynaklı bağlantıdaki maksimum ve minimum kalıntı gerilme grafiği.

Kaynak Bölgesine en yakın noktasındaki rozet tipi gerilim ölçer sonuçlarından ortaya çıkan tablolar, grafiklerden ve eşitliklerden ortaya çıkan max ve min stres grafiği yukarıda belirtilmiştir. Tüm işlemler kaynak noktasından y eksenini boyunca diğer gerilim ölçerler aşağıda teker teker hesaplanmıştır. Delme işlemi ilerledikçe çekme ve basma kuvvetlerinin arttığı görülmektedir.

6.1.2. Kaynak Noktasına En Yakın 2. Gerilim Ölçer

Birinci rozetin ölçme işlemi bitince üç ayaklı freze sistemini ilkinde olduğu gibi ikinci rozet üzerine getirilerek ayaklar sabitlenir. mikroskop ile merkezlendikten sonra tekrar freze ucu kontrol edilir. Çizelge 6.8 de görüldüğü üzere her 0,25 mm delme kademesinde elde edilen voltaj değerlerinden yüzeysel, boyuna ve kesme stresleri açığa çıktığı ve basma yönüne doğru hareket ettiği görülmektedir.

Çizelge 6.8. İkinci gerilim ölçer sonuçları.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	0° (ϵ_1)	90° (ϵ_2)	45° (ϵ_3)
0,25	-1	-12	-35
0,5	20	-22	-50
0,75	39	-30	-45
1	52	-44	-40
1,25	67	-52	-32
1,5	71	-49	-25
1,75	80	-37	-13
2	82	-25	-2

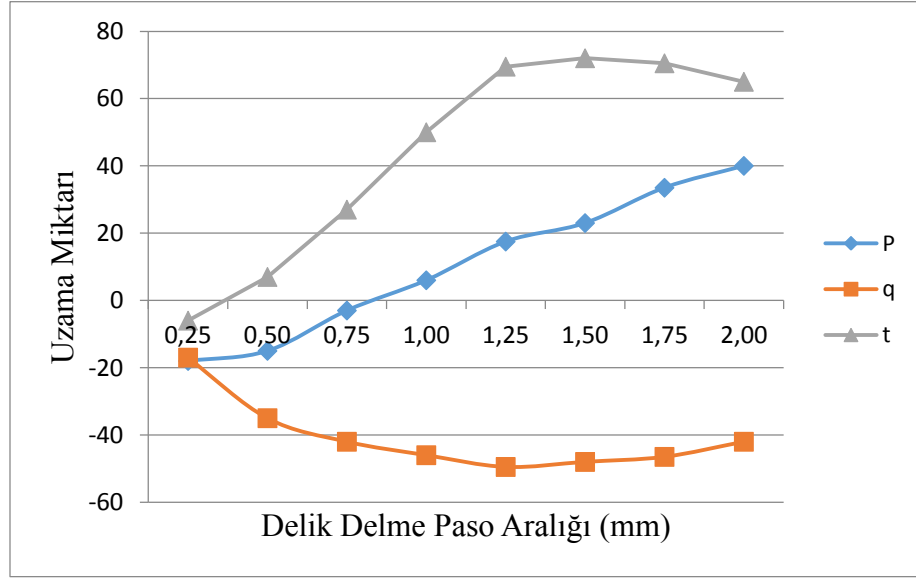
İkinci rozet üzerinde kademe kademe yapılan delme işleminden çıkan sonuçlar Eşitlik 6.1, Eşitlik 6.2, Eşitlik 6.3 kullanılarak Çizelge 6.8 elde edilmiştir.

Çizelge 6.9. İkinci gerilim ölçer p, q ve t değerleri.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	p	q	t
0,25	-18	-17	-6
0,5	-15	-35	7
0,75	-3	-42	27
1	6	-46	50
1,25	17,5	-49,5	69,5
1,5	23	-48	72
1,75	33,5	-46,5	70,5
2	40	-42	65

Çizelge 6.9 de görüldüğü üzere 0,25 mm delme işlemi yapılırken derinlik arttıkça gerinim eksi (-) yönden pozitif yöne doğru arttığı görülmektedir. x-y eksenindeki kesme gerinimi pozitif (+) yönde değerler ortaya çıkmaktadır.

Eşitlik 6.1, Eşitlik 6.2 ve Eşitlik 6.3 de verilen formüllerle çözümlenir. Buradan p, q ve t değerleri tablo haline getirildikten sonra aşağıdaki grafik oluşur. Tablodan anlaşılacağı üzere kaynak noktasına en yakın rozet, ısıl etkilere en fazla maruz kalan alanda çekme kuvvetinin olduğunu göstermektedir.

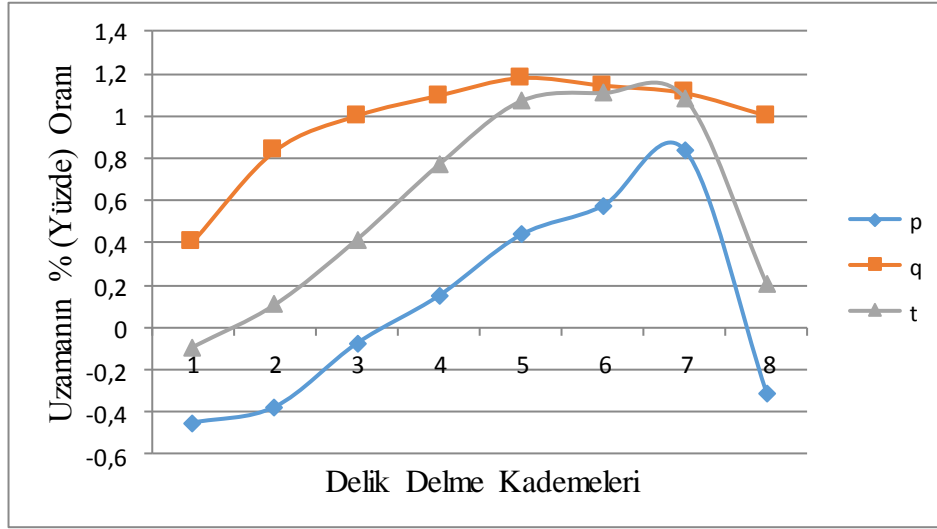


Şekil 6.6. Gerilim ölçer ile ölçülen p, q ve t değerleri.

Çizelge 6.10 İkinci gerilim ölçüm p, q ve t değerlerinin yüzde değerleri.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	p	q	t
0,25	-0,45	0,404762	-0,09231
0,50	-0,375	0,833333	0,107692
0,75	-0,075	1	0,415385
1,00	0,15	1,095238	0,769231
1,25	0,4375	1,178571	1,069231
1,50	0,575	1,142857	1,107692
1,75	0,8375	1,107143	1,084615
2,00	-0,31373	1	0,203443

Şekil 6.7' de kesme gerinimi derinlik artıka pozitif yönde artmış fakat son kademede eksi yönde azalma göstermiştir.

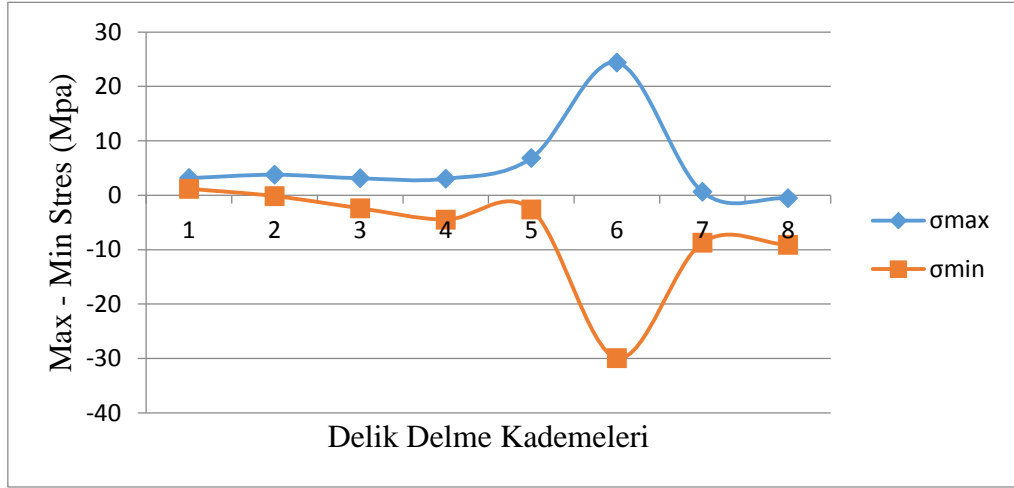


Şekil 6.7. Gerilim ölçer ile ölçülen yüzde %p, q ve t değerleri.

Deneysel sonucu elde edilen veriler, izotropik gerilim ve kesme gerilimi kalibrasyon sabiti kullanılarak her bir kademedeki gerilim miktarı Eşitlik 6.5, Eşitlik 6.6 ve Eşitlik 6.7 te yerine koyularak bulunur.

Çizelge 6.11. σ_{\max} ve σ_{\min} değerleri.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	σ_{\max}	σ_{\min}
0,25	3,17071337	1,173178035
0,5	3,78741384	-0,16750434
0,75	3,12819322	-2,404211317
1	3,04007079	-4,488034588
1,25	6,83880756	-2,615579809
1,5	24,3890133	-29,93954122
1,75	0,63666687	-8,721131422
2	-0,5390873	-9,11400471



Şekil 6.8. Kaynaklı bağlantıdaki maksimum ve minimum kalıntı gerilme grafiği.

6.1.3. Kaynak Noktasına En Yakın Üçüncü Gerilim Ölçer

İkinci rozetin ölçme işlemi bitince üç ayaklı freze sistemini ilkinde olduğu gibi üçüncü rozet üzerine getirilerek ayaklar sabitlenir ve mikroskop ile merkezlendikten sonra tekrar freze ucu kontrol edilir. Çizelge 6.12 de görüldüğü üzere her 0,25 mm delme kademesinde elde edilen voltaj değerlerinden yüzeyel, boyuna ve kesme stresleri açığa çıktığı ve çekme yönüne doğru hareket ettiği görülmektedir.

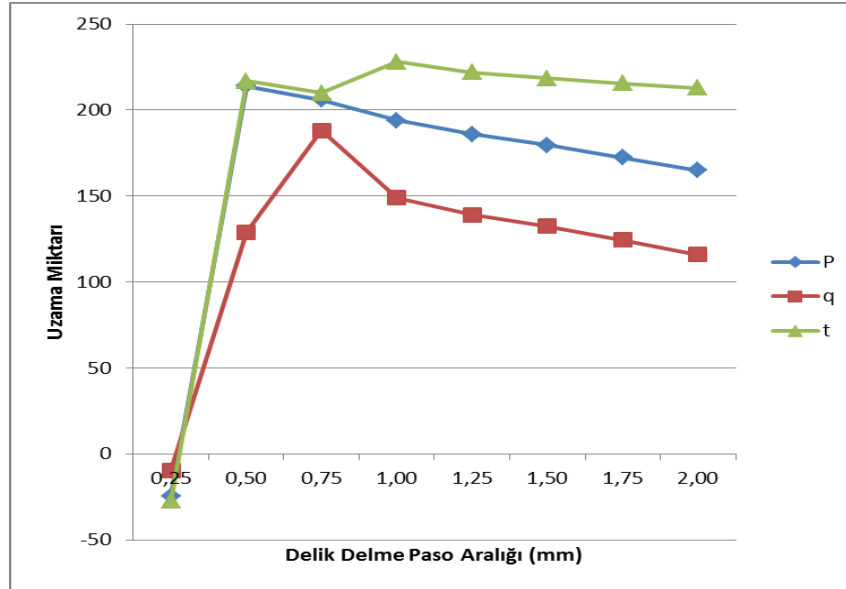
Çizelge 6.12.Üçüncü gerilim ölçer sonuçları.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	0° (ϵ_1)	90° (ϵ_2)	45° (ϵ_3)
0,25	-15	3	-34
0,5	85	-3	343
0,75	18	-4	394
1	45	-34	343
1,25	47	-36	325
1,5	47	-39	312
1,75	48	-43	297
2	49	-48	281

Üçüncü rozet üzerinde kademe kademe yapılan delme işleminden çıkan sonuçlar Eşitlik 6.1, Eşitlik 6.2, Eşitlik 6.3 kullanılarak Çizelge 6.8 elde edilmiştir.

Çizelge 6.13.Üçüncü gerilim ölçer p, q ve t değerleri.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	p	q	t
0,25	-24,5	-9,5	-27,5
0,5	214	129	217
0,75	206	188	210
1	194	149	228
1,25	186	139	222
1,5	179,5	132,5	218,5
1,75	172,5	124,5	215,5
2	165	116	213

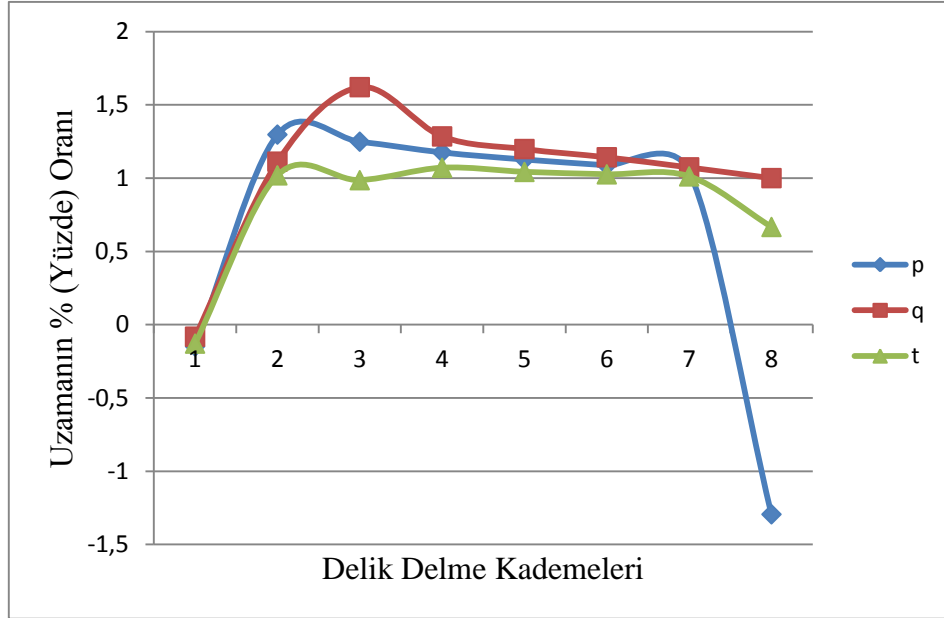


Şekil 6.9. Gerilim ölçer ile ölçülen p, q ve t değerleri.

Eşitlik 6.1, Eşitlik 6.2 ve Eşitlik 6.3 de verilen formüllerle çözümlenir. Buradan p, q ve t değerleri Çizelge 6.13'te gösterilmiştir. Şekil 6.9'dan anlaşılacağına göre kaynak noktasından uzaklaştıkça basma kuvvetinin olduğunu görülmektedir..

Çizelge 6.14. Üçüncü gerilim ölçüm p, q ve t değerlerinin yüzde değerleri.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	p	q	t
0,25	-0,14848	-0,0819	-0,12911
0,50	1,29697	1,112069	1,018779
0,75	1,248485	1,62069	0,985915
1,00	1,175758	1,284483	1,070423
1,25	1,127273	1,198276	1,042254
1,50	1,087879	1,142241	1,025822
1,75	1,045455	1,073276	1,011737
2,00	-1,29412	1	0,666667



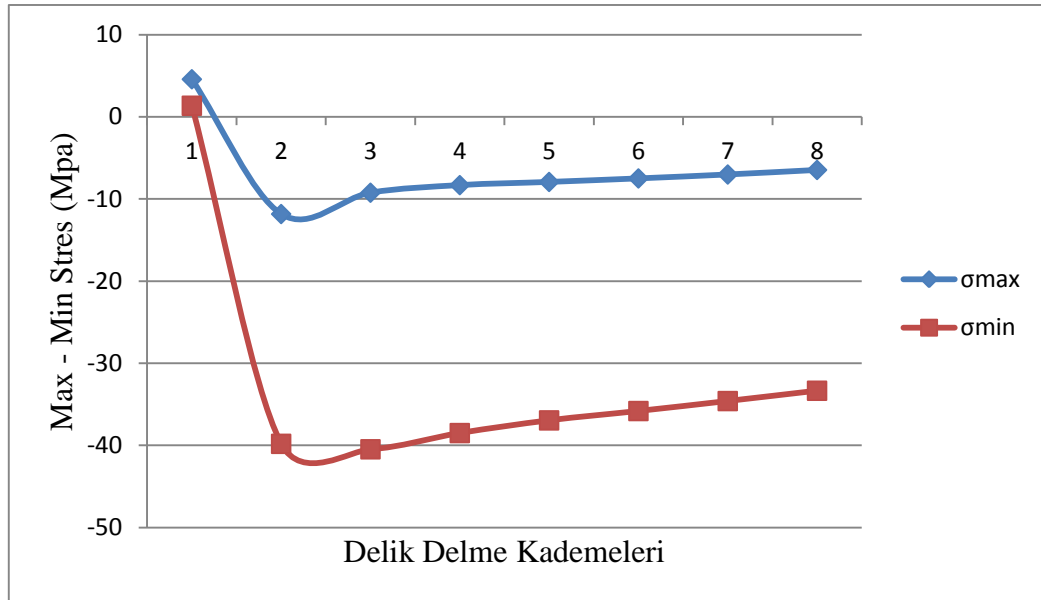
Şekil 6.10. Gerilim ölçer ile ölçülen yüzde %p, q ve t değerleri.

Çizelge 6.14 de görüldüğü üzere 0,25 mm delme işlemi yapılırken derinlik artıça gerilim eksi (-) yönden pozitif yöne doğru arttığı görülmektedir. x-y eksenindeki kesme gerinimi pozitif (+) yönde değerler ortaya çıkmaktadır.

Eşitlik 6.1, Eşitlik 6.2 ve Eşitlik 6.3 de verilen formüllerle çözümlenir. Buradan p, q ve t değerleri tablo haline getirildikten sonra aşağıdaki grafik oluşur. Tablodan anlaşılacağı üzere kaynak noktasına en yakın rozet, ısıl etkilere en fazla maruz kalan alanda çekme kuvvetinin olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.15. σ_{\max} ve σ_{\min} değerleri.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	σ_{\max}	σ_{\min}
0,25	4,568153	1,344366
0,5	-11,836	-39,8081
0,75	-9,2413	-40,4721
1	-8,31904	-38,4985
1,25	-7,93233	-36,9546
1,5	-7,50202	-35,8162
1,75	-7,0262	-34,6028
2	-6,47246	-33,3465



Şekil 6.11. Kaynaklı bağlantıdaki maksimum ve minimum kalıntı gerilme grafiği .

6.1.4. Kaynak Noktasına En Yakın Dördüncü Gerilim Ölçer

Üçüncü rozetin ölçme işlemi bitince üç ayaklı freze sistemini ilkinde olduğu gibi dördüncü rozet üzerine getirilerek ayaklar sabitlenir ve mikroskop ile merkezlendikten sonra tekrar freze ucu kontrol edilir. Çizelge 6.17 de görüldüğü üzere her 0,25 mm delme kademesinde elde edilen voltaj değerlerinden yüzeysel, boyuna ve kesme stresleri açığa çıktığı ve çekme yönüne doğru hareket ettiği görülmektedir.

Çizelge 6.16. Dördüncü gerilim ölçer sonuçlar.

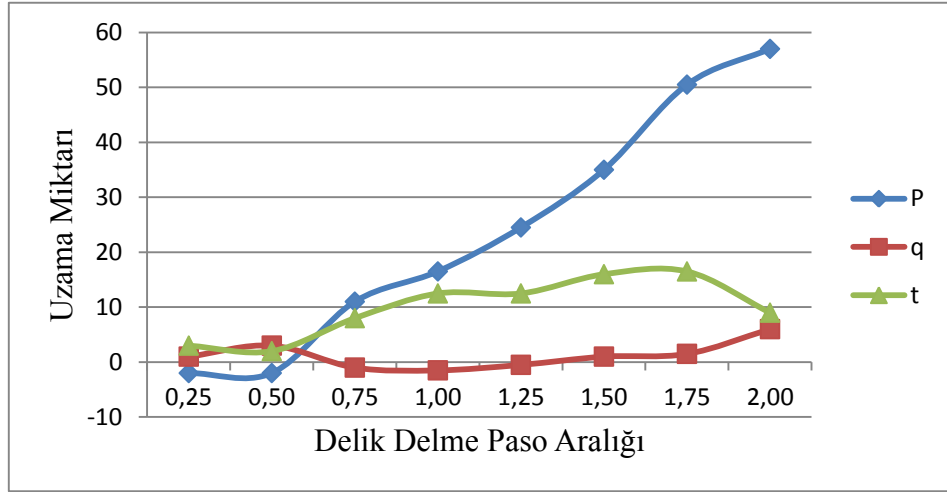
Delik Delme Paso Aralığı (mm)	0° (ϵ_1)	90° (ϵ_2)	45° (ϵ_3)
0,25	-3	-5	-1
0,5	-5	-4	1
0,75	12	3	10
1	18	4	15
1,25	25	12	24
1,5	34	19	36
1,75	49	34	52
2	51	48	63

Çizelge 6.17. Dördüncü gerilimölçer p, q ve t değerleri.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	p	q	t
0,25	-2	1	3
0,5	-2	3	2
0,75	11	-1	8
1	16,5	-1,5	12,5
1,25	24,5	-0,5	12,5
1,5	35	1	16
1,75	50,5	1,5	16,5
2	57	6	9

Çizelge 6.17 de görüldüğü üzere 0,25 mm delme işlemi yapılırken derinlik artıka gerinim eksi (-) yönden pozitif yöne doğru arttığı görülmektedir. x-y eksenindeki kesme gerinimi pozitif (+) yönde değerler ortaya çıkmaktadır.

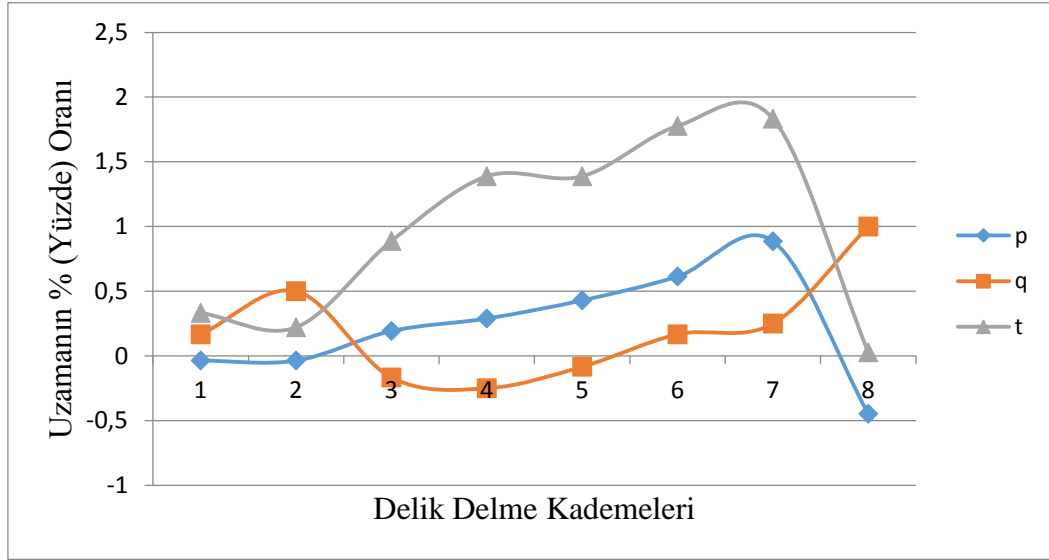
Eşitlik 6.1, Eşitlik 6.2 ve Eşitlik 6.3 de verilen formüllerle çözümlenir. Buradan, Şekil 6.12 elde edilmiştir. Anlaşılaacağı üzere kaynak noktasından uzaklaştıkça, ısıl etkilerden dolayı basma kuvvetinden tekrar çekme kuvvetinin olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.12. Gerilim ölçer ile ölçülen p, q ve t değerleri.

Çizelge 6.18. Dördüncü gerilim ölçüm p, q ve t değerlerinin yüzde değerleri.

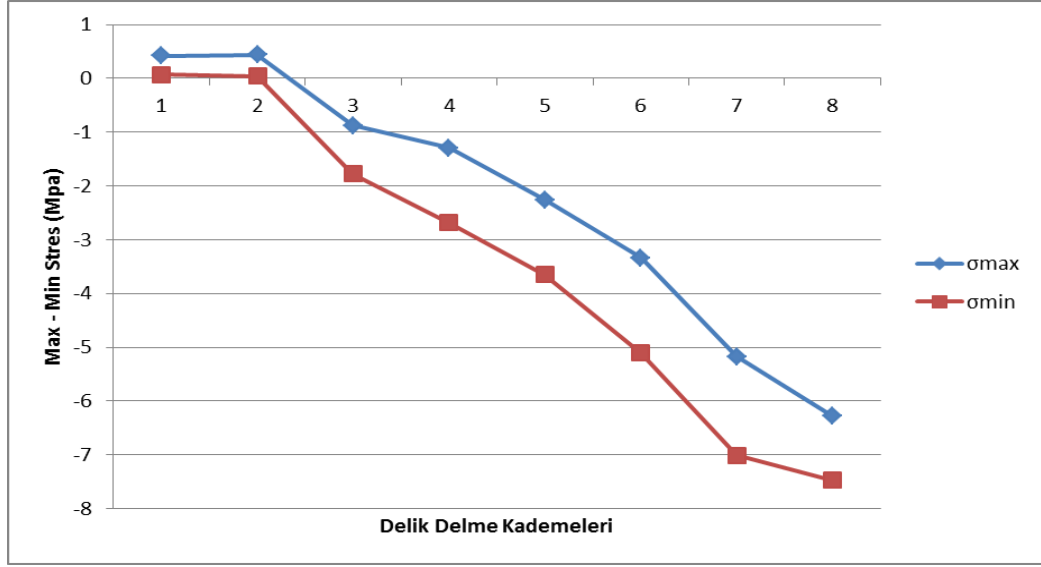
Delik Delme Paso Aralığı (mm)	p	q	t
0,25	-0,03509	0,166667	0,333333
0,50	-0,03509	0,5	0,222222
0,75	0,192982	-0,16667	0,888889
1,00	0,289474	-0,25	1,388889
1,25	0,429825	-0,08333	1,388889
1,50	0,614035	0,166667	1,777778
1,75	0,885965	0,25	1,833333
2,00	-0,44706	1	0,028169



Şekil 6.13. Gerilim ölçer ile ölçülen yüzde %p, q ve t değerleri.

Çizelge 6.19. σ_{\max} ve σ_{\min} değerleri.

Delik Delme Paso Aralığı (mm)	σ_{\max}	σ_{\min}
0,25	0,4165227	0,066132
0,5	0,4410808	0,041574
0,75	-0,8806377	-1,77396
1	-1,2934611	-2,68844
1,25	-2,2631849	-3,64933
1,5	-3,3350715	-5,11138
1,75	-5,1756173	-7,01141
2	-6,2785675	-7,47709



Şekil 6.14. Kaynaklı bağlantıdaki maksimum ve minimum kalıntı gerilme grafiği.

Gemiler, çok çeşitli ve karmaşık yapıya sahip deniz yüklerine maruz kalırlar. Bu yükler altında hareket eden bir gemide, hem enine hem de boyuna gerilme ve şekil değiştirmeler meydana gelir. Bu gerilme ve şekil değiştirmeleri karşılayabilmesi, geminin dayanıklılığı açısından önemlidir. Bu yüzden, gemi inşasında kullanılan yapı malzemelerinden istenen özellikler, gemi üzerine gelecek çekme, basma ve kesme gerilmelerini karşılayabilme özelliği, sertliği, sünekliği, kırılabilirliği, yorulmaya dayanımı, yoğunluğu ile yanma mukavemeti vb. özelliklerdir.

Gemilerde kullanılan yapı çeliklerinin kaynağa uygunluğunda dikkate alınması gereken en önemli husus çelikteki karbon miktarıdır. Çelikteki karbon miktarı % 0,2'nin üzerine çıktığında, ön tavlama ve kaynaktan sonra son tavlama gibi önlemlerin alınması gerekmektedir.

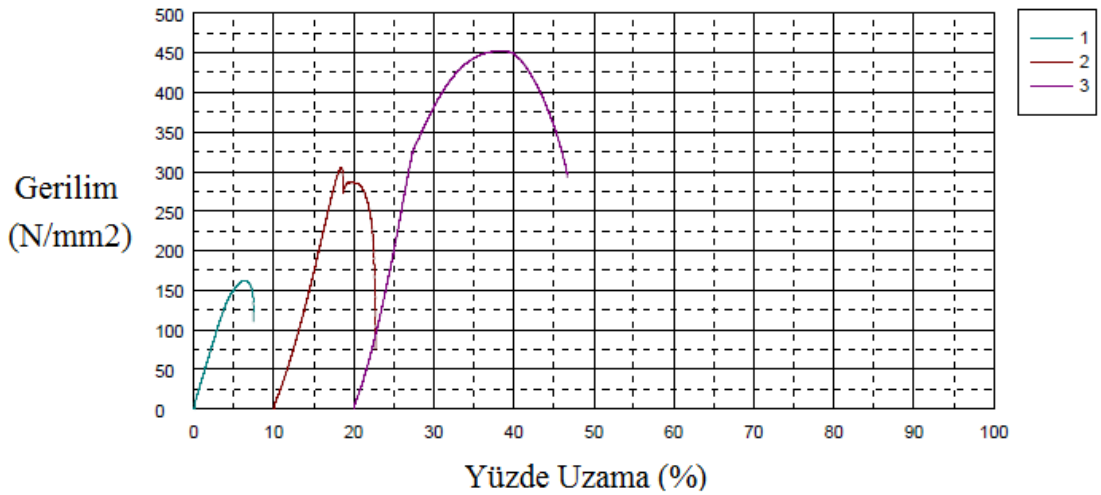
Gemi yapımında diğer endüstriyel sektörlerden farklı olarak daha kalın levhalı yapılar kullanılmaktadır. Farklı yapılara sahip konstrüksiyonlar farklı malzemeler ve kaynak yöntemleri gerektirmektedir. Gemi inşasında kaynaklı imalat üretiminin hemen hemen tamamını oluşturmaktadır. Günümüzde teknolojinin gelişmesine paralel robot teknolojisi, lazer kaynağı ve çeşitli hibrid kaynak yöntemleri başarı ile gemi imalat sektöründe kullanılmakta ve bu kaynak yöntemlerinin avantajlı yönleri birleştirmelerde değerlendirilmektedir.

Gemilerin imalatında kalitenin artırılması ve istenen servis özelliklerinin sağlanabilmesi için bazı hususların dikkate alınması gerekmektedir. Bunlar: Gemi inşa çeliklerinin yapısı ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, uygun kaynak yöntemi ve dolgu metalinin seçimi, kaynak esnasında yüksek ısı sonucunda oluşan deformasyonların nedenleri ve çareleri, özellikle kalıntı gerilmeleri miktarları ve kaynak parametrelerinin seçimidir.

Üretimde uygun kaynak yöntemi seçimine ve kaynak kalitesinin kontrolüne dikkat edilmeli, yapılacak kaynak uzunlukları ve sırası önceden tespit edilmelidir. Nüfuziyet durumu, kaynak pozisyonu, elektrot verimi, ergime gücü, malzeme özellikleri uygun kaynak yöntemi seçilmeli ve uygulanmalıdır. [29,30,31].

6.2. ÇEKME DENEYİ

Çekme testi sonunda malzemedeki maksimum çekme ve kopma dayanımları içeren grafiksel değişim Şekil 6.16. da gösterilmiştir. Çekme deneyinde görüldüğü üzere kalıntı gerilim ölçümündeki maksimum ve minimum değerleri aşılmamış olduğu görülmektedir.



Şekil 6.15. Kaynaklı bağlantıdaki çekme deneyi stress - uzama grafiği.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Kaynakla birleştirilen malzemeler belli oranlarda büzölmeye uğrar ve daima parça içerisinde ısıl gerilmelere bağlı olarak kalıntı gerilmeler meydana gelir. Kaynak işleme bağlı olarak oluşan bu kalıntı gerilmeler parça mukavemetini önemli oranda etkilemektedir.

Çalışma ortamında dış kuvvet ve momentlerin etkisi ile meydana gelen gerilmeler ile birleşen bu kalıntı gerilmeler, malzemede özellikle gevrek kırılma ve gerilmeli korozyona sebep olmaktadır. Bu nedenle, kaynak işlemi neticesinde oluşan kalıntı gerilmelerin önceden ölçümlerinin yapılması ve çeşitli kalıntı gerilme giderme yöntemleri ile giderilmesi, kaynaklı konstrüksiyonların tasarımında büyük önem arz etmektedir.

Gemi imalatında kullanılan sacların kaynaklı bağlantılarında servis ortamında kalıntı gerilmeler çok daha düşük yüklerde hasarlara neden olmaktadır. Bu nedenle bu hasarlara engel olabilmek için kalıntı gerilmelerin ölçülmesi ve modellenerek daha önceden belirlenebilmesi çok önemlidir.

Bu çalışmada, Grade A gemi sacları MIG-MAG kaynak yöntemi ile farklı koruyucu ortamlar kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynak ile birleştirilen malzemelerin kaynak dikişine dik düzlemdeki 4 farklı noktada kalıntı gerilmelerin deneysel ölçümleri yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Soğuma başlangıcında malzemenin büzölmeye karşı gösterdiği direnç, kaynak metaline yakın bölgelerde x eksenini boyunca yüksek çekme gerilmeleri meydana getirmiştir.

- Basma gerilmeleri, metalin mevcut sıcaklığındaki akma seviyesindedir. Yapılan ölçümler sonucunda, kaynak bölgesinden uzaklaştıkça basma gerilmelerinin maksimum değere ulaştığı görülmüştür. Bu durum, denge kuralından dolayı belirli bir uzaklıkta, çekme gerilmelerinin, ısının etkisi altındaki bölgelerdeki basma gerilmeleri ile dengelenmesi gerektiği kuralını doğrulamıştır.
- Deneylerde y ekseni boyunca ölçülen kalıntı gerilmelerin, kaynak metali ve esas metal birleşme yüzeylerinde yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.
- Yapılan kalıntı gerilme ölçüm deneyleri sonucunda, malzemelerde kalıntı gerilmenin deneysel olarak ölçülmesinin çok dikkatli bir çalışma ile mümkün olacağı ve çok hassas ve pahalı deney düzenek ve ekipmanların gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.
- Bu çalışma ile malzemelerde herhangi bir nedenle oluşan kalıntı gerilmelerin önceden ölçülerek belirlenmesi ve önlem alınması gerektiğinin önemi vurgulanmak istenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Benli, S., "Kaynaklı parçalarda oluşan artık gerilmelerin incelenmesi", İzmir, (2004)
2. Yelbay, H. İ., "Tahribatsız yöntemlerle kalıntı gerilim ölçümleri gelişmeler", **3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition**, Istanbul Turkey, (2008)
3. Ning-Xu, M.A. & Ueda, Y. & Murakawa, H. & Maeda, H. FEM analysis of 3d welding residual stresses and angular distortion in t-type fillet welds. **JWRI**, 24, 115-122. (1995)
4. Özer,A., & Özçatalbaş, Y., "Delik delme yöntemiyle alıcı/kalıntı gerilmelerin ölçülmesi ve gerinim ölçerlerin kalibrasyonu", **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.** 26(3): 657-666 (2011)
5. Kafkas, F., "Vidaların talaşlı imalatında imalat parametrelerinin vida diş dibindeki kalıntı gerilmeler üzerine etkilerinin deneysel olarak araştırılması",Ankara (2007)
6. Heyn, E., "Internal strains in cold-wrought metals and some troubles caused thereby", **J.Inst.Metallurgy.**, 12:3-37 (1914).
7. Baldwin, W. M., "Residual stresses in metals" **23rd Edgar Marburg Lecture, ProcASTM**, 49: 539-583 (1949).
8. Masubuchi, K., "Analysis of welded structures", **Pergamon Press**, New York, 15-80 (1980).
9. Makino, A., "Measurement of residual stresses using the holographic hole drilling technique", PhD Thesis, **Stanford University**, A.B.D., 1-80 (1994).
10. Bainbridge, A. T., "Residual stresses arising from machining and fabrication", **Symposium on the Engineering Practice to Avoid Stress Corrosion Cracking**, Istanbul, Turkey, 53:1-21 (1969).
11. Parlane, A. J. A., "The Determination of residual stresses: a review of contemporary techniques", **Residual Stresses in Welded Construction and their Effects. Int. Conf.**, London, 63-78 (1977).
12. Prevéy, Paul S. "X-ray diffraction residual stress techniques," **Metals Handbook. 10. Metals Park: American Society for Metals**, 380-392. (1986).

13. Kesavan, K., & Ravisankar, K., S., & Parivallal P., Sreeshylam, Non destructive evaluation of residual stresses in welded plates using the barkhausen noise Technique, *Experimental Techniques*, 17-21 (2005)
14. Lim Mei Ting, & Ng Heong Wah & B. Stephen Wong, Inspection of aircraft landing gear components by barkhausen noise measurement, *NDT.net, Vol 1 No.6* (2006).
15. Gori, M., & Certo, M., G., & Patelli, L. Aruta, Ultrasonic assessment of residual stresses in the rim of railway solid wheels, *NDT.net, Vol.3 No.7* (1998)
16. Youtsos, A. & Ohms, C., NDT based on neutron techniques in support of structural integrity assessment, *NDT.net, Vol.7 No.08* (2002)
17. Schaje, Residual stresses in composite materials (2001)
18. Prof. Dr. Özyürek, I. B., Gaz altı ark kaynağı yöntemi ve karşılaşılan sorunların giderilmesi, *AS Kaynak, Kaynak Tekniği* Sanayi ve Ticaret A.Ş., , Sayfa 47-120 (2007)
19. Prof. Dr. Tülbentçi, K., “Gazaltı Kaynağı, MIG – MAG Kaynağı”, *İTÜ Kimya – Metalürji Makinesi* (1993)
20. Kurt, K., DH 36 Gemi sacının farklı kaynak yöntemleri ile mekanik özelliklerini ncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye (2008).
21. Şık, A., Mig/Mag kaynak yöntemi ile birleştirilen çelik malzemelerde ilave tel türleri ve koruyucu gaz karışımlarının eğmeli yorulma ömürlerine etkilerinin araştırılması *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 22(4), 769777, (2007)
22. Vural, M., & Piroğlu, F., & Çağlayan, Özden B., & Uzgider, E., Yapı çeliklerinin kaynaklanabilirliği, *Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı426-* (2003)
23. WOLFGANG FRICKE, ANATOLE VON LILIENFELD-TOAL, HANS PAETZOLD, Fatigue strength investigations of welded details of stiffened plate structures in steelships, *International Journal of Fatigue, Volume 34, Issue 1, January, Pages 17-26* (2012)
24. Asarkaya, M., Gemi inşasında kullanılan kaynak yöntemlerinin mekanik özelliklere etkisi, *Y. Lisans tezi, SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü* (2006)
25. Yılmaz, R., & Tümer, M., Gemi saclarının tozaltı ve özlü tel kullanarak mag kaynağı ile birleştirilmesi ve mekanik özellikleri *Türk Bilim Araştırma Vakfı (TUBAV) Bilim* Dergisi, Cilt:2, Sayı:1, pp. 56-66 (2009)

26. Chakarov, K., Garbatov, Guedes Soares, Y. C., Fatigue analysis of ship deck structure accounting for imperfections, *International Journal of Fatigue*, Volume 30, Issue 10-11, , pp.1881-1897 (2008)
27. Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E., rtl elektrod ile elektrik ark kaynağı, *Gedik Eğitim Vakfı*, İstanbul, (1991)
28. Eryürek, İ.B., Gazaltı Ark Kaynağı, *Askaynak*, İstanbul (2007)
29. Vishay, TN-503-6, Measurement of residual stresses by the hole-drilling strain gage method, *Vishay Micro-measurement*, 19-34 (2007).
30. Asarkaya, M., Gemi inşasında kullanılan kaynak yöntemlerinin mekanik özelliklere etkisi, *Y. Lisans Tezi, SAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü* (2006)
31. Yılmaz, R., Tümer, M., Gemi saclarının tozaltı ve znl tel kullanarak mag kaynağı ile birleştirilmesi ve mekanik özellikleri, *Türk Bilim Araştırma Vakfı (TUBAV) Bilim Dergisi*, , 2(1): 56-66 (2009)
32. K. Chakarov, Y. Garbatov, C. Guedes soares, fatigue analysis of ship deck structure accounting for imperfections, *International Journal of Fatigue*, Volume 30, Issue 10-11, pp. 1881-18 (2008)

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ALTINEL 1976 yılında İskenderun'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. İskenderun Demir Çelik Lisesi'nden mezun oldu. 1996 yılında Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2003 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2004 yılında askerlik vazifesini yaptıktan sonra 2005 yılında çelik konstrüksiyon alanında uzman bir firmada İskenderun Demir Çelik Fabrikasının modernizasyonunda çalıştı. 2006 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü'ne Makine ve İkmal Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2012 yılında İş Güvenliği Uzmanı sertifikasını aldıktan sonra aynı kurumda iş güvenliği uzmanı olarak çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kuzeykent Mahallesi Alparslan Türkeş Bulvarı
Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü
Merkez / KASTAMONU

Tel : (533) 771 4467

E-posta : mustafaaltinel18@yahoo.com

Mustafa ALTINEL tarafından hazırlanan “GEMİ SACI KAYNAKLI BAĞLANTILARINDA KALINTI GERİLİMİ ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarız.

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Metin ZEYVELİ

Tez Danışmanı, Gazi Üniversitesi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. .../ .../ 2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan :

Üye :

Üye :

...../...../2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü