

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KAYNAKLI PARÇALARDA TİTREŞİM İLE GERİLİM GİDERMENİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emrah BABUÇOĞLU

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet ÖZEL

Haziran 2021

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAYNAKLI PARÇALARDA TİTREŞİM İLE GERİLİM
GİDERMENİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emrah BABUÇOĞLU

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 09.06.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Emrah BABUÇOĞLU

18.05.2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Ahmet ÖZEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar ve laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Noksel Çelik Boru Fabrikası, Fabrika Müdürü Özgür KAYA'ya ve çalışmalarına destek veren tüm Noksel Çelik Boru Fabrikası çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmamda desteğini her zaman hissettiğim Sevgili Eşim Merve BİLGİN BABUÇOĞLU'na, Sevgili Oğlum Taha Mert BABUÇOĞLU'na ve yanımızda olan ailelerimize sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
BÖLÜM 2.	
ARAŞTIRMALAR	3
BÖLÜM 3.	
KAYNAK İŞLEMİ VE KAYNAK KALİTESİ	6
3.1. Kaynak Tarihi.....	6
3.2. Kaynak	7
3.3. Kaynağın Sınıflandırılması	7
3.4. Basınç Kaynağı	8
3.5. Eritme Kaynağı	8
3.6. Kaynak Yöntemleri	8
3.6.1. Ark kaynağı.....	9
3.6.2. Gazaltı ark kaynağı	9
3.6.3. Tozaltı ark kaynağı.....	10

3.6.3.1. Tozaltı ark kaynağı yöntemi	11
3.6.3.2. Uygulama alanı	12
3.6.3.3. Tozaltı kaynak avantajları ve dezavantajları	12
3.6.3.4. Tozaltı kaynak parametreleri	15
 BÖLÜM 4.	
ARTIK GERİLME	24
 BÖLÜM 5.	
GERİLME GİDERME YÖNTEMLERİ	28
5.1. Isıl işlem	28
5.2. Titreşimle Gerilime Giderme	30
5.2.1. Literatür çalışmaları	37
 BÖLÜM 6.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	45
6.1. Boru Üretimi	45
6.2. Titreşimle Gerilim Giderme İşlemi	46
6.3. Test İşlemleri	53
6.3.1. Çekme testi	54
6.3.2. Sertlik testi	55
6.3.3. Charpy testi	56
 BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	59
7.1. Mekanik Testler	59
7.2. Charpy Darbe Testi	61
7.3. Sertlik Testi	65
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	72

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AC	: Alternatif akım
DC	: Doğru akım
Ee	: Elastik gerinme
EN	: Avrupa standartları
Ep	: Plastik gerinme
GMAW	: Gaz metal ark kaynağı
HAZ	: Isıdan etkilenen bölge
HAZ1	: İri taneli bölge
HAZ2	: İnce taneli bölge
HAZ3	: Kritik bölge
I	: Kaynak akımı
ISO	: Uluslararası standart organizasyonu
ITAB	: Isı tesiri altında kalan bölge
İSG	: İş sağlığı ve güvenliği
LPG	: Sıvı petrol gazı
MAG	: Metal aktif gaz
MIG	: Metal asal gaz
Q	: Isı girdisi miktarı
RVSR	: Rezonans frekanslarında gerilim giderme
SVSR	: Harmonik altı titreşimle gerilimi giderme
TIG	: Tungsten asal gaz
TURKAK	: Türkiye akreditasyon kurumu
U	: Kaynak gerilimi
V	: Kaynak hızı
VSR	: Titreşimle gerilim giderme
XRD	: X ışını kırınım yöntemi

δ : Sönüm oranı
 η : Enerji verimlilik faktörü



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Elektrik ark kaynağı şematik diyagramı	9
Şekil 3.2. Gazaltı ark kaynağı şematik diyagramı.....	10
Şekil 3.3. Tozaltı ark kaynağının prensibi	11
Şekil 3.4. Tozaltı ark kaynağı yöntemi şematik diyagramı.....	11
Şekil 3.5. Elektrik ark kaynağı ve Tozaltı ark kaynağı ısı bilançosu.....	13
Şekil 3.6. Kaynak öncesi yüzey hazırlığı	19
Şekil 3.7. Alın Kaynak dikiş biçimi ve kaynak yüzey hazırlığı biçimleri	20
Şekil 3.8. Isıdan etkilenen bölge yapısı ve ilgili demir karbon denge diyagramı ...	22
Şekil 3.9. Isıdan etkilenen farklı bölgelerdeki bir kaynağın şematik çizimi.....	22
Şekil 3.10. Tek ve Çok Pasolu Kaynaklarda Isı Etki Bölgesi ve Kaynak Metali ...	23
Şekil 4.1. Bir alın dikişindeki, enine (T) ve boyuna (L) büzülme gerilmeleri.....	24
Şekil 4.2. Bir alın kaynaklı birleştirmede distorsiyon.....	25
Şekil 4.3. Artık gerilmelerin oluşturduğu çeki ve bası gerilmeleri	27
Şekil 5.1. Çeliklere uygulanan ısıt işlemlerin Demir-Karbon denge diyagramı üzerinde gösterilişi.....	29
Şekil 5.2. Değişik sönümleme oranlarında genlikteki değişim ve rezonans.....	33
Şekil 5.3. Kalıntı gerilmelerin malzemenin performansına etkileri	35
Şekil 5.4. Genlik Frekans Spektrumu	36
Şekil 5.5. Genlik frekans spektrumu	40
Şekil 5.6. Titreşimle gerilim giderme hazırlık süreci.....	43
Şekil 5.7. Numuneye ait genlik frekans spektrumu ilk ölçüm	44
Şekil 5.8. Titreşimle gerilim giderme sonrası genlik frekans spektrumu	44
Şekil 6.1. Titreşimle gerilim giderme işlemi çalışma düzeni.....	47
Şekil 6.2. Mekanik titreşim oluşturacak üretce monte edilmesi	47
Şekil 6.3. Üretece ait kontrollerin yapılması.....	48
Şekil 6.4. Titreşimle gerilim giderme işlemi sonrası tanımlama yapılması	48

Şekil 6.5. 201 Numaralı parça genlik frekans spektrumu	50
Şekil 6.6. 201 numaralı parça titreşimle gerilme giderme grafiği.....	50
Şekil 6.7. 203 Numaralı parça genlik frekans spektrumu	51
Şekil 6.8. 203 numaralı parça titreşimle gerilme giderme grafiği.....	51
Şekil 6.9. 205 Numaralı parça genlik frekans spektrumu	51
Şekil 6.10. 205 numaralı parça titreşimle gerilme giderme grafiği.....	52
Şekil 6.11. 206 Numaralı parça genlik frekans spektrumu	52
Şekil 6.12. 206 numaralı parça titreşimle gerilme giderme grafiği.....	52
Şekil 6.13. Deneysel işlemler için hazırlanan numuneler	53
Şekil 6.14. Çekme test numunesi	54
Şekil 6.15. Zwick çekme test cihazı.....	55
Şekil 6.16. Zwick sertlik ölçüm cihazı.....	56
Şekil 6.17. Vickers batıcı uç ölçüm noktaları	56
Şekil 6.18. Zwick Charpy test cihazı	57
Şekil 6.19. Charpy test numunesi.....	57
Şekil 7.1. Kaynak bölgesi öncesi sonrası tokluk değerleri (kJ)	62
Şekil 7.2. Haz bölgesi öncesi sonrası tokluk değerleri.....	63
Şekil 7.3. Haz+3 Kritik bölge öncesi sonrası tokluk değerleri	63

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Enerji verimlilik katsayı tablosu	21
Tablo 5.1. Çekme testi sonuçları	38
Tablo 5.2. Darbe testi sonuçları	39
Tablo 5.3. Çekme testi, Tokluk testi ve Sertlik testi	39
Tablo 5.4. Çekme test sonucu	42
Tablo 6.1. Deneysel çalışmalarda kullanılacak numuneler	45
Tablo 6.2. Tozaltı ark kaynağı kaynak parametreleri	46
Tablo 6.3. Deneysel numuneler izlenebilirlik tablosu	49
Tablo 6.4. Titreşimle gerilim giderme işleminde ivme değişim tablosu	49
Tablo 6.5. Çekme test numunesi standartlar ve ölçü değerleri (mm)	54
Tablo 6.6. Charpy test numunesi standartlar ve ölçü değerleri (mm)	57
Tablo 7.1. Akma mukavemeti test sonuçları	59
Tablo 7.2. Çekme mukavemeti test sonuçları	60
Tablo 7.3. % Uzama değeri test sonuçları	60
Tablo 7.4. Kaynak bölgesi tokluk test sonuçları	62
Tablo 7.5. Haz bölgesi tokluk test sonuçları	62
Tablo 7.6. Haz+3 Kritik bölge tokluk test sonuçları	63
Tablo 7.7. 206 numaralı parça ana metal öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)	65
Tablo 7.8. 201 numaralı parça ana metal öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)	65
Tablo 7.9. 205 numaralı parça ana metal öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)	65
Tablo 7.10. 203 numaralı parça ana metal öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)	66

Tablo 7.11. 206 numaralı parça haz ve kaynak bölgeleri öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)	66
Tablo 7.12. 201 numaralı parça haz ve kaynak bölgeleri öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)	66
Tablo 7.13. 205 numaralı parça haz ve kaynak bölgeleri öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)	66
Tablo 7.14. 203 numaralı parça haz ve kaynak bölgeleri öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)	66



ÖZET

Anahtar kelimeler: Kalıntı gerilim, Toz altı ark kaynağı, Titreşimle gerilim giderme

Bu çalışmada, toz altı ark kaynağı ile üretimi yapılmış farklı kalınlık ve farklı çelik kalitesindeki numunelerin titreşimle gerilim giderme uygulamasının kalıntı gerilime etkisi ile akma mukavemeti, çekme mukavemeti, tokluk ve sertlik değerlerine etkisi ile oluşan farklılığın incelemesi ve yorumlanması yapılmıştır.

S235, S355 ve L415NE çelik kalitesindeki ve farklı kalınlıktaki plakalar, yüzey hazırlama işlemi yapıldıktan sonra toz altı ark kaynağı yöntemi ile spiral boru formunda şekillendirilmiştir.

Üretilen dört borudan ikişer set numune alınmıştır. Alınan numunelerden bir sete titreşimle gerilim giderme işlemi uygulanmıştır. Diğer set ise işlem uygulanmadan kullanılmıştır.

Titreşimle gerilim giderme işlemi yapılan ve yapılmayan numunelerden deneysel çalışmalar için test numuneleri çıkarılmıştır.

Laboratuvar çalışmalarında elde edilen test numuneleri ile çekme testi, tokluk testi ve sertlik testleri yapılmıştır.

Araştırmada elde edilen bulgulara göre, titreşimle gerilim gidermenin kalıntı gerilimi azaltırken akma mukavemeti, çekme mukavemeti, tokluk ve sertlik değerlerinde azaltma yapmadığı sonucuna varılmıştır.

ANALYSIS OF VIBRATION RESIDUAL STRESS RELIEF PROCESS OF PIPES PRODUCED BY SUBMERGED ARC WELDING METHOD

SUMMARY

Keywords: Residual stress, Submerged arc welding, Vibration residual stress relief

In this study, the effect of vibration stress relieving on residual stresses of samples of different thicknesses and different steel qualities produced by submerged arc welding has been investigated and interpreted as a result of the effect on yield strength, tensile strength, toughness and hardness values.

Plates of different thickness and quality of S235, S355 and L415NE were produced by submerged arc welding method by giving spiral pipe form after surface preparation process.

Two sets of samples were taken from each of the four pipes produced. Stress relieving process with vibration was applied to one set of the samples taken. The other set was left without process application.

Test samples were prepared for experimental studies from samples with and without vibration stress relieving.

Tensile test, toughness test and hardness tests were performed with the test samples obtained in laboratory studies.

According to the findings obtained in the study, it was concluded that while vibration stress relieving decreases residual stress, it does not decrease yield strength, tensile strength, toughness and hardness values.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Kaynak ile birleştirme işlemi yapılan imalatlarda işlem sırasında ve sonrasında oluşan hatalar ve kalıntı gerilmeler; üretimde aksamalara, parçalar üzerinde tekrar işlem yapılmasına, ürünün reddedilmesine veya uzun dönem performansında azalmaya neden olmaktadır. Bu etkiler sonucunda üretkenlik ve kararlılık olumsuz etkilenmektedir.

Kalıntı gerilme (residual stress), kaynaklı imalat sırasında malzeme içerisinde kalan gerilmeye denmektedir. Kaynaklı bölgeyi çevreleyen malzeme tarafından çekme veya basma gerilmeleri görülmektedir. Bu iç gerilmeler, kalıntı gerilme olarak isimlendirilmektedir.

Kaynak işlemi sonrasında oluşan kalıntı gerilmeler ve distorsiyonlar parçanın ölçü toleranslarının dışına çıkılmasına, form bozukluğu oluşmasına ve çalışma ömrünün kısılması gibi etkilere neden olmaktadır. Gerilmelerin önemi karmaşık yapı ve değişken yük altında çalışan parçalarda zamanla ortaya çıkmaktadır.

Zamanla ortaya çıkan, kalıntı gerilme kaynaklı hatalar iş parçasında; gevrek kırılmaya, gerilmeli korozyona, mukavemete değerlerinde azalma ve distorsiyon olarak karşımıza çıkmaktadır. İş parçasının çalışma ömrünü olumsuz etkileyen kalıntı gerilmeler zaman, para ve ürün kalitesinde kayıplarına neden olmaktadır. Bu ciddi kayıpların yaşanmaması için kalıntı gerilim ölçme ve giderme işlemleri yapılmaktadır.

Kalıntı gerilmelerin sebep olduğu hasarlanma türleri, kalıntı gerilimin ölçme yöntemleri tezin ilerleyen bölümlerinde incelenecektir. Tezin yazılmasına konu olan kalıntı gerilmelerin giderilmesi sürecinde ise ısıtıl işlem ve mekanik yöntemler uygulanmaktadır. Yaygın olarak ısıtıl işlem kullanılıyor olsa da ısıtıl işlemin teknik olarak mümkün olmadığı ve maliyetinin yüksek olduğu durumlar da bulunmaktadır. Bu durumlarda ise mekanik yöntemler devreye girmektedir. Bu yöntemler arasında titreşimle gerilim giderme ile çekiçleyerek gerilim giderme yöntemleri yaygın olarak uygulanmaktadır.

Bu çalışmada toz altı ark kaynağı yöntemi; uygulama alanları, avantaj ve dezavantajları, oluşabilecek hata türleri, titreşimle gerilim giderme işlemi; uygulama alanları, avantaj ve dezavantajları açıklanmaktadır.

Bu çalışmada, toz altı ark kaynağı ile üretimi yapılmış farklı kalınlık ve farklı çelik kalitesindeki numunelerin titreşimle gerilim giderme uygulamasının kalıntı gerilime etkisi ile akma mukavemeti, çekme mukavemeti, tokluk ve sertlik değerlerine etkisi ile oluşan farklılığın incelemesi ve yorumlanması yapılmıştır.

BÖLÜM 2. ARAŞTIRMALAR

Bu bölümde kaynak işlemi, artık gerilmeler üzerinde yapılan bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Kaynak işleminin kaynak bölgesine uyguladığı ısı çevrim, bu bölgenin içyapısını değiştirmekte ve dolayısıyla mekanik özellikleri farklı bir bölge ortaya çıkarmaktadır. Isının tesiri altında kalan bölge olarak adlandırılan bu bölgenin kaynak dikişinin etrafında birkaç milimetre genişliğinde bulunması, bu bölgeye sertlik ve metalografik muayene dışında diğer muayene usullerinin uygulanmasını imkânsız kılmaktadır. Kaynağa uygulanan sıcaklığın dağılımı dolayısıyla çeşitli bölgelerde farklı sıcaklıklara kadar ısınmış ve soğumuş gayet dar bir bölge olan ITAB içerisinde içyapı bakımından teorik olarak homojen bir bölge mevcut değildir. Dolayısıyla bu kısmın özellikleri hakkında fikir sahibi olmak için simülasyon çalışmaları yapılmaktadır [1].

Kaynaklı yapılarda meydana gelen artık gerilmelerin ve yapının dayanımının tespitinde kaynak işlemi sıcaklık ve soğuma sürelerinin analizlerinin esas alınması gerektiği savunulmuştur. Son yıllarda lineer sıcaklığa bağlı mekanik özelliklere sahip sayısal yöntemlerin geliştirilmesinin önemi vurgulanmıştır [2].

Çevresel kaynaklı bir boruda meydana gelen artık gerilmeleri üç boyutlu sonlu eleman yöntemi ile hesaplamıştır. Çevresel olarak hareket eden bir ısı kaynağına sahip sonlu eleman modelinin, düşük maliyetli ve artık gerilmelerin tahmininde başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak başlangıç ve bitiş noktalarında yakın bölgelerdeki zamana bağlı artık gerilme davranışları bu çalışma dahilinde tartışılarak, boru et kalınlığının ve kaynak hızının artık gerilmeler üzerindeki etkileri gösterilmiştir [3].

Çok pasolu kaynak dikişlerinde meydana gelen artık gerilmelerin iki boyutlu sonlu elemanlar modeli kullanılarak tahmini hesaplamalar yapılmıştır. Kullanılan modeller beş pasolu bir levhanın düzlemsel kaynağı ile altı pasolu bir borunun çevresel kaynağıdır. Yapılan deneysel çalışmalara modellerden elde edilen analiz sonuçları karşılaştırılmış ve kaynak için ısı girdisinin büyüklüğü ve başlangıç sıcaklık şartlarının artık gerilmelere etkisi araştırılmıştır [4].

Kaynak işlemi, özellikle ark kaynağı; plazma–metal /toz reaksiyonları, kaynak banyosu akışkan akışı, elektromanyetik hareket, faz dönüşümü, ısı transferi, kaynak metali kimyası, ısının tesiri altında kalan bölge mikro yapısı, artık gerilmeler, mekanik özellikler vb. gibi anlaşılması zor fiziksel, kimyasal ve mekanik olguların etkileşimini içeren kompleks bir prosestir. Önceleri, bu konuyla ilgilenen araştırmacılar ve bilim adamları çalışmalarının büyük bir kısmını kaynak fiziksel metalürjisi, kaynak metali ve ısının tesiri altında kalan bölge mikro yapılarının karakterizasyonu ve kaynak prosesinin optimizasyonu konularına ayırırken; son zamanlarda nümerik simülasyon, kaynak prosesinin analizi ve optimizasyonuna yardımcı bir araç olarak artarak kullanılmakta ve özellikle kaynaktaki artık gerilme ve uzamaların belirlenmesinde uygulanmaktadır [5].

Kaynak işlemi, günümüzde en yaygın olarak kullanılan birleştirme yöntemlerinden birisidir. Bu nedenle kaynak edilmiş parçaların emniyetinin sağlanması birleştirmelerin kullanıldığı tüm yapının güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır [6].

Titreşimli stres giderici ısıtma işlemi alternatif olarak avantajları. Titreşim işleminin yardımıyla kaynak gerilmelerinin azaltılması ve klasik işlem ile karşılaştırılmasıdır [7].

Tozaltı ark kaynağı dik pozisyonda kaynağın, termomekanik analizi sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde sonlu elemanlar modeli, yapılan deneysel çalışma ile doğrulanmıştır. Modelleme ile malzemenin

kaynak sonrası davranışları önceden tahmin edilebilmektedir. Kaynak parametrelerinin optimizasyonu da gerçekleştirebilmektedir [8].

Kaynaklı konstrüksiyonlarda bulunan artık gerilmeleri, mekanik titreşimler uygulayarak gideren ve ısıtma işlemiyle gerilme gidermenin bir alternatifi olan gerilim giderme prosesi incelenmiştir. Çıkan sonuçlar literatürdeki deneylerle karşılaştırılmıştır [9].

Her endüstri veya kuruluş, işlemin ve parametrelerinin uygun seçimine ve ardından kaynak operatörü veya kaynakçı tarafından izlenen kaynak prosedürüne bağlı olan sağlam ve homojen bir kaynak işlemi gerektirir. İş parçasına uygulanan titreşiminin yumuşak çeliğin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir [10].

BÖLÜM 3. KAYNAK İŞLEMİ VE KAYNAK KALİTESİ

3.1. Kaynak Tarihi

Kaynak, malzemelerin birleştirilmesi amacıyla ısı, basınç veya her ikisinin birlikte kullanılması ile metalürjik ortam koşullarının sağlanması sonucu ortaya çıkan kalıcı birleştirme yöntemidir. Genellikle metal ve termoplastik malzemeler üzerinde uygulanır.

Kaynağın tarihsel gelişimi eski zamanlara kadar izlenebilir. Eski çağlarda yapılan küçük altın dairesel kutular, basınçlı kaynak yöntemi kullanılarak bindirme kaynak modeli ile yapılmıştır. Bu kutuların 2000 yıldan daha önce yapıldığı tahmin edilmektedir. Demir Çağı boyunca, Doğu Akdeniz bölgesindeki insanlar demir parçalarını birbirine kaynaklamayı öğrendi. Bu uygarlıklara ait yaklaşık M.Ö. 1000’de yapılan birçok araç bulunmuştur.

Ortaçağ’da demircilik sanatı geliştirildi ve çekiçle kaynaklanmış demir parçaları üretildi. 19. Yüzyıla gelindiğine sadece demircilerin kullandığı ısıtma ve dövme yolu ile metallerin birleştirildiği kaynak yöntemi biliniyordu. Rusya ve Amerika’da doğup uygulama alanı bulan kaynak düşüncesi 1880-1885 yıllarında Amerika’da Coffin, Rusya’da ise Bernardo tarafından karbon elektrotlar kullanılarak oluşturulan ark sayesinde gerçekleştirilmiştir. 1890-1892 yılları arasında yine Rusya’da Slavianoff ve Amerika’da Coffin “Çıplak telli metal ark” yöntemini buldular. Ancak erimiş metal banyosunun, havanın olumsuz etkilerinden korunamıyor olması, oluşturulan kaynak metalinin fiziksel özellikleri ile yapısal özelliklerinin de kötü olmasına neden olmaktaydı. Bugünkü anlamda örtülü elektrot kaynağının keşfi İsveçli Oscar Kjellberg tarafından 1907 yılında örtülü elektrot yapması ile mümkün oldu. 1909 yılında da kimyager Arthur Strohmenger tarafından mavi asbestin kaynak teli üzerine

sarması yarı ark elektrotu üretmesi, gelişmeleri hızlandırdı. Kaynağın gelişmesinde önemli rolü olan savaş yıllarında gerek üstünlük kurma gerek yokluklar içine düşme nedeniyle çeşitli ülkeler metal kaynakları konusunda oldukça ciddi araştırma ve uygulamalar yaptılar.

Örnek olarak, 1918 yılına rastlayan dönemde yarı-ark elektrotunun bulunmaması nedeniyle, çelik tel etrafına sodyum silikata batırılmış kâğıt sarıp selülozik elektrotu üreten A.O Smith gösterilebilir. Ancak metal kaynaklarında asıl gelişme 2. Dünya savaşı döneminde olmuştur. Bu dönemde özellikle hafif metallerin kullanılmaya başlanmasıyla (uçaklar vb.) TIG (Tungsten Inert Gas) ve MIG (Metal Inert Gas) kaynaklarının temelleri atılmıştır. En önemli uygulamalar ve araştırmalar ise gemi, özellikle de savaş gemilerinin üretilmesinde olmuştur.

Ülkemizde ilk metal kaynakları 1920 yılında İstinye ve Gölcük tersanelerinde kullanılmış olmakla birlikte, ciddi ve planlı ilk başlangıç o zamanki adıyla Eskişehir Vagon Fabrikalarında gerçekleşmiştir. Bu süreç, Nüvit Osmay'ın, görevli olarak Almanya'ya gitmesi ve dönüşünde beraberinde jeneratör tip kaynak makinesi ile usta öğretici sıfatıyla bir teknisyen getirip eğitim ve uygulamalara başlaması ile olmuştur [11].

3.2. Kaynak

Malzemelerin, ısı enerjisi ve/veya basınç uygulaması altında, sürekli bir içyapıya sahip olacak şekilde birleştirilmesi işlemidir. Erime sıcaklığı ana malzemeye eşdeğer dolgu malzemesi ilave edilerek veya ilave edilmeksizin birleştirme yapılabilir [12].

3.3. Kaynağın Sınıflandırılması

Kaynağı sınıflandırması yapılırken üç başlık ön plana çıkmaktadır;

- 1- Amaca göre kaynak;

Birleştirme kaynakları, Dolgu kaynakları

2- Uygulama şekline göre metal kaynaklar;

Manuel kaynak, Yarı mekanize kaynak, Tam mekanize kaynak, Robotik kaynaklar

3- İşlem cinsine göre metal kaynakları iki alt başlıkta incelenebilir;

3.4. Basınç Kaynağı

Difüzyon kaynağı, Soğuk basınç kaynaklar, Ultrasonik kaynaklar, Sürtünme kaynağı, Ocak kaynağı, Döküm basınç kaynağı, Gaz basınç kaynağı, Elektrik direnç kaynağı, Elektrik ark basınç kaynağı şeklindedir.

3.5. Eritme Kaynağı

Döküm eritme kaynağı, Elektron bombardımanı ile kaynak, Lazer ışın kaynağı, Elektrik direnç eritme kaynağı, Gaz eritme kaynağı şeklindedir.

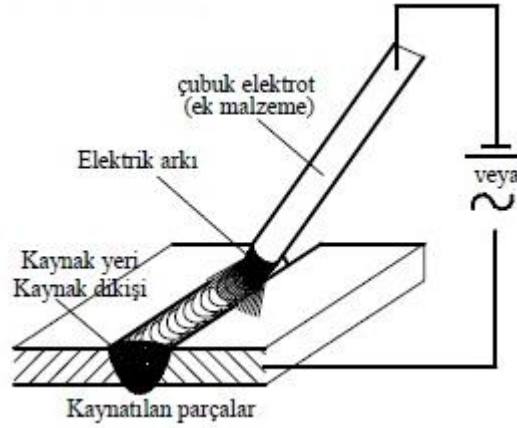
Elektrik ark Kaynakları; Karbon arkı ile kaynak, Metal arkı ile kaynak, Koruyucu gaz altında kaynak, TIG, MIG, MAG, Toz altı ark kaynakları vb. şeklinde sınıflandırılmaktadır [13].

3.6. Kaynak Yöntemleri

Birleştirilecek malzemelerin çeşitleri, birleştirme yöntemleri, kullanılan ekipmanlar, sarf malzemeleri, ortam koşulları olarak incelendiğinden yüzlerce çeşit kaynak yöntemi bulunmaktadır. Detaylı olarak açıklanacak tozaltı ark kaynağı yöntemine geçmeden önce genel kullanıma sahip eritme kaynaklarından bazı ark kaynak yöntemleri açıklanmıştır.

3.6.1. Ark kaynağı

Birleştirilecek parçalar arasında dolgu malzemesi (elektrot) kullanılarak, elektrot ile parçalar arasında oluşan sürekli arkla kaynak yapma yöntemidir. En yaygın kullanılan kaynak yöntemidir.

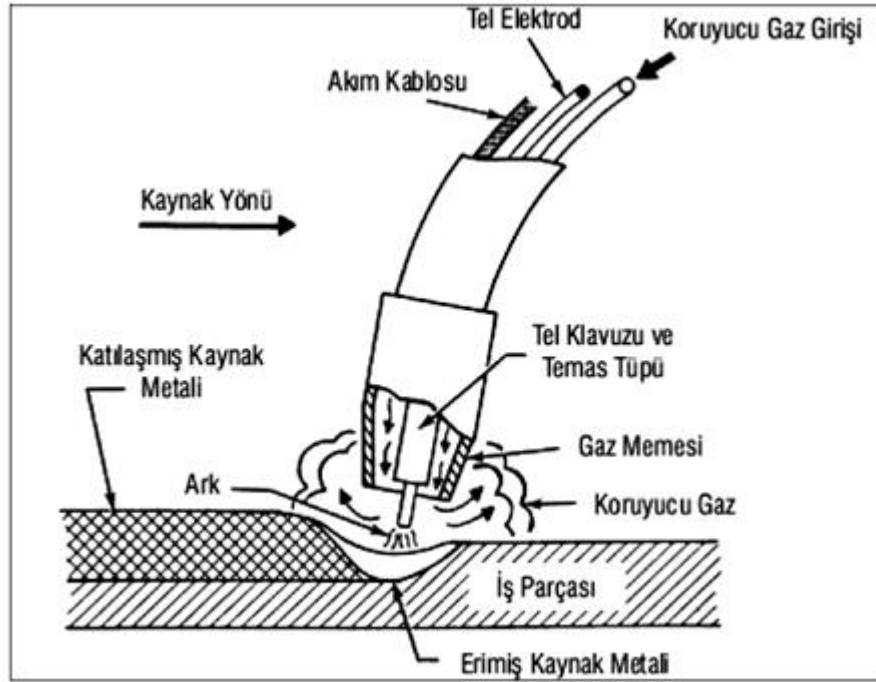


Şekil 3.1. Elektrik ark kaynağı şematik diyagramı

Kaynak işleminde kullanılan elektrot türleri; Rutil elektrot, Asidik elektrot, Bazik elektrot, Selülozik elektrot olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır.

3.6.2. Gazaltı ark kaynağı

Kaynak bölgesini havanın ve çevrenin olumsuz etkilerinden korumak için çeşitli gazların kullanıldığı yöntemdir.



Şekil 3.2. Gazaltı ark kaynağı şematik diyagramı

Gaz altı ark kaynağı elektrotların erimesine bağlı olarak iki farklı türe ayrılmaktadır.

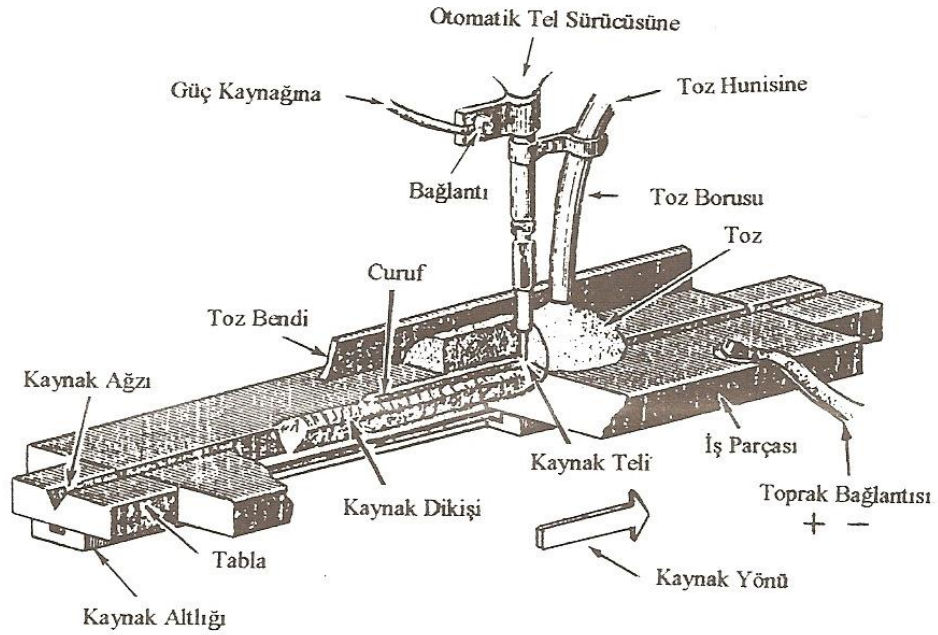
- Erimeyen elektrotla yapılan; TIG(Tungsten Inert Gaz kaynağı) ve Ark atom
- Eriyen elektrotla yapılan; MIG (Metal Inert Gaz kaynağı) ve MAG (Metal Aktif Gaz Kaynağı)

3.6.3. Tozaltı ark kaynağı

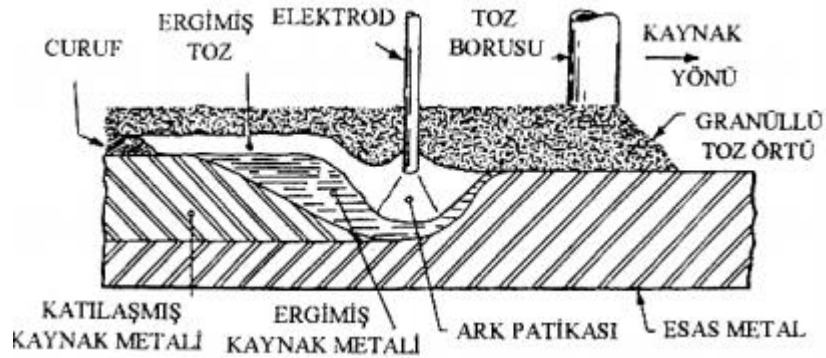
Toz altı kaynak yöntemi ilk defa 1933 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde uygulanmaya başlamıştır. Yöntem daha sonraları 1937 yılında Avrupa'da kullanılmaya başlamış ve bugünkü şeklini ise 1946 yılında Rusya'da almıştır. Yöntemin Türkiye'ye girişi 1960'lı yıllara rastlar. Bugün ülkemizde kaynaklı imalat yapan büyük kuruluşların tümünde toz altı kaynağı yapılmaktadır [14].

3.6.3.1. Tozaltı ark kaynağı yöntemi

Elektrik ark kaynağı yöntemlerinden olan tozaltı ark kaynağı yönteminde oluşan ark, toz ile örtülmüş yüzeye otomatik olarak sürülen örtüsüz (çıplak) elektrot ile malzeme arasında meydana gelir ve sürekli olarak devam eder. Kaynak işleminin toz örtü altında yapılması nedeniyle yöntem tozaltı ark kaynağı denilmektedir.



Şekil 3.3. Tozaltı ark kaynağının prensibi [15].



Şekil 3.4. Tozaltı ark kaynağı yöntemi şematik diyagramı [16].

Kullanılan toz ile atmosfer şartlarına karşı korunan kaynak banyosunda ark kararlı şekilde yanmaktadır. Tel beslemesi ve toz beslemesi otomatik olarak yapılmaktadır.

Ark sıcaklığında bir miktar toz erir ve dikişi örten cüruf tabakasını oluşturur. Kaynak esnasında kullanılmayan toz eleme işlemlerinden sonra tekrar kullanılabilir. Elektrotlar ise erir, eriyen elektrotlar yüksek akımla çalışabildiği için diğer yöntemlere göre kaynaklama hızı yüksek ve nüfuz etme derinliği fazladır.

3.6.3.2. Uygulama alanı

Tozaltı ark kaynağı birleştirme kaynağı, dolgu kaynağı ve kaplama kaynağı işlemleri için uygulanmaktadır. Uygulamada elde edilen yüksek kaynak kalitesi ile birçok güvenlik şartı bulunan yapı elemanlarının kaynaklarına izin verilmektedir.

Örnek uygulama alanları;

Dolgu işlemlerinde; Mil ve makine parçaları gibi deformasyona uğrayan parçaların dolgu işlemlerinde, darbeye dayanıklı sert dolgu işlemlerinde vb. dolgu işlemlerinde.

Kaplama işlemlerinde; Korozyona dayanıklı kaplama işlemleri vb. ortam şartlarından korumaya yönelik işlemlerde.

Birleştirme kaynağı olarak; Atom reaktörü inşası, basınçlı kap, kazan ve tank imalatında, LPG tüp imalatında, çelik konstrüksiyon imalatında, profil imalatında, otomotiv ve lokomotif sanayinde, gemi inşa sanayisinde ve tez çalışmamızda karşılaştırması yapılan spiral kaynaklı boru imalarında toz altı ark kaynağı kullanılmaktadır.

3.6.3.3. Tozaltı kaynak avantajları ve dezavantajları

- Avantajları;

1. Yüksek Eritme Gücü ve Kaynak Hızı;

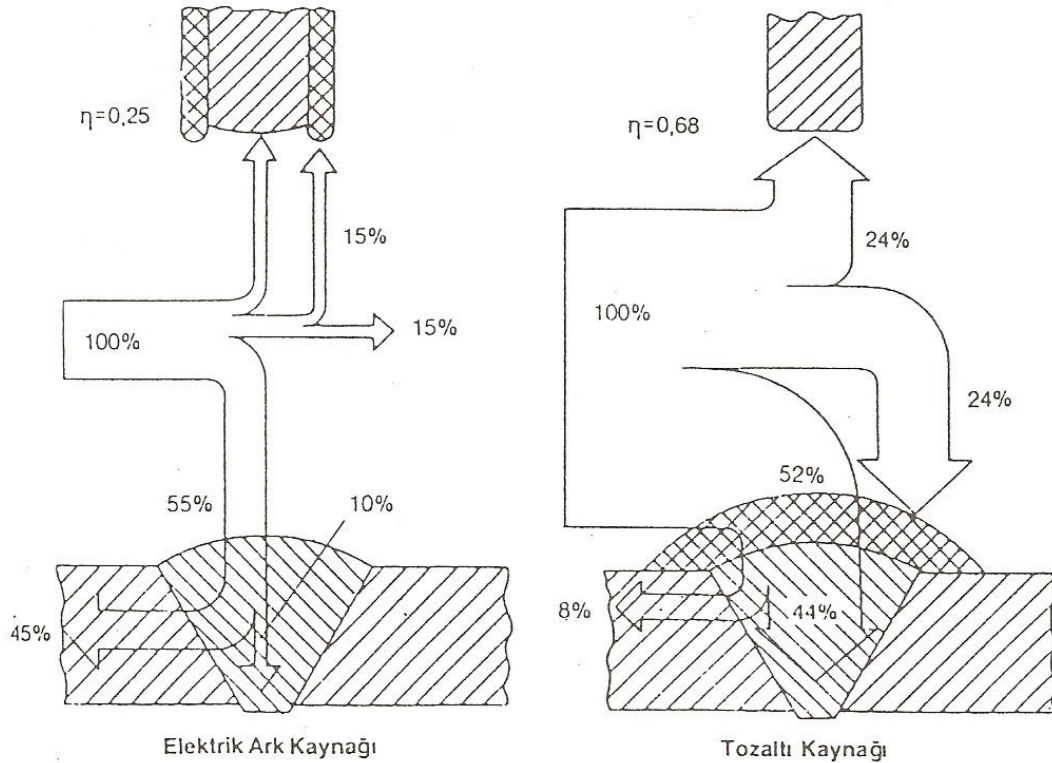
Akım şiddeti normal olarak 200-2000 Amper arasında değişir. Çoklu tel kullanımında bu değer 1000 Amper daha artabilir. Artan amper değeri ile yüksek eritme gücü sağlanmaktadır. Sistemin birden fazla tel ile çalışabilmesi ile kaynak hızı 300 cm/dk değerlerine çıkabilmektedir. Diğer eritme kaynaklarına göre hızlı ve yüksek eritme gücündedir.

2. Yüksek Nüfuziyet;

Kaynak akım şiddetinin 3000 Amperlere çıkması ve gerekli yüzey hazırlama işlemlerinin de yapılması ile 150 mm kalınlığındaki parçalar kaynatılabilir.

3. Yüksek Termik Verimi;

Isı girdisinin düşük olması ile açılmal çarpılmanın az olması



Şekil 3.5. Elektrik ark kaynağı ve Tozaltı ark kaynağı ısı bilançosu [17].

4. Kaynak Kalitesi;

Kaynak bölgesinin toz ile atmosfere kapatılması kontrollü çalışma ortamı oluşturmaktadır. Cürufun etkisi altında gerçekleşen akım geçişi ile ana malzemeye ısı geçişinin yavaş olması kaynak dikiş formunun iyi olmasını sağlamaktadır. Kaynak ağzı yüzey hazırlama işlemi ve parametre ayarları ile sertleşmenin az olması sağlanmaktadır.

5. Yüksek Ark Kararlılığı;

Buharlaşan cüruf ile ark gizlenmektedir. Bu bakımdan yüksek akım şiddeti ve yüksek kaynak hızı elde edilmektedir.

6. Isıl işlem ve Titreşimle Gerilim Giderme;

İşlem görmemiş durumda iç çentiklerin görülmemesi nedeniyle kaynak dikişinin yüksek dayanca ve düzenli bir dikiş formuna ulaşması sağlanabilir. Isıl işlem ve titreşimle gerilim giderme işlemleri yapılmadan da kaynaklı parça kullanılabilir.

7. Ekonomi;

Tel elektrot kullanımı ile çalışma yapıldığından elektrot artığı yoktur. Sürekli tel ve toz beslemesi yapıldığı için sistem duraksamadan çalışabilmektedir. Kaynak işlemi için harcanan enerjinin %70 'e yakını kaynakta kullanılmaktadır.

8. Personel Verimi ve İSG

Toz altında gerçekleşen kaynak ultrason ışını yaymaz, duman ve toz oluşumu çok az olduğundan ilave ekipman kullanımına gerek duyulmaz. Kumanda sistemi ile otomatik olarak yapılan kaynak ile personele ekstra iş yükü oluşturmaz. Sistem ilk ayarından sonra personel tarafından takip edilmesi ile sürekli aynı kalitede kaynak

dikişı elde edilir. Sistem otomasyonu ile ayar süreci sonrası kendi kendine çalışabilmektedir.

- Dezavantajları;

1. İlk yatırım maliyeti yüksektir,
2. İlave donanım olmadan sadece yatay pozisyonda kaynak yapılabilir,
3. İnce kalınlıklar için uygun değildir,
4. Kaynak parametre ayarının doğru yapılmaması, tel ve toz kombinasyonunun uyumsuzluğu, tozun çalışma öncesi ön hazırlık işlemlerinin yapılmaması gibi durumlarda kaynak hataları oluşmaktadır.

3.6.3.4. Tozaltı kaynak parametreleri

Tozaltı ark kaynağının çalışması için gerekli ekipmanlar ve bu ekipmanların kullanımında dikkat edilmesi gereken parametreler direk olarak kaynağın kalitesini belirlemektedir. Bu nedenle tüm ekipmanlar ve parametreler son derece önemlidir.

- Kullanılan ekipmanlar;

1. Güç üretici (kaynak makinesi)
2. Çıplak tel elektrot
3. Tel sürme motoru
4. Bakır nozul
5. Toz
6. Toz deposu
7. Toz emiş sistemi

- Kaynak kalitesini etkileyen parametreler;

1. Toz;

Kaynak tozları istenilen özelliklere bağlı olarak çeşitli tane boyutlarında ve oranlarda karıştırılarak hazırlanan mineral birleşiklerdir. Örtülü elektrotlardaki örtünün fonksiyonunu yerine getirirler. Kaynak banyosunu fiziksel cüruf oluşumu ile atmosfere karşı korurken yavaş soğuma sağlayarak dikiş kalitesini artırır ve dikiş form verir. Toz, ana malzeme ve tel ile etkileşime girerek metalürjik kaynak kalitesini ve mekanik özellikleri etkilemektedir.

2. Tozların Türleri;

- Kaynağın amacına göre tozlar;

1. Hızlı kaynak tozu
2. Derin nüfuziyet tozu
3. İnce sac kaynak tozu
4. Aralık doldurma tozu
5. Doldurma kaynak tozu

- Üretim Yöntemine Göre Tozlar;

1. Erimiş tozlar
2. Sinterlenmiş tozlar
3. Aglomere tozlar

- Kimyasal özelliklerine tozlar

1. Asidik toz
2. Bazik toz
3. Nötr toz

- Toz tane kombinasyonu;

Kimyasal etkilere bağımsız olarak tane büyüklüğü kaynak kalitesi için önemli etkidir. Kaynak işleminde çıkan gazların katılaşmadan önce kaynak havuzundan ayrılmaları gerekir. Ayrılmayan gazlar çatlak, gözenek, vb. oluşumlar yaparak kaynak bölgesinde hatalar bırakırlar bu durumdan kaynak kalitesi olumsuz etkilenir. İyi bir kaynak koruması için iri taneler ile ince tanelerin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması gerekmektedir. Çok ince taneli tozdan gaz çıkışı kolaylıkla gerçekleşmeyeceği için kaynak kalitesi düşecektir.

Tozaltı ark kaynağında toz, kaynak bölgesinden geri emilerek ve eleme yapılarak tekrar kullanılmaktadır. Tozların tane büyüklüklerini, kaynak esnasında oluşan ark enerjisi ile bir miktar eriyen ve sürtünmelere bağlı olarak tane boyutu küçülen tozlar belirlemektedir. Tane boyutlarının istenilen değerlerde ve homojen olması için sisteme belirli oranlarda yeni toz eklenerek çalışma verimliliği için süreklilik sağlanır.

Toz eklemesi yapılırken dikkat edilmesi gereken diğer nokta tozun nem çekme özelliğinin olmasıdır. Kaynak banyosunda nemli toz kullanımı kaynak kalitesini düşüreceği için kullanılacak tozun vakumlu paketlerde muhafaza edilmiş olması ve kullanım öncesi fırınlama yapılarak içindeki nemin uzaklaştırılması önemlidir.

- Kaynak Teli

Tozaltı ark kaynağı yönteminde kullanılan elektrotlar çıplak elektrot türünden olup görüntü itibarıyla tele benzedikleri için kaynak teli olarak isimlendirilmektedir. Kimyasal kompozisyonunda kaynak bölgesinin metalürjik gerekliliklerini sağlamak için yüksek mangan içeren özel çeliklerden üretilirler. Çapları 1,2 mm ile 12 mm arasında üretilen teller kaynak yapılacak yerin; et kalınlığına, kaynak hızına, çelik kalitesine, tel ve toz kombinasyonuna, kaynak metoduna (tek telli, çok telli gibi), vb. özelliklere göre farklı çaplarla kullanılırlar.

Kaynak yapılacak malzemenin kalınlığı arttıkça kaynak nüfuz edebilme gerekliliği artmaktadır. Nüfuziyetin artması için tel üzerinden birim alandan geçen akım şiddeti

artırılmalıdır. Kaynak telinin taşıyabileceği akım yoğunluğu telin çapına, tel sürme motorun üreteceği tel sürme hızına ve kullanılan toza bağlıdır.

- Akım Şiddeti (Amper)

Akım şiddeti kaynak dikişi üzerinde etkisi en fazla olan etkidir. Kaynak yapılacak malzemelerin kalınlıklarına bağlı olarak akım şiddeti belirlenmektedir. Artan akım şiddeti ile kaynak nufuziyeti artmaktadır. Kaynak kalitesi ve ürünün kullanılabilirliği açısından denge değerinin yakalanması gerekmektedir çünkü artan akım şiddeti malzeme kalınlığının üzerinde nufuziyet etkisi gösterirse kaynakta delme meydana gelecek kullanım alanına bağlı olarak ürün ret edilmesine neden olacaktır. Tam tersi durumda ise akım şiddeti düşük kalacak ve yetersiz nufuziyet hataları ile karşılaşılacaktır.

Tozaltı ark kaynağında Alternatif akım (AC) ve Doğru akım (DC) tek veya aynı anda kullanılabilir. DC akım eritme gücü ile nufuziyet sağlarken AC akımın ark saçınımını engelleyici özelliği ile kaynak dikişinin son pasosunda kullanılmaktadır.

- Gerilim (Voltaj)

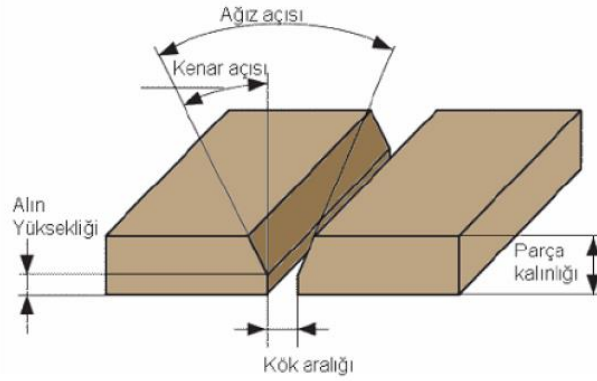
Akım şiddetinin aksine gerilim artması nufuziyeti artırmak yerine kısmen azaltmaktadır. Çünkü gerilimin artması ile ark boyu artmaktadır, ark boyunun artması kaynak dikişinde genişlemeye neden olacaktır. Kaynak dikişinin yüzey alanının artması ile ana malzemede erime oranı artacaktır. Bu durum kaynak için daha fazla enerji harcanmasına neden olmakla birlikte cürufun yüzeye yapışmasına ve toz sarfiyatının da artmasına neden olacaktır. Kaynak dikişinin yaygın ve yüksek olması yanma oluşu (dikiş kenarında çentik) gibi kaynak hatalarına neden olmakla birlikte kaynak sonrası yapılacak kaplama işleminde gözenekli yapı oluşumuna, kaplama kalınlığının artmasına ve maliyetlerin artmasına neden olacaktır.

- Kaynak Hızı

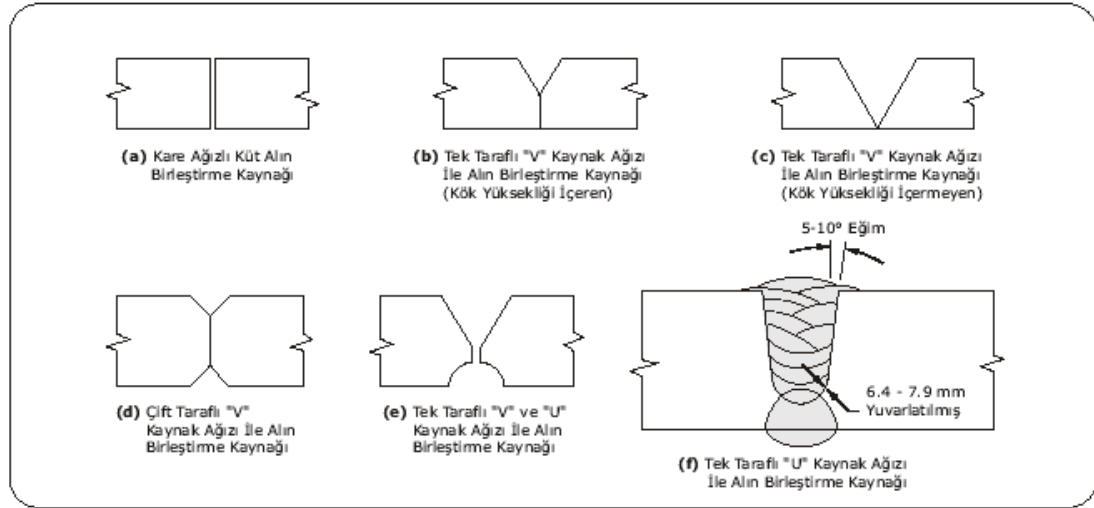
Kaynak hızı; dikişin fiziksel görünüşü, ısı tesiri altında kalan bölgenin genişliği, kaynak delmesi oluşumu, yanma oluğu oluşumu, gözenek ve çatlak oluşumu gibi süreçlere doğrudan etki etmektedir. Amper ve voltajın sabit kaldığı artan kaynak hızlarında nüfuziyette ve kaynak dikişinin genişliğinde azalma olacağı bilinmektedir. Aynı şartlarda kaynak hızı düştüğünde ise ısı girdisi artacak kaynak banyoya doğru akma yapacak bu durumda nüfuziyet azalırken toz tüketimi ve ana malzemeyi eritmek için gereken enerji artacaktır. Yüksek kaynak hızlarında yanma oluğu ve dikiş üzerinde gözenekler görülürken, düşük kaynak hızlarında kaynak delmesi riski bulunmaktadır. Amper ve voltaj değerleri ile ayarlama yapılarak uygun tel, toz ve tel sürme hızları ile hat hızı değişimleri ayarlanmalıdır.

- Yüzey Hazırlığı

Kaynak işlemleri öncesi malzemelerin yüzey hazırlıkları kaynakta nokta hataya sebebiyet vermeyecek geometride ve kirliliklerden arındırılmış olmalıdır. Yüzey hazırlama süreci için genel olarak kaynak ağız açma işlemi olarak adlandırma yapılmıştır. Kaynak ağız hazırlığı alın kaynağı, köşe kaynağı vb. yöntemler için yapılmaktadır. Kaynak ağız açma işlemi yapılırken dikkat edilmesi gerek noktalar; Kaynak ağız açısının genişliği, malzeme yüzeyleri arasındaki boşluk şeklindedir.



Şekil 3.6. Kaynak öncesi yüzey hazırlığı



Şekil 3.7. Alın Kaynak dikiş biçimi ve kaynak yüzey hazırlığı biçimleri

- Serbest Tel Uzunluğu

Kaynak telinin bağlantı noktası ve nozuldan çıkan boşta olan kısmı, nozulun malzemeye olan mesafesi ile belirlenir. Bakırdan yapılan nozul enerji iletkenliği yüksek olduğu için harcanan enerjinin tamamını tele aktaracaktır. Serbest tel uzunluğu arttıkça gerilim artacak, ark kararsız duruma geçerek eritme gücü azalacaktır ve kaynak kalitesi düşecektir. Çalışma şartlarında istenen serbest tel uzunluğu tel çapına oranla belirlenmektedir.

$$\text{Serbest Tel Uzunluğu (mm)} = \text{Tel çapı(mm)} \times 10 \quad (3.1)$$

Kaynak kalitesi, ısı girdisi ve ark kararlılığı tek bir parametreye bağlı olmadığını bazı kaynak parametreleri ile açıklamaya çalıştım. Tüm parametrelerin ortak kombinasyonu ile oluşacak ark kararlı yapıda olacak ve sabit ark ile yapılan kaynak kalitesi iyi olacaktır.

- Haz Bölgesi (ITAB)

Tüm kaynak yöntemlerinde olduğu gibi tozaltı ark kaynağında da ısıdan etkilenen bölümler bulunmaktadır. Bu bölümler, İngilizce Heat Affected Zone kısaltması olan HAZ veya ısı tesiri altındaki bölgenin kısaltması olarak ITAB şeklinde kısaltma

isimler ile adlandırılmaktadır. Kaynaklı birleştirmelerin en riskli bölgesi olan hazda; kırılma, sertleşme, soğuk çatlak gibi hata türlerinin mevcudiyeti malzemenin kalitesini ve ekonomik ömrünü azaltmaktadır.

$$Q \left(\frac{J}{mm} \right) = \eta \frac{I(amper) \times U(Volt)}{v \left(\frac{mm}{saniye} \right)} \quad (3.2)$$

Q; Isı girdisi miktarı (J/mm),

U; Kaynak gerilimi (Volt),

I; Kaynak akımı (Amper),

V; Kaynak hızı (mm/ saniye)

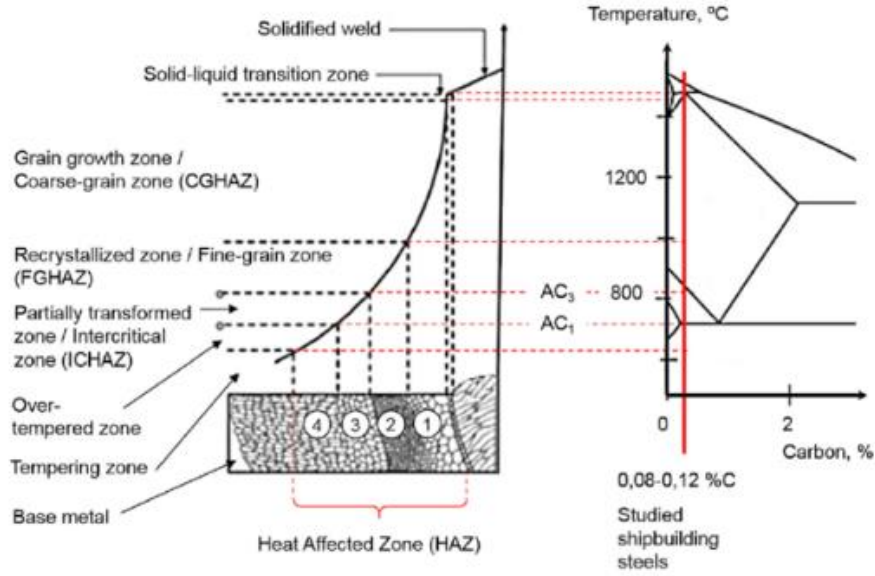
η; Enerji verimlilik faktörü;

Kaynak yöntemlerine göre enerji verimliliği farklı sabit değerlere sahiptir.

Tablo 3.1. Enerji verimlilik katsayı tablosu

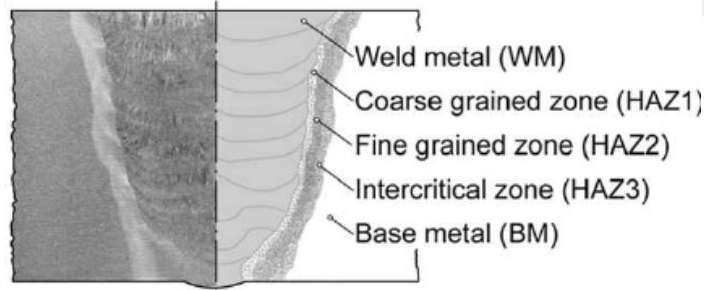
Kaynak Yöntemi	Enerji verimlilik faktörü (η)
Tozaltı ark kaynağı	1
Gazaltı özlü tel kaynağı	0,9
Elektrik ark kaynağı ve MAG kaynağı	0,8
TIG ve MIG kaynakları	0,7

Kaynak parametreleri ve hız değişkenleri ile malzemeye uygulanan ısı girdisi, parçanın kalınlığı, kimyasal kompozisyonu vb. etkiler bölgenin mekanik ve metalürjik durumunu etkilemektedir. Kaynak bölgesinde artan tane boyutu ana malzemeye giderek küçülmektedir. Şekilde ısı geçişlerine bağlı olarak yapı değişimlerini görülmektedir.



Şekil 3.8. Isıdan etkilenen bölge yapısı ve ilgili demir karbon denge diyagramı [18].

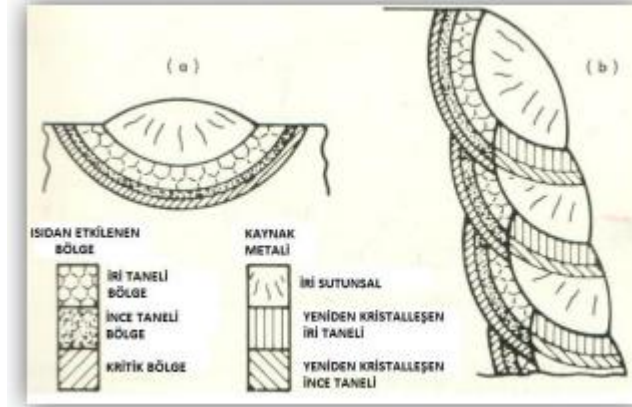
Şekil 3.9 da ısıdan etkilenen bölgelerin şematik çizimi bulunmaktadır. Yapı kaynak bölgesi, iri taneli bölge (HAZ 1), ince taneli bölge (HAZ 2), kritik bölge (HAZ 3) ve ana malzemeden oluşmaktadır.



Şekil 3.9. Isıdan etkilenen farklı bölgelerdeki bir kaynağın şematik çizimi [19].

Toz altı ark kaynağı gibi çok pasolu kaynakların haz bölgesinde mekanik ve metalürjik özelliklerde tek pasolu kaynaklara göre daha az değişim görülmektedir. Bunun nedeni kaynak işlemlerinde (pasolarda) ısı girdisi bir önceki kaynak dikiş bölgesine ve haz bölgesine etki ederek tane boyutunda küçülmesine ve normalize olmasına etki eder. Pasolar arası geçişte soğuma süresi uzayacağı için tane boyutunun homojenizasyonu sağlanabilir. Tez çalışmamda incelediğim iç gerilmelerde ise ilk paso sonrası yapılan pasolar tavlayıcı etki yaparak gerilimi

azaltabilir ve / veya tamamen yok edebilir. Yani çok pasolu kaynaklarda tane boyutu küçülürken, yapının absorbe edeceği enerji artar, iç gerilmeler azalır veya yok edilir.

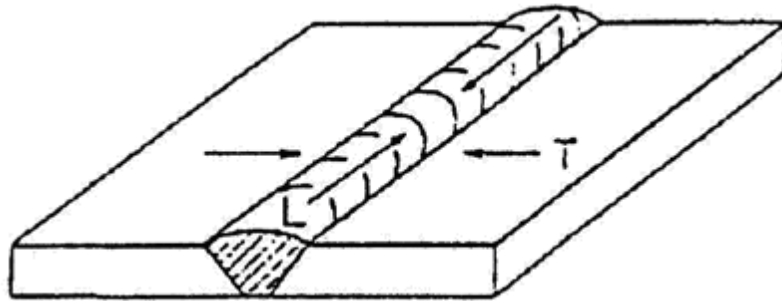


Şekil 3.10. Tek ve Çok Pasolu Kaynaklarda Isı Etki Bölgesi ve Kaynak Metali [20].

BÖLÜM 4. ARTIK GERİLME

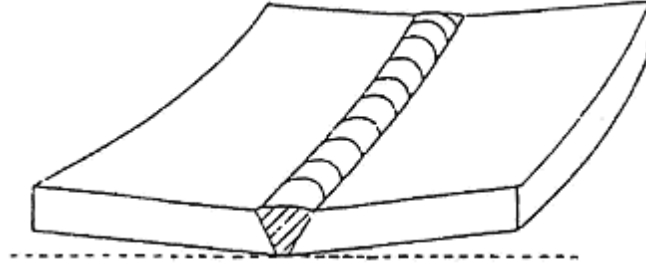
Artık gerilme; dış etkilere bağımsız, malzeme içerisinde bulunan gerilme dağılımı olarak adlandırılır. Residual stress çevirisi olarak artık gerilme, iç gerilme, kalıntı gerilme vb. farklı adlandırmalar ile bilinmektedir. Gerilmelerin malzeme içerisinde homojen olmayan plastik deformasyon artığı olarak bulunması nedeniyle artık gerilme olarak adlandırılmaktadır. Kaynak işleminde, kaynak ağzı açılan bölge erime sıcaklığının üzerinde bir değere kadar ısıtılarak yerel erime sağlanır. Soğuma işleminde ise süreç girdileri ve işlem yöntemlerine göre farklı hızlarda soğuma meydana gelecektir. Yani ısıtma ve değişken soğuma hızı farklılıkları ve yavaş soğuma nedeniyle artık gerilme oluşmaktadır.

Kaynaklı parçalarda artık gerilmelerin oluşumunda meydana gelen sıcaklık farkının soğuma işlemleri farkından meydana geldiğini açıklamıştık. Malzemenin her yerinde soğuma süreci aynı şekilde ilerlememektedir. Kaynak yapılan malzemelerde kaynak bölgelerinde çekme gerilimi oluşurken, malzeme yüzeylerinde basma gerilmeleri oluşmaktadır. Bu durum kaynak dikişi katılaşırken, ana malzemede ve haz bölgesinde gerilmeye neden olur.



Şekil 4.1. Bir alın dikişindeki, enine (T) ve boyuna (L) büzülme gerilmeleri [8].

Katılaşan bölgeler dikişin diğer bölgelerin büzülmesine engel olurlar sonucunda yapıda fiziksel olarak ta görülen çeki gerilmesine bağlı şekil değişiklikleri meydana gelir.



şekil 4.2. Bir alın kaynaklı birleştirmede distorsiyon [8].

Kaynak işlemlerinde meydana gelen i gerilmelerin etkisiyle oluşan ve uniform olmayan deformasyona distorsiyon denir.

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

Kaynaklı parçada meydana gelen artık gerilme ve distorsiyonlar, malzemenin 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. eki halinde ise, düşük tokluğa sahip kaynak bölgelerinde artık gerilmeler yüksek lokal gerilmelere sebep olur ve sonuç olarak düşük değerlerdeki gerilmeler tarafından ilerletilebilen gevrek tip çatlaklar oluşturulabilir. Ek olarak artık gerilmeler yorulma ve korozyon hasarlarını da artırır [8].

Artık gerilmelerin kaynaklı parça üzerinde etkileri;

- Yorulma Hasarları

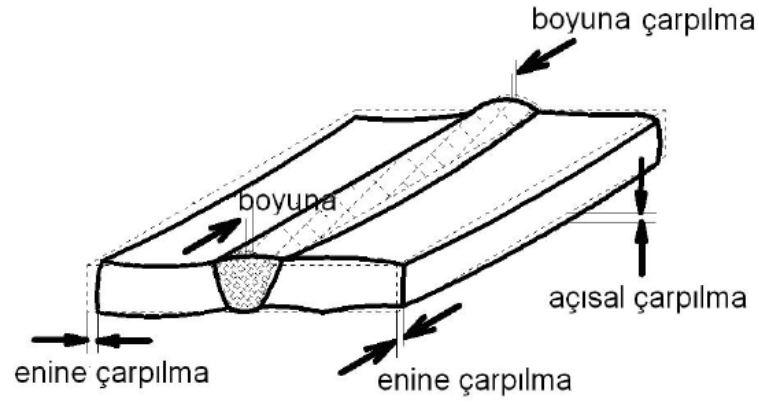
Artık gerilmelerin parça yüzeyinde çekme gerilmesi olarak bulunması ile basma gerilmesi olarak bulunması arasında yorulma ömrü açısından farklılık vardır. Artık gerilmenin kaynaklı parça yüzeyinde çekme gerilmesi olarak bulunması parçanın yorulma ömrünü azaltırken, basma gerilmesi olarak bulunması yorulma ömrünü uzatacaktır. Bu durumda çekme gerilmeleri yapıda gevrek kırılma oluşum etkisini artırarak yorulma ömrünü azaltmaktadır.

- Korozyon Hasarları

Bir malzemenin korozyonla birlikte, dış yüklerin oluşturduğu statik çekme gerilmelerinin veya kalan çekme gerilmelerinin etkisi altında hasara uğramasına gerilmeli korozyon çatlaması adı verilir. Gerilmeli korozyon çatlaması malzemede çatlaklar oluşturarak dayanımı azaltan bir korozyon şeklidir. Gerilmeli korozyonun oluşması için çekme gerilmeleri gerekmektedir. Ark gerilmelerinin kaynak dikişi etrafındaki etkisi çekme gerilmeleri olarak görülmektedir. Bu durum malzemenin gevrek olarak kırılmasına sebebiyet vermektedir [9].

- Distorsiyon Hasarları

Kaynak işleminde ısınan kaynak bölgesi homojen olmayan büzülme davranışı gösterir; kaynak dikişinin enine kesitindeki büzülme, bu enine kesite eksantrik kuvvetler uygular ve böylece büzülme miktarı eşit olmaz. Sonuç olarak çarpılma meydana gelir. Alın birleştirmelerde kaynak dikişinin üst bölgesi, kök bölgesine nazaran daha fazla büzülür. Bu sebeple bu tip kaynaklı birleştirmelerde uzunlamasına enine çarpılmalara ek olarak açısal çarpılma da meydana gelir. Açısal çarpılmalar kaynak dikişi boyunca levhada enine eğilmelere neden olur [9].



Şekil 4.3. Artık gerilmelerin oluşturduğu çeki ve bası gerilmeleri [9].

Kaynaklı parçalarda meydana gelen artık gerilmeleri azaltmak için ısıtma işlemi, çekiçleme, titreşimle gerilim giderme gibi işlemler uygulanabilir. Kaynak işlemi yapılan iş parçalarının tasarım aşamasında, artık gerilme ve distorsiyonun etkileri, hata varlığının kontrolleri, parçanın mekanik ve kimyasal özellikleri, tahribatlı ve tahribatsız deney şartları, imalat maliyetleri ve insan güvenliği göz önünde bulundurularak çalışma yapılması gerekmektedir.

BÖLÜM 5. GERİLME GİDERME YÖNTEMLERİ

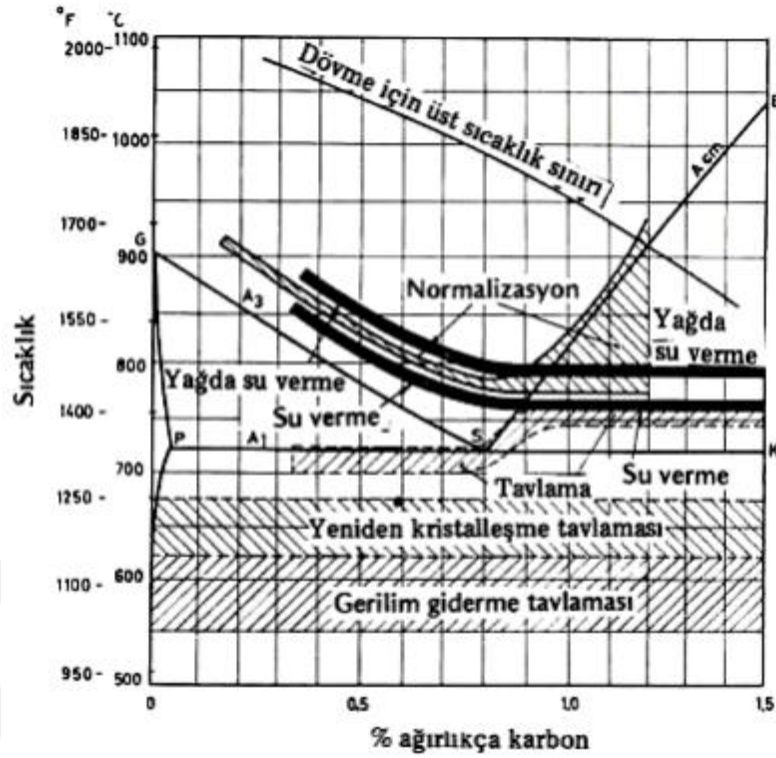
Kaynaklı parçalarda düzensiz soğuma sonucunda oluşan gerilmelerin giderilmesi amacıyla çeşitli uygulamalar yapılmaktadır. Uygulama yöntemleri ve tipleri malzemenin yapısına, boyutuna, şekline ve çalışma ortamına vb. etkenlere bağlı olarak farklı şekillerde yapılmaktadır. Genel olarak bilinen ve uygulanan yöntemlerden bazıları;

- Isıl işlem,
- Titreşimle gerilime giderme(mekanik yöntem),
- Elektromanyetik yöntem,
- şeklindedir.

Mekanik yöntem, çekiçleme veya titreşimle gerilim giderme yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Isıl işlem, tüm kaynaklı parçayı veya her kaynağı tek tek ısıtmaktan oluşur. Elektromanyetik yöntem, elektromanyetik çekiç tekniği kullanılarak gerçekleştirilir. Yoğun olarak kullanılan ısıl işlem ile tezin asıl konusu olan titreşimle gerilime giderme hakkında detayları madde 5.1 ve 5.2 de verilmektedir.

5.1. Isıl işlem

Isıl işlem malzemenin sertlik, tokluk gibi mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla uygulanan işlemdir. Malzemenin özelliklerinde istenilen değişikliklerin sağlanması amacıyla metalik malzemelerin ısıtılması, sabit sıcaklıkta tutulması ve soğutulması süreçlerinin tamamına ısıl işlem denilmektedir.



Şekil 5.1. Çeliklere uygulanan ısı işlemlerin Demir-Karbon dengeli diyagramı üzerinde gösterilişi [21].

Isıl işlem uygulamalarını iki kategoride incelenmiştir.

Sertleştirme amaçlı yapılan ısı işlem;

Kütlesel sertleştirme; Su verme, Östenitleme, Kriyojenik işlem, Martemperleme

Yüzeysel Sertleştirme; Alevle indüksiyon, Semantasyon, Nitrasyon

- Sertleştirme amacı olmayan ısı işlem;
- Homojenleştirme,
- Normalizasyon
- Küreselleştirme
- Yeniden kristalleşme,
- Gerilim Giderme,

Isıl işlem faz değişimi ile yapılabileceği gibi tane boyutlarının yeniden yapılandırılması şeklinde de uygulanabilir. Faz değişimi yapılması düşünülen malzemelerde ilk olarak östenit ferrit allotropik dönüşüm gösterip göstermediğine

bakılır. Uygun olan malzemelerde katı fazda ısıtma işlemi ile özellikleri değiştirilerek kullanım ömürleri ve kullanım alanları artırılır.

Östenitleme işlemi sonrası oda sıcaklığına gelen malzemede yapı tamamen martenzite dönüşmemektedir. Isıtma işlemi sonunda kalan östenit fazının martenzite dönüşmesi için en etkili yöntem kriyojenik işlemdir. Bu işlem, su verme ve temperleme işlemleri arasında sıfır altı sıcaklıklarda, belirli sürelerde malzemelerin bekletilmesi işlemidir.

Gerilim giderme amacıyla yapılan ısıtma işlemi ise tane boyutlarında değişim amaçlanmaktadır. Kaynak işlemi sonucunda ısınan malzeme yüzeylerinde iri taneli yapı oluşumu gözlenmektedir. Yapılacak gerilim giderme ısıtma işlemi ile tane boyutlarının ince taneli yapıya dönüşümü sağlanmaktadır.

Normalizasyon ve gerilim giderme tavlama, uniform olmayan ısıtma soğutma işlemlerinden biri olarak kaynak işlemleri sonrası kaynaklı malzeme içerisinde oluşan gerilimin giderilmesi amacıyla uygulanan yöntemlerdendir. Malzemenin yapısına ve yöntemine bağlı olarak 500-680 °C arasında sıcaklıkta 30-60 dakika sürede bekleme yapılarak yavaş soğutma ile tanelerin inceltmesi sağlanmaktadır.

5.2. Titreşimle Gerilim Giderme

Kaynaklı işlem süreçleri iş parçaları üzerinde kalıntı gerilim oluşumuna neden olmaktadır.

Kaynaklardaki artık gerilim, kaynak işleminden hemen sonra meydana gelen yerel gerilmeler tarafından üretilir, bunlar;

- Kasılma stresi, Artık stresin temelidir. Düzensiz ısıtmaya maruz kalan kaynaklı alanların soğutulması sırasında gerçekleşir.
- Yüksek yüzey soğutması nedeniyle stres, bir kaynak soğuduğunda, bu soğutma havada olsa bile, malzemenin dış yüzeyi merkezine göre daha hızlı

soğuyacaktır. Bu nedenle kalınlık artıka soğuma farklılığından oluşan stres artacaktır.

- Faz dönüşümünden kaynaklanan stres, östenitin ferrite dönüşümü nedeniyle oluşur, bu durum ana malzemenin karşı olduğu hacimde artışa neden olur.

Geçmiş bölümlerde de anlatıldığı gibi artık gerilmelerin etkilerini özetlersek;

- Kaynağın desteklemek üzere tasarlandığı yüke artık gerilme eklenir ve buda malzemenin çökmesine neden olabilir.
- Gerilim korozyon direncinin azaltılması, elastik çekme gerilimine maruz kalan bölgeler, agresif ortamlarda lokal korozyona uğrayabilir.
- Çatlak riski, tüm çatlama mekanizmaları, bölgesel ısınmanın neden olduğu artık stres ve bozulmadan etkilenir.

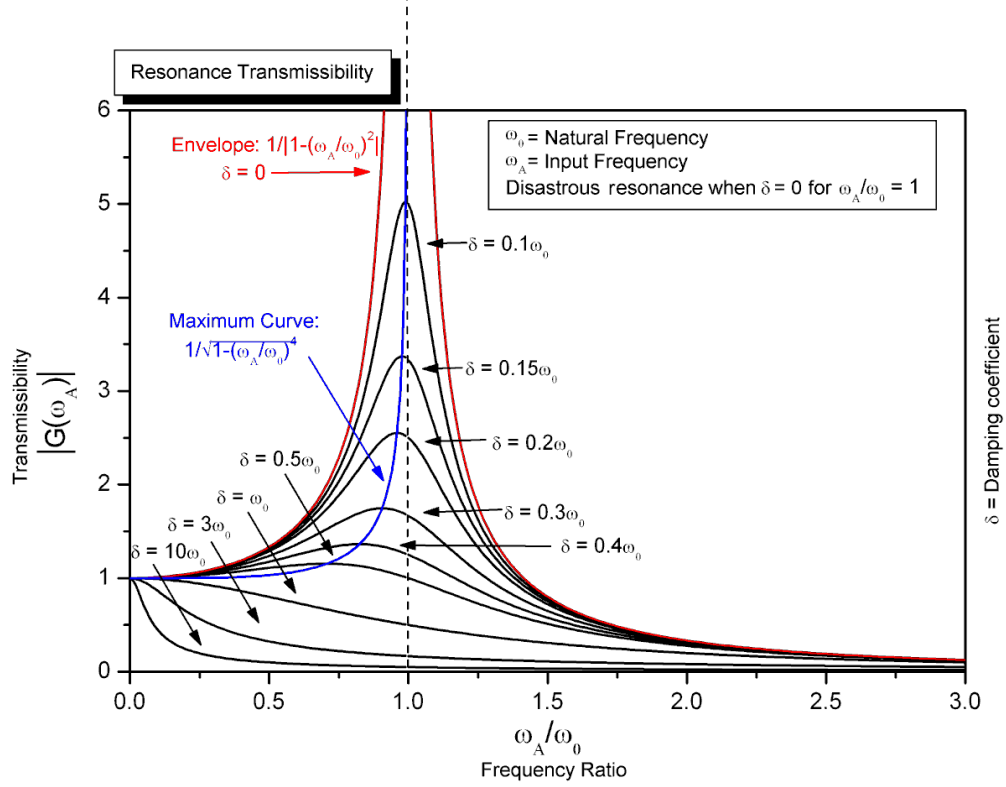
Titreşimle gerilim giderme yönteminde belirli bir süre için yüksek genlik ve düşük frekanslı titreşimler uygulanır. Titreşimle gerilim giderme döngüsel yükleme işlemleri ise artık gerilimin azaltılmasını amaçlar. Yöntemin çalışması taşınabilir bir ekipmanla yapıldığı için ısıl işleme göre ucuz ve kolaydır. İşlemin sonucunda artık gerilmelerin kabul edilebilir seviyelere düşürerek çalışma performansını etkileyen gerilimlerden uzaklaşarak güvenli malzeme elde edilir. Bu işlemler yapılırken gerilme mukavemetinde, akma noktasında ve yorulmaya karşı dirençte bozulma veya değişiklik olmaksızın artık gerilme hafifletilerek statik kararlılık sağlanır. Stresin daha iyi dağıtılmasından kaynaklı olarak en verimli titreşimler rezonans olanlardır.

- Rezonans;

Basit harmonik bir zorlama ile titreştirilen doğrusal bir sistemde, belli zorlama frekanslarında, frekanstaki küçük artış ya da azalış sürekli rejim titreşimlerinin genliğinde azalmaya neden olabilir. Bu olayın meydana geldiği frekanslara rezonans frekansları, rezonans frekanslarındaki titreşime rezonans denir [22].

Rezonans halinde yeni salınımlar esnasında sistemin normal durumuna göre yaptığı yer değiştirme (genlik) sistemin doğal frekansına eşit olursa titreşim düzeyi maksimum olur ve sistemin genliğindeki artış sonsuz olur. İş parçasını oluşturan her malzemenin bir rezonans frekansı vardır. Buna lokal rezonans denir, bileşenlerden oluşan iş parçasının tamamının toplu rezonans frekansına ise sistemin rezonansı denir. Çalışma alanıyla birlikte incelendiğinde rezonans frekansı global rezonans olarak tanımlanır.

Malzeme rezonans halindeyken sönüm oranı olan “ δ ” sıfırlanır ve sistem Şekil 5.2.’de gösterildiği gibi hareket eder. Aslında sönüm enerji depolamak yerine enerjiyi harcar. Sönüm kuvveti hızla orantılı olduğundan, hareket büyüdükçe enerji daha fazla sönümlenir. Böylece sönüm elemanı tarafından sönümlenen enerji ile kuvvet tarafından beslenen enerjinin eşit olduğu bir noktaya ulaşılır. Bu noktada sistem kendi maksimum genliğine ulaşır ve uygulanan kuvvet aynı kaldığı sürece bu genlikte titremeye devam eder. Eğer hiç sönüm yoksa enerji yutacak hiçbir şey yoktur ve böylece hareket teorik olarak sonsuza gider. Rezonansın genliği artırması sonucunda parça ve yapılar hasara uğrarlar.



Şekil 5.2. Değişik sönümlleme oranlarında genlikteki değişim ve rezonans [9].

- Titreşimle gerilim giderme yöntemleri

Rezonans frekanslarında titreşimle gerilim giderme (rvsr) ve harmonik altı titreşimle gerilim giderme (svsr) olmak üzere iki yöntemle titreşimle gerilim giderme yapılmaktadır. Rezonans frekanslarında titreşimle gerilim gidermede malzemenin doğal frekansında titreşim verilerek malzemenin doğal frekansına girmesi sağlanmaktadır. Harmonik altı titreşimle gerilim gidermede ise ilk olarak malzemedeki rezonans frekansları belirlenmektedir. Daha sonra belirlenen rezonans frekanslarının altında titreşim verilerek gerilimin giderilmesi amaçlanmaktadır. Serbest titreşim modeline göre sistemin sürtünmesiz serbest titreşimi esnasındaki frekansına doğal frekans denir. Sürtülmeli serbest titreşim yapması halinde sönümlü doğal frekans denmektedir.

Tüm malzemeler doğal harmonik frekansa sahiptirler. Isıl iç gerilmelere sahip parçaların doğal harmonik frekanslarından farklı harmonik frekansları bulunmaktadır. Artık gerilmeleri azaltmak amacıyla bu parçalara harmonik altı

frekanslarda titreşim uygulanırsa parça ısıl gerilimleri yok edecek enerjiyi absorbe eder. Bu durumda harmonik frekansların kendi doğal harmonik frekanslarına taşınmalarını sağlar ve artık gerilmeler azalır.

Rezonans titreşimli gerilim giderme yönteminde parçalar rezonans frekansı ile titreşim yaptıklarında enerjiyi yeterince alamazlar ve uygulanan kuvvetin etkisi ölçülemez. Harmonik altı titreşimde gerilim gidermede sürekli tekrarlanan harmonik frekans ölçümleri nedeniyle ölçülebilir bir süreçtir. İki yöntemde de parçanın doğal frekansının belirlenmesi önceliklidir. Doğal frekansa bağlı uygulanan titreşim kuvveti ile düzensiz durumda olan dislokasyonların düzenli hale gelebilecekleri enerji üretilir. Dislokasyonlar bu enerjiyi absorbe ederek düzenli duruma geçerek kararlı hale gelirler ve kalıntı gerilimler azalır.

- Titreşimle gerilim gidermenin avantajları;

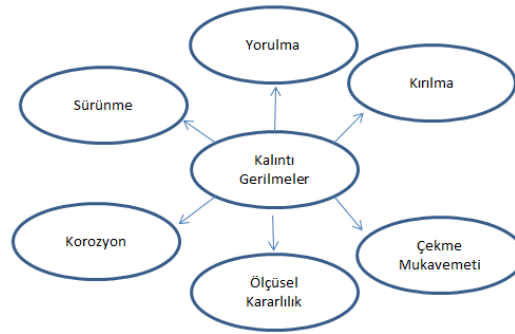
Taşınabilir, seyyar sistemlerle iş parçasının çalışma alanında yapılabilir. Çalışma ortamında yapılacak gerilim giderme işlemi, ısıl işleme göre daha düşük maliyetle çözüm sunmaktadır.

1. Isıl işleme göre gerilim giderme süresi daha kısadır.
2. Isıl işlemde gerilim gidermenin yapılamadığı boyut ve kalınlığa sahip parçalarda gerilim gidermenin yapılabilmesi yöntemin öne çıkan özelliklerindendir.
3. İş parçasının kullanım öncesinde veya belirli bir süre kullanımından sonra uygulanabilir.
4. Geometrik karmaşık yapı, hacim ağırlık gibi fiziksel özellik sınırlarının ısıl işleme göre çok geniş olması avantajlarıdır.
5. Yüksek akma mukavemetine sahip çelikler haricinde uygulama alanı çok geniştir.

- Uygulama Yöntemi

Titreşimle gerilim giderme, artık gerilmelerin tekrarlı yükleme yoluyla giderilmesini ifade için kullanılan bir terimdir. Genel olarak uygulandığı şekliyle, VSR işlemi yüksek gerilme genliklerine ulaşmak için, görece hesaplı olan portatif bir ekipmanla iş parçasına rezonans bölgesinde mekanik titreşimler uygulamaktadır. Titreşimle gerilim cihazı, titreşim kuvveti üretici, sinyalleri aktaran prob, sinyalleri alan ve işleyen kontrol ünitesi ve yardımcı ekipman olarak kauçuk lastik takozdan oluşur.

Hooke yasası üzerinden kalıntı gerilmelerle ilişkili bulunan elastik kalıntı gerilmeler Ee uygun deformasyon süreçleriyle mikro plastik gerilmelere Ep dönüştürülebilir. Söz konusu süreçlere örnek olarak dislokasyon kayması, dislokasyon sürünmesi, tane sınırlarının kayması ve veya yayınımlı sürünme gösterilebilir. Eğer bu süreçler hiç oluşmaz veya sınırlı düzeyde kalırsa, kalıntı gerilmelerin çatlak oluşumunu ve yayılımı yoluyla stabil hale geleceği düşünülebilir. Pratikte kalıntı gerilmelerin azalması, çok sayıda faktörün birleşik etkileşimi ile gerçekleşmekte olup sadece kalıntı gerilme durumu değil aynı zamanda malzeme, yükleme şartları, parçanın geometrisi ve çevre şartları da göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 5.3. Kalıntı gerilmelerin malzemenin performansına etkileri

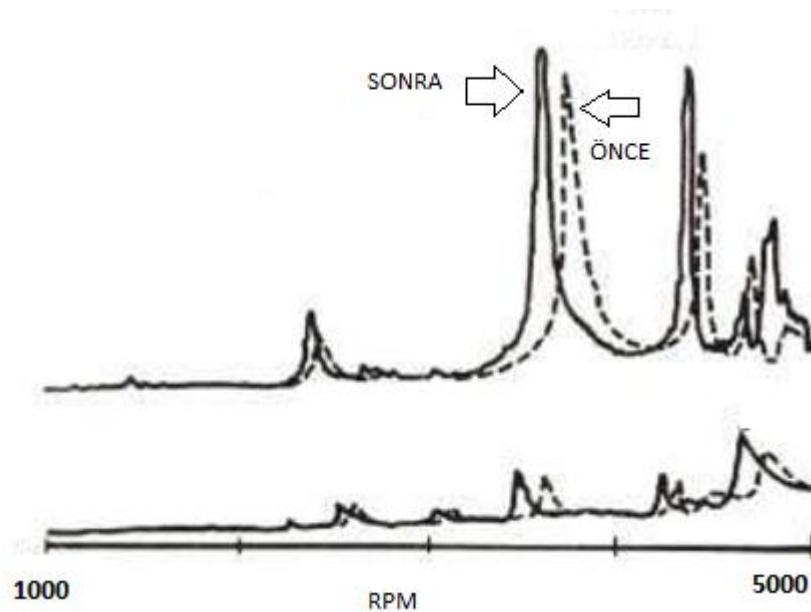
Titreşimler gerilim giderme (VSR) uygulamasının arkasındaki mekanizmaları anlamak için gerilmelerin tekrarlı yükleme sırasında nasıl azaldığı hususu göz önüne alınmalıdır.

Gerilmelerin azalması mikropplastik deformasyon yoluyla olmaktadır. Burada dislokasyonların hareketi, elastik kalıntı gerilmeleri ve mikro gerilmelerin dağılımını tekrar düzenler. Dislokasyon üzerine etkiyen kuvvet, titreşim ve statik gerilmelerin toplamı kadardır. Dislokasyon segmentlerinin titreşimi son derece sönümlüdür. Bu yüzden, düşük frekans aralığında bir çevrimden diğerine enerjinin korunması mümkün olmaz. Böylelikle tekrarlı yükleme durumu oluşur.

VSR özetle kalıntı gerilmeyi mikro plastik deformasyon yoluyla azaltan düşük maliyetli bir tekrarlı yükleme uygulamasıdır. VSR işlemi esnasında yeterli derecede yükleme oluşturabilmek için normal uygulamalar rezonans olgusunun avantajlarından yararlanmaya çalışır. Bir parçayı temel frekanslarının birinde titreştirmek, herhangi bir titreşimin yükleyebileceğinden çok daha fazla yükler.

VSR uygulaması etkin olduğunda; Genlik frekans spektrumu birkaç yönden değişime uğrar [23]. Bu değişimler;

1. Rezonans tepe eğrisi, daha dar ve daha keskin olarak belirir,
2. Tepe eğrileri daha yoğun, genlik olarak daha büyük duruma gelir,
3. Tepe noktası, düşük frekans değerlerine doğru kayar.



Şekil 5.4. Genlik Frekans Spektrumu

Rezonans genliğinin artması veya frekans değerindeki değişim, kalıntı gerilmelerin elastik davranış üzerindeki etkisiyle ilgilidir. Bu gerilmeler, elastisite modülünde lokal değişikliklere neden olur. Aslında metal iş parçasında gerilmelerin bulunması, parçanın toplam elastiklik direncini artırır. Bu yüzden kalıntı gerilmelerin azalması rezonans frekans değerinin düşmesi ve veya genliğin artmasına neden olur.

5.2.1. Literatür çalışmaları

Titreşimle gerilim giderme işlemine yönelik çalışmalar ihtiyaçların şekillenmesine bağlı olarak şekillenmekte ve artmaktadır. Bu bölümde geçmişten günümüze kadar yapılan çalışmalardan örnekler sunulurken, teze konu olan kaynaklı parçaların kaynak yöntemleri ve titreşimle gerilme süreç çıktılarına benzer makalelerde kısa detaylar paylaşılmıştır.

1999 yılında Munsı kaynaklı yapıdaki artık gerilmelerin kayma gerilmeleriyle azaltıldığını belirtmiştir [24].

2001 yılında Munsı ve arkadaşları 314L paslanmaz çelikten imal edilmiş kaynaklı millerde burulma gerilmeleri yaratarak titreşimle gerilme giderme yaparak sonuçlarını paylaşmışlardır. Munsı ve arkadaşları titreşimle gerilim gidermenin yorulma ömrünü artırdığını belirtmektedirler [25].

2004 yılında ise Çin’de raylarda titreşimle gerilme giderme uygulaması yapılmıştır [26].

2007 yılında Rao ve arkadaşları 314L paslanmaz çelikten imal edilmiş plakalar üzerinde yaptıkları deneylerin sonuçlarını açıklamışlardır [27].

2009 yılında yapılan çalışmada Kwofie titreşimle gerilim giderme için plastisite modelini yayınlamıştır. Aynı yıl Y.P.Yang titreşimle gerilme gidermenin Abaqus programında modellemesini yapmış ve sonlu elemanlar yöntemiyle çözüme gitmiştir [28].

2004 yılında Sun ve arkadaşları Ck 35 ıslah çeliğinin titreşimle gerilim giderme sonrası mekanik özelliklerindeki değişimi incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda ısıtma işlem maliyetinin % 10'u kadar maliyette ve %1'i kadar sürede yapılabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada ekonomik verimlilik elde edilirken, mekanik özelliklerde ise; akma mukavemeti %3,1 azaldığı, çekme mukavemeti %7,5 azaldığı, % uzama miktarında ise %8,3 oranında arttığı görülmektedir. Yapılan XRD çalışmasında artık gerilmelerin %48 azaldığı sonucu elde edilmiştir [29].

2008 yılında Jurcius ve Valiulis S355J2G3 çeliğinden imal edilen kaynaklı parçalardaki mekanik dayanımları ısıtma işlem, titreşimle gerilim giderme uygulayarak incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda titreşimle gerilim giderme sonucu elde edilen çekme mukavemeti, ısıtma işlem ve hiç işlem yapılmamış parçalara göre daha yüksektir. Darbe dayanımları incelendiğinde işlemsiz parçaya göre dayanımın arttığı sonucu elde edilmiştir. Isıtma işlemle mekanik özelliklerin azalacağı belirtilmektedir [30].

Giovanni ve Danila yaptıkları çalışmada ısıtma işlem ile titreşimle gerilim gidermeyi karşılaştırmışlar. Karşılaştırmada Astm A-106 kalite B karbon çeliği kullanılarak, ısıtma işlemli, titreşimle gerilim giderme işlemi yapılmış ve hiç işlem görmemiş parçalar üzerinde çekme testi, darbe testi, brinell sertlik testleri yapılmıştır.

Tablo 5.1. Çekme testi sonuçları

Parameter	No treatment	VSR	Heat treatment
Yield point MPa (kgf/cm ²)	328,7 (3352)	328,7 (3352)	277,4 (2829)
Maximum stress MPa (kgf/cm ²)	472,6 (4819)	480,4 (4899)	423,9 (4323)
Ultimate tensile stress MPa (kgf/cm ²)	380,8 (3883)	390,7 (3984)	333,1 (3397)
Elongation (%)	18,76	18,74	23,12

Çekme testi sonuçlarında kopmanın kaynakta veya hazda olmadığı, ana malzemede kopma olduğunu görülmüştür. Titreşimle gerilim giderme işlem sonuçlarının ısıtma işlemin aksine ana malzeme mekanik değerlerini koruduğu gözlemlenmiştir.

Darbe testinde ise 30 kg'lık çekiçle yapılan testte tablodaki sonuçlar elde edilmiş olup kırılma gözlenmemiştir.

Tablo 5.2. Darbe testi sonuçları

	No treatment	VSR	Heat treatment
Energy absorbed kJ (kgf.m)	284,4 (29)	285,4 (29,1)	285,2 (29,08)

Sonuç olarak; Isıl işlem görmüş numuneler, beklendiği gibi gerilme mukavemetinde bir azalma ve uzamada bir artış gösterirken, titreşim yönteminin pratikte bu değerleri değiştirmedeği görülmüştür.

Darbe testinde emilen enerjiler pratik olarak aynıdır. Numunelerin hiçbiri kırılmadı, bu da mikro analizde gözlemlenebileceği gibi, kaynak yapılan malzemenin sünek olduğunu, çünkü önemli miktarda ferrit içerdiğini gösteriyor. Her iki tepkimeden kaynaklanan sertlikteki azalma benzerdi, bu da artık gerilmeye etkili bir azalmayı gösterir. Ulaşılabilecek sonuç, ısı ve titreşim yöntemlerinin pratik amaçlar için eşdeğer olduğu olacaktır. Şeklinde yorumlamışlardır [31].

2008 yılında Jurcius, Valiulis, Kumslytis tarafından yapılan çalışmada titreşimle gerilim gidermenin ısıl işleme alternatif olarak avantajları araştırılmıştır. Çalışma -70 °C derecede çalışan boru sistemlerinde kullanılan 30 mm kalınlık 16GS yapı çeliği kullanılmıştır. 150x150x30 ebatlarındaki parçalar manuel ark yöntemi ile kaynaklanmıştır. Isıl işlemlili, titreşimle gerilim gidermeli, direk kaynaklı işlemsiz parça kullanılarak üç farklı numune üzerinde yapılan çalışma sonucunda Tablo 5.3.'de elde edilmiştir.

Tablo 5.3. Çekme testi, Tokluk testi ve Sertlik testi

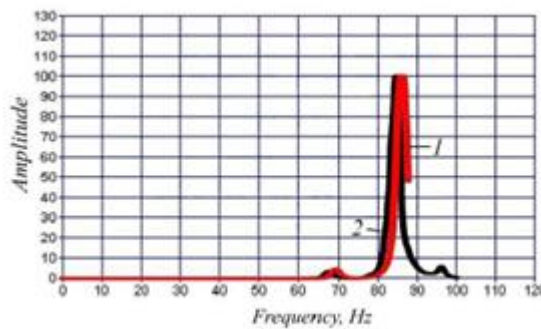
Specimens	Tensile strength, R _m , MPa	Elongation, A ₅ , %	Impact work ISO-V KV, J/cm ²		Hardness, HV		
			Seam	HAZ	Weld zone	Fusion zone	HAZ
After VSR	482	25	155	202	163	156	156
After PWHT	443	28	188	240	155	149	149
Without treatment	471	24	145	112	179	166	168

Çekme testin de parça kaynak veya hazdan kopmadı, ana malzemede kopma gözlemlendi. Darbe testinde parçalarda kırılma gözlemlenmedi.

Sonuç olarak; iş parçası metali sünek olduğundan numunelerin hiçbirisi darbe testiyle kırılmağı görülmüş. Isıl işlem görmüş numuneler, beklendiği gibi gerilme mukavemetinde bir azalma ve uzamada bir artış göstermiş. Titreşim işlemi pratikte bu değerleri değıştirmediği görülmüş. Her iki işlem den kaynaklanan sertlikteki azalmanın benzer olması artık gerilmede etkili bir azalmayı göstermiş.

Yazarlar, kaynakların, dökümlerin ve dövme lerin stabilizasyonu için gerilim giderme tavlama sının yerini alan VSR prosedürlerinin uygulanması, üretim maliyetlerinde tasarruf sağladığını belirtmektedirler. Özellikle, “enerji vurgulanmalıdır çünkü VSR prosedüründe, kaynakların tavlana ması için gereken enerjinin% 1'ini geçmez ve ortalama olarak üretim maliyetlerinin sadece % 0,4'ünü oluşturur.” Bilgisini paylaşmaktadırlar [7].

2010 yılında Jurcius, Valiulis, Cernasejus, Kurzydowski, Jaskiewicz, Lech-Grega tarafından titreşimle gerilimi azaltmanın kaynaklı montajlardaki artık gerilimler ve yapısal çelik bağlantının mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelendiği çalışma yapılmıştır. 140x140x30 mm kesitli S355J2 plakalara metal aktif gaz yöntemi ile kaynak işlemi yapılmıştır. Dört parça; ısıl işlemle gerilim giderme, titreşimle gerilim giderme, kaynak sırasında titreşim uygulaması ve işlem yapılmadan testlere tabi tutuldu. Titreşimle gerilim giderme işleminde elde edilen Şekil 5.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Genlik frekans spektrumu

Elde edilen sonuçlarda; kaynak sırasında veya kaynak sonrası titreşimli işlem, güvenli seviyeye kadar kaynaklı bağlantıların artık gerilmelerini etkili bir şekilde azaltır. Kaynak sırasındaki VSR sonuçları, termal gerilim giderme tekniğine benzerdir. Bu nedenle, karbon yapısal çelik işleme için VSR yöntemi, iş ve enerji girdileri dikkate alındığında daha etkilidir. Kaynak sırasındaki titreşim azalmasının artık gerilmeleri ortalama % 60, kaynak sonrası titreşim azalmasının ise artık gerilmeleri ortalama % 40 azalttığını söylemek mümkündür. Mekanik özelliklerin analizi, kaynak sonrası VSR'nin malzeme dayanımı, süneklik ve sertlik özellikleri üzerinde herhangi bir temel etkiye sahip olmadığını göstermiştir. Titreşimli işlemden sonra, herhangi bir işlem yapılmadığı gibi eklem özellikleri değişmeden kalır, ancak artık gerilimler azalır. Termal artık gerilim giderme, kaynaklı bağlantının plastisitesini artırır, ancak aynı zamanda mukavemetini ve sertliğini azaltır. İşlem gören eklem, yorgunluğa, statik ve dinamik yüklere karşı daha az dirençli hale gelir ve ayrıca daha az sürtünmeye dayanıklı hale gelir [32].

2011 yılında Ertan tarafından yapılan çalışmada kaynaklı konstrüksiyonlarda titreşimle gerilme giderme ve uygulamaları çalışılmıştır. Çalışmada 10-15-20-25 mm kalınlığında S355J2G3 kalitesinde çelik kullanılmıştır. Titreşimle gerilim giderme yönteminin, ısıl işlemle gerilme giderme yöntemiyle kıyaslandığında zaman ve maliyet açısından çok büyük avantajlar getirdiği, mekanik özelliklerinin daha iyi hale getirdiği tez kapsamında yapılan darbe deneyi, sertlik deneyi ve mikroyapı incelemesi ve önceden yapılmış literatürdeki deneylerin sonuçları ile gösterilmiştir [9].

2013 yılında Rudolf ve Norbert tarafından yapılan çalışmada ultra yüksek mukavemetli çelik armox500t kullanılarak artık gerilmeler üzerinde titreşimle gerilim giderme işleminin etkisi araştırılmıştır. 7 mm kalınlığındaki parça gaz metal ark kaynağı GMAW ile kaynatılmıştır. Yapılan titreşimle gerilim giderme sonucunda; VSR işleminden kaynaklanan sistematik ve önemli bir makroskopik artık gerilim salınımı, X-ışını ölçümü aracılığıyla gözlemlenemedi. Bu sonuç, VSR'den sonra, yüksek çözünürlüklü bir optik ölçüm sistemi ile önemli bir makroskopik deformasyonun gözlenememesi gerçeğiyle doğrulanmıştır.

Elde edilen sonuçların daha iyi anlaşılması için delik delme yöntemi aracılığıyla artık gerilme ölçümlerinin yapılması gerekir. Materyalin hasarına yönelik bir ölçü olarak, Charpy-V değerlerinin VSR ile muameleden önce ve sonra karşılaştırılması önerilmektedir. Ancak sınırlı malzeme nedeniyle bu çalışma içerisinde bunu gerçekleştirmek mümkün olmadı [33].

2019 yılında Sinem ve Oğuzhan tarafından yapılan titreşimli gerilim azaltmanın S355J2 çelik kaynaklı bağlantıların yorulma ömrü üzerindeki etkisi çalışmasında 600x225x10 mm ölçülerindeki çelik plakalar metal aktif gaz (MAG) ile kaynatıldı. Titreşimle girelim giderme ve titreşimsiz parçalar üzerinde yapılan mekanik test sonuçlarında; üç kaynaklı parçanın ve titreşimli işlem görmüş üç numunenin gerilme testlerinin sayısal sonuçları özellikle Tablo 5.4.'de gösterilmektedir.

Tablo 5.4. Çekme test sonucu

Tensile test result of as-weld specimens			
Sample No	Yield Strength (Mpa)	Tensile Strength (MPa)	Elasticity Modulus (Gpa)
1	398	555	196
2	386	551	200
3	410	548	197
Average	398	551,3	197,6
Tensile test result of vibratory treated specimens			
Sample No	Yield Strength (Mpa)	Tensile Strength (MPa)	Elasticity Modulus (Gpa)
1	412	552	216
2	393	556	218
3	409	555	201
Average	404,6	554,3	211,6

Çekme testi sonuçları, titreşimle geriliminin azaltılmasının ne akma mukavemetini ne de gerilme mukavemetini azaltmadığını göstermektedir. Öte yandan, termal gerilim gidermenin gerilme ve akma noktasını düşürdüğü bilinmektedir. Ayrıca titreşimle gerilim azaltmanın neredeyse malzeme dayanımı özelliğini etkilemediği ve elastikiyet modülünü ve gerilme mukavemetini bile geliştirdiği görülmüştür. Esneklik modülü, stres uygulandığında maddenin elastik olarak deforme olmaya karşı direncini ölçer. Üç numunenin ortalama sonuçlarına göre, bu değer 197,6 GPa'dan 211,6 GPa'ya yükseldi, böylece test parçasının tokluğu yaklaşık% 7,1 oranında büyüdü. Uygulama sırasında titreşim enerjisi absorpsiyonu nedeniyle, düzensiz haldeki atomlar arasındaki bağlar güçlenmiş ve bağların güçlenmesi sonucunda elastikiyet modülü artmıştır.

Titreşimli işlem sonrası sertlik değişimini ölçmek için Brinell sertlik yöntemi kullanıldı. Sertlik ölçümleri sonucunda toplanan değerler, kaynağa yakın bölgelerde sertlik değerlerindeki değişim daha az iken, kaynaktan daha uzak bölgelerdeki sertlik değerleri daha büyüktür. Bunun nedeni tane boyutu ve ısıdan etkilenen bölgedeki mikroyapı değişikliği olabilir. Diğer bir neden, titreşim gerilme giderme işlemi sırasında yerel işlenmede sertleşme olabilir. Malzemenin sertlik değerleri ile çekme dayanımı arasında doğrudan bir ilişki vardır. Parçanın sertlik değeri yükseldiğinde çekme mukavemeti değerinin arttığını gösterir. Bu nedenle, test sonuçlarına göre sertlik değerindeki artış, akma ve gerilme mukavemetindeki artış ile iyi uyum içindedir [34].

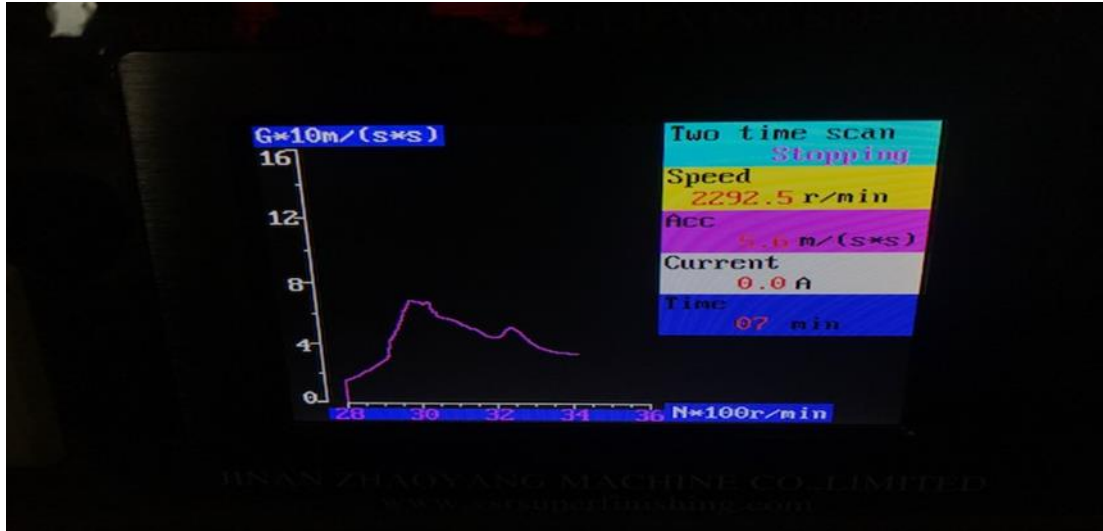
Yöntemin pratikte uygulanmasında; İş parçası kauçuk-lastik takozlar üzerine alınır, titreşim motoru ve titreşim sensörü iş parçasına bağlanır.



Şekil 5.6. Titreşimle gerilim giderme hazırlık süreci

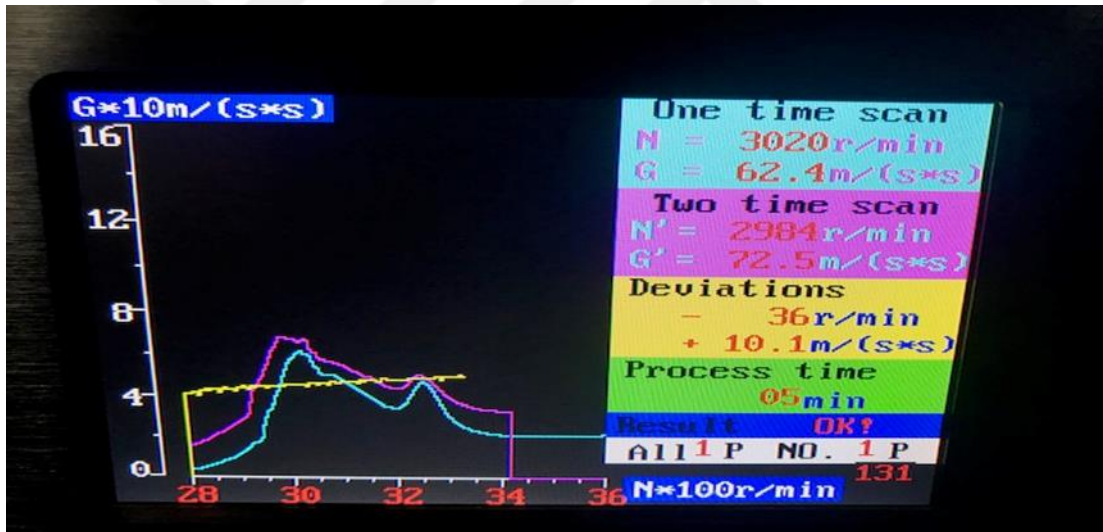
Titreşimle gerilim giderme işlemi için öncelikle titreşim analizleri gerçekleştirilerek iş parçasının genlik-frekans spektrumu elde edilir.

Gerekli analizler tamamlandıktan sonra iş parçasının ağırlığı ile orantılı olarak belirli bir süre belirlenir ve mekanik titreşim uygulanır.



Şekil 5.7. Numuneye ait genlik frekans spektrumu ilk ölçüm

Titreşimle gerilim giderme işleminden sonra ilgili titreşim analizleri tekrarlanır.



Şekil 5.8. Titreşimle gerilim giderme sonrası genlik frekans spektrumu

Elde edilen değerler işlem öncesi değerlerle kıyaslanarak işlemin başarısına karar verilir.

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda kullanılacak numuneler, Noksel Çelik Boru Fabrikası Hendek tesislerinde toz altı ark kaynağı yöntemi ile farklı kalınlık, farklı çap ve farklı kalitelerde üretilen boruların elde edilmiştir. Borulardan alınan parçalar üzerinde Doğru Enerji firmasından temin edilen cihaz ile titreşimle gerilim giderme işlemi yapılmıştır. Titreşimle gerilim giderme öncesi ve sonrası kaynaklı parçalar üzerindeki akma mukavemeti, çekme mukavemeti, % uzama değeri, tokluk ve sertlik değerlerindeki değişim Noksel Çelik Boru Fabrikası Hendek tesislerine ait TÜRKAK 17025 akreditasyonuna sahip laboratuvarlarında yapılan testler ile analiz edilmiştir.

6.1. Boru Üretimi

Toz altı ark kaynağı yöntemi ile üretim yapılmadan önce kaynak yapılacak bölgenin yüzey hazırlığı yapılarak çift V kaynak ağzı açılmıştır. Kullanılacak tel ve tozlar üretimde kullanılacak çelik kaliteleri ile uyumlu olacak şekilde seçilmiş, tozların elek analizleri yapıldıktan sonra kurutma fırınına alınarak işlem öncesi hazırlık süreçleri gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılacak numuneler, farklı kalınlarda ki, düşük alaşımlı ve nispeten düşük mukavemetli S235 kalite çeliği, benzer kalınlarda düşük alaşımlı orta mukavemetli S355 kalite çeliği ile yüksek mukavemetli L415NE çeliği seçilerek üretim yapılmıştır.

Tablo 6.1. Deneysel çalışmalarda kullanılacak numuneler

ÇAP(mm)	KALINLIK(mm)	ÜRETİM STANDARDI	KALİTE
1676	14,2	EN 10224	S235JR
813	8	EN10217-1	S235JR
2021	10,39	EN 10224	S355JR
711	11	EN 3183	L415NE PSL2

Doğru akım ile çalışacak teller 4,00 mm, Alternatif akım ile çalışacak teller 3,20 mm olarak seçilmiştir. İlk kaynaklama borunun içinde kalan bölgeye DC ve AC olarak kök kaynağı olarak tanımlanan kaynak uygulanmış, devamında borunun dış yüzeyinde kalan bölgeye de DC ve AC olarak yüz kaynağı olarak tanımlanan kaynak uygulanmıştır.

Tablo 6.2. Tozaltı ark kaynağı kaynak parametreleri

ÜRETİM		HIZ	İÇ KAYNAK					DIŞ KAYNAK				
			İÇ DC		İÇ AC		ISI GIRDISI	DIŞ DC		DIŞ AC		ISI GIRDISI
ÇAP	KALINLIK	Reel	A	V	A	V	Toplam	A	V	A	V	Toplam
1676	14,2	120	848	31	443	32	2101	997	28	420	36	2181
813	8	137	537	30	414	33	1357	417	19	242	21	837
2021	10,39	140	778	30	406	32	1547	906	30	397	32	1700
711	11	160	921	32	453	35	1842	949	28	388	33	1477

Üretim hat hızları ve parametrelerdeki değişim ile kaynakta yeterli ve benzer nufuziyet elde edilmesi amaçlanmıştır. Isı girdilerinde kalınlık değişimine paralel değişim söz konusudur.

Üretim esnasında ve sonrasında hatalı test sonucu elde etmemek için kaynak dikişi; ultrasonik test, hidrostatik test, radyoskopik test yöntemleri ile detaylı tahribatsız testlere tabi tutulmuştur. Tüm testlerden uygunluk onayı alınan borudan 50 x 90 cm ölçüsünde plaka çıkarılmıştır.

Çıkarılan her parça izlenebilirliğin sağlanması amacıyla tanımlayıcı bilgiler ile işaretlenmiştir. Tanımlaması yapılan parçalar üzerinden birer set çekme deneyi numunesi, charpy deney numunesi ve sertlik deney numunesi çıkarılmıştır. Kalan parça ise titreşimle gerilim giderme işlemi için ayrılmıştır. Aynı işlemler titreşimle gerilim giderme işlemi sonrası tekrarlanmış ve kaynaklı bölge üzerindeki titreşimle gerilim giderme öncesi ve sonrası süreci analiz etme imkânı oluşturulmuştur.

6.2. Titreşimle Gerilim Giderme İşlemi

Borulardan alınan parçalar titreşimle gerilim giderme işlemine tabi tutulmuştur. Titreşimle gerilim giderme sürecinde ilk olarak parçaların plaka sabitlenmesi işlemi yapılmıştır.



Şekil 6.1. Titreşimle gerilim giderme işlemi çalışma düzeni

Sabitleme işlemi sonrası plaka kauçuk takozların üzerine merkezlenerek yerleştirilmiştir. Test düzeneğinin fiziksel hazırlığının tamamlanmasından sonra mekanik titreşim oluşturacak, üretecek plakaya monte edilmiştir.



Şekil 6.2. Mekanik titreşim oluşturacak üretelin monte edilmesi

Üretelin elektrik bağlantısı yapıldıktan sonra titreşim sinyallerinin malzeme üzerindeki etkisini ölçecek probun da bağlantıları yapılmıştır.



Şekil 6.3. Üretece ait kontrollerin yapılması

Test süreci her plaka için 5 dakika olarak planlanmıştır. Her plaka için eşit sürede uygulanacak titreşim ile kalınlık ve çelik kalitesine bağlı olarak gerçekleştirilecek değişimden süre parametresi çıkarılmıştır. Titreşim işlemleri ilk olarak malzemelerin ivme frekans spektrumları dört parça içinde ayrı ayrı elde edilmiş, daha sonra parçalara beş dakika süresinde titreşim verilmiştir, titreşimler probtan gelen sinyallere göre artan azalan değerlerde gerçekleştirilmiştir. Her parçaya test işlemin yapıldığını gösterir tanımlama yapılmıştır. Titreşim işleminin uygulaması sonucunda ilk değere benzer ikincil değer grafikleri elde edilmiş ve iki grafik birleştirilerek aralarındaki farklar incelenmiştir.



Şekil 6.4. Titreşimle gerilim giderme işlemi sonrası tanımlama yapılması

Testlerin numuneleri ve tanımlamaları Tablo 6.3.'de gösterildiği şekilde eşleştirilmiştir. Titreşimle gerilim giderme işleminin çıktıları, laboratuvar test sonuçlarının çıktıları kod numaraları ile tanımlanmıştır.

Tablo 6.3. Deneysel numuneler izlenebilirlik tablosu

ÇAP (mm)	KALINLIK (mm)	ÜRETİM STANDARDI	KALİTE	BORU KODU	TİTREŞİM KODU
1676	14,2	EN 10224	S235JR	207CM007	205
813	8	EN 10217-1	S235JR	207CK048	203
2021	10,39	EN 10224	S355JR	206BP312	206
711	11	EN 3183	L415NEPSL2	207AE03173	201

Titreşimle gerilim giderme öncesi parçanın durumunu görmek amacıyla yapılan değer ölçümü “ilk ölçüm” , titreşim işlemi sonrası değer ölçümü “ikinci ölçüm” olarak tanımlanmıştır. Değişim değeri ikinci ve ilk ölçüm arasındaki ivme farkıdır.

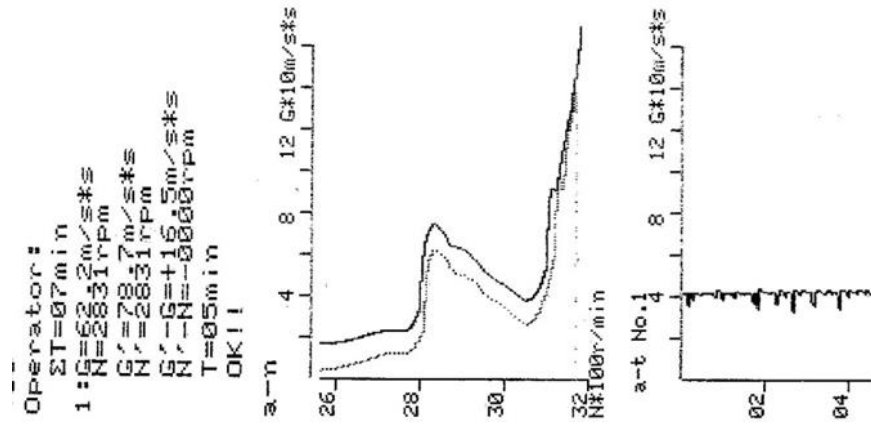
Tablo 6.4. Titreşimle gerilim giderme işleminde ivme değişim tablosu

BORU KODU	TİTREŞİM KODU	İlk Ölçüm		İkinci Ölçüm		Değişim
		İvme m/s^2	Devir rmp	İvme m/s^2	Devir rmp	
207CM007	205	61,7	3250	59,9	3202	-1,8
207CK048	203	73,6	2806	89,1	2808	+15,5
206BP312	206	62,4	3020	72,5	2984	+10,1
207AE03173	201	62,2	2831	78,7	2828	+16,5

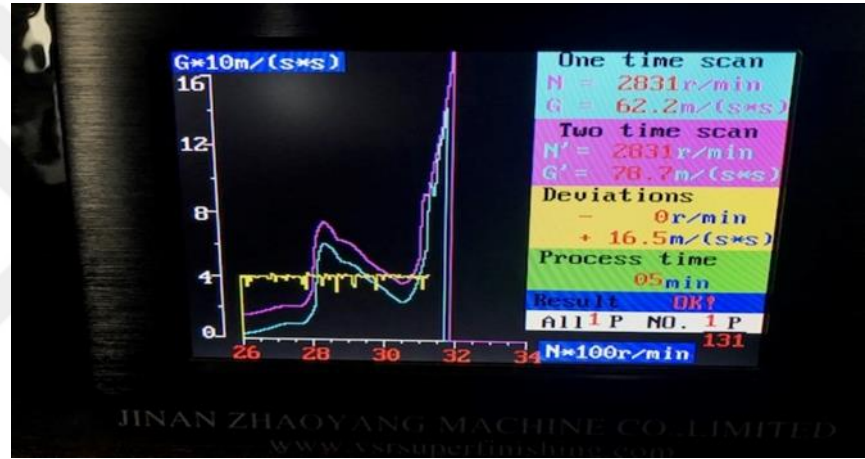
Titreşimle gerilim giderme işleminde grafiklerin yorumlanmasında;

- Rezonans tepe eğrisi daha dar ve daha keskin olarak belirir,
- Tepe eğrileri daha yoğun, genlik olarak daha büyük duruma gelir,
- Tepe noktası, düşük frekans değerlerine doğru kayar.

Referans olarak kullanılmaktadır. Uygulanan titreşimler sonucunda 201-203-206 numaralı parçalarda ivme değişimi pozitif yönde iken, 205 numaralı parçada devir değişimi ve negatif yönlü ivme değişimi gözlenmiştir. Yukarıdaki bilgiler ışığında testin başarısı yorumlanırsa;

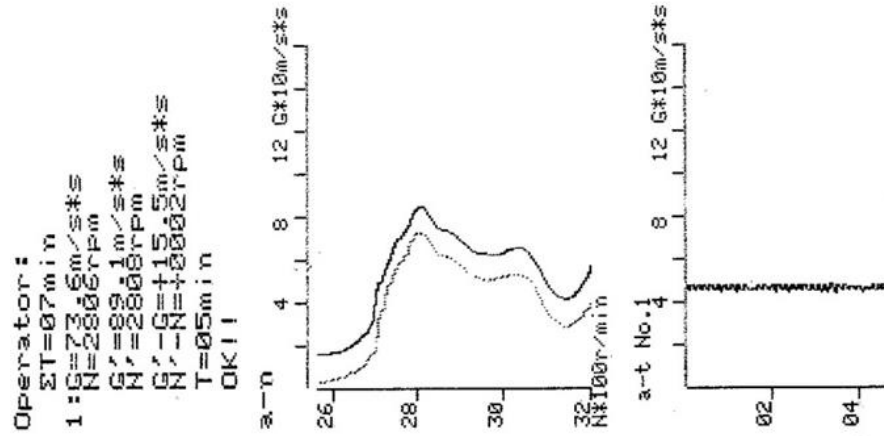


Şekil 6.5. 201 Numaralı parça genlik frekans spektrumu

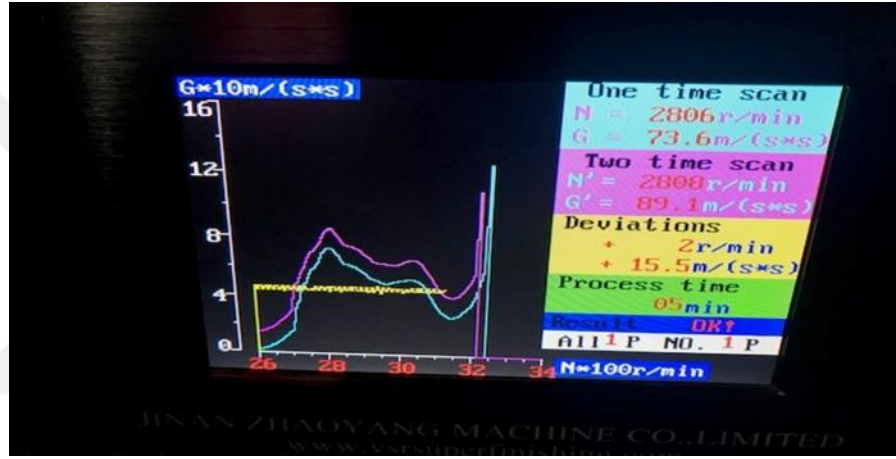


Şekil 6.6. 201 numaralı parça titreşimle gerilme giderme grafiği

Şekil 6.5. ve 6.6.'dan da görülebileceği üzere; Tepe eğrileri daha yoğun, genlik olarak daha büyük duruma gelmiş ve tepe noktası, düşük frekans değerlerine doğru kaymıştır. Bu beklenen durum olarak işlemin başarı ile tamamlandığını göstermektedir.

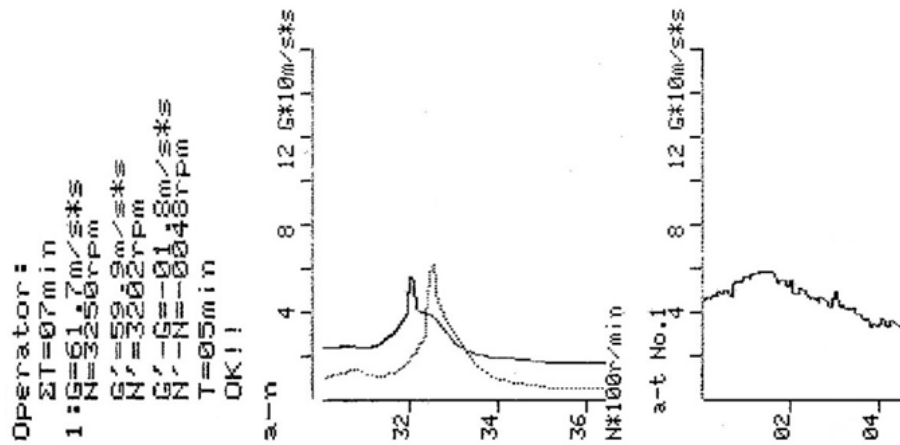


Şekil 6.7. 203 Numaralı parça genlik frekans spektrumu

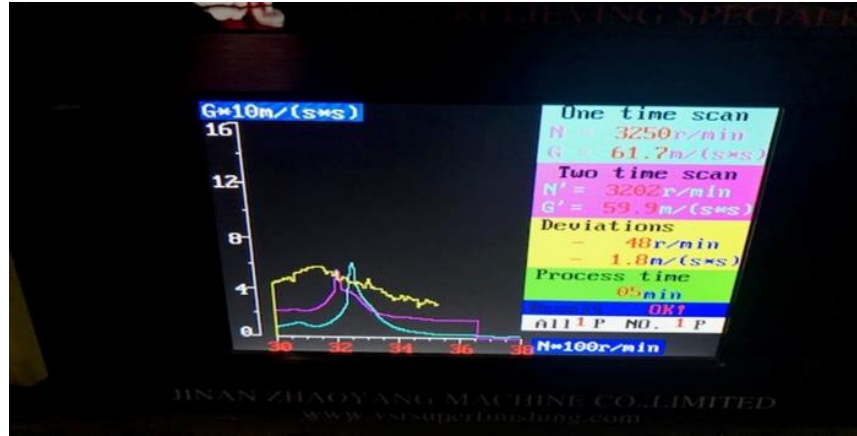


Şekil 6.8. 203 numaralı parça titreşimle gerilme giderme grafiği

Şekil 6.7. ve 6.8.'de görülebileceği üzere; benzer şekilde işlemin başarı ile tamamlandığı görülmektedir.

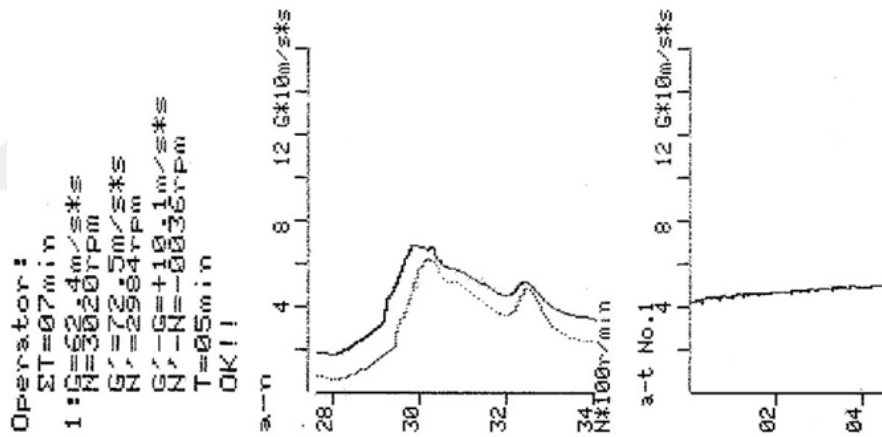


Şekil 6.9. 205 Numaralı parça genlik frekans spektrumu

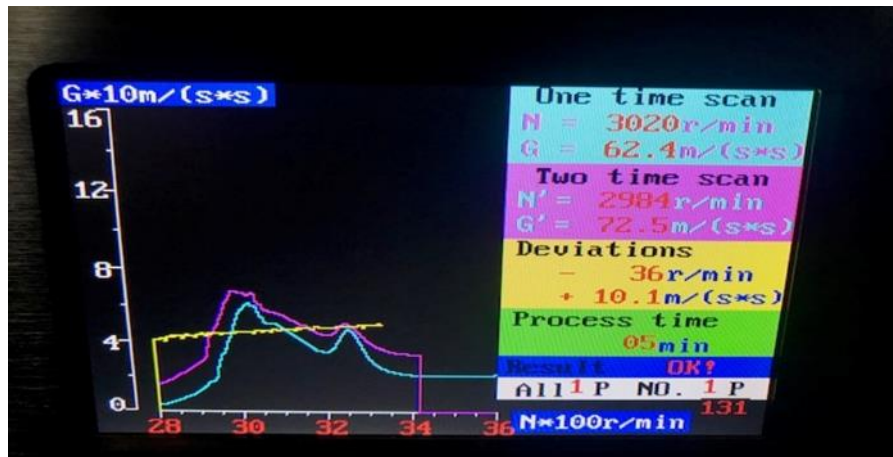


Şekil 6.10. 205 numaralı parça titreşimle gerilme giderme grafiği

Şekil 6.9. ve 6.10.'da ise; Rezonans tepe eğrisi, daha dar ve daha keskin olarak belirmiş, tepe noktası, düşük frekans değerlerine doğru kaymıştır. Bu beklenen durum olarak işlemin başarı ile tamamlandığını göstermektedir.



Şekil 6.11. 206 Numaralı parça genlik frekans spektrumu



Şekil 6.12. 206 numaralı parça titreşimle gerilme giderme grafiği

Şekil 6.11. ve 6.12.'de ise; benzer şekilde işlemin başarı ile tamamlandığı görülmektedir

6.3. Test İşlemleri

Numuneler üzerinde yapılacak testler, testin sonucunda numunenin kullanımına devam edip etmemesine bağlı olarak tahribatlı ve tahribatsız testler olarak adlandırılmaktadır. Numune üzerinde deformasyon meydana getirmeden yapılan ve tahribatsız test olarak adlandırılan işlemler; gözle muayene, ultrasonik muayene, radyografik muayene, manyetik parçacık testi, sıvı penetrant testi vb. testlerdir. Numune üzerinden çıkarılarak, numunenin kullanılmasını ortadan kaldıran ve tahribatlı test olarak adlandırılan işlemler; çekme testi, charpy testi, sertlik testi, eğme testi, vb. testlerdir.

Boru üretimi sürecinde tahribatsız test yöntemleri kaynağın kontrol edilmesi sürecinde kullanılmıştır. Kaynak işlemi ve titreşimle gerilim giderme işlemi sonucunda iş parçası üzerinde oluşacak mekanik değerlerdeki değişimleri tespit etmek amacıyla da tahribatlı testler yapılmıştır.

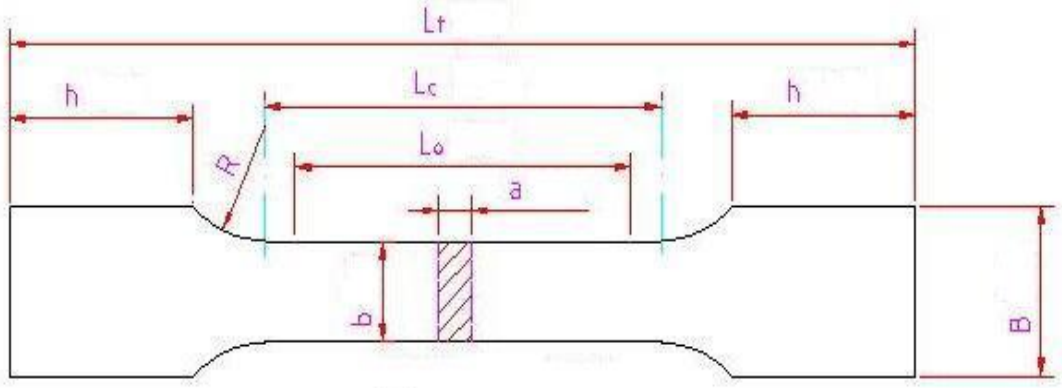
Titreşimle gerilim giderme işlemi yapılmayan ve yapılan parçalardan yapılacak çekme testine, sertlik testine, tokluk testine uygun olarak test parçaları hazırlanmıştır.



Şekil 6.13. Deneysel işlemler için hazırlanan numuneler

6.3.1. Çekme testi

Test parçalarının statik yük altında davranışlarını, elastik ve plastik durumlarını incelemek amacıyla yapılmaktadır. Yöntemin uygulamasında standartlarca belirlenen ölçülerde hazırlanan test numunesi çekme cihazına bağlanarak aksenal ve değişken yüke maruz bırakılarak uygulanır.



Şekil 6.14. Çekme test numunesi

Tablo 6.5. Çekme test numunesi standartlar ve ölçü değerleri (mm)

	EN ISO 6892-1	ASTM A 370
b	20 (+/- 0,2)	40 (+3/-6)
B	min. 50	50
h	min. 50	min. 50
L0	80	50 (+/- 0,10)
Lc	min. 90	60
Lt	min.300	min.200
R	min.20	min.13
So	%±2 Doğrulukta	%±1 Doğrulukta

Çekme deneyinde test parçasının statik ve yavaş uygulanan yüke karşı dayanımı ölçülür. Şekil 6.15.'de görüleceği üzere, EN ISO6829-1 standardına uygun ölçüde

hazırlanan numuneler test cihazına yerleştirilerek, kuvvet uygulanmıştır. Çekme deneyi sonucunda iş parçasına ait akma mukavemeti, çekme mukavemeti, uzama oranı ve rijitliği belirlenmiştir. Deneyde uzama miktarı ekstensometre, uygulanan yük ise yük hücresi kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen uzama ve yük değerleri kullanılarak gerilim gerinim eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 6.15. Zwick çekme test cihazı

6.3.2. Sertlik testi

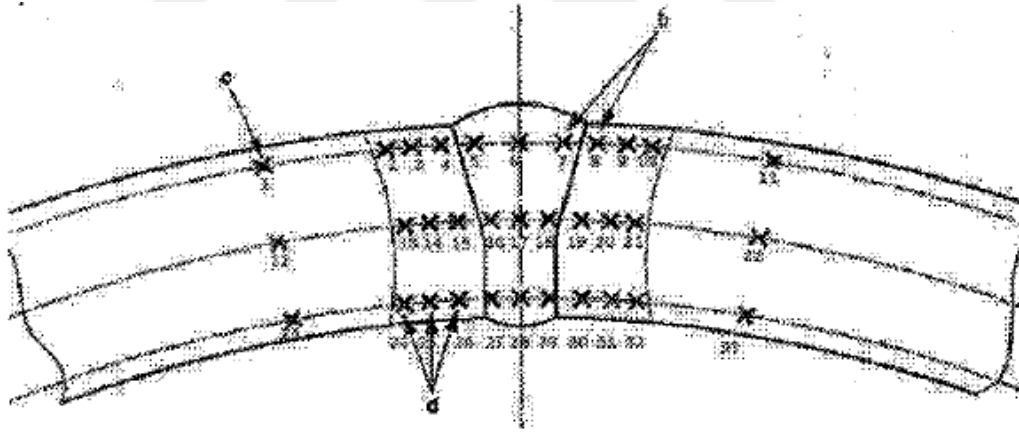
Sertlik, malzemenin plastik şekil değişimine karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Brinell, Vickers, Rockwell, Knoop gibi standart test metotları ile belirlenir. Uygulama yöntemi seçilen standart test metotlarına uygun batıcı ucun test numunesine bastırılmasına karşı test parçasının gösterdiği direncin ölçülmesi şeklindedir. Sertlik testinin çıktıları çeliklerde çekme mukavemeti ile doğru orantılı sonuç vermektedir.

Bu çalışmada Vickers sertlik ölçüm metodu kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda yük uygulama hızı 20 N/s yük, boşaltma hızı 1 mm/dk'dır. Test sonunda baskı ucu numune üzerinden kaldırılarak test tamamlanmıştır. Batıcı ucun oluşturduğu izler üzerinden köşegen uzunluklarının aritmetik ortalaması alınarak test sonuçlandırılmıştır.



Şekil 6.16. Zwick sertlik ölçüm cihazı

Tez çalışmamızda, sertlik testi için titreşimli gerilim giderme öncesi ve sonrası her numuneye ayrı ayrı; kaynak bölgesinden dokuz adet, haz bölgelerinden on sekiz adet, ana malzemedan altı adet olmak üzere toplam otuz üç adet sertlik testi yapılmıştır. Numune üzerinde test yapılan noktalar Şekil 6.17.'de gösterilmiştir.



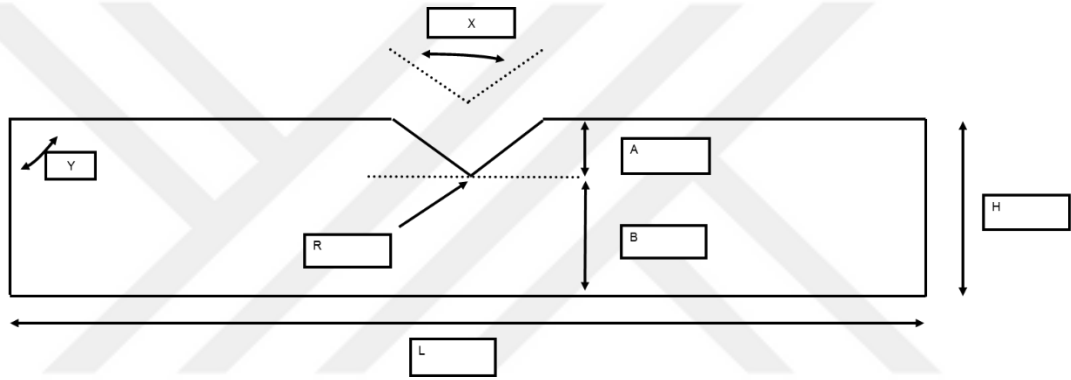
Şekil 6.17. Vickers batıcı uç ölçüm noktaları

6.3.3. Charpy testi

Charpy testinde standart çentik içeren numunenin darbe etkisiyle kırılması için gereken enerji hesaplanmaktadır. Darbe deneyi kaynaklı parçaların farklı bölgelerinde uygulanmakta ve sonucunda test parçasının kırılma tipi gevrek veya sünek olarak elde edilmektedir.



Şekil 6.18. Zwick Charpy test cihazı



Şekil 6.19. Charpy test numunesi

Tablo 6.6. Charpy test numunesi standartlar ve ölçü değerleri (mm)

	EN ISO 148-1			ASTM A 370		
	NOMİNAL DEĞER	MİNİMUM	MAKSİMUM	NOMİNAL DEĞER	MİNİMUM	MAKSİMUM
A	2 (+/- 0,025)	1,925	2,075	2 (+/- 0,025)	1,925	2,075
B	8 (+/- 0,075)	7,925	8,075	8 (+/- 0,075)	7,925	8,075
X	45 (+/- 2)	43	47	45 (+/- 1)	44	46
Y	90 (+/- 2)	88	92	90 (+/- 2)	88	92
R	0,25 (+/- 0,025)	0,225	0,275	0,25 (+/- 0,025)	0,225	0,275
L	55 (+/- 0,6)	54,4	55,6	55 (+0 / -2,5)	52,5	55
L/2	27,5 (+/- 0,42)	27,08	28,3	27,5 (+0 / -1,25)	26,25	27,5
H	10 (+/- 0,075)	9,925	10,075	10 +/- 0,075	9,925	10,075
Ra	max.5 mikromt	-	-	max. 2 mikromt	-	-

Bu çalışmada deney numunesi ISO 148-1' e bağlı olarak 10x10 mm ölçülerinde V entik açılarak hazırlanmıştır. Test parçası üzerinde kaynak bölgesi, iri taneli bölge HAZ 1 ve kritik bölge HAZ 3 bölgelerinden alınan numunelerle test işlemi gerçekleştirilmiştir.



BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Toz altı ark kaynağı yöntemi ile spiral formada üretilen borudan alınan parçalar üzerinde uygulanan titreşimle gerilim giderme işlemi ve işlem sonucu değişimleri tespit etmek amacıyla yapılan tahribatlı test yöntemleri Bölüm 6. da detaylı olarak verilmiştir. Bu bölümde deney sonuçları ve sonuçlara bağlı yorumlar; Mekanik testler, Charpy darbe testi ve Sertlik testi olarak üç bölümde açıklanmıştır.

Titreşimle gerilim giderme uygulaması yapılmayan parçalar öncesi, titreşimle gerilim giderme uygulaması yapılan parçalar sonrası olarak adlandırılmıştır.

7.1. Mekanik Testler

Mekanik testlerde; akma mukavemeti, çekme mukavemeti, % uzama değerlerindeki değişimler Tablo 7.1., 7.2., 7.3.'de gösterilmiştir. Testler, sonuçların doğruluğunu görmek için her numuneden iki parça olarak yapılmış ve sonuçların ortalaması alınmıştır.

Tablo 7.1. Akma mukavemeti test sonuçları

Akma Mukavemeti (MPa)		Numune No	Öncesi Ort.	Sonrası Ort.	Fark	Fark %
Çelik Kalitesi	S355JR	206	391,96	396,27	4,31	1,09
Ebat	2021x10,39					
Çelik Kalitesi	L415NE	201	451,28	459,74	8,46	1,84
Ebat	711x11					
Çelik Kalitesi	S235JR	205	295,62	294,40	-1,22	-0,41
Ebat	1676X14,2					
Çelik Kalitesi	S235JR	203	340,48	350,95	10,47	2,98
Ebat	813X8					

Tablo 7.2. Çekme mukavemeti test sonuçları

Çekme Mukavemeti (MPa)		Numune No	Öncesi Ort.	Sonrası Ort.	Fark	Fark %
Çelik Kalitesi	S355JR	206	545,54	544,87	-0,67	-0,12
Ebat	2021x10,39					
Çelik Kalitesi	L415NE	201	596,92	605,15	8,22	1,36
Ebat	711x11					
Çelik Kalitesi	S235JR	205	416,64	417,92	1,27	0,31
Ebat	1676X14,2					
Çelik Kalitesi	S235JR	203	444,43	453,88	9,45	2,08
Ebat	813X8					

Tablo 7.3. % Uzama değeri test sonuçları

% Uzama		Numune No	Öncesi Ort.	Sonrası Ort.	Fark	Fark %
Çelik Kalitesi	S355JR	206	13,75	16,34	2,59	15,85
Ebat	2021x10,39					
Çelik Kalitesi	L415NE	201	15,20	13,95	-1,25	-8,96
Ebat	711x11					
Çelik Kalitesi	S235JR	205	20,60	18,55	-2,05	-11,05
Ebat	1676X14,2					
Çelik Kalitesi	S235JR	203	16,77	15,00	-1,77	-11,80
Ebat	813X8					

Çekme testi sonuçlarında kopma kaynakta veya hazda gerçekleşmemiştir. Tüm numunelerde kopma ana malzemede gerçekleşmiştir.

- 203 numaralı numune de akma mukavemetinde % 3 artış, çekme mukavemetinde ise %2'lik artış elde edilirken, % uzama değerin %12 azalmıştır.
- 205 numaralı numune de akma ve çekme mukavemetlerinde (% 1 altında) değişiklik görülmemesine karşılık, % uzama değeri ise % 11 azalmıştır.
- 206 numaralı numunede akma ve çekme mukavemetlerinde (%1 ve altında) değişiklik görülmemesine karşılık, % uzama değeri ise %16 artmıştır.
- 201 numaralı numune de akma ve çekme mukavemetlerinde %2'lik artış elde edilirken, % uzama değeri ise % 13 azalmıştır.

Titreşimle gerilme giderme işlemine tabi olan ve sonrası olarak tanımlanan test numunelerinde akma mukavemeti ve çekme mukavemetleri ihmal edilebilecek oranlarda değişmiştir. % uzama değerinde ise farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuçları literatür çalışmalarından elde edilen verilere göre irdelediğimizde;

- Sun ve Ark. Elde ettikleri mekanik özelliklerde; akma mukavemeti %3,1 azaldığı, çekme mukavemeti %7,5 azaldığı, % uzama miktarında ise %8,3 oranında arttığı görülmektedir.
- Giovanni ve Danila yaptıkları çalışma sonucunda; Çekme testi sonuçlarında kopmanın kaynakta veya hazda olmadığı, ana malzemede kopma olduğunu görülmüştür. Titreşimle gerilim giderme işlem sonuçlarının ısıl işlemin aksine ana malzeme mekanik değerlerini koruduğu gözlemlenmiştir. Titreşim yönteminin pratikte bu değerleri değiştirmedeği görülmüştür.
- Jurcius ve Ark. Elde ettikleri sonuçlara göre; Isıl işlem görmüş numuneler, beklendiği gibi gerilme mukavemetinde bir azalma ve uzamada bir artış göstermiş. Titreşim işlemi pratikte bu değerleri değiştirmedeği görülmüş.

Sinem ve Oğuzhan ise yaptıkları çalışmada; Çekme testi sonuçları, titreşimle geriliminin azaltılmasının ne akma mukavemetini ne de gerilme mukavemetini azaltmadığını göstermektedir. Öte yandan, termal gerilim gidermenin gerilme ve akma noktasını düşürdüğü bilinmektedir. Ayrıca titreşimle gerilim azaltmanın neredeyse malzeme dayanımı özelliğini etkilemediği ve elastikiyet modülünü ve gerilme mukavemetini bile geliştirdiği görülmüştür.

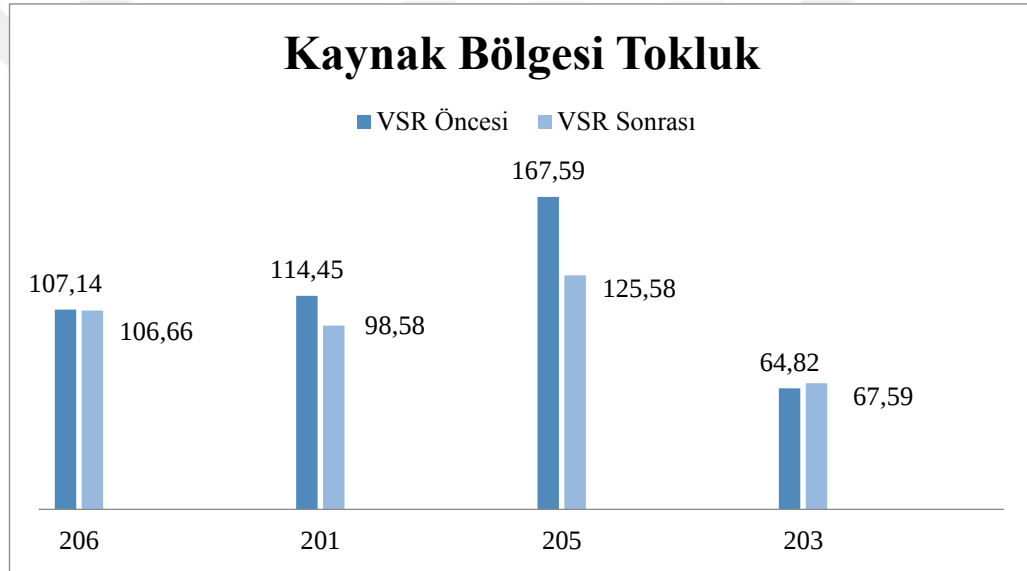
Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlar ile literatür çalışmalarından elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. Bu durumda titreşimle gerilim giderme işlemi ile kalıntı gerilimler azaltılırken mekanik özelliklerde değişim yapmadığı sonucuna ulaşılır.

7.2. Charpy Darbe Testi

Darbe dayanımı; Kaynak, HAZ, HAZ 3 olarak üçer numune ortalamaları alınarak öncesi ve sonrası olarak incelenmiştir. Tablo 7.4., 7.5., 7.6.'da tokluk değerleri gösterilmiştir.

Tablo 7.4. Kaynak bölgesi tokluk test sonuçları

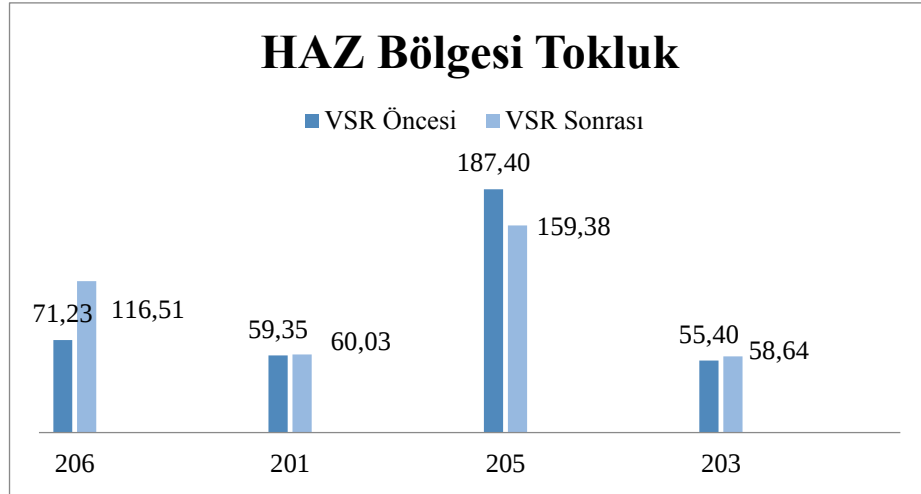
Kaynak Bölgesi (kJ)		Numune No	Önce Ort.	Sonra Ort.	Fark	Fark %
Çelik Kalitesi	S355JR	206	107,14	106,66	-0,48	-0,45
Ebat	2021x10,39					
Çelik Kalitesi	L415NE	201	114,45	98,58	-15,88	-16,11
Ebat	711x11					
Çelik Kalitesi	S235JR	205	167,59	125,58	-42,01	-33,45
Ebat	1676X14,2					
Çelik Kalitesi	S235JR	203	64,82	67,59	2,77	4,10
Ebat	813X8					



Şekil 7.1. Kaynak bölgesi öncesi sonrası tokluk değerleri (kJ)

Tablo 7.5. Haz bölgesi tokluk test sonuçları

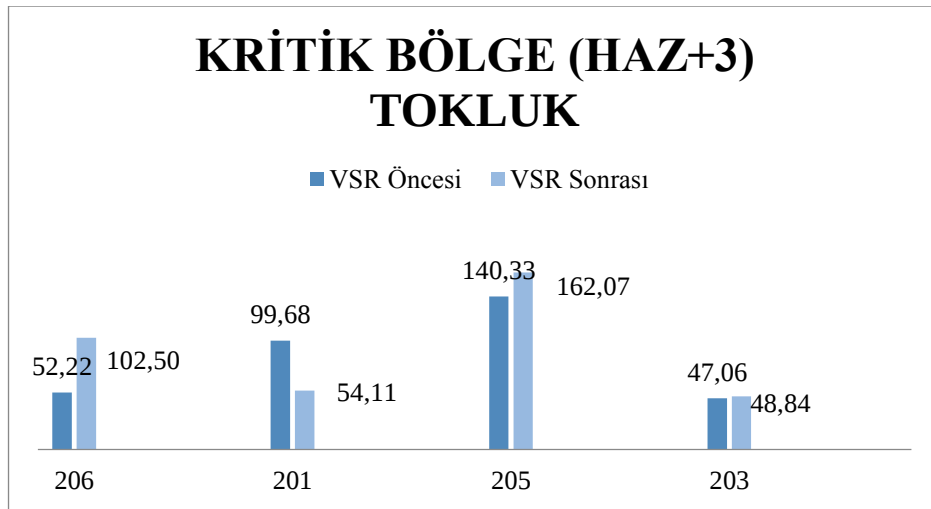
Haz Bölgesi (kJ)		Numune No	Önce Ort.	Sonra Ort.	Fark	Fark %
Çelik Kalitesi	S355JR	206	71,23	116,51	45,28	38,86
Ebat	2021x10,39					
Çelik Kalitesi	L415NE	201	59,35	60,03	0,67	1,12
Ebat	711x11					
Çelik Kalitesi	S235JR	205	187,40	159,38	-28,02	-17,58
Ebat	1676X14,2					
Çelik Kalitesi	S235JR	203	55,40	58,64	3,23	5,51
Ebat	813X8					



Şekil7.2. Haz bölgesi öncesi sonrası tokluk değerleri

Tablo 7.6. Haz+3 Kritik bölge tokluk test sonuçları

Kritik Bölge(Haz+3) (kJ)		Numune No	Önce Ort.	Sonra Ort.	Fark	Fark %
Çelik Kalitesi	S355JR	206	52,22	102,50	50,28	49,06
Ebat	2021x10,39					
Çelik Kalitesi	L415NE	201	99,68	54,11	-45,57	-84,21
Ebat	711x11					
Çelik Kalitesi	S235JR	205	140,33	162,07	21,74	13,41
Ebat	1676X14,2					
Çelik Kalitesi	S235JR	203	47,06	48,84	1,79	3,66
Ebat	813X8					



Şekil 7.3. Haz+3 Kritik bölge öncesi sonrası tokluk değerleri

Parçalarda kırılma görülmemiştir. Bu durum parçaların sünek özellik gösterdiği şeklinde açıklanabilir.

- 203 numaralı numunede kaynak bölgesinde % 4 artış, haz bölgesinde %6 artış, kritik bölgede ise % 4 artış elde edilmiştir.
- 205 numaralı numunede kaynak bölgesinde % 33 azalma, hazda % 18 azalma, kritik bölgede % 13 artış elde edilmiştir.
- 206 numaralı numunede kaynak bölgesinde % 1'in altında azalma, hazda % 39 artış, kritik bölgede % 49 artış elde edilmiştir.
- 201 numaralı numunede kaynak bölgesinde % 16 azalma, hazda % 1 artış, kritik bölgede % 84 azalma elde edilmiştir.

S235JR kalitede düşük kalınlıkta uygulamanın pozitif katkısı görülmektedir. Kalınlık yaklaşık iki kat arttığında ise kaynak ve hazda darbe dayanımında azalma görülmektedir. Bu durumun kalınlık farkından kaynaklı hızlı soğuma nedeniyle oluşacağı düşünülmektedir. 201 numaralı numune haricinde kritik bölgede artış olması da titreşimle gerilim giderme sonrası yapının düzenli hale geldiğini gösterebilir. Nispeten yüksek mukavemetli çelikte kritik bölge dayanımında ciddi azalma görülmüştür.

Sonuçları literatür çalışmalarından elde edilen verilere göre irdelediğimizde;

- Jurcius ve Valiulis yaptıkları çalışmada; Elde ettikleri sonuçlarda titreşimle gerilim giderme sonucu elde edilen Darbe dayanımları işlemsiz parçaya göre dayanımın arttığı sonucu elde edilmiştir.
- Giovanni ve Danila yaptıkları çalışmada; darbe testinde emilen enerjiler pratik olarak aynıdır. Sonucunda ulaşımlardır.
- Jurcius ve Ark. Yaptıkları çalışmada; Kaynak bölgesinde %7 artma, hazda bölgesinde %80 artma elde etmişlerdir. Aynı zamanda parçalarda kırılma gözlemlenmemiştir.

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlar ile literatür çalışmalarından elde edilen sonuçlarda parçaların kırılmaması ortaktır. Çalışmamızda kritik bölgede tespit edilen artış yapının düzenli forma geçmesi olarak yorumlanabilir. Literatürde Charpy darbe test sonuçlarında kaynakta ve haz da artış yönünde olduğu görülmüştür. Çalışmamızda ise bu durum net olarak tespit edilememesinin kaynağının literatür çalışmalarında uygulanan kaynak yöntemlerinden farklı olarak toz altı ark kaynağının kullanılması olarak yorumlanmıştır.

7.3. Sertlik Testi

Sertlik ölçümleri; ana malzeme, haz, kaynak, haz, ana malzeme sıralaması ile kaynaklı parçanın kök, merkez ve yüzey olmak üzere 33 noktadan yapılmıştır. Test sonuçlarının ortalama değerleri Tablo 7.7.-7.14.'de gösterilmiştir.

Tablo 7.7. 206 numaralı parça ana metal öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)

206/S355JR 2021x10,39		ANA METAL	Fark %	ANA METAL	Fark %
Yüz	G. G. Öncesi	173,76	9,02	181,96	0,64
	G. G. Sonrası	190,98		183,13	
Merkez	G. G. Öncesi	173,66	4,67	180,7	-3,46
	G. G. Sonrası	182,17		174,66	
Kök	G. G. Öncesi	177,08	1,37	181,96	-2,22
	G. G. Sonrası	179,54		178	

Tablo 7.8. 201 numaralı parça ana metal öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)

201/L415NE 711x11		ANA METAL	Fark %	ANA METAL	Fark %
Yüz	G. G. Öncesi	206,08	-2,81	203,05	5,47
	G. G. Sonrası	200,44		214,8	
Merkez	G. G. Öncesi	206,59	-3,19	193,29	4,05
	G. G. Sonrası	200,2		201,44	
Kök	G. G. Öncesi	213,44	-5,18	204,31	3,67
	G. G. Sonrası	202,93		212,09	

Tablo 7.9. 205 numaralı parça ana metal öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)

205/S235JR 1676X14,2		ANA METAL	Fark %	ANA METAL	Fark %
Yüz	G. G. Öncesi	156,72	0,05	151,02	2,38
	G. G. Sonrası	156,8		154,7	
Merkez	G. G. Öncesi	134,88	-0,51	134,88	-0,51
	G. G. Sonrası	134,2		134,2	
Kök	G. G. Öncesi	149,27	2,84	148,18	1,26
	G. G. Sonrası	153,63		150,07	

Tablo 7.10. 203 numaralı parça ana metal öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)

203/S235JR 813X8		ANA METAL	Fark %	ANA METAL	Fark %
Yüz	G. G. Öncesi	151,34	-2,46	158,68	-2,47
	G. G. Sonrası	147,7		154,86	
Merkez	G. G. Öncesi	136,79	7,92	139,88	3,60
	G. G. Sonrası	148,56		145,1	
Kök	G. G. Öncesi	144,95	8,85	145,79	2,33
	G. G. Sonrası	159,02		149,27	

Tablo 7.11. 206 numaralı parça haz ve kaynak bölgeleri öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)

206/S355JR 2021x10,39		HAZ Ort.	Fark %	KAYNAK Ort.	Fark %	HAZ Ort.	Fark %
Yüz	G. G. Öncesi	184	3,39	212	-6,91	205	-4,86
	G. G. Sonrası	191		199		195	
Merkez	G. G. Öncesi	178	1,05	188	1,79	177	2,48
	G. G. Sonrası	180		191		182	
Kök	G. G. Öncesi	186	-3,08	194	-0,34	195	0,50
	G. G. Sonrası	180		193		196	

Tablo 7.12. 201 numaralı parça haz ve kaynak bölgeleri öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)

201/L415NE 711x11		HAZ Ort.	Fark %	KAYNAK Ort.	Fark %	HAZ Ort.	Fark %
Yüz	G. G. Öncesi	224	-3,87	239	-1,98	211	6,98
	G. G. Sonrası	216		234		226	
Merkez	G. G. Öncesi	203	3,30	227	0,32	200	0,97
	G. G. Sonrası	210		227		202	
Kök	G. G. Öncesi	218	-4,38	247	-3,98	211	3,33
	G. G. Sonrası	209		238		218	

Tablo 7.13. 205 numaralı parça haz ve kaynak bölgeleri öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)

205/S235JR 1676X14,2		HAZ Ort.	Fark %	KAYNAK Ort.	Fark %	HAZ Ort.	Fark %
Yüz	G. G. Öncesi	169	-3,68	180	-1,47	163	0,01
	G. G. Sonrası	163		177		163	
Merkez	G. G. Öncesi	146	0,22	160	0,06	148	2,43
	G. G. Sonrası	147		160		151	
Kök	G. G. Öncesi	166	0,99	184	1,36	166	2,34
	G. G. Sonrası	168		187		170	

Tablo 7.14. 203 numaralı parça haz ve kaynak bölgeleri öncesi sonrası sertlik test sonuçları (HV)

203/S235JR 813X8		HAZ Ort.	Fark %	KAYNAK Ort.	Fark %	HAZ Ort.	Fark %
Yüz	G. G. Öncesi	157	0,43	185	4,37	156	4,86
	G. G. Sonrası	158		193		164	
Merkez	G. G. Öncesi	133	10,76	149	8,85	139	6,50
	G. G. Sonrası	149		163		148	
Kök	G. G. Öncesi	151	3,93	167	7,73	155	2,40
	G. G. Sonrası	157		181		159	

Sertlik ölçüm sonuçlarında ihmal edilebilecek oranlarda artma ve azalmalar görülmüştür. Bu durumda azalmanın kaynağı olarak yapıdaki artık gerilmelerin giderilmesi, artışları ise yerel sertleşme olarak yorumlanabilir. Kaynak bölgesinde sertlik değerleri daha büyüktür ve ana malzemeye giderek azalmaktadır. Titreşimle gerilim giderme işleminde değişim kaynak bölgesinde daha az iken Haz ve ana malzemede daha fazladır.

Sonuçları literatür çalışmalarından elde edilen verilere göre irdedeğimizde;

- Jurcius ve Ark.(2008) Yaptıkları çalışmada kaynak bölgesinde % 9 azalma, birleşme bölgesinde %6 azalma ve HAZ bölgesinde %7 azalma tespit etmişlerdir. Sertlik değerindeki azalmayı kalıntı gerilmedeki azalma olarak yorumlamışlardır.
- Jurcius ve ark.(2010) yaptıkları çalışmada S355J2 plakalar üzerinde yapılan çalışmada VSR'nin sertlik özellikleri üzerinde temel etkiye sahip olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.
- Sinem ve Oğuzhan'ın yaptıkları çalışmada, Malzemenin sertlik değerleri ile çekme dayanımı arasında doğrudan bir ilişki vardır. Parçanın sertlik değeri yükseldiğinde çekme mukavemeti değerinin arttığını gösterir. Bu nedenle, test sonuçlarına göre sertlik değerindeki artış, akma ve gerilme mukavemetindeki artış ile iyi uyum içindedir.

Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlar ile literatür çalışmalarından elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. Bu durumda titreşimle gerilim giderme işlemi ile kalıntı gerilimler azaltılırken Sertlik özelliklerde değişim yapmadığı sonucuna ulaşılır.

Bu çalışmada, toz altı ark kaynağıyla üretilen kaynaklı parçalara uygulanan ısı girdisinin düşük, açılal çarpılmaların az olduğu görülmüştür. Kaynak yönteminde çok pasolu kaynak yapılması ve kullanılan tozun cüruf yapması sebebiyle oluşan koruyucu tabaka ısıl farklılığın oluşumunu engellediği için yapı üzerinde kalıntı gerilim oluşumu minimumda tutulmaktadır.

Bu nedenle titreşimle gerilim giderme sonuçlarında tespit edilen kalıntı gerilmelerdeki azalmanın malzemenin mekanik özellikler, charpy darbe dayanımı ve sertlik üzerinde olumsuz etkisi olmamıştır.

Literatür verilerine dayanılarak yorumlanan termal işlemde görülen olumsuz etkilerin titreşimle gerilim giderme prosesinde görülmemiştir. Titreşimle gerilim giderme işlemi iş sahasında, yaklaşık 1 saatlik zaman diliminde 4 farklı parça üzerinde gerçekleştirilerek zamandan ve paradan tasarruf sağlanmıştır. Bu maddeler yöntemin avantajları olarak doğrulanmıştır.

Kalıntı gerilmenin düşük olduğu toz altı ark kaynağı yöntemi ile yapılan çalışmalar imkanlar dahilinde dört farklı numuneden elde edilmiştir. Sonuçlar dört parça içinde literatür çalışmalarına paralellik göstermektedir. Konuyla ilgili detaylı çalışmalar yapılarak kapsamlı yorumlama yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Tülbentçi, K. (1984) Kaynak Simülasyonu ve Uygulamadaki nemi. I. Ulusal Kaynak Sempozyumu Tebliğ zetleri. İ.T.. Makina Fakültesi Malzeme ve İmal Usulleri Birimi. 13. 26. İstanbul.
- [2] Prasad, N.S., Narayanan T.K.S. (1996) Finite element analysis of temperature distribution during arc welding using adaptive grid technique. Welding Journal, 123-128.
- [3] Dong, Y. & Hong, J.K. & Tsai, C.L. & Dong, P. (1997) Finite element modeling of residual stresses in austenitic stainless steel pipe girth welds. Welding Journal. 442-449.
- [4] Hong, J.K. & Tsai, C.L. & Dong, P. (1998) Assessment of numerical procedures for residual stress analysis of multipass welds. Welding Journal. 372-378.
- [5] Wen, S. W, Hilton P. and Farrugia, D.C.J. (2001) Finite element Modelling of a Submerged Arc Welding Process. Journal of Materials Processing Technology, 119. 203-209.
- [6] Polat, F.G., (2003) Kaynak Edilmiş Parçaların Bilgisayar Destekli Mukavemet Analizleri, Y.L. Tezi, Uludağ Üniversitesi.
- [7] Jurcius,A.,Valiulis,A.V.,Kumslytis,V. (2008) Vibratory stress relieving- It's advantages as an alternative to thermal treatment. Journal of vibroengineering volume 10.123-127.
- [8] Soncu,R.(2009) elik platina malzemelerde dik pozisyonda toz altı ark kaynağı yönteminin uygulama parametrelerinin incelenmesi ve yöntemin modellenmesi,Y.L. Tezi, Uludağ Üniversitesi.
- [9] Toparlak. E. (2011) Kaynaklı konstrüksiyonlarda titreşimle gerilme giderme ve uygulamaları, Y.L.Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [10] Kumar,S.,Kumar,S.,Kaur,P.,Kumar,S. (2012) Study the effect of vibration on the mechanical properties of Mild Steel weldment welded by SAW,National conference on Advancements in Mechanical Engineering and Energy Environment (6-7 January, 2012), SLIET Longowal.

- [11] <https://muhendistan.com/kaynak-tanimi-tarihi-ve-kaynagin-siniflandirilmesi>
Erişim Tarihi: 19.04.2021.
- [12] 2009 Gsıslv-Tr/Odtü-Ktm Eğitim Notları.
- [13] Komaç,E. (2009) Askaynak teknik eğitim el kitabı.
- [14] Külahlı,E.(1988) Kaynak bilimi oerlikon yayını sayı 2.
- [15] Giachino, J.W., W. Weeks, G.S. Johnson. 1973. Welding Technology. American Technical Publishers Inc, Illions.
- [16] Cary, H.B. (1989) Modern Welding Technology, Prentice Hall, New Jersey.
- [17] Anık,S, Anık E.S. ve Vural M. (2000) 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı. Birsen Yayınevi,. İstanbul.
- [18] Grong,Q.,(1997) Metallurgical modelling of welding London : Institute of Materials.
- [19] Klenk,A.,Kauffmann,F.,Maile,K. (2013) Creep behavior and in-depth microstructural characterization of dissimilar joints Science and technology of advanced materials 14(014203).
- [20] Ertürk İ,Durukan,T.,Şentürk,B. (2017) X. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre Ve Sergisi Bildiriler Kitabı.
- [21] Uzkut, M., Özdemir, İ., (2001). “Farklı çeliklere uygulanan değişen ısıtma hızlarının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi,” DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 3, Sayı: 3, s. 65-73.).
- [22] Tmmob Yayın No 169 Makine Müh El Kitabı Cilt 1 Bölüm 6 1994.
- [23] Doğru Enerji Vibratory stress relief uygulama kataloğu www.dogruenerji.net
Erişim Tarihi: 20.04.2021.
- [24] Munsı, A. S. M. Y., Waddell, A. J., & Walker, C. A. (1999). Vibratory weld conditioning - the effect of rigid body motion vibration during welding. Strain, 35(4), 139–143.
- [25] Munsı,Waddell, Walker, 2001, Vibratory stress relief an investigation of the torsional stress effect in welded shafts, Journal of Strain Analysis Cilt: 36 No: 5.
- [26] Rao, Ge, Chen ,2004, Vibratory Stress Relief in Manufacturing the Rails of a Maglev , SystemJournal of Manufacturing Science and Engineering, Cilt: 126, Sf:388-394.

- [27] Rao, Wang, Chen, Ni, 2007, The effectiveness evaluation of 314L stainless steel vibratory stress relief by dynamic stress International Journal of Fatigue 29 (2007) 192–196.
- [28] Y.P. Yang, 2009, Understanding of Vibration Stress Relief with Computation Modeling Cilt: 18(7) , Journal of Materials Engineering and Performance.
- [29] M.C. Sun, Y.H. Sun, Wang, 2004, The vibratory stress relief of a marine shafting of 35# bar steel-, R.K. Wang Materials Letters 58, 299-303.
- [30] Jurius,Valiulis, (2008), Reduce of Material Residual Stresses Using Vibration Energy, Proceedings ofthe International Conference Vibroengineering.
- [31] G. S. Crisi, D. P. Mendonça (2007) “Stress Relief Of Welds By Heat Treatment And Vibration: A Comparison Between The Two Methods.”.
- [32] A.Jurcius, A. V. Valiulis, O. Cernasejus, K. J. Kurzydowski (2010)“ Influence Of Vibratory Stress Relief On Residual Stresses In Weldments And Mechanical Properties Of Structural Steel Joint” Journal Of Vibroengineering, Volume 12 Issue1.
- [33] D.Djuric,R. Vallant,K. Kerschbaumer and N. Enzinger (2013) VIBRATION STRESS RELIEF TREATMENTof welded high-strength martensitic steel N°02 2011 Vol. 55 WELDING IN THE WORLD Peer-reviewed Section 86-93.
- [34] S. Kacar, O. Yilmaz, (2019) “Effect Of Vibratory Stress Relief On Fatigue Life Of S355J2 Steel Welded Joints” , Makine Tasarım Ve İmalat Dergisi Cilt 17, Sayı 1.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Emrah BABUÇOĞLU

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Anadolu Üniversitesi / İktisat Fakültesi / Uluslararası İlişkiler Bölümü	2019
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	2010
Lise	.Süleyman Demirel Anadolu Lisesi	2004

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	Noksel Çelik Boru Fab.	Kalite Şefi
2013-2014	Tosçelik ERW Fab.	İşletme Mühendisi
2011-2013	İlhanlar Haddecilik Boru Profil.	Kalite Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

**1. ANALYSIS OF VIBRATION RESIDUAL STRESS RELIEF PROCESS OF
PIPES PRODUCED BY SUBMERGED ARC WELDING METHOD**

