

**304L ÇELİKLERİN ALIN KAYNAĞINDA MEKANİK
ÖZELLİKLERİN KAYNAK PARAMETRELERİNE BAĞLI
OLARAK İNCELENMESİ**

Orçun OLKUN

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

Yüksek Lisans Tezi

**TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Emin ERDİN**

Çorum 2019

Orçun OLKUN tarafından hazırlanan "304L Çeliklerin Alın Kaynağında Mekanik Özelliklerin Kaynak Parametrelerine Bağlı Olarak İncelenmesi" adlı tez çalışması 27/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Cengiz BAYKASOĞLU



Dr. Öğr. Üyesi M. Emin ERDİN



Dr. Öğr. Üyesi Ali ÖZGEDİK



Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 04/11/2019 tarihli ve 2019/277 sayılı kararı ile Orçun OLKUN'ın M. Emin ERDİN, M. Emin ERDİN, Ali ÖZGEDİK Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans / ~~Doktora~~ derecesi alması onanmıştır.



Doç. Dr. Cengiz BAYKASOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANI

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Orçun OLKUN



304L ÇELİKLERİN ALIN KAYNAĞINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİN KAYNAK PARAMETRELERİNE BAĞLI OLARAK İNCELENMESİ

Orçun OLKUN

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2019

ÖZET

Paslanmaz çelikler günümüzde kimya ve gıda başta olmak üzere pek çok alanda tercih edilmektedir. Gerek sıfır altı (-270 °C'ye kadar) gerek yüksek sıcaklıklardaki korozyona olan direnci, mekanik özelliklerinin üstünlüğü ve sünek yapıda olmasından dolayı geçiş sıcaklığı altında gevrekleşme olayının görülmemesi sebebiyle östenitik paslanmaz çelik olan AISI 304L sanayide en çok tercih edilen paslanmaz çeliktir. Bu çalışmada AISI 304L çeliğinin alın kaynağında hızlı bir kaynak türü olan MIG/MAG kaynağı tercih edilmiştir. Farklı kaynak teli ve parametreleri ile elde edilen kaynaklı numunelerin mekanik özellikleri deneysel çalışmalarla incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 304L Östenitik Paslanmaz Çelik, MIG, MAG, Alın Kaynağı, Gazaltı Kaynağı, Eğilme ve Darbe Dayanımı

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES IN BUTT WELDING OF 304L STEELS DEPENDING ON WELDING PARAMETERS

Orçun OLKUN

HİTİT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2019

ABSTRACT

Stainless steels are preferred in various areas nowadays, especially in chemistry and food industries. AISI 304L which is an austenitic steel is the most preferred stainless steel in the industry due to its' considerable ductility under transition temperature. Besides, AISI 304L has considerable corrosion resistance in extreme low (up to -270 °C) and high temperatures, and superior mechanical properties. In this study, a quick welding type, MIG/MAG welding, was preferred in the butt welding process of AISI 304L steel. Mechanical properties of specimens welded with various welding wires and parameters, were investigated experimentally.

Keywords: 304L Austenitic Stainless Steel, MIG, MAG, Butt Welding, Inert Gas Welding, Bending and Impact Strength

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın uygulamaya yarar getirmesi amacıyla yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren sayın hocam Dr. M. Emin ERDİN'e teőekkürlerimi sunarım.

Kocaeli Üniversitesi'ndeki eğitim öğretim günlerimde Kaynak Teknolojileri dersinde esprili anlatımıyla kaynağı bizlere sevdiren sayın hocam Prof. Dr. Erdinç KALUÇ'a teőekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmalarımda, kaynak işlemlerinin yapılmasında gerekli imkanı sağlayan, Orhan CAZGIR, Gökten PAK, Sezgin İSTANBULLU, Salih ALICI ve Selma ÇEMREK'e; mekanik testlerin yapılmasında yardımcı olan Bektaő BİÇER'e ve hayatımda her zaman destek olan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Kaynak İşlemi.....	2
2.2. Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı	3
2.2.1. Paslanmaz çelikler.....	3
2.2.2. Paslanmaz çeliklerde faz diyagramları.....	4
2.2.3. Paslanmaz çeliklere uygulanan kaynak yöntemleri	7
2.2.4. Paslanmaz çelik türüne göre kaynak işlemi	13
2.2.5. Paslanmaz çeliklerin kaynağında ağız tasarımları	18
2.2.6. Paslanmaz çeliklerin kaynağında dolgu metali seçimi.....	21
2.3. Literatür Özeti	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	25
3.1.1. Kaynak metali	25
3.1.2. Dolgu malzemesi.....	26

Sayfa

3.2. Kaynak Uygulaması	26
3.3. Deneysel Çalışmalar	31
3.3.1. Deney numunelerinin hazırlanması.....	32
3.3.2. Gözle muayene	34
3.3.3. Radyografik muayene	36
3.3.4. Çekme deneyi	37
3.3.5. Üç nokta eğme deneyi	39
3.3.6. Çentik darbe deneyi.....	39
3.4. Deney Sonuçları	41
3.4.1. Gözle muayene sonuçları	41
3.4.2. Radyografik muayene sonuçları.....	44
3.4.3. Çekme deneyi sonuçları	48
3.4.4. Üç nokta eğme deneyi sonuçları	49
3.4.5. Çentik darbe deneyi sonuçları	50
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	52
4.1. Sonuçlar.....	52
4.2. Öneriler.....	54
KAYNAKLAR	55
EKLER	58
EK-1. Kaynaklı numunelerin görselleri	59
EK-2. Çekme deneyi sonuçları	69
ÖZGEÇMİŞ	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Kullanılan AISI 304L sacın kimyasal analiz sonuçları.....	25
Çizelge 3.2. Kullanılan AISI 304L sacın mekanik özellikleri	25
Çizelge 3.3. Kullanılan kaynak dolgu tellerinin kimyasal analiz sonuçları.....	26
Çizelge 3.4. Kullanılan kaynak dolgu tellerinin mekanik özellikleri.....	26
Çizelge 3.5. Kullanılan kaynak parametreleri.....	29
Çizelge 3.6. Kaynakların kep ve kök ölçüleri	41
Çizelge 3.7. Çekme deneyinden elde edilen değerler.	48
Çizelge 3.8. Charpy metodu çentik darbe deneyi sonuçları.....	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kaynak usulleri	2
Şekil 2.2. Schaeffler diyagramı	5
Şekil 2.3. DeLong diyagramı	6
Şekil 2.4. WRC-1992 diyagramı	7
Şekil 2.5. Örtülü elektrot ark kaynağı prensibi	8
Şekil 2.6. Gazaltı kaynağının prensibi	9
Şekil 2.7. 300 serisi paslanmaz çelik elektrodlar için kaynak akımları ile elektrod besleme hızları arasındaki ilişki	10
Şekil 2.8. Özlü telin içeriği	11
Şekil 2.9. Tozaltı kaynak sisteminin prensip şeması	12
Şekil 2.10. TIG kaynağının prensibi	13
Şekil 2.11. Kaynak ağız şekilleri.....	19
Şekil 2.12. Seramik altlık uygulamaları	20
Şekil 3.1. Deney plakasının sabitlemesi.....	27
Şekil 3.2. Kullanılan kaynak ağızı tasarımları	29
Şekil 3.3. Kaynatılan test plakalarındaki numune kesim planı	33
Şekil 3.4. Gözle muayenede kaynak nüfuziyet ölçümü	34
Şekil 3.5. Çekme deneyi numune örneği	37
Şekil 3.6. Eğme deneyi numune örneği	39
Şekil 3.7. Çentik darbe deneyi numune örneği	40
Şekil E2.1. 1 numaralı plaka çekme deneyi sonuçları	69
Şekil E2.2. 2 numaralı plaka çekme deneyi sonuçları	70

Şekil	Sayfa
Şekil E2.3. 3 numaralı plaka çekme deneyi sonuçları	71
Şekil E2.4. 4 numaralı plaka çekme deneyi sonuçları	72
Şekil E2.5. 5 numaralı plaka çekme deneyi sonuçları	73
Şekil E2.6. 6 numaralı plaka çekme deneyi sonuçları	74
Şekil E2.7. 7 numaralı plaka çekme deneyi sonuçları	75



RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Seramik altlık ve kullanımı	20
Resim 3.1. Kullanılan kaynak makinesi ve hareketli mekanizma	27
Resim 3.2. Seramik altlık yapıştırılması ve plaka arkası görünüm	28
Resim 3.3. Seramik altlık kesit görünüm	28
Resim 3.4. A, B ve C kodlu test plakaları	30
Resim 3.5. D, E ve F kodlu test plakaları	30
Resim 3.6. 1, 2 ve 3 numaralı test plakaları	30
Resim 3.7. 4, 5 ve 6 numaralı test plakaları	31
Resim 3.8. 7 numaralı test plakası	31
Resim 3.9. Numunelerin CNC lazer tezgâhında kesilmesi	32
Resim 3.10. Kaynatılan test plakalarındaki numunelerin lazerle kesilmiş hali	33
Resim 3.11. Kaynak kök ve kep yüksekliğinin kaynak mastarı ile ölçülmesi	35
Resim 3.12. Kaynak kök ve kep genişliğinin ölçülmesi	35
Resim 3.13. Filmlerin çekildiği X-ışını radyografi cihazı	37
Resim 3.14. Deneilerin yapıldığı çekme ve eğme cihazı	38
Resim 3.15. Deneilerin yapıldığı çentik darbe cihazı	40
Resim 3.16. A kodlu kaynak kep bölgesi görünüm	42
Resim 3.17. 3 numaralı kaynak kep bölgesi görünüm	42
Resim 3.18. 7 numaralı kaynak kep bölgesi görünüm	42
Resim 3.19. B kodlu kaynak kök bölgesi görünüm	43
Resim 3.20. C kodlu kaynak kök bölgesi görünüm	43
Resim 3.21. F kodlu kaynak kök bölgesi görünüm	43

Resim	Sayfa
Resim 3.22. 5 numaralı kaynak kök bölgesi görünüm.....	44
Resim 3.23. 6 numaralı kaynak kök bölgesi görünüm.....	44
Resim 3.24. A kodlu kaynak X-ışını radyografik filmi	45
Resim 3.25. B kodlu kaynak X-ışını radyografik filmi.....	45
Resim 3.26. C kodlu kaynak X-ışını radyografik filmi.....	45
Resim 3.27. D kodlu kaynak X-ışını radyografik filmi	45
Resim 3.28. E kodlu kaynak X-ışını radyografik filmi	46
Resim 3.29. F kodlu kaynak X-ışını radyografik filmi	46
Resim 3.30. 2 numaralı kaynak X-ışını radyografik filmi	46
Resim 3.31. 3 numaralı kaynak X-ışını radyografik filmi	46
Resim 3.32. 4 numaralı kaynak X-ışını radyografik filmi	47
Resim 3.33. 5 numaralı kaynak X-ışını radyografik filmi	47
Resim 3.34. 7 numaralı kaynak X-ışını radyografik filmi	47
Resim 3.35. Numunelerin çekme deneyinden sonraki görüntüsü.....	49
Resim 3.36. 7 numaralı kaynak kep kısmı eğme görüntüsü	50
Resim 3.37. 7 numaralı kaynak kök kısmı eğme görüntüsü	50
Resim 3.38. Numunenin darbeden sonra kaynaktan kırılma görüntüsü	51
Resim E1.1. B kodlu kaynak kep bölgesi görünüm	59
Resim E1.2. C kodlu kaynak kep bölgesi görünüm	59
Resim E1.3. D kodlu kaynak kep bölgesi görünüm.....	59
Resim E1.4. E kodlu kaynak kep bölgesi görünüm	60
Resim E1.5. F kodlu kaynak kep bölgesi görünüm	60
Resim E1.6. 1 numaralı kaynak kep bölgesi görünüm.....	60

Resim	Sayfa
Resim E1.7. 2 numaralı kaynak kep bölgesi görünüm.....	61
Resim E1.8. 4 numaralı kaynak kep bölgesi görünüm.....	61
Resim E1.9. 5 numaralı kaynak kep bölgesi görünüm.....	61
Resim E1.10. 6 numaralı kaynak kep bölgesi görünüm.....	62
Resim E1.11. A kodlu kaynak kök bölgesi görünüm	62
Resim E1.12. D kodlu kaynak kök bölgesi görünüm	62
Resim E1.13. E kodlu kaynak kök bölgesi görünüm	63
Resim E1.14. 1 numaralı kaynak kök bölgesi görünüm	63
Resim E1.15. 2 numaralı kaynak kök bölgesi görünüm	63
Resim E1.16. 3 numaralı kaynak kök bölgesi görünüm	64
Resim E1.17. 4 numaralı kaynak kök bölgesi görünüm	64
Resim E1.18. 7 numaralı kaynak kök bölgesi görünüm	64
Resim E1.19. 1 numaralı kaynak kep kısmı eğme görüntüsü.....	65
Resim E1.20. 1 numaralı kaynak kök kısmı eğme görüntüsü.....	65
Resim E1.21. 2 numaralı kaynak kep kısmı eğme görüntüsü.....	65
Resim E1.22. 2 numaralı kaynak kök kısmı eğme görüntüsü.....	66
Resim E1.23. 3 numaralı kaynak kep kısmı eğme görüntüsü.....	66
Resim E1.24. 3 numaralı kaynak kök kısmı eğme görüntüsü.....	66
Resim E1.25. 4 numaralı kaynak kep kısmı eğme görüntüsü	67
Resim E1.26. 4 numaralı kaynak kök kısmı eğme görüntüsü.....	67
Resim E1.27. 5 numaralı kaynak kep kısmı eğme görüntüsü	67
Resim E1.28. 5 numaralı kaynak kök kısmı eğme görüntüsü.....	68
Resim E1.29. 6 numaralı kaynak kep kısmı eğme görüntüsü.....	68

Resim**Sayfa**

Resim E1.30. 6 numaralı kaynak kök kısmı eğme görüntüsü..... 68



SİMGELER KISALTMALAR

Simgeler

Al	Alüminyum
C	Karbon
Cr	Krom
Cu	Bakır
HCl	Hidroklorik asit
H ₂ SO ₄	Sülfürik asit
Mn	Manganez
Mo	Molibden
N	Azot
Nb	Niyobyum
Ni	Nikel
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
W	Tungsten

Kısaltmalar

EBS	Elektron geri saçılım difraksiyonu
FCAW	Özlü tel elektrotla ark kaynağı
FN	Ferrit sayısı
GMAW	Gaz metal ark kaynağı
GTAW	Gaz tungsten ark kaynağı
HCl	Hidroklorik asit
ITAB	Isı tesiri altındaki bölge
LiN	Sıvılaştırılmış azot
LNG	Sıvılaştırılmış doğalgaz
LOx	Sıvılaştırılmış oksijen
LAr	Sıvılaştırılmış argon

MAG	Metal aktif gaz
MIG	Metal soy gaz
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SMAW	Örtülü elektrot ark kaynağı
TEM	Geçirimli elektron mikroskobu
TIG	Tungsten soy gaz



1. GİRİŞ

Kaynak ısı vasıtası ile iki parçanın birbirine birleştirilmesidir. Genel olarak kaynak, imalat, bağlama ve tamir işlerinde bir yöntem olarak kullanılır (Akkurt, 1979). Bu çalışmada alın kaynak yöntemi ile paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde, kaynak parametrelerinin sonuca etkisi araştırılmıştır. Günümüzde paslanmaz çelikler tıp, kimya, petrokimya ve gıda başta olmak üzere pek çok sektörde kullanılan birçok cihaz ve ekipmanın imalatında, korozyona karşı dirençli olduğu için tercih edilmektedir.

Kaynak işlemi, şekil bakımından alın ve köşe (bindirme) kaynağı olmak üzere iki temel gruba ayrılır. Kuvvet akış çizgilerinin düzgün olması nedeniyle alın kaynağı bindirme kaynağından daha üstündür. Fakat uygulamada daha zor bir yöntemdir. Alın kaynağında; kaynak ağzı oluşturmanın uzun sürmesi, kök pasonun kaynak edilen malzemenin arka tarafından taşması, taşan kaynak metalinin hava ile temasının kaynak yapısını olumsuz etkilemesi gibi zorluklar bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada kaynak yöntemi olarak, uygulaması diğer yöntemlere göre daha fazla itina gerektiren alın kaynak yöntemi seçilmiştir.

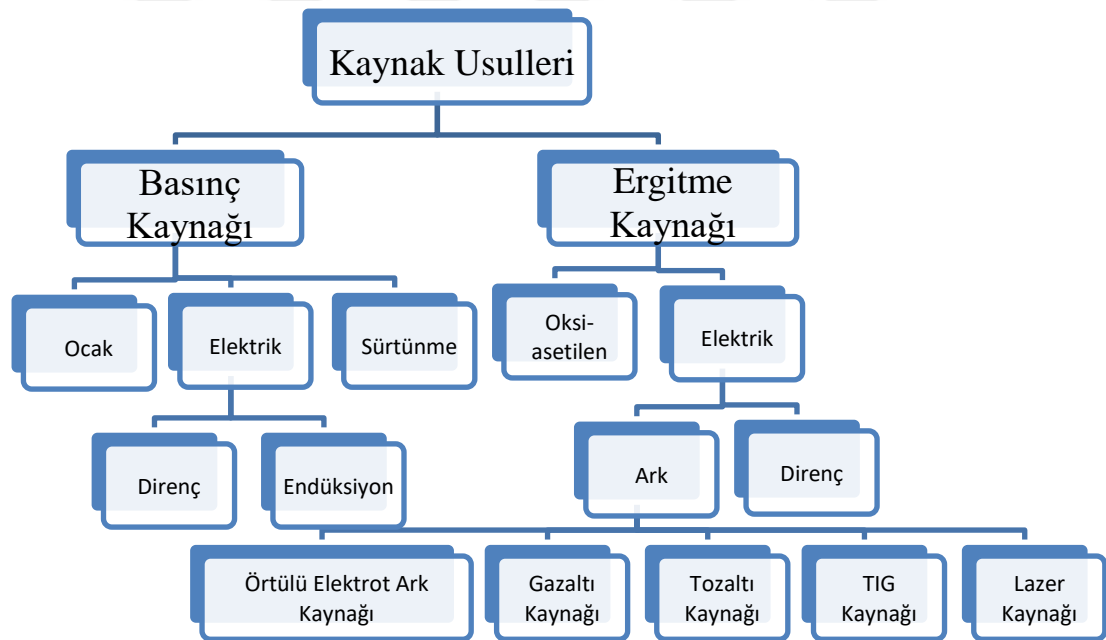
Alın kaynak yöntemi en çok basınçlı kapların kaynağında tercih edilmektedir. Basınçlı kaplarda uygulanan kaynak kalitesi çok büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle bu çalışmada paslanmaz çeliklerin basınçlı kaplarda kullanım alanları da incelenmiştir. Östenitik paslanmaz çeliklerin, -270 °C gibi çok düşük sıcaklıklarda korozyon dayanımı ve mekanik özellikleri iyidir. Bu nedenle yaklaşık -200 °C'de depolanan ve taşınan LNG, LiN, LOx, LAr gibi sıvılaştırılmış gazların kreyojenik tanklarının (vakum yalıtımlı tanklar) imalatında tercih edilirler (Anonim, 2002).

Kreyojenik tanklarda alın kaynak yönteminin önemi, 304L çeliklerinin tercih nedeni ve düşük kalınlıklarda en hızlı kaynak türü olan gazaltı (MIG/MAG) kaynağına ait uygun kaynak parametrelerinin saptanması ve sonuçların yorumlanması; bu tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kaynak İşlemi

Kaynak, ısı vasıtası ile iki parçanın birbirine birleştirilmesidir. Genel olarak kaynak; imalat, bağlama ve tamir işlerinde bir yöntem olarak kullanılır. İmalat yöntemi olarak, dökümün veya dövmenin bir alternatifidir. Bu imalat yöntemleri arasındaki seçim maliyetlere bağlıdır. Büyük hacimli ve sönümlenme şartları aranan imalatlarda döküm yöntemi tercih edilir. Bağlama yöntemi olarak kaynak, perçinin bir alternatifidir. Malzeme ve işçilik giderleri bakımından kaynak daha üstün olduğundan, son yıllarda perçinin yerini almıştır. Kaynaklı birleştirmeler sadece fabrika ortamında değil aynı zamanda sahada da yapılabilir. Tamir olarak kaynak, kırılan parçaların birleştirilmesinde, çatlakların giderilmesinde ve aşınan kısımların doldurulmasında kullanılmaktadır (Akkurt, 1979).



Şekil 2.1. Kaynak usulleri

Kaynak teknoloji bakımından basınç ve ergitme kaynağı olarak ikiye ayrılır. Prensip olarak, basınç kaynağında ısı ile birlikte parçalar birbirine bastırılır. Gereken ısı kaynağı ocak, elektrik direnci veya sürtünme olabilir. Ergitme kaynağında ısı ile

birlikte elektrot denilen ek malzeme kullanılır. Burada ısı kaynağı oksihidrojen alevi, oksiasetilen alevi veya elektrik arkı olabilir. Basınç kaynağında genellikle sıcaklık kaynak yapılacak yüzeylerin yumuşatma noktasına kadar erişir, hatta çok küçük yüzeylerde ergime de olabilir. Ergitme kaynağında ise, sıcaklık malzemenin ergitme noktasına kadar yükselir (Akkurt, 1979).

2.2. Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

2.2.1. Paslanmaz çelikler

Karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler korozif ortamlarda korozyona uğrayarak mekanik özelliklerini yitirmektedirler. Paslanmaz çelikler yüksek korozyon dirençleri sayesinde günümüz endüstrisinde vazgeçilmez malzemeler arasındadır. Korozyon ve oksidasyona karşı dayanım özelliği, alaşım elementi krom sayesinde kazanılmaktadır. Krom paslanmaz çeliklerin yüzeyinde ince şeffaf krom oksit tabakası oluşturmaktadır. Bir çeliğin paslanmazlık özelliği gösterebilmesi için en az %12 krom (Cr) içermesi gerekmektedir. Artan krom miktarı oksidasyon direncini de artırmaktadır. Paslanmaz çelikler %0,03 ile %1 arasında karbon (C) içermektedir (Anonim, 2014; Kaluç ve Taban, 2007).

Paslanmaz çelikler, karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklere oranla pahalıdırlar. Fakat çok uzun ömürlü olmaları, bakımlarının ucuz olması ve tümüyle geri kazanılabilmeleri bakımından ekonomik özellik gösterebilmektedirler.

%12 krom miktarının bulunması atmosferik koşullarda çeliği olumsuz etkilerden korumaya yeterlidir. Fakat hidroklorik asit (HCl) ve sülfürik asit (H₂SO₄) gibi asitler, malzemenin yüzeyini koruyan krom oksit tabakasını ortadan kaldırdığından, bu asitlere karşı malzemeyi korumada yetersizdir. Bu sebeple nikel ve molibden gibi farklı alaşım elementleri kullanılarak bu asitlere karşı iyi direnç gösteren paslanmaz çelikler de üretilmektedir. Çeliğe eklenen farklı alaşım elementleri sayesinde mikro yapılar değişmekte ve 200'den fazla paslanmaz çelik türü elde edilebilmektedir (Kaluç ve Taban, 2007).

Paslanmaz çelikler özellikleri ve bileşimleri açısından 5 ana grupta incelenir (Korg, 2007).

- Martenzitik kromlu paslanmaz çelikler
- Ferritik kromlu paslanmaz çelikler
- Östenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler
- Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler
- Çift fazlı (Dubleks) paslanmaz çelikler

Bu ana grupların içinde çeşitli özellikleri geliştirilmiş çok sayıda alt grup da bulunmaktadır. Bu ana grupların içinde östenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler; korozyon dirençlerinin, sıfır altı sıcaklıklara dayanımının ve sünekliğinin yüksek olması nedeniyle basınçlı kreyojenik tankların imalatında en çok tercih edilen paslanmaz çelik türüdür. Bu çalışmada diğer çeliklerden de bahsedilmekte olup, en çok bu ana gruba değinilmiştir.

2.2.2. Paslanmaz çeliklerde faz diyagramları

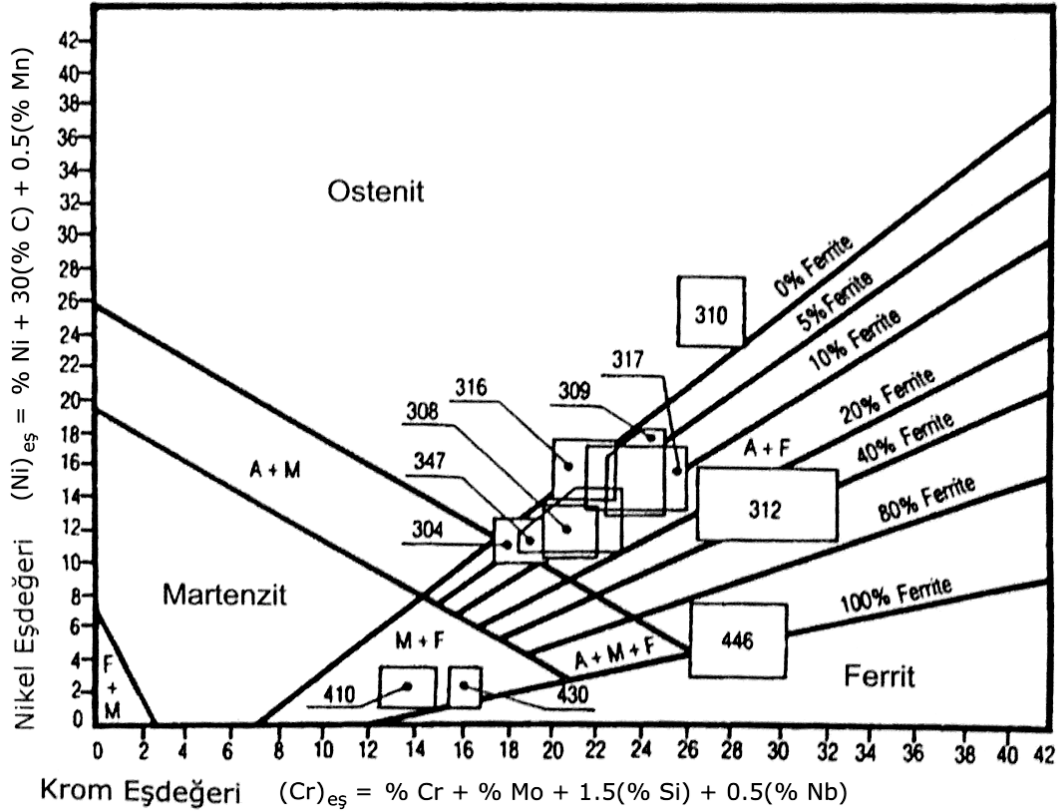
Bir çeliğe ait içyapı, kimyasal analiz sonuçlarından çıkarılabilmektedir. Bazı araştırmacılar bu analiz sonuçlarını kullanarak uzun yıllar deneyler yapmış ve deneylerin sonucunda çeşitli diyagramlar elde etmişlerdir. Metalin kimyasal ağırlık olarak % kimyasal bileşiminden krom eşdeğeri ($Cr_{eş}$) ve nikel eşdeğeri ($Ni_{eş}$) hesaplanabilmesi için aşağıdaki ampirik formüller geliştirilmiştir. Burada $Cr_{eş}$ ferrit dengeleyicileri, $Ni_{eş}$ ise östenit dengeleyicileri göstermektedir (Kaluç ve Taban, 2007).

$$Cr_{eş} = \%Cr + 2 \times \%Si + 1,5 \times \%Mo + 5 \times \%V + 5,5 \times \%Al + 1,75 \times \%Nb + 1,5 \times \%Ti + 0,75 \times \%W$$

$$Ni_{eş} = \%Ni + \%Co + 0,5 \times \%Mn + 0,3 \times \%Cu + 30 \times \%C + 25 \times \%N$$

Çeliğin bileşimi bilindiği takdirde bu değerler kullanılarak diyagramlar yardımıyla çeliğin faz yapısı kabul edilebilir bir yakınsaklık ile saptanabilir. Benzer denklemler

1949 yılında Schaeffler tarafından hazırladığı diyagram için de göz önüne alınmıştır. Ana metal ile aynı kimyasal bileşime sahip veya farklı kimyasal bileşime sahip dolgu metalinin veya ikinci metalin olduğu durumlarda Schaeffler diyagramından fazlaca faydalanılmaktadır (Odabaş, 2007).

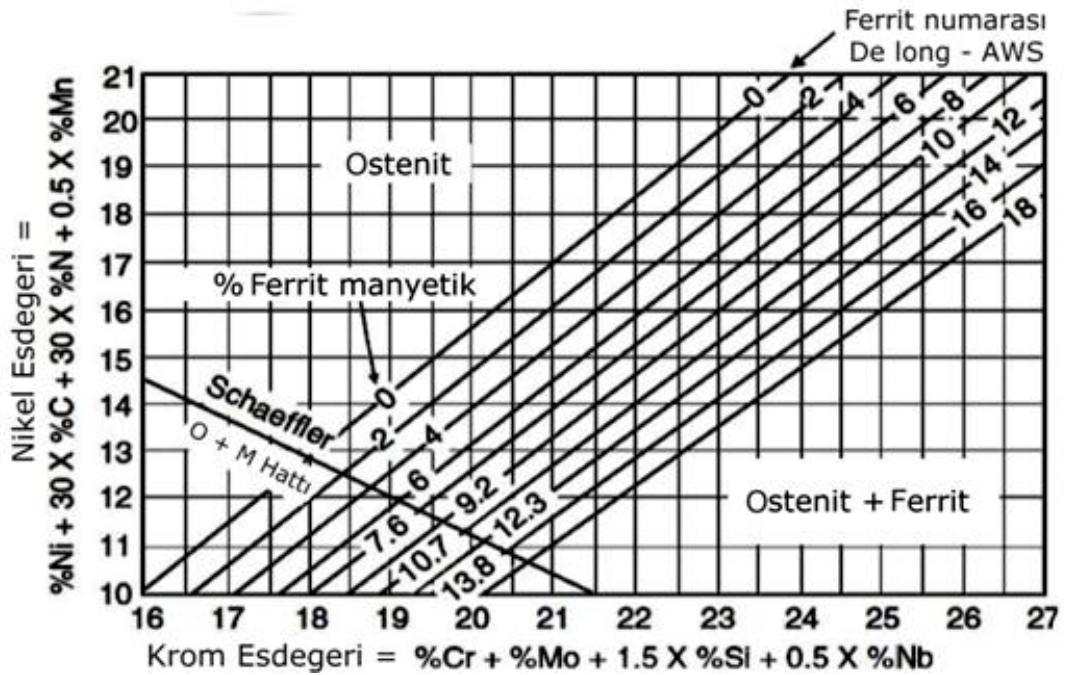


Şekil 2.2. Schaeffler diyagramı (Kaluç ve Taban, 2007)

Tam östenitik çeliklerin kaynağında sıcak çatlama riski bulunmaktadır. Bunu engellemek için yapının %5-10 arası ferrit içermesi gerekmektedir. Schaeffler diyagramında ferrit % olarak ele alınmaktadır. Daha sonra yapılan araştırmalar ile ferrit miktarları hesaplanarak bazı faz durumlarında diyagramda uyumsuzluklar görülmüştür.

Delong 1956 yılında, azotun (N) etkisini hesaba katarak kendi diyagramını yayınlamıştır. Azot elementinin önemini, güçlü bir östenitik element olarak belirtmiş ve bu maddeyi 30'la çarparak nikel eşdeğerine eklemiştir. Bu durum krom eşdeğerini etkilememiş, ancak nikel eşdeğerini değiştirmiştir. Bu diyagram, bantlardaki ferrit

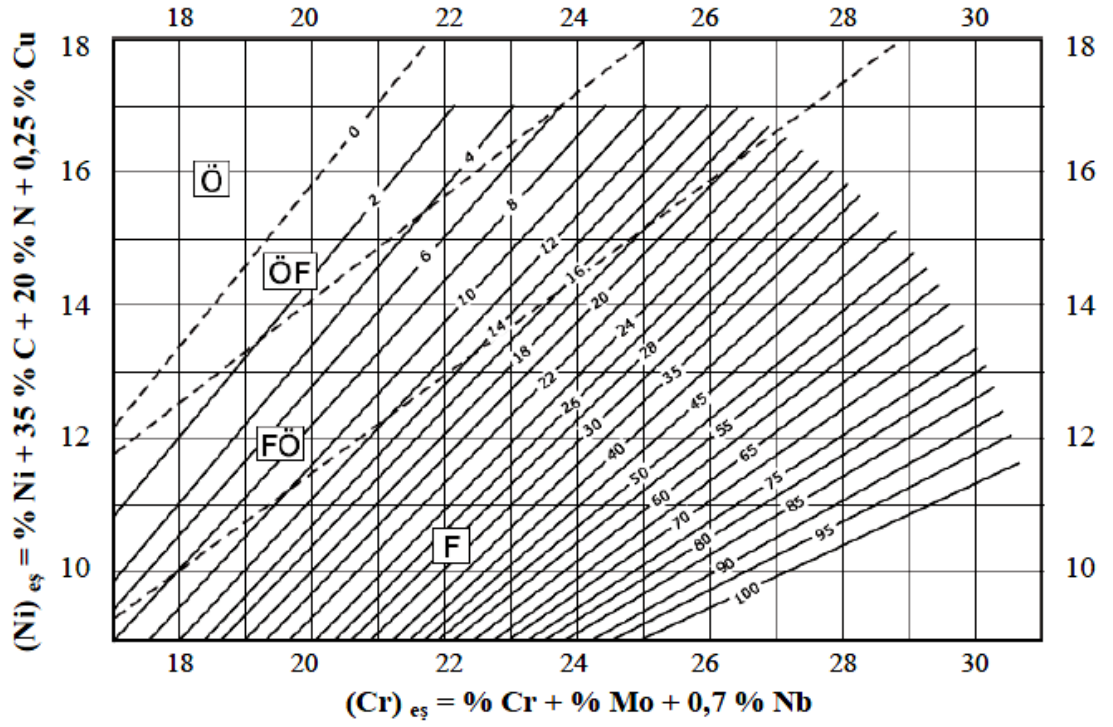
seviyelerini hem metalografik tayinlere dayanan yüzde olarak, hem de manyetik tayin yöntemlerine dayanan ferrit sayısı 'FN' olarak gösterir. FN birimi ferrit içeriğinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. FN ölçeğinin temeli, ANSI/AWS A4.2 ve ISO 8249 standartlarında tanımlanmıştır (Koca, 2010; Kotecki ve Siewert, 1992).



Şekil 2.3. DeLong diyagramı

Aslında, DeLong diyagramı daha sınırlı bir bileşim aralığı için iyileştirilmiş tahminler içermektedir, ancak tüm yaygın östenitik paslanmaz çelik kaynak metallerini içeren bir aralıkta işlem görmüştür. Bununla birlikte, Mn'yi (Schaeffler diyagramında olduğu gibi) yanlış bir şekilde ele aldığı ve tip 309 gibi daha yüksek alaşımli bileşimlerin FN'sini fazla tahmin ettiği ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda, birbirinden farklı metal bağlantı noktaları için de sınırlı bir kullanım sunmuştur (Kotecki ve Siewert, 1992).

ASME Code Section III, nükleer tesislerde sık sık kullanılmaktadır ve DeLong diyagramını uzun yıllardır kullanmaktadır. 1992 yılında Kotecki ve Siewert WCR-1992 diyagramını yayınlamışlardır. Bu diyagram önemli derecede, Cu içeren kaynaklı paslanmaz çelikler için, FN tahmin doğruluğunu artırmıştır. ASME şartnamelerinin 1994-1995 kış döneminde yayınlanan eklerinde WCR-1992 diyagramı, DeLong diyagramının yerini almıştır (Kotecki ve Siewert, 1992; Odabaş, 2007).



Şekil 2.4. WRC-1992 diyagramı

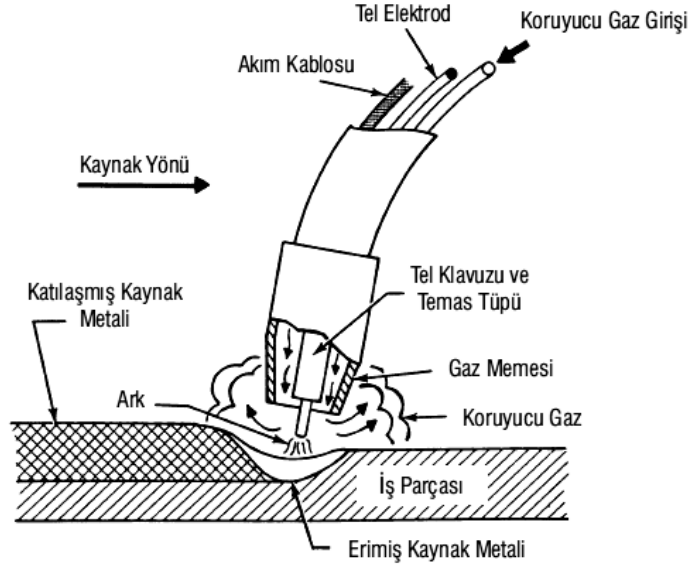
2.2.3. Paslanmaz çeliklere uygulanan kaynak yöntemleri

Çok çeşitli kaynak yöntemleri bulunmakta olup, bu yöntemlerde esas konu, ergimiş kaynak metalini dış hava ortamının zararlı etkilerinden korumaktır. Koruma gaz, örtü ve toz sayesinde olabilmektedir. Bu sayede dış hava ile kaynak banyosu tepkimeye girerek, kaynak banyosunun alaşım yapıları bozulmamaktadır.

2.2.3.1. Örtülü elektrot ark kaynağı

SMAW (Shielded Metal Arc Welding) olarak bilinen bu kaynak türü çok eski bir yöntemdir. Metal yığıma hızı diğer kaynak türlerine göre yavaştır. Elektrotlar belli bir uzunluğa sahip olduğundan her bittiğinde kaynağı durdurup yeni elektrodu takmak gerekmektedir. Eriyen elektroda sahip olup, elektrot masif paslanmaz çubuk üzerine kaplı bir örtüden oluşmaktadır. Bu örtü çubukla birlikte eriyerek kaynak banyosunun üzerinde toplanmaktadır. Erimiş haldeki kaynak banyosu da dâhil olmak üzere katılmış kaynak dış havanın olumsuz koşullarından etkilenmemektedir. Kaynakla

yoğunluğuna sahiptir ve bu sebeple arkın sıcaklığı da yüksektir. Bu sayede kısa sürede otomatik beslenen teli eritmeyi gerçekleştirebilir. Elle yapılabildiği gibi, otomatik hareketli kollara torcun sabitlenmesiyle robotik şekilde de yapılabilir.



Şekil 2.6. Gazaltı kaynağının prensibi (Eryürek, 2003)

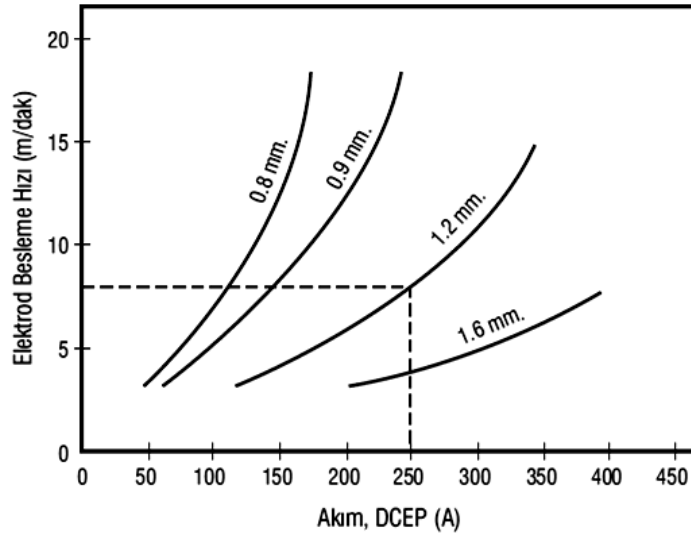
Östenitik paslanmaz çelikler için masif tel kaynağında koruyucu gaz olarak genelde Ar-O₂ veya CO₂ gibi oksitleyici bileşen içeren karışım gazlar kullanılır. Saf argon veya helyum ile bunların karışımlarının kullanılması sonucu kararsız bir ark oluşmaktadır. Argon O₂ ve CO₂ katılarak arkın dengelenmesi sağlanmaktadır. Östenitik çeliklerin özlü teller ile kaynağında ise %20-100 arasında CO₂ içeren gazlar kullanılır. CO₂ miktarı %20'nin altına düşerse düzgün ark kararlılığı elde edilemez (Kükürtcü, 2014).

Gazaltı kaynağında metal damlalar elektrottan iş parçasına üç temel iletim mekanizmasıyla geçer:

- a) Kısa devre iletimi (kısa ark)
- b) İri damla iletimi (uzun ark)
- c) Sprey iletimi

Damla iletim tipi çok sayıda faktör tarafından etkilenir. Bunlar içinde en etkili olanlar şunlardır:

- Kaynak akımının tipi ve şiddeti
- Elektrot çapı
- Elektrodun bileşimi
- Serbest elektrot uzunluğu
- Koruyucu gaz

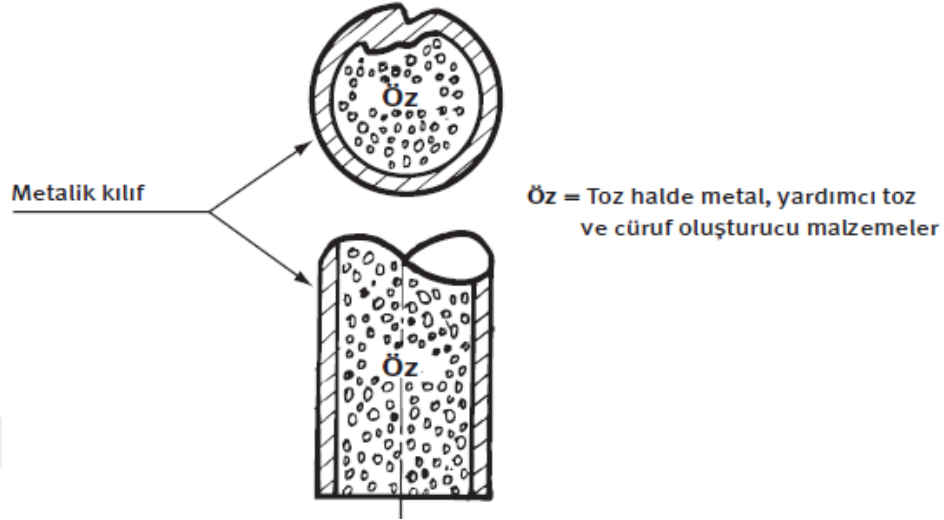


Şekil 2.7. 300 serisi paslanmaz çelik elektrotlar için kaynak akımları ile elektrot besleme hızları arasındaki ilişki (Eryürek, 2003)

2.2.3.3. Özlü tel elektrotla ark kaynak yöntemi

FCAW (Flux Cored Arc Welding) adıyla bilinen kaynak yöntemi GMAW prosesinin farklı bir biçimidir. Aradaki fark bu yöntemde kullanılan telin içinde elektrot örtüsü ile aynı işleve sahip bir özün bulunmasıdır. Bu özde bulunan toz, cüruf oluşturur ve aynı zamanda oksit gidericidir. Bu sayede örtülü elektrotlardaki örtü taklit edilerek sürekli beslenen tel sistemi ile verimli, kesintisiz bir kaynak elde edilir. Tel çapları 0,8 ile 1,6 mm arasındadır. Bu kaynak uygulamalarına örnek olarak basınçlı kaplar, kimyasal tanklar verilebilmektedir. Koruyucu gaz uygulaması olmadan yapılan özlü tel ile elektrot

kaynağı basınçlı ürünlerin üretiminde tavsiye edilmemektedir (Altuntaş, 2015; Cunat, 2007).



Şekil 2.8. Özlü telin içeriği

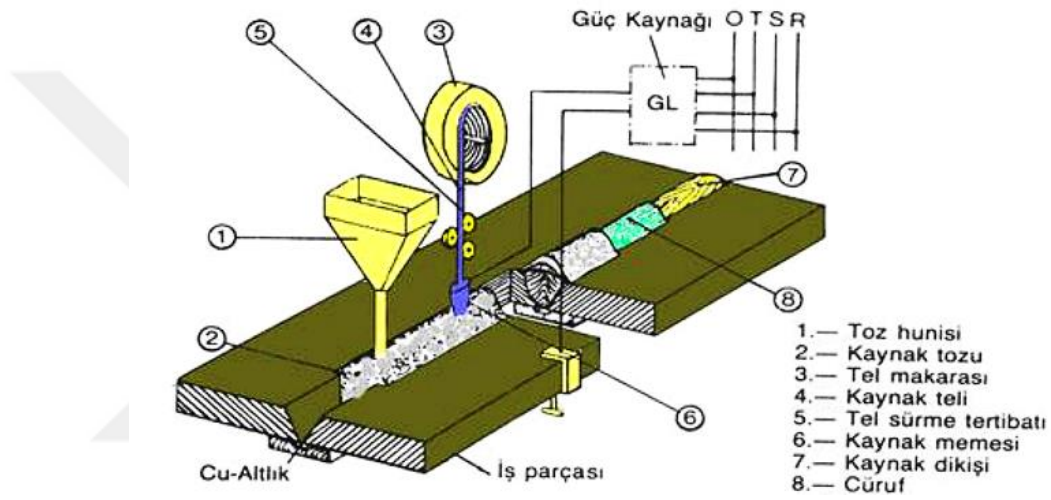
2.2.3.4. Tozaltı kaynak yöntemi

SAW (Submerged Arc Welding) adıyla bilinen bu kaynak yöntemi gazaltı kaynağında olduğu gibi temel olarak bir elektrik ark kaynağıdır. Tozaltı kaynak yönteminde de ark, otomatik olarak kaynak yerine sürülen çıplak elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir ve ayrı bir kanaldan kaynak yerine dökülen toz yığını altında işlevine devam eder. Burada kaynak metalini dış havadan koruma işini, özel üretilmiş tozlar üstlenir. Kaynak arkının toz yığını altında meydana gelmesinden dolayı bu yönteme tozaltı kaynağı denmiştir.

Tozaltı kaynak yönteminde, bir bobinden gelen kaynak teli, bir motorun hareket ettirdiği makaralar arasından ve bir temas memesinden geçerek kaynak bölgesine iletilir. Erimesi için gerekli olan kaynak akımını temas memesinden alan tel, iş parçası ile kendi arasında oluşan kaynak arkında erir. Bu ark ayrı bir kanaldan gelen silikat ve toprak alkali metalleri içeren bir toz tarafından korunur. Kaynak teli ve iş parçası arasında oluşan arkın sıcaklığında, tel ve tozun içindeki bazı elementler, eriyerek istenilen alışımda kaynak metalinin oluşmasını sağlar. Tozaltı kaynak yönteminde

kaynak parametreleri (kaynak akımı, ark voltajı, tel ilerleme hızı, kaynak hızı) iyi seçildiği takdirde hatasız ve çok güzel görünümlü dikişler elde edilir.

Örtülü elektrotla yapılan kaynağa göre bu yöntemde kullanılan aynı çaplı elektrot daha yüksek kaynak akımı ile yüklendiğinden, daha büyük kaynak banyosu ve daha derin nüfuziyet elde edilir. Yüksek akım şiddeti kullanılarak, tek paso ile 12 mm'ye kadar sac kalınlıklarında kaynak yapılabilir (Gülsün, 2009).



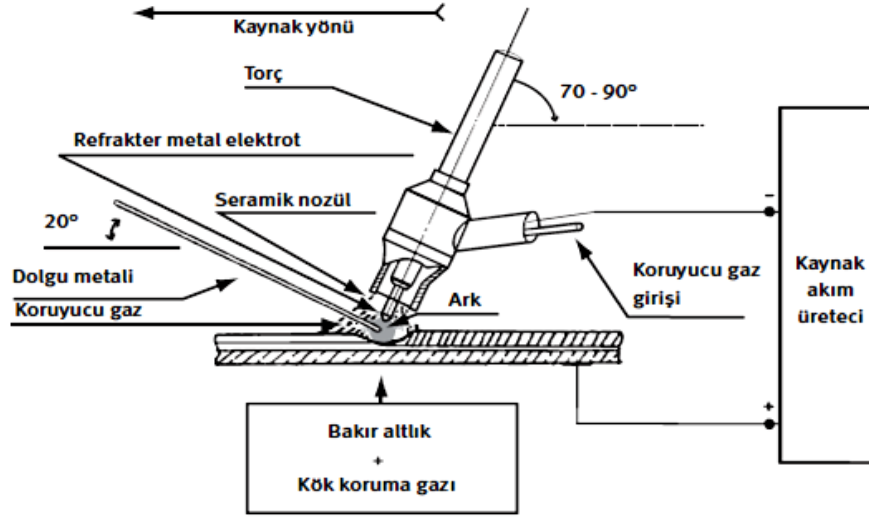
Şekil 2.9. Tozaltı kaynak sisteminin prensip şeması

Tozaltı kaynak yöntemi ile teknolojik makineler kullanılarak 2 mm saca kaynak yapılabilmektedir. Fakat pratikte 4 mm kalınlıkların altında kaliteli kaynaklar elde edilememektedir. Bu sebeple ince sacların kaynağında bu yöntem tercih edilmemektedir. TIG kaynağı ince sacları düşük ısı girdisi ile kaliteli sonuçlar vermektedir. Fakat TIG kaynağı yavaş bir kaynak metodu olduğu ve işçilik gerektirdiği için zorunlu olmadığı durumlarda ve kalın sacları tercih edilmez.

2.2.3.5. Gaz tungsten ark kaynak yöntemi

GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) adıyla bilinen bu kaynak, TIG (Tungsten Inert Gas) kaynağı olarak ya da piyasadaki ismiyle argon kaynağı olarak da bilinir. Ucu özel açacaklarla açılarak sivriltilen bir tungsten elektrot ve etrafından salınan argon,

helyum ve hidrojen karışımlarından meydana gelmiş koruyucu gazdan oluşan bir prosestir. Dolgu teli elle manuel veya otomatik olarak verilebilir.



Şekil 2.10. TIG kaynağının prensibi (Cunat, 2007)

Çok kararlı bir arka ve durgun sıçrantsız bir kaynak banyosuna sahiptir. Bu sebeple her tür pozisyonda kontrolü çok kolay olup 0,5 mm'den 6 mm'ye kadar rahatlıkla kullanılabilir. Kaynak kalitesi ve dikişleri mükemmel yakındır. Bu sebeple kaynaktan sonra temizlik gerektirmez. Tek dezavantajı yavaş bir kaynak oluşudur ve kaynak dolgusu ark küçük olduğundan azdır. Dolguya ihtiyaç duyan derin kaynak ağzlarında tercih edilmez.

2.2.4. Paslanmaz çelik türüne göre kaynak işlemi

2.2.4.1. Martenzitik kromlu paslanmaz çelikler ve kaynağı

%1'den fazla karbon içeren çelikler 950-1050 °C arası sıcaklıklarda östenitik yapıya sahipken, su verme gibi hızlı soğutma sonucu hacim merkezli tetragonal kafese sahip martenzitik yapı elde edilir. Karbon yüzdesi artırıldıkça elde edilen sertlik ve mekanik dayanım artar. Bu tür paslanmaz çeliklerin krom miktarı %11,5 ile %18 arasındadır. Krom miktarı %11'in altına düşerse çeliğin korozyon dayanımı düşer,

%18'in üzerine çıkarsa da yüksek sıcaklıklarda östenitik yapı elde edilemez. Martenzitik çeliklerde tavlama ve su verme işleminden sonra krom karbür çökmesi oluşabilmektedir. Bu durumda krom miktarı sınır değerinin altına düşerse korozyona sebebiyet verebilir (Bargel ve Schulze, 1995; Koca, 2010).

Bu tür çelikler orta derecede korozyon direncine sahiptirler. Isıl işlem uygulanarak yüksek mukavemet ve sertlikler elde edilebilir. Kaynak kabiliyetleri düşüktür. Kaynaktan sonra çatlama eğilimleri yüksektir. Manyetikler. Başlıca kullanım alanları miller, pimler, kesici bıçaklar ve ameliyat aletleridir (Koca, 2010; Kaluç ve Taban, 2007).

Karbon miktarı az olan (%0,5'ten küçük) martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağından önce 200 °C ile 400 °C arasında sıcaklıklarda ön tavlama uygulanır. Sünek ve tok bir yapı elde edebilmek için kaynaktan hemen sonra 800 °C civarı sıcaklıkta 4 saat tavlarken, çok yavaş şekilde fırında soğutmak gerekir. Karbon miktarı arttıkça çatlama eğilimleri de artmaktadır. Bu sebeple yüksek karbon içeren martenzitik çelikler kaynaklı birleştirmeden uzak tutulmalıdır (Kaluç ve Taban, 2007).

2.2.4.2. Ferritik kromlu paslanmaz çelikler ve kaynağı

İlk geliştirilen paslanmaz çelik türü olması nedeniyle, çok yaygın kullanım alanına sahiptirler. Düşük karbonlu olup %14 ile %30 oranında Cr içerirler. Cr miktarının artması ile korozyon dayanımı artmaktadır. Korozyon dayanımları martenzitik yapıdaki paslanmaz çeliklerden iyidir. Manyetik özellik gösterirler. Pahalı bir ürün olan nikel içermemeleri nedeniyle ekonomiktirler ve bu sebeple cihaz yapımı, otomotiv endüstrisi, ev aletleri, gıda endüstrisi, iç-dış mimari gibi alanlarda çok tercih edilirler (Altuntaş, 2015; Kaluç ve Taban, 2007).

Isıl işlem uygulayarak içyapı ve mekanik özellikleri değiştirilemez fakat korozyon davranışı değiştirilebilir. Östenitik paslanmaz çeliklere oranla kükürtlü gazlara karşı daha dirençlidirler. Tokluk değerleri düşük olduğundan ve gevrekleşme eğilimi gösterdiklerinden kaynaklı birleştirmede ve kalın kesitli makine parçalarının

kullanımında sınırlı olarak tercih edilirler. Karbon kuvvetli bir östenit yapıcı, krom ise ferrit yapıcı etkiye sahiptir. Karbon miktarı sınır değeri aştığında ferritik yapı yerine perlitik veya martenzitik yapı oluşur. Bu durumda ferritik yapı isteniyorsa krom miktarı da artırılmalıdır (Koca, 2010).

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağı martenzitik paslanmaz çeliklere göre daha iyidir. Başlangıç tokluğunu artırmak için 150 °C ile 200 °C arası sıcaklıklarda ön tavlama ve kaynak sonrasında ise 700 °C ile 800 °C arası kaynak sonrası tavı önerilir. Kaynak ısı girdisi ne kadar düşük tutulursa tane irileşmesi ve karbür çökmesi o kadar az görülür. Kaynaktan sonraki soğuma esnasında kaynak dikişinin çatlama eğilimini azaltmak için, tokluk değeri yüksek olan östenitik türden ilave malzeme kullanılabilir. Bu gibi ana malzemeden farklı ilave metal kullanılan durumlarda, kaynak sonrasında uygulanacak ısı işlemlerde metallerin farklı özelliklerde olmasından dolayı çok dikkat göstermek gerekir (Bargel ve Schulze, 1995).

2.2.4.3. Östenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler ve kaynağı

En iyi korozyon direncine sahip paslanmaz çelik türüdür. Kimyasal bileşiminde nikel bulunmasından dolayı östenitiktirler. Genelde %16-24 oranında krom ve %8-14 oranında nikel içerirler. Manyetik değildirler. İyapıları dönüşüm göstermediği için normalleştirme ve sertleştirme ısı işlemleri uygulanmaz. Sünek bir yapıya sahip olduğundan ferritik paslanmaz çeliklerdeki gibi geçiş sıcaklığı altındaki gevrekleşme olayı bu tür çeliklerde görülmez. Üstün mekanik özelliklere sahip olması, sıfır altı sıcaklıklarda (-270 °C'ye kadar) ve yüksek sıcaklıklardaki korozyon dirençleri bu metalin rakipsiz yapı çeliği olmasını sağlamaktadır. Bu sebeple kreyojenik tankların imalatında tercih edilirler. Kreyojenik tanklar çok düşük sıcaklıklardaki maddeleri depolamak veya taşımak için kullanılan tanklardır. Kreyojenik sıcaklıklar -150 °C ile mutlak sıfır (-273 °C) arasındaki sıcaklıklar olarak tanımlanır (Aygün, 2009).

Korozyonu önlemek amacıyla bileşime katılan nikel, ferrit yapıcı olduğundan; yapıyı östenit hale getirmek için, bileşime östenit yapıcı elementler katılır. Karbon kuvvetli

östenit yapıcıdır. İlk etapta karbon miktarının artırılması düşünülebilir fakat krom karbür meydana getirip korozyon dayanımını düşürdüğü için önerilmez.

Östenitik çeliklerin kaynağında krom karbür çökmesi çok büyük bir sorundur. Ergimiş kaynak metali katılaştırken karbonlar kromlarla birleşerek tane sınırlarında krom karbür meydana getirirler. Bu karbürler de taneler arası korozyona sebebiyet verirler. Taneler arası korozyonu önlemek için çeşitli önlemler alınabilir. Çeliğe, karbona ilgileri kromunkinden fazla elementler olan stabilizörler katılabilir. Bileşiminde uygun miktarda titan, tantal veya niyobyum içeren çelikler stabilize edilmiş çelikler olarak nitelendirilir. Düşük karbonlu çeliklerin kullanılması tercih edilebilir. Çözme tavlı olarak bilinen 1050 °C ile 1150 °C sıcaklıkları arasında yapılan tavlama, stabilize edilmemiş çeliklerde meydana gelmiş karbürleri çözüdürür (Altuntaş, 2015).

Östenitik paslanmaz çeliklerin yapısı yüzey merkezli kübik kafese sahip olup, süneklik ve tokluk değerleri çok iyidir. Kaynak sonrası ısıdan etkilenen bölgede sertleşme göstermedikleri için kaynağa çok elverişlidirler. Dikkat edilecek bir husus da bu tür çeliklerde kaynak sonrası meydana gelecek çarpılma tehlikesidir. Çünkü bu tür çeliklerin ısı iletim katsayısı küçük fakat ısıl genleşme katsayıları çok büyüktür (Bargel ve Schulze, 1995).

2.2.4.4. Çökeltme sertleşmeli (yaşlandırmalı) paslanmaz çelikler ve kaynağı

Bu tür çelikler 1940 yılı civarında 2. Dünya Savaşı sırasında geliştirilmiştir. Manyetikdirler. İyapıları östenitik, yarı östenitik veya martenzitik olabilir. Alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama yapılarak çökelti oluşumu sağlanır. Bu alaşım elemanlarının ilavesiyle çelikler daha sert hale gelmektedir. Çekme dayanımları yüksek olup 1700 MPa'ya kadar çıkabilir. Süneklikleri düşüktür ve ortam sıcaklığında korozyon dirençleri yüksektir. Bu durum yüksek miktardaki alaşım elementleri ve en çok %0,04 karbon bulunmasından dolayıdır, ancak bunun sonucu aşınma dayanımında düşüş gözlenir (Koca, 2010; Altuntaş, 2015).

Piyasada çözme tavı görmüş biçimde satılırlar. Bu sayede yumuşak olup imalata uygundur. Daha sonra tek kademeli bir düşük sıcaklık yaşlandırması ile sertleştirilebilir. Büyük kuvvetlere dayanması gereken kalın parçalar aşırı yaşlandırma sıcaklığında kaynak edilebilirler. Ardından da ısı işlem uygulanmalıdır. Yaygın olarak kullanılan türü 630 kalite olan grup olup uçak, uzay ve yüksek teknoloji alanlarında kullanılır (Odabaş, 2007).

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler yapısında üç ana sınıfı (östenitik, yarı östenitik veya martenzitik) da barındırdığından kaynak yöntemi de ilgili sınıfa göre değişir. Sıcak çatlama riski barındırdığından en zor kaynak edilen sınıfı östenitik yapıda olanlardır. Kaynak işleminde çözme tavı uygulanmış çelikler tercih edilmeli ve en düşük ısı girdisi ile kaynak işlemi gerçekleştirilmelidir. Yarı östenitik sınıfta olanların kaynak edilebilirliği iyidir. Ön tav ve son tav işlemine ihtiyaç yoktur. Kaynaktan meydana gelen ısı östenitik yapı oluşumunu sağlar. Kaynağa yakın bölgelerde de tavllanmış şartlarda eriyik oluşur. Bu sebeple fazladan tav işlemine ihtiyaç duymazlar. Martenzitik sınıfta olan çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti ise mükemmeldir. Sıcak çatlama riski genelinde yoktur. Bu risk karbon miktarı yüksek olup, alaşım elementlerinin miktarı çok düşük olduğunda dikkate alınmalıdır (Altuntaş, 2015).

2.2.4.5.Çift fazlı (Dubleks) paslanmaz çelikler ve kaynağı

Çift fazlı paslanmaz çelikler mikro yapılarında birbirine yakın oranlarda östenit ve ferrit barındıran çift fazlı paslanmaz çeliklerdir. Çok gelişmiş bir yapıya sahip olup östenitik paslanmaz çeliklere göre iki kat daha yüksek akma mukavemetine ve çok daha iyi korozyon direncine sahiptirler. %18 krom ve %5-7 oranında nikel içermelerinden ve üstün özelliklerinden dolayı nikel kıtlığı çekilen 1933 yılında ilk tür Fransa'da yanlış alaşımlama sonucu tesadüfen ortaya çıkmıştır. Bilimsel çalışmalar sonucu geliştirilerek ticari olarak 1970 yılında pazara sunulmuştur.

Östenitik ve ferritik olmak üzere her iki fazı da içerdiğinden, iki türün de iyi özelliklerini bünyesinde barındırmaktadır. İnce taneli olup, ferritik yapı ile mukavemet

ve gerilmeli korozyon çatlamasına direnç, östenitik yapı ile tokluk ve korozyon direnci sağlar. Başlıca kullanım alanları gemi pervaneleri, ısı eşanjörü, jeotermal uygulamalar, petrol, doğalgaz kuyuları, döküm pompa vana gövdeleri, deniz suyu boruları ve bağlantı elamanlarıdır (Gözütok, 2009).

Östenitik paslanmaz çelik olan AISI 304'ün oda sıcaklığında akma mukavemeti 240 MPa olmasına karşın aynı türden olan AISI 329 paslanmaz çeliğinin akma mukavemeti 435 MPa'dır. İçerdiği ferrit miktarının artmasıyla mukavemet de yükselmektedir. Bu artış %70-80 ferrit oranına kadar devam edip sonra düşmektedir. Östenit şiddetli şekil değiştirme sertleşmesi eğilimi göstermektedir. Bu da akma mukavemetinin ferrite göre düşük, fakat çekme mukavemetinin yüksek olmasına sebep olmaktadır (Kaluç ve Taban, 2007).

Dubleks kaynak metallere katılması sırasında başlangıçta ferritik yapı oluşur, daha sonra soğuma esnasında ferritik tane sınırlarında östenitik çekirdekler meydana gelir. Östenit fazının oluşumu kaynak soğuma hızı ile ters orantılıdır. Isıdan etkilenen bölgede ferrit miktarının artması beklenmelidir. Kaynak işlemi düşük ısı girdisi ile yapılmalı ve soğuma hızı düşük tutulmalıdır (Altuntaş, 2015; Kaluç ve Taban, 2007).

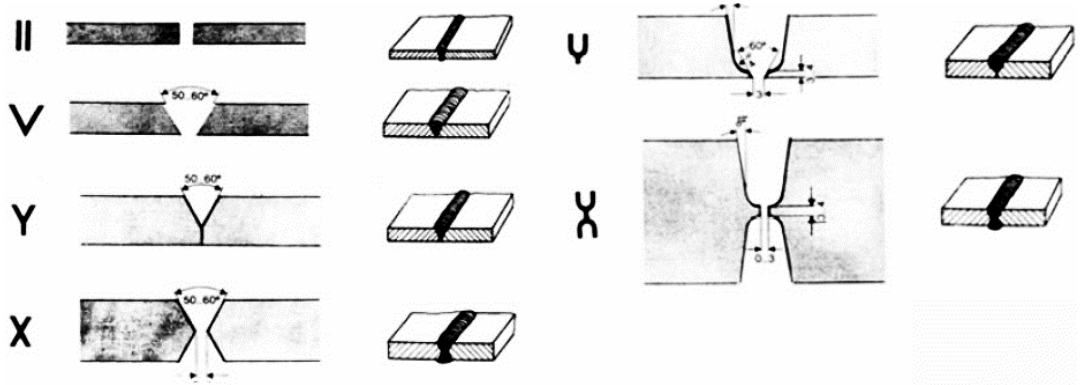
Kalın malzemelerde ısı girdisi ve soğuma hızı yüksek olduğundan pasolar arası sıcaklıklara dikkat etmek gerekir. Dupleks çeliklerin yüksek alaşım oranlarında kaynak soğuma hızı çok yavaşsa, metallere arası gevrek fazlar oluşur. Bu oluşumlar kaynak metalinde ve ısıdan etkilenen bölgede tokluğun ve korozyon direncinin düşmesine neden olur. Soğuma hızının yüksek olduğu durumlarda ise yüksek ferrit oluşumu, nitrür çökelmeleri ve sonucunda düşük tokluk ve korozyon direnci ile karşılaşılır. Dolayısıyla kontrollü bir ısı girdisi ve soğuma hızı şarttır.

2.2.5. Paslanmaz çeliklerin kaynağında ağız tasarımları

Tam nüfuziyet gerçekleştirerek kaynak yapmak için, kaynakçının 2 seçeneği vardır. Numuneyi her iki taraftan da hazırlayabilir ve kaynaklayabilir veya tek taraflı kaynak

yapmaya çalışabilir. Tek taraflı kaynaklar zaman kazandırdıklarından tercih edilir, ancak yanında bazı sorunları beraberinde getirir. Bu sorunları aşmak zordur.

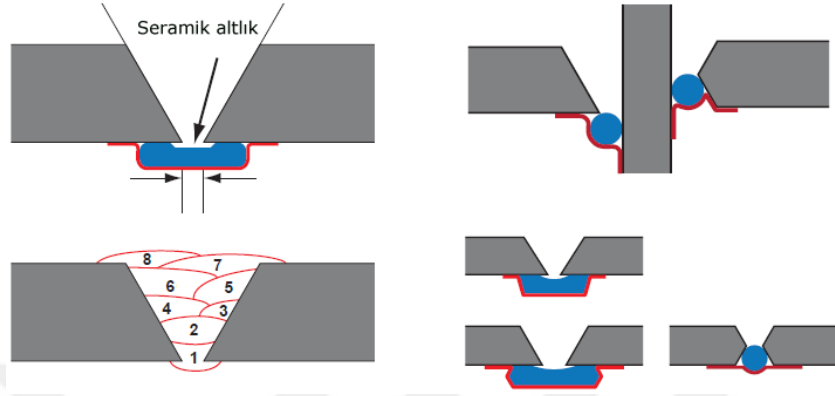
3 mm kalınlığa kadar olan çeliklerde kaynak ağzı açmadan kaynak yapmak mümkündür. Tek taraftan kaynak yapılması gerekiyorsa seramik ya da bakır altlık kullanılmalıdır. Kaynak akım değeri, kaynak yapılacak metalleri tamamen eritebilmesi için kalınlık arttıkça artmak zorundadır. Fakat bazen yüksek akım sonucu istenen kaynak kalitesi elde edilemez ve yüksek ısı girdisi nedeniyle malzemede çarpılmaya neden olur. Bu sebeple kaynak ağzı tasarıma ilave edilir ve tasarlarken en az kaynak metali ve ısı girdisi ile kaynağı tamamlamak esastır. Malzemenin sadece bir tarafından kaynak yapmak gerekiyorsa “Y”, “V” ya da “U” şeklinde hazırlanan kaynak ağzları tercih edilir ve altlık kullanılmalıdır. Malzeme kalın ise en az kaynak dolgusu için “U” ağız kullanılabilir. Çift taraflı kaynak yapılabilir ya da malzemeye hem ön tarafından hem de arka tarafından kaynak yapılabilir, aynı şekilde çift taraflı “V” ve çift taraflı “U” kaynak ağzı kullanılabilir. Piyasada, kalın metallerin kaynağında “U” kaynak ağzı açmak işçilik açısından maliyetli olduğu için genelde “V” kaynak ağzı tercih edilmektedir.



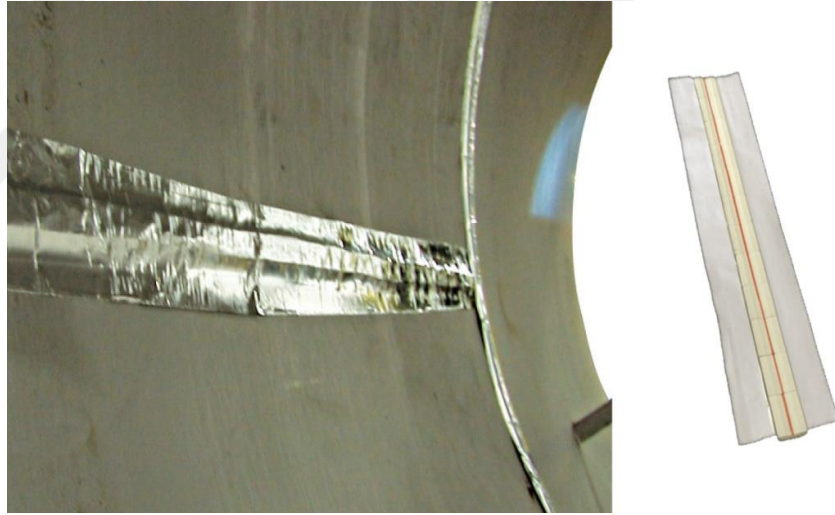
Şekil 2.11. Kaynak ağız şekilleri

Tek taraflı kaynak elde etmenin bir yolu, erimiş kök geçişi için gerekli desteği sağlayan ve sadece bir taraftan kaynak yapılmasına izin verip kaynak süresinden tasarruf sağlayan, altlık adı verilen kaynak destek sistemi kullanmaktır. Altlık kullanımı aynı zamanda kaynak torcunun karşı tarafındaki atıl gazı hapsetmeye de yardımcı olur. Bu gazın varlığı, yan duvar ergimesini sağlamak için kaynak hatalarının varlığını

azaltarak, en uygun kaynak havuzunu oluşturmaya yardımcı olur. Başlıca altlıklar bakır altlık, seramik altlık, toz altlık ve sac şerit altlık olarak sayılabilir.



Şekil 2.12. Seramik altlık uygulamaları



Resim 2.1. Seramik altlık ve kullanımı

Kullanılan altlığın kaynak yapılacak parçalarla gayet iyi bir temas sağlaması gerekir. Aksi takdirde altlık ile ana malzeme arasında kaynak metali girer ve bu metal alt yüzeye nüfuziyet sağlayamayacağından dolayı, soğuk yapışmaya neden olarak kaynak kalitesini olumsuz etkiler. Basıncılı kap, kazan ve tank imalatında dairesel parçalara kaynak yapıldığından, çok parçalı seramik altlıklar tercih edilmektedir. Seramik altlıklar kendinden yapışkanlı folyo ile kullanılır. Bu sayede altlığın malzeme yüzeyine bastırılması için fazladan kuvvete gerek yoktur. Çok parçalı olması sebebiyle dairesel yapışma sağlayabilmektedir.

2.2.6. Paslanmaz çeliklerin kaynağında dolgu metali seçimi

Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan dolgu metalleri örtülü elektrotlar, dolu teller ve özlü teller olarak üç ana başlıkta sayılabilir. Dolgu metali üretimi maliyetli olduğundan dünyada sayılı üreticiler tarafından üretilirler. Bunun nedeni, çelik üretimi yüksek ısı gerektirdiğinden, çok miktarda üretiliyorsa tasarruflu olmasıdır. Fakat kaynak metali fabrikalarında çelik üretim miktarı düşüktür.

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan dolgu metali ya ana malzeme ile aynı özellikte ya da ondan daha üstün özellikte olmalıdır. Üstün özellikten kasıt daha yüksek alaşımlı olmasıdır. Örnek olarak 301, 302, 304 ve 305 türü metallerin kaynağında 308 kullanılabilir; 201, 202, 205 ve 216 türü metallerin kaynağında ise 240 türü dolgu malzemesi kullanılabilir. 240 türü bulunamadığı durumlarda 200'lü metallerde de 308 türü dolgu malzemesi yine aynı şekilde tercih edilebilir. Fakat 316L gibi modifiye edilmiş ana metaller, E316L, ER316L veya E316LT-X gibi aynı modifikasyona sahip dolgu malzemeleri ile kaynak edilmelidir (Eryürek, 2003).

2.3. Literatür Özeti

Literatürde paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti üzerine çok sayıda deneysel çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmında farklı kaynak türleri ve farklı çelikler ile kaynak denemeleri yapılmış, sonuçların mikro yapısı detaylı bir şekilde incelenerek oluşan farklı içyapılar yorumlanmıştır. Bir kısmında, yeni geliştirilen paslanmaz çeliklerde, çok farklı parametrelerde kaynak işlemi gerçekleştirilerek, çekme deneyi sonuçları farklı analiz metotları ile incelenerek en iyi parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. Bazı araştırmacılar ise çoklu pasolar deneyerek kalın numuneler üzerine çalışmışlardır.

Kotecki ve Siewert daha önceki yıllarda kabul görmüş Ni ve Cu eşdeğerine göre FN değerinin ve çeliğin içyapısındaki fazların tespit edilebildiği WRC-1988 diyagramındaki eksiklikleri giderme üzerine bir çalışma yapmışlardır. Özellikle yüksek bakır içeren kaynaklarda yapılan çalışmalarla yeni Ni eşdeğeri hesaplayarak

diyagramda daha doğru sonuçlar elde ederek yeni diyagram WRC-1992'yi yayınlamışlardır. Bu yeni diyagram düşük bakır içerikli kaynaklarda yaklaşık eski diyagramla aynı özellikler göstermektedir (Kotecki ve Siewert, 1992).

Biswas ve arkadaşları iki farklı tür olan paslanmaz ve karbon çeliğinin gazaltı kaynağının zorluğuna değinerek deneysel bir çalışma yapmışlardır. 3 mm kalınlığındaki AISI 304 paslanmaz çeliği ile 45C8 orta karbon çeliğinin kaynağından elde ettikleri parçaları sertlik ölçümü, çekme deneyi, görsel muayene ve mikro yapı incelemesine tabi tutarak elde ettikleri verileri Taguchi Metodu ile analiz etmişlerdir (Biswas ve ark., 2017).

Ghosh ve arkadaşları, AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğinin gazaltı kaynağında koruyucu gaz akış debisi, torcun malzemeye yakınlığı, akım ve voltaj gibi parametreleri değıştirip yaptıkları alın kaynak numunelerini, görsel test, röntgen testi ve çekme deneyine tabi tutmuşlardır. Sonuçları Taguchi Metodu ile analiz etmişlerdir (Ghosh ve ark., 2016).

Mukherjee ve Pal yeni geliştirilen Fe-16Cr-1Ni-9Mn-0.12N östenitik paslanmaz çeliğine en uygun kaynak parametrelerini belirlemek amacıyla, 4 mm kalınlıktaki saca ait, en uygun dolgu malzemesini de belirlemek için değışik parametrelerle birlikte AISI 304L, AISI 308L, AISI 316L kaynak tellerini kullanmışlardır. Kaynak makinesinden sprej ve puls sprej metal transfer ayarlarını da deneyerek çeşitli numuneler elde etmişlerdir. Numunelere çekme testi, mikroskobik inceleme ve çentik darbe testi uygulamışlardır. Osiloskoptan voltaj ve akım değerlerinin grafiklerini okuyarak bu grafiklerdeki farkları da yorumlamışlardır (Mukherjee ve Pal, 2017).

Benyounis ve Olabi kaynak girdi parametreleri ile bir kaynak kalitesini belirlemek amacıyla kapsamlı bir literatür taraması yapmışlardır. Deney tasarım uygulaması, evrimsel algoritmalar ve hesaplama gibi yöntemleri tanıtmışlardır (Benyounis ve Olabi, 2008).

Zhang ve arkadaşları MIG-TIG kaynak yöntemlerinin kullanıldığı, çift taraflı kaynak yapıldığı alüminyum ve paslanmaz çelik olan iki farklı metalin alın kaynağını

incelemişlerdir. Bu çalışmada bir taraftan MIG kaynağı ile malzeme kaynatılırken diğer taraftan da aynı anda TIG kaynağı ile kaynatılmıştır. Sonuç olarak çekme mukavemet değeri ve parametreler üzerinde yorumlarda bulunmuşlardır (Zhang ve ark., 2016).

Verma ve Taiwade, 1930 yıllarında keşfedilen fakat son yıllarda kullanıma uygun şekilde geliştirilmiş bir tür olan dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağı üzerine bir araştırma yapmıştır. Ana metalin mikroyapısındaki ferrit-östenit dengesini yüksek çözünürlüklü SEM (Scanning Electron Microscope) ve TEM'de (Transmission Electron Microscope) görüntüleri incelemişlerdir. Nikelin pahalı olması nedeniyle, yüksek korozyon dirençli ve yüksek çekme mukavemetli düşük nikel alaşımli olan dubleks çelikler elde etmenin günümüzde mümkün olduğuna değinmişlerdir. Uygun kaynak metali ve mikroyapı elde etmek için Shaeffler, Delong ve WRC-1992 diyagramlarında dubleks çeliğinin konumunu göstermişlerdir. MIG, TIG, FCAW, plazma ve lazer kaynak türleri de dâhil olmak üzere farklı kaynak telleri kullanılarak yapılan kaynakların mikroyapılarını yorumlamışlardır (Verma ve Taiwade, 2017).

Okayasu ve arkadaşları Japon standardında SPCC çeliği olarak geçen haddelenmiş düşük karbonlu çelik üzerinde MIG kaynağı ile birleştirme gerçekleştirip, kaynak ve ITAB'da (Isı Tesiri Altındaki Bölge) mekanik özelliklerden sertlik ölçümü yapmışlardır. Mikroyapıları ise SEM ve EBSD (Electron Back Scatter Diffraction) analizi ile inceleyip yorumlamışlardır (Okayasu ve ark., 2013).

Adamczuk ve arkadaşları 16 mm ve 19 mm kalınlığındaki ASTM A36 yapı çeliklerinin alın kaynağındaki çoklu paso tekniği ile yapılan kaynaklar sonrası açısız çarpılmaları ölçmüşlerdir. "V" kaynak ağızı kullanarak çeliğe 0,6 kJ/mm ile 2,5 kJ/mm arasında ısı girdisi sağlayarak, sonuçları üç analitik model üzerinde irdeleyerek, birbiri arasındaki bağlantıyı saptamaya çalışmışlardır (Adamczuk ve ark., 2017).

Bu çalışmada diğer çalışmalara kıyasla daha fazla mekanik ve görsel özellikler içeren testler üzerinde durulmuştur. Kısa kaynaklı ufak boyutlu numuneler yerine büyük boyutlu plakalarda uzun kaynaklar tercih edilmiştir. Bu sayede kaynak makinesinin

kaynak esnasında kararlı hale geçmesi sağlanmıştır. Yapılan testlerden önce kaynak kalınlığı freze ve zımpara işlemlerine tabi tutularak malzeme kalınlığına indirilmiştir. Bu sayede çekme testinde ana metalin mukavemeti ile daha doğru kıyaslama yapmak mümkün olmaktadır. Aynı plakadan alınan numuneler üzerinde farklı testler yapılarak sonuçlar irdelenmiştir. Kaynak türü olarak basınçlı kapların alın kaynağında geçmiş yıllarda ülkemizde pek başarı sağlanamayan MIG/MAG kaynağı ve malzeme olarak eski bir tür olan ve piyasada en çok kullanılan AISI 304L çeliği tercih edilmiştir. Kullanılan kaynak teli olarak da özlü tel ve masif tel kullanılarak, tele uygun gaz kullanılarak, her iki çeşidin seramik altlığı doldurabilme kabiliyeti gibi birbirine karşı üstünlükleri kıyaslanmıştır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Kaynak metali

Mekanik özelliklerinin üstünlüğünden dolayı deneysel çalışmalarda malzeme olarak 1.4307/1.4301 (EN 10028-7-2016) TYPE 304L/304 (ASTM A 240-2017) kullanılmıştır. Kaynak yöntemi olarak gazaltı kaynak yöntemi seçilmiştir. TIG kaynağının kaynak kalitesi mükemmel düzeydedir. Yavaş bir kaynak olması nedeni ile basınçlı kapların alın kaynağında zaman kaybına neden olmaktadır. Kalın sacların kaynağında zaten tozaltı kaynak yöntemi iyi sonuçlar vermektedir. 2 ile 5 mm arasındaki kalınlığa sahip paslanmaz metaller, tozaltı kaynağı ile kaynatılamayacağı için, hızlı ve tek seferde kaynak edilmesi amacıyla gazaltı kaynağı ile seramik altlık kullanılarak kaynatılarak sonuçlar irdelenmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan AISI 304L sacın kimyasal analiz sonuçları

		KİMYASAL ANALİZ									
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Ti	N	S	P
Standart	%min.	0,030	0,75	2,00	8,00	17,50			0,100	0,015	0,045
	%maks.				10,50	19,50					
Analiz Sonucu		0,023	0,42	1,45	8,06	18,16			0,070	0,002	0,031

Çizelge 3.2. Kullanılan AISI 304L sacın mekanik özellikleri

Oda Sıcaklığı	Akma dayanımı [MPa]		Çekme dayanımı [MPa]	Kopma uzaması [%]	
	Rp0,2%	Rp1%	Rm	A5	50 mm
Standart	230	260	540-700	45	45
Ölçülen	319	352	637	53	52

Birbirine kaynatılacak paslanmaz çelik malzemeler sac levha halinde 400x150 mm ölçülerinde 3,2 mm kalınlıkta tabakadan giyotin makas kullanılarak kesilmiştir.

3.1.2. Dolgu malzemesi

Kaynak dolgu malzemesi olarak, ESAB marka 1,2 mm kalınlığında özlü tel ER308LT1-1/ER308LT1-4 (SFA/AWS A5.22) ve yine ESAB marka 1 mm kalınlığında masif tel ER308LSi (SFA/AWS A5.9) olmak üzere iki farklı ilave tel kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Kullanılan kaynak dolgu tellerinin kimyasal analiz sonuçları

Malzeme [%]	KİMYASAL ANALİZ										
	C	Cr	Mn	Si	Ni	Mo	Nb	P	S	Co	N
E308LT1-1 E308LT1-4	0,030	19,40	1,450	0,750	9,80	-	-	0,021	0,006	-	-
ER308LSi	0,020	19,70	1,900	0,790	9,50	0,20	-	0,020	0,010	0,13	0,07

Çizelge 3.4. Kullanılan kaynak dolgu tellerinin mekanik özellikleri

EN 10204 - 2.2	Rp0,2 [MPa]	Rm [MPa]	Uzama [%] A4-A5	-29°C Çentik darbe dayanımı [J]	-60°C Çentik darbe dayanımı [J]	-196°C Çentik darbe dayanımı [J]
Özlü Tel	372	568	61	60	-	30
Masif Tel	450	620	36	-	85	-

3.2. Kaynak Uygulaması

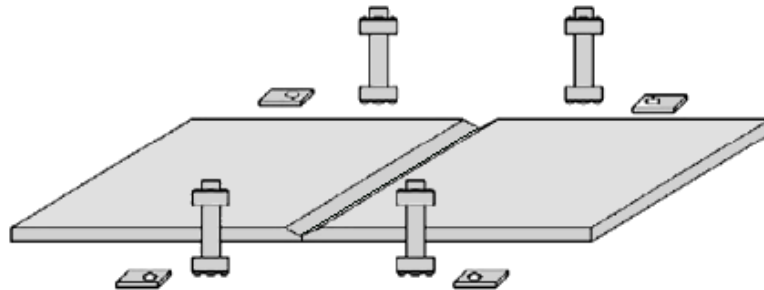
MIG/MAG kaynak uygulamasında, ESAB marka Feed 3004 tipinde dijital kaynak makinesi kullanılmıştır. Bu kaynak makineleri, mikro işlemci kumandalı ve dijital ayarlı güç kaynaklarına sahiptirler. Kaynak gerilimi, ilk gaz, son gaz, başlama türü ve tel besleme hızı makine üzerinden kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Bu ayarlamalar dijital göstergeler ile hassas olarak yapılabilmektedir. Cihazın verebileceği kaynak akımı DC’de 3 ile 600 A aralığındadır. Çalışma gerilimleri ise 42 V ve tel besleme hızı 0,8-25 m/dk arasındadır. Makine üzerinden yapılan voltaj ve tel besleme hızı, kaynak başladıktan sonra cihaz tarafından otomatik olarak akımın belirlenmesini sağlamaktadır. Cihaz kaynak esnasında, kaynak banyosunun daha düzgün oluşması için bu değerleri otomatik olarak değiştirebilmektedir. Kaynağa başlamadan ayarlanan değerler değil, kaynak başladıktan sonraki değerler esas alınmıştır. Kaynağa

başladıktan sonra kaynak makinesinin optimizasyonunun yeterli gelmediği durumlarda, manuel olarak el ile ayarlamalar iyileştirilmiş ve parametreler anlık olarak ekrandan okunarak kayıt altına alınmıştır. Yani her girilen değerle o kaynağı bitirme olasılığı azdır. Bu çalışmada her parametrenin etkisini görebilmek adına, mümkün olduğunca düşük ve yüksek akımlarda kaynak yapmaya çalışılmıştır.



Resim 3.1. Kullanılan kaynak makinesi ve hareketli mekanizma

Kaynaktan sonra malzemenin çekme nedeniyle çarpılmaması için Şekil 3.1'deki sabitleme aparatı kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Deney plakasının sabitlenmesi

Kullanılan seramik altlıklar kendinden alüminyum yapışkanlı folyolu ve dairesel boşlukludur. Torç ile ana malzeme arasındaki açı 90° 'dir. Gazaltı makinesi torcu yine ESAB marka tozaltı makinesinin hareketli robotik koluna bağlanmıştır. Dijital ekrandan ilerleme hızı hassas olarak ayarlanabilmektedir.



Resim 3.2. Seramik altlık yapıştırılması ve plaka arkası görünüm



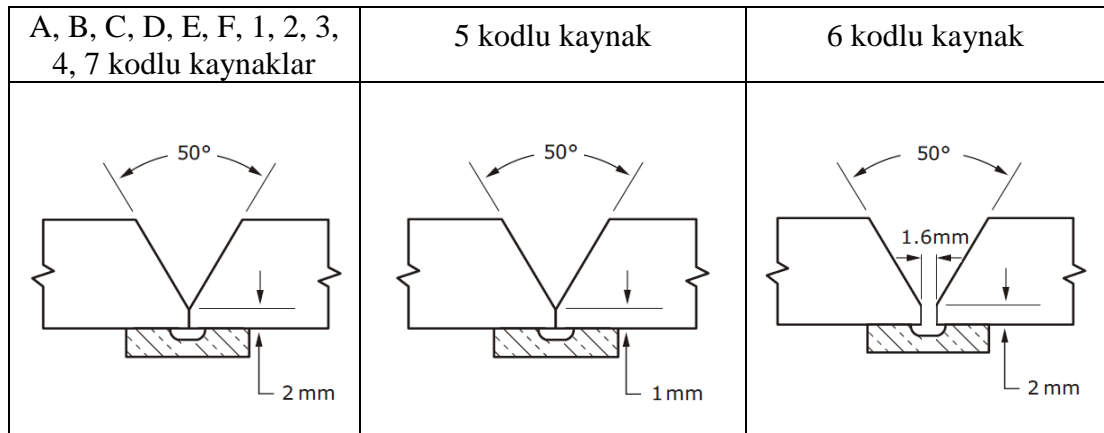
Resim 3.3. Seramik altlık kesit görünüm

Farklı kaynak parametreleri ile 13 adet test plakası kaynak yapılmıştır. Bunlardan ilk 7 numune masif tel, diğer 6 numune özlü tel kullanılarak yapılmıştır. Bazı kaynaklar uygulama esnasında kararlı bir kaynak sesine ve görüntüsüne erişememişlerdir. Kalite olarak standart seviyenin çok altında olan numuneler harf ile kodlanmıştır, diğerleri rakam ile kodlanmıştır. Deneyler esnasında kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 3.5'te verilmiştir. Tüm kaynaklarda serbest tel uzunluğu 8 mm'dir. Masif tel kaynağında argonca zengin (%86) karışım olan M24 gazı, özlü tel kaynağında ise CO_2

içeren C1 gazı tercih edilmiştir. EN ISO 14175 standardında gazlar sınıflandırılmış olup kısa kodlar ile gösterilmektedir. %100 CO₂ gazı C1 olarak geçmektedir. Kaynaklar bittikten sonra plakalar kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır.

Çizelge 3.5. Kullanılan kaynak parametreleri

Numune Kodu	Tel Çapı [mm]	Akım [Amper]	Gerilim [Volt]	İlave Tel Türü	Koruyucu Gaz	İlerleme Hızı [cm/dk]	Darbe Tipi	Tel hızı [m/dk]
A	1	80-95	19	ER308LSi	M24	25	Super	4-5
B	1	90-100	20-26	ER308LSi	M24	25	Super	4-6
1	1	100-123	20-22	ER308LSi	M24	25	Super	8
2	1	107-109	20,5	ER308LSi	M24	25	Super	5,5
3	1	105-115	20-22	ER308LSi	M24	25	Super	5,5
4	1	122-125	21	ER308LSi	M24	25	Normal	7
C	1	150-170	25-36	ER308LSi	M24	25	Super	10-12
D	1,2	96-103	26-27	ER308LT1-1/4	C1	25	--	5
5	1,2	125-156	21-25	ER308LT1-1/4	C1	25	--	6,5-8
6	1,2	145-160	23-24	ER308LT1-1/4	C1	25	--	7,5
7	1,2	165-175	26-27	ER308LT1-1/4	C1	25	--	9
E	1,2	152-160	36-37	ER308LT1-1/4	C1	25	--	10
F	1,2	165-170	39-40	ER308LT1-1/4	C1	25	--	11,5



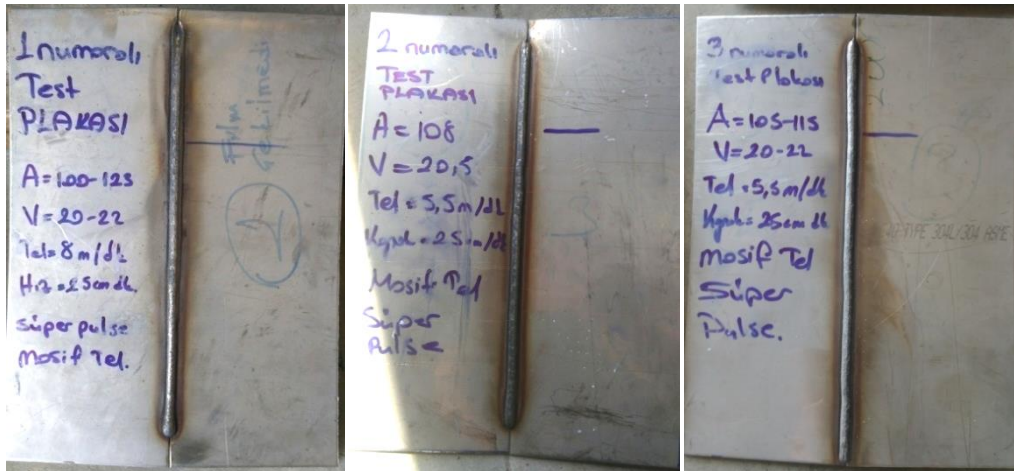
Şekil 3.2. Kullanılan kaynak ağzı tasarımları



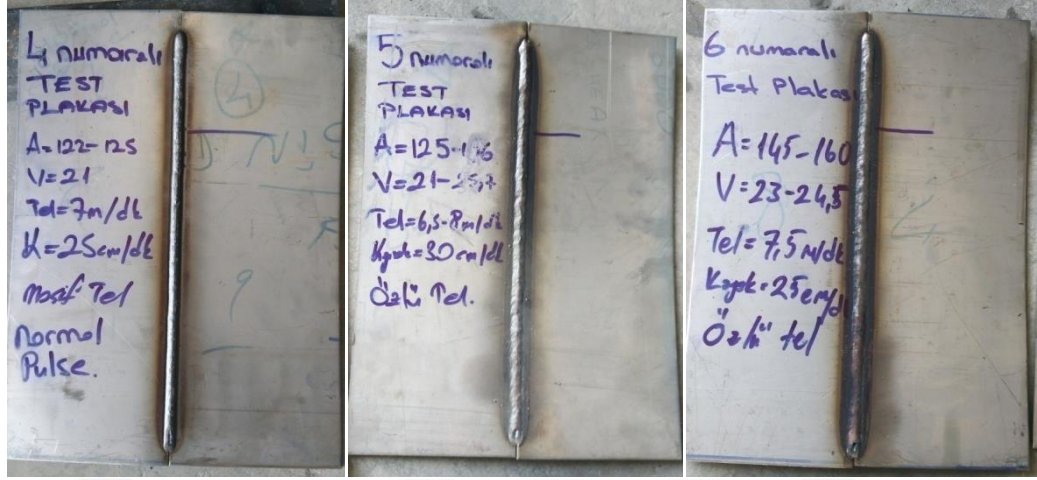
Resim 3.4. A, B ve C kodlu test plakaları



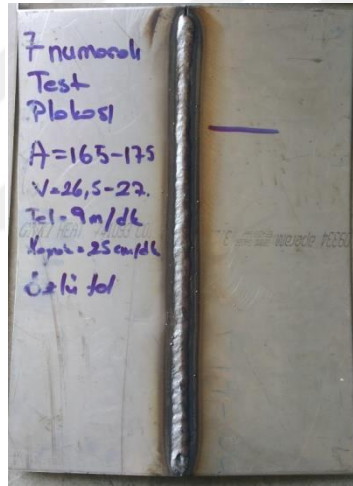
Resim 3.5. D, E ve F kodlu test plakaları



Resim 3.6. 1, 2 ve 3 numaralı test plakaları



Resim 3.7. 4, 5 ve 6 numaralı test plakaları



Resim 3.8. 7 numaralı test plakası

3.3. Deneysel Çalışmalar

Her yeni imalatta, araştırma yapılarak ilgili kaynak ve standartlara başvurulmalıdır. Bu çalışmada kaynak kalitesini ölçebilmek ve kıyaslayabilmek için örnek imalat yöntem standardı olarak seçilen TS EN 13530-2 standardı taşınabilir kreyojenik tankların tasarım, imalat, muayene ve deneylerini kapsamaktadır. Standardın imalat kaynak kalitelerini belirlemek için koyduğu test gereksinimleri gözle muayene, radyografik muayene, çekme deneyi, eğme deneyi ve makro deneydir (Anonim, 2004).

Kaynak tek paso olduğundan, makro deneye, iki ya da daha çok pasolu kaynaklarda pasolar arası nüfuziyeti gösterdiği için gerek görülmemiştir.

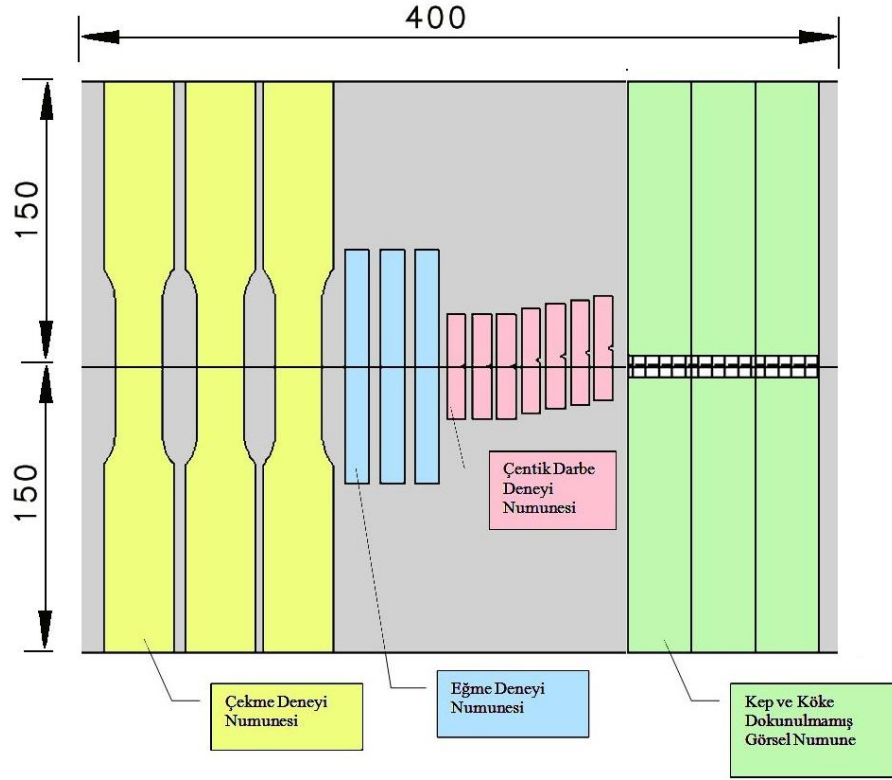
3.3.1. Deney numunelerinin hazırlanması

Bu çalışmada mekanik özelliklerin tespit edilmesi amacıyla başlıca önemli deneylerden çekme, eğme ve çentik darbe deneyleri yapılmıştır. Numuneler 400x150x3,2 mm ölçülerindeki plakadan, ısıdan en az etkilenecek şekilde paslanmaz malzemeye en uygun kesme ucu kullanılarak, Trumpf marka CNC lazer tezgâhında kesilmiştir.



Resim 3.9. Numunelerin CNC lazer tezgâhında kesilmesi

Şekil 3.3'te numunelerin yerleşim şekli verilmiştir. Kesilen numunelerde çentik etkisi yaratabilecek herhangi bir olumsuz koşula rastlanmamış olup pürüzsüz kesim elde edilmiştir. Görsel numuneler harici, kaynak kepi ve kökü soğuk işlemeyle malzeme kalınlığına indirilmiştir. Görsel numunelerde kaynak olduğu gibi bırakılmış olup herhangi bir talaş kaldırma veya zımpara işlemi uygulanmamıştır.



Şekil 3.3. Kaynatılan test plakalarındaki numune kesim planı

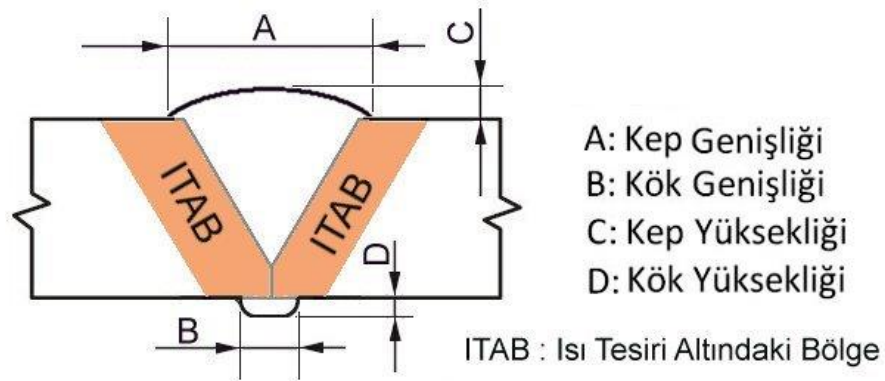


Resim 3.10. Kaynatılan test plakalarındaki numunelerin lazerle kesilmiş hali

3.3.2. Gözle muayene

Gözle muayene, bir ürünün yüzeyindeki süreksizlikler, yapısal bozukluklar, yüzey durumu gibi kaliteyi etkileyen parametrelerin; optik bir yardımcı araç (büyüteç gibi) kullanarak veya kullanmaksızın muayene edilmesidir. Çok basit bir metot olarak görünse de en önemli muayene yöntemidir. Genellikle bir başka tahribatsız muayene metodunun uygulanmasından önce yapılması gereken ana çalışmadır. Zaten diğer tahribatsız muayene yöntemleri için hazırlanmış uygulama standartlarının çoğunda da öncelikle gözle muayene yapılması ve bulguların kaydedilmesi istenir. Gözle muayeneden geçmeyen kaynaklar tamir edilmeden daha üst düzey testlere tabi tutulmaz. Bu kontrol yöntemi, metalik veya metalik olmayan bütün malzemelere uygulanabilir. Çoğu durumda muayene yüzeyi hazırlığı olarak yüzey temizliği yapılması istenmez. Daha doğrusu yüzeyin, beklenen hataların en iyi görüneceği şekilde olması istenir. Yeterli ışık şartları altında ve uygun bakma açılarında inceleme yapılmalıdır.

Kaynak başlangıç esnasında, elektrodun elektrik iletkenliği ve oluşan direnç sayesinde, malzemeye temas ettiği bölgede sağladığı ısı ile ilk eriyen bölgeye kök bölgesi adı verilir. Kaynak esnasında torca en yakın balıksırtı geometrisi istenen dış bölgeye kep bölgesi adı verilir. Gözle muayenede ölçülebilen ve nüfuziyet miktarının kıyaslanmasında etken olan ölçüler Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Gözle muayenede kaynak nüfuziyet ölçümü



Resim 3.11. Kaynak kök ve kep yüksekliğinin kaynak mastarı ile ölçülmesi



Resim 3.12. Kaynak kök ve kep genişliğinin ölçülmesi

Gözle muayene, kaynağın hazırlık aşamasından, kaynağın bitmesinden sonraki tüm aşamaların çıplak gözle belirli bir aydınlatma şiddetinde kontrol edilerek hataların saptanmasını kapsar. Muayene standardı TS EN ISO 17637 olarak belirlenmiştir. Bu standart ergitme kaynaklarının tahribatsız muayenesi ve ergitme kaynaklı birleştirmelerin gözle muayenesini kapsamaktadır. Aydınlatma şiddeti en az 350 lüks

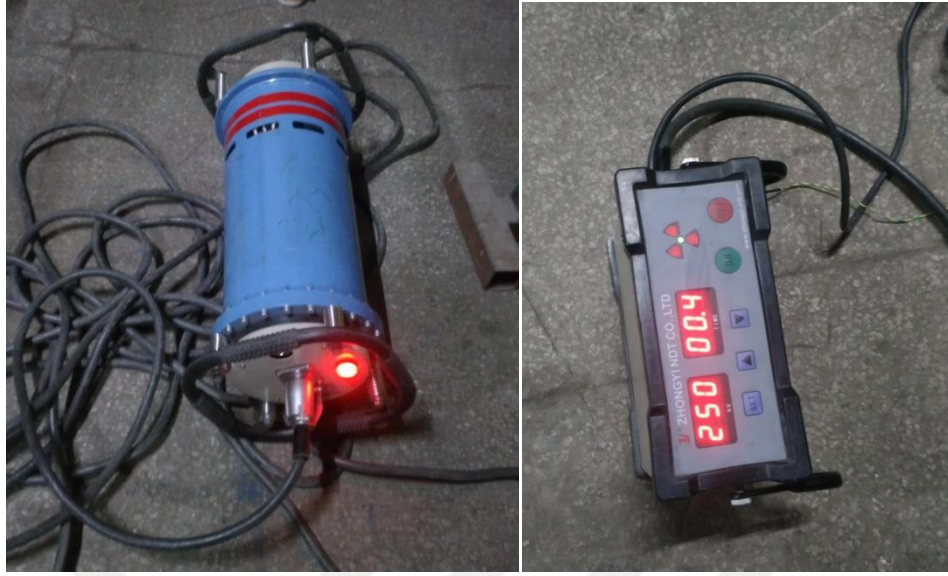
olmalıdır. Kontrollerde lüksmetre ile 460 lüks ölçülmüştür. Doğrudan muayene için, göz muayene edilecek yüzeye 600 mm mesafede ve 30°'den az olmayan bakış eğimi yeterlidir (Anonim, 2017).

TS EN ISO 6520-1 standardında belirtilen alın kaynağındaki yüzeysel kusurlar, kaynaklı malzemeler üzerinde incelenmiştir. Bu standart, ergitme kaynağı ile ilgili işlemlerin, metalik malzemelerde geometrik kusurların sınıflandırılmasını kapsamaktadır (Anonim, 2011).

Bulunan kusurların değerlendirilmesi standardı olarak TS EN ISO 5817 kullanılmıştır. Bu standart; çelik, nikel, titanyum ve bunların alaşımlarında ergitme kaynaklı (demet kaynağı hariç) birleştirmelerde kusurlar için kalite seviyelerini belirlemiştir (Anonim, 2014).

3.3.3. Radyografik muayene

Radyografik muayene yöntemi, oldukça hassas bir muayene yöntemi olması ve muayene sonuçlarının kalıcı olarak kaydedilebilir olmasından dolayı sanayide en yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinden biridir. Test parçası bir kaynaktan çıkan radyasyon demeti (X veya gama ışınları) ile ışınlanır. Radyasyon malzeme içinden geçerken malzemenin özelliğine bağlı olarak belirli oranda yutulur ve kayba uğrar ve sonra parçanın arka yüzeyine yerleştirilmiş olan filme ulaşarak filmi etkiler. Süreksizlikler radyasyonu farklı miktarda zayıflatacaklarından, süreksizliklerin olduğu bölgelerden geçen radyasyonun şiddeti ve film üzerinde oluşturacağı kararma da farklı olacaktır. Filmin banyo işleminden sonra, film üzerindeki kararmalar süreksizliklerin belirtisi olarak görünür hale gelir. Bu sayede kaynak içindeki gözle görülmeyen hava boşlukları, cüruf kalıntısı, eksik nüfuziyet gibi hatalar tespit edilmektedir.

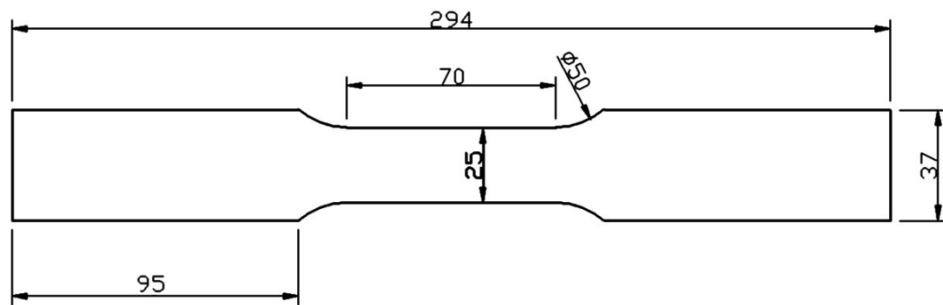


Resim 3.13. Filmlerin çekildiği X-ışını radyografi cihazı

Muayene prosedürü olarak TS EN ISO 17636-1 standardı kullanılmıştır. Bu standart kaynak dikişlerinin tahribatsız muayenelerinden filmlü X ve gama ışını kullanan radyografik muayene tekniklerini kapsamaktadır. Kabul kriterleri için üretim standardı olan (EN 13530) kullanılmıştır (Anonim, 2013).

3.3.4. Çekme deneyi

Çekme deneyi, standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek ekseninde, belirli bir çekme hızında ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standartlara göre hazırlanan çekme numunesine uygulanan kuvvet ya da gerilme ile meydana gelen uzama değerleri kaydedilir.



Şekil 3.5. Çekme deneyi numune örneği

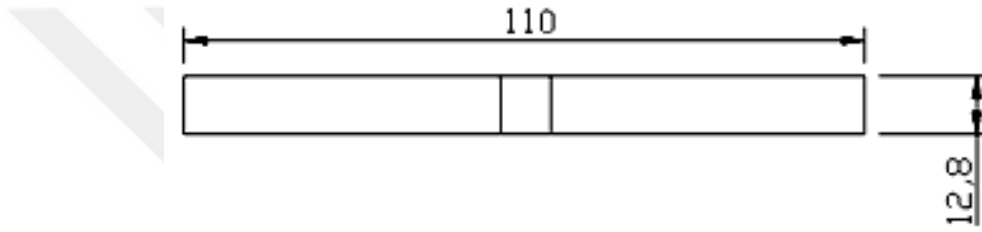
Çekme deneyine tabi tutulacak numuneler, temsil ettiği malzemenin tüm özelliklerini taşımalıdır. Numunenin alındığı bölgenin, alınış ve hazırlanış şeklinin büyük önemi vardır. Bu sebeple çekme deney numuneleri, kaynak dikişine dik yönde boyuna kesit alınmak suretiyle TS EN ISO 4136 standardına uygun biçimde hazırlanmıştır. Tüm numunelerde kaynak bölgesi lazer kesimden önce freze ve zımpara işlemleri ile malzeme kalınlığına indirilmiştir. Bu sayede çekme numunesinin minimum kesit alanının, daraltılmış kısımda hep aynı olması sağlanmıştır. Hasara uğrayacak bu bölgede kesit alanı farklılığı o bölgedeki gerilme değerini değiştirecek ve ölçümlerin hatalı çıkmasına neden olacaktır. Bu standart, metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneylerden enine çekme deneyini kapsamaktadır. Resim 3.14’te çekme testinin yapıldığı Shimadzu çekme test cihazı görülmektedir.



Resim 3.14. Deneylerin yapıldığı çekme ve eğme cihazı

3.3.5. Üç nokta eğme deneyi

Her plaka için 3 adet eğme deneyi numunesi çıkarılmıştır. Eğme deney numunesi ölçüleri Şekil 3.6'da verilmiştir. Üç nokta eğme deneyinde ve çekme deneyinde Shimadzu marka cihaz kullanılmış olup, basma hızı olarak 0,5 mm/s seçilmiştir. Eğme deneyinde numuneler ve deney düzeneği TS EN ISO 5173 standardına uygun biçimde hazırlanmıştır. Basıncılı kapların kaynağında istenen 180° eğme ile sağ sol yüzeyler birbirine paralel hale gelecek şekilde malzeme eğilmiştir. Son aşamada ise gözle, kaynak bölgesi (kök, kep) ve ITAB'da çatlak olup olmadığı gözlenmiştir.

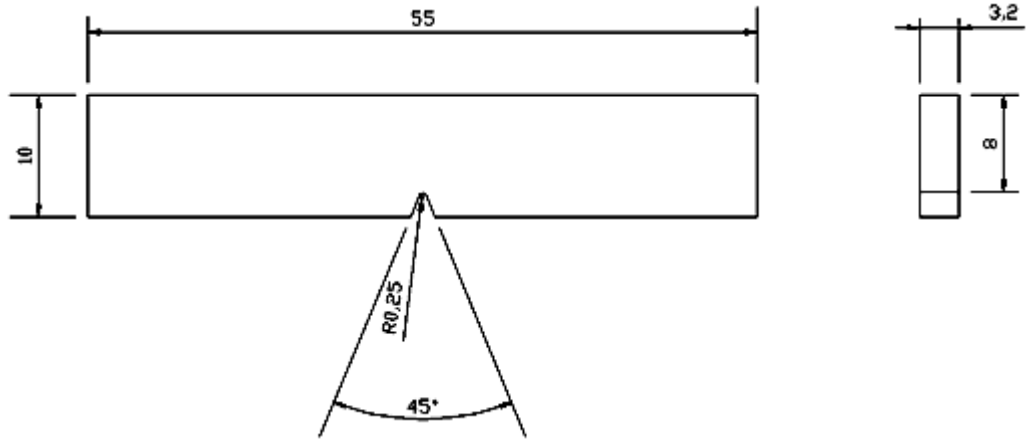


Şekil 3.6. Eğme deneyi numune örneği

3.3.6. Çentik darbe deneyi

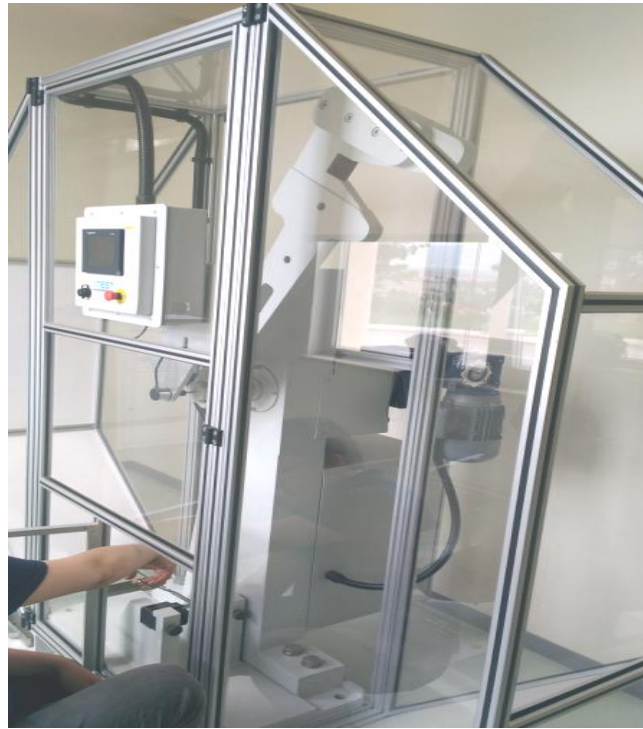
Çentik darbe deneyinde amaç, malzemenin bünyesinde muhtemelen bulunacak bir gerilme birikiminin darbe esnasında çentik tabanında suni olarak teşkil ettirilip, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci tayin etmektir.

Çentik etkisi genelde statik zorlanmalarda sünek malzemelerde dikkate alınmayıp sadece kırılğan malzemeler için göz önüne alınır. Dinamik yüklerde ise sünek ve kırılğan malzemelerin her iki türü için çentik etkisi her zaman göz önüne alınır. Bu deney, malzemelerin gevrek kırılmaya müsait şartlar oluştuğundaki mekanik dayanımı hakkında bilgi verir.



Şekil 3.7. Çentik darbe deneyi numune örneği

Numunelere Charpy çentik darbe deneyi uygulanmıştır. Çentik darbe deneyinde numuneler ve deney düzeneği TS EN ISO 148-1 standardına uygun biçimde hazırlanmıştır. Deneylerde Utest marka test cihazı kullanılmıştır. Numunelere 2 mm derinliğinde 45°'lik, R 0,25 radyüslü çentik açılmıştır. Tüm numunelerde kaynak bölgesi frezelenerek ve zımparalanarak et kalınlığı değerine düşürülmüştür.



Resim 3.15. Deneylerin yapıldığı çentik darbe cihazı

3.4. Deney Sonuçları

3.4.1. Gözle muayene sonuçları

Gözle muayenede çok fazla miktarda hata içeren, kepte veya kökte kararlı kaynak dikişi oluşturamayan kaynaklar harf ile kodlanmıştır. Genelde kök bölgeleri düzgün dikiş sağlayamamıştır. Sadece F kodlu kaynak kökte dikiş sağlamış olup, onda da kepe genişliği ve ısı girdisi aşırı fazladır. Hataların belirlenmesi ve kodlamalar TS EN ISO 6520-1 standardına göre yapılmıştır. 1 ve 5 numaralı kaynaklarda “yetersiz nüfuziyet” (4021) hataları görülmüştür. 5 numaralı kaynakta “kötü yeniden başlatma” (517) hatası görülmüştür. 6 numaralı kaynakta kök tarafı tam ergime gösteremeyerek pütürlü bir yapı meydana getirip, “ergime noksanlığı” (401) hatası vermiş ve seramik altlığın içini dolduramamıştır. 7 numaralı özlü tel ile yapılan kaynakta çok fazla miktarda kaynak metali ergimesi meydana gelerek kök kısmı, seramik altlığın içini fazlaca doldurmuştur. TS EN 13530 standardı, kök kısmında “aşırı nüfuziyet” (504) ve kepe kısmında “aşırı kaynak metali” (502) hatasını, 5 mm’den az kalınlığa sahip metallerde, 2 mm olarak sınırlamıştır. 7 numaralı kaynak çok başarılı görünmesine karşın kök yüksekliği 2,1 mm ile sınır değeri çok az geçmiştir. 2, 3 ve 4 numaralı kaynak plakalarında kepe yüksekliği az miktarda sınır değeri geçmiştir. Burada yer almayan kaynaklı numune görsellerine bu çalışmanın ek kısmında yer verilmiştir.

Çizelge 3.6. Kaynakların kepe ve kök ölçüleri

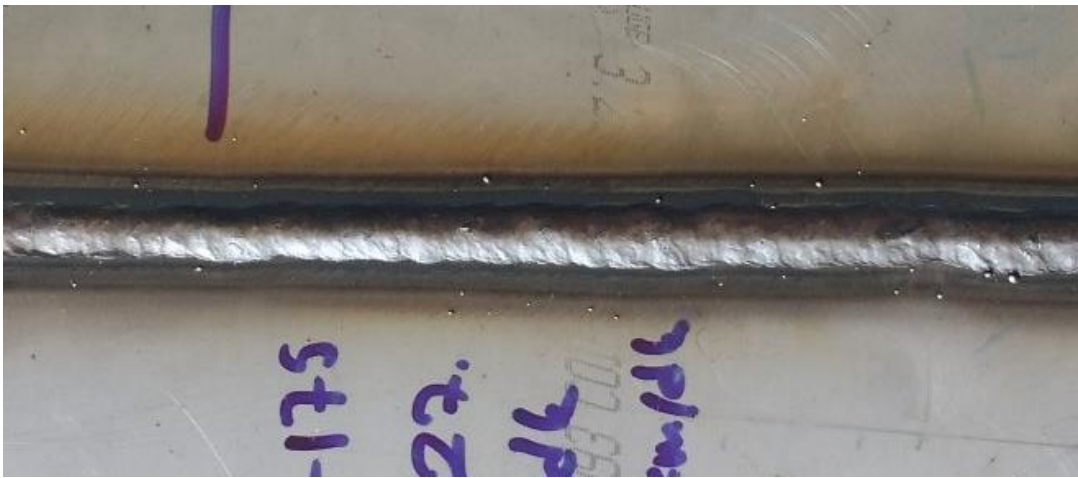
Numune kodu	Kepe genişliği [mm]	Kök genişliği [mm]	Kepe yüksekliği [mm]	Kök yüksekliği [mm]
A	Kararsız	Kararsız	Kararsız	Kararsız
B	10,9	0	4,1	0
1	10,4	6,6	2,0	1,2
2	9,2	5,3	2,1	1,2
3	9,9	4,9	2,2	1,2
4	10,5	6,3	2,2	1,2
C	Kararsız	Kararsız	Kararsız	Kararsız
D	11,9	0	1,7	0
5	12,3	7,2	1,6	1,5
6	13,1	8,1	1,6	1,1
7	12,8	9,9	1,3	2,1
E	17,0	12,1	0,7	1,4
F	19,5	15,3	0,9	1,4



Resim 3.16. A kodlu kaynak kep bölgesi görünüm



Resim 3.17. 3 numaralı kaynak kep bölgesi görünüm



Resim 3.18. 7 numaralı kaynak kep bölgesi görünüm



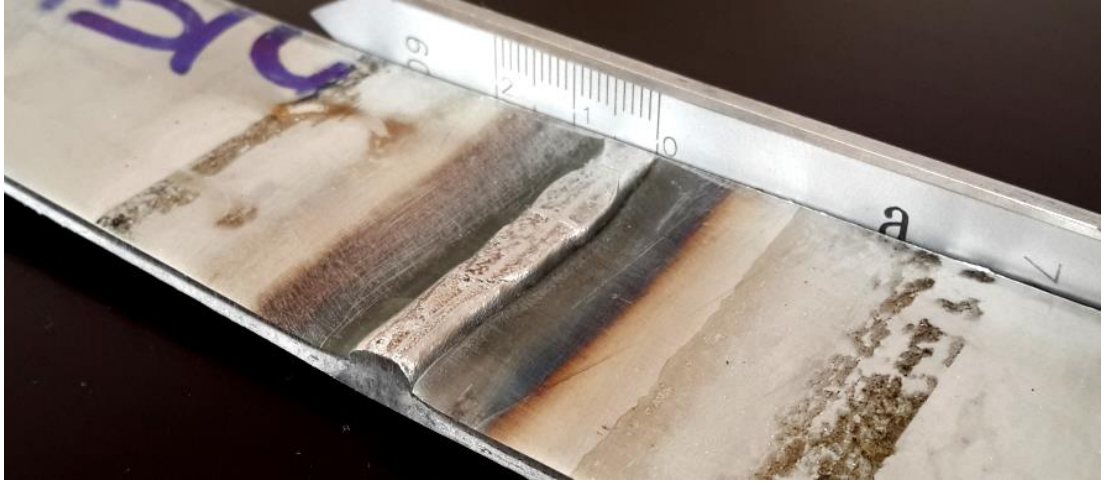
Resim 3.19. B kodlu kaynak kök bölgesi görünüm



Resim 3.20. C kodlu kaynak kök bölgesi görünüm



Resim 3.21. F kodlu kaynak kök bölgesi görünüm



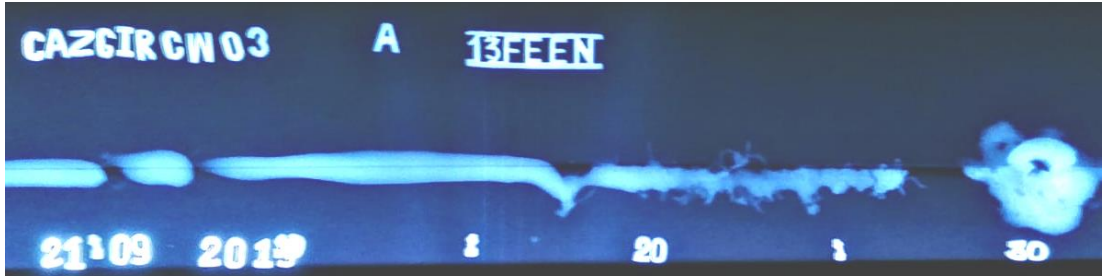
Resim 3.22. 5 numaralı kaynak kök bölgesi görünüm



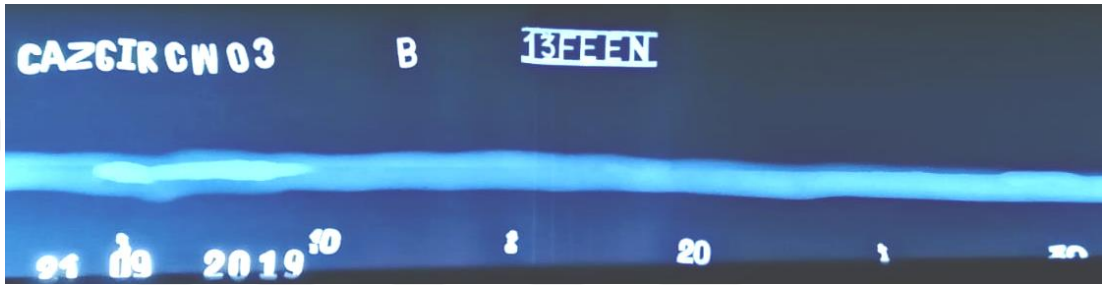
Resim 3.23. 6 numaralı kaynak kök bölgesi görünüm

3.4.2. Radyografik muayene sonuçları

Harf ile kodlanan numuneler gözle muayeneden geçmediği için üretim standardına göre doğrudan reddedileceğinden röntgen testine tabi tutulmasına gerek yoktur. Fakat bu çalışmada çok fazla hata içeren kaynakların da röntgende nasıl sonuç verdiğini göstermek ve kıyaslamak adına o numunelere de röntgen çekilmiştir. Rakam kodlu numunelere ise yapılan diğer testler, tamamen ilgili standartlar paralelinde uygulanmıştır. 1 ve 6 numaralı kaynak plakaları da görsel kontrolden geçemediği için X-ışını radyografik muayenesine gerek görülmemiştir.



Resim 3.24. A kodlu kaynak X-ışını radyografik filmi



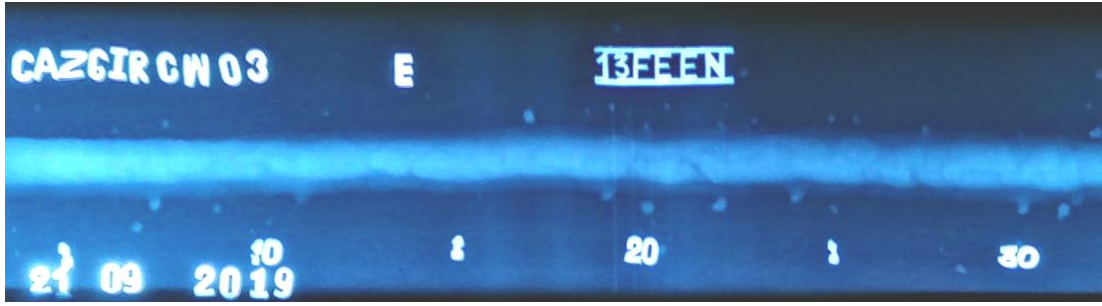
Resim 3.25. B kodlu kaynak X-ışını radyografik filmi



Resim 3.26. C kodlu kaynak X-ışını radyografik filmi



Resim 3.27. D kodlu kaynak X-ışını radyografik filmi



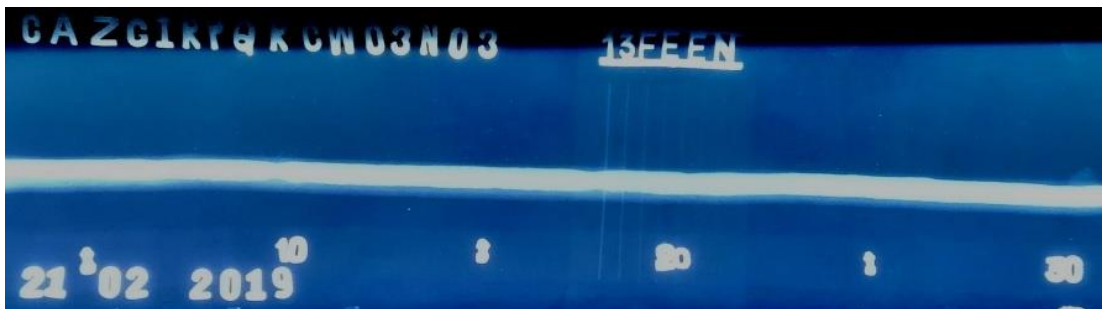
Resim 3.28. E kodlu kaynak X-ışını radyografik filmi



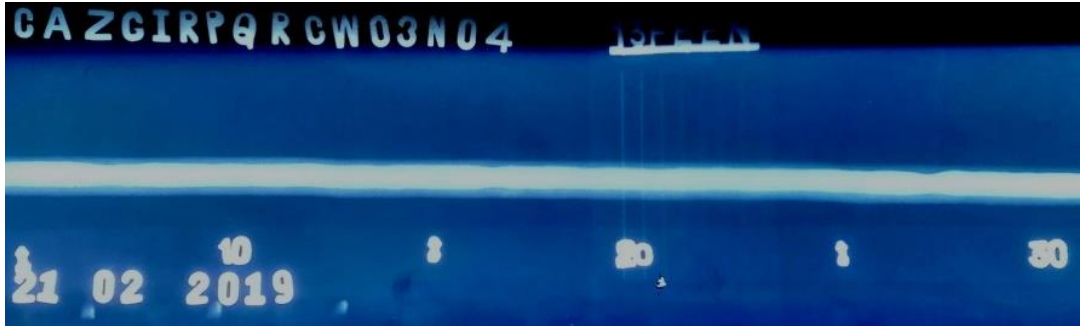
Resim 3.29. F kodlu kaynak X-ışını radyografik filmi



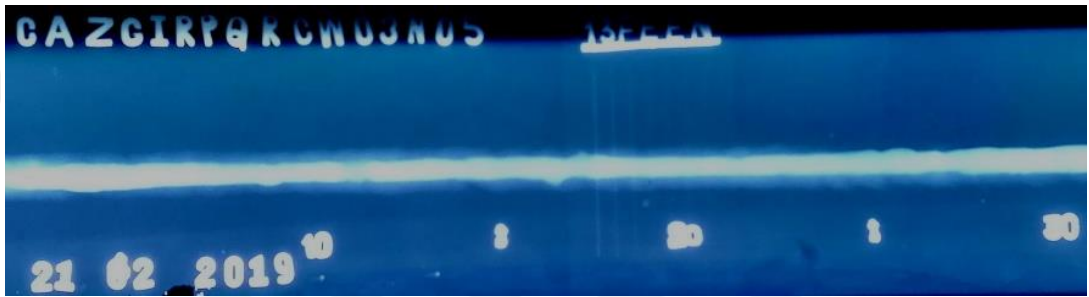
Resim 3.30. 2 numaralı kaynak X-ışını radyografik filmi



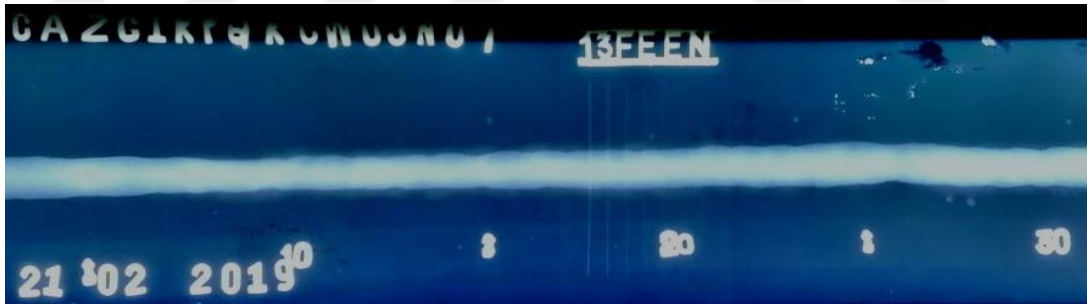
Resim 3.31. 3 numaralı kaynak X-ışını radyografik filmi



Resim 3.32. 4 numaralı kaynak X-ışını radyografik filmi



Resim 3.33. 5 numaralı kaynak X-ışını radyografik filmi



Resim 3.34. 7 numaralı kaynak X-ışını radyografik filmi

A ve C kodlu kaynaklarda kaynak kesintiye uğramıştır. Tel, ayarlanan parametrelerde düzgün ergime gösterememiştir. B, D kodlu kaynaklarda nüfuziyet eksikliği vardır. Filmlerde bu hata D kodlu filmde daha belirgin olup, kaynak ortasından geçen düz koyu çizgi şeklinde kendini göstermektedir. 2 numaralı kaynağa ait filmde 13-14 cm'de plakayı tutan puntanın tam erimeği görülmektedir. Buradan akım ve voltaj değerinin kaynak ağzını eritmeye yetecek sınır değerde olduğu anlaşılmaktadır. Genel olarak bakıldığında gözle muayeneden geçen rakam kodlu tüm kaynaklarda ergimenin yeterli olduğu filmlerde de görülmektedir. Özlü tel ile yapılan kaynaklarda masif tele

göre ana metal ile dolgu metalinin daha yumuşak bir şekilde birleştiği görülmektedir. Fakat 5 numaralı kaynakta kök kısmının kararlı bir ergime göstermediği görülmektedir. Röntgen filminde herhangi bir nüfuziyet ya da gözenek gibi problem bulunmayıp gözle muayeneden geçmesi için fazla sarkan kök kısmına zımpara işlemi uygulanması gerekir. Masif tel kaynaklarında kaynağın filmde aşırı parlak görünmesi kep ve kök yüksekliklerinin fazla olduğunu göstermektedir.

3.4.3. Çekme deneyi sonuçları

Çekme deneyi sonunda malzemeye ait akma mukavemeti, çekme mukavemeti, kopma mukavemeti, % uzama gibi mekanik özellikler tespit edilmiştir. Yapılan çekme deneyinde çekme numunelerinden tümü kaynağın ortasından boyun verip kopmuştur. Kopma noktalarındaki kesit daralmaları numunelerin kısmi süneklik özelliğine sahip olduklarını göstermektedir. Çekme işlemleri, oda sıcaklığında 5 mm/dk ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Çizelge 3.7’de yer almaktadır.

Çizelge 3.7. Çekme deneyinden elde edilen değerler

Numune kodu	Akma mukavemeti Rp0,2 [MPa]	Çekme mukavemeti Rm [MPa]	Kopma mukavemeti [MPa]	Kopma uzaması A5 [%]
1	305	592	531	42
2	298	597	571	46
3	309	618	564	50
4	316	585	549	35
5	315	600	564	40
6	304	566	516	34
7	295	541	501	36

Tüm kopmaların kaynaktan meydana gelmesi yapılan kaynakların kötü olduğu anlamı taşımamaktadır. Kimi çalışmalarda kaynaklar frezelenip malzeme kalınlığına inilmeden testlere tabi tutulmuş ve hasarlar malzeme üzerinde veya ITAB’da meydana gelmiştir. Burada kesit alanı malzemeden kalın olduğu durumda, kalın bölgedeki gerilme düşecektir. Bu hatalı durumda, kaynak bölgesinin sağlam olması, kaynağın kaliteli olmasından çok kesitin kalın olması ile alakalıdır.

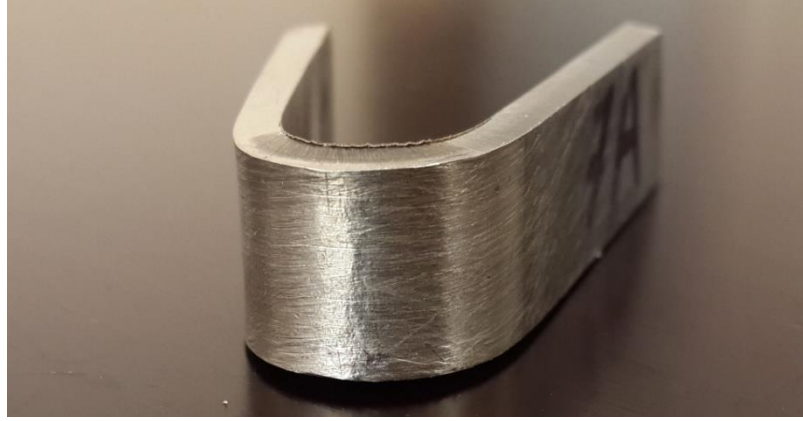


Resim 3.35. Numunelerin çekme deneyinden sonraki görüntüsü

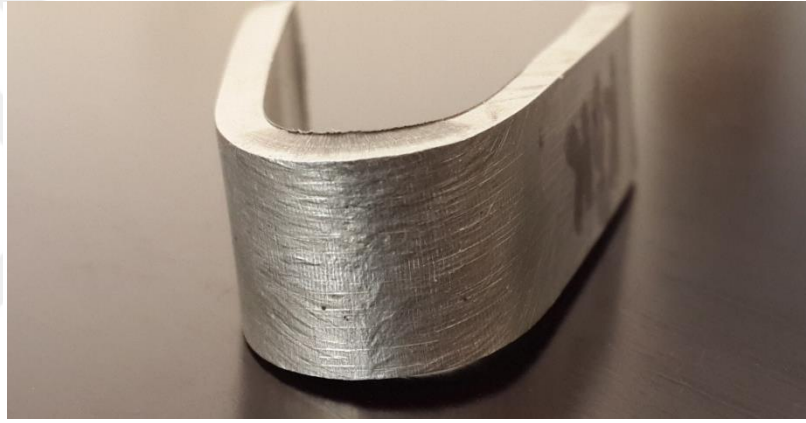
Tüm numunelerin kaynak bölgesi de dâhil et kalınlığı ana malzeme ile aynıdır. Kaynak bölgesi kalemle testten önce işaretlenmiştir. Genel olarak bakıldığında 7 kaynakta da akma dayanımları ana malzemeninkine yakındır ve bu olması istenen durumdur. 2 ve 7 numaralı kaynakta akma mukavemetleri diğerlerine oranla düşük çıkmıştır. 2 numaralı kaynakta kök kısmındaki montaj için atılan puntanın erimemesi, bize ayarlanan amper değerinin düşük olduğunu göstermektedir. 7 numaralı kaynak ise özlü telle atılmış olup aşırı nüfuziyet ve ısı girdisi yani amper fazlalığı içermektedir. % kopma uzama (A5) değerleri de basınçlı kaplar üretim standartlarındaki minimum %25 değerini sağlamaktadır.

3.4.4. Üç nokta eğme deneyi sonuçları

TS EN ISO 5173 standardına göre yapılan test sonucunda hiç bir parçada yüzeyde çatlak oluşmadığından dolayı deneyden olumlu sonuç alınmıştır. 2, 3 ve 4 numaralı numunelerin kök kısımlarında çatlak gibi görünen çizgi kaynak dolgu metali ile ana metal birleşim sınırı olup herhangi bir ayrılma veya çatlak oluşmamıştır.



Resim 3.36. 7 numaralı kaynak kep kısmı eğme görüntüsü



Resim 3.37. 7 numaralı kaynak kök kısmı eğme görüntüsü

3.4.5. Çentik darbe deneyi sonuçları

Çizelge 3.8'de yer alan çentik darbe test sonuçları incelendiğinde, kaynaklı numunelerin kaynak metallерinin, ana malzeme kadar tokluğa sahip olmadığı tespit edilmiştir. Özlü telle kaynağı yapılan 5, 6 ve 7 numaralı numunelerin çentik darbe mukavemetinin masif telle kaynatılan numunelere göre yaklaşık %30 azaldığı görülmüştür. ITAB'daki değerlere bakıldığında çoğunda ana metalinkine yakın değerler elde edilmiştir. Buradan ITAB'ın çentik mukavemetinin iyi olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında düşük bir ihtimal olarak ITAB'ın çok kısıtlı ince bir bölge olduğu ve bu kesilen numunelerin çentiğinin tam olarak ITAB'a denk gelemediği sonucu da göz ardı edilmemelidir.

Çizelge 3.8. Charpy metodu çentik darbe deneyi sonuçları

Numune kodu	Kaynak bölgesi 1 [Joule]	Kaynak bölgesi 2 [Joule]	ITAB 1 [Joule]	ITAB 2 [Joule]
1	30,86	29,39	42,57	47,38
2	41,62	40,49	43,86	47,81
3	41,19	40,34	47,37	45,48
4	45,20	35,20	47,37	46,64
5	22,64	23,28	51,20	42,90
6	24,56	24,30	23,79	49,57
7	24,95	24,43	35,61	48,25



Resim 3.38. Numunenin darbeden sonra kaynaktan kırılma görüntüsü

Masif telle kaynatılan parçalar arasında 1 numaralı numunenin kaynak bölgesi test sonucu 29,39 Joule ile en düşük çıkmıştır. Bu durum, kaynak akım değerinin çok düşük olmasının çentik darbe tokluğu için olumsuz etki yaratmasından kaynaklıdır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

AISI 304L kalite paslanmaz çelik kullanılarak, tek eksenli gazaltı otomatik devre kontrollü robot kaynak makinesi ile alın kaynağı denemeleri sayesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- 1) Özlü tel ile yapılan kaynaklar ana metali daha fazla eritmiş, kep ve kök nüfuziyetleri masif tele göre daha fazla olmuştur. Yani görsel ve radyografik muayenelerde, parametreleri iyi ayarlandığı takdirde iyi sonuçlar vermektedir. Kökte fazla yükseklik oluştuğunda, akım ve tel besleme hızı bir miktar azaltılarak bu durum düzeltilebilir.
- 2) Çekme deneyine tabi tutulan numunelerde, masif tel ile yapılan kaynaklarda akma ve çekme mukavemet değerleri ortalama %5 farklı olmak kaydı ile tüm numunelerde yaklaşık olarak birbirine yakın çıkmıştır. Elde edilen değerler ana metalin değerlerine yakındır. Özlü tel ile yapılan kaynaklarda 6 ve 7 numaralı numunelerin akma mukavemeti değerleri iyi olmakla birlikte, çekme mukavemeti değerlerinde bir miktar düşüş gözlenmiştir. Çekme deneyi numunelerinde kaynak freze ve zımpara ile malzeme kalınlığına indirilip daha iyi kıyaslama olanağı sağlanmıştır. Bu durumda tüm numunelerde kopma kaynak bölgesinden olmuştur. Masif tel ile yapılan kaynaklarda özlü tele göre % kopma uzama değerleri daha fazla olmuştur.
- 3) Özlü telin ana metali eritmesi daha fazla olduğundan, daha yüksek akım ve voltaj değerlerine çıkılabilmektedir. Masif telde dolgu metalinin aşırı yığılması nedeni ile belirli parametrelerin dışına çıkılamamaktadır. Tel hızının özlü telde daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak; telin içinde öz bulunduğundan, birim tel uzunluğunda eriyen dolgu metali miktarının masif tele oranla daha az olduğu söylenebilir.

- 4) Çentik darbe deneyi sonuçlarında özlü tel kaynaklarının değerlerinin masif tele göre çok düşük çıktığı görülmektedir. Fakat standartların belirlediği belirli bir sınır değer üzerinde olmasından ve nüfuziyetinin ve seramik altlığı doldurma kabiliyetinin fazla olmasından dolayı basınçlı kapların alın kaynağında kullanılabilir. Gevrek kırılma eğiliminin ve dinamik yüklerin fazla olduğu kaynaklarda tercih edilmemelidir.
- 5) 6 numaralı kaynakta, 7 numaralı kaynağa göre daha düşük akım, voltaj ve tel hızı değerleri kullanılmış olup kaynak ağzı hazırlanırken parçalar arası 1,6 mm boşluk bırakılmıştır. Fakat bu durum olumsuz sonuç vermiştir. Yani parçalar arası aralık kapanarak daha yüksek akım ve voltaj değerlerinde daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.
- 6) Akımın artması ile her iki tel çeşidinde kep ve kök genişliği, dolayısıyla nüfuziyet artmaktadır. Aynı durumda masif tel ile yapılan kaynakta akımın artmasıyla akma mukavemeti ve kaynak bölgesi çentik darbe tokluğu artarken, özlü tel ile yapılan kaynakta akma mukavemeti ve % kopma uzama değeri düşmüş, kaynak bölgesi çentik darbe tokluğu sabit kalmıştır.
- 7) Tüm yapılan testler göz önüne alındığında masif tel kaynaklarında 3 numaralı kaynak, özlü tel kaynaklarında ise 5 ve 7 numaralı kaynaklar başarılı görünmektedir. 5 numaralı kaynakta gözle kontrolde kök kısmında kararlı düzgün bir ergime görülmemesine rağmen mekanik testlerde 7 numaralı kaynaktan başarılı çıkmıştır. 6 numaralı kaynaktaki voltaj ve akım değerleri uygun görülmekte olup gözle kontroldeki negatif etki, kaynak ağzının farklı oluşundan kaynaklanmaktadır.
- 8) İki farklı telde de basınçlı kaplardaki standardın belirlediği minimum kalite gereksinimlerinin üzerinde kaynaklar elde edilmiştir.

4.2. Öneriler

Bu tez çalışmasında, AISI 304L kalite paslanmaz çelik kullanılarak, tek eksenli gazaltı otomatik devre kontrollü robot kaynak makinesi ile alın kaynağı denemeleri yapılmıştır. İleride benzer konuda çalışma yapacak olan kişilere öneriler ise;

- 1) Bu çalışmada kullanılan kaynak makinesi, başlangıçta ayarlanan voltaj ve akım değerini, kaynak başladığında optimize ederek farklı akım ve voltaj değerine çekebilmektedir ve o ayarla devam etmektedir. Akım ve voltaj değeri haricindeki diğer ayarlar manuel olarak yapılabilmektedir. Yapılan her kaynakta, makinenin başlangıçta değiştirdiği kaynak parametreleri olduğu durumlarda, ekran üzerindeki değerler okunarak, o değerler esas alınmıştır. Her voltaj ve akım değerinde kaynak denemeleri yapabilmek için veya herhangi bir parametreyi sabit tutup diğerini değiştirebilmek için kaynak makinesinin manuel olanı tercih edilebilir.
- 2) Farklı koruyucu gazlar kullanılarak mekanik özelliklere ve nüfuziyete olan etkisi incelenebilir.
- 3) Çentik darbe testi numuneleri hazırlanırken frezeleme ve zımpara işleminden önce ITAB'ın sınırları iyi tespit edilerek ve o bölgeye yakın kısımlardan, birden fazla numune çıkarılarak daha ayrıntılı ve doğruya yakın sonuçlar elde edilebilir.
- 4) Dupleks paslanmaz çelik gibi yeni geliştirilen paslanmaz çelik türlerinin ya da farklı iki tür malzemenin kaynağı incelenebilir.
- 5) Mikro yapı incelemesi için hazırlanan numunelerin SEM ve TEM'de fotoğrafları çekilerek mikro yapı incelemesi yapılabilir.
- 6) Farklı parametreler kullanılarak çok sayıda kaynak yapıp sonuçlar Taguchi gibi metotlarla analiz edilerek uygun parametreler tespit edilebilir.

KAYNAKLAR

- Adamczuk, P., C., Machado, I., G., Mazzaferro, J., A., E. (2017). Methodology for predicting the angular distortion in multi-passbutt-joint welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 240, p. 305-313.
- Akkurt, M., Kent, M. (1979). *Makine Elemanları* (s.229-256). İstanbul, Birsen Kitabevi.
- Altuntaş, M. (2015). Aisi 304L paslanmaz çeliğin mig ve tig kaynak yöntemleriyle birleştirilmesinde kaynak parametrelerinin etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Anonim, (2002). TS EN 13530-1. Kreyojenik tanklar-Bölüm, taşınabilir vakum yalıtımlı kaplar-Bölüm 1:Temel özellikler.
- Anonim, (2004). TS EN 13530-2. Kriyojenik tanklar - Taşınabilir vakum yalıtımlı büyük tanklar - Bölüm 2: Tasarım, imalat, muayene ve deneyler.
- Anonim, (2011). TS EN ISO 6520-1. Kaynak ve ilgili işlemler - Metalik malzemelerde geometrik kusurların sınıflandırılması - Bölüm 1 : Ergitme kaynağı.
- Anonim, (2013). TS EN ISO 17636-1. Kaynak dikişlerinin tahribatsız muayenesi - Radyografik muayene - Bölüm 1: Filmler ve gama ışını teknikleri.
- Anonim, (2014). TS EN ISO 5817. Kaynak - Çelik, nikel, titanyum ve bunların alaşımlarında ergitme kaynaklı (demet kaynağı hariç) birleştirmeler - Kusurlar için kalite seviyeleri (ISO 5817:2014).
- Anonim, (2014). TS EN 10088-1. Paslanmaz çelikler - Bölüm 1: Paslanmaz çeliklerin listesi
- Anonim, (2014). *Ceramic backings and their applications*, voestalpine BöhlerWeldingCatalog, (30.06.2014).
- Anonim, (2017). TS EN ISO 17637. Ergitme kaynaklarının tahribatsız muayenesi- Ergitme kaynaklı birleştirmelerin gözle muayenesi.
- Aygün, M. (2009). Lng Tankları Tasarım Esasları, *Mühendis ve Makina*, 50(591), (s.35-39)
- Bargel, H. J., Schulze, G. (1995). *Malzeme Bilgisi Cilt II*, İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul, 174 s
- Benyounis, K.Y., Olabi, A.G. (2008). Optimization of different welding processes using statistical and numerical approaches - A reference guide. *Advances in Engineering Software*, 39, p. 483-496.

- Biswas, A. R., Chakraborty, S., Ghosh, P. S., Bose, D. (2017). Study Of Parametric Effects On Mechanical Properties Of Stainless Steel (AISI 304) And Medium Carbon Steel (45C8) Welded Joint Using GMAW. *Materials Today: Proceedings*, 5, p. 12384-12393.
- Cunat, P. J. (2007). *Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Malzemeler ve Kullanımları Serisi Cilt 3, The European Stainless Steel Development Association, Belçika*
- Eryürek, İ., B. (2003). *Gazaltı Kaynağı, İstanbul, Askaynak*
- Ghosh, N., Pal, P. K., Nandi, G. (2016). Parametric Optimization of MIG Welding on 316L Austenitic Stainless Steel by Grey-Based Taguchi Method. *Procedia Technology*, 25, p. 1038-1048.
- Gözütok, E. (2009). *Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında argon-hidrojen gaz karışımının kaynaklı birleştirmenin mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karabük.*
- Gülsün, M. (2009). *Östenitik paslanmaz çeliklerin tozaltı kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliği ve mekanik özelliklere etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.*
- Kaluç, E., Taban, E. (2007). *Paslanmaz Çelikler, Geliştirilen Yeni Türleri ve Kaynak Edilebilirlikleri, Ankara, Tmmob MMO.*
- Koca, E. (2010). *TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Korg, H. (2007). *Ostenitik paslanmaz çeliklerin robot kaynağı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri, Adapazarı.*
- Kotecki, D. J., Siewert, T.A. (1992). *WRC-1992 Constitution Diagram for Stainless Steel Weld Metals: A Modification of the WRC-1988 Diagram, Welding Research Supplement, 05, p. 171-178*
- Kükürtcü, G. E. (2014). *Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti ve mekanik özelliklere etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adapazarı.*
- Mukherjee, M., Pal, T. K. (2017). Evaluation of microstructural and mechanical properties of Fe-16Cr-1Ni-9Mn-0.12N austenitic stainless steel welded joints. *Materials Characterization*, 131, p. 406-424.
- Odabaş, C. (2007). *Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Askaynak, İstanbul, 76 s*

- Okayasu, M., Ohkura, Y., Sakamoto, T., Takeuchi, S., Ohfuji, H., Shiraishi, T. (2013). Mechanical properties of SPCC low carbon steel joints prepared by metal inert gas welding. *Materials Science & Engineering, A* 560, p. 643-652.
- Özhendekçi, D. (2016). YTÜ İnşaat Müh. Böl. Çelik Yapılar I Ders Notları 1, 18 s
- Uztuğ, H. E. (2003). Basınçlı Kaplar El Kitabı; Tmmob Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 209 s
- Verma, J., Taiwade, R.V. (2017). Effect of welding processes and conditions on the microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of duplex stainless steel weldments-A review. *Journal of Manufacturing Processes*, 25, p. 134-152.
- Zhang, Y., Huang, J., Cheng, Z., Ye, Z., Chi, H., Peng, L., Chen, S. (2016). Study on MIG-TIG double-sided arc welding-brazing of aluminum and stainless steel. *Materials Letters*, 172, p. 146-148.

EKLER

EK-1. Kaynaklı numunelerin görselleri**Resim E1.1. B kodlu kaynak kep bölgesi görünüm****Resim E1.2. C kodlu kaynak kep bölgesi görünüm****Resim E1.3. D kodlu kaynak kep bölgesi görünüm**



Resim E1.4. E kodlu kaynak kep bölgesi görünüm



Resim E1.5. F kodlu kaynak kep bölgesi görünüm



Resim E1.6. 1 numaralı kaynak kep bölgesi görünüm



Resim E1.7. 2 numaralı kaynak kep bölgesi görünüm



Resim E1.8. 4 numaralı kaynak kep bölgesi görünüm



Resim E1.9. 5 numaralı kaynak kep bölgesi görünüm



Resim E1.10. 6 numaralı kaynak kep bölgesi görünüm



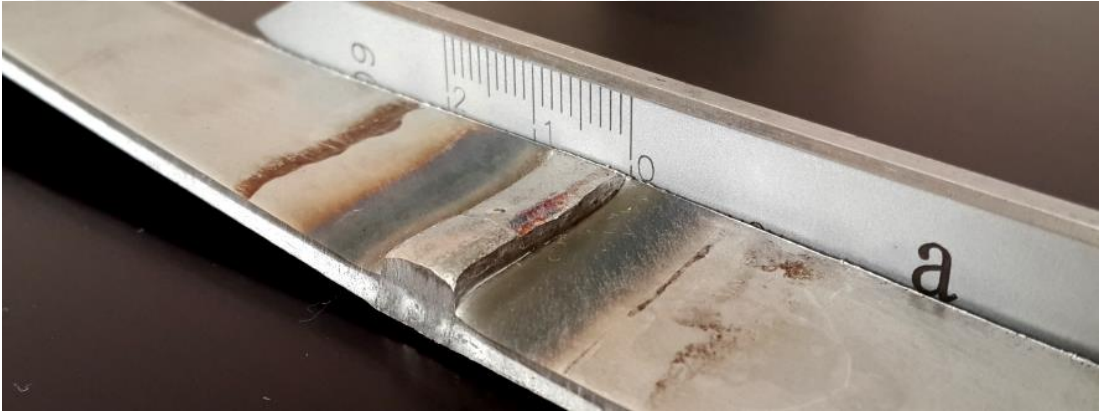
Resim E1.11. A kodlu kaynak kök bölgesi görünüm



Resim E1.12. D kodlu kaynak kök bölgesi görünüm



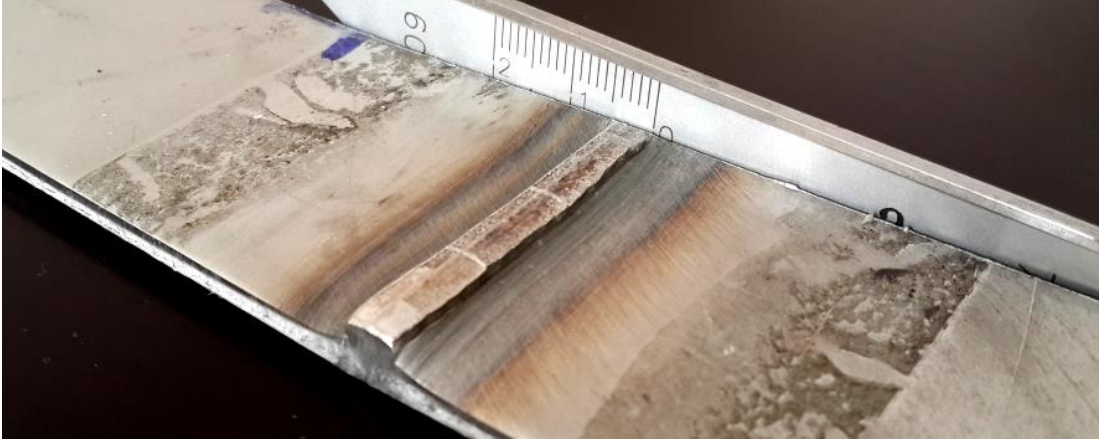
Resim E1.13. E kodlu kaynak kök bölgesi görünüm



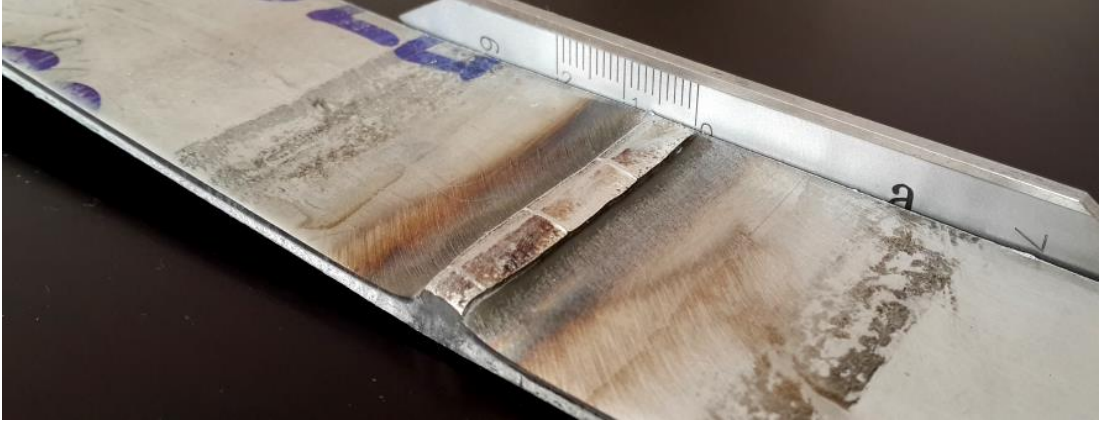
Resim E1.14. 1 numaralı kaynak kök bölgesi görünüm



Resim E1.15. 2 numaralı kaynak kök bölgesi görünüm



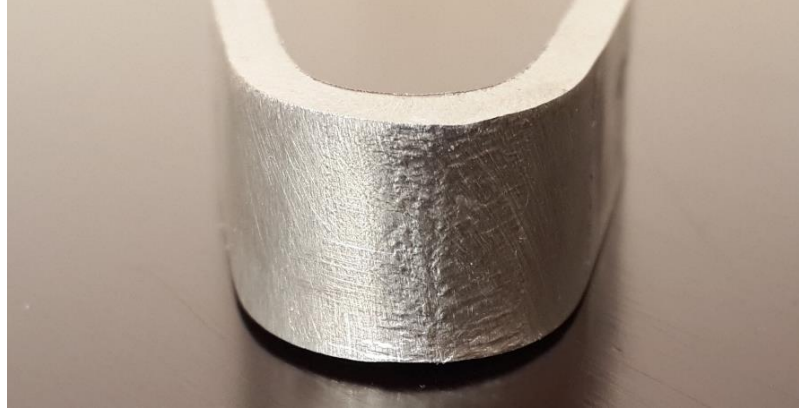
Resim E1.16. 3 numaralı kaynak kök bölgesi görünüm



Resim E1.17. 4 numaralı kaynak kök bölgesi görünüm



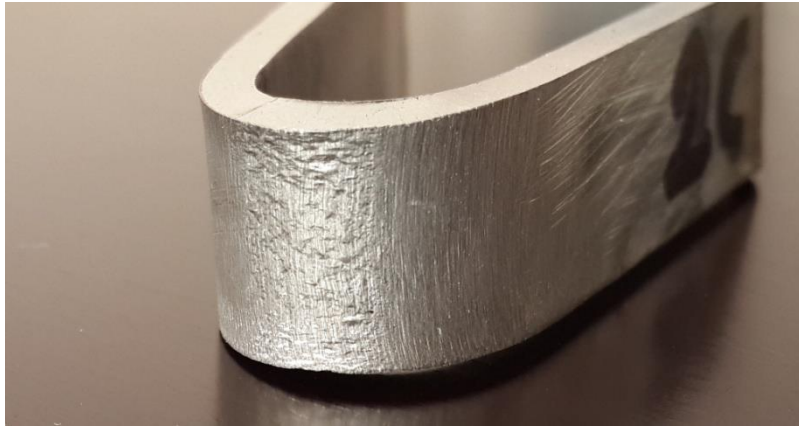
Resim E1.18. 7 numaralı kaynak kök bölgesi görünüm



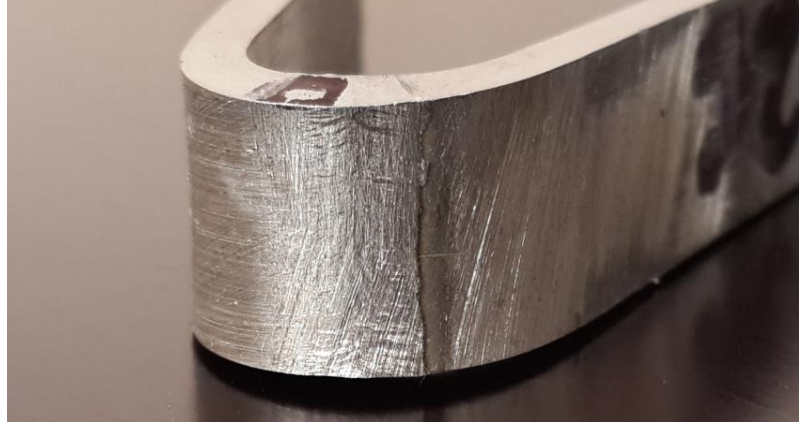
Resim E1.19. 1 numaralı kaynak kep kısmı eğme görüntüsü



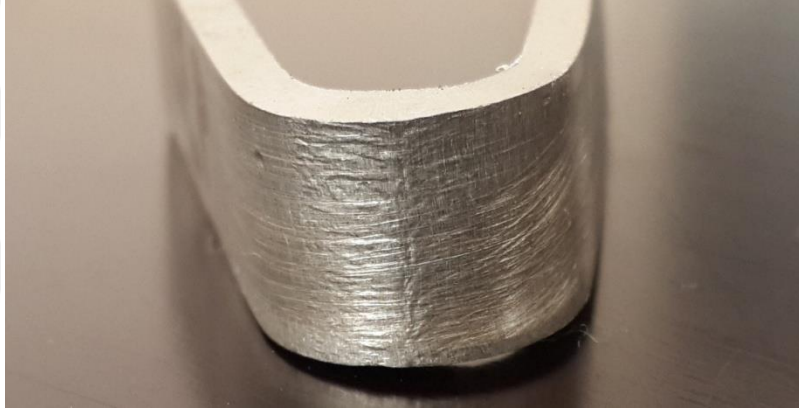
Resim E1.20. 1 numaralı kaynak kök kısmı eğme görüntüsü



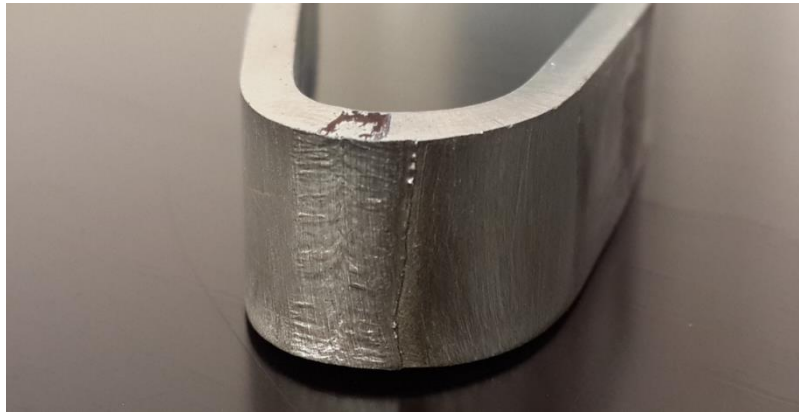
Resim E1.21. 2 numaralı kaynak kep kısmı eğme görüntüsü



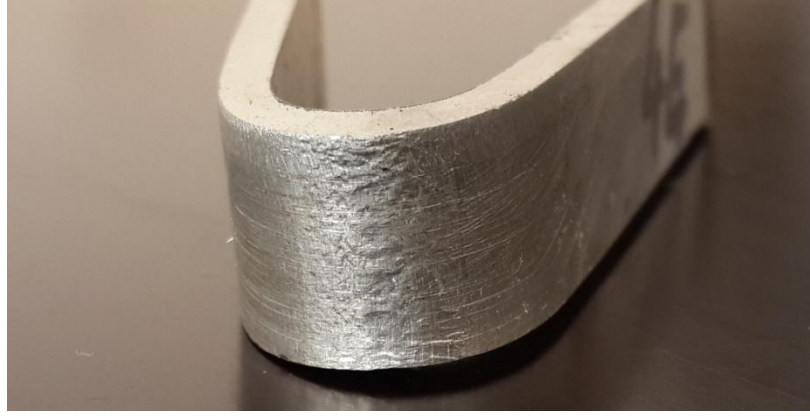
Resim E1.22. 2 numaralı kaynak kök kısmı eğme görüntüsü



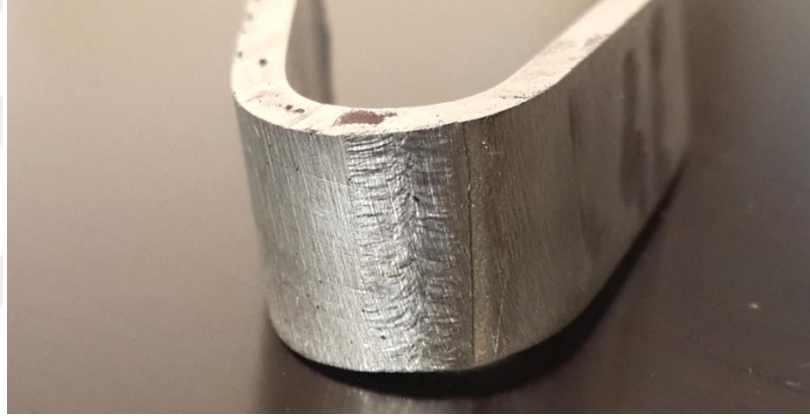
Resim E1.23. 3 numaralı kaynak kep kısmı eğme görüntüsü



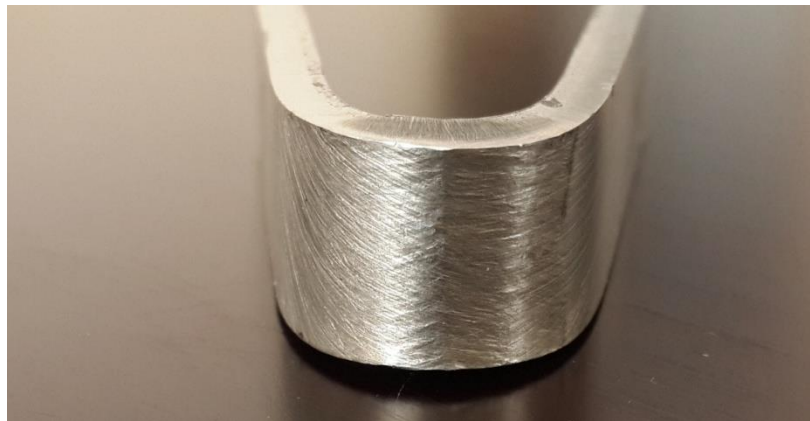
Resim E1.24. 3 numaralı kaynak kök kısmı eğme görüntüsü



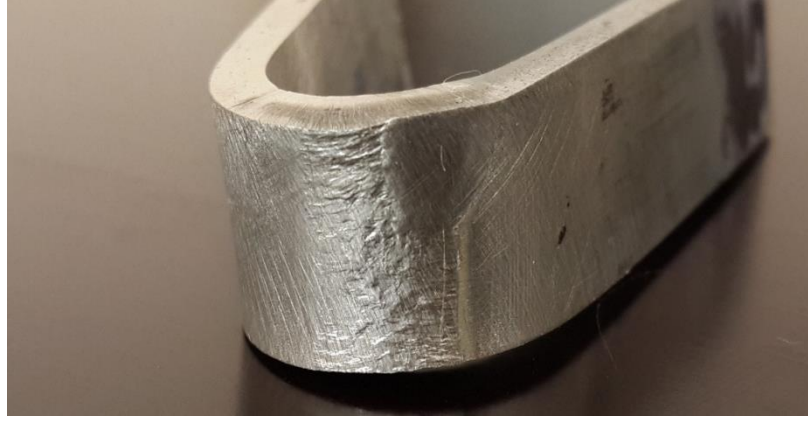
Resim E1.25. 4 numaralı kaynak kep kısmı eğme görüntüsü



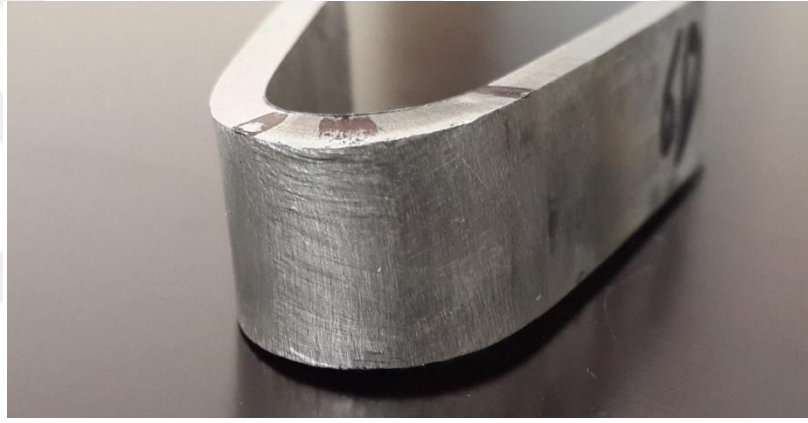
Resim E1.26. 4 numaralı kaynak kök kısmı eğme görüntüsü



Resim E1.27. 5 numaralı kaynak kep kısmı eğme görüntüsü



Resim E1.28. 5 numaralı kaynak kök kısmı eğme görüntüsü



Resim E1.29. 6 numaralı kaynak kep kısmı eğme görüntüsü



Resim E1.30. 6 numaralı kaynak kök kısmı eğme görüntüsü

EK-2. Çekme deneyi sonuçları

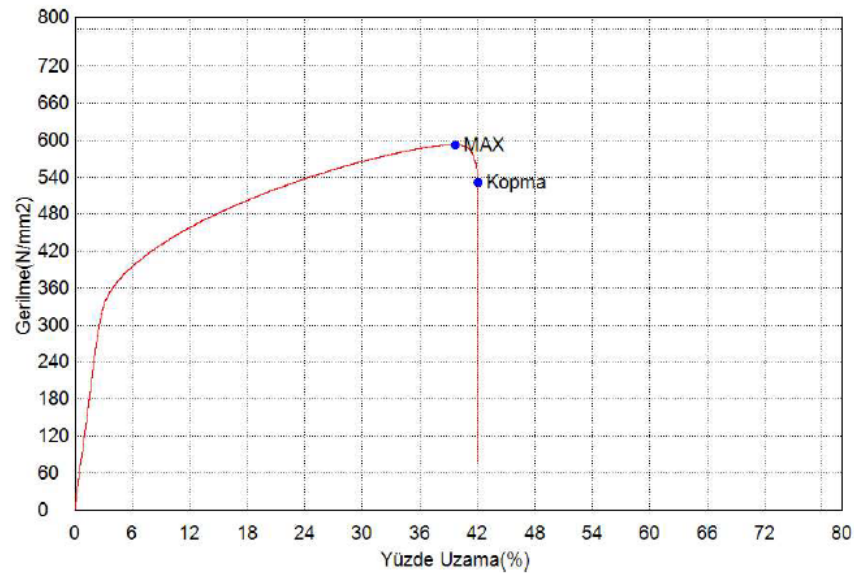
Anahtar Kelime		Ürün Adı	1 nolu plaka
Test Dosyası Adı	1 nolu plaka	Metot Dosya Adı	cekme.xmai
Rapor Tarihi	19/05/2019	Test Tarihi	19/05/2019
Test Modu	Tek	Test Tipi	Çekme
Hız	5mm/min	Şekil	Plaka
Grup Sayısı:	1	Alt Grup Sayısı:	1

İsim	Kopma_Kuvvet	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	%
1no-cekme1	42543.8	531.797	29.4430	42.0614
Ortalama	42543.8	531.797	29.4430	42.0614
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Kopma_Şekil Değişimi	Kopma_Strain	Kopma_Zaman	Max_Kuvvet
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	mm	%	sec	N
1no-cekme1	29.4430	42.0614	441.650	47409.4
Ortalama	29.4430	42.0614	441.650	47409.4
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Max_Gerilme Tüm Alan Hesaplaması	Max_Uzama Tüm Alan Hesaplaması	Max_Yüzde Uzama Tüm Alan Hesaplaması	Max_Şekil Değişimi Tüm Alan Hesaplaması
Parametreler	N/mm2	mm	%	mm
Birim	N/mm2	mm	%	mm
1no-cekme1	592.617	27.7700	39.6714	27.7700
Ortalama	592.617	27.7700	39.6714	27.7700
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Max_Strain Tüm Alan Hesaplaması	Max_Zaman Tüm Alan Hesaplaması	YS1_Kuvvet 0.2 %	YS1_Gerilme 0.2 %
Parametreler	%	sec	N	N/mm2
Birim	%	sec	N	N/mm2
1no-cekme1	39.6714	416.550	--	--
Ortalama	39.6714	416.550	--	--
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	--	--



Şekil E2.1. 1 numaralı plaka çekme deneyi sonuçları

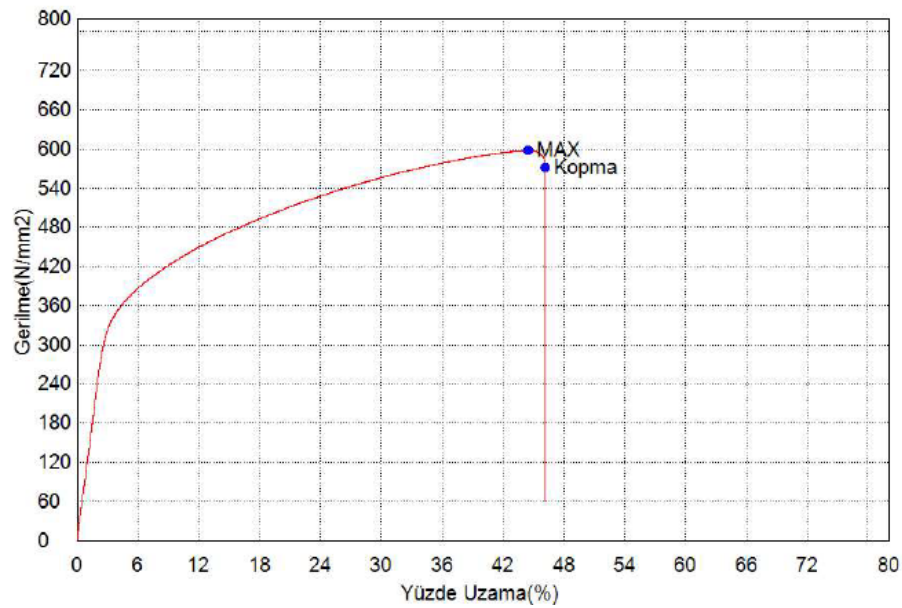
Anahtar Kelime		Ürün Adı	2 nolu plaka
Test Dosyası Adı	2 nolu plaka	Metot Dosya Adı	cekme.xmai
Rapor Tarihi	19/05/2019	Test Tarihi	19/05/2019
Test Modu	Tek	Test Tipi	Çekme
Hız	5mm/min	Şekil	Plaka
Grup Sayısı:	1	Alt Grup Sayısı:	1

İsim	Kopma_Kuvvet	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	%
2no-cekme1	45737.5	571.719	32.3350	46.1929
Ortalama	45737.5	571.719	32.3350	46.1929
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Kopma_Şekil Değişimi	Kopma_Strain	Kopma_Zaman	Max_Kuvvet
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	mm	%	sec	N
2no-cekme1	32.3350	46.1929	485.050	47834.4
Ortalama	32.3350	46.1929	485.050	47834.4
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Max_Gerilme	Max_Uzama	Max_Yüzde Uzama	Max_Şekil Değişimi
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N/mm2	mm	%	mm
2no-cekme1	597.930	31.1480	44.4971	31.1480
Ortalama	597.930	31.1480	44.4971	31.1480
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Max_Strain	Max_Zaman	YS1_Kuvvet	YS1_Gerilme
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	0.2 %	0.2 %
Birim	%	sec	N	N/mm2
2no-cekme1	44.4971	467.250	--	--
Ortalama	44.4971	467.250	--	--
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	--	--



Şekil E2.2. 2 numaralı plaka çekme deneyi sonuçları

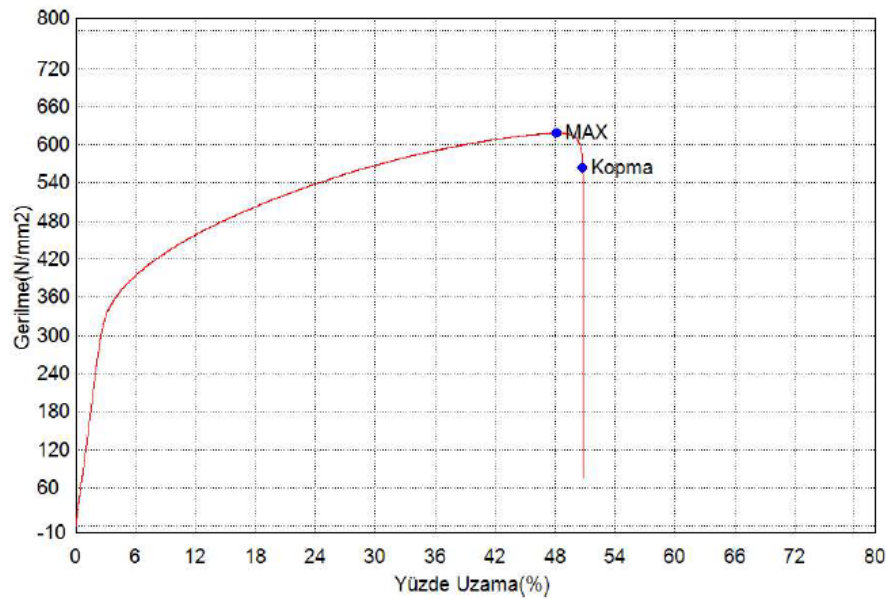
Anahtar Kelime		Ürün Adı	3 nolu plaka
Test Dosyası Adı	3 nolu plaka	Metot Dosya Adı	cekme.xmai
Rapor Tarihi	19/05/2019	Test Tarihi	19/05/2019
Test Modu	Tek	Test Tipi	Çekme
Hız	5mm/min	Şekil	Plaka
Grup Sayısı:	1	Alt Grup Sayısı:	1

İsim	Kopma_Kuvvet	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	%
3no-cekme1	45131.3	564.141	35.5460	50.7800
Ortalama	45131.3	564.141	35.5460	50.7800
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Kopma_Şekil Değişimi	Kopma_Strain	Kopma_Zaman	Max_Kuvvet
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	mm	%	sec	N
3no-cekme1	35.5460	50.7800	533.200	49496.9
Ortalama	35.5460	50.7800	533.200	49496.9
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Max_Gerilme	Max_Uzama	Max_Yüzde Uzama	Max_Şekil Değişimi
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N/mm2	mm	%	mm
3no-cekme1	618.711	33.7260	48.1800	33.7260
Ortalama	618.711	33.7260	48.1800	33.7260
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Max_Strain	Max_Zaman	YS1_Kuvvet	YS1_Gerilme
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	0.2 %	0.2 %
Birim	%	sec	N	N/mm2
3no-cekme1	48.1800	505.900	--	--
Ortalama	48.1800	505.900	--	--
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	--	--



Şekil E2.3. 3 numaralı plaka çekme deneyi sonuçları

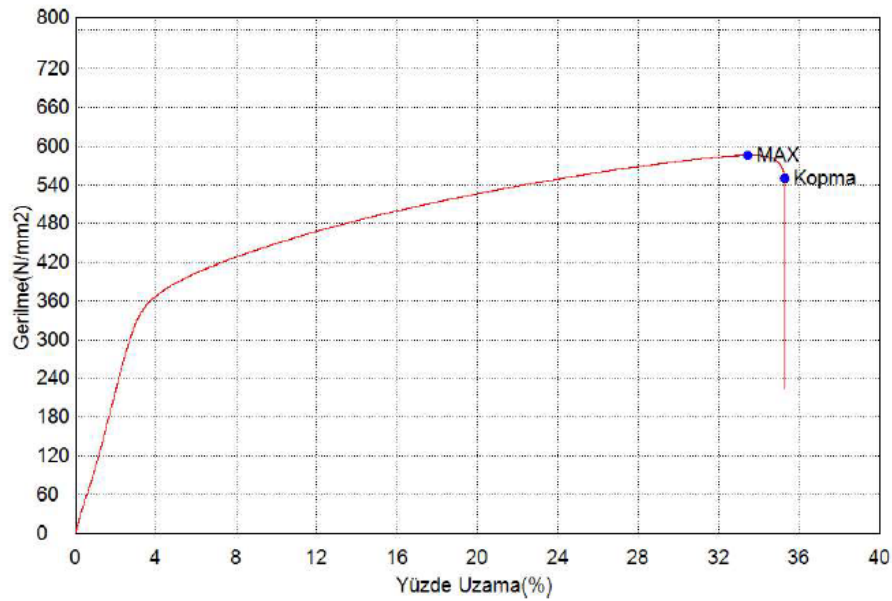
Anahtar Kelime		Ürün Adı	4 nolu plaka
Test Dosyası Adı	4 nolu plaka	Metot Dosya Adı	
Rapor Tarihi	18/05/2019	Test Tarihi	18/05/2019
Test Modu	Tek	Test Tipi	Çekme
Hız	5mm/min	Şekil	Plaka
Grup Sayısı:	1	Alt Grup Sayısı:	1

İsim	Kopma_Kuvvet	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	%
4no-çekme1	43993.8	549.922	24.6990	35.2843
Ortalama	43993.8	549.922	24.6990	35.2843
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Kopma_Şekil Değişimi	Kopma_Strain	Kopma_Zaman	Max_Kuvvet
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	mm	%	sec	N
4no-çekme1	24.6990	35.2843	370.500	46865.6
Ortalama	24.6990	35.2843	370.500	46865.6
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Max_Gerilme	Max_Uzama	Max_Yüzde Uzama	Max_Şekil Değişimi
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N/mm2	mm	%	mm
4no-çekme1	585.820	23.4390	33.4843	23.4390
Ortalama	585.820	23.4390	33.4843	23.4390
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Max_Strain	Max_Zaman	YS1_Kuvvet	YS1_Gerilme
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	0.2 %	0.2 %
Birim	%	sec	N	N/mm2
4no-çekme1	33.4843	351.600	--	--
Ortalama	33.4843	351.600	--	--
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	--	--



Şekil E2.4. 4 numaralı plaka çekme deneyi sonuçları

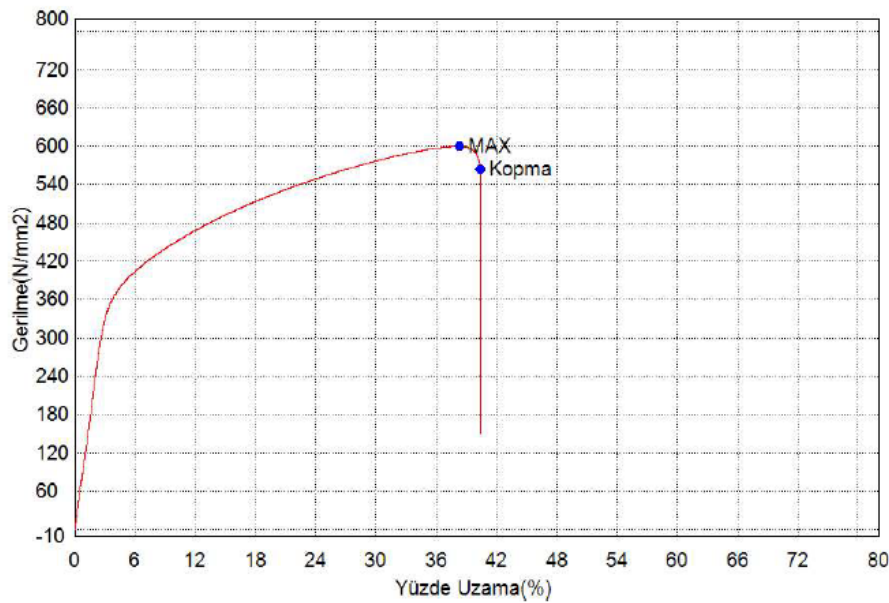
Anahtar Kelime		Ürün Adı	5 nolu plaka
Test Dosyası Adı	5 nolu plaka	Metot Dosya Adı	cekme.xmai
Rapor Tarihi	19/05/2019	Test Tarihi	19/05/2019
Test Modu	Tek	Test Tipi	Çekme
Hız	5mm/min	Şekil	Plaka
Grup Sayısı:	1	Alt Grup Sayısı:	1

İsim	Kopma_Kuvvet	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	%
5no-cekme1	45125.0	564.063	28.2780	40.3971
Ortalama	45125.0	564.063	28.2780	40.3971
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Kopma_Şekil Değişimi	Kopma_Strain	Kopma_Zaman	Max_Kuvvet
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	mm	%	sec	N
5no-cekme1	28.2780	40.3971	424.200	48021.9
Ortalama	28.2780	40.3971	424.200	48021.9
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Max_Gerilme	Max_Uzama	Max_Yüzde Uzama	Max_Şekil Değişimi
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N/mm2	mm	%	mm
5no-cekme1	600.273	26.8250	38.3214	26.8250
Ortalama	600.273	26.8250	38.3214	26.8250
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Max_Strain	Max_Zaman	YS1_Kuvvet	YS1_Gerilme
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	0.2 %	0.2 %
Birim	%	sec	N	N/mm2
5no-cekme1	38.3214	402.400	--	--
Ortalama	38.3214	402.400	--	--
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	--	--



Şekil E2.5. 5 numaralı plaka çekme deneyi sonuçları

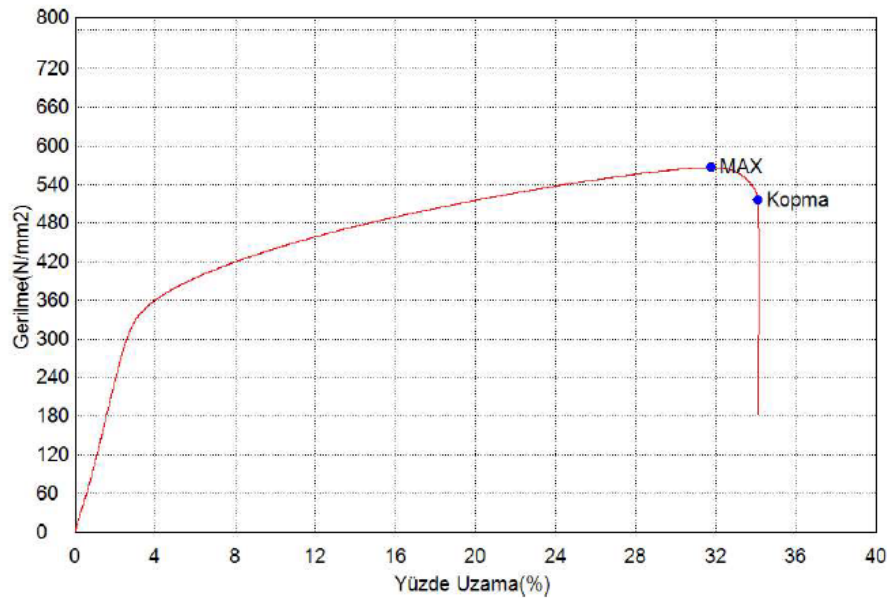
Anahtar Kelime		Ürün Adı	6 nolu plaka
Test Dosyası Adı	6 nolu plaka	Metot Dosya Adı	cekme.xmai
Rapor Tarihi	19/05/2019	Test Tarihi	19/05/2019
Test Modu	Tek	Test Tipi	Çekme
Hız	5mm/min	Şekil	Plaka
Grup Sayısı:	1	Alt Grup Sayısı:	1

İsim	Kopma_Kuvvet	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	%
6no-cekme1	41331.3	516.641	23.8900	34.1286
Ortalama	41331.3	516.641	23.8900	34.1286
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Kopma_Şekil Değişimi	Kopma_Strain	Kopma_Zaman	Max_Kuvvet
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	mm	%	sec	N
6no-cekme1	23.8900	34.1286	358.350	45309.4
Ortalama	23.8900	34.1286	358.350	45309.4
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Max_Gerilme	Max_Uzama	Max_Yüzde Uzama	Max_Şekil Değişimi
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N/mm2	mm	%	mm
6no-cekme1	566.367	22.2300	31.7571	22.2300
Ortalama	566.367	22.2300	31.7571	22.2300
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Max_Strain	Max_Zaman	YS1_Kuvvet	YS1_Gerilme
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	0.2 %	0.2 %
Birim	%	sec	N	N/mm2
6no-cekme1	31.7571	333.450	--	--
Ortalama	31.7571	333.450	--	--
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	--	--



Şekil E2.6. 6 numaralı plaka çekme deneyi sonuçları

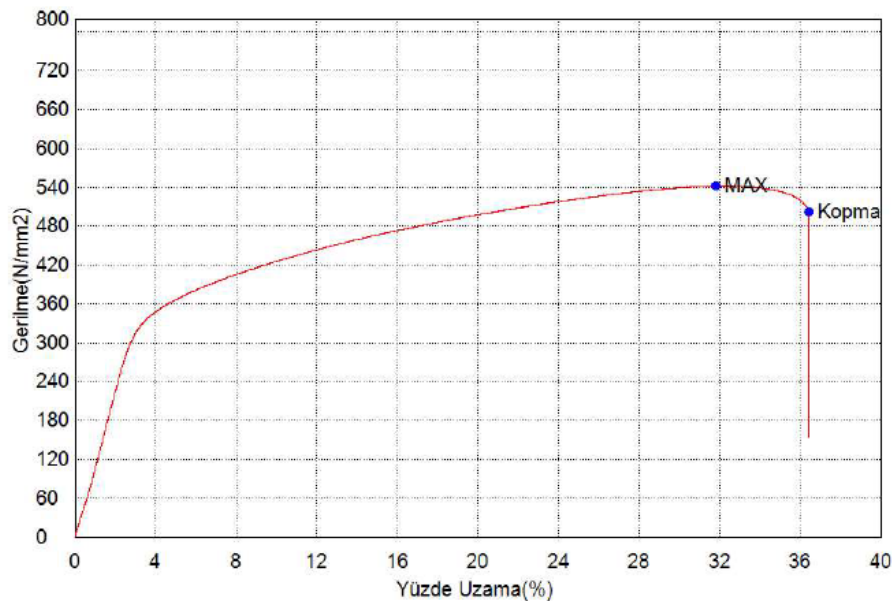
Anahtar Kelime		Ürün Adı	7 nolu plaka
Test Dosyası Adı	7 nolu plaka	Metot Dosya Adı	cekme.xmai
Rapor Tarihi	18/05/2019	Test Tarihi	18/05/2019
Test Modu	Tek	Test Tipi	Çekme
Hız	5mm/min	Şekil	Plaka
Grup Sayısı:	1	Alt Grup Sayısı:	1

İsim	Kopma_Kuvvet	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N	N/mm2	mm	%
7no-cekme1	40118.8	501.484	25.5070	36.4386
Ortalama	40118.8	501.484	25.5070	36.4386
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Kopma_Şekil Değişimi	Kopma_Strain	Kopma_Zaman	Max_Kuvvet
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	mm	%	sec	N
7no-cekme1	25.5070	36.4386	382.600	43356.3
Ortalama	25.5070	36.4386	382.600	43356.3
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Max_Gerilme	Max_Uzama	Max_Yüzde Uzama	Max_Şekil Değişimi
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması
Birim	N/mm2	mm	%	mm
7no-cekme1	541.953	22.2770	31.8243	22.2770
Ortalama	541.953	22.2770	31.8243	22.2770
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

İsim	Max_Strain	Max_Zaman	YS1_Kuvvet	YS1_Gerilme
Parametreler	Tüm Alan Hesaplaması	Tüm Alan Hesaplaması	0.2 %	0.2 %
Birim	%	sec	N	N/mm2
7no-cekme1	31.8243	334.150	--	--
Ortalama	31.8243	334.150	--	--
Standart Sapma	--	--	--	--
Aralık	0.00000	0.00000	--	--



Şekil E2.7. 7 numaralı plaka çekme deneyi sonuçları

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : OLKUN, Orçun
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 24.01.1980 - Amasya
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (532) 502 27 63
E-posta : oolkun@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Kocaeli Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi	2004
Lise	Samsun Anadolu Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-	Türk Standardları Enstitüsü	İnceleme Uzmanı
2012-2014	Erkin Mühendislik	Mühendis (Sahip)
2010-2012	Kuşçuoğlu Karoser Ltd.Şti.	Üretim Müdürü
2008-2010	Cazgır Isı Sistemleri İnş. A.Ş.	Kalite Kontrol Müdürü
2005-2008	Alkanlar Doğalgaz İnşaat Mlz.	Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce (YÖK DİL: 42)