



**SIFIRALTI VE TEMPERLEME İŞLEMİNİN LAZER
KAYNAKLI AISI304 ÇELİĞİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ**

Aydın ERKARSLAN

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Serdar GÜLDİBİ**

**SIFIRALTI VE TEMPERLEME İŞLEMİNİN LAZER KAYNAKLI AISI304
ÇELİĞİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Aydın ERKARSLAN

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Serdar GÜLDİBİ

T.C

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Haziran 2023

Aydın ERKARSLAN tarafından hazırlanan “SIFIR ALTI VE TEMPERLEME İŞLEMİNİN LAZER KAYNAKLI AISI304 ÇELİĞİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Serdar GÜLDİBİ
Tez Danışmanı, Teknoloji Fakültesi

.....

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 23.06.2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Serdar GÜLDİBİ (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim TEMİZ (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Oğuz KOÇAR (ZBEÜN)

ONLİNE

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm Kuzu

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Aydın ERKARSLAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SIFIR ALTI VE TEMPERLEME İŞLEMİNİN LAZER KAYNAKLI AISI304 ÇELİĞİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Aydın ERKARSLAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Serdar GÜLDİBİ

Haziran 2023, 60 sayfa

Bu çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik malzemeler lazer kaynağı ile birleştirilmiştir. Lazer kaynak işlemi diğer geleneksel kaynak yöntemlerine kıyasla lazer ışınının kolay yönlendirme imkânı ve yüksek miktarda enerjinin dar ve küçük noktalara nüfuzyeti nedenleriyle ileri bir kaynak yöntemidir. Kaynak işlemi sonrası üç farklı numune grubu oluşturulmuştur. Birincisi kaynak sonrası herhangi bir işlem uygulanmamış ve referans numune olarak kullanılmıştır. İkinci numune grubu 12 ve 24 saat süreyle kriyojenik işlem uygulanmıştır. Üçüncü numune grubuna ise 12 ve 24 saat kriyojenik işlem sonrası temperleme işlemi uygulanmıştır. Kriyojenik işlem ve temperlemenin etkisini görebilmek için, kaynak sonrası malzemelerin mikroyapıları ve mekanik özellikleri (akma ve çekme dayanımı, tokluk ve mikro sertlik) incelenmiştir. Lazer kaynağı ile yapılan birleştirmelerde lazerin çok kısa sürede ve çok dar bir alanda kaynak havuzu oluşturması nedeniyle mikroyapı değişiklikleri dar bir alanda meydana

gelmiştir. 304 paslanmaz çelik mikroyapısında östenit fazı olmasına rağmen, kaynak bölgesinde hızlı soğumanın etkisi ile martenzit fazı görülmüştür. Kaynak sonrası en yüksek kaynak bölgesi sertlik değeri 24 saat -140°C de kriyojenik işleme tabi tutulmuş ve sonrasında 140°C sıcaklıkta 12 saat temperlenmiş numunede elde edilmiştir. En yüksek çekme dayanımı ise referans numune hariç tutulursa aynı numunede elde edilmiştir. Elde edilen bulgular göstermektedir ki; kaynak işlemi sonrası sıralı şekilde uygulanan kriyojenik işlem ve temperleme mekanik özellikleri iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Lazer Kaynağı, Kriyojenik Derin Soğutma, Temperleme,
Mikroyapı ve Mekanik Özellikler

Bilim Kodu : 91415

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CRYOGENIC COOLING AND TEMPERING TREATMENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF LASER WELDING AISI304 STEEL

Aydın ERKARSLAN

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Industrial Design Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Ahmet Serdar GÜLDİBİ

June 2023, 60 pages

In this study, AISI 304 stainless steel materials were joined using laser welding. Laser welding is an advanced welding method compared to other conventional welding techniques, due to its ability to easily direct the laser beam and deliver a high amount of energy to small and narrow areas. After the welding process, three different sample groups were created. The first group remained untreated after welding and was used as a reference sample. The second sample group underwent cryogenic treatment for 12 and 24 hours. The third sample group underwent cryogenic treatment for 12 and 24 hours, followed by tempering.

To observe the effects of cryogenic treatment and tempering, the microstructures and mechanical properties (yield and tensile strength, toughness, and micro-hardness) of the materials after welding were examined. In laser welding, the rapid formation of a

welding pool by the laser in a very short time and a very narrow area caused microstructure changes to occur in a confined region. Although the microstructure of 304 stainless steel consists of the austenite phase, the effect of rapid cooling in the welding zone resulted in the presence of the martensite phase.

The highest hardness value in the welding zone was obtained from the sample that underwent cryogenic treatment at -140°C for 24 hours, followed by tempering at 140°C for 12 hours. The highest tensile strength was also achieved in the same sample, except for the reference sample. The findings indicate that the sequential application of cryogenic treatment and tempering after the welding process improved the mechanical properties.

Key Word : Laser Welding, Cryogenic Deep Cooling, Tempering, and
Mechanical properties

Science Code : 91415

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, sayın tez hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Serdar GÜLDİBİ' ye, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. Mustafa YAŐAR'a, numune malzemelerin temininde ve kesiminde yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Aydın DURMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

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

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	4
BÖLÜM 3	11
3.1. LAZER FİZİĞİ.....	11
BÖLÜM 4	14
LAZER KAYNAK YÖNTEMİ	14
4.1. LAZER KAYNAK TANIMI.....	14
4.1.1 Lazer Kaynağı Nasıl Yapılır?	16
4.1.2 Lazer Kaynak Yönteminin Avantajları	16
4.1.3 Lazer Kaynak Yönteminin Dezavantajları.....	17
4.2. LAZER KAYNAĞINDA TEMEL KAYNAK PARAMETRELERİ	18
BÖLÜM 5	20
ÇELİKLERDE ISIL İŞLEM	20

	<u>Sayfa</u>
5.1. GELENEKSEL ISIL İŞLEMLER.....	20
5.1.2 Gerilim Giderme Tavlamaşı	20
5.1.3 Normalizasyon	20
5.1.4 Sertleştirme	21
5.1.5 Temperleme	21
5.1.6 Östemperleme	21
5.1.7 Martemperleme.....	22
5.1.8 Nitrasyon	22
5.1.9 Karbürizasyon (Sementasyon).....	24
5.1.10 Karbo-Nitrüleme.....	24
5.1.11 Nitro-Karbürizasyon	24
5.1.12 Oksidasyon.....	24
5.2. KRİYOJENİK İŞLEM.....	25
5.2.1 Kriyojenik İşlemin Avantajları.....	28
BÖLÜM 6	29
PASLANMAZ ÇELİKLER.....	29
BÖLÜM 7	33
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	33
7.1 MALZEME ÖZELLİKLERİ	33
7.2 LAZER KAYNAK CİHAZI, KAYNAK PARAMETRELERİ VE DOLGU TELİ.....	34
7.3 KRİYOJENİK ISIL İŞLEM, İŞLEM PARAMETRELERİ VE İŞLEM SIRASI.....	36
7.4 ÇEKME TESTİ CİHAZI VE ÇEKME TESTİ.....	38
7.5 MİKROYAPI GÖRÜNTÜLEME	40
7.6 MİKROSERTLİK ÖLÇME CİHAZI	42
BÖLÜM 8	43
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	43
8.1. ÇEKME DENEYİ	43
8.2. MİKROSERTLİK SONUÇLARI	47
8.3. MİKROYAPI SONUÇLARI	49

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 9	53
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Kendiliğinden emisyon.	11
Şekil 3.2 Yutmadan önce ve sonraki hali.....	12
Şekil 3.3 Tahrik edilmiş emisyon	12
Şekil.3.4 Lazer olayının şematik gösterimi.....	13
Şekil 4.1 Lazer kaynak olayının gösterimi.....	15
Şekil 4.2 Kalınlıklara göre karbonlu çelik levhalar için kaynak hızının (CO2) lazer gücüne göre değişimi.	18
Şekil 4.3 Odaklama düzeneği şekilsel görünümü.	19
Şekil 5.1 Nitrasyon derinliğinin tutma süresine bağlı değişimi.	23
Şekil 5.2 Alaşım elementlerinin nitrasyon sonrası yüzey sertliğine etkisi.	23
Şekil 5.3 Kriyogenik işlemin yapıldığı azot tankı görünümü.	27
Şekil 5.4 Kriyogenik işlemin yapıldığı azot tankında bulunan bilgisayar kontrollü kamara.....	27
Şekil 6.1 Fe-Cr (demir-krom) denge diyagramı.....	30
Şekil 6.2 Fe-C (demir-karbon), Fe-Cr ve Fe-Ni-Cr (demir-nikel-krom)	30
Şekil 6.3 Krom-nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür çökmesi	31
Şekil 6.4 Krom-nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür, titanyum karbür ve neodinyum karbür çökmesi.....	32
Şekil 7.1 Numune ölçüleri.....	33
Şekil 7.2 Numunelerin kaynağında kullanılan kaynak makinesi.	35
Şekil 7.3 Kriyojenik ısıtma işlem tankı.....	37
Şekil 7.4 Kademeli soğutma işleminin kontrol edildiği kriyojenik tank operasyon ekranı.....	38
Şekil 7.5 Zwick Roell Z600 Çekme Deneyi Test Cihazı	39
Şekil 7.6 Çekme Testi uygulaması.....	39
Şekil 7.7 DIN EN ISO 6892-1 çekme testi standardına uygun şekilde hazırlanmış deney numune ölçüleri.	40
Şekil 7.8 SEM Cihazı.....	40
Şekil 7.9 Kalıba alma işlemi	41
Şekil 7.10 Struers marka otomatik zımparalama makinesi.....	41

Sayfa

Şekil 8.1 Deney numuneleri çekme dayanımlarını gösterir tablo.....	44
Şekil 8.2 Deney numuneleri akma dayanımlarını gösterir tablo.....	45
Şekil 8.3 Deney numuneleri tokluk değerleri.	46
Şekil 8.4 Mikrosertlik Ölçüm bölgeleri	47
Şekil 8.5 Mikrosertlik değerleri	48
Şekil 8.6 24 saat kriyojenik işleme tabi tutulmuş numune fotoğrafı.....	49
Şekil 8.7 24 saat kriyojenik işleme tabi tutulmuş temperlenmiş numune fotoğrafı...	49
Şekil 8.8 12 saat kriyojenik işleme tabi tutulmuş numune fotoğrafı.....	50
Şekil 8.9 12 saat kriyojenik işleme tabi tutulmuş temperlenmiş numune fotoğrafı...	50
Şekil 8.10 Kaynaklı kriyojenik işleme tabi tutulmamış numune fotoğrafı.	50
Şekil 8.11 AISI 304 Malzeme mikroyapı fotoğrafı	51
Şekil 8.12 Kaynak bölgesinde oluşan mikroyapı.....	52
Şekil 8.13 Kaynak sonrası 24 saat kriyojenik işlem uygulanmış numunede ITAB bölgesi	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 7.1 AISI304 mekanik özellikleri.....	34
Çizelge 7.2 AISI304 kimyasal özellikleri	34
Çizelge 7.3 ALM 200 lazer kaynak makinesi teknik özellikleri.....	34
Çizelge 7.4 Lazer kaynak parametreleri.....	36
Çizelge 7.5 Kaynak Telinin Çapı ve Kimyasal Özellikleri.....	36
Çizelge 7.6 Kroyojenik işlem süreleri.....	37
Çizelge 7.7 Sertlik ölçme cihazı özellikleri	42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CE	: karbon eşitliği
W	: watt
A	: amper
Ar	: argon
He	: helyum
Al	: alüminyum
Si	: silisyum
C	: karbon
DP	: çift fazlı
Ti	: titanyum
V	: vanadyum
kW	: kilowatt
Cr	: krom
Mo	: molibden
Mg	: magnezyum
Sc	: sikandiyum
Zr	: zirkonyum
Mn	: mangan
N	: azot
CO ₂	: karbondioksit
Hz	: hertz
Fe	: demir
Cu	: bakır
P	: fosfor
S	: kükürt
J	: joule

KISALTMALAR

HRC	: Hardness Rockwell C (Rockwell sertlik değeri)
AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve elik Enstitüsü)
RSW	: Resistance spot welding (Direnç nokta kaynağı)
RLW	: Remote laser welding (Uzaktan lazer kaynağı)
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SAE	: Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Birliği)
HMK	: Hacim merkezli kübik
YMK	: Yüzey merkezli kübik
PVD	: Physical Vapour Deposition (Fiziksel buhar biriktirme)
MARGEM	: Karabük Üniversitesi Demir elik Enstitüsü Malzeme Araştırma Ve Geliştirme Merkezi
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
HV	: Hard vickers (Vickers sertlik değeri)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Paslanmaz çeliklerin başlıca kullanım alanları enerji, demiryolu taşımacılığı, denizcilik, ağır kimyasallar, havacılık ve otomotiv gibi alanlarda yaygın kullanıma sahiptir. Kullanım alanının bu kadar geniş olmasındaki başlıca özellikler şöyledir; korozyon önleyici özellikleri, mekanik özelliklerinin iyi olması ve sıcaklığa karşı direncinin yüksek olması gibi özellikleridir. Hâlihazırda paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan nokta direnç kaynağı, tungsten inert gaz (TIG) kaynağı, metal aktif gaz (MAG) ark kaynağı ve metal inert gaz (MIG) kaynağı aktif şekilde kullanılmaktadır. Fakat saydığımız kaynak teknolojilerindeki kaynak verimliliğinin düşüklüğü ve yüksek ısı deformasyonu gibi eksiklikler bulunmaktadır. Buna karşın olarak lazer kaynak teknolojisinde; yüksek kaliteli kaynak birleştirme, hızlı kaynak işleme ve iyi şekillendirilmiş kaynakların üretimi gibi avantajları bulunmaktadır. Bu nedenlerden ötürü paslanmaz çeliklerin kaynağında lazer kaynak teknolojisi daha fazla kullanılmaya başlanmıştır [1].

Günümüzde çok hızlı bir gelişme gösteren ve yaygın bir uygulama alanına sahip olan “lazerin” temelleri 1950 yıllarında Dicke tarafından nüfus terslemesi durumunu oluşturmak (pompalama işlemiyle uyarılmış atomların sayısını arttırmak) için, kısa süreli darbe kullanma fikri ortaya atılmıştır. Yapılan çalışmada bahsedilen nüfus terslemesi, kendiliğinden emisyon ile şiddetli bir patlatma üretmektedir [2]. 1959 yılına gelindiğinde ise Gordon tarafından lazeri oluşturacak Fabri – Perrot boşluğunu tasarlayarak konu ile ilgili ilk makaleyi yayınlamıştır [3]. 1958’de Schawlow ve Townes “Infrared and Optical Masers” başlıklı bir makale yayınlamıştır [4].

Özellikle lazer kaynağının yüksek kaynak ilerleme hızı, düşük ısı girdisi, dar kaynak dikliği vb. özelliklerinden dolayı otomobil/ uçak ve havacılık sanayinde, elektronik malzemeler, taşımacılık sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bundan dolayı

lazer kaynağının etkinliğini arttırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar lazer kaynağının malzemenin mekanik özelliklerine ve mikro yapısına etkisi ve kaynak parametrelerinin etkisi olmak üzere iki grupta toplanabilir.

Lazer kaynağında kaynaklanacak malzemelere etki eden enerji transferi diğer geleneksel kaynak yöntemlerinden çok farklıdır. Lazer ışınının yoğunlaştırıldığı alan çok küçük olduğundan malzemenin odaklanma bölgesinde ergime ve buharlaşma meydana gelir. Lazerin enerjisi sayesinde plazmada oluşan ısı, erimeye başlayan malzemeye geçer ve iş parçasına iletilmiş olur. Malzemeye uygulanan düşük ısı girdisi ile oluşan kaynak dikişinde malzemenin ısının tesiri altında kalan bölge çok dar sınırlar içinde kalır.

Geleneksel kaynak yöntemlerinin uygulaması zor yada imkansız olduğu bölgelere lazer kaynak yöntemi ile ulaşmak mümkün ve kaynak işlemi kolaydır. Lazer kaynak yönteminde ısı yoğunluğu yüksek, ışının odaklanma çapı küçüktür. Lazer kaynağının bu özelliği sayesinde kaynak bölgesinde içyapı değişimi dar bir bölgede olduğu gözlenmiştir.

Kaynak sonrası kaynak bölgesinde ve ana metalde mukavemet, tokluk, korozyon direnci ve artık gerilim gibi oluşacak etkileri optimize etmek amaçlı ısıl işlem uygulamaları yapılır. Kriyojenik ısıl işlem aşınma direncini artırmada kullanılan bir ısıl işlem yöntemidir. Kaynaklı birleştirmelerde kriyojenik işlemin etkisini görmek amaçlı bu ısıl işlem tipi denenmiştir.

Kriyojenik ısıl işlem soğutularak ortamda kalan malzemenin tümünde yapısal değişme olacak kadar kalması ve daha sonra ortamdaki sıcaklığına kadar ısınması kademelerini içerir. Geleneksel ısıl işlemin devamı olan kriyojenik işlem malzemeye yüksek mekanik özellikler kazandırmasına olanak sağlamaktadır. Kriyojenik işlem malzemeye üstün özellikler katmasına karşın ülkemizde çok az kullanılmaktadır.

Kriyojenik ısıl işlemin malzeme üzerindeki belirgin etkileri; kullanım ömürleri uzar, aşınma dirençleri artar, tokluğu ve çekme mukavemeti artar, gevrekliği azalır, 1-3

HRC sertlik artışı görülür, boyutsal stabiliteleri artar, boyutsal stabilite sayesinde kaplamalarda daha iyi tutunma sağlar, sadece malzeme yüzeyine değil tümüne etkir [5].

Bu çalışmanın amacı endüstride kullanımı çok yoğun olan AISI304 malzemenin lazer kaynak yöntemi kullanarak birleştirilmesi ve ardından kriyojenik ısıt işleme tabi tutulan malzemenin mekanik özelliklere etkisinin araştırılması ve incelenmesidir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Çalığülü (2009) AISI 430 – 1010, AISI 304 –1010 ve AISI 430 – 304 malzeme çiftlerini, farklı kaynak güçlerinde (2000, 2250 ve 2500 W) ve farklı kaynak hızlarında (100, 200 ve 300 cm/dk) argon ve helyum koruyucu gaz atmosferlerinde, lazer kaynak yöntemi kullanarak birleştirmiştir. Kaynak kalitesinin belirlenebilmesi için mekanik testler ve metalografik özelliklerini incelemiştir. Sonuçlara göre AISI 430/AISI 1010 malzeme çiftinde 2250 W kaynak gücünde ve 200 cm/dk. ilerleme hızında, AISI 304/AISI 1010 malzeme çiftinde 2500 W kaynak gücünde ve 100 cm/dk. ilerleme hızında, AISI 430/AISI 304 malzeme çiftinde 2500 W kaynak gücünde ve 100 cm/dk ilerleme hızında, helyum atmosferi altında yapılan birleştirmelerde çekme testleri kıyaslandığında en iyi kaynak kalitesinin elde edildiği belirtmiştir [6].

Köse ve Topal (2020) yapmış oldukları çalışmada AISI 410S ferritik paslanmaz çelik sacları iki farklı plazma ark gücü (20, 22 A), iki farklı koruyucu gaz (Argohid-5/ Saf Argon) ve 1 mm/s kaynak hızı kullanarak plazma ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Birleştirme sonrasında ısıl işlemlili ve ısıl işlemsiz birleştirmenin mekanik özelliklere ve mikro yapıya olan etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak kaynaklı birleştirme sonucunda çekme dayanımında ve sertlikte azalma tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak ısı girdisine bağlı olarak tane irileşmesinin sebep olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ısıl işlem uygulanmış numunelerde sertlik ve çekme dayanımı düştüğü ve ısıl işlemsiz birleştirmelere göre daha düşük bulunurken, sünekliğin arttığı belirtilmiştir [8].

Taşkın ve Çalığülü (2009) AISI 2205 dubleks paslanmaz çelik levhaları 90 cm/dk kaynak hız, 4000 W lazer gücü ve Ar+He gaz koruyucu gaz ile yapılan lazer kaynak birleştirmeleri yapılmıştır. Mekanik ve mikro yapı incelemelerinin sonucunda dubleks paslanmaz çelik kaynak metali ve ısı tesiri altındaki bölgenin ferrit lehine değiştiğini

tespit etmişlerdir. Bunun sebebi olarak kaynak bölgesinin yüksek soğuma oranından etkilenmesi olarak belirtmişlerdir [7].

Köse ve Kaçar (2016) otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan DP1000 malzemeler direnç nokta kaynağı (RSW) ve uzaktan lazer kaynağı (RLW) yöntemleri kullanılarak birleştirilmiştir. Ve sertlik ve çekme mukavemeti değerlendirilmiştir. Sonuç olarak kaynaklı numunelerde yaklaşık olarak %30'luk bir mukavemet kaybı belirlenmiştir. Sertlik deney sonuçlarının değerlendirilmesinde, kaynaklı malzemede sertlik değeri düşük iken, kaynaklı metalde ve ITAB' de hızlı soğuma olması sonucu oluşan yapılardan dolayı ana metalden daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Ayrıca kaynaklı numunelerin yorulma davranışları incelenmiş ve her iki kaynak yönteminde de aynı yorulma davranışları belirlenmiştir [9].

Köse ve Karaca (2019) Ti6Al4V titanyum alaşımlarının Nd:YAG lazer kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliği üzerine yaptıkları çalışmada kaynak öncesi ve sonrası ısıl işlem uygulaması yapmışlardır. Yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan numunelerin mikro kaba taneli bir oluşum gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca süneklik ve tokluk değerleri yaşlandırma uygulanan numunelerde artarken, sertlik ve çekme dayanımları yaşlandırma uygulanmayan numunelerde artış göstermiştir [12].

Altuğ ve Erdem (2015) yaptıkları çalışmada 3 mm kalınlığındaki Ti6Al4V alaşımı plakaların 140 A akım ve farklı frekans değerleri kullanılarak lazer kaynağı ile birleştirilerek frekans değerlerinin mikro sertliğe, mikro yapıya ve tel erozyonla işlenebilirliğine etkisi araştırmışlardır [13].

Kilerci ve Köksal (2011) çalışmalarında titanyum levhaların (2.5 mm kalınlığında ve ticari saflıkta) lazer kaynağı ve TIG kaynağı ile birleştirilerek mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak lazer kaynaklı numunelerin mukavemetlerinin TIG kaynaklı numunelere göre yüksek olduğunu, sertlik değerleri incelendiğinde ise TIG kaynaklı numunelerde daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Sonuçlara göre konstrüksiyonlarda yapılarda titanyum levhaların birleştirilmelerinin de lazer kaynağının kullanılmasını tavsiye etmişlerdir [14].

Tunçel (2020) yaptığı çalışmada DP800-DP800 fiber, DP800-DP800 Nd:YAG, DP1200-DP1200 fiber, DP1000-DP1000 fiber, ve Usibor1500-Usibor1500 farklı lazer kaynak parametreleri kullanarak birleştirilmiş ve her bir parametrenin mekanik özelliklere ve mikro yapıya etkileri incelenmiştir [15]

Yüce (2018) yaptığı çalışmada iki farklı malzemeyi (6082-T6 AL ve DP600 yüksek mukavemetli çelik) lazer kaynağı kullanarak birleştirmiştir. Kaynak sırasında lazer gücü sabit tutulmuş ilerleme hızı değiştirilerek meydana gelen ısı girdisinin mekanik ve mikro yapıya olan özelliklerini incelemiştir [16].

Akkurt vd. (2012) havacılık ve uzay çalışmalarında yaygın olarak kullanılan AA 2024'ün belirlenen farklı üç parametreleri kullanılarak (lazer kaynağı Işın Güç Yoğunluğu (kW/mm^2), Lazer Gücü (kW) ve Darbe Enerjisi (Joule) lazer kaynağı yapılmıştır. Lazer kaynaklı birleştirmelerde yoğun gaz boşlukları tespit etmişlerdir. Bu boşlukların buharlaşma ve sıçramalardan kaynakladığını belirterek uygun parametre seçimi ile azaltılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca sıçramaların lazer gücünden değil, lazer hızı ve buna bağlı olarak yüksek ısı girdisinin neden olduğu ifade etmişlerdir [17].

Taşkın ve Çalığülü (2018) çalışmalarında argon ve helyum koruyucu gaz atmosferlerinde, kaynak gücü 2000-2250-2500 W ve ilerleme hızı 100 cm/dk olarak AISI 430/1010 çelik çiftinin lazer kaynağında kaynak gücünün birleşmeye etkisi incelenmiştir. Artan kaynak gücü ile birlikte mekanik özelliklerde iyileşme tespit etmişlerdir. Kaynak kalitesinin en iyi olduğu kaynak parametreleri olarak sabit ilerleme hızında kaynak gücü 2500 W olarak elde ettiklerini belirtmişlerdir [18].

Çakmakkaya vd. (2020) yaptıkları çalışmada ST 622 ve DP600 lazer kaynağında farklı parametrelerin mekanik ve mikro yapıya olan etkilerini incelemiştir. Bunun için kaynak sonrası kaynak dikişi, kaynak kesiti ve sertlik değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak kaynak ilerleme hızının artmasıyla birlikte ITAB'da sertlik dağılımında düzensizlikler ve kaynak dikiş genişliğinde, kaynak nüfuziyetinde bir azalma tespit etmişlerdir. Ayrıca lazer gücünün artması ile kaynak dayanımının, kaynak dikişinin genişliğinin ve kaynak nüfuziyetinin arttığını belirtmişlerdir [19].

Özcan vd. (2004) lazer kaynak yönteminin avantajlarından bahsederek sac malzemelerin lazer kaynağını etkileyen parametreleri belirlenmesinin öneminden bahsetmişlerdir [18]. Diğer bir çalışmada AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin (1 mm kalınlığında) lazer kaynağı birleştirerek çekme mukavemeti, kopma uzamaları ve kopma yüzeyinin yapısını incelenerek karşılaştırılmıştır [20].

Benyounis vd. (2005) 1.5 kw çıkış gücüne sahip lazer kaynağı kullanarak kaynak dikiş profilinin ile lazer kaynak parametrelerinin ve ısı girdisinin arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Sonuç olarak lazer gücünün azalması veya kaynak hızının artmasıyla ısı girdisinin azaldığını ve kaynak nüfuziyetin azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca kaynak hızının azalmasıyla kaynak dikişi ve ITAB genişliğinin azaldığını tespit etmiştir [22].

Zambon vd. (2006) süper östenitik AISI 904L paslanmaz çelik malzemelerin lazer kaynağı sonrası mikro yapılarını, kompozisyonlarını ve kalıntı gerilmelerini incelemiştir. ITAB bölgesinde sertlik değerlerinin azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca kaynak hızının artmasıyla sertlik değerlerinin azaldığını belirtmiştir [23]

Kriyojenik işlem, çelikler, dökme demirler, demir dışı metaller, alaşımlar, karbürler, plastikler, seramikler olmak üzere geniş bir uygulama alanına sahiptir. Ayrıca kroyojenik işlemin malzeme üzerinde kalıntı östenit fazını martenzite dönüştürme, karbür formlarındaki değişme, tane yapısında incelme ve kalıntı gerilmelerin giderilmesi gibi etkileri vardır. Bu yüzden sanayi uygulamalarında hızlı bir şekilde yayılmış ve araştırmacıların dikkatini çekmeyi başarmıştır.

Kam ve Saruhan (2018) derin kroyojenik işlemin AISI 4140 (42CrMo4) çeliğin mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada geleneksel ısıl işlem uygulanmış ve farklı bekleme sürelerinde (12, 24, 36 ve 48 saat) - 140 °C derin kroyojenik işlem uygulamışlardır. Ayrıca kroyojenik işlem sonrası numunelere temperleme (200 °C) işlemi uygulamışlardır. Hazırlanan numunelerin mekanik ve mikro yapı özelliklerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak kriyojenik işlem sonrası uygulanan temperleme işleminin AISI 4140 çeliğin mekanik özellikleri üzerinde önemli etkileri olduğunu, sadece kriyojenik işlemlili numunelerde ise sertlik artışı ve

çekme dayanımında artış olduğunu belirtmişlerdir. Bekleme sürelerine göre değerlendirildiğinde ise en uygun bekleme süresinin 36 saat olduğunu tespit etmişlerdir [24].

Şirin vd. (2018) çalışmalarında ferritik paslanmaz çeliğinin sıg kriyojenik işlemin (-80°C) sonrası mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bekleme süresi olarak 0, 6, 12 ve 24 saat olarak belirmişlerdir. Sonuç olarak koryojenik işlem sonrasında AISI 430 çeliğinin mekanik özelliklerini arttırdığı ve en iyi bekleme süresinin 24 saat olduğu tespit etmişlerdir [25]. Arslan vd. (2017) derin kroyojenik işlemin AISI D3 çeliğinin mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır [26]. Höke vd. (2014) yaptıkları çalışmada kriyojenik soğutma işlemin SAE 4140 çeliğinin mekanik özelliklerine etkisi incelemişler ve soğutma hızı 2°C/dk, -140°C'de 24 saat belirlenmiştir. Sonrasında ıslah işlemi, kriyojenik işlem ve menevişleme işlemi uygulanmış ve numunelerde tokluğun arttığı ayrıca kriyojenik işlemin mikrosertlik olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir [27]. Nas ve Akıncıoğlu (2019) nikel esaslı süper alaşıma kroyojenik işlem uygulayarak elektro erozyon operasyonu sırasında performans değerlendirmesi yapmışlardır [28]. Uzun (2014) soğuk iş takım çeliğinin aşınma davranışı incelemek için kroyojenik işlem görmüş ve farklı sıcaklıklarda temperlemişlerdir. Aşınma deneyleri, kuru ortamda 10 ve 20 N yükler altında, 0.3 m/s kayma hızında ve oda sıcaklığında ball-on-disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Aşınma bölgelerinin SEM ile görüntüleri alınarak değerlendirilmiştir [29].

Bansala vd. (2020) Al7050-T7451 malzeme çiftlerinin sürtünme karıştırma kaynağı ile farklı karıştırıcı uç dönme hızı (1000, 1150 ve 1300 rpm) ve farklı kaynak hızlarında (26 ve 30 mm/dk) birleştirmişlerdir. Kaynak işleminden sonra numunelere derin kroyojenik işlem uygulanmıştır. Daha sonra kaynak bağlantılarının mikro yapısı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kroyojenik işlem görmüş numunelerde sertlik değerlerinin daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca kaynak bölgesinde akma dayanımı, % uzama ve darbe dayanımında artış belirlemişlerdir [30].

Malopheyev vd. (2014) yaptıkları çalışmada kroyojenik işlemin sürtünme karıştırma kaynağının birleştirilen Al – Mg – Sc – Zr alaşımının mikro yapısına etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak kroyojenik işlem görmüş sürtünme-karıştırma

bağlantılarının statik hem de dinamik mekanik özelliklerinin iyileştiğini göstermişlerdir [31]. Devarajua vd. (2018) kroyojenik işlemin sürtünme karıştırma kaynaklı alüminyum alaşımının mekanik özellikleri ve tane boyutu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak tane boyutunun kroyojenik işlem sonucunda 250 nm'ye kadar düştüğü, mekanik özelliklerin önemli ölçüde arttığını ve kırılma özelliklerinin iyileştiğini belirtmişlerdir [32].

Wang vd. (2014) 2024-T351 alüminyum alaşımlarının sürtünme-karıştırma kaynağıyla birleştirdikten sonra kriyojenik (-194 °C, 24 saat) işlem uygulamışlardır. Sonra 120 °C' de 8 saat süreyle düşük sıcaklıkta yaşlandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yukarıdaki işlemlerden sonra kaynaklı bağlantıların mikro yapıları ve mekanik özellikleri araştırmışlardır [33]. Li vd. (2018) yaptıkları çalışmada 32Mn-7Cr-1Mo-0.3N çeliğin sürtünme karıştırma kaynaklı ve kaynak sonrası kriyojenik ısıtma işlem görmüş bağlantıların kalıntı gerilme özellikleri ve kırılma davranışını araştırmaktadır [34].

Literatür çalışması iki ana başlık altında değerlendirilmiştir. Birinci başlık olan lazer kaynağı avantajlarından dolayı geniş uygulama alanları bulmuştur. Lazer kaynağı ile ilgili araştırmalar farklı malzemelerin kaynak edilebilirliği, kaynak parametrelerinin kaynak kalitesine etkisi, kaynak sırasındaki ısı girdisinin kaynak bölgesine olan mekanik ve mikro yapı etkilerinin incelendiği belirlenmiştir.

İkinci başlık olan kroyojenik ısıtma işlem ise uygulanan malzeme çeşitliliğinin fazla olması, mekanik özellikleri ve mikro yapıyı iyileştirmesinden dolayı araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bu yüzden yapılan çalışmalar sığ ve derin kroyojenik sıcaklıklarda ve farklı bekleme sürelerinde malzemenin mekanik ve mikro yapısına olan etkilerinin araştırıldığı belirlenmiştir. Ayrıca sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinin de kullanılan çalışmalara rastlanmıştır.

Yapılan çalışmada ise AISI304 paslanmaz çelik çiftleri lazer kaynağı ile birleştirilmiştir. Paslanmaz çelik numuneleri kaynak sonrası 12 ve 24 saat boyunca derin kroyojenik işleme tabi tutulmuşlardır. 6 deney çifti hazırlanmıştır.

Bunlar;

- referans numune,
- kaynaklı ısıtılma tabi tutulmayan numune,
- kaynaklı 12 saat kriyojenik ısıtılma tabi numune
- kaynaklı 12 saat kriyojenik ısıtılma ardından temperleme yapılmış numune
- kaynaklı 24 saat kriyojenik ısıtılma tabi numune
- kaynaklı 12 saat kriyojenik ısıtılma ardından temperleme yapılmış numune

şeklindedir.

Bu deney çiftlerinin mekanik özellikleri ve mikro yapısı incelenmiş ve kriyojenik ısıtılma üzerlerindeki etkileri araştırılmıştır.

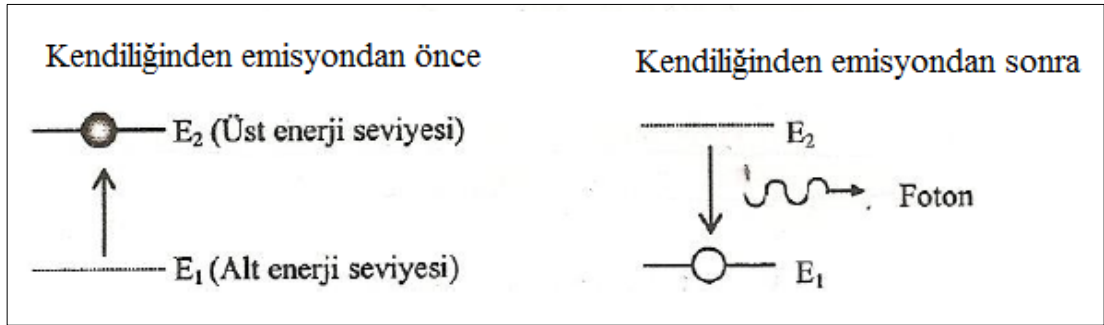
BÖLÜM 3

3.1. LAZER FİZİĞİ

Bir maddenin ilk ve ikinci enerji seviyesi, ilk enerji seviyesi e_1 ve ikinci enerji seviyesi e_2 olduğunu düşünelim. İlk halde atom e_1 enerjide olsun. Atom ikinci enerji seviyesi olan e_2 'ye ancak uyarılma sebebi olan şartlarla ulaşabilir. Bu şartlar:

- Isıtma
- Basınç uygulaması
- Elektron bombardımanı
- Parçacık bombardımanı
- Işık demeti altında etkiye maruziyet

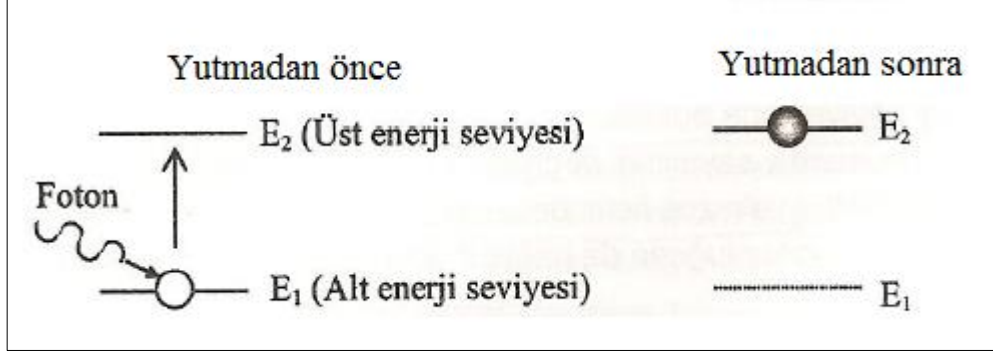
Bir elektron uyarıldığında yani dışarıdan enerji aldığı anda üst enerji seviyesine çıkabilir. Uyarma işlemi ile e_2 üst enerji seviyesine çıkan elektron burada 10^{-8} saniye kalır ve başlangıçtaki kararlı haline geri dönerken aldığı enerjiyi foton olarak kendiliğinden salar. (Şekil 3.1) Buna kendiliğinden emisyon denir [33].



Şekil 3.1 Kendiliğinden emisyon [33].

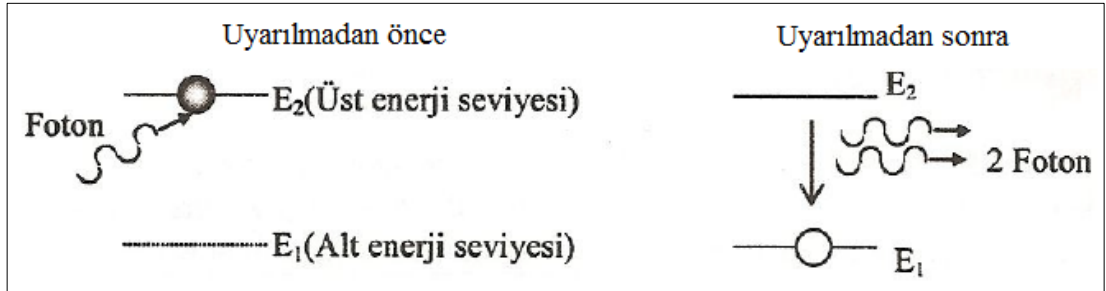
Lazer fiziğini oluşturan unsurlardan bir tanesi de yutmadır. Başlangıç ilk enerji e_1 seviyesindeki atoma fotonun (elektro manyetik dalga) çarpması ile elektro manyetik

dalganın sahip olduğu enerji atom tarafından yutulur. Bu sayede atom yutulan enerji ile e_2 enerji seviyesine sahip olur. (Şekil 3.2) İşbu olay yutma tanımı ile karşımıza çıkmaktadır. Atoma çarpan elektro manyetik dalganın enerjisi daha sonra $e_2 - e_1$ enerji farkına dönüşecektir [34].



Şekil 3.2 Yutmadan önce ve sonraki hali [34].

Lazeri oluşturan unsurların sonuncusu uyarılmış emisyonudur. Üst enerji seviyesi e_2 de bulunan atoma elektro manyetik dalga çarptığında atom ilk enerji seviyesi e_1 e düşecektir. Bu sırada çarpan foton' un enerjisine $e_2 - e_1$ kadar fark enerji olarak eklenecektir. İşbu durumdaki olaya da uyarılmış emisyon denir. Uyarılmış emisyonda bir foton girer iki foton çıkar. (Şekil 3.3)

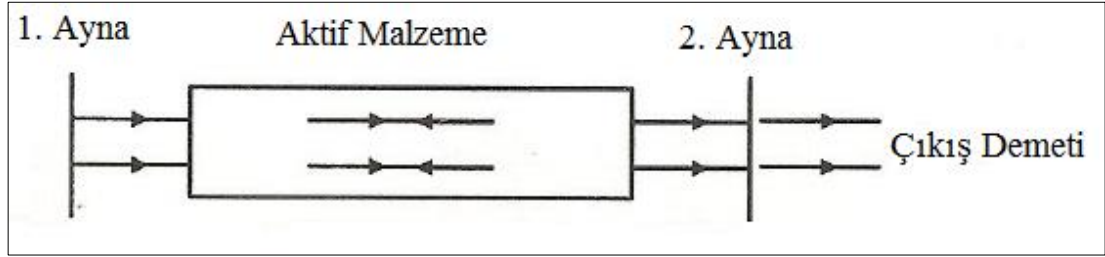


Şekil 3.3 Tahrik edilmiş emisyon [34].

Aşağıda sıraladığımız üç şart yerine getirildiğinde lazer materyalinden ışın demeti elde edilmiş olur.

- Sistemde uyarılmış durumdaki atom başlangıç seviyesinden fazla olmalıdır.

- Sistemin uyarılmış durumu yarı kararlı bir durum olmalıdır ki bu durumda kendiliğinden ışımadan önce uyarılmış ılıma meydana gelir.
- Sistem içindeki yayılan fotonlar, geri kalan uyarılmış atomlardan ısıma işini yaptırmaya yetecek sürede sistemde kalmalıdır. Yansıtıcı aynaların sistem ucuna yerleştirilmesi ile bu durum sağlanır. (Şekil.3.4) Bir uç tamamen yansıtıcı geri kalan uç ise yarı geçirgen yapılır ki lazer çıkışına izin versin [34].



Şekil.3.4 Lazer olayının şematik gösterimi [34].

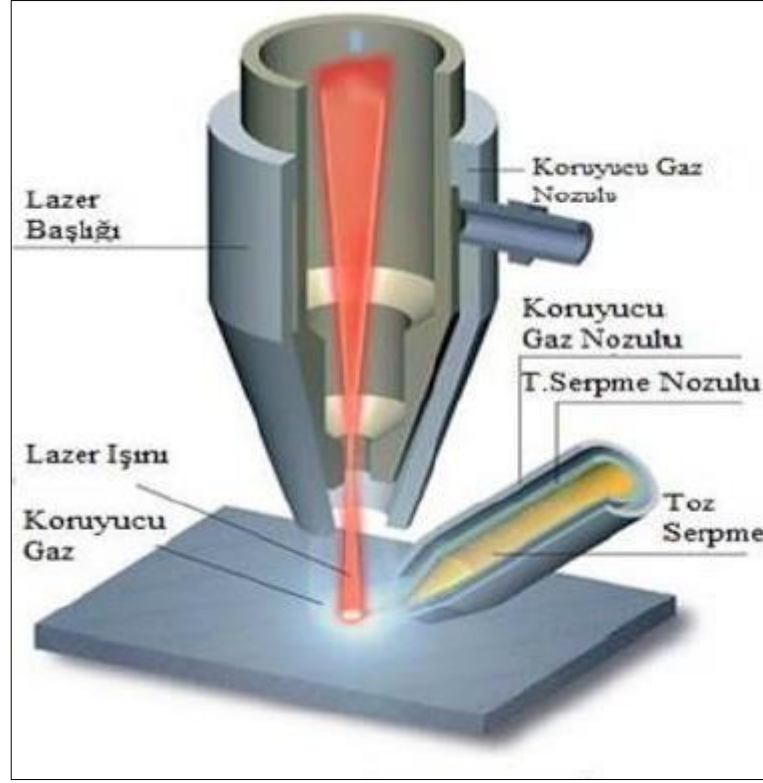
BÖLÜM 4

LAZER KAYNAK YÖNTEMİ

4.1. LAZER KAYNAK TANIMI

Lazer kaynağı enerji kazanmış atomların foton salış biçimlerini yöneten bir aygıttır. Lazer, İngilizce'deki "Light Amplification By Stimulated Emission Of Radiation"(radyasyon yayınının uyarılmasıyla ışığın güçlendirilmesi)" kelimelerinin baş harflerinden türetilmiş bir kısaltmadır. Şekil 4.1' de lazer kaynak olayı şematik olarak gösterilmiştir.

Lazer kaynağında birleştirilecek malzemeye edilen enerji transferi diğer geleneksel kaynak yöntemlerinden çok farklıdır. Ortamdan çıkan ışınlar yönlendirme aynalarından yansıyarak odaklama mekanizmasına gelir. Odaklanma neticesinde lazer ışınının yoğunlaştırıldığı alan çok küçük olduğundan malzemenin odaklanma bölgesinde ergime ve buharlaşma meydana gelir. Lazer enerjisi malzemeye emilimi gerçekleşirken koruyucu gaz ve buharlaşmış malzemedan oluşan plazma yoğunlaşır. Lazerin enerjisi sayesinde plazmada oluşan ısı, erimeye başlayan malzemeye geçer ve iş parçasına iletilmiş olur. Kaynatılan malzeme bünyesinde, erimiş şekilde bulanık kısmında aşırı sıcaklık ve basınç farklarından ötürü yer değişimlerinin meydana geldiği, akıcı fazlı bir buhar kanalı (anahtar deliği) oluşur. Akabinde, kaynatılan malzeme veya lazer ışın demeti sabit hızla tahrik ettirilir ve malzeme üzerinde hareket eder. Eriyen malzemenin kısmı ısınan buhar basıncıyla malzeme yüzeyine çıkar ve bu sırada cazibe kuvveti, viskozite ve yüzey gerilmeleriyle süregelen genleşmeleri de önler. Bu yöntem sayesinde lazer ışınının hareket yörüngesindeki metal eritilir, yörüngenin gerisinde kalan kısım katılaştır. Katılma akabinde dar bir kaynak dikişi oluşur. Bu kaynak dikişi homojen bir yapıya sahiptir. Malzemeye uygulanan düşük ısı girdisi ile oluşan kaynak dikişinde malzemenin ısının tesiri altında kalan bölge çok dar sınırlar içinde kalır.



Şekil 4.1 Lazer kaynak olayının gösterimi [35].

Lazer kaynağı, 3 şekilde;

- devamlı (CW),
- darbeli (Pulsed) veya
- Q-anahtarlama (darbe içerisinde lazer derişiminin artırılması) olarak

yapılabilmektedir.

Darbeli işlemler lazer ısısını düşürmek için kullanılan lazer kaynağı şeklidir.

Devamlı lazerde sürekli yanan yüksek basınçlı bir lamba optik pompalama kaynağını oluşturur. Devamlı lazer çıkışı vardır. (Güç değeri süre ile bağımlı değildir.). Darbeli lazerlerde bir flaşan yararlanılarak optik pompalama kaynağı oluşturulur. Q-anahtarlama lazer de ise optik pompalama kaynağı tüp flaştır [35].

4.1.1 Lazer Kaynağı Nasıl Yapılır?

Kaynak, malzemenin merkez noktası hedef alınarak yapılır. Işık enerjisinin ısı enerjisiye dönüşmesi ile yüzey, ısı etkisi ile erimeye başlar ve malzemenin ısı iletkenliği sayesinde erime ilerler. Kaynak esnasında ışın enerjisi kaynatılan malzemenin buharlaşma sıcaklığının altında olmalıdır. Kaynak işlemi yapılan iş parçasında nüfuz, iletilen ısıya bağlıdır. Bu sebeple kaynak edilecek parçaların kalınlıkları genel olarak 2 mm altındadır. (Gelişmiş lazer kaynak makineleri ile kaynak edilecek parça kalınlıkları 8-10 mm'ye kadar çıkabiliyor) [35].

(ITAB) Isı tesiri altında kalan bölge gelişmeden önce ergime meydana gelir ve sonra birleşme olur. Kaynak işlemi yapılacak iş parçası kalın yada ısı iletimi yüksek ise ısı tesiri altında kalan (ITAB) küçük olur. [36].

Lazer ışın kaynakları işlevi şu şekildedir; elektrik, yoğun ışık, elektron ışınları, kimyasallar kullanılması ile atomlar uyarılır. Işın enerjisini 0,005 inch ve daha küçük çaplara odaklanmasını sağlayan odaklanma mercekleri lazer kaynağında çok büyük işlevi vardır.

4.1.2 Lazer Kaynak Yönteminin Avantajları

- Lazer kaynak yöntemi geleneksel kaynak yöntemlerine göre kaynak nüfuziyeti derindir ve daha hızlı kaynak yapılabilir [39].
- Isı girdisi dar olan lazer kaynağında deformasyon ve çarpıklıklar azdır veya olmayabilir [39].
- Diğer kaynak yöntemleri ile birlikte kullanıldığında hibrit lazer-ark kaynağı uygulanabilir. Bu sayede kalın cidarlı malzemeler kaynatılabilir ve aradaki geniş kaynak boşluğu birleştirilebilir [43].
- Küçük çaplı bölgeye odaklanabilen lazer ışını geleneksel ergitme kaynaklarına kıyasla odaklanma küçük çaplı olduğundan çok ince malzemeler de bile birleştirme ve kesme yapılabilir ve çoğu zaman da lazer kaynağı kullanılmaktadır [44].
- Lazer kaynağında kaynak hızı çok yüksek değerlere çıkabilir. (10 m/dak üzerinde)

- Görsel olarak estetik olan lazer kaynağı aynı zamanda otomasyon mevcut sistemlere kolay uyum sağlamaktadır.
- Kaynak işlemi sonrasında taşlama işlemi gerektirmez. Bunun sebebi derinlik/genişlik oranı yüksek olan dar kaynak dikişleri olmasıdır.
- Geleneksel kaynaklar ile birleştirilmesi zor olan parçalar lazer kaynak yöntemi ile birleştirilebilir.
- Geleneksel kaynak yöntemlerinin uygulaması zor yada imkansız olduğu bölgelere lazer kaynak yöntemi ile ulaşmak mümkün ve kaynak işlemi kolaydır.
- Lazer kaynak yönteminde ısı yoğunluğu yüksek, ışının odaklanma çapı küçüktür. Lazer kaynağının bu özelliği sayesinde kaynak bölgesinde içyapı değişimi dar bir bölgede olduğu gözlenmiştir.
- Mikro yapıların daha ince ve sert olmasından dolayı klasik yöntemlere kıyasla aşınmaya daha dayanıklıdır.
- Lazer kaynak yönteminde (ITAB) ısı tesiri altındaki bölge dar ve sınırlı olduğundan sert tane büyümesi oluşmaz ve metalurjik hasar en aza iner.
- Lazer kaynağı ile çok küçük ve çok ince malzemeler dahi kaynak yapılabilir.
- Isı duyarlılığı fazla olan malzemelere bile yakından kaynak atılabilir.
- Lazer kaynak yöntemi ile kaynak yapılacak bölgenin dar yada spesifik olduğu yerlerde bile kaynaklanmasına olanak sağlar [43].

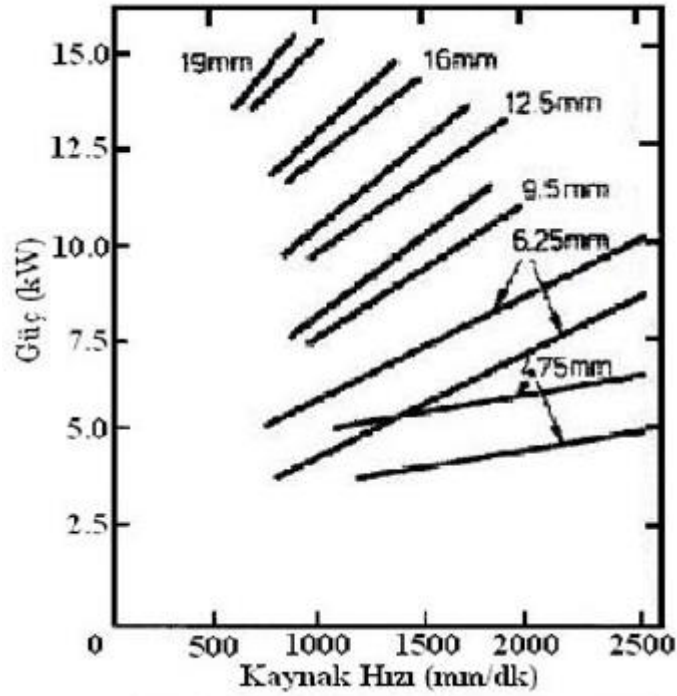
4.1.3 Lazer Kaynak Yönteminin Dezavantajları

- Lazer kaynak yönteminde derinlik/genişlik oranı sebebiyle dolgu metali içeriye sokulmakta zorluk çekilir.
- Lazer ışını dar bölgeye nüfuz etmesinden dolayı birleştirilecek malzemelerin yüzeyleri düz ve yerleştirilmeleri hassas olmalıdır.
- Metallerdeki yansıma özelliğinden dolayı kaynak yapılması güçleşmektedir. Özellikle yansıtma kabiliyeti yüksek malzemelerde yansımayı engelleyici ek tedbirler gerekebilir. Örneğin boyama yada kaplama işlemi gibi.
- Kaynak sonrasındaki hızlı soğuma ve katılaşmadan dolayı kaynaklanan bölgede gözenek ve gevreklik gözlemlenebilir [45].

- Kaynakta kullanılan lazer direkt veya dolaylı göze ya da deriye teması sağlık sorunları oluşmasına sebebiyet verir.
- İlk yatırım maliyeti lazer kaynaklarında çok yüksektir.

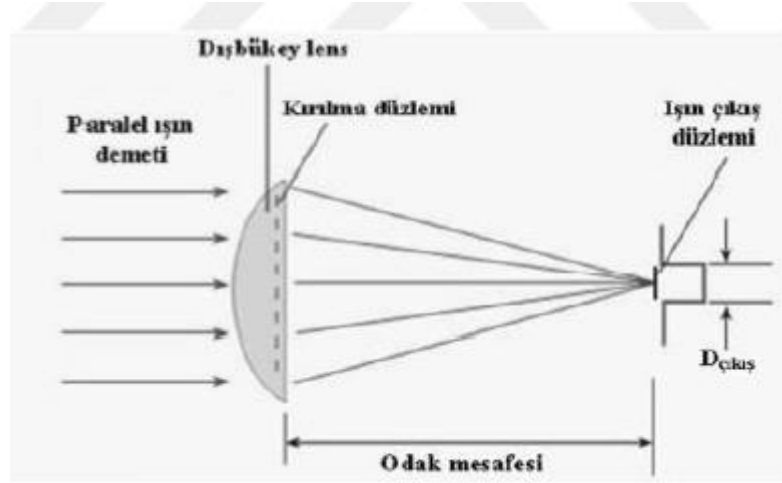
4.2. LAZER KAYNAĞINDA TEMEL KAYNAK PARAMETRELERİ

Lazer kaynağında (devamlı ya da darbeli) en önemli olan parametre güçtür. Kaynak işlemi yapılacak metalin özelliklerine ve kalınlığına göre kaynak hızı ve lazer gücü değişkenlik gösterir. Karbonlu çelikler için parça kalınlığı, kaynak hızı ve kaynak gücü arasındaki değişim Şekil 4.2' da gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Kalınlıklara göre karbonlu çelik levhalar için kaynak hızının (CO2) lazer gücüne göre değişimi [35].

Lazer ışınının odak noktası ile kaynaklanacak malzeme arasındaki mesafesinin artması ışık demetinin çapını artırır. Şekil 4.3' de odaklama ile ilgili görsel gösterilmiştir. Işık demet çapının artması malzemede erime miktarını artırır. Erime miktarı artmasıyla da kaynak derinliği azalır.



Şekil 4.3 Odaklama düzeneği şekilsel görünümü [35].

Bu sebeplerden dolayıdır ki merkezleme merceğinin

- Malzemenin özelliklerine
- Malzemenin kalınlığına ve
- Kaynak hızına

bağlı şekilde malzeme yüzeyine en kısa uzaklıkta tutulması gerekmektedir [39].

Lazer kaynağında kaynak parametreleri kaynağın mikro yapısal ve mekanik özelliklerini belirleyen etkenlerdir. En önemli kaynak parametreleri;

- Lazer gücü (Watt)
- Darbe frekansı (Hz)
- Darbe süresi (ms)
- Odaklanma ışın çapı (mm)

Kaynak hızı ve lazer gücü arasındaki bağıntı kaynaklanacak malzemenin kaynak işleme derinliğinin tayin edilmesini belirleyen temel parametredir [39].

BÖLÜM 5

ÇELİKLERDE ISIL İŞLEM

5.1. GELENEKSEL ISIL İŞLEMLER

5.1.2 Gerilim Giderme Tavlaması

Çelikler de şekillendirmeden kaynaklı ya da katılaşma sıradısında soğuma kaynaklı yapısal gerilmeler oluşabilecektir. Talaşlı imalata tabi tutulup şekillendirilen çeliklerde de aynı gerilmeler oluşması olasıdır. Isıl işleme tabi tutulan çelikde boyutsal değişime sebep olabilecek gerilmeler uygun sıcaklık seçilerek (çelik cinsine göre) tavlama suretiyle giderilmelidir. Bu işlem gerilim giderme tavlaması olarak adlandırılmaktadır. Gerilim giderme tavlaması; çelik 600-700 °C deki fırında 2-4 saat bekletme ardından 300-500 °C ye fırın içinde kademeli soğutma ve son olarak havada soğutma işlemi gerçekleştirilerek yapılır [40].

5.1.3 Normalizasyon

Üretim aşamasında çelikte katılaşma ve sonrasındaki dövme işlemi veya yüksek sıcaklıkta haddelemeden sonra kaba taneli yapı meydana gelir. Meyda gelen bu kaba taneli yapıyı ince taneli bir yapıya dönüştürmek amacıyla yapılan işleme normalizasyon denir. Çelik Ac_3 (ostenit+ferrit fazından tamamen ostenit faza geçiş) sıcaklığının 20-40°C üzerinde ısıtılır ve bu sıcaklıkta östeniti faza geçinceye kadar beklenir. Dönüşüm sonrasında malzeme fırında veya havada soğumaya bırakılır. Normalizasyonun ısıl işlem performansı ve işlenebilirliği yükseltici etkileri de mevcuttur [40].

5.1.4 Sertleştirme

Sertleştirme işlemi, malzemelere sertlik, çekme dayanımı, aşınma dayanımı ve basma dayanımı gibi mekanik özellikler kazandırmak için yapılan işlemdir. Sertleştirme işlemi sonrasında malzeme yüksek sertlik değerine ulaşır. Bunun nedeni malzemenin faz değişimine uğramasıdır. Sertleştirme aşamaları şu şekildedir; malzemenin ihtiyaç duyulan sıcaklığa getirilmesi ve bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletilmesi ve akabinde hızlı soğutma işlemi ile oda sıcaklığına getirmek şeklindedir.

Çeliğin sertleşmesi işlemiyle malzeme faz değişimine uğramaktadır. Östeniti fazında bulunan çelik sertleşme işlemi ile martenzit adı verilen sert faza dönüşmektedir. Martenzit oluşumu hızla soğutulan çeliğin bünyesindeki karbonun kristal kafes dışına yayılmak için yeterli zamanı bulamamasından kafes içerisinde kalması ile oluşur.

Yüksek alaşımlı çelikler sertleştirilirken hava düşük alaşımlı çeliklerin sertleştirme işlemi için ise yağ ve su kullanılır [40].

5.1.5 Temperleme

Çeliğin sertleştirilmesi işlemi ile martenzitik yapı yani yüksek sertlik düşük tokluk olmasından dolayı hazır değildir. Temperleme işlemi ile çeliğin yapısına optimum sertlik ve darbe dayanımı kazandırır. Temperleme, fırın veya banyo içerisinde temper sıcaklığına kadar (150-650 °C) ısıtmaya tabi tutulan malzeme uygun süre bekletilir ve akabinde yavaş soğutulması işlemine denir. Temper sıcaklığı olarak adlandırılan sıcaklık malzeme cinsi ve malzemenin çalışma şartlarına göre değişkenlik göstermektedir. Temper sıcaklığında bekletilme süresi ise malzeme boyutlarına göre belirlenmektedir. Temperleme işlemi iki, üç yada fazla tekrarlar şeklinde uygulanabilir [40].

5.1.6 Östemperleme

Östemperleme işlemine beynitleme de denir. Bunu sebebi malzemenin yapısındaki faz dönüşümü östenit-beynit şeklinde olduğu içindir. Östenit sıcaklığına sertleştirme

işlemi ile çıkarılan malzeme, ani soğuma ile soğutularak, perlitik dönüşüm sıcaklığı ile martenzitik dönüşümün başladığı sıcaklık arasında olan bir değere getirilip beklemeye tabi tutulur. Faz dönüşümünün gerçekleşmesi akabinde oda sıcaklığına kadar soğutulan malzeme yüksek darbe dayanımı kazanmış olur. Östemperleme yapılan malzemeye temperleme işlemi yapılmaz [40].

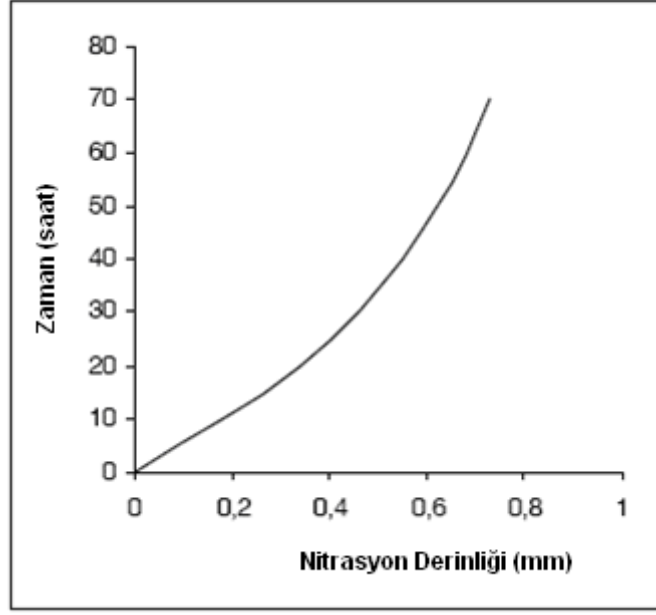
5.1.7 Martemperleme

Büyük ve karmaşık şekilli malzemeler için uygulanan bir soğutma işlemidir. Sertleştirme soğutması esnasında martenzitik dönüşümün başladığı sıcaklığın hemen üzerinde bir sıcaklık değerine gelindiğinde soğutma işlemi durdurulur ve çekirdek ile yüzey arasındaki sıcaklık farkı minimum düzeye inmesi için bir süre beklenir. Bu işlem yağ, tuz, akışkan yataklı bir sıcak banyoda yapıldığı gibi vakum fırınlarında da yapılır. Çekirdek ile yüzey arasındaki sıcaklık farkının düşürülmesi ile, malzemenin her yerinin aynı zamanda martenzitik dönüşüme girmesini sağlayacağından hacim farkından oluşacak iç gerilmelerde minimum düzeyde olması sağlanır. Martemperleme uygulanan bir malzeme, ısıl işlemde olması muhtemel boyutsal değişimlerden etkilenmesi daha az olmaktadır [40].

5.1.8 Nitrasyon

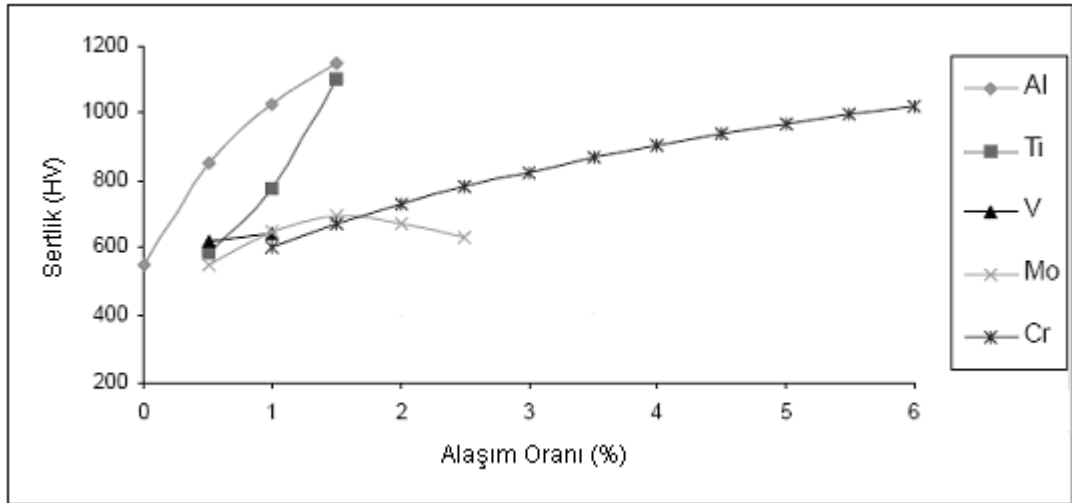
Mekanik yöntemlerle işlenen çeliklere uygulanan bir yüzey sertleştirme işlemidir. Bu işlem tokluk değerini düşürmeden aşınma mukavemetini artırmak amacıyla yapılır. Malzeme yüzeyine azotun emdirilmesi esasına dayanır. İşlem sıvı veya gaz ortamda gerçekleşir. Bu işlem akışkan yataklı fırınlar, vakum fırınları, tuz banyolarında veya plazma (iyon) nitrüleme şeklinde 480-580 °C aralığında yapılabilmektedir.

Azotun nitrür bağlantıları yaparak yüzeyde oluşturduğu tabaka kalınlığı 0,01-0,5 mm ve sertlik değeri de 1100 HV ye çıkabilmektedir. Oluşan tabaka özellikleri çeliğin bünyesindeki alaşım elementlerine, nitrüleme yapılan ortama ve ortamda tutma süresine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Şekil 5.1) [40].



Şekil 5.1 Nitasyon derinliğinin tutma süresine bağlı değişimi [40].

Nitrür yapıcı alaşım elementleri olan molibden, alüminyum, krom, ve molibden gibi elementleri yapısında bulunduran çelikler nitasyon için en uygun çeliklerdir. Alaşım elementlerinin nitasyon sonrası yüzey sertliğine etkisi Şekil 5.2’ da gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Alaşım elementlerinin nitasyon sonrası yüzey sertliğine etkisi [40].

İşlemin uygulama sıcaklığının gereği malzeme yapısında faz dönüşümü gözlenmez, yüzeyel sertlik için ise ani soğutma da gerekmemektedir. Saydığımız bu sebeplerden dolayı malzeme boyutsal bir değişime uğramaz [40].

5.1.9 Karbürizasyon (Sementasyon)

Karbürizasyon işlemi düşük karbonlu çeliklere uygulanan yüzey sertleştirme işlemidir. Katı, sıvı yada gaz ortamda gerçekleşen işlem östenit sıcaklığı olan 800-950°C de malzeme yüzeyine karbon emdirilmesi ve ardından ani soğutma ile sertleştirme esasına dayanır [40].

5.1.10 Karbo-Nitrürleme

Yüzeysel sertleştirme istenen çelikler için azot ve karbonun birlikte emdirilmesi işlemidir. Karbürizasyona kıyasla daha düşük bir sıcaklıkta 800-900 °C de uygulanır. Sertlik derinliği gaz karışım oranı uygulama sıcaklığı ve ortamda tutma süresi ile kontrol edilir [40].

5.1.11 Nitro-Karbürizasyon

Nitro-karbürizasyon, azotun çelik yüzeyine emdirilmesi neticesinde aşınma direncinin yüksek olduğu sert bir tabaka oluşturma işlemidir. Nitro-karbürizasyon işlemi düşük alaşımlı çeliklerde uygulanan bir ısıl işlem yöntemidir. Ferritik nitro-karbürizasyon sıcaklığı 550-580 °C ve östenitik nitro-karbürizasyon sıcaklığı 580 750 °C dir. Çelik alaşımsız olduğundan azot atomları derinlere difüze olabilmekte ve buda sertlik oluşturmamaktadır [40].

5.1.12 Oksidasyon

Yapışkan aşınmayı önlemek gayesiyle kalıp yüzeylerinde oksit film oluşturma işlemine denir. 500-540 °C sıcaklıklarda uygulanan işlemle metal yüzeyinde yağlayıcı etki sağlayan 2-5 µm kalınlığa sahip demir-oksit film tabakası oluşturulur. Oluşan tabaka yüksek sertlikte olup yüzeysel sürtünme katsayısı düşük olmaktadır. [40]

5.2. KRİYOJENİK İŞLEM

Sıfırlı ısı işlemi oda sıcaklığı ile -273°C ' aralığında soğutularak ortamda kalan malzemenin tümünde yapısal değişme olacak kadar kalması ve daha sonra ortamdaki uzaklaştırılarak oda sıcaklığına kadar ısınması kademelerini içerir.

Sıfırlı işlem kendi içinde işlemin uygulandığı sıcaklık aralığına göre ikiye ayrılır.

- Oda sıcaklığındaki malzemenin -80°C 'ye kadar olan soğutulması işlemine soğuk işlem,
- Oda sıcaklığından -80°C den daha düşük sıcaklıklara kadar uygulanan işlemler de kriyojenik işlem olarak adlandırılmaktadır.

Kriyojenik ısı işlem, malzemelerde çekme ve aşınma dayanımını artırmak ve mekanik özelliklerini geliştirmek için uygulanan bir ısı işlem türüdür [41].

Faz dönüşümünün başladığı ve bittiği sıcaklık, dönüşüme gerekli soğutma hızı, malzemenin malzemeye farklılık göstermektedir. Çelik malzemelerde faz dönüşümü için etken faktör olan alaşım elementlerinin yüzde ziyadeleşmesi, kritik soğutma hızını düşürür, östeniti fazdan martenzit faza dönüşüm başladığı ve martenzit faz dönüşümünü bittiği sıcaklık değerlerini de daha düşük sıcaklıklara ötelemektedir. Bu olaya, östenit kafesler üzerine uyguladığı basınç etkisi ve karbon difüzyonunu engellemesiyle alaşım elementleri sebep olduğu söylenebilir. Bahse konu etki alaşım elementi yüksek olan çeliklerde daha da belirgin olmasıyla martenzit faz dönüşümünün tamamlanması 0°C 'nin altındaki sıcaklıklarda gerçekleşme göstermektedir. Bundan dolayı sertleştirmenin ardından malzeme yapısında, martenzit fazı ve henüz dönüşümünü tamamlamamış östenit faz da bünyede bulunmaktadır. Plastik şekillendirme ve mencevşleme işleminden sonra, malzeme bünyesindeki kalıntı östeniti giderici etkisi olan proses kriyojenik proses işlemidir.

Kriyojenik proses de yaygın olarak uygulanan soğutma, yaklaşık -196°C deki sıvı azot (N_2) ortamıdır. Bu işlem iki şekilde yapılabilmektedir. Bir şekli malzemeyi sıvı azota daldırmak, diğer şekli ise fırın ortamında malzeme üzerine uygulamak suretiyledir. Bu

yöntemlerle 0 °C nin altına soğutulan malzeme faz dönüşümü için gereken süre kadar bekletilir. Bu süre sonunda malzeme, durgun fırın atmosferinde oda sıcaklığına getirilmelidir [41].

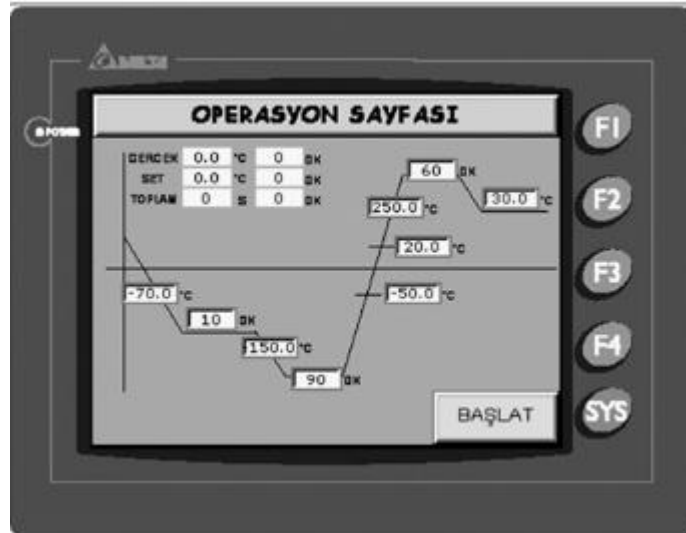
Kriyojenik işlem sonucunda malzeme yapısında bulunan martenzit oranının artmasıyla aşınma dayanımında bariz bir artma, malzemenin sertliğinde de 1-3 HRC yükselme olacaktır. Malzeme bünyesindeki kalıntı östeniti gidermek amacı ile uygulanan ve etkili işlem olan kriyojenik proses, maliyetleri yükseltmesine karşın, kalıplarda ve kesici takım performansında edinen etki yine de bu işlemi cazip kılmaktadır.

Kriyojenik ısı işlem ile malzemeler çok düşük(-165 °C) sıcaklıklara kadar soğutulur ve malzemeye metalurjik ve mikro yapısal özellik katması sağlanır. -165 °C lere düşme işlemi ortama bilgisayar kontrollü sıvı azot beslenmesi ve ortam sıcaklığının muhafazası için uygun yalıtım malzemelerinin kullanılması ile mümkün olabilmektedir. Aslında kriyojenik işlem derin ve sığ olarak ikiye ayrılmaktadır. -150 °C ye kadar düşürülen ortam sığ kriyojenik işlem olarak adlandırılmaktadır. Bu sıcaklıkta malzeme özelliklerinde dikkat çeken bir iyileşme olmasına karşın tam olarak istenilen özelliklere ulaşamamaktadırlar. Derin kriyojenik işlemde ise malzeme -165 °C ye kadar soğutulmaktadır. Derin kriyojenik işlem etkileri sığ işleme kıyasla daha belirgin şekilde artmaktadır.

Kriyojenik işlemin yapıldığı Şekil 5.3 da görünen azot tankları Şekil 5.4 de görünen bilgisayar kontrollü kamara adı verilen ekranlarla takip ediliyor ve bu sayede mükemmel hassasiyet ve tam kontrol gerçekleştirilmektedir [41].



Şekil 5.3 Krijonenik işlemin yapıldığı azot tankı görünümü [41].



Şekil 5.4 Krijonenik işlemin yapıldığı azot tankında bulunan bilgisayar kontrollü kamara [41].

Krijojenik işlem prosesi şu şekildedir:

- Malzemenin ortam sıcaklığından istenen kriyojenik sıcaklığa gelinceye kadar geçen süre,

- İstenen kriyojenik işlem sıcaklığına ulaşması ve bu sıcaklıkta bekletme süresi,
- Kriyojenik sıcaklıkta bekletme ardından tekrar ortam sıcaklığına ulaşınca kadar geçen süre,

Prosesin tamamlanması için geçen zamanları ifade eder [41].

5.2.1 Kriyojenik İşlemin Avantajları

Geleneksel ısı işlemi devamı olan kriyojenik işlem malzemeye yüksek mekanik özellikler kazandırmasına olanak sağlamaktadır. Amerika ve Avrupa’ da çok yaygın olarak uygulanmaktadır. Kriyojenik işlem malzemeye üstün özellikler katmasına karşın ülkemizde çok az kullanılmaktadır.

Kriyojenik işlemin belirgin faydaları;

Kriyojenik işlem uygulanan malzemelerin:

- Kullanım ömürleri uzamaktadır.
- Aşınma dirençleri artmaktadır.
- Tokluğu ve çekme mukavemeti artmaktadır.
- Gevrekliği azalmaktadır.
- Boyutsal stabiliteyi artmaktadır.
- Kalıntı gerilmeleri oluşmamaktadır.
- Sadece malzeme yüzeyine değil tümüne etkimektedir.

Kriyojenik işlemin avantajlarının çok olmasına karşın küçük dezavantajları da bulunmaktadır.

- Malzeme üzerindeki aşırı gerilmelerden ötürü çatlama meydana gelebilir.
- Uzun süreli sıvı azot kullanımından dolayı maliyetlidir [41].

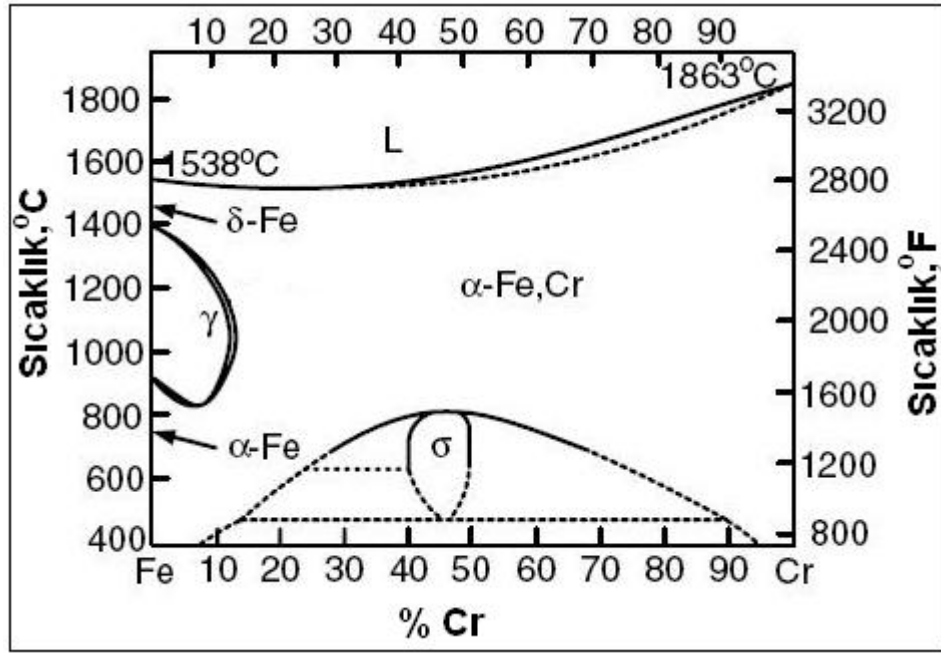
BÖLÜM 6

PASLANMAZ ÇELİKLER

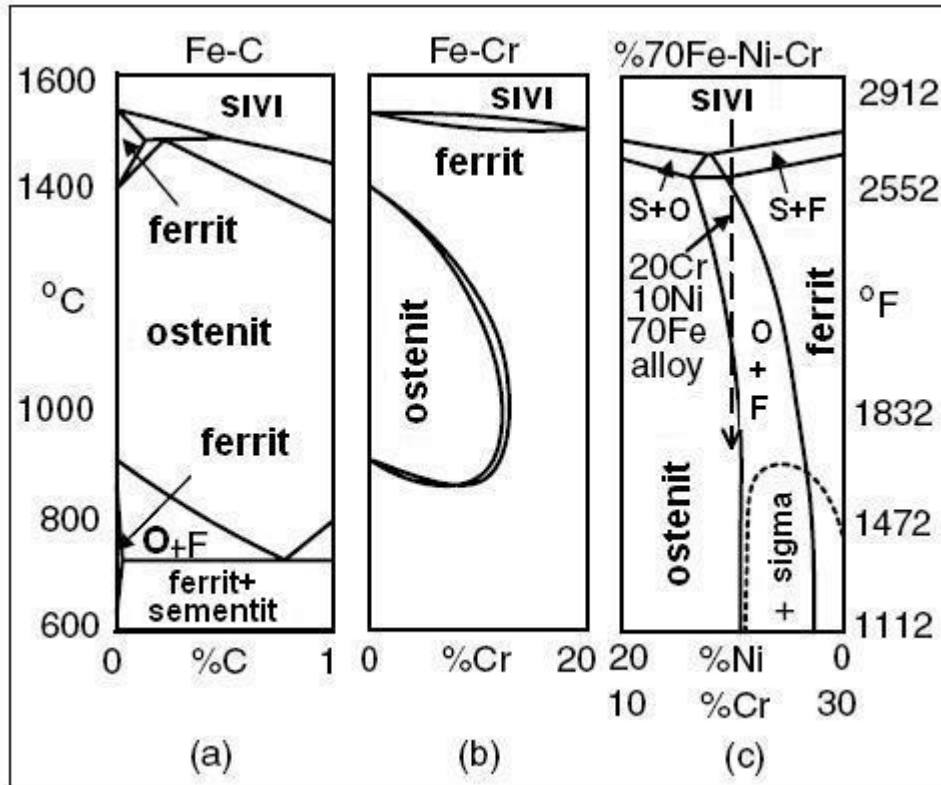
Yapılan deneylerde ana malzememiz olarak paslanmaz çelik kullanılmıştır. Paslanmaz çeliklerin oksidasyona ve korozyona karşı mükemmel direnç göstermeleri en önemli özellikleridir. Paslanmaz çelikler kimyasal kompozisyon olarak içlerinde en az %12 Cr barındıran malzemelerdir. Demir-krom denge diyagramı Şekil 6.1 de görülmektedir. Paslanmaz çeliklerde oksidasyon dirençleri muhteva ettiği krom miktarına bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda artmaktadır. Paslanmaz çelikler 3 grup halinde sınıflandırılmıştır. Bunlar;

- 1) Ferritik Kromlu Paslanmaz Çelikler
- 2) Martenzitik Kromlu Paslanmaz Çelikler
- 3) Östenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çelikler

Deneylelerimizde kullandığımız 304 paslanmaz çelik malzeme östenitik krom-nikelli paslanmaz çelik sınıflandırmasına girmektedir. Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklere korozyona karşı dirençlerini yükseltmek amacıyla çeşitli alaşım elementleri katılmaktadır. Çelik içerisindeki yüksek miktardaki krom, malzemeyi paslanmaya karşı korur, kromla birlikte malzemenin nikel ihtiva etmesi de, bilhassa asidik ortam karşısında yüksek bir korozyon direnci sağlar. Östenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler, miknatislanma özelliği olmayan ve kimyasal kompozisyonları %12-25 Cr ve %8-25 Ni içeren çeliklerdir. İçerdikleri yüksek krom ve nikel, paslanmaz çeliklerin kabiliyetlerinde iyileştirme sağlarken maliyetlerinde de belirgin bir artışa sebep olmaktadır. Paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti çok iyidir. Muhtevastındaki nikel östenit oluşturuocu özelliği ile demir-karbon alaşımındaki ferriti neredeyse yok ederken östenit alanının da genişlemesine katkı sağlar. (Şekil 6.1). İçeriğindeki karbon miktarı %0,03 den daha az ise karbür oluşumu görülmez ve malzeme oda sıcaklığında tamamen Östenitik olarak kalır [42].



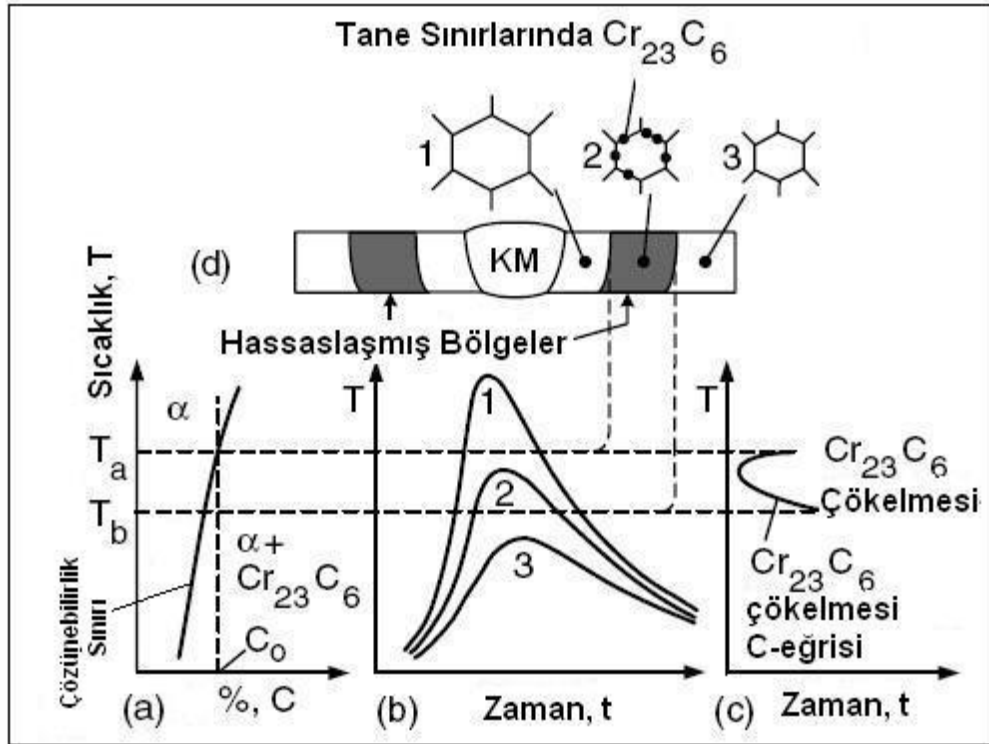
Şekil 6.1 Fe-Cr (demir-krom) denge diyagramı [42].



Şekil 6.2 Fe-C (demir-karbon), Fe-Cr ve Fe-Ni-Cr (demir-nikel-krom) denge diyagramları [42].

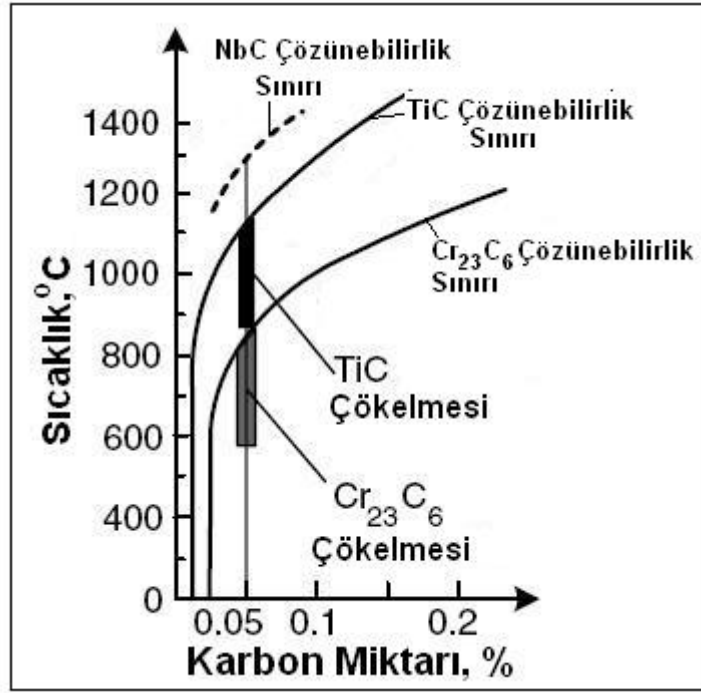
Östenitik krom-nikelli sınıftaki paslanmaz çeliklerin kaynağında metalürjik problemlerin en önemlisi ısı tesiri altında kalan bölgedir. ITAB bölgesi 500-900 °C arasında malzemenin uzun süre kalması neticesi krom karbür çökmesidir. (Şekil 6.3)

Ostenitik krom nikelli paslanmaz çeliklerin karbon içeriğinin en fazla %0,06 optimum olarak da %0,03 olması gerekmektedir. Çünkü krom karbürler tane sınırlarında çöklerler ve çeliği taneler arası korozyona karşı hassas hale getirirler. Krom karbür çökmesinin önüne geçmek için çeliğin içeriğindeki karbon miktarının azaltılması gerekmektedir. Krom karbür çökmesini önlemekte kullanılan bir diğer yöntem de malzemenin bileşimine Ti, Nb ve Ta gibi elementlerin katılmasıdır. Bu yöntemle karbon, krom atomu yerine Titanyum veya niyobyumu tercih ederek TiC ve NbC oluşturur. Bu işlem stabilizasyon olarak adlandırılmaktadır (Şekil 6.3) [42].



Şekil 6.3 Krom-nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür çökmesi [42]

Korozyonun önüne geçebilmek için malzemeye su verme ısıl işlemi yapılmaktadır. Korozyona karşı hassas çelik 1100 °C nin üzerine ısıtılıp çelik içeriğindeki krom karbürler çözüldükten sonra hızla soğutularak karbürlerin yeniden oluşması önlenir.



Şekil 6.4 Krom-nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür, titanyum karbür ve neodinyum karbür çökmesi [42].

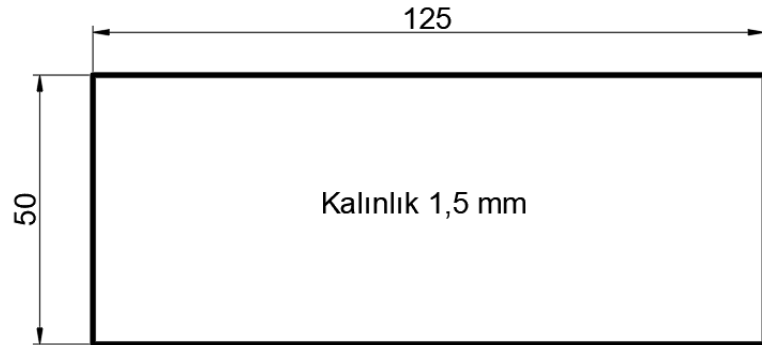
BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan tez çalışmasında östenitik paslanmaz olan AISI304 sac malzeme lazer kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Lazer kaynağı ile birleştirilmiş deney numuneleri daha sonra -145 °C’ de farklı sürelerde bekletmesi ile kriyojenik derin soğutmaya tabi tutulmuştur. Numuneler iki gruba ayrılarak bir gruba temperleme işlemi uygulanırken diğer grup olduğu gibi bırakılmıştır. Kriyojenik/temperleme işleminin ardından numunelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi amacı ile çekme testleri yapılmıştır. Numunelerin kaynak bölgesinden kesit alınarak SEM cihazı yardımı ile mikroyapıları elde edilmiş ve numunelerin kaynak bölgesine dik olarak sertlik değişimleri tetkik edilmiştir. Literatürde bulunan çalışmalarla karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

7.1 MALZEME ÖZELLİKLERİ

Deney için kullanılacak AISI304 paslanmaz çelik malzeme Şekil 7.1’de verilen ölçülerde kesilmiştir. Kullanılan malzemenin mekanik özellikleri Çizelge 7.1 de kimyasal özellikleri de Çizelge 7.2 de verilmiştir.



Şekil 7.1 Numune ölçüleri

Çizelge 7.1 AISI304 mekanik özellikleri.

Malzeme	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Akma Mukavemeti (kg/mm ²)	Uzama (%)	Sertlik (HRB)
AISI304	515	205	40	92

Çizelge 7.2 AISI304 kimyasal özellikleri

Malzeme	C %	Cr %	Ni %	Mn %	P %	S %	Si	Fe
AISI304	0,04	18,3	8,7	2	0,045	0,03	1	Kalan

7.2 LAZER KAYNAK CİHAZI, KAYNAK PARAMETRELERİ VE DOLGU TELİ

Deney numuneleri, aşağıda teknik özellikleri ve boyutsal özellikler Çizelge 7.3’ da verilen lazer kaynak makinesi kullanılarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi Tuzla Birmez sanayi sitesinde faaliyet gösteren “YALGIN Lazer Kaynak” firmasında yapılmıştır. Kullanılan lazer kaynak makinesi Şekil 7.2’de görülmektedir.

Çizelge 7.3 ALM 200 lazer kaynak makinesi teknik özellikleri

Tepe Darbe Gücü	7,5 Kw
Darbe Enerjisi	9 J
Darbe Süresi	0,5 – 20 ms
Darbe Frekansı	100 Hz
Kaynak Nokta Çapı	0,2 – 2 mm
Odaklama Optiği	150 mm
Görüntüleme Sistemi	Gözlük kullananlar için uygun gözlere sahip Leica dürbünler
Çalışma Aralığı	Kol işleme kafasının hareketi manuel olarak veya kumanda kolu ile motorla çalıştırılabilir.
Hareket hızı (X, Y, Z)	0-25 mm/s
X, Y	145 x 120 mm
Z	1300 mm

En Düşük Çalışma Noktası	510 mm
En Yüksek Çalışma Noktası	1560 mm
Kol Hareketi	1300 mm
Uzunluk x Genişlik x Yükseklik	1410 x 730 x 1585 mm
Ağırlık	320 kg
Elektriksel Bağlantı	3 x 400 V / 50–60 Hz / 3 x 16 A



Şekil 7.2 Numunelerin kaynağında kullanılan kaynak makinesi.

Malzeme çiftinin lazer kaynağı ile birleştirilmesi sırasında kullanılan kaynak parametreleri şöyledir; atım süresi, atım odak çapı, atım frekansı ve atım enerjisidir. Bu parametreler malzemelerin yüzey şartlarına, malzeme cinsine, malzemenin ısı iletkenliğine, malzeme yoğunluğuna göre değişmektedir. AISI304 malzeme çiftinin lazer kaynağı ile birleştirilmesinde seçilen parametreler, Bu parametre; kaynak firmasının tecrübeleri ve daha önceki çalışmaları ile ideal parametre olarak kullandıkları kaynak parametreleridir.

Çizelge 7.4’ de verilen kaynak parametreleri seçilmiştir. Bu parametre; kaynak firmasının tecrübeleri ve daha önceki çalışmaları ile ideal parametre olarak kullandıkları kaynak parametreleridir.

Çizelge 7.4 Lazer kaynak parametreleri.

Atım Süresi (ms)	5,5
Atım Odak Çapı (mm)	0,8
Atım Frekansı (Hz)	9
Atım Enerjisi (J)	12,31

Numunelerin lazer kaynağı sırasında dolgu teli ile beslenerek hassas ve yüksek mukavemete sahip bir bağlantı oluşturulur. Lazer ışını dolgu telini ana malzemeye ergitir ve kalıcı bir bağ oluşturarak katılaşma meydana gelir. Yapılan çalışmada kullanılan dolgu teli özellikleri Çizelge 7.5’ de verilmiştir.

Çizelge 7.5 Kaynak Telinin Çapı ve Kimyasal Özellikleri [49].

Element	Kaynak Teli Çapı (Ø)	C	Si	Mn	Cr	Ni
Kaynak Teli AWS/ASME SFA-ER312	0,5 mm	0,10	0,40	1,80	30,00	9,00

7.3 KRIYOJENİK ISIL İŞLEM, İŞLEM PARAMETRELERİ VE İŞLEM SIRASI

Deney numuneleri sıfır altı kriyojenik tankta ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem Dudullu organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren “Dönüşüm Isıl İşlem San. Ve Tic. Ltd. Şti.” firmasında yapılmıştır. (Şekil 7.3)



Şekil 7.3 Kriyojenik ısıtım işlem tankı.

Deney numuneleri Çizelge 7.6' ye göre kriyojenik ısıtım işlemine tabi tutulmuştur.

Çizelge 7.6 Kriyojenik işlem süreleri

Kriyojenik ısı	Isıtım işlem süresi	Temperleme
-140 °C	12 saat	√
-140 °C	12 saat	-
-140 °C	24 saat	-
-140 °C	24 saat	√

Soğutma işlemi Şekil 7.4' de görüldüğü gibi kademeli olarak soğutma hızı 2 °C/dk olacak şekilde oda sıcaklığından kademeli olarak düşürülerek -140 °C' ye ulaşılmıştır. -140 °C' ye ulaşan numuneler 12 saat ve 24 saat bekletmeye tabi tutulmuşlardır. -140 °C de 12 ve 24 saat bekletilen malzemeler tekrar ısıtım hızı 2 °C/dk olacak şekilde -140 °C' den kademeli olarak yükseltilerek oda sıcaklığına ulaşılmıştır.



Şekil 7.4 Kademeli soğutma işleminin kontrol edildiği kriyojenik tank operasyon ekranı.

7.4 ÇEKME TESTİ CİHAZI VE ÇEKME TESTİ

Deney numuneleri kaynak işlemi ve kriyojenik ısı işlem ardından

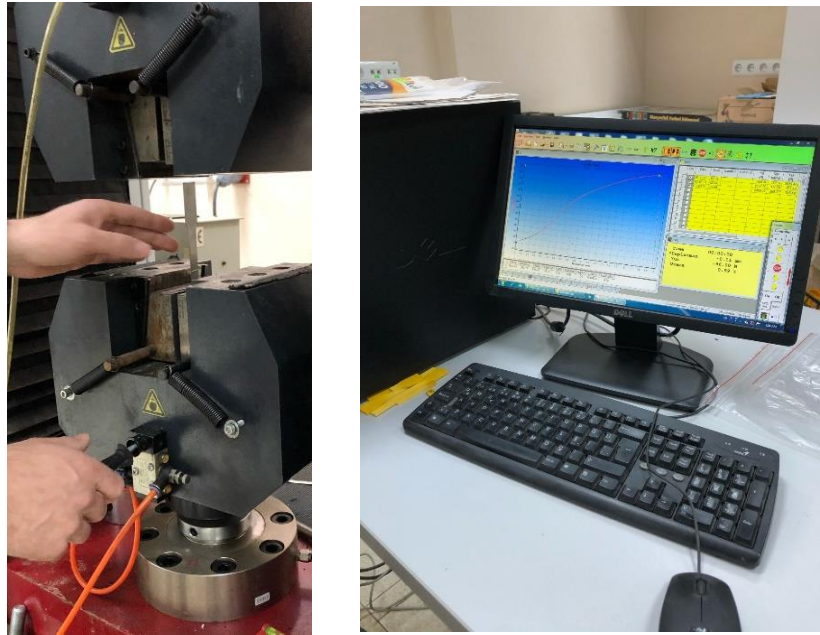
Şekil 7.6' da uygulamaları görülen çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü MERGEM' de (Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi Laboratuvarı) yapılmıştır. Elektromekanik prensibine göre çalışan Universal Test Cihazı Metalik ve Metalik olmayan malzemelerin çekme, basma, bükme testleri gibi mekanik testleri için kullanılmaktadır.

Test işlemi Şekil 7.5' de görülen Zwick Roell Z600 600 kN kapasiteli elektromekanik üniversal test cihazında yapılmıştır. Çekme deneyi için hazırlanan numune ölçüleri Şekil 7.7' de verilmiştir.

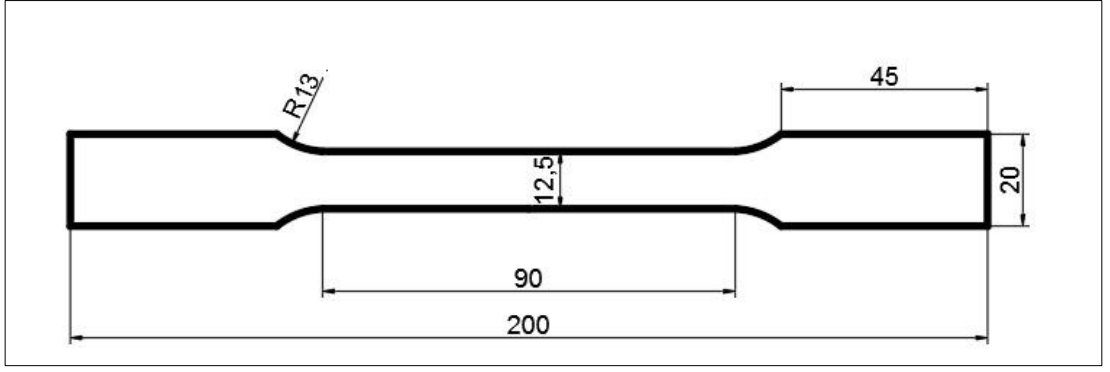


Şekil 7.5 Zwick Roell Z600 Çekme Deneyi Test Cihazı

Çekme testi DIN EN ISO 6892-1 standardına uygun şekilde hazırlanmış tüm numunelere 2 mm/dk çekme hızı ile uygulanmıştır. (Şekil 7.6)



Şekil 7.6 Çekme Testi uygulaması.



Şekil 7.7 DIN EN ISO 6892-1 çekme testi standardına uygun şekilde hazırlanmış deney numune ölçüleri.

7.5 MİKROYAPI GÖRÜNTÜLEME

SEM analizi, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Malzeme Araştırma Ve Geliştirme Merkezi (MARGEM) SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) laboratuvarında Şekil 7.8'de resmi verilen EDX, in-less SE, SE2, BSE (EsB) ve stem dedektörleri, sıcak tabla ve yük dengeleyici modüllere sahip yüksek çözünürlüklü FESEM cihazla yapılmıştır.



Şekil 7.8 SEM Cihazı.

Numunelerin zımparalama /parlatma ve metalografik görüntü alma aşamalarında kolaylıkla tutulabilmesini sağlamak amacıyla epoksi reçine ile kalıba alınmıştır. (Şekil 7.9)



Şekil 7.9 Kalıba alma işlemi

Zımparalama işlemi Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi'nde bulunan Struers marka (Şekil 7.10) otomatik zımparalama makinesi kullanılarak el ile yapılmıştır.



Şekil 7.10 Struers marka otomatik zımparalama makinesi.

Numuneler zımparalama işleminden sonra hazırlanan %5 ağırlıkta hidroklorik asit çözeltisine daldırma yöntemiyle elektrolitik olarak dağlanmıştır.

7.6 MİKROSEİTLİK ÖLÇME CİHAZI

Numunelere sertlik ölçme testleri uygulanmıştır. Sertlik ölçümü Çizelge 7.7’ da özellikleri verilen “SHIMADZU” marka cihaz ile Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi’ nde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 7.7 Sertlik ölçme cihazı özellikleri

Özellikleri	
Elektrikli aşaması	X, Y Strok: Hem X hem de Y eksenleri için 50 mm, Çözünürlük: 0,001 mm
Otomatik okuma fonksiyonu	Okuma çözünürlüğü dijital görüntü analizi 0,08 μm Eff. ölçüm aralığı: Yaklaşık. 80 \times 100 μm (D \times H) (\times 40 objektif lens)
Otomatik odaklama	Odaklanma süresi yaklaşık 3 saniye
Test konumu ayarı	Maksimum Alan sayısı ölçüm noktası sayısı: 5000 Doğrusal bölme, doğrusal aralık, matris, dikdörtgen bölme, dikdörtgen adım, kare, dairesel bölme, dairesel adım, keyfi, kademeli sertlik derinlik desenleri ve desen kombinasyonlarına göre.

BÖLÜM 8

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

8.1. ÇEKME DENEYİ

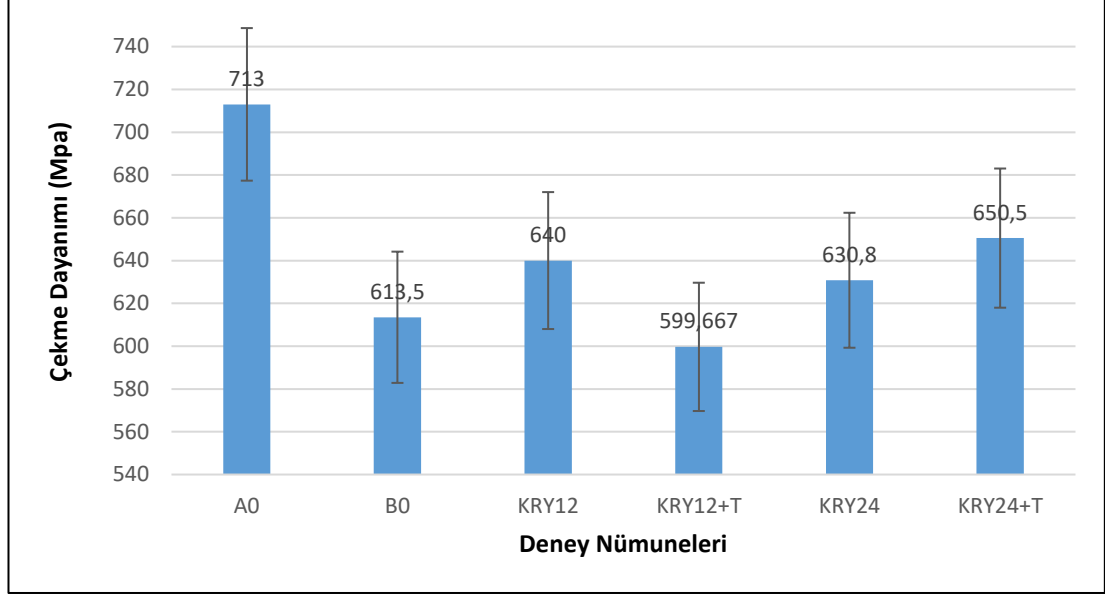
Yapılan çalışma kapsamında 6 farklı numune grubu hazırlanmıştır (Tablo 8.1). Referans numunesi (A0 herhangi işlem veya kaynak uygulanmamış numune), lazer kaynağı ile birleştirilen fakat herhangi bir ısıl işlem uygulanmayan “B0” numunesi, lazer kaynağı sonrası -140 °C’de 12 saat “KRY12” ve 24 saat “KRY24” kriyojenik işlem uygulanan ve kriyojenik işlem sonrası 12 saat 140 °C’de temperlenmiş “KRY12+T” ve “KRY24+K” olarak adlandırılmıştır. 6 numune grubunun Şekil 8.1’ de çekme dayanımı ve Şekil 8.2’ de akma dayanımı diyagramları verilmiştir.

Tablo 8.1 Kriyojenik işlem ve temperleme sıcaklıkları ve süreleri

Numune	Kriyojenik İşlem Parametreleri		Temperleme Parametreleri	
	Sıcaklık	Süre	Sıcaklık	Süre
A0 Referans	-	-		
B0	-	-		
KRY12	-140 °C	12 saat		
KRY12+T	-140 °C	12 saat	140 °C	12 Saat
KRY24	-140 °C	24 saat		
KRY24+T	-140 °C	24 saat	140 °C	12 Saat

Çekme dayanımı değerleri incelendiğinde, en yüksek değer 713 MPa değeri ile referans numune olan A0 numunesinde ölçülmüştür. B0 numunesinde %14 değerinde azalarak 613 MPa değerinde ölçülmüştür. KRY12 numunesinde %10 azalarak 640 MPa ölçülen çekme dayanımı, KRY12+T numunesinde %16 azalarak 599 MPa olarak ölçülmüştür. KRY24 numunesinde ise %11 azalarak 630 MPa olarak ölçülen çekme dayanımı temperlenmiş KRY24+T numunesinde %9,6 azalarak 650 MPa değerinde çıkmıştır.

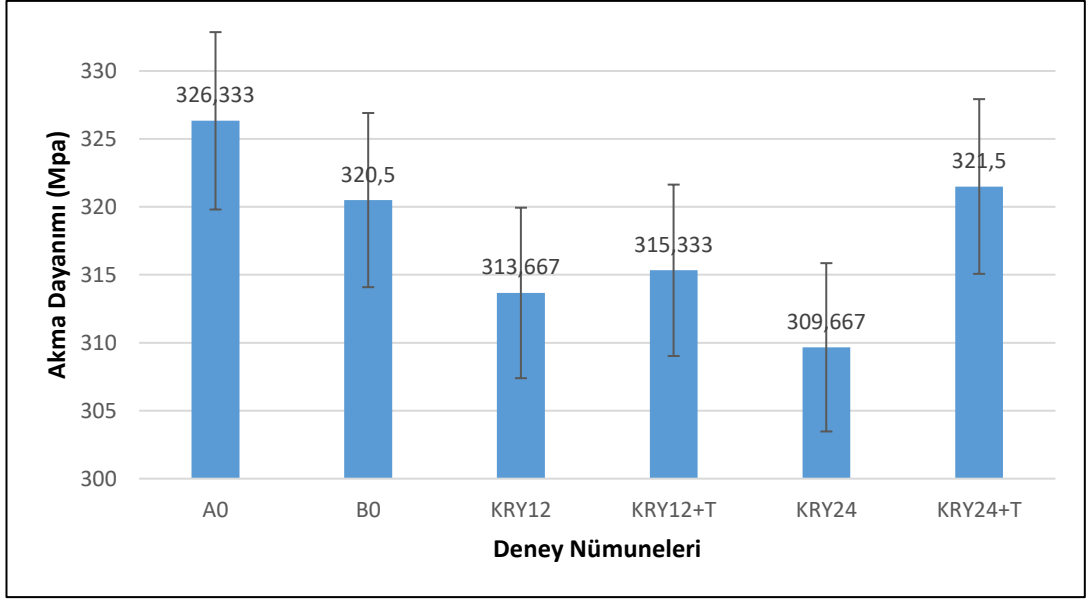
Literatür de benzer deneylerin sonucunda kaynaklı birleştirilmelerde çekme dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir. [8,9] Numunelerden elde edilen çekme test değerleri incelendiğinde literatürle uyumluluk göstermektedir.



Şekil 8.1 Deney numuneleri çekme dayanımlarını gösterir tablo.

Akma dayanımı değerlerine bakıldığında, en yüksek değer 326 MPa ile A0 referans numunesinde ölçülmüştür. B0 numunesinde bu değer %1,84 oranında azalarak 320 değerinde ölçülmüştür. KRY12 numunesinde ise, %4 oranında azalarak 313 değerinde ölçülmüştür. KRY12+T numunesinde %3 oranında azalarak 315 değerinde ölçülmüştür. KRY24 numunesinde %5 azalarak en düşük değeri olan 309 MPa değerinde ölçülmüştür ve bu değer testlerde elde edilen en düşük değerdir. KRY24+T numunesinde ise A0 numunesine göre %1 azalarak 321 MPa değerinde akma dayanımı elde edilmiştir.

Kaynak esnasında hızlı soğumadan dolayı akma dayanımında düşüş meydana geldiği görülmektedir [23]. Yukarıda elde ettiğimiz bulgular literatür ile uyumluluk göstermektedir.

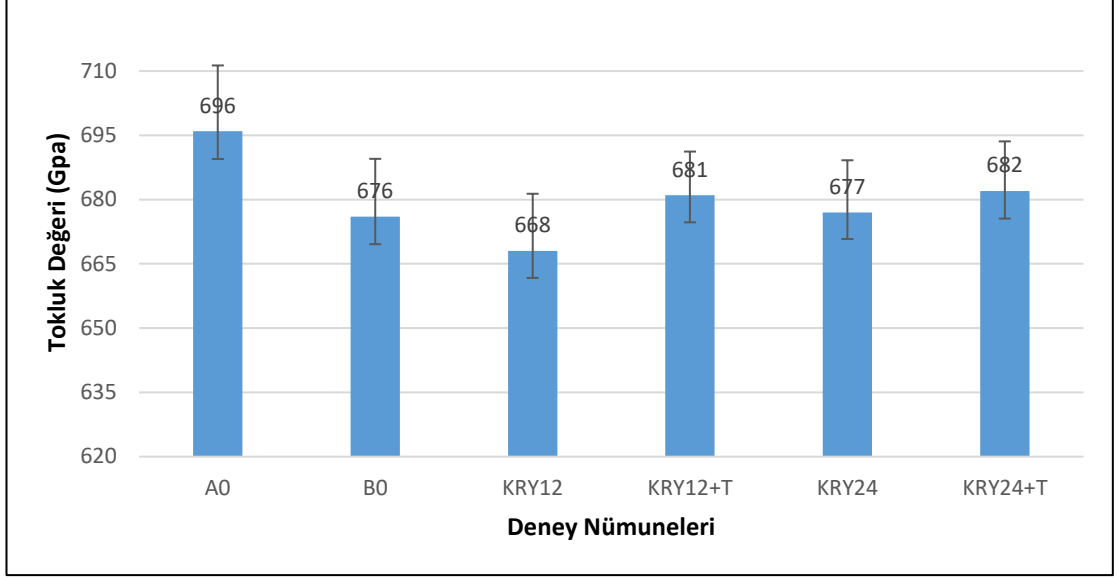


Şekil 8.2 Deney numuneleri akma dayanımlarını gösterir tablo.

Çekme grafiği değerlerinin altında kalan alan hesaplanarak tokluk değerleri elde edilmiştir. Tokluk değerleri incelendiğinde, uygulanan kriyogenik işlemler sonrası akma değerlerinde görülen düşüş benzer şekilde tokluk değerlerinde de görülmüştür. En düşük tokluk değeri KRY12 numunesinde ölçülmüştür. Tokluk değerlerinde en yüksek değer A0 numunesinde 696 GPa olarak hesaplanmıştır. B0 numunesinde bu değer %2,8 azalarak 676 GPa olmuştur. KRY12 numunesinde ise, %4 azalarak 668 GPa değerinde hesaplanmıştır. KRY12+T numunesinde ise, %2 azalarak 681 GPa değerinde olmuştur. KRY24 numunesinde hesaplanan tokluk değeri, A0 numunesine oranla %2 azalarak 677 GPa olurken, KRY24+T numunesinde bu değer %2 azalarak 682 GPa olmuştur.

Normal tokluk değerlerini gerçek gerilme-gerinme grafiği altında kalan alan verirken incelemelerde sadece kıyaslama yapmak amacıyla mühendislik gerilme-gerinme grafiği altında kalan alanı kullanarak tokluk değerleri elde edilmiştir.

Paslanmaz çeliklerde kaynak sonrası tane büyümesinden dolayı tokluk da azalma görülmektedir [6] Elde edilen bulgular literatürle kıyaslandığında uyumluluk göstermektedir.

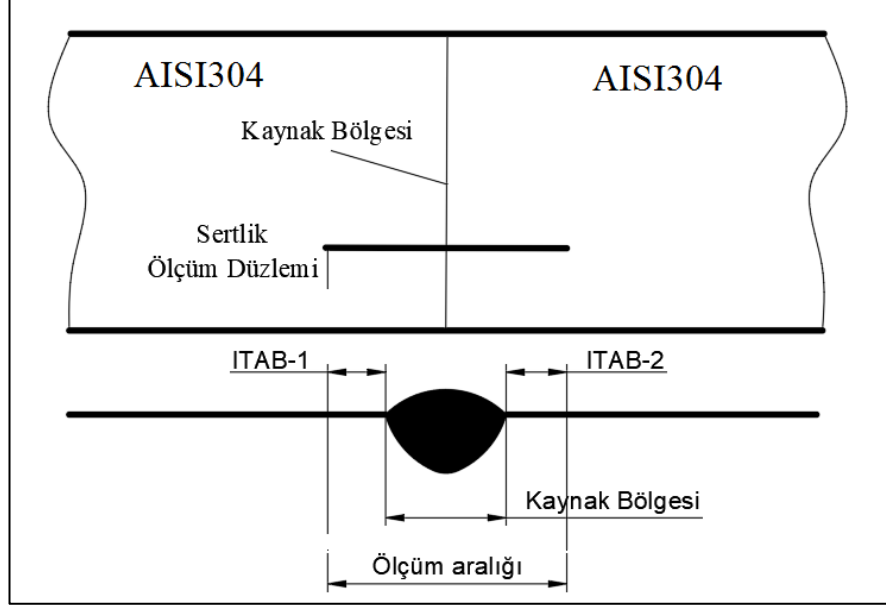


Şekil 8.3 Deney numuneleri tokluk değerleri.

Çekme testleri kaynak edilmemiş AISI304 ve DIN 4.4337 kaynak teli kullanılarak lazer kaynağı uygulanmış numunelere uygulanmıştır. Çekme testlerinde en yüksek çekme dayanımı, kaynak edilmemiş numunede ölçülmüştür. Bu durum, kullanılan kaynak telinin düşük alaşımlı olması nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Her ne kadar sertlik değerlerinde artış olmuş olsa da, malzemelerin çekme ve akma dayanımlarında düşüş görülmüştür. DIN 4.4337 malzemesinin akma dayanımı AISI304'ten yüksek olmasına rağmen, çekme dayanımı AISI304'ten düşüktür.. Bunun malzemelerin farklı tokluk değerlerine sahip olmaları nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Kaynak teli olarak böyle bir malzemenin kullanılması sonucunda da, kaynak bölgesinde tokluk değerinin düşmesi nedeniyle malzemelerde genel anlamda bir düşüş olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda, ITAB bölgesinin lazerle yapılan kaynak işlemlerinde hızlı soğuma nedeniyle çok dar olması malzemelerin ITAB bölgesinden kopmasına neden olmaktadır. Kaynak bölgesinde meydana gelen soğuma hızı, tanecik boyutunu etkilemektedir [50]. Kriyojenik işlemlerle birlikte malzeme içerisinde yeniden çökeltilerin oluşturulması ve daha sonra temperleme ile çökeltilerin malzemede daha homojen bir şekilde dağılmasına olanak sağlanmış olması, malzemenin akma ve çekme dayanımlarında artış sağlamıştır.

8.2. MİKROSERTLİK SONUÇLARI

Ölçümler üç farklı bölgeden alınmıştır (Şekil 8.4). Bu bölgeler kaynak bölgesi, ITAB1 ve ITAB2 olarak adlandırılmıştır. Ölçümler tekrarlı olarak ve ITAB dış kısmından kaynak bölgesine doğru alınmıştır.

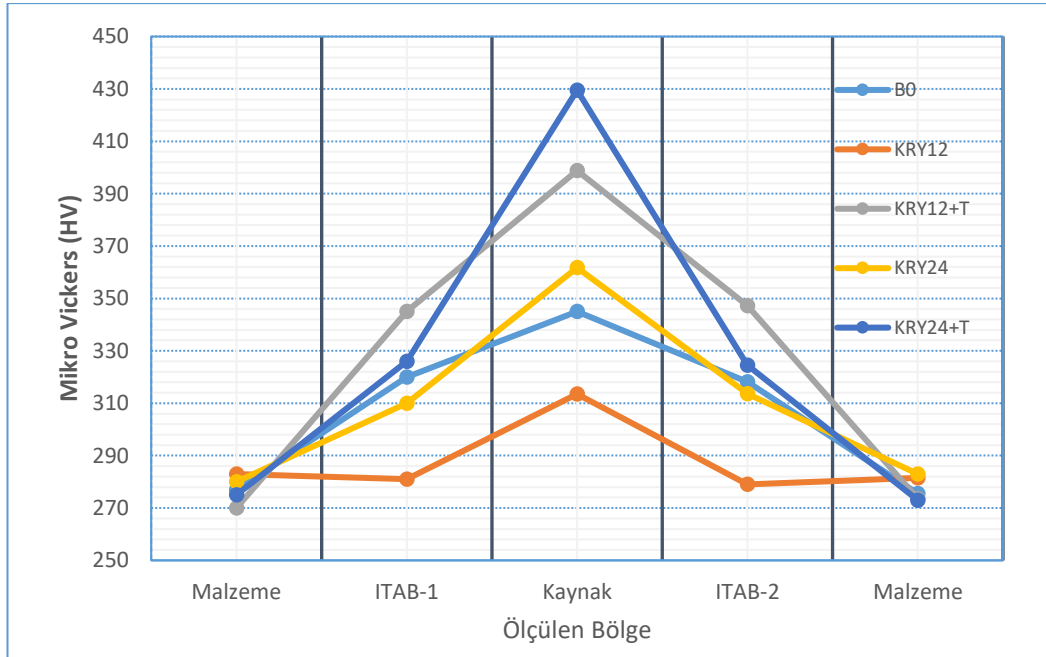


Şekil 8.4 Mikrosertlik Ölçüm bölgeleri

Sertlik sonuçlarına bakıldığında, en yüksek sertlik kaynak bölgesinde görülmüştür. Bu durum kullanılan DIN 4.4337 kaynak telinin AISI304 paslanmaz çelik ile kaynak işlemi sonrası martenzitik yapı oluşturmuş olması ile açıklanabilir. En yüksek sertlik değerinin KRY24+T numunesinde çıkmış olması, kriyojenik işlem ile malzeme içerisinde yer alan çökeltiler artmaktadır [51]. Bu nedenle kriyojenik işlemler sonrası çökeltilerde artış olduğu düşünülmektedir. Buna rağmen kaynak bölgesinde en düşük sertlik değeri KRY12 numunesinde olduğu görülmüştür. Bu durum kriyojenik işlem esnasında parçalanan çökeltilerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaynak bölgesinde sertliğin bir miktar yükselmesinin nedeni ise, hızlı soğuma ile birlikte östenitin martenzit fazına dönüşmesi olduğu düşünülmektedir. Temperleme ile birlikte kaynak bölgesinde birbirine karışmış olan DIN 1.5125 ve AISI304 arasında artan difüzyon hızı ile malzemeler arasında daha homojen bir dağılım olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, temperlenmiş malzemelerde sertlik değerleri daha yüksek çıkmıştır.

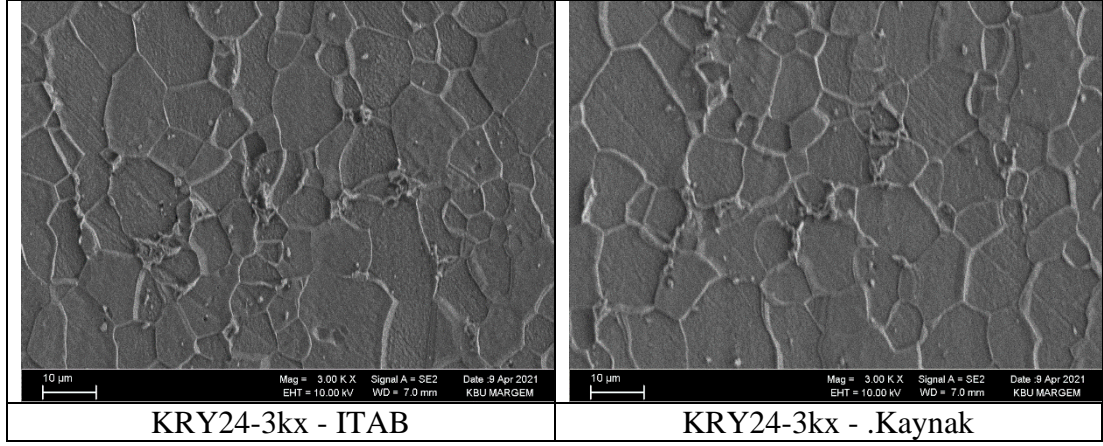
Kaynak bölgesinde sertlik artışının diğer bir nedeni ise, lazer kaynak işlemlerinde ısınma ve soğumanın çok yüksek hızlarda meydana gelmesi nedeniyle oluşan martenzit fazı olduğu düşünülmektedir. Kaynak bölgesinde oluşan martenzit fazı sertliği arttırmıştır. Daha sonra temperleme ile birlikte martenzit fazında bir değişiklik olmamakla birlikte, çökeltiler de sağlanan homojen dağılım ve yeni çökeltilerin oluşması sertlik değerini arttırmıştır. Ancak sertlik ölçümlerinde dikkatle incelenmesi gereken, kaynak bölgesinde sertlikler artarken, kaynak bölgesi ve ITAB dışında sertlik değerlerinde çok fazla bir değişim gerçekleşmemiştir. Sertlik sonuçlarında yaşanan bu durum, kaynak bölgesinde AISI 304 ve DIN 4.4337 arasında meydana gelen yeni alaşımın özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kaynak sonrası kaynak bölgesinin hızlı soğumasından dolayı sertlik değerinde ciddi bir artış olduğu sertlik değerlerinin dikiş bölgesine ilerledikçe arttığı görülmektedir. Yukarıda elde ettiğimiz bulgular literatür bulguları ile uyumluluk göstermektedir [6,8].

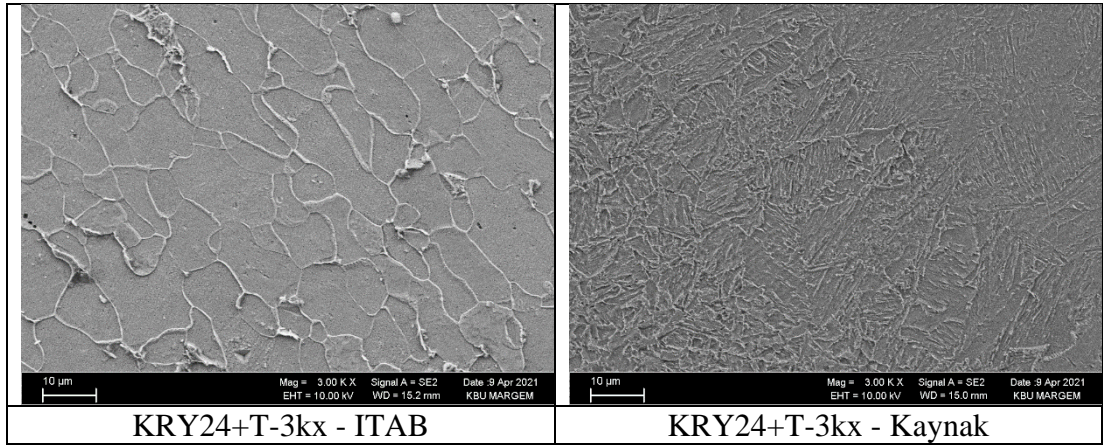


Şekil 8.5 Mikrosertlik değerleri

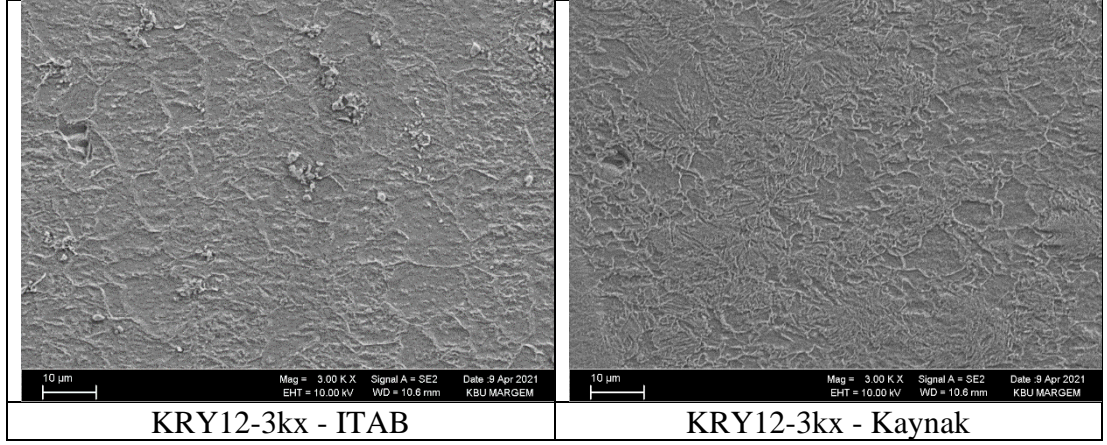
8.3. MİKROYAPI SONUÇLARI



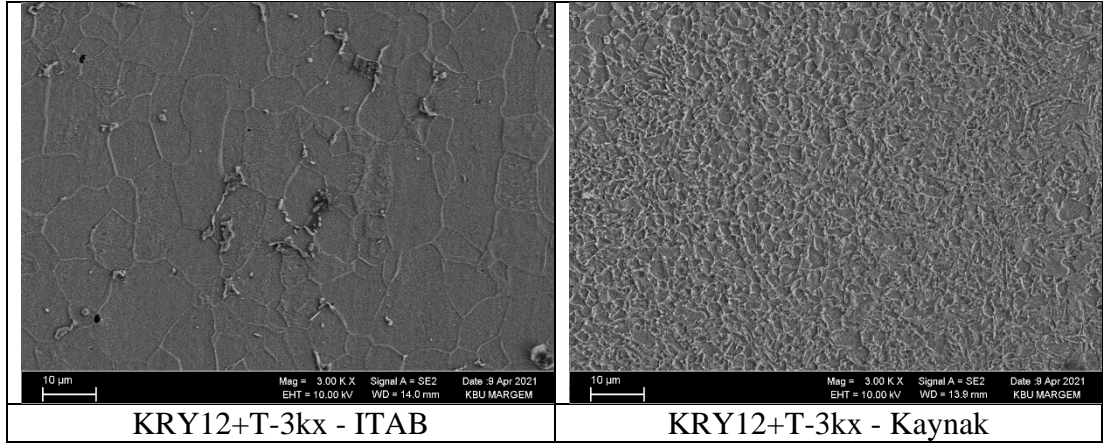
Şekil 8.6 24 saat kriyojenik işleme tabi tutulmuş numune fotoğrafı



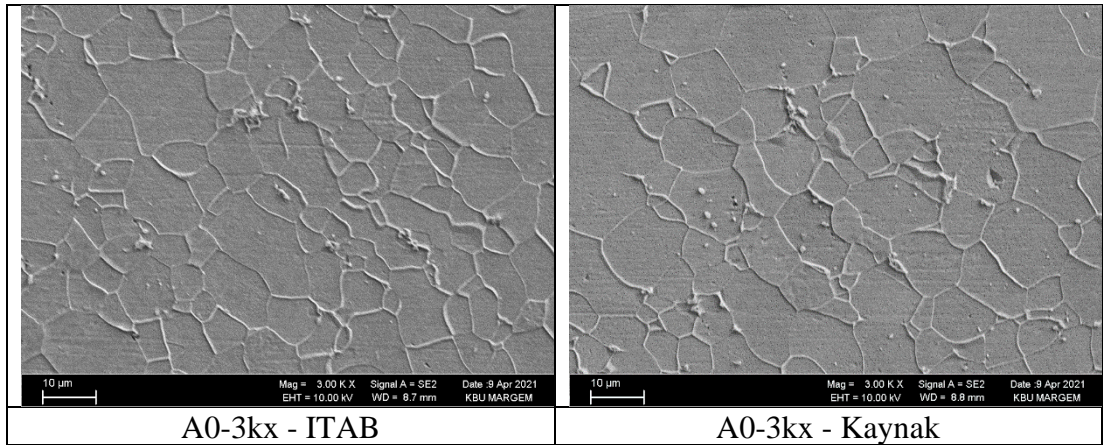
Şekil 8.7 24 saat kriyojenik işleme tabi tutulmuş temperlenmiş numune fotoğrafı



Şekil 8.8 12 saat kriyojenik işleme tabi tutulmuş numune fotoğrafı.



Şekil 8.9 12 saat kriyojenik işleme tabi tutulmuş temperlenmiş numune fotoğrafı.



Şekil 8.10 Kaynaklı kriyojenik işleme tabi tutulmamış numune fotoğrafı.

Kaynak işlemlerinde kullanılan 304 paslanmaz malzemesinin mikroyapı görüntüsü Şekil 8.11'de verilmiştir. AISI 304 paslanmaz çelik östenitik bir malzemedir ve yapının çoğunluğunun östenit olduğu kabul edilir. Buna rağmen, kompozisyon değişiklikleri, alaşım eklemeleri ve eşit olmayan soğuma şartları gibi nedenlerle delta ferrit bulunabilir [46]. Özellikle bu malzemelerin geleneksel kaynak işlemleri sırasında oluşan yüksek ısı girdisi karbür çökmesi ve diğer mikroyapısal değişimlere neden olmaktadır. Şekil 2.'de AISI 304 malzemesinin büyük tane boyutlarında östenit faz yapısı görülmektedir. Bu malzeme yapısında tek fazlı östenitik yapı mevcuttur ve tane boyutları yaklaşık 30 μm ve uniform olarak dağıldığı görülmektedir [47].



Şekil 8.11 AISI 304 Malzeme mikroyapı fotoğrafı

AISI304 malzemenin mikroyapısına bakıldığında tanelerin iri olduğu görülebilmektedir. Ancak kaynak bölgesinden alınan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde ise, daha küçük tanecik yapıları ile birlikte martenzit fazı da görülmektedir [48]. Lazer kaynağı ile yapılan işlemlerde, lazer kaynağının çok dar bir alanda etkili olması ve metallerdeki yüksek ısı iletkenliği ile oluşan hızlı soğuma martenzit fazının oluşmasını sağladığı düşünülmektedir.



Şekil 8.12 Kaynak bölgesinde oluşan mikroyapı [48].

Şekil 8.13'te kaynak sonrası 24 saat süre ile uygulanan kriyojenik işlem görmüş numunenin mikro yapısı verilmiştir. Kriyojenik işlem sonucu malzemelerin mikro yapısında herhangi bir değişiklik olmadığı görülmüştür.



Şekil 8.13 Kaynak sonrası 24 saat kriyojenik işlem uygulanmış numunede ITAB bölgesi

BÖLÜM 9

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

AISI 304 malzemesi DIN 1.5125 kaynak teli kullanılarak lazer kaynağı ile birleştirilmiştir. Kullanılan kaynak telinin düşük alaşımlı bir malzeme olması, nedeniyle kaynak işlemi sonrası malzemedeki mukavemet düşmesi görülmüş olmasına rağmen, kaynak bölgesinde sertlik değerlerinde ciddi artışlar meydana gelmiştir. Ayrıca, uygulanan kriyojenik işlemler, kaynaklı parçaların mukavemetinde düşüşe neden olmuştur. Fakat kriyojenik işlem sonrası uygulanan temperleme ile malzeme mukavemetinde artış sağlanmıştır. En yüksek mukavemet artışı ise, en uzun süre kriyojenik işlem uygulanmış ve daha sonra temperlenmiş KRY24+T numunesinde elde edilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre,

1. Lazer kaynağı ile yapılan birleştirmelerde ITAB bölgesi, lazerin çok kısa sürede ve çok dar bir alanda kaynak havuzu oluşturması nedeniyle oldukça dardır.
2. ITAB bölgesindeki taneler incelendiğinde, ana malzemedeki daha ince tane boyutu mikroyapı resimlerinde görülmektedir. Ayrıca hızlı soğuma nedeniyle mikroyapıda martenzit fazı oluşumu gözlenmiştir.
3. Malzemelere uygulanan kriyojenik işlemler sonucu malzemelerde bir dayanım artışı görülmemiş hatta dayanımda azalma meydana gelmiştir.
4. Kriyojenik işlemler sonrası uygulanan temperleme işlemleri malzemenin mekanik özelliklerini arttırmıştır.
5. Kaynak edilmiş malzemenin akma ve çekme dayanımı, ana malzemenin dayanımına kıyasla, düşmüştür. Ancak kaynak bölgesinden ölçülen mikro sertlik değerleri ana malzemeye oranla daha yüksek çıkmıştır.

6. Uygulanan kriyojenik işlemler tokluk değerlerinde de değişime yol açmıştır ve kriyojenik işlemler sonrası temperlenen numunelerde tokluk değerleri daha yüksek çıkmıştır.

Öneriler;

1. Çelik çiftlerinin kaynak işleminde kullanılan dolgu malzemesi değiştirilerek inceleme tekrarlanabilir.
2. Lazer kaynak parametrelerinde değişiklik yapılarak etkisi incelenebilir.
3. Kullanılan çelik çiftleri kaynak dolgu malzemesi kullanılmadan birleştirilerek incelenebilir.
4. Lazer kaynağında kullanılan koruyucu gaz değiştirilerek incelenebilir.
5. AISI304 çelik çiftlerinin lazer kaynak yöntemiyle elde edilen sonuçlar diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde elde edilen sonuçlar ile kıyaslanabilir.
6. Lazer kaynak yöntemi ile birleştirilen çelik çiftlerinin kaynak bölgeleri tahribatsız muayene yöntemleri ile test edilerek kaynak hataları tespit edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Özşahin S. ve Çavdar K., “Paslanmaz çeliklerin lazer kaynağı yöntemi kullanılarak birleştirilmesi” Yüksek Lisans Tezi *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(1), 354-372, Balıkesir (2023)
2. "Tarakçıoğlu, N. ve Özcan, M., “Lazerler ve materyal işleme uygulamaları, 1. baskı”, *Atlas Yayın, İstanbul*, 3-128 (2004).
3. Gordon, R.G., "The laser, light amplification by stimulated emission of radiation", *University of Michigan Press*, 1:128-136 (1959).
4. Shawlow, A.L. and Thownes, C.H., “Infrared and optical masers”, *Physical Review*, 112 (6):84-94 (1958).
5. İnternet: BDİ Metal ısıl işlem çeşitleri, <https://www.bdimetal.com/kriyojenik-isislem>.
6. Çalgülü U., AISI 304–430 Paslanmaz–Aısı 1010 Çelik Çiftlerinin Lazer Yöntemi İle Kaynağında Birleşme Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*., 160-171 (2009)
7. Taşkın M. ve Çalgülü U, AISI 430/1010 Çelik Çiftinin Lazer Kaynağında Kaynak Gücünün Birleşmeye Etkisi, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Fırat University. Journal of Engineering 21* (1), 11-22, (2009).
8. Köse C. ve Topal C, Plazma Ark Kaynağıyla Birleştirilen AISI 410S Ferritik Paslanmaz Çeliğin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Isıl İşlemin Etkisi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* Sayı 19, S. 201-212, (2020)
9. Köse C. ve Kaçar R, Lazer Kaynağı İle Birleştirilen Aısı 2205 Dupleks Paslanmaz Çeliğin Mekanik Ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi, *Technological Applied Sciences* (NWSATAS), 2A0100,11(4): 98-109. (2016)
10. Durmuş H. , Meriç C. ve Uzun R.O., AL-SiC Kompozitinin Lazer Kaynağı İle Birleştirilmesi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2* (1) 67 73 (2006)
11. Aydemir B., Aydemir E. ve Erdinç Kaluç E., DP1000 Çelik Sacların Uzaktan Lazer (RLW) ve Direnç Nokta Kaynaklı (RSW) Birleştirmelerinin Çekme ve Yorulma

- Özelliklerinin İncelenmesi, *Mühendis ve Makine Dergisi* Cilt 58, sayı 687, 17-28, (2017).
12. Köse C. ve Karaca E., Nd:YAG lazer kaynağı ile birleştirilen Ti6Al4V alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerine ısı işlemlerin etkileri, *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 232-243, (2019)
 13. Altuğ M. ve Erdem M., Lazer Kaynağı İle Birleştirilen Ti6Al4v Alaşımının Mikro Yapı Ve İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması, *6. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 5-7 İstanbul (2015)
 14. Kilerci İ. ve Köksal N.S., Titanyum Alaşımının Lazer Ve Tıg Kaynağında Mekanik Özelliklerin İncelenmesi, *9.Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı* İstanbul 19-21 (2011)
 15. Tunçel O., Lazer Kaynağı İle Birleştirilmiş Farklı Türdeki Yüksek/Ultra Yüksek Mukavemetli Çeliklerde Mekanik Ve Mikroyapı İlişkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Bursa 120-135, (2020)
 16. Yüce C., Yüksek Mukavemetli Çelikler İle Alüminyum Alaşımının Lazer Kaynağı İle Birleştirilmesinde Kaynak Parametrelerinin Bağlantı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Bursa 95-105 (2018)
 17. Akkurt A., Şık A. ve Ovalı İ., AA2024 Alüminyum Alaşımının Lazer Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* Cilt 18, Sayı 1, , 37-45 (2012)
 18. Taşkın M., Çalgülü U., AISI 430/1010 Çelik Çiftinin Lazer Kaynağında Kaynak Gücünün Birleşmeye Etkisi *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 21 (1), 11-22, (2009)
 19. Çakmakkaya M., Çolak F., Kara R., ve Karaağaçlı A., Lazer Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Farklı Tür Çeliklerin Kaynak Dikiş Geometrisi ve Nüfuziyetine Kaynak Parametrelerinin Etkisi, *Journal of Materials and Mechatronics*, 1-11 (2020)
 20. Özcan M., Tarakcıoğlu N. ve Kahramanlı Ş., Saç Malzemelerin Lazer Kaynak Parametreleri, *Selçuk Üniversitesi Selçuk Teknik Dergisi* Cilt 3, Sayı:1 30-40 (2004).

21. Yılmaz R., Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Lazer Kaynağı ile Birleştirilmesi ve Mekanik Özellikleri, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* Cilt: 4, No: 3, 598-605 (2017)
22. Benyounis, K.Y., Olabi, A.G. and Hashmi, M.S.J., “Effect of laser welding parameters on the heat input and weld-bead profile”, *Journal of Materials Processing Technology*, 164:978-985 (2005).
23. Zambon, A., Ferro P. And Bonollo, F., “Microstructural, compositional and residual stress evaluation of CO2 laser welded superaustenitic AISI 904L stainless steel”, *Materials Science and Engineering*, A424:117-127 (2006).
24. Kam M. ve Saruhan H. , Derin Kriyojenik İşlemin Farklı Bekletme Sürelerinin AISI 4140 (42CrMo4) Çeliğin Mekanik Özelliklerine Etkisi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 553-564.(2018)
25. Şirin Ş., Akıncıoğlu S. ve Harun GÜL, Kriyojenik İşlem Zamanının Aıısı 430 Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Etkisi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Cilt 7, Sayı 3 (2018)
26. Arslan Y., Özdemir A., Uygur İ. ve Bayraktar H., Derin Kriyojenik İşlemin AISI D3 Takım Çeliğinin Önemli Özellikleri ve Çekme Dayanımı Üzerine Etkisi, *1 st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies Tokat* 45-46 (2017).
27. Höke G., Şahin İ., Çinici H, ve Fındık T., Kriyojenik İşlemin SAE 4140 Çeliğinin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, *Selçuk Üniversitesi Selçuk-Teknik Dergisi* Cilt 13, Sayı:2- 25-34 (2014)
28. Nas E., ve Akıncıoğlu S., Kriyojenik İşlem Görmüş Nikel Esaslı Süper Alaşımın Elektro-Erozyon İşleme Performansı Optimizasyonu, *Academic Platform Journal of Engineering and Science* 7-1, 115-126, (2019)
29. Uzun M., Kriyojenik İşlem Görmüş Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışının İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon 30-40 (2014),
30. Bansala A., Singlaa A.N., Dwivedia V., Goyalb D.K., Singlaa J., Guptac M.K. and Krolczyk G.M., Influence of cryogenic treatment on mechanical performance of friction stir Al-Zn-Cu alloy weldments, *Journal of Manufacturing Proses* Volume 56, Part A Pages 43-53. (2020)

31. Malopheyev S., Mironov S. and Kaibyshev R. Cryogenic properties of Al–Mg–Sc–Zr friction-stir welds D. Zhemchuzhnikova, *Materials Science and Engineering: A* Volume 598, 26, 387-395. (2014)
32. Devarajua A. and V Kishan, Influence of Cryogenic cooling (Liquid Nitrogen) on Microstructure and Mechanical properties of Friction stir welded 2014-T6 Aluminum alloy, *Materials Today: Proceedings* Volume 5 1585–1590 (2018)
33. Wang J., Fu R., Li Y. and Zhang J., Effects of deep cryogenic treatment and low-temperature aging on the mechanical properties of friction-stir-welded joints of 2024-T351 aluminum alloy, *Materials Science and Engineering: A* Volume 609, 147-153. (2014)
34. Li Y., Fua R., Li Y. and Peng Y., Hui-jie Liu, Tensile properties and fracture behavior of friction stir welded joints of Fe-32Mn-7Cr-1Mo-0.3N steel at cryogenic temperature, *Journal of Materials Science & Technology* Volume 34, Issue 1, 157-162 (2018)
35. Çetin Ş, Lazer kaynağı ile birleştirilmiş yüksek mukavemetli çelik sacların mekanik özelliklerinin incelenmesi Yüksek Lisans Tezi *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* Bursa 50-75 (2019)
36. Pakdil, M., Çam, G. ve Erim, S.. Lazer kaynağının avantajları. *Makinatek*, Sayı:95:116-119 (2005)
37. Özcan M, Değişik Malzemelerin İşlenmesinde Kullanılan ND:Yag Lazerleri İçin Etkin Bir Güç Kaynağının Tasarımı ve Uygulanması Doktora Tezi *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* Konya 57-85 (2003)
38. Limmaneevichitr C. and Kou S.. Visualization of Marangoni Convection in Simulated Weld Pool. *Welding Journal* 79, 150-199 (2002)
39. Yavuz, H. ve Çam, G.. Lazer-ark hibrit kaynak yöntemi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, Sayı:46 (543): 14-19 (2005)
40. İnternet, ART Metalürji Ürünleri Limited Şirketi, <https://artmetalurji.com/isil-islem.html>
41. İnternet; <http://www.mmdtekno.com/kriyojenik-i%c5%9flem.html>
42. Çelen S., Paslanmaz Çeliklerin Lazer Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Dayanım Ve Korozyon Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek lisans

tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir 30-45 (2006)

43. Püskülcü, G. ve Koçlular, F. Lazer kaynak yöntemi ve uygulamaları. *Mühendis ve Makine Dergisi*, Sayı:50 (599): 8-17 (2009)
44. Kahraman N. ve Gülenç B., Modern Kaynak Teknolojisi, 4. Baskı, *Epa-Mat Basım Yayın Ltd. Şti*, , Ankara 50-70 (2020)
45. Uzun, R. O.. Lazerle kaynak işleminde kaynak parametrelerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, *GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara. 47-77 (2010)
46. Hunter, A. and M. Ferry, Phase formation during solidification of AISI 304 austenitic stainless steel. *Scripta Materialia*,. 46(4): p. 253-258. (2002)
47. Wang, P., Zhang Y., and Yu D., Microstructure and mechanical properties of pressure-quenched ss304 stainless steel. *Materials*,. 12(2) 185-220 (2019)
48. Zandrahimi, M., Poladi A., and Szpunar J.A., The formation of martensite during wear of AISI 304 stainless steel. *Wear*, 263(1-6): 674-678 (2007)
49. İnternet; <https://www.magmaweld.com.tr/ti-312-uo>
50. Cheng, B., Effect of low-temperature cooling on corrosion properties of laser welding Hastelloy C-276/304 stainless steel with filler wire. *Optics & Laser Technology*,. Volume:148 107755 (2022)
51. Klug, P.J., M., Klug M.J., and Podgornik B., Effectiveness of deep cryogenic treatment on carbide precipitation. *Journal of Materials Research and Technology*,. Volume:9(6):13014-13026 (2020)

ÖZGEÇMİŞ

Aydın ERKARSLAN ilk ve orta öğrenimini Gebze de tamamladı. Gebze Endüstri Meslek Lisesi Tesviye Bölümü'nden mezun oldu. 2002 yılında kayıt olduğu Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünden 2007 yılında mezun oldu. 2022 yılında TÜBİTAK Bilişim ve Bilgi Güvenliği İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi'nde araştırmacı olarak çalışmaya başladı halen aynı yerde görevine devam etmektedir.