



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LAZER KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK
SACLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Şükriye ÇETİN

Doç. Dr. Hakan AYDIN
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Şükriye ÇETİN tarafından hazırlanan “Lazer Kaynağı ile Birleştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelik Sacların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Hakan AYDIN

Başkan : Doç. Dr. Hakan AYDIN
Unvanı, Adı ve Soyadı
B.U.Ü. Üniversitesi, Müh...Fakültesi,
...Makine...Müh... Anabilim Dalı


İmza

Üye : Prof. Dr. Ali BAYRAM
Unvanı, Adı ve Soyadı
B.U.Ü. Üniversitesi, Müh...Fakültesi,
...Makine...Müh... Anabilim Dalı


İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Alaaddin TOKTAS
Unvanı, Adı ve Soyadı
Balıkesir Üniversitesi, Müh...Fakültesi,
...Makine...Müh... Anabilim Dalı


İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof. Dr. Ali BAYRAM
Enstitü Müdürü

8.../1.../2019

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

...../...../.....

İmza
Şükriye ÇETİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LAZER KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİK SACLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Şükriye ÇETİN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan AYDIN

Lazer kaynağı otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemetli çeliklerden üretilmiş gövde parçalarını birleştirmek amacıyla kullanılması beklenen bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemini başarılı bir şekilde uygulamak için kaynak mikro yapısı ve mekanik özelliklerini anlamak önemlidir.

Bu çalışmada amaç farklı kaynak parametreleriyle lazer kaynak yöntemi uygulanmış DP600-DP1000 çelik sacların kaynak parametrelerinin etkilerini araştırmak olmuştur. Bu amaçla mekanik özellikler ve mikro yapı özellikleri arasında bağlantı kurulmuştur. Kaynaklı numunelere çekme testi, mikro sertlik testi uygulanmış, makro ve mikro yapısal kaynak bölgeleri incelenmiştir.

Lazer kaynak yönteminde görülen ergime bölgesi (EB), ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), temel (esas) malzeme (TM) bölgeleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lazer Kaynağı, Yüksek Mukavemetli Çelikler, Mekanik Özellikler, Mikro Yapı

2019, xii+119 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

AN INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH STRENGTH STEEL SHEETS JOINED WITH LASER WELDİNG

Şükriye ÇETİN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural Sciences and Applied
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Hakan AYDIN

Laser welding is a newly-developed joining technology which is expected to be use in the automotive industry for joining body parts made of high strength steel sheets. To apply the solid-state welding successfully its important to understand weld microstructure and mechanical properties.

In this study the aim was to determine the parameters effect in laser welding of DP 600-DP 1000 steel sheets by using different parameters. For this purpose it was correlated with mechanical properties and micro structural characteristics. The joined samples were investigated by the methods of tensile test, micro hardness, micro and macro observations.

The melting zone (MZ), the heat-affected zone (HAZ), and the base material (BM) regions of the laser welding process were observed.

Key Words: Laser Welding, Hight Strength Steel, Mechanical Properties, Mikro Structure

2019, xii+119 pages

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın her aőamasında gosterdikleri değerli yardımlar dolayısıyla Sayın hocam Do. Dr. Hakan AYDIN'a, deneysel uygulamaların yapılması amacıyla lazer kaynak alt yapısının sağlanması ve teorik bilginin hayata aktarılmasında çok büyük katkıları için Sayın Selim BİLEN-LAZERMİK firmasına çok teşekkür ederim. Uludağ Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Metalografi-Malzeme Laboratuvarındaki deneylerin yapılmasında gosterdiği yardımlar dolayı Araç. Gör. Y. Müh. Oğuz TUNÇEL'e teőekkürlerimi sunarım.

Bana her konuda destek olan aileme ve arkadaőlarıma teőekkürlerimi sunarım.

Őukriye ÇETİN

.../.../...

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Çift- Fazlı Çelikler ve Özellikleri	3
2.1.2. Çift-Fazlı Çeliklerin Üretimi.....	5
2.1.3. Çift-Fazlı Çeliklerin Isıl İşlemi	6
2.1.4. Çift-Fazlı Çeliklerin Avantajları ve Uygulama Alanları.....	8
2.1.5. Genel Yapı Çeliklerinin ve Otomotiv Çeliklerinin Kaynağı.....	10
2.2. Lazer Kaynağı ve Özellikleri	15
2.2.1. Lazer Kaynağı	15
2.2.2. Lazer Kaynağının Tarifi, Temel Elemanları	15
2.2.3. Lazer Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları	21
2.2.4. Lazer Kaynağı Kesitinin Tipik Görünümü ve Oluşan Bölgeler.....	22
2.2.4.1. Ergime Bölgesi (EB)	23
2.2.4.2. Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB).....	23
2.2.4.3. Temel Malzeme (TM)	23
2.2.5. Lazer Kaynak Yöntemleri	23
2.2.5.1. Derinlemesine Nüfuz Eden Lazer Kaynağı	24
2.2.5.2. İletimsel Lazer Kaynağı	25
2.2.6. Kaynak Parametreleri.....	26
2.2.6.1. Lazer Gücü	28
2.2.6.2. Odaklama	29
2.2.6.3. Koruyucu Gaz	30
2.2.7. Birincil Ayarlanabilir Kaynak Parametreleri	31
3. MATERYAL VE YÖNTEM	35
3.1. Materyal	35
3.2. Yöntem.....	35
3.2.1. Kaynak İşlemi	35
3.2.2. Numune Hazırlama İşlemleri	40
3.2.3. Metalografik Muayeneler	43
3.2.4. Mikro Sertlik Ölçümleri.....	43
3.2.5. Çekme Deneyi.....	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	47
4.1. Kaynak Bölgesi Makro ve Mikro Yapılar.....	47
4.2. Mikro Sertlik Ölçümleri.....	72
4.2.1.DP600-DP600 Kaynaklı Numuneleri	72
4.2.2.DP1000-DP1000 Kaynaklı Numuneleri	77

4.2.3.DP600-DP1000 Kaynaklı Numuneleri	83
4.3. Çekme Deneyi Sonuçlar	87
5. SONUÇ	113
6. KAYNAKLAR	116
ÖZGEÇMİŞ	119



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Ac_1	Östenit dönüşümünün başlangıç sıcaklığı
Ac_3	Tamamen östenite dönüşümünün başladığı sıcaklığı
B	Beynit
C	Martenzitin akma mukavemetinin ferrit akma mukavemetine oranı
Fe	Demir
HV	Vickers sertliği
J	Joule
Q	Isı
M	Martenzit
P	Perlit
S	Kaynak kabiliyeti
$S_{y0,M}$	Matenzitin akma mukavemeti
T_{em}	Metalin ergime sıcaklığı
t_k	Kaynak süresi
α	Ferrit
γ	Ostenit
η	Verim
ρ	İş Parçasının Yoğunluğu
V	Kaynak hızı
W	Kaynak Genişliği (m)
d	Kaynak Nüfuziyeti (m)
V	Kaynak Hızı (m/s)
C_p	Özgül Isı (J/kgK)
ΔT	Ergimeden kaynaklanan sıcaklık artışı (K)
LM	Ergime Gizli Isısı (J/kg)

Kısaltmalar	Açıklama
AC	Havada soğuma
ASHH	İleri yüksek mukavemetli çelikler
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu)
AWS	American Welding Society (Amerika kaynak topluluğu)
DP	Çift Fazlı
FC	Fırında soğuma
HSLA	Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler
HSS	Yüksek dayanımlı çelikler
ITAB	Isı tesiri altında kalan bölge
LSS	Düşük dayanımlı çelikler
Mart	Martenzitik çelikler
MHO	Martenzit hacim oranı
UHSS	Ultra yüksek dayanımlı çelikler
ULSAB	Çok Hafif Çelik Araç Gövdesi
YMDA	Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TM	Temel Malzeme
YMK	Yüzey merkezli kübik
HMT	Hacim merkezli tetragonal
IIW	Uluslararası Kaynak Enstitüsü Kaynak Kabiliyeti Komisyonuna
Al	Alüminyum
Fe ₃ C	Sementit
C	Karbon
C _{eş}	Karbon eşdeğeri
PD	Ortalama tepe güç yoğunluğu
PM	Ortalama güç
TP	Darbe süresidir
Al ₂ O ₃	Alümine

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Çift-fazlı çelikte ferrit ve martenzitin yapısı.....	3
Şekil 2.2. Yüzey merkezli kübik (YMK) yapıdan, hacim merkezli tetragonal (HMT) yapıya dönüşüm esnasında oluşan martenzit birim kafesi.....	4
Şekil 2.3. Çift-fazlı çelikler ile diğer çelik türlerinin kıyaslanması.....	5
Şekil 2.4. Ferrit (açık renk) martenzit (koyu renk) mikro yapısına sahip çift-fazlı bir çelik.....	6
Şekil 2.5. Çift-faz ısı işlemleri için sıcaklık aralıklarının şematik olarak gösterimi, a) Ara su verme, b) Kritik sıcaklıklar arası bölgede tavlama, c) Basamaklı (kademeli) su verme.	7
Şekil 2.6. Çift-faz çeliklere uygulanan ısı işlem sonucu elde edilen mikro yapılar a) Ara su verme, b) Kritik sıcaklıklar arası bölgede tavlama, c) Basamaklı (kademeli) su verme.....	7
Şekil 2.7. Kaynak kabiliyetinin temel faktörler ve özelliklerle ilişkisi.....	11
Şekil 2.8. Östenit tane boyutuna bağlı olarak tane sınırı ferrit oranı değişimi.....	14
Şekil 2.9. Lazer Kaynak yönteminin şematik gösterimi.	15
Şekil 2.10. Bir lazer makinesinin temel elemanları.....	18
Şekil 2.11. Lazer makinesinin gösterimi.....	23
Şekil 2.12. Lazer kaynağında anahtar deliği ve plazma oluşumunun şematik kesit görünüşü.....	25
Şekil 2.13. İletimsel lazer kaynağı uygulaması.....	26
Şekil 2.14. Kalınlıklara göre karbonlu çelik levhalar için kaynak hızının (CO ₂) lazer gücüne göre değişimi.....	27
Şekil 2.15. Odaklama düzeneği şekilsel görünümü.....	27
Şekil 2.16. 1 kW Nd:YAG lazerinin kaynak performansı.....	28
Şekil 2.17. Kaynak dikişi formu.....	29
Şekil 2.18. Lazer ışınının odaklanması, ayna veya lens kullanılması.....	29
Şekil 2.19. Lazer ışınının odaklanması ve kaynak uygulamasında oluşabileceği bölge.....	30
Şekil 2.20. Koruyucu gaza göre plazmanın ateşlenmesi ve kaynak üzerindeki etkisi.....	31
Şekil 2.21. Gerilim ve darbe süresindeki değişimin ergime ve nüfuziyet üzerindeki etkileri.....	32
Şekil 2.22. Hem gerilim hem de darbe süresindeki değişimin ergime ve nüfuziyet üzerindeki etkileri.....	32
Şekil 2.23. Işın çapındaki değişimin ergime ve nüfuziyet üzerindeki etkileri.....	33
Şekil 2.24. Gerilim, darbe süresi ve ışın çapındaki değişimin ergime ve nüfuziyet üzerindeki etkileri.....	33
Şekil 2.25. Üç kaynak dikişi uygulaması farklı lazer.....	33
Şekil 3.1. Kaynak esnasında parçaları sabitlemek için kullanılan fikstür.....	36
Şekil 3.2. Deneyler için kullanılan numunelerin imalatının yapıldığı Sisma SWA300 Lazer Kaynak Makinesi.....	37
Şekil 3.3. Deneyler için kullanılan numunelerin imalatının yapıldığı Sisma SWA300 Lazer kaynak makinası dijital ekran ve lazer kafası.....	37
Şekil 3.4. Lazer kaynak makinasında numunelerinin hazırlanması.....	38
Şekil 3.5. Baykal marka CNC kesme makinesi. (http://efemetalmakina.com/).....	40

Şekil 3.6. Strerus marka kesme cihazı	41
Şekil 3.7. Metkon Ecopress-100 marka bakalite alma cihazı.....	41
Şekil 3.8. Sertlik ölçümü ve iç yapı incelemek için bakalite alınmış numuneler.....	42
Şekil 3.9. Metkon-Forcimat marka otomatik parlatma cihazı	42
Şekil 3.10. Nikon DIC marka ışık mikroskobu	43
Şekil 3.11. Duroline-Metkon marka sertlik ölçüm cihazı	44
Şekil 3.12. UTEST-70 14 çekme cihazı	45
Şekil 3.13. Kaynaklı plakaların ve çekme numunesinin şematik gösterimleri.....	45
Şekil 3.14. Çalışma kapsamındaki çekme deneyleri	46
Şekil 4.1. Üretilen kaynakların makro yapısı a) EB, b) ITAB, c)TM (Numune1).....	47
Şekil 4.2. DP600 temel malzemesinin çeşitli büyütme görüntüsü	48
Şekil 4.3. DP1000 temel malzemesinin çeşitli büyütme görüntüsü	49
Şekil 4.4. Numune 1 ve Numune 4'e ait makroyapı görüntüleri.....	50
Şekil 4.5. Numune 6 ve Numune 8'e ait makroyapı görüntüleri.....	50
Şekil 4.6. Numune 10 ve Numune 13'e ait makroyapı görüntüleri.....	51
Şekil 4.7. Numune 14 ve Numune 17'e ait makroyapı görüntüleri.....	52
Şekil 4.8. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 1, b) Numune 4	52
Şekil 4.9. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 6, b) Numune 8	53
Şekil 4.10. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 10, b) Numune 13	53
Şekil 4.11. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 14, b) Numune 17	53
Şekil 4.12. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 1, b) Numune 4	54
Şekil 4.13. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 6, b) Numune 8	54
Şekil 4.14. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 10, b) Numune 13	54
Şekil 4.15. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 14, b) Numune 17	55
Şekil 4.16. ITAB – temel malzeme (TM) a) Numune 1, b) Numune 4.....	55
Şekil 4.17. ITAB – temel malzeme (TM) a) Numune 6, b) Numune 8.....	56
Şekil 4.18. ITAB – temel malzeme (TM) a) Numune 10, b) Numune 13.....	56
Şekil 4.19. Numune 19 ve Numune 21'e ait makroyapı görüntüleri.....	57
Şekil 4.20. Numune 23 ve Numune 25'e ait makroyapı görüntüleri.....	57
Şekil 4.21. Numune 27 ve Numune 30'a ait makroyapı görüntüleri.....	58
Şekil 4.22. Numune 31 ve Numune 33'e ait makroyapı görüntüleri.....	59
Şekil 4.23. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 19, b) Numune 21	59
Şekil 4.24. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 23, b) Numune 25	60
Şekil 4.25. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 27, b) Numune 30	60
Şekil 4.26. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 31, b) Numune 33	60
Şekil 4.27. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 19, b) Numune 21	61
Şekil 4.28. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 23, b) Numune 25	61
Şekil 4.29. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 27, b) Numune 30	61
Şekil 4.30. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 31, b) Numune 33	62
Şekil 4.31. ITAB – temel malzeme (TM) a) Numune 21, b) Numune 23.....	62
Şekil 4.32. ITAB – temel malzeme (TM) a) Numune 27, b) Numune 30.....	63
Şekil 4.33. ITAB – temel malzeme (TM) a) Numune 31, b) Numune 33.....	63
Şekil 4.34. Numune 35 ve Numune 39'a ait makroyapı görüntüleri.....	64
Şekil 4.35. Numune 40 ve Numune 42'e ait makroyapı görüntüleri.....	64
Şekil 4.36. Numune 45 ve Numune 47'e ait makroyapı görüntüleri.....	65
Şekil 4.37. Numune 49 ve Numune 50'e ait makroyapı görüntüleri.....	66
Şekil 4.38. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 35, b) Numune 39	66
Şekil 4.39. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 40, b) Numune 42	67

Şekil 4.40. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 45, b) Numune 47	67
Şekil 4.41. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 49, b) Numune 50	67
Şekil 4.42. Numune 35'in a) DP600 ITAB, b) DP1000 ITAB	68
Şekil 4.43. Numune 42'in a) DP600 ITAB, b) DP1000 ITAB	68
Şekil 4.44. Numune 45'in a) DP600 ITAB, b) DP1000 ITAB	69
Şekil 4.45. Numune 35'in a) DP 600 tarafı ITAB –TM geçişi, b) DP 1000 tarafı ITAB- TM geçişi	69
Şekil 4.46. a) Numune 39'un DP 1000 tarafı ITAB –TM geçişi, b) Numune 40'ın a) DP 600 tarafı ITAB –TM geçişi	70
Şekil 4.47. Numune 42'in a) DP 600 tarafı ITAB –TM geçişi, b) DP 1000 tarafı ITAB- TM geçişi	70
Şekil 4.48. a) Numune 45'in DP 600 tarafı ITAB –TM geçişi, b) Numune 47'in DP 600 tarafı ITAB –TM geçişi	71
Şekil 4.49. Numune 49'un a) DP 600 tarafı ITAB –TM geçişi, b) DP 1000 tarafı ITAB- TM geçişi	71
Şekil 4.50. Numune 50'in a) DP 600 tarafı ITAB –TM geçişi, b) DP 1000 tarafı ITAB- TM geçişi	71
Şekil 4.51. Farklı güç değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP600 (a) N1, b) N4.....	73
Şekil 4.52. Farklı darbe süresi değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP600 (a) N6, b) N8)	74
Şekil 4.53. Farklı frekansın değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP600 (a) N10, b) N13)	75
Şekil 4.54. Farklı ışın çapı değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP600 (a) N14, b) N17)	77
Şekil 4.55. Farklı güç değerlerinde sertlik değişimi DP1000-DP1000 (a) N19, b) N21)	78
Şekil 4.56. Farklı darbe süresi değerlerinde sertlik değişimi DP1000-DP1000 (a) N23, b) N25).....	79
Şekil 4.57. Farklı frekansın değerlerinde sertlik değişimi DP1000-DP1000 (a) N27, b) N30).....	81
Şekil 4.58. Farklı ışın çapı değerlerinde sertlik değişimi DP1000-DP1000 (a) N31, b) N33).....	82
Şekil 4.59. Farklı güç değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP1000 (a) N35, b) N39)..	83
Şekil 4.60. Farklı darbe süresi değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP1000 (a) N40, b) N42).....	84
Şekil 4.61. Farklı frekansın değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP1000 (a) N45, b) N47)	85
Şekil 4.62. Farklı ışın çapı değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP1000 (a) N48, b) N50)	86
Şekil 4.63. DP600-DP600 a) Güç ile çekme mukavemeti değişimi, b) Güç ile uzama (%) (N1, N2, N3, N4 ve N5)	90
Şekil 4.64. DP600-DP600 a) Darbe süresi ile çekme mukavemeti değişimi, b) Darbe süresi ile uzama (%) (N6, N7, N3, N8 ve N9).....	92
Şekil 4.65. DP600-DP600 a) Frekans ile çekme mukavemeti değişimi, b) Frekans ile uzama (%) (N10, N11, N3, N12 ve N13).....	94
Şekil 4.66. DP600-DP600 a) Işın çapı ile çekme mukavemeti değişimi, b) Işın çapı ile uzama (%) (N14, N15, N3, N16 ve N17)	96

Şekil 4.67. DP1000-DP1000 a) Güç ile çekme mukavemeti değişimi, b) güç ile uzama (%) (N18, N19, N20, N21 ve N22).....	98
Şekil 4.68. DP1000-DP1000 a) Darbe süresi ile çekme mukavemeti değişimi, b) Darbe süresi ile uzama (%) (N23, N24, N20, N25 ve N26).....	100
Şekil 4.69. DP1000-DP1000 a) Frekans ile çekme mukavemeti değişimi, b) Frekans ile uzama (%) (N27, N28, N20, N29 ve N30).....	102
Şekil 4.70. DP1000-DP1000 a) Işın Çapı ile çekme mukavemeti değişimi, b) Işın çapı ile uzama (%) (N31, N32, N20, N33 ve N34).....	104
Şekil 4.71. DP600-DP1000 a) Güç ile çekme mukavemeti değişimi, b) Güç ile uzama (%) (N35, N36, N37, N38 ve N39)	106
Şekil 4.72. DP600-DP1000 a) Darbe süresi ile çekme mukavemeti değişimi, b) Darbe süresi ile uzama (%) (N40, N41, N37, N42 ve N43).....	108
Şekil 4.73. DP600-DP1000 a) Frekans ile çekme mukavemeti değişimi, b) Frekans ile uzama (%) (N44, N45, N37, N46 ve N47).....	110
Şekil 4.74. DP600-DP1000 a) Işın Çapı ile çekme mukavemeti değişimi, b) Işın çapı ile uzama (%) (N48, N49, N37, N50 ve N51).....	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Çift-fazlı çelik türleri.	6
Çizelge 2.2. Çift-fazlı çeliklerin uygulama alanları.	10
Çizelge 2.3. Kaynak kabiliyetini etkileyen etkenler.	12
Çizelge 2.4. Kullanılan lazerler ve özellikleri.	19
Çizelge 3.1. DP600 çeliğinin kimyasal ve mekanik özellikleri.	35
Çizelge 3.2. DP1000 çeliğinin kimyasal ve mekanik özellikleri.	35
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan kaynak parametreleri.	39
Çizelge 4.1. Farklı parametrelerle üretilen kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları (DP600-DP600).	87
Çizelge 4.2. Farklı parametrelerle üretilen kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları (DP1000-DP1000).	88
Çizelge 4.3. Farklı parametrelerle üretilen kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları (DP600-DP1000).	88
Çizelge 4.4. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).	89
Çizelge 4.5. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).	91
Çizelge 4.6. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).	93
Çizelge 4.7. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).	95
Çizelge 4.8. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).	97
Çizelge 4.9. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).	99
Çizelge 4.10. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).	101
Çizelge 4.11. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).	103
Çizelge 4.12. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).	105
Çizelge 4.13. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).	107
Çizelge 4.14. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).	109
Çizelge 4.15. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).	111

1.GİRİŞ

Zamanla yasaların değişmesiyle, CO₂ emisyonu daha az ve hafif araçlar üretilmeye başlandı. Araçlar hafif yapılırken, güvenlikte ön planda tutulmaktadır. Aracın hafif olması daha az yakıt kullanımını sağlamaktadır. Bunun yanında belli başlı dikkat edilmesi gereken özellikler; maliyet, üretim, tasarım, alan optimizasyonu, fiziksel özellikler, kalite ve çevresel etkiler olarak sıralanabilir (Węglowski ve diğ., 2009) (Zhou ve diğ., 2017).

Bilinen kaynak yöntemlerinde kaynak alanında, yayılan yüksek ısı girdisinden kaynaklanan tane irileşmesi sonucu kaynak bölgesinde istenmeyen mekanik özellikler oluşabilmektedir. Lazer kaynağında küçük alanda enerji yoğunluğu sayesinde dar bir ısı tesiri altındaki bölge (ITAB), düşük çarpılma, yüksek kaynak hızı ve kaynak esnekliği olarak söylenebilir (Mohammadpour ve diğ., 2018) (Sun ve diğ., 2016).

Lazer kaynak uygulamasında genelde iki tip lazer sistemi kullanılır:

CO₂ lazeri ve Nd:YAG (Neodymium doped yttrium aluminum garnet (Y₃Al₅O₁₂) kristali ile oluşturulan lazer) katı hal lazeri. CO₂ lazeri makro ölçüde kaynak işlemlerinde (1-15 mm kalınlıklar için) kullanılırken, Nd:YAG katı hal lazeri ise genellikle mikro kaynak işlemlerinde (0.2-4 mm kalınlıklar için) tercih edilir. Nd:YAG lazeri ile yüksek kaynak kalitesine sahip nispeten yüksek sayılabilecek hızlarda kaynak işlemleri yapılmaktadır.

Günümüzde düşük alaşım, yüksek mukavemet ve iyi şekil verilebilirlikten dolayı çift fazlı çelikler otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Avantajlı mikroyapı özellikleri bu çeliklere sürekli akma, düşük akma mukavemeti/çekme mukavemeti oranı ve yüksek şekil değiştirme sertleşmesi gibi mekanik özellikleri kazandırmıştır. Bu çelikler sağladıkları yüksek dayanım ve şekil verilebilirlik özellikleri sayesinde araçların yapısal ve güvenlikle alakalı parçalarında sıklıkla kullanılmaktadır. (Farabi, Chen ve Zhou, 2011)(Fillafer, Werner ve Krempaszky, 2017)

Çift fazlı çeliklerin kaynak bölgesi üzerine yapılan önceki çalışmalarda sert martenzit fazından oluşan ergime bölgesi ve daha düşük sertlik değerlerine sahip yumuşak bir ITAB gözlemlenmiştir (Bandyopadhyay ve diğ., 2017). Bölgesel sertlik artışının olduğu ergime bölgesi, bölgesel yumuşamanın gerçekleştiği ITAB ve temel malzemedен oluşan homojen olmayan bir yapı gözlemlenmiştir. Nd: YAG lazerinde düşük ısı girdisi ve

düşük miktarlarda gerçekleşen temperlenmiş martenzit oranından kaynaklanan oluşan dar ITAB'da sertlik düşüşü daha az olmuştur. Fernandes ve ark. (Fernandes, Oliveira ve Pereira, 2017) çalışmalarında DP600 ve DP1000 sacının Nd:YAG lazeri ile kaynak edilebilirliğini ve optimum kaynak parametrelerini tespit edebilmeyi amaçlamışlardır (Dong ve diğ., 2014).

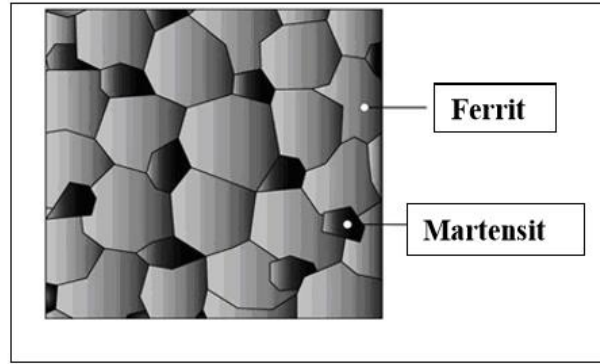
Ayrıca fiber lazer kaynağında diyot lazer kaynağına göre daha hızlı bir soğumanın olduğu bunun sonucunda da diyot lazer kaynaklı numunelerde kaynak bölgesinde ferrit, beynit ve martenzit oluşurken fiber lazer kaynağında sadece tamamen martenzitik bir içyapı oluşmuştur. Wang ve ark. (Wang ve diğ., 2016) Nd:YAG lazer kaynağı ile alın altına birleştirilen DP600, DP1000 çeliğinde enerji girişinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine olan etkilerini incelemişlerdir. Enerji girişi azaldığında ergime bölgesi ve yumuşak ITAB zonu daralmış bunun yanında da enerji girişindeki azalmayla beraber mekanik özellikler iyileşmiştir. Çalışma sonucunda kaynak bölgesinin ferrit, martenzit ve beynit fazlarından oluştuğu görülmüştür. İlâveten özellikle ITAB'da kalıntı östenit bol miktarda bulunmuştur. Kalıntı östenit ve temperlenmiş martenzit ITAB'taki yumuşamanın ana sebebi olarak gösterilmiştir.

Bu çalışma otomobil endüstrisinde kullanımı artan DP çeliklerine lazer kaynağı uygulanmıştır. Lazer kaynak işlemleri benzer ve benzer olmayan malzemelerde kaynak kabiliyetleri irdelenmek istenmektedir. Bu sayede otomobil üretimi esnasında farklı mekanik özelliklere sahip çeliklerin bağlantı özellikleri kıyaslanacaktır. Bu süreçte lazer kaynak komponentleri ve kaynak parametreleri analiz edilmiştir. Nd: YAG lazer kaynağında kontrol edilebilir en etkin parametreler; ortalama güç oranı, darbe süresi, frekans ve ışın çapıdır. Yapılan çalışmada alın kaynağı ile birleştirme yapılan yüksek mukavemetli çelik levhaların tüm özellikleri araştırılmıştır. Çalışmada lazer kaynak işleminin kullanım adımları ve kaynak parametreleri belirlenmiştir. Kaynaklı birleştirmelerde, kaynak derinliği ve yayılımı en azından ısı tesiri altında kalan bölge kabul edilebilir olmalıdır. Bunun için kaynağın gücü, frekansı, darbe süresi ve ışın çapının seçimi önem arz etmektedir. Mikro yapılar optik mikroskop kullanılarak değerlendirilirken mekanik özellikler için de çekme testleri ve sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

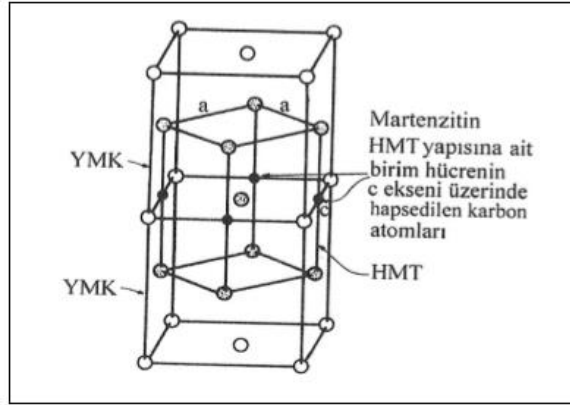
2.1. Çift- Fazlı Çelikler ve Özellikleri

Bu çelikler, düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerin iyileştirilmiş halidir. Mikro yapılarında, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, martenzit fazı, ferrit matris içinde adacıklar şeklinde oluşmaktadır. Yumuşak ferrit (α) ve sert martenzit (M) evrelerinin bir arada bulunduklarından dolayı, yumuşak ferrit yüksek süneklığı, sert martenzit ise yüksek mukavemeti sağlamaktadır. (Hayat F., Acarer M., Demir B., 2005)



Şekil 2.1. Çift-fazlı çelikte ferrit ve martenzitin yapısı. (Hayat, F., Demir B. and Acarer M., 2007)

Çift-fazlı çelikler için martenzit hacim oranının ideal değeri %15-20 arasındadır. Çift-fazlı çelik yapısındaki martenzit miktarı, tavlama sıcaklığı, soğuma hızı ve çeliğin karbon miktarına göre değişebilmektedir. Yüksek orandaki martenzit miktarı çift-fazlı çeliğin süneklğini ciddi oranda azaltmakta ve şekil verme özelliğinin azalmasına neden olmaktadır. Çift-fazlı iç yapı oluşumunda östenitten martenzite dönüşüm esnasında martenzit hacimce artmakta ve matris durumdaki ferrit fazını zorlayarak ferritte bölgesel gerilmeler görülmektedir (Şekil 2.2). (Çimenoğlu, H., Kayalı E. S. and Dikeç F.,1985)

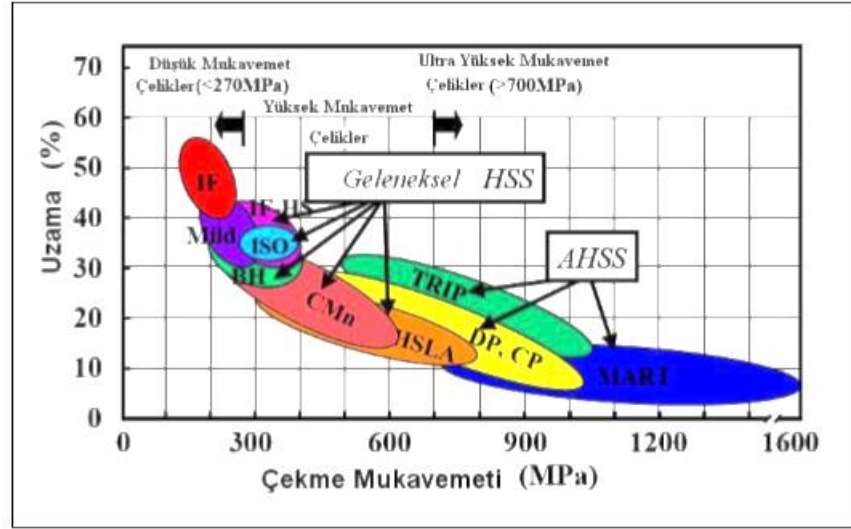


Şekil 2.2. Yüzey merkezli kübik (YMK) yapıdan, hacim merkezli tetragonal (HMT) yapıya dönüşüm esnasında oluşan martenzit birim kafesi. (Çimenoglu, H., Kayalı E. S. and Dikeç F.,1985)

Çift-fazlı çeliklerden istenen özellikler;

- Sürekli akma göstermeli,
- %0,2 akma dayanımı en yüksek 340 – 500 MPa arasında olmalı,
- Çekme dayanımı 620 – 1.250 MPa arasında olmalı,
- %5'den düşük deformasyon oranlarında, deformasyon sertleşmesi hızı yüksek olmalı,
- Toplam uzama %20'den büyük, şekillenebilirliği yüksek, akma/çekme mukavemeti oranı düşük olmalıdır.

Eşit çekme dayanımı olan çift-fazlı çelikler ile mikro alaşımlı çelikler kıyaslanmıştır. Çift-fazlı çeliklerin daha düşük akma dayanımı, yüksek oranda tümüyle aynı niteliği ve toplam (%) uzama gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 2.3). (Aydın, H.,2005)



Şekil 2.3. Çift-fazlı çelikler ile diğer çelik türlerinin kıyaslanması. (Aydın, H., 2006)

Akma mukavemetinin çekme mukavemetine oranı düşük ve biçimlenebilme kabiliyeti yüksek olan çift-fazlı çelikler, yüksek “mukavemet/ağırlık” oranına sahip olduklarından taşıt ağırlığını azaltmak ve dolayısıyla yakıt tüketimini düşürmek amacıyla otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Çift-fazlı çeliklerin, günümüzde çoğunlukla otomotiv endüstrisinde kullanımı fazladır.

2.1.2. Çift-Fazlı Çeliklerin Üretimi

Üç şekilde yapılmaktadır;

- Sıcak veya soğuk haddelenmiş sacın sürekli tavı
- Soğuk haddelenmiş sacın kutu tavı
- Haddelenmiş durumda kullanılmak üzere sıcak sac haddesi.

Çizelge 2.1’de farklı türlere sahip ürünler için uygun üretim yöntemleri gösterilmektedir.

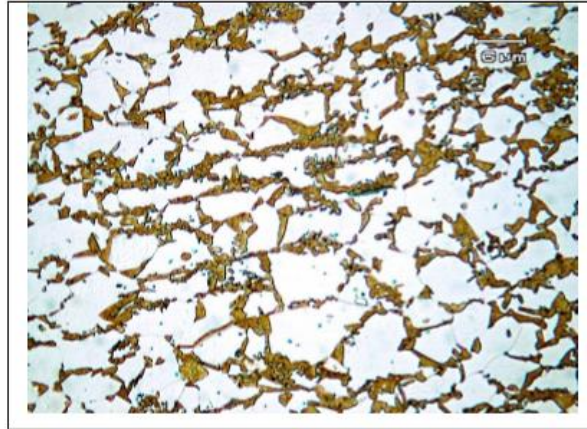
Çizelge 2.1. Çift-fazlı çelik türleri. (Speich, G. R.,1997)

Üretim Yöntemi	Kimyasal Kompozisyon (%)						
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	S
Sıcak Haddelenmiş Sacın Sürekli Tavı	0,11	1,43	0,61	0,12	0,08	0,06	0,01
Soğuk Haddelenmiş Sacın Sürekli Tavı	0,11	1,2	0,4	-	-	-	-
Soğuk Haddelenmiş Sacın Kutu Tavı	0,12	2,1	1,4	-	-	-	-
Haddelenmiş durumda kullanılmak üzere Sıcak Sac Haddesi	0,06	0,9	1,35	0,5	0,35	-	-

2.1.3. Çift-Fazlı Çeliklerin Isıl İşlemi

Ötektoid altı çeliklere uygulanmaktadır. Bu yüzden, istenen mekanik özellikleri elde edebilmek için yüksek mukavemetli düşük alaşımlı veya alaşımsız çelikler seçilir. Söz edilen çeliklerin Fe-Fe₃C faz diyagramında Al-A₃ sıcaklık aralığındaki ferrit östenit bölgesinde herhangi bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Bir süre o sıcaklıkta tutulup östenitin martenzite dönüşebileceği hızlarda soğutulmasıyla üretilir.

Çift-fazlı çeliklerin üstün mikro yapısına sahip olup, yumuşak ferrit içerisinde adacıklar biçiminde dağılmış martenzit vardır. Martenzit fazı sert olması dayanımı sağlar. Ferrit fazı yumuşak olması süneklik sağlar. Mukavemeti ve süneklik özelliği yüksek olan mikro yapıya sahip malzeme oluşur (Şekil 2.4).

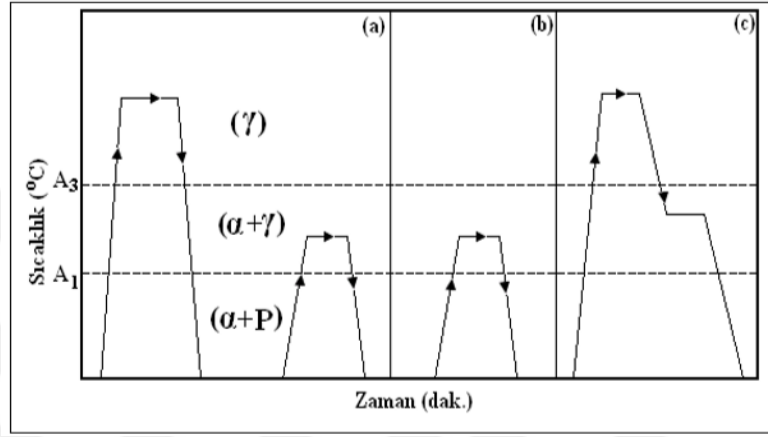


Şekil 2.4. Ferrit (açık renk) martenzit (koyu renk) mikro yapısına sahip çift-fazlı bir çelik (Ulu, S.,2009)

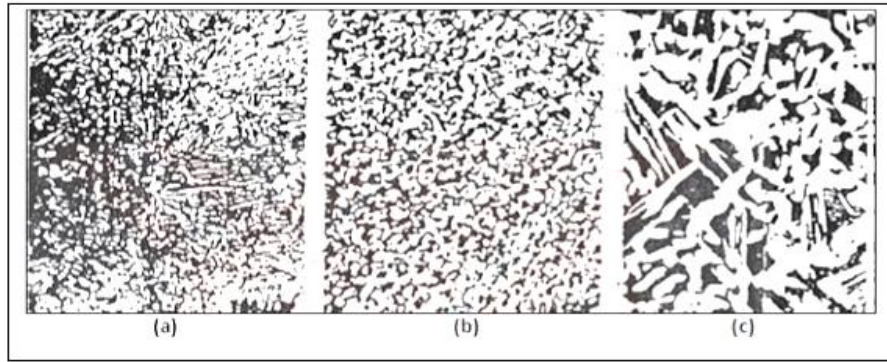
Çift-faz çeliklere uygulanan ısıt işlemler;

- Ara su verme
- Kritik sıcaklıklar arası bölgede tavlama
- Basamaklı (kademeli) su verme olmak üzere üç grupta incelenmektedir.

2.5'te görülen çift-fazlı çeliklere uygulanan ısıt işlem sonucu oluşan üç farklı mikro yapılar Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Çift-faz ısıt işlemleri için sıcaklık aralıklarının şematik olarak gösterimi, a) Ara su verme, b) Kritik sıcaklıklar arası bölgede tavlama, c) Basamaklı (kademeli) su verme. (Ulu, S., 2009)



Şekil 2.6. Çift-faz çeliklere uygulanan ısıt işlem sonucu elde edilen mikro yapılar a) Ara su verme, b) Kritik sıcaklıklar arası bölgede tavlama, c) Basamaklı (kademeli) su verme (Ulu, S., 2009)

Şekil 2.6 (a)'da ara su verme işleminde östenit yapının tamamının martenzite dönüşebilmesi (dönüşüm sertleşmesi) için parçanın kritik soğuma hızını aşacak şekilde olmalıdır, martenzit sınırları boyunca östenitin çekirdeklenmesine sebep olur.

Şekil 2.6 (b)'de $\alpha + \gamma$ bölgesinde tavlama sürecinde malzemenin ilk başta mikro yapı ötektoid altı ferrit ve perlitten oluştuğu görülmektedir. Tavlama ile oluşan östenit, ferrit-ementit (karbür) ara bölgeler çekirdek oluşur, büyüdüğü görülür. Su verme işleminden sonra mikro yapı, ferrit sınırları boyunca ince küresel martenzitten görülmektedir.

Şekil 2.6 (c)'de kademeli su verme işleminde ilk başta östenitleme görülür, sonra $\alpha + \gamma$ bölgesine malzeme soğutulur. Sıcaklık iki fazlı bölgeye gelince ferrit, birincil östenit tane sınırlarında çekirdek oluşur, büyüdüğü görülür. Ferrit (α) ve östenitten (γ) oluşan yapı hızla sıcaklık azaldığında ferritik yapı etrafında kaba martenzitler görülmektedir.

Ferrit, çift-fazlı çeliklerin dayanımı ve süneklik özelliklerini sağlamaktadır. Sünekliği fazla bu tür çelik elde etmek için sünekliği yüksek ve mukavemet değerinin düşük olması gerekmektedir, aynı zamanda ferrit yapısının mikro yapıda bulunması gerekmektedir. Bu çeliklerde ferrit tanelerinin eş merkezli olması istenir.

2.1.4. Çift-Fazlı Çeliklerin Avantajları ve Uygulama Alanları

- Şekil verilen malzemelerin yüzeyleri düzgündür, nedeni bu çeşit çeliklerin sürekli akma göstermektedir.
- Akma dayanımı düşük olması plastik deformasyonda az bir kuvvetle şekil verilebilir.
- Şekli olan parçalar tekrar şekil verme aşırı kuvvetler uygulamaya gerek yoktur.
- Çekme mukavemetinin yüksek olması ise parçaların hasara uğramasını engellemektedir.
- Dayanım özelliğinin yanında süneklik özellikleri de iyi olan çift fazlı çeliklerde bir diğer avantajıdır.

Çift-fazlı çeliklerin bazı dezavantajlar da bulunmaktadır.

- Kalın kesitli sac parçalarda, bazı makine parçalarında ısıl işlemle olsa bile üretmek zordur.
- Tesislerin kurulma maliyeti yüksektir, fakat kurulduktan sonra işlem maliyeti düşüktür.
- Tavlama ile, ısıl işlem ile üretilen malzemelerde mikro yapıyı kontrol etmek gerekmektedir, bu da kolay değildir.

Yakıt tüketimini düşürmek, motor veriminin arttırmak veya taşıt ağırlığının düşürmek ile olabilir. Taşıt ağırlığının büyük kısmı çeliklerden oluşmaktadır. Yüksek mukavemetli sacların kullanmak hem taşıt ağırlığı düşürür, yakıtta avantajı sağlar, hem de darbelere karşı emniyet sağlar. (Ovalı Kadir Cem, 2014)

Yüksek dayanımı ve yüksek sünekliğin bir arada olması bu çeliklerin tekerlek jantı, koltuk çerçevesi, tampon, kapı panelleri gibi presle şekillenebilen otomobil parçalarının yapımında kullanılmaktadır. (Ovalı Kadir Cem, 2014)

Çizelge 2.2.'de çift-fazlı çeliklerin uygulama alanlarıyla ilgili açıklamalar verilmektedir. (Ulu, S., 2009)

Çizelge 2.2. Çift-fazlı çeliklerin uygulama alanları. (Ulu, S., 2009)

URETICI FIRMA	URUN	AÇIKLAMA
General Motors	Tekerlek diskleri ve jantları	Yolcu arabaları ve hafif kamyon tekerlekleri için
	Tampon takviyeleri yüzey çubukları	
	Kriko destekleri	
	Su pompası makaraları	
Hoesch-Estel	Tekerlek diskleri	Takımlar şerit ölçüsüne adeptelidir.
	Fren levhası desteği(Girling)	
Inland Stell	Kapı panelleri, bagaj kapakları	Hi-Form 80 çift-faz çeliği iyi şekil verilebilirlik göstermiştir ve daha çok alüminyum gövde saçı gibi davranmıştır.
	Merkez direkleri, Rüzgarlık çerçeveleri	
	Tekerlik aparatları	
Jones And Laughlin	Tampon yüzey çubukları, tampon	2.2 mm'lik çift-faz çeliği 2.8 mm'lik YMDA çeliğiyle yer değiştirmektedir.
	Arka süspansiyon, tekerlek aparatları	Daha iyi yorulma özellikleri
	Alternatör fan pervaneleri direksiyon	
	Mil takviyeleri	
Kawasaki	Stili tekerlik diskleri	Lider Avrupa araba imalatçıları tarafından kullanılan
	Kapı ve kaput panelleri, çamurluklar	Fosfatlamaya tepkisi AK çeliklerle olduğu kadar iyidir.
Nippon Stell	Tampon durdurma yan kapı darbe çubukları çerçeve bölümleri	500-700 Mpa (Çekme Muk.)
NKK	Dış ve iç paneller,kapı,kiriş ve tampon takviyeleri	
Sumitomo Metal Industries Ltd	Dış oto gövdesi panelleri	Kutu tavllanmış ürün
US Stell	Araba,kamyon,otobüs,çiftlik ekipmanı	USS DP80
	Ağır konstrüksiyon üniteleri	
	Endüstriyel kullanım ünitelerindeki parçalar	

2.1.5. Genel Yapı Çeliklerinin ve Otomotiv Çeliklerinin Kaynağı

Kaynaklı yapının imal edilme amacı, kaynak yapılan parçaların maliyetinin düşük olması, işlevsel olması ve ömrünün uzun olması istenmektedir. Kaynak sürecinde, herhangi bir kaynak işlemi kullanıldığında imalatın uygunluğu, malzemelerin kaynakla birleştirilmesi gerekmektedir. Kaynak yapılan malzemenin tüm yapıya etkisi, kaynaklı bölgenin yapısı kaynak öncesinde tespit edilmiş ve uygun şartların yerine getirilmiş olması gerekir. Kaynak kabiliyeti, aşağıda bulunan şemadaki gibi üç ana unsura; malzeme, konstrüksiyon ve imalata aynı oranla ilgilidir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Kaynak kabiliyetinin temel faktörler ve özelliklerle ilişkisi. (Vural, M., Piroğlu, F. ve Çağlayan, B. Ö., 2003)

Kaynak kabiliyeti için üç özellik bakılır;

- Malzemelerin kaynağa uygunluğu
- Konstrüksiyonun kaynak emniyeti
- İmalatın kaynak yapılabilirliği.

Bir kaynaklı üretim yönteminde, herhangi bir malzemelerden oluşturulmuş bir konstrüksiyon şekilde, önceden belirlenmiş üretim koşulları altında, üretimi edilebiliyorsa, kaynak kabiliyetine sahip demektir. (Davies, R. G., 1978) Çizelge 2.3’de yukarıda sayılan unsurlar bir arada verilmiştir.

Çizelge 2.3. Kaynak kabiliyetini etkileyen etkenler. (Vural, M., Piroğlu, F. ve Çağlayan, B. Ö., 2003)

Malzeme (Kaynağa uygunluk)	Kimyasal bileşim	Sertleşme eğilimi Yaşlanma Gevrek kırılma Sıcak çatlama Kaynak metali karışım oranı
	Metallerjik özellikler	Segregasyon Kalıbkılar Tane büyüklüğü İçyapı Anizotropi
	Fiziksel özellikler	Genleşme özelliği Isıl iletkenlik Erime sıcaklığı Mukavemet Tokluk
Konstrüksiyon (Kaynak emniyeti)	Konstrüktif şekillendirme	Kuvvet hatlarının akışı Dikişlerin konumu Parça kalınlığı Çentik etkisi Rijitlik farklılıkları
	Gerilme durumu	Gerilmelerin tür ve şiddeti Gerilmelerin eksen sayısı Zorlanma hızı Sıcaklık Korozyon
İmalat (Kaynak yapılabirlik)	Kaynağa hazırlık	Kaynak yöntemi İlave malzemenin türü Birleştirme türü Ağız biçimi Ön tavlama İklim koşulları
	Kaynağın uygulanması	Isı girdisi Isının uygulanışı Kaynak sırası
	Kaynaktan sonraki işlemler	Isıl işlem Taşlama Dekapaj, temizleme

- **Karbon Eşdeğeri**

Ana metalin sertlik artışına etken kimyasal bileşimidir. Alaşımız çeliklerin sertliği üzerinde etki eden elementler C ve Mn'dır. Az alaşımlı çeliklerde ise Cr, Mo, V ve Mn gibi alaşım elementleri C oranının düşük olması bile kaynak sonrası ITAB bölgesinde sertliği artırır. Kaynak sırasında çeliğin sertleşmesini belirten sayının bulunması ve bununla çeliğin bileşimine bağlı olarak, kaynak yeteneği için formül elde edilmesi için çeşitli araştırmalar yapılmış ve alaşım elementlerinin aldığı sertleşmeye eşdeğer sertliği sağlayacak C miktarı tespit edilmiştir. (Ada, H., 2006)

- **Kaynakta Isı Girdisi**

Kaynak işlemini, diğer ısı işlemlerden farkları;

- Isınma hızının yüksek olması
- En yüksek sıcaklığa çıkma süresinin kısa olması
- Soğuma hızının yüksek olması.

Güce, kaynak hızına ve malzeme cinsine göre en yüksek sıcaklık esas malzemenin sıcaklığına düşüş hızlı veya yavaş olabilir. Eş sıcaklık eğrileri kaynak bölgesinde görülebilir.

- **Kaynak Bölgesinin Yapısı**

Kaynak yapılan bir parçada kaynak bölgesini ergime bölgesi ve ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) olmak üzere iki kısımda incelenebilir.

- **Ergime Bölgesi**

Ergime bölgesi, kaynak sırasında oluşan ısının etkisi ile ergiyen ve kaynaktan sonra katılaştıran bölgedir. Isının tesiri altında kalan bölgeden, ergime çizgisi adını verilen ergimiş ve ergimemiş kısımlar arasındaki sınırla ayrılır. Bu sınır bir kaynak bağlantısından çıkartılarak dağlanan ve parlatılan enine kesit üzerinde görülebilir. (Tuncer, E., 2006)

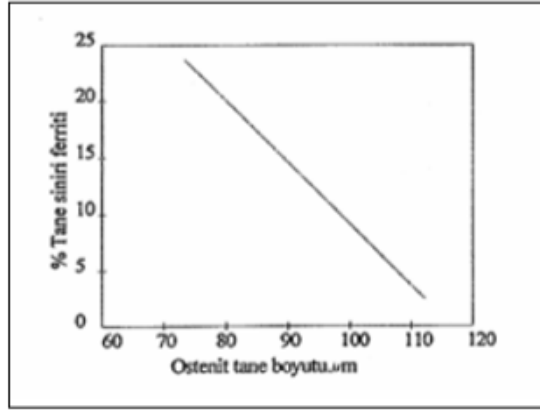
- **Isı Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB)**

Ergime çizgisinin temel malzeme tarafında, kaynak esnasında uygulanmış olan ısının oluşturduğu çeşitli ısı çevrimlerinden etkilenmiş ve dolayısıyla iç yapı değişimine uğrayan bir bölge vardır. Bu bölgeye, ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) adı verilir.

Isı tesiri altında kalan bölge kaynak metali ile temel metalin birleştiği çizgiden başlayarak, kaynak işlemi sırasında sıcaklığın iç yapıyı, dolayısıyla metalin özelliklerini etkilediği bölgedir. (Tuncer, E., 2006)

- **İnklüzyonların Tesiri**

Tane boyutu östenitin faz dönüşümünde etkili olmaktadır. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi östenit tane boyutu küçüldükçe tane sınırı ferrit faz oranı artar. Tane boyutu küçüldükçe tane sınırı uzunluğu arttığından, ferrit çekirdek ihtimali arttığından ferrit oranı artmaktadır. (Kendirci, M. F., 2008)

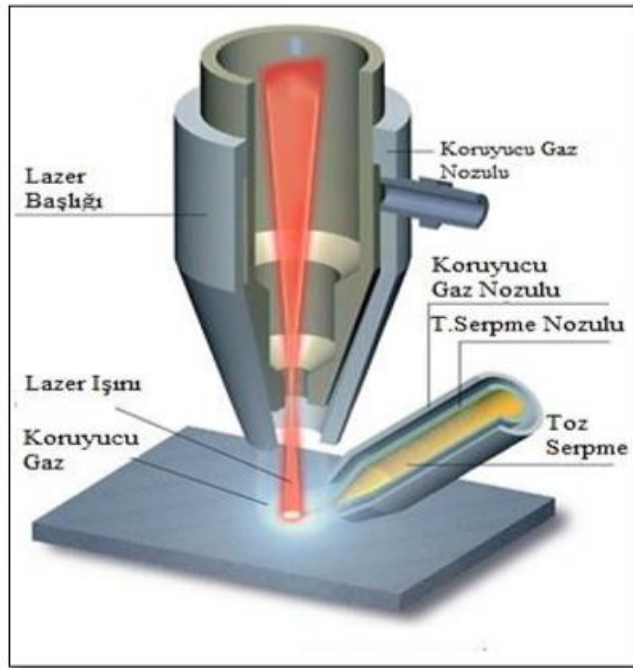


Şekil 2.8. Östenit tane boyutuna bağlı olarak tane sınırı ferrit oranı değişimi (Kendirci, M. F., 2008)

2.2. Lazer Kaynağı ve Özellikleri

2.2.1. Lazer Kaynağı

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 (Beersiek, J., 1999). Şekil 2.9'da lazer kaynağını şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Lazer Kaynak yönteminin şematik gösterimi. (Beersiek, J., 1999)

Malzemeye enerji transfer şekli geleneksel kaynak yöntemlerine göre lazer kaynağında oldukça farklıdır. Lazer ortamından çıkan ışın, birçok yönlendirme aynasından yansarak odaklama mekanizmasına ulaşır. Odaklanma sonucunda lazer ışını çok küçük bir alana yoğunlaştırıldığında, malzemede yerel bir ergime ve buharlaşma sağlar. Lazer enerjisinin malzemeye emilim olurken buharlaşmış malzeme ve koruyucu gazdan oluşan plazma yoğunlaşır. Lazer enerjisinin plazmada oluşturduğu ısı, ergimekte olan malzemeye geçerek iş parçasına iletilir. Malzeme içinde, eriyik olarak bulunan malzemenin çok yüksek sıcaklık ve basınç farklarından dolayı yer değişimlerinin olduğu,

akıcı fazlı bir buhar kanalı (anahtar deliği) oluşur. Daha sonra, iş parçası veya ışın demeti sabit bir hızla hareket ettirilmeye başlar ve iş parçası üzerinde hareket eder. Eriyik, ısınan buharın basıncıyla iş parçasının yüzeyine yükselir ve bu arada çekim kuvveti, viskozite ve yüzey gerilmeleriyle devam eden genişlemeler de önler. Bu yöntemle lazer ışınının hareket yönüne bağlı olarak metal eritilir, diğer eritilmiş kısım ise katılaşır. Katılaşmadan sonra homojen bir yapıya sahip dar bir kaynak dikişi oluşur. Düşük ısı girdisi ile oluşturulan kaynak dikişinde, iş parçasındaki ITAB çok dar sınırlar içinde kalır. Genellikle kalın saclarda kaynak çukuru oluşturarak malzemelerin kaynak işlemi yapılır. (Karaaslan, A., Yumurtacı, S., Sönmez, N., 2001) (Beersiek, J., 1999)

Lazer kaynağı, devamlı (CW), darbeli (Pulsed) veya Q-anahtarlamalı (darbe içerisinde lazer derişiminin arttırılması) olarak yapılabilmektedir. Darbeli işlemlerde genel olarak lazerin ısını düşürmek için kullanılırlar. Birçok durumda ise darbeli işlemlerde Q-anahtarlaması ve mod-kilitlenmesi (zaman içindeki darbe genişliğinin azaltılması) gibi yöntemler kullanılırlar. (Limmaneevichitr C., 2002)

Devamlı lazerlerde optik pompalama kaynağı, sürekli olarak yanan yüksek basınçlı bir lambadır. Lazer çıkışı devamlıdır. (Güç değeri süreye göre değişmemektedir.) Darbeli lazerlerde, optik pompalama kaynağı olarak bir flaştan yararlanılır.

Q-anahtarlamalı lazerde ise, optik pompalama kaynağı bir tüp flaştır. Diğer tiplerle aynı özelliktedir.

2.2.2. Lazer Kaynağının Tarifi, Temel Elemanları

- **Lazer Kaynağının Tarifi**

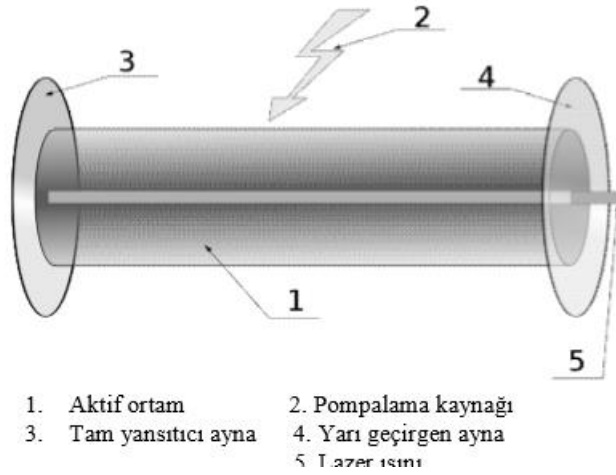
Malzemenin merkez noktası hedef alınarak kaynak yapılır. Yüzeyde, ışık enerjisi ısı enerjisiye çevrilir. Malzeme yüzeyi ısının etkisiyle ergimeye başlar ve yüzeyin iletkenliği sayesinde ergime ilerler. Kaynak yapılırken, ışın enerjisi malzemenin buharlaşma sıcaklığının altında tutulur. Kaynak yapılan malzemede nüfuz etme, iletilen ısıya bağlı olduğu için kaynaklanacak malzemelerin kalınlıkları genelde 0.8 inch'in (2mm) altındadır (gelişmiş lazerlerle artık 8-10 mm kalınlıklara kadar kaynak yapılabilir).

Yoğunlaştırılmış enerji, ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) gelişmeden önce ergime, sonra birleşme olur. Kaynak yapılan iş parçası kalın ve ısı iletimine yüksek ise (ör: alüminyum), ısı tesiri altındaki bölge küçüktür. (Limmaneevichitr C., 2002).

Tüm lazer ışın kaynaklarının (karbondioksit, helyum, neon vb. gaz olanlar ya da diğerleri) işlevi en basit haliyle yoğun ışık, elektrik, elektron ışınları, kimyasallar kullanılması uyarılmış fotonların bırakılması ile atomlar uyarılır. Odaklanmada merceklerin rolü önemlidir, sebebi ışın enerjisini 0.005 inch ve daha düşük çaplardaki odak noktalarına yoğunlaştırır.

- **Lazerlerin Temel Elemanları ve Özellikleri**

Lazer ışınının açığa çıkması için bir optik rezonatör içerisine “pompalama kaynağı” da denilen ışık kaynağı, bu ışığın etkilediği lazer ışını elde etmek olan aktif maddeyi içerisinde olan bir aktif koşullar (örneğin CO₂ gazı veya Erbiyum kristali), aktif ortamın iki ucunda tam yansıtıcı ve yarı yansıtıcı aynalar ve lazer ışığının çıkış yaptığı bölgede bulunan mercekler bulunur. Şekil 2.10'da bir lazer makinesinin öğeleri görülmektedir (Özcan, 2003).



Şekil 2.10. Bir lazer makinesinin temel elemanları. (Özcan, 2003).

Lazer kaynağında adlar ışık kaynağının etkilediği ortamın gaz, katı, sıvı ya da yarı iletken olmasına göre değişir. Lazerin üretim ortamında inert gazlar (argon, kripton veya ksenon) ile reaktif gazların (florin ya da klorin) karışımı bulunuyorsa Excimer; organik solvent likiti bulunuyorsa Dye; gaz bulunuyor ise bulunan bu gazın adı ile örneğin argon gazı bulunuyorsa argon lazeri, CO₂ gazı bulunuyorsa, CO₂ lazeri, helyum ve neon bulunuyorsa He-Ne lazeri; yarı iletken Alüminyum-Galyum-Arsenid (AlGaAs) levhalarından oluşan bir mikroçip bulunuyorsa Diyot lazeri; katı ortam (solid-state) kristal bulunan sistemlerde kristalin optik özelliklerini yükseltmek için düşük yoğunluklarda kristale katılan “dopant” madde ismi (örneğin, Neodimiyum, Holmiyum, Erbiyum, Erbiyum-Krom) ve kristal ismi olan İttriyum-Aluminum-Garnet (YAG) ya da İttriyum-Skandiyum-Galyum-Garnet (YSGG) birlikte kullanılarak Nd:YAG, Ho:YAG, Er:YAG ve Er, Cr:YSGG gibi farklı isimler alır. Aktif ortam optiği yükseltmek için kullanılır. Aktif ortamın bir ucundan giren ışık demeti bu ortamdan geçerken, uyarılmış fotonlardan dolayı, ışık demetinin yoğunluğu yükselmiş olarak aktif ortamın diğer ucundan çıkar, aktif ortam lazerlerde optik yarar sağlar (Özcan, 2003). Kullanılan lazerler ve özellikleri Çizelge 2.4.’te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Kullanılan lazerler ve özellikleri (Charschan, 1993).

Kazanç ortamı	Max. Ortalama Gücü (W)	Çalışma Modu	Dalgaboyu (µm)
CO ₂	25000	CW,PRRM	9,6/10,6
Nd:YAG	1800	CW,PRRM	1,06/1,32
Excimer lazerler:			
F ₂	3	PRRM	0,157
ArF	70	PRRM	0,193
KrCl	20	PRRM	0,222
KrF	160	PRRM	0,248
XeCl	200	PRRM	0,308
Katı-Hal lazerleri:			
Cr: safir (yakut)	100	PRRM	0,694
Ti: safir	20	PRRM	0,68-0,95
Nadir toprak elementleri:			
Nd:glass	40	PRRM	1,06
Nd:YLF	20	CW,PRRM	1,05/1,32
Er:YAG	20	CW,PRRM	2,94
Ho:YAG	20	CW,PRRM	2,13
Er:YSGG	3	PRRM	2,79

Çizelge 2.4. Kullanılan lazerler ve özellikleri (devam)

İyon lazerler:			
Argon	50	CW	0,457/0,488 0,514/0,530
Kripton	8	CW	0,647/0,676 /0,752
Karışık	20	CW	0,457///0,752
Boya lazerleri:			
Lamba pompalamalı	50 veya 100	PRRM	0,4-1,0
Lazer pompalamalı	1	CW,PRRM	0,4-1,0
DPSS lazerler:			
Nd:YAG	10	CW,PRRM	1,06/1,32
Nd:YLF	10	CW,PRRM	1,05/1,32
Yarı iletken lazerler:			
AlGaAs, diyot	1	CW,PRRM	0,780-0,865
AlGaAs, 1Dsıralı	20	CW,PRRM	0,780-0,865
InGaAs, diyot	0,1	CW,PRRM	0,98
InGaAsP, diyot	0,1	CW,PRRM	1,20-1,55
Kurşun tuzu	0,001	CW,PRRM	3-30
Gaz lazerler:			
CO	10	CW,PRRM	0,52///0,58
Nitrojen	0,3	PRRM	0,337
HeCd	0,2	CW,PRRM	0,325/0,442
HeXe	0,1	CW,PRRM	2//3,51//4
HeNe	0,07	CW,PRRM	0,544/0,594/ 0,612/0,633/ 1,15/1,52/3,39

2.2.3. Lazer Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

- Diğer kaynak yöntemlerine göre lazer kaynağında nüfuziyeti daha derindir ve daha hızlı kaynak edilebilir. Lazer kaynağında ısı girdisi dar alanda olduğu için deformasyon ve çarpıklıklar az veya hiç olamayabilir (Pakdil, Çam ve Erim, 2005).
- Lazer kaynağı diğer kaynak yöntemleri ile birlikte kullanılabilir. Lazer-ark hibrit kaynağı ile kalın numuneler kaynak yapılabilir ve geniş kaynak boşlukları çok paso atılarak birleştirilebilir (Yavuz ve Çam, 2005).
- Lazer ışını küçük çaplı bölgeye odaklanabilmektedir. Klasik ergitme kaynaklarına göre oldukça çok küçük çaptadır. Bundan dolayı çok ince parçalarda birleştirilme, aynı zamanda kesme işleminde çoğunlukla kullanılmaktadır (Püskülcü ve Koçlular, 2009).
- Lazer kaynağı ile birleştirmelerde yüksek kaynak hızları (10 m/dak üzerinde) kullanılabilir
- Otomasyonlu sistemlere elverişli ve mevcut üretim sistemlerine kolay uymaktadır, görsel olarak estetikdir.
- Kaynak sonrası herhangi bir işlem (taşlama gibi) gerektirmeyen, güvenilirliği yüksek ve derinlik/genişlik oranı yüksek olan dar kaynak dikişleri olması,
- Klasik kaynak yöntemleri ile kaynak yapılması güç olan malzemelerin ve benzer olmayan (dissimilar) malzemelerin, kaynak yapılabilir. Sonuçları gayet iyi olduğu gözlenmektedir.
- Klasik kaynak yöntemleri ile ulaşılması zor bölgelere veya olanaksız olan bazı bağlantı bölgelerinin kaynağı kolay yapılabilir olması, (Tokdemir, Ünlü, Yılmaz ve Meriç, 2010).
- Lazer kaynağı, yüksek ısı yoğunluğu ve ışının odaklanma çapının küçük olması nedeniyle diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha elverişlidir. Bundan dolayı kaynak bölgesinin içyapı değişimi oldukça dar bölge olduğu gözlenmiştir. Derin ve sınırlı (dar) kaynaklar yapılmaktadır.
- Klasik yöntemlere göre aşınmaya daha dayanıklıdır, bunun da sebebi mikro yapıların daha ince, daha sert olmasıdır.

- Isının tesiri altındaki bölge (ITAB)'nin geniş olmasından kaynaklanan sert tane büyümesi ve metalürjik hasar bu kaynak yöntemiyle en aza iner.
- Parça tasarımı olanakları elverişlidir.
- Çok küçük ve ince malzemeler dahi kaynak yapılabilmektedir.
- Dar ve spesifik olduğu yerlerde bile kaynağın yapılabilmesine olanak verir.
- Isıya duyarlı parçaları çok yakından kaynak atılabilir.

Lazer kaynak yönteminin dezavantajları ise şunlardır;

- Lazer ışınının dar olmasından dolayı, kaynak yapılacak yüzeylerin düz olması gerekmektedir.
- Derinlik/genişlik oranından ve kaynak yerinin yüksekliğinden dolayı dolgu metalinin içeriye sokulması zordur.
- Kaynak yapılacak metallerin yansıtma özelliğinin yüksek olması lazer kaynağının yapılması güçleştirmektedir.
- Sert malzemelerde darbeli lazerle kaynak kullanılması, kaynak bölgesinde mikroskobik kaynak kesitleri oluştururken, kaynağın kırılğan olmasına sebep olmaktadır.
- Lazer kaynağının, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması dezavantajıdır.

2.2.4. Lazer Kaynağı Kesitinin Tipik Görünümü ve Oluşan Bölgeler

Lazer kaynak yönteminde farklı parametrelerle kaynak yapılması kaynak bölgesinde, malzemenin mekanik özelliklerinde ve mikro yapısında değişiklikler gözlenmiştir.

Oluşan karakteristik bölgeler;

- Ergime Bölgesi (EB)
- Isı tesiri altındaki bölge (ITAB)
- Temel (esas) malzeme (TM)

Kaynak temasının bulunduğu ve kaynak sırasında uygulanan ısıdan etkilenen bölgelerin tümüne kaynak bölgesi ismi verilir. Bu bölge ergime bölgesi ve ITAB olmak üzere iki kısımdan meydana gelmiştir.

2.2.4.1. Ergime Bölgesi (EB)

Ergime bölgesi kaynak sırasında uygulanan ısının etkisi ile eriyen ve kaynaktan sonra katılaştığı bölgedir.

2.2.4.2. Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB)

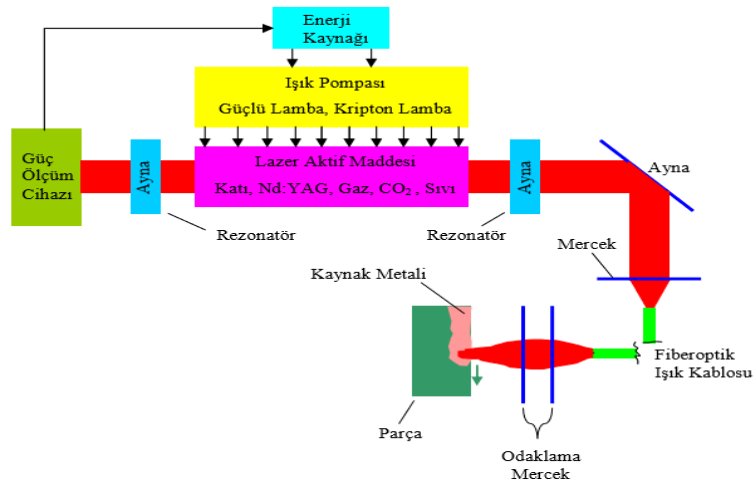
Bu bölge kaynak merkezine yakın bir konumda bulunmakta ve kaynak sırasında oluşan ısı ile çevrim bu bölgenin mikro yapısal ve mekanik özelliklerini değiştirmektedir. Isının etkisi ile tane irileşmesi görülmektedir. Bu bölgede plastik deformasyon söz konusu değildir.

2.2.4.3. Temel Malzeme (TM)

Bu bölge kaynak bölgesinden deforme olmayacak kadar uzaktadır. Fakat ısı etkisi çok azda olsa gözlemlenebilir. Bu ısı etkisi mikro yapı ve mekanik özellikleri değiştirebilecek kadar büyük değildir.

2.2.5. Lazer Kaynak Yöntemleri

Lazer ışını güç yoğunluğunun yüksek olması ($10^6-10^8 \text{ Wcm}^{-2}$) ve yön verilebilir özellikleri nedeniyle bir ısı kaynağı olarak kaynakla bir araya getirme işlemlerinde kullanılmaktadır. Lazer ışın cihazı Şekil 2.11’de gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Lazer makinesinin gösterimi (Özden ve Gürsel, 2004).

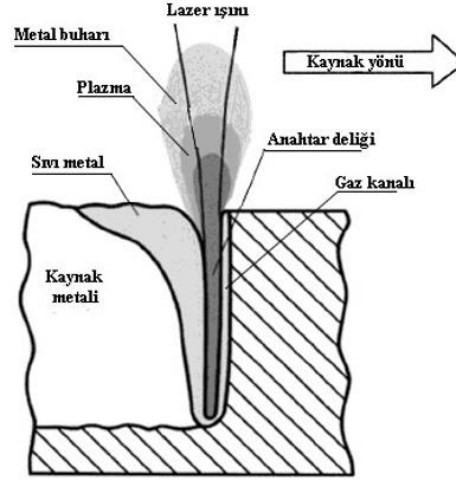
Lazer ışınların ortaya çıkması, rezonatör aynalar yardımıyla kuvvetli bir ışık demetine dönüştürülür. Işık demeti lazer çeşidine uygun ayna ve mercekler ile veya ışık kablosu (fiber optik kablo) aracılığıyla odaklama sistemine ulaştırılır. Lazer ışınının iletim yöntemine göre dalga boyu değişmektedir. Nd:YAG lazer kaynağı ve CO2 kaynağında dalga boyu düşüktür. Nd:YAG lazer kaynağında ışın kablosu kullanılırken, CO2 kaynağında ışın iletimi, ayna sistemleri ile sağlanmaktadır. (Özden ve Gürsel, 2004).

Lazer ışın demetinin enerji yoğunluğuna göre kaynak yöntemi değişmektedir. Kalınlığı az olan malzemelerin kaynatılmasında iletimle kaynak ve daha kalın malzemelerin kaynatılmasında nüfuziyet kaynak (anahtar deliği) olmak üzere iki farklı kaynak yöntemi vardır (Duley, 1999). Yöntemler arasındaki en önemli fark iletim kaynağında kaynak sırasında oluşan kaynak banyosu devamlıdır. Nüfuziyet kaynağında ise lazer ışını sıvı metal içerisine işleyerek sıvı metal havuzunu ikiye ayırır. Oluşan boşluk anahtar deliğine benzediği için bu yöntem anahtar deliği kaynağı denilmektedir. İletim kaynağında, lazer ışını parçanın içine işlemediği için sıvı metal ve az miktarda gaz absorbe eder. Bu sebeple nüfuziyet kaynak yöntemi ile kaynak yapılan malzemelerin kaynak bölgeleri gözenekli yapı oluşabilir. Bu istenmeyen durumu engellemek için koruyucu gaz yararlanılabilir (Abbott ve Albright, 1994).

2.2.5.1 Derinlemesine Nüfuz Eden Lazer Kaynağı

- Gerekli güç yoğunluğuna sahip olan lazer ışın demeti malzeme yüzeyine odaklanırsa anahtar deliği oluşur (Beersiek, J., 1999).
- Bu anahtar deliğinin oluştuğu yerde bir ergime havuzu meydana gelir (Arata, Y., 1987).
- Ergiyik halde bulunan malzeme yer çekimi, yüzey gerilmesi ve buhar basıncının etkisi ile kararlı bir dengede bulunur (Lancaster, J. F., 1986).
- Anahtar deliği mekanizmasında en/boy oranı 1/10 'dur.
- Uygulanan lazer ışın demetinin gücü seçimi önemlidir. Kaynak hızı metali eritecek kadar büyük, ancak çukurdaki metali buharlaştırmayacak kadar düşük seçilmelidir. Kalın saclar için kaynak çukuru oluşturarak malzemelerin birleştirilmesi sağlanır (Özcan, Tarakçioğlu ve Kahramanlı, 2004).

Şekil 2.12’de derinlemesine nüfuz eden lazer kaynak uygulaması görülmektedir.

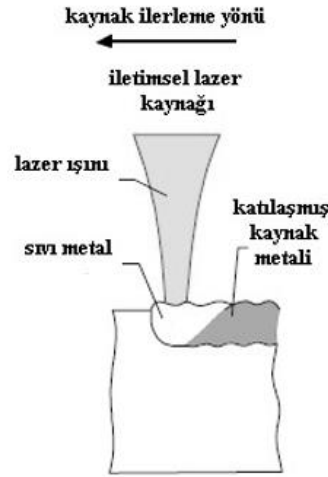


Şekil 2.12. Lazer kaynağında anahtar deliği ve plazma oluşumunun şematik kesit görünüşü. (Özdemir Uğur, 2012)

2.2.5.2. İletimsel Lazer Kaynağı

- Malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan iletimsel lazer kaynağı, malzemenin lazer ışın enerjisini yok ederek, kaynama noktasına gelebilmesidir.
- Kaynama noktasına gelen malzemelere uygulanan sabit bir kuvvet, bu malzemelerde kaynamasına neden olur.
- İletimsel lazer kaynağı, lazer güç yoğunluğunun malzemenin kaynama noktasına ulaştırılmasına yetmediği fakat malzemeyi ergitebildiği durumlarda kullanılır.
- İletim lazer kaynağında dikiş formunun yüksek oranda en boy oranına sahip olması mümkün değildir.
- İnce metallerde yüksek güç yoğunluklu lazerler kullanılırsa kaynatma yerine kesme işlemi yapılır.
- İletim lazer kaynağının kalınlığı 0,5 mm'nin altında sac malzemelerin birleştirilmesi için daha uygun olduğu görülmüştür (Noaker, P. M.,1993).

Şekil 2.13’te iletimsel lazer kaynağı şematik olarak gösterilmiştir.



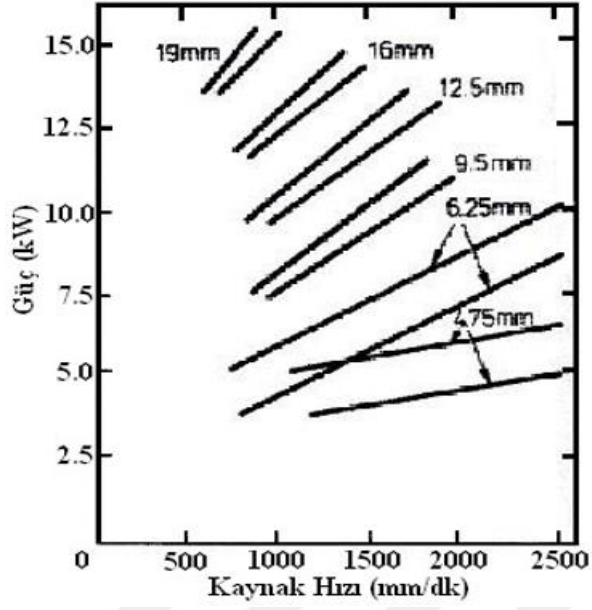
Şekil 2.13. İletimsel lazer kaynağı uygulaması. (Özdemir Uğur, 2012)

2.2.6. Kaynak Parametreleri

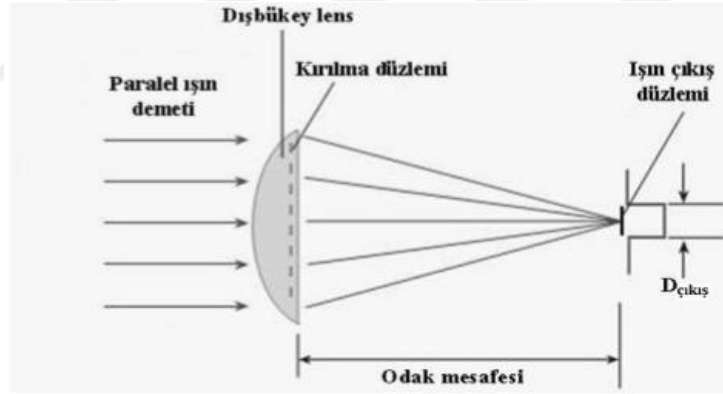
- **Lazer Kaynağında Temel Kaynak Parametreleri**

Devamlı (sürekli) ve darbeli lazer kaynağının en önemli parametresi güçtür. Kaynak yapılacak metalin niteliklerine ve malzeme kalınlığına göre lazer gücü ile kaynak hızı değişmektedir. Şekil 2.14, karbonlu çelikler için, lazer gücü, kaynak hızı ve kaynak yapılacak parça kalınlığı arasındaki değişimi göstermektedir.

Kaynaktan önce lazer ışınının odak (merkezi) noktasının kaynak yapılacak malzemenin üstüne düştüğü bölgenin ve odak çapının uygun yer belirlenir. Odaklama ile ilgili görsel Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Merkez noktası ile malzeme arasındaki mesafe arttıkça ışık demetinin çapı artar ve eriyen metal miktarı artmasıyla birlikte kaynak derinliği azalır. Bundan dolayı merkezleme merceğinin, malzeme niteliklerine, kalınlığına ve kaynak hızına bağlı olarak malzemenin yüzeyine en kısa uzaklıkta tutulması gerekmektedir. Bundan dolayı HAZ bölgesi daha dardır (Uzun, 2010).



Şekil 2.14. Kalınlıklara göre karbonlu çelik levhalar için kaynak hızının (CO₂) lazer gücüne göre değişimi. (Uzun, 2010).



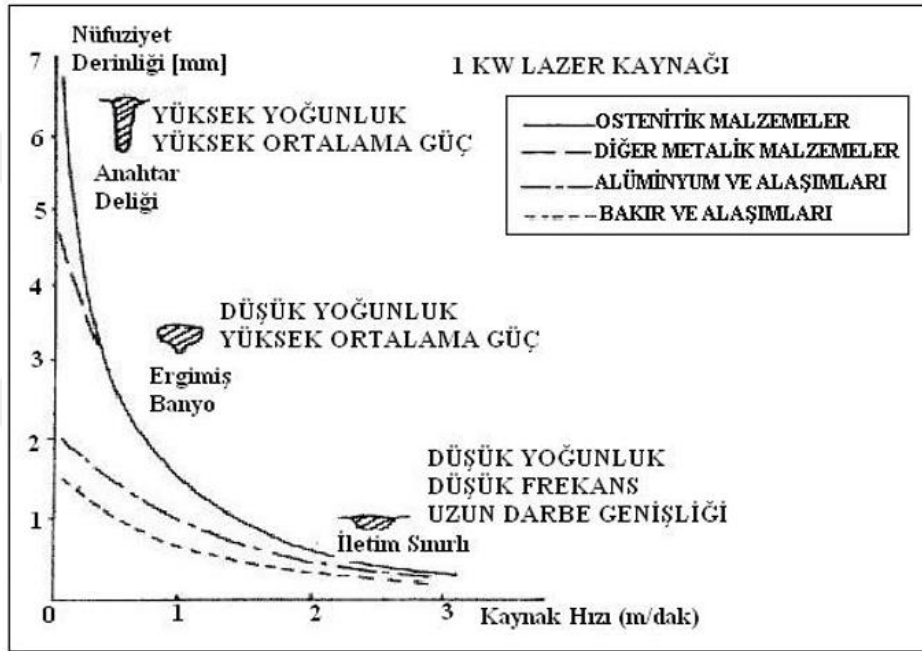
Şekil 2.15. Odaklama düzeneği şekilsel görünümü. (Uzun, 2010).

Lazer kaynak yönteminde kaynağın mekanik ve mikro yapısal özellikleri kaynak parametrelerine bağlıdır. En önemli kaynak parametreleri şunlardır:

- Güç (Watt)
- Darbe süresi (ms)
- Darbe Frekansı (Hz)
- Işın çapı (mm)

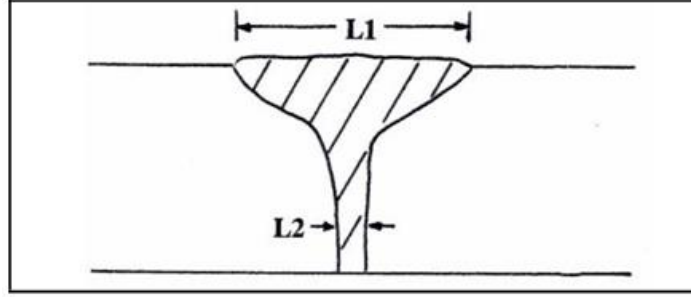
2.2.6.1. Lazer Gücü

Bir malzemenin kaynak işleme derinliğinin tayin edilmesi için temel parametre lazer gücü ve kaynak hızı arasındaki bağıntıdır. Dikey eksende nüfuziyet derinliği d ve yatay eksende kaynak hızı v olacak şekilde sabit lazer gücü içinde verilebilir. Şekil 2.16'da ortalama güç kapasitesi 1 kW olan Nd:YAG lazerinin farklı malzemeleri kaynakla birleştirilmesi ve farklı kaynak koşulları altındaki kaynak profilinin şeklini göstermesi önemlidir. Nüfuziyet derinliğinin veya kaynak hızı eğrisinin fonksiyonel olarak yaklaşık $d=c/v$ ifade edilir ve genellikle lazer kaynağında olmaktadır. c sabit değerdir (Hoult, 1990).



Şekil 2.16. 1 kW Nd:YAG lazerinin kaynak performansı (Hoult, 1990)

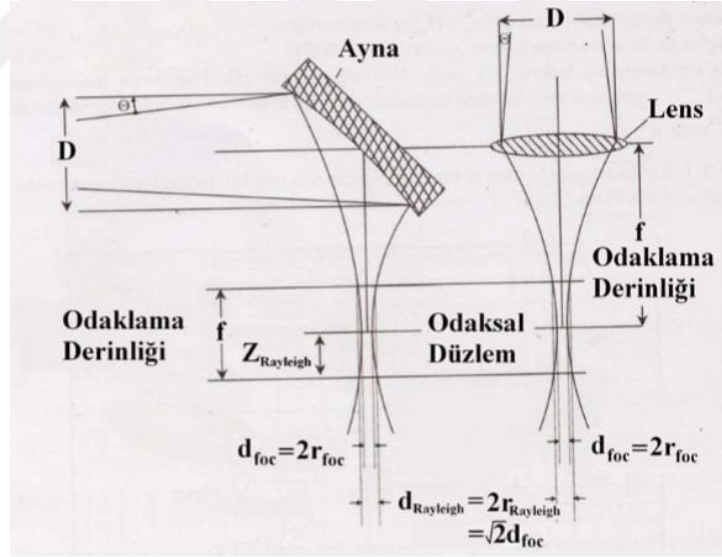
Kaynak hızıyla kaynak dikişinin genişliği arasında bağlantı kurulabilir. Şekil 2.17'de bir kaynak profilinin tipik şematik olarak gösterilmiştir. Genelde kaynağın en üst yüzeydeki dikişin genişliği (L_1), kaynağın daha derinlerindeki (L_2) daha büyüktür. Kaynak hızı ve malzemeye giren lazer yoğunluğuna bağlı olarak arasındaki bu iki değer arasındaki fark değişmektedir. Kimara, Sugiyama ve Mizutome (1987) L_1 ve L_2 arasındaki farklılıkları azalan kaynak hızı ve sabit lazer gücü olduğunu tespit etmişlerdir (Duley, 1998).



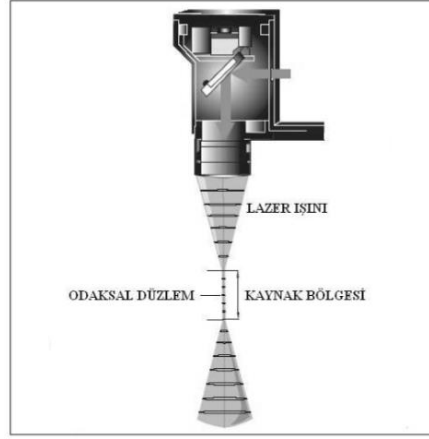
Şekil 2.17. Kaynak dikişi formu (Duley, 1998)

2.2.6.2. Odaklama

En uygun odaklama özelliklerinin tayin etmek gerekmektedir (Dawes,1992). Lazer ışınının odaklanmasının ayna ve lens kullanarak nasıl olduğu Şekil 2.18’de görülmektedir. Bazen odaklanmaya yakın alanlar, testlerde genellikle yanma oluşmaktadır (Wirth, 2004).



Şekil 2.18. Lazer ışınının odaklanması, ayna veya lens kullanılması (Wirth, 2004)



Şekil 2.19. Lazer ışınının odaklanması ve kaynak uygulamasında oluşabileceği bölge (Laserstar)

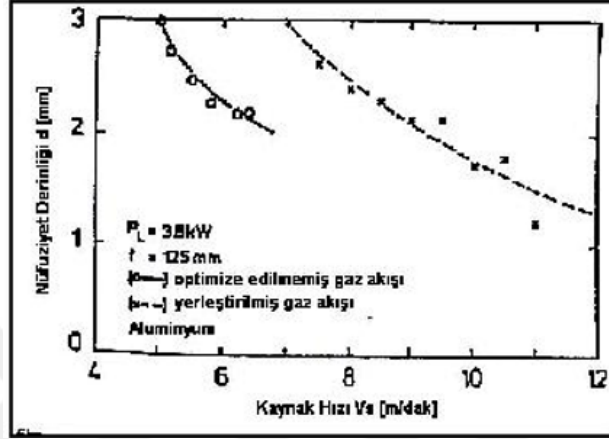
Lazer yoğunluğunun odaksal düzlemde en fazla olduğu durumda, optik veya lazer ışını ekseninin her iki yanında odaksal düzlemde mesafe arttıkça azalır. (Şekil 2.19) Derinlemesine lazer kaynağı için anahtar deliği oluşması gibi, derin bir kaynak dikişinin oluşturulmasında lazer odaklanmanın malzemesi üzerinde olması kolaylaştırılmaz. Böyle durumlarda, odaklama yüzeyden içerideki bir noktaya yapılmalıdır. (Duley, 1998).

2.2.6.3. Koruyucu Gaz

Koruyucu gazın özellikleri tüm kaynak işlemlerinde önemli olduğu gibi lazer kaynak yönteminde önemli bir parametredir. Koruyucu gazın karar verilmesinde gazlar ve ergimiş metal arasındaki kimyasal ve metallerin birbiriyle etkileşimleri bağlı olarak değişmektedir. Lazer kaynağında koruyucu gaz plazma oluşumunu en aza indirmek istenir, böylece kaynak nüfuziyetini elde edilebilmektedir. Bu gazın birinci olarak kullanılmasındaki amaç kaynak bölgesinde oksidasyonu engellemektir. Diğer en önemli fonksiyonu da kaynak bölgesi üzerindeki buhar ve kaynak bölgesi içinde yaratılabilecek plazma oluşumunu engelleyerek ve durdurmaktadır.

Genellikle koruyucu gaz olarak Helyum ve Argon kullanılmaktadır. Özellikle yüksek iyonizasyon enerjisinden nedeniyle Helyum gazı kullanılmaktadır. Azot da Helyum ile yer değiştirebilir ve yerine kullanılabilir. Özelliklerin çoğu aynıdır, tercih edilmesinin en önemli sebebi daha ucuz olmasıdır.

Gaz debileri özellikle 10-40 litre/dk, kaynak hızı ile debi doğru orantılıdır (>10 m/dk). Gaz ilerleyişinin en uygun kaynak nüfuziyeti etkisi Şekil 2.20’de gösterilmiştir. Azot gazının kullanımı, Helyumdan daha çok plazma olmasına ve sınırlandırılmış bir kaynak nüfuziyet derinliğini olduğu gösterilmiştir. (Behler ve diğerleri, 1988)



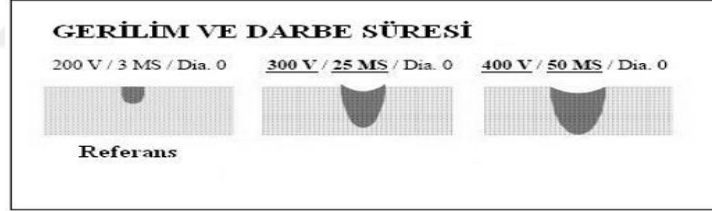
Şekil 2.20. Koruyucu gaza göre plazmanın ateşlenmesi ve kaynak üzerindeki etkisi (Duley, 1998)

2.2.7. Birincil Ayarlanabilir Kaynak Parametreleri

Lazer kaynağında gerilim, darbe süresi ve ışın çapı birincil ayarlanabilir kaynak parametreleridir. Darbe süresi ve gerilim arttıkça ışının taşıdığı enerji miktarı da artacaktır. Gerilim ve darbe süresinin enerjiyle arasında doğru orantı vardır. Fakat her iki parametre de farklı sonuçlar oluşturmaktadır. Gerilim enerji gerektiren bir basınç olarak etki eder ve aktif nüfuziyet görülür. Darbe süresi ise lazer ışınına etki ettiği zamandır ve malzemede ergime oluşur. Gerilim ve darbe süresi üzerindeki etki Şekil 2.21’de ve Şekil 2.22’de gösterilmiştir (Çelen S., 2006).

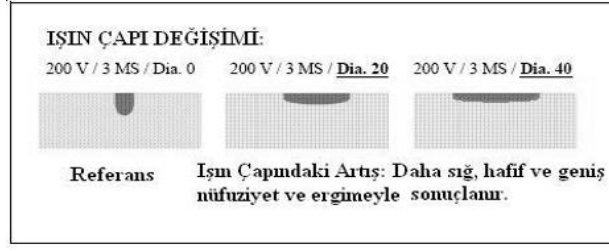


Şekil 2.21. Gerilim ve darbe süresindeki değişimin ergime ve nüfuziyet üzerindeki etkileri. (Çelen S., 2006)

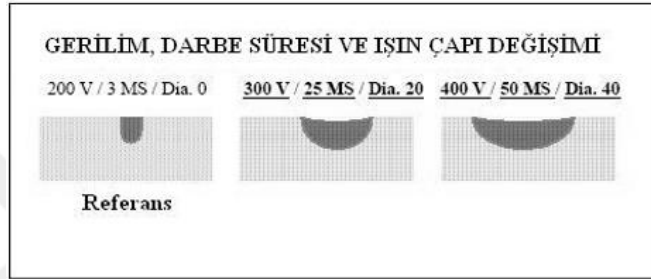


Şekil 2.22. Hem gerilim hem de darbe süresindeki değişimin ergime ve nüfuziyet üzerindeki etkileri. (Çelen S., 2006)

Lazer ışınının oluşturduğu toplam enerjinin yaydığı alan ışın çapı genişliğinin bir bağlantısıdır. Bu parametre “fokus (odaklama)” olarak bilinmektedir. Işın çapına bağlı olarak enerjinin içine odaklandığı bölge değiştirilir (Şekil 2.23). Gerilim, darbe süresi ve ışın çapındaki değişimin ergime ve nüfuziyet üzerindeki etkileri Şekil 2.24’de gösterilmiştir (Çelen S., 2006).

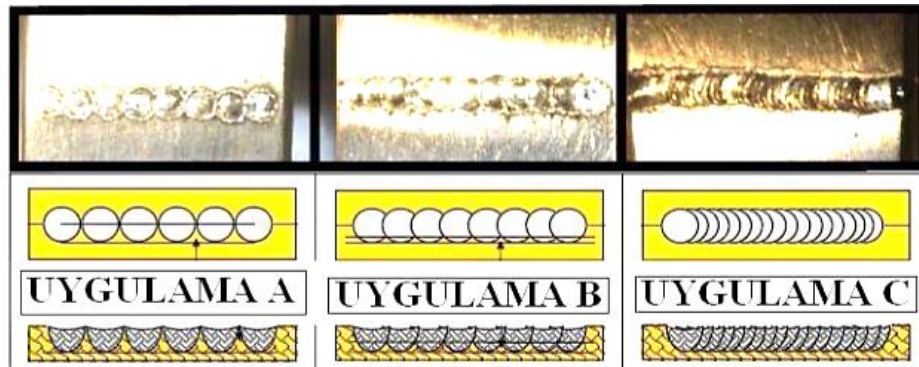


Şekil 2.23. Işın çapındaki değişimin ergime ve nüfuziyet üzerindeki etkileri. (Çelen S., 2006)



Şekil 2.24. Gerilim, darbe süresi ve ışın çapındaki değişimin ergime ve nüfuziyet üzerindeki etkileri. (Çelen S., 2006)

Lazer kaynağının ikincil parametresi ise frekanstır. Lazer darbelerinin birim zamanda (1s) hangi sıklıkta verildiğini göstermektedir ve birimi Hertz'dir. Frekansın artması; gerilimi, darbe süresini, ışın çapının (birincil parametrelerinin) birim zamandaki bırakımını artırır.



Şekil 2.25. Üç kaynak dikişi uygulaması farklı lazer. (Çelen S., 2006)

A'daki kaynak dikişini olduğu söylenemez, çünkü noktalar üst üste gelmemektedir. Bundan dolayı yalnız yan yana dizilmiş bir nokta kaynağıdır. B'de dikişini oluşturan noktalar üst üste gelmektedir, ancak yeteri kadar üst üste gelmediğinden dolayı güçsüz ergimemiş bölgeler vardır. Kaynak dikişinin başarılı demek için nokta kaynaklarının üst üste binme yüzdesi kaynak edilecek numunelerin lazer ışınının odak noktasına göre hareketi ve lazerin frekansıyla bağlantılı olarak belirlemek gerekmektedir (Şekil 2.25). (Brown, 2003).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Deneylelerde lazer kaynak yönteminde kullanılmak üzere 1mm kalınlığında DP600 ve DP 1000 levha temin edilmiştir. Temel malzemelerin kimyasal ve mekanik özellikleri sırasıyla Çizelge 3.1, Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. DP600 çeliğinin kimyasal ve mekanik özellikleri.

Kimyasal Özellikler					Mekanik Özellikler		
Çelik	C	Mn	Si	Cu+Cr+Ni	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)
DP600	0.12	1.40	0.5	1.3	370	630	24

Çizelge 3.2. DP1000 çeliğinin kimyasal ve mekanik özellikleri.

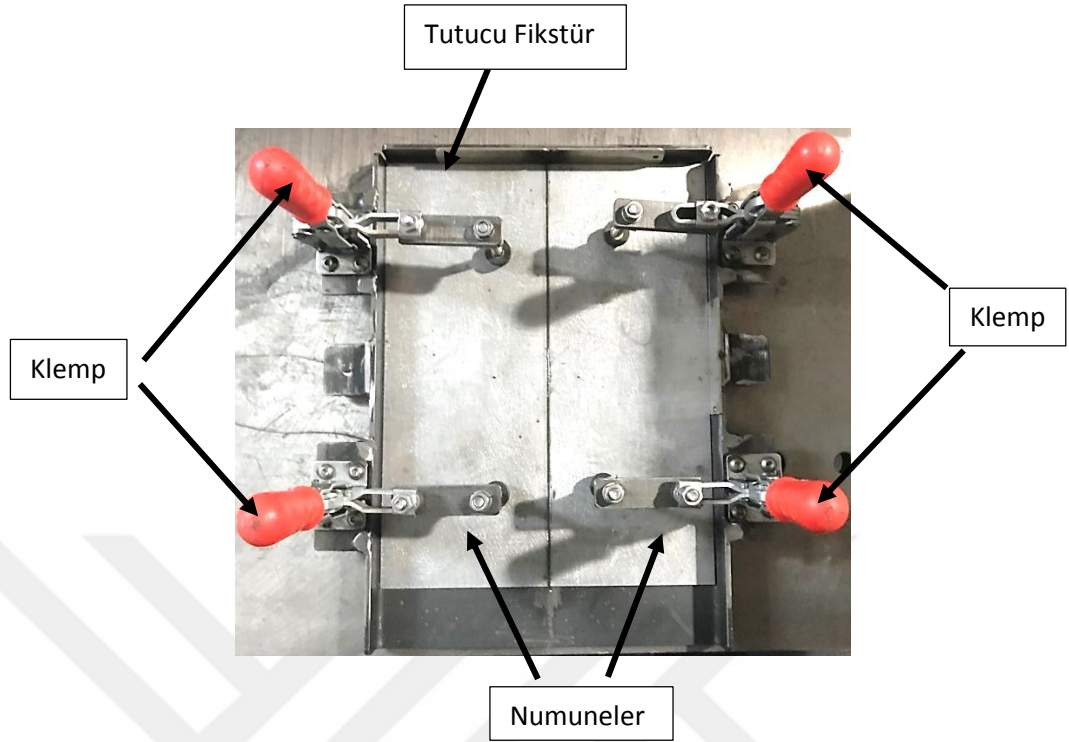
Kimyasal Özellikler					Mekanik Özellikler		
Çelik	C	Mn	Si	Cr	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)
DP1000	0.16	1.89	0.26	0.44	660	1020	13,5

3.2. Yöntem

3.2.1. Kaynak İşlemi

1 mm kalınlığındaki DP 600 ve DP 1000 sac levhalar lazer kesim kullanarak 100x260 mm boyutlarında parçalara ayrılmıştır.

Kaynak sırasında kaynak edilecek parçaları doğru aksenal pozisyonda yerleştirmek kaynak parçalarını sabitlemek büyük önem taşımaktadır. Buna istinaden, Nd:YAG lazer kaynak yöntemi sırasında kaynak parçalarını sabitlemek için bir fikstür imal edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kaynak esnasında parçaları sabitlemek için kullanılan fikstür

Lazer kaynak işlemleri Sisma SWA300 lazer kaynak makinası kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2, Şekil 3.3). İlk olarak Şekil 3.1’de gösterilen fikstür tezgâh üzerine sabitlenmiş, sonra fikstüre parçalar yerleştirilmiştir ve işleme başlanılmıştır (Şekil 3.4). Numuneler farklı kaynak parametreleri kullanılarak alın altına birleştirilerek kaynak yapılmıştır. Lazer kaynağında kullanılan parametreler Çizelge 3.3’de verilmektedir.

Lazer kaynak parametreleri olarak güç, darbe süresi, frekans ve ışın çapı belirlenmiştir ve bu parametreler değiştirilerek etkileri incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, kaynak yapılan malzemelerin hem mekanik özellikler hem de mikro yapı özellikleri açısından uygun kaynak parametrelerinin bulunmasıdır. DP600-DP600, DP1000-DP1000 ve DP600-DP1000 olacak şekilde farklı parametrelerde kaynaklar yapılmıştır.



Şekil 3.2. Deneyler için kullanılan numunelerin imalatının yapıldığı Sisma SWA300 Lazer Kaynak Makinesi



Şekil 3.3. Deneyler için kullanılan numunelerin imalatının yapıldığı Sisma SWA300 Lazer kaynak makinası dijital ekran ve lazer kafası



Şekil 3.4. Lazer kaynak makinasında numunelerinin hazırlanması

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan kaynak parametreleri.

Malzeme	No	Ortalama Güç Oranı (%)	Darbe süresi (ms)	Frekans (Hz)	Işın Çapı (mm)
DP600-DP600	1	20	5	5	1,4
	2	35	5	5	1,4
	3	50	5	5	1,4
	4	65	5	5	1,4
	5	75	5	5	1,4
	6	50	2	5	1,4
	7	50	3,5	5	1,4
	8	50	6,5	5	1,4
	9	50	8	5	1,4
	10	50	5	3	1,4
	11	50	5	4	1,4
	12	50	5	6	1,4
	13	50	5	6,5	1,4
	14	50	5	5	1
	15	50	5	5	1,2
	16	50	5	5	1,6
	17	50	5	5	1,8
DP1000-DP1000	18	20	5	5	1,4
	19	35	5	5	1,4
	20	50	5	5	1,4
	21	65	5	5	1,4
	22	75	5	5	1,4
	23	50	2	5	1,4
	24	50	3,5	5	1,4
	25	50	6,5	5	1,4
	26	50	8	5	1,4
	27	50	5	3	1,4
	28	50	5	4	1,4
	29	50	5	6	1,4
	30	50	5	6,5	1,4
	31	50	5	5	1
	32	50	5	5	1,2
	33	50	5	5	1,6
	34	50	5	5	1,8
DP600-DP1000	35	20	5	5	1,4
	36	35	5	5	1,4
	37	50	5	5	1,4
	38	65	5	5	1,4
	39	75	5	5	1,4
	40	50	2	5	1,4
	41	50	3,5	5	1,4
	42	50	6,5	5	1,4
	43	50	8	5	1,4
	44	50	5	3	1,4
	45	50	5	4	1,4
	46	50	5	6	1,4
	47	50	5	6,5	1,4
	48	50	5	5	1
	49	50	5	5	1,2
	50	50	5	5	1,6
	51	50	5	5	1,8

3.2.2. Numune Hazırlama İşlemleri

Kaynak sonrası ASTM standartları göz önünde bulundurularak çekme deney numuneleri Baykal marka CNC kesme makinesi ile oluşturulmuştur (Şekil 3.5). Mikroyapı ve mikrosertlik incelemeleri yapılacak numunelere sırasıyla kaynak kesitinden hassas kesme, bakalite alma, zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri uygulanmıştır. Öncelikle incelenecek numuneler hassas kesme cihazında kaynak merkezinden kesilmişlerdir (Şekil 3.6). Sonrasında, numunelerin kaynak kesitleri görülecek şekilde bakalite alınmışlardır (Şekil 3.7, Şekil3.8). Kaynak kesitleri 200, 400, 800, 1200, 2000 nolu SiC su zımparaları ile zımparalanmıştır. Sonrasında sırasıyla 1 ve 0,3 µm'lik alümina (Al₂O₃) parlatma solüsyonları ile parlatılmıştır (Şekil 3.9). Dağlama %3'lük nital dağlayıcısı pamuk ile parlatılmış yüzeye 10-15 saniye sürülerek gerçekleştirilmiştir. Dağlanan numunelerden 50-1000 büyütme arasında çeşitli büyütme Clemex görüntü analiz sistemli Nikon DIC model optik mikroskobu ile makro ve mikro görüntüler alınmıştır.



Şekil 3.5. Baykal marka CNC kesme makinesi. (<http://efemetalmakina.com/>)



Şekil 3.6. Struers marka kesme cihazı



Şekil 3.7. Metkon Ecopress-100 marka bakalite alma cihazı



Şekil 3.8. Sertlik ölçümü ve iç yapı incelemek için bakalite alınmış numuneler



Şekil 3.9. Metkon-Forcimat marka otomatik parlatma cihazı

3.2.3. Metalografik Muayeneler

Dağlanan numuneler, Nikon DIC marka ışık mikroskobu kullanılarak incelenmiştir (Şekil 3.10). İyapı incelemeleri ergime bölgesi (EB), ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve temel malzeme (TM) bölgeleri incelenerek yapılmıştır.



Şekil 3.10. Nikon DIC marka ışık mikroskobu

3.2.4. Mikro Sertlik Ölçümleri ($HV_{0,1}$)

Kaynaklı numuneler hassas kesme cihazında kaynak merkezinden kesildikten sonra bakalite alınmıştır. Mikro sertlik ölçümleri öncesi kaynaklı yüzeylere zımparalama ve parlatma işlemleri uygulanmıştır. Yüzey hazırlama işlemleri sonrası Mikro Vickers sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinde 100 g'lık yük 10 saniye uygulanmıştır. Bakalite alınmış her bir numunenin temel malzemeden diğer temel malzemeye kadar 1 mm lik aralıklarla ölçümler gerçekleştirilmiştir. Duroline-Metkon marka cihazdan 10, 20, 50, 100, 200, 300, 500, 1000 gr.lık yük aralığında ölçüm yapılabilmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Duroline-Metkon marka sertlik ölçüm cihazı

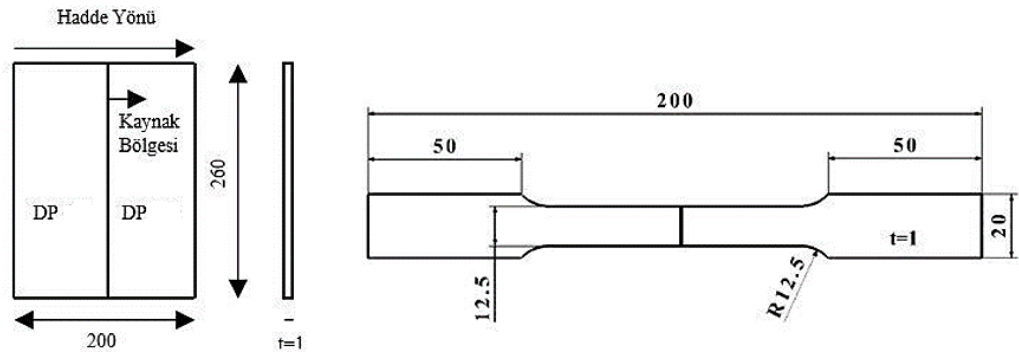
3.2.5. Çekme Deneyi

Çekme deneyi, malzemelerin mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan vazgeçilmez bir muayene yöntemidir. Çekme deneyinde, malzeme statik bir yükü yüklenir ve o malzemeye ait göz önüne alınması gereken mekanik özellik değerleri elde edilir.

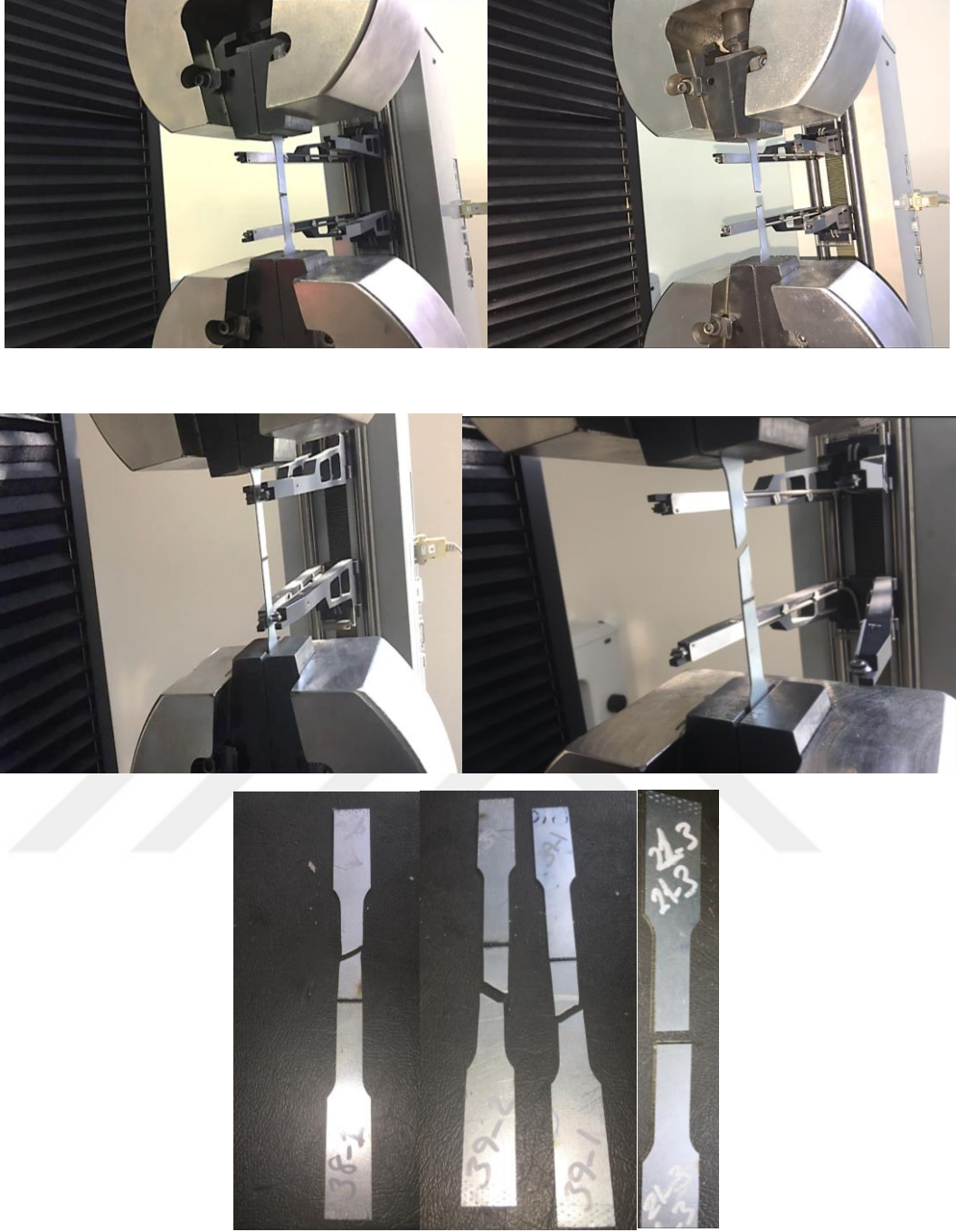
Kaynaklı numunelere UTEST-70 14 çekme cihazında oda sıcaklığında 5 mm/dk çene hareket hızı ile çekme işlemleri uygulanmıştır (Şekil 3.12). Her bir parametre için 5 adet çekme test yapılmış ve ortalamaları deney sonuçları olarak kullanılmıştır. Kaynaklı numunelerden alınan tüm çekme örnekleri, kaynak yönüne dik konumda alınmıştır. Çekme deneylerinde kullanılan tüm numuneler ASTM E8-8M'e uygun olarak hazırlanmıştır (Şekil 3.13). Çalışma kapsamındaki bazı çekme deneyleri görüntüleri Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.12. UTEST-70 14 çekme cihazı



Şekil 3.13. Kaynaklı plakaların ve çekme numunesinin şematik gösterimleri.



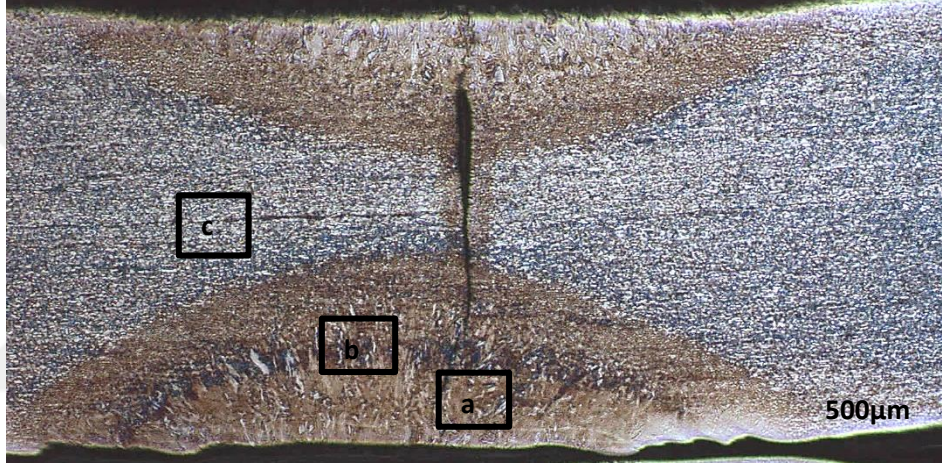
Şekil 3.14. Çalışma kapsamındaki çekme deneyleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kaynak Bölgesi Makro ve Mikro Yapılar

Şekil 4.1’de bir numuneden alınan kaynak kesitinin makro yapısı verilmiştir. Kaynak kesiti incelendiğinde 3 farklı bölge görülmektedir.

- EB, kaynak sırasında uygulanan ısının tesiri ile ergiyen ve kaynaktan sonra katılaştıran bölgedir.
- ITAB, bölgesinde ısının etkisiyle tane irileşmesi görülebilmektedir.
- TM kaynaktan etkilenmeyen bölgedir.



Şekil 4.1. Üretilen kaynakların makro yapısı a) EB, b) ITAB, c)TM (Numune1)

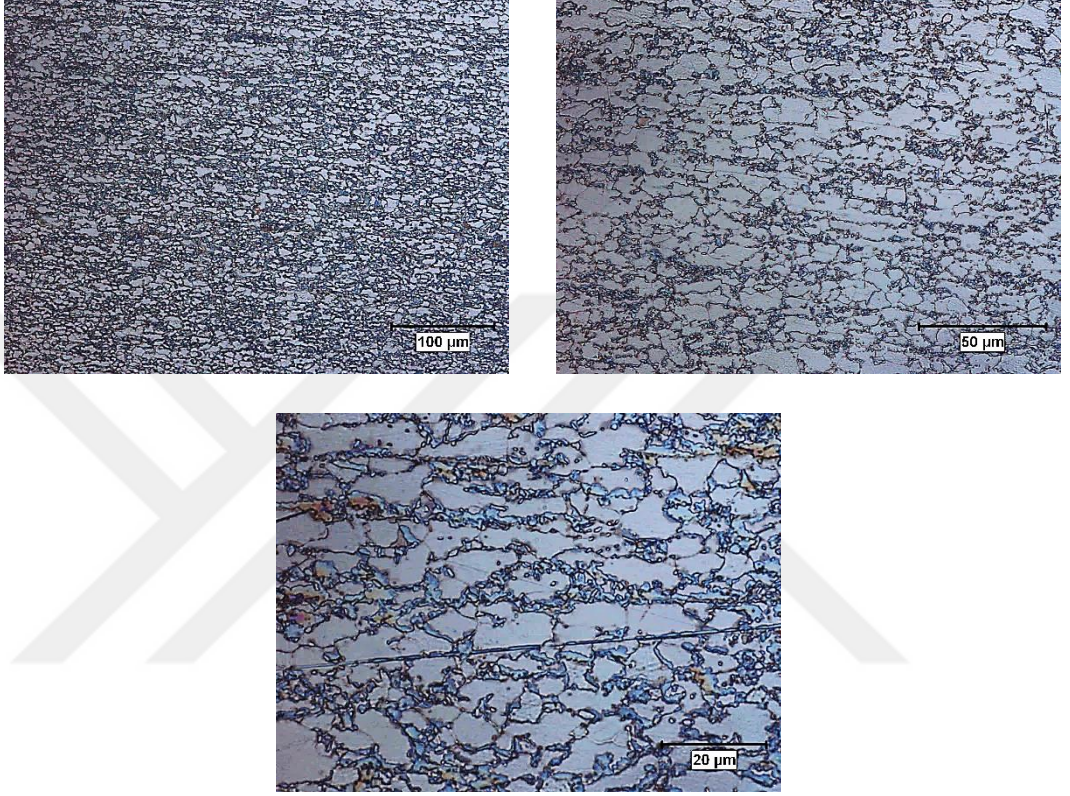
DP600 ve DP1000 sacların temel malzeme içyapısı yönlenmiş ve uzamış tanelerden meydana gelirken, EB’de ise kaynak esnasındaki ortaya çıkan sıcaklık sonucunda kaba dendritik yapı göze çarpmaktadır (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3).

ITAB sadece ısının etkisi ile mikro yapı ve mekanik özellikleri değişmiş bölgedir. Bu bölgede ısının etkisi ile tane irileşmesi söz konusu olabilmektedir.

Kaynakların makro gözlemlerde, lazer kaynak yöntemi ile üretilen birleştirmelerin görünüm ve yüzey pürüzlülüğü açısından, diğer kaynak yöntemlerine nazaran oldukça iyi olduğu görülmektedir. Böylece, kaynak sonrası yapılacak tesviye işlemleri en aza indirgenmiş olacaktır.

a) DP600 Temel Malzemesi

Uzamış tanelerden oluşan TM mikro yapı görüntüsü Şekil 4.2’de verilmiştir. Genel itibariyle iç yapı, ferrit ve martenzit ($\alpha+\mu$) adacıklarından oluşmaktadır.



Şekil 4.2. DP600 temel malzemesinin çeşitli büyütmelelerde görüntüsü

b) DP1000 Temel Malzemesi

Şekil 4.3’te DP1000 çeliğinin temel malzeme bölgesinden çekilen fotoğraflar verilmiştir. Temel malzeme, ferrit matris içerisine homojen bir şekilde dağılmış martenzit fazlarından oluşmaktadır. Martenzit oranı DP600 çeliğine nazaran daha fazladır.



Şekil 4.3. DP1000 temel malzemesinin çeşitli büyütmelerde görüntüsü

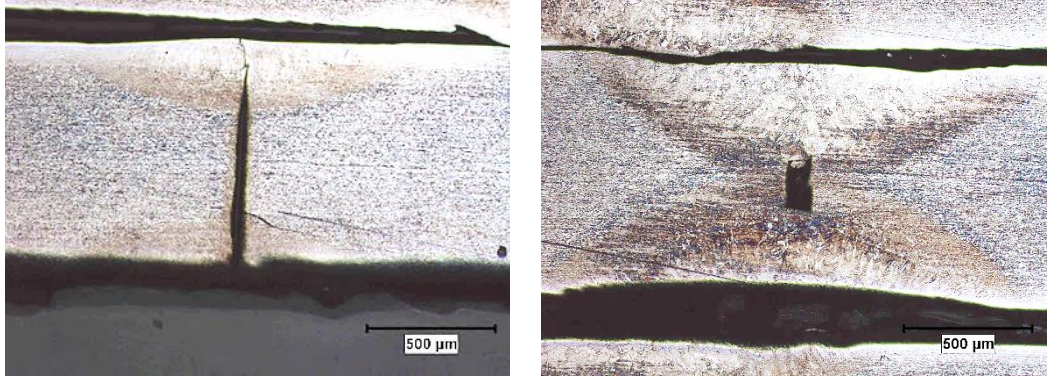
c) DP600-DP600 Numunelerinin Makro yapısı

• **DP600-DP600 Güç Parametresi**

Makroyapı incelemelerinde en düşük çekme mukavemetine sahip güç %20 (numune 1) ile en yüksek çekme mukavemetine sahip güç %65 (numune 4) seçilmiştir. Güçteki artış çekme mukavemetinde artışa neden olmuştur.

Şekil 4.4 incelendiğinde, her iki numunede de kaynak merkezindeki hata dikkat çekicidir. Güç %20 (numune 1) olduğunda, bu kaynak hatası çok daha belirgindir ve ergime bölgesinde dış yüzeye kadar ulaşan bir çatlak oluşumuna yol açmıştır (Şekil 4.4).

Güç %65 (numune 4) olduğunda ise, merkezde bulunan kaynak hatasının daha dar olduğu ve penetrasyon derinliğinin arttığı görülmektedir.

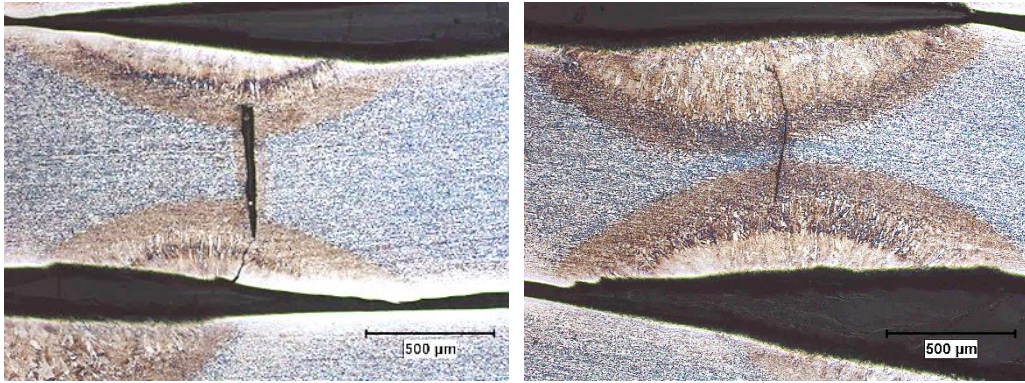


Şekil 4.4. Numune 1(%20 güç) ve Numune 4 (%65)'e ait makroyapı görüntüleri.

- ***DP600-DP600 Darbe Süresi Parametresi***

Şekil 4.5 incelendiğinde, her iki numunede de kaynak merkezindeki alın alına birleşme hatası dikkat çekicidir. Bu kaynak hatasının ana sebebi, alın alına birleştirmelerde ara yüzeyde kalan boşluklardır. Darbe süresi 2 ms (numune 6) olduğunda, bu kaynak hatası çok daha belirgindir ve ergime bölgesinde dış yüzeye kadar ulaşan bir çatlak oluşumuna yol açmıştır (Şekil 4.5).

Darbe süresi 6.5 ms (numune8) olduğunda ise, merkezde bulunan kaynak hatasının daha dar olduğu ve penetrasyon derinliğinin arttığı görülmektedir.

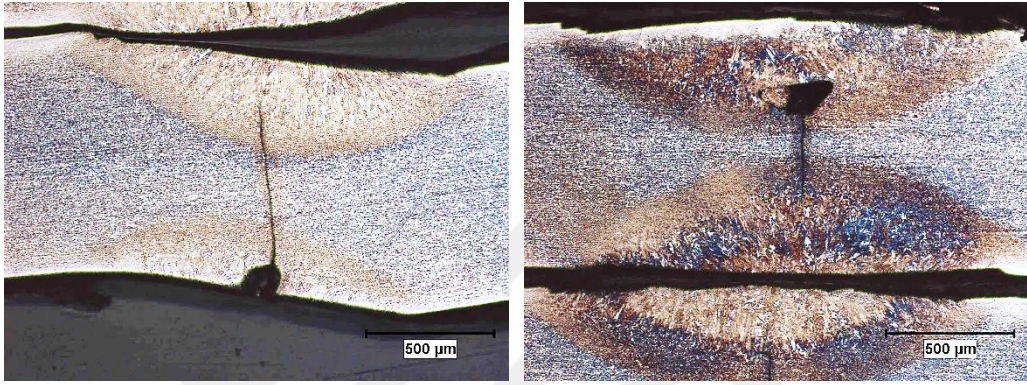


Şekil 4.5. Numune 6 (2 ms) ve Numune 8 (6,5 ms)'e ait makroyapı görüntüleri.

- **DP600-DP600 Frekans Parametresi**

Frekans 3 Hz (numune 10) olduğunda, bu kaynak hatası çok daha belirgindir ve ergime bölgesinde dış yüzeye kadar ulaşan bir çatlak oluşumuna yol açmıştır (Şekil 4.6).

Frekans 6,5 Hz (numune 13) olduğunda ise, merkezde bulunan kaynak hatasının daha dar olduğu ve penetrasyon derinliğinin arttığı görülmektedir.

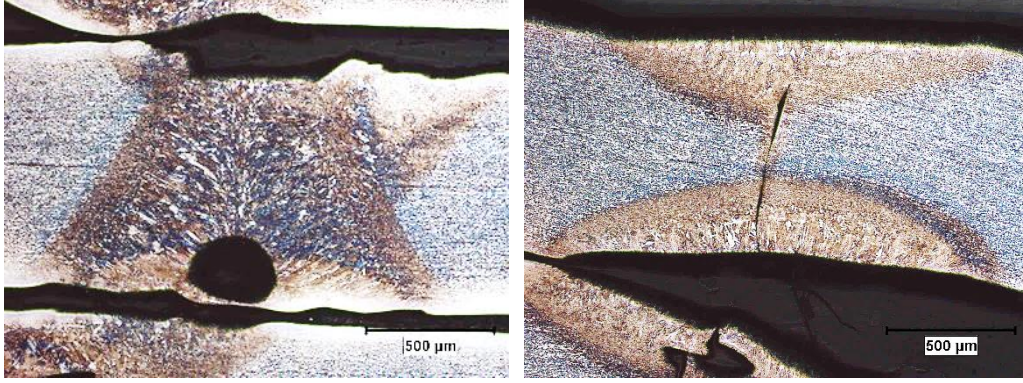


Şekil 4.6. Numune 10 (3 Hz) ve Numune 13 (6,5 Hz)'e ait makroyapı görüntüleri.

- **DP600-DP600 Işın Çapı**

Işın çapı 1,8 mm (numune 17) olduğunda, kaynak hatası diğer parametrelere göre çok belirgin değil ve ergime bölgesinde bir çatlak oluşumuna yol açmıştır (Şekil 4.7).

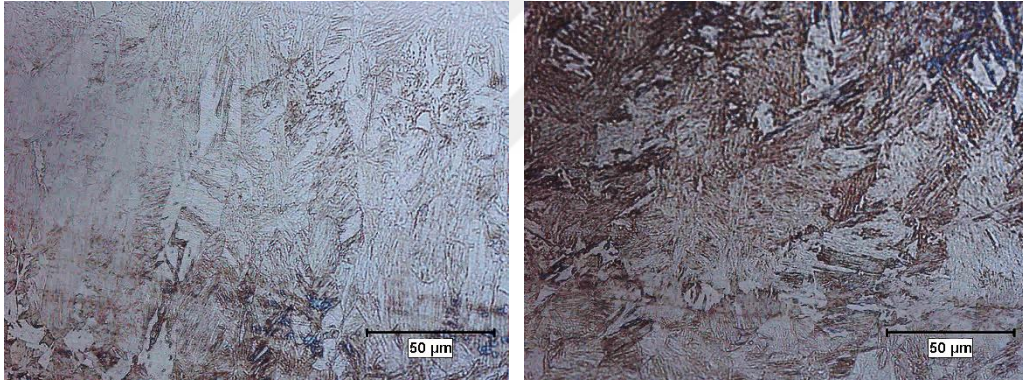
Işın çapı 1 mm (numune 14) olduğunda ise, merkezde bulunan kaynak hatasının daha dar olduğu ve penetrasyon derinliğinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.7. Numune 14 (1 mm) ve Numune 17 (1,8 mm)'e ait makroyapı görüntüleri.

d) DP600-DP600 Mikro yapılar

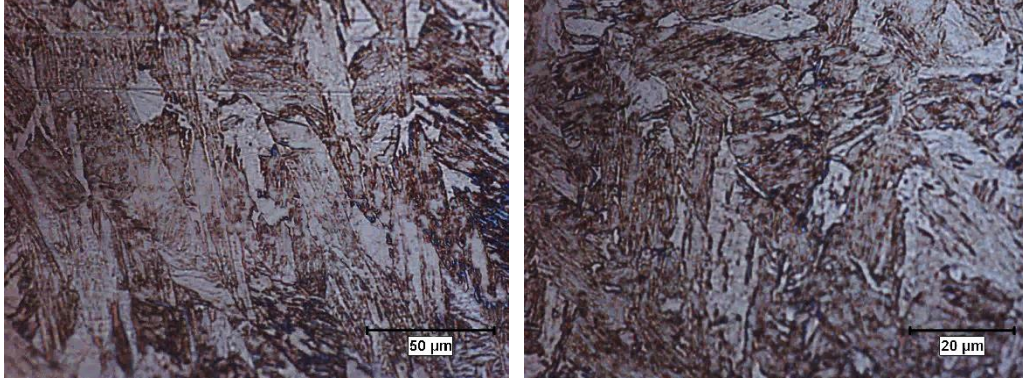
Numunelerin ergime bölgelerinde iğnesel martenzitik yapılar görülmektedir (Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11). Isı girdisi artışı ile martenzitik yapılar kabalaşmıştır.



a)

b)

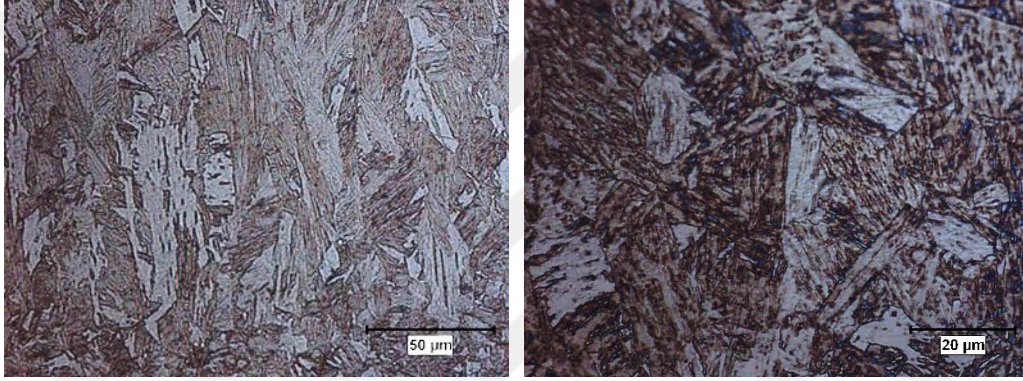
Şekil 4.8. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 1 (%20 güç), b) Numune 4 (%65 güç)



a)

b)

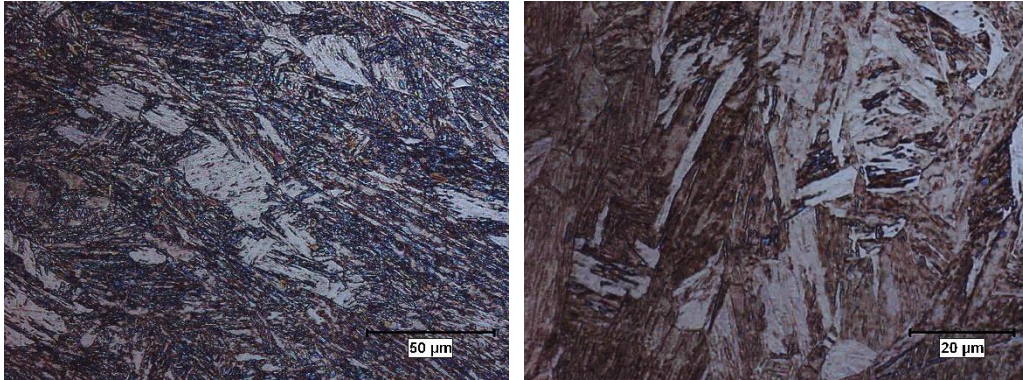
Şekil 4.9. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 6 (2 ms), b) Numune 8 (6,5 ms)



a)

b)

Şekil 4.10. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 10 (3 Hz), b) Numune 13 (6,5 Hz)

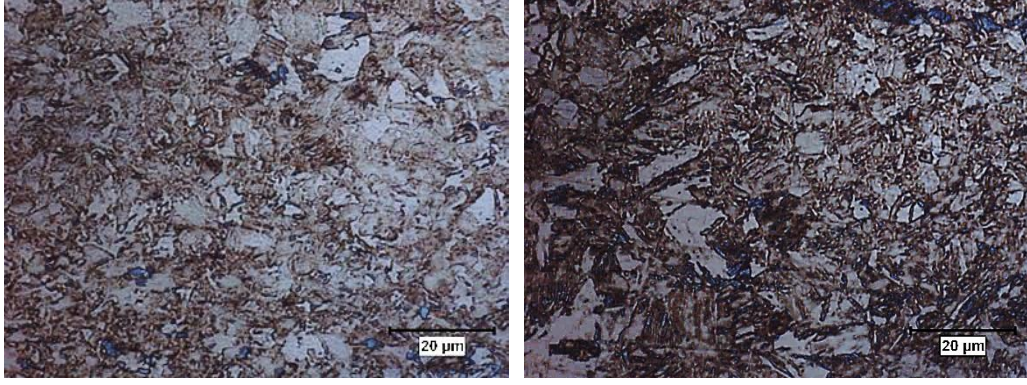


a)

b)

Şekil 4.11. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 14 (1 mm), b) Numune 17 (1,8mm)

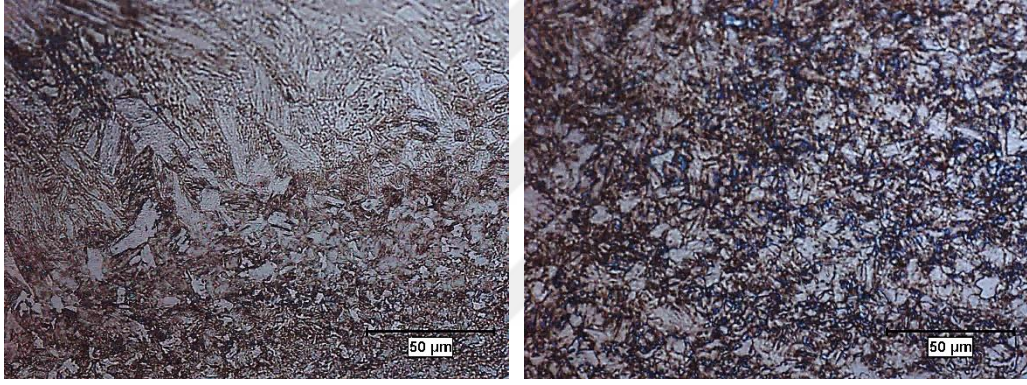
Numunelerin ITAB bölgelerinde martenzitik ve beynitik yapılar dikkat çekmektedir (Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15).



a)

b)

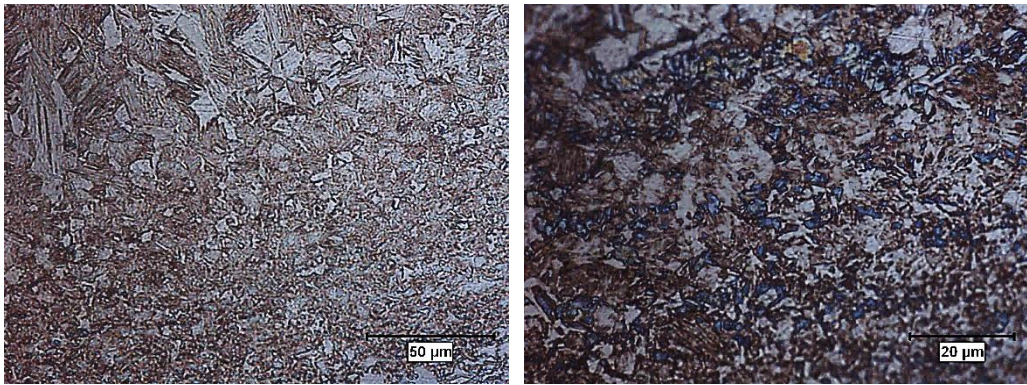
Şekil 4.12. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 1 (%20 güç), b) Numune 4 (%65 güç)



a)

b)

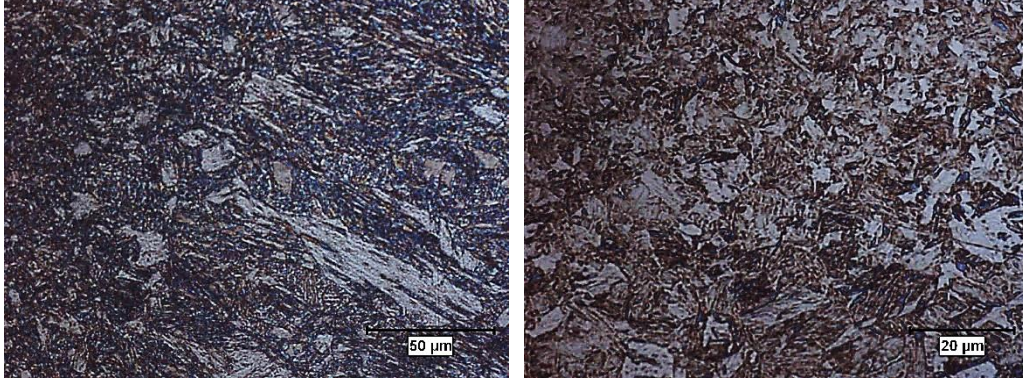
Şekil 4.13. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 6 (2 ms), b) Numune 8 (6,5 ms)



a)

b)

Şekil 4.14. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 10 (3 Hz), b) Numune 13 (6,5 Hz)

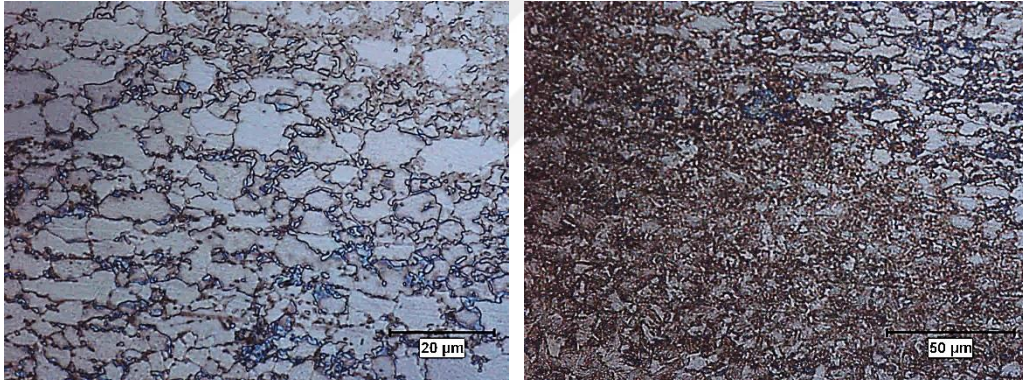


a)

b)

Şekil 4.15. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 14 (1 mm), b) Numune 17 (1,8mm)

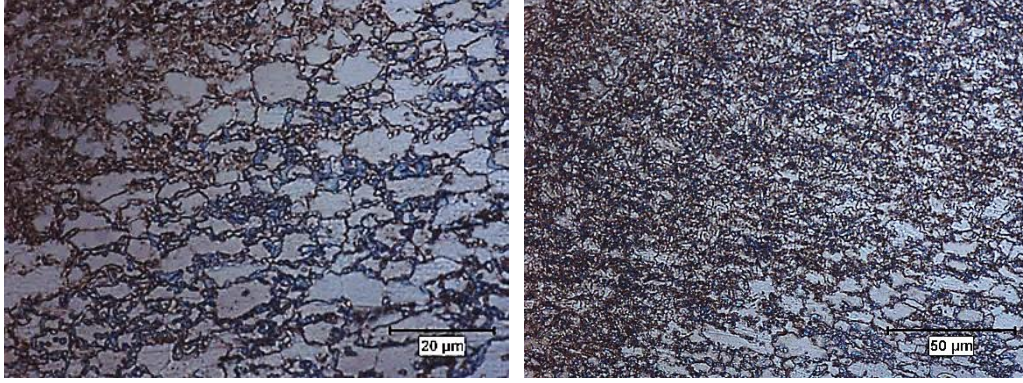
ITAB-TM geçişinde ise TM'ye doğru ferrit oranı artışı ve ferrit tane sınırlarında karbür çökeltilerinde artış meydana gelmektedir (Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19).



a)

b)

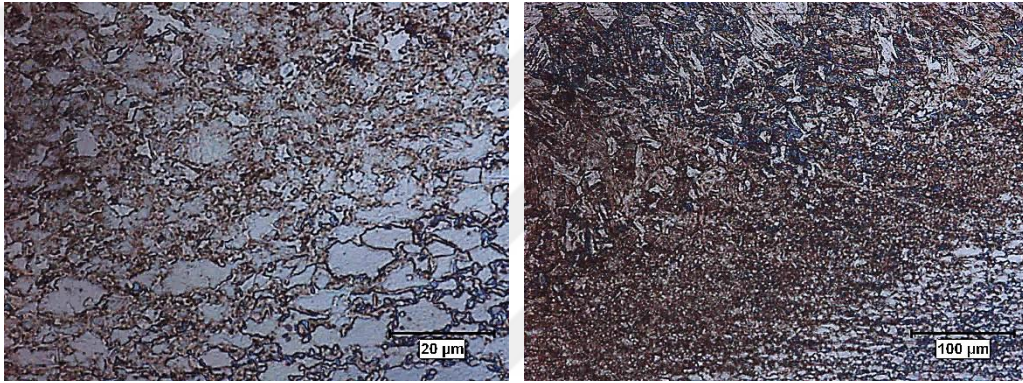
Şekil 4.16. ITAB – temel malzeme (TM) a) Numune 1 (%20 güç), b) Numune 4 (%65 güç)



a)

b)

Şekil 4.17. ITAB – temel malzeme (TM) a) Numune 6 (2 ms), b) Numune 8 (6,5 ms)



a)

b)

Şekil 4.18. ITAB – temel malzeme (TM) a) Numune 10 (3 Hz), b) Numune 13 (6,5 Hz)

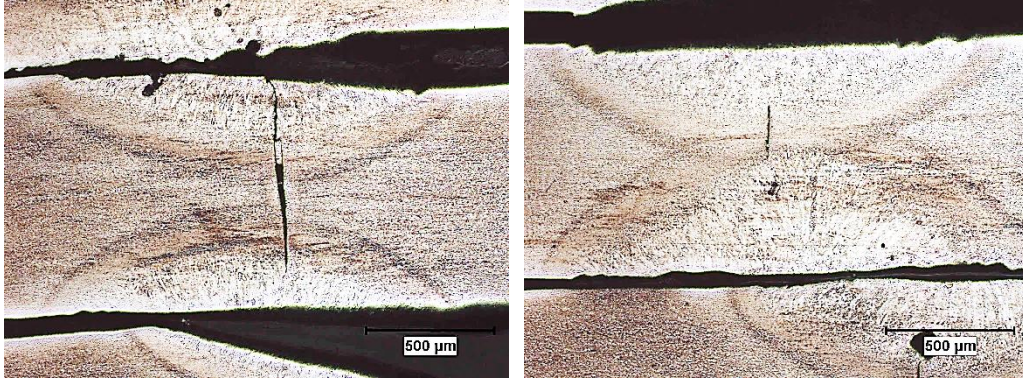
Genel itibariyle mikroyapı incelemelerinde, ısı girdisi fazla olması martenzit, beynit yapıların daha kabalaşmasına sebep olduğu görülmüştür.

e) DP1000-DP1000 Makro yapısı

- *DP1000-DP1000 Güç Parametresi*

Kaynak bölgesi makro görüntüleri incelendiğinde, yüksek güç ile ısı girdisi artışına bağlı olarak kaynak penetrasyonunun önemli ölçüde arttığı ve kaynak merkezinde meydana gelen birleşme arayüzeyindeki boşluklardan kaynaklanan tipik kaynak hatasının küçüldüğü görülmektedir (Şekil 4.19). Düşük güçte ise, daha düşük ısı girdisine bağlı

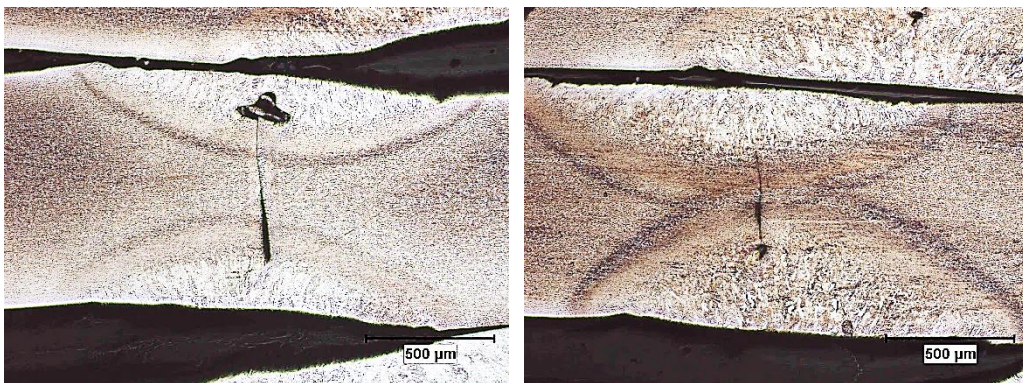
olarak kaynak penetrasyonunun azaldığı ve alın altına birleşme arayüzeyi net olarak gözlemlenmektedir.



Şekil 4.19. Numune 19 (%35 güç) ve Numune 21(%65güç)'e ait makroyapı görüntüleri.

- ***DP1000-DP1000 Darbe Süresi***

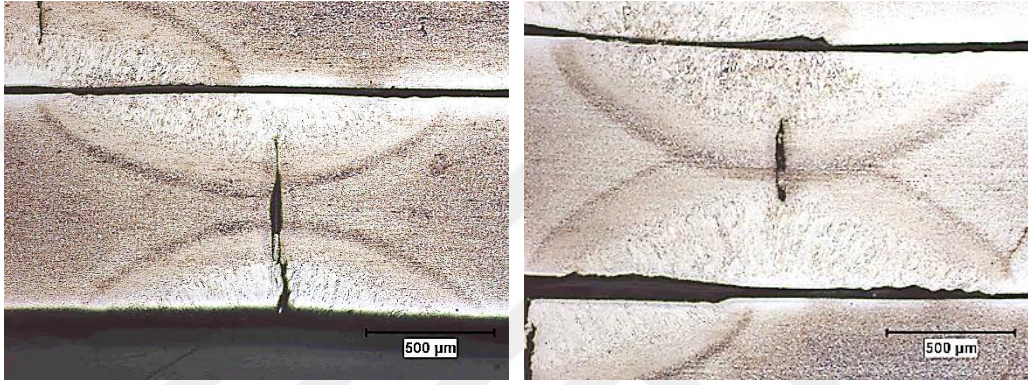
Kaynak bölgesi makro görüntüleri incelendiğinde, yüksek darbe süresine ısı girdisi artışına bağlı olarak kaynak penetrasyonunun önemli ölçüde arttığı ve kaynak merkezinde meydana gelen birleşme arayüzeyindeki boşluklardan kaynaklanan tipik kaynak hatasının küçüldüğü görülmektedir (Şekil 4.20). Düşük darbe süresi ise, daha düşük ısı girdisine bağlı olarak kaynak penetrasyonunun azaldığı ve alın altına birleşme arayüzeyi net olarak gözlemlenmektedir.



Şekil 4.20. Numune 23 (2 ms) ve Numune 25 6,5 ms)'e ait makroyapı görüntüleri.

- **DP1000-DP1000 Frekans**

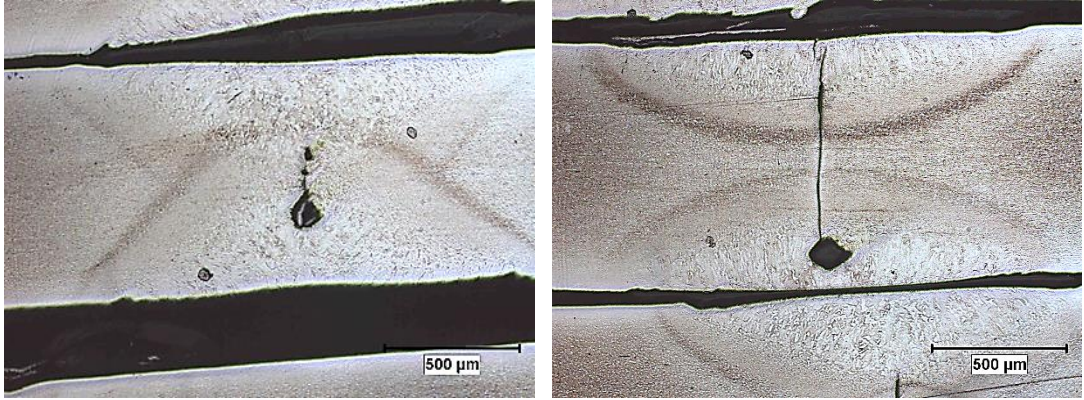
Kaynak bölgesi makro görüntüleri incelendiğinde, yüksek frekans ısı girdisi artışına bağlı olarak kaynak penetrasyonunun önemli ölçüde arttığı ve kaynak merkezinde meydana gelen birleşme arayüzündeki boşluklardan kaynaklanan tipik kaynak hatasının küçüldüğü görülmektedir (Şekil 4.21). Düşük frekansta ise, daha düşük ısı girdisine bağlı olarak kaynak penetrasyonunun azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.21. Numune 27 (3 Hz) ve Numune 30 (6,5 Hz)'a ait makroyapı görüntüleri.

- **DP1000-DP1000 Işın Çapı**

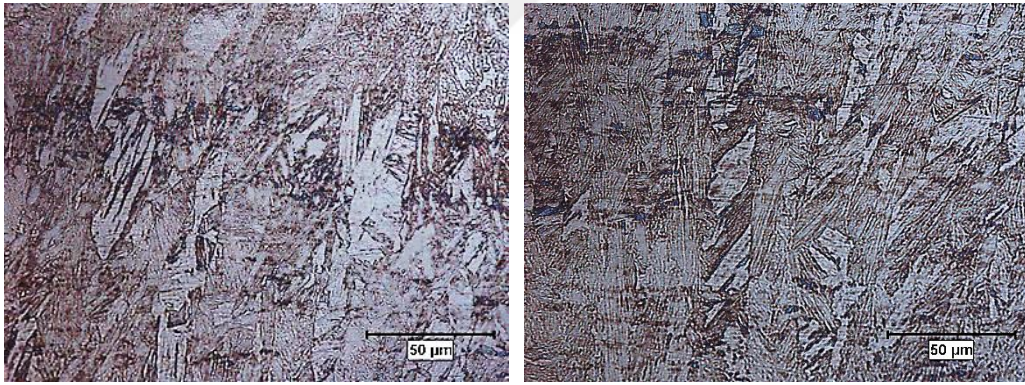
Kaynak bölgesi makro görüntüleri incelendiğinde, düşük ışın çapında ısı girdisi artışına bağlı olarak kaynak penetrasyonunun önemli ölçüde arttığı ve kaynak merkezinde meydana gelen birleşme arayüzündeki boşluklardan kaynaklanan tipik kaynak hatasının küçüldüğü görülmektedir (Şekil 4.22). Yüksek ışın çapında ise, daha düşük ısı girdisine bağlı olarak kaynak penetrasyonunun azaldığı ve alın altına birleşme arayüzeyi net olarak gözlemlenmektedir.



Şekil 4.22. Numune 31 (1 mm) ve Numune 33 (1,6 mm)'e ait makroyapı görüntüleri.

f) DP1000-DP1000 Mikro yapıları

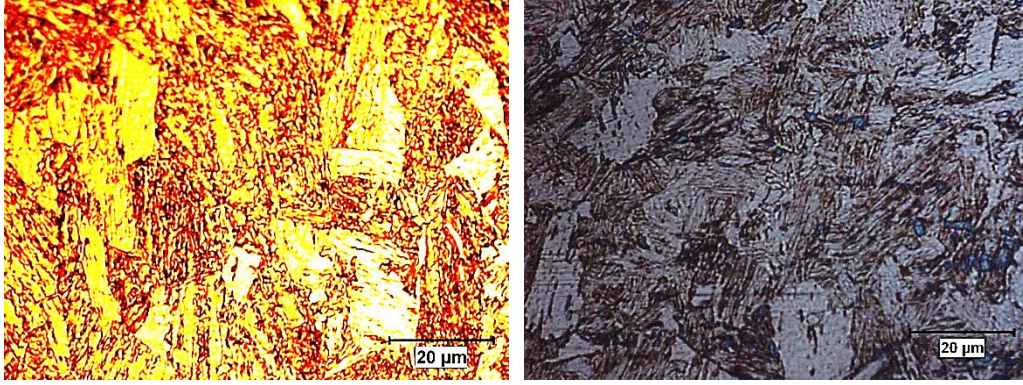
DP1000-DP1000 malzemeleri lazer kaynağı uygulandığında ergime bölgesinde (EB) dendritik kaba martenzitik yapı ve az miktarda kalıntı östenit gözlenmiştir (Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26).



a)

b)

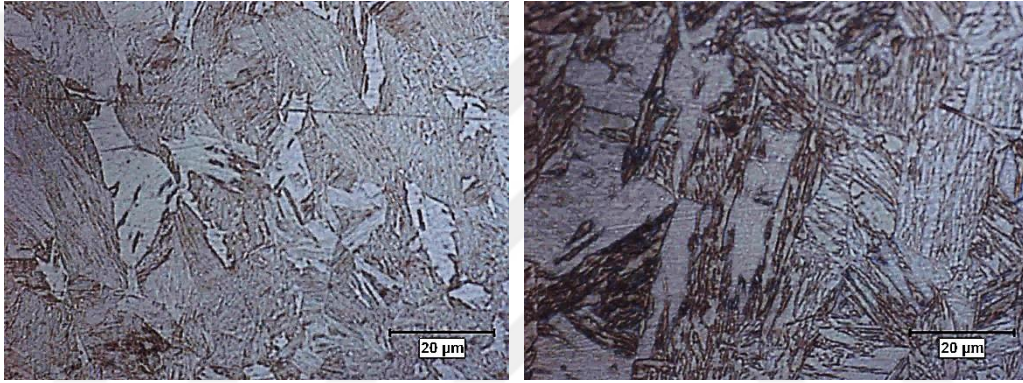
Şekil 4.23. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 19 (%35 güç), b) Numune 21 (%65)



a)

b)

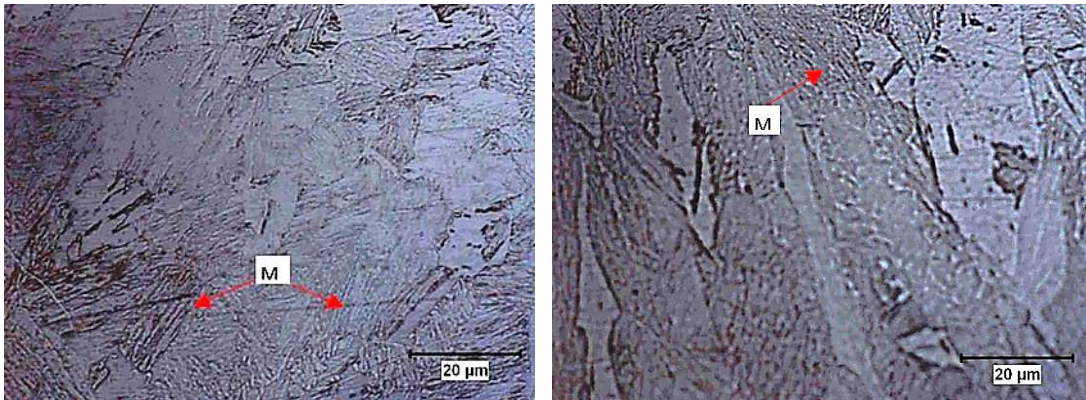
Şekil 4.24. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 23 (2 ms), b) Numune 25 (6,5 ms)



a)

b)

Şekil 4.25. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 27 (3 Hz), b) Numune 30 (6,5 Hz)

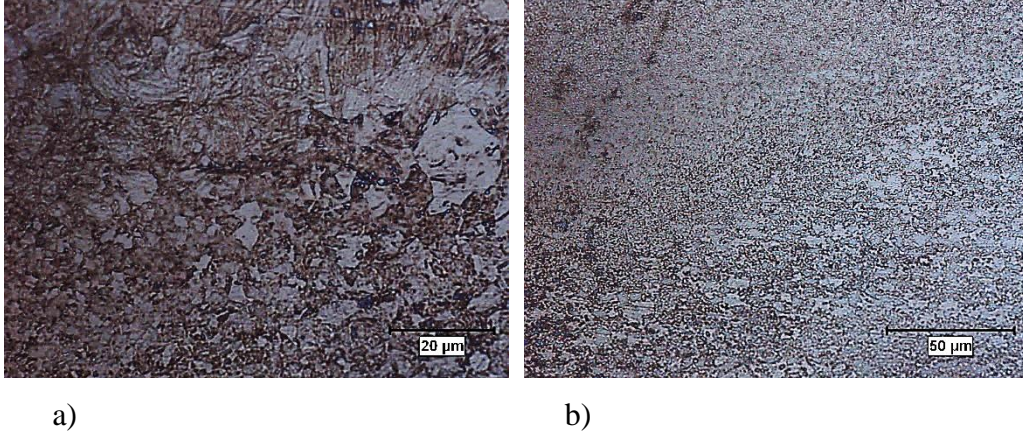


a)

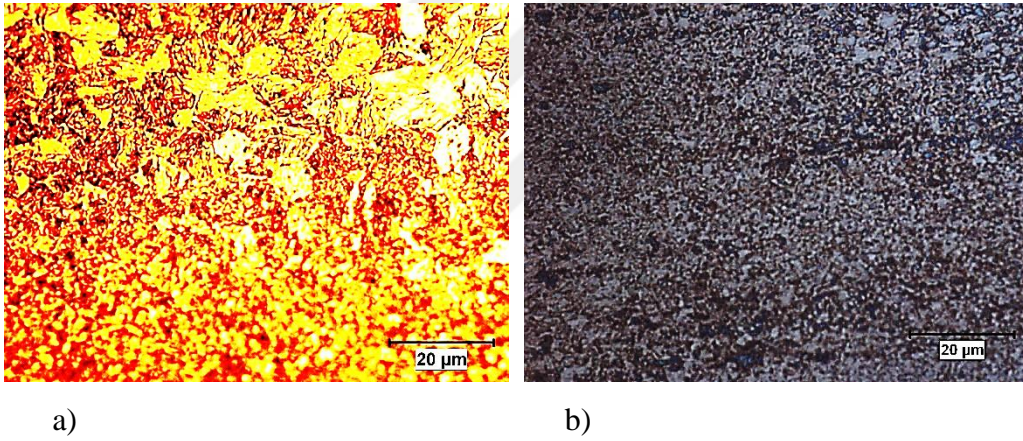
b)

Şekil 4.26. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 31 (1 mm), b) Numune 33 (1,6 mm)

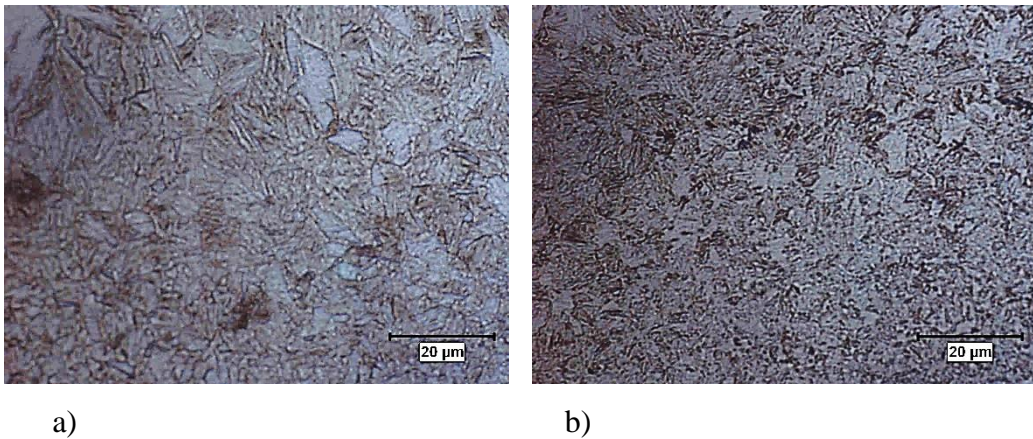
ITAB’da genel itibariyle martenzitik ve beynitik yapıların yanı sıra ferrit ve kalıntı ostenit yapılar görülmüştür (Şekil 4.27, Şekil 4.28 Şekil 4.29, Şekil 4.30).



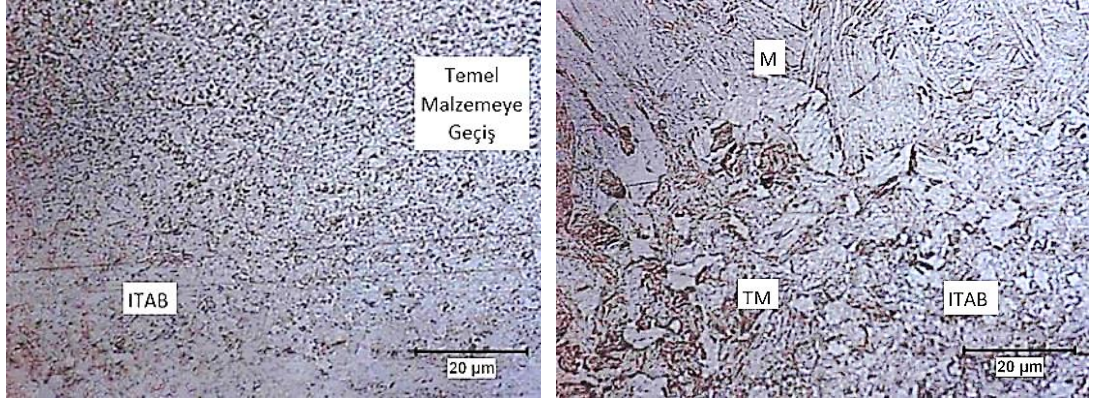
Şekil 4.27. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 19 (%35 güç), b) Numune 21 (%65)



Şekil 4.28. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 23 (2 ms), b) Numune 25 (6,5 ms)



Şekil 4.29. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 27 (3 Hz), b) Numune 30 (6,5 Hz)

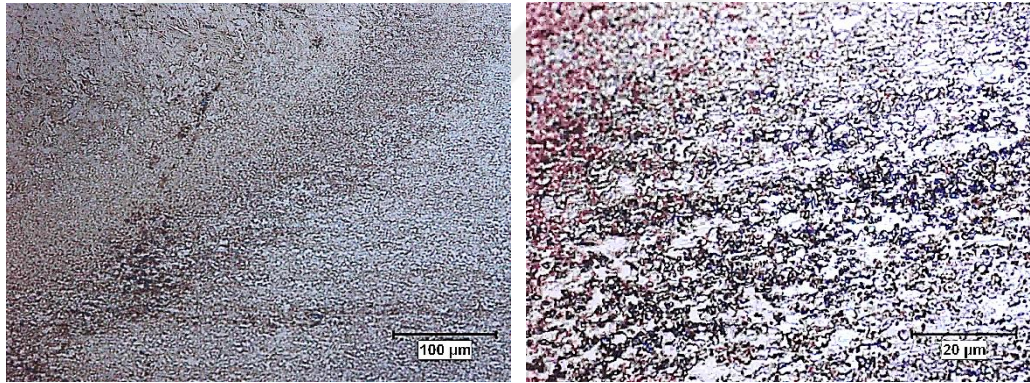


a)

b)

Şekil 4.30. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) a) Numune 31 (1 mm), b) Numune 33 (1,6 mm)

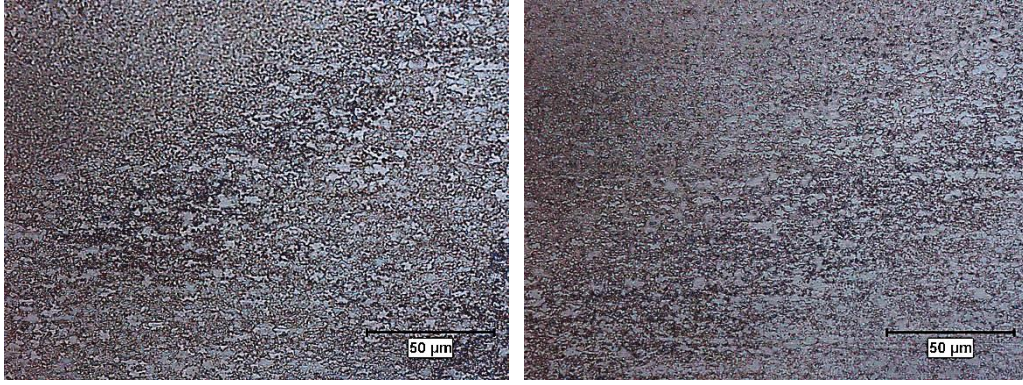
ITAB'dan temel malzemeye geçiş bölgesinde temperlenmiş martenzit ve ferrit yapılarından oluşan bir bölge oluşmaktadır. Temel malzemeye doğru ferrit miktarı artmaktadır (Şekil 4.31, Şekil 4.32 Şekil 4.33, Şekil 4.34).



a)

b)

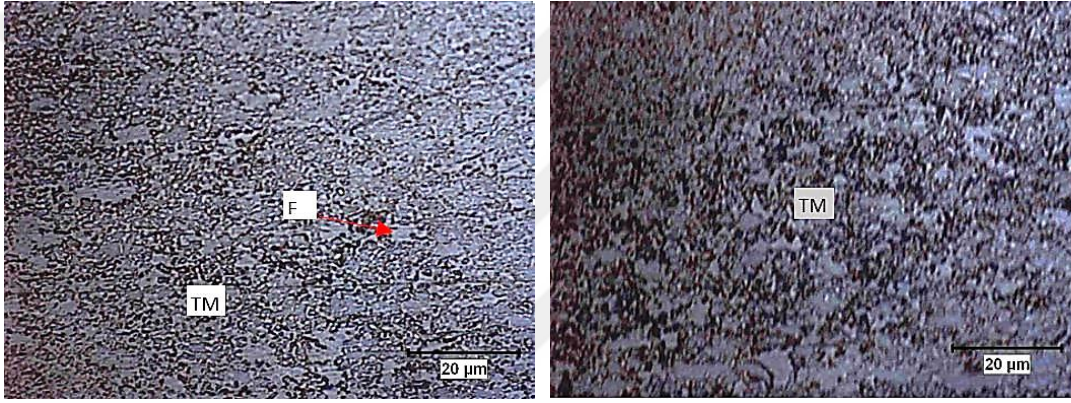
Şekil 4.31. ITAB – temel malzeme (TM) a) Numune 21 (%65 güç), b) Numune 23 (2 ms)



a)

b)

Şekil 4.32. ITAB – temel malzeme (TM) a) Numune 27 (3 Hz), b) Numune 30 (6 Hz)



a)

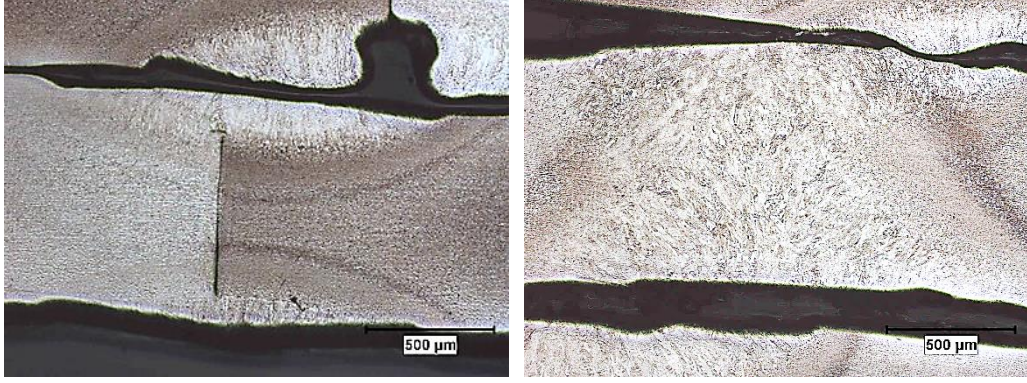
b)

Şekil 4.33. ITAB – temel malzeme (TM) a) Numune 31 (1 mm), b) Numune 33 (1,6 mm)

g) DP600-DP1000 Makro yapı

• DP600-DP1000 Güç Parametresi

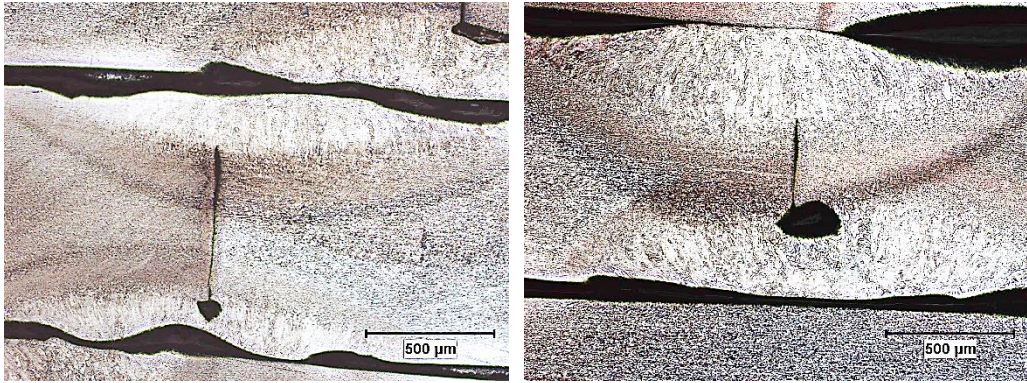
Makroyapı incelemelerinde en düşük çekme mukavemetine sahip numune 35 (%20) ile en yüksek çekme mukavemetine sahip numune 39 (%75) seçilmiştir. Kaynaklı numunelere ait makro görüntüler Şekil 4.34'de verilmiştir. Kaynak bölgesi makro görüntüleri incelendiğinde, yüksek güç ısı girdisi artışına bağlı olarak kaynak penetrasyonunun önemli ölçüde arttığı ve kaynak merkezinde meydana gelen birleşme arayüzündeki boşluklardan kaynaklanan tipik kaynak hatası görülmemektedir. Düşük güçte ise, daha düşük ısı girdisine bağlı olarak kaynak penetrasyonunun azaldığı ve alın altına birleşme arayüzeyi net olarak gözlemlenmektedir.



Şekil 4.34. Numune 35 (%20) Numune 39 (%75)'a ait makroyapı görüntüleri.

- **DP600-DP1000 Darbe Süresi**

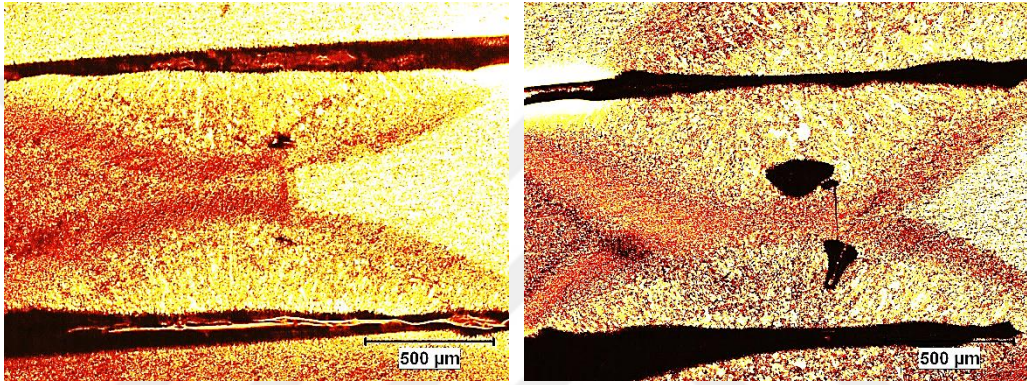
Şekil 4.35 incelendiğinde, her iki numunede de kaynak merkezindeki alın altına birleşme hatası görünmektedir. Bu kaynak hatasının ana sebebi, alın altına birleştirmelerde ara yüzeyde kalan boşluklardır. Darbe süresi 2 ms (numune 40) olduğunda, bu kaynak hatası çok daha belirgindir ve ergime bölgesinde daha uzun çatlak oluşumuna yol açmıştır (Şekil 4.35). Darbe süresi 6.5 ms (numune 42) olduğunda ise, merkezde bulunan kaynak hatasının daha dar olduğu ve penetrasyon derinliğinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.35. Numune 40 (2 ms) ve Numune 42 (6,5 ms)'e ait makroyapı görüntüleri.

- **DP600-DP1000 Frekans**

Kaynak bölgesi makro görüntüleri incelendiğinde, yüksek frekans ısı girdisi artışına bağlı olarak kaynak penetrasyonunun önemli ölçüde arttığı ve kaynak merkezinde meydana gelen birleşme arayüzündeki boşluklardan kaynaklanan tipik kaynak hatasının küçüldüğü görülmektedir (Şekil 4.36). Düşük frekans ise, daha düşük ısı girdisine bağlı olarak kaynak penetrasyonunun azaldığı ve alın altına birleşme arayüzeyi net olarak gözlemlenmektedir.

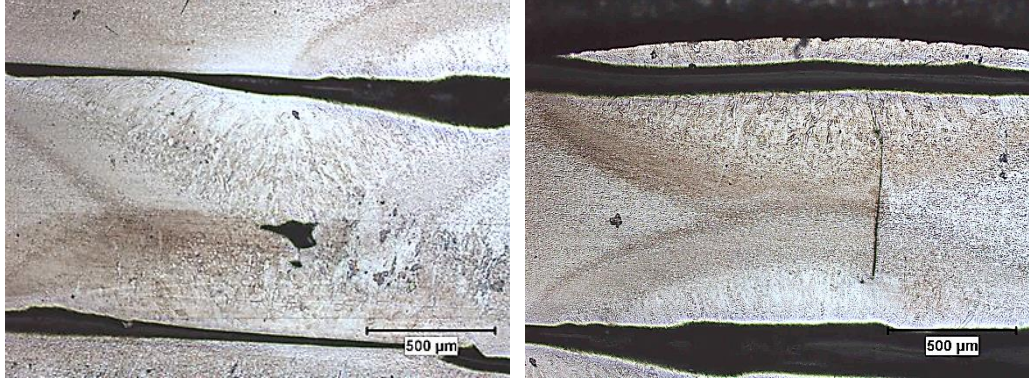


Şekil 4.36. Numune 45 (4 Hz) ve Numune 47 (6,5 Hz)'e ait makroyapı görüntüleri.

- **DP600-DP1000 Işın Çapı**

Işın çapı 1,6 mm (numune 50) olduğunda, kaynak hatası diğer parametrelere göre çok belirgin değil ve ergime bölgesinde bir çatlak oluşumuna yol açmıştır (Şekil 4.37).

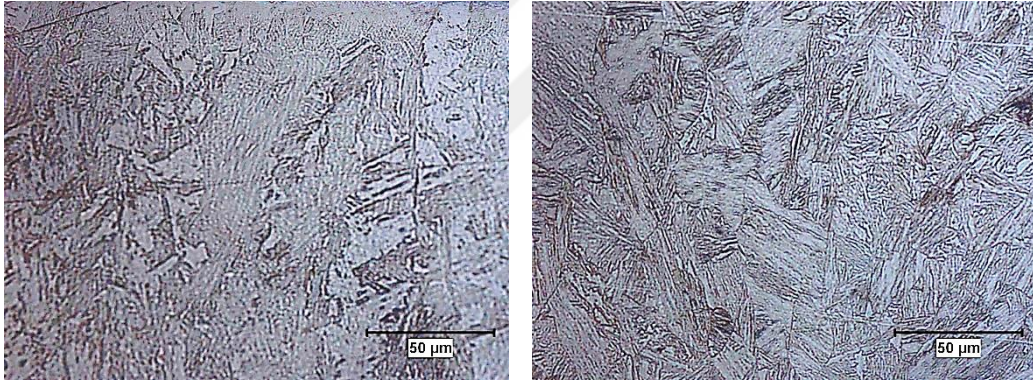
Işın çapı 1,2 mm (numune 49) olduğunda ise, merkezde bulunan kaynak hatasının daha dar olduğu ve penetrasyon derinliğinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.37. Numune 49 (1,2 mm) ve Numune 50 (1,6 mm)'e ait makroyapı görüntüleri.

h) DP600-DP1000 Mikro yapı

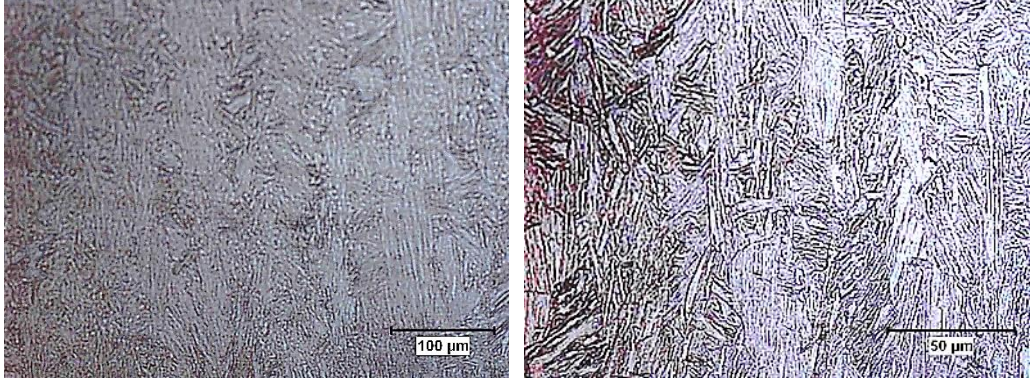
EB'de dendritik kaba martenzitik yapılar ve az miktarda kalıntı ostenit gözlenmiştir. Isı girdisi artışı martenzit miktarını arttırmıştır (Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41).



a)

b)

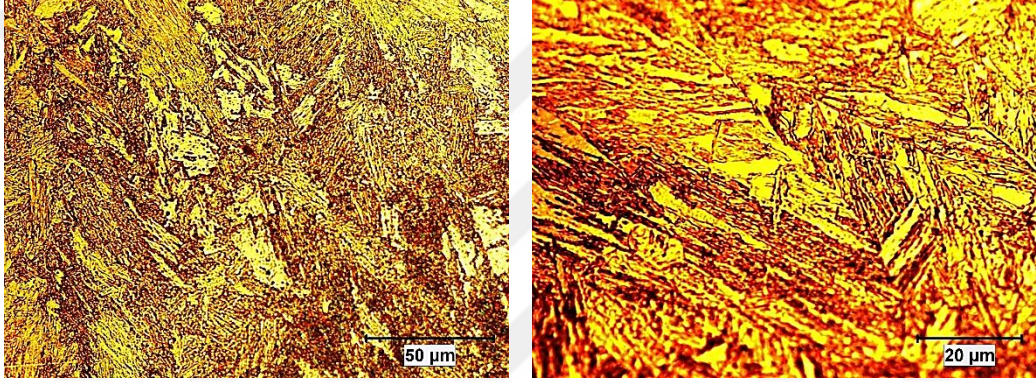
Şekil 4.38. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 35 (%20 güç), b) Numune 39 (%75 güç)



a)

b)

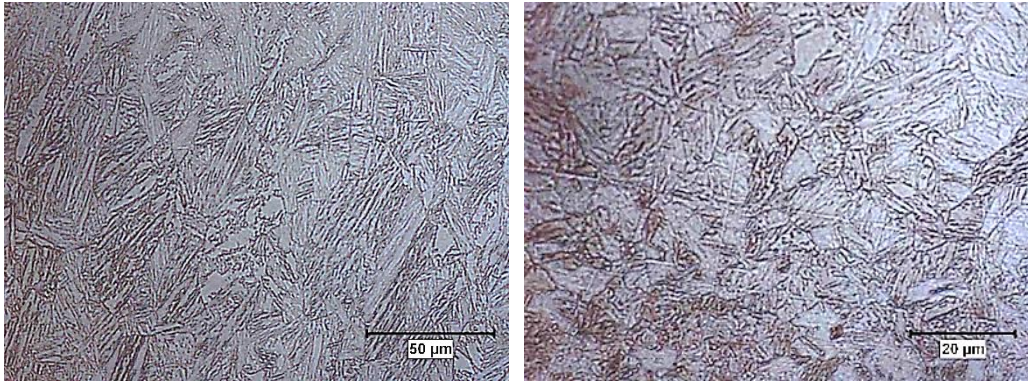
Şekil 4.39. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 40 (2 ms), b) Numune 42 (6,5 ms)



a)

b)

Şekil 4.40. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 45 (4 Hz), b) Numune 47 (6,5 Hz)

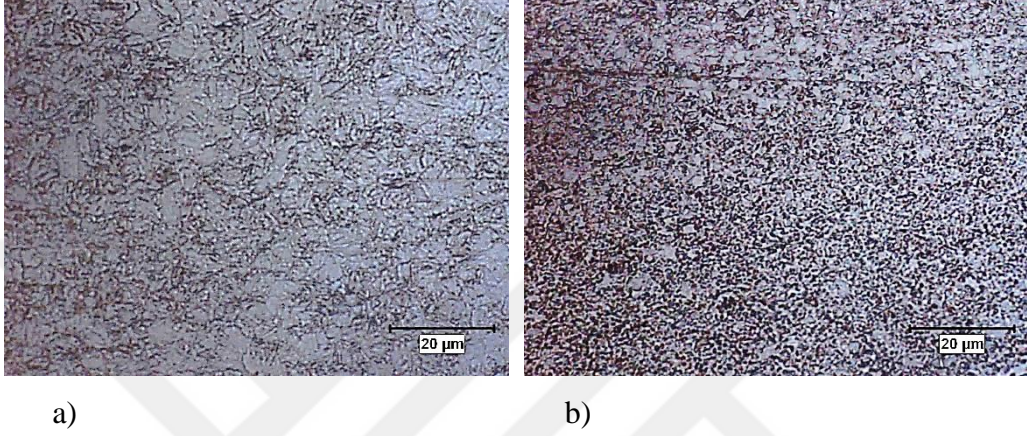


a)

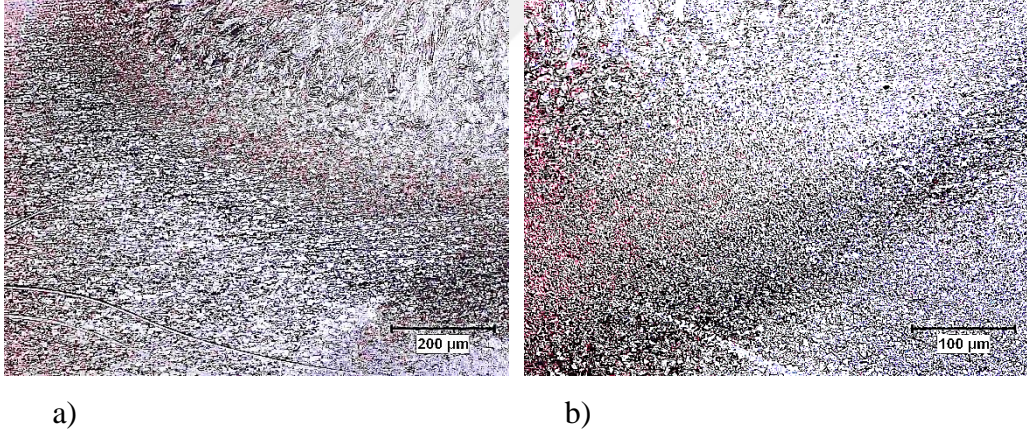
b)

Şekil 4.41. Ergime Bölgesinde (EB) a) Numune 49 (1,2 mm), b) Numune 50 (1,6 mm)

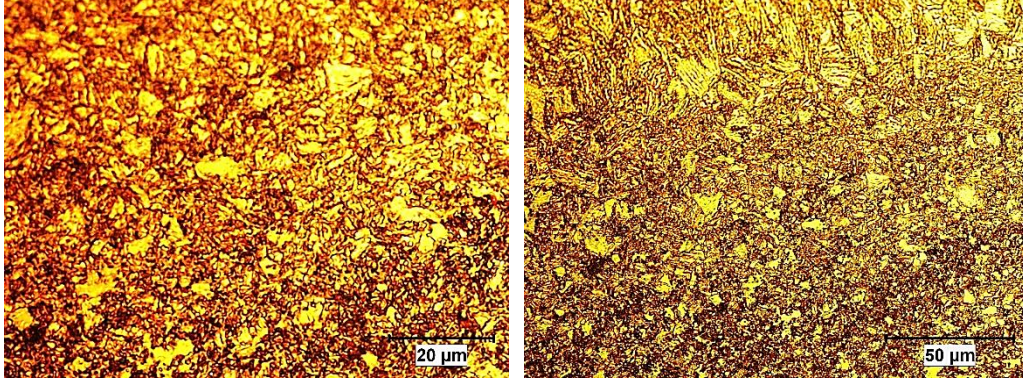
DP600-DP1000 kaynaklı numunelerde DP600 tarafındaki ITAB'da martenzitik ve beynitik yapılar görülmektedir (Şekil 4.42, Şekil 4.43, Şekil 4.44). DP1000 tarafındaki ITAB'da ise genel itibariyle martenzitik ve beynitik yapıların yanı sıra kalıntı ostenit yapılar görülmüştür. Ayrıca DP1000 tarafında nispeten daha küçük taneli yapılar gözlenmiştir.



Şekil 4.42. Numune 35'in (%20 güç) a) DP600 ITAB, b) DP1000 ITAB



Şekil 4.43. Numune 42'in (6,5 ms) a) DP600 ITAB, b) DP1000 ITAB

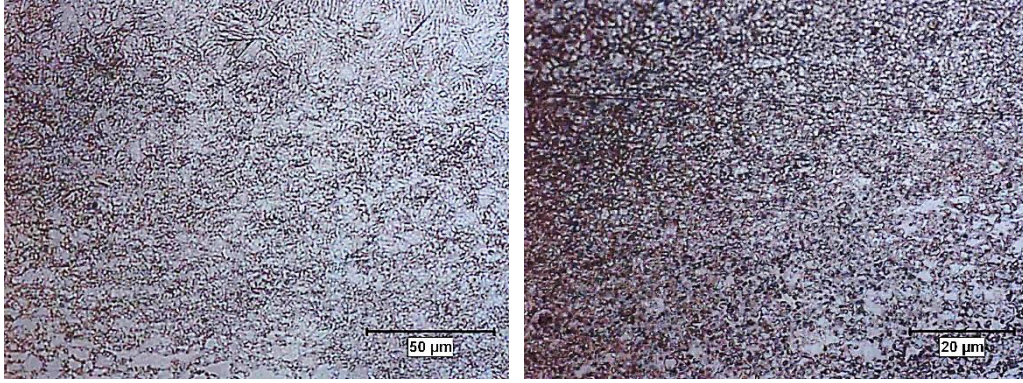


a)

b)

Şekil 4.44. Numune 45'in (4 Hz) a) DP600 ITAB, b) DP1000 ITAB

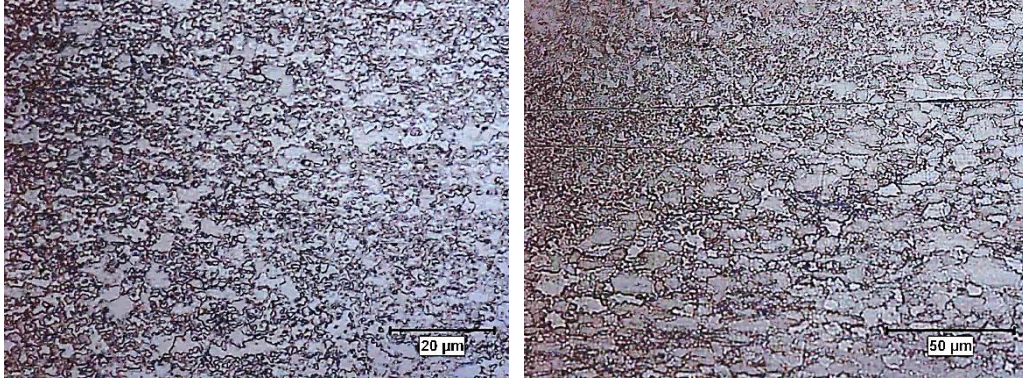
DP600-DP1000 kaynaklı numunelerde DP600 tarafındaki ITAB-TM geçişinde TM'ye doğru ferrit oranı artışı ve ferrit tane sınırlarındaki karbür çökeltileri gözlenmiştir (Şekil 4.45, Şekil 4.46, Şekil 4.47, Şekil 4.48, Şekil 4.49, Şekil 4.50). Isı girdisi fazla olması martenzit, beynit yapıların daha kabalaşmasına sebep olmuştur. DP1000 tarafında ise ITAB'dan temel malzemeye geçiş bölgesinde temperlenmiş martenzit ve ferrit yapılarından oluşan bir bölge oluşmaktadır. Temel malzemeye doğru ferrit miktarı artmaktadır.



a)

b)

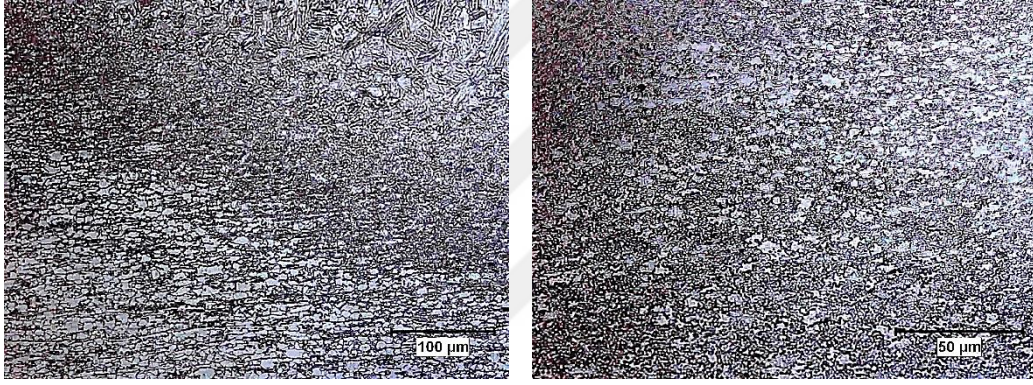
Şekil 4.45. Numune 35'in (%20 güç) a) DP 600 tarafı ITAB –TM geçişi, b) DP 1000 tarafı ITAB-TM geçişi



a)

b)

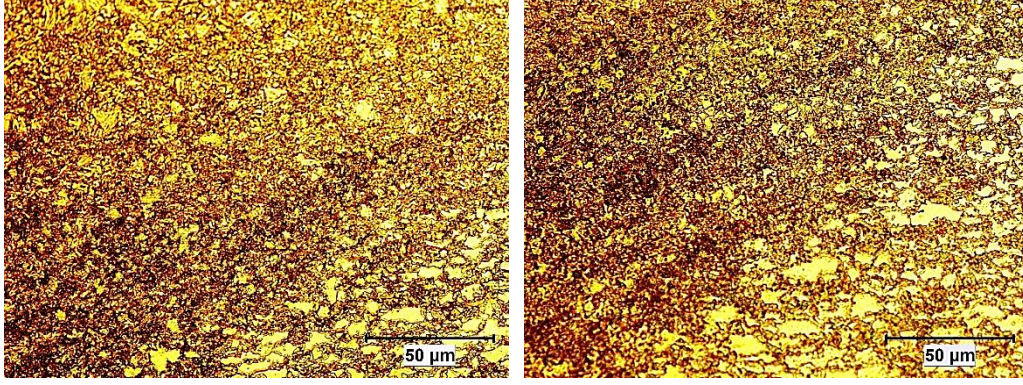
Şekil 4.46. a) Numune 39'un (%75 güç) DP 1000 tarafı ITAB –TM geçişi, b) Numune 40'ın DP 600 tarafı ITAB –TM geçişi



a)

b)

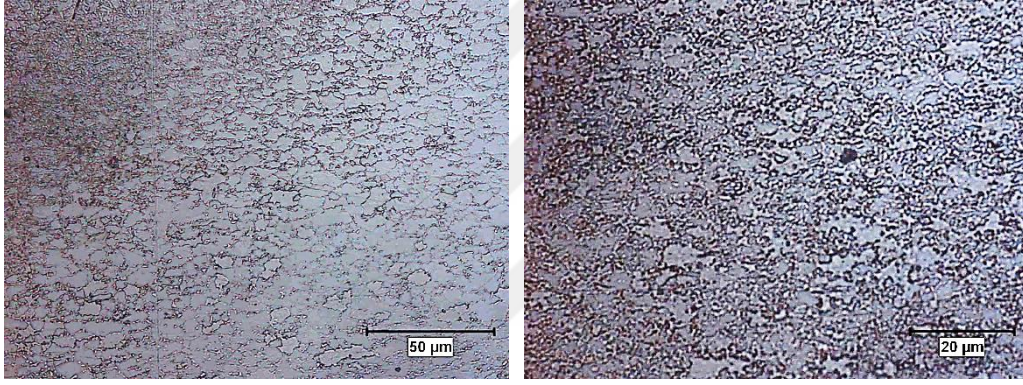
Şekil 4.47. Numune 42'in (6,5 ms) a) DP 600 tarafı ITAB –TM geçişi, b) DP 1000 tarafı ITAB-TM geçişi



a)

b)

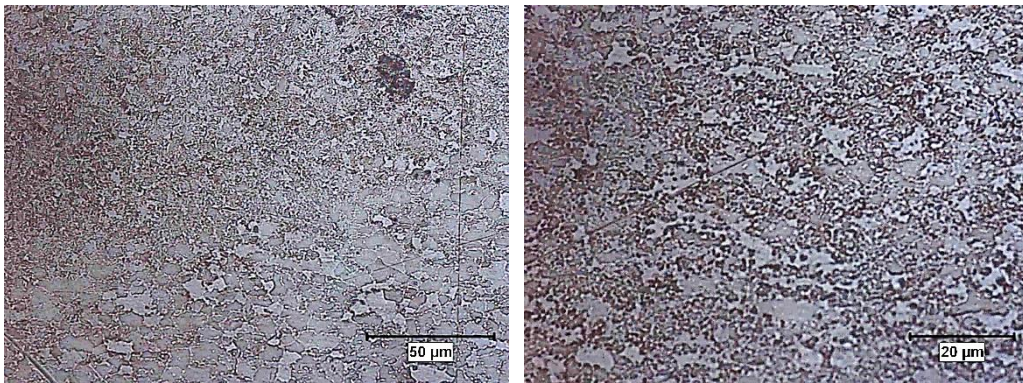
Şekil 4.48. a) Numune 45'in (4 Hz)DP 600 tarafı ITAB –TM geçişi, b) Numune 47'in DP 600 tarafı ITAB –TM geçişi



a)

b)

Şekil 4.49. Numune 49'un (1,2 mm) a) DP 600 tarafı ITAB –TM geçişi, b) DP 1000 tarafı ITAB-TM geçişi



a)

b)

Şekil 4.50. Numune 50'in (1,6 mm) a) DP 600 tarafı ITAB –TM geçişi, b) DP 1000 tarafı ITAB-TM geçişi

4.2. Mikro Sertlik Ölçümleri

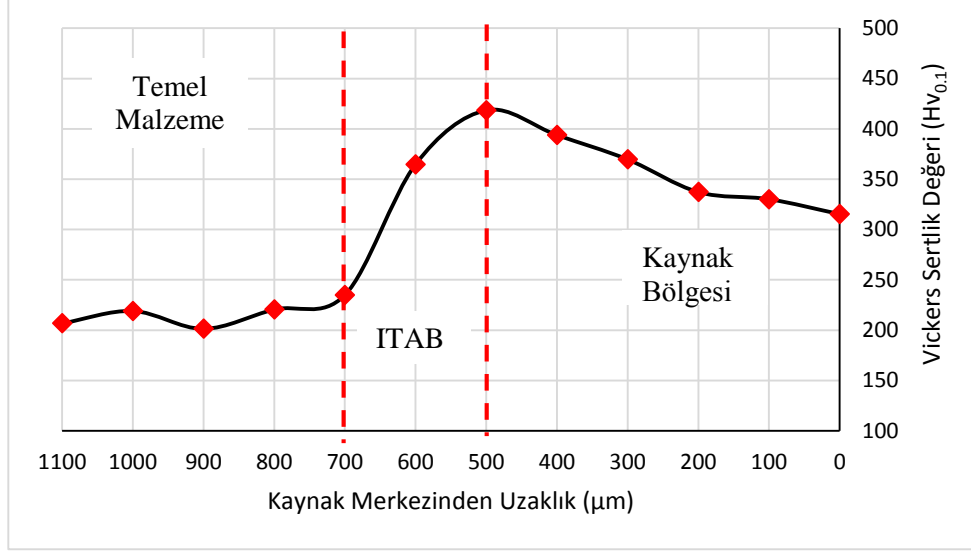
Temel malzeme sertliği 200-210 HV değerleri arasında değişen DP600 ile temel malzeme sertliği 310-315 HV değerleri arasında değişen DP1000 lazer kaynak yöntemiyle farklı kaynak parametreleri ile kaynak edilmesi sonucunda kaynak bölgesinde önemli bir sertlik değişimi meydana gelmiştir. Kaynak bölgesi sertliklerinin nispeten daha yüksek olduğu görülmüştür.

Kaynaklı numuneler üzerinde yapılan sertlik ölçümlerinde düşük sertlik değerleri temel malzemede görülmüştür. Genel itibariyle, kaynak bölgesi sertlik değerleri temel malzeme (TM) sertlik değerlerinden daha yüksektir. Bunun sebebi de, kaynak bölgesinde oluşan sert ve martenzit ve beyinitik fazlarıdır.

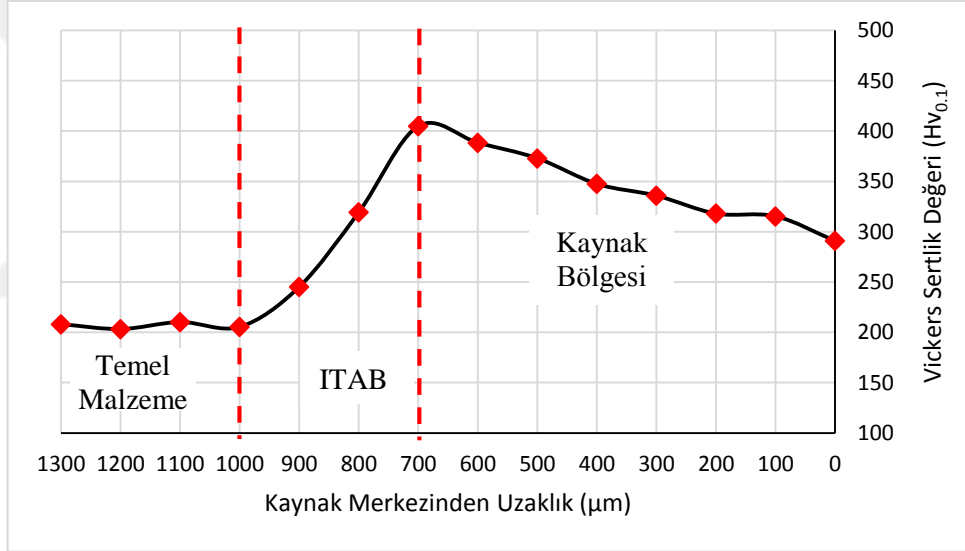
Bu çeliklerde, lazer kaynak yöntemiyle parçaların birleşmesi için kaynak parametrelerinin doğru belirlenmesi gerekmektedir. Bu da şu anlama gelmektedir ki, kaynak parametrelerinin bu tür çeliklerin kaynak bölgesi sertlik değerleri üzerinde belirleyici etkileri vardır.

4.2.1.DP600-DP600 Kaynaklı Numuneleri

Şekil 4.51.a ve Şekil 4.51.b'de sırasıyla %20 ve %65 gücüyle üretilen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Ergime bölgesi sertlik değerlerinde belirgin bir farklılık yoktur. Ancak, daha yüksek güç oranı ile daha yüksek ısı girdisi sonucunda EB genişlemiştir. ITAB sertlik değerleri karşılaştırıldığında ise %20 güç ile üretilen numunede nispeten daha yüksek sertlik değerleri ölçülmüştür. Bu sonuç, düşük güç ile daha düşük ısı girdisine bağlı olarak nispeten daha hızlı soğuma sonucunda nispeten daha ince martenzitik ve beyinitik yapı oluşumuna bağlanabilir. Her iki numunede de oldukça dar ITAB gözlenmiştir. Ancak, daha yüksek güç oranı nispeten daha geniş bir ITAB oluşumuna sebep olmuştur.



a) N1

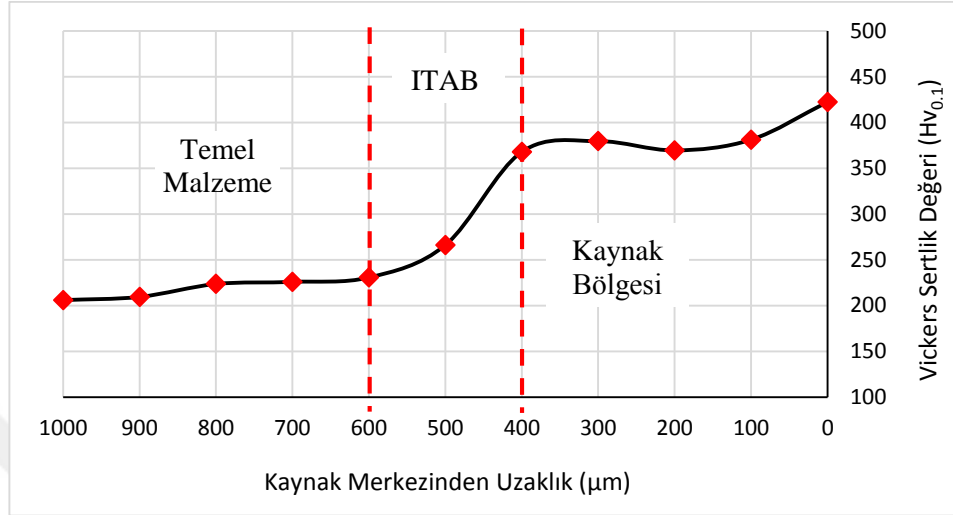


b) N4

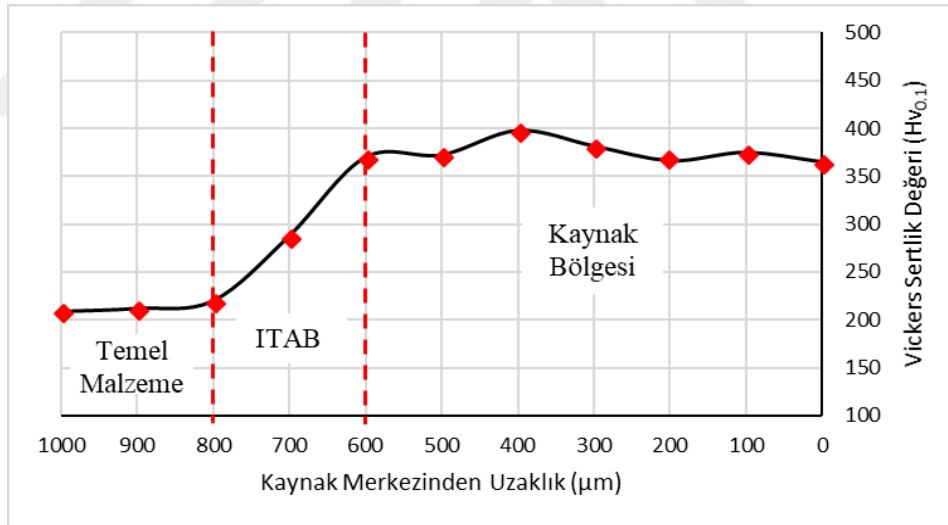
Şekil 4.51. Farklı güç değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP600 (a) N1 (%20 güç), b) N4 (%65 güç)

Şekil 4.52.a ve Şekil 4.52.b'de sırasıyla 2 ms ve 6.5 ms darbe süreleriyle üretilen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Kaynak bölgesinde elde edilen sertlik değerleri kaynak bölgesi mikroyapıları ile tam bir uyum içerisindedir. Ergime bölgeleri sertlik değerleri karşılaştırıldığında 2 ms darbe süresi ile üretilen numunede daha yüksek sertlik değerleri ölçülmüştür. Bu sonuç, düşük darbe süresi ile daha düşük ısı girdisine bağlı olarak nispeten daha hızlı soğuma sonucunda nispeten daha ince martenzitik

oluşumuna bağlanabilir. 6,5ms darbe süresiyle üretilen numunede EB bölgesi daha geniştir. Diğer taraftan, her iki numunede de benzer ITAB sertlik değerlerinde belirgin farklılık yok ve oldukça dar (yaklaşık 200 μm genişliğinde) ITAB gözlenmiştir.



a) N6

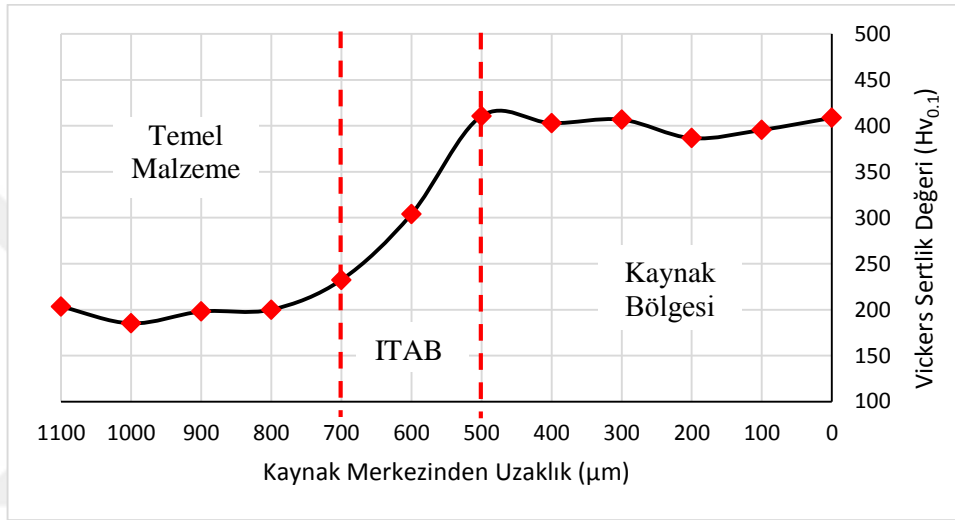


b) N8

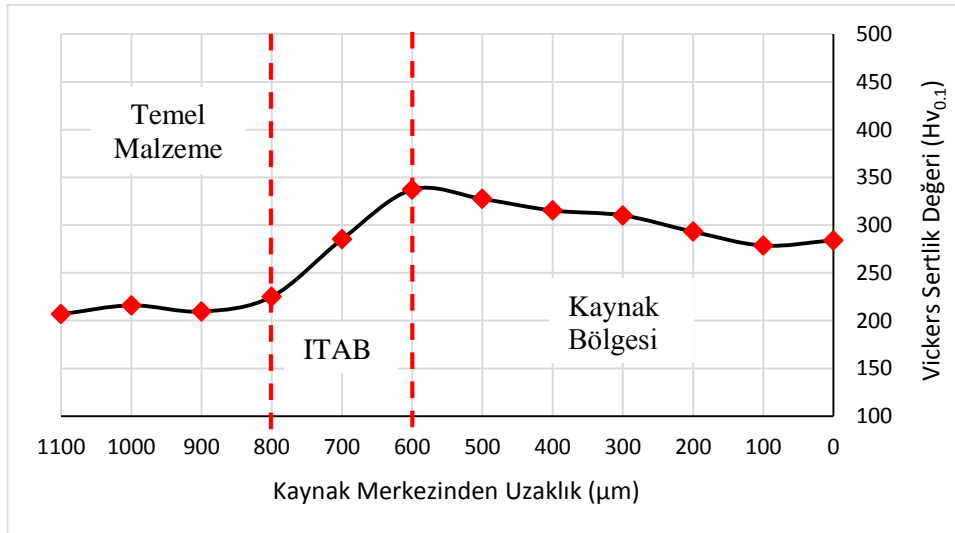
Şekil 4.52. Farklı darbe süresi değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP600 (a) N6 (2 ms), b) N8 (6,5 ms))

Şekil 4.53.a ve Şekil 4.53.b'de sırasıyla 3 Hz ve 6.5 Hz frekansıyla üretilen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Ergime bölgeleri sertlik değerleri karşılaştırıldığında 3 Hz frekansı ile üretilen numunede daha yüksek sertlik değerleri ölçülmüştür. Ancak,

daha yüksek frekans oranı ile daha yüksek ısı girdisi sonucunda EB genişlemiştir. Bu sonuç, düşük frekans ile daha düşük ısı girdisine bağlı olarak nispeten daha hızlı soğuma sonucunda nispeten daha ince martenzitik ve beyinitik yapı oluşumuna bağlanabilir. Her iki numunede de oldukça dar ve genişlikleri hemen hemen aynı ITAB gözlenmiştir. Bu bölgelerin sertliği ergime bölgesinden temel malzemeye doğru düşmektedir. Bu sertlik düşüşü, temel malzemeye yaklaştıkça az miktardaki ferrit ve temperlenmiş martenzit oluşumu ile ilişkilidir.



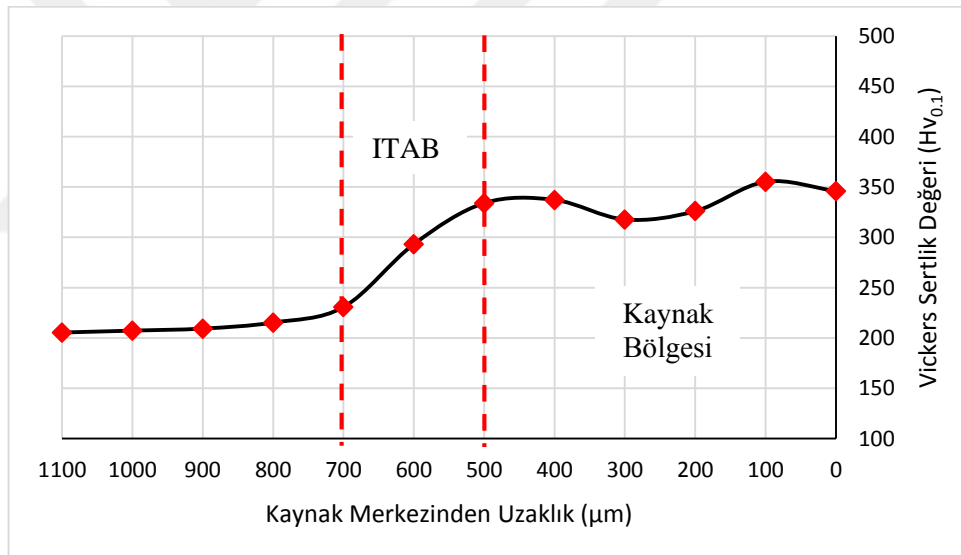
a) N10



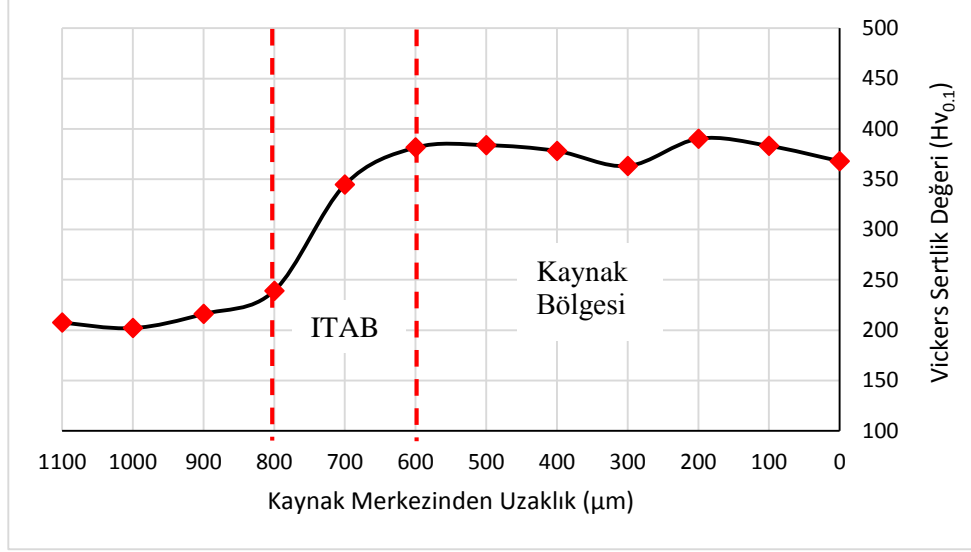
b) N13

Şekil 4.53. Farklı frekansın değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP600 (a) N10 (3 Hz), b) N13 (6,5 Hz))

Şekil 4.54.a ve Şekil 4.54.b’de sırasıyla 1 mm ve 1.8 mm ışın çapıyla üretilen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Kaynak bölgesinde elde edilen sertlik değerleri kaynak bölgesi mikroyapıları ile tam bir uyum içerisinde. Ergime bölgelerinde sertlik değerleri karşılaştırıldığında 1.8 ışın çapı ile üretilen numunede daha yüksek sertlik değerleri ölçülmüştür. Bu sonuç, yüksek ışın çapı ile daha düşük ısı girdisine bağlı olarak nispeten daha hızlı soğuma sonucunda nispeten daha ince martenzitik oluşumuna bağlanabilir. 1.8 ışın çapı ile üretilen numunede daha yüksek ışın çapı oranı ile EB genişlemiştir. ITAB sertlik değerleri karşılaştırıldığında ise 1.8 ışın çapı ile üretilen numunede nispeten daha yüksek sertlik değerleri ölçülmüştür. Bu sonuç, yüksek ışın çapı ile daha düşük ısı girdisine bağlı olarak nispeten daha hızlı soğuma sonucunda nispeten daha ince martenzitik ve beyinitik yapı oluşumuna bağlanabilir. Her iki numunede de oldukça dar ve genişlikleri hemen hemen aynı ITAB gözlenmiştir.



a) N14

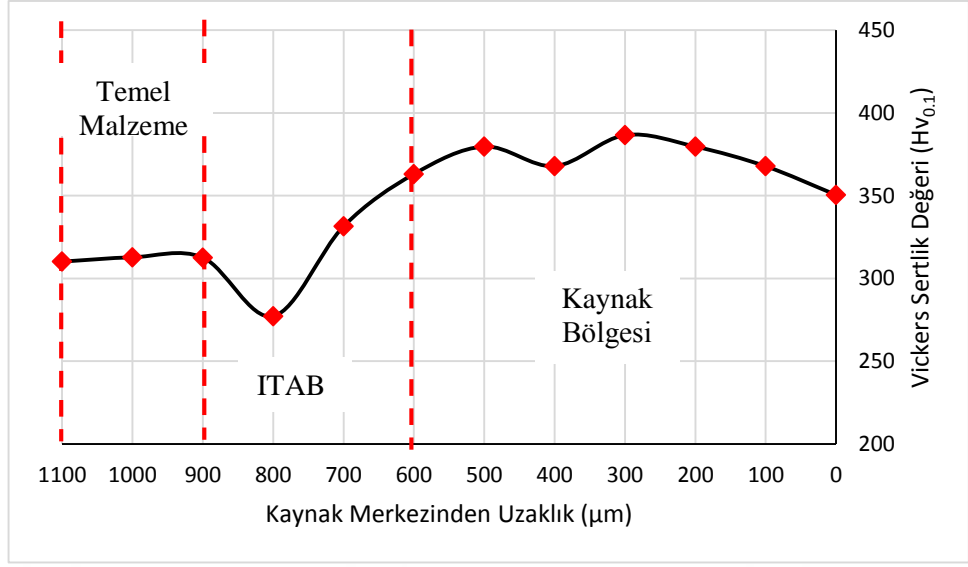


b) N17

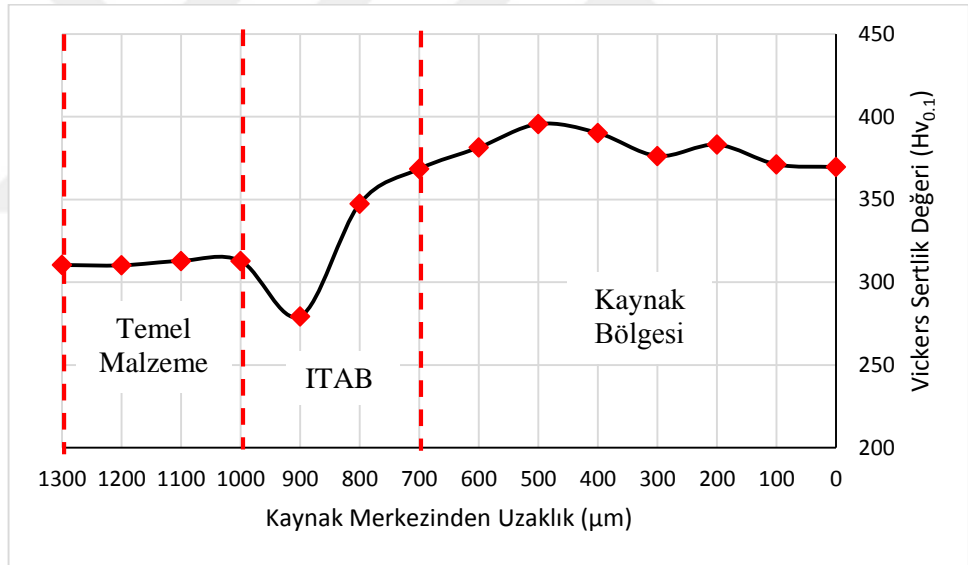
Şekil 4.54. Farklı ışın çapı değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP600 (a) N14 (1 mm), b) N17 (1,8 mm))

4.2.2. DP1000-DP1000 Kaynaklı Numuneleri

Mikroyapıları incelenen farklı güç oranlarına sahip numunelerin kaynak bölgesi sertlik dağılımları Şekil 4.55.a ve Şekil 4.55.b’de verilmiştir. Sertlik ölçümlerinin yapıldığı hat boyunca ergime bölgesi, ITAB ve temel malzeme bölgelerinde farklı sertlik değerleri ölçülmüştür. Erime bölgesindeki etkin martenzit oluşumu en yüksek sertlik değerlerinin bu bölgede elde edilmesine neden olmuştur. %65 güç ile kaynak edilen numunenin ergime bölgesindeki sertlik değerleri nispeten daha yüksektir. Bu durum martenzit ve kalıntı ostenit oluşumu ile ilgilidir. %65 güç ile kaynak edilen numunenin ergime bölgesi daha geniştir. Her iki numunede de ITAB’ın TM’ye yakın bölgesinde önemli bir sertlik düşüşü gözlenmiştir. Bu da, bu bölgede ferrit artışı ve tane sınırlarında karbür çökmesi ile ilişkilidir. İki numunede de ITAB genişlikleri hemen hemen aynıdır.



a) N19

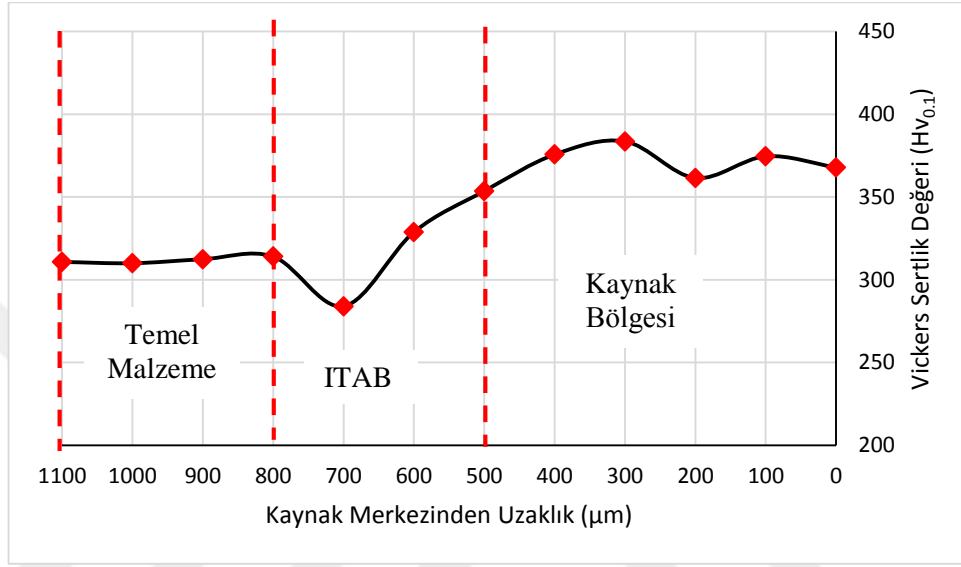


b) N21

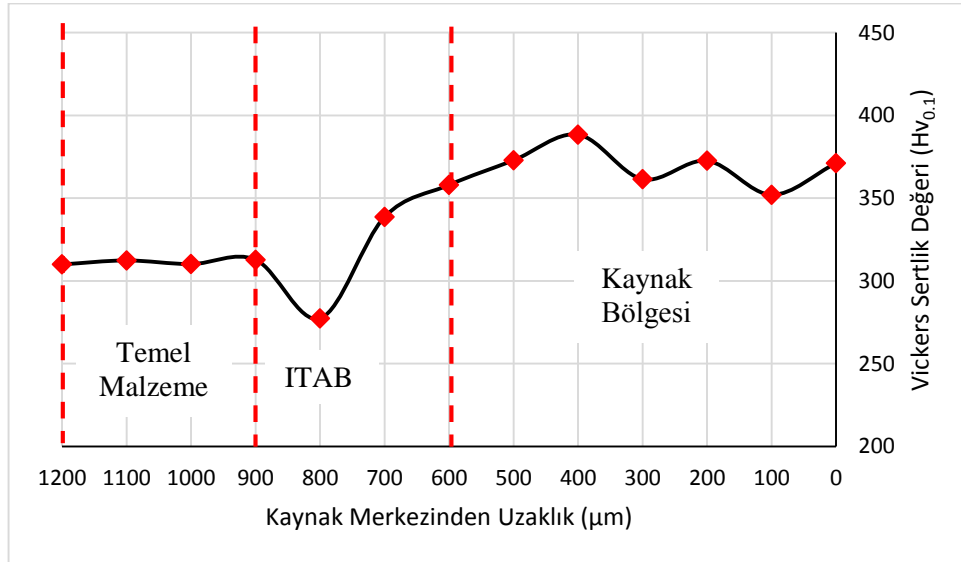
Şekil 4.55. Farklı güç değerlerinde sertlik değişimi DP1000-DP1000 (a) N19 (%35 güç), b) N21 (%65 güç))

Mikroyapıları incelenen farklı darbe sürelerine sahip numunelerin kaynak bölgesi sertlik dağılımları Şekil 4.56.a ve Şekil 4.56.b'de verilmiştir. Ergime bölgesindeki etkin martenzit oluşumu en yüksek sertlik değerlerinin bu bölgede elde edilmesine neden olmuştur. 2 ms darbe süresi ile 6,5 ms darbe süresi kaynak edilen numunelerin ergime

bölgesindeki sertlikleri hemen hemen aynı değerlerdedir. 6,5 ms darbe süresiyle kaynak edilen numunenin EB daha geniştir. 2 ms darbe süresiyle ve 6,5 ms darbe süresi ile kaynak edilen numunenin ITAB sertliklerinde ve genişliğinde belirgin fark yoktur. Ancak, 6,5 ms darbe süresi ile kaynak edilen numunenin ITAB’da sertlik kaybı nispeten biraz daha fazladır.



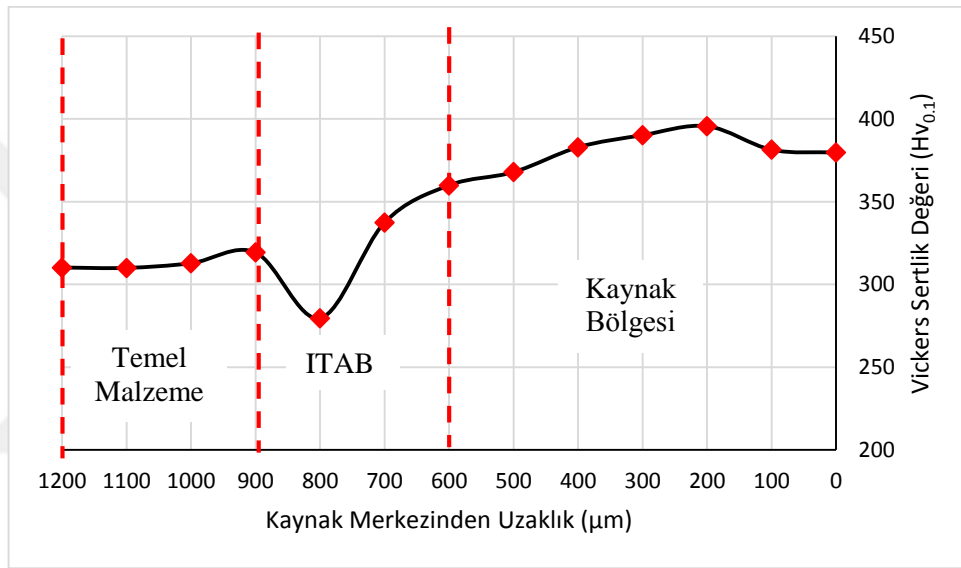
a) N23



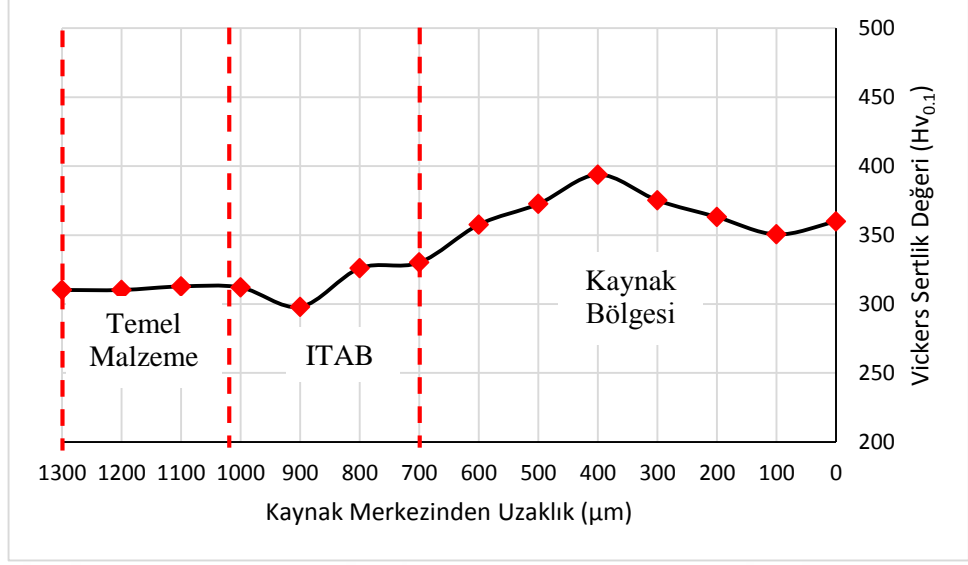
b) N25

Şekil 4.56. Farklı darbe süresi değerlerinde sertlik değişimi DP1000-DP1000 (a) N23 (2 ms), b) N25 (6,5 ms))

Mikroyapıları incelenen farklı frekans değerleri ile üretilen numunelerin kaynak bölgesi sertlik dağılımları Şekil 4.57.a ve Şekil 4.57.b’de verilmiştir. Ergime bölgesindeki etkin martenzit oluşumu en yüksek sertlik değerlerinin bu bölgede elde edilmesine neden olmuştur. 3 Hz frekans ile 6,5 Hz frekans kaynak edilen numunelerin ergime bölgesindeki sertlikleri hemen hemen aynı değerlerdedir. 6,5 Hz frekans ile kaynak edilen numunenin EB daha geniştir. 3 Hz frekans ile 6,5 Hz frekans kaynak edilen numunelerin ITAB genişliğinde belirgin fark yoktur. 3 Hz frekans ile kaynak edilen numunenin ITAB’da sertlik kaybı nispeten biraz daha fazladır.



a) N27

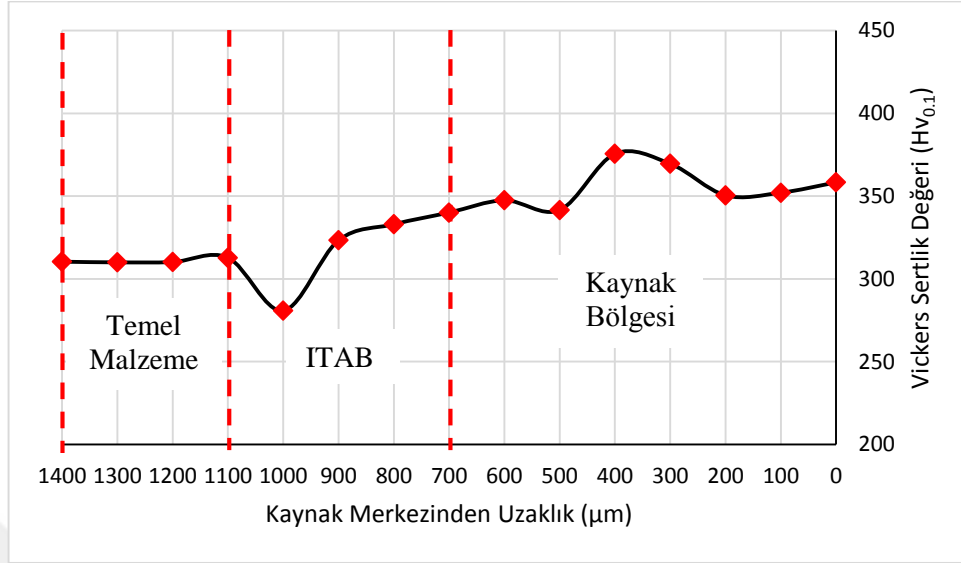


b) N30

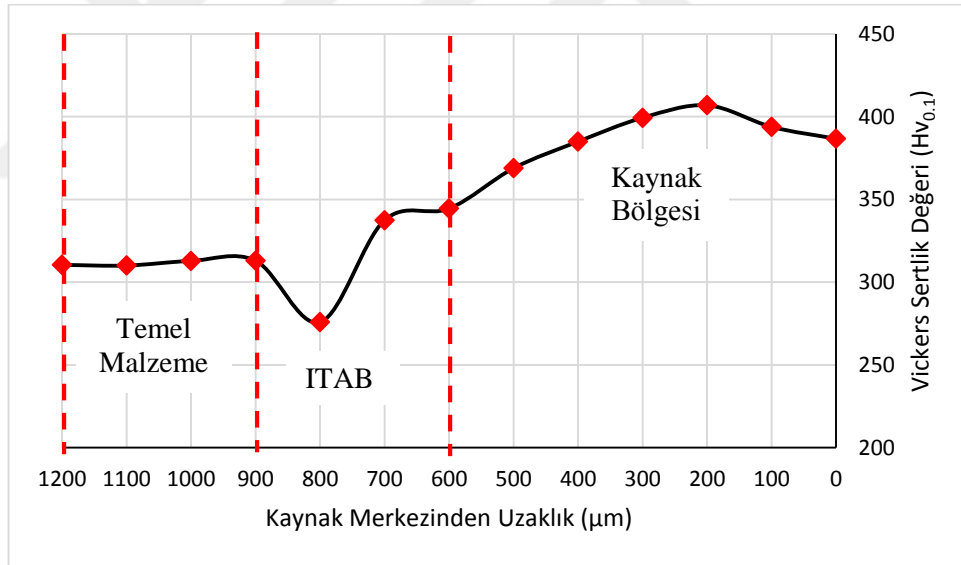
Şekil 4.57. Farklı frekansın değerlerinde sertlik değişimi DP1000-DP1000 (a) N27 (3 Hz), b) N30 (6,5 Hz))

Mikroyapıları incelenen farklı ışın çapı ile üretilen numunelerin kaynak bölgesi sertlik dağılımları Şekil 4.58.a ve Şekil 4.58.b’de verilmiştir. Ergime bölgesindeki etkin martenzit oluşumu en yüksek sertlik değerlerinin bu bölgede elde edilmesine neden olmuştur. 1 mm ışın çapı ile kaynak edilen numunenin ergime bölgesi daha geniştir. 1 mm ışın çapı ile kaynak edilen numunenin ergime bölgesindeki daha düşük sertlik değerleri bu numuneye sağlanan ısı girdisinin daha yüksek olması ile ilişkilidir: Daha yüksek ısı girdisi ile bu bölgede daha yavaş soğuma hızına sebep olarak daha kaba martenzit oluşumuna ve nispeten daha fazla kalıntı ostenit oluşumuna yol açmıştır. 1,6 mm ışın çapı ile kaynak edilen numunenin ergime bölgesindeki sertlik değerleri daha yüksektir. Diğer bir deyişle, 1.6 mm ışın çapı ile kaynak edilen numunede düşük ısı girdisi sonucu daha hızlı soğuma hızıyla nispeten daha yüksek oranda martenzit bölgeleri oluşmuştur. Benzer durum, ITAB bölgesi içinde geçerlidir: 1 mm ışın çapı ile kaynak edilen numunenin ITAB sertlik değerleri 1.6 mm ışın çapı ile kaynak edilen numunenin ITAB sertlik değerlerinden daha düşük kalmıştır. 1 mm ışın çapı ile kaynak edilen numunenin ITAB sertlikleri daha yüksek ve daha geniştir. Ayrıca, her iki numunede de

ITAB ile temel malzeme arasında dar bir bölgede temel malzemenin temperlenmesi nispetinden bir sertlik düşüşü ile yumuşama meydana gelmiştir. (Tuncel. O, 2018)



a) N31

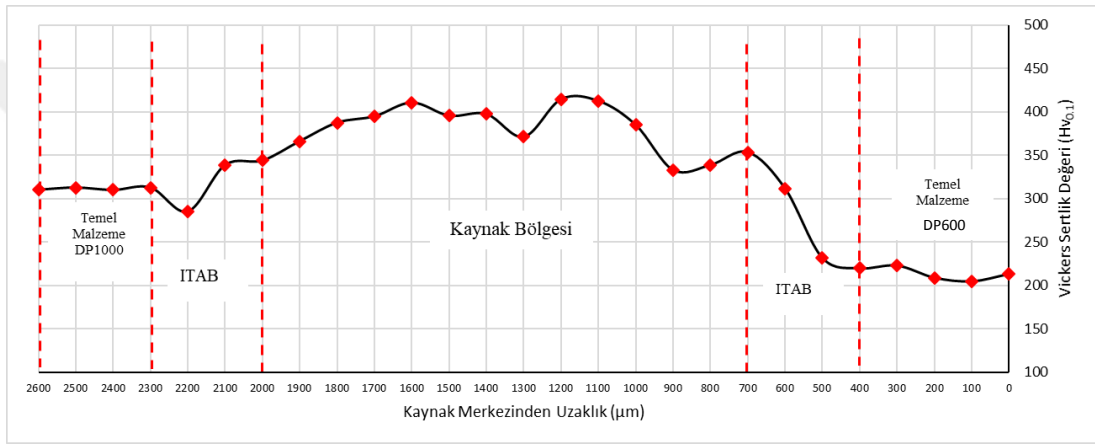


b) N33

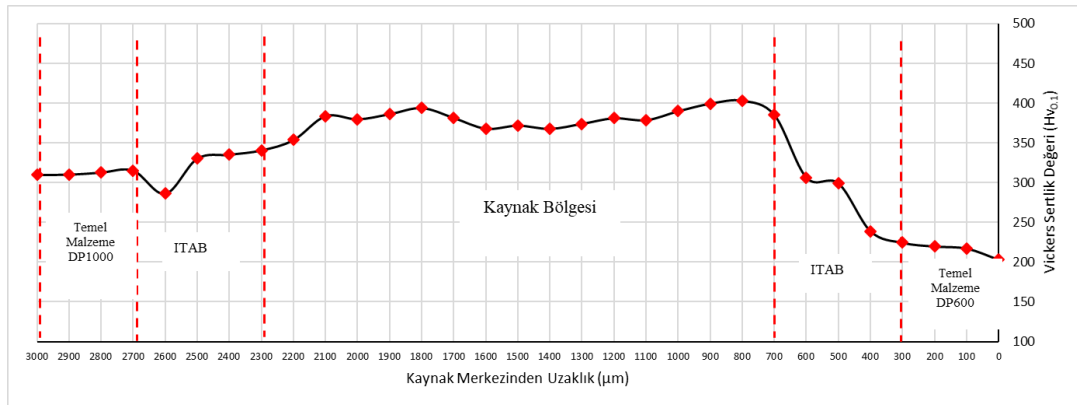
Şekil 4.58. Farklı ışın çapı değerlerinde sertlik değişimi DP1000-DP1000 (a) N31 (1 mm), b) N33 (1,6 mm))

4.2.3.DP600-DP1000 Kaynaklı Numuneleri

Şekil 4.59.a ve Şekil 4.59.b’de sırasıyla %20 ve %75 gücüyle üretilen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Numuneler iki farklı malzemede oluşmaktadır. Ergime bölgeleri sertlik değerleri karşılaştırıldığında %75 güç ile üretilen numunede sertlikleri nispeten daha yüksek ölçülmüştür. Aynı zamanda ergime bölgesi daha geniştir. %75 güç ile üretilen numunede ITAB’lar daha geniştir. DP600 tarafındaki ITAB’da sertlik düşüşü çok daha hızlı ve fazladır. Her iki numunede DP1000 tarafında TM’ye çok yakın bölgede önemli bir sertlik düşüşü olmuştur.



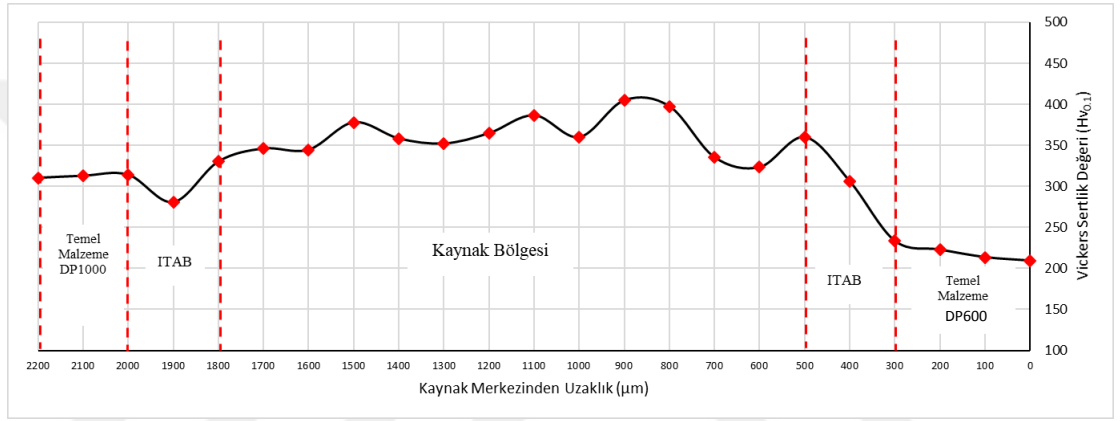
a) N35



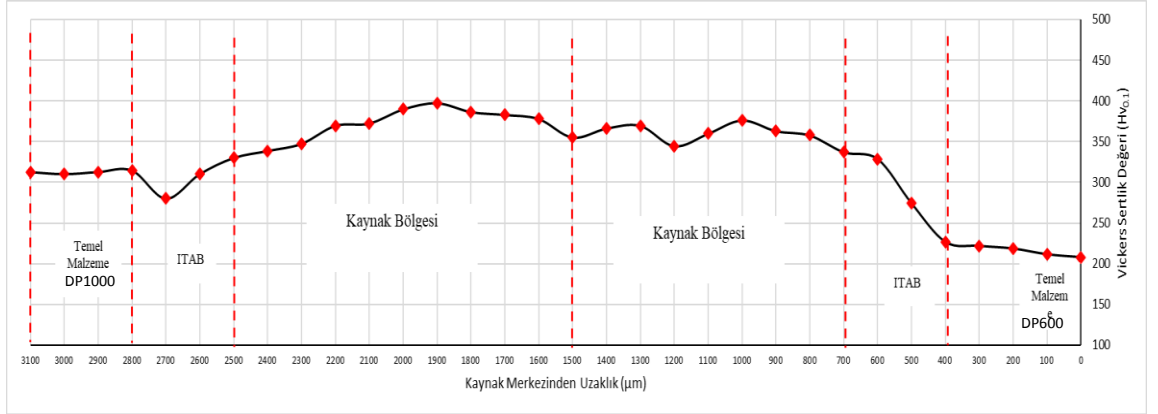
b) N39

Şekil 4.59. Farklı güç değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP1000 (a) N35 (%20 güç), b) N39 (%75 güç))

Şekil 4.60.a ve Şekil 4.60.b’de sırasıyla 2 ms ve 6,5 ms darbe süresiyle üretilen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. 6,5 ms darbe süresi ile üretilen numunede ergime bölgesi daha geniştir. DP600 tarafında 6,5 ms darbe süresi ile üretilen numunede ITAB daha geniştir. DP600 tarafındaki ITAB’da sertlik düşüşü çok daha hızlı ve fazladır. DP1000 tarafında 6,5 ms darbe süresi ile üretilen numunede ITAB daha geniştir. Her iki numunede DP1000 tarafında TM’ye çok yakın bölgede önemli bir sertlik düşüşü olmuştur.



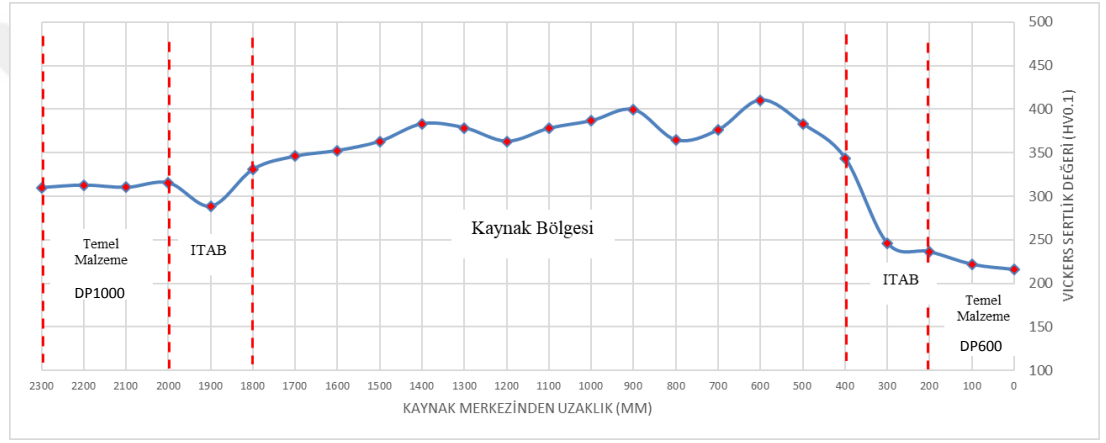
a) N40



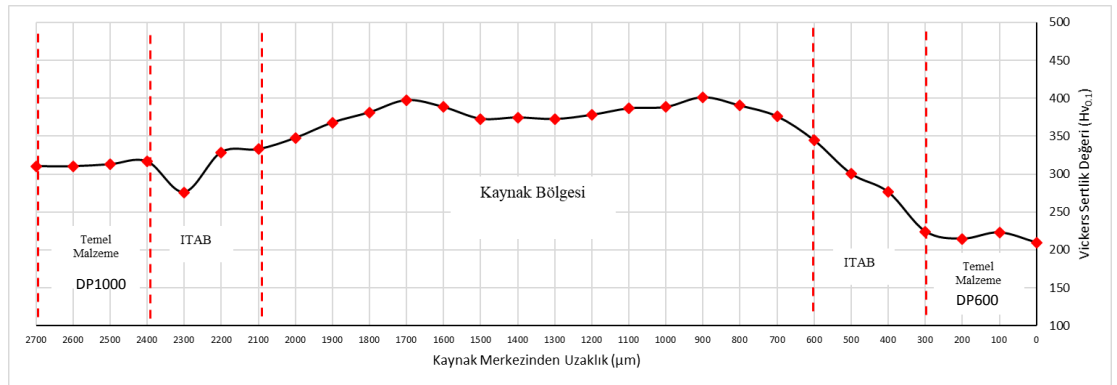
b) N42

Şekil 4.60. Farklı darbe süresi değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP1000 (a) N40 (2 ms), b) N42 (6,5 ms))

Şekil 4.61.a ve Şekil 4.61.b’de sırasıyla 4 Hz ve 6,5 Hz frekansıyla üretilen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. 6,5 Hz frekans ile üretilen numunede ergime bölgesi biraz daha geniştir. DP600 tarafında 6,5 Hz frekans ile üretilen numunede ITAB daha geniştir. Her iki numunede de DP600 tarafı ITAB sertlikleri hemen hemen aynıdır, ancak 4 Hz frekans ile üretilen numunede ITAB’daki düşüş daha hızlı olmuştur. DP600 tarafındaki ITAB’da sertlik düşüşü çok daha hızlı ve fazladır. DP1000 tarafında 6,5 Hz frekans ile üretilen numunede ITAB daha geniştir. DP1000 tarafı 6,5 Hz frekans ile kaynak edilen numunenin ITAB sertlik değeri daha düşük kalmıştır.



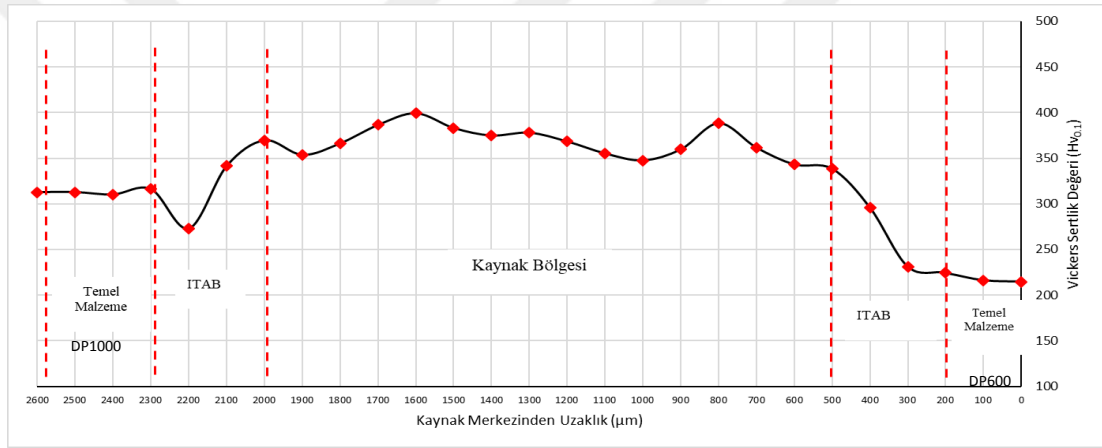
a) N45



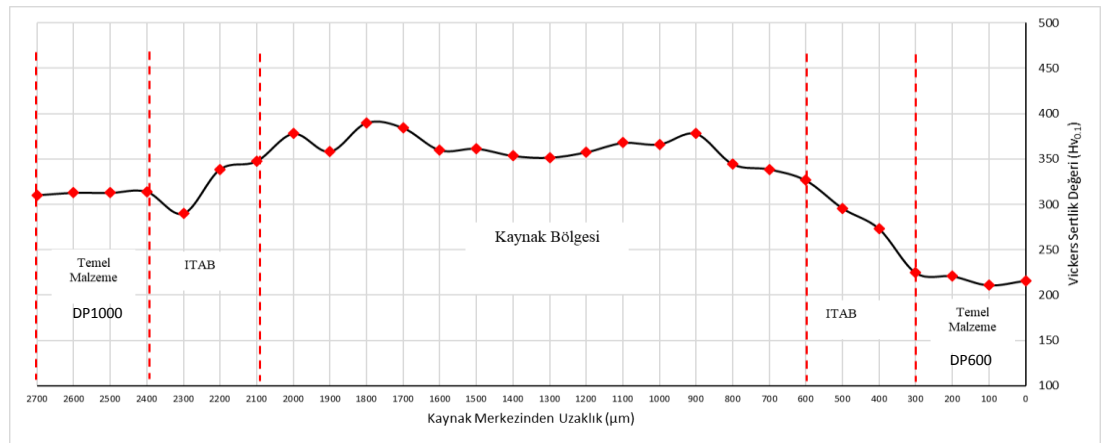
b) N47

Şekil 4.61. Farklı frekansın değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP1000 (a) N45 (4 Hz), b) N47 (6,5 Hz))

Şekil 4.62.a ve Şekil 4.62.b'de sırasıyla 1,2 mm ve 1,6 mm ışın çapıyla üretilen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Numuneler iki farklı malzemeden oluşmaktadır. Ergime bölgeleri sertlik değerleri karşılaştırıldığında 1,2 mm ışın çapı ile üretilen numunede sertlikleri nispeten daha yüksek ölçülmüştür. İki numunede de ergime bölgesi genişlikleri hemen hemen aynıdır. Her iki numunede de DP600 tarafı ITAB sertlikleri ve genişlikleri hemen hemen aynıdır. DP600 tarafındaki ITAB'da sertlik düşüşü çok daha hızlı ve fazladır. Her iki numunede de DP1000 tarafı ITAB genişlikleri hemen hemen aynıdır. DP1000 tarafı 1,2mm ışın çapı ile kaynak edilen numunenin ITAB sertlik kaybı daha fazladır. Ayrıca, her iki numunede DP1000 tarafında TM'ye çok yakın bölgede önemli bir sertlik düşüşü olmuştur.



a) N49



b) N50

Şekil 4.62. Farklı ışın çapı değerlerinde sertlik değişimi DP600-DP1000 (a) N48 (1,2 mm), b) N50)

4.3. Çekme Deneyi Sonuçları

DP600-DP600, DP1000-DP1000, DP600-DP1000 sac levhaları çeşitli kaynak parametreleri altında lazer kaynak yöntemiyle kaynak edilmişlerdir. Elde edilen kaynaklı numuneler çekme deneylerine tabi tutulmuşlar ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı parametrelerle üretilen kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları (DP600-DP600)

Malzeme	No	Ortalama Güç Oranı (%)	Darbe süresi (ms)	Frekans (Hz)	Işın Çapı (mm)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
DP600-DP600	1	20	5	5	1,4	106,5	1
	2	35	5	5	1,4	108	1,05
	3	50	5	5	1,4	230,5	1,32
	4	65	5	5	1,4	610,6	29,12
	5	75	5	5	1,4	601,8	25,62
	6	50	2	5	1,4	228,75	2,38
	7	50	3,5	5	1,4	242	1,32
	8	50	6,5	5	1,4	445,25	8,45
	9	50	8	5	1,4	379,8	6,8
	10	50	5	3	1,4	74	1
	11	50	5	4	1,4	221,25	1,5
	12	50	5	6	1,4	338,4	4,525
	13	50	5	6,5	1,4	440,67	7,77
	14	50	5	5	1	591	27,48
	15	50	5	5	1,2	519,75	12,2
	16	50	5	5	1,6	133	1
	17	50	5	5	1,8	163,5	1,08

Çizelge 4.2. Farklı parametrelerle üretilen kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları (DP1000-DP1000)

Malzeme	No	Ortalama Güç Oranı (%)	Darbe süresi (ms)	Frekans (Hz)	Işın Çapı (mm)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
DP1000-DP1000	18	20	5	5	1,4	123	0,94
	19	35	5	5	1,4	122,33	1,2
	20	50	5	5	1,4	566,5	6,05
	21	65	5	5	1,4	880	8,82
	22	75	5	5	1,4	772,2	6,86
	23	50	2	5	1,4	228,5	1,2
	24	50	3,5	5	1,4	549,33	5,5
	25	50	6,5	5	1,4	686,5	6,05
	26	50	8	5	1,4	420,67	5,13
	27	50	5	3	1,4	186,67	1,3
	28	50	5	4	1,4	170,5	1,2
	29	50	5	6	1,4	436	5,25
	30	50	5	6,5	1,4	725,5	6,475
	31	50	5	5	1	866	8,68
	32	50	5	5	1,2	821,8	8,08
	33	50	5	5	1,6	137,2	1,59
	34	50	5	5	1,8	185,6	1,64

Çizelge 4.3. Farklı parametrelerle üretilen kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları (DP600-DP1000)

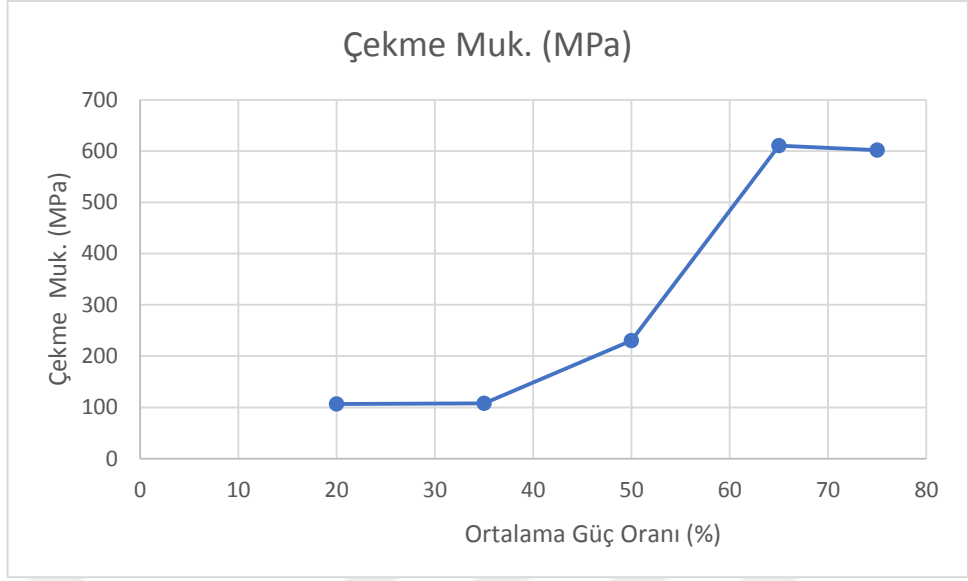
Malzeme	No	Ortalama Güç Oranı (%)	Darbe süresi (ms)	Frekans (Hz)	Işın Çapı (mm)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
DP600-DP1000	35	20	5	5	1,4	204,25	1,7
	36	35	5	5	1,4	258	2,08
	37	50	5	5	1,4	401,67	6,3
	38	65	5	5	1,4	586,5	15,46
	39	75	5	5	1,4	610,8	19,44
	40	50	2	5	1,4	199,67	1,87
	41	50	3,5	5	1,4	339,75	3,675
	42	50	6,5	5	1,4	455,33	7,33
	43	50	8	5	1,4	544	9,65
	44	50	5	3	1,4	264	2,25
	45	50	5	4	1,4	289,5	2,4
	46	50	5	6	1,4	526	9,3
	47	50	5	6,5	1,4	610,5	20,45
	48	50	5	5	1	610,8	19,98
	49	50	5	5	1,2	589,2	14,36
	50	50	5	5	1,6	281	2,37
	51	50	5	5	1,8	329,33	2,625

- **DP600-DP600 Güç**

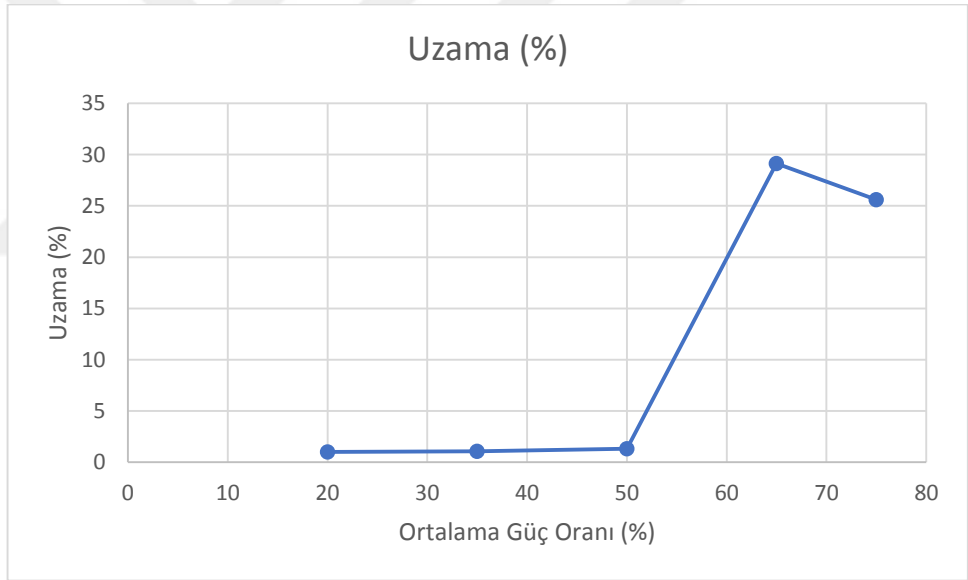
DP600 çeliğine ait çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir. Ayrıca, güç ile çekme mukavemetindeki değişim Şekil 4.63.a'da ve güç ile yüzde uzama değişimi Şekil 4.63.b'de gösterilmiştir. Güç %20'den %65'e artarken çekme mukavemetinde belirgin olarak artmıştır. Düşük güçlerde kaynak mukavemeti düşük değerlerde kalmıştır. Güç %65 olduğunda çekme mukavemetinde en yüksek değerini almıştır (610,6 MPa). Ancak, güç %65'den %75'e arttırıldığında çekme mukavemetinde az bir düşüş gözlenmiştir. Benzer durum, uzama değerlerinde görülmektedir: En yüksek uzama değeri de, en yüksek kaynak mukavemetinin elde edildiği %65 güç değerinde görülmüştür. Ancak, güç %65 üzerinde ise uzama değeri bir miktar düşmüştür. %65 ortalama güç, 5 ms darbe süresi, 5 Hz frekans ve 1.4 mm ışın çapında en yüksek kaynak mukavemeti ve uzama değeri elde edilmiştir.

Çizelge 4.4. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).

Güç (%)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
20	106,5	1
35	108	1,05
50	230,5	1,32
65	610,6	29,12
75	601,8	25,62



a)



b)

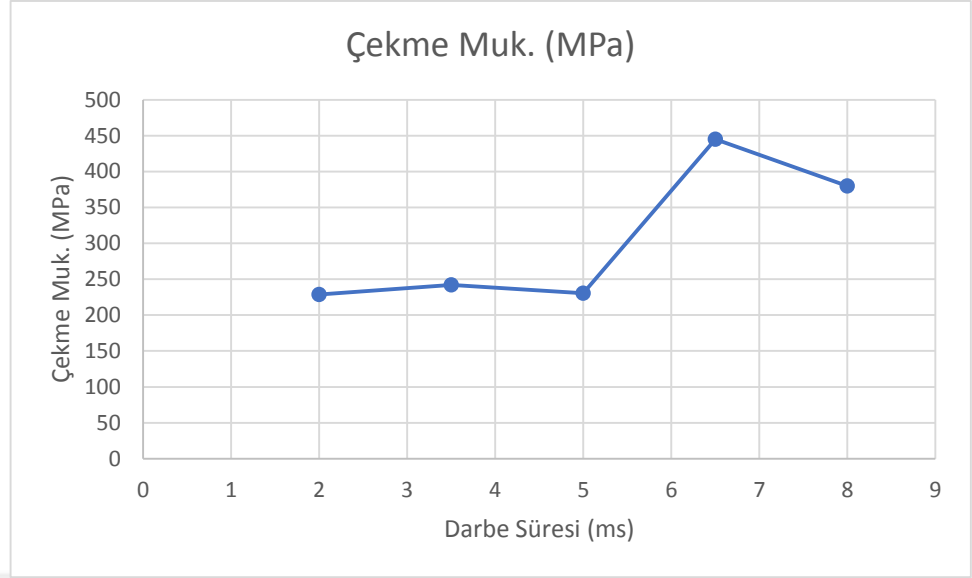
Şekil 4.63. DP600-DP600 a) Güç ile çekme mukavemeti değişimi, b) Güç ile uzama (%) (N1, N2, N3, N4 ve N5)

- **DP600-DP600 Darbe Süresi**

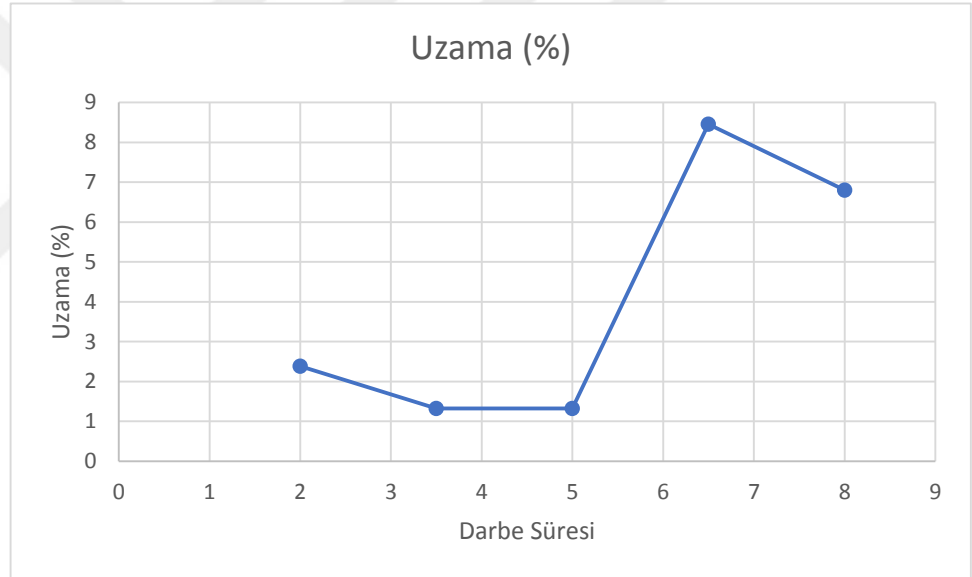
DP600 çeliğine ait çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Ayrıca, darbe süresi ile çekme mukavemetindeki değişim Şekil 4.64.a'da ve darbe süresi ile yüzde uzama değişimi Şekil 4.64.b'de gösterilmiştir. Darbe süresi 2 ms'den 5 ms'ye artarken çekme mukavemetinde belirgin olarak artmamıştır. Düşük darbe süreslerinde kaynak mukavemeti düşük ve hemen hemen aynıdır. Darbe süresi 6,5 ms olduğunda çekme mukavemetinde en yüksek değerini almıştır. Darbe süresi 2 ms'den 5 ms'ye doğru uzama değerinde azalma görülmektedir: En yüksek uzama değeri de, en yüksek kaynak mukavemetinin elde edildiği 6,5 ms darbe süresi değerinde görülmüştür. Darbe süresi 6,5 ms üzerinde ise çekme mukavemeti ve uzama değeri bir miktar düşmüştür. Bu numuneler arasında, % 50 ortalama güç, 6.5 ms darbe süresi, 5 Hz frekans ve 1.4 mm ışın çapında en yüksek kaynak mukavemeti ve uzama değeri elde edilmiştir. (Tuncel, O. 2018)

Çizelge 4.5. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).

Darbe Süresi (ms)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
2	228,75	2,38
3,5	242	1,32
5	230,5	1,32
6,5	445,25	8,45
8	379,8	6,8



a)



b)

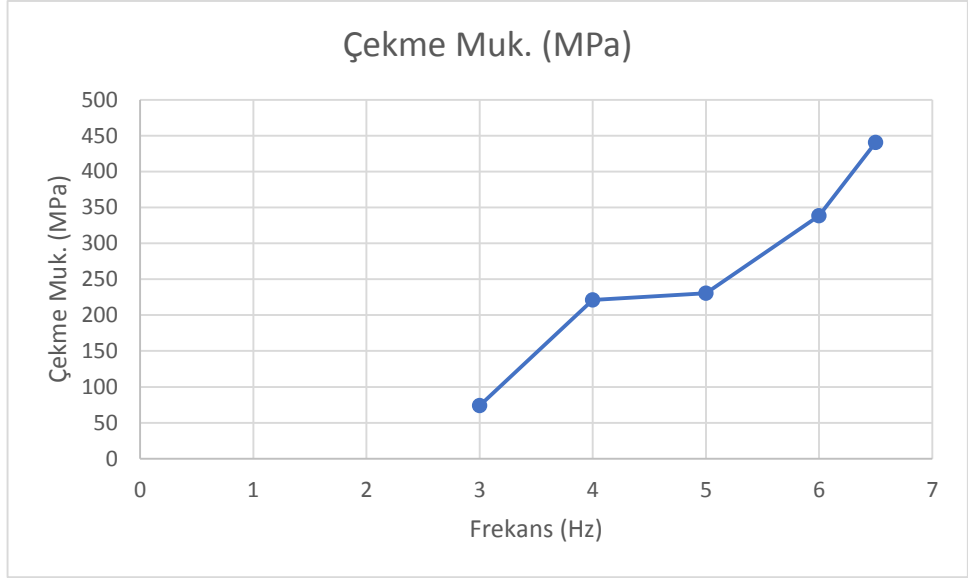
Şekil 4.64. DP600-DP600 a) Darbe süresi ile çekme mukavemeti değişimi, b) Darbe süresi ile uzama (%) (N6, N7, N3, N8 ve N9)

- **DP600-DP600 Frekans**

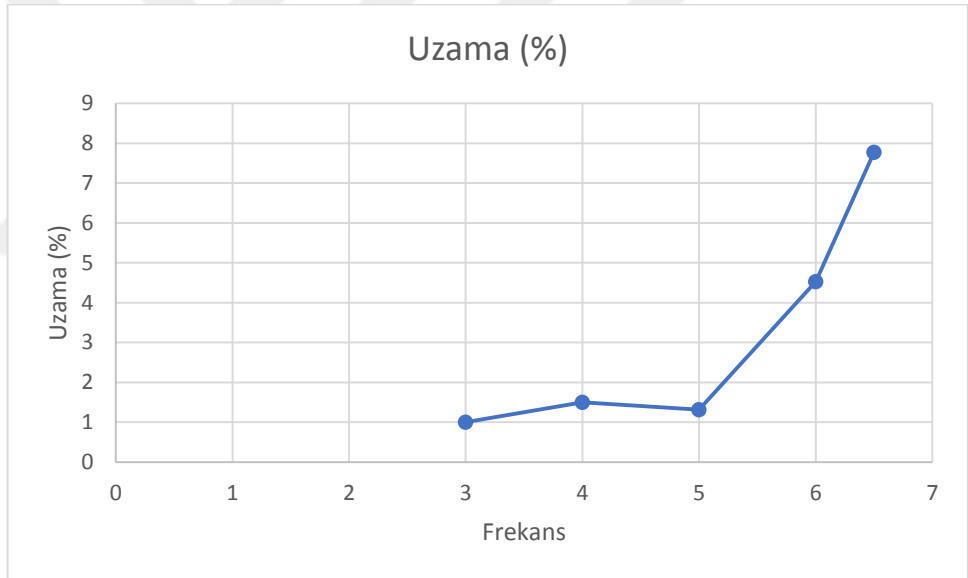
DP600 çeliğine ait çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Ayrıca, frekans ile çekme mukavemetindeki değişim Şekil 4.65.a'da ve frekans ile yüzde uzama değişimi Şekil 4.65.b'de gösterilmiştir. Frekans değeri artarken çekme mukavemeti de artmıştır. Benzer durum, uzama değerlerinde de görülmektedir: Düşük frekanslarda düşük uzama değerleri elde edilirken, yüksek frekanslarda ise daha yüksek uzama değerleri elde edilmiştir. %50 ortalama güç, 5ms darbe süresi, 6,5 Hz frekans ve 1.4 mm ışın çapında en yüksek çekme mukavemeti ve uzama değeri elde edilmiştir.

Çizelge 4.6. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).

Frekans (Hz)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
3	74	1
4	221,25	1,5
5	230,5	1,32
6	338,4	4,525
6,5	440,67	7,77



a)



b)

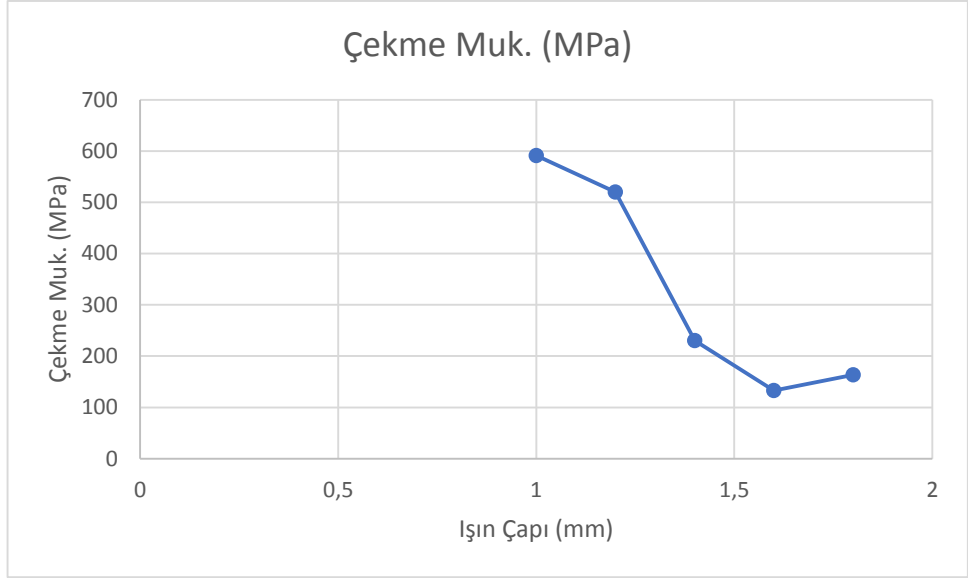
Şekil 4.65. DP600-DP600 a) Frekans ile çekme mukavemeti değişimi, b) Frekans ile uzama (%) (N10, N11, N3, N12 ve N13)

- **DP600-DP600 Işın Çapı**

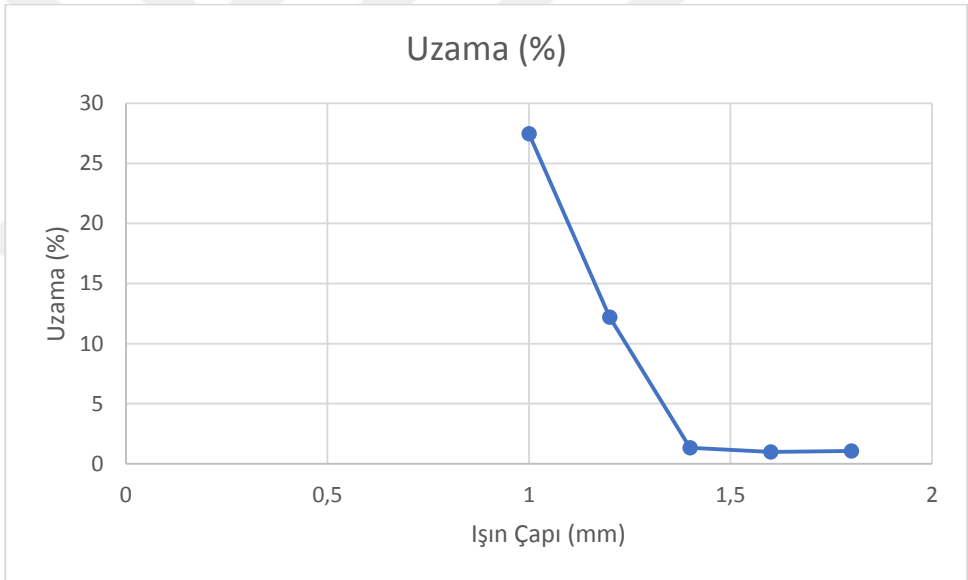
Lazer kaynağı ile farklı ışın çapları kullanılarak birleştirilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Şekil 4.66.a'da ışın çapı 1 mm'den 1.6 mm'ye yükseltildiğinde çekme mukavemetinin 591 MPa'dan 133 MPa'a kadar düştüğü görülmektedir. Yani, ışın çapı artışı ile çekme mukavemeti önemli ölçüde düşmektedir. En yüksek çekme mukavemeti değerine ortalama güç oranı %50, darbe süresi 5 ms, frekans 5 Hz ve 1 mm ışın çapı parametrelerinde ulaşılmıştır. Işın çapı değişimi ile yüzde uzama değerlerindeki değişim incelendiğinde de çekme mukavemetindeki değişime benzer bir şekilde ışın çapı artışı ile yüzde uzamanın önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.66.b).

Çizelge 4.7. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).

Işın Çapı (mm)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
1	591	27,48
1,2	519,75	12,2
1,4	230,5	1,32
1,6	133	1
1,8	163,5	1,08



a)



b)

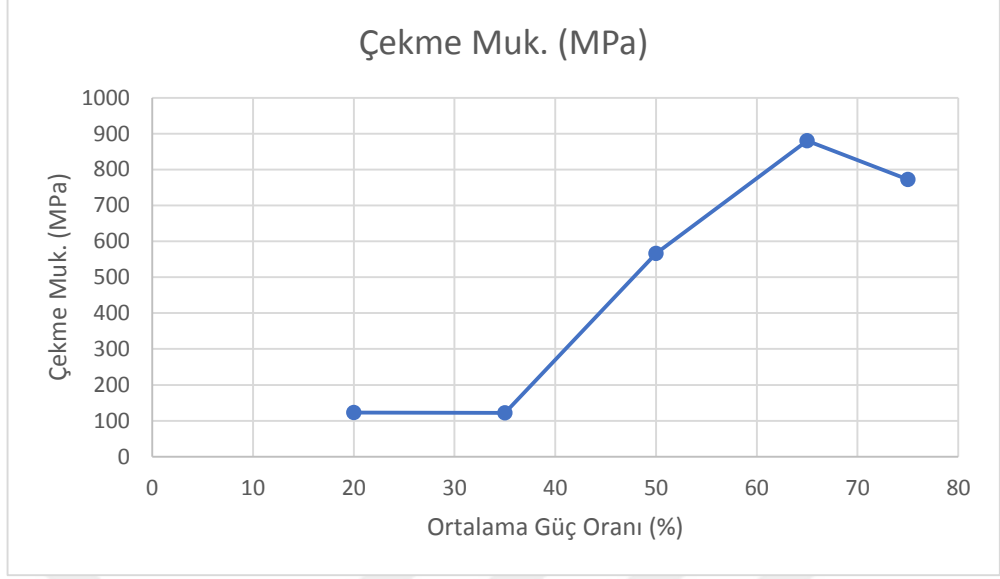
Şekil 4.66. DP600-DP600 a) Işın çapı ile çekme mukavemeti değişimi, b) Işın çapı ile uzama (%) (N14, N15, N3, N16 ve N17)

- **DP1000-DP1000 Güç**

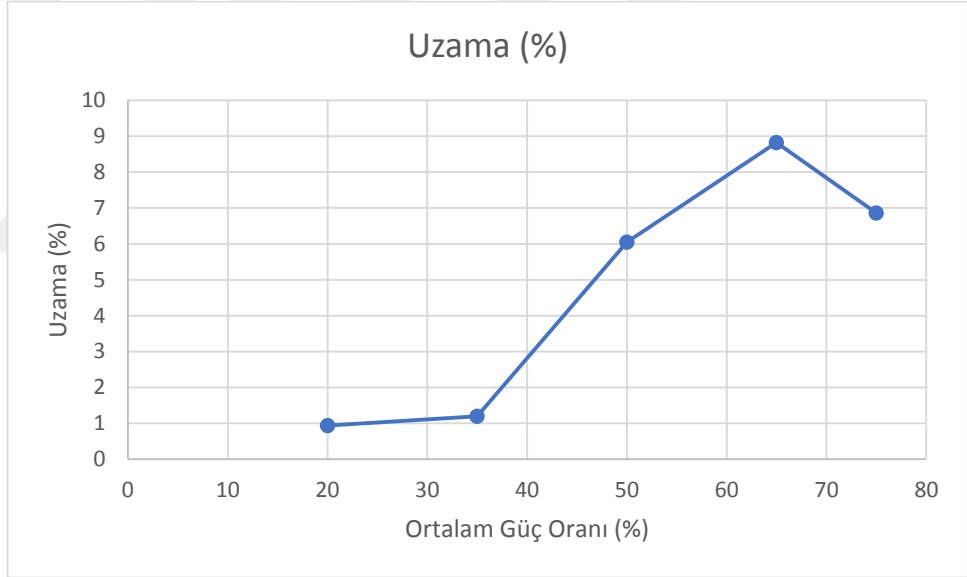
Lazer kaynağı ile farklı güçler kullanılarak birleştirilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.8.'de verilmiştir. Şekil 4.67.a'da güç ile yüzde uzama değişimi Şekil 4.67.b'de gösterilmiştir. Güç %20'den %65'e artarken çekme mukavemetinde belirgin olarak artmıştır. Düşük güçlerde kaynak mukavemeti düşük değerlerde kalmıştır. Güç %65 olduğunda çekme mukavemetinde en yüksek değerini almıştır (880 MPa). Ancak, güç %65'den %75'e arttırıldığında çekme mukavemetinde az bir düşüş gözlenmiştir. Benzer durum, uzama değerlerinde görülmektedir: En yüksek uzama değeri de, en yüksek kaynak mukavemetinin elde edildiği %65 güç değerinde görülmüştür. Ancak, güç %65 üzerinde ise uzama değeri bir miktar düşmüştür.

Çizelge 4.8. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).

Güç (%)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
20	123	0,94
35	122,33	1,2
50	566,5	6,05
65	880	8,82
75	772,2	6,86



a)



b)

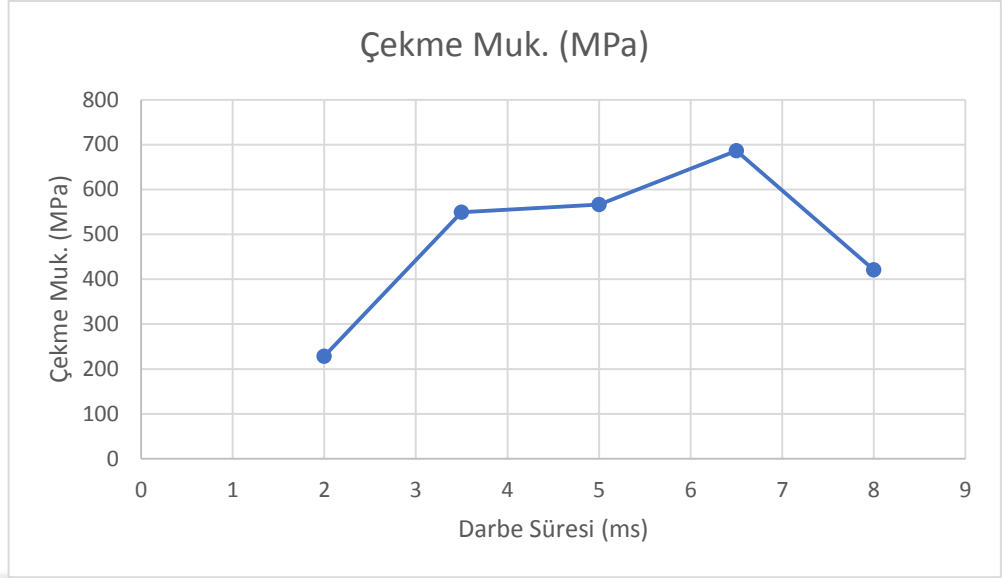
Şekil 4.67. DP1000-DP1000 a) Güç ile çekme mukavemeti değişimi, b) güç ile uzama (%) (N18, N19, N20, N21 ve N22)

- **DP1000-DP1000 Darbe Süresi**

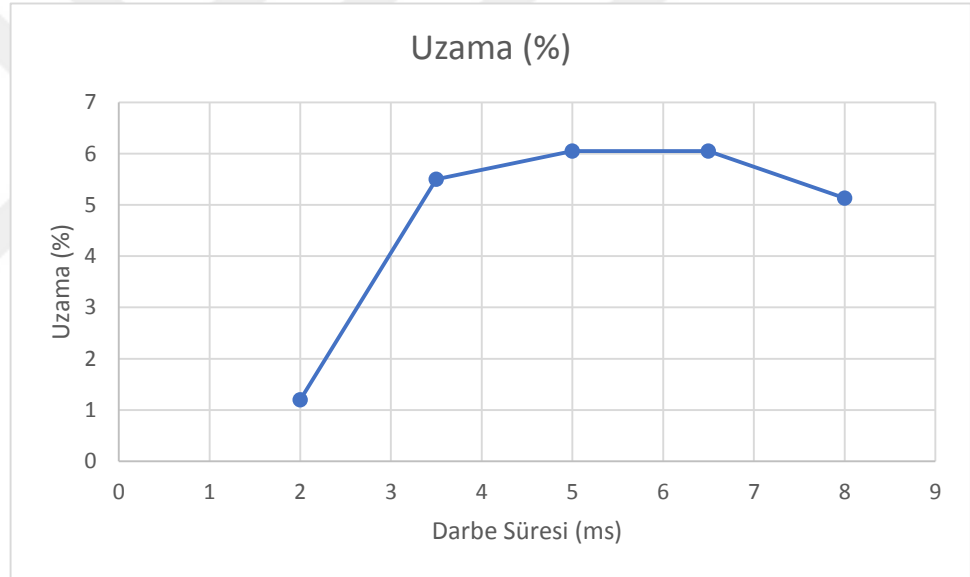
DP1000 çeliğine ait çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Ayrıca, darbe süresi ile çekme mukavemetindeki değişim Şekil 4.68.a’da ve darbe süresi ile yüzde uzama değişimi Şekil 4.68.b’de gösterilmiştir. Darbe süresi 2 ms’de çekme mukavemeti ve uzama değeri en düşüktür. Darbe süresi 6,5 ms çekme mukavemeti ve uzama değeri belirgin bir artış gözlenmemiştir. Darbe süresi 6.5 ms’den 8 ms’ye arttırıldığında çekme mukavemetinde bir düşüş gözlenmiştir, benzer durum uzama değerinde de görülmektedir. % 50 ortalama güç, 6.5 ms darbe süresi, 5 Hz frekans ve 1.4 mm ışın çapında en yüksek çekme mukavemeti ve uzama değeri elde edilmiştir.

Çizelge 4.9. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).

Darbe Süresi (ms)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
2	228,5	1,2
3,5	549,33	5,5
5	566,5	6,05
6,5	686,5	6,05
8	420,67	5,13



a)



b)

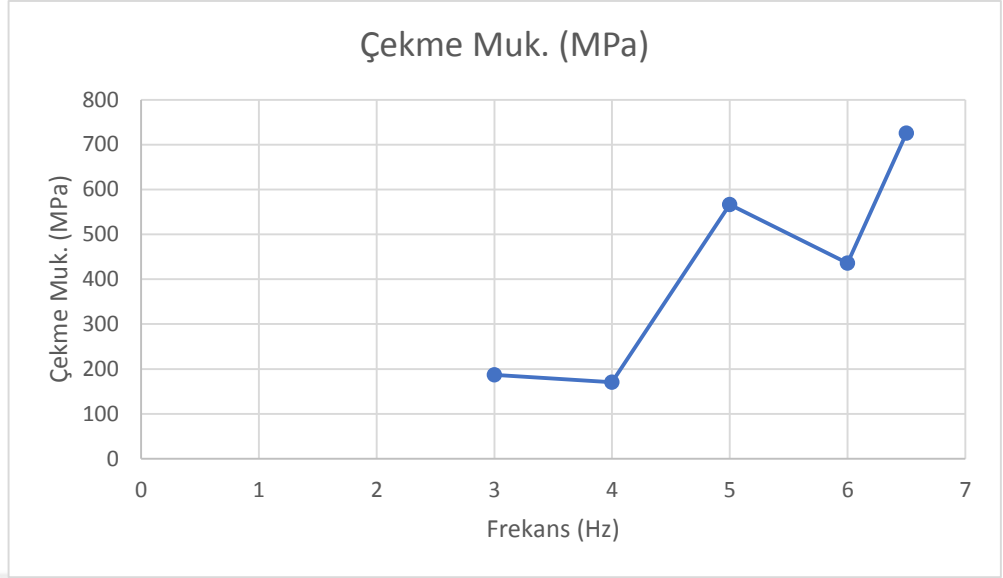
Şekil 4.68. DP1000-DP1000 a) Darbe süresi ile çekme mukavemeti değişimi, b) Darbe süresi ile uzama (%) (N23, N24, N20, N25 ve N26)

- **DP1000-DP1000 Frekans**

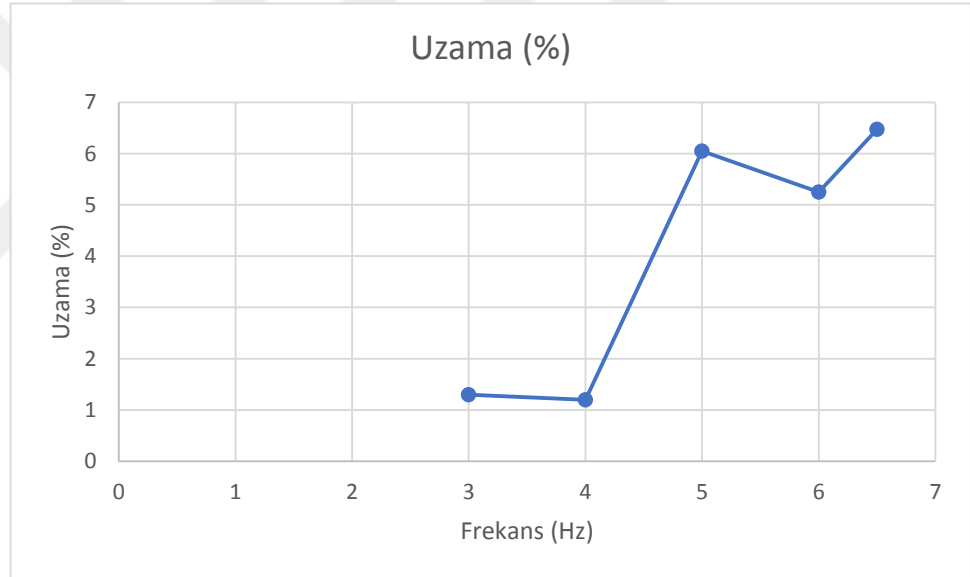
Lazer kaynağı ile farklı frekans kullanılarak birleştirilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.10.'da verilmiştir. Frekans ile çekme mukavemetindeki değişim Şekil 4.69.a'da ve frekans ile yüzde uzama değişimi Şekil 4.69.b'de gösterilmiştir. En düşük çekme mukavemeti ve uzama değeri frekans 4 Hz olduğundadır. En yüksek çekme mukavemeti ve uzama değeri frekans 6,5 Hz olduğundadır. %50 ortalama güç, 5ms darbe süresi, 6,5 Hz frekans ve 1.4 mm ışın çapında en yüksek çekme mukavemeti ve uzama değeri elde edilmiştir.

Çizelge 4.10. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).

Frekans (Hz)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
3	186,67	1,3
4	170,5	1,2
5	566,5	6,05
6	436	5,25
6,5	725,5	6,475



a)



b)

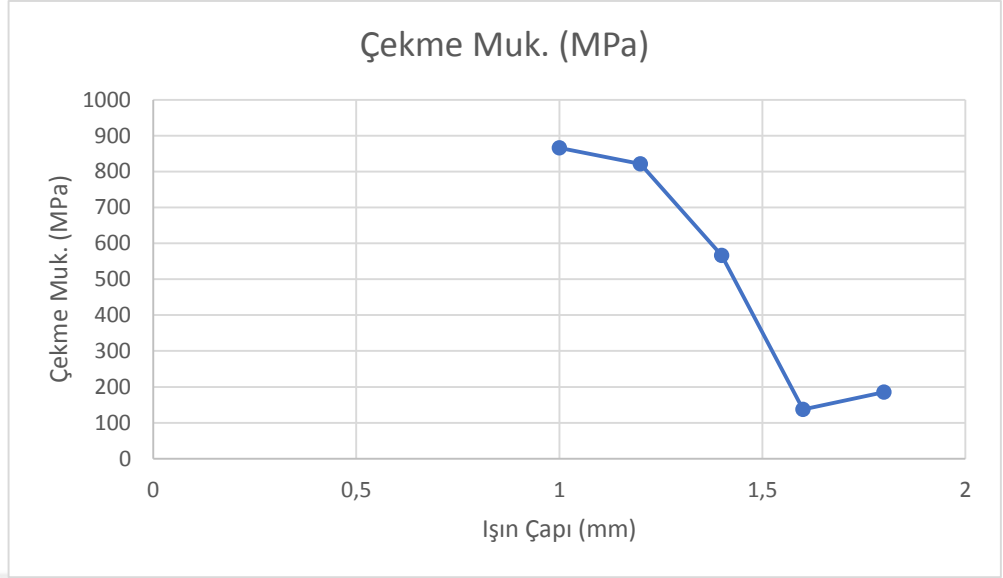
Şekil 4.69. DP1000-DP1000 a) Frekans ile çekme mukavemeti değişimi, b) Frekans ile uzama (%) (N27, N28, N20, N29 ve N30)

- **DP1000-DP1000 Işın Çapı**

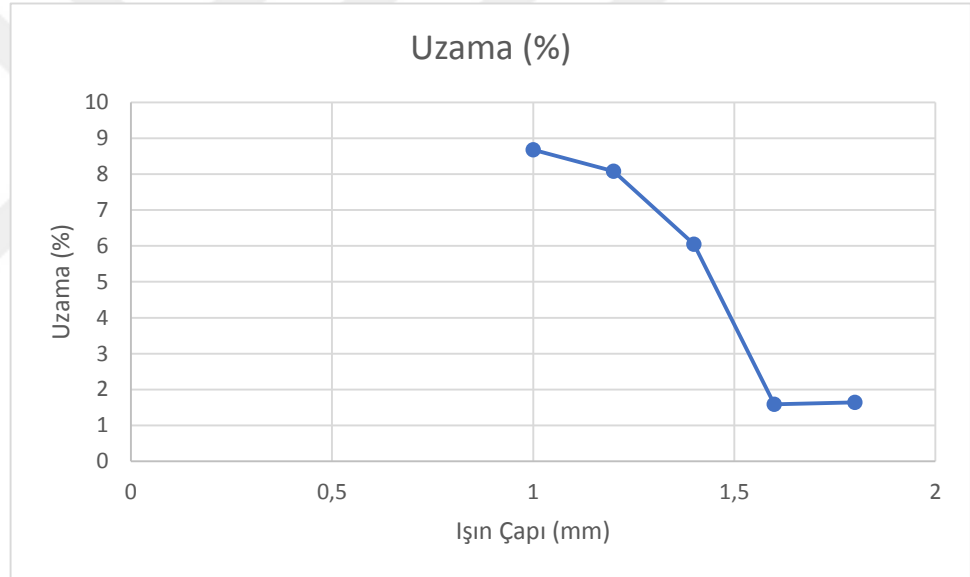
Lazer kaynağı ile farklı ışın çapları kullanılarak birleştirilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.11.'de verilmiştir. Şekil 4.70.a'da ışın çapı 1 mm'den 1.6 mm'ye yükseltildiğinde çekme mukavemetinin önemli düşüş görülmektedir. Yani, ışın çapı artışı ile çekme mukavemeti önemli ölçüde düşmektedir. En yüksek çekme mukavemeti değerine ortalama güç oranı %50, darbe süresi 5 ms, frekans 5 Hz ve 1 mm ışın çapı parametrelerinde ulaşılmıştır. Işın çapı değişimi ile yüzde uzama değerlerindeki değişim incelendiğinde de çekme mukavemetindeki değişime benzer bir şekilde ışın çapı artışı ile yüzde uzamanın önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.70.b). En düşük yüzde uzamanın gerçekleştiği numune 1,6 mm ışın çapı ile en yüksek uzamanın gerçekleştiği numune 1mm ışın çapı olan numunelerdir. (Tuncel, O. 2018)

Çizelge 4.11. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).

Işın Çapı (mm)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
1	866	8,68
1,2	821,8	8,08
1,4	566,5	6,05
1,6	137,2	1,59
1,8	185,6	1,64



a)



b)

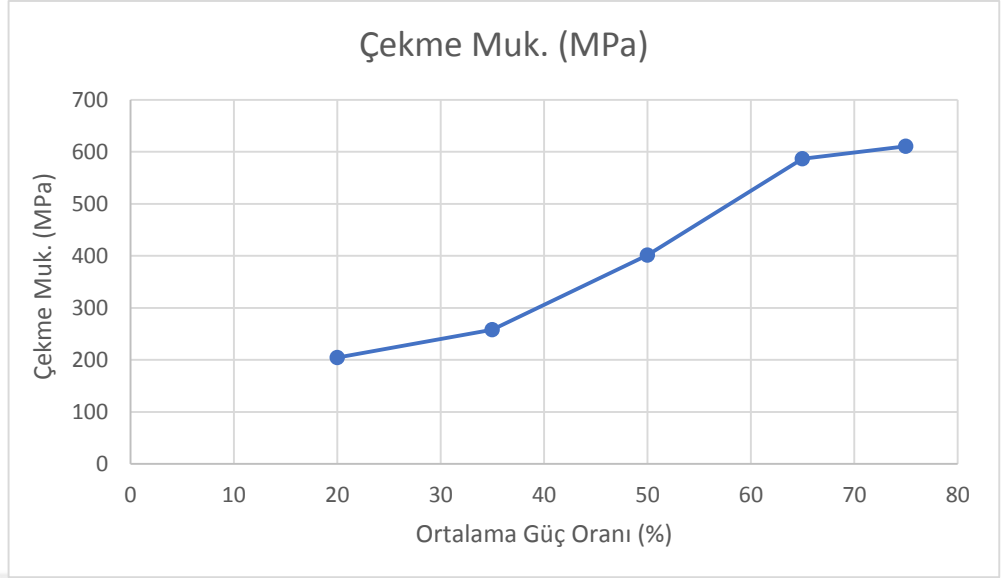
Şekil 4.70. DP1000-DP1000 a) Işın Çapı ile çekme mukavemeti değişimi, b) Işın çapı ile uzama (%) (N31, N32, N20, N33 ve N34)

- **DP600-DP1000 Güç**

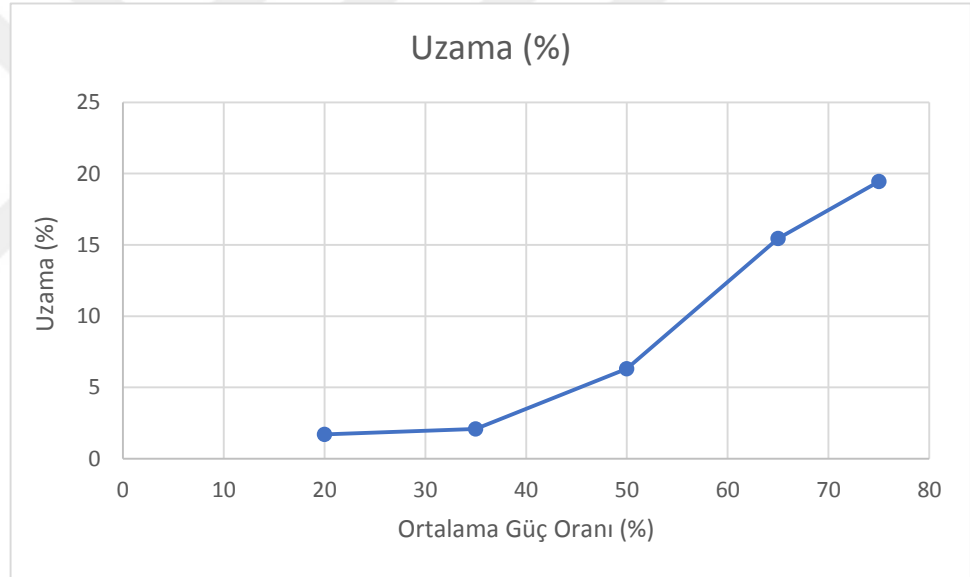
Lazer kaynağı ile farklı güçler kullanılarak birleştirilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.12.'de verilmiştir. Şekil 4.71.a'da ve güç ile yüzde uzama değişimi Şekil 4.71.b'de gösterilmiştir. Güç %20'den %75'e artarken çekme mukavemetinde belirgin olarak artmıştır. Düşük güçlerde kaynak mukavemeti düşük değerlerde kalmıştır. Güç %75 olduğunda çekme mukavemetinde en yüksek değerini almıştır. Benzer durum, uzama değerlerinde görülmektedir: En yüksek uzama değeri de, en yüksek kaynak mukavemetinin elde edildiği %75 güç değerinde görülmüştür.

Çizelge 4.12. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).

Güç (%)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
20	204,25	1,7
35	258	2,08
50	401,67	6,3
65	586,5	15,46
75	610,8	19,44



a)



b)

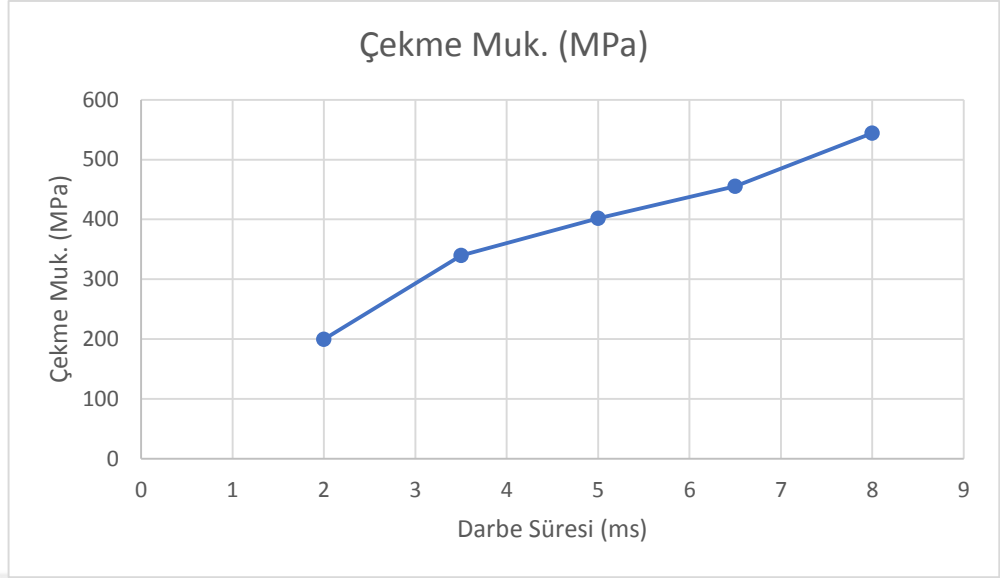
Şekil 4.71. DP600-DP1000 a) Güç ile çekme mukavemeti değişimi, b) Güç ile uzama (%) (N35, N36, N37, N38 ve N39)

- **DP600-DP1000 Darbe Süresi**

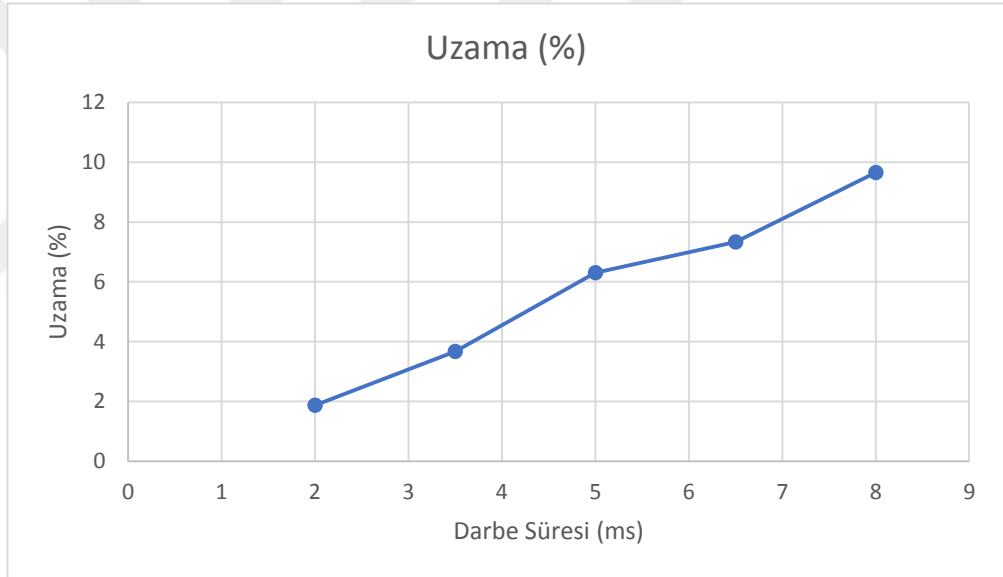
Lazer kaynağı ile farklı darbe süreleri kullanılarak birleştirilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.13.'te verilmiştir. Şekil 4.72.a'da darbe süresi 2 ms'den 8ms'ye yükseltildiğinde çekme mukavemetinin yükseldiği görülmektedir. Yani, darbe süresindeki artış ile çekme mukavemetini önemli ölçüde artmaktadır. En yüksek çekme mukavemeti değerine ortalama güç oranı %50, darbe süresi 8 ms, frekans 5 Hz ve 1 mm ışın çapı parametrelerinde ulaşılmıştır. Darbe süresi değişimi ile yüzde uzama değerlerindeki değişim incelendiğinde de çekme mukavemetindeki değişime benzer bir şekilde güç artışı ile yüzde uzamanın önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.72.b). En düşük uzama değeri 2 ms darbe süresinde, en yüksek uzama değeri 8 ms darbe süresinde görülmüştür.

Çizelge 4.13. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).

Darbe Süresi (ms)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
2	199,67	1,87
3,5	339,75	3,675
5	401,67	6,3
6,5	455,33	7,33
8	544	9,65



a)



b)

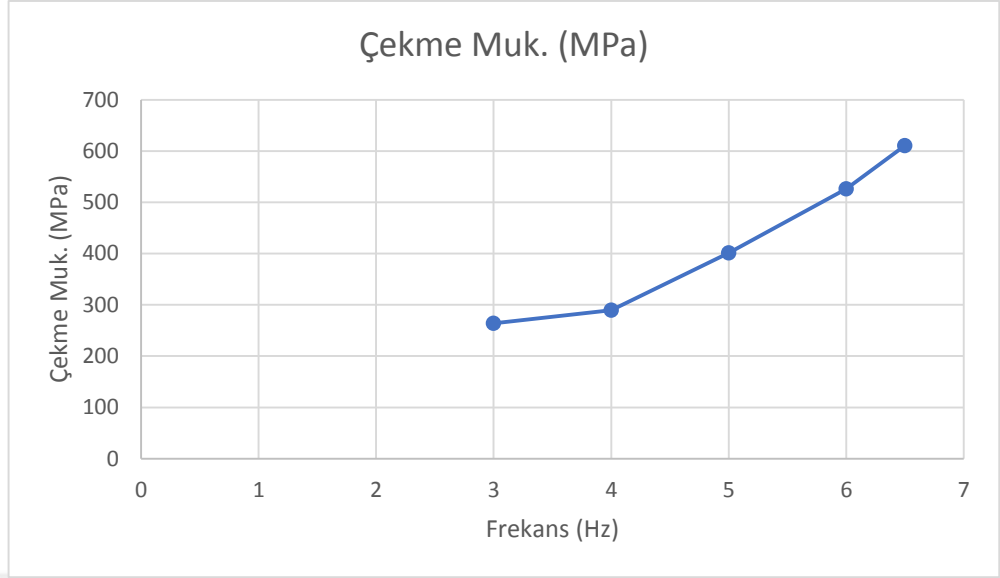
Şekil 4.72. DP600-DP1000 a) Darbe süresi ile çekme mukavemeti değişimi, b) Darbe süresi ile uzama (%) (N40, N41, N37, N42 ve N43)

- **DP600-DP1000 Frekans**

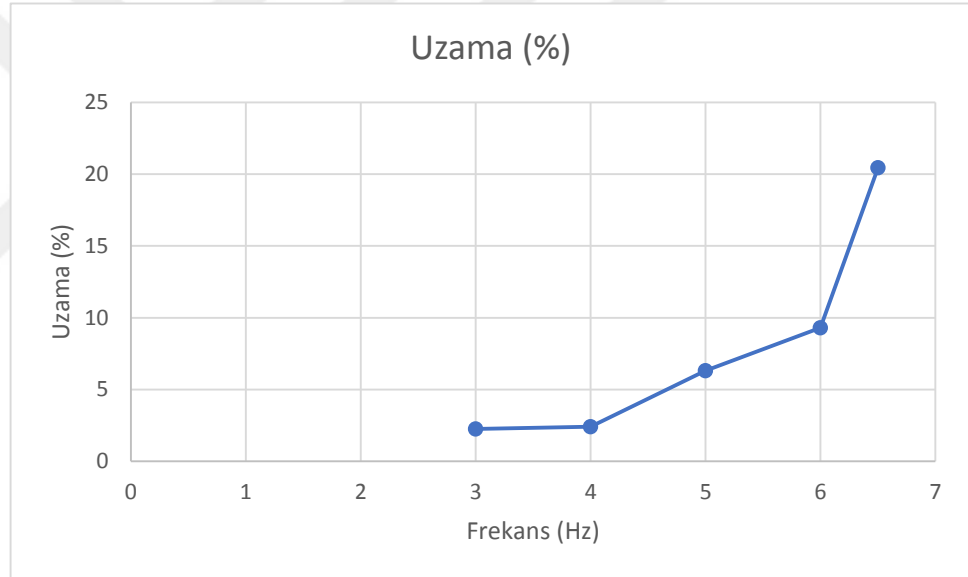
Lazer kaynağı ile farklı frekansları kullanılarak birleştirilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.14.'te verilmiştir. Şekil 4.73.a'da frekans 3 Hz'den 6,5 Hz'e yükseltildiğinde çekme mukavemetinde artış görülmektedir. Yani, frekansdaki artış ile çekme mukavemeti artmaktadır. En yüksek çekme mukavemeti ve uzama değeri ortalama güç oranı %50, darbe süresi 5 ms, frekans 6,5 Hz ve 1 mm ışın çapı parametrelerinde ulaşılmıştır. Frekans ile yüzde uzama değerlerindeki değişim incelendiğinde de çekme mukavemetindeki değişime benzer bir şekilde frekans artışı ile yüzde uzamanın önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.73.b). En düşük çekme mukavemeti ve yüzde uzaması 3 Hz frekans olan numunede, en yüksek çekme mukavemeti ve yüzde uzaması 6,5 Hz frekans olan numunede görülmüştür.

Çizelge 4.14. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).

Frekans (Hz)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
3	264	2,25
4	289,5	2,4
5	401,67	6,3
6	526	9,3
6,5	610,5	20,45



a)



b)

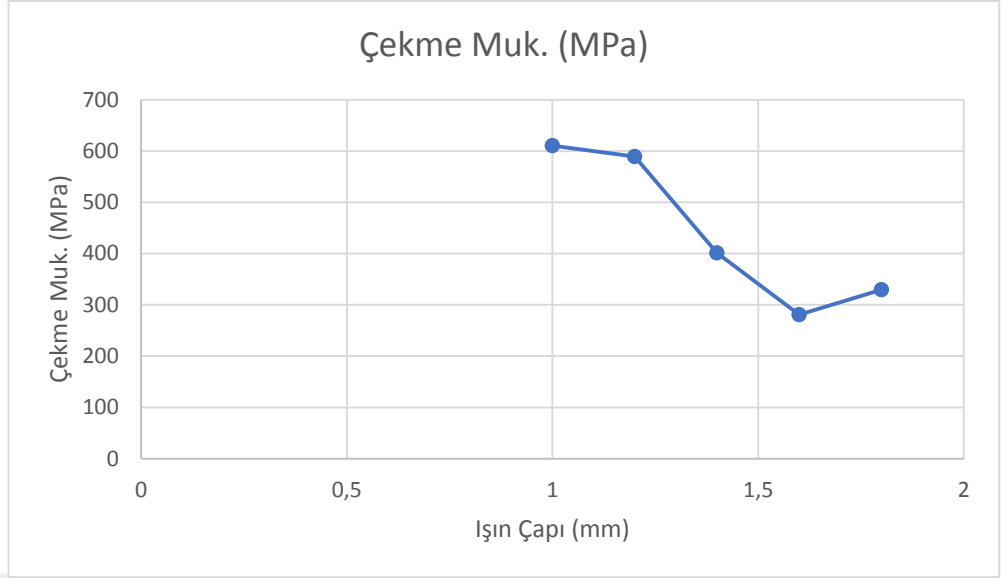
Şekil 4.73. DP600-DP1000 a) Frekans ile çekme mukavemeti değişimi, b) Frekans ile uzama (%) (N44, N45, N37, N46 ve N47)

- **DP600-DP1000 Işın Çapı**

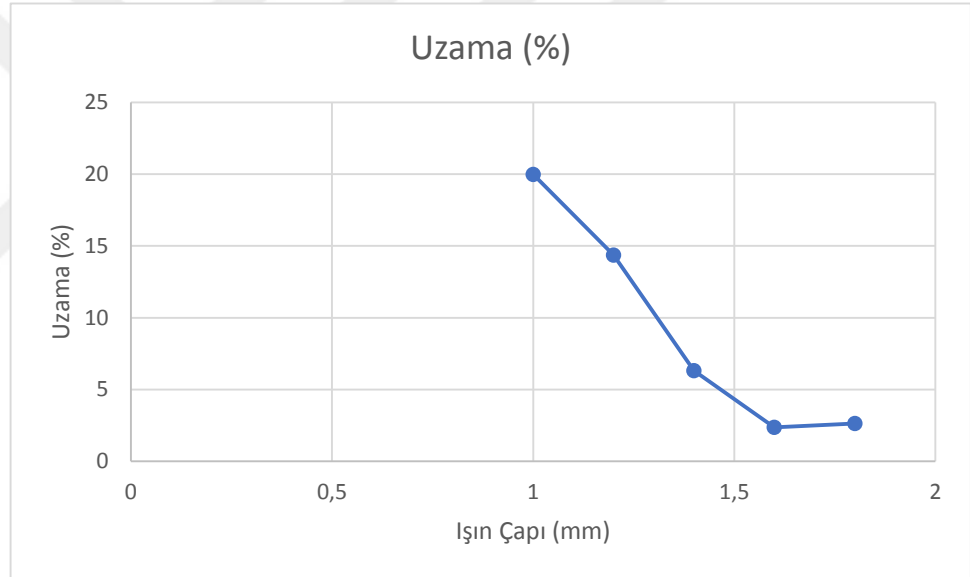
Lazer kaynağı ile farklı ışın çapları kullanılarak birleştirilen numunelere ait çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.15.'te verilmiştir. Şekil 4.74.a'da ışın çapı 1 mm'den 1.6 mm'ye yükseltildiğinde çekme mukavemetinin önemli düşüş görülmektedir. Yani, ışın çapı artışı ile çekme mukavemeti önemli ölçüde düşmektedir. En yüksek çekme mukavemeti değerine ortalama güç oranı %50, darbe süresi 5 ms, frekans 5 Hz ve 1 mm ışın çapı parametrelerinde ulaşılmıştır. Işın çapı değişimi ile yüzde uzama değerlerindeki değişim incelendiğinde de çekme mukavemetindeki değişime benzer bir şekilde ışın çapı artışı ile yüzde uzamanın önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.74.b). En düşük yüzde uzamanın gerçekleştiği 1,6 mm ışın çapı ile en yüksek uzamanın gerçekleştiği 1mm ışın çapı olan numuneler olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.15. Lazer kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri (ortalama değerler).

Işın Çapı (mm)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)
1	610,8	19,98
1,2	589,2	14,36
1,4	401,67	6,3
1,6	281	2,37
1,8	329,33	2,625



a)



b)

Şekil 4.74. DP600-DP1000 a) Işın Çapı ile çekme mukavemeti değişimi, b) Işın çapı ile uzama (%) (N48, N49, N37, N50 ve N51)

5. SONUÇ

Çalışmada iki farklı çeliğe lazer kaynağı uygulanmıştır. Çalışmada DP600 ve DP1000 çelikleri kullanılmıştır ve bu çelikler lazer kaynağı ile kaynatılmışlardır. Bu çeliklerin otomotiv sektöründe tercih edilmesinin nedeni yüksek mukavemetli olmalarıdır. Bu çeliklerin özelliği araçlarda yüksek dayanım sağlarken diğer yandan hafiflik sağlayarak tercih sebebi olmalarıdır.

Bu çalışmada, Nd:YAG lazer cihazı ile kaynak edilmiş DP600, DP1000 çelik saclarında gücün, darbe süresinin, frekansın, ışın çapının mikroyapı ve mekanik özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

Yapılan çalışmalar sonucu kaynaklı DP600 ve DP1000 çeliklerinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Vickers sertlik değerleri sonucunda DP600 ve DP1000 çeliğinin kaynak bölgelerinde önemli sertlik artışları saptanmıştır. Ergime bölgesinde maksimum sertlik değerlerine ulaşmıştır. DP600 çeliği sertlik ölçümleri sonucunda maksimum sertlik 410-415 HV civarındadır. DP1000 çeliği sertlik ölçümleri sonucunda maksimum sertlik 400-405 HV değerlerine ulaşmıştır.

- **DP600-DP600**

Güç, darbe süresi, frekans arttıkça çekme mukavemetide artmaktadır. Işın çapı arttıkça çekme mukavemeti azalmaktadır.

Yüksek güç, darbe süreleri, frekans ve düşük ışın çapı hem kaynak penetrasyon derinliğini arttırmakta hem de kaynak merkezindeki tipik ara yüzey birleşme hatasını küçültmektedir. Bu iki husus, kaynak mukavemetini belirleyici ana rolü üstlenmiştir.

Kaynak bölgesinde yoğun şekilde sert martenzitik ve beynitik fazlar ortaya çıkmıştır. Bu da, kaynak bölgesi sertlik değerlerinin temel malzemeye nazaran oldukça yüksek olmasına yol açmıştır. Ergime bölgesinde en yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. ITAB'da sertlik değerleri düşmüştür.

DP600-DP600 %65 güç, 5 ms darbe süresi, 5 Hz frekans, 1,4 mm ışın çapı ile üretilen kaynaklı birleştirme en yüksek çekme mukavemetine sahip olmuştur (610 MPa). Uzama

değerleri de benzer bir davranış sergilemiştir: Düşük güç, darbe süresi, frekans düşük uzamaya, yüksek güç, darbe süresi, frekans ise yüksek uzamaya yol açmıştır. Düşük ışın çapı yüksek uzamaya, yüksek ışın çapı ise düşük uzamaya yol açmıştır.

- **DP1000-DP1000**

Yüksek güç, darbe süresi, frekans; düşük ışın çapı kaynak penetrasyonunu arttırmakta ve kaynak merkezindeki birleşme arayüzey kaynak hatasını küçültmektedir.

Mikroyapısı ferrit ve martenzitten oluşan DP1000 çeliğinin lazer kaynağı sonrasında ergime bölgesinde bir miktar kalıntı ostenit ile birlikte genel itibariyle kaba dendritik martenzitik yapı, ITAB'da az miktarda ferrit ve kalıntı ostenit ile birlikte martenzitik ve beynitik yapılar ve ITAB ile temel malzeme arasında temperlenmiş temel malzeme yapısı (temperlenmiş martenzit ve ferrit) ortaya çıkmaktadır.

Kaynak bölgesindeki en yüksek sertlik değerleri ergime bölgesinde, en düşük sertlik değerleri ise ITAB ile temel malzeme arasındaki geçiş bölgesindedir.

Güç, darbe süresi, frekans artış çekme mukavemetinde ve uzama değerini arttırmaktadır. Işın çapı artışı çekme mukavemetini ve uzama değerini düşürmektedir. En yüksek çekme mukavemeti (880 MPa) ve en yüksek uzama değeri (%8.82) %65 güç, 5 ms darbe süresi, 5 Hz frekans, 1,4 mm ışın çapı ile üretilen numunede elde edilmiştir.

- **DP600-DP1000**

Yüksek güç, darbe süresi, frekans; düşük ışın çapı kaynak penetrasyonunu arttırmakta ve kaynak merkezindeki birleşme arayüzey kaynak hatasını küçültmektedir.

EB ve ITAB bölgelerinde yoğun şekilde sert martenzitik ve beynitik fazlar ortaya çıkmıştır. Bu da, kaynak bölgesi sertlik değerlerinin temel malzemeye nazaran oldukça yüksek olmasına yol açmıştır. DP1000 tarafı ITAB'da az miktarda ferrit ve kalıntı ostenit ile birlikte martenzitik ve beynitik yapılar ortaya çıkmaktadır.

Kaynak bölgesindeki en yüksek sertlik değerleri ergime bölgesinde görölmüştür. DP1000 tarafında ITAB-TM geçişinde ise önemli sertlik düşüşü görölmüştür.

Güç, darbe süresi, frekans artış çekme mukavemetinde ve uzama değerini arttırmaktadır. Işın çapı artışı çekme mukavemetini ve uzama değerini düşürmektedir. En yüksek çekme mukavemeti 610 MPa ve en yüksek yüzde uzama değerinin 20 olduğu görölmüştür. Üç tane numunede bu değerlere ulaşılmıştır. %75 güç, 5 ms darbe süresi, 5 Hz frekans, 1,4 mm ışın çapı ;%50 güç, 5 ms darbe süresi, 6,5 Hz frekans, 1,4 mm ışın çapı ;%50 güç, 5 ms darbe süresi, 5 Hz frekans, 1 mm ışın çapı ile üretilen numunelerde elde edilmiştir.

Sonuç olarak farklı iki çeliğın lazer kaynağı başarıyla yapılmış ve farklı mekanik değerler elde edilmiştir. Ayrıca malzeme yapısına göre mekanik davranış değişimleri farklılıklar göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Abbott, D. H. ve Albright C. E. 1994.** CO2 shielding gas effects in laser welding mild steel. *Journal of Laser Applications*, 6: 69-80.
- Ada, H. 2006.** Petrol ve doğalgaz boru hatları için üretilen boruların tozaltı ve spiral kaynak yöntemiyle kaynaklanabilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Alves, P. H. O. M., Lima, M.S.F., Raabe, D., Sandim, H.R.Z. 2017.** Laser beam welding of dual-phase DP1000 steel, *Journal of Materials Processing Technology*. 4: 498–510.
- American, A. ve Standard, N. 2002.** Practices for Test Methods for Evaluating the Resistance Spot Welding Behavior Sheet Steel Recommended Practices for Test Methods for Evaluating the Resistance Spot Welding Behavior of Automotive Sheet Steel Materials, AWS D8.9M:2012.
- Anonim,2017.** Alseko Enerji Lazer Kaynak Cihazları. <http://www.alsekoenerji.com.tr/Home/ProductDetail/17?catId=2&cultureId=1> (Erişim Tarihi: 15.06.2018)
- Anonim,2008.** Efe Makine Profil-Sac ve Metal Firması <http://efemetalmakina.com/> (Erişim Tarihi: 15.06.2018)
- Arata, Y., 1987.** Challenge of Laser Advanced Materials Processing. Proc. Con. Laser Advanced Materials Processing LAMP'87, Osaka. May 1987. *Japan High Temperature Society*, 3-11pp.
- Aydın, H. 2006.** Çelik saçların çift-faz ısıtılma işlemi sonrası mekanik ve mikroyapı özelliklerinin değişimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Bandyopadhyay, K., Lee, M.G., Panda, S.K., Saha, P., Lee, J. 2017.** Formability assessment and failure prediction of laser welded dual phase steel blanks using anisotropic plastic properties, *International Journal of Mechanical Sciences*. Elsevier Ltd, 126:203–221pp.
- Beersiek, J. 1999.** On-line Monitoring of Keyhole Instabilities During Laser Beam Welding, 1st, Ed:Prometec GmbH, Aerchan, 8-99s.
- Brown D., 2003.** Laser Welding Basics Primary Adjustable Welding Parameters, *The Bench Magazine*, Fall Issue:1-2 pp.
- Charschan, S.S. 1993.** Guide to Laser Materials Processing, Laser Institute of America, Ed: Sidney S. Charschan, USA, 44-45 pp.
- Çelen, S. 2006.** Paslanmaz çeliklerin lazer kaynağında kaynak parametrelerinin bağlantının dayanım ve korozyon özelliklerine etkisinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Çimenoğlu, H., Kayalı E. S. and Dikeç F. 1985.** The occurrence of yield point after steel relaxation in a plain carbon dual-phase steel, *Scripta. Met.*, 25: 3011-3021.
- Dawes C. 1992.** Laser Welding, Ed: McGraw Hill, New York, USA:(originally published by Abington Publishing, England:Cambridge).
- Di, H. S., Sun, Q., Nie, X.K., Wang, X.N., Chen, X.M. 2017.** Microstructure and properties of laser welded joints of dual phase and press-hardened steels, *Procedia Engineering*, 216: 207 pp.

- Dong, D., Liu, Y., Yang, T., Li, J., Ma, M., Jiang, T. 2014.** Microstructure and dynamic tensile behavior of DP600 dual phase steel joint by laser welding, *Materials Science & Engineering*, 594:17–25 pp.
- Duley W. W., Mao Y. L., Kinsman G. 1991.** Laser and Electron Beam, Proceedings Conference, Columbia University, New York, USA, 206 s.
- Fillafer, A., Werner, E. and Krempaszky, C. 2017.** On phase transformation induced effects controlling the initial flow behavior of ferritic-martensitic dual-phase steels, *Materials Science and Engineering.*, 708: 556–562 pp.
- Hayat F., Acarer M., Demir B., Kaçar M. 2005.** Çift-Fazlı çeliklerin nokta direnç kaynağında martenzit hacim oranı ve kaynak zamanının kaynak kabiliyeti üzerine etkisi, 7. Uluslararası Kırılma Konferansı, 19-21 Ekim 2005 Kocaeli.
- Karaaslan, A., Yumurtacı, S., Sönmez, N. 2001.** Lazer ışını ile birleştirilmiş farklı malzemelerin kaynak dikişlerinde sertlik değişimleri, II Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Sempozyumu, Manisa.
- Kendirci, M. F. 2008.** İnce taneli yüksek mukavemetli yapı çeliklerinde kaynaklı bölgelerin ısıtılma mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Lancaster, J. F., 1986.** The Physics of Welding 2nd ed, *International Institute of Welding*, January: 306 s.
- Limmaneevichitr C., Kou S. 2002.** Visualization of Marangoni Convection in Simulated Weld Pool. *Welding Journal* 79: 231pp.
- Noaker, P. M., 1993,** Lasers Penetrate Fabricating Manufacturing. *Engineering*, October: 33-40 pp.
- Ovalı Kadir Cem. 2014.** TRIP800 / DP800 / DP600 Çeliklerinin Lazer Kaynak Kabiliyetinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.
- Özcan, M. 2003.** Değişik malzemelerin işlenmesinde kullanılan Nd:YAG lazerleri için etkin bir güç kaynağının tasarımı ve uygulaması. *Doktora tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Özdemir U. 2012.** Lazer Kaynaklı Alüminyum Alaşım Bağlantılarının Kırılma Mekanikliği ve Mukavemet Açısından İncelenmesi. *Doktora tezi*, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Pakdil, M., Çam, G. ve Erim, S. 2005.** Lazer kaynağının avantajları. *Makinatek*, 95:116-119 s.
- Püskülcü, G. ve Koçlular, F. 2009.** Lazer kaynak yöntemi ve uygulamaları. *Mühendis ve Makina*, 50 (599): 8-17 s.
- Speich, G. R. 1997.** Dual-phase steels, Heat Treating, 5th Ed, ASM Handbook, 424429.
- Sun, Q., Di, H.S., Li, J.C., Wang, X.N. 2016.** Effect of pulse frequency on microstructure and properties of welded joints for dual phase steel by pulsed laser welding, *Materials and Design*, 105: 201–211 pp.
- Tokdemir, M., Ünlü, B.S., Yılmaz, S.S. ve Meriç, C. 2010.** Lazer kaynağı ve uygulamaları. *Makinatek*, 152: 122-128 s.
- Tuncer, E. 2006.** Aşınmaya dayanıklı çelikler ile genel yapı çeliğinin kaynağında birleşme özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Tuncer, O., Aydın H., Çetin Ş. 2018 Nd:YAG Lazer Kaynağı ile Birleştirilen DP600 Çeliğinde Darbe Süresinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi Otekon 9. Uluslararası Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 7-8 Mayıs, 2018, Sheraton Hotel, Bursa.

Tuncer, O., Aydın H., Çetin Ş. 2018 Ultra Yüksek Mukavemetli DP1000 Çeliğinin Nd:YAG Lazer Kaynağında Işın Çapı Etkisi, Otekon 9. Uluslararası Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 7-8 Mayıs, 2018, Sheraton Hotel, Bursa.

Ulu, S. 2005. Çift-fazlı çelikler, Teknik Not, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (3): 100-108 s.

Uzun, R. O. 2010. Lazerle kaynak işleminde kaynak parametrelerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Yüksek lisans tezi*, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Vural, M., Piroğlu, F. ve Çağlayan, B. Ö. 2003. Yapı çeliklerinin kaynaklanabilirliği. *TMH- Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426: 5-47 s.

Wang, J., Yang, L., Sun, M., Liu, T., Li, H. 2016. Effect of energy input on the microstructure and properties of butt joints in DP1000 steel laser welding. *Materials and Design*, 90: 642– 649 pp.

Yavuz, H. ve Çam, G. 2005. Lazer-ark hibrit kaynak yöntemi. *Mühendis ve Makina*, 46 (543): 14-19 s.

Zhou, D. W., Liu, J.S., Lu, Y.Z., Xu, S.H. 2017. Effect of adding powder on joint properties of laser penetration welding for dual phase steel and aluminum alloy. *Optics and Laser Technology*, 94:171– 179 pp.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Şükriye ÇETİN

Doğum Yeri ve Tarihi : OSMANGAZI/ 08.03.1992

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Özel Tan Anadolu Lisesi (2006-2010)

Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği (2010-2014)

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon İmalat Bilim Dalı (2014-.....)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Simetrik Dizayn- Tasarım ve AR-GE Uzmanı (2015-.....)

İletişim (e-posta) : sukriyecetin7@gmail.com

Yayımları* :

Tuncer, O., Aydın H., Çetin Ş. 2018 Nd:YAG Lazer Kaynağı ile Birleştirilen DP600 Çeliğinde Darbe Süresinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. Otekon 9. Uluslararası Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 7-8 Mayıs, 2018, Sheraton Hotel, Bursa.

Tuncer, O., Aydın H., Çetin Ş. 2018 Ultra Yüksek Mukavemetli DP1000 Çeliğinin Nd:YAG Lazer Kaynağında Işın Çapı Etkisi. Otekon 9. Uluslararası Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 7-8 Mayıs, 2018, Sheraton Hotel, Bursa.