



**T.C YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BENZİNLİ ENJEKTÖRLERİN LAZER KAYNAĞI VE LAZER
KAYNAK PARAMETRELERİ**

CEVRİYE GÜNEŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MALZEME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. IŞIL KERTİ**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BENZİNLİ ENJEKTÖRLERİN LAZER KAYNAĞI VE LAZER
KAYNAK PARAMETRELERİ

Cevriye GÜNEŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 01.10.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Işıl KERTİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Işıl KERTİ

Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Prof. Dr. Ahmet KARAASLAN

“Bu alışma, Bosch San. ve Tic. A.ř tarafından desteklenmiştir. Bu bitirme tezinde geçen tüm veri ve malumatlar Bosch San. ve Tic. A.ř (RBTR) 'ye aittir. Bu çalışmada verilen bilgiler ve çalışma sonucu elde edilen veriler ve sonuçların, bu bitirme tezi dışında, herhangi bir şekilde kullanımı için Bosch San. Tic. A.ř'nin yazılı onayı gerekmektedir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca beni yönlendiren, destekleyen, çalışmalarım konusunda eleştirilerine ve öngörülerine her zaman değer verdiğim kıymetli hocam Sayın Işıl Kerti'ye,

Elde ettiğim verileri yorumlamamda bana yardım eden ve öğrenme sürecime katkıda bulunan Bosch San. ve Tic. A.Ş çalışanlarından Sayın Haluk Cangar'a, gerek bu tezi yazma sürecim gerekse tüm düzeltme ve değerlendirmelerde beni yalnız bırakmayan, büyük bir sabır ve özveriyle bana destek olan Bosch. San. ve A.Ş çalışanlarından arkadaşım Nuray Kayakol'a ve bir yıllık proje sürem boyunca bana güleryüzünü, yardımlarını hiç esirgemeyen Bosch San. ve Tic. A.Ş Bursa4 MFG departmanı çalışanlarına,

Tüm hayatım boyunca beni destekleyen aileme ve dostlarıma, lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca beni hiç yalnız bırakmayan her anlamda desteğini hep yanımda hissettiğim Ali Canpolat'a ve son olarak bir yıllık tez serüvenimde beni hem maddi hem manevi olarak destekleyen, mühendislik serüvenime yeni bir boyut getiren çok sevgili arkadaşım Asuman Koç'a teşekkürlerimi sunarım.

Kasım, 2012

Cevriye Güneş

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Hipotez.....	4
BÖLÜM 2	
HDEV5 BENZİNLİ ENJEKTÖRLER	5
2.1 Direkt Püskürtmeli Benzinli Enjektörler	6
2.2 Kullanılan Malzemeler	12
BÖLÜM 3	
LAZER.....	14
3.1 Lazerin Çalışma Prensibi	15
3.2 Lazer Işınının Özellikleri	15
2.3 Nd:YAG Lazer.....	16
BÖLÜM 4	
LAZER KAYNAK	18
4.1 İletimle Lazer Kaynak	21
4.2 Derinlemesine Nüfuz Eden Lazer Kaynak (Anahtar Deliği Prensibi).....	22
BÖLÜM 5	
LAZER KAYNAK PARAMETRELERİ	23
5.1 Lazer Işınının Gücü	23
5.2 Lazer Kaynak Koruma Gazı	24

5.3 Kaynağın Soğuma Süresi	25
5.4 Lazer Kaynak Hızı	25
5.5 Lazer Işınının Odak Yeri	26
BÖLÜM 6	
LAZER KAYNAK PARAMETRELERİ İÇİN DENEYSEL ÇALIŞMALAR	28
6.1 Lazer Kaynak Gücü	29
6.1.1 Kaynak Birleşmeme	30
6.2 Kaynak Metali Soğuma Hızı	38
6.2.1 Kaynak Çatlaması	38
6.3 Salgı ve Eksen	43
6.4 Koruma Gazı	44
6.5 Lazer Kaynak Hızı	50
6.6 Lazer Işınının Odak Yeri	53
BÖLÜM 7	
SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	66

SİMGE LİSTESİ

D_b	Odak leke çapı
f	Odaklama merceğinin odak uzaklığı
D	Odak mesafesinde elde edilen lekenin çapı
M^2	Lazer ışın demetinin odaklanabilirliği
P_d	Odaklanmış güç yoğunluğu
P_{in}	Işın demetinin gücü
W	Merceğin odak uzaklığında meydana gelen lekenin yarıçapı
W_1	Merceğe çarpan demetin yarıçapı
λ	Işın demetinin dalga boyu

KISALTMA LİSTESİ

AFW	Ankerfreiweg (İğne boşluğu)
FA	Federaufnahme (Yay tutucu)
HDEV	H och D ruck E inspritz V entil (Yüksek Basıncılı Püskürtme Enjektörü)
KGL	Kugel (Valf Bilyası)
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu (scanning electron microscope)
SL	Serial Line (Seri Üretim Hattı)
VN	Ventilnadel (Valf İğnesi)
VS	Ventilsitz (Püskürtme parçası)
VH	Ventilhülse (Valf Kovanı)
TEM	Transverse Electro-magnetic Mode

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Direkt püskürtmeli benzin motorları	2
Şekil 2.1 Robert Bosch Bursa dizel ve benzinli enjektör üretilen fabrikalar.....	5
Şekil 2.2 Yüksek basınç pompası, rail ve HDEV5 enjektörler.....	6
Şekil 2.3 HDEV5 benzinli kısa ve uzun tip enjektörler.....	7
Şekil 2.4 HDEV5 benzinli enjektör ve alt parçaları	7
Şekil 2.5 Valf iğnesi-Durdurma bileziği lazer kaynağı	9
Şekil 2.6 Dayama yüzüğü-Valf iğnesi lazer kaynağı.....	9
Şekil 2.7 Yay tutucusu-Magnet armatürü lazer kaynağı.....	9
Şekil 2.8 Valf iğnesi (Ventilnadel-VN) -Valf bilyesi (Kugel-KGL) lazer kaynağı	10
Şekil 2.9 Valf kovanı (Ventilhülse-VH)-Püskürtme parçası (Ventilsitz-VS) lazer kaynağı.....	10
Şekil 2.10 Magnet gövdesi-Valf kovanı lazer kaynağı.....	10
Şekil 2.11 Bağlantı kovanı-Valf kovanı lazer kaynağı	11
Şekil 2.12 KGL-VN (Valf iğnesi-Valf bilyesi) lazer kaynağının yapıldığı istasyon	11
Şekil 2.13 VS-VH (Valf kovanı-Püskürtme parçası) lazer kaynağının yapıldığı istasyon	12
Şekil 2.14 Fe-Cr (demir-krom) denge diyagramı	13
Şekil 3.1 Basitleştirilmiş tipik bir lazer şeması.....	14
Şekil 3.2 Trumpf TruDisk 1000 lazer cihazı.....	16
Şekil 3.3 Nd: YAG lazer çalışma prensibi.....	17
Şekil 4.1 Derinlemesine ve iletimle yapılan lazer kaynağın paslanmaz çelikler üzerinde kaynak derinliğine olan etkisi	20
Şekil 4.2 İletimle lazer kaynak ısınma ve ergime görüntüsü	21
Şekil 5.1 Lazer ışın demetinin odaklanması	26
Şekil 6.1 Kaynak birleşmiş ve kaynak birleşmemiş KGL-VN çiftinin görüntüsü	30
Şekil 6.2 Kaynak birleşmiş KGL-VN parçasının çekme testi grafiği.....	31
Şekil 6.3 Kaynak birleşmemiş KGL-VN parçasının çekme testi grafiği.....	31
Şekil 6.4 KGL-VN parçasının kaynağında güç, kaynak nüfuziyeti ve çekme mukavemeti arasındaki ilişki.....	32
Şekil 6.5 KGL (Valf bilyesi) kaynak birleşmiş parçanın SEM görüntüsü	33
Şekil 6.6 VN (Valf iğnesi) kaynak birleşmiş parçanın SEM görüntüsü.....	33
Şekil 6.7 KGL kaynak birleşmemiş parçanın SEM görüntüsü	33

Şekil 6.8	VN kaynak birleşmemiş parçanın SEM görüntüsü	34
Şekil 6.9	Kaynak birleşmemiş KGL-VN parçasının ışık mikroskobu (Leica) görüntüsü	35
Şekil 6.10	KGL-VN kaynak birleşmiş parçanın sertlik ölçümü alınan 25 bölgesi.....	36
Şekil 6.11	Kaynak birleşmiş KGL-VN iyi parçanın sertlik grafiği	36
Şekil 6.12	KGL-VN kaynak birleşmemiş parçanın sertlik ölçüm bölgeleri.....	37
Şekil 6.13	Çatlak oluşmuş KGL-VN parçasının dağlanmamış ve dağlanmış görüntüsü	38
Şekil 6.14	KGL ve VN çatlaklı parçanın yüzeyleri	39
Şekil 6.15	Kaynak bölgesinde çatlak oluşmuş iğnenin VN ve KGL parçalarının SEM görüntüsü	39
Şekil 6.16	Kaynağı çatlak KGL parçasının detay SEM görüntüsü.....	40
Şekil 6.17	Kaynağı çatlak KGL parçasının detay SEM görüntüsü.....	40
Şekil 6.18	Kaynağı çatlak olan VN parçasının detay SEM görüntüsü	41
Şekil 6.19	Kaynağı çatlak olan VN parçasının detay SEM görüntüsü	41
Şekil 6.20	Ön ısıtmalı ve kararsız hızlı soğumaya sahip Trumpf lazer kaynak programı şeması.....	42
Şekil 6.21	Ön ısıtmanın kaldırıldığı ve daha kararlı bir soğuma eğrisine sahip Trumpf lazer kaynak programı	42
Şekil 6.22	Salgı bozukluğundan dolayı kaynak birleşmemiş parça.....	43
Şekil 6.23	Eksen ayarı sonrası çekme testi değerleri	44
Şekil 6.24	Koruma gazı akış yönü çok fazla değiştirilen KGL-VN kaynağının çekme testi sonucu	45
Şekil 6.25	Koruma gazı akış yönü çok fazla değiştirilen KGL-VN parçasının ışık mikroskobu görüntüsü.....	45
Şekil 6.26	Koruma gazı akış yönü parçaya yönlendirilen KGL-VN kaynağının çekme testi sonucu	46
Şekil 6.27	Koruma gazı akış yönü parçaya yönlendirilen KGL-VN kaynağı görüntüsü	46
Şekil 6.28	Karışım gazıyla (CO ₂ +Ar) kaynak edilen KGL-VN çekme testi sonucu.....	47
Şekil 6.29	Karışım gazıyla (CO ₂ +Ar) kaynağı yapılan KGL-VN parçasının görüntüsü	48
Şekil 6.30	Karışım gazıyla (CO ₂ +Ar) lazer kaynağı yapılmış KGL-VN parçalarının çekme testi sonrası KGL tarafından alınmış SEM ve EDX görüntüleri	48
Şekil 6.31	Koruma gazı olmadan yapılan KGL-VN kaynağı ışık mikroskobu görüntüsü	49
Şekil 6.32	Koruma gazsız kaynağı yapılan KGL-VN parçasının çekme testi grafiği.....	49
Şekil 6.33	VS-VH koruma gazsın yapılan kaynağın ışık mikroskobu görüntüleri	50
Şekil 6.34	İyi kaynak yapılmış VS-VH sağ ve sol dikey kesim dikiş görüntüsü	51
Şekil 6.35	Kaynak hızı 0,6 s olan VS-VH parçasının sağ ve sol dikey metalografi görüntüsü	52
Şekil 6.36	Kaynak hızı 1,8 s olan VS-VH parçasının sağ ve sol dikey metalografi görüntüsü	52
Şekil 6.37	Kaynak hızı 0,6 s'ye düşürülmüş VS-VH parçasının dikey ve yatay kesilmiş metalografi görüntüleri.....	53
Şekil 6.38	Standart ve bifocal mercek sistemleri.....	54
Şekil 6.39	Nokta atışı denemesi ile lazer leke çapının belirlenmesi.....	54

Şekil 6.40 İki farklı hattan aynı tip istasyondan alınan, eş parametrelere sahip nokta atışı denemesi sonrası lazer ışını leke çapı görüntüleri.....	55
Şekil 6.41 Diğer hatlarla aynı parametrelere sahip SL 9 hattının lazer ışını leke çapı görüntüsü.....	56

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Lazer kaynak parametrelerinin incelenmesi	4
Çizelge 6.1 Kullanılan parçaların elementel içerikleri	28
Çizelge 7.1 Lazer kaynak parametreleri ve elde edilen sonuçların yorumlanması.....	62

BENZİNLİ ENJEKTÖRLERİN LAZER KAYNAĞI VE LAZER KAYNAK PARAMETRELERİ

Cevriye GÜNEŞ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Işıl KERTİ

HDEV5 serisi benzinli enjektörler benzinli motorlarda kullanılan bir yakıt ejeksiyon sistemidir. Bugüne kadar kullanılan benzinli enjektörlere göre yakıt tüketiminde %15'e varan tasarruf, %5'e kadar daha fazla tork ve anında tepki tutumu müşterilerin ürün seçiminde öncelikli olarak göz önünde bulunduracağı avantajlardır. Bu tez çalışması ile HDEV5 benzinli enjektörlerinin sürekli dalga metoduyla yapılan lazer kaynağı ile birleştirilmesi ve lazer kaynak parametreleri incelenmiş, bu parametrelerin enjektörün kaynak kalitesine ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Aynı zamanda lazer kaynak parametrelerinin neden olduğu kaynak hataları incelenmiş ve bu problemlere bazı çözüm önerileri sunulmuştur. Yapılan lazer gücü optimizasyonu, parçanın salgı ve eksen değerlerinin iyileştirilmesi, koruma gazı ve vakum parametrelerinin düzenlenmesinden sonra mekanik özelliklerde, kaynakta çatlak ve kaynak birleşmeme gibi hatalarda önemli ölçüde düşüş gözlemlenmiştir. Valf bilyası-valf iğnesi parçalarının kaynak bölgelerinin çekme testi değerleri yapılan iyileştirmelerin öncesinde kaynak bölgesinin çekme mukavemeti değerleri 900-1500 N aralığında seyretmekteydi. Ancak yapılan çalışmalardan sonra çekme mukavemeti 1400-1900 N aralığına çekilmiştir. Ayrıca soğuma hızının stabilizasyonu ve ön ısıtmanın kaldırılmasıyla kaynakta oluşan çatlak probleminin önüne geçilmiştir. Bu nedenle enjektörün belirlenen bazı parçalarının (valf bilyası, valf iğnesi, püskürtme parçası, valf kovani) lazer kaynağına yoğunlaşmış ve kaynak parametrelerinde çeşitli değişiklikler yapılarak üretilen parçalar incelenmiştir. Kaynağın kalitesi metalografi numuneleri hazırlanarak incelenmiş, Vickers sertlik ölçümleri alınmıştır. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri alınmıştır. Son olarak lazer kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi valf bilyası-valf iğnesi parçalarında çekme testiyle belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Lazer Kaynak, HDEV5 Benzinli Enjektörler, Lazer Kaynak Parametreleri

ABSTRACT

LASER WELDING OF GASOLINE INJECTORS AND LAZER WELDING PARAMETERS

Cevriye GÜNEŞ

Department of Metallurgical and Materials Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Işıl KERTİ

HDEV5 is a fuel injection system which is used gasoline engine. It has several advantages like %15 fuel saving in comparison with gasoline injectors which have been used up to now, %5 more torque and instantly reaction manner. These advantages are prior criterias when the customers selected product. In this thesis, HDEV5 gasoline injectors are welded with a laser welding which works with continous wave method. The laser welding and laser welding parameters of the injectors are investigated considering welding quality and their mechanical properties. In addition welding failures due to laser welding parameters are taken into consideration. Some solutions to these specific problems are proposed. A laser power optimization study is carried out and with improvement of the values of run-out and centreline welding, shielding gase and vacuum parameters are selected so that major failures such as the crack on the weld and uncombined weld are substantially decreased. Valve ball-valve needle part welded area tensile strength values are previosly between 900-1500 N. The tensile strength has been increased to 1400-1900 N range with the present optimization study. At the same time stabilisation of cooling velocity and canceling pre-heating step during laser welding sequence solve the problem of cracks. In this thesis the study is focused on of laser welding of some significant injector's parts (valve ball, valve needle, valve seat, valve housing) and the effect of laser welding parameters are investigated on these parts. The quality of the welding is observed with preparing of metallographic samples. Vickers hardness measurements are taken into account. Scanning electron microscope images are taken. Finally, the effects of laser welding parameters of mechanical properties are tried to observe with tensile test on valve ball-valve needle parts.

Key Words: Laser Welding, HDEV5 Gasoline Injectors, Laser Welding Parameters

**YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF NATURAL
AND APPLIED SCIENCES**

1.1 Literatür Özeti

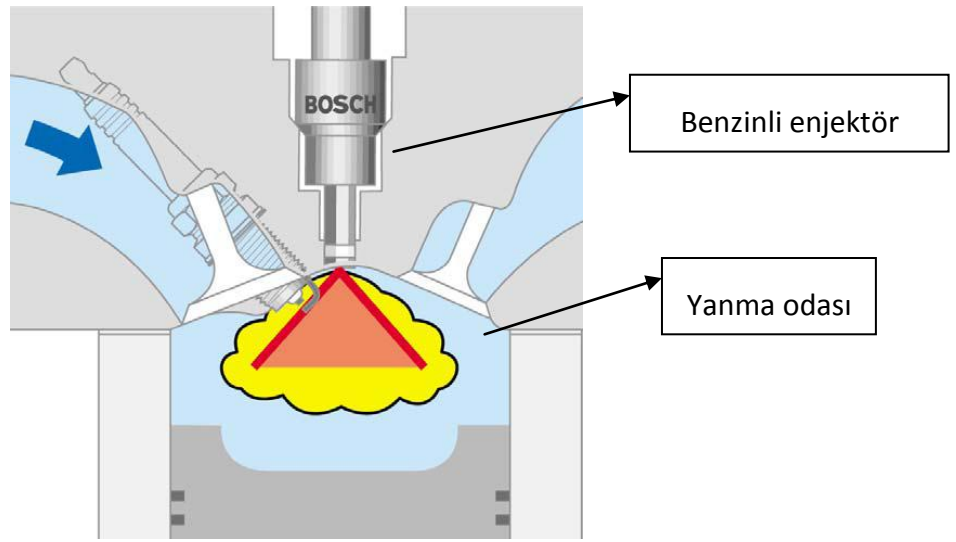
Daha düşük yakıt tüketimi, daha yüksek performans, daha az kirlletici egzoz emisyonları ve daha iyi sürüş konforu otomobil üreticisi firmaların, üniversitelerin ve araştırma merkezlerinin en önemli çalışma konuları arasındadır [1, 2, 3, 4]. Direkt püskürtmeli benzin motorları bu konuda en iyi alternatiflerden bir tanesidir.

Benzinli ve dizel motorların avantajlarının bir araya getirildiği direkt püskürtmeli bir benzin motoru bir dizel motoru ile kıyaslandığında, kısmi yüklerde daha fazla yakıt ekonomisi ve emme portuna; püskürtmeli bir benzinli motorla karşılaştırıldığında ise, tam yükte daha iyi performansa sahiptir. Dizel motorundan daha verimli kılan sebep fakir karışımlarda çalışması, klasik çok noktadan püskürtmeli motorlardan daha üstün kılan sebep ise çok daha verimli bir emme sistemine ve izafi olarak daha yüksek sıkıştırma oranına sahip olmasıdır [1, 2, 3, 4].

Karışımın silindir içinde oluşumu –direkt püskürtme sistemiyle – ilk defa uçak motorlarında Bosch tarafından 1937 yılında uygulanmıştır. Daha üstün sistemler 1952 yılında Gutbrod tarafından ilk önce 2 zamanlı motorlar üzerinde, daha sonra da 1956 da 4 zamanlı motorlardan Mercedes 300 SL motoruna uygulanmıştır. 1990’lı yıllara kadar devam ettirilen çalışmalar bu yıllarda daha da yoğunlaşmış ve ilk defa 1996 yılında Mitsubishi firması tarafından Galant modelinde direkt püskürtmeli motora sahip seri otomobil üretimine başlanmıştır [2, 5].

Direkt benzin püskürtmeli motorlarda (Şekil 1.1), hava yakıt karışımı doğrudan yanma odasında oluşturulur. Emme stroku sırasında, açık emme supabından sadece yanma havası çekilirken, yakıt özel enjektörler aracılığıyla yanma odasına püskürtülür.

Her bir yanma stroku için emme havasının ve püskürtülen yakıtın hassas biçimde ölçülmesi, hazırlanması ve dağıtımı, düşük yakıt tüketim miktarları ve düşük emisyon düzeyleri sağlar [6].



Şekil 1.1 Direkt püskürtmeli benzin motorları [6]

Direkt püskürtmeli benzin motorlarında (Şekil 1.1) enjektörler yakıtın püskürtülmesini sağladığı için önemli elemanlardandır. Enjektörlerin dizaynı ve üretimi, direk püskürtmeli motorlarda yanma için gerekli yakıt miktarı ile uygun yakıt ve hava karışım kontrolü yaparak, yakıtın motor içinde atomizasyonunu sağlayacak şekilde yapılır.

Benzinli enjektörlerin üretimi presleme ve lazer kaynağı esasına dayanmaktadır. Lazer kaynağı ve lazer kaynak parametreleri de ürünün kalitesine etki etmektedir. Lazer kaynak parametreleri hakkında literatürde yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Grevey ve Sallamand [7] lazer kaynağında koruma gazının etkisini incelemişlerdir. Koruma gazının; kaynağın şeklini, penetrasyonunu etkilediğini gözlemlemişlerdir.

Ayrıca koruma gazının kaynağı oksitlenme problemine karşı koruduğunu ifade etmişlerdir. Kelkar [8] lazer kaynak prosesinde ısıtılmanın önemine değinmiştir. Çok hızlı soğutma nedeniyle kaynakta porozite, çok fazla kalıntı gerilme, aşırı sertleşme ve çatlak oluşumu gibi problemlerin olabileceğini belirtmiştir.

Dontu ve arkadaşları [9] lazer ışınının gücünün kaynak nüfuziyetini doğrudan etkilediğini belirtmişlerdir. Kaynak gücü arttıkça nüfuziyetin de doğru orantılı olarak arttığını ve lazer ışınının çapınının da artmasının nüfuziyeti olumsuz yönde etkileyebileceğini söylemişlerdir. Kima ve Ark. [10] ise kaynak hızının etkisini araştırmışlardır. Buna göre lazer kaynak hızı arttıkça kaynağın nüfuziyet derinliğinin azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca Li ve Ark. [11] yaptığı bir çalışmaya göre ise lazer kaynak hızındaki değişimler kaynağın şekline etki etmektedir. Kaynak hızı yavaş olduğunda kaynak bölgesinde çökme, hızlı olduğunda ise tümsek olduğunu gözlemlemişlerdir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı Bosch San. ve Tic. A.Ş.'de HDEV5 benzinli enjektörülerin üretiminin ana proseslerinden biri olan lazer kaynağına etkileyen parametreleri araştırmaktır. Aynı zamanda araştırılan lazer kaynak parametrelerinin kaynağın kalitesine, ortaya çıkan kaynak hatalarına olan etkilerini gözlemlemek ve çözüm önerileri sunmaktır.

Çizelge 1.1'de lazer kaynak parametreleri ve bu parametrelerin kaynağına etkisi literatürden edinilen bilgiler ışığında özetlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ve kaynak parametrelerinin etkisi bu çizelgeye göre değerlendirilmiştir.

Çizelge 1.1 Lazer kaynak parametrelerinin incelenmesi

Lazer Kaynak Parametreleri	İşlevi	Etkisi
Lazer Gücü	Yeterli kaynak derinliğinin elde edilmesi [9]	Nüfuziyet Derinliği
		Kaynak sıçraması
Kaynak metali soğuma hızı	Yeterli sertliğe ve tokluğa ulaşılması [8]	Kaynakta çatlak oluşumu
		Çekme dayanımı
Koruma gazı	Oksidasyona karşı kaynağın korunması, kaynağın yüzey kalitesinin ve pürüzsüzlüğünün sağlanması [7]	Koruma gazının etkisi
		Farklı tip koruma gazının etkisi
Lazer ışınının leke çapı	Lazer ışınının odaklanma kabiliyeti	Fokusun etkisi
Salgı ve Eksen	Kaynağın düzgün ve simetrik olarak yapılması	Kaynak birleşmeme problemi
		Boşluk, çatlak gibi kaynak hataları
Lazer kaynak hızı	Kaynağın nüfuziyeti ve şeklinin kaynak hızı ile olan ilişkisi [10,11].	Kaynak nüfuziyeti
		Kaynağın şekli

1.3 Hipotez

HDEV5 benzinli enjektörlerin üretiminde lazer kaynağı ana proseslerden biridir. Lazer kaynak parametrelerinin kontrolü bu nedenle çok önemlidir. Lazer kaynak gücü, koruma gazı, kaynak hızı, lazer ışınının leke çapı, salgı ve eksen HDEV5 benzinli enjektörlerin üretimini direkt olarak etkileyen en önemli parametrelerdir. Bu parametrelerin kontrol altında uygun değerlerde tutulması kaynağın ve dolayısıyla ürünün kalitesini artıracaktır. İncelenen bu parametreler birbirini dolaylı ve direkt olarak etkilemektedir. Çekme mukavemeti, kaynağın şekli, kaynağın nüfuziyet derinliği, parçanın ömrü kaynak parametreleriyle ilişkilidir.

BÖLÜM 2

HDEV5 BENZİNLİ ENJEKTÖRLER

Robert Bosch Türkiye (Bosch San. ve Tic. A.Ş) olarak Bursa organize sanayi lokasyonlarında Common-Rail System Bu1 ve Bu2 fabrikasında ve Gasoline System Bu4 fabrikasında (Şekil 2.1) olmak üzere 2 farklı sistem altında dizel ve benzinli enjektörler üretilmektedir. Benzinli (gasoline) sistemlerde enjektör adı HDEV “**Hoch Druck Einspritz Ventil** (Yüksek Basıncılı Püskürtme Enjektörü)” kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. HDEV5 ve HDEV4.1 olmak üzere iki çeşit enjektör üretilmektedir. HDEV5 benzinli enjektörün pazar payı HDEV4.1’e göre daha geniştir.



Bu1

Bu2

Bu4

Şekil 2.1 Robert Bosch Bursa dizel ve benzinli enjektör üretilen fabrikalar [6]

2.1 Direkt Püskürtmeli Benzinli Enjektörler

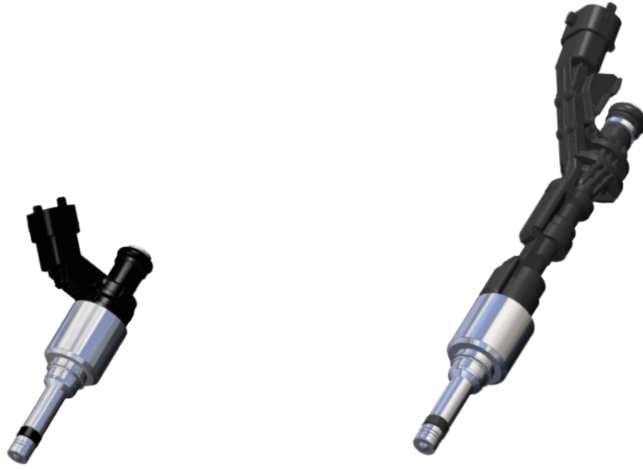
Doğrudan benzin enjeksiyonunun yüksek basınçlı devresi, yakıt rayında gerekli yüksek basınç düzeyi elde edilecek şekilde yakıtı sıkıştıran bir yüksek basınç pompası aracılığıyla beslenir.

Mümkün olan en iyi karışım oluşumunun doğrudan yanma odasında elde edilebilmesi için, yakıt rayında takılı enjektörler yakıtı son derece hızlı bir şekilde ve yüksek basınç altında ölçerek püskürtürler. Şekil 2.2’de yüksek basınç pompası, rail ve bunlara monte HDEV5 enjektörler görülmektedir.



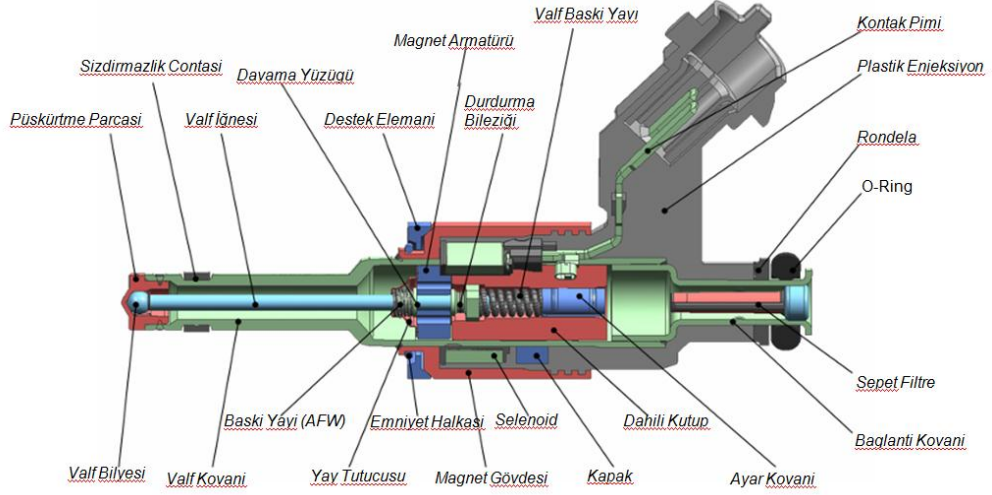
Şekil 2.2 Yüksek basınç pompası, rail ve HDEV5 enjektörler [6]

Şekil 2.3 HDEV5 kısa tip ve uzun tip benzinli enjektörlerini göstermektedir. HDEV5 150-200 bar aralığında çalışan, pulverizasyon denilen yöntemle püskürtme sağlayan ve manyetik sarımlı bir bobinin (solenoid) tetiklenmesiyle çalışan benzinli enjektördür. HDEV5 direkt püskürtmeli benzinli bir enjektördür. Şekil 2.4’te enjektörün kesit hali ve enjektörü oluşturan parçalar görülmektedir [6].



Şekil 2.3 HDEV5 benzinli kısa ve uzun tip enjektörler [6]

HDEV5 enjektörde (Şekil 2.4’te ayrıntılarıyla görüldüğü gibi) enjeksiyon kalıplama ile bir adet püskürtme parçası (ventilsitz), 8 adet tornalanmış parça, bir pres formlanmış parça, 3 adet plastik parça, 1 adet selenoid ve 6 adet daha ek parça bulunmaktadır.



Şekil 2.4 HDEV5 benzinli enjektör ve alt parçaları [6]

HDEV5 benzinli enjektörlerin çalışma prensibi:

→ Tetikleme – Açma

- HDEV5 içinde bulunan selenoid kontakt pinleri aracılığıyla elektrik akımı ile tetiklenir.
- Elektriklenme ile oluşan manyetik alan magnet armatürünü yukarı çeker.
- Magnet armatürü, durdurma bileziği sayesinde iğneyi de yayın kapatma kuvvetine karşı yukarı doğru hareketlendirir.
- Meme (püskürtme parçası) bölgesinde oluşan boşluktan (Nadelhub) benzin meme deliklerinden dışarı doğru püskürtülür.

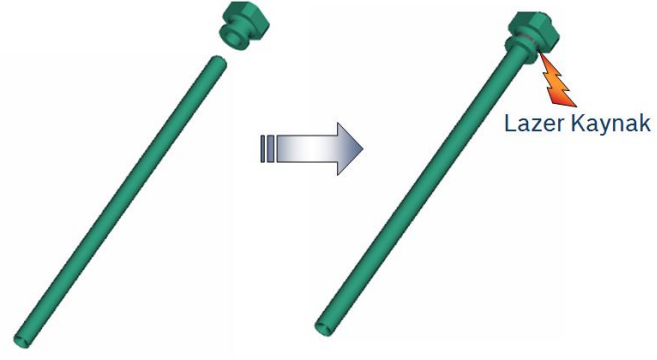
→ Kapatma

- Kontakt pinlerine verilen akımın kesilmesi ile armatürü yukarıda tutan manyetik kuvvet ortadan kalkar.
- İğne yay kuvveti ile aşağıya doğru itilir.
- İğnenin meme bölgesinde oluşan boşluğu kapamasıyla akış durmuş olur

[6].

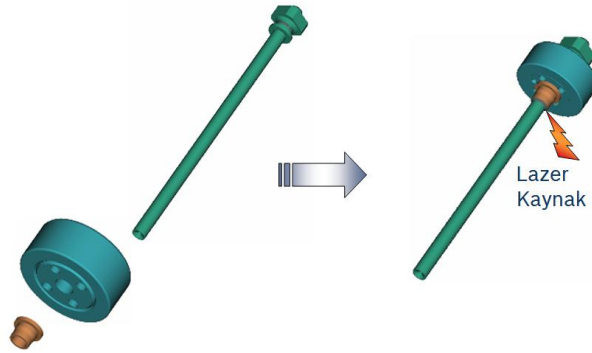
HDEV5 benzinli enjektörlerin üretimi; presleme ve lazer kaynağı yöntemiyle parçalarının birleştirilmesi esasından oluşur. Birleştirme yöntemi olarak lazer kaynağının kullanımı; otomasyona uygunluğu, çok iyi dikiş kalitesi ve dar ısı etki alanı gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir. Lazer kaynak işlemi lazer iletim kaynağı şeklindedir ve oldukça dar bir dikiş genişliğine sahiptir. Ayrıca kaynak işlemi çok kısa sürelerde ve küçük parçaların birleştirilmesinde çok etkili bir şekilde kullanılmaktadır.

HDEV5 enjektörünün üretiminde lazer kaynakla birleştirilen parçalar oldukça fazladır. Lazer kaynakla birleştirilen parçaların akış şemaları Şekil 2.5-2.11’de gösterilmiştir.

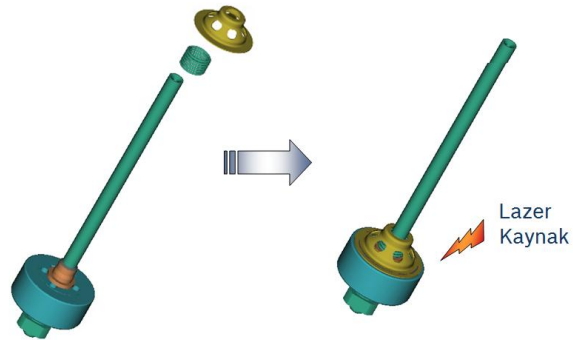


ST 10

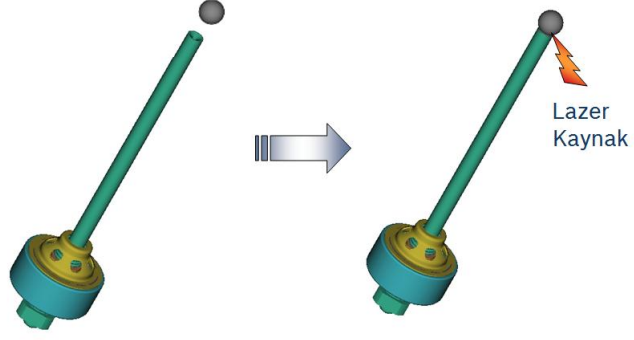
Şekil 2.5 Valf iğnesi-Durdurma bileziği lazer kaynağı [6]



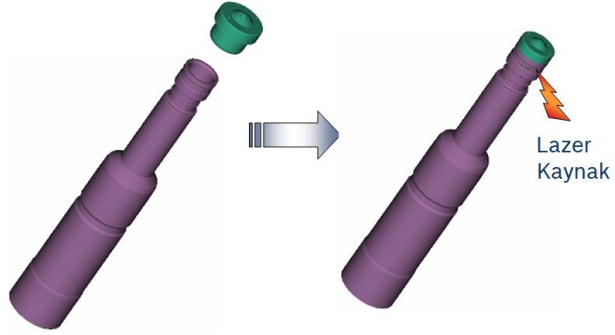
Şekil 2.6 Dayama yüzüğü-Valf iğnesi lazer kaynağı [6]



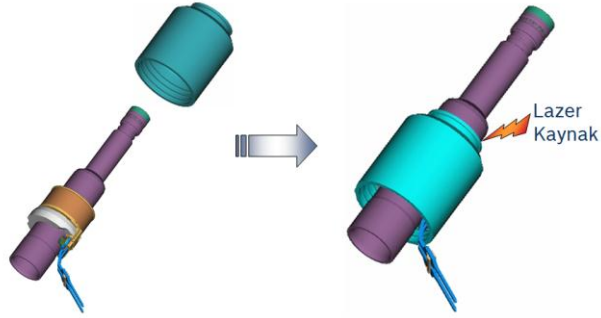
Şekil 2.7 Yay tutucusu-Magnet armatürü lazer kaynağı [6]



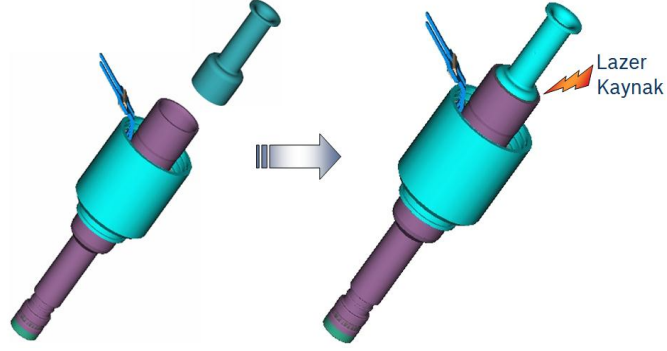
Şekil 2.8 Valf iğnesi (Ventilnadel-VN) -Valf bilyesi (Kugel-KGL) lazer kaynağı [6]



Şekil 2.9 Valf kovanı (Ventilhülse-VH)-Püskürtme parçası (Ventilsitz-VS) lazer kaynağı [6]

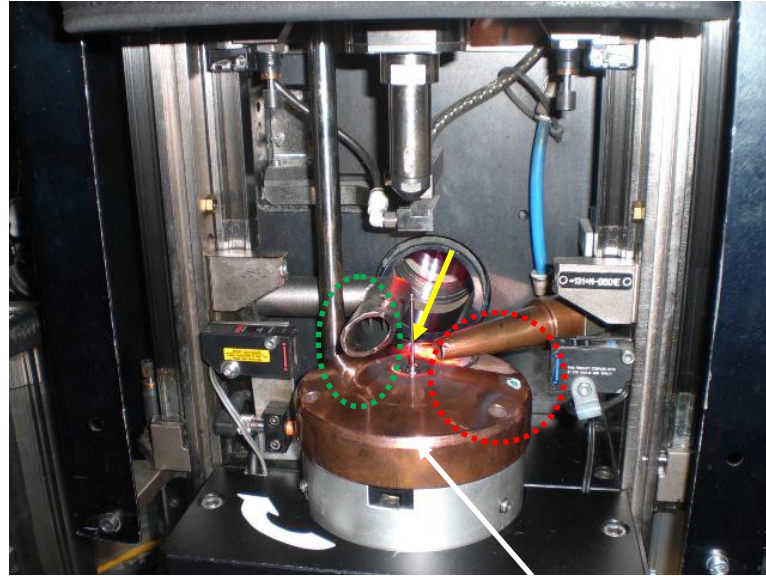


Şekil 2.10 Magnet gövdesi-Valf kovanı lazer kaynağı [6]

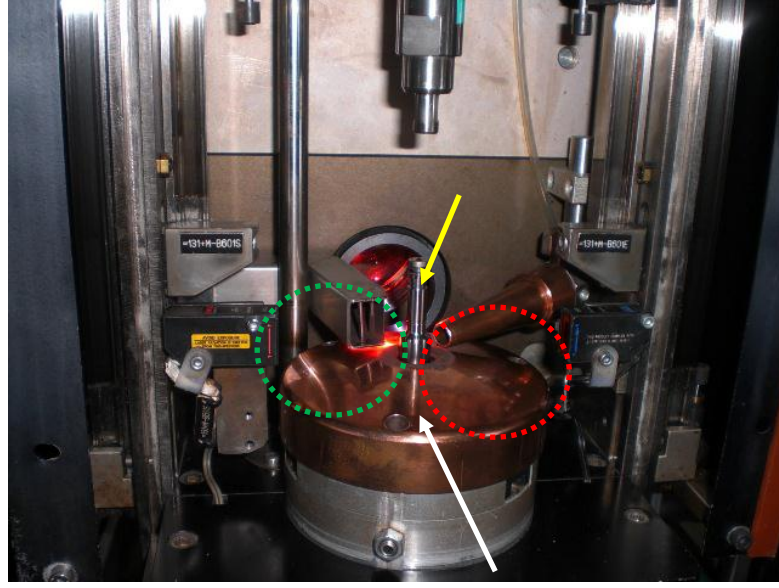


Şekil 2.11 Bağlantı kovanı-Valf kovanı lazer kaynağı [6]

Şekil 2.8 Valf iğnesi (Ventilnadel-VN) -Valf bilyesi (Kugel-KGL) ve Şekil 2.9 Valf kovanı (Ventilhülse-VH)-Püskürtme parçası (Ventilsitz-VS) lazer kaynaklarının yapıldığı istasyonlar Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'te sırasıyla gösterilmiştir. Bu istasyonlarda kırmızı ile işaretlenmiş alanlar koruma gazı borusu, yeşil ile işaretli kısımlar vakum borusu, sarı okla gösterilen kısımlar lazer ışınının geçtiği optik mercek ve beyaz okla gösterilen kısım ise parçanın oturma yüzeyidir.



Şekil 2.12 KGL-VN (Valf iğnesi-Valf bilyesi) lazer kaynağının yapıldığı istasyon



Şekil 2.13 VS-VH (Valf kovanı-Püskürtme parçası) lazer kaynağının yapıldığı istasyon

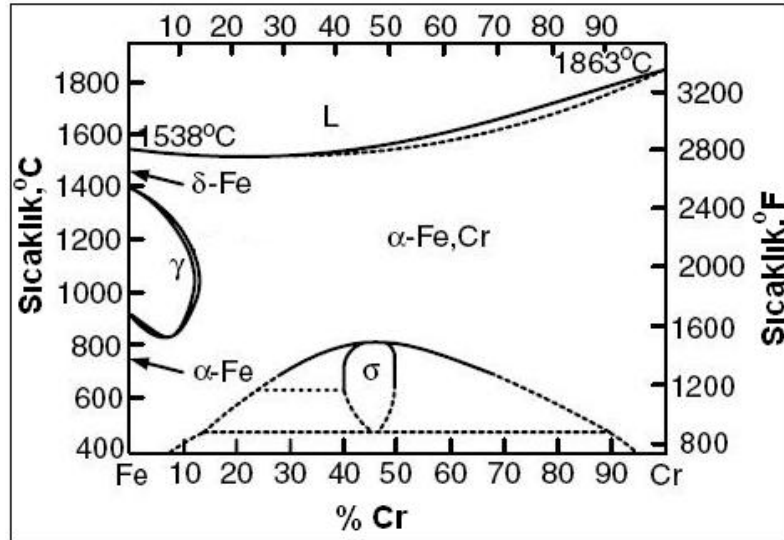
2.2 Kullanılan Malzemeler

Günümüz endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına giren paslanmaz çelikler esas itibari ile demir, karbon ve çoğu zamanda nikel içeren alaşımlar olup başlıca özelliklerini kroma borçludurlar. Demir alaşımlarının korozyon dayanımlarını arttırmak için geliştirilmiş bir türü olan paslanmaz çeliklerin, uygulama alanlarının her geçen gün artarak devam etmesinin temel nedeni korozif ortamlarda, mekanik özelliklerini yitirmeden gösterdikleri yüksek korozyon dirençleridir. Paslanmaz çeliğin paslanmazlık özelliğine sahip olabilmesi için en az % 12 Cr içermesi gerekir [12].

Bu çalışmada ana malzeme olarak paslanmaz çelik parçalar kullanılmıştır. Şekil 2.14'te demir-krom denge diyagramı görülmektedir. Paslanmaz çeliklerin artan krom miktarına bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dirençleri de artmaktadır [13].

Paslanmaz çelikler üç grupta toplanmaktadır. Bunlar;

- 1) Ferritik Kromlu Paslanmaz Çelikler
- 2) Martenzitik Kromlu Paslanmaz Çelikler
- 3) Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çelikler [13]



Şekil 2.14 Fe-Cr (demir-krom) denge diyagramı [13]

Martenzitik çelikler, yüksek sıcaklıklarda sahip oldukları yüzey merkezli kübik kafese sahip ostenitin hızlı soğutma sonucu hacim merkezli tetragonal kafese sahip martenzit yapıya dönüşümü ile elde edilir. Bu çeliklerin içyapısında tavlanmış halde yumuşak ferritik faz da bulunur. Bu gruptaki çelikler %16 ile % 18 krom içeren 440A, 440B ve 440C kaliteleri dışında, en çok %14 krom içerirler [14].

Bu çalışmada kullanılan paslanmaz çelikler X65Cr13 (1,4037), X90CrMoV18 (1,4112) ve X4CrNiMo16-5-1 (1,4418) martenzitik paslanmaz ve X4CrNi 18-12 (1,4303) östenitik paslanmaz çeliklerdir.

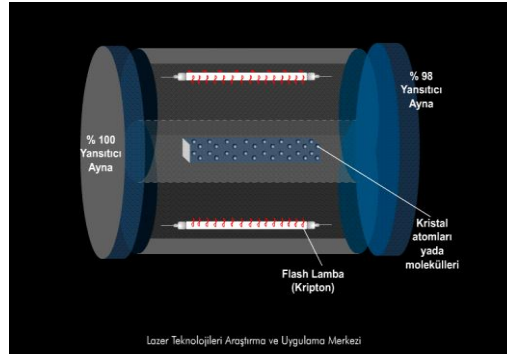
Kullanılan parçaların isimleri ise Valf bilyası (Kugel: KGL), Valf iğnesi (Ventilnadel: VN), Püskürtme parçası (Ventilsitz: VS) ve Valf kovani (ventilhülse: VH) martenzitik paslanmaz çelik ve Yay tutucusu (Federaufnahme: FA) östenitik paslanmaz çeliktir.

BÖLÜM 3

LAZER

Çok şiddetli, koherant ve tek renk ışık elde etmek için geliştirilmiş optik düzeneklere maser ve lazer denir. İlk kez C. H. Townes (1953) tarafından mikrodalga bölgesinde geliştirilen ve Microwave Amplification by Stimulated Emission and Radiation (Kamçılanmış Işıma ile Mikrodalga Yükseltici) kelimelerinin ilk harflerinden yararlanarak kısaca maser adı verilen düzeneklerdir [15]. Daha sonra T. H. Miaman (1960) tarafından “Lazer” uyarılmış ışımanın yayılımı ile ışığın güçlendirilmesi (İngilizce LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) olarak adlandırılmıştır. Lazerler, fotonları uyumlu bir hüzme şeklinde oluşturan optik kaynaklardır [15].

Şekil 3.1 basitleştirilmiş tipik bir lazer şemasını göstermektedir. Buna göre “lazer” tüp düzeneğinin içinde bir ışın kaynağı, bu ışını tetikleyecek flash lambalar (kripton), ışını tek dalga boyunda ve tek bir demet halinde çıkaracak olan %98 ve %100 yansıtıcı aynalardan oluşan bir sistemdir [16].



Şekil 3.1 Basitleştirilmiş tipik bir lazer şeması [16]

3.1 Lazerin Çalışma Prensibi

Lazer ışını genel olarak bir maddenin dışarıdan verilen uyarıcı bir etki ile uyarılarak, etrafa foton yayması sağlanarak elde edilir. Yayılan bu fotonların bir kısmı maddenin içerisinde bulunduğu kabın yüzeylerinden yansiyarak maddeyi oluşturan atomlara çarpar ve yeni fotonların yayılmasına neden olur. Bu şekilde zincirleme devam eden reaksiyonlar sonucunda ortamda eş fazlı ve monokromatik bir ışık oluşur. Çevreleyici kap üzerindeki optik bakımdan geçirgen bir delik yardımıyla oluşan ışının bir kısmı kaptan dışarı çıkartılarak istenilen doğrultuda yönlendirilir.

Lazer ışınının oluşması için gerekli olan dış enerji, genel olarak sisteme kimyasal, elektriksel ve optik olarak iletilir. Günümüzde, endüstride kullanılan en yaygın uyarma yöntemi CO₂ lazerlerde kullanılan yüksek frekanslı elektrik akımı ve katı hal (Nd: YAG ve Ytterbium Fiber vs.) lazerlerde kullanılan flaş lamba ve diyotlardır [16].

3.2 Lazer Işınının Özellikleri

Lazer ışığının önemli özellikleri şunlardır;

- Lazerlerde aynalara dik doğrultuda ışık olduğundan, ışınların yüksek dereceden doğrultu özelliğine sahip olması
- Çok uzak mesafelere kadar açısal çarpılmaya uğramadan gidebilmesi.
- Yüksek derecede uyumluluğa sahip olması
- Enerji aynı frekans değerinde yayıldığından hedeflenen noktada çok yüksek yoğunluğa ulaşabilmesi
- Lazerin tek dalga boyuna (monokromatikliğe) sahip olması

Her lazer kendi karakteristik dalga boyunda ışık yayar. Örneğin Yakut lazeri 6943 Å, He- Ne lazeri 6328 Å, Argon lazeri 5145 Å gibi. Diğer ışık kaynaklarından elde edilen ışığın frekans şeridi 100 Å iken, lazer ışığının frekans şeridi yaklaşık 10⁻³ Å'dur. Yani lazerler normal ışığa göre 10⁵ kat daha fazla monokromatikliğe sahiptir [16].

Bu çalışmada kullanılan paslanmaz çelikler Trumph TruDisk 1000 marka Nd:YAG lazerle (Şekil 3.2) kaynak edilmiştir. Lazer ışınları fiber optik kablolarda belirlenen istasyonlardaki iş parçası üzerine optik kafalar yardımıyla istenen açılarda fokuslanmaktadır. Optik kafaların içinde lazer ışınının kablolar yardımıyla iletilmesini sağlayan lensler vardır. Lazerin kullanmış olduğu parametreler lazer ekranı üzerinden girilir ve bu işlem her istasyon için uygulanır. Fiber optik kablolar yardımıyla istasyona ulaşan yüksek güç yoğunluklu lazer ışını, kaynak yapılması istenen bölgeye odaklanır ve kaynak işlemi gerçekleşir [17].



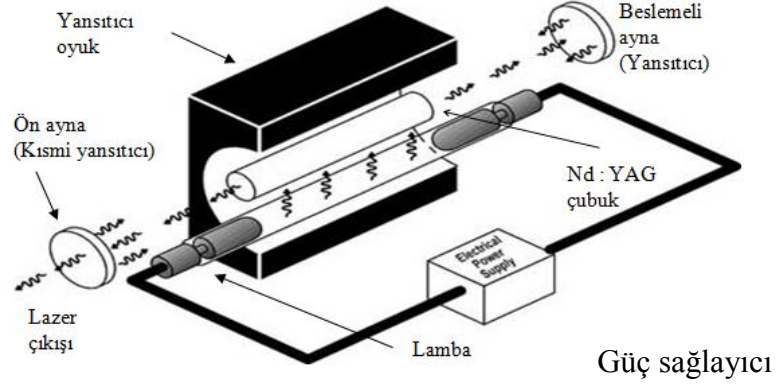
Şekil 3.2 Trumph TruDisk 1000 lazer cihazı [17]

2.3 Nd:YAG Lazer

Neodimyum (Nd) lazerler ana kafes olarak kristal veya cam malzeme içeren ve Nd iyonlarının, Nd^{+3} şekline uyarılmasıyla aktif ortam oluşturulan lazerlerdir. Nd:YAG lazer işlemi pompalamanın sürekli veya aralıklı olmasına bağlı olarak sürekli dalga (CW) veya darbe oluşumlu olarak iki şekilde yapılır. Sürekli dalgada güç çıkışı 150 W ile 6 kW arasında değişir. Yüksek güçlü CW lazerler (2 Kw'a kadar) üç adet Nd:YAG çubuğun tek osilatör şeklinde kullanılıp her çubuğun pompalanmasıyla gerçekleştirilir.

Çok yüksek güçlü lazerler (6 Kw' a kadar) diyot lazerin pompalanmasıyla elde edilir. Oluşan lazer ışın demeti fiber optik kablolarla istenilen bölgeye taşınır [16].

Bu çalışmada parametreleri araştırılan lazer kaynağı sürekli dalga (CW) metoduyla yapılmaktadır.



Şekil 3.3 Nd: YAG lazer çalışma prensibi [16]

Şekil 3.3 Nd:YAG lazerinin genel görüntüsünü ve çalışma şeklini göstermektedir. Burada Nd:YAG çubuğunun uyarılmasıyla ortaya çıkan lazer ışını yansıtıcı oyuk içerisinde %100 yansımali ayna ve %98 yansımali aynalar arasında defalarca gidip gelerek yönlendirilir. Sonuçta düz ve tek bir dalga boyuna sahip olan lazer ışını %98 yansıtıcı aynadan geçerek ortama verilir.

BÖLÜM 4

LAZER KAYNAK

Kaynak ile malzeme birleştirme özellikle metal işlenen sanayilerde çok yoğun olarak kullanılan bir üretim yöntemidir. Levha veya blok malzemeden üretilen nispeten basit parçalar daha sonra kaynak yardımı ile birleştirilerek daha karmaşık şekilli parçalara ulaşılabilinmektedir. Kaynak ile malzeme birleştirmenin temeli, herhangi bir dış enerji kaynağı ile birleştirilecek iki malzemenin birleşim bölgesinin ve eğer varsa dışarıdan eklenecek dolgu maddesinin yüksek enerji ile ısıtılarak malzemelerin eriyip birbirine yapışmasının sağlanmasıdır [18, 19].

Kaynak yapmak için kullanılan dış enerji kaynaklarından bir tanesi lazer ışınıdır. Lazer ışınının diğer enerji kaynaklarından en büyük farkı, kolaylıkla parça üzerinde istenilen noktaya yönlendirilebilmesidir. Bu sayede kaynakla birleştirilecek bölgeye istenilen miktarda enerji lokal olarak uygulanabilmektedir. Lazer kaynağında, lazer ışın üreticinden çıkan yoğunlaştırılmış enerjinin çeşitli optik malzemeler vasıtasıyla iki malzemenin birleşme bölgesinde odaklanıp bu bölgenin aşırı ısınma sonucu eriyerek iki malzemenin birleşmesi esastır. Çeşitli uygulamalarda lazer ışını ile kaynak sırasında ilave malzeme eklenebilir veya lazer ışını diğer konvansiyonel yöntemlerle birlikte, eşzamanlı olarak kullanılabilir [20].

Lazerler, ışını kızıl ötesi dalga boylarından (IR) başlayıp mor ötesi dalga boylarına (UV) kadar uzanan, ışık şiddeti arttırılmış, tek frekansta ve eş fazlı ışınımlardan oluşan ışın demetleridir. Bu nedenle lazer sistemleri, içerisinde depolanan ışın demetlerinin diğer ışın türlerine göre daha uzun mesafelere, kayıp yaşamadan yayma özelliğine sahiptirler.

Yüksek miktarda enerjiyi, yol boyunca önemli kayıplar olmadan taşıyabilme özelliği lazerlerin çok geniş bir uygulama alanına sahip olmasını sağlamıştır. Uygulama alanının genişliği, ışının frekansının hassas bir şekilde kontrolünden, yayılan ışının yayılma düzeninden ve ışının olağanüstü yoğunluğundan kaynaklanmaktadır [20].

Lazer kaynağı endüstriyel uygulamalar için kullanılan en son yöntemlerden biridir. Lazer kaynağı teknolojisi ile alüminyum, bakır, krom, çelik, platin, titanyum gibi malzemeler kaynak edilebilir. Lazer ışını kaynağı yüksek enerji yoğunluklu bir kaynak prosesidir [21].

Lazer ışını sadece bir ışıktır. Işın demetinin bir dalga boyu vardır ve belirli bir fazdadır. Işın demetinin belirli bir fazda olması tüm parçacıkların ya da dalgaların birlikte hareket etmesi anlamına gelir. Lazer kaynağı eşsiz bir termal enerji kaynağı olarak da düşünülebilir. Yoğunluk kontrol edilebilirdir. Kaynak yapmak için, lazer ışını küçük boyuttaki bir noktaya fokuslanır ve yüksek güç yoğunluğu üretir. Bu güç yoğunluğu işlem uygulanan metali eritir, penetrasyon durumunda kaynak gerçekleşir ve daha sonra iş parçasının bir kısmı buharlaşır. Eriyen metalin oksitlenmesini önlemek için koruyucu gaz kullanmak gerekir. Lazer ışın demeti ve koruyucu gaz kenarlara açılan delikler ile iş parçası üzerine yönlendirilebilir. Bu amaçla en yaygın olarak Argon veya Helyum gazlarının CO₂ gazı ile karışımı kullanılmaktadır [21].

Lazer kaynağı diğer konvansiyonel kaynak yöntemleriyle karşılaştırıldığında birçok avantaja sahiptir. Ark kaynaklarında iki malzemenin birleştirilmesi için gerekli olan ısı, malzeme ile kaynak elektrodu arasında yaratılan yüksek elektrik akımı sayesinde sağlanmaktadır. Bu elektrik akımı çeşitli nedenlerle çok hassas olarak malzeme birleştirme noktasına odaklanamamaktadır. Bu odaklanamama nedeniyle malzeme üzerine, kaynak yapılacak malzemenin eritilmesi için gerekli olan enerjinin çok fazlası uygulanmak zorunda kalınmaktadır.

Uygulanan yüksek miktarda enerjinin büyük bir kısmı, malzeme üzerinde kaynak sırasında birleşmeyen bölgelerin de ısınmasına yok açmaktadır. Malzeme üzerindeki bu gereksiz ısınmalar fazla enerji nedeniyle hızın düşmesine ve yüzeyin aşırı ısınıp malzemenin mekanik özelliklerinin bozulmasına yol açmaktadır.

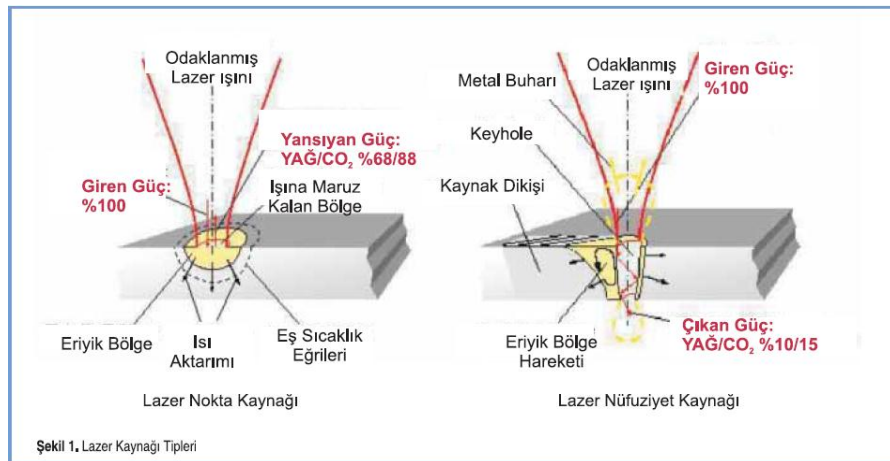
Lazer kaynağında ise lazer ışını çok daha hassas olarak malzemelerin birleşme bölgesine odaklanabilmektedir.

Bu sayede hem kaynak için gerekli olan enerji miktarı azalmakta, dolayısıyla kaynak hızı yükselmekte hem de malzemenin kaynakla birleştirilen bölgesi dışındaki bölgelere gereksiz ısı yük uygulanmamaktadır. Bu da malzemelerin mekanik özelliklerinin değişmemesini ve görsel açıdan malzemenin korunmasını sağlamaktadır [22].

Bunların dışında lazer ışını ile kaynağın avantajları şunlardır:

- Otomasyona olan uygunluğu çok iyidir.
- Lazer temiz bir enerji kaynağıdır.
- Kaynak işlemi dolgu malzemesi kullanılmadan/kullanılarak gerçekleştirilebilir.
- Kaynak hızı yüksektir.
- Aynı ve farklı metaller kaynatılabilir.
- Optik olarak geçirgen (şeffaf, saydam) materyallerin yardımıyla kaynak ortamındaki hava şartları kontrol edilebilir [9, 22, 28].

Lazer kaynağı iki tipte olabilmektedir. Bu tipler “lazer nüfuziyet (derinlemesine) kaynağı” ve “lazer nokta (iletimle) kaynağı”dır. Bu iki kaynak çeşidi arasındaki temel fark, iletimle kaynak sırasında kaynak havuzunun kapalı, derinlemesine kaynak işleminde açık olması ve lazer demetinin daha derine etki etmesidir. Şekil 4.1’de bu iki tip kaynak gösterilmiştir.

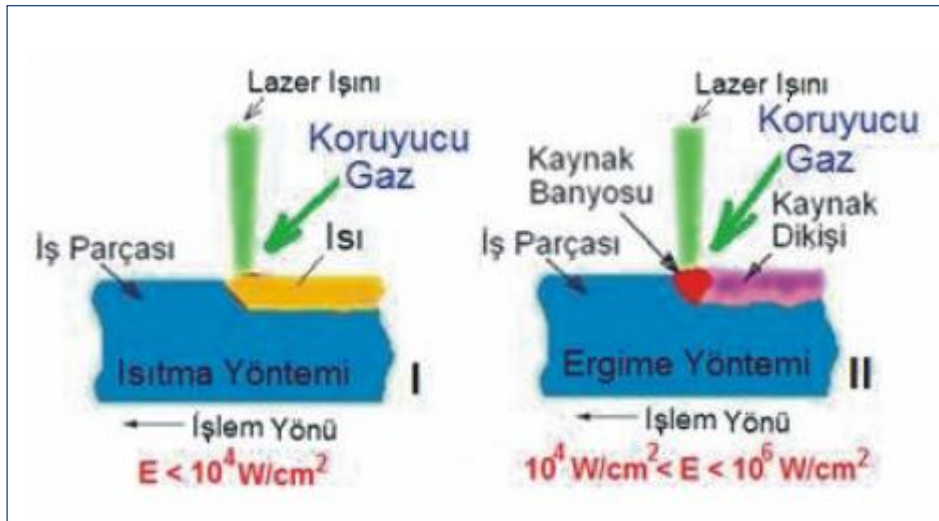


Şekil 4.1 Derinlemesine ve iletimle yapılan lazer kaynağın paslanmaz çelikler üzerinde kaynak derinliğine olan etkisi [22]

4.1 İletimle Lazer Kaynak

İletimle kaynak işleminde kaynak derinliği çok fazla olmadığında ince metallerin birleştirilmesinde kullanılan bir tekniktir. Bir lazer demeti, odaklama sistemleri (küresel aynalar, mercekler) kullanılarak malzeme yüzeyi üzerine düşürülür. Odak pozisyonu genelde malzemenin yüzeyi üzerinde veya malzemenin içinde olacak şekilde ayarlanır. Gelen ışığın bir kısmı madde yüzeyi tarafından soğurulurken bir kısmı geri yansır. Metaller ve çoğu malzemeler ışık geçirmez olduğu için malzeme içine ışık geçişi olmaz. Soğurulan enerji malzemenin yüzeyinde depolanır ve iletkenliğe bağlı olarak malzeme içinde dağılır. Bu işlem ince metaller için malzeme kalınlığı boyunca hızlı bir şekilde meydana gelir, bu nedenle sıcaklığın derinlik boyunca düzenli olarak yayıldığı kabul edilir. İletimle kaynak işlemi, laser şiddetinin malzemeyi kaynatmaya yeterli olmadığı, eritmeye yeterli olduğu durumlarda gerçekleşir. Maksimum kaynak derinliğine, malzeme yüzey sıcaklığının, kaynama noktasının hemen altında olduğu sıcaklıklarda erişilir.

Şekil 4.2’de de görüldüğü üzere malzeme tarafından soğurulan enerji yerel olarak ısınmaya neden olur. Yeterli enerjiye ulaşıldığında malzeme erir ve laser demeti hareket ettirildiğinde eriyik soğumaya başlar ve katılaşır, böylece birleştirme sağlanmış olur [22, 23, 24, 25, 26, 27].



Şekil 4.2 İletimle lazer kaynak ısınma ve ergime görüntüsü

4.2 Derinlemesine Nüfuz Eden Lazer Kaynak (Anahtar Deliği Prensibi)

Lazer ışın demetini bir tarafa doğru hareket ettirecek olursak, deliğin cidarına temas eder ve enerjisini salar. Delik geçici olarak uzamış hale gelir. Işının terk ettiği alandan ısı kaybı olur ve deliğin arka cidarındaki metalin bir kısmı katılaşır. Ön taraftan eriyen metal, yüzey geriliminin etkisiyle, dairesel kesiti yeniden oluşturmak üzere deliğin çevresine doğru akar. Işın levha boyunca hareket ederken, bu sıvılaşma ve katılaşma olayları deliğin şeklini üniform halde tutacak tarzda düzenli olarak ilerler. Hareketin tamamlanmasından sonra, ışının hareket doğrultusu ve levha kalınlığı boyunca ince bir metal bandı oluşur [27].

Tanımlanan bu işlemler dizisine "derinlemesine nüfuz eden kaynak " veya "anahtar deliği prensibi ile kaynak " adı verilir. Derinlemesine nüfuz eden kaynak yöntemi özellikle kalın saçların kaynak edilmesi için uygun bir yöntemdir [22].

LAZER KAYNAK PARAMETRELERİ

Bu tez çalışmasında ele alınan lazer kaynağının kalitesini etkileyen parametreler şunlardır:

- 1) Lazer ışının gücü
- 2) Lazer kaynak koruma gazı
- 3) Kaynak metalinin soğuma süresi
- 4) Lazer kaynak hızı
- 5) Lazer ışınının odak yeri
- 6) Salgı ve Eksen (Mekanik Parametreler)

5.1 Lazer Işınının Gücü

Lazerin gücü kaynağın nüfuziyetini doğrudan etkileyen bir parametredir. Lazerin ışınının gücü arttıkça kaynağın nüfuziyet derinliği de artar. Lazer ışınının gücü ışının çapıyla da doğrudan ilişkilidir. Işının çapının artması gücü ve dolayısıyla da kaynağın nüfuziyetini arttırır. Lazer ışınının gücü ve çapı ışının parça üzerinde yaptığı izin çapını da etkilemektedir. Lazer ışının yaptığı izin çapının artması dikiş geometrisinde bozukluklara, sıçramalara, çatlaklara ve porlara neden olur.

Malzeme üzerinde bir işlem yapmak için lazer cihazının gücünden daha ziyade, malzemeye uygulanan güç yoğunluğu önemlidir. Lazer ışınının güç yoğunluğu (Pd), birim alana düşen ışın demet gücüne denir.

Lazer ışınlarının uyumluluğu (Coherence), ve ışın demetinin odaklanabilmesi çok büyük güç yoğunluğunun elde edilmesini mümkün kılmaktadır [9].

$$P_d = 4P_{in} / \pi D_b^2 \quad (5.1)$$

Burada P_d : Odaklanmış güç yoğunluğu, P_{in} : Işın demetinin gücü, D_b : Odak leke çapıdır.

Derinlemesine nüfuz eden kaynak modunun başlangıcında, anahtar deliği formunu elde etmek için malzemeye yeterince güç yoğunluğunun uygulanması gerekir.

Denklem (5.1)'de görüldüğü gibi güç yoğunluğu, lazer ışın demetinin gücü ve ışın demetinin odak çapına bağlıdır. Nüfuz derinliği güç yoğunluğunun azalması ve ışın demetinin odak leke çapının artması ile düşer. Mevcut lazerler, termik imalat için gerekli olan güç yoğunluklarını sağlayabildikleri için, materyaller üzerinde kesme, dar bölgede eritme ve başka ısı işlemlerin yapılmasını mümkün kılmaktadırlar [28].

5.2 Lazer Kaynak Koruma Gazı

Lazer kaynak işlemlerinde kullanılan koruyucu gaz, kaynak işlemini kararlı hale getirmek ve ergimiş metalin atmosferde bulunan gazlarla etkileşimini önlemektir. Havada bulunan Oksijen kaynak bölgesine nüfuz ederek oksitlenmeye, Azot, Hidrojen gibi gazlar da yapıda istenmeyen mekanik değişimlere neden olur. Kullanılan gazın kimyasal içeriğinin yanı sıra gazın akış geometrisinin de kaynak kalitesi üzerinde çok fazla etkisi vardır [22].

Koruma gazı kaynakta şekil, penetrasyon, verimlilik gibi birçok parametreyi etkiler. Lazer kaynakta koruma gazı plazmanın önlenmesini ve istenilen kaynak derinliğinin elde edilmesini sağlar. Ayrıca lazer kaynak prosesi boyunca oksitlenme problemiyle karşılaşilmektedir. Koruma gazı oksitlenme problemine karşı kaynağı korur.

Gazın debisi ve akış yönü de kaynağın kalitesi açısından önemlidir. He gibi hafif gazlar daha yoğun olan N_2 ya da Ar gazlarına göre daha iyi koruma sağlarlar. Özellikle CO_2 lazer kaynağında He'un çok iyi iyonlaşabilme özelliği sayesinde malzeme ve lazerin etkileşimi daha iyi olur ve kaynağın verimi artar [7].

5.3 Kaynağın Soğuma Süresi

Lazer kaynak prosesinde ısı işlemin etkisi önemlidir. Hızlı soğutma ya da ön ısıtma gibi süreçler kaynak kalitesine etki eden parametrelerdir. Çok hızlı soğutma süreci kaynak dikişinde porozite, çok fazla kalıntı gerilme, aşırı sertleşme ve çatlak oluşumu gibi problemlere sebep olabilir [8].

Soğuma süresi nedeniyle karşılaşılan en sık hata kaynakta oluşan çatlamlardır. Çatlaklar, genellikle iki boyutlu yani düzlemsel uzanan sınırlı malzeme ayrılmalarıdır. Büyüklüklerine göre makro ve mikro çatlaklar, konumlarına göre boylamasına, enlemesine ve uç krater çatlakları, tane doğrultularına göre taneler içi veya taneler arası, oluşum şartlarına göre sıcak çatlaklar, soğuk çatlaklar, katılama çatlağı, erime çatlağı, büzülme çatlağı, sertleşme çatlağı, hidrojen çatlağı ve lameler çatlak gibi türleri mevcuttur.

Sıcak çatlaklar lazer kaynak prosesinde en çok karşılaştığımız hata şeklidir. Solidüs (katılama) sıcaklığı bölgesinde veya dar katılama aralığında oluşurlar. Nedeni, tane segregasyonu yani katı taneler arasında düşük sıcaklıkta eriyen maddelerin toplanması ve bunların çekme gerilmelerine dayanamayıp ayrılmasıdır. Sıcak çatlaklar daha çok tane sınırları boyunca uzanır; bu nedenle taneler arası bir yapıdadır [29].

5.4 Lazer Kaynak Hızı

Lazer kaynak hızı yavaş olduğunda ergiyik metal havuzunda akış yönü dışa doğru oluşur ve bu akış soğuma sonrası kaynak yüzeyinde çökme oluşturur. Yüksek kaynak hızlarında ise ergiyik metal havuzu içe doğru akar ve soğuma sonrası kaynak yüzeyi üzerinde tümsek oluşmasına neden olur [11].

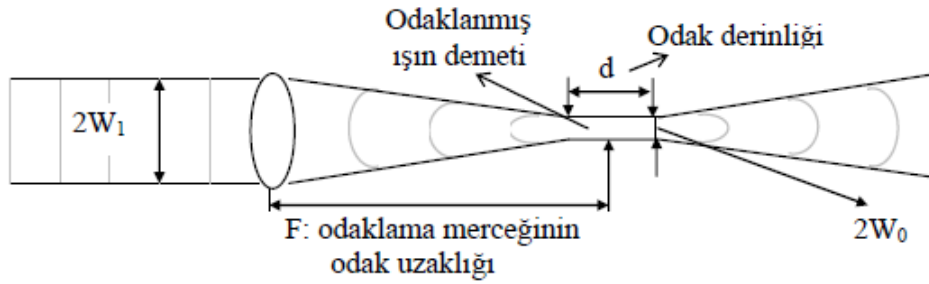
Lazer kaynak hızı arttıkça elde edilen kaynak derinliği azalır, aynı zamanda porozite oluşma ihtimali artar. Kaynak hızının düşmesi malzemeye ısı girdisini artırdığından kaynak derinliği de buna paralel olarak artar [10].

5.5 Lazer Işınının Odak Yeri

Birçok işlemlerde çok küçük bir alana yüksek bir güç yoğunluğunun uygulanması gerekir. Lazer ışın demetinin mikronluk bir alana odaklanabilir olması, bu talebi karşılayan teknolojik araçlar arasında lazerlerin bir ayrıcalığa sahip olmasını sağlamaktadır. Lazer ışın demetinin odaklanma kalitesi, çaprazlama elektromanyetik moduna (Transverse Electro-magnetic Mode: TEM) bağlıdır. İdeal bir lazer ışın demetinin kesitindeki enerji dağılımı Gausyendir. Gerçek bir lazerin elde edildiği optik çukurun özelliklerine bağlı olarak demet kesitindeki enerji dağılımı Gausyenlikten sapmalar göstermektedir [28].

Lazer demetinin ideal durumdan sapması demet kalitesi olarak tanımlanır ve M^2 ile sembolize edilir. TEM, lazer ışın demetinin kesiti boyunca enerji dağılımını karakterize etmektedir. TEM_{0,0}, $M^2 = 1$ olan ideal bir Gausyen demettir ve çok küçük bir leke çapında odaklanarak en yüksek güç yoğunluğu sağlamaktadır.

Şekil 5.1’de lazer ışın demetinin odaklanması gösterilmiştir. TEM₀₀ modunda üretilen ve Gausyen dağılıma sahip olan bir ışın demeti odaklandığında elde edilen odak leke çapı Denklem 5.2’den hesaplanabilir.



Şekil 5.1 Lazer ışın demetinin odaklanması

$$W_0 = \frac{\lambda f}{\pi W_1} \quad (5.2)$$

Burada Denklem 5.2’de; λ : Işın demetinin dalga boyu, f : Odaklama merceğinin odak uzaklığı, W_1 : Merceğe çarpan demetin yarıçapı, W_0 : Merceğin odak uzaklığında meydana gelen lekenin yarıçapıdır.

Lazer demet kalitesinin $M^2 > 1$ olması durumu düşük kalite veya yüksek dereceli demet olarak adlandırılır. Pratikte lazer kaynaklarının çoğunda M^2 değeri 1'den büyüktür. Odaklanan lazer ışının demet çapı (D_b); lazer ışınının dalga boyu (λ), lazer ışın demetinin odaklanabilirliği (M^2), merceğin odak uzaklığı (f) ve odak mesafesinde elde edilen lekenin çapı (D) değişkenlerine bağlı olarak hesaplanabilir. Aralarındaki ilişki Denklem 5.3'de verilmiştir [28].

$$D_b = M^2 \frac{4\lambda f}{\pi D} \quad (5.3)$$

BÖLÜM 6

LAZER KAYNAK PARAMETRELERİ İÇİN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında kullanılan paslanmaz çelikler X65Cr13 (1,4037), X90CrMoV18 (1,4112) ve X4CrNiMo16-5-1 (1,4418) martenzitik paslanmaz ve X4CrNi 18-12 (1,4303) östenitik paslanmaz çeliklerdir¹. Çizelge 6.1’de kullanılan malzemelerin içerikleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Kullanılan parçaların elementel içerikleri

Paslanmaz Çelikler	% C	% Cr	% Ni	% Mn	% Si	% P	% Mo
X65Cr13 (1,4037)	0,58-0,7	12,5-14,5	-	≤1.00	≤1.00	0,04	-
X90CrMoV18 (1,4112)	0,85-0,95	17,0-19,0	-	≤1.00	≤1.00	≤0.040	0,90-1,30
X4CrNiMo 16-5-1 (1,4418)	≤0.06	15.0-17.0	4.00-6.00	≤1.50	≤0.70	≤0.040	0.80-1.50
X4CrNi18-12 (1,4303)	≤0.06	17.0-19.0	11.0- 13.0	≤2.00	≤1.00	≤0.045	-

¹: Burada X65Cr13 şeklindeki tanımlamalar uluslararası DIN standardını gösterirken; 1,4037 şeklindeki sayılar ise bu çeliklerin malzeme numarasını göstermektedir.

Bu çalışmada kullanılan paslanmaz çelikler Trumph TruDisk 1000 marka Nd:YAG lazer cihazıyla kaynak edilmiştir. Valf iğnesi-Valf bilyası (KGL-VN) çiftinin kaynağı (Şekil 2.8) üzerine yoğunlaştırılmıştır. Ancak koruma gazı, fokus ve lazer kaynak hızı gibi parametrelerin incelenmesinde başka parçaların kaynakları da (Şekil 2.9) araştırılmıştır.

Kaynak işlemi özel olarak dizayn edilmiş kaynak istasyonlarında (Şekil 2.12 ve Şekil 2.13) gerçekleştirilmektedir. Kullanılan lazer ışığının dalga boyu 1030 nm dir. Minimum lazer gücü 30 W, maksimum lazer gücü ise 1000 W değerindedir. İşlemin gerçekleşme süresi 1-1,5 saniye arasında değişmektedir.

Leica ışık mikroskopuyla (Leica DM4000M) metalografik yöntemlerle hazırlanan numunelerin görüntüleri alınmıştır. Dağlama işlemi için ise Adler asidi (Adler solüsyonu: 60 g Ferrik Klorit Hegzahidrit ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), 12 g Bakır Amonyum Klorit ($(\text{NH}_4)_2[\text{CuCl}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 100 ml su (H_2O), 200 ml HCl (hidroklorik asit)) kullanılmıştır. Numune hazırlama ve mikroskopta inceleme işleminden sonra malzemenin sertliğini ölçmek için Micro Hardness Tester Shimadzu (Shimadzu HMV-2) marka mikrosertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Sertlik kaynak bölgesinden başlanarak dış yüzeye doğru belirli aralıklarla ölçülmüştür. Böylece kaynak bölgesi ve kaynak olmayan bölge arasındaki sertlik değerleri farkı kolaylıkla incelenmiştir.

6.1 Lazer Kaynak Gücü

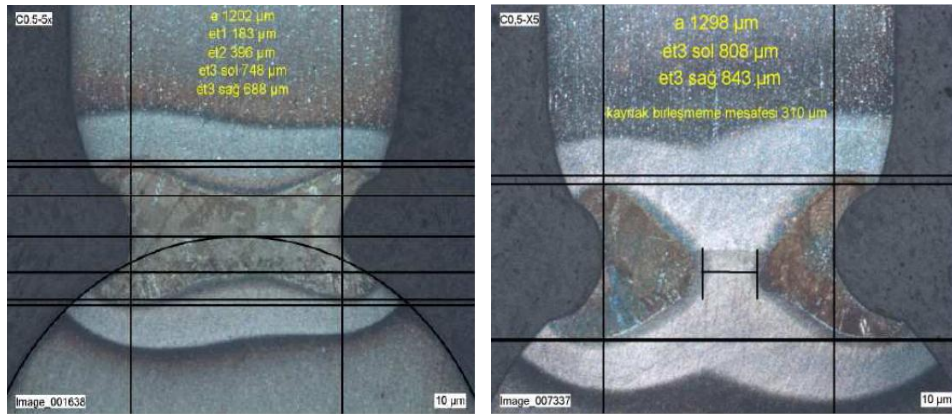
Güç kaynakta en önemli parametrelerden biridir. Kaynakta nüfuziyete direk etki eder. Aşırı ya da yetersiz güç uygulanması durumlarında çeşitli hatalar ortaya çıkar. Aşırı güç verilmesi kaynakta malzeme sıçramasına yol açabileceği gibi yetersiz güç yoğunluğu da kaynak birleşmemeye sebebiyet verir.

6.1.1 Kaynak Birleşmeme

Kaynak birleşmeme kaynak yapılan parçalara göre görsel olarak nispeten değişmekle birlikte kaynağın yeterli nüfuziyet derinliğine ulaşamaması olarak tanımlanabilir. Yapılan denemeler sonucu kullandığımız martenzitik paslanmaz çelik parçalarda 275 W ve daha az lazer gücünün altında çalışıldığında kaynak birleşmeme olduğu görülmüştür.

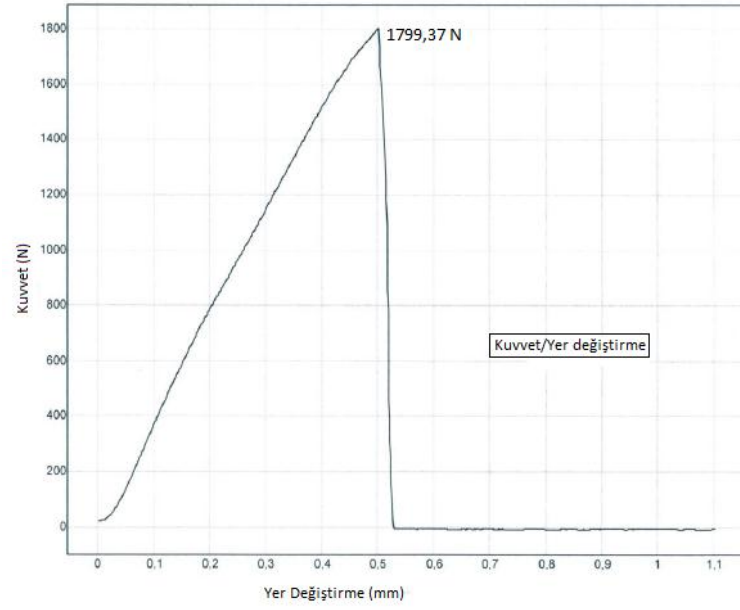
Lazer kaynak gücünün mekanik özelliklere de etkisi vardır. Kaynak birleşmiş ve birleşmemiş parçaların çekme testi değerleri incelendiğinde ciddi farklılıklar gözlemlenmektedir. Tam nüfuziyet sağlanmış parçalarda 1600-1900 N aralığında çekme değerleri elde edilirken kaynak birleşmesi tam olmayanlarda ise bu değerler 1300-1500 N aralığında seyretmektedir.

Şekil 6.1’de kaynak birleşmiş ve kaynak birleşmemiş olan KGL-VN parçaları görülmektedir. 2. parçada 310 μm kaynak birleşmeme görülmüştür.

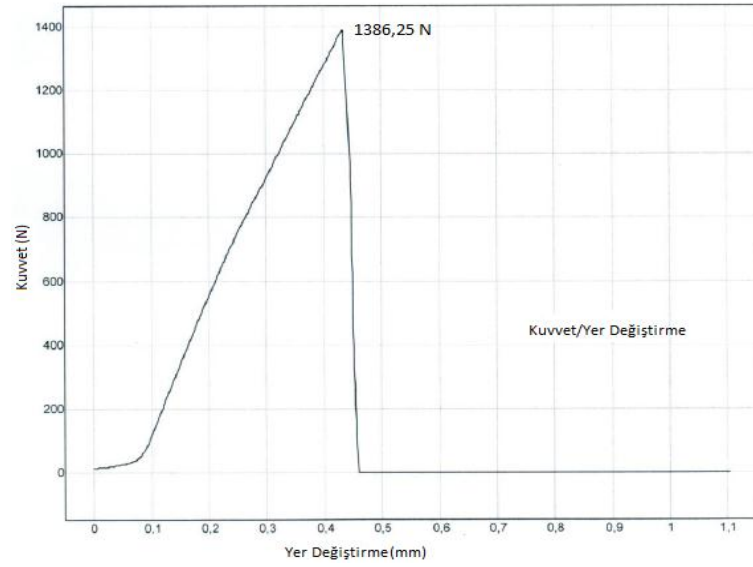


Şekil 6.1 Kaynak birleşmiş ve kaynak birleşmemiş KGL-VN çiftinin görüntüsü

Aynı prosesten alınan iki parçanın çekme testi değerleri Şekil 6.2 (kaynak birleşmiş) ve Şekil 6.3’te (kaynak birleşmemiş) görülmektedir. Çekme testi yapılan parçanın kaynak bölgesinden koptuğu bilinmektedir. Parçada belirgin bir süneklik gözlemlenmemektedir. Kaynak birleşmiş olan parçada kuvvet-yer değiştirme aralığı daha uzun ve çekme mukavemeti değeri oldukça iyidir.

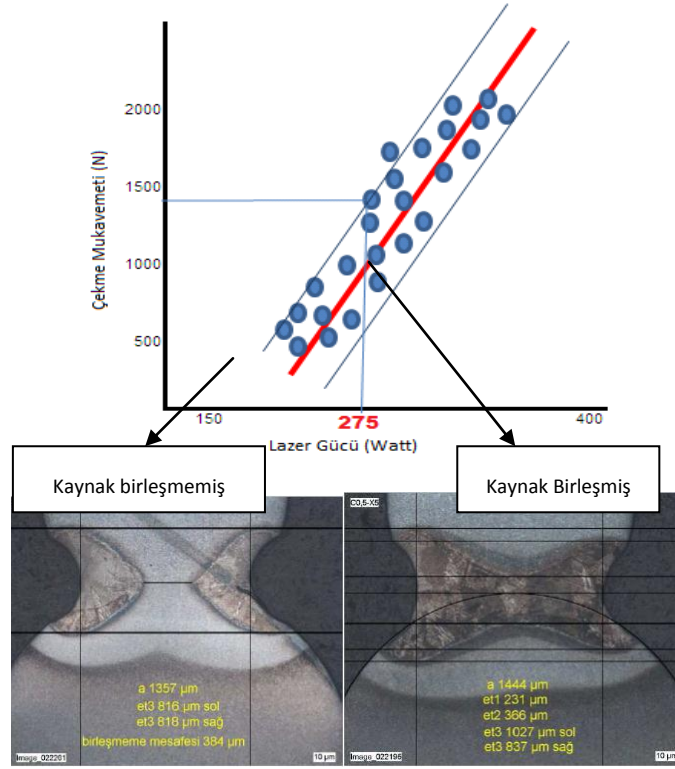


Şekil 6.2 Kaynak birleşmiş KGL-VN parçasının çekme testi grafiği



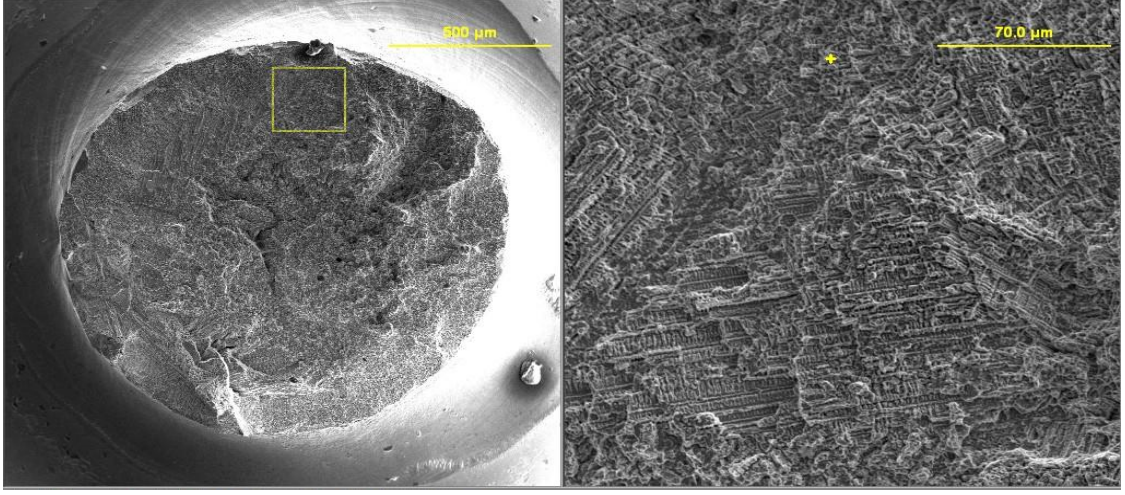
Şekil 6.3 Kaynak birleşmemiş KGL-VN parçasının çekme testi grafiği

Şekil 6.4'ü incelediğimizde optimum lazer gücü olan 275 W'tan daha az güçte çalışıldığında kaynak birleşmeme meydana geldiğini görmekteyiz. Aynı zamanda kaynak birleşmeme ve çekme mukavemetinin doğru orantılı olarak değiştiği görülmektedir.

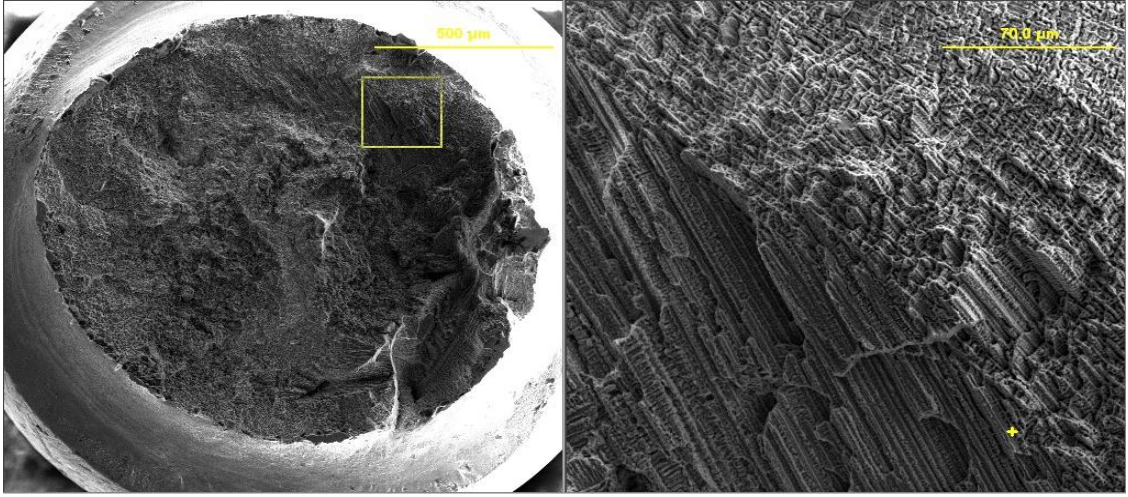


Şekil 6.4 KGL-VN parçasının kaynağında güç, kaynak nüfuziyeti ve çekme mukavemeti arasındaki ilişki

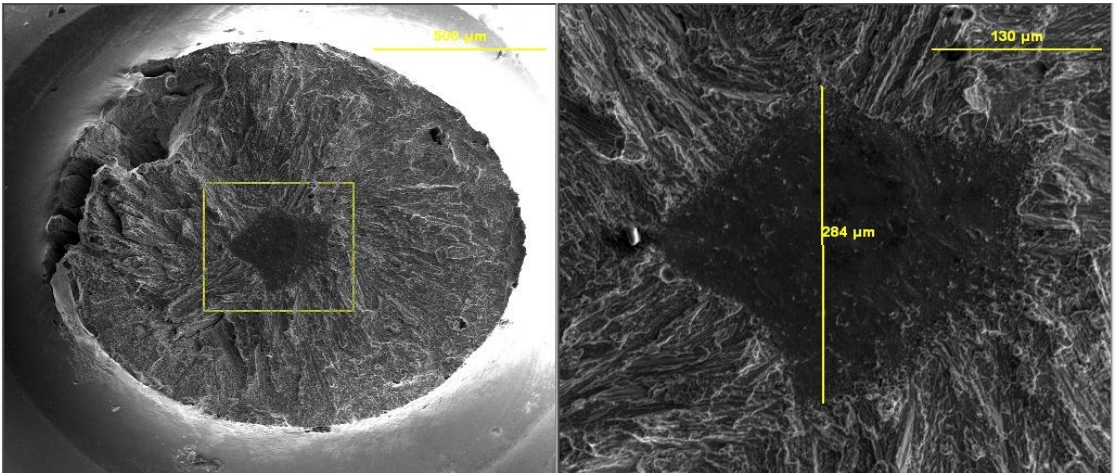
Şekil 6.5 ve 6.6 kaynak birleşmiş parçanın çekme testi sonrası SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüsüdür. SEM görüntüsünde kaynak bölgesinin genel görüntüsü ve aynı zamanda kare içine alınan detay görüntüsü verilmiştir. KGL ve VN parçaları ayrı ayrı incelenmiştir. Katılaşmanın kaynağın tamamında orta ve iri taneler şeklinde olduğu görülmektedir. Katılaşan mikroyapı boylamasına büyüyen eş eksenli taneler görünümündedir.



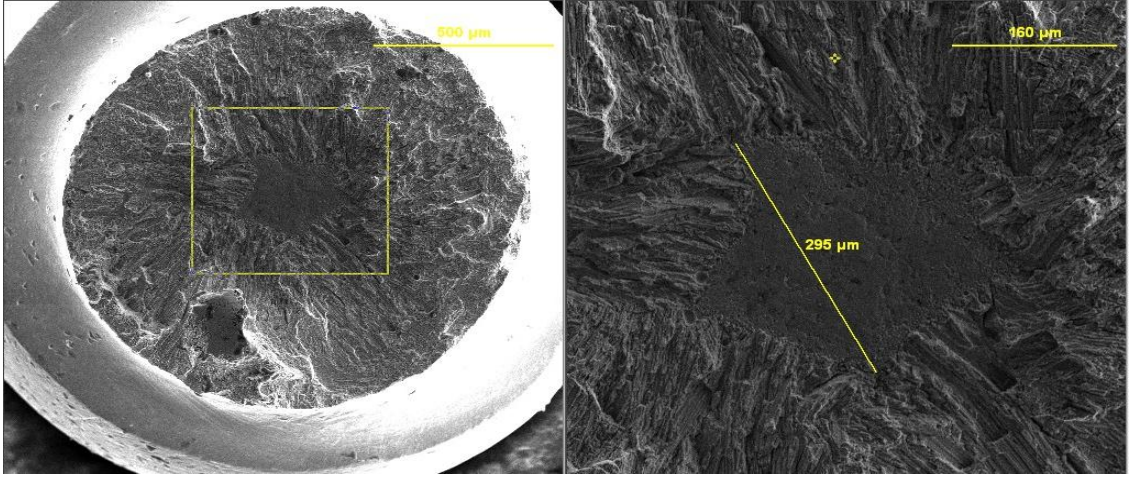
Şekil 6.5 KGL (Valf bilyası) kaynak birleşmiş parçanın SEM görüntü



Şekil 6.6 VN (Valf iğnesi) kaynak birleşmiş parçanın SEM görüntüsü



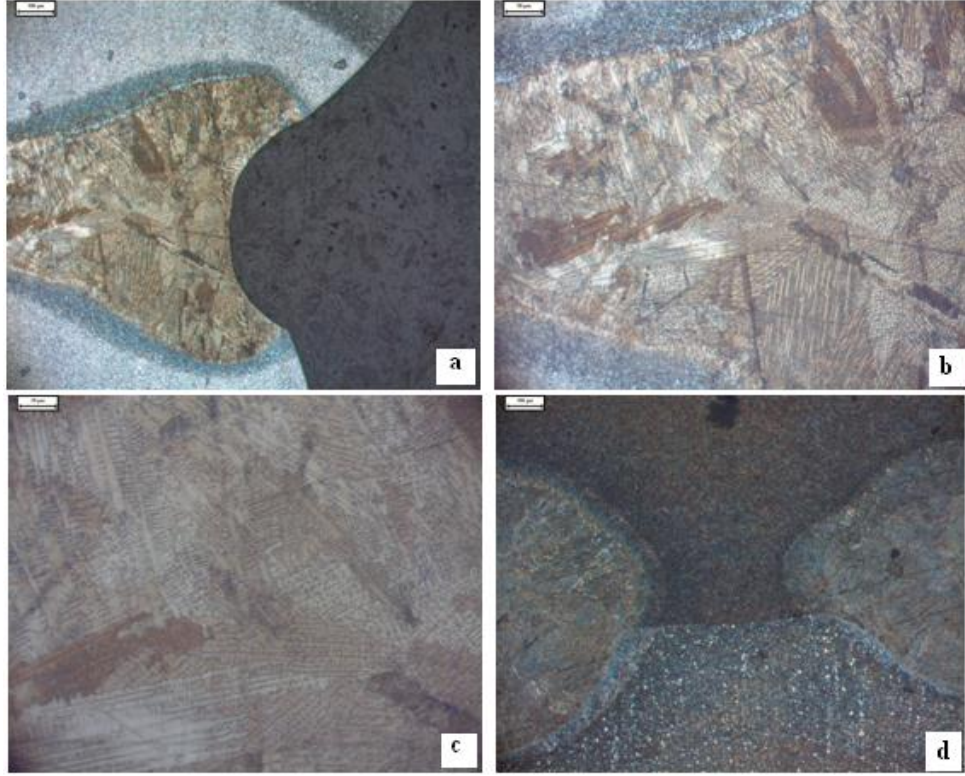
Şekil 6.7 KGL kaynak birleşmemiş parçanın SEM görüntüsü



Şekil 6.8 VN kaynak birleşmemiş parçanın SEM görüntüsü

Şekil 6.7 ve 6.8 KGL-VN kaynak birleşmemiş parçalarının çekme testi sonrası alınan SEM görüntüleridir. Kaynak birleşmemiş bölge (kare içine alınan koyu alan) açıkça seçilmektedir. Bu bölgede ergime ve dönüşüm olmadığı faz farkından belli olmaktadır. Kaynağın olduğu bölgelerde ise kaba bir mikroyapı oluşmuştur. Ayrıca yüzey yapısına bakarak kaynağa göre daha gevrek bir kırılmaya uğradığını söyleyebiliriz.

Kaynak birleşmemiş parçaların benzer şekilde ışık mikroskopunda (Leica) 50X büyütmelemlerde hem kaynak hem de ısı etki alanlarının görüntüleri alınmış ve benzer şekilde mikroyapılar gözlemlenmiştir. Şekil 6.9 kaynak birleşmemiş KGL-VN parçalarının ışık mikroskobu görüntüleridir.



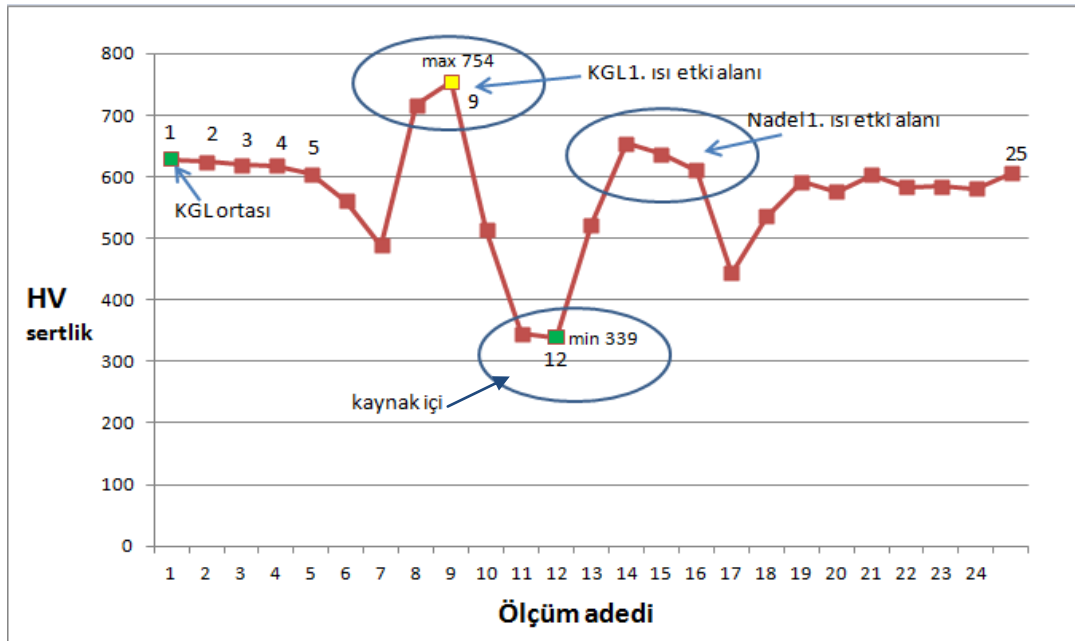
Şekil 6.9 Kaynak birleşmemiş KGL-VN parçasının ışık mikroskobu (Leica) görüntüsü
a) kaynak sol genel görüntüsü b) sol kaynak büyütülmüş detay görüntüsü c) kaynak
merkezi görüntüsü d) kaynak birleşmemiş bölgenin genel görüntüsü

Kaynak birleşmemiş parçaların ışık mikroskobu görüntülerine baktığımızda (Şekil 6.9) iri taneli bir yapı görmekteyiz. Taneler belli bir yönde dizilmişlerdir ve eş eksenli büyüme göstermişlerdir. Isıl etki alanlarının ise daha küresel ve yine eş eksenli taneler şeklinde dağıldığını gözlemlemekteyiz. Isıl etki alanlarında intermetalik bileşiklerin olduğu görülmektedir.

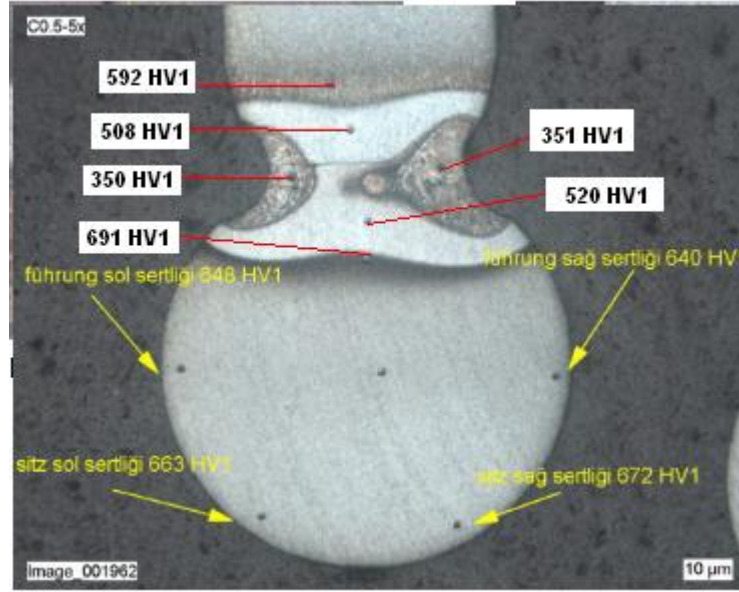
KGL-VN kaynak birleşmiş iyi parçadan ve KGL-VN kaynak birleşmemiş parçadan sertlik ve mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Şekil 6.10 KGL-VN kaynak birleşmiş iyi parçanın sertlik alınan bölgelerini göstermektedir. Şekil 6.11 ise alınan sertlik değerlerinin grafiğini göstermektedir. Bu grafiğe göre en düşük sertlik değeri kaynak bölgesindeyken KGL ve VN 1. ısı etki alanı bölgelerinin sertliklerinin çok daha yüksek olduğu görülmektedir. KGL ve VN kaynaksız parçaların ayrı ayrı orta nokta sertlik değerleri ise: KGL:632, VN:634 HV'dir.



Şekil 6.10 KGL-VN kaynak birleşmiş parçanın sertlik ölçümü alınan 25 bölgesi



Şekil 6.11 Kaynak birleşmiş KGL-VN iyi parçanın sertlik grafiği



Şekil 6.12 KGL-VN kaynak birleşmemiş parçanın sertlik ölçüm bölgeleri

Şekil 6.12 KGL-VN kaynak birleşmemiş parçanın sertlik ölçüm yerlerini göstermektedir. Buna göre Sitz sağ ve sol sertlikleri olarak belirtilen bölgeler KGL'in uç kısmından alınmıştır. Kaynak bölgesine ve ısı etkiye en uzak yerdir. Führung sağ ve sol sertlik değerleri ise KGL merkezine ve kaynağa daha yakın bölgelerdir. Führung kısımlarında sertliğin uç (KGL (Valf bilyası) Sitz) bölgesine göre daha düşük değerlerde olduğunu görmekteyiz.

Şekil 6.12'deki kaynak birleşmemiş parçanın belirlenen yerlerinden alınan sertlik değerleri şöyledir:

Sol kaynak içi sertliği:350 HV1, sağ kaynak içi sertliği 351 HV1, KGL 1. ısı etki alanı 520 HV1, KGL 2. ısı etki alanı 691 HV1, VN 1. ısı etki alanı 508 HV1 ve VN 2. ısı etki alanı 592 HV1'dir.

Bu değerlere bakarak 2. ısı etki alanının en fazla sertliğe sahip olduğunu görüyoruz. 1. ısı etki alanı ise orta noktalardan daha düşük sertliğe sahiptir. Kaynak içi sertliği ise en düşük değere sahiptir. Hem KGL hem de VN martenzitik paslanmaz çeliklerdir ve tek başlarına oldukça sert malzemelerdir. Kaynak işleminden sonra kaynak bölgesinde bir dönüşüm olmaktadır. Kaynak bölgesi en düşük sertliğe sahip olmaktadır.

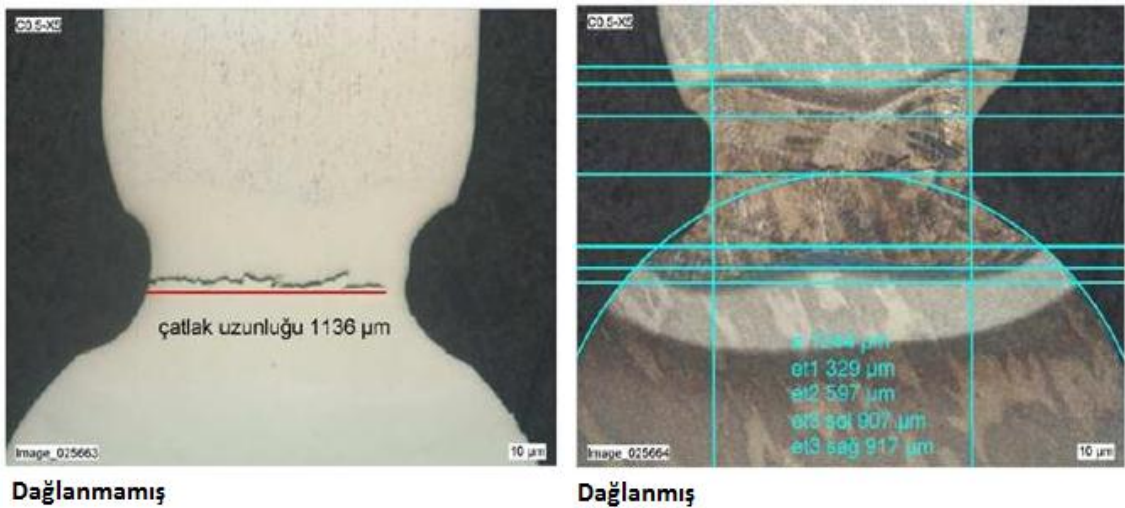
Isıl etki alanları daha çok eş eksenli küresel taneciklerden ve intermetalik bileşiklerden oluşmaktadır. Bu eş eksenli küresel taneciklerin sertlik değerini artırdığı düşünülmektedir.

6.2 Kaynak Metali Soğuma Hızı

Lazer kaynakta soğuma hızı kaynağın kalitesine direk etki eden parametrelerden biridir. Çok hızlı soğutmalarda kaynakta çatlak oluşma riski artar. Kaynak metali soğuma esnasında katılaşırken birçok metalurjik dönüşüm geçirir. Çok hızlı soğuma seviyeleri kaynakta martenzit oluşumunu tetikleyeceği gibi hızlı büyüyen taneler iri, uzun “dendrit” dediğimiz yapıyı oluşturur. Bu yapının soğuma esnasındaki iç ve dış gerilmelere karşı direnci düşüktür. Bu nedenle hızlı soğumaya tabi tutulan lazer kaynaklanmış parçalarda çatlama riski oldukça fazladır.

6.2.1 Kaynak Çatlaması

Seri üretimde sıklıkla karşılaşılan sıcak çatlaklar en önemli kaynak hatalarındandır. Çatlak oluşumu için yapılan metalografik incelemeler şekil 6.13’te ki gibidir. Parçalar dağlanmış ve dağlanmamış olmak üzere iki şekilde incelenmiştir ve çatlakların kaynağın içinde boyuna boyunca devam ettiği görülmektedir.



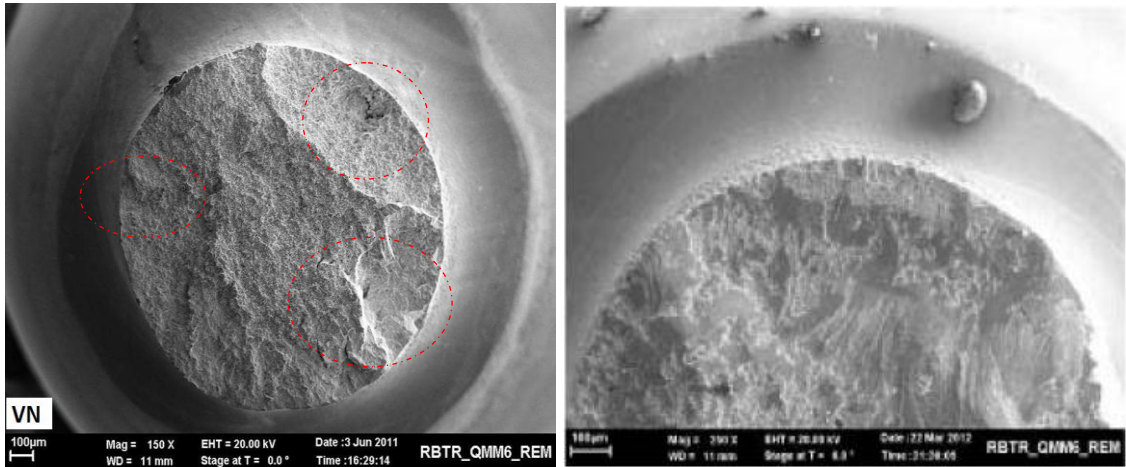
Şekil 6.13 Çatlak oluşmuş KGL-VN parçasının dağlanmamış ve dağlanmış görüntüsü

KGL'i koparılmış parçanın SEM'de incelenmeden önceki görüntüsü teknozkopta fotoğraflanmıştır (Şekil 6.14). Buna göre KGL ve VN yüzeylerindeki çatlaklar ve gevrek kırılma izleri görülmektedir.



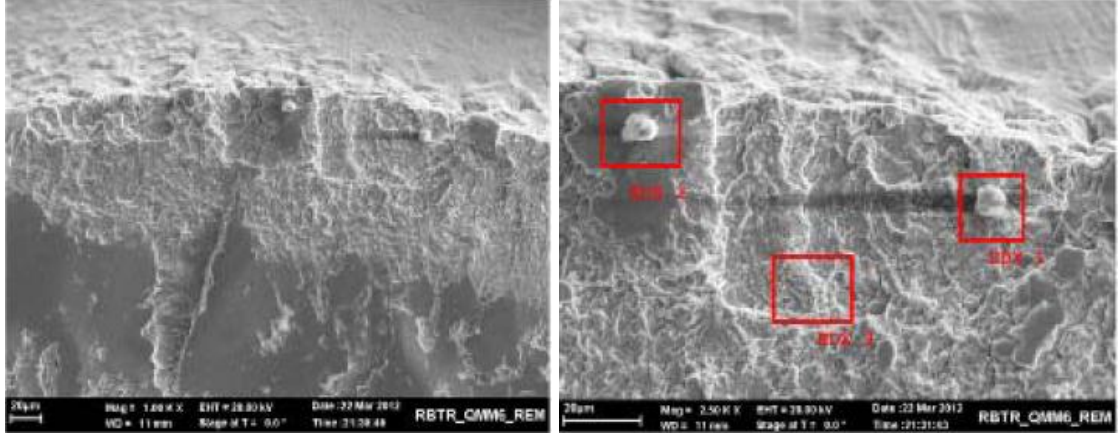
Şekil 6.14 KGL ve VN çatlaklı parçanın yüzeyleri

Ayrıca aynı parçalar SEM cihazında incelenmiştir (Şekil 6.15). Burada çatlakın kaynak içinde ilerlemesi daha net olarak görülmüştür. İşaretlenmiş bölgelerde yoğun bir dendritli yapı mevcuttur. Aynı zamanda çatlakın taneler arası ilerlediği gözlemlenmiştir. Kırılma hem gevrek hem de sünek olarak gerçekleşmiştir. Ana parçanın kaynak bölgesinden daha yüksek sertliğe sahip olması ve martenzitik yapıda olması böyle bir kırılma görüntüsüne neden olabilir.

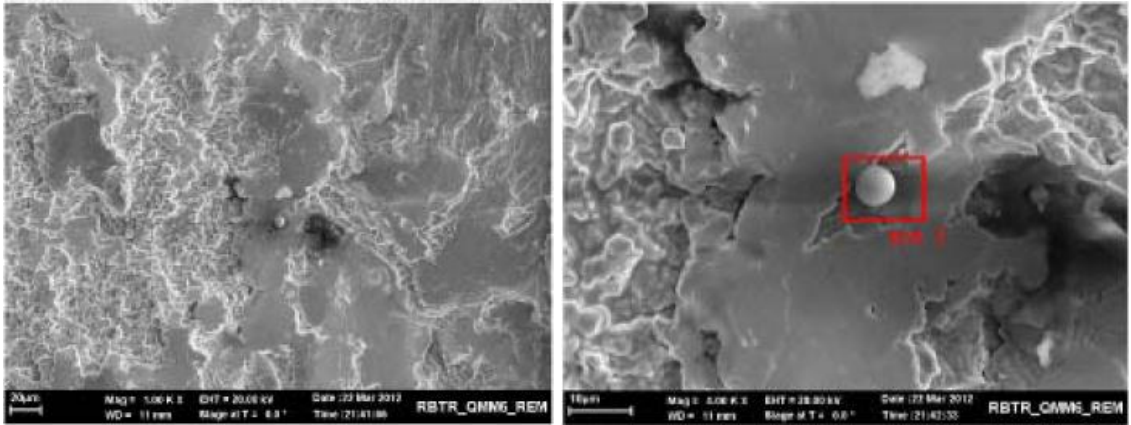


Şekil 6.15 Kaynak bölgesinde çatlak oluşmuş iğnenin VN ve KGL parçalarının SEM görüntüsü

Şekil 6.16 ve 6.17 kaynağı çatlak olan iğnenin KGL parçasının detay SEM görüntüleridir. Bu görüntülerde çatlaktan dolayı gevrek kırılmaların olduğunu ve yüzeyde bazı inklüzyonların bulunduğunu görmekteyiz.

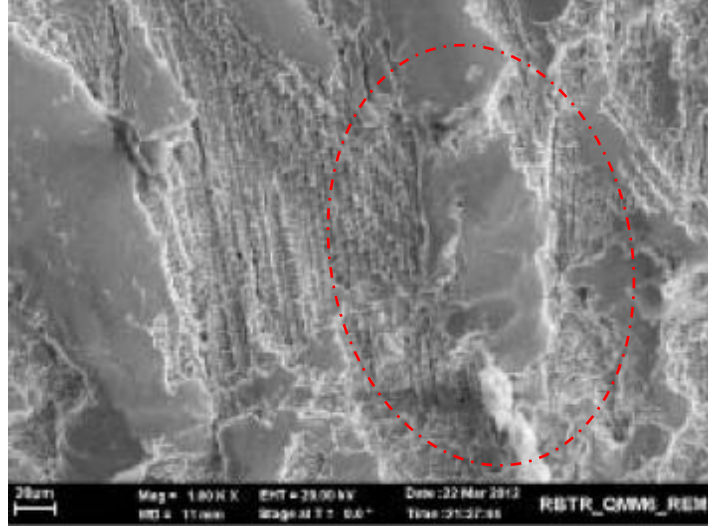


Şekil 6.16 Kaynağı çatlak KGL parçasının detay SEM görüntüsü

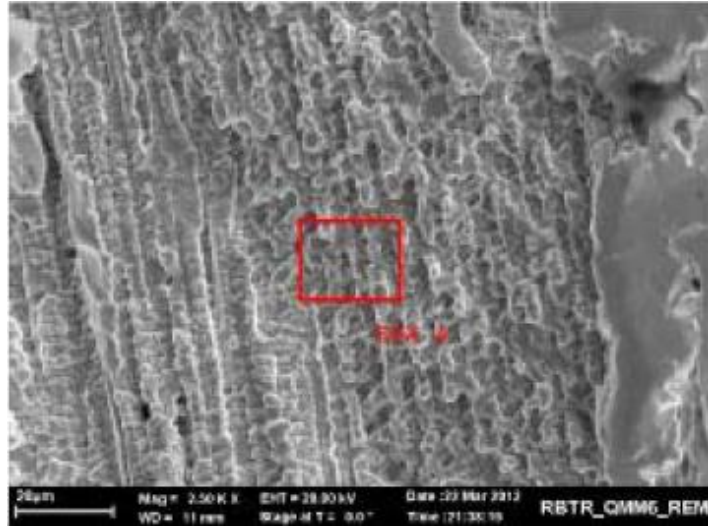


Şekil 6.17 Kaynağı çatlak KGL parçasının detay SEM görüntüsü

Şekil 6.18 ve Şekil 6.19 VN parçasının detaylı SEM görüntülerine baktığımızda kaynağı çatlak olan parçanın çekme testi sonrası kırılmasının hem sünek hem de gevrek olarak gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Bazı kısımlarda direk kopmalar gerçekleşirken bazı bölgelerde ise kısmi uzamalar söz konusudur. KGL kaynak kısmına benzer şekilde birçok mikro çatlağın olduğu ve bunların taneler arası ilerlediği gözlemlenmiştir.

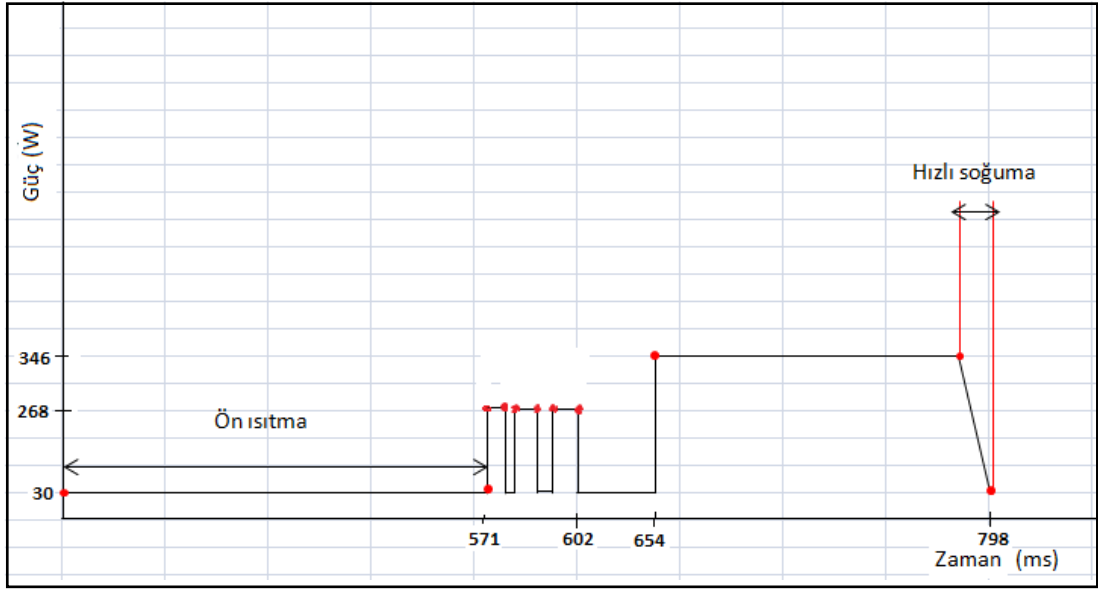


Şekil 6.18 Kaynağı çatlak olan VN parçasının detay SEM görüntüsü



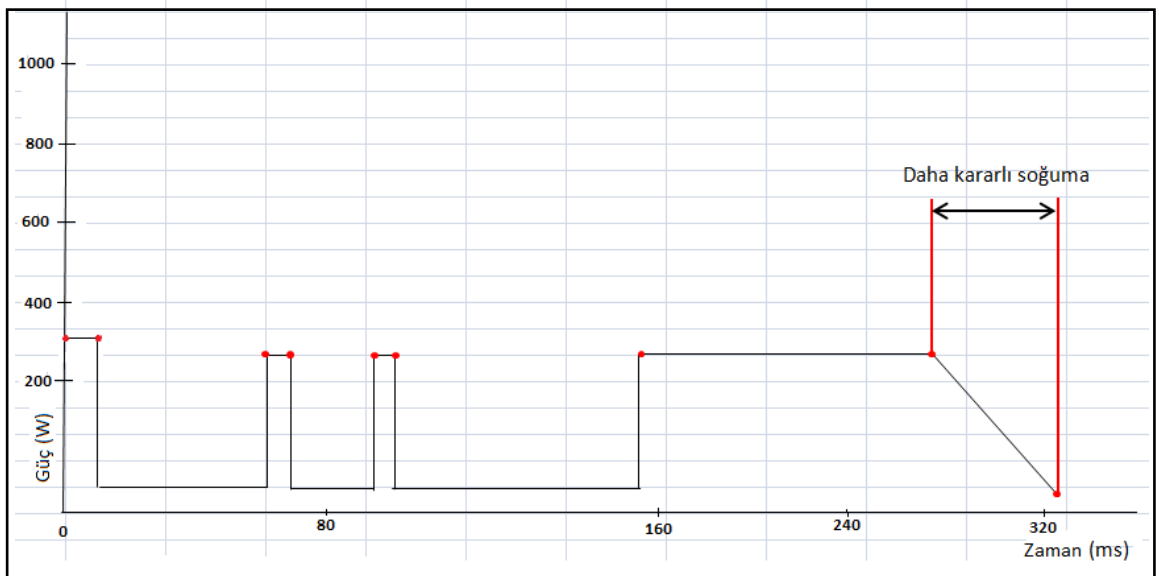
Şekil 6.19 Kaynağı çatlak olan VN parçasının detay SEM görüntüsü

Sıcak çatlaklar için yapılan bu araştırmada temel problemin ısıl işlemde kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu nedenle Trumpf lazer cihazının kaynak prosesinde bazı değişikliklere gidilmiştir. Şekil 6.20’de görülen lazer cihazı programına göre ön ısıtma ve hızlı soğutma kaynaktaki çatlak oluşumuna neden olmaktadır.



Şekil 6.20 Ön ısıtma ve kararsız hızlı soğumaya sahip Trumpf lazer kaynak programı şeması

Bu programa göre ön ısıtma fazı 571 ms ve 30 W'tır. Ayrıca soğuma süresi hızlı olduğu için dendritli yapı meydana getirip çatlak oluşturmaktadır. Programda yapılan değişikliklerden sonra ön ısıtma işlemi kaldırılmıştır. Soğuma süresi uzatılarak daha istikrarlı işlem süresi oluşturulmuş ve kaynakta çatlak oluşumunun önüne geçilmiştir (Şekil 6.21). Ayrıca işlem süresi ön ısıtmanın kaldırılmasıyla daha kısa hale getirilmiştir.



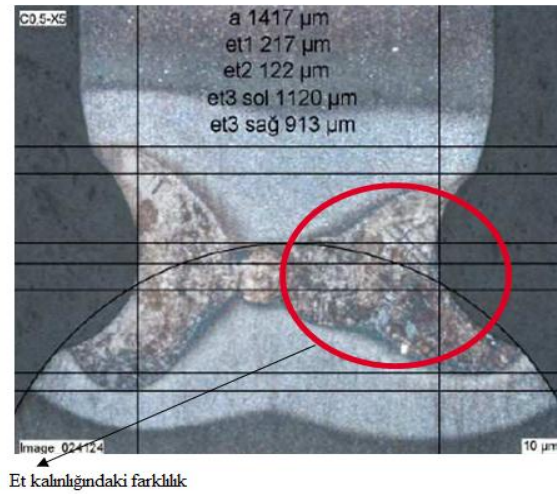
Şekil 6.21 Ön ısıtmanın kaldırıldığı ve daha kararlı bir soğuma eğrisine sahip Trumpf lazer kaynak programı

6.3 Salgı ve Eksen

Salgı ve eksen kaynak kalitesini etkileyen mekanik parametrelerdir. Kaynak birleşmeme, kaynakta boşluk ve çatlak salgı ve eksen bozukluğundan dolayı oluşan en belirgin kaynak hatalarıdır. “Salgı” KGL-VN kaynağı sonucu oluşan eksensel simetriklikten uzaklaşma miktarıdır. Kısaca yalpalama olarak da adlandırılabilir.

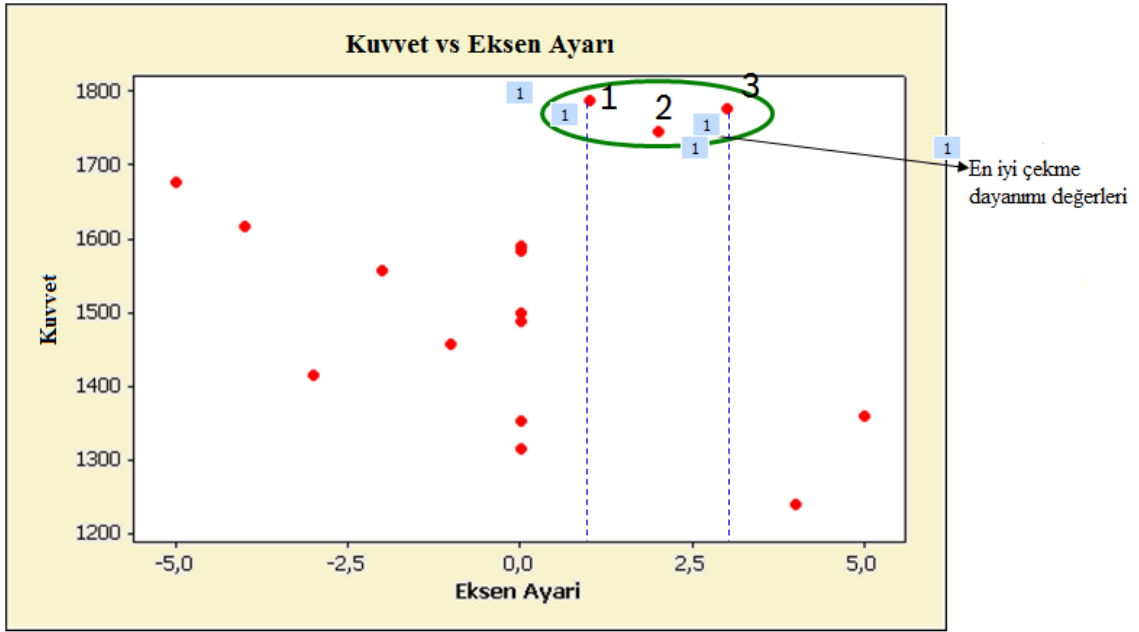
“Eksen” ise parçanın lazer ışınına göre olan konumuna denir. Parçanın x-y-z eksenlerindeki konumu kaynağın kalitesini belirleyen etkenlerden biridir. Parçanın lazer ışın kaynağına olan konumu özellikle kaynak birleşmeme probleminde kritik rol oynamaktadır.

Şekil 6.22 salgı bozukluğundan dolayı kaynak birleşmemiş parçanın görüntüsüdür. Kaynak simetrik yapıldığı için ergitme derinliğinin eşit olması gerekir. Ancak salğıdan dolayı bir kısmına fazla enerji, diğer kısma ise az enerji gelmiştir.



Şekil 6.22 Salgı bozukluğundan dolayı kaynak birleşmemiş parça

Eksen ayarı değerlerinin kaynaklı parçanın mekanik özelliklerine etkisi Şekil 6.23'teki grafikte irdelenmiştir. Bu grafiğe göre eksen ayarı +z eksen yönünde 1,0 ve 3,0 aralığında yapıldığında elde edilen kuvvet değerleri oldukça yüksektir. Grafik incelendiğinde eksen ayarları ve kuvvet değerleri arasında tam bir ilişki kurulamamaktadır. Belirli aralıklarla kuvvet değerleri eksen ayarlarına göre artış ve azalmalar göstermektedir. Grafikte en uygun aralık işaretli bölge olarak belirlenmiştir.

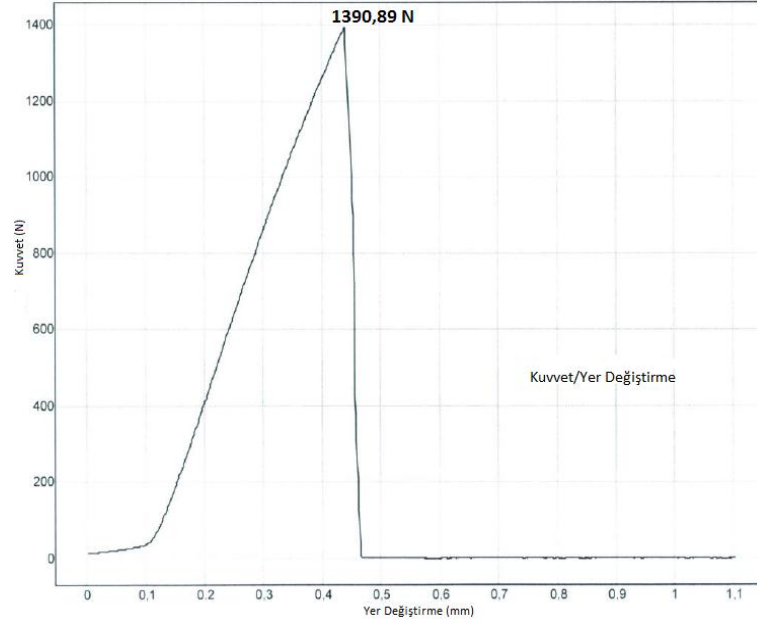


Şekil 6.23 Eksen ayarı sonrası çekme testi değerleri

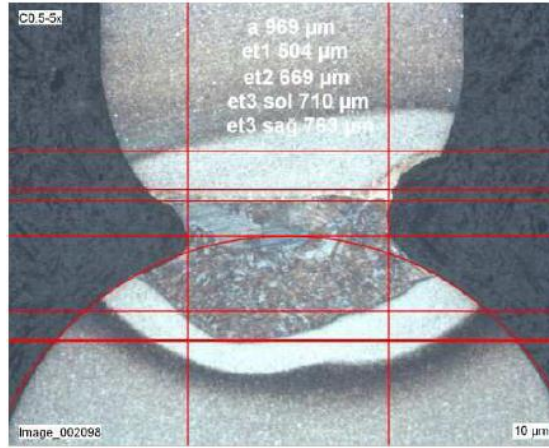
6.4 Koruma Gazı

Bu çalışmada kullanılan martenzitik paslanmaz çelikler için koruma gazı olarak N_2 (Azot) gazı kullanılmaktadır. Azot gazının debisi 9 l/dk'dır. Koruma gazının etkisinin daha etkili gözlemlenebilmesi amacıyla farklı koruma gazıyla çalışan bir istasyon ile çalışmayı yürüttüğümüz istasyon çaprazlanmıştır. Çaprazlama yapılan istasyonda koruma gazı olarak Karışım gazı (CO_2 +Argon) kullanılmaktadır. Karışım gazının debisi 14 l/dk'dır.

Bir başka deneme olarak da koruma gazı tamamen kapatılarak kaynak yapılmış ve etkisi mekanik ve metalografik testlerle ölçülmüştür. Koruma gazının akış yönü değiştirilerek de kaynak yapılmış yine mekanik ve metalografik açıdan incelenmiştir. Koruma gazı akış yönü büyük ölçüde değiştirilerek yapılan deneme sonrası çekme testine parça verilmiştir. Şekil 6.24 çekme testi sonucunu göstermektedir. Çekme mukavemeti iyi parçaya göre düşüktür.



Şekil 6.24 Koruma gazı akış yönü çok fazla değiştirilen KGL-VN kaynağının çekme testi sonucu

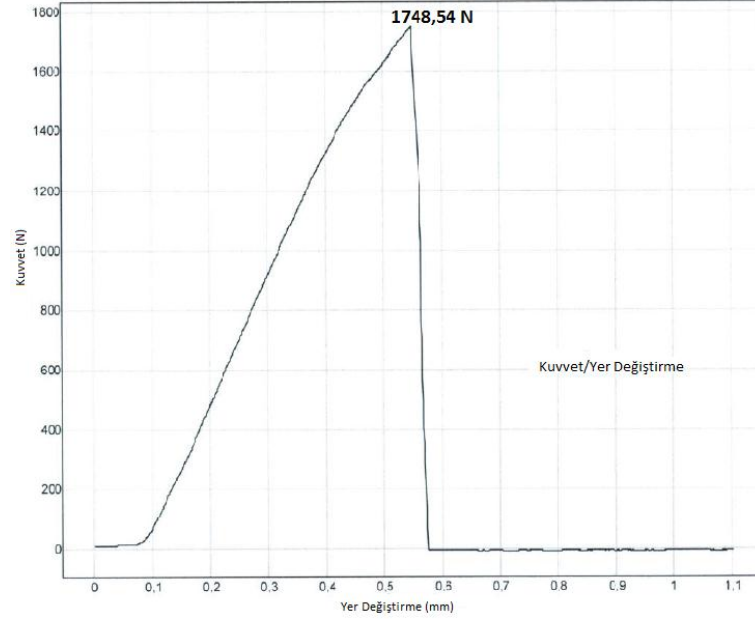


Şekil 6.25 Koruma gazı akış yönü çok fazla değiştirilen KGL-VN parçasının ışık mikroskobu (leica) görüntüsü

Koruma gazı akış yönü değiştirilen bu parçanın metalografik görüntüsü de Şekil 6.25'te verilmiştir. Bu görüntüye göre KGL-VN kaynağına has olan kelebek şeklinin oluşmadığı, parçanın kaynak bölgesinin oldukça bozuk olduğu görülmektedir.

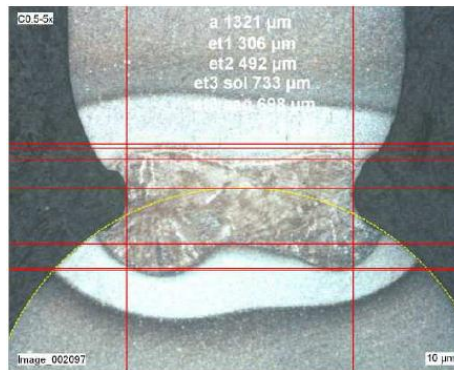
Koruma gazı akış yönü parçaya yönlendirilen KGL-VN kaynağı çekme testi grafiği şekil 6.26'da görülmektedir. Grafikten de anlaşılabacağı gibi koruma gazının direkt kaynak yapılan bölgeye denk gelmesi parçanın mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir.

Oysa koruma gazı akış yönü çok fazla değiştirilen parçanın kaynağının çekme testi sonucuna (Şekil 6.24) bakacak olursak koruma gazının kaynak bölgesinden uzaklaşması ya da kaynak bölgesinin yeterince koruma gazı olmadan kaynaklanması sonucu çekme testi değerinde bir hayli düşüş olmuştur.



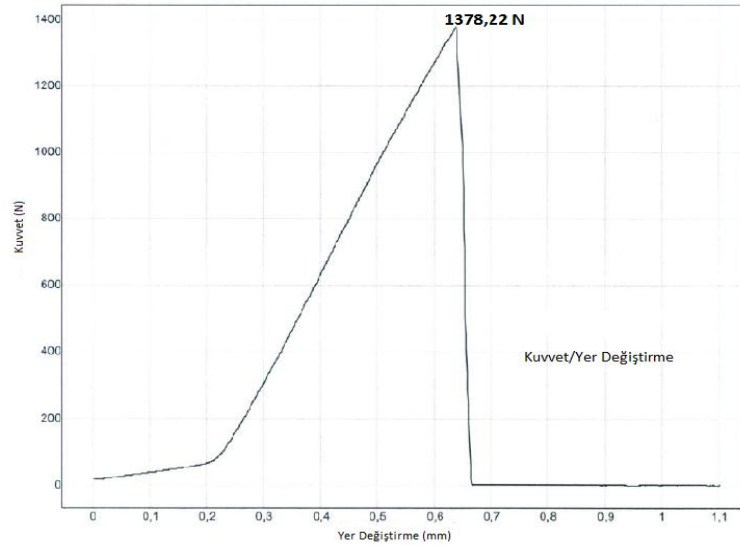
Şekil 6.26 Koruma gazı akış yönü parçaya yönlendirilen KGL-VN kaynağının çekme testi sonucu

Şekil 6.27 koruma gazı akış yönü üzerinde olan parçanın ışık mikroskobu (leica) görüntüsüdür. Bu şekle bakarak kaynağın koruma gazı akış yönü çok fazla değiştirilen parçaya göre düzgün olduğuna karar verebiliriz. Kaynak görüntüsü KGL-VN kaynak bölgesine has kelebek görüntüye ve tolerans değerlerine sahiptir.



Şekil 6.27 Koruma gazı akış yönü parçaya yönlendirilen KGL-VN kaynağı görüntüsü

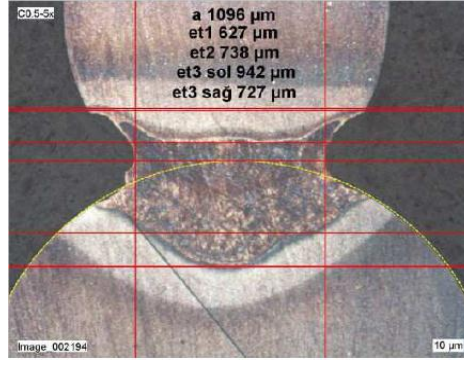
Koruma gazının cinsinin lazer kaynağı üzerindeki etkisi araştırılmak amacıyla iki farklı koruma gazı kullanan istasyonların koruma gazları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla KGL-VN kaynağı yapılan ve N_2 koruma gazı kullanan istasyon ile bir başka lazer kaynağı yapan, koruma gazı karışım gazı (Argon+ CO_2) olan istasyon karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda KGL-VN kaynağı karışım gazıyla yapılmıştır. Karşılaştırmadan alınan parçalara çekme testi yapılmıştır, metalografi laboratuvarında ve taramalı elektron mikroskopunda (SEM) analiz edilmiştir. Karışım koruma gazıyla kaynak yapılan KGL-VN kaynağının çekme testi sonucu Şekil 6.28'dedir. N_2 gazıyla kaynağı yapılan KGL-VN parçalarının çekme testi sonucu genellikle 1600-1800 N aralığında seyrettiği bilinmektedir. Yapılan karışım gazı denemesinden elde edilen grafiğe (Şekil 6.28) bakarsak bu değer 1380 N civarındadır.



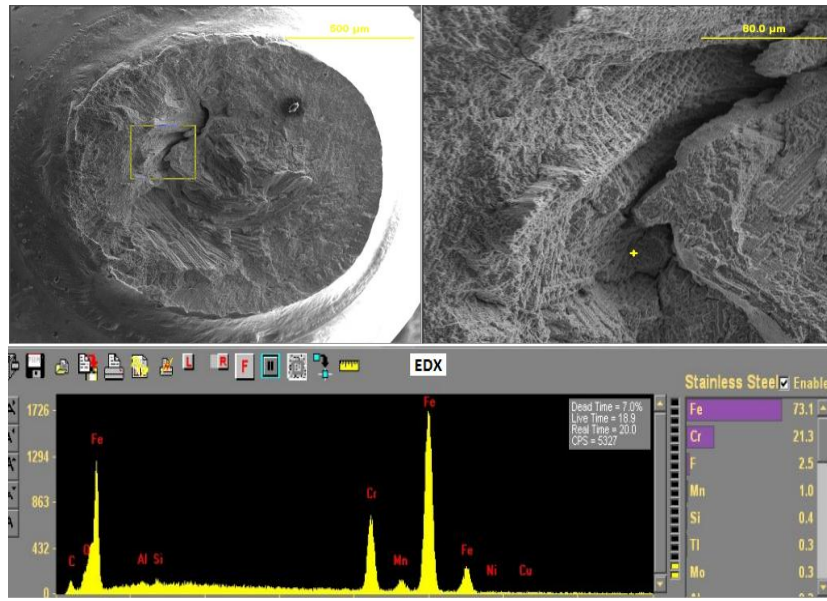
Şekil 6.28 Karışım gazıyla kaynak edilen KGL-VN çekme testi sonucu

Özellikle hassas ve yüzey kalitesi iyi olması istenilen, kaynak nüfuziyeti çok fazla olmayan parçalarda karışım gazı kullanılırken; N_2 gazı daha çok yüke maruz kalan ve derin kaynak yapılan bölgelerin lazer kaynağında kullanılır.

Karışım gazıyla kaynağı yapılan KGL-VN parçasının ışık mikroskobu (Leica) görüntüsü Şekil 6.29'da görülmektedir. Ortaya çıkan kaynağın şekline göre; simetrik olarak kaynak yapılamadığından kelebek yapının oluşmadığını ve tolerans değerleri içerisinde olmadığını görebiliriz.

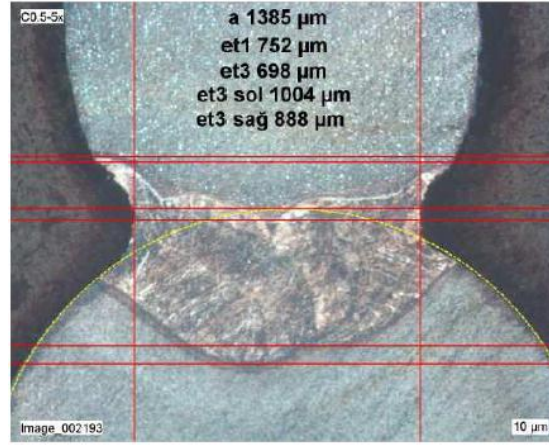


Şekil 6.29 Karışım gazıyla kaynağı yapılan KGL-VN parçasının görüntüsü



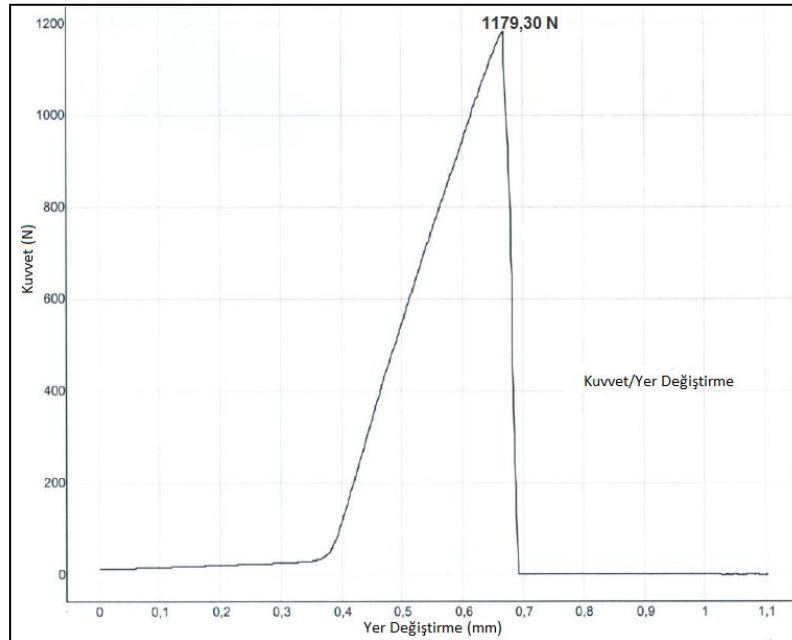
Şekil 6.30 Karışım gazıyla lazer kaynağı yapılmış KGL-VN parçalarının çekme testi sonrası KGL tarafından alınmış SEM (genel ve kare içinden alınmış detay görüntü) ve EDX görüntüleri

Karışım ($\text{CO}_2 + \text{Ar}$) gazıyla lazer kaynağı yapılan KGL-VN parçalarının çekme testi sonrası KGL kopma tarafından alınmış SEM (taramalı elektron mikroskobu) ve EDX (enerji yayımlı x-ışını) sonuçları da Şekil 6.30'dadır. SEM görüntülerini incelediğimizde kaynak bölgesinin iç kısmında bir çatlağın olduğu ve üst üste dizilmiş tanelerden oluşan dendritli mikroyapı görülmektedir. EDX sonuçlarına göre ise kaynak bölgesi paslanmaz çelik olarak tanımlanmıştır. Kaynak bölgesinin ayırım elementi olan oksijen de (O_2) EDX grafiğinde yer almaktadır.



Şekil 6.31 Koruma gazı olmadan yapılan KGL-VN kaynağı ışık mikroskobu görüntüsü

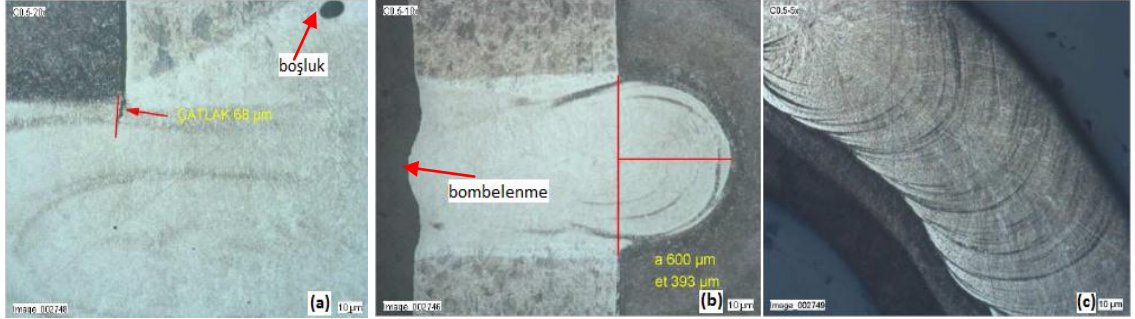
Koruma gazı olmadan kaynağı yapılan KGL-VN parçasının ışık mikroskobu görüntüsü de Şekil 6.31 de görülmektedir. Bu görüntüye göre kaynak bölgesinde öpüşme (overlap) dediğimiz birleşme tam olarak gerçekleşmemiş ve kaynak bitiş yerinde boşluk oluşmuştur. Parçada istenilen kaynak şekli olan kelebek yapı elde edilememiştir. Parçada tam olarak simetrik kaynak yapılamadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 6.32 Koruma gazsız kaynağı yapılan KGL-VN parçasının çekme testi grafiği

Şekil 6.32 ise koruma gazsız yapılan KGL-VN kaynağının çekme testi değerini göstermektedir. Çekme mukavemeti karışım gazı ($\text{CO}_2 + \text{Ar}$) ile kaynağı yapılan parçalara kıyasla bile yaklaşık 300 N kadar daha düşüktür. Ayrıca yer değiştirme değeri 0,4 mm den başlamıştır. Karışım gazıyla kaynağı yapılan parçada ise bu değer 0,2 mm'dir. Diğer bütün parçalar çekme testi grafiklerinde 0,1 ile 0,2 mm civarından akmaya başlamaktadır. Burada kaynağın daha sünek davrandığını ancak daha düşük çekme mukavemeti değerinde koptuğunu söyleyebiliriz.

Şekil 6.33 yine koruma gazsız yapılan VS (püskürtme parçası) ve VH (valf kovanı) (Şekil 2.9) parçalarının ışık mikroskobu görüntüsüdür. Aynı denemenin bu parçalarda da yapılmasının amacı koruma gazının kaynak nüfuziyet derinliğine olan etkisini daha net inceleyebilmektir. Şekil 6.33'de sol kaynak bölgesinde dışa doğru bir bombelenme olduğu görülmektedir. Ayrıca parçada boşluk ve kaynak köşe kısmından çatlak oluşmuştur. Yatay kesilen kaynak görüntüsünde (c) herhangi bir problem gözlemlenmezken ergiyen metalde üst üste yığılmaların oldukça yoğun olduğu söylenebilir.



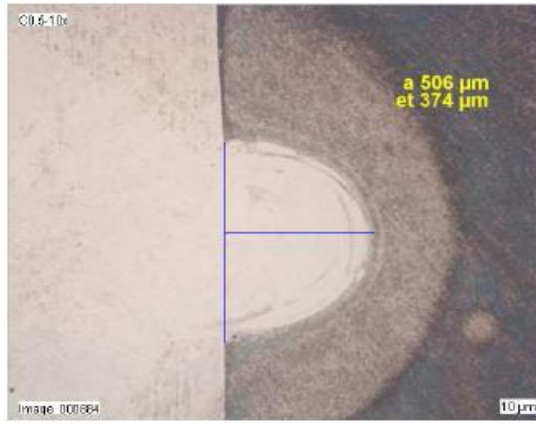
Şekil 6.33 VS-VH koruma gazsız yapılan kaynağın ışık mikroskobu görüntüleri

6.5 Lazer Kaynak Hızı

Lazer kaynak hızı gelen ışının hızından çok parçanın dönüş hızıyla ilgili bir durumdur. HDEV5 benzinli enjektörünün parçaları çoğunlukla 360° dönerek kaynak edilirler. Eğer dönüş hızı çok fazla olursa parçanın kaynağı tam olarak bitmez. Lazer kaynak hızı fazla olursa porozite gibi kaynak hatalarına sebep olabilir.

Kaynağın nüfuziyeti istenilen seviyede olmaz. Kaynağın hızı normalden az olduğunda ise içe doğru çökükler meydana gelebilir. Kaynağın nüfuziyet derinliği normale göre daha fazla olur.

Lazer kaynak hızının etkisini gözlemlemek amacıyla VS-VH (Şekil 2.9) parçalarında hız denemesi yapılmıştır. VS-VH parçalarının seçilme amacı ise kaynak nüfuziyet derinliğini ve çökme, bombe gibi kaynak kusurlarını en iyi şekilde görebileceğimiz derin bir kaynak olmasıdır. Şekil 6.34 ideal bir VS-VH sağ-sol kaynağını göstermektedir.



Şekil 6.34 İyi kaynak yapılmış VS-VH sağ ve sol dikey kesim dikey görüntüsü

Normalde 1,2 s kaynak hızı ile kaynak edilen VS-VH parçalarının kalınlık ve derinlik değerlerinin tolerans aralığı **a** (kalınlık): 0,34-0,80 ve **et** (derinlik) : 0,20-0,60 olarak tanımlanmaktadır.

Parça dönüş hızı 0,6 s ve 1,8 s'ye çıkartılarak kaynak hızının etkisi araştırılmıştır. Şekil 6.35 parça dönüş hızı 0,6 s ile kaynak yapılmış parçanın dikey metalografi görüntüsüdür. Sağ ve sol kaynak görüntüleri alınmıştır.



Şekil 6.35 Kaynak hızı 0,6 s olan VS-VH parçasının sağ ve sol dikey metalografi görüntüsü

Şekil 6.35'te de görüleceği üzere kaynak hızı 0,6 s'ye düşen parçanın nüfuziyet derinliği artmıştır ve tolerans değerleri dışına çıkmıştır. Benzer şekilde kaynak kalınlığı da tolerans değerleri dışında seyretmiştir. Kaynak hızının düşük olması ergiyen metalin parçanın içine yönelmesini sağlamış ve kaynak dikişinde çökmeye neden olmuştur. Düşük kaynak hızının kaynak geometrisini de kötü etkilediği görülmektedir.



Şekil 6.36 Kaynak hızı 1,8 s olan VS-VH parçasının sağ ve sol dikey metalografi görüntüsü

Parça dönüş hızını 1,8 s'ye çıkardığımızda ise Şekil 6.36'da ki görüntü oluşmaktadır. Buradaki a ve et değerleri incelendiğinde değerlerin alt tolerans sınırlarına yakın seyrettiği görülmektedir.

Kaynak hızı arttırıldığında da kaynak geometrisinde biraz bozulma olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda kaynağın hem sağ hem de sol tarafında boşluk oluştuğu görülmüştür.

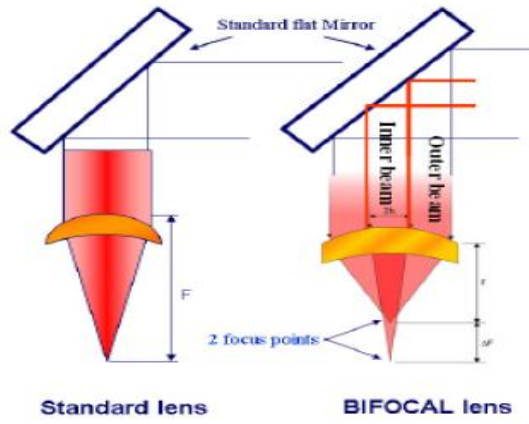


Şekil 6.37 Kaynak hızı 0,6 s'ye düşürülmüş VS-VH parçasının dikey ve yatay kesilmiş metalografi görüntüleri

Şekil 6.37 kaynak hızı 0,6 s'ye indirilen parçadan yatay olarak kesilmiş metalografi görüntüsü alınmıştır. Kaynağın başlangıç ve bitiş noktaları görülmektedir. Aynı zamanda kaynakta oluşan boşluklar görülmektedir. Kaynağın başlangıç ve bitiş noktaları incelendiğinde; kaynak dikişinin bitiş noktasında başlangıç noktasıyla birebir örtüşmediği başlangıç noktasının ilerisinde dikişin üzerinde öpüşerek bittiği tahmin edilmektedir. Dikiş başlangıç ve bitiş noktaları bir araya getirildiğinde kaynakta tam bir örtüşme olmama ihtimali vardır. Çünkü birleşme geometrileri tam olarak uyuşmamaktadır.

6.6 Lazer Işınının Odak Yeri

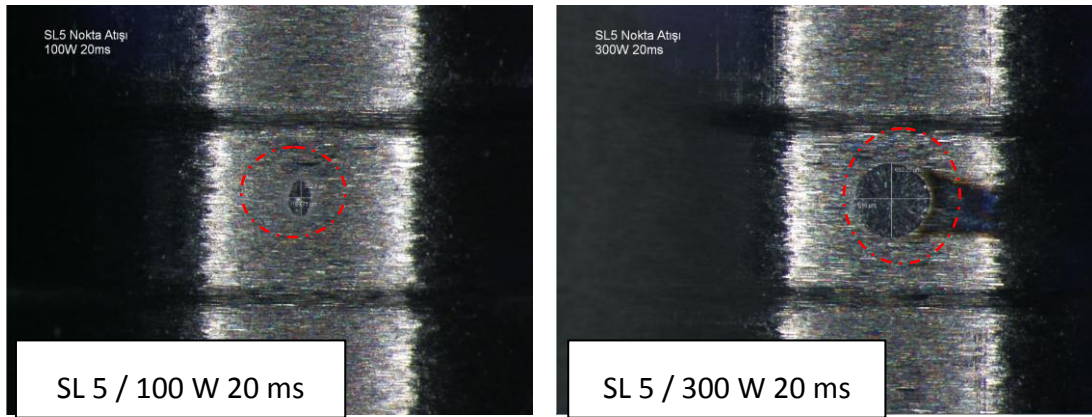
Lazer ışınının odak yeri, lazerin gücüne ve uygulanan süreye bağlıdır. Yapılan denemelerde; lazer ışınının odak yerinin ışının leke çapına ve şekline bakılarak anlaşılabilceği görülmüştür. Lazer ışınının odak yerinin belirlenmesi için deneme yapılan lazer istasyonu bifocal mercek sistemine sahiptir. Bifocal mercek sistemi: çift odaklı sistem anlamına gelmektedir. Bu sistemde daha derin kaynak yapabilme imkânı vardır [30].



Şekil 6.38 Standart ve bifocal mercek sistemleri [30]

Şekil 6.38’de bifocal ve standart mercek sistemi gösterilmektedir. Bifocal mercek sistemi sayesinde lazer ışınının leke çapının şekline bakarak odak yeri fark edilebilir.

Üretimde bulunan dört ayrı hatta aynı istasyonlarda aynı parametreler kullanılarak aynı parça üzerinde lazer ışınının odak yeri belirlenmeye çalışılmıştır.

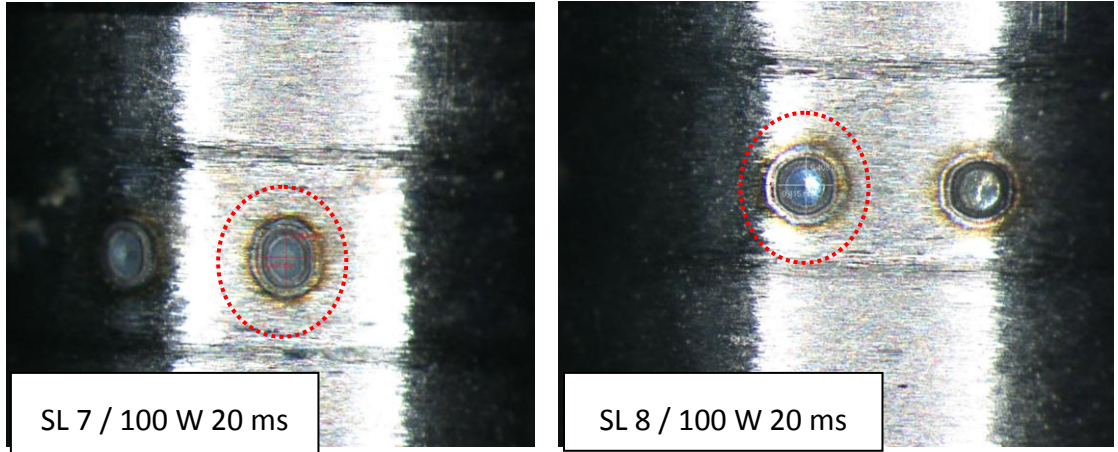


Şekil 6.39 Nokta atışı denemesi ile lazer ışınının odak yerinin belirlenmesi

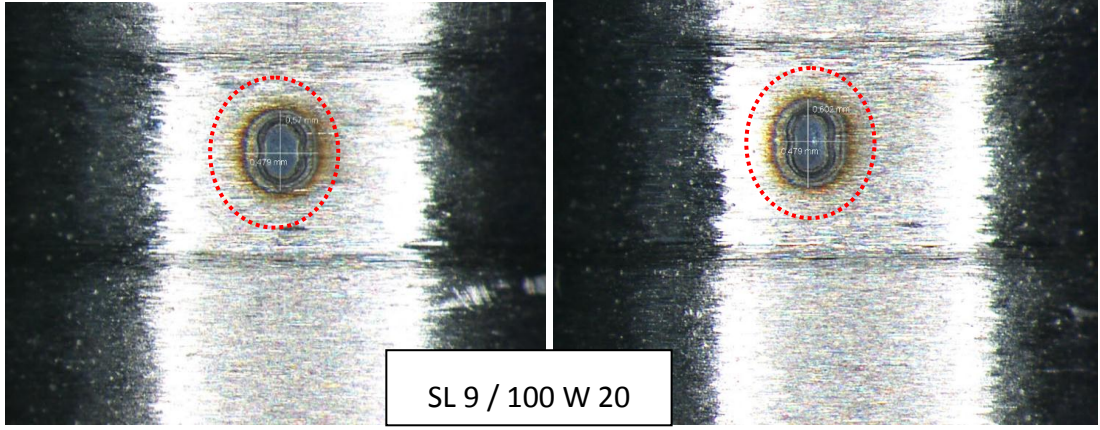
Şekil 6.39’da lazer parametreleri birinci parça için 100 W 20 ms ve ikinci parça için ise 300 W 20 ms dir. Bu parametrelere ve şekle göre lazer ışınının odak yerini lazer ışınının gücünün büyük ölçüde etkilediği görülmektedir. Elde edilen lazer ışının leke çapından odak yerinin ideal olup olmadığı anlaşılmaktadır.

Aynı parça üzerinde güç artırılarak yapılan denemede lazer ışını leke çapının belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Çünkü prosesin enerji girdisi artmıştır. Ayrıca gücün artmasıyla birlikte istasyonun odak yeri daha iyi incelenebilir konuma geliyor. 3 katına çıkarılan lazer gücü sonrası lazer ışınının odak yerinde herhangi bir kayma olmadığı kanaatine varılmaktadır.

Şekil 6.40'ta iki farklı istasyondan alınan parçaların lazer ışını leke çaplarını göstermektedir. Her iki parçada eş parametreler kullanılarak; 100 W güç ve 20 ms süre ile üretilmiştir. Buna rağmen SL 8 hattı lazer ışını odak yerinin daha iyi durumda olduğu düşünülmektedir. Ancak SL 7 hattının lazer ışını odak yerinde belli bir oranda kayma olduğu düşünülebilir. Merceklerin odak yeri kaydığı için ışının leke çapında uzama görülmektedir.



Şekil 6.40 İki farklı hattan aynı tip istasyondan alınan, eş parametrelere sahip nokta atışı denemesi sonrası lazer ışını leke çapı görüntüleri



Şekil 6.41 Diğer hatlarla aynı parametrelere sahip SL 9 hattının lazer ışını leke çapı görüntüsü

Son olarak Şekil 6.41’de SL 9 lazer ışınının leke çapı incelendiğinde daha belirgin olarak odak yerinin kayması gözlemlenmektedir. Diğer hatlarda aynı parametrelerle yapılan deneme sonrası merceklerin tam olarak çakışmadığı ve lazer ışını odak yerinde kayma olabileceği ihtimali üzerinde durulmaktadır. Oluşan bombeli yapı belirgin şekilde gözlemlenebilmektedir.

Tüm hatları kendi içerisinde karşılaştırdığımızda aynı güç ve aynı sürede yapılan bu deneme sonucunda:

- Bazı hatların kendi içinde lazer ışını odak yerinde kaymanın meydana geldiği
- SL 5 hattının güç kaybının oldukça fazla olduğu ve diğer hatlarda 100 W elde edilen görüntünün bu hatta 300 W elde edildiği sonuçlarına varılmıştır.

Ayrıca lazer ışınının gücünün, lazer ışınının leke çapını doğru orantılı olarak değiştirdiği ve odak yerini belirlemekte önemli etkisinin olduğu kanaatine varılmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada HDEV5 benzinli enjektörlerin lazer kaynağı ve bu lazer kaynağı etkileyen parametreler araştırılmıştır. Çizelge 7.1 literatürden elde edilen lazer kaynak parametreleri, bu parametrelerin kaynağa etkisini ve bu bilgiler ışığında yapılan çalışmalardan elde etmiş olduğumuz bulguları göstermektedir.

Lazer kaynak gücü ele alınan ilk kaynak parametresidir. Kaynağın nüfuziyetinde direk etkili olduğu ve kaynak gücü arttıkça nüfuziyetin de arttığı yapılan çalışmalarla görülmüştür. Lazer kaynak gücünün kaynak sıçramasına direk etkisi olduğu yapılan çalışmalar sonucunda gözlemlenmiştir. Kaynak gücü arttıkça sıçrama kayıpları da artmaktadır.

Kaynak bölgesinin soğuma hızının kaynağın çatlamasına direkt etkisi olduğu ve daha kararlı soğuma hızlarında çatlak oluşumu önlenmiştir. Ön ısıtma işlemi de çatlak oluşumu nedeniyle kaldırılmıştır. Daha kararlı soğuma eğrisi ve ön ısıtmanın kaldırılması KGL-VN parçalarının kaynak bölgesinin çekme testi değerlerini olumlu yönde etkilemiştir. Kaynak bölgesinin mukavemetini arttırmıştır.

Koruma gazının akış yönünün parça üzerinden uzaklaştırılmasıyla kaynak şeklinin bozulduğu, kaynağın oksidayona uğradığı ve mekanik özelliklerde düşüş olduğu bilinmektedir. Koruma gazsız yapılan denemelerde parçanın oksidasyona uğraması, kaynak şeklinin ve simetrikliğinin bozulması çok daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Kaynak bölgesinin bitiminde tam olarak öpüşme (overlap) olmamıştır. Kaynakta tam birleşme sağlanamamıştır.

Koruma gazı değiştirilerek yapılan kaynak araştırmasında ise N₂ gazının kaynağın mekanik özelliklerini ve istenilen kaynak şeklini elde etmekte karışım gazına göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Aynı parça üzerinde karışım gazı (CO₂+Ar) daha parlak ve pürüzsüz bir kaynak kalitesine sahiptir ancak çekme mukavemeti değerleri N₂ gazıyla yapılan kaynağa göre düşüktür. Üzerinde çalıştığımız parçanın istenilen kaynak şekline N₂ gazında tam olarak ulaşılabilirken karışım gazında şekil bozuklukları olduğu ve simetrikliğin tam olarak sağlanamadığı görülmüştür.

Lazer ışınının leke çapının lazer ışınının odak yeri hakkında bilgiler verebileceği düşünülmektedir. Işının leke çapı ve şekline bakılarak odak yerindeki kaymalar hakkında fikir yürütülebilir. Buna göre bifocal mercek sisteminde yapılan denemede ışının leke çapının yuvarlak değil uzayan oval görüntü vermesi merceklerin birbirinin odağından uzaklaştığını göstermektedir.

Bu çalışmada literatürden edinilen bilgilerden farklı olarak lazer kaynağının yapıldığı kaynak istasyonlarının kaynağa olan etkisi değerlendirilmiştir. Salgı ve eksen değerleri kaynak yapılan istasyonun mekanik parametreleridir ve kaynağın nüfuziyetinin, simetrikliğinin, boşluk, çatlak gibi kaynak hatalarının üzerinde etkisi vardır. Salgı ve eksen kaçıklığında kaynakta birleşmeme en sık tekrar eden hatadır. Parçanın kendi dönüş eksenindeki bozukluk ve istasyonda parçanın konulduğu yuvadaki eksen bozukluğu kaynağın simetrikliğini bozar ve kaynak yapılan bölgenin tamamına eşit enerji girdisini engeller. Bu da kaynak birleşmeme hatasına yol açar. Eksen ayarlarında 1-3 mm aralığında yapılan değişiklikler sonucu çekme mukavemeti değerleri %22 oranında artırılmıştır. Parçanın salgısında yapılan iyileştirmeler de çekme mukavemeti değerlerini olumlu etkilemektedir.

Lazer kaynak hızı da kaynağın kalitesine etki eden bir diğer kaynak parametresi olarak incelenmiştir. Bu incelemelere göre lazer kaynak hızı arttıkça kaynağın nüfuziyetinin azaldığı, kaynak ağzı genişliğinin ise arttığı tespit edilmiştir. Lazer kaynak hızı azaldıkça kaynak dikişinde kaynağa doğru çökmeler, kaynak hızı arttıkça ise kaynakta dışa doğru bombelenmeler meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 7.1 Lazer kaynak parametreleri ve elde edilen sonuçların yorumlanması

Lazer Kaynak Parametreleri	İşlevi	Etkisi	Bulgular
Lazer Gücü	İstenilen kaynak derinliğinin elde edilmesi [9] .	Nüfuziyet Derinliği ve çekme mukavemeti	Lazer kaynak gücü arttıkça kaynak nüfuziyet derinliği artmaktadır, çekme mukavemeti değeri lazer kaynak gücü ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Lazer kaynak gücü %10 arttırıldığında çekme mukavemetinin de %21 oranında arttığı görülmüştür.
		Kaynak sıçraması	Lazer kaynak gücü arttıkça ergiyen metalin sıçraması da artmaktadır.
Kaynak metali soğuma hızı	Yeterli sertliğe ve tokluğa ulaşılması [8] .	Kaynakta çatlak oluşumu	Kaynağın çok hızlı soğutulması dendritli yapı oluşturmaktadır ve kaynakta çatlak oluşumuna yol açar. Soğutma hızının daha kararlı seviyelere çekilmesi ve ön ısıtma fazının kaldırılmasıyla çatlak oluşumunun önüne geçilmiştir.
		Mukavemet	Daha kararlı soğuma hızlarında elde edilen kaynağın mukavemet değerlerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir.
Koruma gazı	Oksidasyona karşı kaynağın korunması, kaynağın yüzey kalitesinin ve pürüzsüzlüğünün sağlanması [7] .	Koruma gazı kullanmanın etkisi	Koruma gazı olmadan yapılan kaynaklar oksidasyona uğramaktadır. Kaynağın çekme mukavemeti %30 azalmıştır, şekilde bozulmalar görülmüş ve tam olarak kaynak bölgesinde örtüşme olmamıştır.
		Koruma gazı akış yönünün etkisi	Koruma gazının akış yönü parçadan uzaklaştıkça kaynağın şeklinde bozulmalar ve çekme mukavemetinde düşüş gözlemlenmiştir.
		Farklı tip koruma gazının etkisi	Aynı parçanın lazer kaynağında kullanılan N2 ve karışım gazı farklı etkiler göstermiştir. N2 gazı mukavemeti ve simetrikliği olumlu yönde etkilerken, karışım gazı mukavemeti düşürmüştür ancak yüzey kalitesini arttırmıştır.
Lazer ışınının leke çapı	Lazer ışınının odaklanma kabiliyeti	Lazer ışınının odak yeri	Lazer ışını leke çapının şekline bakılarak lazer ışınının odak yerinde kayma olup olmadığına karar verilebilir.
Salgı ve Eksen	Kaynağın düzgün ve simetrik olarak yapılması	Kaynak birleşmeme	Salgı ve eksen bozukluğundan dolayı simetrik yapılamayan kaynakta güç her yere aynı ölçüde ulaşamadığı için kaynak birleşmeme meydana gelir.
		Çekme mukavemeti	Eksen ayarları 1,0-3,0 mm aralığında yapıldığında çekme mukavemeti değerleri %22 iyileşme göstermiştir.
Lazer kaynak hızı	Kaynağın nüfuziyeti ve şeklinin kaynak hızı ile olan ilişkisi [10, 11].	Kaynak nüfuziyeti	Lazer kaynak hızı %50 arttırıldığında kaynak nüfuziyetinin azaldığı görülmüştür. Benzer şekilde hız %50 azaltıldığında ise nüfuziyet derinliği artarken kaynak kalınlığı da ona paralel olarak artmıştır.
		Kaynağın şekli	Lazer kaynak hızı azaldıkça kaynak dikişinde çökmeler, arttıkça ise dışa doğru bombeler görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Cornel S. (1999) “Direct Injection Systems from Spark-Ignition and Compression-Ignition Engines”, SAE Publication, ISBN: 0-7680-0610-4, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ; Derleyen: Karamangil, M., İ., (2004). “Direkt Püskürtmeli Benzin Motorları ve Mitsubishi Metodu”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 9, (1).
- [2] Kume T., Iwamoto Y., Lida K., Murakami M., Akishino K. ve Ando H. (1996). “Combustion Control Technologies for Direct Injection SI Engine”, SAE Paper No: 960600 ; Derleyen: Karamangil, M., İ., (2004). “Direkt Püskürtmeli Benzin Motorları ve Mitsubishi Metodu”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 9, (1).
- [3] Iwamoto, Y., Noma K., Nakayama O., Yamauchi T. ve Ando H. (1997) “Development of Gasoline Direct Injection Engine, SAE Paper No: 970541 ; Derleyen: Karamangil, M., İ., (2004). “Direkt Püskürtmeli Benzin Motorları ve Mitsubishi Metodu”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 9, (1).
- [4] Zhao F.Q., Lai M.C. ve Harrington D.L. (1997) “A Review of Mixture Preparation and Combustion Control Strategies for Spark-Ignited Direct-Injection Gasoline Engines”, SAE Paper No: 970627 ; Derleyen: Karamangil, M., İ., (2004). “Direkt Püskürtmeli Benzin Motorları ve Mitsubishi Metodu”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 9, (1).
- [5] Soruşbay C. (2000) “Direkt Püskürtmeli Benzin Motorları”, Otomotiv Dergisi, ISOD, Mart-Nisan 2000, Sayı: 73, sayfa 16-19 ; Derleyen: Karamangil, M., İ., (2004). “Direkt Püskürtmeli Benzin Motorları ve Mitsubishi Metodu”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 9, (1).
- [6] Bosch San. Ve Tic. A.Ş dökümanları
http://rbkwin.bosch.com/tr/tr/powerconsumptionemissions/gasolinesystems/direct_gasoline_injection/index.html, 31 Temmuz 2012.
- [7] Grevey, D., Sallamand, P., Cicala, E. ve Ignat, S., (2005). “Gas Protection Optimization During Nd: YAG Laser”, Welding Optics & Laser Technology, 37, 647–651.

- [8] Kelkar, G., Pulsed Laser Welding, <http://www.welding-consultant.com/PulsedLaserWelding.pdf>, 6 Haziran 2012.
- [9] Dontu, O., Avram, M., Robert, C., Besnea, D., Avarvarei, I., ve Teodor, S., (2011). "Effects of the Laser Welding Parameters on the Weld Geometry and Evaporation", Electronics Computer Technology (ICECT), 7 Temmuz 2011, Kanyakumari.
- [10] Kima, J.-K., Lima, H.-S., Chob, J.-H. ve Kima, C.-H., (2008). "Weldability During the Laser Lap Welding of Al 5052 Sheets", Archives of Materials Science and Engineering, 31(2):113-116.
- [11] Li, L., Eghlio, R., ve Marimuthu, S., (2011). "Laser Net Shape Welding", CIRP Annals - Manufacturing Technology, 60: 223-226,
- [12] Anil, K. S., (1982). "Dynamic strain ageing of various of steels", Metallurgical Transactions A, 13 (A): 1793-1798.
- [13] Kuo S. (2002). Welding Metallurgy, (İkinci basım), Wiley, New Jersey.
- [14] Sarıtaş Çelik Sanayii ve Ticaret Anonim Şirketi, Paslanmaz Çeliklerin iç Yapıları ve Temel Türleri, <http://www.saritas.com.tr/ktlg/pdf/Paslanmaz%20Celik%20Saritas%2004.pdf> 9 Temmuz 2012.
- [15] Wikipedia, Lazer, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Lazer>, 11 Temmuz 2012
- [16] Elijah Kannatey-Asibu, Jr., (2009). Principles of Laser Materials Processing, Wiley.
- [17] Triumph TruDisk 1000, "Original Operator's Manual", TRUMPF Laser GmbH+ Co. KG, 2008.
- [18] Dahotre, N.B. ve Harimkar, S.P., (2008). Laser Fabrication and Machining Materials, Springer Science, ABD.
- [19] Timings, R., (2008). Fabrication and Welding Engineering, Elsevier, İngiltere.
- [20] Püskülcü G. ve Koçlular F., (2009). "Lazer Kaynak Yöntemi ve Uygulamaları", Mühendis ve Makine, 50 (599).
- [21] Abbott, D. H, ve Albright C. E., (1994). "CO₂ Shielding Gas Effects in Laser Welding Mild Steel", Journal of Laser Applications, 6, 69-80.
- [22] Akman, E., (2006). "Ti6Al4V Titanyum Alaşımlarının Atılımlı Nd: YAG Lazeri Kullanarak Kaynak Edilmesi ve Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [23] Kaluç, E., (2003). İleri Kaynak Teknolojisi El Kitabı, 2, 32-44, Kocaeli
- [24] Günay, D., Özkan, D. ve Şentürk, S., (2001). "Lazer Kaynağı ve Uygulamaları", Bitirme Ödevi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- [25] Lazer Işını ve Endüstriyel Alanda Kullanımı, <http://www.odevsitesi.com/>, 16 Temmuz 2012.
- [26] Yüzey Sertleştirme Metodları, <http://www.odevsitesi.com/>, 16 Temmuz 2012.

- [27] Eryürek, İ., B., (1996). Kaynak Teknolojisinin Esasları, s.208-219, Birsen Yayınevi.
- [28] Özcan M., Tarakçıoğlu N. ve Kahramanlı Ş., (2004). “Sac Malzemelerin Lazer Kaynak Parametreleri”, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik Online Dergisi, 3 (1):14-25.
- [29] Anık S. ve Vural M., “Kaynak Dikişlerindeki Sıcak Çatlakların Nedenleri ve Önlenmesi”, Mühendis ve Makine, 48 (573) : 52-54.
- [30] Caristan, C. ve Finn, J., (2009). “Fiber Laser Cutting and Welding at Extreme Power – Extreme Speed”, ICALEO Conference, 2009, Orlando, FL.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Cevriye GÜNEŞ
Doğum Tarihi ve Yeri :15.09.1987, Nevşehir
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :cevriyegunes@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Metalurji ve Malzeme Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lisans	Malzeme Bilimi ve Müh.	Anadolu Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Gülşehir Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	Bosch San. ve Tic. A.Ş	Yüksek Lisans Proje Üretim Mühendisi