



**OTOMOTİVDE LAZER DOLGU KAYNAĞI
PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

ADEM KARŞI



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOTİVDE LAZER DOLGU KAYNAĞI PARAMETRELERİNİN
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Adem KARŞI
Orcid No : 0000-0001-5908-9626

Prof. Dr. Ali BAYRAM
Orcid No : 0000-0001-7311-8358
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Adem KARŞI tarafından hazırlanan “ Otomotivde Lazer Dolgu Kaynağı Parametrelerinin Etkilerinin Araştırılması ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ali BAYRAM

Başkan: Prof. Dr. Ali BAYRAM
Orcid No: 0000-0001-7311-8358
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Üye: Doç.Dr. Hakan AYDIN
Orcid No: 0000-0001-7364-6281
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Üye: Dr. Öğr. Üyesi Celalettin YÜCE
Orcid No: 0000-0003-1387-907X
BTÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

27.12.2018


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

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

27/12.2019

İmza

Adem KARŞI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTOMOTİVDE LAZER DOLGU KAYNAĞI PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Adem KARŞI

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali BAYRAM

Günümüzde lazer teknolojisi bir çok farklı alanda kullanılarak gelişimini sürdürmektedir. Uygulamalarında farklı disiplinlerin bir araya getirilmesiyle; sağlık , otomotiv, havacılık gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Lazer dolgu kaynağı prosesinin gerçekleştirilmesinde lazer ışınının üzerine odaklandığı tel yada toz dolgu malzemesi istenilen metal yüzeye ergitme yoluyla eklenebilmektedir.

Bu çalışmada, otomotiv sac metal şekillendirme kalıplarının metal elemanlarında lazer dolgu kaynağı prosesinin üfleli toz dolgu malzemesi ile uygulanmasında proses parametrelerinin etkilerinin anlaşılması ile iki ana problem olan kaynak bölgesinde istenmeyen çatlak ve gözenek oluşumunun incelenmesi amaçlanmıştır.

Lazer dolgu kaynağında, birçok parametre kaynak kalitesine etki etmektedir. Bu parametreler; dolgu kaynağı yapılacak ana malzeme kompozisyonu, bu malzemenin mekanik özellikleri, dolgu için kullanılacak tozun kompozisyonu (toz çeşidi), toz tane büyüklüğü, dolgu kaynak parametreleri (lazer gücü, ilerleme, toz akış hızı ve buna bağlı olarak kaynak kalınlığı, toz besleme mesafesi, argon gazı akış hızı), bu parametrelere bağlı olarak kaynak bölgesine sağlanan ısı girdisi, kaynak bölgesi soğuma hızı, kaynaklar arası mesafe, işlem yönü ve katman sayısı olarak ifade edilebilir.

Çalışma kapsamında, Taguchi metodu kullanılarak kaynak parametrelerinin (güç , ilerleme miktarı, toz akış hızı, toz tane büyüklüğü, toz besleme mesafesi , argon gazı hızı , kaynak hatları arası mesafe , işlem yönü , katman sayısı) çatlak ve gözenek oluşumuna etki şiddetleri yapılan deneylerle incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lazer dolgu kaynağı , kaynak işleminde çatlak , gözenek , lazer toz dolgu malzemesi vs..

2017, xii + 84 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis
INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF LASER CLADDING PARAMETERS IN
AUTOMOTIVE INDUSTRY

Adem KARŞI

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

Supervisor: Prof. Dr. Ali BAYRAM

Today, laser technology continues to evolve using many different areas. By bringing together different disciplines in their practice; health, automotive, aviation and many other areas. The laser cladding process is being performed, the wire or powder filler material that is focused on the laser beam can be added to the base metal surface by melting.

In this study, it is aimed to understand the effects of process parameters on the application of the laser cladding process to the metal elements of automotive sheet metal forming dies/molds by powder filling material and to eliminate the two main problems of surface crack and porosity formation in the weld zone.

Many parameters affect the quality of the laser cladding: the main material composition to be filled, the mechanical properties of the material, the powder composition (powder type) to be used for the filler, powder grain size, cladding parameters (laser power, cladding speed, cladding thickness, powder feed distance, argon gas flow rate), the heat input to the cladding zone, the laser cladding zone cooling rate, the distance between the welds, the process direction and the number of layers depending on these parameters.

The study was conducted, the effects of cracking and porosity formation on the welding parameters (power, feed rate, powder flow rate, powder grain size, powder feed distance, argon gas velocity, distance between cladding lines, process direction, number of cladding layers) were investigated by using Taguchi method.

Keywords: Laser cladding , Wire and powder filler material , Cracking , Porosity

2017, xii + 84 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansım ve tez çalışmam sürecinde hep yanımda olan danışmanım ve değerli hocam Prof. Dr. Ali Bayram'a; çalışmalarım süresince bir çok konuda bilgi ve yardımlarını esirgemeyen , deneylerin gerçekleştirilmesinde teknik bilgi ve tecrübesiyle bana yardımcı olan Doç.Dr. Hakan AYDIN'a, ve çalışmanın gerçekleşmesi için bütün imkanları sağlayan Coşkunöz Kalıp Makina A.Ő. firması ve mesai arkadaşlarıma, çalışmalarda emeği geçen ismini sayamadığım herkese teşekkür ederim.

Ayrıca bu zorlu süreçte beni her zaman destekleyen ve hep yanımda olan eşim Mehtap KARŞI'ya ve bugünlere gelmemde büyük emeği olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Adem KARŞI
27/12/2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Lazer Dolgu Kaynağı Tekniği	3
2.1.1. Lazer Işını ve Çeşitleri	5
2.1.2. Diot Lazerleri (Yarı İletken Lazerleri	6
2.1.3. Metal Toz Dolgu Malzemeleri	10
2.1.4. Lazer Dolgu Kaynağı Parametreleri	12
2.1.5. Lazer Işını Tehlike Sınıfları	14
2.2. Lazer Dolgu Kaynağı Üniteleri	15
2.2.1. Lazer Üretimi ve Aktarımı	16
2.2.2. Lazer Kafa Modelleri	17
2.3. Lazer Dolgu Kaynağı Bölgesi	18
2.3.1. Dolgu Geometrisi	19
2.3.2. Mikroyapı	20
2.3.3. Kalıntı Gerilmeler ve Çatlak Oluşumu	21
2.3.4. Dolgu Boşlukları	22
3.MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1 Materyal	24
3.1.1. Kalıp Malzemesi	24
3.1.2. Kaynak Tozları	24
3.2. Yöntem	25
3.2.1. Lazer Dolgu Kaynağı Ünitesi Özellikleri	25
3.2.2. Taguchi Deney Tasarımı	30
3.2.3. Optik Mikroskop Analizi	32
3.2.4. SEM EDX Analizi	32
3.2.5. Mikrosertlik Ölçümü	33
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	34
4.1. Optik Mikroskop Analizi Bulguları	34
4.2. Taguchi Deney Bulguları	39
4.2.1 Metco-42 Taguchi Deney Bulguları	39
4.2.2 UTP PLASweld Ferro 55 Taguchi Deney Bulguları	47
4.2.3 UTP PLASweld 73G3 Taguchi Deney Bulguları	54
4.2.4 Genel Değerlendirme	61
4.3. Sertlik Ölçümü Bulguları	70
4.4. SEM EDX Analizi	73
5. SONUÇ	76
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	82

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

Kw	Kilowatt
P	Lazer Gücü
V	Dolgu Malzemesi Hızı
D	Lazer Işını Çapı
W	Dolgu Havuzu Genişliği
h	Dolgu Havuzu Yüksekliği
b	Dolgu Havuzu Derinliği
θ	Dolgu Havuzu Açısı
In	Indium
Ga	Galyum
As	Arsenik

Kisaltmalar

Açıklama

P/V.D	Yüze Uygulanan Enerji Yoğunluğu
LED	Light emitting diodes
CCD	Charge Coupled Device
CW	Continuous Wave
CCD	Charge Coupled Device

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Toz Malzeme Üflemleri Lazer Dolgu Kaynağı	3
Şekil 2.2. Toz Malzeme Üflemleri Lazer Dolgu Kaynağı Şeması	4
Şekil 2.3. Diot Lazer Şeması.....	6
Şekil 2.4. Maddelerin Lazer Absorbsiyon Eğilimleri	8
Şekil 2.5. Lazer Dalga Boyu Bağlaması	9
Şekil 2.6. Diot Lazer	9
Şekil 2.7. Toz Partikül Geometrilere	10
Şekil 2.8. Lazer Dolgu Ünitesi.....	15
Şekil 2.9. Yüksek Güç Diot Lazer Kurgusu	16
Şekil 2.10. Diot Lazer Dönüştürücü Prensipleri	16
Şekil 2.11. Lazer Ünitesi	17
Şekil 2.12. Lazer Kafa Tipleri.....	17
Şekil 2.13. Lazer Işını Malzeme Prosesleri Fiziği	18
Şekil 2.14. Kaynak Dolgu Havuzu Kesiti	19
Şekil 2.15. Dolgu Kesiti	20
Şekil 2.16. Lazer Dolgu Kaynak Bölgesinde Çatlak	22
Şekil 2.17. Malzemede Oluşmuş Gaz Boşlukları.....	22
Şekil 3.1. Toz Dolgu Lazer Kafası	26
Şekil 3.2 Robot ve Doğrusal Hareket Tablası	27
Şekil 3.3 Su Soğutma Ünitesi	28
Şekil 3.4. Toz Malzeme Ünitesi	29
Şekil 3.5. Toplas3D V3 Programı	30
Şekil 3.6. Dolgu Kaynağı Uygulamaları	32
Şekil 3.7. Vickers Mikrosertlik Ölçümü	33
Şekil 4.1. Dolgu Kaynağı Kesiti	34
Şekil 4.2. Çatlak ve Gözenekler	35
Şekil 4.3. Kaynak Geometrisi Kesit Sonuçları.....	36
Şekil 4.4 Çatlak Bölgeleri Analizi	37
Şekil 4.5. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak yüksekliği için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4.6. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak eni için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri	40
Şekil 4.7. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak dolgu en/boy oranı için a) S/N oranlarının ve b) Ortalamalarının temel etki grafikleri	41
Şekil 4.8. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak derinliği için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	42
Şekil 4.9. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin çatlak boyu için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	43
Şekil 4.10. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin çatlak adedi için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	44
Şekil 4.11. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek sayısı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	45
Şekil 4.12. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek çapı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	46
Şekil 4.13. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin genel kaynak kalitesi için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri	46
Şekil 4.14. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak yüksekliği için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	47
Şekil 4.15. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak eni için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri	48
Şekil 4.16. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin Dolgu En/Boy oranı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri	49
Şekil 4.17. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak derinliği için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	50
Şekil 4.18. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu çatlak boyu için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri	51
Şekil 4.19 UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu çatlak adedi için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4.20. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek sayısı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri	52
Şekil 4.21. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek çapı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri	53
Şekil 4.22 UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin genel kaynak kalitesi için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	54
Şekil 4.23. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak yüksekliği için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	54
Şekil 4.24. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak eni için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri	55
Şekil 4.25. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu En/Boy oranı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri	56
Şekil 4.26. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu Kaynak derinliği için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	57
Şekil 4.27. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu bölgesi çatlak boyu için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	57
Şekil 4.28. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu bölgesi çatlak adedi için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	58
Şekil 4.29. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu bölgesi gözenek sayısı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	59
Şekil 4.30. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu gözenek çapı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	60
Şekil 4.31. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu genel kalite ortalaması için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri.....	60
Şekil 4.32. Dolgu Kesiti SEM Görüntüsü (Grafit Bölgesi)	73
Şekil 4.33. Grafit SEM Görüntüsü.....	74
Şekil 4.34 SEM-EDX Kimyasal Analizi.....	74
Şekil 4.35. Gözenek SEM Görüntüleri	75
Şekil 4.36. SEM-EDX Gözenek Bölgesi Sonucu	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Yarı İletken Malzeme Lazer Dalgaboyları	8
Çizelge 2.2. Toz Üretim Yöntemleri.....	11
Çizelge 3.1. GGG -70L Döküm Kimyasal Analiz Ölçümü	24
Çizelge 3.2. Toz Metal Dolgu Malzemeleri.....	24
Çizelge 3.3. Diode Lazer Ünite Özellikleri.....	26
Çizelge 3.4. Test Parametreleri	31
Çizelge 3.5. Deney Değişkenleri.....	31
Çizelge 3.6. Taguchi Deney Tasarımı Parametreler	31
Çizelge 4.1. Değerlendirme Tablosu	38
Çizelge 4.2. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak yüksekliği için ANOVA analizi.....	40
Çizelge 4.3. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak eni için ANOVA analizi	41
Çizelge 4.4. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak en/boy oranı için ANOVA analizi.....	42
Çizelge 4.5. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak derinliği için ANOVA analizi	43
Çizelge 4.6. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin çatlak boyu için ANOVA analizi	44
Çizelge 4.7. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin çatlak adedi için ANOVA analizi	44
Çizelge 4.8. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek sayısı için ANOVA analizi	45
Çizelge 4.9. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek çapı için ANOVA analizi	46
Çizelge 4.10. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek çapı için ANOVA analizi	47
Çizelge 4.11. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak yüksekliği için ANOVA analizi	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.12. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak eni için ANOVA analizi.....	49
Çizelge 4.13. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin Dolgu En/Boy oranı için için ANOVA analizi	49
Çizelge 4.14. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak derinliği için için ANOVA analizi	50
Çizelge 4.15. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu çatlak boyu için ANOVA analizi.....	51
Çizelge 4.16. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin çatlak adedi için ANOVA analizi.....	52
Çizelge 4.17. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek sayısı için ANOVA analizi.....	52
Çizelge 4.18. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek çapı için ANOVA analizi.....	53
Çizelge 4.19. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin genel kaynak kalitesi için ANOVA analizi	54
Çizelge 4.20. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak yüksekliği için ANOVA analizi	55
Çizelge 4.21. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak eni için ANOVA analizi.....	55
Çizelge 4.22. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu En/Boy oranı için ANOVA analizi.....	56
Çizelge 4.23. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu Kaynak derinliği için ANOVA analizi	57
Çizelge 4.24. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu bölgesi çatlak boyu için ANOVA analizi	58
Çizelge 4.25. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu bölgesi çatlak adedi için ANOVA analizi.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.26. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu bölgesi gözenek sayısı için ANOVA analizi	59
Çizelge 4.27. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu gözenek çapı için ANOVA analizi	60
Çizelge 4.28. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu genel kalite ortalaması için ANOVA analizi	61
Çizelge 4.29. Kaynak Yüksekliği Değerlendirme Tablosu.....	61
Çizelge 4.30. Kaynak Eni Değerlendirme Tablosu.....	62
Çizelge 4.31. Kaynak En/Boy Oranı Değerlendirme Tablosu.....	63
Çizelge 4.32. Kaynak Derinliği Değerlendirme Tablosu.....	64
Çizelge 4.33. Çatlak Boyu Değerlendirme Tablosu.....	65
Çizelge 4.34. Çatlak Adedi Değerlendirme Tablosu	66
Çizelge 4.35. Gözenek Sayısı Değerlendirme Tablosu.....	66
Çizelge 4.36. Gözenek Çapı Değerlendirme Tablosu.....	67
Çizelge 4.37. Genel Kalite Değerlendirme Tablosu	69
Çizelge 4.38. Vickers Mikrosertlik Ölçüm Değerleri	70
Çizelge 4.39. SEM – EDX Grafit Bölgesi Sonucu	75

1. GİRİŞ

Otomotiv sektöründe araçların iskeleti büyük oranda sac metal malzemelerin birleştirilmesiyle üretilmektedir. Bu sac parçalar karmaşık geometrilerde olup şekillendirilmesinde seri üretim kalıpları kullanılmaktadır. Üretilen kalıplar çalışma koşullarında yada henüz üretim aşamasında geometri değişikliği yada tamirat işlemi gerekmektedir. Kaynak işlemi bunun için en ekonomik yöntemdir.

Metal yüzeylerinin iyi bir korozyon direnci, aşınma direnci ile sertlik değerine sahip olması için ana malzeme üzerine daha üstün özelliklere sahip diğer bir malzemenin eklenmesi çözüm olabilmektedir. Üfleli lazer dolgu kaynağı prosesi Rolls Royce Ltd tarafından patenti 80 lenden önce alınmıştır (Toyserkani ve ark. 2005).

Lazer dolgu kaynağında , dolgu malzemesinin toz yada tel olarak kullanılması mümkündür. Toz dolgu kullanılması durumunda , tozun kaynak bölgesine üflenmesi yada yüzeye önceden serilmesi ile yöntem çeşitlendirilmiştir. Bu yöntemler için kaynak disiplinlerinde (kaynak parametreleri , yazılım ve ekipman tasarımları vs.) değişiklik yapmak zorunludur. Toz dolgu malzemesi ile üfleli lazer dolgu kaynağı : İşlem, lazer ışınının ana malzeme üzerindeki odak bölgesine toz dolgu malzemesinin püskürtülmesi ile gerçekleştirilir. Tozun bölgeye hareketi bölgeye akışı sağlanan koruyucu gaz sayesinde sağlanmaktadır. Tek bir lazer kafasına hortumlar ile bağlantısı yapılmış gaz ve toz malzeme çıkışı bu kafanın malzeme üzerindeki hareketiyle işlem yapılmaktadır.

Kaynak ergiyik havuzuna ulaştırılan malzemenin verimli kaynağı için lazer enerjisinin gücü yeterli olmalıdır. Enerjinin düşük olması bölgede ergime gerçekleşmeden çarpma ile bölgeden uzaklaşacak toz partikülü miktarını arttıracak , yüksek olması ana malzemedeki ergimeyi arttırarak gereksiz enerji sarfiyatı ve ana malzemenin aşırı ısınması ile termal şekil değiştirmesine sebep olacaktır (Yellup 1995).

Bu çalışma kapsamında, GGG70 ana malzeme üzerine 3 farklı toz malzeme kullanılarak Taguchi metodu ile kaynak parametrelerinin (güç , ilerleme miktarı, toz debisi) çatlak ve gözenek oluşumuna etki şiddetleri yapılan deneylerle incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Lazer ışını teorisini ilk olarak 1917 yılında Albert Einstein tarafından ışımının uyarılmış salınım teorisi olarak ortaya konmuştur. Lazer ışınının ilk üretimi ise 1960 yılında T. H. Maiman tarafından gerçekleştirilmiştir. Lazer üretimi sonrası bu alandaki çalışmalar artmıştır. 1970 li yıllarda yüzey kaplama işleminde lazerin yüksek maliyeti nedeniyle kısıtlı kullanılmış , ilerleyen süreçte farklı lazer ışını kaynakları ile kullanımı yaygınlaşmıştır (Maiman 1960).

Lazer ışını üretiminde CO₂' in kullanıldığı ve dolgu tozunun üflenmesi yoluyla yapılan lazer dolgu kaynağı tekniği üzerinde çalışmalar 1994- 95 yıllarında yapılmıştır. Yapılmış çalışmada; 5 kw lazer gücü ile C-Mn çelik , SG döküm çelik , 304 L paslanmaz çelik gibi farklı malzemeler ile üniform yüzey katmanları 5mm genişlik ve 1 mm kalınlığında tarama şeklinde kullanılarak örnek geometrilerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Proses parametrelerinin; gözenek oluşumu, kaynak ergiyik bölgesi ve mikroyapı oluşumundaki etkileri incelenmiştir (Yellup 1995).

Lazer kaynağı , lazer dolgu kaynağı ve lazer delme işlemleri proseslerinde CCD (*Charge Coupled Device*) kameralar ile görüntü işleme yapılarak eş zamanlı proses parametre kontrolünün bilgisayar destekli yapılması çalışılmıştır. Kameralardan biri termal kontrolde diğeri dolgu bölgesinin geometrik ölçümünde kullanılıp bu sayede kaynak yapılabilen malzeme miktarının tespitinde kullanılmıştır. Prosesdeki termal durumun resim görüntüleme ve fotoğraf işleme teknolojisi kullanılarak analizi yapılmıştır. Maliyeti düşürmek amacıyla ucuz bir bilgisayarda kameradan alınmış sıcaklık dağılımı verilerinin depolanıp, eş zamanlı işlenmesi ile toz dolgu malzeme debisinin kontrolü çalışılmıştır (Meriaudeau ve ark. 1997).

Yüzey özelliklerinin geliştirilmesinde lazer alaşımlama ve dolgu işleminin farklı iki metodu olan , dolgu malzemesinin yüzeye önceden serilmesi ile doğrudan püskürtülmesi şeklinde yapılan işlemler arasındaki avantaj ve dezavantajları Riabkina-Fishman ve arkadaşları tarafından çalışılmıştır. Ağır çalışma koşullarında makine elemanlarının aşınma ve korozyon etkilerinden korunmasında ekonomik çözüm sağlaması bakımından yüzey lazer dolgusu ön plana çıkmaktadır. Bu işlemdeki metodun farklı olduğu durumlardaki sonuçlar ortaya konmuştur. İlk çalışmada 1045 çelik malzeme üzerine iki

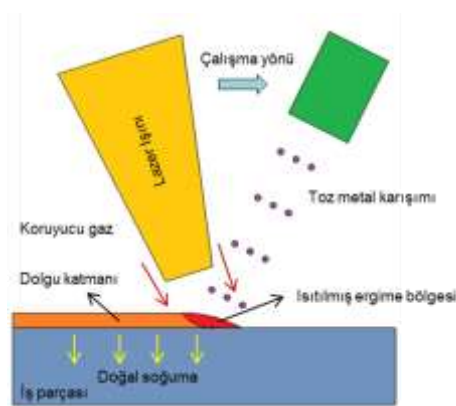
katman olarak tabanda nikel ve üstte krom elektrolitik kaplama olacak şekilde 1 KW gücünde CO2 lazer ile kaplanmıştır. İkinci çalışmada ise 4340 çubuk malzeme üzerine Kobalt tabanlı METCO toz malzemesi 9 KW gücünde CO2 lazer ile uygulanmıştır.

Dolgu bölgesinde gözenek ve çatlak tipleri ile bunların oluşumu mekanizması Nikel esaslı alaşımlı dolgu malzemesi ile araştırılmıştır. Gözeneklerin genellikle kaplama tabakasının yüzeyinde ve tabanında bulunduğu tespit edilmiş. Gözeneği oluşturan gazın, kaplamadan veya kaplama işlemi sırasında alaşım elementleri arasındaki etkileşimlerden geldiği tespit edilmiştir. Kaplama alanında düşük erime ötekliği ve lazer enerjisine bağlı, yatay ve dikey çatlak oluşumu gözlenmiştir (Zhang ve ark.2015).

Ülkemizde lazer eklemeli imalat teknolojileri konusunda bir çok çalışma yürütülmektedir. Bunlardan birinde proses parametrelerinin, istenilen nitelikte ürün eldesi amacıyla etkileri araştırılmıştır. Lazer dolgu kaynağında ergime bölgesinde istenen özelliklerin yanında dolgunun tarama stratejisinde ürün özelliğine etkisinin ve ürünün tasarımının sonuçlara etkisi ortaya konmuştur (Poyraz ve ark 2018).

2.1 Lazer Dolgu Kaynağı Tekniği

Lazer dolgu kaynağı tekniği sayesinde; karmaşık geometrilerde işlem yapabilme, ana malzemede ısınmanın düşük olması ile az miktarda şekil değişimi, farklı malzemelerin kullanılabilmesi, bilgisayar kontrolü ile 3 boyutlu yüzeylerde hassas dolgu kontrolü ve yüksek tekrar edilebilirlik sağlanabilmektedir.



Şekil 2.1. Toz Malzeme Üfleli Lazer Dolgu Kaynağı

aralığında ilerler. Bu süre birim alana etkiyen lazer gücü (P) ve bunun ilerleme hızına bağlıdır. Birim alana etkiyen enerji miktarı 102-104 W / mm²'dir (Gedda 2002).

Mikroyapı, ergiyik havuzundaki alaşım elementlerinin kompozisyonu yanında ana malzemeye çalışma koşullarında nüfuz etmiş (özellikle küresel grafitli dökümlerde) yağ partiküllerinden etkilenecek oluşur. Havuz içerisinde alaşım elementlerinden ve yağ partiküllerinin yanması ile ortaya gazlarının oluşum hızı yapının katılma hızından fazla olduğu durumda bölgede gözenek oluşumunu ortaya çıkaracaktır.

Yöntemin avantaj ve dezavantajlarına baktığımızda; karmaşık geometrilerde işlem yapabilme , ana malzemede ısınmanın düşük olması ile az miktarda şekil değişimi , farklı malzemelerin kullanılabilmesi, kontrollü kaynak bölgesi, hassas dolgu kalınlığının mümkün olması (Kaynak sonrası yüzey temizliğinin yada talaşlı üretiminin minimum yapılabilmesi), yüksek tekrar edilebilirlik (İşlem bölgesinin talaşlı üretimi ile tekrar dolgu yapılabilmesi) , bilgisayar kontrolü ile 3 boyutlu yüzeylerde hassas dolgu kontrolü avantajlarının yanında , dolgu malzemesindeki çeşitlilik nedeniyle işlem sonrası çatlak veya gözenek oluşumu , yüksek maliyeti bulunan dolgu toz malzemesinin işlem bölgesinde belli oranda çevreye saçılmasıdır.

2.1.1. Lazer Işını ve Çeşitleri

Lazer kelimesi “Light amplification by Stimulated Emission of Radiation” kelimelerinin baş harflerinden oluşmuştur. Uyarılmış ışınım yayınımları ile ışığın yoğunlaştırılması anlamına gelen bu terim kısaca yoğunlaştırılmış ışık anlamına gelir.

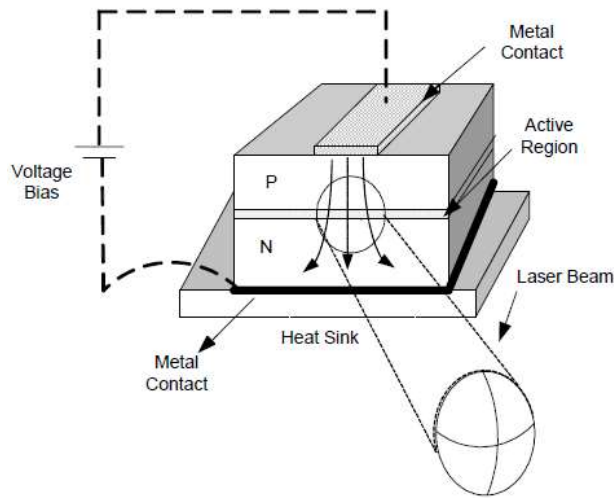
Lazer cihazlarının temel prensibi bir ışık kaynağından çıkan foton enerjisinin belirli bir ortamdan geçirilmesi yoluyla, bu ortamın atomlarındaki elektronların dönüş hızını artırmak ve böylece gelen ışınlardan çok farklı dalga boyunda, tek bir doğrultuda hareket eden yeni bir ışın elde etmektir. Lazer ışınlarını elde etmek için radyasyon emisyonu sağlayacak aktif bir ortam (katı, sıvı, gaz), enerji kaynağı, elektron hareketlerini hızlandırmak için rezonans ayna sistemi ve fiber-optik bir iletken gereklidir (Boyras ve ark. 2016).

Lazer ışını oluşumunda yer alan çok sayıda lazer tipi, fiziksel ve operasyonel parametrelere göre kategorize edilebilir. Lazer tiplerini sınıflandırmada en yaygın yol, onları aktif maddenin fiziksel durumuna göre sınıflandırmaktır. Bu kritere göre, lazerler şu şekilde kategorize edilebilir:

- Gaz Lazerler (Gas Lasers)
- Ultraviöle Lazer (Excimer Lazer)
- Katı Hal Lazerleri (Solid-state Lasers)
- Diot Lazerler (Yarı İletken Lazerleri)
- Sıvı Boya Lazerleri (Liquid Dye Lasers)
- Fiber Lazerler (Fiber Lasers)

2.1.2. Diot Lazerleri (Yarı İletken Lazerleri)

Bu kısımda, lazer dolgu kaynağında kullanılan diot lazerlerinden (Yarı iletken lazer) bahsedilecektir. Diyotlar elektrik akımını bir yönde iletir diğere yönde bloke edecek şekilde geliştirilmiş elemanlardır. Bazı yarı iletken diyotlar, elektrikle uyarıldığında ışık saçar. (Light emitting diodes LED). Aynı şekilde diyotlardan ışık gibi lazer de elde edilebilir. Diyot lazerleri olarak da adlandırılan yarı iletken lazerler, katı hal lazerleri değildir. Bu elektronik cihazlar genellikle çok küçüktür ve düşük bir güç kullanır. Bazı lazer yazıcılarda veya kompakt disk oynatıcılarda yazma kafası gibi daha büyük diziler halinde oluşturulabilirler. Şekil 3 te, bir diyot lazerin yapısı gösterilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Diot Lazer Şeması (Toyserkani ve ark. 2005)

İlk Diyot lazerleri 1962 yılında inşa edilmiştir. İlk sistemler nispeten düşük verimde ve yüksek kayıpları olan basit dağınık p-n geçişlerine sahipti. Diyot lazer, ışık üretimi ve ışığın güçlendirilmesinde, p-n-geçiş bölgesi içindeki elektronların ve boşlukların birlikte kullanılmasıyla üretilir. Sistemi uyarılması elektrik akımıyla başlatılır. (Elektronların enjeksiyonu) Yüksek akım yoğunluğu ($100 \text{ kA} / \text{cm}^2$ 'den fazla) nın soğutulması gerekiyordu ve soğutma sıvı nitrojen kullanılarak yapılıyordu.

Modern diyotların, geliştirilmiş karmaşık çok katmanlı tasarımları sayesinde akım yoğunluğunu $1 \text{ kA} / \text{cm}^2$ 'nin altına düşürerek sistemin oda sıcaklığında kullanma olanağı sağlanmıştır. Difüzyon bölgesi (Aktif bölge) $0,2 \dots 0,3 \text{ } \mu\text{m}$ yüksekliğindedir. Katmanın genişliği $5 \text{ } \mu\text{m}$ veya birkaç milimetre arasında uzantılara sahip olabilir. Derinlik (Rezonatörün uzunluğu) $100 \text{ } \mu\text{m}$ başlayıp mm seviyesine kadar uzayabilir.

Diyot, genişlik üzerinde homojen bir ışık yaymaz. Bağımsız olarak lazer ışığı yayan 2 ila $10 \text{ } \mu\text{m}$ genişliğinde bölgeler vardır. Uyarıcı akım gerekli akım yoğunluğunun altındaysa, ışık amplifikasyonu yoktur ve yayılan ışık tutarlı değildir. Sadece eşik akımının beslenmesiyle, aktif bölgedeki devam eden elektronların inversiyonu gerçekleşir ve lazer ışığının gücü orantılı olarak artar (Erlas GmbH 2017).

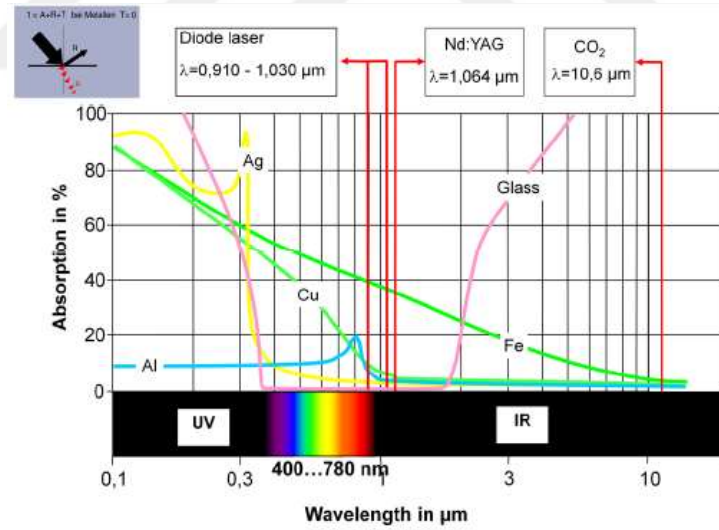
Diyot lazerlerin özelliklerinden bazıları, geniş spektrum bandı (2-20 nm), geniş ışın sapması (40° yarı açısı), simetrik olmayan ışın dağılımı (iki ortogonal ekseninde ışın sapması ve alan başına daha düşük enerji yoğunluğu).

Diyot lazerler, çok küçük bir lazer paketinde tutarlı ışık üretmek için galyum-arsenik - indium gibi yarı iletkenlerinin mikroskobik çiplerini kullanırlar. Bu maddeler periyodik cetvelin III-V gurubu yarı iletkenlerdir. Bu yarı iletkenlerdeki iletim ve valans bandı elektronları arasındaki enerji seviyesi farklılıkları, lazer eyleminin mekanizmasını sağlar. Elektrik akımı ile yarı iletken maddelerden sağlanan elektron geçişleri sonucunda p-n bağlantılarının öne doğru eğilmesiyle elde edilir. Spontan emisyon ve uyarılmış emisyon, iletim bandındaki elektronlar valans bandındaki deliklerle birleştiğinde ortaya çıkar. Bir diyot lazerindeki optik boşluk, bir Farby-Perot lazer oluşturma boşluğu oluşturmak için yarı iletken tabakalarının iki karşıt yüzeyinin ayrılmasıyla oluşturulur.

Çizelge 2.1. Yarı İletken Malzeme Lazer Dalgaboyları (Erlas GmbH 2013)

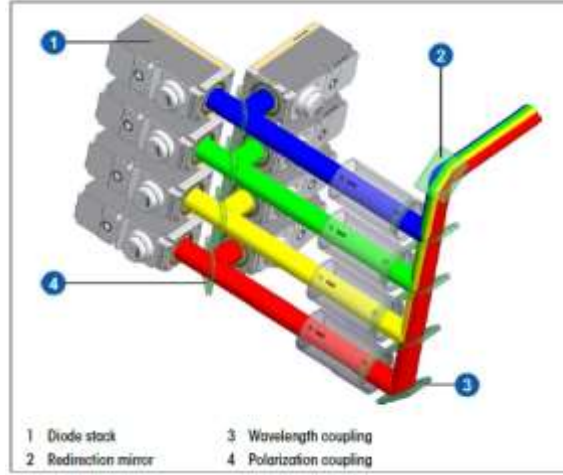
Yarı İletken Malzeme	Lazer Dalga Boyu Aralığı
ZnSSe/ZnSe/CdZnSe	0,4 – 0,5 μm
AlGaInP/GaAs	0,6 – 0,7 μm
AlGaAs/GaAs	0,7 – 0,88 μm
InGaAs/GaAs	0,9 – 1,1 μm
InGaAsP/InP	1,3 – 1,55 μm
GaInAsSb/GaSb	2,1 – 4 μm
Pb-chalgogenide	2,6 – 30 μm

Diyot lazer ile üretilen lazer ışınının uygulandığı malzemenin türü lazerin seçiminde önem arz eder. Çizelge 1’de InGaAs/GaAs (In : İndium , Ga : Galyum , As: Arsenik) diyotundan elde edilen 0,9 – 1,1 μm dalga boyundaki lazer demir esaslı malzemelerde yüksek nüfuziyeti ve düşük yansıması nedeniyle ön plana çıkmaktadır.



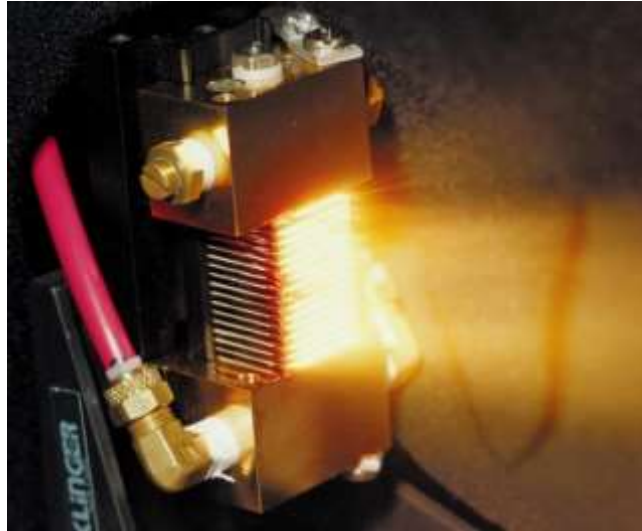
Şekil 2.4. Maddelerin Lazer Absorpsiyon Eğilimleri (Trumpf GmbH 2016)

Şekil 2.4’ de görüleceği üzere demir malzeme üzerine 0,1 μm dalga boyunda lazer ışını gönderildiğinde bu ışının enerjisinin yaklaşık %85 seviyesinde absorbe edilmektedir. Proseste kullanılan enerjinin verimi açısından ve işlem süresinin azaltılması açısından prosese uygun kullanılacak lazer seçimi önem arz etmektedir.



Şekil 2.5. Lazer Dalga Boyu Bağlaması (Laserline GmbH 2016)

Lazer çıkış gücünü arttırmak için, uygun bir dielektrik ayna kullanarak birkaç farklı lazer dalga boyunu birleştirmek mümkündür. Şekil 2.5'te görüleceği üzere bu prensibe dalga boyu bağlaması denir. Lazer ışınının mükemmel polarizasyonu, çıkışı daha da artırmak için daha fazla kullanılabilir. Uygun aynalar kullanılarak iki lazer ışını bir dalga boyunda birleştirmek mümkündür. Lazerin çıkış gücü, iki dalga boyunu kullanarak yaklaşık 4 kat artar, ışın kalitesi hemen hemen aynı kalır.



Şekil 2.6. Diot Lazer

(Kaynak: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laser_diode_array.jpg)

Diyot lazer ünitelerinde sistemin soğutulması gereklidir. Bu nedenle günümüzde üretilen diyot lazer ünitelerinde soğutma sistemi bulunmaktadır. Bu sistemlerde dielektrik sıvılar kullanılarak soğutma yapılmaktadır (Şekil 2.6).

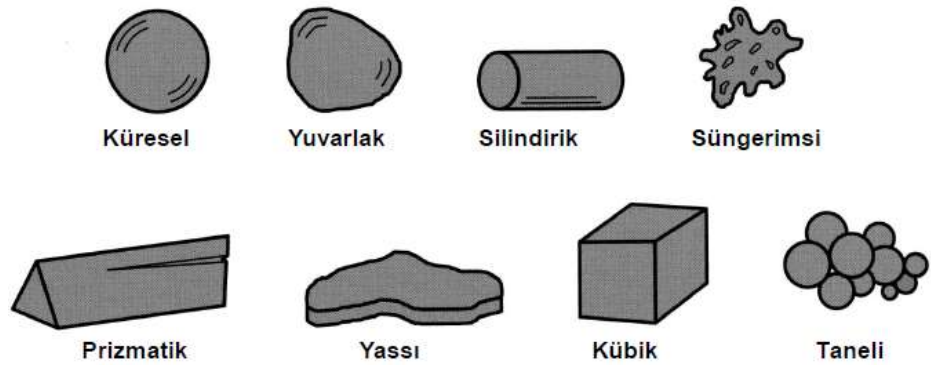
2.1.3. Metal Toz Dolgu Malzemeleri

19. Yüzyılın ortalarında toz metallerin birleştirilmesi ile üretim başlamıştır. Metal tozlarının imalinde kullanılan teknikler, tozların birçok özelliklerini tayin eder. Şekil 2.7’de görüleceği üzere tozun geometrik şekli üretim yöntemine bağlı olarak küreselden, karmaşık şekle kadar çok farklı olabilmektedir.

Tozun yüzey durumu da üretim yöntemine göre değişiklik göstermektedir. Malzemelerin çoğu, özelliklerine uygun bir teknik kullanılarak toz haline getirilebilir.

Bir tozun hangi yöntemle üretildiğinin bilinmesi ilk olarak o tozun tane boyutu, boyut dağılımı ve şekli gibi fiziksel özellikleri ile kimyasal safiyeti ve safsızlık nitelikleri hakkında kullanıcıya ön fikirler verebilir.

Tozu üretilecek malzemenin ergime sıcaklığı, gevrek veya tok oluşu, bileşik veya saf halde bulunuşu gibi önemli birkaç faktör göz önünde bulundurularak toz üretim tekniği belirlenir (Kurt 2010).



Şekil 2.7. Toz Partikül Geometrileri

Toz üretiminde istenilen amaca yönelik ve tozun özelliklerine bağlı aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır.

- *Mekanik Yöntemler*
 - o Talaşlı Üretim
 - o Mekanik Öğütme
 - o Mekanik Alaşımlama
- *Kimyasal Yöntemler*
 - o Sol-jel
 - o Kimyasal Çökeltme
 - o Kimyasal Reaksiyon
 - o Kimyasal Buhar
- o Çökeltme (CVD)
- *Elektroliz Yöntemi*
- *Atomizasyon Yöntemleri*
 - o Gaz Atomizasyonu
 - o Su Atomizasyonu
 - o Yağ Atomizasyonu
 - o Vakum Atomizasyonu
 - o Dönen Elektrod Prosesi
 - o Eriyik Döndürme

Çizelge 2.2. Toz Üretim Yöntemleri

(Erciyes Üniv. Üretim Yönt. ve İmalat Teknolojileri -Toz Metalurjisi 2018)

Malzeme Türü	Üretim Yöntemi
Alaşımlı Çelikler	Su atomizasyonu , Gaz Atomizasyonu , Savurma
Alüminyum	Hava , Gaz Atomizasyonu , Öğütme
Sert Metaller (WC-Co)	Öğütme , Aşındırarak Öğütme
Bakır	Elektrolitik , Su yada Gaz Atomizasy, Kimyasal Çökeltme
Altın	Elektroliz , Hava atomizasyonu , Kimyasal Çökeltme
Demir	Oksit İndirgeme , Su veya gaz Atomizasyonu , Savurma
Nikel Alaşımları	Asal Gaz Atomizasyonu , Su Atomiz. , Savurmalı Atom.
Reaktif Metaller (Ti vb)	Klorür İndirgeme , Hidroje İndirgeme , Kimyasal Çökelt.
Isıya Dayanıklı Metaller	Oksit İndirgeme , Savurmalı Atomizasyon , plazma Atomizasyonu

Başarılı bir yüzey dolgu kaynağı için toz malzemesi seçimi doğru olmalıdır. Dolgu yapılacak ana malzeme ve seçilmiş dolgu tozu malzemesine uygun proses parametrelerinin önceden tecrübe edilmesi gereklidir. Kaynak bölgesinde çatlak ve gözenek oluşumunu en aza indirecek uygulamalar çizelgeler halinde hazırlanmalıdır.

Dolgu malzemesi seçiminde istenilen mekanik özellikler, sertlik değeri, aşınma direnci gibi özellikler etkindir (Çizelge 2.2).

2.1.4 Lazer Dolgu Kaynağı Parametreleri

Çoklu disipline sahip proses işlemleri olması nedeniyle kaliteli sonuçlara ulaşmak için çok sayıdaki giriş parametrelerinin doğru yönetilmesi zorunludur. Lazer ışınına ait ortalama gücü seviyesi , kaynak bölgesine ulaştırılan metal tozun uygun kaynak havuzu oluşturulması için stabil olmalıdır. Prosesin eş zamanlı bir yazılım ile yönetilmesi zorunludur. Kaynak havuzundaki sıcaklık değeri ölçülerek lazer enerjisinin havuza uygulanması gerekir.

1- Giriş Parametreleri (Toyserkani ve ark. 2005)

Lazer

- Ortalama güç
- Odak çapı
- Dalga boyu
- Darbeli/Sürekli dalga (CW:Continuous Wave)
- Işın Profili

Hareketli Sistem Araçları

- Bağlı Hız
- Bağlı İvme
- Sistem Hassasiyeti (Sistem Toleransı)
- Yüzey gerilimi

Malzeme

- Malzeme Geometrisi
- Kompozisyon
- Metalurjik, termo fiziksel ve optik özellikler
- Toz boyutu

Toz Besleme

- Toz besleme hızı
- Argon gazı akış hızı
- Lüle özellikleri
- Toz akış profili

Çevre Özellikleri

- Ön ısıtma
- İş parçasının ön talaşlı işlenmesi
- Koruyucu gaz akış hızı
- Koruyucu gaz türü

2- Proses Parametreleri

- Absorpsiyon
- İletim
- Difüzyon
- Kaynak havuzu dinamiği
- Akışkan konveksiyonu
- Gaz/Ergiyik havuzu etkileşimi
- Toz metal ile lazer etkisinin zayıflaması
- Hızlı katılma

3- Çıktılar

- Dolgu kalitesi
- Geometri
- Mikroyapı
- Sertlik
- Çatlaklar
- Gözenekler
- Kalıntı gerilmeler
- Yüzey pürüzlülüğü
- Seyrelme

Toz besleme oranı ve ilerleme hızı, dolgu katmanının geometrisini etkiler. Dolgu kalınlığı, eriyik havuzuna iletilen toz miktarına bağlıdır. Birim uzunluk başına iş parçası üzerine taşınan toz miktarını hesaplamak için toz besleme hızı (m) ve tarama hızını (v) birleştirerek toz besleme oranını ($m/v - g/m$) hesaplamak mümkündür.

Tüm gelen tozu eritmek için yeterli enerji mevcutsa, toz besleme oranı ve gerekli enerji arasında doğrusal bir ilişki vardır. Aşırı yüksek lazer enerjisi girdisi, ergiyik havuzunda istenmeyen mekanik özellikleri ortaya çıkarıp dolgunun aşınma direncini düşürecektir. Ana malzemede yeterli miktarda ergime sağlanmalıdır bu sayede dolgu malzemesi ile iyi bir bağ oluşturulur.

Lazer ışını çapı ve enerjisinin en uygun değerinde kaynak havuzu en verimli haliyle oluşturulmuş bu sayede bölgeden çevreye toz malzeme saçılması miktarda azaltılarak dolgu verimliliği yükselecektir (Oberlander ve ark. 2011).

İş parçasındaki geniş alanları lazer dolgunun yan yana dizilmesiyle kaplanır. Bu durumda kaplamalar yan yana ve ikinci katmanda üst üste binmesi başka bir süreç parametresini ortaya çıkaracaktır. Dolgu katmanının üst üste binmesi çok küçükse, zayıf kaplama oluşur. Artan üst üste binme ile yüzey profili daha pürüzsüz hale gelir, ancak her yol bir

önceki parçada bir ısı işlem üretir. İki örtüşen parça arasında, kaplama tabakasında ısıdan etkilenen bölgede dönüşüm gelişir. Bu dönüşüm, sertlik ve korozyon direncinin düşük özelliklerine sahip bir kalınlaştırılmış mikro yapı oluşturacaktır. Bu nedenle, daha geniş alanları kaplamak için, geniş bir dolgu katmanı avantajlıdır, sonuç olarak daha az çakışma oluşacaktır.

Kaynak havuzunda oluşan gaz tanecikleri gözenek oluşumunun ana sebebidir. Dolgu bölgesinde yağ , yanıcı madde yada kaynak havuzundaki bileşim elementlerinin oluşturduğu gaz oluşum hızı ile kaynağın soğuma hızı arasında ilişki bulunmaktadır. Gaz oluşum hızı soğuma hızından yüksek olduğu durumda ergiyik içerisinde gözenek kalıntısı kaçınılmazdır. Dolgu yapılacak iş parçası üzerindeki yağ kalıntısı işlem öncesi temizlenmelidir. Bunun için gerekli görülürse soğutma sıvısı kullanılmadan talaşlı üretim ile bu katman kaldırılmalıdır. Zira yapısı gözenekli olan döküm malzemelerde malzemeye nüfuz etmiş yağ tabakasını ortadan kaldırmak diğer yöntemlerle imkansızdır.

Lazer gücünün arttırılması ile kaynak havuzu büyüklüğünün ve ısıdan etkilenen bölgenin arttığı yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir.

2.1.5 Lazer Işını Tehlike Sınıfları

Lazerler, tehlike potansiyeline bağlı olarak sınıflandırılmıştır. EN 60825 standardı daha net değerleri içermektedir.

1. Lazer sınıfı 1 ve 1M : Normal kullanımda güvenli olan ve bir tehlike oluşturmayan lazer radyasyonu. Radyasyon optik aletler kullanıldığında bir tehlike oluşturuyorsa 1M sınıfı olarak adlandırılır.

2. Lazer sınıfı 2 ve 2M : Lazer radyasyonu görünür aralıkta 400 nm'den 700 nm'ye kadar. 0,25 saniyeye kadar uygulandığında güvenli olduğu görülmüştür. Kullanıcılara doğrudan ışına bakmamaları talimatı verilir. Optik cihazlar üzerinden görüntüleme yapılarak risk artarsa, 2M sınıfı olarak adlandırılır. Maksimum lazer gücü max: 1 mW.

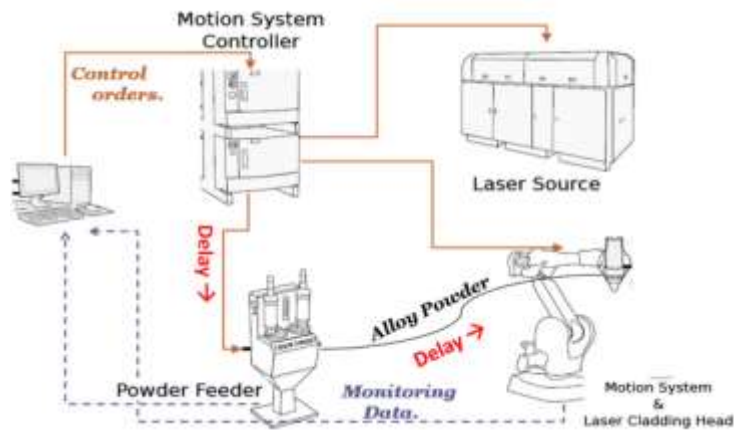
3. Lazer Sınıfı 3R : Lazer radyasyonu görünür aralıkta 302.5 nm ila 106 nm arasındadır. Bu radyasyon 3B sınıfının altında olsada gözler ve cild için tehlikelidir. Maksimum lazer gücü max: 5 mW.

4. Lazer Sınıfı 4 : Lazer radyasyonu görünür aralıkta 302.5 nm ila 106 nm arasındadır. Sınıf 4 lazer radyasyonu tehlikelidir. Gözlere ve cilde dağınık yansımaları gözlemlenmek bile tehlikeli olabilir (Erlas GmbH 2017).

2.2 Lazer Dolgu Kaynağı Üniteleri

Lazer dolgu kaynağı için kurgulanmış ünitelerde (Şekil 2.8) dolgu malzemesinin toz yada tel olarak kullanıldığı durumlardaki farklar haricinde aşağıdaki cihaz ve ekipmanlar bir kontrol ünitesi üzerinde etkileşimli görev almaktadır. Ünitenin, üretimin etkilerinden korunması amacıyla bir kabin içerisinde dış etkilerden izole edilmesi ve kabin içerisindeki proseste ortaya çıkan gazların filtre edilerek ortamdaki uzaklaştırılması gereklidir. Bununla birlikte lazer kabini yüksek güçteki lazer ışınının insan gözüne olumsuz etkisini önlemektedir. Operasyon anında kabin içerisinde çalışan bulunmamalıdır.

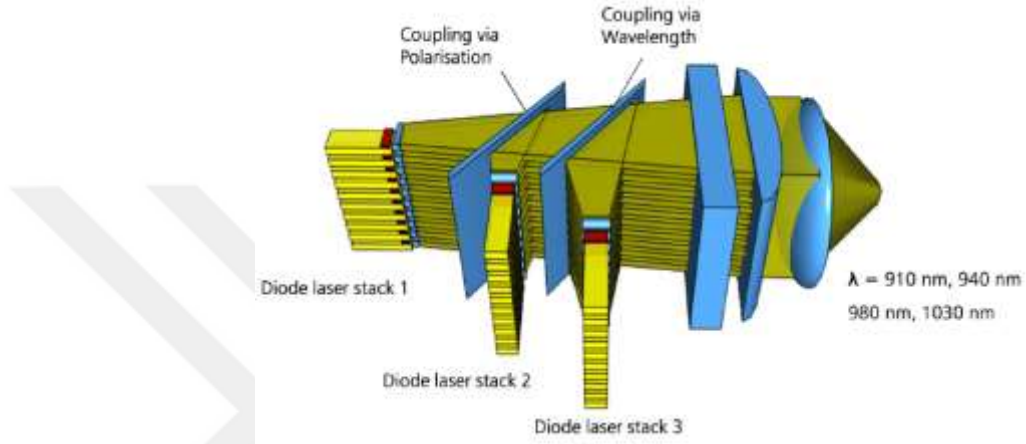
- Lazer üretim cihazı ve aktarımı (Fiberoptik kablo tesisatı)
- Lazer kafası ve optikler
- Robot ve doğrusal hareket tablası
- Soğutma sistemi
- Dolgu tozu yada dolgu teli besleme ünitesi
- Argon gazı tesisatı
- Kontrol ünitesi ve yazılım



Şekil 2.8. Lazer Dolgu Ünitesi (Amado ve ark.2014)

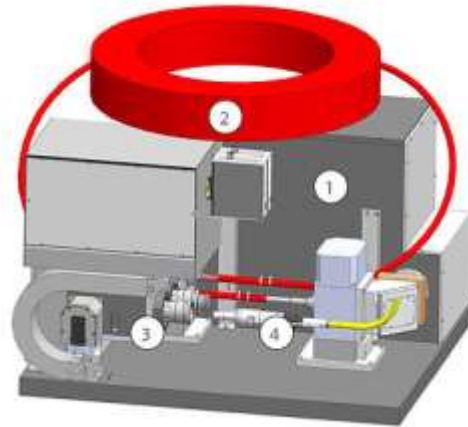
2.2.1 Lazer Üretimi ve Aktarımı

Lazer ışını, ünite içerisinde yarı iletkenler (diotlar) kullanılarak üretilir. Lazerin gücü , soğutma ve yardımcı bileşenler ayrı ayrı konfigüre edilebilmektedir. Tüm sistem verileri merkezi kontrol ünitesi tarafından izlenir ve toplanır. Üretilen lazer, fiberoptik kablo aracılığı ile robottaki lazer kafasına iletilir. Giriş kalitesine bağlı olarak, fiberoptik kabloda 100 µm ila 200 µm arası çekirdek kullanılabilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Yüksek Güç Diot Lazer Kurgusu (Laserline GmbH 2016)

Diot paketlerinde elde edilen ve kademeli olarak birleştirilerek güçlendirilen lazer çıkış bölgesinde optikler aracılığı ile aktif ve pasif fiber olarak sisteme dahil edilir.



Şekil 2.10. Diot Lazer Dönüştürücü Prensibi (Laserline GmbH 2016)

- | | |
|-----------------|-----------------------|
| 1- Diot pompası | 3- Işın çıkış – dönüş |
| 2- Aktif fiber | 4- Pasif fiber |

Aktif fiber Şekil 2.10'daki 2 nolu gösterilen fiberoptik kablo ile lazer kafasına ulaştırılır. Lazer dolgu kaynağında 4 KW , 6 KW yada daha yüksek güçlerde lazer gücüne ihtiyaç vardır. Lazer üretimi sırasında cihazdaki ısıyı kontrol altında tutmak için su soğutma sistemi kullanılmaktadır.

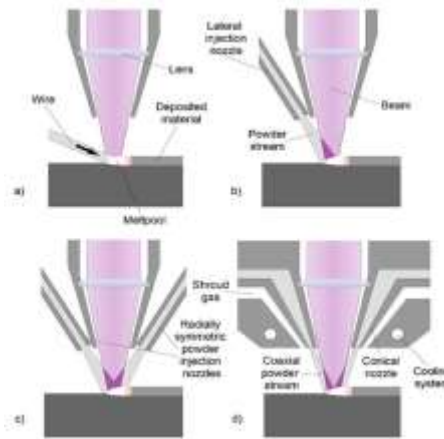


Şekil 2.11. Lazer Üniteleri (Laserline GmbH 2016)

Şekil 2.11'de farklı güçlerde lazer ışını üreten diot lazer üniteleri görülmektedir. Endüstride bu üniteler, farklı uygulamalar (plastik kaynağı, sertleştirme, kesme, dolgu kaynağı, kaplama vs.) için diğer sistem cihazlarıyla eş zamanlı yönetilerek kullanılmaktadır.

2.2.2 Lazer Kafa Modelleri

Günümüzde lazer dolgu kaynağında kullanılan kafalarda koaksiyel mimaride özel tasarlanmış yapılar kullanılmaktadır. Merkezde yüksek güçteki fiber lazer ışını ve üç farklı görevi olan gaz (Argon) gaz girişleri bulunmaktadır.



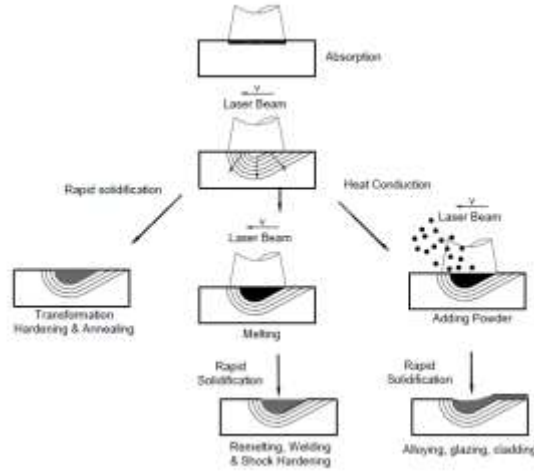
Şekil 2.12. Lazer Kafa Tipleri

Şekil 2.12–a da tel malzeme beslemeli bir lazer kafa tasarımı gösterilmiştir. Kaynak bölgesinin stabil olması ve atmosferik etkiden olumsuz etkilenmeyecek koşullar tel malzemedeki malzeme bileşimleri ile sağlanmalıdır.

Diğer gösterilen kafa tasarımlarında dolgu malzemesi olarak tozun kullanıldığı durumlar gelişim göstererek yer almıştır. Lazer kafa tasarımlarında kaynak bölgesi sıcaklığını tespit eden sıcaklık sensörlü tasarımlarda uygulamada yer almıştır. Ayrıca proses alanından termal kamera yardımı ile görüntü alarak işlemin analizi yapılabilmektedir.

2.3 Lazer Dolgu Kaynağı Bölgesi

Lazer dolgu bölgesinin oluşumunda ilk adım lazer ışınının ana malzeme üzerine ulaştığında enerjisinin yüksek oranda absorbe edilmesi ile odak noktasında sıcaklığın yükselmesidir. Hızla yükselen sıcaklık ile ergiyik havuzu oluşur. İşlem sırasında ortama gönderilen toz metal dolgu partikülleri tarafından az miktarda enerji emilimi gerçekleşir. Ergitilmiş bu partiküller eş zamanlı havuza ulaşır. Bu ilk kısım iletim (kondüksiyon) ısı transferi eşitliği ile ifade edilebilir. (Şekil 2.13)



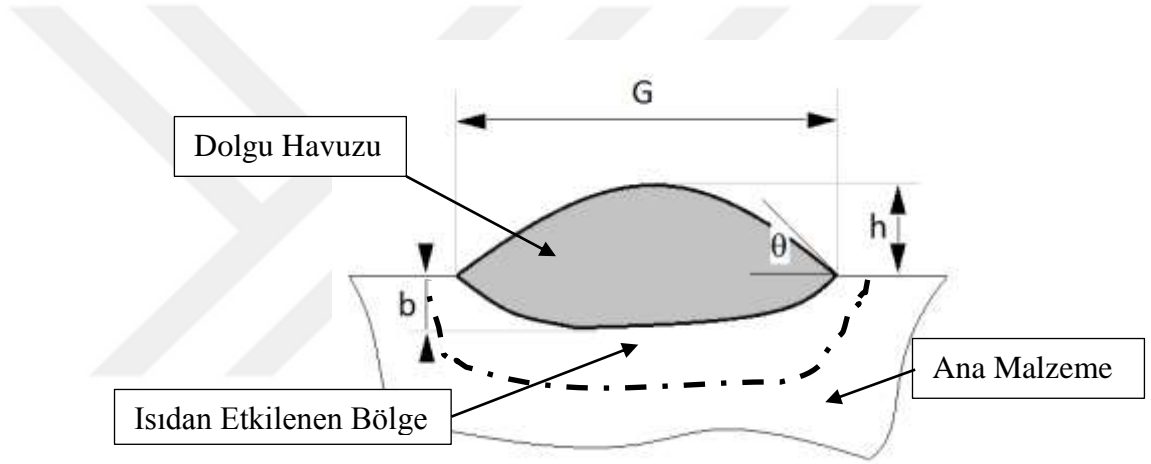
Şekil 2.13. Lazer Işını Malzeme Prosesleri Fiziği (Toyserkani ve ark. 2005)

Yükselen sıcaklık ile oluşan ergiyik havuzunda oluşan yüzey gerilimi ile oluşan karışım ana malzemeye nüfuz eder. Bu anda ısı transferi mekanizması değişerek ısı taşınımı (konveksiyon) oluşur. Metal toz ergiyikleri hızla ana malzeme ile karışım oluşturur. Bu olay esnasında momentum , ısı transferi ve malzeme karışımı gerçekleşir.

2.3.1 Dolgu Geometrisi

Lazer dolgu havuzu geometrisi kaynak parametrelerinin etkisiyle değişmektedir. Parametrelerin en uygun olduğu durumda en iyi geometri ve iç yapıda dolgu kaynağı elde edilecektir.

Lazer gücü , lazer odak çapı, uygulama mesafesi gibi parametreler ile yapılan dolgu katmanlarının genişlik ve yüksekliğinin istenilen ölçüde elde edilmesini sağlayacaktır. İlk dolgu katmanının üzerine atılan ikinci katmandaki adım ötelenmesi tepcikler arasının doldurulmasını sağlayıp boşluk oluşumunu engelleyecektir.



W = Dolgu Havuzu Genişliği (mm)

h = Dolgu Havuzu Yüksekliği (mm)

b = Dolgu Havuzu Derinliği (mm)

θ = Dolgu Havuzu Açısı

Şekil 2.14. Kaynak Dolgu Havuzu Kesiti (Toyserkani ve ark. 2005)

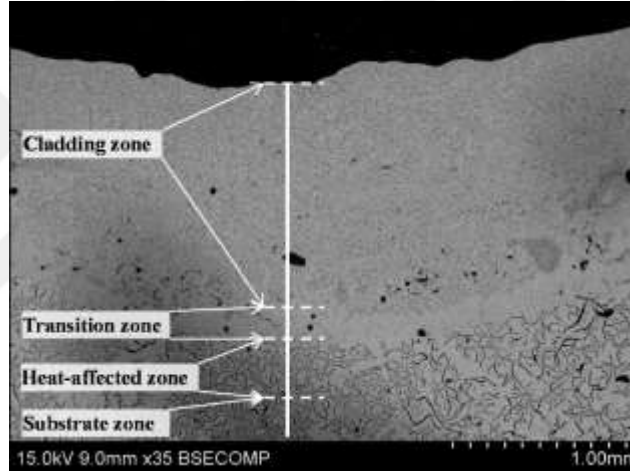
Şekil 2.14'de görülen ısıdan etkilenen bölgenin derinliği ve genişliği lazer gücü , ilerleme hızı ve dolgu malzeme besleme oranına bağlı değişecektir. Bu derinlikteki artış malzemede termal şekil değişimini arttıracaktır.

Lazer gücünün ve ilerleme miktarının düşürüldüğü durumda dolgu genişlik ve derinliğinin azaldığı yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir.

2.3.2 Mikroyapı

Lazer dolgu bölgesi, en üstte dolgu malzemesinin bulunduğu bölge , orta kısımda seyrelti bölgesi (Dolgu malzemesi ve ana malzeme karışımı) ve ısıdan etkilenen ana malzeme bölgesidir.

Lazer kaynağının üst üste yapıldığı dolgu yüksekliğinin arttığı durumda bu kısımlardaki iç yapı değişim gösterecektir. Lazer dolgu bölgesinin mukavemeti , mikro sertlik ölçümü yapılarak tahmin edilebilir (Ya 2015). Sertlik değerinin dolgunun alt katmanlarına indikçe azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.15. Dolgu Kesiti (Liu ve ark.2016)

Ana malzemesinde çalışma koşullarına uygun seçilecek dolgu malzemesine bağlı olarak Şekil 2.15’de gösterilen yapıda değişimler olacaktır. Yanhui Liu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, aşınma direncini, korozyon ve yorulma direncini iyileştirmek için TiC takviyeli bir kompozit kaplama oluşturmuşlardır.

Titanyum tozu kullanılarak, perlit matrisine sahip gri dökme demire lazer dolgu prosesi uygulanmıştır. Kaplamanın TiC partikülleri ve iki çeşit α -Fe fazından oluştuğu doğrulanmıştır.

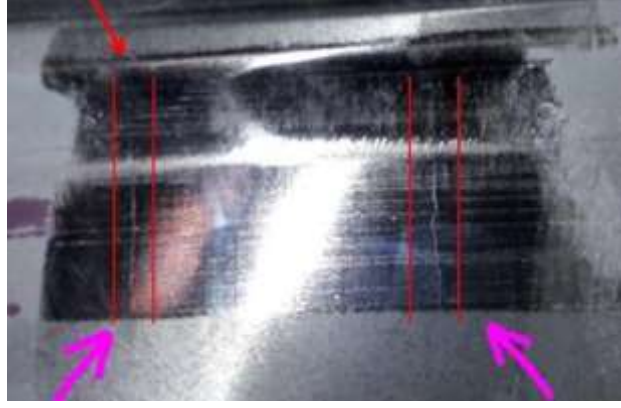
2.3.3 Kalıntı Gerilmeler ve Çatlak Oluşumu

Kalıntı gerilmeler çeşitli üretim/imalat aşamalarından sonra parçada kalan elastik gerilmelerdir. Termal proseslerde çoğunlukla ısının hızlı artıp sonra azaldığı bölgelerde oluşur. Lazer dolgu kaynağı işlemi sırasında lazerin iş parçasında hareketi sırasında bir bölge soğuma sürecinde iken diğer bölge ısınma sürecine girer. Genleşme ve daralmaların yakın etkisi nedeniyle kalıntı gerilme oluşur. Kalıntı gerilmeler; gevrek kırılma, gerilmeli korozyon ve distorsiyon oluşumunu tetikler.

Yapılan endüstriyel uygulamalarda sıcak çatlak, iş parçasının yük altına girmesiyle oluşan kalıntı gerilme boşalması ve depolanması sırasında geçmiş çatlak gözlemlenmektedir. Ana malzemedeki düzensiz iç yapı ile kaynak havuzunun hızlı soğuma mekanizması sırasında daha düşük ergime noktasına sahip alaşım elementlerinin tane sınırlarında birikmesi sonucu bu bölge çevresinde katılaşma ile oluşan gerilme kuvvetlerine dayanım gösterememesi çatlak ve deformasyon oluşumunu tetikler.

Kalıntı gerilmelerin ölçümünde tahribatlı ve tahribatsız teknikler kullanılmaktadır. Tahribatlı tekniklerde, mekaniksel işlemler sonucunda, parçada oluşan yeni gerilme denge durumuna göre kalıntı gerilmeler belirlenir. Bu gerilmelerin ölçümünde genellikle gerinim ölçer kullanılır. Delik delme ve katman kaldırma yöntemleri en sık kullanılan tahribatlı kalıntı gerilme ölçüm teknikleridir. Tahribatsız yöntemler ise malzemedeki gerilme durumunun, malzemenin fiziksel veya kristalografik özelliklerine bağımlı olması durumunda kullanılır. X-ışını kırınımı, nötron kırınımı, manyetik, ultrasonik, termoelastik ve fotoelastik yöntemler bu tür yöntemlere örnek olarak verilebilir.

Kalıntı gerilme ölçüm yönteminin seçiminde; malzemenin test sonunda hasar görmesi yada görmemesi seçeneği, ölçüm alınacak alan ve derinlik gibi faktörler ile seçilmiş yöntemin uygulanabilirliği etkili olmaktadır. Örneğin, nötron kırınımı yönteminde çeliklerde 37 mm derinliğe kadar ölçüm yapılabilirken ölçüm için gerekli cihazların yüksek maliyeti ve laboratuvar koşullarında ölçümün yapılabilmesi kısıtları mevcuttur. Lazer dolgu kaynağında uygulama açısından tahribatsız ölçüm yöntemlerinden X ışını kırınımı uygun bir yöntemdir.



Şekil 2.16. Lazer Dolgu Kaynak Bölgesinde Çatlak

Şekil 2.16’da iş parçasında görüleceği üzere, kaynak bölgesinde yüksek oranda kalıntı gerilmelerin sebep olduğu çatlak bölgeleri görünmektedir.

2.3.4 Dolgu Boşlukları

Lazer dolgu kaynağında iki ana sebepten dolayı gözenek oluşumu gerçekleşmektedir. Birincisi, katılaşma sırasında bazı gazların (özellikle oksijen, azot ve hidrojen) kaynak metaline hapsolması sonucu ortaya çıkan bir kaynak hatasıdır.

Bu gazların sıvı metaldeki çözünürlükleri katı metalden çok fazladır ve katılaşma sırasında kaynak metalinden kaçma fırsatı bulamamaları halinde kaynak bölgesinde porozite oluşur. İkinci olarak, katılaşmanın farklı yönde gelişmeside ergiyik havuzunda iç tabakada çekme gerilmesi oluşumu ile boşluk oluşumuna sebep olabilir. Kaynak parametreleri bu noktada ön plana çıkmaktadır (Schneider 1998).



Şekil 2.17. Malzemede oluşmuş gaz boşlukları

Gaz boşluklarının önlenmesi amacıyla kaynak proses parametrelerinin iyileştirilmesi, dolgu tozlarının doğru seçimi yanında iş parçasına işlem sırasında titreşim uygulanması söylenebilir (Şekil 2.17).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Çalışmada lazer dolgu yapılacak ana malzeme olarak, sac metal şekillendirme seri üretim kalıplarında kullanılan GGG-70L küresel grafitli döküm malzemesi ve dolgu toz malzemeleri olarak 3 farklı dolgu malzemesi kullanılmıştır.

1- Oerlikon Metco 42C 2- UTP PLASweld 73G3 3- UTP PLASweld Ferro

3.1.1 Kalıp Malzemesi

Otomotiv sac metal form kalıplarında GGG-70L malzeme, ekonomik olmasının yanında istenen mekanik özellikleri karşılması nedeniyle yüksek oranda kullanılmaktadır. Bu nedenle ana malzeme olarak seçilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. GGG -70L Döküm Kimyasal Analiz Ölçümü

GGG-70L Kimyasal Analiz Sonuçları											
	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	Cu %	V %	Mg %
Ölçülen	3,48	2,49	0,403	0,012	0,01	0,05	0,381	0,79	0,71	0,02	0,05

3.1.2 Kaynak Tozları

Tez çalışması kapsamında, GGG-70L malzemesi ile arzu edilen mekanik özellikleri (aşınma direnci, sertlik, vs.) sağlamaları nedeniyle aşağıdaki dolgu metal tozlarının lazer kaynağı incelenmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Toz Metal Dolgu Malzemeleri (Oerlikon ve Voestalpine GmbH)

Malzeme Kodu	Tane Boyutu	Sertlik	Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Co
Oerlikon Metco 42C	106+45 µm	58 Hrc	Bal.	0,2	0,7	0,1	15,9	-	-	-
82237 UTP Plasweld 73G3	150+50 µm	45 Hrc	Bal.	0,2	0,3	0,6	5,5	-	4	-
83569 UTP P.weld Ferro 55	125+45 µm	55 Hrc	Bal.	0,35	0,3	1,1	7	7	2,2	-

Bu çalışmada Oerlikon'un Metco 42C malzemesi ve Voestalpin'in UTP 73G3 ve UTP Ferro55 metal tozları kullanılmıştır.

Metco 42 , su atomizasyonu yöntemiyle üretilmiş martenzitik tip paslanmaz sınıfındadır. Fe 17Cr 2Ni 0.18C yapısında olup yüksek aşınmaya karşı direnç ve sertliğin ön plana çıktığı durumlarda tamir yada form değişikliğinde kullanılır. Metco 42C dolgu malzemesi; çekme mukavemeti, iyi tokluk ve korozyon direncinin kombinasyonunun gerektiği parçalar için uygundur.

UTP PLASweld 73G3, Küresel partikül formda olan toz ile bası yüklerine, abrazyon aşınmaya ve yüksek sıcaklıklarda çalışma koşullarına dayanıklıdır. Krom ve molibden alaşım elementleri içerdiğinden 550 °C derecelerde çalışabilir. Çatlak oluşumu riskini en aza indirmek için ön ısıtma ve dolgu geçiş sıcaklığı (gerekirse) ana metale göre ayarlanmalıdır. En iyi dolgu havuzu özelliklerini elde etmek için; lazer gücü, dolgu hızı ve mesafesi, örgü genişliği, koruyucu gaz tipi ve toz akışının optimize edilmesi gereklidir.

UTP PLASweld Ferro 55 , Makine parçaları ve ağır aşınmaya maruz kalan araçlar ve yüksek sıcaklıklarda orta derecede darbe ile birlikte sıkıştırma ve yüksek dirençli yapılar için özellikle geliştirilmiştir.

3.2 Yöntem

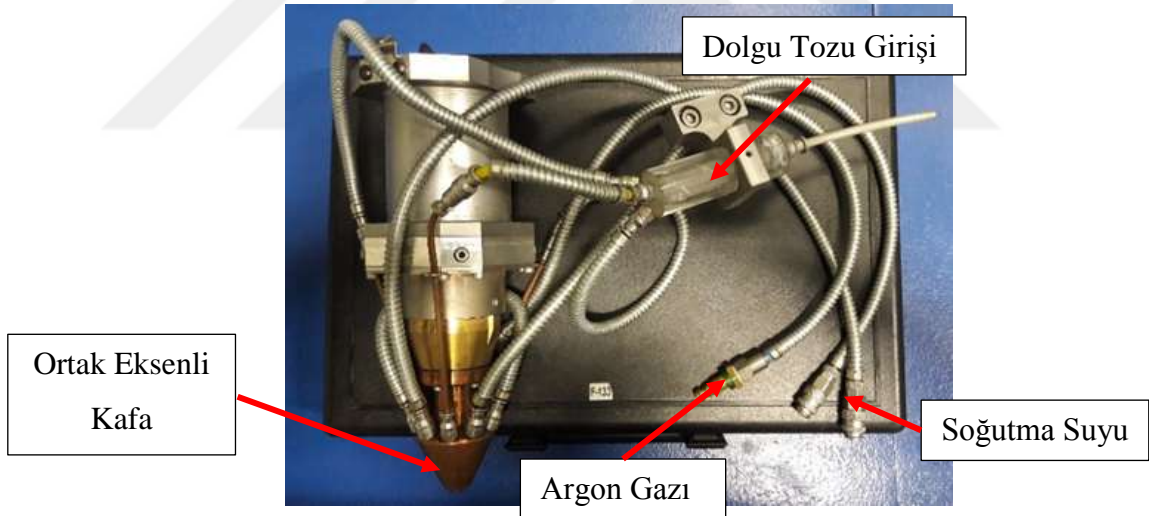
3.2.1 Lazer Dolgu Kaynağı Ünitesi Özellikleri

Yapılan araştırmada, içerisinde doğrusal tabla üzerinde robot ile kontrol edilen ve yukarıda detayları açıklanmış lazer dolgu kaynağı ünitesi kullanılmıştır (Çizelge 3.3). Laserline firmasının ürettiği LDF4000-100 model diyot lazer ünitesi kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Diode Lazer Ünite Özellikleri

LAZER DOLGU KAYNAĞI ÜNİTE ÖZELLİKLERİ	
Lazer	Laserline - LDF 4000 - 100
Lazer Gücü	4000 W
Minimum Işın Kalitesi	30 mm-rad
Optik Fiber	600 µm (NA 0,2)
Minimum Odaklanma (150 mm mesafe)	450 µm
Fiber Kablo Uzunluğu	30 m
Lazer Dalga Boyu Aralığı	900 – 1070 nm
Robot	Kuka – KR90 R3100 Extra
Doğrusal Tabla	Kuka – KL 1500 – 3T
Toz Besleme	Oerlikon Twin-120A
Lazer Kafa	Erlas GmbH
Sıcaklık Ölçer	IMPAC – IGAR 12-LO
Lazer Kafa Soğutma cihazı	Deltatherm LTK 1-4
Yazılım	Toplas 3D V3

Lazer Kafası :



Şekil 3.1. Toz Dolgu Lazer Kafası (Erlas GmbH 2017)

Şekil 3.1’de gösterilen uç kısmı bakır malzeme olarak üretilmiş kafa günümüzde sanayide kullanılmaktadır. Merkezi koniden harici koniye kadar, üç gazın rolleri şöyledir:

- İlk gaz (iç gaz), odaklama lensini korumak ve kaplamadaki erimiş havuzun atmosferini kontrol etmek için kullanılır. nihai kaplama uygulamalarını korumak ve değiştirmek,

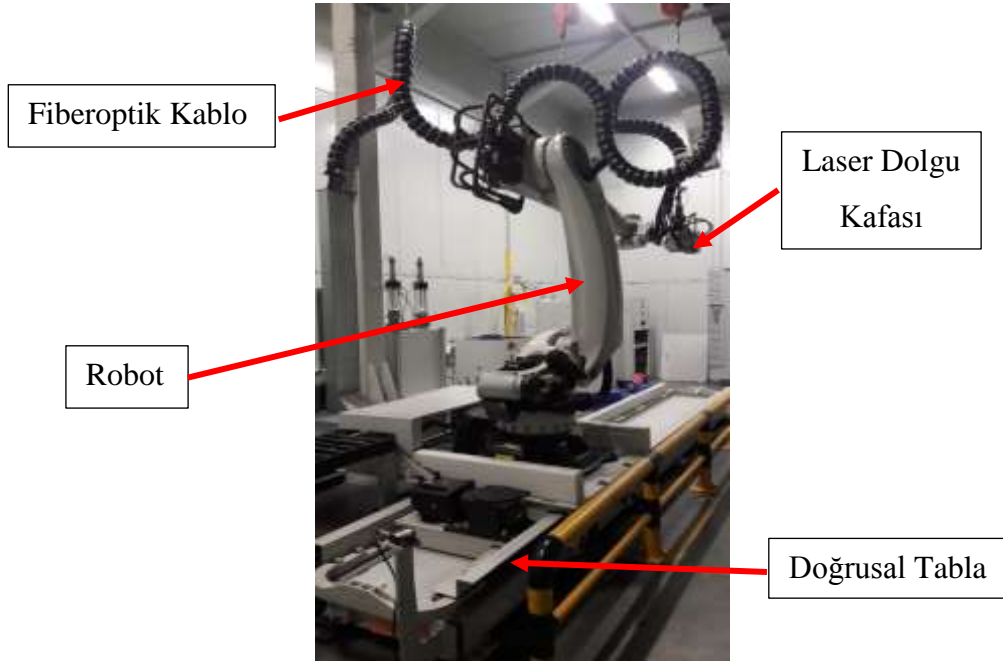
- İkinci gaz (merkezi gaz) toz besleyici görevini yürütmektedir.
- Üçüncü gaz (dış gaz) çalışma alanını korumak ve işlem verimliliğini arttırmak için kullanılır. Ayrıca dolgu tozunun verimli kullanımını sağlar.

Kafada oluşan ısı enerjisinin soğutma sıvısı ile ortamdan uzaklaştırılması sağlanmıştır. Dolgu tozunun taşınmasında Argon gazı kullanılmaktadır.

Robot ve Doğrusal Hareket Tablası :

Lazer dolgu kafası, fiberoptik kablo tesisatı, soğutma suyu tesisatı ve dolgu tozunun bölgeye taşınmasını sağlayan hortum tesisatı yeterli güçteki robot üzerinde kontrol edilmektedir. Robot hareketi, bir kontrol ünitesi üzerinde çalışan yazılımla sağlanır. Dolgu kaynağında kullanılacak programın yol haritası (doğrusal, spiral , zikzak vs.) operatör tarafından yazılımda belirlenmektedir. Robota doğrusal bir tabla üzerinde hareket sağlanarak daha esnek ve stabil kullanım avantajı kazandırılmıştır.

Lazer dolgu prosesinde değişken hızların kullanılması zorunludur. Kullanılacak robotun değişken hızlarda stabil çalışması gereklidir.



Şekil 3.2 Robot ve Doğrusal Hareket Tablası (Erlas GmbH 2017)

Lazer gücü, dolgu hızı, toz besleme hızı ve robot CNC programı bir sistem üzerinden operatör tarafından kontrol edilir. Zayıf koordine edilmiş işlem parametreleri (lazer gücü, dolgu hızı ve toz besleme oranı) ve/veya robot programı, kaynakta hataların oluşmasına sebep olacaktır (Şekil 3.2).

Soğutma Sistemi :

Lazer dolgu kaynağı ünitesinde birden çok noktada ısının kontrol edilmesi zorunludur. Sistemde ısının aşırı yükselmesi durumunda cihaz otomatik olarak bekleme durumuna geçecektir.

1. Diyot lazer ünitesi iç soğutma sistemi
2. Robot üzerindeki optiklerin soğutulması
3. Lazer dolgu kafasının soğutulması

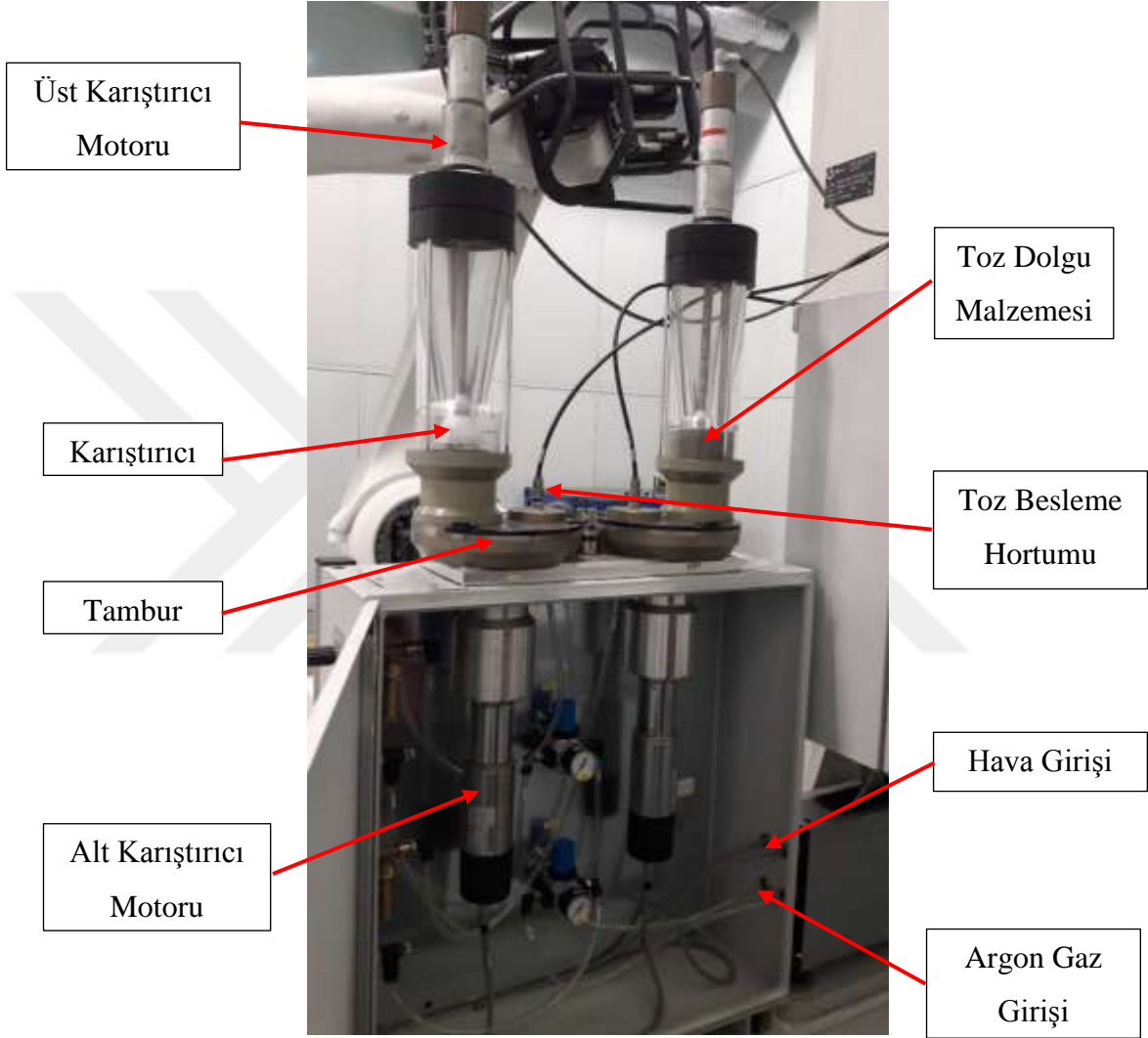


Şekil 3.3. Su soğutma Ünitesi (Erlas GmbH 2017)

Şekil 3.3’de gösterilen soğutmada ünitesinde kullanılacak suyun basınç ve sıcaklık aralığı önemlidir. Yapılan araştırmada kullanılan ünite; soğutma suyu 15 - 35 °C sıcaklık aralığında, 0,22 - 0,3 MPa basınç ve 1,8 lt/dk akış debisinde hareket etmektedir. Soğutma suyunu dielektrik özellikte, hortumlarda kireçlenme veya diğer tortu tabakası oluşturmayacak kimyasal özellikte olması gerekir.

Toz Dolgu Malzemesi Ünitesi :

Toz dolgu malzemesinin kaynak alanına kontrollü ulaştırılması argon gazı akışı ile sağlanmaktadır.



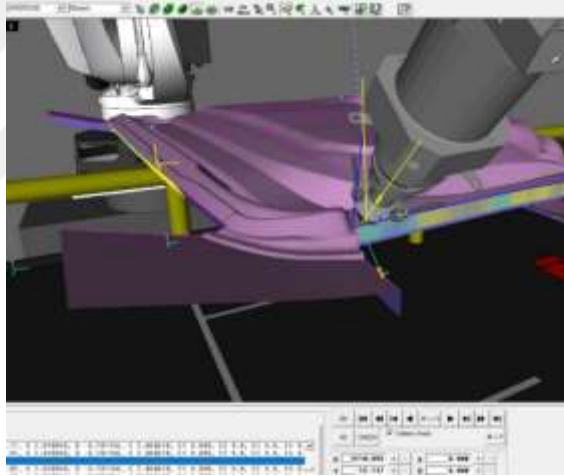
Şekil 3.4. Toz Malzeme Ünitesi (Erlas GmbH 2017)

Şekil 3.4’de bulunan Oerlikon marka malzeme besleme ünitesinde 2 adet toz hazneli yapı görülmektedir. Bu haznelere farklı iki malzeme konulabilmektedir. Sistem yazılımında tozlarda hangisinin kullanılacağı kontrol edilebilir. Şeffaf tüplere konulan toz malzemesinin operasyon anında üst karıştırıcı motoru ile tambur alanına geçişi sağlanır. Tambur içerisinde alt karıştırıcı motorunun tahrik ettiği kanatçıklar sayesinde argon gazı

ile malzemenin akışı toz besleme hortumu ile kaynak alanına sağlanır. Malzeme farklı basınç altındaki besleme ve kaynak havuzu bölgeleri arasında argon gazı ile akışı sağlanmaktadır. Ünitelerde toz malzemeden nem alınarak , atmosferik yada inert gazlı operasyonlar için kullanım mümkündür.

Sistem Yazılımı :

Robota bağlı lazer kafasının izleyeceği yol haritası çevrimdışı çalışabilen Toplas3D programı ile kontrol edilir. Lazer dolgu prosesi yapılacak yüzey geometrisi programa alınarak konumu tanıtılır. İş parçasının yüzey geometrisine uygun dolgu adım yönü , katmanlar arası geçiş mesafesi , hız gibi değişkenler program ile komutlandırılır. Yazılım lazer sertleştirme , lazer kesme ve 3D su jeti kesme proseslerini de kontrol edebilecek modüler formatta kullanılabilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Toplas3D V3 Programı

3.2.2 Taguchi Deney Tasarımı

Ana malzeme GGG70L olarak 3 farklı toz malzemesi için; 1,3 – 1,5 ve 1,7 KW güçleri arasında 3 farklı lazer gücünde , 9-10 ve 11 mm/sn ilerleme hızları , 12 - 13,5 ve 15 gr/dk toz malzeme debileri arasında 3 farklı debide tek sıra kaynak işlemi yapılmıştır.

Argon debisi 5 lt/dk sabit tutularak ve hatve 1,5 mm olarak parametrelerinin kaynak kalitesi, toz dolgu malzemesi verimine etkisi incelenmiştir.

Lazer dolgu kaynağı parametrelerinin doğru analizini yapmak ve hedeflenen güçlü metalik bağ ve toz malzeme veriminin tespiti için deney tasarımı uygulamıştır. Bu amaçla Taguchi deney tasarım matrisleri oluşturulmuştur.

Çizelge 3.4. Test Parametreleri

GGG- 70L TEST PARAMETRELERİ							
Ana Malzeme	Toz Malzemesi	Lazer Gücü KW	İlerleme mm/sn	Toz Malzeme Debisi gr/dk	Argon Debisi lt/dk	Gerekli Toplam Deney Sayısı	Taguchi Deney Sayısı
GGG70L	Metco 42C	1,3	9	12	5	27	9
		1,5	10	13,5			
		1,7	11	15			
	82237 UTP PLASweld 73G3	1,3	9	12		27	9
		1,5	10	13,5			
		1,7	11	15			
	83569 UTP PLASweld Ferro 55	1,3	9	12		27	9
		1,5	10	13,5			
		1,7	11	15			

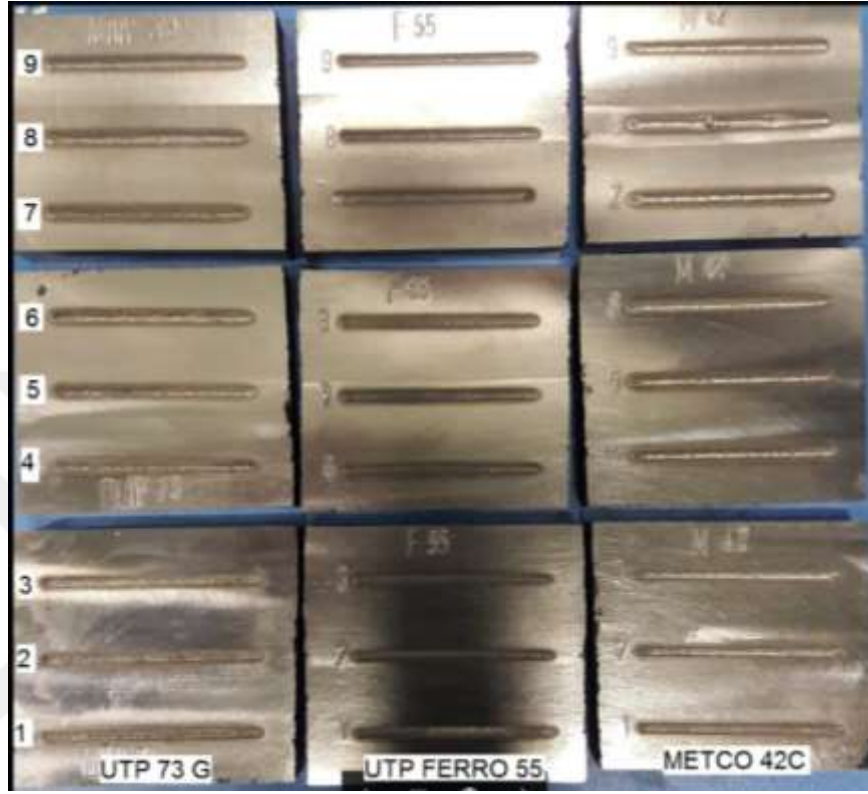
Çizelge 3.5. Deney Değişkenleri

DEĞİŞKENLER			
	Lazer Gücü	İlerleme	Toz Debisi
1	1,3	9	12
2	1,5	10	13,5
3	1,7	11	15

Çizelge 3.6. Taguchi Deney Tasarımı Parametreler

TAGUCHI DENEY SETİ					
Deney No	Lazer Gücü (KW)	İlerleme (mm/sn)	Toz Debisi (gr/dk)	Argon Debisi (lt/dk)	Hatve (mm)
1	1,3	9	12	5	1,5
2	1,3	10	13,5		
3	1,3	11	15		
4	1,5	9	13,5		
5	1,5	10	15		
6	1,5	11	12		
7	1,7	9	15		
8	1,7	10	12		
9	1,7	11	13,5		

Yapılan çalışmada Metco 42C , UTP PLASweld 73G3 , UTP PLASweld Ferro 55 olarak 3 farklı toz dolgu malzemesi için Çizelge 3.6'daki deney tasarımı tekrarlanmıştır. Her bir toz malzemesi için 9 deney seti olarak toplamda 27 test çalışması yapılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Dolgu Kaynağı Uygulamaları

3.2.3 Optik Mikroskop Analizi

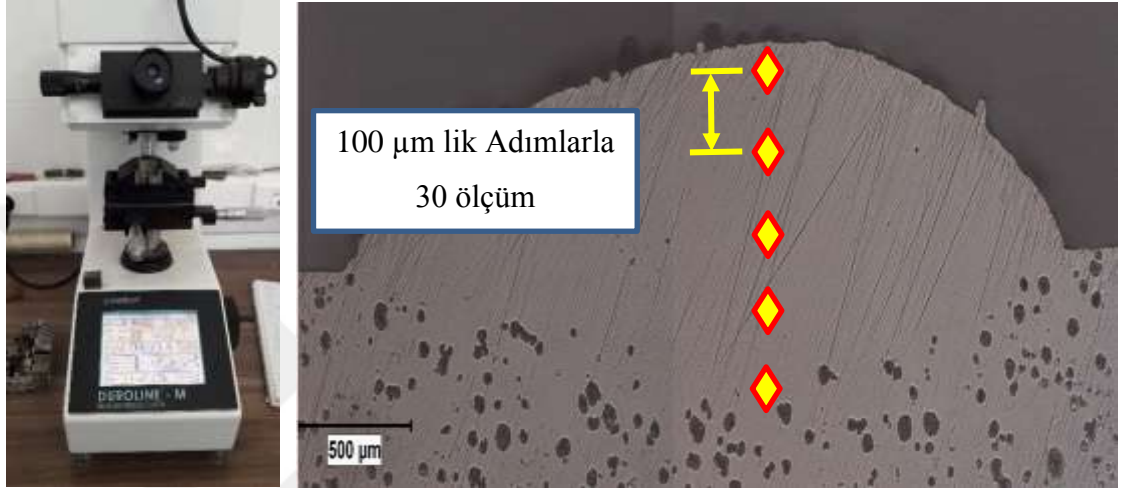
Lazer dolgu kaynağı yapılmış plakalardan tel erezyon ile kesilmiş kesit numuneler kaba, orta ve ince zımpara ile parlatılmıştır. Optik inceleme öncesi hassas parlatma işlemi damıtılmış su ile süspansiyon halindeki alümina aşındırıcı ile yapılmıştır. Optik incelemede 1/50 , 1/ 100 oran ölçeklerinde kaynak bölgesi incelenmiştir. Kaynak geometrisi, çatlak oluşumu ve boyları , gözenek oluşum bölgeleri incelenerek kayıt altına alınmıştır.

3.2.4. SEM - EDX Analizi

Tez kapsamında numunelerde tespit edilen gözeneklerin grafit olup olmadıklarının anlaşılması için seçilen örnek numuneler SEM-EDX'de incelenmiştir.

3.2.5. Mikrosertlik Ölçümü

Lazer dolgu bölgesinin üst kısmından ana malzemeye doğru 100 μm luk adımlarla Vickers mikrosertlik ölçümü 50 gr'lık yük uygulanarak yapılmıştır. Sertlik ölçümü Metco42 , UTP 73G3 ve UTP Ferro 55 numunelerine ait 5'er numune için çalışılmıştır (Şekil 3.7).

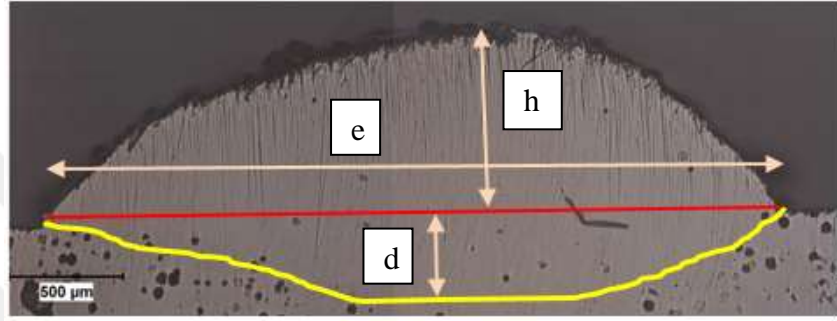


Şekil 3.7. Vickers Mikrosertlik Ölçümü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Optik Mikroskop Analizi Bulguları

Taguchi deney setindeki parametreler ile lazer dolgusu yapılmış numunelerin analizi için değerlendirme çizelgesi oluşturulmuştur. Bu çizelgede kaynak geometrisi , çatlak ve gözenek sayı ve ebatları için kalite yüzdesi öngörülmüştür. Numunelerin optik mikroskopta incelenmesi ile çizelgeye veriler girilerek her bir kriter için yüzde kalite puanı verilmiş ve toplamda en yüksek puana sahip en uygun numune tespit edilmiştir.

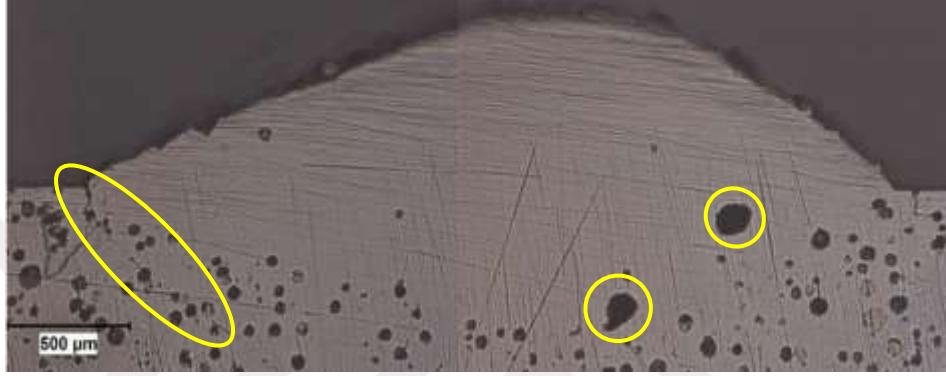


Şekil 4.1. Dolgu Kaynağı Kesiti

Verimli bir kaplama için ana malzeme ile oluşan ergiyik derinliğinin (d) minimum olması ve iyi bir metalik bağın oluşması gereklidir. Şekil 4.1’de görüleceği üzere lazer dolgu hattının kesitinin ölçüleri kaynak kalitesi ve kullanılan dolgu toz malzemesinin verimi konusunda sonuç olarak karşımıza çıkıyor. Kaynak eni (e), yüksekliği (h) ve ana malzemeye nüfuz etmiş derinlik (d) ölçülerek değerlendirme çizelgesine girilmiştir. Kaynak eni ölçüsü lazer ışınının çapına göre oluşmaktadır.

Oluşan genişlik lazer çapından daha küçük ölçüdedir. Lazer ışını çapından (3 mm) daha büyük genişlikteki dolgu elde etmek için lazer gücünün artırılması ve besleme hızının düşürülmesi gerekir. Bu durum seyreltinin kalitesini olumsuz etkileyecektir. Optimum genişlik, minimum seyrelti oluşumu ile gerçekleşen kaynak genişliği ile olacaktır. Ayrıca kaynak eninin yüksekliğine oranı diğer bir değerlendirme kriteri olarak literatürde yer almaktadır (Toyserkani ve ark. 2005). Bu oranın yüksek olması istenmektedir.

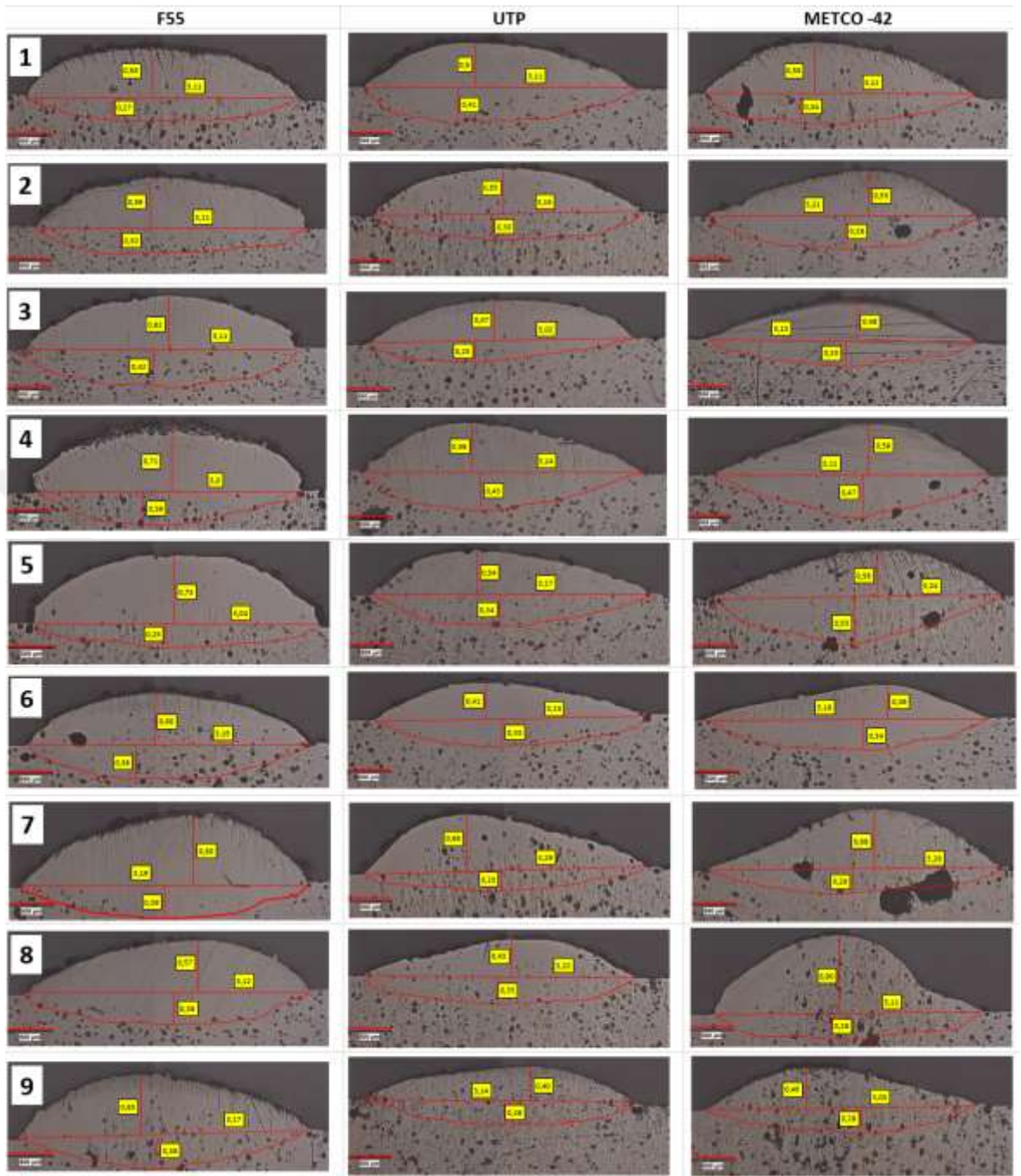
Kaynak bölgesine gönderilip işlem sırasında ergimeden bölgeden uzaklaşan toz malzeme miktarı kullanılan enerji ve tozun hızı hakkında fikir edinmemizi sağlamaktadır. Yetersiz lazer enerjisi ve yüksek toz besleme hızı ergime olmadan malzemenin bölgeden uzaklaşmasına ve ergiyik havuzu kesitinin küçülmesine ayrıca tam olarak ergimemiş toz parçacıklarının hızlı katılması sonucunda koruyucu ve taşıyıcı gazın (Argon) bölgede hapsolmesine sebep olacaktır. Lazer ışını ile kütle- enerji dengesinin sağlanması gerekmektedir.



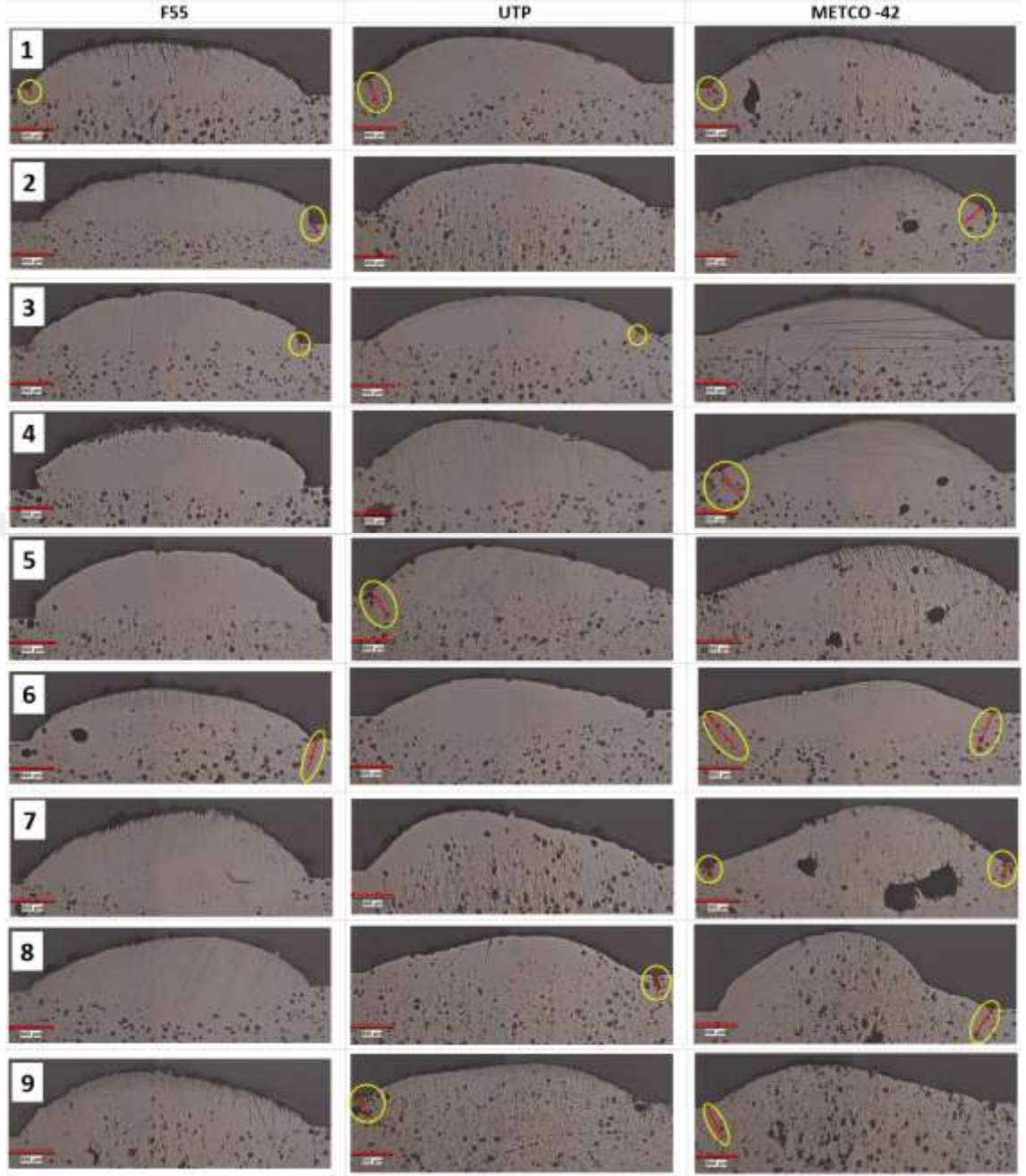
Şekil 4.2. Çatlak ve Gözenekler

Kaynak işleminde çatlak ve gözenek oluşumu istenmeyen iki önemli konu olarak incelenmiştir (Şekil 4.2). Kaynak havuzundaki yüksek sıcaklık ile ana malzeme sınır bölgesindeki hızlı soğumaya bağlı kalıntı gerilmeler çatlak oluşumunun ana sebebi olarak bilinmektedir.

Çatlak uzunluğu ve kesitteki yönü (Şekil 26’da görülen çapraz çatlak) kaynak havuzunun damla formuna yakın profilde geliştiği görülmüştür. Literatürde çatlak profiline göre lazer gücünün artırılması yada ana malzemenin ön ısıtılması ile çatlak oluşumunun azaltılmasının mümkün olduğundan bahsedilmiştir (Ya 2015).



Şekil 4.3. Kaynak Geometrisi Kesit Sonuçları



Şekil 4.4 Çatlak Bölgeleri Analizi

Toz dolgu malzemesinin ergiyik havuzuna inert gaz tarafından ulaştırılması nedeniyle gözenek oluşumunu önlemek zordur (Şekil 4.4). Gözenek ebat ve sayısının azaltılması işlem parametrelerinin kontrolü ile mümkündür. Uygun koşullarda kaynak havuzunda oluşan gazlar bölgeden uzaklaşma fırsatı bulacaklardır. Yapılan araştırmalarda büyük gözeneklerin çatlak oluşumuna ve büyümesine etki ettikleri tespit edilmiştir.

Yapılan optik incelemede çatlak bölgeleri incelenmiş, uzunlukları ölçülerek değerlendirme tablosuna girilmiştir.

Çizelge 4.1 Değerlendirme Tablosu

FİBRİMYETİLİN			LAZER GÜCÜ (mW)			Kırılma (n ₁ /n ₂)			Faz Maksimum Değeri (gr/°)			Kıvrak Yünlülüğü		Kıvrak Kalı		Dolgu İçerik Oranı		Kıvrak Derinliği		Çatlak Boyu		Çatlak Açıları		İzlenim Sayısı		İzlenim Çapı		Ortalama Kalite		
Deney No	Arka Madde	Tarz Dolgu Malzemesi	5,5	5,5	5,7	9	11	11	12	13,5	13	h (mm)	10%	g (mm)	10%	h/Özellik	10%	h (mm)	10%	Maksimum Boy (mm)	20%	45°	15°	45°	25%	Maksimum Çap (mm)	10%	Yüksek Kalite		
Deney 1	METCO42	METCO42										0,98	7,2	0,12	8,9	0,2	0,4	0,24	0,4	0,21	10	1	20	14	9	0,8	9	10,6		
Deney 2													0,98	6,7	0,12	8,8	0,2	0,4	0,24	0,4	0,21	8	1	20	10	9	0,24	8	10,8	
Deney 3														0,98	5,9	0,12	6,5	0,6	0,2	0,6	0,1	20	10	9	12	0,98	10	0,6	10,6	
Deney 4														0,99	7,4	0,11	9,5	5,5	0,4	0,47	0,6	20	10	12	4	8	0,74	8	10,1	
Deney 5														0,55	7,0	0,24	0,9	5,8	7,0	0,55	0,9	20	10	12	24	5	0,84	8	10,8	
Deney 6														0,29	4,9	0,28	0,7	0,2	10,0	0,24	0,4	0,29	5	2	5	3	10	0,62	10	10,0
Deney 7														0,98	9,5	0,28	10,0	0,8	0,8	0,28	0,9	0,28	10	3	3	34	8	0,28	8	10,8
Deney 8														0,80	11,3	0,13	6,9	3,3	4,2	0,28	0,3	0,28	8	3	10	11	8	0,1	10	10,1
Deney 9														0,66	5,8	0,09	0,7	0,5	0,0	0,28	0,9	0,62	8	3	10	10	8	0,68	10	10,5
Deney 1	UTP 73G3	UTP 73G3										0,90	0,2	0,12	0,3	0,3	7,0	0,41	7,7	0,5	1	1	10	1	10	10	10,0			
Deney 2													0,55	4,8	0,18	0,6	0,8	7,0	0,30	0,7	0,5	10	1	10	10	8	0,20	8	10,2	
Deney 3														0,97	5,8	0,02	0,1	0,5	7,0	0,16	0,8	0,06	8	1	10	8	8	0,84	8	10,5
Deney 4														0,96	0,9	0,14	0,5	0,7	0,8	0,04	0,2	0,8	10	1	10	8	12	10	10,8	
Deney 5														0,94	0,7	0,17	0,9	0,8	7,2	0,04	0,6	0,8	8	1	10	14	8	0,08	8	10,8
Deney 6														0,41	5,2	0,14	0,5	7,0	0,3	0,09	0,1	10	10	10	8	10	0,25	8	10,1	
Deney 7														0,88	0,3	0,18	10,0	5,0	0,0	0,1	0,7	10	10	10	44	8	0,12	8	10,8	
Deney 8														0,49	5,4	0,12	0,8	7,5	0,2	0,10	0,3	0,18	10	1	10	10	8	0,90	8	10,3
Deney 9														0,60	5,2	0,14	0,8	7,8	0,6	0,18	0,3	0,21	8	3	10	10	8	0,88	8	10,3
Deney 1	UTP FERRO 55	UTP FERRO 55										0,98	7,2	0,12	8,9	0,2	0,4	0,27	0,4	0,28	10	1	10	8	8	0,84	8	10,6		
Deney 2													0,99	7,4	0,11	9,5	5,5	0,4	0,46	0,6	0,11	8	1	10	8	8	0,84	8	10,8	
Deney 3														0,62	7,7	0,11	9,5	5,1	0,2	0,42	0,9	0,084	10	1	10	0	10	0,10	8	10,2
Deney 4														0,71	8,0	0,06	0,1	4,3	0,1	0,16	7,4	8	1	10	2	10	0,10	8	10,6	
Deney 5														0,79	9,1	0,09	0,2	6,3	0,1	0,18	0,8	8	1	10	10	8	0,08	8	10,2	
Deney 6														0,80	7,8	0,18	0,9	5,8	0,4	0,08	0,2	0,18	10	3	10	10	8	0,28	8	10,7
Deney 7														0,80	10,0	0,18	0,7	6,0	0,8	0,08	0,5	10	10	10	8	10	10	10	10,8	
Deney 8														0,57	7,1	0,12	0,5	5,5	0,7	0,38	0,1	10	10	10	8	10	10	10	10,6	
Deney 9														0,82	8,0	0,17	0,6	4,8	0,8	0,38	0,2	10	10	10	10	8	0,04	8	10,8	

Dolgu kaynağı kalite ve veriminin değerlendirilmesinde kullanılan bu tabloda Metco42 , UTP 73G3 ve UTP Ferro 55 toz dolgu malzemelerinin sonuçları elde edilmiştir (Çizelge 4.1).

4.2. Taguchi Deney Bulguları

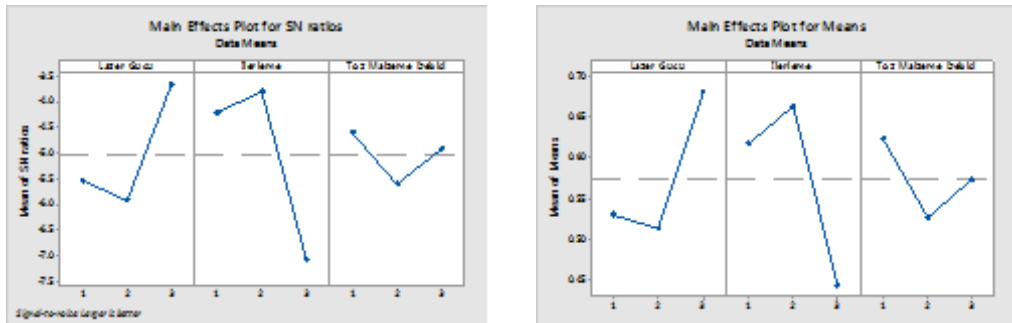
4.2.1 Metco-42 Taguchi Deney Bulguları

Kaynak Yüksekliği:

Yüksek lazer gücü ve düşük ilerleme hızı kaynak yüksekliğini arttırmıştır. Yüksek lazer gücü ve düşük ilerleme hızı ısı girdisini arttırarak ergiyik dolguya ilave olan toz miktarını arttırarak toz verimini arttırmıştır.

Toz debisinin kaynak yüksekliği üzerindeki etkisi değişkendir: Düşük ve yüksek toz debilerinde kaynak yüksekliği artarken, orta değerlerdeki toz debilerinde kaynak yüksekliği azalmaktadır. Esasen, toz debisinin etkisi lazer gücü ve ilerleme hızına bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Çünkü, en düşük toz debisinde lazer gücü ve ilerleme hızına bağlı olarak maksimum ve minimum kaynak yüksekliği gözlemlenmektedir (Şekil 4.5).

Nitekim parametrelerin etki oranlarına bakıldığında toz debisinin etki oranı (%7,98) lazer gücü ve ilerleme hızına göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Kaynak yüksekliğindeki en etkin parametre ilerleme hızıdır (%45,91). İlgili parametrelerin kaynak yüksekliği üzerindeki etkilerinin hata oranı toplamda %17,32'dir (Çizelge 4.2).



Şekil 4.5. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak yüksekliği için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.2. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak yüksekliği için ANOVA analizi

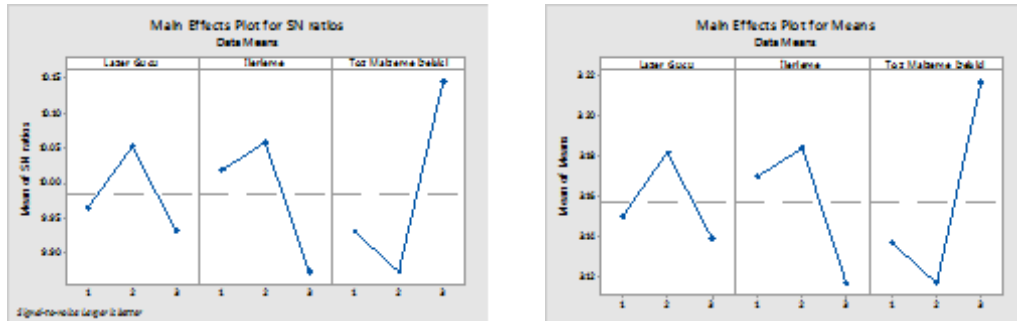
Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.05056	28.79%	0.05056	0.025278	1.66	0.376
İlerleme	2	0.08062	45.91%	0.08062	0.040311	2.65	0.274
Toz Malzeme Debisi	2	0.01402	7.98%	0.01402	0.007011	0.46	0.685
Error	2	0.03042	17.32%	0.03042	0.015211		
Total	8	0.17562	100.00%				

Kaynak Eni:

Düşük ve yüksek lazer gücü kaynak enini küçültmüşken orta değerdeki lazer gücü kaynak enini arttırmıştır. Lazer gücünün kaynak eni üzerindeki etkisi (%5,90) diğer iki parametreye nazaran daha düşük kalmıştır.

Diğer taraftan, tahmin edilebileceği gibi ilerleme hızının düşük değerleri ve toz debisinin yüksek değerleri kaynak enini arttırmıştır. Kaynak eni üzerindeki en etkin parametre toz debisi olmuştur (%33,19): Toz debisi kaynak enini arttırmıştır. İlgili parametrelerin kaynak eni üzerindeki etkilerinin hata oranı toplamda %45,73'tür. Bu değer oldukça yüksek olduğunu vurgulamak gerekir. Kaynak eni değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olması ölçüm hassasiyeti ile birleştiğinde hata oranının yüksek olmasını açıklayabilir. Esasen kaynak eni 3,03 mm ile 3,28 mm arasında değişmiştir: Sadece %8'lik bir değişim söz konusudur (Çizelge 4.3).

Ölçüm esnasındaki hata payları da göz önüne alındığında kaynak parametreleri ile kaynak eni değişimi çok sınırlı kalmıştır denilebilir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak eni için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

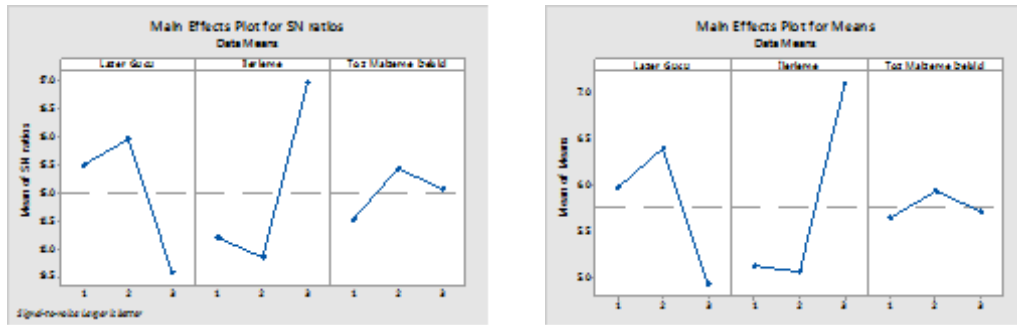
Çizelge 4.3. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak eni için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.00296	5.90%	0.00296	0.00148	0.13	0.886
İlerleme	2	0.00762	15.19%	0.00762	0.00381	0.33	0.751
Toz Malzeme Debisi	2	0.01666	33.19%	0.01666	0.00833	0.73	0.579
Error	2	0.02296	45.73%	0.02296	0.01148		
Total	8	0.050215	100.00%				

Dolgu En/Boy Oranı:

Düşük lazer gücü ve yüksek ilerleme hızı kaynak en-boy oranını daha yüksek değerlere çekmiştir. Yüksek lazer güçlerinde bu oran düşmektedir. Bu düşüşte kaynak yüksekliğinin artmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.7).

Düşük toz debisi kaynak en-boy oranını nispeten düşürmektedir. Ancak, toz debisinin en-boy oranı üzerindeki etkisi nerdeyse (%0,98) ihmal edilebilir düzeydedir. Diğer taraftan, ilerleme hızı en etkin parametre olarak karşımıza çıkmaktadır (%57,35). İlgili parametrelerin dolgu en-boy üzerindeki etkilerinin hata oranı toplamda %16,86'dır (Çizelge 4.4). Literatürde verilmiş (Steen 1989) toz debisi – lazer gücünün lazer bölgesine etkisinin gösterdiği grafik en-boy oranı ile ilgili bu sonucu desteklemektedir.



Şekil 4.7. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak dolgu en/boy oranı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.4. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak en/boy oranı için ANOVA analizi

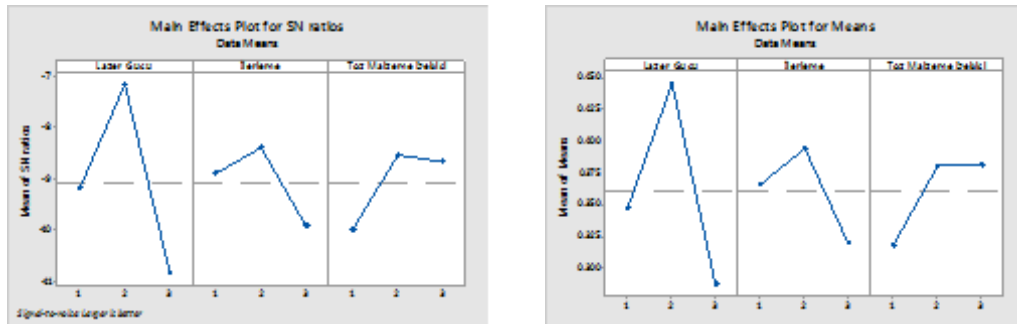
Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	3.4438	24.81%	3.4438	1.72191	1.47	0.405
İlerleme	2	7.9609	57.35%	7.9609	3.98043	3.40	0.227
Toz Malzeme Debisi	2	0.1355	0.98%	0.1355	0.06777	0.06	0.945
Error	2	2.3405	16.86%	2.3405	1.17024		
Total	8	13.8807	100.00%				

Kaynak Derinliği:

Kaynak derinliği orta değerlerdeki lazer gücünde, ilerleme hızında ve toz debisinde artmaktadır. Yüksek lazer gücünde ve yüksek ilerleme hızında kaynak derinliği azalmaktadır. Özellikle yüksek lazer gücünde, kaynak derinliğinin azalması kaynak yüksekliğinin artmasına bağlanabilir:

Kaynak yüksekliğinin artması ile temel malzemeye sağlanan ısı transferinin azalması. Diğer taraftan, düşük ilerleme hızlarında (daha yüksek ısı girdisi) ve yüksek toz debilerinde kaynak derinliği nispeten artış yönünde olduğu söylenebilir (Şekil 4.8).

Kaynak derinliği üzerinde en etkin parametre lazer gücü olmuştur (%65,97). İlerleme hızının ve toz debisinin kaynak derinliği üzerindeki etki oranları birbirlerine oldukça yakındır. İlgili parametrelerin kaynak derinliği üzerindeki etkilerinin hata oranı toplamda oldukça düşük kalmıştır (%5,87) (Çizelge 4.5).



Şekil 4.8. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak derinliği için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

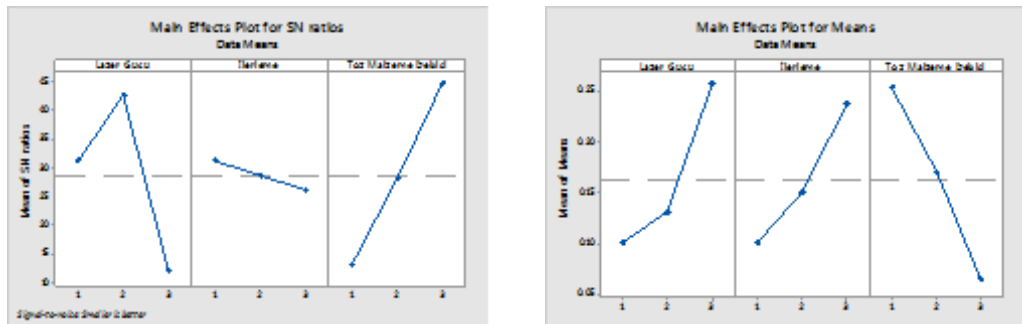
Çizelge 4.5. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak derinliği için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contributio	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.03833	65.97%	0.03833	0.01916	11.24	0.082
İlerleme	2	0.00844	14.54%	0.00844	0.00422	2.48	0.288
Toz Malzeme Debisi	2	0.00792	13.63%	0.00792	0.00396	2.32	0.301
Error	2	0.00341	5.87%	0.00341	0.00170		
Total	8	0.05811	100.00%				

Çatlak Boyu :

Çatlak boyu lazer gücü ve ilerleme hızı artışı ile artarken, çatlak boyu toz debisi artışı ile azalmıştır. Bu çatlaklar sıcak çatlaklar (hot cracking) olarak nitelendirildiğinden lazer gücü artışına bağlı olarak ısı girdisi ile çatlak boyu artmıştır. Ancak, ilerleme hızı artışı ile çatlak boyunun artması beklenmeyen bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır: Bu da, nispeten hızlı soğumaya bağlı olarak soğuk çatlak oluşumundan kaynaklanmış olabilir (Şekil 4.9).

Toz debisinin çatlak boyunda nispeten daha etkin olmuştur (%32,06). Daha yüksek toz debisi nispeten daha büyük ergiyik havuzu oluşturarak nispeten daha dengeli soğuma koşulları ortaya çıkararak da çatlak boyu azalmış olabilir. İlgili parametrelerin çatlak boyu üzerindeki etkilerinin hata oranı toplamda %26,47'dir (Çizelge 4.6).



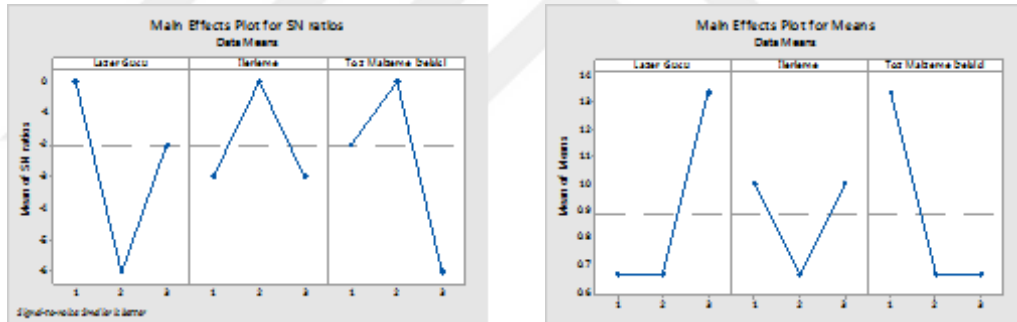
Şekil 4.9. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin çatlak boyu için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.6. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin çatlak boyu için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.04124	24.46%	0.04124	0.02062	0.92	0.520
İlerleme	2	0.02869	17.02%	0.02869	0.01434	0.64	0.609
Toz Malzeme Debisi	2	0.05404	32.06%	0.05404	0.02702	1.21	0.452
Error	2	0.04462	26.47%	0.04462	0.02231		
Total	8	0.16858	100.00%				

Çatlak Adedi :

Çatlak adedi lazer gücü artışı ile artmıştır (Şekil 4.10). Isı girdisi artışı ile çatlak sayısı artmıştır. Bu da, bu çatlakların sıcak çatlaklar (hot cracking) olduğunu göstermektedir. İlerleme hızının ise çatlak oluşumu üzerindeki etki oranı oldukça düşüktür (en fazla %4,55). Toz debisi ise çatlak adedini azaltmıştır. Ancak, Metco42 tozunda etki oranları için hata oranı %60'a yakındır (Çizelge 4.7).



Şekil 4.10. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin çatlak adedi için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

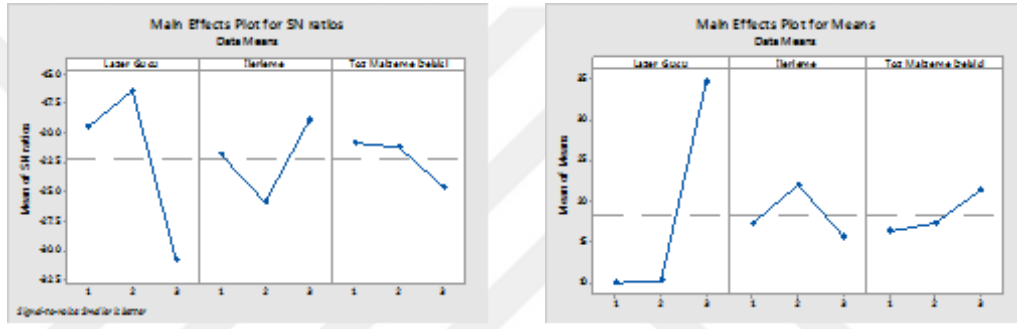
Çizelge 4.7. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin çatlak adedi için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.8889	18.18%	0.8889	0.4444	0.31	0.765
İlerleme	2	0.2222	4.55%	0.2222	0.1111	0.08	0.929
Toz Malzeme Debisi	2	0.8889	18.18%	0.8889	0.4444	0.31	0.765
Error	2	2.8889	59.09%	2.8889	1.4444		
Total	8	4.8889	100.00%				

Gözenek Sayısı :

Gözeneklerin temel malzeme grafit yapıları ile benzerlikleri dikkat çekicidir. Ancak, bu gözeneklerin grafit olmadığı SEM-EDX analizleri ile bölüm 4.4.'te teyit edilmiştir. Lazer gücü artışı gözenek sayısını önemli ölçüde arttırmıştır (Şekil 4.11).

Lazer gücünün gözenek sayısı üzerindeki etki oranı %78 civarındadır. Yüksek ısı girdisi gözenek sayısını arttırmıştır. İlerleme hızının ise gözenek sayısı üzerindeki etki yönü belirsizdir. Etki oranı da oldukça düşüktür (%4 civarında). Toz debisi ise gözenek sayısını arttırmıştır. Ancak, etki oranı çok düşüktür (%3 civarında) (Çizelge 4.8).



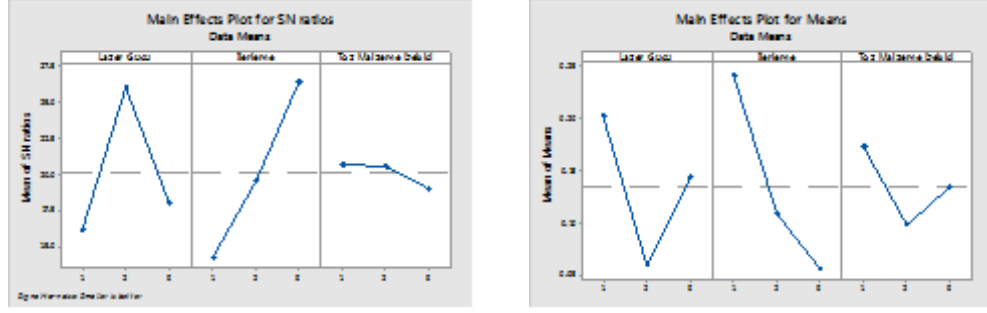
Şekil 4.11. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek sayısı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.8. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek sayısı için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	1200.67	78.37%	1200.67	600.33	5.34	0.158
İlerleme	2	64.67	4.22%	64.67	32.33	0.29	0.776
Toz Malzeme Debisi	2	42.00	2.74%	42.00	21.00	0.19	0.843
Error	2	224.67	14.66%	224.67	112.33		
Total	8	1532.00	100.00%				

Gözenek Çapı :

Metco42 tozunda incelenen tüm parametrelerin artışı (lazer gücü, ilerleme hızı, toz debisi) gözenek çapını azaltmaktadır. Metco42 tozu gözenek çapı açısından oldukça riskli bir toz olduğu vurgulanabilir.



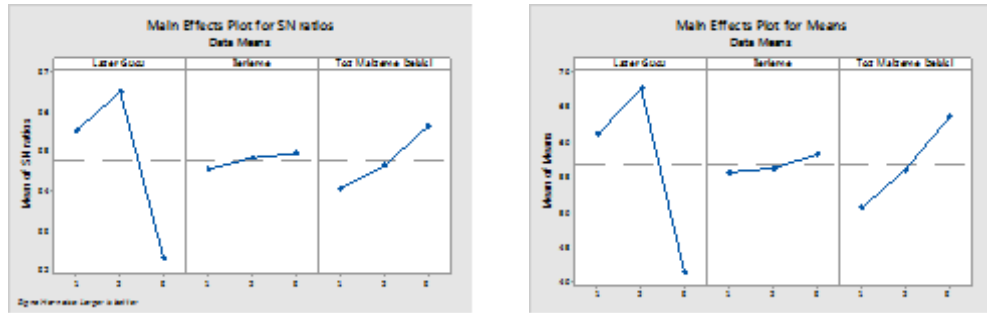
Şekil 4.12. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek çapı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.9. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek çapı için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.03112	27.85%	0.03112	0.01556	1.80	0.357
İlerleme	2	0.05483	49.06%	0.05483	0.02741	3.17	0.240
Toz Malzeme Debisi	2	0.00851	7.62%	0.00851	0.00426	0.49	0.670
Error	2	0.01729	15.47%	0.01729	0.00864		
Total	8	0.111761	100.00%				

Genel Kaynak Kalitesi :

Genel dolgu kalitesi açısından yapılan değerlendirmede, Metco42 tozu için lazer gücü en etkin parametredir (etki oranı: %56.88). Lazer gücü artışı Metco42 tozu kullanımında genel dolgu kalitesini bozmaktadır (Şekil 4.13). Metco42 tozunda ilerleme hızının genel dolgu kalitesi üzerindeki etki oranı oldukça düşüktür (az da olsa iyileştirmektedir). Diğer taraftan Metco42 toz debisi artışında ise dolgu kalitesi iyileşmektedir (etki oranı: %12.74) (Çizelge 4.10).



Şekil 4.13. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin genel kaynak kalitesi için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.10. Metco 42 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek çapı için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	1130.59	56.88%	1130.59	565.293	1.91	0.344
İlerleme	2	11.38	0.57%	11.38	5.690	0.02	0.981
Toz Malzeme Debisi	2	253.16	12.74%	253.16	126.581	0.43	0.701
Error	2	592.57	29.81%	592.57	296.283		
Total	8	1987.70	100.00%				

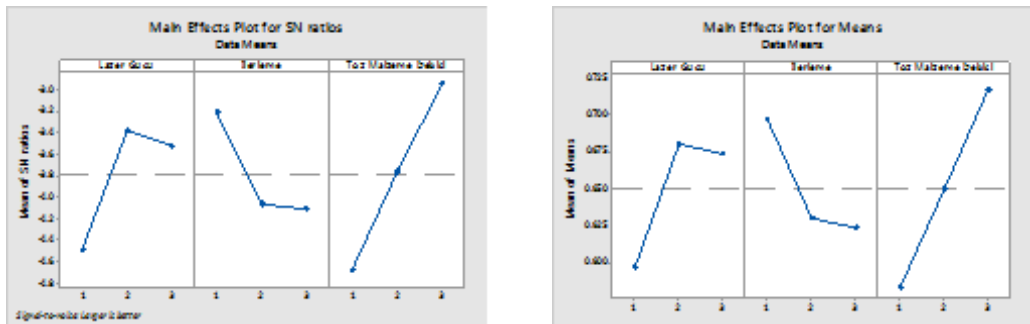
4.2.2 UTP PLASweld Ferro 55 Taguchi Deney Bulguları

Kaynak Yüksekliği:

Yüksek lazer gücü, düşük ilerleme hızı ve yüksek toz debisi kaynak yüksekliğini arttırmaktadır. Kısaca, yüksek ısı girdisi ve yük toz debisi beklendiği gibi kaynak yüksekliğini arttırmıştır. Isı girdisi Ferro55 tozunun dolgu verimini arttırmıştır (Şekil 4.14).

Kaynak yüksekliği üzerinde en etkin parametre toz debisi olmuştur (%52,49). İlgili parametrelerin kaynak yüksekliği üzerindeki etkilerinin hata oranı toplamda düşüktür (%2,76) (Çizelge 4.11).

Sonuçlara genel olarak bakıldığında, kaynak yüksekliği açısından dolgu verimi toz sıralaması: Ferro55-Metco42C-UTP73G3 şeklindedir.



Şekil 4.14. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak yüksekliği için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

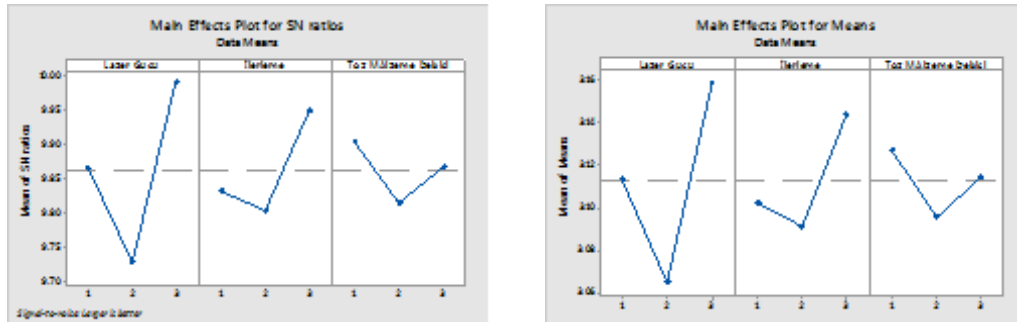
Çizelge 4.11. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak yüksekliği için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.01286	25.33%	0.01286	0.00643	9.19	0.098
İlerleme	2	0.00986	19.42%	0.00986	0.00493	7.05	0.124
Toz Malzeme Debisi	2	0.02666	52.49%	0.02666	0.01333	19.05	0.050
Error	2	0.00140	2.76%	0.0014	0.00070		
Total	8	0.050800	100.00%				

Kaynak Eni:

Yüksek lazer gücü ve yüksek ilerleme hızı kaynak enini arttırıcı etkiye sebep olmaktadır. Diğer taraftan düşük toz debisi kaynak enini nispeten arttırmıştır. Ancak, şu da vurgulanmalıdır ki toz debisinin kaynak eni üzerindeki etkisi oldukça düşük kalmıştır (%5,54) (Şekil 4.15).

Kaynak eni üzerindeki en etkin parametre ise lazer gücü olmuştur (%48,86). İlgili parametrelerin kaynak eni üzerindeki etkilerinin hata oranı toplamda %30'a yakındır (Çizelge 4.12). Metco42C tozunda olduğu gibi Ferro55 tozunda da hata oranı oldukça yüksek çıkmıştır. Bu hususta Metco42C için yapılan yorumlamalar Ferro55 tozu için de geçerlidir.



Şekil 4.15. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak eni için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

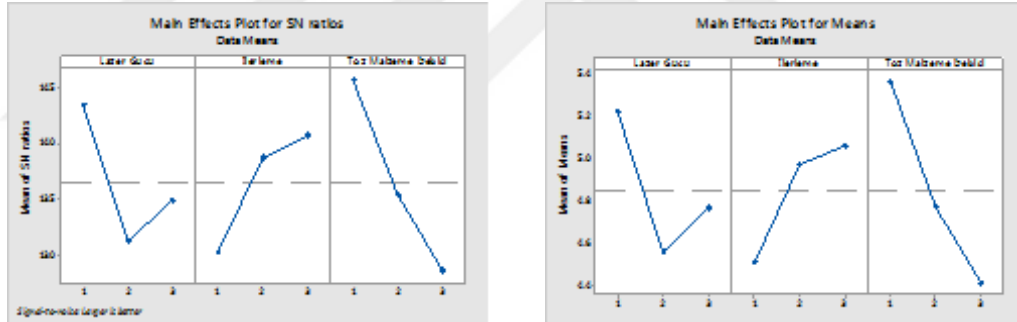
Çizelge 4.12. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak eni için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.01317	48.86%	0.01317	0.00658	1.71	0.369
İlerleme	2	0.00461	17.09%	0.00461	0.00230	0.60	0.625
Toz MALzeme Debisi	2	0.00149	5.54%	0.00149	0.00074	0.19	0.837
Error	2	0.00768	28.51%	0.00768	0.00384		
Total	8	0.026956	100.00%				

Dolgu En/Boy Oranı:

Düşük lazer gücü, yüksek ilerleme hızı ve düşük toz debisi kaynak en-boy oranını daha yüksek değerlere çekmiştir (Şekil 4.16).

Dolgu en/boy oranı için en etkin parametre toz debisi olmuştur (%52,73). Lazer gücü ve ilerleme hızı etki oranları ise birbirine yakındır. İlgili parametrelerin dolgu en-boy üzerindeki etkilerinin hata oranı toplamda oldukça düşüktür (%0,83) (Çizelge 4.13).



Şekil 4.16. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin Dolgu En/Boy oranı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

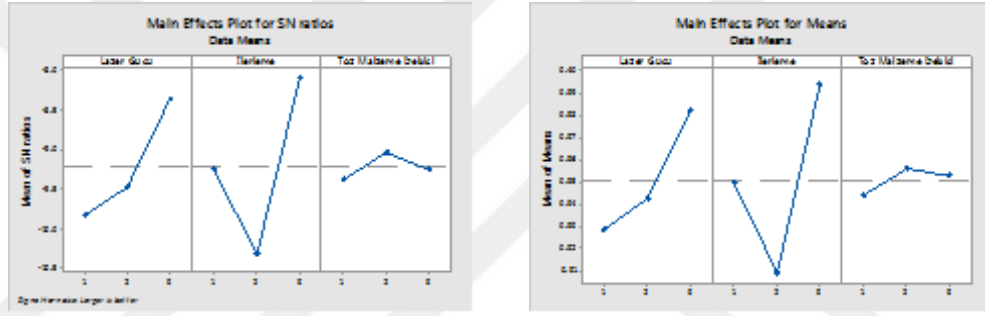
Çizelge 4.13. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin Dolgu En/Boy oranı için için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.68134	26.43%	0.68134	0.34067	31.99	0.030
İlerleme	2	0.51594	20.02%	0.51594	0.25797	24.22	0.040
Toz Malzeme Debisi	2	1.35911	52.73%	1.35911	0.67956	63.81	0.015
Error	2	0.02130	0.83%	0.02130	0.01065		
Total	8	2.57770	100.00%				

Kaynak Derinliği:

Lazer gücü artışı ile ısı girdisi artışına bağlı olarak kaynak derinliği artmaktadır. Yüksek ilerleme hızında da kaynak derinliği artmıştır. Yüksek toz debilerinde ise nispeten kaynak derinliği artmıştır (Ancak çok sınırlı miktarda Şekil 4.17).

Toz debisinin kaynak derinliği üzerindeki etki oranı da %0,82'dir. Kaynak derinliği üzerindeki en etkin parametrenin de ilerleme hızı olduğu görülmektedir (%37,03). Ancak, ilgili parametrelerin kaynak derinliği üzerindeki etkilerinin hata oranı toplamda oldukça yüksektir (%46,24). Bu hata oranı ölçüm hassasiyetinden kaynaklanmış olabilir: Bu tozda kaynak derinliği sınır noktasının tam tespit edilememesinden dolayı bu sonuç ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.14).



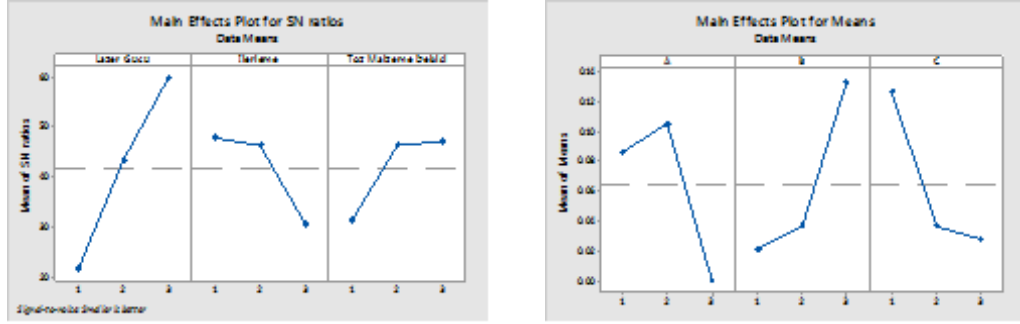
Şekil 4.17. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak derinliği için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.14. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak derinliği için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.00463	15.91%	0.00463	0.00231	0.34	0.744
İlerleme	2	0.01078	37.03%	0.01078	0.00539	0.80	0.555
Toz Malzeme Debisi	2	0.00023	0.82%	0.00023	0.00011	0.02	0.983
Error	2	0.013467	46.24%	0.01346	0.00673		
Total	8	0.029124	100.00%				

Çatlak Boyu :

Yüksek lazer gücü ve düşük ilerleme hızı (yüksek ısı girdisi) çatlak riskini azaltmaktadır (Metco42C tozuna tezat olarak). Metco42C tozundaki sonuçlara benzer şekilde çatlak boyu toz debisi artışı ile azalmıştır. Her üç parametrenin de etki oranı birbirlerine yakındır (Şekil 4.18).



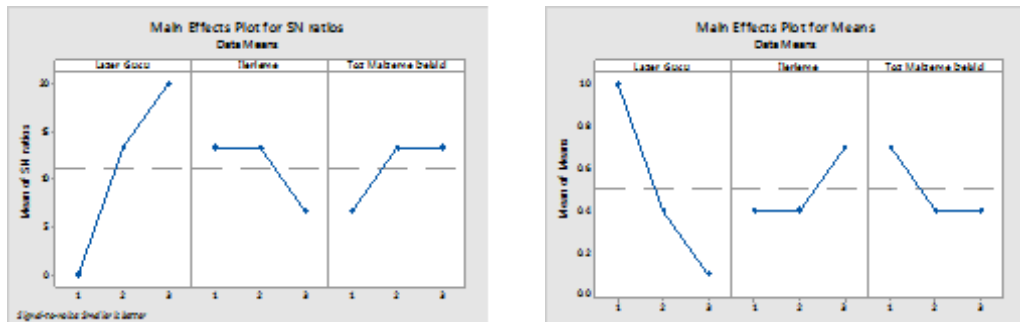
Şekil 4.18. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu çatlak boyu için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.15. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu çatlak boyu için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.01857	21.75%	0.01857	0.009283	0.68	0.595
İlerleme	2	0.02185	25.59%	0.02185	0.010923	0.80	0.555
Toz Malzeme Debisi	2	0.01766	20.69%	0.01766	0.008830	0.65	0.607
Error	2	0.02729	31.97%	0.02729	0.013644		
Total	8	0.08536	100.00%				

Çatlak Adedi:

Çatlak adedi lazer gücü artışı ile azalmıştır. Bu husus, bu çatlakların soğuk çatlak olma olasılığını arttırmaktadır (Şekil 4.19). Lazer gücünün etki oranı da oldukça yüksektir (%70). İlerleme hızının ve toz debisinin çatlak oluşumu üzerindeki etki oranları oldukça düşüktür (%10). İlerleme hızı artışı ile çatlak adedi artarken, toz debisi artışı ile çatlak adedi azalmaktadır (Çizelge 4.16).



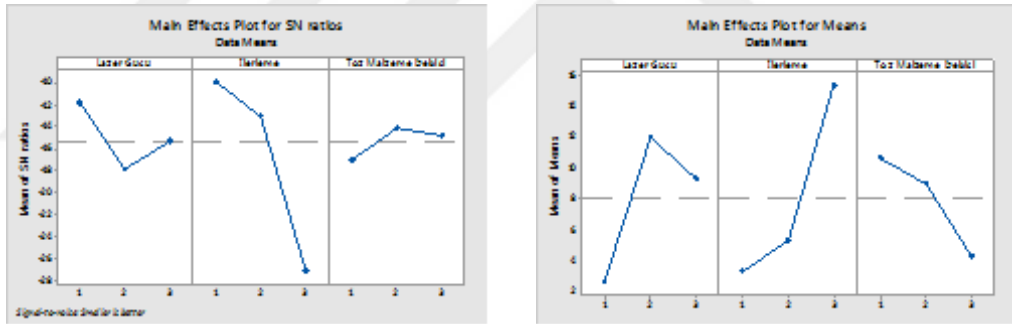
Şekil 4.19. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu çatlak adedi için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.16. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin çatlak adedi için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	1.2600	70.00%	1.2600	0.63000	7.00	0.125
İlerleme	2	0.1800	10.00%	0.1800	0.09000	1.00	0.500
Toz Malzeme Debisi	2	0.1800	10.00%	0.1800	0.09000	1.00	0.500
Error	2	0.1800	10.00%	0.1800	0.09000		
Total	8	1.8000	100.00%				

Gözenek Sayısı:

Lazer gücü artışı gözenek sayısını arttırıcı rol oynamıştır (Şekil 4.20). İlerleme hızının gözenek sayısı üzerindeki etki oranı %39 civarında olup, ilerleme hızı artışı ile gözenek sayısı artmıştır. Toz debisi artışı ise gözenek sayısını düşürmüştür. Bu tozda gözenek oluşum riski daha düşüktür (Çizelge 4.16).



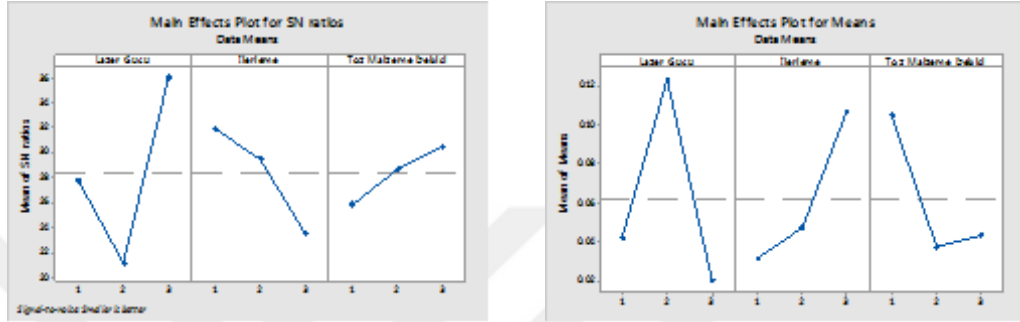
Şekil 4.20. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek sayısı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.17. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek sayısı için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	138.67	21.67%	138.67	69.33	0.73	0.576
İlerleme	2	248.00	38.75%	248.00	124.00	1.31	0.432
Toz Malzeme Debisi	2	64.67	10.10%	64.67	32.33	0.34	0.745
Error	2	188.67	29.48%	188.67	94.33		
Total	8	640.00	100.00%				

Gözenek Çapı:

Ferro55 tozunda lazer gücünün gözenek çapı üzerindeki etki yönü belirsizdir. Ferro55 tozunda orta lazer gücünde gözenek çapı artmıştır, düşen ve artan lazer gücünde ise gözenek çapı daha küçük elde edilmiştir. İlerleme hızı artışı gözenek çapını arttırmıştır. Toz debisi artışı ise gözenek çapını düşürmüştür (Şekil 4.21).



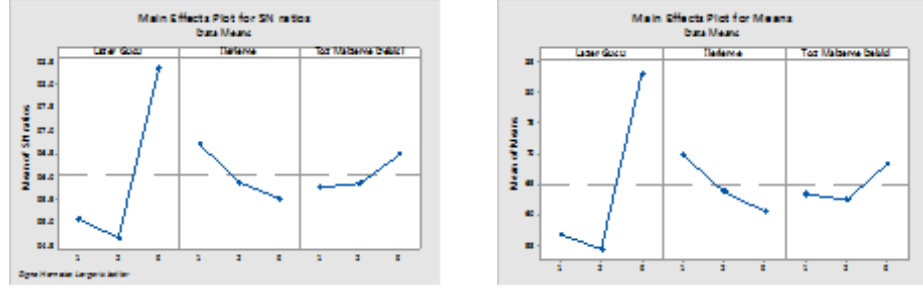
Şekil 4.21. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek çapı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.18. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin gözenek çapı için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.01777	39.92%	0.01777	0.00888	1.98	0.335
İlerleme	2	0.00945	21.22%	0.00945	0.00472	1.05	0.487
Toz Malzeme Debisi	2	0.00833	18.71%	0.00833	0.00416	0.93	0.518
Error	2	0.008972	20.15%	0.00897	0.00448		
Total	8	0.044532	100.00%				

Genel Kaynak Kalitesi:

Ferro55 tozunda lazer gücü en etkin parametredir (%81,34) (Çizelge 4.18). Lazer gücü artışı genel dolgu kalitesini iyileştirmektedir. Diğer parametrelerin ise etki oranları oldukça düşüktür: İlerleme hızı artışı dolgu kalitesini düşürürken, toz debisi artışı dolgu kalitesini iyileştirmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin genel kaynak kalitesi için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

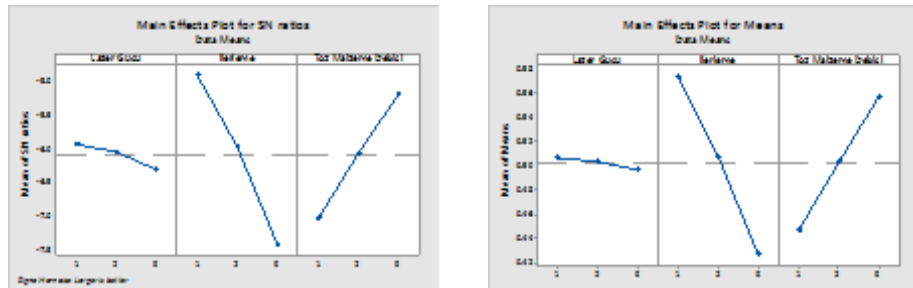
Çizelge 4.19. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin genel kaynak kalitesi için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	1503.56	81.34%	1503.56	751.78	9.57	0.095
İlerleme	2	129.29	6.99%	129.29	64.64	0.82	0.548
Toz Malzeme Debisi	2	58.53	3.17%	58.53	29.27	0.37	0.728
Error	2	157.06	8.50%	157.06	78.53		
Total	8	1848.44	100.00%				

4.2.3.UTP PLASweld 73G3 Taguchi Deney Bulguları

Kaynak Yüksekliği :

UTP tozunda lazer gücünün etkisi ihmal edilebilir değerdedir (etki oranı %0,27) (Çizelge 4.19). İlerleme hızı artışı ise yüksekliğini azaltmıştır. Yani ilerleme hızı artışı kaynak havuzunda eriyen toz miktarını azaltmıştır denilebilir. Nitekim, UTP tozu kullanımında kaynak yüksekliği genel itibariyle (ortalama olarak) daha düşük kalmıştır. Kaynak yüksekliği üzerinde UTP tozu oldukça verimsizdir denilebilir. Toz debisi artışı ise kaynak yüksekliğini arttırmıştır (Şekil 4.23).



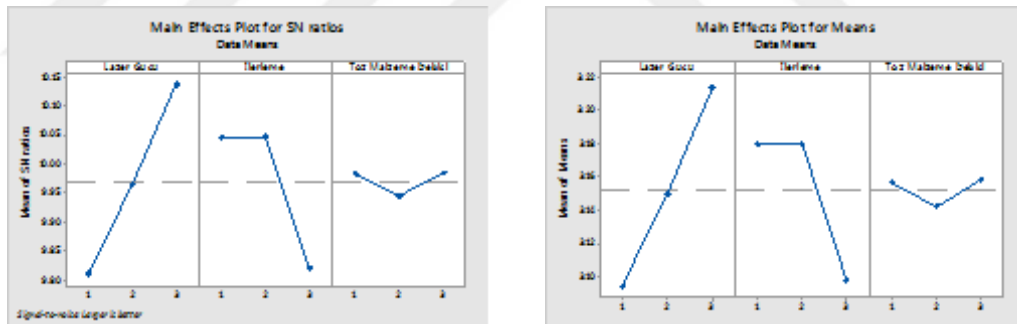
Şekil 4.23. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak yüksekliği için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.20. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak yüksekliği için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.00015	0.27%	0.00015	0.00007	0.02	0.977
ilerleme	2	0.03235	56.61%	0.03235	0.01617	4.99	0.167
Toz Malzeme Debisi	2	0.01815	31.77%	0.01815	0.00907	2.80	0.263
Error	2	0.00648	11.35%	0.00648	0.00324		
Total	8	0.057156	100.00%				

Kaynak Eni :

Lazer gücü artışı kaynak enini arttırmaktadır. Lazer gücünün etki oranı oldukça yüksek değerdedir (%50.59) (Çizelge 4.20). Isı girdisi artışı kaynak enini arttırmıştır. Daha fazla ısı daha fazla tozun ergimesine neden olarak kaynak enini arttırmıştır. İlerleme hızı artışı kaynak enini azaltmıştır (Şekil 4.24). İlerleme hızı artışı kaynak havuzunda eriyen toz miktarını azaltarak kaynak eninin azalmasına sebep olmuştur denilebilir. Toz debisinin ise kaynak etkisi çok sınırlı kalmış olup etki yönü belirsizdir.



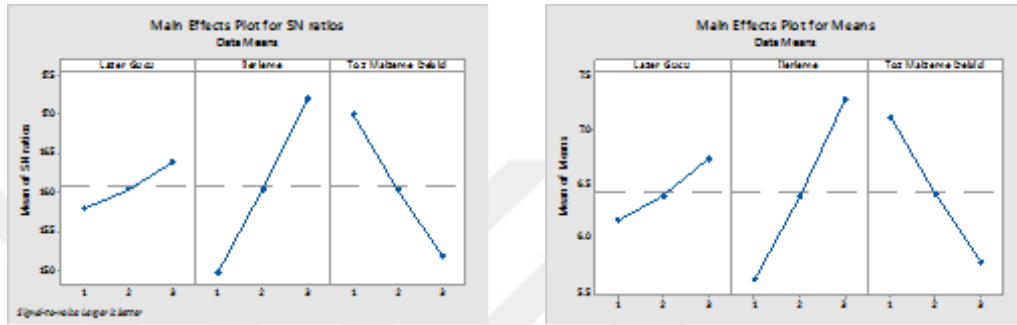
Şekil 4.24. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak eni için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.21. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak eni için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.02126	50.59%	0.02126	0.01063	3.06	0.246
İlerleme	2	0.01334	31.74%	0.01334	0.00667	1.92	0.343
Toz Malzeme Debisi	2	0.00047	1.14%	0.00047	0.00023	0.07	0.936
Error	2	0.006950	16.54%	0.00695	0.00347		
Total	8	0.042033	100.00%				

Dolgu En-Boy Oranı:

UTP tozunda lazer gücünün etkisi sınırlı kalmıştır (etki oranı %6,3): Lazer gücü artışı UTP tozunda sınırlı da olsa en-boy oranını arttırmıştır (Şekil 4.25). İlerleme hızı artışı en-boy oranını arttırmıştır (etki oranı: %53.07). Toz debisi artışı ise en-boy oranını düşürmüştür (%34.62) (Çizelge 4.21).



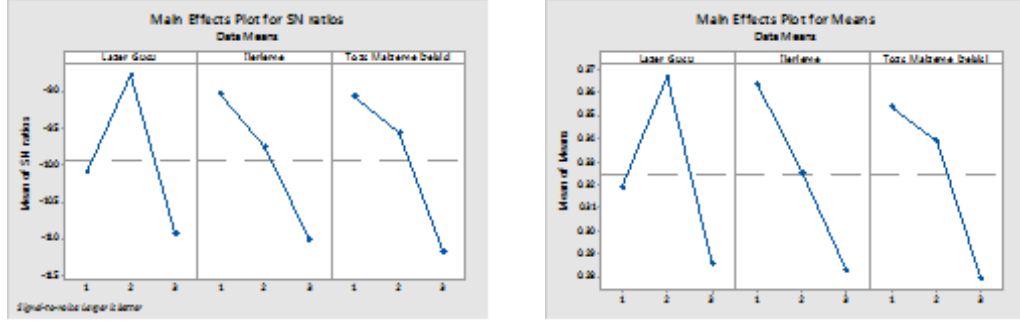
Şekil 4.25. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu En/Boy oranı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.22. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu En/Boy oranı için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.4863	6.30%	0.4863	0.2431	1.05	0.488
İlerleme	2	4.0982	53.07%	4.0982	2.0491	8.84	0.102
Toz Malzeme Debisi	2	2.6735	34.62%	2.6735	1.3367	5.76	0.148
Error	2	0.4638	6.01%	0.4638	0.2319		
Total	8	7.7218	100.00%				

Kaynak Derinliği:

Orta değerdeki lazer gücünde kaynak derinliği artmıştır. Daha düşük ve yüksek lazer güçlerinde ise kaynak derinliği azalmıştır. İlerleme hızı ve toz debisi artışı kaynak derinliğini azaltmıştır(Şekil 4.26). İlerleme hızının artışı ile kaynak derinliğinin azalması ısı girdisi azalmasına bağlanabilir. Çalışmada incelenen parametrelerin etki oranları ise birbirlerine oldukça yakındır.



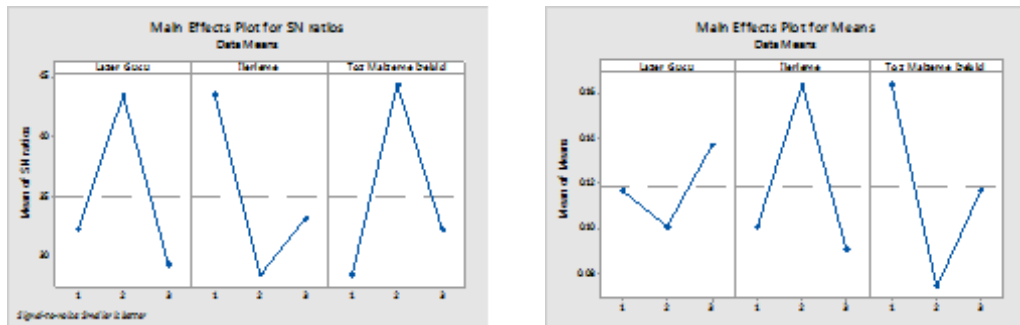
Şekil 4.26. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu Kaynak derinliği için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.23. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu Kaynak derinliği için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.00999	29.89%	0.00999	0.00499	2.32	0.302
İlerleme	2	0.00977	29.24%	0.00977	0.00488	2.27	0.306
Tozs Malzeme Debisi	2	0.00934	27.96%	0.00934	0.00467	2.17	0.316
Error	2	0.00431	12.91%	0.00431	0.00215		
Total	8	0.03343	100.00%				

Çatlak Boyu :

Çatlak boyu analizinde parametrelerdeki etki hata oranı UTP tozunda %80'inde üzerindedir. Bu sebeple yapılan analizin doğruluğu tartışmalıdır (Çizelge 4.23).



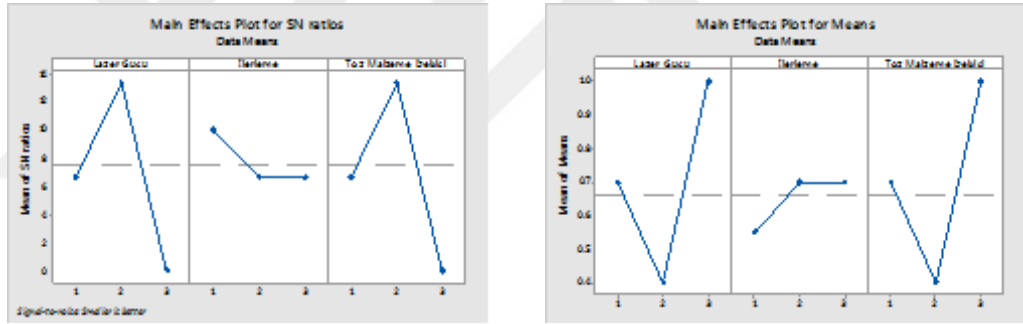
Şekil 4.27. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu bölgesi çatlak boyu için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.24. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu bölgesi çatlak boyu için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.001	1.41%	0.001	0.0009	0.02	0.983
İlerleme	2	0.009	6.69%	0.009	0.0047	0.08	0.926
Toz Malzeme Debisi	2	0.012	8.55%	0.012	0.0060	0.10	0.907
Error	2	0.117	83.35%	0.117	0.0588		
Total	8	0.1412	100.00%				

Çatlak Adedi:

Çatlak adedi lazer gücü artışı artmıştır. Isı girdisi artışı ile çatlak sayısı artmıştır. Bu da, bu çatlakların sıcak çatlaklar (hot cracking) olduğunu göstermektedir. Bu tozda ilerleme hızının etkisi yoktur (Şekil 4.28). Toz debisi artışı ise çatlak sayısını arttırmıştır (etki oranı: %62). Bu tozda çatlak oluşma riski düşüktür (Çizelge 4.24).



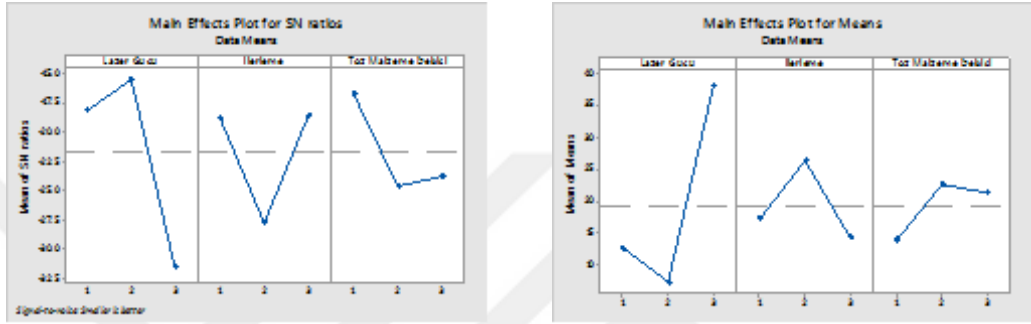
Şekil 4.28. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu bölgesi çatlak adedi için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.25. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu bölgesi çatlak adedi için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.43875	28.89%	0.9450	0.4725	3.50	0.354
İlerleme	2	0.00000	0.00%	0.2025	0.1012	0.75	0.632
Toz Malzeme Debisi	2	0.94500	62.22%	0.9450	0.4725	3.50	0.354
Error	1	0.13500	8.89%	0.1350	0.1350		
Total	7	1.51875	100.00%				

Gözenek Sayısı :

Lazer gücü artışı gözenek sayısını arttırmaktadır (Şekil 4.29). Lazer gücü etki oranı %75'in de üzerindedir. İlerleme hızının gözenek sayısı üzerindeki etki yönü net olmayıp, etki oranı da oldukça düşüktür (%10.93). Toz debisinin de gözenek sayısı üzerindeki etki oranı düşük değerdedir (%6.11) (Çizelge 4.25). Toz debisi gözenek sayısını arttırmaktadır. Gözenek oluşumu bu tozda yüksek olarak değerlendirilmektedir.



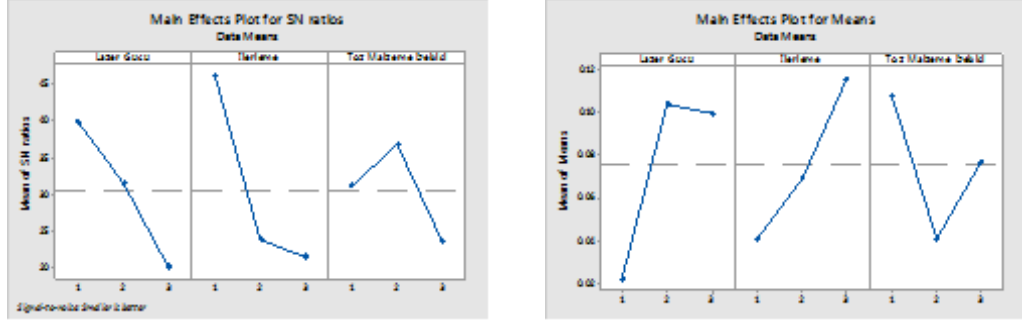
Şekil 4.29. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu bölgesi gözenek sayısı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.26. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu bölgesi gözenek sayısı için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	1610.7	75.26%	1610.7	805.33	9.78	0.093
ilerleme	2	234.0	10.93%	234.0	117.00	1.42	0.413
Toz Malzeme Debisi	2	130.7	6.11%	130.7	65.33	0.79	0.558
Error	2	164.7	7.69%	164.7	82.33		
Total	8	2140.0	100.00%				

Gözenek Çapı :

Lazer gücü ve ilerleme hızı artışı gözenek çapını arttırmıştır. Toz debisi ise gözenek çapını düşürmüştür (Şekil 4.30)



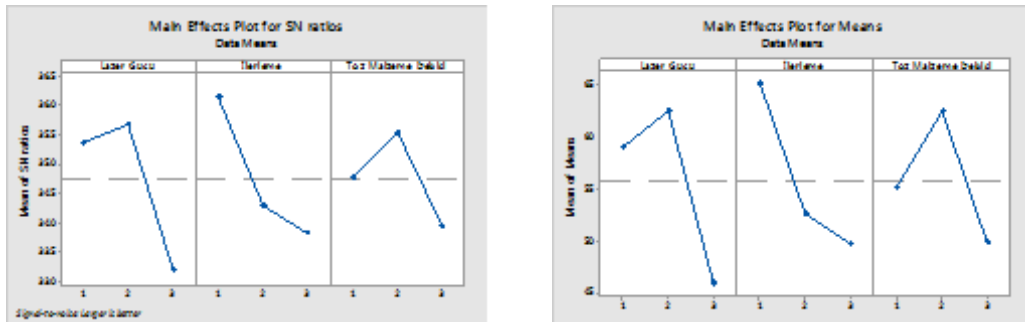
Şekil 4.30. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu gözenek çapı için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.27. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu gözenek çapı için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	0.01266	30.85%	0.01266	0.00633	0.97	0.509
İlerleme	2	0.00852	20.76%	0.00852	0.00426	0.65	0.606
Toz Malzeme Debisi	2	0.00674	16.43%	0.00674	0.00337	0.51	0.660
Error	2	0.013123	31.96%	0.01312	0.00656		
Total	8	0.041062	100.00%				

Genel Kalite Ortalaması :

Lazer gücü artışı UTP tozu kullanımında genel dolgu kalitesini kötüleştirir. UTP tozunda ise işlem parametrelerinin etki oranları daha dengeli dağılmıştır ve yüksek lazer gücü, yüksek ilerleme hızı ve yüksek toz debisi genel dolgu kalitesini kötüleştirir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu genel kalite ortalaması için a)S/N oranlarının ve b)Ortalamalarının temel etki grafikleri

Çizelge 4.28. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu genel kalite ortalaması için ANOVA analizi

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Lazer Gücü	2	454.0	34.50%	454.0	227.0	2.06	0.327
İlerleme	2	401.1	30.48%	401.1	200.6	1.82	0.355
Toz Malzeme Debisi	2	240.5	18.27%	240.5	120.2	1.09	0.478
Error	2	220.5	16.75%	220.5	110.2		
Total	8	1316.1	100.00%				

4.2.4. Genel Değerlendirme

Kaynak Yüksekliği:

Çizelge 4.29. Kaynak Yüksekliği Değerlendirme Tablosu

	Metco 42	UTP Ferro 55	UTP 73G3
Yüksek Lazer Gücü	28,79	25,33	0,27
Yüksek İlerleme Hızı	45,91	19,42	56,61
Yüksek Toz Debisi	7,98	52,49	31,77
Error	17,32	2,76	11,35

Lazer gücü artışı Metco42 ve Ferro55 tozlarında kaynak yüksekliğini arttırıcı yönde etki sağlıyor. Esasen ısı girdisi artışı kaynak yükseliğini arttırmıştır: Daha fazla ısı daha fazla tozun ergimesine neden olarak kaynak yüksekliğini arttırmıştır. Her iki toz içinde lazer gücünün etki oranı %25 civarındadır. Diğer taraftan UTP tozunda lazer gücünün etkisi çok sınırlı kalmıştır (etki oranı %0,27): Etki ihmal edilebilir ölçüdedir. UTP kullanımında lazer gücünün kaynak yüksekliği üzerinde etkisi yoktur denilebilir (Çizelge 4.28).

Metco42 tozunda toz debisinin artışına veya azalışına yönelik kaynak yüksekliği üzerinde belirgin bir etkisi olmamıştır. Nitekim Metco42 tozunda toz debisinin kaynak yüksekliği üzerindeki etki oranı da %8 civarında kalmıştır. Diğer taraftan, diğer tozlarda toz debisi artışı beklendiği gibi kaynak yüksekliğini arttırmıştır.

Bu husus, özellikle Ferro55 tozunda çok daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır: Toz debisinin kaynak yüksekliği üzerindeki etki oranı %50'nin de üzerindedir. Ferro55

tozunda ilerleme hızı etki oranı düşük olup, toz debisi etki oranı yüksek olması bu tozun daha verimli bir şekilde kullanımına yol açarak ortalama olarak daha yüksek kaynak yüksekliklerinin elde edilmesine yol açmıştır.

Kaynak Eni :

Çizelge 4.30. Kaynak Eni Değerlendirme Tablosu

	Metco 42	UTP Ferro 55	UTP 73G3
Yüksek Lazer Gücü	5,9	48,86	50,59
Yüksek İlerleme Hızı	15,19	17,09	31,74
Yüksek Toz Debisi	33,19	5,54	1,14
Error	45,73	28,51	16,54

Lazer gücü artışı Ferro55 ve UTP tozlarında kaynak enini arttırıcı yönde etki sağlıyor. Bu tozlarda lazer gücünün etki oranı oldukça yüksek değerdedir (%50 civarında). Isı girdisi artışı kaynak enini arttırmıştır. Daha fazla ısı daha fazla tozun ergimesine neden olarak kaynak enini arttırmıştır. Diğer taraftan Metco42 tozunda lazer gücünün etkisi sınırlı kalmıştır (etki oranı %5,9). Metco42 tozu kullanımında lazer gücünün kaynak eni üzerindeki etkisi oldukça düşüktür denilebilir (Çizelge 4.29).

İlerleme hızı artışı Metco42 ve UTP tozunda kaynak enini azaltırken, Ferro 55 tozunda kaynak enini arttırmıştır. Metco42 ve UTP tozunda ilerleme hızı artışı kaynak havuzunda eriyen toz miktarını azaltarak kaynak eninin azalmasına sebep olmuştur denilebilir. Bu husus, UTP tozunda daha etkin olarak gerçekleşmiştir (etki oranı: %31). Diğer taraftan, Ferro55 tozunda ilerleme hızı artışı kaynak enini arttırmıştır (etki oranı: %17). Bu husus, ferro55 tozunun sıvı akıcılığının daha fazla olması ile ilgili olabilir. Toz debisi sadece Metco42 tozunda etkili olmuştur.

Toz debisi artışı Metco42 tozunda kaynak enini arttırıcı etkide bulunmuştur (etki oranı: %33). Metco42 tozunda ilgili parametrelerin kaynak eni üzerindeki etkilerinin hata oranının toplam oldukça yüksek olması (%45) dikkat çekicidir.

Kaynak eni değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olması ölçüm hassasiyeti ile birleştiğinde hata oranının yüksek olmasını açıklayabilir. Esasen Metco42 tozunda kaynak eni 3,03 mm ile 3,28 mm arasında değişmiştir: Sadece %8'lik bir değişim söz konusudur. İncelenen 3 toz için ölçüm esnasındaki hata payları da göz önüne alındığında kaynak parametreleri ile kaynak eni değişimi çok sınırlı kalmıştır denilebilir. Genel olarak değerlendirme yapıldığında ortalama değerler olarak Ferro55 tozunda kaynak eni daha dar kalmıştır denilebilir (Ferro 55 tozu için kaynak eni ortalama 3.11 mm'dir).

Kaynak En/Boy Oranı :

Çizelge 4.31. Kaynak En/Boy Oranı Değerlendirme Tablosu

	Metco 42	UTP Ferro 55	UTP 73G3
Yüksek Lazer Gücü	24,81	26,43	6,3
Yüksek İlerleme Hızı	57,35	20,02	53,07
Yüksek Toz Debisi	0,98	52,73	34,62
Error	16,86	0,83	6,01

Lazer gücü artışı Metco42 ve Ferro55 tozlarında en-boy oranını azaltıcı yönde etki sağlıyor. Bu tozlarda lazer gücünün etki oranı %25 civarındadır. Isı girdisi artışı bu tozlarda en-boy oranını azaltmıştır. Diğer taraftan UTP tozunda lazer gücünün etkisi sınırlı kalmıştır (etki oranı %6,3): Lazer gücü artışı UTP tozunda sınırlı da olsa en-boy oranını arttırmıştır (Çizelge 4.30).

İlerleme hızı artışı, incelenen tüm tozlarda en-boy oranını arttırmıştır. Özellikle Metco42 ve UTP tozunda ilerleme hızının etki oranı %50'nin üzerindedir.

Toz debisi artışı Ferro55 ve UTP tozunda en-boy oranını aşağıya çekmiştir. Ferro55 tozunda toz debisinin etki oranı %50'nin üzerinde iken, UTP tozunda %34 civarındadır. Ancak, Metco42 tozunda toz debisinin en-boy oranı üzerinde etki olmamıştır denilebilir (etki oranı %1 civarında).

Ortalama en-boy oranları açısından kullanılan tozlar değerlendirildiğinde, en yüksek ortalama en-boy oranı UTP tozunda (6.4) elde edilirken, en düşük ortalama en-boy oranı Ferro55 tozunda (4.8) elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan tozların etki oranları hata yüzdelere bakıldığında, özellikle Ferro55 ve UTP tozlarında hata yüzdeleri oldukça düşüktür.

Kaynak Derinliği :

Çizelge 4.32. Kaynak Derinliği Değerlendirme Tablosu

	Metco 42	UTP Ferro 55	UTP 73G3
Yüksek Lazer Gücü	65,97	15,91	29,98
Yüksek İlerleme Hızı	14,54	37,03	29,24
Yüksek Toz Debisi	13,63	0,82	27,96
Error	5,87	46,24	12,91

Metco42 ve UTP tozlarında orta değerlerdeki lazer gücünde kaynak derinliği artmıştır. Daha düşük ve yüksek lazer güçlerinde ise kaynak derinliği azalmıştır. Metco42 tozunda özellikle yüksek lazer gücünde, kaynak derinliğinin azalması kaynak yüksekliğinin artmasına bağlanabilir: Kaynak yüksekliğinin artması ile temel malzemeye sağlanan ısı transferinin azalması.

Bu anlamda Metco42 tozunda lazer gücünün etkisi oldukça yüksektir (%66). Ferro55 tozunda ise lazer gücü ile kaynak derinliği artmıştır. Ancak, Ferro55 tozunda etki oranlarında %46'lık hata oranı oldukça yüksektir. Bu hata oranından kaynaklı diğer tozlardan farklı bir eğilim ortaya çıkmış olabilir (Çizelge 4.31).

İlerleme hızı artışı Ferro55 tozunda kaynak derinliğini arttırırken (%37'lik etki oranı ile), diğer tozlarda ise ilerleme hızı artışı kaynak derinliğini azaltmıştır. İlerleme hızının artışı ile kaynak derinliğinin azalması ısı girdisi azalmasına bağlanabilir. Ferro55 tozundaki yüksek hata oranı yine bu toz kullanımında farklı bir eğilimin ortaya çıkmasına neden olmuş olabilir.

Toz debisi artışı Metco42'de kaynak derinliğini arttırırken UTP'de kaynak derinliğini azaltmıştır. Ferro55 tozunda ise toz debisinin herhangi bir etkisi ortaya konulamamıştır (etki oranı %0,82).

Ortalama kaynak derinliklerine bakıldığında ise, genel itibariyle Metco42 tozunda kaynak derinliği daha fazladır, UTP tozunda ise kaynak derinliği nispeten daha azdır.

Çatlak Boyu :

Çizelge 4.33. Çatlak Boyu Değerlendirme Tablosu

	Metco 42	UTP Ferro 55	UTP 73G3
Yüksek Lazer Gücü	24,46	21,84	1,41
Yüksek İlerleme Hızı	17,02	25,56	6,69
Yüksek Toz Debisi	32,06	20,68	8,35
Error	26,51	31,91	83,35

Çatlak boyu analizinde parametre lerdeki etki hata oranı UTP tozunda %80'inde üzerindedir. Bu yüzden bu toz sadece genel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, diğer tozlardaki etki hata oranının da yüksek olması dikkat çekicidir.

Diğer taraftan, çatlak boyu lazer gücü artışı ile Metco42 tozunda artarken Ferro55 tozunda azalmaktadır. Isı girdisi çatlak boyu açısından Metco42 tozu için olumsuzluk ortaya çıkarırken, Ferro55 tozu için olumlu olmuştur (Ferro55 tozunda çatlak boyu azalmıştır). Bu da, her iki tozda ortaya çıkan çatlak oluşum mekanizmasının farklı olduğunu göstermektedir (sıcak ve soğuk çatlak oluşum mekanizmaları). Ayrıca, her iki tozda da lazer gücünün çatlak boyu üzerindeki etki oranı %20'lerdedir (Çizelge 4.32).

Metco42 ve Ferro55 tozunda ilerleme hızı çatlak boyunu arttırmıştır. Bu husus, düşük ısı girdisine istinaden hızlı soğuma ile ilişkilendirilebilir. İlerleme hızının çatlak boyu üzerindeki etki oranı Metco42 tozunda %17, Ferro55 tozunda ise %25 civarındadır.

Toz debisi Metco42 ve Ferro55 tozunda çatlak boyunu azaltmaktadır. Daha fazla toz dolgusu daha dengeli soğuma koşulları yaratmış olabilir. Toz debisinin çatlak boyu üzerindeki etki oranı Metco42 tozunda %32, Ferro55 tozunda ise %21 civarındadır.

Yapılan genel değerlendirmede, çatlak boyu artış riski en fazla Metco42 tozundadır.

Çatlak Adedi :

Çizelge 4.34. Çatlak Adedi Değerlendirme Tablosu

	Metco 42	UTP Ferro 55	UTP 73G3
Yüksek Lazer Gücü	18,18	70	28,89
Yüksek İlerleme Hızı	4,55	10	0
Yüksek Toz Debisi	18,18	10	62,22
Error	59,09	10	8,89

Çatlak adedi lazer gücü artışı ile Metco42 ve UTP tozunda artarken, Ferro55 tozunda azalmıştır. Metco42 ve UTP tozlarında ısı girdisi artışı ile çatlak sayısı artmıştır. Bu da, bu çatlakların sıcak çatlaklar (hot cracking) olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, Ferro55 tozunda lazer gücü artışı çatlak sayısını azalmıştır. Bu da, bu çatlakların soğuk çatlak olma olasılığını arttırmaktadır. Ferro55 tozunda lazer gücünün etki oranı oldukça yüksektir (%70). Her üç tozda da ilerleme hızının çatlak oluşumu üzerindeki etki oranları oldukça düşüktür (en fazla %10).

Toz debisi ise UTP tozunda çatlak sayısını arttırırken (oldukça etkili bir şekilde, %62 etki oranı ile), diğer iki tozda azaltmıştır. Ancak, Metco42 tozunda hata oranının %60'a yakın olduğunu vurgulama gerekir (Çizelge 4.33). Genel yapılan değerlendirmede, çatlak oluşum riskinin en fazla Metco42 tozunda olduğu görülmektedir. En düşük çatlak oluşuma riski UTP tozundadır.

Gözenek Sayısı :

Çizelge 4.35. Gözenek Sayısı Değerlendirme Tablosu

	Metco 42	UTP Ferro 55	UTP 73G3
Yüksek Lazer Gücü	78,38	21,67	75,26
Yüksek İlerleme Hızı	4,22	38,75	10,93
Yüksek Toz Debisi	2,74	10,1	6,11
Error	14,66	29,48	7,69

Gözeneklerin temel malzeme grafit yapıları ile benzerlikleri dikkat çekicidir. Bu gözeneklerin grafit olup olmadıkları SEM-EDX ile analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda bu gözeneklerin grafit olmadıkları ve oldukça sık oldukları tespit edilmiştir.

Lazer gücü artışı her üç tozda da gözenek sayısını arttırıcı rol oynamıştır. Özellikle Metco42 ve UTP tozlarında lazer gücü etki oranı %75'in de üzerindedir. Esasen yüksek ısı girdisi gözenek sayısını arttırıcı rol oynamıştır: Nispeten yavaş soğumaya istinaden gözenek sayısının artışı oldukça ilginç bir sonuçtur.

Metco42 ve UTP tozlarında ilerleme hızının gözenek sayısı üzerindeki etki yönü net olmayıp, etki oranları da düşük değerlerdedir (%4 ve %11 civarında) (Çizelge 4.34). Diğer taraftan Ferro55 tozunda ilerleme hızının gözenek sayısı üzerindeki etki oranı %39 civarında olup, ilerleme hızı artışı ile gözenek sayısı artmıştır.

Toz debisinin de gözenek sayısı üzerindeki etki oranı her üç tozda da düşük değerlerde kalmıştır. Toz debisi, Metco42 ve UTP tozunda gözenek sayısını arttırırken, Ferro55 tozunda düşürmüştür. Yapılan genel değerlendirmede, gözenek oluşum riski Metco42 ve UTP tozunda oldukça yüksek iken, gözenek oluşum riski Ferro55 tozunda diğer iki toza istinaden daha düşüktür.

Gözenek Çapı :

Çizelge 4.36. Gözenek Çapı Değerlendirme Tablosu

	Metco 42	UTP Ferro 55	UTP 73G3
Yüksek Lazer Gücü	27,85	39,92	30,85
Yüksek İlerleme Hızı	49,06	21,22	20,76
Yüksek Toz Debisi	7,62	18,71	16,43
Error	15,47	20,15	31,96

Lazer gücü artışı Metco42 tozunda gözenek çapını azaltırken, UTP tozunda gözenek çapını arttırmıştır. Ferro55 tozunda lazer gücünün gözenek çapı üzerindeki etki yönü belirsizdir. Ferro55 tozunda orta lazer gücünde gözenek çapı artmıştır, düşen ve artan lazer gücünde ise gözenek çapı daha küçük elde edilmiştir.

İlerleme hızı artışı (etki oranı %50'ye yakındır) Metco42 tozunda gözenek çapını azaltırken, Ferro55 ve UTP tozunda gözenek çapını arttırmıştır. Toz debisi artışı ise her üç tozda da gözenek çapını düşürmüştür.

Gözenek çapı açısından en riskli toz Metco42 tozu iken riski en düşük toz Ferro55 tozudur. Gözenek sayısı ve gözenek çapı açısından en riskli toz Metco42 için ayrı bir paragraf açmak gerekir:

Metco42 tozunda, yüksek ısı girdisi (lazer gücünün yüksek olması durumunda) dolgu malzemesi ve temel malzemenin eriyik bölgesinde iyi karıştığına işaret etmektedir. Isı girdisinin fazla olması (lazer gücünün yüksek olması durumunda) temel malzeme yapısı dolgu bölgesine kaymaktadır (nispeten ortaya çıkan dağlama izleri de bu hususu destekler niteliktedir). Yüksek ısı girdisi (yüksek lazer gücü, düşük ilerleme hızı) ve yüksek toz debisinde (argon gazı etkisi) gözenek çapını önemli ölçüde artmıştır (7 no'lu numune).

Numunelerdeki iri gözeneklerin yüzeyden oldukça uzakta olduğu görülmektedir (temel malzemeye oldukça yakın). Bu gaz boşluklarının ergiyiğin soğuması esnasında yeterli zamanı bulup yüzeyden ayrılması mümkün olmamıştır (yüksek ısı girdisine izafeten yavaş soğuma koşullarına rağmen). Yer itibariyle gözeneklerin temel malzemeye oldukça yakın olmaları iri gaz boşluklarının oluşum sebepleri yüzeyde aranmalıdır (yüzeyde nem, kir, yağ, yüzey pürüzlülüğü vs. kaynaklı). Bu anlamda iri gözenek oluşumlarında dolgu parametrelerinden ziyade yüzey koşulları etkin rol oynadığı kanısına varılabilir.

Diğer toz malzemelerinin (Ferro55 ve UTP) sonuçlarına bakıldığında ise genel itibariyle iri gözenek oluşumlarına rastlanılmaması Metco42C tozundan kaynaklı gözenek oluşumunu akla getirmektedir (toz tane büyüklüğü, tozun nemli olması, tozun ergime sıcaklığı gibi etkenler ön plana çıkabilir).

Genel Kalite :

Çizelge 4.37. Genel Kalite Değerlendirme Tablosu

	Metco 42	UTP Ferro 55	UTP 73G3
Yüksek Lazer Gücü	56,88	81,34	34,5
Yüksek İlerleme Hızı	0,57	6,99	30,48
Yüksek Toz Debisi	12,74	3,17	18,27
Error	29,81	8,5	16,75

Genel dolgu kalitesi açısından yapılan değerlendirmede, Metco42 ve Ferro55 tozunda lazer gücü en etkin parametredir. Lazer gücü artışı Metco42 ve UTP tozu kullanımında genel dolgu kalitesini bozarken, Ferro 55 tozunda çok etkin bir şekilde (etki oranı %81) genel dolgu kalitesini iyileştirmektedir.

Ferro55 tozunda diğer parametrelerin etki oranları oldukça düşüktür: İlerleme hızı artışı dolgu kalitesini düşürürken, toz debisi artışı dolgu kalitesini iyileştirmektedir. UTP tozunda ise işlem parametrelerinin etki oranları daha dengeli dağılmıştır ve yüksek lazer gücü, yüksek ilerleme hızı ve yüksek toz debisi genel dolgu kalitesini kötüleştirir. Metco42 tozunda ilerleme hızının genel dolgu kalitesi üzerindeki etki oranı oldukça düşüktür. Metco42 toz debisi artışında ise dolgu kalitesi iyileşmektedir.

Sonuç olarak genel dolgu kalitesi değerlendirmesinde Ferro55 tozu, Metco42 ve UTP tozuna göre daha iyi özellikler ortaya koymaktadır.

4.3. Sertlik Ölçümü Bulguları

Sarı Boyalı Hücreler: Kaynak Havuzu

Yeşil Boyalı Hücreler: ITAB

Çizelge 4.38. Vickers Mikrosertlik Ölçüm Değerleri

	METCO 42					UTP 73G					FERRO 55				
	1	2	3	4	6	1	2	3	4	9	1	2	7	8	9
1	346	419	373	388	419	313	536	345	325	390	677	753	379	361	404
2	392	424	407	369	395	323	530	385	339	388	736	692	345	329	360
3	360	400	396	368	406	321	650	528	340	390	584	628	358	332	362
4	364	397	415	374	434	336	674	435	329	391	600	596	336	347	384
5	350	412	482	354	425	365	416	430	309	392	496	591	350	350	412
6	346	430	743	332	418	580	543	692	436	371	572	437	341	340	432
7	360	410	654	340	420	598	300	660	340	440	714	534	342	336	381
8	342	436	654	376	515	766	652	833	404	692	566	861	340	344	380
9	494	704	586	403	672	739	710	802	580	586	449	660	354	791	577
10	677	646	593	415	707	707	550	623	766	776	710	655	360	845	736
11	625	674	263	426	633	729	315	689	810	500	447	645	346	750	641
12	485	773	216	510	566	773	336	365	866	555	733	749	352	814	399
13	432	330	332	798	717	385	373	366	799	363	444	291	707	900	714
14	474	365	306	742	492	380	298	384	825	376	366	299	780	810	462
15	534	341	375	716	357	336	192	351	795	391	285	306	752	501	397
16	492	159	311	211	500	325	192	324	325	394	200	313	701	379	367
17	321	328	337	501	496	335	353	440	294	366	342	332	320	258	350
18	341	301	394	256	426	445	334	346	286	323	306	377	313	350	416
19	361	376	329	320	330	370	350	274	297	386	347	307	342	303	386
20	340	310	360	224	388	268	394	319	240	319	361	293	360	341	385

Kaynak Havuzu Sertlik Değerlerinin Karşılaştırılması:

Metco42 tozuna ait Numune-1, Numune-2, Numune-3, Numune-4 ve Numune-6 kaynak havuzu ortalama sertlik değerleri (kaynak havuzu: kaynak yüksekliği + kaynak derinliği) sırasıyla 357.5 HV_{0.1}, 416 HV_{0.1}, 414.6 HV_{0.1}, 376.8 HV_{0.1} ve 416.7 HV_{0.1}. Ortalama kaynak havuzu sertlik değeri kaynak parametrelerine bağlı olarak 357.5 HV_{0.1} ile 416,7 HV_{0.1} arasında değişmektedir: Ortalama kaynak havuzu sertliği 396.3 HV_{0.1} değerindedir. Kaynak havuzu sertliği lazer gücü ve ilerleme hızı artışı ile artmıştır. Toz debisinin etkisi net olarak belirli değildir. Genel kaynak kalitesi açısından optimum olarak belirlenen Numune-3'ün kaynak havuzu sertlik değeri (414.6 HV_{0.1}) maksimum değerler civarındadır.

UTP tozuna ait Numune-1, Numune-2, Numune-3, Numune-4 ve Numune-9 kaynak havuzu ortalama sertlik değerleri sırasıyla 405.1 HV_{0.1}, 521.3 HV_{0.1}, 424.6 HV_{0.1}, 352.8 HV_{0.1} ve 394.6 HV_{0.1}. Ortalama kaynak havuzu sertlik değeri kaynak parametrelerine

bağlı olarak 352.8 HV_{0.1} ile 521.3 HV_{0.1} arasında değişmektedir: Ortalama kaynak havuzu sertliği 419.7 HV_{0.1} değerindedir. UTP tozunda Metco42C tozuna karşın kaynak havuzu sertlik değerleri daha geniş bir aralıkta değişirken ortalama kaynak havuzu sertlik değeri daha yüksektir. UTP tozunda kaynak havuzu sertliği lazer gücü artışı ve toz debisi artışı ile düşerken, ilerleme hızı artışı ile artmıştır. Genel kaynak kalitesi açısından optimum olarak belirlenen Numune-4'ün kaynak havuzu sertlik değeri (352.8 HV_{0.1}) diğer numunelere nazaran minimum değerdedir.

Ferro55 tozuna ait Numune-1, Numune-2, Numune-7, Numune-8 ve Numune-9 kaynak havuzu ortalama sertlik değerleri sırasıyla 625.6 HV_{0.1}, 604.4 HV_{0.1}, 350.3 HV_{0.1}, 342.4 HV_{0.1} ve 389.4 HV_{0.1}. Ortalama kaynak havuzu sertlik değeri kaynak parametrelerine bağlı olarak 342.4 HV_{0.1} ile 625.6 HV_{0.1} arasında değişmektedir: Ortalama kaynak havuzu sertliği 462.4 HV_{0.1} değerindedir. Bu tozda kaynak havuzu sertlik değerleri kaynak parametrelerine bağlı olarak diğer tozlara nazaran (Metco42C ve UTP tozu) çok geniş bir aralıkta değiştirilebilmektedir. Bu da, bu tozu diğer tozlara nazaran daha avantajlı duruma getirmektedir. Ayrıca, bu tozda kaynak havuzunda elde edilen maksimum sertlik değeri (625.6 HV_{0.1}) diğer tozların maksimum değerlerinden oldukça yüksektir: Metco42C tozununkinden %50, UTP tozununkinden %20 daha fazladır. Lazer gücü artışı kaynak havuzu sertlik değerlerini etkin bir şekilde aşağıya çekmiştir. İlerleme hızı ve toz debisinin kaynak havuzu sertlik değerleri üzerindeki etkisi sınırlı kalmıştır. Genel kaynak kalitesi açısından optimum olarak belirlenen Numune-7 ve Numune-8'in kaynak havuzu sertlik değerleri (350.3 HV_{0.1} ve 342.4 HV_{0.1}) diğer numunelere nazaran minimum değerlerdedir.

Isı Tesiri Altındaki Bölgelerin (ITAB) Sertlik Değerlerinin Karşılaştırılması:

Metco42 tozuna ait Numune-1, Numune-2, Numune-3, Numune-4 ve Numune-6 kaynak ITAB ortalama sertlik değerleri sırasıyla 526.6 HV_{0.1}, 699.3 HV_{0.1}, 646 HV_{0.1}, 653.4 HV_{0.1} ve 552.8 HV_{0.1}. Ortalama ITAB sertlik değeri kaynak parametrelerine bağlı olarak 526.6 HV_{0.1} ile 699.3 HV_{0.1} arasında değişmektedir: Ortalama ITAB sertliği 615.6 HV_{0.1} değerindedir. Toz debisinin en düşük değerinde ITAB sertliği önemli düşüş göstermiştir. Lazer gücü ve ilerleme hızının ITAB sertliği üzerindeki etkisi mevcut parametrelerle net olarak ortaya konulamamıştır. ITAB genişliği azaldıkça ITAB ortalama sertlik

değerlerinin artması gibi bir korelasyonda dikkat çekicidir. Genel olarak lazer gücünün artması ve toz debisinin azalması ITAB genişliğini azaltmıştır. İlerleme hızının etkisi ise her iki yönde de değişmektedir. Genel kaynak kalitesi açısından optimum olarak belirlenen Numune-3'ün ITAB sertlik değeri (646 HV_{0.1}) oldukça yüksektir.

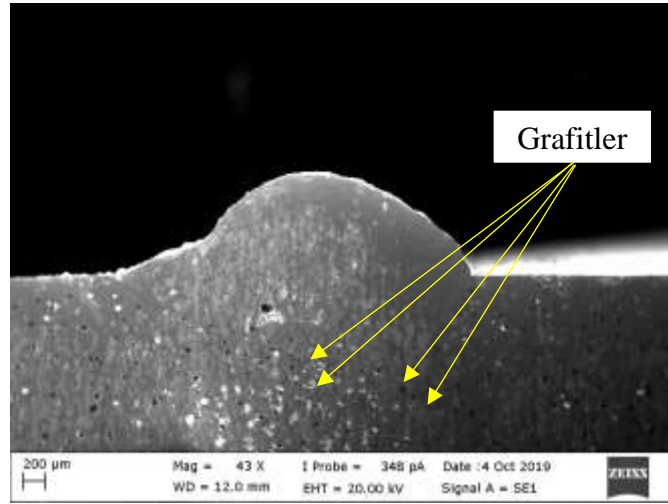
UTP tozuna ait Numune-1, Numune-2, Numune-3, Numune-4 ve Numune-9 ITAB ortalama sertlik değerleri sırasıyla 742.8 HV_{0.1}, 637.3 HV_{0.1}, 716.5 HV_{0.1}, 777.3 HV_{0.1} ve 621.8 HV_{0.1}. Ortalama ITAB sertlik değeri kaynak parametrelerine bağlı olarak 621.8 HV_{0.1} ile 777.3 HV_{0.1} arasında değişmektedir. Ortalama ITAB sertliği 699.1 HV_{0.1} değerindedir. UTP tozunda Metco42C tozuna karşın ortalama ITAB sertlik değeri daha yüksektir. Yüksek lazer gücü ITAB sertlik değerini düşürmüştür. İlerleme hızının ve toz debisinin ITAB sertliği üzerindeki etkisi mevcut parametrelerle net olarak ortaya konulamamıştır. UTP tozunda ITAB genişlikleri Metco42 tozuna nazaran daha dardır. Genel olarak, ITAB genişliği azaldıkça ITAB ortalama sertlik değerlerinin azalması gibi bir korelasyonda dikkat çekicidir (Metco42 tozunun aksine). Genel kaynak kalitesi açısından optimum olarak belirlenen Numune-4'ün ITAB sertlik değeri (777.3 HV_{0.1}) maksimum değerdedir.

Ferro55 tozuna ait Numune-1, Numune-2, Numune-7, Numune-8 ve Numune-9 ITAB ortalama sertlik değerleri sırasıyla 558.2 HV_{0.1}, 714 HV_{0.1}, 735 HV_{0.1}, 773 HV_{0.1} ve 588.2 HV_{0.1}. Ortalama ITAB sertlik değeri kaynak parametrelerine bağlı olarak 558.2 HV_{0.1} ile 773 HV_{0.1} arasında değişmektedir. Ortalama ITAB sertliği 673.7 HV_{0.1} değerindedir. Diğer tozlara nazaran ITAB ortalama sertlik değerleri kaynak parametrelerine bağlı olarak daha geniş bir aralıkta değiştirilebilmektedir. ITAB ortalama sertlik değeri ve ITAB'da yakalanabilecek maksimum sertlik değeri UTP tozuna oldukça yakındır. Kaynak parametreleri ile ITAB genişliği ve sertlik değerleri üzerinde belirgin bir korelasyon kurulamamıştır. Bu tozunda ITAB genişlikleri Metco42 tozuna nazaran daha dardır. Bu tozda ITAB genişlikleri ile sertlik değerleri arasında bir ilişki göze çarpmamaktadır. Genel kaynak kalitesi açısından optimum olarak belirlenen Numune-7 ve Numune-8'in ITAB sertlik değerleri (735 HV_{0.1} ve 773 HV_{0.1}) maksimum değerlerdedir.

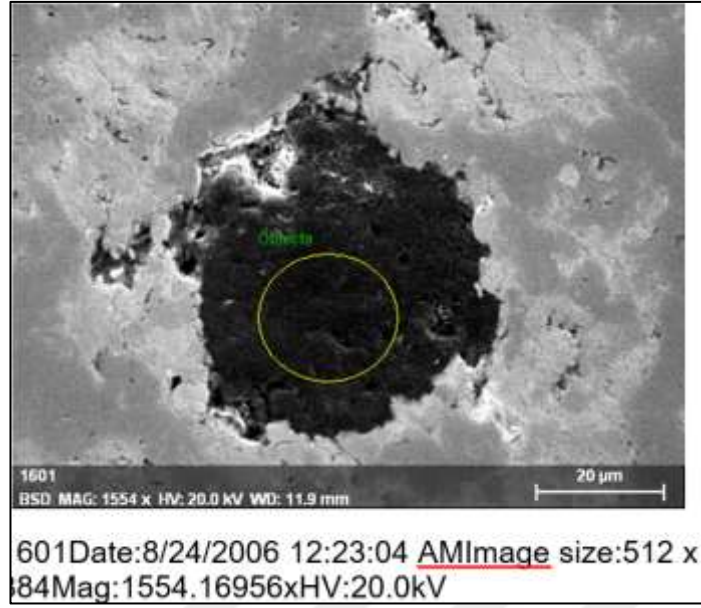
Taguchi yöntemi, kaynak parametreleri ve özellikler arasındaki ilişkileri doğrudan tam olarak ortaya koyamayabilir. Çünkü, Taguchi yönteminin ana hedefi doğrudan optimum kaynak parametrelerini bulmaya yöneliktir. Kaynak parametreleri ve özellikler arasındaki ilişkileri tam olarak ortaya koyabilmek için full faktöriyel deney tasarımına ihtiyaç vardır. Yani seçilen parametrelerde ve seviyelerinde tüm kombinasyonların çalışılmasını gerektirir. O yüzden sertlik değerlendirmelerinde bazı durumlarda net ilişki ortaya koyulamamıştır. Ancak, Taguchi uygulamalarında bu husus bir eksiklik olarak değerlendirilmemelidir. Burada çoğu zaman, sadece optimum numunelerin (ve bazende ilave olarak en kötü numunenin) kaynak bölgesi sertlik taramalarının verilmesi literatürde kabul görmektedir.

4.4. SEM-EDX Analizi

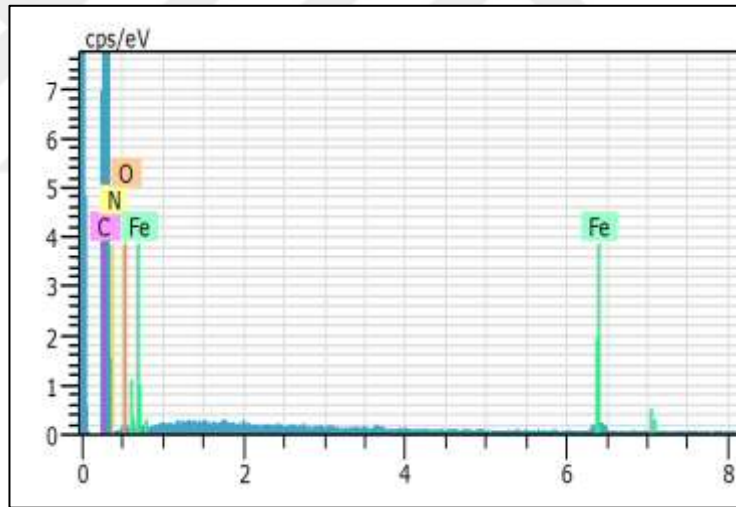
Numunelerin optik mikroskop incelemelerinde gözlenen gözeneklerin temel malzeme grafit yapıları ile benzerlikleri oldukça dikkat çekicidir. Bu gözeneklerin grafit olup olmadıkları SEM-EDX analizleri ile tespiti yapılmıştır. Temel malzeme içerisinde yer alan grafitlerden alınan SEM-EDX analizi Şekil 4.32’de verilmiştir. Bu analiz sonucunda yer alan yüksek karbon oranı bu yapıların grafit olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.32. Dolgu Kesiti SEM Görüntüsü (Grafit Bölgesi)



Şekil 4.33. Grafit SEM Görüntüsü

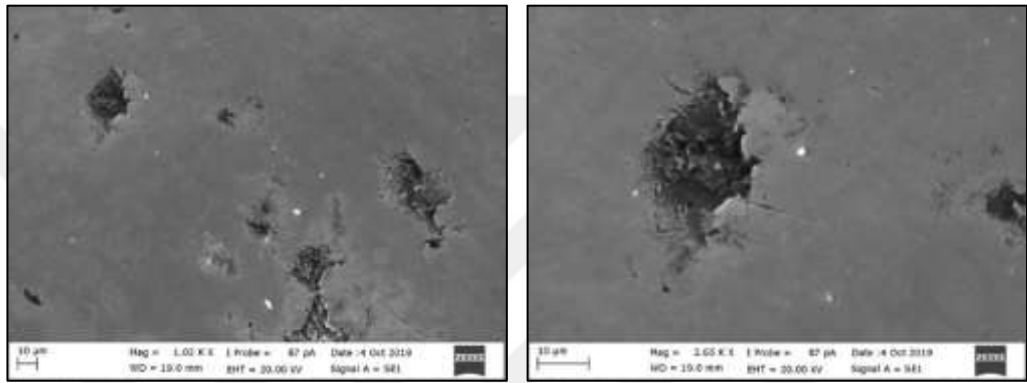


Şekil 4.34. SEM-EDX Kimyasal Analizi

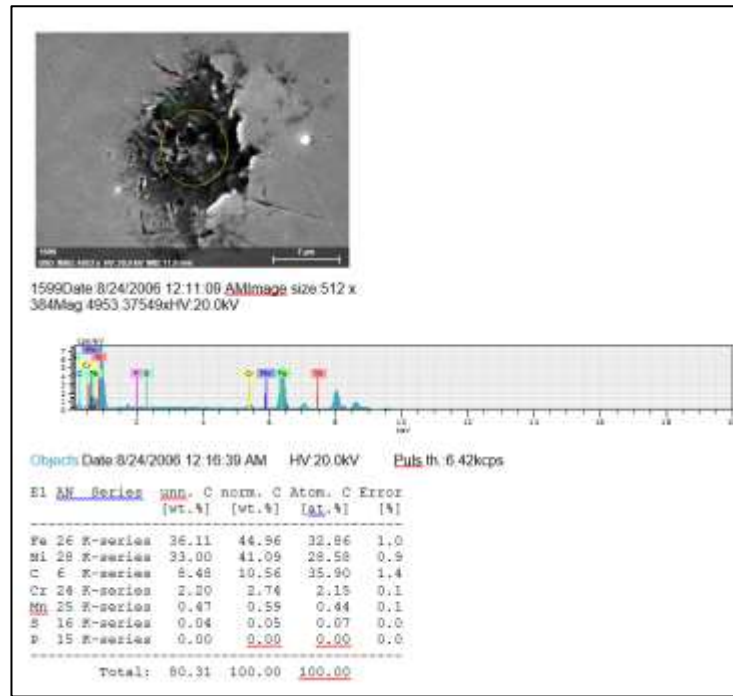
Ayrıca, temel malzeme içerisinde yer alan grafitlerin yapıların derinlikleri de oldukça fazladır. Ancak, dolgu içerisinde yer alan gözeneklerden alınan SEM-EDX sonuçlarındaki karbon oranının grafit yapılarına nazaran çok düşük olması bu gözeneklerin grafit olmadığını kanıtlar niteliktedir (Şekil 4.34). Bu gözeneklerin oldukça sığ olmaları da bu yapıları grafit yapılardan ayırmaktadır.

Çizelge 4.39. SEM – EDX Grafit Bölgesi Sonucu

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [%]
C	6	K-series	85.34	85.35	89.11	26.5
O	8	K-series	7.06	<u>7.06</u>	5.53	3.0
N	7	K-series	5.44	<u>5.44</u>	4.87	3.0
Fe	26	K-series	2.16	<u>2.16</u>	0.48	0.1
Total:			100.00	<u>100.00</u>	<u>100.00</u>	



Şekil 4.35. Gözenek SEM Görüntüleri



Şekil 4.36. SEM-EDX Gözenek Bölgesi Sonucu

5.SONUÇ

1. Lazer gücü artışı Metco42 ve Ferro55 tozlarında kaynak yüksekliğini arttırıcı yönde etki sağlamaktadır. UTP tozunda ise lazer gücünün etkisi yoktur. İlerleme hızı ise artışı tüm tozlarda kaynak yüksekliğini azaltmaktadır. Toz debisi artışı ise Ferro55 ve UTP tozunda kaynak yüksekliğini arttırmaktadır. Metco42 tozunda ise toz debisinin etkisi belirsizdir. Kaynak yüksekliği üzerinde Ferro55 tozu en verimli toz olurken, en verimsiz tozun UTP tozu olduğu belirlenmiştir.
2. Lazer gücü artışı Ferro55 ve UTP tozlarında kaynak enini arttırmaktadır. Metco42 tozunda ise lazer gücünün etkisi net değildir. İlerleme hızı artışı Metco42 ve UTP tozunda kaynak enini azaltırken, Ferro 55 tozunda kaynak enini arttırmaktadır. Toz debisi sadece Metco42 tozunda etkili olmuştur: Toz debisi artışı Metco42 tozunda kaynak enini arttırmaktadır. Ortalama değerler esas alındığında Ferro55 tozunda kaynak eni daha dar kalmaktadır.
3. Lazer gücü artışı Metco42 ve Ferro55 tozlarında en-boy oranını azaltmaktadır. UTP tozunda ise lazer gücü az da olsa en-boy oranını arttırmaktadır. İlerleme hızı artışı, tüm tozlarda en-boy oranını arttırmaktadır. Toz debisi artışı Ferro55 ve UTP tozunda en-boy oranını azaltmaktadır. Ancak, Metco42 tozunda toz debisinin en-boy oranı üzerinde etkisi olmamıştır. En yüksek ortalama en-boy oranı UTP tozunda elde edilirken, en düşük ortalama en-boy oranı Ferro55 tozunda elde edilmiştir.
4. Metco42 ve UTP tozlarında orta değerlerdeki lazer gücünde kaynak derinliği artmaktadır. Daha düşük ve yüksek lazer güçlerinde ise kaynak derinliği azalmaktadır. Ferro55 tozunda ise lazer gücü artışı ile kaynak derinliği artmaktadır. İlerleme hızı artışı Ferro55 tozunda kaynak derinliğini arttırırken, diğer tozlarda kaynak derinliğini azaltmaktadır. Toz debisi artışı Metco42'de kaynak derinliğini arttırırken UTP'de kaynak derinliğini azaltmaktadır. Ferro55 tozunda ise toz debisinin herhangi bir etkisi ortaya konulamamıştır. Genel itibariyle Metco42 tozunda kaynak derinliği daha fazladır, UTP tozunda ise kaynak derinliği nispeten daha azdır.

5. Çatlak boyu lazer gücü artışı ile Metco42 tozunda artarken Ferro55 tozunda azalmaktadır. İlerleme hızı artışı her iki tozda da çatlak boyunu arttırırken, toz debisi artışı her iki tozda da çatlak boyunu azaltmaktadır. Çatlak boyu analizinde parametrelerdeki etki hata oranı UTP tozunda %83.35 olması bu tozun bu kriter içinde değerlendirmesini engellemiştir. Ancak, yapılan genel değerlendirmede (optik mikroskop görüntülerini içeren), çatlak boyu artış riski en fazla Metco42 tozundadır.
6. Çatlak adedi lazer gücü artışı ile Metco42 ve UTP tozunda artarken, Ferro55 tozunda azalmaktadır. Her üç tozda da ilerleme hızının çatlak oluşumu üzerindeki etki oranları oldukça düşüktür. Toz debisi ise UTP tozunda çatlak sayısını arttırırken, diğer iki tozda azaltmaktadır. Genel olarak, çatlak oluşum riski en fazla Metco42 tozundadır. En düşük çatlak oluşuma riskine ise UTP tozu sahiptir.
7. Lazer gücü artışı her üç tozda da gözenek sayısını arttırmaktadır. Metco42 ve UTP tozlarında ilerleme hızının gözenek sayısı üzerindeki etki yönleri belirsizdir. Ferro55 tozunda ise ilerleme hızı artışı ile gözenek sayısı artmaktadır. Toz debisi, Metco42 ve UTP tozunda gözenek sayısını arttırırken, Ferro55 tozunda düşürmektedir. Genel olarak, gözenek oluşum riski Metco42 ve UTP tozunda oldukça yüksek iken, gözenek oluşum riski Ferro55 tozunda ise diğer iki toza istinaden daha düşüktür.
8. Lazer gücü artışı Metco42 tozunda gözenek çapını azaltırken, UTP tozunda gözenek çapını arttırmıştır. Ferro55 tozunda orta lazer gücünde gözenek çapı artmakta, düşen ve artan lazer gücünde ise gözenek çapı küçülmektedir. İlerleme hızı artışı Metco42 tozunda gözenek çapını azaltırken, Ferro55 ve UTP tozunda gözenek çapını arttırmaktadır. Toz debisi artışı ise her üç tozda da gözenek çapını düşürmüştür. Gözenek büyüklüğü açısından en riskli toz Metco42 tozu iken riski en düşük toz Ferro55 tozudur.

9. Genel olarak, Metco42 ve Ferro55 tozunda lazer gücü en etkin parametredir. Lazer gücü artışı Metco42 ve UTP tozu kullanımında genel dolgu kalitesini bozarken, Ferro 55 tozunda çok etkin bir şekilde genel dolgu kalitesini iyileştirmektedir. Ferro55 tozunda ilerleme hızı artışı dolgu kalitesini düşürürken, toz debisi artışı dolgu kalitesini iyileştirmektedir. UTP tozunda ise işlem parametrelerinin etki oranları daha dengeli dağılmıştır ve yüksek lazer gücü, yüksek ilerleme hızı ve yüksek toz debisi genel dolgu kalitesini kötüleştirir. Metco42 tozunda ilerleme hızının genel dolgu kalitesi üzerindeki etki oranı oldukça düşüktür. Metco42 toz debisi artışında ise dolgu kalitesi iyileşmektedir. Genel olarak, Ferro55 tozu, Metco42 ve UTP tozuna göre daha iyi dolgu özellikleri ortaya koymaktadır.
10. Metco42 tozunda, kaynak havuzu sertliği lazer gücü ve ilerleme hızı artışı ile artmaktadır. Toz debisinin etkisi belirsizdir. Genel kaynak kalitesi açısından optimum olarak belirlenen numunede kaynak havuzu sertlik değeri elde edilebilecek maksimum değerler civarındadır. UTP tozunda Metco42 tozuna karşın kaynak havuzu sertlik değerleri daha geniş bir aralıkta değişirken ortalama kaynak havuzu sertlik değeri daha yüksektir. UTP tozunda kaynak havuzu sertliği lazer gücü artışı ve toz debisi artışı ile düşerken, ilerleme hızı artışı ile artmaktadır. Genel kaynak kalitesi açısından optimum olarak belirlenen numunenin kaynak havuzu sertlik değeri elde edilebilecek minimum değerdedir. Ferro55 tozunda kaynak havuzu sertlik değerleri kaynak parametrelerine bağlı olarak diğer tozlara nazaran çok daha geniş bir aralıkta değişmektedir. Ferro55 tozunda kaynak havuzunda elde edilen maksimum sertlik değeri diğer tozların maksimum değerlerinden oldukça yüksektir: Metco42C tozununkinden %50, UTP tozununkinden %20 daha fazladır. Lazer gücü artışı kaynak havuzu sertlik değerlerini etkin bir şekilde aşağıya çekmiştir. İlerleme hızı ve toz debisinin kaynak havuzu sertlik değerleri üzerindeki etkisi sınırlı kalmıştır. Genel kaynak kalitesi açısından optimum olarak belirlenen numunelerde kaynak havuzu sertlik değerleri elde edilebilecek minimum değerlerdedir.

11. Metco42 tozunda, toz debisinin en düşük değerinde ITAB sertliği önemli dūşüş göstermektedir. Lazer gücü ve ilerleme hızının ise ITAB sertliği üzerindeki etkisi net olarak ortaya konulamamıştır. Genel kaynak kalitesi açısından optimum olarak belirlenen numunede ITAB sertlik değeri oldukça yüksektir. UTP tozunda Metco42 tozuna karşın ortalama ITAB sertlik değeri daha yüksektir. Yüksek lazer gücü ITAB sertlik değerini düşürmüştür. İlerleme hızının ve toz debisinin ITAB sertliği üzerindeki etkisi net olarak ortaya konulamamıştır. Genel kaynak kalitesi açısından optimum olarak belirlenen numunenin ITAB sertlik değeri maksimumdadir. Ferro 55 tozunda diğer tozlara nazaran ITAB ortalama sertlik değerleri daha geniş bir aralıkta değişmektedir. ITAB ortalama sertlik değeri ve ITAB’da yakalanabilecek maksimum sertlik değeri UTP tozuna oldukça yakındır. Genel kaynak kalitesi açısından optimum olarak belirlenen numunelerde ITAB sertlik değerleri maksimum değerlerdedir.

KAYNAKLAR

Amado, J.M. 2014. Physics Procedia 56 (2014) 269 – 275 “ *8th International Conference on Photonic Technologies LANE 2014 Laser cladding of Ni-WC layers with graded WC content.*

Boyras, İ., Yıldız, A. 2016. Laser Types and using of High Intensity Laser.

Erlas GmbH 2013

Gedda, H. 2002. Analysis and Development of the Laser Cladding Process.

Kurt, A.O., 2010. Ders Notu.

Laserline GmbH 2016

Liu, Y.*, Qu W., Su, Y. 2016. TiC Reinforcement Composite Coating Produced Using Graphite of the Cast Iron by Laser Cladding.

Maiman, T.H. 1960. Stimulated optical radiation in ruby in nature.

Meriaudeau*, F., Truchetet* F., Grevey D. 1997. Laser cladding process and image processing.

Meriaudeau, F., Truchetet, F., Dumont C., Renier, E., Bolland, P. 1996. Acquisition and image processing system able to optimize laser cladding process; Proceedings of ICSP'96.

Oberlander, B.C., Lugscheider, E.2011. *Comparison of properties of coatings produced by laser cladding and conventional methods. Material Science and Technology.*

Oerlikon 2018

Poyraz, Ö., Kuşhan, M.C. 2018. Investigation of the effect of different process parameters for laser additive manufacturing of metals

Riabkina-Fishman*, M., Zahavi, J. 1995. Laser alloying and cladding for improving surface properties.

Schneider, M. 1998. Laser Cladding With Powder Effect of Some Machinnig Parameters on Clad Properties.

Steen,W.M. 1989. Lasers in Manufacturing: Proceedings of the 6th International Conference

Toyserkani, E., Khaepour, A., Corbin, S. 2005. Laser Cladding Book 16 s.

Trumpf GmbH 2016

Voestalpine GmbH 2017

Yellup J.M. 1995 Laser cladding using the powder blowing technique.

KAYNAKLAR

Ya, W. 2015. Laser Materials Interactions During Cladding Analyses on Clad Formation, Thermal Cycles, Residual Stress and Defects.

Zhang, T., Sun R. 2015. Study on Pores and Crack Sensitivity of Ni- based Composite Coating by Laser Cladding.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Adem KARŞI
Doğum Yeri ve Tarihi : Tortum 01/02/1975
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Tophane Teknik Lisesi – Makine Böl. (1989 – 1993)
Lisans : Atatürk Üniversitesi – Makina Mühendisliği (1998 – 2002)
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi – Konstrüksiyon ve İmalat (2019 – Devam)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Coşkunöz Kalıp Makina A.Ş (2006 - Devam)

İletişim (e-posta) : akarsi@yahoo.com

Yayınları* :

- Karagöz, T., Toros, S., Yiğitoğlu, E., Karşı, A. 2016.** 6016-T4 Al alaşımının şekillendirilebilme ve geri esneme özelliklerinin deneysel ve nümerik incelenmesi. Alus 17, 5-6 Ekim, 2016, İstanbul, Türkiye.
- Karşı, A., Karagöz, T., Yenice, M. 2016** The effect of cutting tool angle and coating condition on burr formation of Al-6016 alloy. International Conference On Advances In Automotive Technologies 2016, 11-14 October 2016, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey.
- Karagöz, T., Karşı, A., Yenice, M. 2017** Alüminyum sac metal kalıpları tasarımı ve üretimi. 15-16 Mart 2017, Uludağ Üniversitesi 6. Bilgilendirme ve Arge Günleri, 2017, Bursa, Türkiye.
- Karagöz, T., Karşı, A., Toros, S., Yenice, M. 2017** 6016-T4 alüminyum alaşımında sac malzemenin kesme davranışının incelenmesi ve geliştirilmesi. 15-16 Mart 2017, Uludağ Üniversitesi 6. Bilgilendirme ve Arge Günleri, 2017, Bursa, Türkiye.
- Karagöz, T., Karşı, A., Toros, S., Yenice, M. 2017** Al-Mg-Si alaşımında geri yaylanma miktarının farklı malzeme modelleriyle incelenmesi ve tahmin doğruluğunun geliştirilmesi. 15-16 Mart 2017, Uludağ Üniversitesi 6. Bilgilendirme ve Arge Günleri, 2017, Bursa, Türkiye.
- Karagöz, T., Karşı, A., Yenice, M. 2017** Otomotiv sac metal şekillendirmede sanal analiz metodolojisi. 15-16 Mart 2017, Uludağ Üniversitesi 6. Bilgilendirme ve Arge Günleri, 2017, Bursa, Türkiye.