



EGE ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OTOMOBİL SANAYİNDE İNCE ÇELİK SACLARIN
BİRLEŞTİRİLMELERİNDE DÜŞÜK ENERJİLİ
LAZER LEHİM YÖNTEMİNİN ARAŞTIRILMASI,
UYGUN PARAMETRELERİN TESPİTİ**

İbrahim Emrah SÖZER

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Hüseyin ÖZDEN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 625.02.00

Sunuş Tarihi : 23.02.2010

Bornova-İZMİR

Şubat 2010

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**OTOMOBİL SANAYİNDE İNCE ÇELİK SACLARIN
BİRLEŞTİRİLMELERİNDE DÜŞÜK ENERJİLİ
LAZER LEHİM YÖNTEMİNİN ARAŞTIRILMASI,
UYGUN PARAMETRELERİN TESPİTİ**

İbrahim Emrah SÖZER

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 625.02.00

Sunuş Tarihi : 23.02.2010

Bornova-İZMİR

Şubat 2010

İbrahim Emrah Sözer tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “OTOMOBİL SANAYİNDE İNCE ÇELİK SACLARIN BİRLEŞTİRİLMELERİNDE DÜŞÜK ENERJİLİ LAZER LEHİM YÖNTEMİNİN ARAŞTIRILMASI, UYGUN PARAMETRELERİN TESPİTİ” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 23.02.2010 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Vural CEYHUN

.....

Raportör Üye : Yrd. Doç. Dr Hüseyin ÖZDEN

.....

Üye : Doç. Dr. Gökdeniz NEŞER

.....

ÖZET**OTOMOBİL SANAYİNDE İNCE ÇELİK SAÇLARIN
BİRLEŞTİRİLMELERİNDE DÜŞÜK ENERJİLİ LAZER LEHİM
YÖNTEMİNİN ARAŞTIRILMASI, UYGUN PARAMETRELERİN
TESPİTİ**

SÖZER, İbrahim Emrah; Mak. Müh.

Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEN

Şubat 2010, 83 sayfa

Sanayisi gelişmiş ülkelerde bilhassa imalat sektöründe lazer üretim yöntemlerin bir çok üstünlükleri nedeniyle her geçen gün konvansiyonel üretim yöntemlerin yerini almaktadır. Türkiye’deki firmalar da ileride serbest Pazar piyasasında rekabet edebilmek için çağın yeni teknolojilerini kullanmak zorundadırlar. Günümüzde, yurtdisindeki bazı üretim firmaları, özellikle otomobil sanayinde, dünya ekonomik krizin üstesinden gelmek için daha kaliteli ve ekonomik lazer üretim yöntemlerine yönelmektedirler. Örneğin Otomobil konstruksiyonlarında konvansiyonel kaynak yöntemleri yerine düşük lazer enerjili lehim bağlantıları ekonomik krizle gündeme gelmiş ve firmalar bu konuda üniversitelerle ortak bilimsel araştırma projeleri yürütmektedirler. Tez Konusu TU-Berlin’ de, Audi firması ile yürütülen bir projeden hazırlanmaktadır. İnce otomobil saçların kabul edilebilir kalitede düşük enerjili lazer lehim ile bağlantıların sağlanması için uygun parametrelerin araştırılması üzerinedir. Farklı parametrelerle düşük enerjili lazer lehim bağlantıları çok sayıda yaklaşık (500 adet) numune hazırlanarak bağlantıların özellikler dayanım özellikleri incelenecektir. Sonuçlar değerlendirilip rapor şeklinde sunulacaktır.

Anahtar sözcükler: Lazer, lazer lehim, intermetallik tabaka, $AlZn_{15}$ alaşım metalurjisi, lehim parametre tespiti, mikroskop analizleri için numune hazırlanması.

ABSTRACT**FINDING PARAMETERS FOR A NEW KIND OF LAZER
BRAZING OF ZINC COATED STEELS FOR AUTOMOTIVE
INDUSTRY**

SÖZER, İbrahim Emrah

BSc in Mech. Eng.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Özden

February 2010, 83 pages

The most important solid-state laser material used in automotive industry for material processing is Nd:YAG which are optically pumped by semiconductor diode lasers which operate with much higher efficiency and reduced heat load in solid-state laser materials.

Zinc coated steels are nowadays used for different applications as for example for household appliances, automotive or offtakes. Due to the boiling temperature of zinc (907°C), which is lower than the steel melting point, the welding of zinc coated steel sheets presents many difficulties. As a result of the violent evaporation of zinc, pores in the brazing seam are present after solidification and the zinc coating near the brazing is damaged. Brazing of zinc coated steels with CuSi-alloys offers some advantages, as the joining temperature is about 950-1000°C. Nevertheless the high melting point of these filler materials requires very restricted process strategies and damaging of the zinc coating near the brazing seam can't be avoided. Although laser-, plasma- and MIG-joining with CuSi and CuAl are performed nowadays. ZnAl-alloys are characterized through low melting temperature, which are comparable to the melting point of zinc, so that the damaging of the zinc coating can be reduced.

Keywords: Laser, laser brazing, intermetallic layer, AlZn₁₅ alloy metallurgy, finding proper brazing parameters, sample preparation for microscope analysis.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarında beni destekleyen, bilgisini ve tecrübesini aktaran değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Özden’e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince bana her türlü konuda yardımlarını esirgemeyen, destek olan arkadaşlarıma ve benim bugünlere gelmem için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan sevgili aileme minnettarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

1. AMAÇ	1
2.GİRİŞ.....	3
2.1. Lazer Fiziğinin Temel Prensipleri	3
2.1.1. Lazer Prensibi	3
2.1.2. Işın demeti kalitesi, demetin çoğaltılması ve odaklanması	5
2.1.2.1. Tanımlar.....	5
2.1.2.2. Demet kalitesini sayılarla nitelendirmek	6
2.1.2.3. Lazer demeti odaklanması	7
2.2. Katı Hal Lazerleri	8
2.2.1. Diyot pompalı çubuk, çapraz lazerler	9
2.2.2. Diyot pompalı, solid-state lazer; Trumpf Haas HL 3006D	12
2.3. Lehim.....	15
2.3.1. Lehim metalleri.....	18
2.3.2. Lehim alaşımları.....	19
2.3.2.1. Lehim alaşım tipleri.....	21
2.3.2.2. Sıcaklık aralığı.....	22
2.3.2.3. Lehim alaşımı malzemeleri	23
2.3.3. Lehim bağlantılarının tipleri.....	25

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3.4. Uygun bir lehim bağlantısı oluşturma.....	26
2.3.5. Lazer lehim	28
3. MATERYAL VE METOD.....	30
3.1. CuSi Alaşımı ile Çelik Lehimlenmesi ve Parametreler	30
3.2. AlZn ₁₅ Alaşımı ile Çelik Lehimlenmesi ve Parametreler	32
3.3. Işık Mikroskobu Analizleri İçin Numune Hazırlanması.....	35
3.3.1. Numunelerin kalıplandırılması	35
3.3.1.1. Kalıplandırma büyüklüğü ve şekli	36
3.3.1.2. Kalıplandırma metodları	36
3.3.2. Zımparalama	41
3.3.2.1. Zımparalama kağıtları	44
3.3.2.2. Otomatik zımparalama.....	45
3.3.3. Parlatma	46
3.3.3.1. Parlatma kumaşları.....	47
3.3.3.2. Parlatma aşındırıcıları	48
3.3.3.3. Otomatik parlatma.....	50
3.3.4. Numunelerin Temizlenmesi, Kurutulması ve Acid ile Dağlanması	50
3.4. Çekme Testi	51
3.4.1. Numune Şekli.....	52

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.4.2. Tutucak ve yüz seçimi	53
3.4.3. Numune hizalanması.....	53
3.4.4. Rapor sonuçları.....	53
4. SONUÇLAR.....	55
4.1. Işık Mikroskop Analizi.....	55
4.2. Çekme Testi Sonuçları.....	71
4.3. Malzeme Bileşimi Analizleri.....	73
5. TARTIŞMA.....	75
5.1. İntermetalik Tabaka.....	77
6. KAYNAKLAR DİZİNİ.....	79
ÖZGEÇMİŞ	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1-1. Lazer Prensibi	3
Şekil 2.1-2. Lazer ışın demeti ve demetin çoğaltılması tanımlamaları.....	5
Şekil 2.1-3. Tipik lazer uygulama alanları	6
Şekil 2.1-4. Ayna veya lens ile lazer demeti odaklaması	7
Şekil 2.2-1. Diyot pompalı çubuk lazer prensibi (çapraz pompalama)	9
Şekil 2.2-2. Krypton ark lambalarının emisyon spektrumu.....	10
Şekil 2.2-3. Yüksek kalitede lazer ışın demeti sağlayan diyot pompalı, solid-state lazerleri avantajları	11
Şekil 2.2-4. Diyot pompalı solid-state lazer, Trumpf Haas HL 3006D.....	12
Şekil 2.3-1. Lehim alaşım tipleri	21
Şekil 2.3-2. Lehim uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bağlantı tipleri	25
Şekil 2.3-3. İleri düzey yüksek ısı lazer lehim şematığı.....	27
Şekil 2.3-4. Lazer kontrol robotu.....	28
Şekil 2.3-5. Lazer robot kafa yerleşimi	29
Şekil 2.3-6 Ek lehim teli besleyici.....	29
Şekil 3.1-1. CuSi alaşımı lehimleri ön yüzleri.....	31
Şekil 3.1-2. CuSi alaşımı lehimleri arka yüzleri.....	31
Şekil 3.3-1. Epofix reçinesi, epofix sertleştirici ve gereçleri.....	37

ŞEKİL DİZİNİ (devam)

Sayfa

Şekil 3.3-2. Parlatma sonrasında epofix kalıp içerisinde numuneler.....	38
Şekil 3.3-3. Bakalit, polyfast ve hidropres gereçleri.....	39
Şekil 3.3-4. Hidropres makinesi.....	40
Şekil 3.3-5. Parlatma sonrasında bakalit kalıp içerisindeki numuneler	41
Şekil 3.3-6. Zımparalama kağıtları; sırasıyla P80, P180C, P600C, P1200C, 3 µm ve OPS	43
Şekil 3.3-7. Otomatik zımparalama makinesi işleyişi.....	45
Şekil 3.3-8. Parlatma aşındırıcıları ve kayganlaştırıcılar	48
Şekil 3.3-9. Otomatik parlatma makinesi işleyişi	49
Şekil 3.3-10. Titreşimli numune temizleme makinesi	51
Şekil 3.4-1. Çekme testi şematığı	52
Şekil 3.4-2. Gerilme uzama eğrisi.....	54
Şekil 4.1-1. Parametre 24 ışık mikroskobu fotoğrafları.....	55
Şekil 4.1-2. Parametre 36 ışık mikroskobu fotoğrafları.....	56
Şekil 4.1-3. Parametre 44 ışık mikroskobu fotoğrafları.....	57
Şekil 4.1-4. Parametre 54 ışık mikroskobu fotoğrafları.....	58
Şekil 4.1-5. Parametre 65 ışık mikroskobu fotoğrafları.....	59
Şekil 4. 1-6. Parametre 69 ışık mikroskobu fotoğrafları.....	60
Şekil 4.1-7. Parametre 72 ışık mikroskobu fotoğrafları.....	61

ŞEKİL DİZİNİ (devam)

Sayfa

Şekil 4.1-8. Parametre 75 ışık mikroskobu fotoğrafları	62
Şekil 4.1-9. Parametre 79 ışık mikroskobu fotoğrafları	63
Şekil 4.1-10. Parametre 85 ışık mikroskobu fotoğrafları	64
Şekil 4.1-11. Parametre 87 ışık mikroskobu fotoğrafları	65
Şekil 4.1-12. Parametre 90 ışık mikroskobu fotoğrafları	66
Şekil 4.1-13. Parametre 99 ışık mikroskobu fotoğrafları	67
Şekil 4.1-14. Parametre 105 ışık mikroskobu fotoğrafları	68
Şekil 4.1-15. Parametre 118 ışık mikroskobu fotoğrafları	69
Şekil 4.1-16. Parametre 121 ışık mikroskobu fotoğrafları	70
Şekil 4.2-1. Çekme testi sonuçları kuvvet-uzama grafiği.....	71
Şekil 4.2-2. Çekme testi sonuçları ışık mikroskobu fotoğrafları.....	72
Şekil 4.3-1. Malzeme bileşimleri analizleri pozisyonları	73
Şekil 4.3-2. Pozisyon 1 malzeme bileşimleri analizi.....	73
Şekil 4.3-3. Pozisyon 2 malzeme bileşimleri analizi.....	74
Şekil 4.3-4. Pozisyon 3 malzeme bileşimleri analizi.....	74
Şekil 5-1. DP 600Z 100MB kodlu çelik üzerindeki çinko kaplama.....	75
Şekil 5-2. $AlZn_{15}$ alaşımı ile lehimlenen çelik saclar	76
Şekil 5.1-1. İntermetalik tabaka kalınlığının bağlantı mukavetine etkisi	77

TABLO DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.2-1. Diyot pompalı solid-state, Trumpf Haas HL 3006D teknik özellikleri	13
Tablo 2.3-1. Birçok uygulama arasında yüksek ısıda lehimleme en iyisi	16
Tablo 2.3-2. Lehim alaşımları, bağlantı özellikleri ve avantajları.....	20
Tablo 3.1-1. CuSi alaşımı ile çelik lehimleme parametreleri	30
Tablo 3.2-1 AlZn ₁₅ alaşımı ile çelik lehimleme parametreleri.....	32
Tablo 3.2-1 AlZn ₁₅ alaşımı ile çelik lehimleme parametreleri.....	33
Tablo 3.2-1 AlZn ₁₅ alaşımı ile çelik lehimleme parametreleri.....	34
Tablo 3.2-1 AlZn ₁₅ alaşımı ile çelik lehimleme parametreleri.....	35
Tablo 3.3-1. Zımparalama aşamaları ve parametreleri.....	46
Tablo 3.3-2. Parlatma aşamaları ve parametreleri	50
Tablo 4.2-1. Çekme Testi Sonuçları.....	71

1.AMAÇ

Geçtiğimiz on yıl temel araştırmalar, ticari, tıbbi ve askeri uygulamalarda katı-hal lazerlerde düzenli bir artışa tanık oldu. Katı-hal lazer sistemleri neredeyse tüm teknik alanlarda kullanılabilir: otomotiv endüstrisinde ortalama 10 kW güçle lehimleme, kaynaklama ve kesim uygulamaları, bilim alanında femtosaniye (10^{-12} saniye) rejiminde oldukça kısa atımlı kimyasal tepkimelerin araştırılması, tıbbi alanda deri yüzey onarımları için farklı dalga boyları kısa atımların kullanılmasında, temel renkler kırmızı, yeşil ve mavinin tamamen renkli, parlak ve canlı resimleri göstermesi için gösterge tekniklerinde kullanılmaktadır [7].

Malzeme işleme için kullanılan en önemli katı-hal lazer malzemeleri, çok daha yüksek verimlilikle çalışan ve katı-hal malzemelerinde ısı yükünü azaltan yarı-iletken diyot lazerlerle optik olarak pompalanan Nd : YAG'dır [8].

Çinko kaplı çelikler bugünlerde, örneğin ev gereçleri, otomotiv veya su olukları için olduğu gibi farklı uygulamalarda kullanılmaktadır [8]. Çinkonun, çeliğin ergime sıcaklığından daha düşük kaynama sıcaklığına (907°C) sahip olması nedeniyle, çinko kaplı çelik levhaların kaynağı pek çok problem arz etmektedir. Çinkonun şiddetli şekilde buharlaşması nedeniyle lehimleme dikişleri üzerinde katılaştırmadan sonra gözenekler belirir ve lehime yakın çinko kaplama hasar görür. Çinko kaplamalı çelikleri CuSi alaşımları ile lehimlemek, birleşme sıcaklıkları yaklaşık $950-1000^{\circ}\text{C}$ civarında olduğundan bazı avantajlar sunar. Yine de bu dolgu malzemelerinin yüksek ergime noktaları oldukça kısıtlı işlem stratejisi gerektirir ve lehim çevresindeki çinko kaplamanın zarar görmesi engellenemez. Buna karşın günümüzde CuSi ve CuAl alaşımlı lazer-, plazma- ve MIG-lehimleme uygulanmaktadır. ZnAl alaşımları, çinkonun ergime noktası ile kıyaslanabilir bir düşük ergime noktası aracılığıyla belirlenmekte böylece çinko kaplamanın aldığı hasar azaltılabilmektedir.

Bu projede araştırmalar, DP 600Z 100MB (kalınlık 1,1 mm) çinko kaplama çelik sacların lehimlenmesinde ZnAl_{15} malzemeleri ile yürütülmüştür. Rezistans nokta lehimlemesiyle gerçekleştirilmiş daha önceki araştırmalar düşük ergime sıcaklıklarına sahip malzemeleri kullanmanın çinko kaplamaya daha az zarar vereceğini göstermektedir.

Özet olarak bu projenin amacı, Nd:Yag diyot pompalı lazerlerle çelik tabakaları ZnAl_{15} kullanarak lehimlemek için bazı uygun parametreler bulmaktır. Lehim eklemleri için mekanik özellikler bu projede mikroskobik analiz ve gerilme testleri aracılığıyla değerlendirilmiştir.

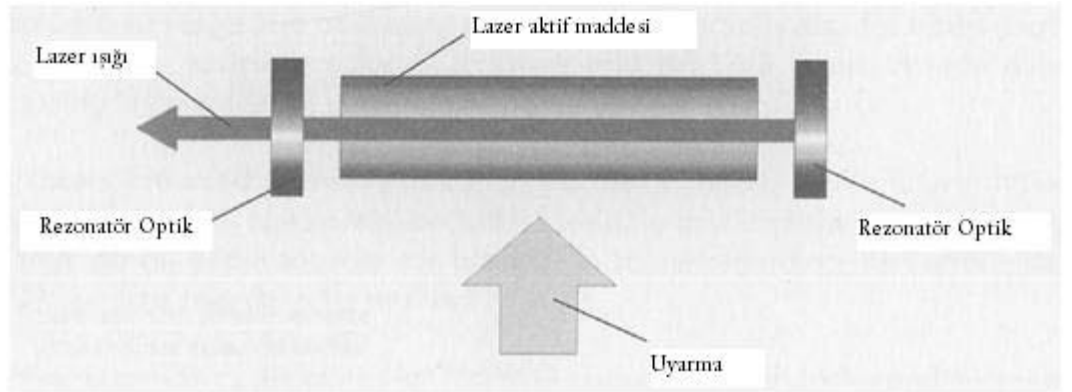
2. GİRİŞ

2.1 Lazer Fiziğinin Temel Prensipleri

2.1.1 Lazer prensibi

LASER terimi “Light amplification by simulated emmission of radiation – Yansıtılmış radyasyon yayınımlı yoluyla ışık amplifikasyonu” için bir kısaltmadır. Basit olarak ifade edilirse lazer radyasyonu ışıktır. Daha özgün bir tanımlama ile bir lazer-aktivasyon cihazı tarafından üretilen bir elektromanyetik dalgadır. Endüstriyel lazer teknolojisinde CO₂ gazı ve neodimyum (Nd) elementi lazer-etkin malzemeler olarak özellikle başlıca öneme sahip malzemelerdir [1].

Uygun teknolojiler kullanarak enerji lazer-aktivasyon malzemelerine aktarılır böylece aracın enerji seviyesi artırılır, bu işlem pompalama olarak bilinir. Temel olarak tüm atom, molekül ve benzeri parçacıklar en düşük enerji seviyelerine geçmeye çalışır. Daha üst enerji seviyelerine güç uygulanarak geçirilen lazer-aktif malzemeler fiziksel olarak beklenenden daha uzun ömürlüdürler (meta-kararlı durum) [1].



Şekil 2.1-1. Lazer Prensibi [1]

Eğer “yüksek enerji” düzeyindeki parçacıklardan biri şans eseri daha düşük bir enerji seviyesine dönerse (anlık yayımlım) bu durumda bu iki enerji seviyesi arasındaki fark bir ışık kuantumu (foton) olarak yayımlanır. Eğer lazer aracı buna göre yapılandırılmış ise bu foton uygun aynalar aracılığıyla lazer-etkin araç üzerine yeniden yansıtılabilir ve uyarılma ile güçlendirmeye sonuçlanır. Bu tek bir foton, Albert Einstein’ın varsayımına (1917) uygun olarak, lazer-etkin araç

içinde bir diğer yüksek-enerji seviyesindeki bir parçacığı daha düşük enerjili bir seviyeye dönmek üzere uyarır (uyarılmış yayınım). Aynı anda birinciyle aynı enerjiye sahip, aynı fazda ve aynı optik yörünge üzerinde titreşen ikinci bir foton (monokromatik) yayımlanır [1].

Lazer-etkin aracının malzemeye özgü bir parametresi olan güçlenmeye bağlı olarak ilk fotonun tıpkı kopyaları olan fotonlar bu üç parametre (lazer-etkin aracı, güçlenme ve ilk foton) açısından iki ayna arasında bir titreştirici oluşturur ve düzenli bir kademe yaratırlar. Bir süre sonra bu işlem seviyeleri kararlı hale gelir ve sağlanan ile yayımlanan enerji arasında bir dengeye ulaşır [1].

İki ayna arasında gidip-gelen radyasyonun belli bir kısmı uygun optik sisteme sahip titreştiriciden elde edilir ve çalışma-demeti doğrudan işlenen metal parçasına tutulur. Demet kılavuz sisteminin tipine ve verimli sonuçla kombine ardışık odağa bağlı olarak lazer kesim, kaynak, sertleştirme, lehimleme, oyma ve benzeri için kullanılabilir [1].

Aktif malzeme olarak neodimyumlu lazerler yaygın olarak neodimyumlu sarı bir itriyum-alüminyum lal taşı (YAG) kullanır (Nd:YAG lazer). Enerji flaş lambaları, ark lambaları veya lazer diyotlarından üretilen yoğun ışık yayınımına maruz bırakılmak suretiyle sağlanır. Çıkış gücü, 1.064 μm 'lik bir dalga boyunda 10kW'a kadar ulaşabilir [1].

Tüm endüstride giderek artan bir önem kazanan diyot lazerlerin temel olarak farklı bir çalışma prensibi vardır. Bir yarı-iletken bileşende lazer elektronların ve sözde boşlukların bir araya getirilmesiyle üretilebilir. Böyle bir tekil ışıncı yaklaşık 5-50 mW güce sahiptir. Böyle bir ışıncının en yaygın uygulama örneği bir CD çaldır. Modern endüstriyel diyot lazerlerde, 3.1 kW gücü elde edebilmek için bu tekli ışın demeti kaynaklarından binlercesi optik veya elektriksel olarak bir araya getirilmiştir. Bunlar örneğin kaynaklama, yüzey düzeltme veya lehimleme için kullanılmaktadır. İlgili dalga boyları, bu dalga boylarının birkaç tanesinin yapılandırılmasına bağlıdır [1].

CO₂ lazerlerde enerji tedariki ve müteakip olaylar bir helyum, nitrojen ve CO₂ karışımında yürütülür. Enerji, elektriksel gaz deşarjı (doğrudan akım veya

radio frekansı) ile lazer-etkin CO₂ gazına gönderilir. Bugünün CO₂ lazerleri 10.6 µm'lik bir ışıma dalga boyunda 20 kW'a kadar çıkış gücüne ulaşabiliyor [1].

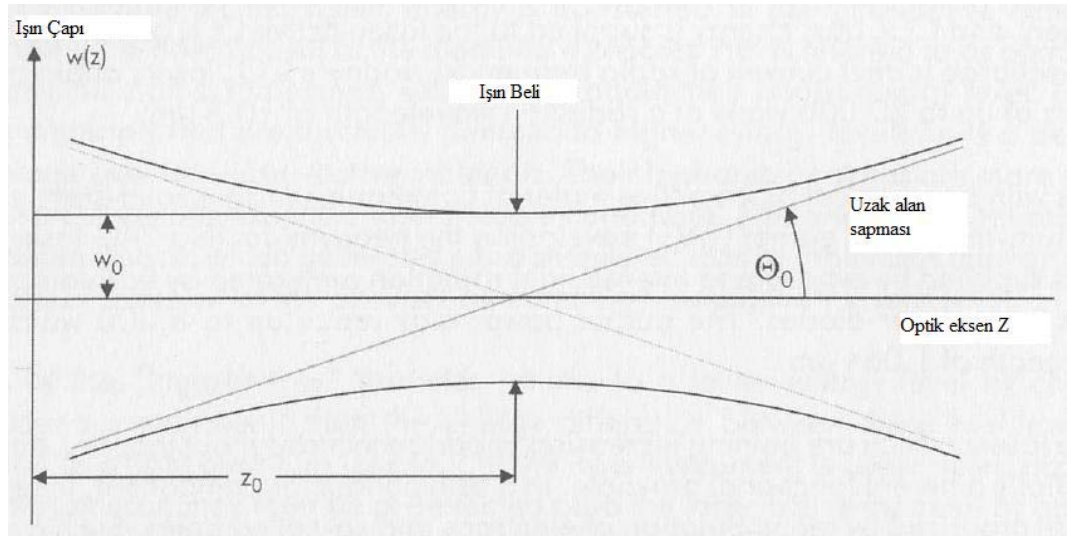
Endüstriyel lazer makinelerinde yerini hakkıyla alan bir diğer lazer tipi eksimer lazerdir. “eksimer” terimi, reaktif durağan gazlara verilen bir isimden, heyecanlı ikiliden (özdeş iki molekülden oluşan moleküllere sahip) türetilmiştir. Bu lazerin etkin malzemesi, atımlı doğrudan akım ile uyarılan durağan halojen gazlardan (argon, kripton/lor) oluşur. Bu durumda lazer dalga boyları spektrumun mor-ötesi aralığındadır. Diğer şeylerin yanı sıra bu durum, örneğin kazı ve kesme-çıkartma işlemleriyle birlikte özel uygulamalara olanak verir. Ek olarak, eksimer lazerler yüksek atım enerjisinin eşlik ettiği oldukça kısa bir atım süresiyle karakterize edilirler. Kısa dalga boylarıyla birlikte bu cihazlar plastik ve seramik imalatı için özellikle uygundur [1].

2.1.2. Işın demeti kalitesi, demetin çoğaltılması ve odaklanması

2.1.2.1 Tanımlar

Her rotasyonel simetrik lazer demeti aşağıdaki üç parametre ile karakterize edilebilir:

1. Odak uzaklığı, z_0
2. Lazer ışığı yarıçapı, w_0
3. Uzak-alan sapma açısı, θ_0 [1].

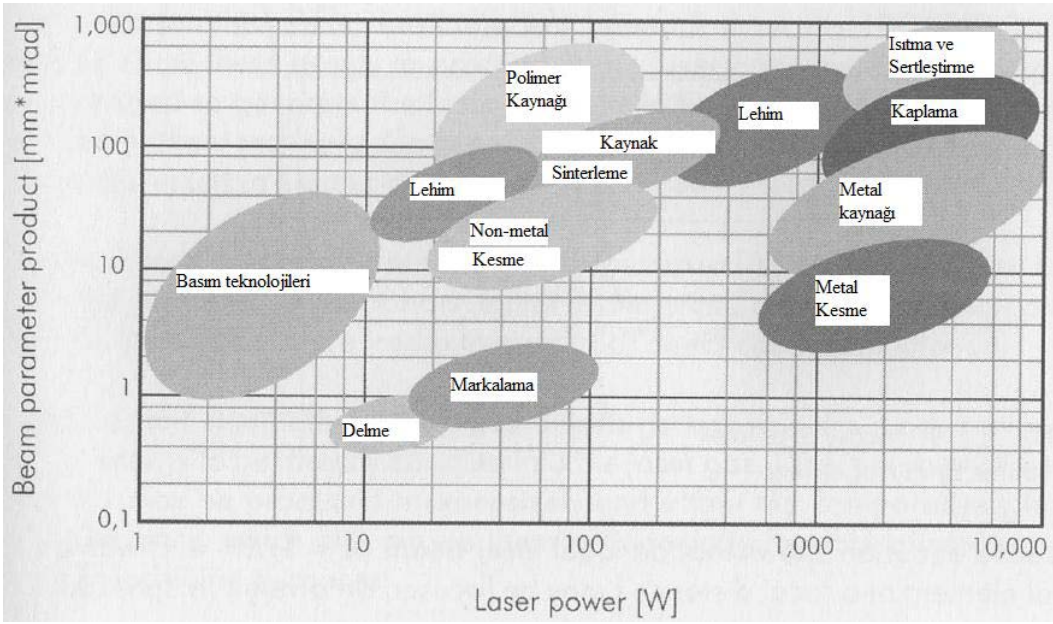


Şekil 2.1-2. Lazer ışın demeti ve demetin çoğaltılması tanımlamaları [1]

Bir lazer demetinin kalitesini belirtmek için çeşitli karakteristik sayılar kullanılır. Demet parametre sabiti (BPP) yanı sıra K ve M^2 . Bu karakteristik sayılar basit hesaplamalarla birbirlerine doğrudan çevrilebilirler [1].

2.1.2.2. Demet kalitesini sayılarla nitelendirmek

Demet parametre sabiti, rotasyon-simetrik lazer demetlerini tanımlamak için kullanılan yukarıda bahsedilen parametrelerden türetilmiştir. Demet parametre sabiti w_0 ve θ_0 değerlerinin bir ürünüdür ve tüm lazer demet bölgesi üzerinde sabit kalır. Mesela lens veya teleskop yerleştirerek çapı değiştirmek, sapma açısını her zaman etkiler. Bu nedenle demet parametre ürünü bir odaklanabilirlik ölçüdür. Sapması olan veya açıklık etkisine sahip optik sistemlerin kullanımı demet parametre ürününü dış optik yol boyunca etkiler [1].



Şekil 2.1-3. Tipik lazer uygulama alanları [1]

K ve M^2 değerleri demet parametre ürününün standart bir ölçümüdür ve bir lazer demetinin fiziksel limitleri ve odaklanabilirliği ile ilgilidir [1].

$$K = \frac{1}{M^2} = \frac{\lambda}{\pi} \frac{1}{w_0 \cdot \Theta_0}$$

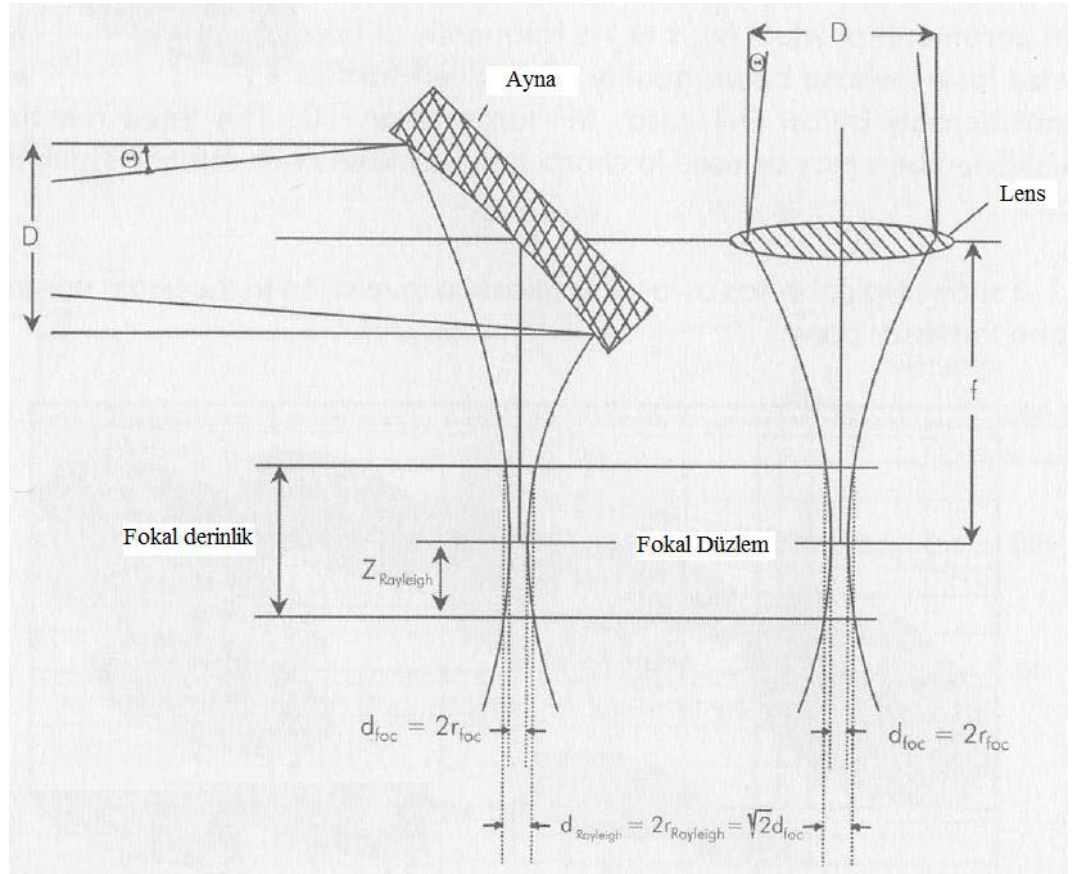
Her iki karakteristik sayı da ışın demet kalitesi ideale yakın olan lazerleri nitelendirmek için kullanılır. Örneğin K değerleri 0.1 ila 1 ve M^2 değerleri 1 ila 10

arasındadır. Demet kaliteleri idealden nispeten uzak olan lazerleri nitelendirmek için K ve M^2 yerine genellikle demet parametre ürünü (w_0 , θ_0) kullanılır. Bahsedilen üç karakteristik sayının rotasyon-simetrik lazer demetli tüm lazerleri nitelendirmek için kullanıldığı söylenebilir [1].

2.1.2.3. Lazer demeti odaklanması

Her lazer demeti odaklanabilir. f odak uzaklığına sahip eğri aynalar veya lensler gibi uygun optik unsurlar kullanarak ufak çaplı ışın demetlerine indirgenebilirler. λ dalga boyuna sahip bir rotasyon-simetrik lazer demetinin odak yarıçapı r_{foc} , lens üzerinde ilgili aynada ışın demetinin yarıçapı r , sapma açısı θ_0 'nın π cinsinden değeri ve demet karakteristik sayısı K bilindiği sürece aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir [1].

$$r_{foc} = \frac{f \cdot \lambda}{r \cdot \pi \cdot K}$$



Şekil 2.1-4. Ayna veya lens ile lazer demeti odaklanması[1]

Rayleigh uzunluğu, demetin çapraz kesit alanının ikiye katlandığı odaktan uzaklaşır. Odağın derinliği, tanım itibariyle, Rayleigh mesafesinin iki katı uzunluktadır [1].

$$Z_{Rayleigh} = \frac{f^2 \cdot \lambda}{2 \cdot r^2 \cdot \pi \cdot K}$$

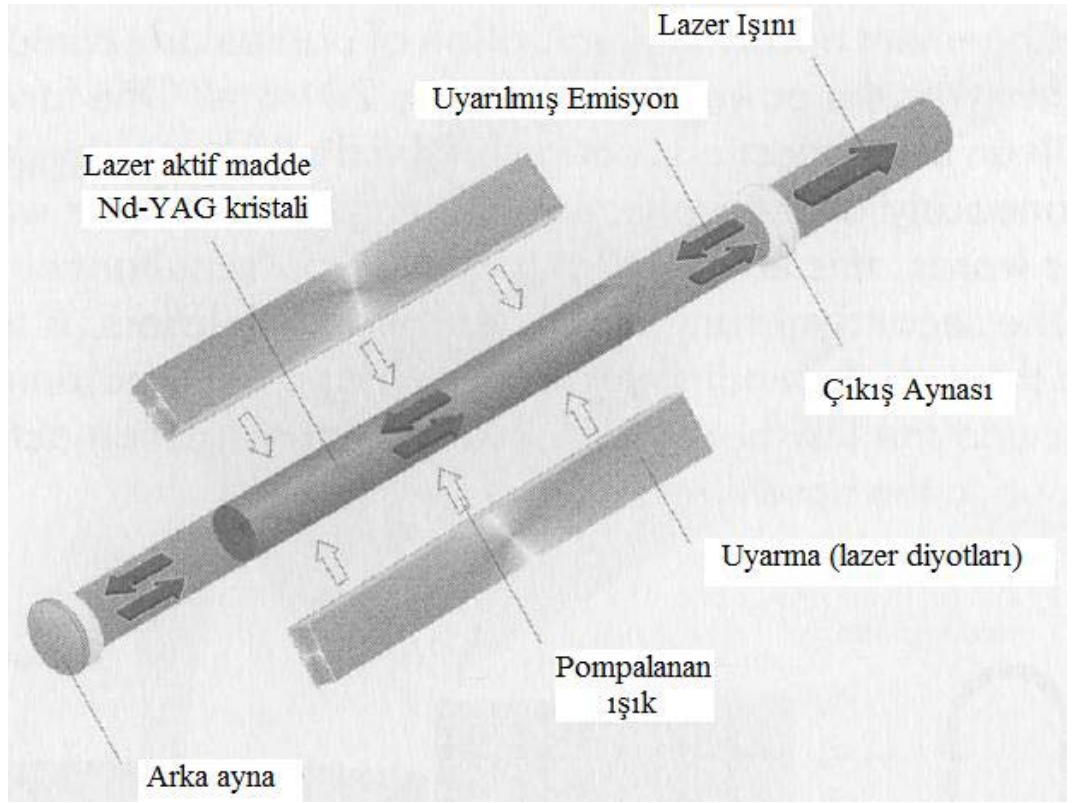
Rotasyonel simetrik lazer ışını tanımlayabilmek için en azından 7 parametre belirtilmesi gereklidir; üç ekstra karakteristik değer astigmatik lazer ışınına eklenmelidir. Örneğin, excimer lazerler ve diyot lazerler de karakteristik değerlerin belirlenmesi işleri zorlaştırmaktadır [1].

2.2. Katı Hal Lazerleri

Lazer etkin aracısı gaz aşamasında atom, iyon veya molekülerden oluşan bir gaz lazerindeyken katı-hal lazerleri bir kristalin malzeme kullanır, katı durumdaki bir malzemede bulunan atomlar daha yoğundur ve bu nedenle gaz bir malzemenin içinde bulunan atomlardan daha az hareketlidir ve uyarım enerjisi için enerji bantlarının soğurulmasına yol açar. İtiryum-alüminyum lal taşı (YAG) kristali endüstriyel makinelerde büyük bir rol oynar. Neodimiyum (Nd^{+3}) veya İterbiyum (Yb^{+3}) iyonları kristal yapılarındaki ara yerlere sokulabilirler. Bu iyonlar gerçek lazer-etkin ortamı temsil ederler. Karşılık gelen iyonların YAG kristal kafesiyle birleşimine ya $Nd:YAG$ veya $Yb:YAG$ lazer adı verilir. Vandat gibi, makine işlem üzerine çok daha az etkisi olan başka lazer-etkin kristaller de bulunmaktadır. Çoğu lazer aktif malzeme olarak neodimiyumu kullanır. Gelecekte, özellikle “disk lazerlerin” girişi göz önüne alındığında iterbiyumun endüstriyel makine işlerinde daha büyük etki bırakması bekleniyor. Katı-hal lazerleri 1064-130 nm arası dalga boylarında ışık yayınlar ki bu spektrumun kızıl-altı aralığının yakınlarındadır. Bu, CO_2 lazerlerde kullanılmakta olan standart optiklere karşı büyük bir avantaja sahiptir. Bir diğer avantajı, lazer ışınımını işlenen metale iletmede kullanılan aşırı şekilde esnek optik fiberlerdir. Pek çok malzeme, özellikle metaller, kızıl altı erim yakınlarında dalga boylarının daha fazla ve 10.6 μm 'de daha az olmak üzere soğurulmasıyla nitelendirilirler. Bir katı-hal lazer ışınımı üretmek için çeşitli teknoloji ve tasarımlar kullanılmaktadır. Bunlar daha detaylı olarak incelenecektir [2].

2.2.1. Diyot pompalı çubuk, çapraz lazerler

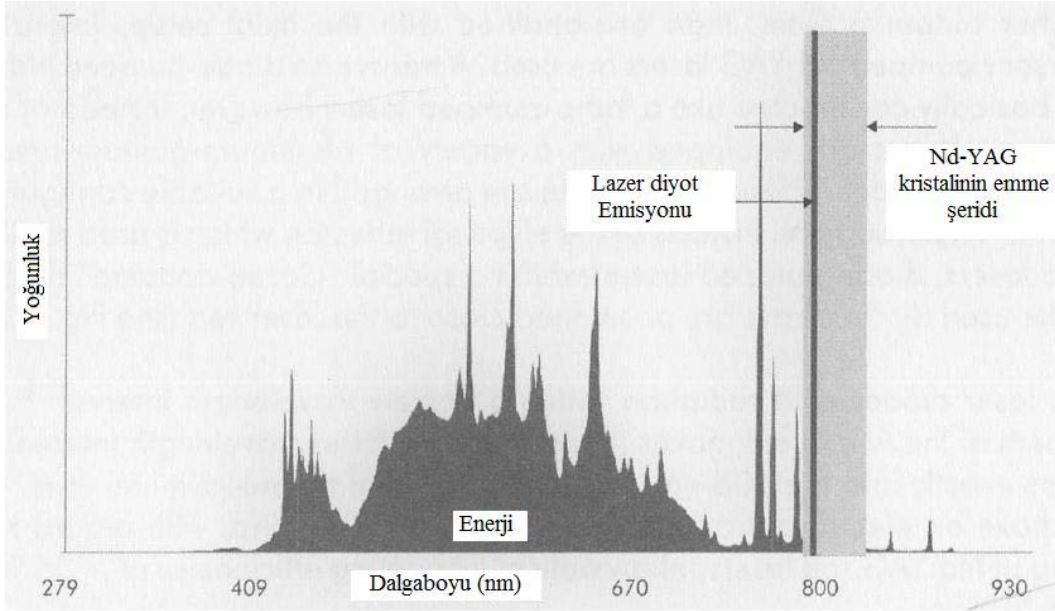
Eksensel kurulumda ulaşılandan daha yüksek çıkış gücü için yanal veya çapraz olarak pompalanan Nd:YAG lazerleri kullanılır. Bir çapraz diyot-pompalı Nd:YAG lazer, temelinde lamba-pompalı lazerine benzer şekilde yapılmıştır, bununla birlikte bu lazerler lamba kullanmak yerine çeşitli alüminyum-galyum-arsenür (AlGaAs) lazer diyotlarla donatılmışlardır. Bu lazer diyotlar kristal yüzey çevresinde uygun bir düzenleme ile yerleştirilmiştir. Lamba-pompalı lazerler için kullanılan eliptik reflektör yerine diyot-pompalı lazerler, kullanılan diyot dizileri lazer çubuğa yakın şekilde konumlandırılmış özel bir “yekpare eşlenmiş” tasarım içerir [1].



Şekil 2.2-1. Diyot pompalı çubuk lazer prensibi (çapraz pompalama) [1]

AlGaAs lazer diyotlar dar bir dalga boyu sıklığında radyasyon yayar. Al içeriklerin kesin ayarlaması bu dalga boyu sıklıklarını neodimyum iyonlarının 808 nm soğurma aralığına uyacak şekilde değişmesini mümkün kılar. Lazer diyotlar yaklaşık %50 daha fazla bir elektro-optik verimliliğe sahip ve Nd:YAG çubuk lazerlerin pompalanması ile ilgili olarak %35 optik eşleme verimliliğine olanak verir [1].

Diyot-pompalı Nd:YAG lazerlerinin daha yüksek genel elektrik verimi, lazer diyodunun emisyonu ile Nd:YAG kristalinin soğurumu arasındaki iyi ayarın sonucudur. Bir uyarım lambası “beyaz ışık” yaymasına rağmen kristal tarafından bu yalnızca kısmen soğurulur. Bu, lamba-pompalı lazerlerin düşük genel elektrik verimini açıklıyor [1].



Şekil 2.2-2. Krypton ark lambalarının emisyon spektrumu [1]

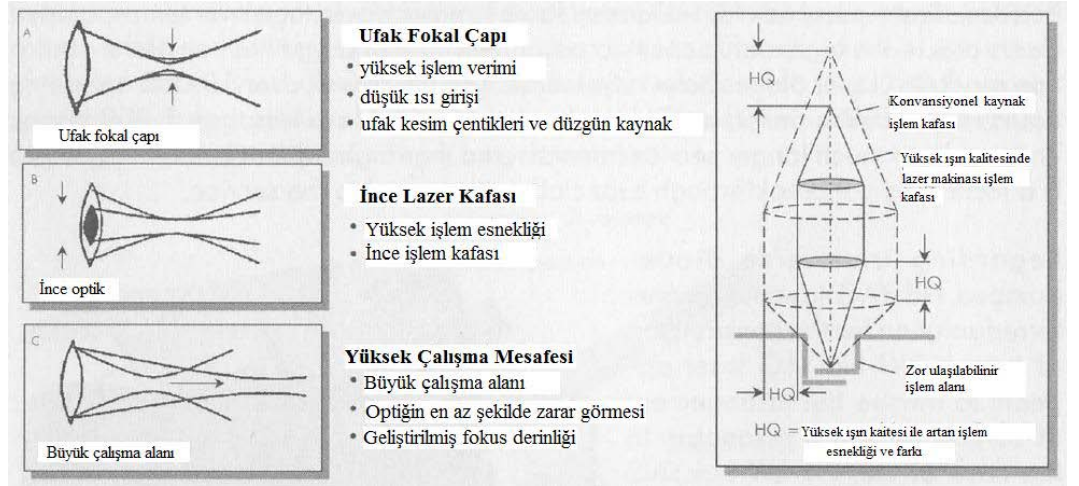
Ek olarak diyot lazer emisyonu ile Nd:YAG soğurumu arasındaki mükemmel spektral ayar termal yükü azaltıyor ve Nd:YAG kristalinin lens-benzeri karakteristiklerini bastırır. Bu ise karşılığında lazer çıkış gücü ile pompalama oranını artırmasının (birim kristal hacminde daha yüksek pompalama performansı) yanı sıra ışın demeti kalitesini önemli ölçüde geliştirir. Bir lamba pompalı lazerin 25 mm x mrad ile karşılaştırıldığında eşit bir çıkış gücüne sahip bir diyot pompalı lazer iki kat daha iyi sonuçlar verir (12 mm x mrad). Atım operasyonunda (Q-switch) diyod-pompalı Nd:YAG lazerleri 10 megawatt’a kadar tepe gücü ve 100 kHz’i aşan atım sıklığına ulaşabilirler [1].

Üstelik diyot pompalı Nd:YAG lazerlerinin daha uzun ömürlü yayılım modülleriyle birlikte daha yüksek verimlilikleri nedeniyle lamba-pompalı lazerlere göre büyük bir avantaja sahipler. Lazer diyotların 30 Mio açık/kapalı döngü ile 10,000 çalışma saatinin çok üstünde tipik bir hizmet ömrüne sahipken ark lambaları 1,000 saatten daha az çalışma ömrüne sahipler. Bu, çok daha uzun

hizmet aralığı ve bu nedenle özellikle hizmetle ilgili olarak teknolojik bir devrim olan daha yüksek kurulum imkanıyla sonuçlanır [1].

Gerçekleştirilen demet kalitesiyle birlikte, 300 ve 400 nmlik tipik çaplara sahip optik fiberler ve $NA=0.12$ 'lik bir nümerik açıklık yaygın olarak kullanılır. Sonuç lazer başlığı ile tedarik dolabını tek bir üniteye tümleştirilmesi bir kompakt tasarım oluşturdu [1].

Artırılmış demet kalitesinin (yüksek-güçlü lazerler için <15 mm x mrad, mikro-yapılandırma lazerleriyle ilgili işaretleme lazerleri için <5 mm x mrad) makine işleme ile ilgili olarak avantajları Şekil 2.2-2.'de gösterilmektedir [1].



Şekil 2.2-3. Yüksek kalitede lazer ışın demeti sağlayan diyot pompalı, solid-state lazerleri avantajları [1]

Optik sistemin kıyaslanabilir bir biçimlendirmesi ile daha küçük odaksal nokta çaplarını oluşturmak mümkün olabilir (A). Tipik kesim ve kaynak uygulamalarında bu, gözle görülebilir ölçüde daha yüksek hızlar üretir. Buna ek olarak, artırılmış demet kalitesi çalışma uzaklığını, yani belirli bir odaksal alan çapında (C) odaklama elementi ile işlenen parça arasındaki mesafeyi büyütmeyi mümkün kılabilir. Pek çok uygulamada odak alanın genişletilmiş derinliği, örneğin yüksek bir biçim toleransına sahip derin çekme parçalarıyla birlikte meydana gelebilecek odaklama toleranslarıyla ilgili olarak daha istikrarlı bir kaynaklama yaratmasıyla kesin bir avantajdır. Belirli bir çalışma mesafesi ve odak alan çapında odaklama modülleri daha kompakt bir tasarıma sahip olabilirler (B). Artırılmış demet kalitesinin avantajları aynı zamanda daha yüksek verim, daha

düşük ısı yükü, artırılmış işlem esnekliği ve işlenebilirliği dâhil olmak üzere önemli işlem yararları sağlar [1].

Diyot-pompalı Nd:YAG lazerler, imalat ve mikro-yapılandırma uygulamaları için 3 W ile 100W üstü güç aralığında ve kesim ve kaynak uygulamaları için 550 -6000 W aralığında olmak üzere endüstriyel olarak piyasada hazır bulunmaktadır [1].

2.2.2. Diyet pompalı, solid-state lazer; Trumpf Haas HL 3006D

Diyot pompalı, solid-state lazerler de diyet lazerler lazer kritalinin hareketine geçirmek için kullanılır. Lazer kristalinin etkisi %10'dan daha fazla verim elde edilmesini sağlar. Termal lens etkisi aynı zamanda düşürülmüştür. Sonuç olarak kalitesi geliştirilmiş ışın, aynı zamanda daha yüksek çıkış gücüne çevirilebilir [10].



Şekil 2.2-4. Diyet pompalı solid-state lazer, Trumpf Haas HL 3006D

Diyot pompalı HLD yüksek güçlü lazerler sürekli dalga boyludur; örneğin çapraz pompalamalı solid-state lazerler. Yüksek çıkış gücü ve geliştirilmiş lazer ışın kalitesi ile birlikte, TRUMPF çapraz pompalamalı solid-state lazerlerin kaynak, yüzey işleme ve kesme gibi uygulama yelpazeleri geliştirilmiştir. HLD serisi 6000 Watt'a kadar çıkış gücüne sahip lazer makinaları içerir ve hepsi lazer gücü kontrol mekanizması ile donatılmıştır. Spesifik nominal 4500 Watt'a varan nominal lazer çıkış gücünden dolayı, ditoyların çalışma süreci boyunca sabit olması sağlanmıştır [10].

Lazer unitesi	HLD 3006
Max. çıkış gücü [W]	4000
Lazer gücü* [W]	3000
Işın kalitesi [mm·mrad]	25
Lazer ışık kablosu [μ m]	600
Elektrik bağlantısı	400 V ($\pm$ 10%), 3P + PE, 50 or 60 Hz 46 A
Nom. güç tüketimi [kW]	30
15°C giriş sıcaklıklı soğutma suyu nom. kullanımı [m ³ /h]	2.5
Sogutma suyu sıcaklık aralığı [°C]	6 – 18
Koruma porgramı	IP 54
Ağırlık [kg]	2000
Ebat B x Y x G [mm]	2400 x 1900 x 1200
Dış ortam sıcaklığı [°C]	10 – 40

Tablo 2.2-1. Diyot pompalı solid-state lazer, Trumpf Haas HL 3006D teknik özellikleri [10]

HLD solid-state lazerleri ışın kalitesi olarak 12, 16 or 25 mm·mrad içermektedir. HLD serisi bütün uygulamalara uyucak doğru lazer ışınına sahiptir.

Mükemmel ışın kalitesi yüksek işleme hızı ve lazer optik ile işlenen parça arasında uzun mesafelere izin vermektedir. Optik üzerindeki kirlenme minimuma indirilmiştir. Bu uygulamanın hatasız ilerlemesini garantilemektedir. Işın çapı ve focus uzaklığı farklı çıkış gücünden bağımsız olarak sabittirler. Bunları sabit olmasından dolayı işleme süreçleri tutarlı olarak yüksek kalitede gerçekleşmektedir [10].

Diğer bütün TRUMPF yüksek güçlü lazerleri gibi, HLD serisi lazer üniteleri modüler design edilmişlerdir. Her lazer boşluğu kendi diyot güç sağlayıcısı içerir. Ekleme teknolojisi kullanılmıştır, soğutma sistemi ve control sistemi de dahil olmak üzere lazer ünitesi kurulumu ve bakımını kolaylaştırmaktadır [10].

İyi bir lazer kontrol mekanizmasına sahip olmasına karşın, HLD yüksek güçlü lazerleri diğer bütün kontrol tiplerine de uyumlu arayüz özellikleri içermektedir:

- Field-bus arayüz (ProfiBus-DP, INTERBUS, DeviceNet)
- Ethernet arayüz (OPC)
- Paralel arayüz
- Farklı lazer güçleri için analog arayüz
- Sertifikalı kepenk arayüzleri
- Acil durdurma arayüzü
- Ölçülebilen güç arayüzü
- Serial RS-232 arayüz [10].

Lazer ışını işlenecek parçaya 300 µm, 400 µm ve 600 µm gibi fiber yarıçaplı lazer ışın kabloları ile iletilmektedir. Kabloların takılmasında hiçbir ayarlama gerekmez. Işın anahtarları, ışın dağıtıcısı veya ikisinin kombinasyonu kullanıldığında, lazer ışını başarılı bir şekilde birden fazla lazer kablosuna iletebilir. Bu yüzden birden fazla lazer uygulaması bir tane lazer ünitesi gerektirir. Lazer ışını bir lazer kablosundan diğerine 50 ms içinde aktarılabilir. Lazer kabloları yıpranma ve kesilme gibi olasılıklardan uzak tutulmalıdır, hatta dikey çalışma ortamında ki alüminyum ve bakır metallerinin yansıtma özelliklerinden doğabilecek fiber kablo tahribatı da dikkate alınmalıdır [10].

2.3. Lehim

Lehimleme, iki metal parçasını üçüncü bir dolgu metal ile birleştirme yöntemidir. Lehim bölgesi dolgu metalin ergime sıcaklığının üstüne ancak birleştirilecek metallerin ergime sıcaklığının altında olacak şekilde ısıtılır. Dolgu metal diğer iki metal parçasının arasındaki boşluğa kılcal damarlara benzeyen bir şekilde dolar ve soğudukça güçlü bir metalurjik bağ oluşturur. Tüm metal birleştirme metotlarının arasında lehimleme belki en değişken olanıdır [3].

Lehimlenen eklemler büyük bir gerilme dayanımına sahiptir – genellikle birbirine bağlanan metallerden daha güçlüdürler. Lehimli eklemler gaz ve su geçirmez, titreşim ve şoka dayanıklı ve sıcaklıklardaki normal değişimden etkilenmezler. Lehimlenen metaller eritilmediği için eğik veya başka türlü şekil kaybına uğramamıştır ve orijinal metalurjik karakteristiklerini korurlar [3].

Lehimli eklemler oldukça temiz, pürüzsüz bir görünüme sahip. Lehimleme genellikle sıhhi tesisat aletleri, araç-gereç, ağır inşaat ekipmanları ve yüksek kaliteli tüketici ürünleri imalatında tercih edilen birleştirme yöntemidir. İşlem benzeşmeyen metalleri birleştirmek için uygun bir yöntemdir ki düzenek tasarımcısına daha fazla malzeme seçeneği sağlar. Karmaşık düzenekler, aşamalı olarak daha düşük ergime noktalarına sahip metaller kullanılarak aşamalı olarak imal edilirler. Lehimleme, nispeten düşük sıcaklıklar gerektiren nispeten hızlı ve ekonomik bir işlemdir ve otomasyon ve yalın üretim başlangıçları için son derece uygundur [4].

Lehimleme bir dizi ısıtma tekniği ile farklı teknikler kullanılarak gerçekleştirilir. Farklı malzemeler, birleştirme için farklı işlemler gerektirir. Popüler ve yaygın şekilde kullanılan lehimleme işlemlerinin bazıları; meşale lehimleme, lazer lehimleme, pin lehimleme, vakum lehimleme, indüksiyon lehimleme, gümüş lehimleme, ocak lehimleme, rezistans lehimleme, difüzyon lehimleme, derin lehim, ekzotermik lehimleme, kızıl-ötesi lehimleme [4].

Metal birleştirme için pek çok endüstriyel seçenekler arasında lehimleme ne zaman en iyi seçenektir? Özel bir düzenek için hangi metal birleştirme işlemini seçerken birkaç faktör göz önünde bulundurulmalıdır; dayanım ve süreklilik, parçaların fiziksel karakteristikleri, eklemin şekli ve istenen üretim seviyesi [5].

Lehimleme veya kaynaklama dayanım ve süreklilik başlıca unsurlar olduğunda tercih edilmektedir. Lehimleme de her zaman bir dolgu metalin kullanıldığı ve tüm eklem alanının ısıtıldığı gerçeği nedeniyle lehimleme daha güçlü bir işlemdir. Bunun anlamı eklem temizliği, sabitleme ve benzerinin lehimleme de kaynaklamadan çok daha kolay tolare edilmeleridir. Eğer dayanım belirleyici bir faktör değilse – veya eklem gelecekte sökülebilir olması isteniyorsa – pirinç kaynak, yapışkan bağlama veya basit bir mekanik kenetleme metodu muhtemelen daha iyi seçenekler olur [5].

	Mekanik Birleştirme	Adezyon ile Birleştirme	Düşük Isıda Lehimleme	Kaynak	Yüksek Isıda Lehimleme
Ekonomi	Çok İyi	Daha İyi	Daha İyi	İyi	Daha İyi
Mukavemet	İyi	İyi	Daha İyi	Çok İyi	Çok İyi
Enerji Tüketimi	Çok İyi	Daha İyi	Daha İyi	İyi	Daha İyi
Konrol Edilebilirlik	İyi	İyi	Daha İyi	Çok İyi	Çok İyi
Hareket Kabiliyeti	İyi	İyi	Daha İyi	Daha İyi	Çok İyi

Tablo 2.3-1. Birçok uygulama arasında yüksek ısıda lehimleme en iyisi [5]

Lehimleme, pirinç kaynak ve kaynak pek çok yönden benzer olmalarında rağmen arada önemli farklılıklar vardır. Pirinç kaynak genellikle düşük sıcaklıklarda (450°C 'nin altında) yapılabilir ancak bir eklem kadar güçlü olmaz. İki metalin eritilerek ve birbirine karıştırılarak birleştirildiği bir yüksek ısı işlemi olan kaynaklama oldukça yüksek ısı enerjisi gerektirir. Kaynaklanmış veya lehimlenmiş eklemler en az birleştirilen metaller kadar dayanıklıdır. Kaynaklama,

oldukça bölgesel, tam-nokta ısıtma tekniğinden yararlanan uygulamalar için idealdir. Ancak doğrusal bir birleştirme yapmak zordur, otomasyonu kolay değildir ve farklı ergime noktalarına sahip metalleri birleştirmek için uygun değildir [5].

Ayrıca parçaların ve birleşme bölgesinin fiziksel özelliklerini göz önüne almak da önemlidir. Yüksek ısı gereksinimi nedeniyle ısıya dayanıklı, daha güçlü ve kalın parçalar için kaynak daha iyi sonuç verir. Daha düşük sıcaklıklarda çalışan lehimleme metal bükülmesi ve şekil bozukluğu asgariye indirilebileceğinden ince parçalar için daha iyi bir seçenektir. Nokta eklemeler kolaylıkla kaynaklanabilir veya lehimlenebilir ancak doğrusal eklemeler, dolgu metal doğal olarak eklemeye alanına dolacağından lehimlemesi daha kolaydır [5].

Hem lehimleme hem de kaynaklama yakın ergime noktalarına sahip metalleri birleştirmek için uygundur ancak benzeşmeyen metalleri birleştirmek için lehimleme genellikle daha uygundur. Sadece birleştirilecek iki metalden daha düşük bir ergime noktasına sahip bir dolgu metal gerektirir. Kaynaklamayı kısmen veya kademeli olarak gerçekleştirmek zorken lehimleme çok daha esnek bir işlemdir; ön-eritme ve ön-konumlandırma istasyonları, yüksek verim gereksinimleri için hızı artırmak üzere kurulabilir veya lehimleme istasyonundan geçen parça gruplarının taşınması için bir taşıyıcı kemer kullanılabilir [5].

Bu nedenle pek çok metal birleştirme prosedürlerinde lehimleme en mantıklı çözüm haline gelir. Lehimlemenin sunduğu avantaj ve esneklik en çok, düzenek tasarım aşamasında ısıtma işlemi göz önüne alındığında fark edilir. Parçalar görselleştirildiği ve monolitik olarak imal edildiğinde katı çubuk stoklarından makineyle üretilen yekpare ürünler genellikle bir veya daha çok metal bileşenin lehimlenmesi ile çok daha çabuk ve ekonomik olarak üretilebilir. Pek çok çeşitlikte metal kullanılabilirdiğinden, lehimleme tasarımcıların bileşen fonksiyonelliğini, ağırlığını ve ekonomisini optimize etmesine olanak verir. Pahalı makine düzenekleri, döküm ve kalıplama işlemleri parçanın bütünlüğü riske edilmeden elenebilir ve yaprak metal, ekstrüzyon, presleme gibi düşük maliyetli ham maddeler kullanılabilir. İmalat süreci daha yalın, hızlı ve kesinlikle daha kârlı hale gelir [5].

Özet olarak lehimleme aşağıda yer alanlar dâhil olmak üzere pek çok ayırt edici avantajlara sahiptir;

1. Karmaşık ve çok aksamli düzeneklerin ekonomik imalatı
2. Kapsamlı eklem bölgesi veya uzunluğu elde etmenin basit bir yöntemi
3. Temel metallerinkine yaklaşan eklem sıcaklığı kapasitesi
4. Mükemmel gerilim dağıtımı ve ısı-transfer özellikleri
5. Koruyucu metal kaplama veya giydirme muhafaza etme yeteneği
6. Döküm veya ferforje metalleri birleştirme kapasitesi
7. Ametal ve metalleri birleştirme özelliği
8. Ölçü olarak oldukça değişebilen kalınlıkları birleştirebilme özelliği
9. Benzeşmeyen metalleri birleştirme özelliği
10. Gözenekli metal bileşenleri birleştirme özelliği
11. Gerilmesi olmayan geniş düzenekler oluşturma yeteneği
12. Metallerin özel metalurjik karakteristiklerini koruma yeteneği
13. Fiber – ve serpintili – güçlendirilmiş kompozitleri birleştirme özelliği
14. Hassas üretim toleransı karşılayabilmesi
15. Yeniden üretilebilirlik ve güvenilir kalite kontrol teknikleri [3].

2.3.1. Lehim metalleri

Lehimleme bazı tip metallerin birleştirilmesini gerektiren pek çok uygulamada kullanılır. Bu metot büyük düzeneklerin yanı sıra küçük düzeneklerin birleştirilmesi için de mükemmel bir metottur. Birleştirilmek için lehimleme gerektiren bazı metal ve alaşımlar;

1. Paslanmaz Çelik Lehimleme: Paslanmaz çelik ve uygun proses kontrolü hakkındaki sağlam bir bilgi birikimi çelik bileşenlerin başarılı şekilde lehimlenmesine götürür.
2. Bakır lehimleme: Bakır ailesi ve alaşımlarının korozyona karşı mükemmel bir direnci vardır ve kolayca şekillendirilebilirler. Lehimleme, tüm bakır alaşım tipleri için en iyi birleştirme metodudur.
3. Alüminyum Lehimleme : Alüminyum lehimleme ile diğer metal lehimlemesi arasındaki tek fark, dolgu metallerin kullanımında belirir. Alüminyum lehimleme, başarılı şekilde tamamlanması için proses parametrelerinin yakından takip edilmesini gerektirir.

4. Nikel lehimleme: Nikel Lehimleme temel olarak, korozyon direnci veya ürün saflığının sürdürülmesi gereken işlemlere uygulanır.
5. Magnezyum Lehimleme: Magnezyum ve alaşımları çeşitli işlemlerde ve endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Magnezyum ve alaşımlarının en yaygın kullanım yerlerinden biri de lehimdir.
6. Karbon ve grafit lehimleme: Karbon ve grafit pek çok uygulama alanı vardır. Metalurjik uygulamalarda elektrot ve nükleer uygulamalarda moderatör malzeme olarak kullanılırlar.
7. Seramik lehimleme: Yüksek dayanımlı, yıpranmaya karşı mükemmel direnç, düşük ısı genleşmesi ve pek çok diğer özelliği Seramiği lehimleme için mükemmel seçim yapıyor.
8. Titanyum Lehim: Titanyum, korozyona karşı mükemmel direnci, aşırı sıcaklıklara dayanma özelliği ile hafif ağırlıkta bir elementtir [3].

2.3.2. Lehim alaşımları

Lehim alaşımları aynı zamanda lehim dolgu metalleri olarak da bilinirler. Bir lehim eklemi yapımına eklenmek suretiyle kullanılırlar. Birleştirilmekte olan metal parçalardan daha düşük ergime sıcaklığına sahiptirler. Farklı endüstrilerde kullanılan pek çok değişik tipte lehim alaşımı vardır. Farklı metal çiftlerinin birleştirilmesinde kullanılan lehim alaşımı farklı olabilir. Lehim alaşımlarının seçimi birleştirilen metallere ve bunların kimyasal ve fiziksel karakteristiklerine bağlıdır [24].

Lehim alaşımları ısıtıldıklarında sıvılaşır ve bitleştirilen metal yüzeyler arasında eriyik olarak akarak bir lehim eklemi oluştururlar. Lehim alaşımlarının hazırlanan eklenti parçalarında kılcal çekimle uygun dağılıma olanak veren uygun ergime ve akışkanlık özelliklerine sahip olmalıdır [24].

Bakır, nikel ve gümüş, lehim alaşımları için en çok kullanılan baz metallerdir. Alüminyum ve altın da belli amaçlar için kullanılır. Yukarıdaki tablo en yaygın baz metallerin önemli karakteristiklerini ve avantajlarını karşılaştırmaktadır [24].

Her bir baz metal için pek çok farklı alaşım kompozisyonları mevcuttur. Baz metalle birleştirilen ek metaller alaşımın belli metallerin birleştirilmesinde ve

münferit proses gereksinimlerinde kullanım için yeterliliğini belirler. Örneğin vakum lehimleme kadmiyum gibi uçucu element içermeyen alaşımlar gerektirir. Alaşımın bileşimine ek olarak göz önüne alınacak diğer önemli karakteristikler ergime aralığı, gerekli eklem temizliği ve akışkanlığıdır [24].

Alaşım	Lehim Derecesi	Birleşme Açıklığı	Avantaj
Bakır	2000°F	0.002" ye kadar	Bağlantı mukavemeti, düşük maliyet
Gümüş	1300° F	0.002 ile 0.005"	Düşük sıcaklık
Gümüş Lityum	1300°F	0.002 ile 0.005"	Düşük sıcaklık, kendiliginden akı
Nikel	1900°F	0.002 ile 0.008"	Bağlantı mukavemeti, korozyon rezistansı
Alüminyum	1080°F	0.002 ile 0.01"	Yalnızca alüminyum ile lehim
Altın	1800°F	0.002 ile 0.008"	Korozyon ve oksidasyon rezistansı

Tablo 2.3-2. Lehim alaşımları, bağlantı özellikleri ve avantajları [24]

Bir lehim alaşımının ergime aralığı, alaşımın erimeye başladığı (“solidus”)minimum sıcaklık ile alaşımın tamamen sıvı hale geldiği sıcaklık aralığı ile belirtilir. Pek çok amaç için gerçek lehim sıcaklığı sıvı hal sıcaklığının 50 ila 200⁰F (30⁰-110⁰C) üstüdür. Ergime aralığı alaşımın kimyasal bileşimine dayalıdır ancak münferit grup karakteristiklerinin hafifçe değişik olabileceklerine dikkat edilmesi önemlidir. Bazı alaşımlar (sıvılaştıran) oldukça dar bir ergime aralığına sahipken diğer alaşımlar kıyaslanabilir ölçüde geniş bir aralığa sahiptir. Dar ergime aralığına sahip alaşımlar oldukça dar aralıkları doldurmak için kullanılırken, geniş ergime aralığına sahip olanlar genellikle daha geniş

aralıklarında doldurulmasında daha iyi sonuçlar verir. Geniş aralıklı alaşımların eğer çok yavaş ısıtılırlarsa kendi temel bileşenlerine ayrılma eğilimi bulunmaktadır. Bu nedenle lehim sıcaklığına ulaşmak için ergime aralığını neredeyse her zaman hızlı şekilde ısıtarak geçmek en iyisidir [24].

Altın, nikel ve bakır gibi yüksek sıcaklıklı lehim alaşımları pek çok eklemi lehimlemek için hemen kullanılabilir ancak eklem tasarımı ile eklem temizliğine dikkat edilmesi gerekir. Tüm bileşenlerin ısıtma sıcaklığına getirmek ve eriyik alaşımın çabucak akması için gereken ısıtma süresi asgariye indirilmelidir. Yüksek sıcaklık lehimleri çoğunlukla kobalt veya nikel tabanlı süper alaşımların birleştirilmesinde kullanılır [24].

2.3.2.1 Lehim alaşım tipleri

Farklı lehimleme alaşımları, farklı tipte benzer ve benzer olmayan metallerin lehimlenmesinde kullanılır. Birleştirilecek metallerin sahip olduğundan daha düşük ergime sıcaklığına sahiptirler. Bu alaşımlar pasta, pudra, şerit, çubuk, yaprak, tel, vb. gibi bir dizi formda mevcuttur. Lehim alaşımlarının seçimi teme olarak çeşitli uygulamaların gereksinimlerine bağlıdır [24].



Şekil 2.3-1. Lehim alaşım tipleri [25]

Lehim çubukları, lehim alaşımlarının veya dolgu malzemelerinin en yaygın şeklidir. Lehim çubukları, iki metal lehimleme metoduyla birleştirildiğinde kullanılır. Bir dizi uygulamada farklı kalınlık ve uzunluklarda kullanılırlar. Lehim

çubukları oldukça sert ve katıdır, aynı zamanda aşındırıcı kaplama veya bir aşındırıcı çekirdeğe sahip şekilde gelirler. Aşındırıcı kaplaması bulunmayan bu çubuklar ısıtılır ve aşındırıcıyla kaplanmak üzere kuru aşındırıcıya daldırılır [24].

Bir lehim teli, sürekli uzunluğa sahip lehim malzemesidir. Lehim teli, önemli ve en yaygın şekilde kullanılan lehim alaşım şekillerinden biridir. Lehim telleri aşındırıcı kaplamalı olabilir veya olmayabilir ve çok çeşitli ölçü ve paketlerde bulunabilirler. Lehim yüzükleri de bir tür lehim telidir [24].

Lehimleme için kullanılan pasta bir nötral erteleme ajanı, alaşım pudrası ve bazen dikkatli şekilde formüle edilmiş aşındırıcının bir karışımıdır. Normal sıcaklık altında lehim pastası yarı-katı şekilde kalır. Ocak lehimleme ve diğer indüksiyon lehimleme uygulamaları gibi birkaç lehim işleminde gerekir. Pasta formunda lehim alaşımı kullanılırken alaşımın ısıtılmadan önce ön-konumlandırma yapılması gereklidir [24].

Lehim alaşımlarının bir diğer önemli şekli is lehim tozudur. Lehim tozunun kullanımının, eklemlerin biçim, şekil ve nokta sınırlamaları olmaksızın kullanılabilir olması gibi kendine has avantajlara sahiptir. Aynı zamanda, karmaşık biçimlendirilmiş nesne benzeri bazı objelerin düzenlenmesinin güç olduğu yerlere bile kolaylıkla uygulanabilir. Lehim pudrası sınırlı bir ömür ve pudra malzemenin depolanmasına neden olan formları nedeniyle oksidasyona karşı oldukça hassastırlar. Lehim pudralarının en büyük sakıncası sıkılan pudranın yaklaşık %30 ila %50'nin ziyan olması ve tekrar toplanarak kullanılamıyor [24].

Lehim alaşımlarının bir başka formu lehim yaprakları/lehim şeritleridir. Farklı endüstrilerde bir dizi uygulamada kullanılırlar. Bazı lehim uygulamalarında ne lehim pudrası ne lehim pastası kullanılabilir. Bu durumda lehim yaprakları veya şeritlerinin kullanımı söz konusudur. Lehim şeritleri aslında lehim yapraklarından kesilen şekillerdir [24].

2.3.2.2 Sıcaklık aralığı

Belli bir lehimleme alaşımı için ergime sıcaklık aralığı alaşımın erimeye başladığı (“solidus”)minimum sıcaklık ile alaşımın tamamen sıvı hale geldiği

sıcaklık aralığı ile belirtilir. Tüm lehim alaşımları sıvı hal sıcaklığının 30^0-110^0C üstünde olan gerçek lehim sıcaklığına sahiptir [3].

Bir alaşımın ergime aralığı öncelikle kimyasal bileşimi tarafından belirlenir. Ancak münferit grup karakteristiklerinin de hafif bir etkisi vardır. Bazı lehim alaşımları geniş ergime aralığına sahipken diğerleri kıyaslanabilir ölçüde dar bir aralığa sahiptir. Geniş ergime aralığına sahip alaşımlar daha geniş aralıkları doldurmak için kullanılırken dar aralığa sahip alaşımlar daha dar aralıkların doldurulması için daha iyidir. Geniş aralıklı alaşımlar çok yavaş ısıtıldıkları takdirde kendi temel bileşenlerine ayrılma eğilimindedir. Bu nedenle lehim sıcaklığına ulaşmak için ergime aralığını neredeyse her zaman hızlı şekilde ısıtarak geçmek en iyisidir [3].

Özellikler:

1. Lehim alaşımları demir içermemelidir.
2. Lehim alaşımlarının ergime noktaları, birleştirilecek metallere daha düşüktür.
3. Lehim alaşımları bitişik yüzeyleri ıslatmalı veya onlara yapışmalıdır.
4. Lehim alaşımlarının ergime noktaları genellikle 800^0F 'tan yüksektir.
5. Lehim alaşımlarının çoğunun birleştirilen metallere daha az sıkı bir dayanımı vardır [3].

2.3.2.3 Lehim alaşımı malzemeleri

Bakır lehim alaşımları:

Ergime aralığı 866^0C ila 1082^0C arasında olan bakır, bakır cevheri ve çinko ya dayılı lehim alaşımları demir alaşımlı bileşenleri lehimlemek için kullanılır. Saf bakır bu tür bileşenleri oldukça dikkatli biçimde kontrol edilen lehimleme koşulları altında ıslatabilir. Bakır alaşımlar içinde çinkonun varlığı ıslatmayı kolaylaştırır ve aynı zamanda lehimleme sıcaklığını da düşürür [3].

Tüm bakır lehim alaşımları içinde, bakır-fosfor alaşımının sıra dışı lehimleme özellikleri ve tanımlama kabiliyetleri vardır. Fosfor, bakırla hemen alaşım yapar. Fosfor, bakır için bir indirgeyici madde gibi davranır ve ayrıca gümüşü paslardan temizler. Bakır-fosfor ile gümüş-bakır-fosfor alaşımları saf bakır üstünde kendinden aşındırıcıdır [3].

Gümüşün eklenmesi ve fosforun indirgenmesinin lehim alaşımlarının akışkanlığı üzerinde sağlam bir etkisi vardır. Daha yüksek fosfor oranına sahip alaşımlar oldukça sıvı haldeyken daha düşük fosfor ve daha yüksek gümüş içeren alaşımlar geniş bir plastik aralığına sahip. Hatta alaşım bileşiminde hafif değişikliklerin bile lehim alaşım sınırlarını üzerinde belirgin bir etkisi bulunur [3].

Sıvılaşma sıcaklıkları 718°C ila 924°C arası olan bakır-fosfor lehim alaşımları da yaygın olarak kullanılır. Islatma karakteristiklerini artırması ve lehim sıcaklığını düşürmesinin dışında fosfor alaşımlara oksidasyon koşulları altında bir kendiliğinden aşındırıcı karakteristiği ekler. Ancak fosforun, demirli alaşımlar üzerinde zararlı etkisi nedeniyle bu alaşımların kullanımı demir içermeyen bileşenler ve paslanmaz çelik lehimlemesiyle sınırlıdır [3].

Bakır atom numarası 29 ve sembolü Cu olan ithal bir metaldir. Elektrik iletkenliğinde gümüşten sonra ikincidir. Yüksek ısı iletkenliği ile bir hayli yumuşak ve şekil verilebilir bir metaldir. Bakır iletken, ısı iletkeni, inşaat malzemesi ve bir dizi alaşımın bir bileşeni olarak kapsamlı bir şekilde kullanılmaktadır [3].

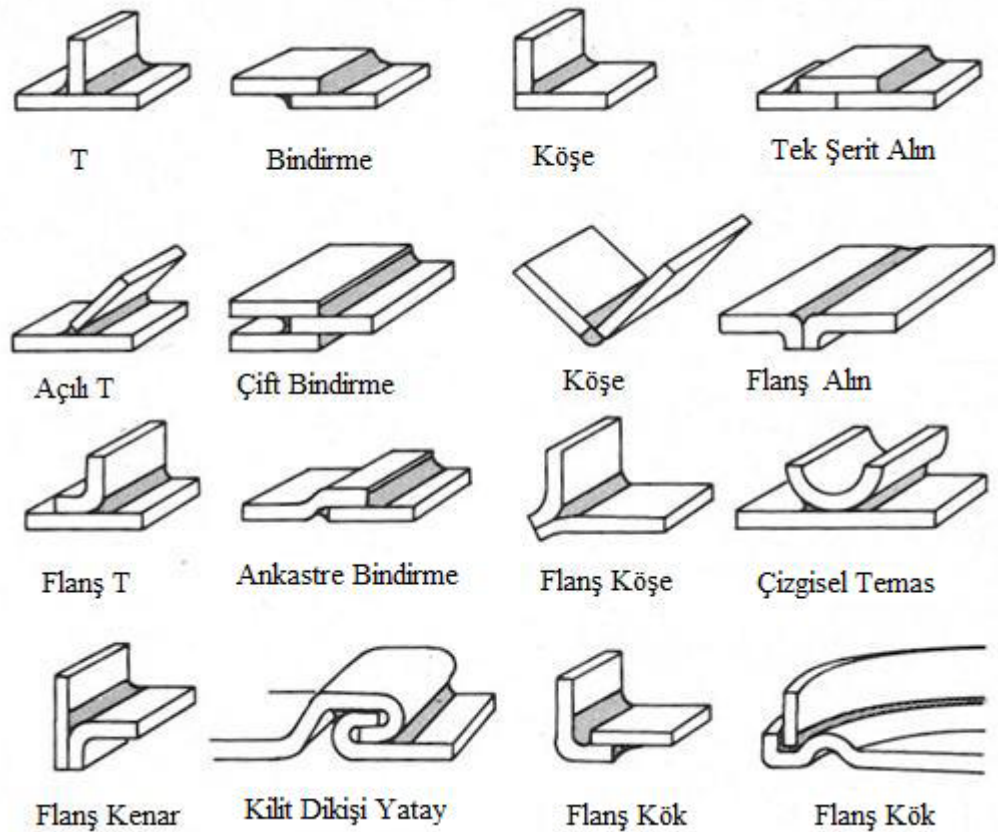
Alüminyum lehim alaşımları:

Alüminyum dolgu metalleri genellikle alüminyum tabanlı metalleri çeşitli metotlar kullanarak lehimlemek için kullanılır. Bu metotların en yaygın olanları daldırma banyosu, vakum ve aşındırıcı (meşale veya ocak). Alüminyum lehim, dolgu metal ile baz metalin ergime sıcaklıkları arasında yakın bir ilişki bulunduğundan çoğu lehim işleminden daha sıkı işlem parametreleri gerektirir. Bununla birlikte düşük erime sıcaklığı nedeniyle farklı baz metalleri lehimlemek için de kullanılabilir. Temizlik, alüminyum baz metallerin lehimlemesinde oldukça önemlidir. Ekstrüzyon veya haddeleme işleminden artan tüm yağ, pul veya ağır paslar lehimleme işleminin önce temizlenmelidir. Havaya maruz kalmaktan ötürü paslanmaya olan doğal eğilimi nedeniyle alüminyumdan tüm pasları temizlemek imkânsızdır. Alüminyumları lehim için dolgu metalleri tel, pudra ve pasta, folyo ve kaplı levhalar olarak piyasada bulunmaktadır. Tüm dolgu metaller tüm formlarda mevcut değildir. Bazılarını yerel olarak, eğer varsa, küçük miktarlar halinde bulmak oldukça zordur. Alüminyum dolgu metalleri aynı zamanda titanyum alaşımları lehimlemek için de kullanılır [24].

Lehimler, geniş çeşitlikte malzemeleri birleştirmek için kullanılan düşük ergime sıcaklığına sahip dolgu metallerdir. Lehimler 450°C 'nin altında erir ve bu nedenle düşük ısı uygulamalarda kullanılırlar. İşlem genellikle bir meşale, demir veya ocak, dalga veya ultrasonik metotlar kullanılarak gerçekleştirilir. Lehim genellikle bir aşındırıcı gerektirir. Lehim için aşındırıcılar aşındırıcı olmayandan aşındırıcı olana kadar geniş bir aralıkta bulunur. Aşındırıcı seçimi lehim yapılacak malzeme ile baz metalin ergime sıcaklıklarına, gerekli korozyon direncine, hizmet sıcaklığına ve gerekli dayanım ve sünme özelliklerine dayanır [24].

2.3.3. Lehim bağlantılarının tipleri

Değişik parça ve düzenek geometrileri ile fonksiyonlarına uyacak geniş çeşitlikte lehim eklentisi olmasına rağmen çoğu lehim eklentileri iki temel tipten birinin – uç birleşme ve bindirmeli eklenti – varyasyonudur [3].



Şekil 2.3-2. Lehim uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bağlantı tipleri [3]

Bir alın eklentisi yapmak için iki metal parçası solda gösterildiği gibi uç uca olacak şekilde yerleştirilir. Bağın gücü, çok büyük ölçüde bağlantı yüzeyinin

miktarına bağlıdır ancak uygun şekilde gerçekleştirilmiş bir uç birleştirme pek çok uygulamanın gereklerini karşılayacak kadar güçlüdür. Kurulum nispeten basit ve bazı uygulamalar için, eklemde tutarlı bir parça kalınlığı olması bir avantaj oluşturabilir [3].

Daha güçlü bir bağ isteyen uygulamalar için alternatif bir bağlama tercih edilebilir. Bindirme bağlama daha geniş bir eklem yüzeyi oluşturur çünkü iki metal birbirinin üstüne biner. Bu nedenle daha güçlü bir bağ oluştururlar. Bindirme eklemler eklem bölgesinde iki kat kalınlığa sahiptir ki bu alanın kısıtlı olduğu uygulamalarda bir sorun yaratabilir. Ancak sıhhi tesisat malzemelerinde ve benzeri uygulamalar için bu bir problem oluşturmaz. Bindirme eklem birbine binme doğası aslında parçaların lehimleme için konumlandırılmasına yardımcı olur, özellikle boru biçimli parçalarda eklem, biri diğerinin içine girdiğinden kendiliğinden destekli hale gelir [3].

Her iki temel birleştirme tipinin de avantajları bir uç-bindirme eklem metodunda birleştirilmiştir. Bu tip eklem, birleştirilecek daha fazla iş gerektirmesine rağmen hem tek kalınlığa hem de maksimum dayanıma sahip ve genellikle kendinden desteklidir [3].

2.3.4. Uygun bir lehim bağlantısı oluşturma

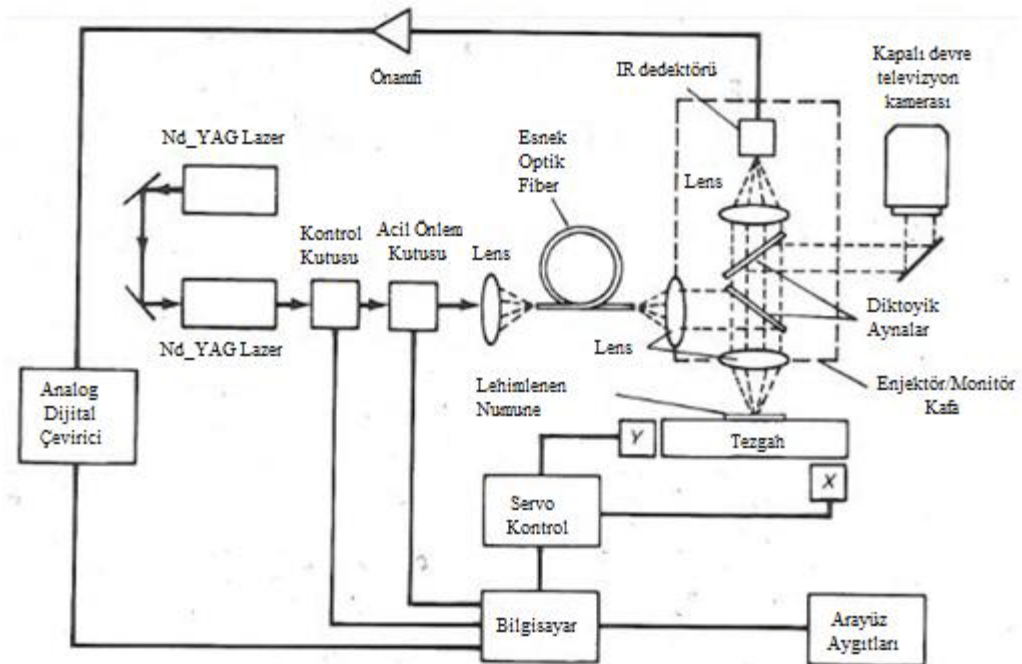
İyi bir lehimin sırrı sadece bu kuralların dikkatlice izlenmesinde yatar. Önemli konulardan biri uygun dolgu materyaller seçmektir. Sert lehimleme kullanılan pek çok dolgu metal bulunmaktadır ve seçimleri birleştirilmekte olan metallerin tipine, birbirlerine göre ergime sıcaklıkları ve istenen renk ve görünüşe bağlıdır [9].

Birleştirdiğiniz metalin ne olduğu fark etmeksizin kullanılan metot aynıdır. Bu nedenle iyi lehim için ikinci önemli kural, uygun ısıdır. En az 1000⁰C'lık bir aleve sıcaklığına ihtiyacınız olacaktır. Bununla birlikte bu, istenen asgari çıplak derecedir. Eklem büyüklüğü ve metallerin tipi, ihtiyacınız olacak ısıyı belirler. Örneğin bir üfleme borusu olan küçük bir alkol lambası kullanılabilir bir alev sıcaklığı verebilir ancak kuyumculukta olduğu gibi oldukça küçük ölçekteki eklem bölgeleri ile sınırlıdır [9].

Lehimlenecek parçaların temiz olması üçüncü kuraldır. Eklem, lehimin tutması için mutlak surette hem fiziksel hem de kimyasal olarak temiz olmalıdır. Metali kimyasal olarak temizlemek aşındırıcının işidir ancak eklem aynı zamanda kazınarak temizlenmesi gerekir. Bunu törpüleme, bileme veya kumlama ile eşleşme yüzeyleri parlayana kadar yapabiliriz. Eğer kendi aşındırıcısını içeren lehim çubuğu tipini kullanıyorsanız adanmakıllı bir temizlik özellikle önemlidir [9].

Dördüncü kural parçalar arasında iyi bir uyum olmasıdır. Lehimleme zayıf bir işçiliği kapayamaz. Metal lehimini ince ve suludur. Düzgün, kıl gibi ince, neredeyse görünmez eklemler yapmayı mümkün kılan bu karakteristiğidir. Bunun anlamı, boşluk ve aralıkları doldurmak için onlara güvenemeyeceğinizdir. Parçalar daha başlangıçta birbirlerine sıkıca uymalıdır [9].

Sıkı bir eklem aynı zamanda ince lehim metalinin, eklem içine kılcal olarak çekmeyi de gerektirir. Bu pirinç, bakır, gümüş veya alüminyum eklemlerden daha sıkı eklemler gerektiren paslanmaz çelik lehimlerinde özellikle önemlidir. Paslanmaz çelikte 0.005 cm açıklık olan bir alın eklemi 8963 bar basınçtan daha fazlasına dayanabilir. Ancak açıklığın 0.06'ya artması bu gerilim dayanımını sadece 2758 bar olacak şekilde düşürür [9].



Şekil 2.3-3. İleri düzey yüksek ısı lazer lehim şematığı [3]

2.3.5. Lazer lehim

Lazer lehimleme, lehim dünyasında oldukça yeni sayılabilecek bir lehimleme tekniğidir. Lehimleme için zorluk arz eden materyallerin birleştirilmesi için uygun bir platform sağlıyor. Diğer lehimleme işlemleriyle karşılaştırıldığında lazer lehimleme çalışma sıcaklığını düşürmek ve lehimlenemez materyal bileşimlerini birleştirmek için bir olasılık sunuyor. Üretilen eklemler oldukça güçlü ve düzgün bir yüzeyle karakterize edilebilir, ayrıca neredeyse gözeneksiz görünüyor. Bu nedenle lazer lehimleme geleneksel lehimleme ve lazer kaynaklamadan yararlanır [3].

Son yıllarda otomobile, makine imalatı, metal birleştirme için seramik, buzdolabı ve klima gibi bir dizi endüstride görünür eklemler için güvenilir bir birleştirme teknolojisi olarak yaygın şekilde kabul görmüştür [3].

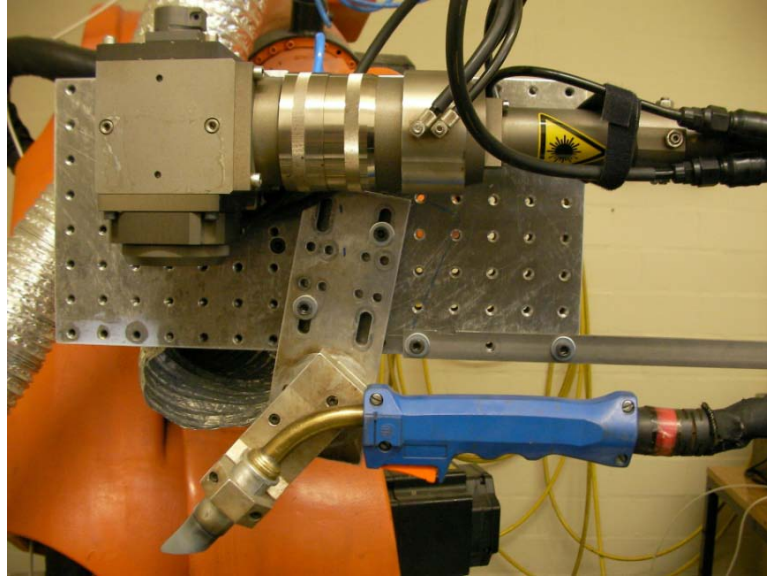


Şekil 2.3-4. Lazer kontrol robotu

Lazer Lehimlemenin Avantajları:

1. Lehimlemede lazeri kullanmanın büyük avantajlarından biri küçük alanlara tüm bölümü ısıtmadan seçici olarak ısı uygulama kabiliyetidir.
2. Diğer avantajı uygulanan ısıнын sıkı kontrolü ve ısıyı tam olarak konumlandırması veya bulması.
3. Aynı zamanda büyük yapıları ve metal-içi oluşumların kontrolünde yardımcı olur.

4. Merkezi ve bölgesel ısıtma nedeniyle minyatür ve ince hassas parçala gibi ısıya hassas bağlantıların yakınlarında birleştirme yapabilir [3].



Şekil 2.3-5. Lazer robotu kafa yerleşimi

Lazer lehim dezavantajları:

Lazer lehimlemenin muhtemelen tek dezavantajı, lazer ekipmanının yüksek maliyetli oluşudur. Bu metot tüm diğer lehimleme metotlarının uygun bulunmadığı durumlarda kullanılır [3].

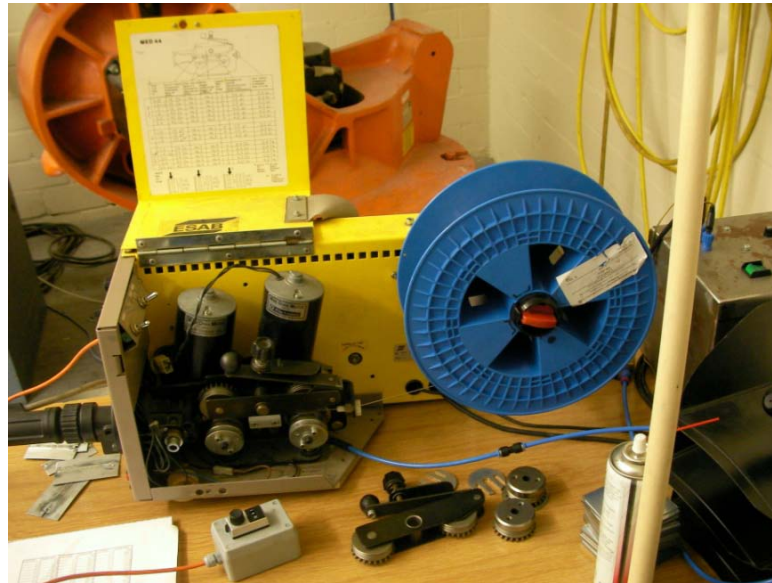


Figure 2.3-6. Lehim teli besleyici

3. MATERYAL VE METOD

3.1. CuSi Alaşımı ile Çelik Lehimlenmesi ve Parametreler

Lazer makinası ile tecrübelenmek ve lazer makinası parametrelerinin değişikliklerini gözlemleyebilmek için, önce CuSi alaşımıyla lehimlemeye başlandı. CuSi alaşımı daha yüksek erime sıcaklığına sahip olduğundan ve daha farklı metalurjik karakteristik özellikler gösterdiğinden, bu alaşımla lehim $AlZn_{15}$ alaşımına göre daha zordur. Karşılaştırıldığında ortam sıcaklığı ile lehim bölgesi sıcaklık farkı CuSi ile yapılan lehimlerde $AlZn_{15}$ 'e göre daha yüksektir. Lehim dikişi ani soğumaya maruz kalmaktadır. Bu yüzden lehimlenecek malzemeler yeterli miktarda ısınmalıdır ki, ergiyen alaşım düzgün bir şekilde lehimlenecek metalin üzerine akmalı ve düzgün bir bağlantı oluşturmalıdır.

Para Nr.	Tel Besleme (m/min)	Güç (kw)	Lehim Hızı (m/min)	Para Nr.	Tel Besleme (m/min)	Güç (kw)	Lehim Hızı (m/min)
1a	7	2,6	1,5	6	8,5	3	1,1
2a	6	2,6	2	7	7	2,8	1,1
3a	7	2,6	1,5	8	6,5	2,9	1,1
4a	7	2,6	1,2	9	6	2,8	1,1
5a	7	2,8	1,2	10	6	2,8	1,075
6a	7,3	2,8	1,2	11	9	2,8	1,075
7a	4	3	2	12	4	2,8	1,075
8a	4	3	2	13	4	2,2	1,075
9a	5	3	2	14	4	2,2	1
1	8	3	1,25	15	6	2,4	1
2	9	3	1,25	16	6	2,8	1
3	8,5	3	1,2	17	6	2,5	1
4	9,5	3	1,2	18	6	2,5	0,9
5	8,5	3	1,15				

Tablo 3.1-1. CuSi alaşımı ile çelik lehimleme parametreleri

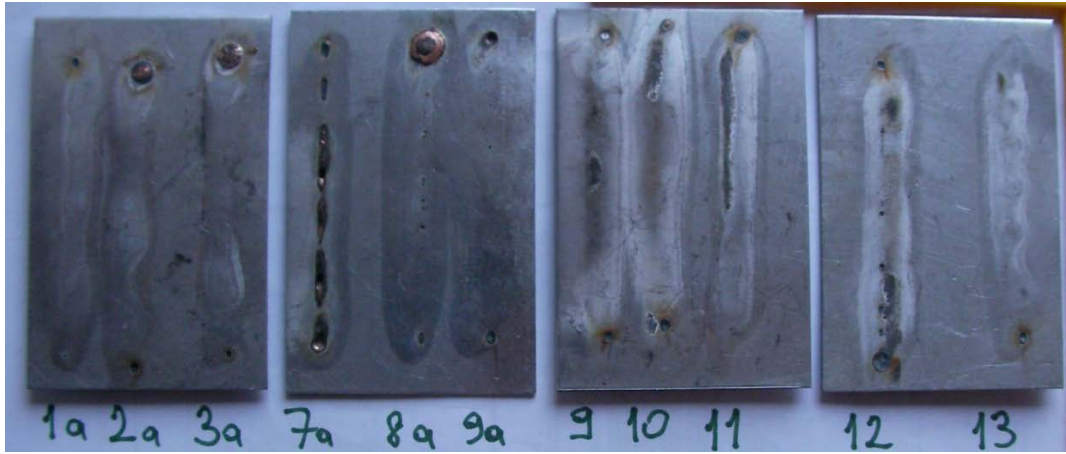
CuSi alaşımı 950-1000°C arasında bağlantı sıcaklığına sahiptir. Eğer alaşım 1050°C veya daha yüksek sıcaklığa kadar ısıtılırsa, buharlaşma başlamaktadır. Buharlaşma ile gelecek malzeme kaybından kaçınmak mümkün değildir, çok fazla olması kabul edilemez. Yüksek oranda buharlaşma olması

halinde lehim dikişinde kabarcıklar ve boşluklar oluşmaktadır. Öte yandan yüksek sıcaklıkla birlikte lehim edilecek malzemeler yanmaya uğrayabilir, mekanik özelliklerini kaybedebilirler.



Şekil 3.1-1. CuSi alaşımı lehimleri ön yüzleri

Lehimlenecek malzeme üzerindeki gereksiz lokal ısı etkisi bir kısım bağlantı çeşitleri için ayrıca sorun çıkarmaktadır. Örneğin üstüste yapılan lehimlemelerde; üstteki metalin köşesinin fazla ısınması halinde, alaşımın köşe üzerinden düzgün şekilde akması lokal basınç oluşumasıyla engellenir.



Şekil 3.1-2. CuSi alaşımı lehimleri arka yüzleri

Şekil 3.1-1 ve Şekil 3.1-2’de kimi sorunlu CuSi alaşımı lehimlemeleri görülmektedir. Parametrelerden kaynaklı sorunlar bulunmaktadır. 1a nolu örnekte açıkça görülmektedir ki, lehim alaşımı erimesine yetecek kadar ısıtılmamıştır. Lehim hızı düşürülerek veya lazer gücü artırılarak problem çözümlenebilir. Buna karşılık 7a nolu örnekte ise lazer gücü çok fazladır. Örneğin arka yüzü

incelendiğinde açıkça çeliğin bir kısmının yandığı görülmektedir. Malzeme kaybindan dolayı ve bir kısım çeliğin ergiyerek akması sonucunda lehim dikişi üzerinde boşluklar ortaya çıkmıştır. Lehim hızı arttırılarak veya lazer gücü düşürülerek bu problemler çözümlenebilir.

Öte yandan örnek 11 ve 13'te lazer gücü lehim malzemesini eritecek kadar yeterli olmasına rağmen, alaşımın düzgün şekilde lehim edilen metalin üzerin akmadığı gözleniyor. Ergiyen lehim alaşımı lehimlenen malzeme üzerinde akamadan katılaşmaktadır. Lazer ışığı defocus yapılarak veya lehim hızı düşürülerek bu gibi problemler çözülebilir.

Örnek13'teki bir başka sorun da lehim alaşımının eksikliğidir. Lehimlenecek metal yeterli şekilde ısıtıldığında, alaşım metal üzerinde akacak fakat devamlı bir lehim dikişi sağlanmayacaktır. Örnek 9'da da bu gözümlenebilir. Bu gibi problemler alaşım beslemesinin arttırılmasıyla çözümlenebilir, ancak farklı parametre değiştirilmesi de gerekebilir.

Özetlemek gerekirse bütün değişken parametreler arasında bir denge hali söz konusudur ve bu değişkenler birbirleriyle doğrusal olmayan denklemlerle bağımlıdır. Düzgün bir lehim dikişi için tecrübelenmek ve iş ile sabırla uğraşmak gerekmektedir.

3.2. AlZn₁₅ Alaşımı ile Çelik Lehimlenmesi ve Parametreler

Para Nr.	Tel Besleme (m/min)	Defokus Özellikleri (mm)	Güç (kw)	Lehim Hızı (m/min)	Metaller Arasındaki Boşluk (mm)
1	9	-	2,2	1,3	0
2	9	-	2,2	1,25	0
3	9	-	2,1	1,25	0
4	9	-	2,1	1,2	0
5	9	-	2,1	1,1	0
6	9	-	2	1,1	0
7	9	-	2	1	0
8	8,5	-	2	1	0
9	8,5	0,5 sola	2	1	0
10	8	-	2	1	0
11	8	-	1,9	0,95	0
12	7,5	0,5 sola	1,9	0,95	0

13	7,5	-	1,9	0,95	0
14	7,5	-	1,7	0,95	0
15	7,5	0,5 sola	1,7	0,95	0
16	7,5	-	1,6	0,95	0
17	7	-	1,6	0,95	0
18	6,5	-	1,6	0,95	0
19	6	-	1,5	0,9	0
20	8	-	1,5	0,9	0
21	8	-	1,5	0,9	0
22	8	-	1,5	1	0
23	8	-	1,5	0,8	0
24	7	-	1,5	0,9	0
25	7	0,5 sola	1,5	0,9	0
26	8	-	1,5	0,9	0
27	8	-	1,5	0,8	0
28	9	-	1,5	0,8	0
29	9	-	1,5	0,75	0
30	9	-	1,4	0,75	0
31	9	-	1,3	0,75	0
32	9,5	-	1,4	0,75	0
33	9,5	-	1,4	0,8	0
34	2,6	-	0,5	0,4	0
35	2,3	-	0,5	0,4	0
36	2,1	-	0,5	0,4	0
37	1,9	-	0,5	0,4	0
38	1,7	-	0,5	0,4	0
39	1,7	-	0,5	0,35	0
40	1,7	-	0,55	0,35	0
41	1,7	-	0,575	0,35	0
42	1,7	-	0,6	0,35	0
43	1,6	-	0,6	0,35	0
44	1,6	0,5 sağa	0,6	0,35	0
45	1,6	0,4 sağa	0,6	0,35	0
46	1,7	0,4 sağa	0,6	0,35	0
47	1,7	0,3 sağa	0,6	0,35	0
48	1,7	0,8 yukarı	0,6	0,35	0
49	1,7	-	0,6	0,35	0
50	1,7	-	0,65	0,35	0
51	1,7	-	0,65	0,35	0
52	1,7	4 yukarı	0,65	0,35	0

53	1,7	4 yukarı	0,6	0,35	0
54	1,7	6 yukarı	0,6	0,35	0
55	1,7	8 yukarı	0,6	0,35	0
56	1,7	8 yukarı	0,6	0,3	0
57	1,7	8 yukarı	0,6	0,25	0
58	1,7	8 yukarı	0,55	0,3	0
59	1,7	8 yukarı	0,5	0,3	0
60	1,7	8 yukarı	0,8	0,3	0
61	1,7	8 yukarı	1	0,3	0
62	1,7	6 yukarı	0,8	0,3	0
63	1,7	6 yukarı	0,7	0,3	0
64	1,7	6 yukarı	0,65	0,3	0
65	1,7	8 yukarı	0,65	0,3	0
66	1,7	8 yukarı	0,65	0,25	0
67	1,7	8 yukarı	0,65	0,2	0
68	1,7	8 yukarı	0,65	0,5	0
69	1,7	8 yukarı	0,65	0,6	0
70	1,7	8 yukarı	0,65	0,7	0
71	1,7	8 yukarı	0,7	0,7	0
72	2	8 yukarı	0,7	0,7	0
73	2	8 yukarı	0,75	0,7	0
74	2,3	8 yukarı	0,75	0,7	0
75	2,6	8 yukarı	0,75	0,7	0
76	2,5	8 yukarı	0,75	0,7	0
77	2,5	8 yukarı	0,75	0,75	0
78	2,5	8 yukarı	0,75	0,775	0
79	2,5	8 yukarı	0,75	0,725	0
80	2,5	8 yukarı	0,75	0,75	0,2
81	2,5	8 yukarı	0,75	0,4	0,2
82	2,5	8 yukarı	0,75	0,4	0,2
83	2,5	8 yukarı - 0,5 sola	1	0,4	0,2
84	2,5	8 yukarı	1	0,4	0,2
85	2,5	8 yukarı	1	0,3	0,2
86	3	8 yukarı	1	0,3	0,5
87	4	8 yukarı	1	0,4	0,5
88	4	8 yukarı	1,2	0,4	0,5
89	5	8 yukarı	1,2	0,4	0,5
90	5	8 yukarı	1,2	0,4	0,5
91	6	8 yukarı	1,2	0,4	0,5
92	7	8 yukarı	1,2	0,4	0,5

93	6,5	8 yukarı	1,2	0,4	0,5
94	5,5	8 yukarı	1,2	0,4	0,5
95	5	8 yukarı	1,2	0,35	0,5
96	5	8 yukarı	1,2	0,45	0,5
97	5	8 yukarı	1,2	0,5	0,5
98	5	8 yukarı	1,2	0,5	0,5
99	4	8 yukarı	1	0,4	0
100	4	8 yukarı	1	0,4	0
101	4	8 yukarı	1	0,4	0,5
102	4	8 yukarı - 0,5 sola	1	0,4	0,5
103	5	8 yukarı - 0,5 sola	1	0,4	0,5
104	4	8 yukarı	0,8	0,4	0,5
105	5	8 yukarı	1	0,4	0,5
106	5	8 yukarı - 0,2 sola	1	0,4	0,5
107	7	8 yukarı - 0,2 sola	1	0,4	0,5
108	8	8 yukarı - 0,2 sola	1	0,4	0,5
109	5	8 yukarı - 0,2 sola	1	0,6	0,5
110	5	8 yukarı - 0,2 sola	1	0,7	0,5
111	5	8 yukarı - 0,4 sola	1	0,7	0,5
112	6	8 yukarı - 0,4 sola	1	0,7	0,5
113	6	8 yukarı - 0,4 sola	0,8	0,7	0,5
114	6	8 yukarı - 0,4 sola	0,8	0,7	0,5
115	6	8 yukarı - 0,4 sola	0,95	0,7	0,5
116	5	8 yukarı	0,95	0,95	0,5
117	4,5	8 yukarı	0,95	0,95	0,5
118	4,3	8 yukarı	0,95	0,95	0,5
119	4,1	8 yukarı	0,95	0,95	0,5
120	4,3	8 yukarı - 0,2 sola	0,95	0,95	0,5
121	4,3	8 yukarı - 0,2 sağa	0,95	0,95	0,5

Tablo 3.2-1. AlZn₁₅ alaşımı ile çelik lehimleme parametreleri

3.3. Işık Mikroskobu Analizleri İçin Numune Hazırlanması

3.3.1. Numunelerin kalıplandırılması

Numunelerin bağlanması ana amacı, güç şekillere ve büyüklüklere sahip numunelerin hazırlık ve incelemenin müteakip aşamalarında idare edilme kolaylığıdır. İkinci amacı hazırlık sırasında aşırı uç veya yüzeylerin bozunumdan korunması ve saklanmasıdır. Numunelerin aynı zamanda laboratuvarlarda

kullanılan değişik tipte otomatik cihazların yerleştirilmesi veya mikroskop aşamasında yerleştirmeyi kolaylaştırmak için bağlanması gerekebilir [11].

Bakalite almanın bir diğer yararı, monte edilen bir numunenin bakalite alma yüzeyi üzerine numuneye hasar vermeden yazılmak suretiyle bir isim, alaşım numarası veya laboratuvar kodu ile nitelendirilebilmesidir [11].

3.3.1.1. Kalıplandırma büyüklüğü ve şekli

Numunenin büyüklüğü arttıa, numenin yüzeyini zımparalama ve cilalama sırasında düz tutma güçlüğü de artar. Geniş bir metalografik numunenin hazırlanması için gereken zamandan tasarruf, numuneyi iki veya daha fazla küçük numuneye blmele sağlanabilir. Yaklaşık $\frac{1}{4}$ in² alana sahip bir numune muhtemelen daha uygundur; maksimum alan eğer mümkünse yaklaşık 4 in² ile sınırlanmalıdır. Bakalite alma kalınlığı, operatörün zımparalama ve cilalama sırasında bakalite almayı sıkı şekilde tutmasını ve bu şekilde bir sallanma hareketini önleyebilecek ve düz bir yüzeyi sürdürebilecek kalınlıkta olmalıdır. Dairesel bakalite almalar çap olarak genellikle 1 ila 2 in çapındadır ve en kolay idare edilenlerdir. Dikdörtgen bakalite alanının boy x genişlik oranı idareyi kolaylaştırmak için yaklaşık olarak 2'ye 1 oranı ile sınırlandırılmalıdır [11].

3.3.1.2. Kalıplandırma metodları

Mikroskop için numelerin yerleştirilmesi numunenin mikro yapısına hiçbir şekilde zarar vermemelidir. Mekanik deformasyon ve ısı zararlı etkilerin en muhtemel kaynaklarıdır. Bakalite alma ortamı ve numune sertlik ve aşınma direnciyle ilgili olarak uyumlu olmalıdır. Bakalite alma aracı ile numune arasında sertlik veya aşınma direncinde büyük bir farklılık diferansiyel cilalama karakteristiklerini, rölyefi artırarak uçların korunmasını azaltır. Bakalite alma ortamı, numunenin mikro yapısını geliştirmek için gerekli olan cilalama ve baskı solüsyonlarına karşı kimyasal olarak dirençli olmalıdır [11].

Soğuk kalıplama

Soğuk kalıplama hiçbir basınç ve çok az ısı gerektirir ve basınç ile kalıplama yönteminden çok daha hızlı şekilde çok sayıda numune kalıba alınabilir [11].

Polyester, epoksi ve akrilikler soğuk kalıplama materyalleri olarak sınıflandırılmaktadır. Polyesterler şeffaf ve çoğunlukla renksiz; epoksiler neredeyse şeffaf ve saman rengi; akrilikler ise mattır. Tüm üç kategorideki soğuk bakalite materyalleri bir reçine ile bir sertleştiriciden oluşan iki bileşenli sistemlerdir. Hem reçine hem de sertleştirici sıvı, katı veya biri sıvı diğeri katı olabilir. reçine ve sertleştiricinin karıştırılması ekzotermik bir polimerleşme üretir ve bu nedenle bu operasyon tatmin edici bir kür üretmede ve sıcaklığı izin verilebilir seviyeye sınırlamada kritiktir. Sıcaklık yükselmesi, daha uzun kürleme süresi pahasına düşürülebilir [11].



Şekil 3.3-1. Epofix reçinesi, epofix serleştiricive gereçleri

Soğuk bakalite alma bir döküm metodudur, zira soğuk bakalite materyal sınıfının her biri reçine ve sertleştirici karıştırıldıktan sonra sıvı haldedir (iki katı sistem karıştırılmadan önce eritilmektedir). Döküm kalıpları istenen her tür boyut ve şekilde olabilir. Yuvarlak kalıplar için ya bakalite halka şekilleri ya da halka bölümleri uygun olan plastik veya metal boru ve tüplerden kesilir. Kalıp malzemesi bir dış kabuk şeklinde kalıbın bir parçası haline gelebilir veya kalıp gevşetme elementleri bakaliteyi kalıptan ayırmak için kullanılabilir. Dikdörtgen kalıplar, dayanıklı alüminyum folyolar istenen boyutta ahşap bloklara sarılarak

kolaylıkla elde edilebilir. Alüminyum folyo bakaliteden soyularak, zımparalayarak veya bir gevşetme maddesi kullanılarak çıkarılabilir. Her tür boyut ve şekilde kalıp silikon kauçuk materyallerden hazırlanabilir. Silikon kauçuk kalıpların esnekliği kürlenmiş soğuk bakalitenin kolaylıkla ayrılmasına olanak verir [11].

Epoksi reçineler, soğuk bakalite alma işleminde en yaygın şekilde kullanılan malzemedir. Serttirler ve çoğu metalurjik, mineral ve seramik numunelere güçlü şekilde yapışır. Aynı zamanda polyester veya akriliklerden daha düşük bir büzüşme sergilerler ve gözenekli yapıların veya vakum metodu ile çatlakların çoğaltılmasında oldukça kullanışlıdır. Epoksi reçine bakaliteleri , reçine ve sertleştiricinin karışımındaki oranına bağlı olarak düşük bir ısıda kürlenebilir veya düşük ısılı bir fırına hızlı küreleşme için yerleştirilebilir [11].



Şekil 3.3-2. Parlatma sonrasında epofix kalıp içerisinde numuneler

Materyalografik numunelerin gömülmesi ve çoğaltılması için epoksi sistemleri. Epofix reçine epofix sertleştirici ile karıştırılır. Epofix Reçine Bisphenola-A(epichlorhydrin, epoksi reçine, oxirane, mono [(C12-14-alkyloxy)methyl] türevlerini içerir. Tene teması hassaslık verebilir. Epofix Sertleştirici triethylene ve (aminoetilamino)etanol içerir. Bu zehirli bir materyaldir. Bu materyaller yutulduklarında zararlıdır. Deri ve gözleri tahriş ederler. Gözlerle temas durumunda hemen bol suyla yıkanmalı ve tıbbi müdahale yapılmalıdır. Deriyle teması durumunda bol su ve sıvı sabun ile iyice

yıkanmalıdır. Su organizmalarını zehirler, sulu ortamda uzun-süreli ters etkilere neden olabilirler. Uygun koruyucu giysileri eldivenler ve gözlükler giyin [11].

Epoksi reçinenin kullanımı şu şekilde açıklanabilir:

1. Epofix reçine: epofix sertleştirici karışım oranları 22,5:3, 15:2 veya 7,5:1 olabilir.
2. Reçineyi şırıngaya dökün, çekmeyin.
3. Daha sonra reçine ve sertleştirici aynı kaba dökün ve en az iki dakika süreyle yavaşça karıştırın, bırakın karışımdaki hava kabarcıkları çıksın.
4. Daha sonra karışımı kalıplara, numunenin üstüne dikkatli şekilde ve yavaşça dökün.
5. Büyük şırıngayı ve spatülayı, birkaç kez kullanmak amacıyla altlarına kağıt koyarak alkolle yıkayın.

Sıcak Kalıplama

Sıkıştırma Bakalite, en yaygın bakalite alma yöntemi, bakalit dialyl phtalate reçine ve akrilik reçineler gibi kalıplama materyallerinin numunenin çevresine ısı ve basınç yoluyla kalıplanmasıdır. Bakalit ve dialyllic reçineler termofiksaj ve akrilik reçineler ise termo-plastiktir. Hem termofiksaj hem de termo-plastik materyaller kalıplama döngüsü sırasında ısı ve basınç gerektirir ancak kürden sonra termofiksajdan yapılan bakaliteler kalıptan maksimum sıcaklık altında alınabilirler. Termo-plastik malzemeler maksimum kalıplama sıcaklığında eriyik olarak kalır ve çıkarılmadan önce basınç altında soğutulmalıdır [11].



Şekil 3.3-3. Bakalit, polyfast ve hidropres gereçleri

Kalıplama aletleri ile birlikte bakalite presleme ekipmanları ve bir ısıtıcı sıkıştırma bakalite için gereklidir. Bakalite için hazır bulunan kalıplama gereçleri 1, 1 ¼ ve 1 ½ inç çapında ve sertleştirilmiş çelikten bir içi boş silindir, bir taban tıpası ve dalma pistonu içerir. Bakalite alınacak numune, silindirin uçlarından birine takılı olan taban tıpası üzerine yerleştirilir. Silindir pudra halindeki kalıplama malzemesi ile ağzına kadar doldurulur ve piston silindirin açık ucuna takılır. Bakalite presi, baskı levhaları arasına yerleştirilmiş olan bir silindirik ısıtıcı kalıp düzeneğinin çevresine yerleştirilir. Belirlenen basınç uygulanmaya başlandıktan ve kalıplama malzemelerine bastırmak için piston koluna verilmeye devam edilip kalıp düzeneği uygun sıcaklığa ısıtıldıktan sonra biten bakalite, pistonun kalıp silindire tamamen sokulmasıyla kalıptan alınabilir [11].



Şekil 3.3-4. Hidropres makinesi

Tüm numune malzemeleri termofiksaj veya termo-plastik bakalite alma araçları içinde kalıplanamaz. Isıtma evresi mikro yapıda değişikliklere neden olabilir veya basınç narin numunelerin düşmesine veya deforme olmasına yol açabilir. Seçilen numunenin boyutu mevcut alıp boyutlarınca kabul edilebilecek boyuttan çok daha geniş olabilir. Bu zorlukların üstesinden genellikle soğuk bakalite alma ile gelinebilir [11].

3.3.2. Zımparalama

Numune hazırlamada zımparalama en önemli operasyonlardan biridir. Zımparalama sırasında operatörün, müteakip bir cilalama operasyonu ile temizlenmesi gereken mekanik yüzey hasarlarını en aza indirme şansına sahiptir. Hatta bölümlene ciddi yüzey hasarlarıyla sonuçlanan dikkatsiz bir şekilde yapılmış olsa da hasar uzatılmış zımparalama ile yok edebilir. Bununla birlikte cilalama süresinin uzatılması zımparalama nedeniyle oluşan ciddi yüzey hasarlarına yönelik çok az iyileştirme yapar [12].

Zımparalama, kademeli olarak inceltilen aşındırıcı gözenekler kullanılarak yapılan bir dizi operasyon yoluyla numune yüzeyinin aşındırılmasıyla yapılır. 40 ila 150 mesh büyüklüğünde gözenekler genellikle iri aşındırıcılar ve 180 ila 600 mesh arası gözenekler toz aşındırıcılar olarak kabul edilirler [12].

Zımparalamaya, bir başlangıç düz yüzey oluşturacak ve bölümlene etkilerini birkaç dakika içinde temizleyecek iri gözeneklerle başlanır. 150 veya 180 mesh boyutunda bir aşındırıcı gözenek, bir aşındırıcı zımpara taşları ile bölümlendirilmiş numune üstünde kullanmak için yeterince iridir. Demir testereli, şerit testereli, EDM ile kesilen veya diğer sert yüzeyler genellikle 80 ila 150 mesh arası büyüklükte aşındırıcı gözenek gerektirirler. Her bir başarılı zımparalama operasyonu için kullanılan aşındırıcılar bir sonraki operasyonda kullanılacak olandan bir veya iki gözenek daha büyük olmalıdır. Başarılı bir zımparalama serisi 180, 240, 400 ve 600 gözenekli kafes ölçüsü içerebilir [12].



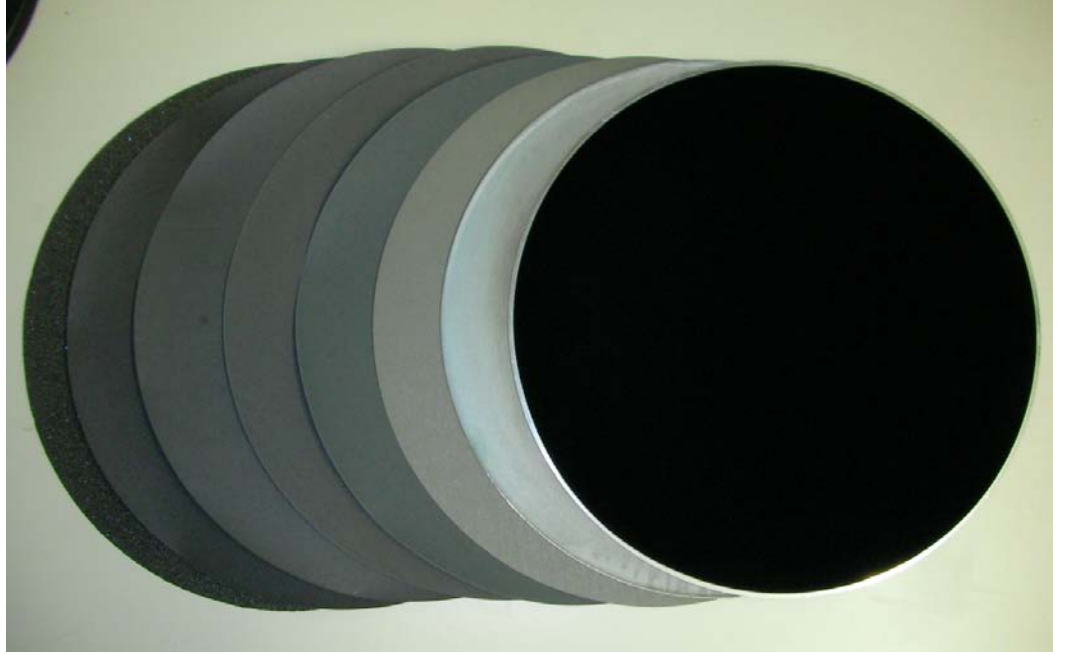
Şekil 3.3-5. Parlatma sonrasında bakalit kalıp içinde numuneler

Aşındırıcı disk bölümlemesinde olduğu gibi tüm zımparalama, suyun mikro yapının hiçbir bileşenine zarar vermemesi şartıyla ıslak olarak yapılabilir. Islak zımparalama hazırlanmakta olan numuneden temizlenen metalin aşındırıcı yükünü azaltır. Su, bitişik aşındırıcı partiküllerle gömülü hale gelmeden önce çoğu yüzey artık ürününü yıkar. Böylece aşındırıcı partiküllerin keskin kenarları tüm operasyon boyunca numunenin yüzeyine maruz kalır. Eğer keskin kenarlar yüzeye değmezse sonuç, yüzey artıklarının temizlenmesi yerine aşınmış yüzey üzerinde lekeler olur. Operatör tüm zımparalama adımları boyunca numuneyi inceleyerek aşındırıcının lekeleme veya perdahlama yerine gerçekten kestiğini tespit etmelidir. Perdahlama başta aşındırıcının limitinin üstünde kullanılmasından meydana gelir. Yıpranmış aşındırıcıları ve körleşmiş kesme kenarlarını kullanmak iyi hazırlığın tespiti [12].

Islak zımparalamanın bir diğer avantajı suyun soğutucu etkisidir. Zımparalama sırasında numune yüzeyi üzerinde hatırı sayılır bir sürtünme ısı oluşabilir ve gerçek mikro yapılarında cilalama sırasında yok edilemeyecek bir değişime yol açabilir – örneğin çelikte martensit tavlama. Islak zımparalama aşırı ısınmaya etkili bir koruma sağlar. Numunenin aşınmış yüzeyi zımparalama sırasında gevşek aşındırıcı partiküllerle iç içe geçebilir. Bu partiküller yüzeye tutunabilir ve cilalı numunede metalik olmayan ilaveler olarak belirir. Suyun püskürme hareketi, başka türlü gömülecek olan gevşek partiküllerin çoğunu temizler. Bazı laboratuvarlar aşındırıcı metali bir katı reçine yağı ile giydirmenin zımparalama işlemi için önerilebileceğini ve diğer makine operasyonlarının gömülü aşındırıcı partikülleri asgariye indirilebileceğini keşfetti [12].

Zımparalamanın amacı deforme metalin derinliğini, hasarın son izlerinin birkaç cilalama işlemi ile yok edilebilene kadar küçültmektir. Çizik derinliği ve çiziklerin altındaki soğuk işlenmiş metalin derinliği aşındırıcının partikül büyüklüğü azaldıkça azalır. Bununla birlikte soğuk işlenmiş metalin derinliği numunenin sertliği ile kabaca ters orantılı ve belki aşındırıcı partiküllerin delme derinliğinin 10 veya 15 katıdır. Her bir zımparalama adımının, bir önceki adım tarafından meydana getirilen deforme metali temizlemesi zorunludur. Operatör genellikle, bir önceki adım nedeniyle oluşan lekeleri temizlemek için gereken sürenin iki katı süresince zımparalamaya devam etmesi gerektiğini varsayar.

Görsel olarak tespit edilen önceki zımparalama lekelerin temizlenmesini sağlamak için zımparalamanın yönü 45 ila 90 dereceye kadar ardışık kafes boyutları arasında değiştirilmelidir. Ek olarak, zımparalama serisi sırasında çeşitli zemin yüzeylerinin mikroskopik incelemesi zımparalamanın etkisini değerlendirmesinde yararlıdır. Her bir zemin yüzey, bir önceki zımparalama lekelerinden hiçbir iz kalmamak üzere boyut olarak net ve düzenli lekelerle sahip olmalıdır [12].



Şekil 3.3-6. Zımparalama kağıtları; sırasıyla P80, P180C, P320C, P600C, P800C, P1200C, 3µm ve OPS

Zımparalama da başarı kısmen numuneye uygulanan basınca bağlıdır. Oldukça hafif bir basınç, verimsiz metalleri temizler. Biraz daha ağır basınç cilalama üretirken daha da ağır bir basınç istenen zımparalama etkisini getirir. Oldukça ağır basınç düzensiz leke büyüklüğü, derin oyuklar ve gömülü aşındırıcı partiküllerle sonuçlanır. Genel olarak ılımlıdan ağır basınç uygulanmış bir araç en iyi sonuçları verir [12].

Metalografik numune zımparalarının çoğu, numune yüzeyi bir zımparalama malzemesine bastırılarak elle gerçekleştirilir. Tüm alan yerde olmak üzere, düz bir yüzey oluşturmak ve sürdürmek için operatör numunenin her iki yüzeyine eşit basınç uygulamalı ve çıkıntılı bir yüzey üretecek herhangi bir sallanma hareketinden kaçınmalıdır. Eğer zımparalama operasyonu bölünürse operatör

zımparalanan malzeme ile kurulmuş düzlemde zımparalamayı yeniden başlatmak amacıyla dikkatli bir şekilde yeniden temas etmelidir [12].

3.3.2.1. Zımparalama kağıtları

Numunelerin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılan zımparalama aşındırıcıları, silikon karbid (SiC), alüminyum oksit (Al_2O_3), zımpara ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_3\text{O}_4$), elmas parçaları, vb. Yaprak, disk ve çeşitli boyutlarda kemerlerde, değişik ağırlıklarda kağıt veya kumaş üstüne yerleştirilmiştir. Bağlayıcı bir malzemede gömülü aşındırıcıları içeren zımparalama disklerinden yapılanların kullanımı kısıtlıdır. Aşındırıcılar aynı zamanda, zımparalama yüzeylerin gevşek aşındırıcı partiküllerle yükleyerek toz şeklinde de kullanılır [12].

Silikon karbid, Mosh ölçeğinde 9.5 sertliğe sahiptir ki elmasın sertliğine yakındır. Silikon karbid aşındırıcı parçacıkları şekil olarak köşeli ve çentiklidir ve oldukça keskin kenar ve köşelere sahiptir. Bu karakteristikleri nedeniyle silikon karbid oldukça etkili bir zımparalama aşındırıcısıdır ve neredeyse tüm metal tiplerinin metalografik zımparalaması için diğer aşındırıcılara tercih edilir [12].

Zımpara saf olmayan, 25 ila 45 arasında demir oksit katkı içeren ince taneli doğal korindondur. Zımparanın sertliği Mosh ölçeğinde 8.0'dır. Zımpara aşındırıcı partiküller silikon karbid veya alüminyum oksit aşındırıcı parçacıklarında çok daha düzgün yüzeylere sahiptir. Bu nedenle zımpara parçacıkları, eşit boyuttaki silikon karbid veya alüminyum oksit parçacıkları gibi iri hissedilmez ve zımparanın kesim oranı diğer iki aşındırıcının herhangi birinden daha aşıdır [12].

Zımparalama numuneleri için ara sıra kullanılan bir diğer aşındırıcı materyal diğer aşındırıcı malzeme, Mosh ölçeğinde yaklaşık 10 değerinde bir sertliğe sahip olan bor karbidir. Bor karbid başta zımparalama seramiği ve diğer oldukça sert materyaller için kullanılır [12].

Cilalama aracının yanı sıra zımparalama aracı olarak elmastan yapılanlar artan oranda kullanılmaktadır. Dikkatli şekilde boyutlanmış aşındırıcı parçacıklar 280 mikrondan (yaklaşık 60 gözenek) 0.25 mikrona kadar mevcuttur. Elmasın daha iri taneleri kumaş destekli reçine bağlı formda kullanılabilir. Elmas

aşındırıcılar her boyutta mevcuttur. Elmas parçacıkların aşırı sert ve keskin kenarları daha yüksek kesim oranıyla elmas aşındırıcılara ayrılır. Elmas aşındırıcılar özellikle daha sert alaşımları ve zor ergiyen malzemelerin zımparalanması için uygundur [12].



Şekil 3.3-7. Otomatik zımparalama makinası işleyişi

3.3.2.2. Otomatik zımparalama

İsminden de belli olduğu gibi el yardımı olmaksızın yapılır. Tüm otomatik zımparalama cihazlar, kağıt destekli disklerin yerleştirildiği veya aşındırıcı tozların yüklendiği sarmal yüzeyleri kullanır. Sarmal ya bir döner veya titreşen diskten oluşur. İkincisinin kullanımı titreşimsel zımparalama olarak bilinir.

Zımpara kağıdı	Kuvvet (lbf)	Süre (min)	Dönme Hızı (rev/min)	Kayganlaştırıcı
P80	15	1	150	su
P180C	20	2	150	su
P320C	20	2	150	su
P600C	20	2	150	su
P800C	20	2	150	su
P1200C	20	2	150	su

Tablo 3.3-1. Zımparalama aşamaları ve parametreleri

3.3.3. Parlatma

Mekanik cilalama terimi sıklıkla, kumaş kaplı sarmallar ve uygun cilalayıcı aşındırıcıların kullanımını içeren çeşitli son cilalama prosedürlerini tanımlamak için kullanılır. Sarmallar ya bir döner veya bir titreşim hareketine sahiptir ve numuneler elle, mekanik olarak veya sadece cilalama alanıyla sınırlandırılmış olarak tutulur [12].

Cilalama, tercihen alandan bölümleme, bakalite alma veya kaba zımparalama için temizlenmiş nispeten tozsuz bir alanda gerçekleştirilir. Bir cilalama sarmalının, bir önceki operasyondan taşınan aşındırıcı parçacıklar veya toz, toprak veya havadaki diğer yabancı maddelerle kirlenmesi düzeltilemez. Son cilalama adımları arasındaki yetersiz temizlemenin sonucu olarak taşınanlar kirlenmenin bir diğer ana kaynağıdır. Operatör için ellerini titizlikle yıkamak nasıl önemliyse cilalamanın bir sonraki aşamasına geçmeden önce numuneden tüm cilalama artıklarının temizlenmesi de o kadar önemlidir. Numune ultra sonik olarak veya akar suyun altında dikkatli şekilde yıkanarak ve pamukla silinerek temizlenebilir. Tutucu aparatların numune ile birlikte ardışık cilalama adımları boyunca aktarıldığı otomatik ekipmanlarda düzeneğin uygun temizliği sadece bir ultra sonik temizleyici kullanılarak tamamlanabilir [12].

Eğer bir cilalama sarmalı kirlenirse, tüm kirleticileri cilalama bezi yıkanarak temizlenmesi fiilen mümkün değildir. Bunun yerine operatör bezi değiştirmeli ve yeni cilalama solüsyonu kullanmalıdır. Temizlik hiçbir şekilde aşırı vurgulanmış olmaz. Tüm önceki hazırlıkları mahvetmek için son cilalama sarmalında bir tek gözenek parçacığı kalmış olması yeterlidir [12].

3.3.3.1. Parlatma kumaşları

Bir aşındırıcı tutma kabiliyeti, uzun ömürlü olması, lekeye yol açabilecek her türlü yabancı malzemeden yoksun olması ve numuneyle tepkimeye girebilecek herhangi işlem kimyasalını içermemesi, her tür iyi cilalama bezinin gerekliliklerindendir [12].

Başlangıç kaba cilalama operasyonu için havsız veya oldukça az havlı bir bez tercih edilir. Havsız olması cilalama aşındırıcıyla maksimum teması sağlar ve minimum gevşeme ile hızlı kesimle sonuçlanır. En yaygın şekilde kullanılan bezler çuval bezi, az havlı, pamuklu, naylon, ipek ve pelondur. Bu bezler sarmal üzerine sıkıca gerilir ve genellikle band tipinde bir kelepçe ile çözülmeyecek şekilde bağlanır. Bazı bezler, arka tarafı diske yerleştirilmesini büyük ölçüde kolaylaştıran bir yapıştırıcıyla birlikte gelir. Yerleştirildikten sonra bezler uygun aşındırıcı (genellikle 15 mikrondan 1 mikrona doğru bir büyüklükte) ve taşıyıcı ile doldurulur. Kaba cilalama genellikle 500 ila 600 devir/dakika rotasyonlarla uygulanır. Az veya orta havlı bezler normal olarak yavaş rotasyonlu sarmallar üzerinde (dakikada 300 devirden az) ara ve son cilalama için kullanılır. 0.3 mikron alüminyum oksit veya diğer kıyaslanabilir aşındırıcılarla kullanılan keçe veya çuha bezler (%100 ham yün) yumuşak metallerin (çoğu demir içermeyen alaşımlar ile düşük karbonlu çelikler) ara cilaması ile sert metallerin (sertleştirilmiş alaşım çelikler gibi) son cilaması için mükemmeldirler. Çoğu metalin son cilaması için en popüler bezlerden biri yoğun olarak dokunmuş, dikey olarak işlenmiş, uygun bir arkalığa bağlı sentetik dokumalardır. Bazı metaller veya özel cilalama tipleri için kadife, saten, kaşmir veya pamuklu kumaşlar gerekli olabilir. Uygun kumaş, aşındırıcı, taşıyıcı, cilalama hızı (cilalama diskinin devir hızı) kombinasyonu ile uygulanan basıncı seçme kabiliyeti ancak deneyimle elde edilebilir [12].

3.3.3.2. Parlatma aşındırıcıları

Cilalama genellikle bir veya birden fazla aşındırıcı tipinin kullanımını içerir: alüminyum oksit (Al_2O_3), magnezyum oksit (MgO), krom oksit (Cr_2O_3), demir oksit (Fe_2O_3) ve elmas bileşikleri. Elmas bileşikleri haricinde bu aşındırıcılar normal olarak distile su askısında kullanılır ancak eğer cilalanacak metal su uyumlu değilse etilen glikol, alkol, kerosin veya gliserin gibi diğer askılar gerekebilir. Elmas bileşikler sadece imalatçının önerdiği taşıyıcı ile genişletilmelidir [12].



Şekil 3.3-8. Parlatma aşındırıcıları ve kayganlaştırıcılar

Alüminyum oksit (alumina) genel metalografik cilalama için en yaygın şekilde kullanılan cilalama aşındırıcısıdır. Alfa sınıfı alüminyum oksit 15 ile 0.3 mikron parçacık büyüklüğü aralığında kullanılır. Bazı sert malzemeler için 0.3 mikron büyüklük son bir cilalama için yeterlidir. Gama sınıfı alüminyum oksit son cilalama için 0.05 mikron büyüklüğünde mevcuttur [12].

Magnezyum oksit (magnesia), özellikle magnezyum ve alüminyum ile alaşımlarının hazırlanmasında son cilalama için önerilir. Sadece, suda çözünebilen hiçbir alkali içermeyen metalografik sınıflar kullanılmalıdır, aksi halde herhangi bir serbest alkali numuneyi lekeleyebilir ve kimyasal olarak saldıracaktır. Magnezyum oksit aynı zamanda magnezyum hidroksit oluşturmak üzere su ile de

yavaş bir tepkimeye girer. Bu karşılığında cilalama bezini kirletebilecek magnezyum karbonat oluşturmak için atmosferde bulunan karbon dioksit ve musluk suyu ile tepkimeye girer. Eğer karbonat varsa, cilalama bezi değiştirilmeli ve karbonatı suda çözünebilen magnezyum kloride dönüştürmek için asitleştirilmiş distile suda (%2 HCl solüsyonu) temizlenmelidir. Eğer cilalama bezi gelecekteki cilalama işlemleri için muhafaza edilecekse, kullanımdan hemen sonra sarmaldan çıkarılmalı, akar su altında yıkanmalı ve %2'lik hidroklorik asit solüsyonunda saklanmalıdır [12].



Şekil 3.3-9. Otomatik parlatma makinası işleyişi

0.05 mikrona kadar büyüklüklerde mevcut olan krom oksit, çelik ve döküm demirin kaba ve son cilaması için kullanılır [12].

Kuyumcunun allığı olarak bilinen demir oksit 3 mikron büyüklüğündeki parçacıklardan oluşan pudra olarak mevcuttur. İstenen cilalamaya bağlı olarak çelik veya döküm demirin kaba ve son cilamasında kullanılır [12].

Elmas cilalama bileşikleri, metalografik numunelerin hazırlanmasında artan bir biçimde popüler hale gelmiştir. Elmas yeterince sert olan tek madde ve bor karbid ve cürufu tungsten gibi malzemelerin mekanik cilalaması için yeterince iyi kesim kalitesine sahiptir. Hem sert hem de yumuşak bileşenlere sahip numuneler, mesela dökme demirde grafit ve alüminyumda silikon gibi, elmas bileşiklerle uygun bir sarmal üzerinde gevşemeye neden olmadan cilalanabilirler. Bu cilalama bileşikleri ya sulu çözücü veya yağ çözücü taşıyıcı veya 0.25 mikrona kadar düşük boyutlarda kuru elmas tozu halinde mevcuttur [12].

3.3.3.3. Otomatik parlatma

Parlatma Kağıdı	Kuvvet (lbf)	Süre (min)	Dönme Hızı (rev/min)	Aşındırıcı	Kayganlaştırıcı
3 μ m	20	4	150	3 μ m Diamond Spray	Diamond Blue Suspension
OPS	20	5	150	Oxide Polier Suspension	Diamond Blue Suspension

Tablo 3.3-2. Parlatma aşamaları ve parametreleri

High quality preparation of most metallographic specimens often can be expedited by the use of automatic polishers. Automatic polishing equipment usually allows the preparation of several specimens simultaneously. Some methods of specimen preparation can be done only with automatic polishers, such as remote polishing of radioactive materials, chemical-mechanical polishing, and polishing in special atmospheres. There is no ideal automatic polisher; each has its merits and shortcomings and each metallographer must determine which is best for his particular requirements [12].

3.3.4. Numunelerin Temizlenmesi, Kurutulması ve Asit ile Dağlanması

Numuneler, aşındırıcı parçacıkların bir sonraki aşamaya taşınmasından sakınmak amacıyla her bir zımpara ve cilalama adımından sonra temizlenmelidir. Deterjan içeren sulu solüsyonlar mükemmel temizleyicilerdir ve ultra sonik temizleme de etkili bir tekniktir. Numunenin temizliği en az operatörün ellerinin

temiz olması kadar önemlidir. Zımpara ekipmanının uçuşan aşındırıcı parçacıklarla kirlenmesinden kaçınılmalıdır [12].

Numunenin ılık akarsuda yıkanıp temizlenmesi ve metanol veya artık bırakmayan herhangi diğer alkollerle ovalnamsı ve sıcak hava akımı ile kurtulması tercih edilir. Aşındırıcı taşıyıcının suda çözünür olmadığı durumlarda alkol genellikle yıkama işleminde kullanılır. Deneyimlerimde pas, toz ve yağı temizlemek için etanol (C_2H_5OH) kullanıldı. Tüm aşamalarda 2 dakikalık alkol dağlaması uygulanmıştır.



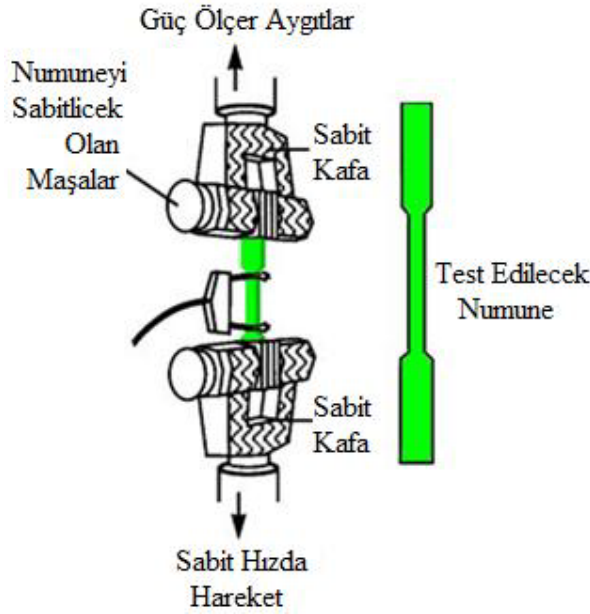
Şekil 3.3-10. Titreşimli numune temizleme makinesi

Bütün numunelerin dağlanması için %10 HNO_3 çözeltisi 10 saniye boyunca uygulanmıştır. Sonrasında tüm numuneler su ile durulanarak mikroskop analizi için kurutulmuş ve hazır hale getirilmiştir.

3.4. Çekme Testi

Çekme testi muhtemelen malzemeye uygulanabilinecek en esas mekanik testlerdendir. Çekme testleri kolay, diğer malzeme testlerine nazaran daha ucuz ve tamamiyle standardize edilmiştir. Herhangi bir malzemeyi çekerek, malzemenin kuvvetlere nasıl tepki göstereceğini hemen belirleyebiliriz. Malzeme çekiliyorken, uzama boyunca ki mukavemeti bulunur [13].

Çekme testleri ile cisim hakkında birçok özelliği öğrenilebilir. Malzeme kopuncaya kadar çekmeye devam edilirse, tam ve iyi bir çekme profili elde edilebilir. Kuvvetlerin uygulanması ile bunların malzemeye olan etkilerinin sonuçları bir eğriyle sonuçlandırılır. Eğrideki kopma noktası genellikle Maksimum Çekme Dayanımı UTS ile adlandırılır [13].



Şekil 3.4-1. Çekme testi şematiği [15]

Çekme testleri basit ve uzun zamandır uygulanmasına rağmen, geçerli sonuçlara ulaşabilmek için bazı hesaplamalar ve varsayımlarla doğrulanmalıdır. Testle ilgili faktörler numune şekli ve boyutları, kulakçık dizaynları ve tutucuları, bunlar gibi daha fazlasıdır [17].

3.4.1. Numune şekli

Numune şekli genellikle ASTM E8 ya da D638 standartları ve özelleştirmelerine göre hazırlanır. Numunelerin şekli kulakçıkların kırılmasını veya kopmasını engellemek için önemlidir. Bu yüzden, standartlar geliştirilmiş ve boyun kısmı bu noktadan kopmasının kesinleştirilmesi için kesit olarak daraltılmıştır (genellikle 2 inch kullanılmaktadır). Bu durum boyun kısmında kesit alanının küçülmesi ile birlikte sabit yükte daha fazla gerilimin artmasını sağlamaktadır [13].

$$\sigma = \frac{\text{Load}}{\text{Area}} = \frac{P}{a}.$$

3.4.2. Tutucak ve yüz seçimi

Tutucak ve yüz seçimi çok önemli bir faktördür. Uygun bir kurulum seçilmezse malzeme kayabilir hatta sıkıştırılan bölgeden kırılabilir (jaw break). Bu durum geçersiz sonuçlar doğurur. Kulakçıklar tamamen çekme makinası kafasıyla kavranmalıdır. Eğer malzeme sünek ise tırtıklı kulakçıklar kullanılması sakıncalıdır. Kimi zaman tırtıklı yüzeylere film ile kaplamak malzemede oluşabilecek hasarı önler [13].

3.4.3. Numune hizalanması

Numunenin dikey olarak hizalanması numunede oluşabilecek yan yüklemeler ve bükme momentlerinden sakınmak için gerekli önemli bir faktördür. Numuneyi çekme testi cihazına önce üst kulakçık sonra serbest kalan alt kulakçık bağlanması şeklinde uygulanır [13].

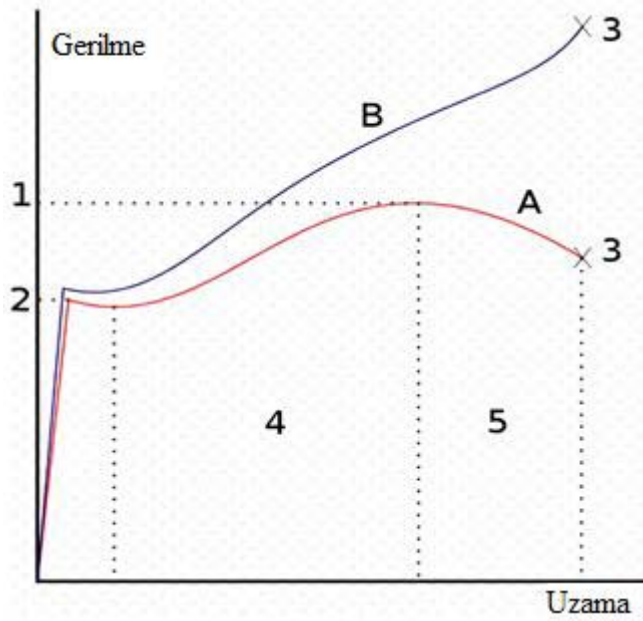
3.4.4. Rapor sonuçları

Laboratuvarda bir çok veri elde edilir. Verilerin hangi metodlar ve varsayımlar kullanılarak elde edildiği önemlidir ve belirtilmelidir. ASTM İnternasyonal (American Society for Testing and Materials) test methodları ya da diğer test yöntemleri ve doğru test hızları, yükleme profili ve hesaplamaları kullanılır [14].

Uygulanan testin derecesi çekme özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Plastik, polimer ve çelik malzemelerde çekme özellikleri test derecesine çok duyarlıdır, ama alüminyum alaşımları az duyarlılık gösterir. Şekil değiştirmeye duyarlı malzemeler daha yüksek çekme mukavemeti ve yüksek hızlarda daha az uzama gösterir. Bu yüzden bütün test derecelerinin yönetmelik tarafından standardize edilmelen limitler arasından kalmaları önemlidir [14].

ASTM standartları çekme testi cihazlarının kuvvet ve şekil değişimi ölçen cihazların yıllık olarak kalibrasyonunu şart koşar. Eğer herhangi bir cihaz zarar görmüş veya aşırı fazla kullanıldıysa daha fazla kalibrasyon yapılmalıdır. Kalibrasyon zamanları kayıtlarda tutulmalı ki cihazı değiştirme veya yenileme zamanı belirlenebilsin. Her cihazın kendine özgü bir belirli bir sonuç aralığı vardır ve bu belirli sonuç aralığı dışında rapor sağlanamaz [14].

2001’de ASTM E4 Standard Practices for Force Verification of Testing Machines de yapılan değişiklikler ile minimum bildirilebilir kuvvet, verilen aralıktta 100 ile 200 kere kuvvet verileri kadar artmıştır. Göstergeler ve kayıt cihazları işaret ile iğne arasındaki uzaklığa bağlıdır. Genellikle bu cihazlarla verilerin ne olacağı belli değildir ve veriler interpolasyona tabi tutulur. Yeni E4’e göre, kuvvet aralığında alt sınırdta olan testler bundan sonra geçerli olmayacaktır [14].



şekil 3.4-2. Gerilme – Uzama Eğrisi;1:Kopma mukavemeti, 2:Akma sınırı (elastik limit), 3: Kopma, 4: Elastikiyet Bölgesi, 5: İncelme Bölgesi, A: Gerçek gerilme (F/A_0), B: Hayali gerilme (F/A) [16]

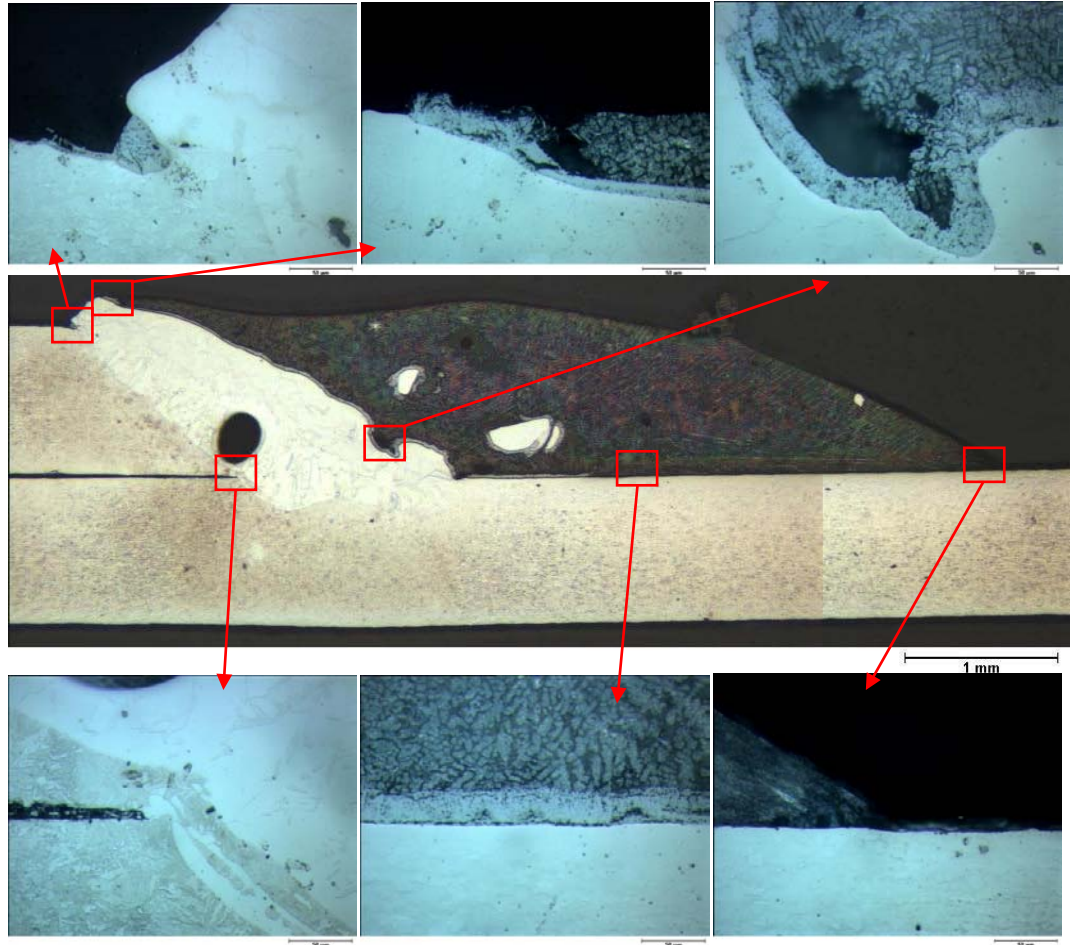
Hasar görmüş makine parçaları eğilme gerilmelerine sebep olabilecek, çekme gerilmelerini düşüren hizalama bozukluklarına yol açabilir. Test makinasının hizalaması kontrol edilmelidir ve çekme kulakçıklarının tam çekme aralığı doğrulanmalıdır [14].

Mikroprocess test sistemlerin gelişiyle, uygulanan yükler sıfırlanarak daha düşük yükler okunulabilir. Bunu önlemek için üst kulakçık sabitlendikten sonra okuyucu sıfırlanarak alt kulakçık sabitlemesine gidilebilir [14].

4.SONUÇLAR

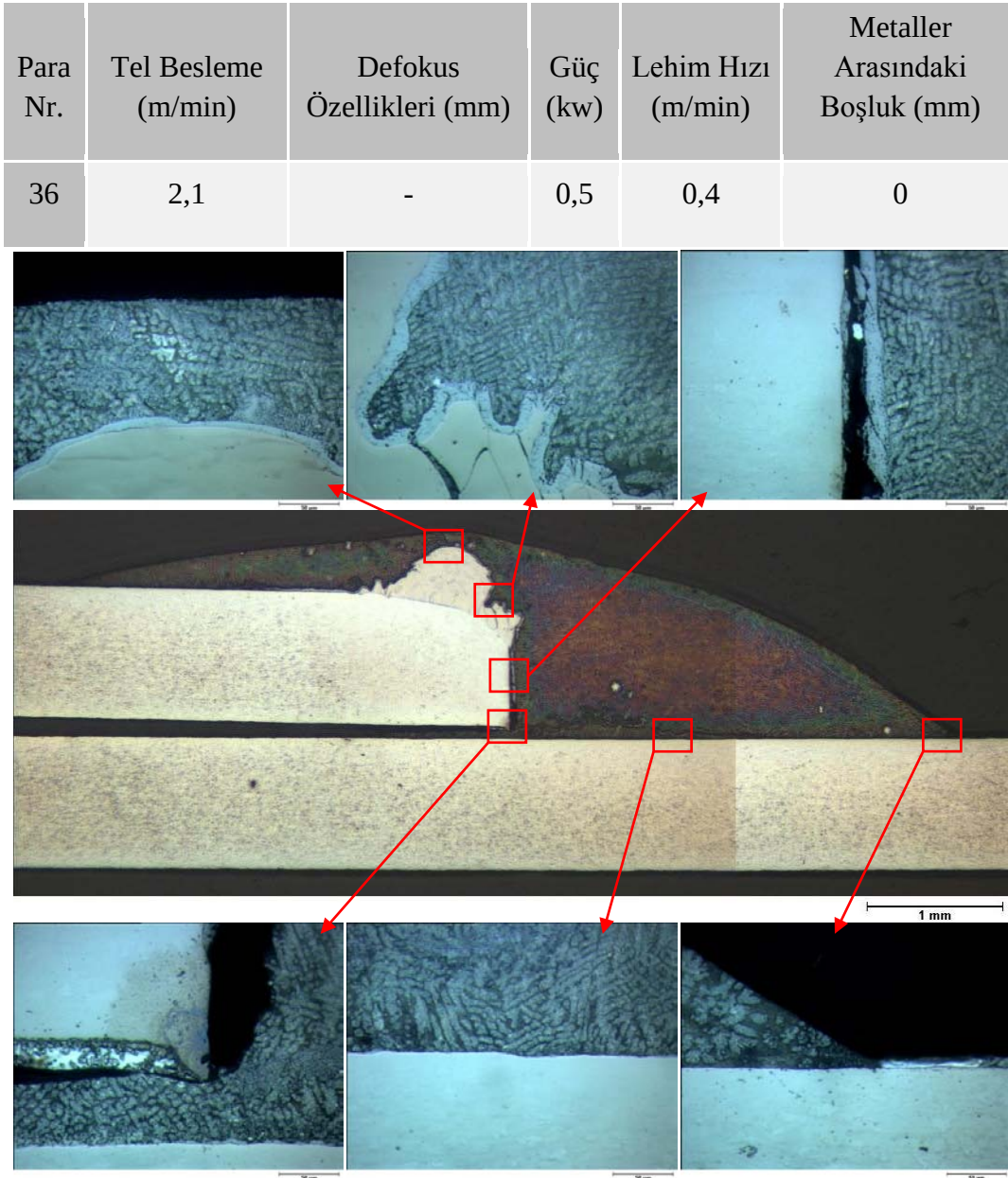
4.1. Işık Mikroskop Analizleri

Para Nr.	Tel Besleme (m/min)	Defokus Özellikleri (mm)	Güç (kw)	Lehim Hızı (m/min)	Metaller Arasındaki Boşluk (mm)
24	7	-	1,5	0,9	0



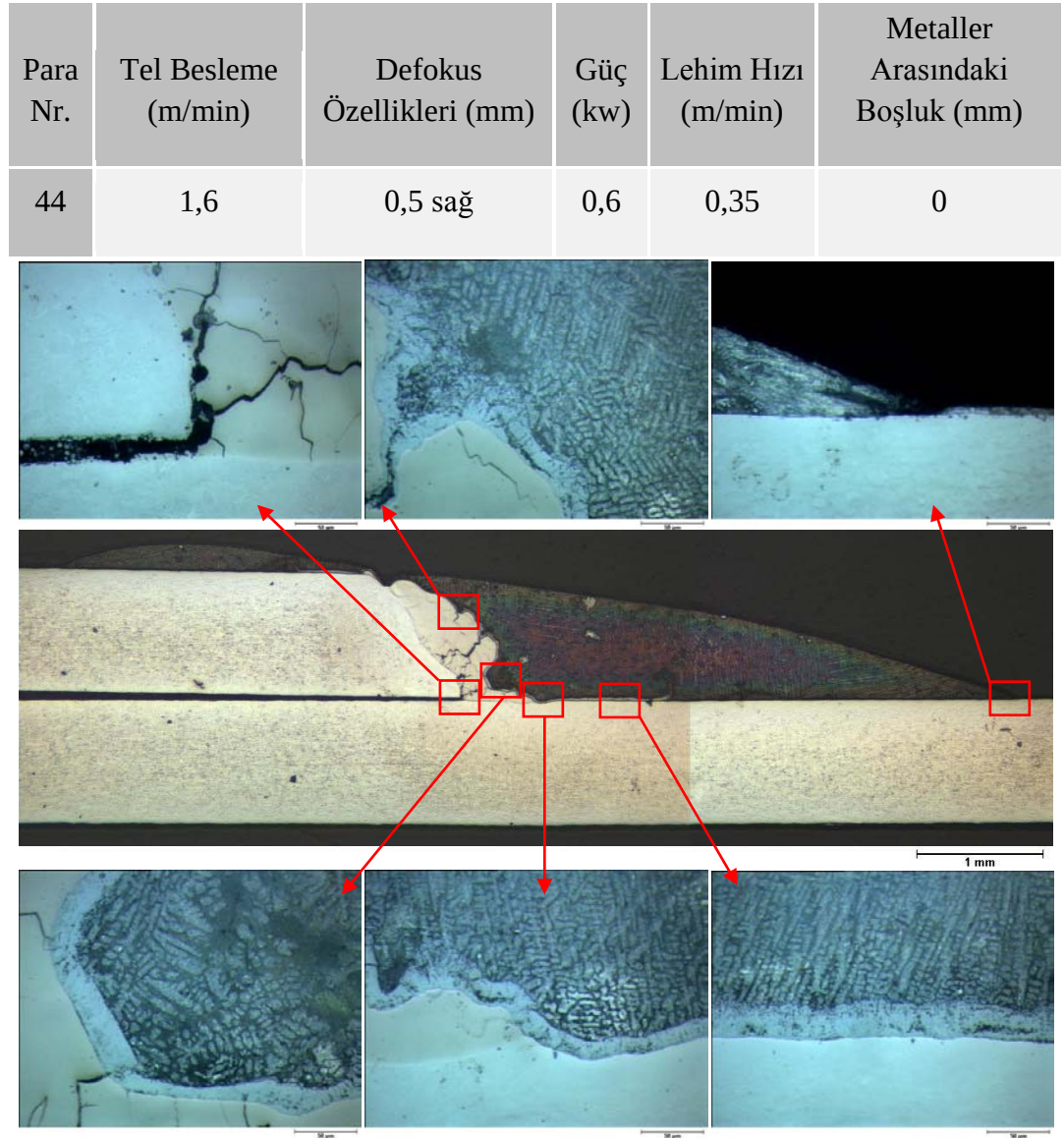
Şekil 4.1-1. Parametre 24 ışık mikroskobu fotoğrafları

Parametre 24 ışık mikroskobu fotoğrafları çekilen ilk numunedir ve numune birçok sorun içermektedir. Lehimlenecek çeliklerin büyük bir kısmı lehim prensibine aykırı olarak erimiştir ve hatta bir kısmı $AlZn_{15}$ alaşımı içerisinde çözünmüştür. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında 40 μm civarındadır ve tabakanın gayet kırılgan yapıda olması beklenmektedir. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.



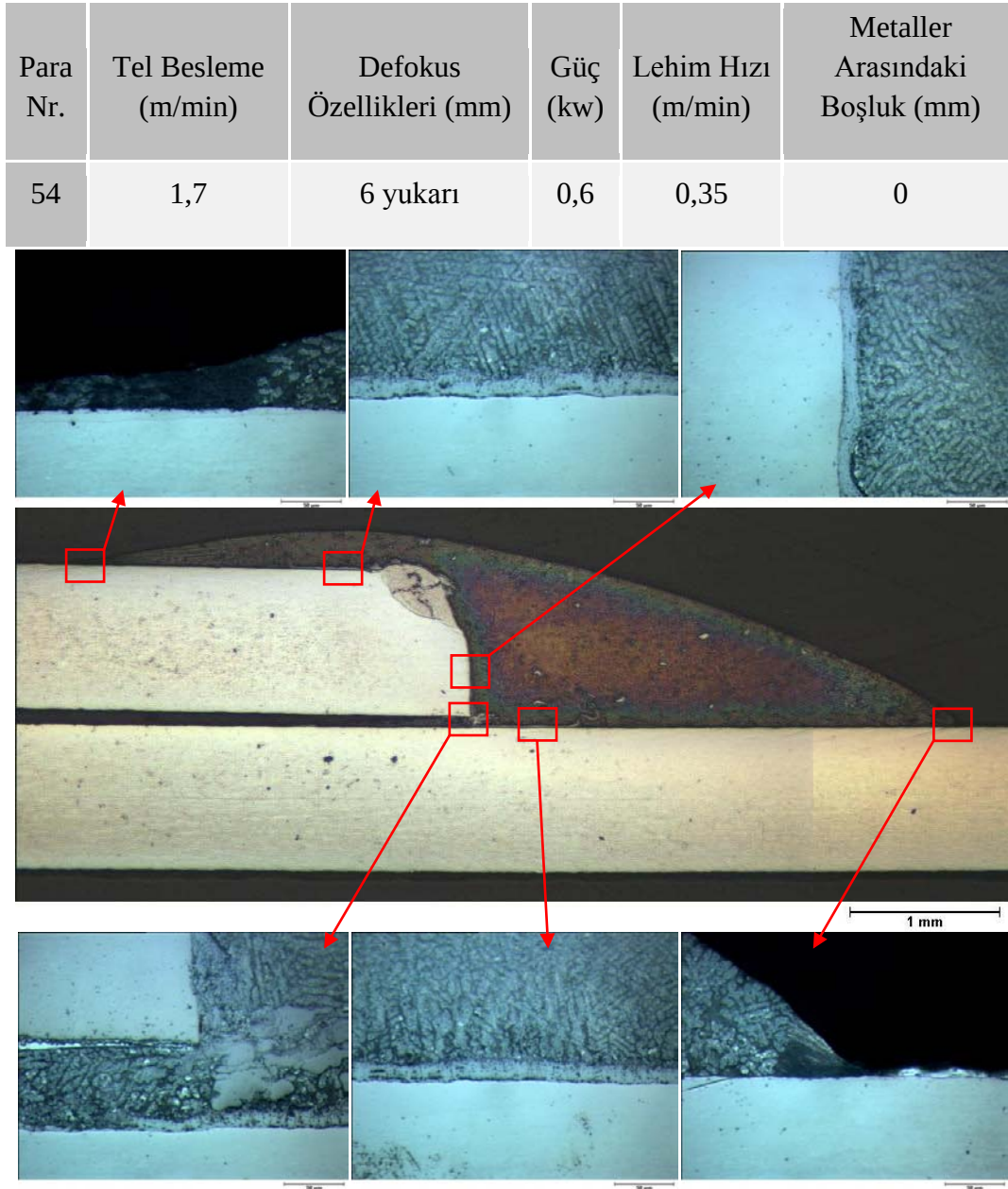
Şekil 4.1-2. Parametre 36 ışık mikroskobu fotoğrafları

Lehimlenecek üst çelik köşesindeki ısı etkisi azaltılmıştır ve buna bağlı olarak parametre 36'da daha az miktarda çelik erimesi gözlenmektedir. Daha az erime gözlenmesine rağmen bu parametre bulguları da lehimleme prensiplerine aykırıdır. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında 15 μm civarındadır, fakat AlZn_{15} alaşımı ile üst çelik arasında büyük bir çatlak gözlenmektedir. Buna ek olarak alt çelik ile AlZn_{15} alaşımı arasında intermetallik tabaka oluşmamıştır, bu durum çeliğin yeterli şekilde alaşım tarafından ıslatılmamasından kaynaklanmaktadır. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.



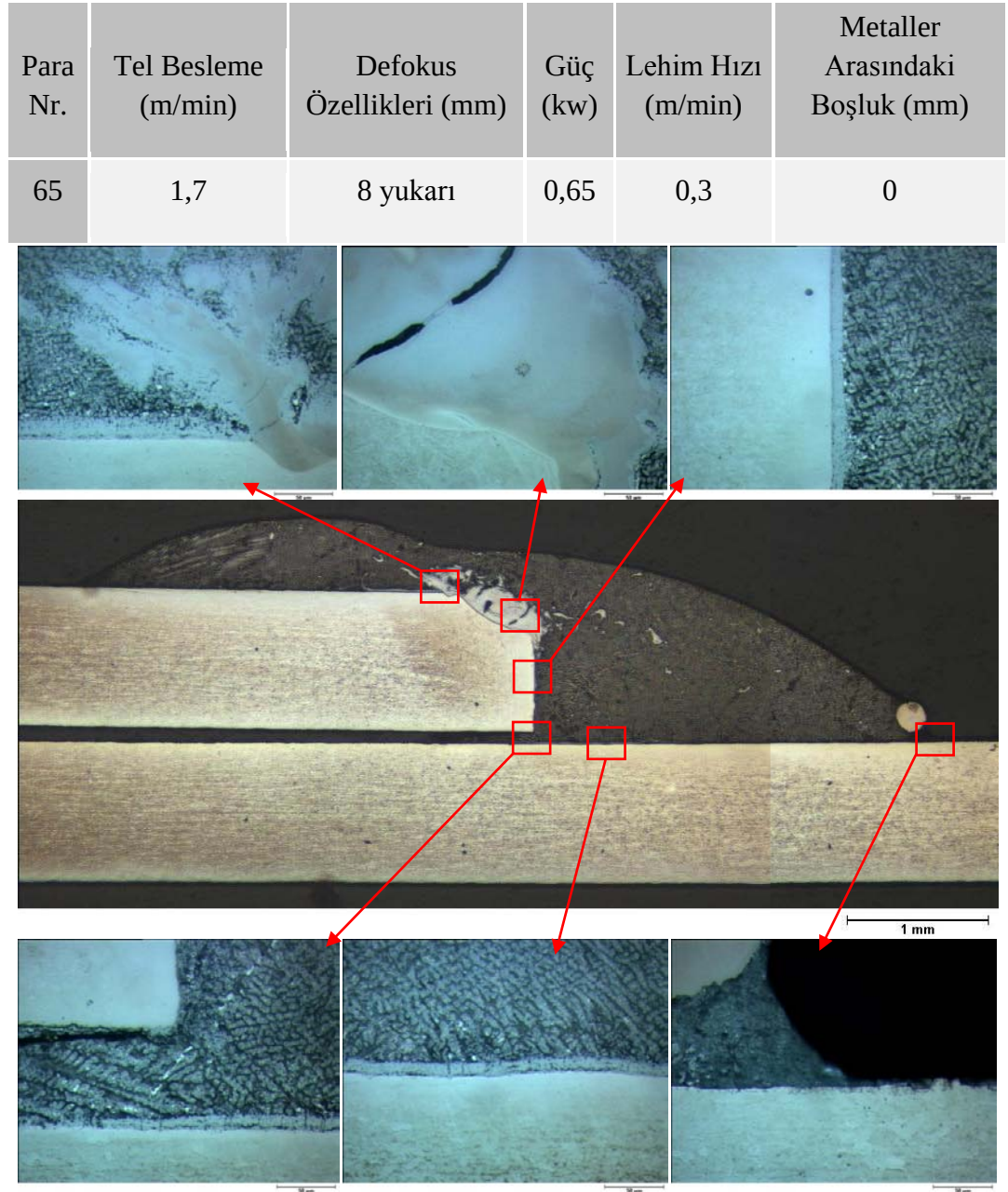
Şekil 4.1-3. Parametre 44 ışık mikroskobu fotoğrafları

Parametre 44’de lehimlenecek üst çeliğin büyük bir kısmı erimiştir. Bu daha önce de olduğu gibi istenmeyen bir durumdur. İntermetallik tabaka lehimlenecek üst çelik ile $AlZn_{15}$ alaşımı arasında $25\ \mu m$ civarındadır, alt çelik ile $AlZn_{15}$ alaşımı arasında ise $40\ \mu m$ ’ye kadar ulaşmaktadır. Bu tabakaların kırılgan olmaları beklenmektedir. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.



Şekil 4.1-4. Parametre 54 ışık mikroskobu fotoğrafları

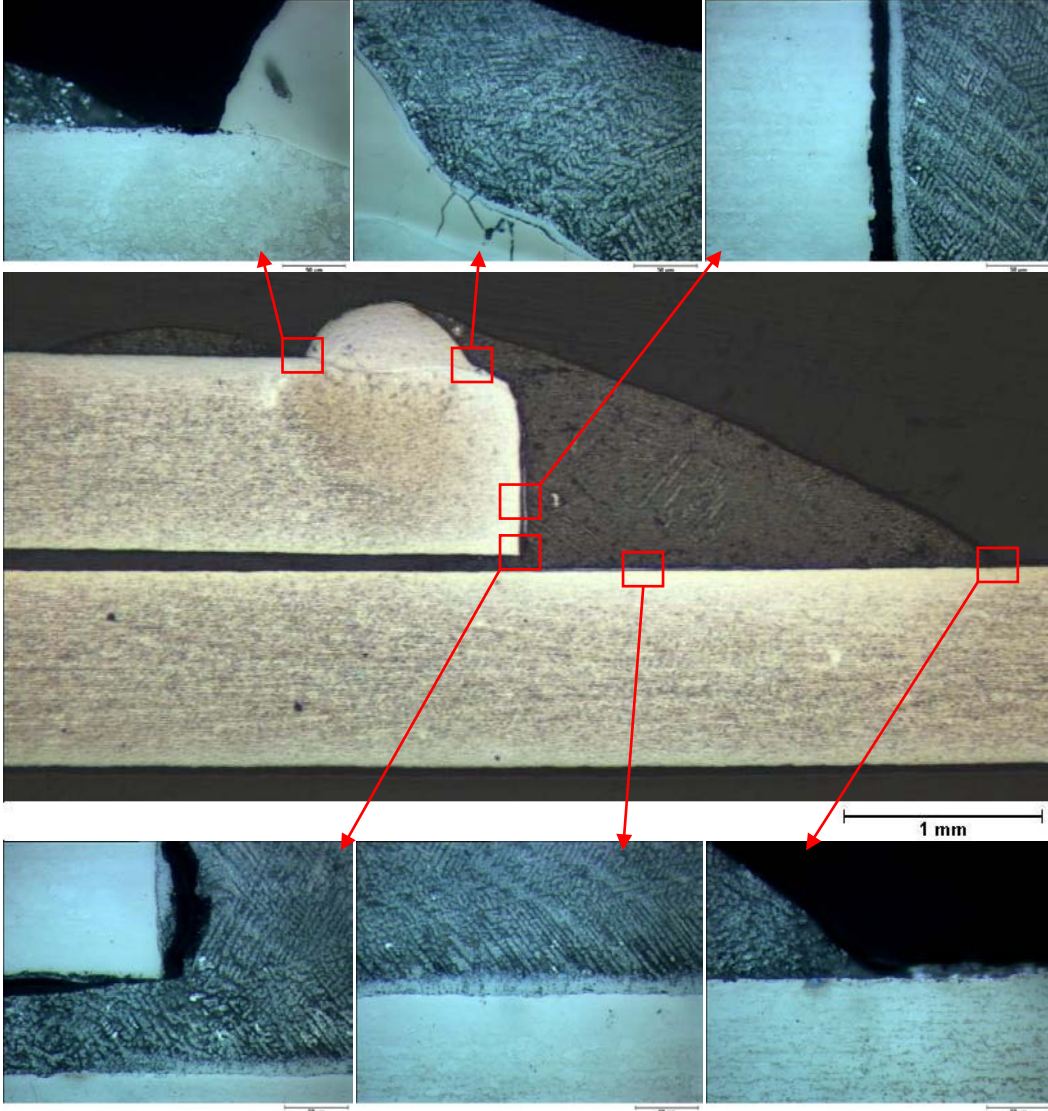
Lehimlenecek üst çelik köşesindeki ısı etkisi azaltılmıştır ve buna bağlı olarak parametre 54’de daha az miktarda çelik erimesi gözlenmektedir. Daha az erime gözlenmesine rağmen bu parametre bulguları da lehimleme prensiplerine aykırıdır. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında 17 μm civarındadır, çelik ile AlZn_{15} alaşımı arasında düzgün bir bağlantı elde edilmiştir. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.



Şekil 4.1-5. Parametre 65 ışık mikroskobu fotoğrafları

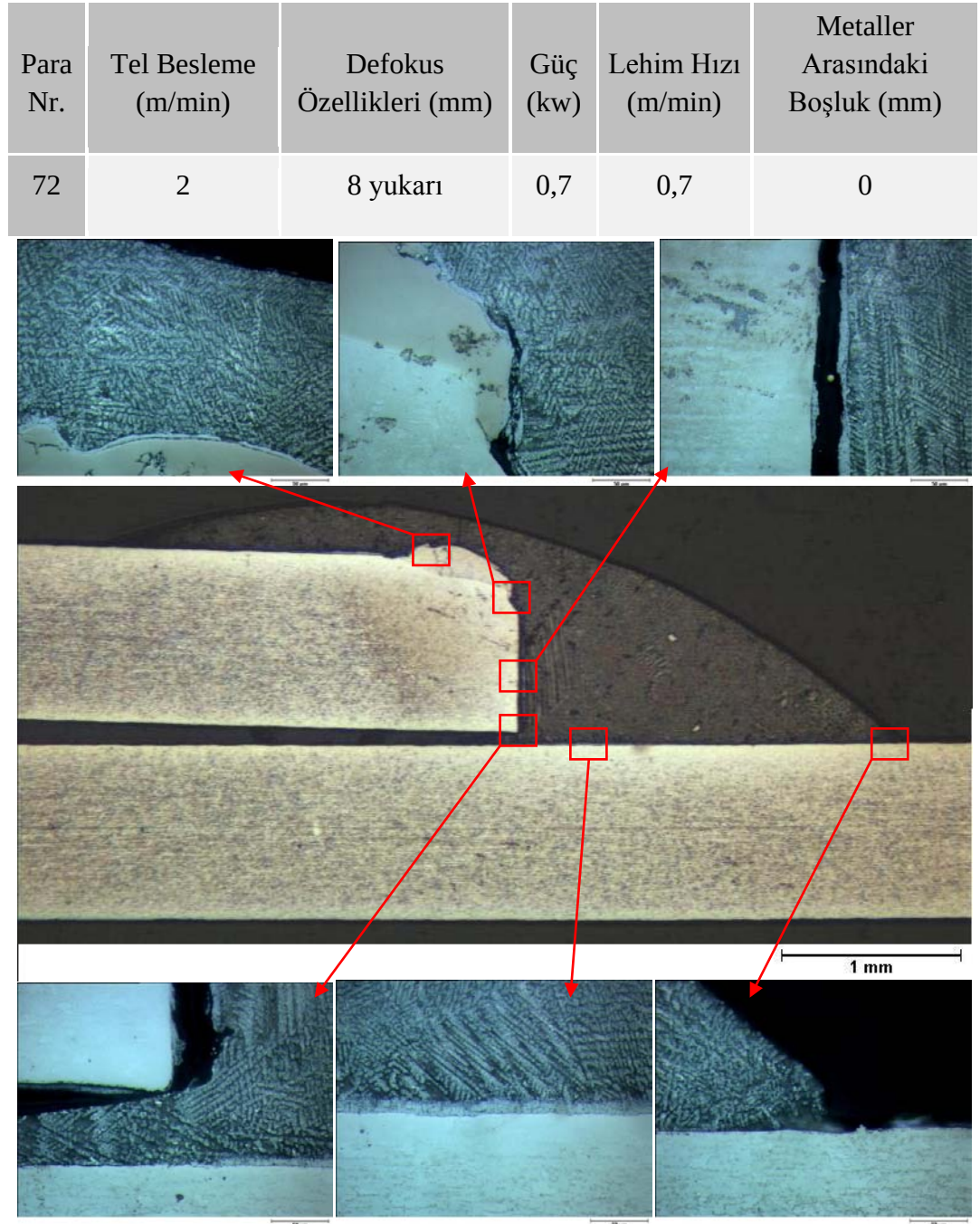
Parametre 65’de az miktarda çelik erimesi gözlenmektedir. Besleme telinin çok fazla olduğu gözlenmektedir. Üst çelik üzerinde gereksiz alaşım yığılması olmuştur. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında 14 μm civarındadır, çelik ile AlZn_{15} alaşımı arasında düzgün bir bağlantı elde edilmiştir. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.

Para Nr.	Tel Besleme (m/min)	Defokus Özellikleri (mm)	Güç (kw)	Lehim Hızı (m/min)	Metaller Arasındaki Boşluk (mm)
69	1,7	8 yukarı	0,65	0,6	0



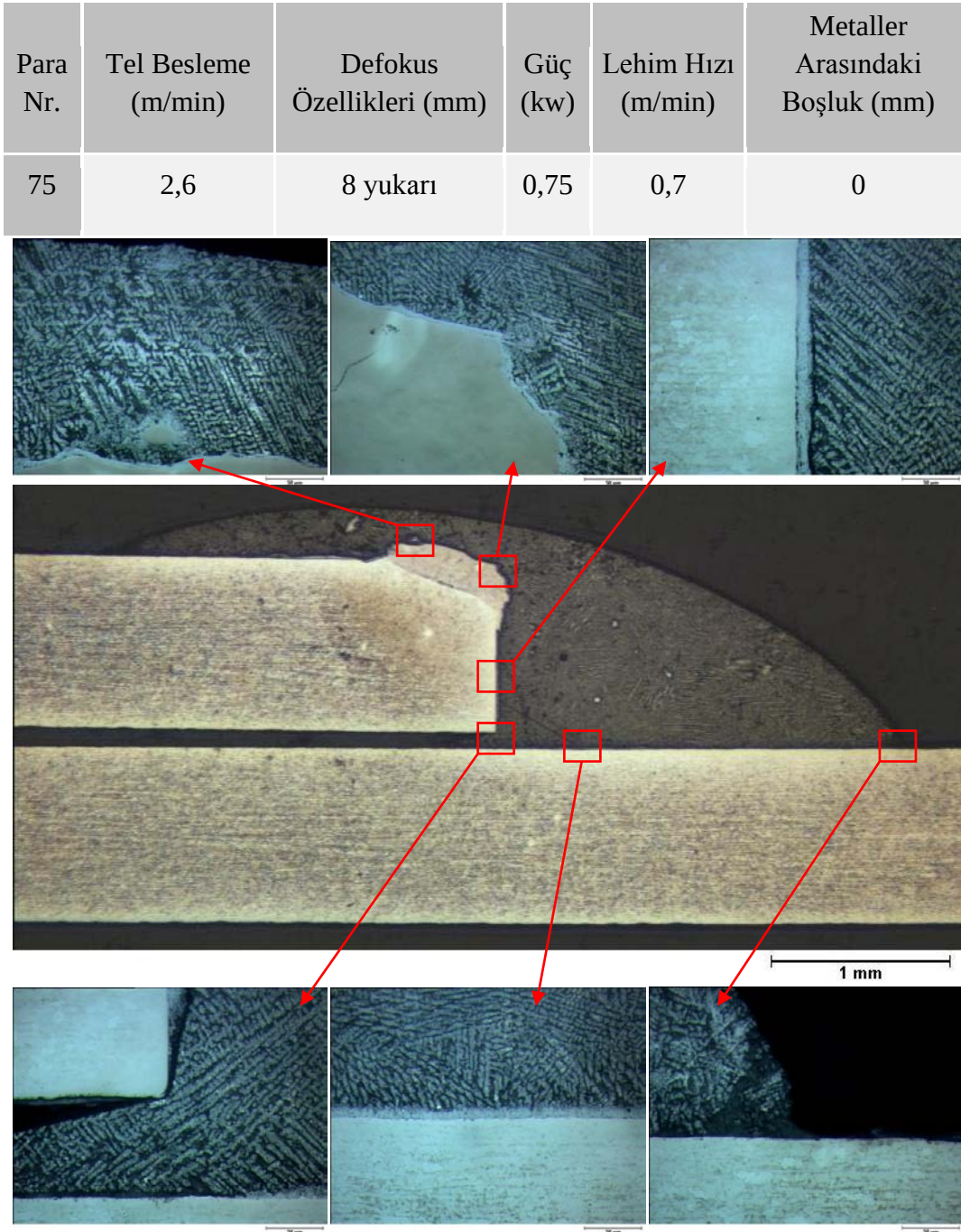
Şekil 4.1-6. Parametre 69 ışık mikroskobu fotoğrafları

Parametre 69’da üst çelik köşesin ısı etkisi ile eridiği gözlenmektedir. Üst çeliğin soluna doğru alaşım akışı bu sıcak lokal bölge tarafından engellenmiştir. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında 25 μ m civarındadır, üst çelik ile AlZn₁₅ alaşımı arasında büyük bir çatlak gözlenmektedir. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.



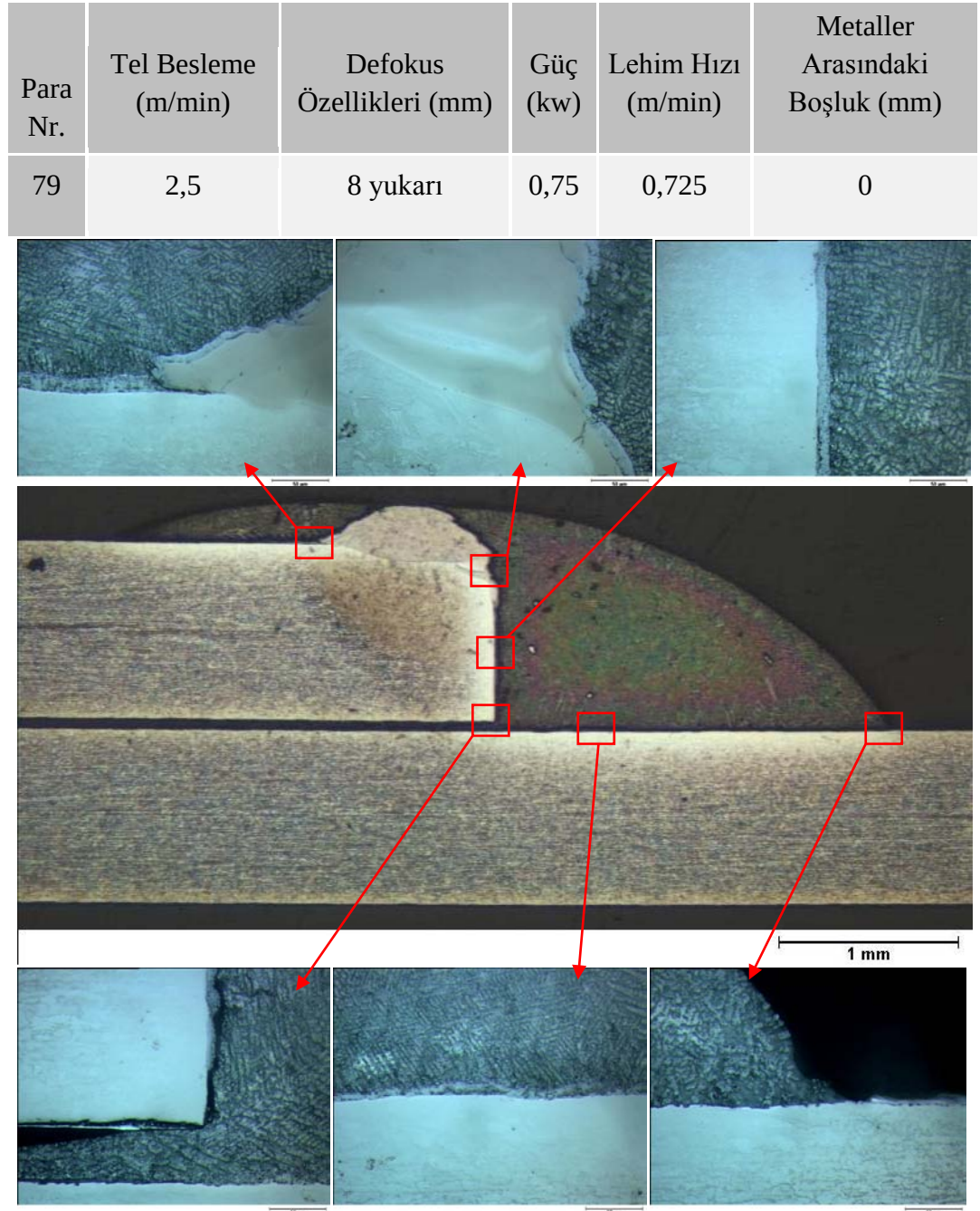
Şekil 4.1-7. Parametre 72 ışık mikroskobu fotoğrafları

Parametre 72’de üst çelik köşesin ısı etkisi ile az da olsa eridiği gözlenmektedir. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında 13 μm civarındadır. Bu gibi ince tabakaların mukavemet değerlerinin yüksek olduğu bilinmektedir ancak, üst çelik ile AlZn_{15} alaşımı arasında büyük bir çatlak gözlenmektedir. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.



Şekil 4.1-8. Parametre 75 ışık mikroskobu fotoğrafları

Parametre 75’de üst çelik köşesinde çelik erimesi gözlenmektedir. Besleme telinin çok fazla olduğu gözlenmektedir. Üst çelik üzerinde gereksiz alaşım yığılması olmuştur. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında 15 μm civarındadır, çelik yeterince ısınmadığından AlZn_{15} alaşımının lehimlenecek çelikler arasına düzgün sızmadığı- dolduramadığı gözlenmektedir. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.

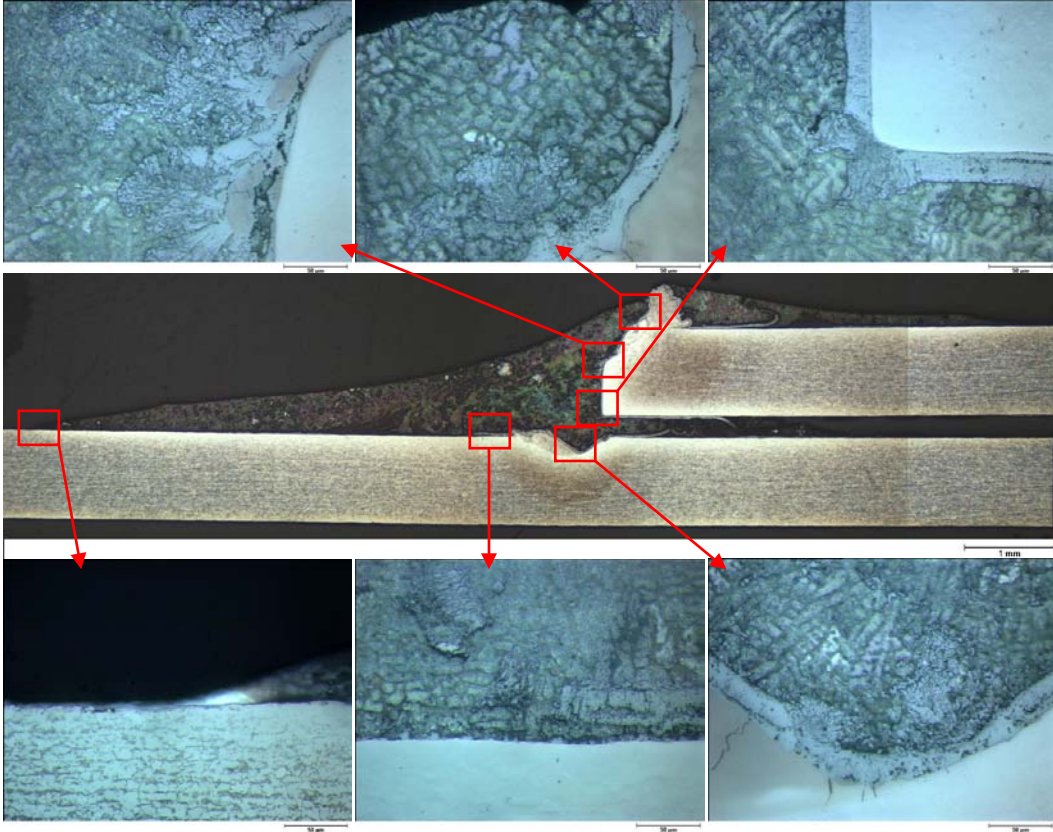


Şekil 4.1-9. Parametre 79 ışık mikroskobu fotoğrafları

Parametre 79’da üst çelik köşesinin eridiği gözlenmektedir. Buradaki lokal sıcak bölge yüzünden alaşım üst çeliğin soluna doğru ilerleyememiştir. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında 10 μm civarındadır, ve elde edilmeye çalışılan en iyi incelikte ki tabaka kalınlığı değerlerindendir, birleşme bölgesinde yüksek mukavemet sağlayacaktır. Ancak üst çelik ile AlZn_{15} alaşımı arasında ufak bir çatlak gözükmemektedir. Bu çatlak istenmeyen bir olgudur. Lehim

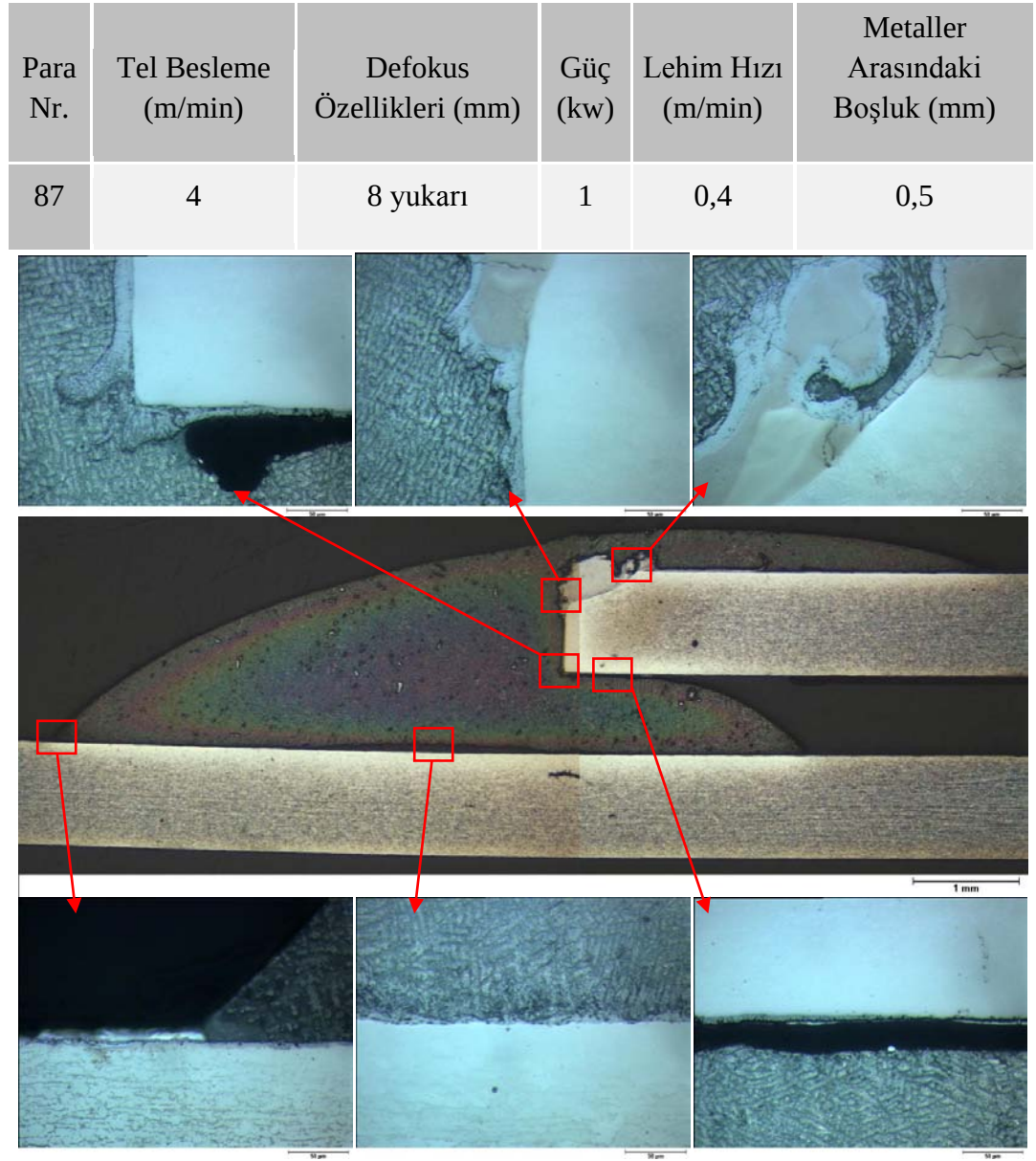
geometrisi tam olarak istenildiği gibi oluşmamıştır. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.

Para Nr.	Tel Besleme (m/min)	Defokus Özellikleri (mm)	Güç (kw)	Lehim Hızı (m/min)	Metaller Arasındaki Boşluk (mm)
85	2,5	8 yukarı	1	0,3	0,2



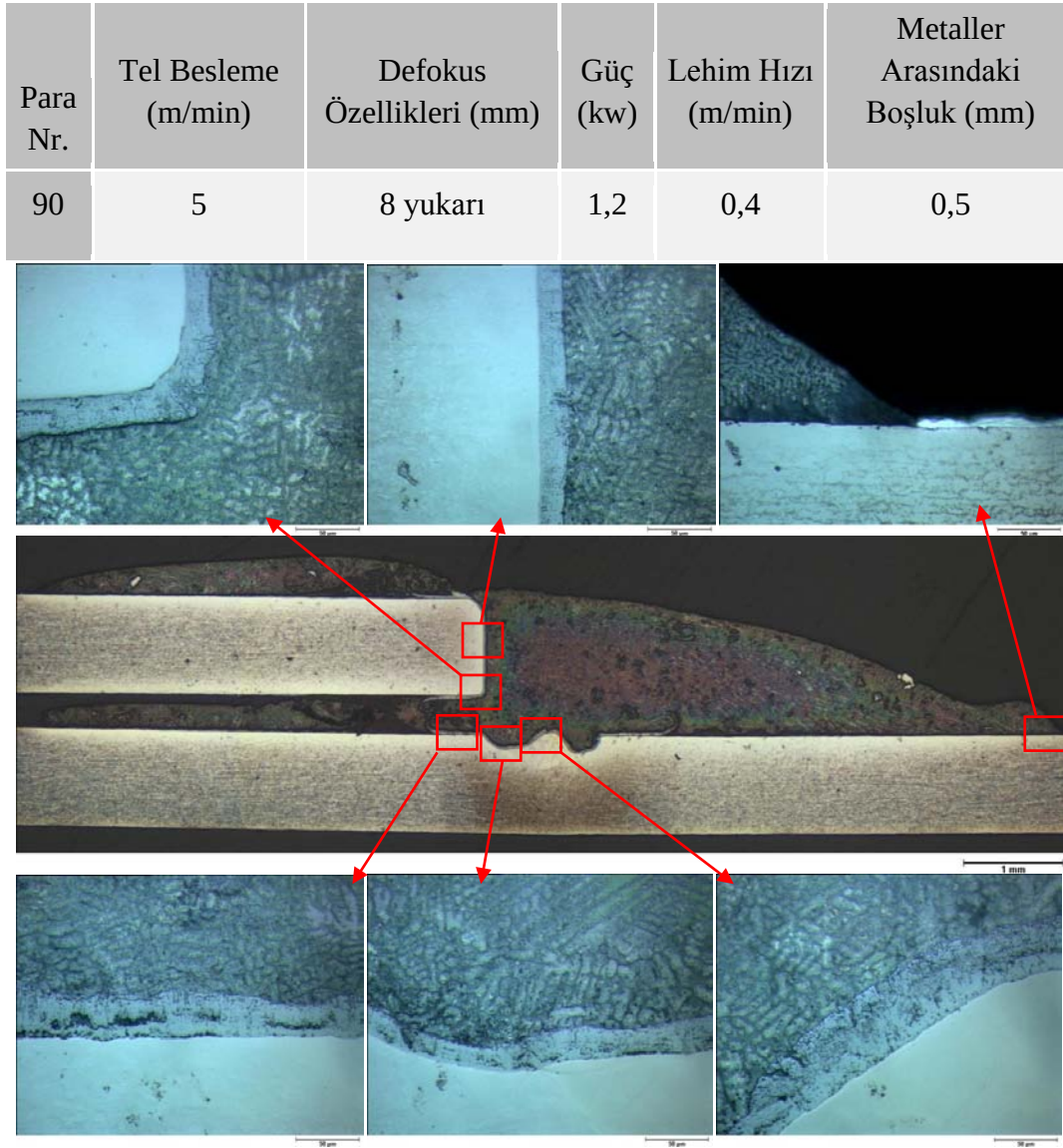
Şekil 4.1-10. Parametre 85 ışık mikroskobu fotoğrafları

Parameter 85’de üst ve alt çelik üzerindeki ısı etkisi çok fazla olduğundan iki çelikte de yüksek oranda erime gözlenmektedir. Yeterli miktarda ısındığı anlaşılan çelikler arasına $AlZn_{15}$ alaşımı çok iyi şekilde nüfuz etmiştir. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında 21 μm civarındadır ve kırılgan yapıda olması beklenmektedir. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.



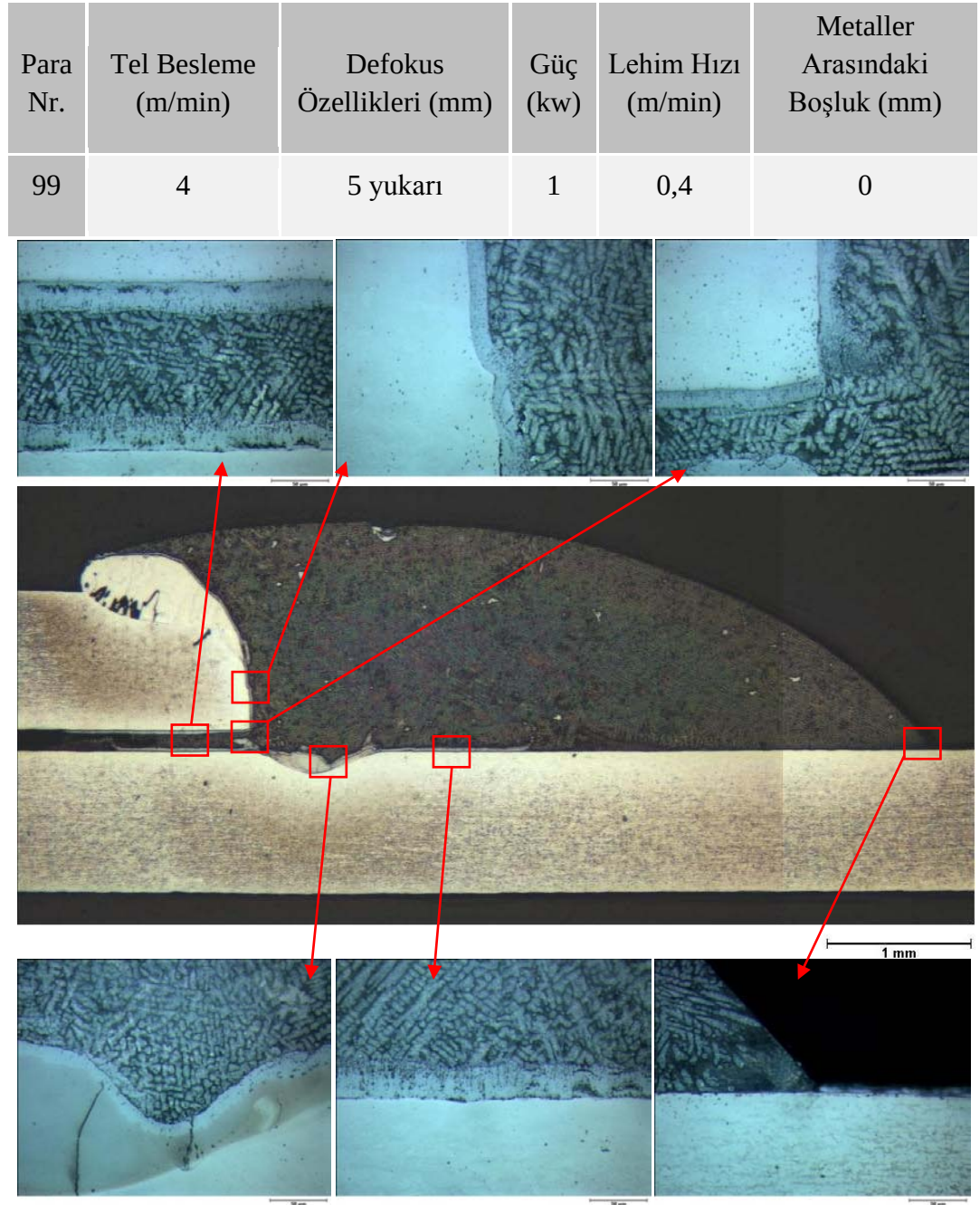
Şekil 4.1-11. Parametre 87 ışık mikroskobu fotoğrafları

Parameter 87’de üst ve alt çelik üzerindeki ısı etkisi çok fazla olduğundan iki çelikte de yüksek oranda erime gözlenmektedir. Yeterli miktarda ısındığı anlaşılan çelikler arasına $AlZn_{15}$ alaşımı çok iyi şekilde nüfuz etmiştir. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında 21 μm civarındadır ve kırılgan yapıda olması beklenmektedir. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.



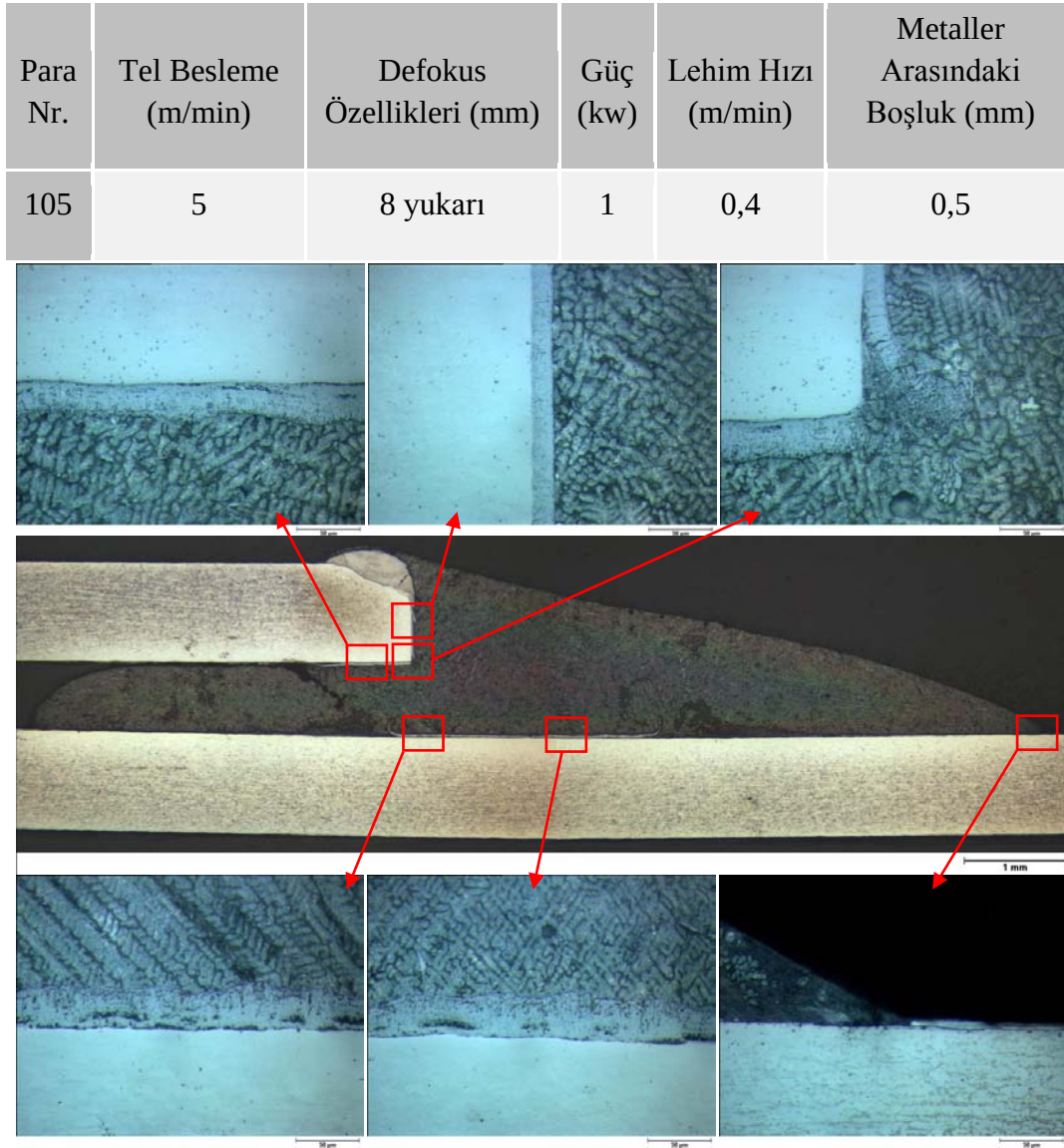
Şekil 4.1-12. Parametre 90 ışık mikroskobu fotoğrafları

Parameter 90’da alt çelik üzerindeki ısı etkisi çok fazla olduğundan yüksek oranda erime gözlenmektedir. Yeterli miktarda ısındığı anlaşılan çelikler arasına $AlZn_{15}$ alaşımı çok iyi şekilde nüfuz etmiştir. $AlZn_{15}$ alaşımı üst çeliğin sol tarafına doğru fazlaca ilerlemiştir. Bu fazla yığılma mukaveti arttırmayacaktır ve gereksizdir. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında 25 μm civarındadır ve kırılgan yapıda olması beklenmektedir. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.



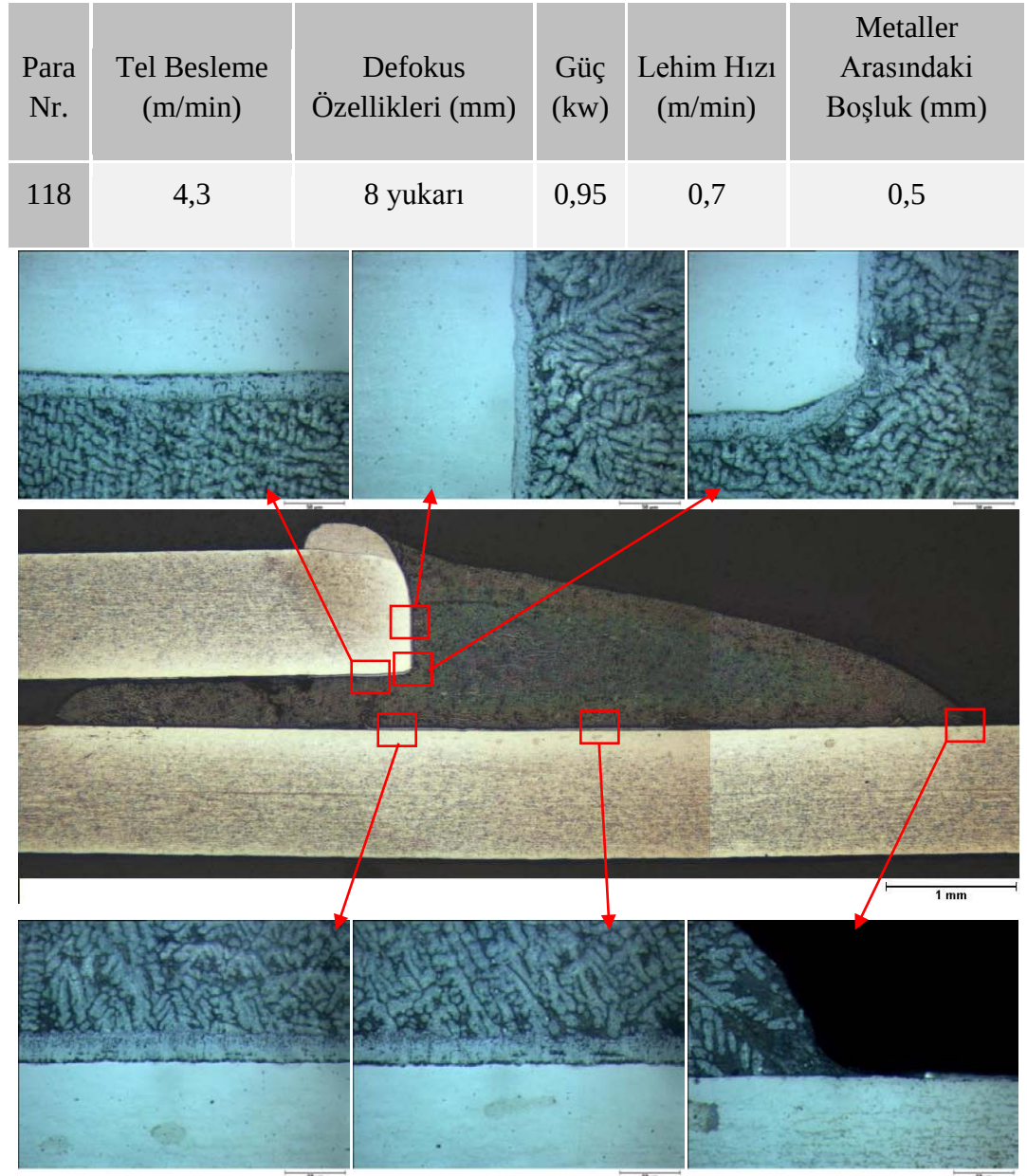
Şekil 4.1-13. Parametre 99 ışık mikroskobu fotoğrafları

Parameter 99'da üst ve alt çelik üzerindeki ısı etkisi çok fazla olduğundan iki çelikte de yüksek oranda erime gözlenmektedir. Çelikler arasında boşluk bırakılmamasına rağmen yeterli miktarda ısındığı anlaşılan çelikler arasına $AlZn_{15}$ alaşımı çok iyi şekilde nüfuz etmiştir. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında $31\ \mu m$ civarındadır ve kırılgan yapıda olması beklenmektedir. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.



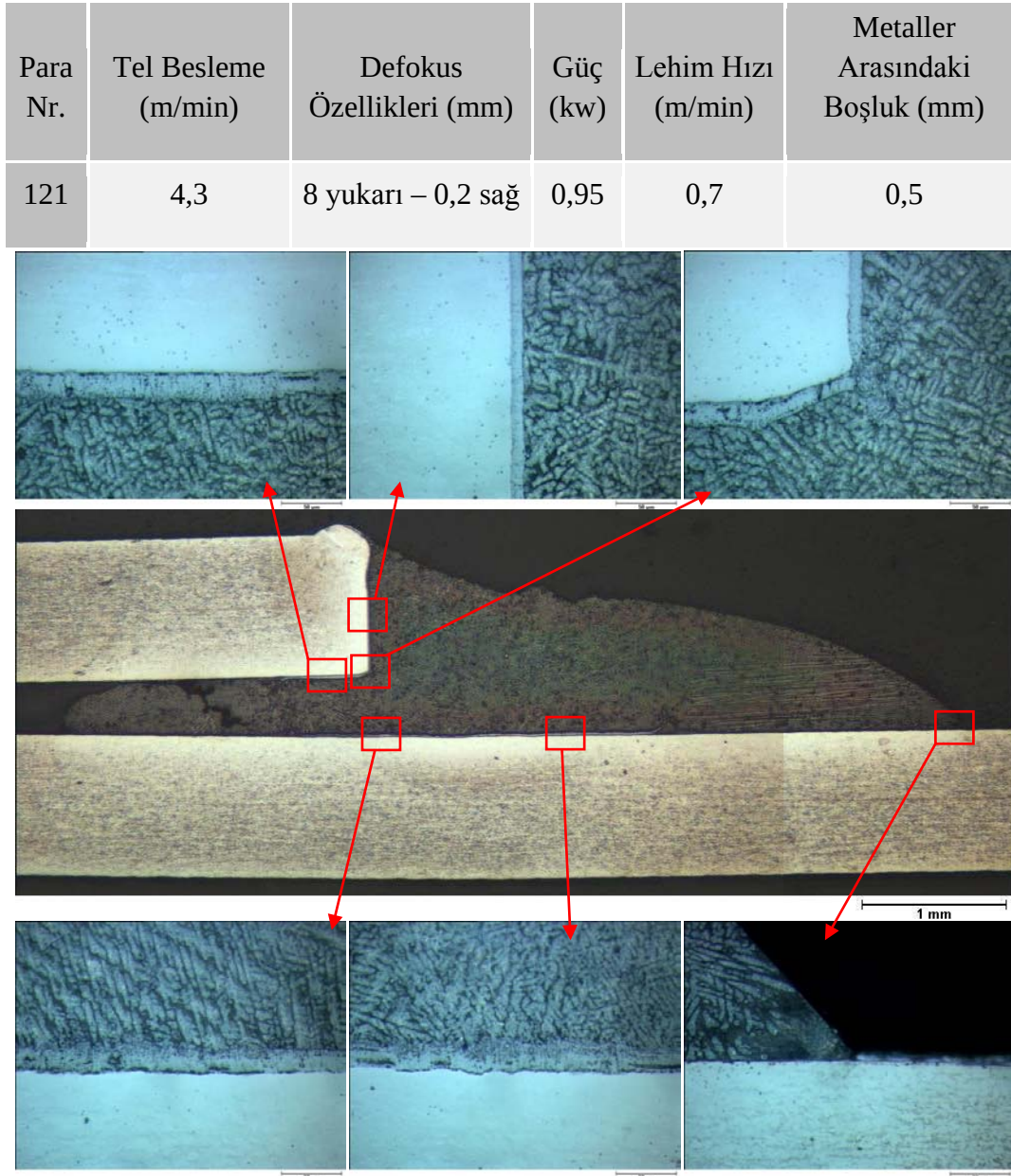
Şekil 4.1-14. Parametre 105 ışık mikroskobu fotoğrafları

Parametre 105’de üst çelik köşesinin az şekilde eridiği gözlenmektedir. Buradaki lokal sıcak bölge yüzünden alaşım üst çeliğin soluna doğru ilerleyememiştir, ancak lehim dikişinin geometrik şekli uygundur. Böylece gereksiz $AlZn_{15}$ alaşımından kaçınılmıştır. Yeterli miktarda ısındığı anlaşılan çelikler arasına $AlZn_{15}$ alaşımı çok iyi şekilde nüfuz etmiştir. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında 17 μm ve 26 μm civarındadır. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.



Şekil 4.1-15. Parametre 118 ışık mikroskobu fotoğrafları

Parametre 118’de üst çelik köşesinin az şekilde eridiği gözlenmektedir. Buradaki lokal sıcak bölge yüzünden alaşım üst çeliğin soluna doğru ilerleyememiştir, ancak lehim dikişinin geometrik şekli uygundur. Böylece gereksiz $AlZn_{15}$ alaşımından kaçınılmıştır. Yeterli miktarda ısındığı anlaşılan çelikler arasına $AlZn_{15}$ alaşımı çok iyi şekilde nüfuz etmiştir. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında $21\ \mu m$ civarındadır. Bunların yanında lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplama zarar görmemiştir.



Şekil 4.1-16. Parametre 121 ışık mikroskobu fotoğrafları

Parametre 121’de üst çelik köşesinin oldukça az şekilde eridiği gözlenmektedir. Bu orandaki erime gözardı edilebilir. Buradaki lokal sıcak bölge yüzünden alaşım üst çeliğin soluna doğru ilerleyememiştir, ancak lehim dikişinin geometrik şekli uygundur. Böylece gereksiz $AlZn_{15}$ alaşımından kaçınılmıştır. Yeterli miktarda ısındığı anlaşılan çelikler arasına $AlZn_{15}$ alaşımı çok iyi şekilde nüfuz etmiştir. İntermetallik tabaka kritik birleşme noktalarında 14 μm ile 19 μm civarındadır. Tam anlamıyla çok iyi sayılabilecek intermetallik tabaka kalınlığı elde edilememesine rağmen, lehim dikişi geometrik yapısı, çelik ve $AlZn_{15}$ alaşımı arasında ki bağlantılarda herhangi bir kusur ortaya çıkmamış olması,

deneyi yapılan parametreler arasında en düşük lazer gücü ile lehimin gerçekleştirilmiş olması, lehim bölgesi sonunda çelik üzerinde çinko kaplamanın zarar görmemiş olması ve çelikler arasına yüksek $AlZn_{15}$ alaşımı nüfuziyetinden dolayı daha ileri analizler yapılacaktır.

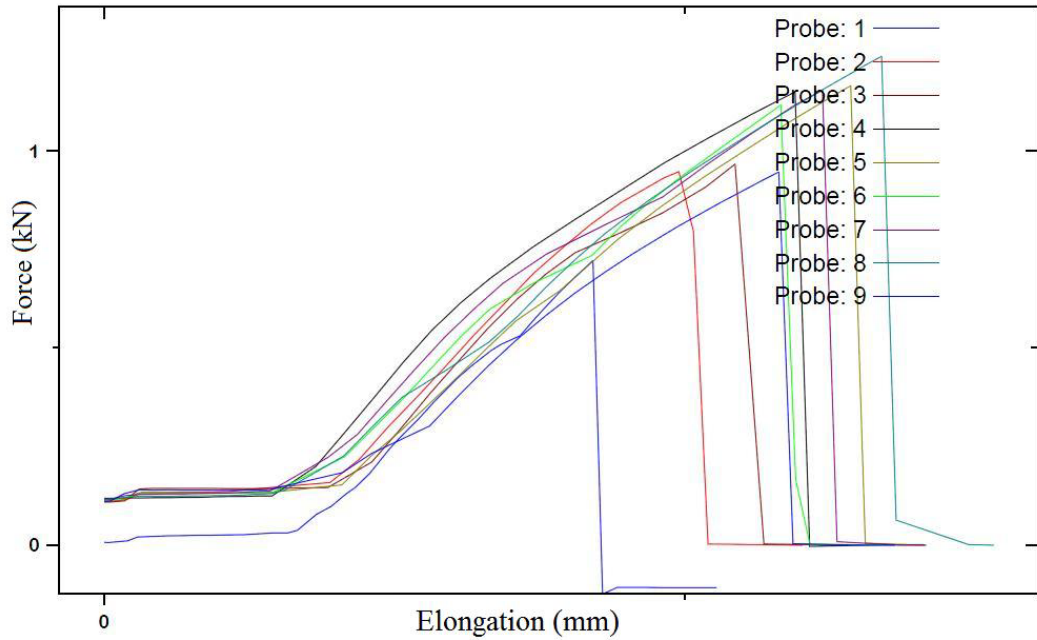
4.2. Çekme Testi Sonuçları

Parametre 121 listelenmiş koşullar ile çekme testine tabi tutulmuştur.

1. Numune çeki ilerleme hızı: 5mm/min
2. Kaydedilen data: 6,6670 Pkte/s
3. Ortam sıcaklığı: 25°C
4. Nem: %50

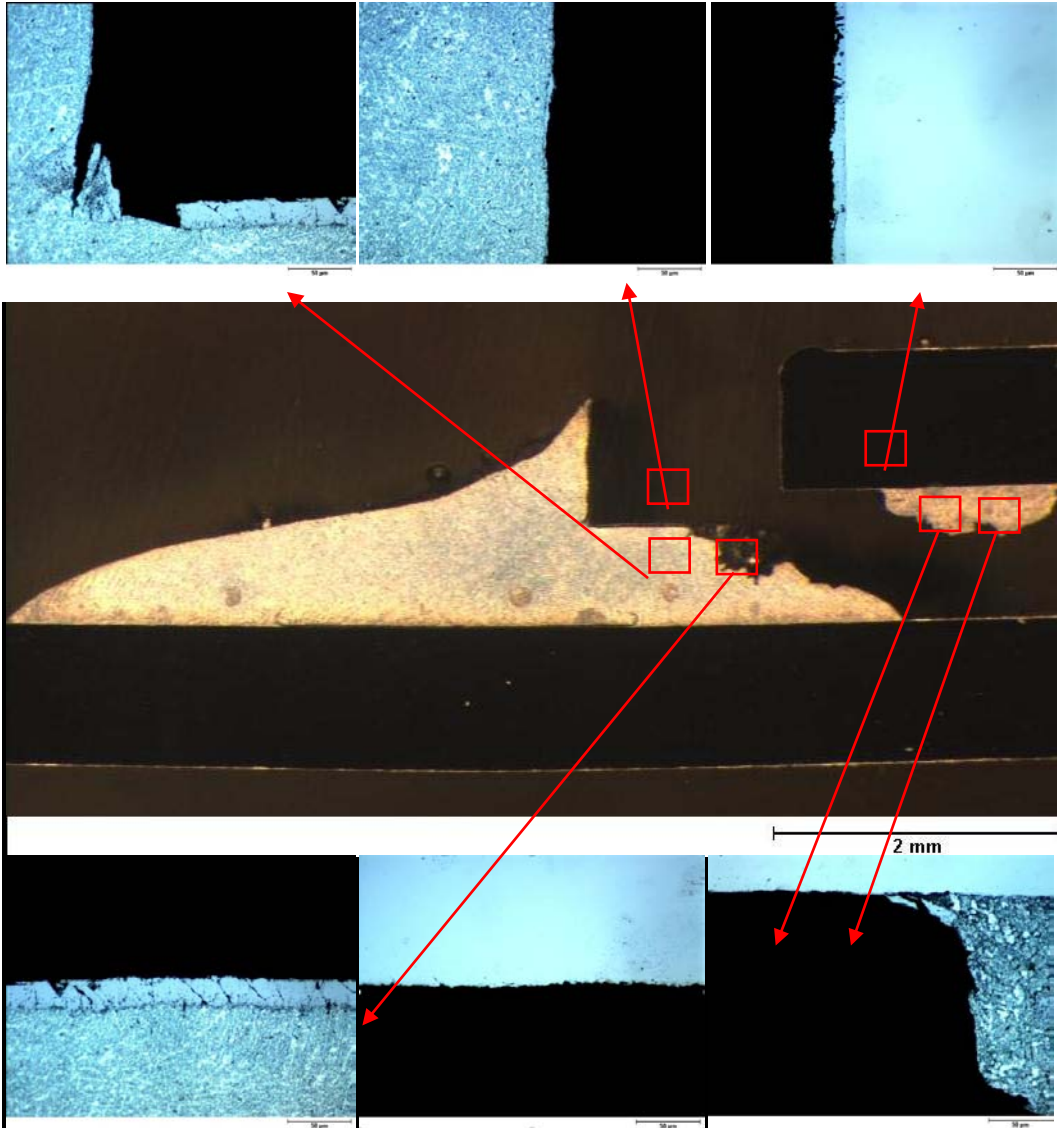
Probe	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	Averaj	Stan. Dev.	Min.	Mak.
Uygulanan Max kuvvet (kN)	0.723	0.960	0.985	1.151	1.167	1.134	1.161	1.255	0.948	1.054	0.164	0.723	1.255
Uzama (mm)	0.420	0.500	0.550	0.590	0.640	0.590	0.620	0.680	0.580	0.574	0.077	0.420	0.680

Tablo 4.2-1. Çekme testi sonuçları



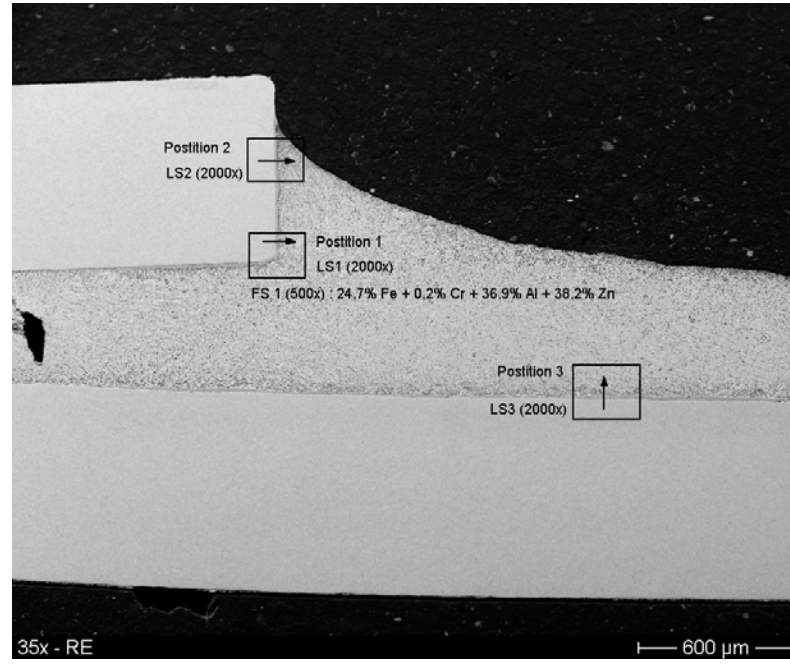
Şekil 4.2-1. Çekme testi sonuçları kuvvet-uzama grafiği

Şekilde çekme testine tabi tutulmuş numunenin ışık mikroskobu fotoğrafı görülmektedir. Bağlantı bölgesinden kopma gerçekleşmiştir. İntermetallik tabakanın daha çok $AlZn_{15}$ alaşımına yapışık kaldığı gözlenmektedir. Bu $AlZn_{15}$ alaşımı ile daha kuvvetli bir bağ oluşturduğunu göstermektedir. Malzeme birleşimi analizi için ön yorumda bulunulursa Al metalinin bu intermetallik tabaka da daha fazla olacağı söylenilebilir.



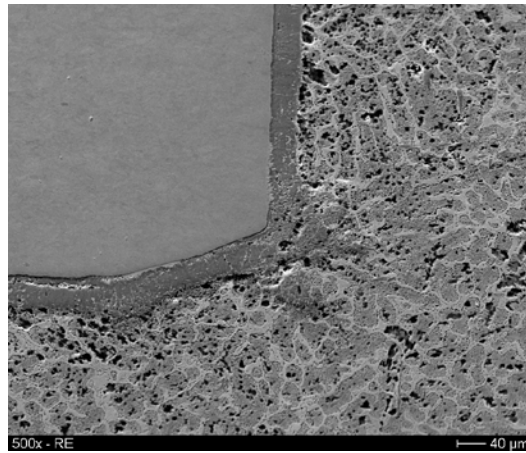
Şekil 4.2-2. Çekme testi sonuçları ışık mikroskobu fotoğrafları

4.3. Malzeme Bileşimi Analizleri



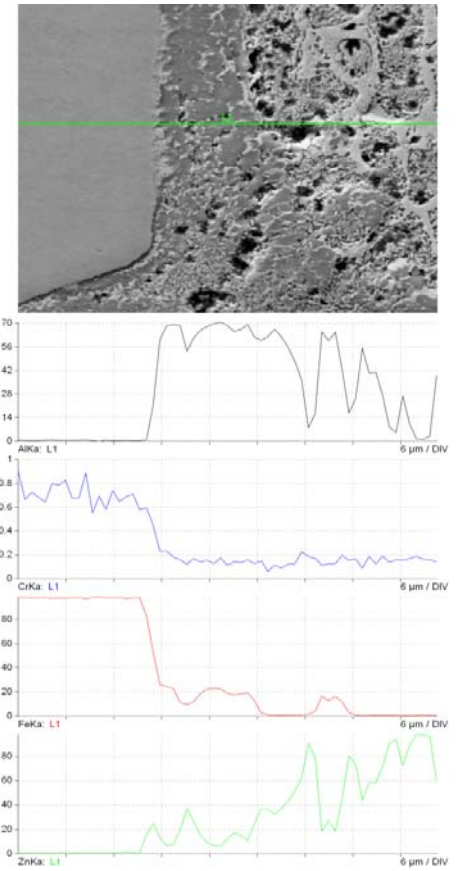
Şekil 4.3-1. Malzeme bileşimleri analizleri pozisyonları

Pozisyon 1

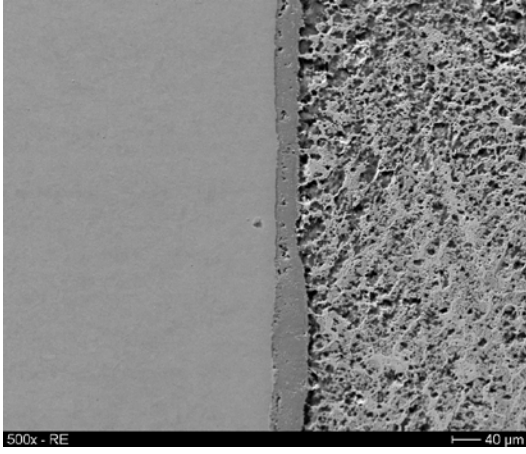


Şekil 4.3-2. Pozisyon 1 malzeme bileşimleri analizi

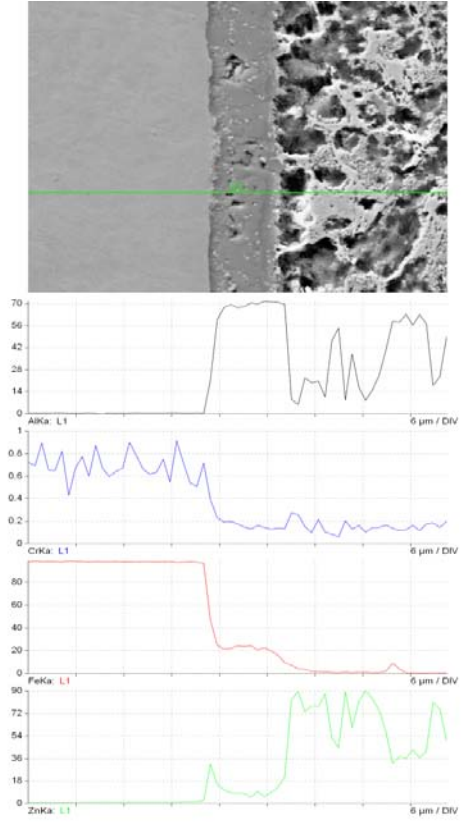
Element	Gew.-%	Atom-%
Al	20.40	36.92
Cr	0.24	0.23
Fe	28.24	24.68
Zn	51.12	38.17
	100.00	100.00



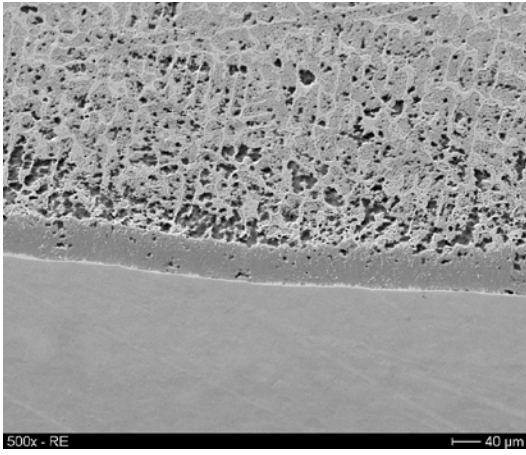
Pozisyon 2



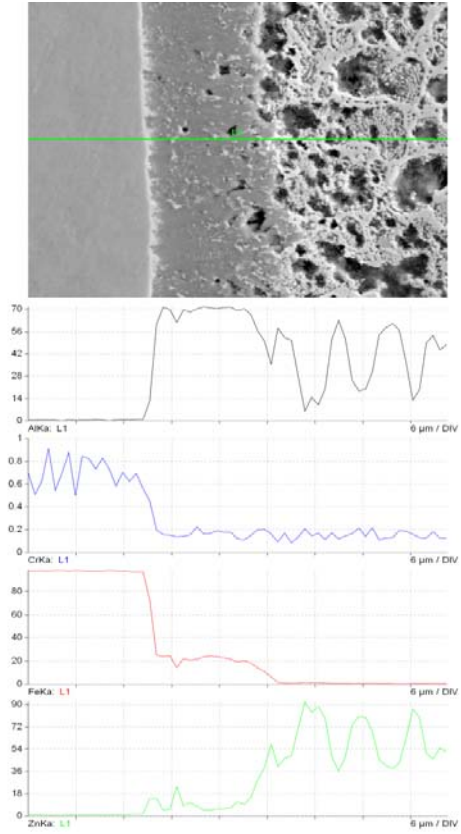
Şekil 4.3-3. Pozisyon 2 malzeme bileşimleri analizi



Pozisyon 3



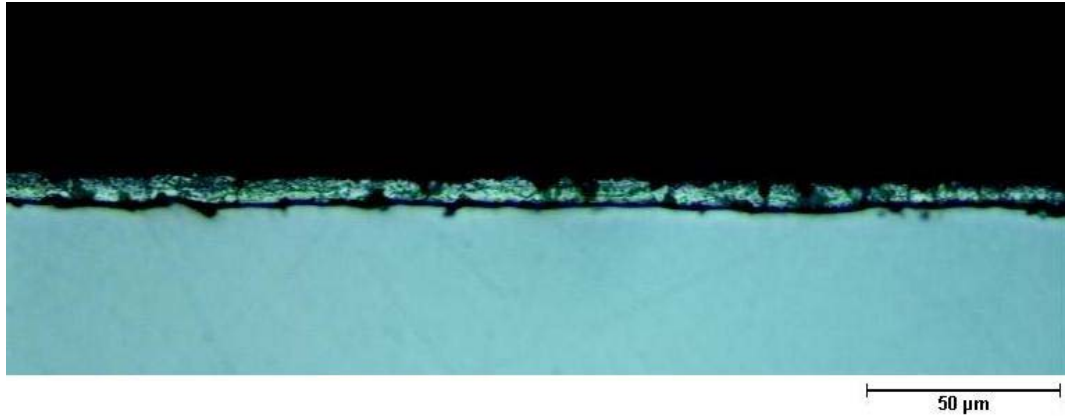
Şekil 4.3-4. Pozisyon 3 malzeme bileşimleri analizi



5. TARTIŞMA

Bu projenin amacı; 1,1 mm kalınlığındaki DP 600Z 100MB kodlu çinko kaplamalı çelik sacların düşük enerji kullanılarak $AlZn_{15}$ alaşımı ile, çelik üzerindeki çinko kaplamaya zarar verilmeden en iyi lehim dikişini veren parametrelerin belirlenmesidir.

Çinko kaplamalı çelikler ile yapılan bağlantılarda korozyona karşı rezistans ve mekanik mukavemetin yüksek olması planlanır. Bağlantıyı gerçekleştirmek için gerekli yüksek sıcaklık sonucunda çinko kaplama da bir kısım buharlaşma sonucu kayıp meydana gelmektedir, kaynak ile yapılan bağlantılarda bundan sakınmak mümkün değildir ve kaynak sonrası ek işlemler gerekmektedir. Kaynağa bir alternatifte lehimdir. Lehimin daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşebilmesi, malzeme üzerinde ki ısı etkinin daha düşük olması ve çinko kaplamanın daha az hasar görmesi lehim ile bağlantı oluşturulmasını bir adım öne çıkarır.



Şekil 5-1. DP 600Z 100MB kodlu çelik üzerindeki çinko kaplama

Malzemeye düşük ısı girmesinin bir başka önemli etkisi de yüksek malzemeli çeliklerin malzeme davranışlarından herhangi bir ödün verilmemesidir. Çelik mikro yapısına olan etkileri çok azdır böylece çeliğin yüksek kalitesi korunmaktadır [21,22].

En çok kullanılan lehim malzemeleri arasında $CuSi_3$ ve $CuAl_8$ sayılabilir. Bu alaşımlar mükemmler ısılatma özellikleri göstermektedirler, ancak bunların erime sıcaklıkları $940^{\circ}C$ ve yukarısında olduğundan çinko erime sıcaklığının da

üzerinde değerlerde birleşme sağlandığında bu kaplamada kayıplar yaşanmaktadır.

Aliminyum gibi düşük sıcaklık lehim alaşımlarının düşük erime sıcaklıkları sayesinde çelik üzerindeki çinko kaplamalar daha az zarar görmektedir. Malzemeye düşük ısı girişinin bir başka önemli artısı da malzeme davranışlarının olduğu gibi korunmasıdır. Bu sayede malzeme iç yapısı herhangi bir değişikliğe uğramadan işlem sonrasına taşınmaktadır [6].

Lazer ile lehim uygulamalarında yüksek hızda üretim için Nd-YAG ve diyet lazerler kullanılmaktadır. Geniş lazer odak izdüşümü sayesinde, aralıkları çok olan malzemelerin ya da çok girintili çıkıntılı yapıya sahip malzemelerin dahi sorunsuz işlenebilmektedir.

Lazer lehim sistemlerine dokunmatik sensorler, optik görüntüleme ve online kontrol sistemleri entegre edilmesiyle özellikle seri imalat için otomotiv için daha da büyük önem kazanmaktadır [23].



Şekil 5-2. AlZn₁₅ alaşımı ile lehimlenen çelik saclar

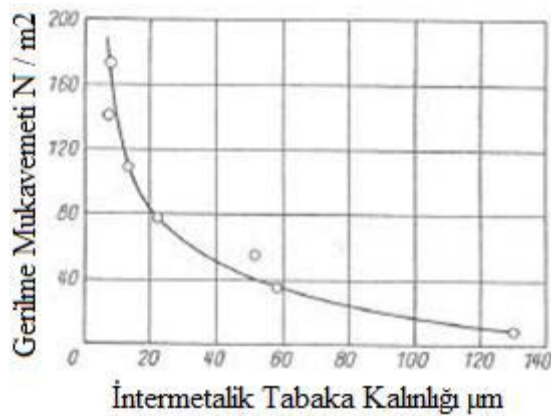
Deneyisel uygulama sırasında yaklaşık 16 adet lehim dikişi görsel olarak iyi durumda olduklarına karar vermemin ardından ve bu numuneler hakkında daha iyi fikir sahibi olabilmem için, iç metalurjik özelliklerini araştırmak üzere ışık mikroskobu fotoğraflarını inceleme altına aldım. Resimlerin önemli bir yönü, çelik ile AlZn₁₅ alaşımı arasında meydana gelen intermetallik tabakaların kalınlığının daha önceki çalışmalara göre mukavemet olarak kıyaslanabilmesi ve lehim ekleminin dayanımı konusunda pek çok fikir vermesidir. Ayrıca çelik

üzerindeki çinko kaplamanın zarar görüp görmediği de bu fotoğraflarda açıkça görülebilmektedir.

5.1. Intermetalik Tabaka

Bir solüsyon katılaştırıldığında, sınırlı bir karşılıklı çözünürlüğe sahip metal alaşımlar belli oranlarda yeni fazlar oluşturabilir. Bu yeni fazlar, her iki bileşenden de farklı kristal yapılar arz edebilir ve metaller arası bileşikler olarak adlandırılırlar (bazen kısaltılmış hali ile IMCs). Başka bir deyişle iki benzeşmeyen metal birbirlerine nüfuz ederek iki materyalin bileşimi olan tür materyalleri oluştururlar. Metaller arası tabakanın özellikleri beşlen metallerinkinden farklıdır ve çoğunlukla daha az metalik, düşük yoğunluk, bükülebilirlik ve iletkenliğe sahiptirler [18].

Metaller arası tabakanın kalınlığı sıcaklık ve zamana bağlı olarak yüzey sıvı lehim ile temasta kaldığı sürece düşen oranlarda büyümeye devam eder. Lehim katılaştığı anda bir malzemenin diğeri içinde çözünmesiyle metaller arası oluşumu sona erer. Bununla birlikte elementlerin katı hal difüzyonu, sadece metaller arası kalınlığı büyütmez aynı zamanda tabakalar arası sınırları da değiştirir. Ara metaliklerin bu süreçte büyümesi, ortalama düzeneğin ömrüne nazaran ihmal edilebilirken, eklem sıcaklığı ergime noktası civarına yaklaştığında büyük bir problem haline gelir [19].



Şekil 5.1-1. İntermetallik tabaka kalınlığının bağlantı mukavetine etkisi

İnce bir ara metalik tabaka ıslatmanın oluşturulması için gerekli olmasına rağmen daha kalın ara metalik tabakalar eklemenin görünüşünü değiştirebilir ve bütünlüğü üzerinde ters etki edebilir. Bazı nedenler;

1. Ara metalikler çoğunlukla kırılmandır.
2. Ara metalikler ile yığın lehim arasındaki farklılıklar içsel gerilime katkı yapabilir.
3. Yüzeyin bir elementinin tüketilmesi lehimlenebilirliği bozabilir [19].

İntermetallik tabaka kalınlığının küçük olduğu zamanlarda tabakada ortaya çıkan bir çatlağın, stresi barındırmak için plastik olarak deforme olabilen bitişik, nispeten daha bükülebilir malzemeye ulaşmak için çok uzak bir yol almak zorunda olmadığı gerçeğinden kaynaklanmaktadır. Diğer yandan eğer tabaka yeteri derecede kalın ise çatlak daha yumuşak malzemeye ulaşmadan önce fark edilebilir bir uzunluğa erişir ve eklemenin çok düşük stres altında zamansız kırılması beklenebilir [20].

Mikroskop analizleri sonucunda $AlZn_{15}$ alaşımıyla yapılan çelik lehimlemelerinde çinko kapalamaların olduğu gibi korunduğu ortaya çıkmıştır. Çinkodan daha düşük erime sıcaklığına sahip olan alüminyum ile çinko kaplamalı çeliklerin birleştirilmesinde düşük ısı girişi etkili olmuştur. En iyi sonuçlar Nd-YAG lazer makinası; 900 - 1000 Watt ile 0,8 - 0,9 m/dak lehim hızı aralıklarında elde edilmiştir. Lehimlenecek parçalar arasında boşluk olmasına rağmen lazer defokus özellikleri ile metallerin yeteri kadar ısınması sağlanabildiğinden, metaller arasına tam nüfuziyet sağlanmıştır.

6. KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] **Wirth, P.**, October 2004, Introduction to Laser Materials Processing, ROFIN, Hamburg, Germany, 12p.-27p.
- [2] **Weber, M.**, 2001, Handbook of Lasers, CRC Press LLC, USA, 21p. -22p.
- [3] **Edward, K. and Edward, L.** December 1993, Welding, Brazing and Soldering , ASM Handbook International, USA, Volume 6, 328p,-347p.
- [4] **Kalpakkian, S. and Schmid, S.**, 2006, Manufacturing Engineering and Technology 5th Edition in SI Units, Pearson Education South Asia Pte Ltd., Jurong, Singapore 1004p.-1009p.
- [5] **Brazing General Overview**, <http://www.inductionatmospheres.com/brazing.html>
- [6] **Wilden, J., Bergmann, P., Dolles M. and Reich S.**, 2005, Use of Zinc-Alloys for Low Temperature Soldering of Zinc Coated Steels, Advanced Materials Research Volumes 6-8 Technical University Ilmenau, Institute for Production Technologies, Ilmenau, Germany, 127 p.-134 p.
- [7] **Özden, H., Çelen, S., Çavuş, N.**, 2007, *21. Yüzyılda Yenilenme Sürecinde Lazer Teknolojisi*, 1. Ulusal Sanayi Kongresi, İzmir
- [8] **Özden, H.**, Eylül 2009, *Otomotiv Sektöründe Lazerli Üretim Yöntemleri, İmalat, Ölçme, Kalite Kontrol*, Mühendis ve Makine, Cilt 50, Sayı 596, Ankara, 38s.-43s.
- [9] **Popular Science**, April 2005, New Technology, Science News Monthly Magazines.
- [10] **Trumpf Gruppe**, Laser Technology www.us.trumpf.com/31.img-cust/LT-CW-lamppumped.pdf
- [11] **Echlin, P.**, 2009, Handbook of Sample Preparation for Scanning Eletron Microscopy and X-Ray Microanalysis, Springer Ltd., 200p.-295p.

- [12] **Goldstein, J., Newbury, D.E., Joy, D.C., Lyman, C.E., Echlin, P., Lifshin, E., Sawyer, L. and Michael, J.R.**, 2003, *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, 3th Edition, 4th Print, Springer Ltd., 23p.-61p.
- [13] **Davis, J. R.**, 2007, *Tensile Testing*, 2th Edition, ASM Handbook International, USA, 83p.-92p.,112p.-118p.
- [14] **Gedney, R.**, January 2005, *Tensile Testing Basics Quality Magazine*, ADMET Inc. (Norwood, MA), 2p.-3p.
- [15] **Online Materials Information**
Source, <http://www.matweb.com/reference/images/TensileStrength.gif>
- [16] **DTU Technical University of Denmark**, http://lww.kt.dtu.dk/~vigild/2005_04_melitek/tensile_test_files/image002.jpg
- [17] **Tensile Strength Testing**, Instron, Material Testing Solution http://www.instron.us/wa/applications/test_types/tension/default.aspx
- [18] **Callister, W.**, 2007, *Material Science and Engineering an Introduction*, 7th edition, John Wiley & Sons Inc., Newyork
- [19] **Smith, W. and Hashemi, J.**, 2006, *Foundations of Materials Science and Engineering*, 4th Edition, Mc Graw Hill, Singapore, 441p.-442p.
- [20] **Achar, M., Ruge, J. and Sundaresan S.**, 2006, *Metallurgical and mechanical investigations of aluminium-steel fusion welds*, Indian Institute of Technology, Madras, India 533p.-535p.
- [21] **Rosert, R., Winkelmann, R.**, 2002, *Löten hoch fester Stahlfeinbleche*. In: *Schweissen und Schneiden*, Vol. 54, No. 5, 246p.-251p.
- [22] **Bergmann, H.W., Mayer, S.**, 1997, *Werkstoffkundliche Aspekte beim Laserstrahlschweißen höherfester Stähle*. In: *DVS Berichte* 186, page 204-211.

- [23] **Hoffmann, P., Kugler, P., Schwab, J.**, June 2003, *Laser Brazing with High Power Solid-State Lasers Systems and Applications in Automotive Industry*. Proc. of the 2. Intern. WLT-Conf. on Lasers in Manufacturing LIM, Munich
- [24] **Brazing Metals, Brazing Metals Manufacturers, Brazing Metals Wholesale, Brazing Metals Exporters**, <http://www.brazingalloys.net/>
- [25] **HVAC Components and Assemblies**, TSI technologies New York, http://www.tsitec.com/copper_tubing_alloys.html
- [26] **Brazing With Aluminum Filler Metals**, <http://www.handyharmancanada.com/TheBrazingBook/Section%203/Part%2015.htm>

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Emrah SÖZER, 1983 yılında Bursa’da doğdu. İlkokulu Bursa’da Atatürk İlköğretim Okulu’nda tamamladı. Ortaokul eğitimini Bursa’da Orhangazi Anadolu Lisesi İngilizce bölümünde tamamladıktan sonra eğitimine Balıkesir Fen Lisesi’nde devam etti. Ortaöğretim başarı puanı handikaplarından ötürü lise son senelerini Bursa Cem Sultan Lisesi’nde okudu. 2001 yılında İzmir İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. Lisans eğitiminden 2007 yılı şubat ayında mezun oldu. 2 seneye yakın bir süre özel sektörde görev aldı. Aynı zamanda 2007 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon-İmalat Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir.

