

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

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARININ ONARIM KAYNAĞINDA TUNGSTEN
ELEKTROD İLE KORUYUCU GAZALTI KAYNAĞI VE LAZER KAYNAK
PARAMETRELERİ VE ETKİLERİ**

HALİL İBRAHİM ALTINTAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. SELAHATTİN YUMURTACI**

İSTANBUL, 2018

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARININ ONARIM KAYNAĞINDA TIG VE LAZER
KAYNAK PARAMETRELERİ VE ETKİERİ**

Halil İbrahim Altıntaş tarafından hazırlanan tez çalışması 12.04.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Selahattin Yumurtacı

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Selahattin Yumurtacı

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Adnan Dikicioğlu

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Binnur Sağbaş

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca beni yönlendirerek desteklerini esirgemeyen, çalışmalarım konusunda yorumlarına ve öngörülerine her zaman önem verdiğim kıymetli hocam Sayın Selahattin Yumurtacı'ya,

Elde ettiğim sonuçları ve verileri yorumlamamda yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Tolga Mert'e ve yüksek lisans çalışmalarım boyunca büyük bir sabır ve özgüvenle beni destekleyen Arçelik A.Ş çalışanlarından Sayın Erdem Kahraman Korkmaz ve Fikret Kayıloğlu'na,

Tüm hayatım boyunca her zaman ve şart altında benden desteklerini sakınmayan kıymetli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Nisan, 2018

Halil İbrahim ALTINTAŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2	
KAYNAĞIN ENDÜSTRİYEL ÖNEMİ	4
2.1 Kaynak Tanımı.....	4
2.2 Kaynak Tekniğinin Süreci.....	5
2.3 Kaynağın Diğer Yöntemler ile Karşılaştırılması.....	7
2.3.1 Kaynak – Perçin	7
2.3.2 Kaynak – Lehim	7
2.3.3 Kaynak – Yapıştırma	8
2.3.4 Kaynak – Döküm.....	8
2.4 Kaynak Kabiliyeti.....	9
2.5 Kaynağın Sınıflandırılması.....	11

Bölüm 3

AŞINMA VE ONARIM KAYNAĞI	14
3.1 Dolgu ve Aşınma Kaynağının Tanımı ve Önemi.....	14
3.2 Hasara Neden Olan Hata Türleri.....	16
3.2.1 Üretim Veya Hammaddenin İşlenmesi Kaynaklı Hatalar	16
3.2.2 Montaj ve Üretim Koşullarına Bağlı Hatalar.....	16
3.3 Hasar Tipleri.....	17
3.3.1 Çatlaklar.....	17
3.3.2 Kırıklar	17
3.3.3 Aşınma.....	18
3.4 Dolgu Kaynağından Sonra Yaşanan Problemler.....	18
3.4.1 Isı Kaynaklı Gerilmeler	18
3.4.2 Distorsiyon.....	19
3.4.3 Dikiş Altı Çatlamaşı	19
3.4.4 Gerilme Kırılması	19
3.4.5 Pullanma.....	20

BÖLÜM 4

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA AŞINMA.....	21
4.1 Aşınmanın Tanımı.....	21
4.2 Abrasyon.....	21
4.3 Adhezyon.....	22
4.4 Darbe Aşınması.....	23
4.5 Yüksek Sıcaklık Aşınması.....	24
4.6 Korozyon Aşınması.....	25

BÖLÜM 5

TIG (WIG) KAYNAĞI.....	27
5.1 TIG Kaynağının Tanımı ve Tarihçesi.....	27
5.2 TIG Kaynağının Prensibi.....	28
5.3 TIG Arkı.....	30
5.4 TIG Kaynak Yönteminin Avantajları.....	31
5.5 TIG Kaynağı İçin Uygulama Alanları.....	31
5.6 TIG Kaynağı Uygulanan Malzemeler.....	31
5.7 TIG Kaynak Donanımı.....	32

5.7.1	TIG Kaynak Torçları.....	33
5.7.2	Hava Soğutmalı Torçlar	34
5.7.3	Su Soğutmalı Torçlar	35
5.7.4	Torç Bağlantı Paketi.....	35
5.8	TIG Kaynak Elektrodları.....	35
5.9	TIG Kaynak Yönteminde Kullanılan Koruyucu Gazlar.....	37
BÖLÜM 6		
LAZER KAYNAĞI.....		38
6.1	Lazer Kaynağı.....	38
6.2	Lazer Fiziği.....	39
6.2.1	Kendiliğinden Emisyon	39
6.2.2	Yutma	39
6.2.3	Tahrik Edilmiş Emisyon.....	40
6.3	Endüstride Kullanılan Lazer Türleri.....	40
6.4	Lazer Kaynak Yöntemi.....	42
6.5	Lazer Kaynak Yönteminin Avantajları.....	44
6.6	Lazer Kaynak İşlemini Etkileyen Parametreler.....	45
6.6.1	Kaynak Parametreleri.....	45
6.6.2	İş Parçası.....	46
6.7	Lazer Kaynağında Kullanılan Gazlar.....	46
BÖLÜM 7		
DENEYSEL ÇALIŞMA		48
7.1	TIG Kaynak Uygulamasında Malzemeler.....	48
7.2	TIG Kaynak Uygulaması.....	49
7.3	Lazer Kaynak Uygulamasında Malzemeler.....	50
7.4	Lazer Kaynak Uygulaması.....	51
7.5	Mikrosertlik Ölçümü.....	51
7.6	Sonuçlar ve Tartışma.....	52
7.6.1	TIG Kaynağı Makro Yapı İnceleme Sonuçları.....	52
7.6.2	Lazer Kaynak Uygulamasında Makro Yapı İncelemesi	57
7.6.3	Vicker Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları.....	61
BÖLÜM 8		
SONUÇ VE ÖNERİLER		64

KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	67

SİMGE LİSTESİ

E	Birim dikiş enerjisi (kJ/cm)
I	Akım şiddeti (A)
U	Gerilim (V)
v	Kaynak hızı (cm/s)
η	Yönteme bağlı verim katsayısı
HRC	Rockwell C sertliği

KISALTMA LİSTESİ

AISI	American Iron and Steel Institute
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	European Norms
ITAB	Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
Nd:YAG	Neodymium-doped Yttrium Aluminium Garnet
TIG	Tungsten Inert Gas
TS	Türk Standardı
WIG	Wolfram Inert Gas

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Metallerin birleştirilmesinde kullanılan yöntemler	9
Şekil 2. 2 Kaynak Kabiliyeti	10
Şekil 4. 1 Adhezyon mekanizması	21
Şekil 4. 2 Darbeye bağlı olarak çatlamış dişi kalıp çekirdeği	25
Şekil 4. 3 Yüksek Sıcaklık Aşınası	26
Şekil 5. 1 TIG kaynağında elektrod uç biçimleri	29
Şekil 5. 2 TIG kaynak prensibi	30
Şekil 5. 3 TIG kaynağında elektronların yer değiştirmesi	31
Şekil 5. 4 TIG kanak yöntemi donanım şeması	34
Şekil 5. 5 TIG kaynak torcunun şematik gösterimi	35
Şekil 6. 1 Kendiliğinden Emisyon	38
Şekil 6. 2 Yutma	39
Şekil 6. 3 Tahrik Edilmiş Emisyon	39
Şekil 6. 4 Anahtar deliği sistemiğinin şematik gösterimi	41
Şekil 6. 5 İletimsel Lazer Kaynağının Şematik Gösterimi kaynağı	42
Şekil 7. 1 Mikro sertlik ölçümünün yapıldığı cihaz	53
Şekil 7. 2 TIG kaynak numunelerinin makro fotoğrafları	54
Şekil 7. 3 Deney parametrelerinin normal dağılım grafiği	57
Şekil 7. 4 Akım ve hız parametrelerinin ITAB genişliğine etkisinin grafik gösterimi ..	57
Şekil 7. 5 Lazer kaynak numunelerinin makro(30x) fotoğrafları	58
Şekil 7. 6 Gerilim ve Hz parametrelerinin ITAB genişliğine etkisinin grafik gösterimi	61
Şekil 7. 7 TIG kaynak numunelerinin mikrosertlik dağılımı	62
Şekil 7. 8 Lazer kaynak numunelerinin mikrosertlik dağılımı	63

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 7. 1	DIN 1.2738 malzemesinin standartlarda gösterilişi 50
Çizelge 7. 2	DIN 1.2738 kalıp çeliği malzemesinin kimyasal bileşimi 50
Çizelge 7. 3	DIN 1.2738 kalıp çeliğinin mekanik özellikleri..... 50
Çizelge 7. 4	Elektrodun kimyasal bileşimi..... 50
Çizelge 7. 5	Kaynak metalinin tipik mekanik özellikleri..... 50
Çizelge 7. 6	TIG kaynak parametreleri..... 51
Çizelge 7. 7	Elektrodun kimyasal bileşimi..... 52
Çizelge 7. 8	Kaynak metalinin tipik özellikleri 52
Çizelge 7. 9	Lazer kaynak parametreleri..... 52
Çizelge 7. 10	TIG kaynağı için toplam ısı girdisi 55
Çizelge 7. 11	Akım ve Hız değerinin ITAB genişliğine etkisinin istatistiksel yöntem ile araştırılması..... 56
Çizelge 7. 12	Lazer kaynak yönteminde ITAB genişliği ve enerjiler..... 59
Çizelge 7. 13	Volt ve Hz değerinin ITAB genişliğine etkisinin istatistiksel yöntem ile araştırılması..... 60

**PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARININ ONARIM KAYNAĞINDA TUNGSTEN
ELEKTROD İLE KORUYUCU GAZALTI KAYNAĞI VE LAZER KAYNAK
PARAMETRELERİ VE ETKİLERİ**

Halil İbrahim ALTINTAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

Otomotiv ve beyaz eşya başta olmak üzere pek çok sektöre seri imalat ile ürün temini sağlayan plastik enjeksiyon parça üreticileri, sürekli gelişen teknoloji ile birlikte zorlu rekabet koşullarında varlıklarını devam ettirmek zorundadırlar. Bunu sağlayabilmenin en önemli ayaklarından biride maliyet, dolayısı ile kaynakların verimli kullanılmasıdır. Bu sebeple plastik enjeksiyon kalıplarında aşınma, kırılma vb. nedenlerle ortaya çıkan problemlerde hasar meydana gelen kalıp parçasının yenilenmesi yerine onarım kaynağı ile tamir edilmesi zaman, işçilik, maliyet ve hammadde kazanımı bakımından son derece önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada önce onarım işlemlerinde kullanılan TIG ve lazer kaynak yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Deneysel çalışmada ise DIN 1.2738 (EN:40CrMnNiMo8-6-4) plastik enjeksiyon kalıp çeliğinden hazırlanan numunlere TIG ve lazer kaynakları farklı parametreler seçilerek uygulanmış ve ortaya çıkan sonuçlar ITAB genişliği ve Vickers sertliği yönünden değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: plastik enjeksiyon kalıp çeliği, onarım kaynağı

**EFFECTS OF TUNGSTEN INERT GAS WELDING AND LASER WELDING
PARAMETERS IN MAINTENANCE WELDING OF PLASTIC INJECTION
MOLDS**

Halil İbrahim ALTINTAŞ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI

Manufacturers of plastic injection parts, which provide products with serial production of many sectors, especially automotive and white goods, have to keep their assets in tough competitive conditions together with continuously developing technology. One of the most important steps in achieving this is cost and therefore efficient use of resources. For this reason, in the case of problems in plastic injection molds, repair welding should be preferred instead of replacement.

In this study, firstly the welding method is presented, then TIG and laser welding methods used for maintenance welding in plastic injection mold steel are explained. In the experimental study, TIG and laser welding were applied to 1.2738 mold steel and the results were evaluated by ITAB width and Vickers hardness.

Key Words : plastic injection mold steel, maintenance welding

1.1 Literatür Özeti

Hızlı, kaliteli ve ucuz imalat ilkesine dayanan plastik enjeksiyon parça üretiminde parçaların istenilen kalite seviyelerinde ve seri üretime uygun olarak imal edilmesi kalıp, enjeksiyon tezgahı ve proses parametrelerine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu etkenler arasında kalıp, plastik enjeksiyon prosesi üzerinde 1. derece etki ve öneme sahip olmaktadır. Kalıba/parçaya uygun makine seçiminin yapılması ve seçilen makinede ayarlanan proses parametreleri ise doğru parça üretimi için kalıbı destekleyici 2. öncelikli etkenler olarak sayılabilmektedir. Proses parametrelerinde veya tezgah seçiminde yapılacak bir hata tezgahı değiştirerek ya da uygun parametrelerin ayarlanması ile giderilebilir. Ancak kalıp üzerinde mekanik olarak ortaya çıkan bir hatanın giderilmesi için hasarlı bölgenin onarılması veya yenilenmesi gerekmektedir. Genel itibari ile plastik enjeksiyon kalıplarında, mekanik maça, kolon, itici mekanizmalarında yaşanan hatalar, sıcak yolluk/manifold arızaları ve kalıp çeliklerinde yaşanan çatlaklar, kırılmalar, korozyon vb. problemler üretim esnasında sıklıkla yaşanan hatalar olarak ortaya çıkmaktadır.

Kalıp içinde parça yüzeylerini çıkaran kalıp elemanları için, parçaların kullanım alanı ve istenilen parlaklık seviyeleri de göz önünde bulundurularak, genellikle 35 HRC'den 52 HRC'ye kadar uzanan yüksek sertlik değerlerinde çelik seçimleri yapılmaktadır. Bu sertlik değerlerinde işletme şartları, kalıp/parça tasarımı, kalıp ömrü ya da doğrudan operatör/makine kaynaklı hataların kalıp üzerinde meydana getirdiği en yoğun hata

türlerinden biri de kalıp çeliğinin çatlamasıdır. Bu hata kalıbın parça yüzeyini çıkaran kısmında ise, birebir parça üzerinde müşteri tarafından da görülebileceğinden eksiksiz ve seri üretimi sıkıntıya sokmayacak bir şekilde tamir edilmesi zaman, para ve kalite açısından son derece önemli bir husustur. Özellikle verimlilik noktasından değerlendirildiğinde, böyle bir hatada tüm kalıbın değiştirilip yeniden imal edilmesi yerine doğru bir şekilde onarılması tercih edilmektedir.

Kalıpçılık sektöründe kullanılan çeliklerin kaliteleri, rekabete ve üretilen parçalarda istenilen özelliklerin gün geçtikçe yükselmesine bağlı olarak artış göstermektedir. Bu durum çelik fiyatlarını da etkilemektedir. Kalıplarda daha yüksek kalitede çelik kullanılması herhangi bir kırılma, çatlama durumunda kalıbı kaynak ile onarmanın önemini göstermektedir. Plastik kalıp çeliklerinde yaşanan hasarların onarılmasında, çeliklerin yapısında bulunan Ni ve Cr oranının yüksekliği sebebi ile TIG kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Ancak kalıp ayrılma hatları gibi hassas ve ince bölgelerde ise TIG kaynağı yerine lazer kaynak uygulaması yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük ısı girdisi ve hassas çalışma imkanı veren bu yöntem, kalıp üzerinde çapak iyileştirmesi yapmak için de kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kalıp çeliklerinde meydana gelen çatlak hatasının doğru yöntem ve parametreler ile onarılması için plastik enjeksiyon kalıp çeliklerinde yaşanan kırılmaları temsil etmek üzere 90x40x10 mm boyutlarında 6 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin ortasında 4 mm genişliğinde ve 5 mm derinliğinde kanallar açılmıştır. Lazer kaynak uygulaması için ise 60x30x10 mm boyutlarında 6 adet numune hazırlanmış ve hazırlanan numunelerin ortasında 2 mm genişliğinde ve 2 mm derinliğinde kanallar açılmıştır.

Çalışmanın amacına uygun olacak şekilde hazırlanan deney numuneleri, TIG ve lazer kaynak yöntemleri ile kaynak edilerek, ısı girdileri hesaplanmış, makro yapı fotoğrafları ve mikro sertlik dağılım eğrileri verilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı plastik enjeksiyon kalıp çeliklerinin onarım işlemlerinde kullanılan TIG ve lazer kaynağını etkileyen parametreleri araştırıp, bu parametrelerin ITAB genişliği ile

birlikte Vickers sertliği yönünden değerdendirilmesi ile optimum kaynak parametreleri için öneri sunmaktır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda uygun parametreler için değerdendirmeler sunulmuştur.

1.3 Hipotez

Plastik enjeksiyon çeliklerinde yaşanan hataların onarılması seri üretim ve parça kalitesinin devamlılığının sağlanması bakımından son derece önemlidir. TIG kaynağı ile onarım esnasında akım ve hız ITAB genişliğine dolayısı ile kaynak kalitesine direk etki eden parametrelerdir. Lazer kaynağında ise gerilim ve frekans birim dikiş enerjisini değıştirerek kaynak ITAB genişliğini etkilemektedir. Bu parametrelerin kontrol altında ve uygun değerdelerde tutulması kaynağın kalitesini arttırmaktadır. ITAB genişliği ve Vickers sertliği incelenen kaynak parametreleri ile ilişkilidir.

KAYNAĞIN ENDÜSTRİYEL ÖNEMİ

2.1 Kaynağın Tanımı

Kaynak, parçaların ısı ve/veya basınç uygulanması ile birleştirilmesi ya da yüzeylerin ilave bir malzeme ile örtülmesi olarak tanımlanabilir [1].

Biraz daha açacak olursak; birbirlerinin aynısı veya ergime sıcaklıkları yakın iki ya da daha fazla metal yahut termoplastik parçanın ısı ve/veya basınç uygulanması ile aynı türden bir malzeme katarak veya katmadan birleştirilmesidir [2].

Birleştirilecek olan malzemelerin kaynak bölgesi sıvı veya plastik hale getirilir. Eğer eş iki malzeme birleştirilecekse kaynak dikişinin özellikleri ana malzeme ile paralellik göstermektedir. İşlemin emniyetli ve işlevsel olabilmesi için, işlemin amacına uygun olarak birleştirilen malzemelerin türüne, kullanılacağı konstrüksyona göre çeşitli önlemler alınabilir, ilave malzemeler değişebilir ve kaynak bölgesinin yardımcı malzemeler ile korunması gerekebilir.

Tüm bunların yanında işlem emniyeti açısından birleştirilmesi planlanan malzemelerin aynı ergime aralığı içinde yer alması zorunlu görülmektedir [1].

Günümüzde kaynak teknolojisinin ulaştığı noktada metal olmayan malzemelerin(özellikle termoplastikler için) kaynağı da rahatlıkla yapılabilir hale gelmiştir.

2.2 Kaynak Tekniğinin Süreci

Kaynak tekniğinin tarihi çok eski devirlere dayanmaktadır. Mısır firavunlarının ve Romalıların zamanından kalma lehimleme ya da demirci kaynağı ile yapılan birleştirmelere rastlanmaktadır. 3000 yıldan daha önceki dönemlerde insanlar ilk defa iki metal parçayı sıcak veya soğuk bir şekilde birleştirebilmeyi başarmışlardır ve demirci kaynağının (demircinin çekici ile yaptığı kaynak) bronz devrine ait örneklerini dünyanın pek çok müzesinde görmek mümkündür [3].

Kaynak tekniğinin endüstriyel alanda gelişmeye başladığı tarih olarak 19. yüzyılın ikinci yarısı baz alınabilir. Oksijenin endüstriyel anlamda kullanılması ve elektrik enerjisinin yaygınlaşması ve birleştirme yöntemlerinde kullanılmaya başlanması bu tarihin öne çıkmasının nedenlerinin başında gelir.

Yıllara göre kaynak tekniğinin gelişim aşamalarını aşağıda ki gibi gösterebiliriz:

1802 Elektrik arkı üzerine araştırma

1849 Elektrik arkının yardımıyla metallerin kaynağına ait patent alınması

1867 Elektrik direnç kaynağının bulunuşu

1885 Metal kaynağında karbon elektrod kullanılışı

1889 Kaynak işleminde, iki karbon elektrod arasındaki arkın ısı memba olarak kullanılışı

1891 Metal elektrodla ark kaynağı

1895 Alüminotermite kaynağının gelişimi

1900 Gaz ergitme kaynağının endüstride uygulanması

1908 Örtülü elektrodların elektrik ark kaynağında kullanılması

1919 Koruyucu gaz kaynağının ilk uygulaması

1920 Tamamen kaynak birleştirmeli ilk gemi teknesi

1922 Dikişli boruların direnç kaynağı ile üretimi

1925 Ark-Atom kaynağının gelişimi

1925 Kalın cidarlı ilk basınçlı kabın kaynak dikişli yapımı

- 1926 Elektrodların ekstrüzyonla kaplanması
- 1930 Tozaltı kaynağının patentinin alınışı
- 1936 Helyum gazı ile koruyucu gaz kaynağının uygulanışı
- 1940 “Liberty” tipi gemilerde kaynak birleştirmeler-gevrek kırılma sorunu
- 1942 Tamamı kaynak birleştirmeli denizaltı yapımı
- 1943 Yarı otomatik tozaltı kaynağının gelişimi
- 1948 Soguk pres kaynağının yapılışı
- 1951 Elektro-curuf kaynağının ilk uygulanışı
- 1953 CO₂ ile koruyucu gaz kaynağının endüstride uygulanışı
- 1954 Al-Mg alaşımı malzemeden tamamı kaynak birleştirmeli yat yapımı
- 1957 Elektron ışın kaynağında gelişmeler
- 1961 Plazma kaynağı uygulaması

Günümüzde ise lazer teknolojisinin hızlı gelişimi metal ürünlerde ve plastik parçalarda pek çok problemin çözümü için yeni fırsatlar doğurmuştur. Ayrıca uzay istasyonlarının yapımı esnasında güvenilir bir birleştirme yönteminin geliştirilmesi kritik öneme sahipken, elektron bombardımanı ile kaynağa ilave olarak lazer ve difüzyon kaynağı da umut vadeden yöntemler arasındadır [4].

Lazer ve elektron ışınları ile kaynak, hava kuvvetleri, otomotiv işletmeleri ve kalıp tamir ve tadilat işleri yapan işletmelerde özellikle kullanılan yöntemlerdir. Özele inildiğinde plastik enjeksiyon kalıplarının kalıp ayırma hatlarında meydana gelen aşınmalara bağlı olarak imal edilen plastik parçalardaki çapağın giderilebilmesi için öncelikli ve en büyük öneme sahip olan işlem, tespit edilen hasarlı bölgenin lazer kaynağı ile düzgün bir şekilde doldurulmasıdır. Bu işlemi takiben elektro-erezyon ve sonrasında parlatma işlemi uygulanarak hasarlı bölgenin tadilatı tamamlanır. Tek bir kalıbın üretim adetlerinin milyonları bulduğu günümüz teknolojisinde adetler göz önüne alındığında bu işlemin ve dolayısı ile lazer kaynağının önemi gözler önüne serilmektedir.

Bugün gelinen noktada en çok gelişim kaydeden kaynak yöntemleri olarak MIG/MAG ve tozaltı kaynaklarını örnek olarak gösterebiliriz. Bu yöntemlerin otomasyona uyumları ve tam mekanize edilebilir olmaları gelişimlerinin başlıca noktasını oluşturur.

2.3 Kaynağın Diğer Yöntemler ile Karşılaştırılması

Bir ürünün meydana gelmesinde pek çok imalat yönteminin katkısı bulunmaktadır. Bununla birlikte ürün aynı zamanda birkaç farklı yöntemle de imal edilebilir konumda olabilir. Bu durumda bu yöntemlerden herhangi birini seçerken mühendisçe bir yaklaşım olarak şu hususlara dikkat edilmelidir; uygulama tekniğinin kolaylığı, ekonomiklik ve olabilirlik.

Bu açıdan bakıldığında metallerin ve termoplastiklerin birleştirilmesinde kaynak yöntemini şu yöntemler ile karşılaştırabiliriz.

2.3.1 Kaynak – Perçin

- Kaynak işleminde aynı mukavemet sınırları içinde kalınması koşulu ile perçinleme işlemine göre, bindirme, ek parça, perçin kafası gibi faktörlerden dolayı ağırlıkta %25 gibi bir kazanım sağlar.
- Kaynak işçilikten kazanım sağlar
- Perçinin delik bölgelerindeki çentik etkisi nedeniyle kaynak işlemi perçine göre %10-20 daha iyi dayanım sağlar.
- Kaynak perçine oranla yüksek bir sızdırmazlık sağlar
- Konstrüksiyonda ortaya çıkan değişikliklerin uygulanması perçin ile daha kolaydır.
- Kaynak işleminde ITAB yüzünden ortaya çıkan yapısal değişiklikler perçinde görülmez

2.3.2 Kaynak – Lehim

- Lehimlemede esas olarak lehim malzemesinin ergime sıcaklığı birleştirilecek malzemelerin ergime sıcaklığından daha aşağıdadır bu nedenle lehimde ısısal bir sorun ortaya çıkmaz.

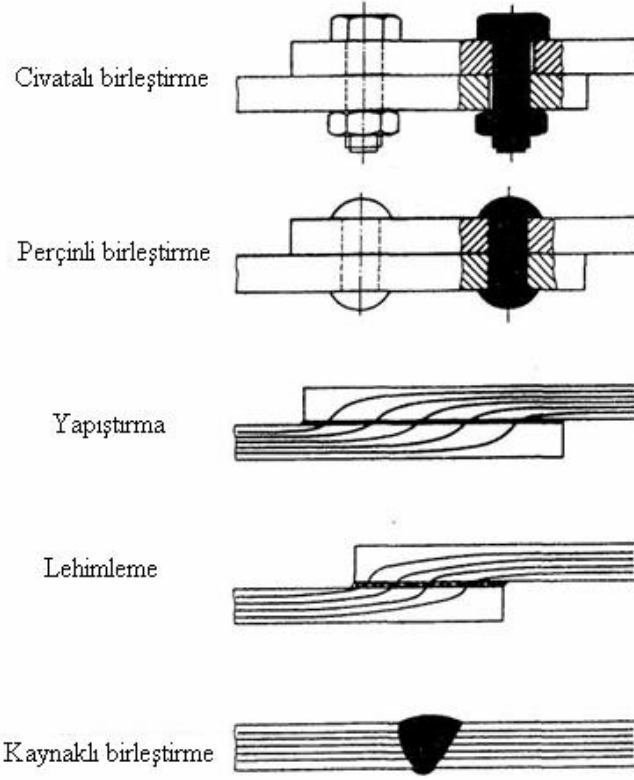
- Kaynaklı birleştirmelerin mukavemet değerleri daha yüksektir.

2.3.3 Kaynak – Yapıştırma

- Birleştirilecek bölgede soğuk yahut sıcak yapıştırıcıların seçilebilmesi metalsel malzemede ısı kaynaklı bir sorunun ortaya ıkasını önler [1].
- Farklı malzemelerin birleştirilmesinde şekil dayanımlarından faydalanılarak sandviç yapılar oluşturulması ile yapıştırma yönteminin uygulanması en uygun yöntem olarak tariflenir.

2.3.4 Kaynak – Döküm

- Kaynak işleminde model masrafı yoktur.
- Kaynaklı konstrüksiyonlarda döküme oranla daha ince kesitler oluşturulabilir.
- Kaynaklı birleştirmeler ağırlıktan kazanım sağlar.
- Kaynaklı konstrüksiyonlar tadilat işlemlerinde avantaj sağlar.
- Yüksek sayılarda imalat yapılacaksa ekonomik olarak döküm işlemi daha avantajlıdır.



Şekil 2.1 Metallerin birleştirilmesinde kullanılan yöntemler[4]

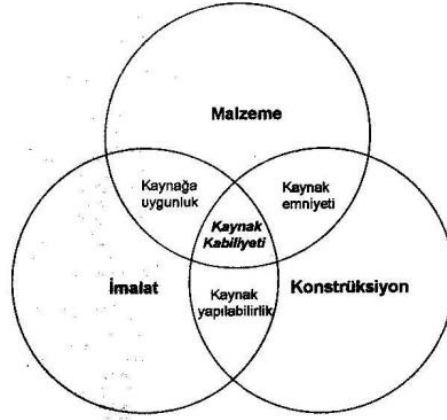
2.4 Kaynak Kabiliyeti

Bütün metalsel malzemeler, kaynak ile şekillendirilmeye aynı oranda yatkın değildirler. Kaynağa müsaitlik olarak tanımlanabilecek olan bu teknolojik kavram, bir birleştirme veya dolgu prosesinde seçilen malzeme, uygulanan yöntem ve konstrüksiyon etmenlerinin bir arada değerlendirilmesi ile anlamlı bir hale gelir [1].

Tüm imalat tekniklerinde olduğu gibi kaynak prosesinde de temel amaç yalnızca birleştirme yöntemi ile parça elde etmek değildir. Aynı zamanda imal edilen parçadaki kaynağın hedeflenen kalite seviyesini tutturması ve parçanın hedeflenen şartlarda sorunsuz bir şekilde çalışmasının sağlanması kaynak kabiliyetinin yüksekliği olarak ifade edilir.

Kaynak kabiliyeti, kaynağa elverişlilik, kaynak emniyeti ve kaynak yapılabilirlik kavramlarına bağlıdır. Bu kavramlar ise genele vurulduğunda malzemeye, yonteme ve konstrüksiyon kavramlarına bağlanır.

Aşağıdaki tablo kaynak kabiliyetinin tanımı ve anlaşılması açısından bir temel teşkil etmektedir.



Şekil 2.2 Kaynak Kabiliyeti [5]

Pratik dilde kaynak kabiliyetini tanımlayabilmek için şu ifadelerin kullanıldığını görürüz; iyi kaynak edilebilir, kaynak edilebilir, şartlı olarak kaynak edilebilir. Bu ifadelerin anlamları çelik malzeme göz önüne alınarak aşağıdaki gibi açıklanabilir.

- İyi kaynak edilebilir; malzemenin hiçbir ön ve son tavlama gereksinim duymadan kaynak edilebileceğini açıklar
- Kaynak edilebilir; kaynatılacak malzemenin kalınlığı ve/veya eşdeğer karbon oranı arttıkça bir ön tav gereksinimi doğar. Ön tav ihtiyacı olan malzemeleri ifade etmek için kullanılır.
- Şartlı olarak kaynak edilebilirlik; bu tür malzemelerde genellikle eşdeğer karbon oranı yüksektir. Kaynak prosesi sonrasında kaynak bağlantı bölgelerinde sertleşme ve çatlama tehlikesi nedeniyle bir takım tedbirler (ön, son tav, kontrollü soğuma) alınarak kaynak edilebileceğini açıklar

Kaynak emniyeti ise tanımlanmış işletme koşullarında, seçilen malzeme ve tasarlanmış konstrüksiyonun görevlerini yerine getirirken kaynak edilen bölgenin de bu sistemden beklenen aynı emniyet seviyesini sağlamasıdır [1].

Beklenildiği üzere konstrüksiyonlarda kaynak emniyeti, tüm tasarımın yahut o tasarımı oluşturan belirli elemanların bir kısmından daha büyük olmak zorundadır. Bu kıstas ise kaynak emniyeti vesilesi ile malzeme seçimine doğrudan etki etmektedir.

Kaynak yapılabilirlik ifadesinden ise planlanan imalat (birleştirme) yöntemi ve konstrüktif koşulların sağlanması ile birleştirme(kaynak) işleminin gerçekleştirilebilmesi anlaşılmaktadır. Kaynak tekniği ile birleştirilmesi planlanan konstrüksiyonlarda uygulanacak yöntem seçilirken planlanan malzeme türünü de plan içerisine dahil etmek gerekmektedir.

Günümüzde uygulanan kaynak yöntemlerinin gelişim aşamalarında “kaynak kabiliyeti” ifadesinin çok önemli bir yeri vardır. Çünkü geliştirilen her teknik başta kaynak kabiliyetini arttırmayı hedefler. Endüstriyel anlamda günümüzde kullanılan gelişmiş teknikler incelendiğinde gerek hibrit uygulamaların yaygınlaşması gerekse ısı etkileri azaltıcı yöntemlerin tercih edilmesi, yukarıda bahsedilen hedefin sonuçları olarak değerlendirilebilir.

2.5 Kaynağın Sınıflandırılması

Kaynak yöntemleri temel itibari ile enerji kaynağının türüne ve birleştirme işleminin amacına göre sınıflandırılabilir. Enerji kaynağının türüne göre ergitme ve basınç, işlemin amacına göre de dolgu ve birleştirme kaynağı olarak incelenebilir.

Ergitme kaynağında birleştirilecek olan metalik malzemeler yalnız sıcaklığın etkisi ile bölgesel olarak ısıtılarak, genellikle ek kaynak metali de kullanılmak sureti ile birleştirilmektedir.

Basınç kaynağında birleştirilecek olan metalik malzemeler, ısı uygulanarak yahut uygulanmadan ek kaynak metali kullanımı olmadan yalnızca basınç etkisi altında birleştirilmektedir.

Ergitme kaynağında ana enerji türü ısı olduğundan kaynak sıcaklığı birleştirilecek malzemenin ergime sıcaklığından daha yüksek olmaktadır. Buna karşılık basınç kaynağında birleştirilecek olan metalik malzemeler ergimeden kaynak işlemi gerçekleştirilir. Bu sebepten genellikle bu yöntemde ki ITAB ergitme kaynağına oranla çok daha düşük olur.

Dolgu kaynağında amaç kaynağın uygulanacağı metalik parçanın hacmindeki eksikliği tamamlama ya da hacmini büyütme. Ayrıca aşındırıcı etkiler altında çalışan plastik enjeksiyon kalıp çelikleri gibi iş parçalarında, bu parçaların korozyon ve aşındırıcı etkilere

karşı korunmaları amacıyla, parçaların belirli bölgelerinin (örneğin kalıp ayrılma çizgisi boyunca aşınan bölgelerde) üzerini belirli özelliklere sahip malzeme ile yığmaktır.

Birleştirme kaynağı ise, iki ya da daha fazla parçanın birbirinden çözülemez bir hale getirilmesidir.

Metalik malzemelerde uygulanacak olan yöntemin seçimi, yani enerjinin türünün seçimi, kaynak kabiliyeti, ITAB genişliği, konstrüksiyon üzerinde uygulanabilmesi vb. mühendislik kriterleri ile beraber değerlendirilerek yapılır. Tüm bunlar ışığında günümüz endüstrisinde en çok tercih edilen ergitme ve basınç kaynak yöntemleri şunlardır.

Ergitme kaynak yöntemleri ;

- Döküm ergitme kaynağı
- Gaz ergitme kaynağı
- Elektrik ark kaynağı
- Karbon elektrod ile kaynak
- Çıplak elektrod ile kaynak
- Örtülü elektrod ile kaynak
- Özlü elektrod ile kaynak
- Tozaltı kaynağı
- Koruyucu gaz altında kaynak (gazaltı kaynağı)
 - TIG kaynağı
 - Ark atom kaynağı
 - Normal TIG kaynağı
 - Plazma ark kaynağı
 - MIG/MAG kaynağı
 - Soy gaz korumalı kaynak (MIG kaynağı)
 - Aktif gaz korumalı kaynak

➤ Özlü tel elektrod ile MIG/MAG kaynağı

- Elektrik direnç ergitme kaynağı (Elektrocuruf)
- Elektron ışın kaynağı
- Lazer ışın kaynağı
- Termit kaynağı

Basınç kaynak yöntemleri ;

- Soğuk basınç kaynağı
- Ultrasonik kaynak
- Demirci (ocak) kaynağı
- Döküm basınç kaynağı
- Gaz basınç kaynağı
- Elektrik direnç kaynak yöntemleri
 - Direnç nokta kaynağı
 - Direnç dikiş kaynağı
 - Yakma alın kaynağı
 - Direnç saplama kaynağı
- Yüksek frekans kaynağı
- Sürtünme kaynağı
- Elektrik ark basınç kaynağı
- Difüzyon kaynağı
- Sürtünen elemanla birleştirme kaynağı [2].

AŞINMA VE ONARIM KAYNAĞI

3.1 Dolgu ve Aşınma Kaynağının Tanımı ve Önemi

Konstrüksiyonlarda hasar alan parçaların kaynak yöntemleri ile onarımlarına başlamadan önce onarımı gerektiren hasar türünün belirlenmesi, bu parçanın konstrüksiyon içindeki konumunun, malzemesinin iç yapı ve makroskopik analizinin, ısıtım işlemi görüp görmediğinin, parçadan beklenen statik ve/veya dinamik yüklere ve korozyona karşı dayanım değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu parametreler belirlendikten sonra, parçaya uygulanacak kaynak yöntemi, kaynak ilave malzemesi, açılacak kaynak ağzının şekli, kaynak dikişinin uzunluğu ve kaynaktan önce ve/veya sonra uygulanacak ısıtım işlemlerin tespiti yapılarak en uygun kaynak metodu belirlenmelidir [6].

Uluslararası Kaynak Enstitüsü'nün tarifine göre dolgu kaynağı; ergitme kaynağı, lehimleme veya metal püskürtme yöntemlerinden biri ile ana malzeme(metal) üzerine kimyasal özellikleri bilinen bir metalin bir ya da birkaç tabaka halinde kaplanmasıdır.

Bu tanım çok geniş olmakla birlikte tüm ergitme kaynak yöntemlerini kapsamaktadır. Dolgu kaynağı tamirat amaçlı olarak onarım kaynağı veya yeni imalat için uygulanabilir. Bu ikisinden birinin seçilmesinin en büyük farkı ise ilave kaynak metallerinin özellikleridir.

Plastik enjeksiyon kalıplarındaki dolgu kaynağı %100 e yakın oranda onarım amaçlı uygulanmaktadır. Çok fazla tercih edilmemekle birlikte tasarimsal değişiklikleri hayata geçirebilmek içinde imalat kaynağı yapılabilir.

Plastik enjeksiyon kalıplarındaki tadilatlarda özellikle parça tasarımında ki değişikliklere bağlı olarak doldurulması (yani parça üzerinde bazı bölgelerin inceltilmesi yahut boşluk açılması) istenen bölgelerde dolgu kaynağı olarak genellikle TIG kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemin kullanılmasındaki en büyük etken plastik enjeksiyon kalıplarında yoğun olarak kullanılan 1.2738 kalıp çeliklerinde bulunan Ni ve Cr elementlerinin yüksek oranlara sahip olmasıdır. TIG kaynak yönteminin bu elementleri barındıran yüksek alaşımlı çeliklerdeki yüksek performansı sebebi ile dolgu kaynağı olarak kullanılması bu yöntemi vazgeçilmez kılmıştır.

Bunun yanında kalıpların kısmi bölgelerdeki çapak iyileştirme işlemleri gibi hassas işlemlerde genellikle lazer kaynak yöntemi tercih edilmektedir. Bu yöntemde ITAB'ın minimum düzeylerde olması ve çok ince bölgelerde dahi istenilen kaynak kalitesine ulaşılabilmesi açısından lazer kaynağı son derece avantajlıdır.

Çalışan her alet ve makine birbirleriyle çalışan parçaların sürtünmesi ve/veya çarpışması vesilesi ile eskir ve aşınmaya uğrar. Bu durum plastik enjeksiyon kalıplarında baskı sayısı arttıkça parça üzerinde meydana gelen çapaklar, maça sistemlerinde meydana gelen boşluklar ile kendisini göstermektedir. Günümüz teknolojisinde seri imalatla bir yıl içersinde milyonları bulan parça adetlerinin istenilen kalite seviyelerinde üretilebilmesi için, kalıp üzerinde meydana gelen aşınma problemlerinin çözümü noktasında dolgu kaynağı onarım açısından vazgeçilmez bir öneme sahiptir.

Dolgu kaynağının başlıca faydalarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Yeni parçanın sadece ihtiyacı olan bölümüne, üstün özelliklere sahip pahalı alaşımları kullanma olanağı vermektedir. Asıl parça gövdesinde ise daha yumuşak ve sünek bir metal kullanarak işleme maliyetini azaltılmakta ve darbelere karşı dayanımı arttırılmaktadır.
- Parçaların ömürleri uzamaktadır.
- Yedek parça temininde yaşanan sıkıntıları aşabilmek için eski parçalar kısa bir sürede tekrar eski işlevlerini yerine getirebilir hale sokulup maliyet avantajı ve zaman tasarrufu sağlanmaktadır.

- Kırılmış veya hatalı işlenen parçalar tamir edilebilmektedir. Örnek olarak plastik enjeksiyon kalıplarının maça sisteminde meydana gelen kırıkların onarılması ya da kalıp ayırım yüzeylerindeki kusurların giderilmesi gösterilebilir [7].

3.2 Hasara Neden Olan Hata Türleri

Hasara neden olan hatalar farklı zamanlarda ve farklı sebeplere bağlı olmakla birlikte, bu hatalar bir bütün olarak değerlendirildiğinde ana sebepleri metalsel malzemenin üretim aşamalarından işlenmesine kadar geçen sürede ortaya çıkan hatalar ve bu hatalara bağlı olarak yahut olmayarak, parçaların montajlanması ve çalışma koşullarına bağlı olarak değişen hatalar olmak üzere 4 ana başlıkta toplayabiliriz.

3.2.1 Üretim Veya Hammaddenin İşlenmesi Kaynaklı Hatalar

- Gerilme çatlakları
- Kendini çekme boşlukları
- Gaz boşlukları
- Cüruf kalıntıları
- Toplanmalar
- İşleme hataları
- Isıl işlem hataları
- Kaynak hataları
- Kalını gerilme çatlakları [6].

3.2.2 Montaj ve Üretim Koşullarına Bağlı Hatalar

- Uygun olmayan parçalar
- Unutulan parçalar
- Yorulma
- Korozyon

- Sürtünme, sünme
- Isıl dengesizlik [6].

3.3 Hasar Tipleri

Hasarları genel itibari ile aşınma, kırıklar, çatlaklar olacak şekilde 3 ana başlık altında toplayabiliriz.

Malzemenin kafes yapısında ve atom mertebelerinde meydana gelen deformasyonlar malzenin fiziksel bütünlüğüne zarar vermezler. Ancak aşınan yüzeyler, kırıklar ve çatlaklar hacimsel ve yüzeysel devamsızlıklar oluşturmak suretiyle malzeme bütünlüğüne zarar verirler.

3.3.1 Çatlaklar

Parçalar imal edilirken çeşitli usullerden faydalanılmakta ve bu yöntemler kullanılırken parçaların belirli bölgelerinde gerilmelere sebep olmaktadır.

Temel bir örnek olarak, kaynak ile birleştirmeler esnasında kaynak bölgelerinde sıcak ve soğuk çatlak olarak isimlendirebileceğimiz hasarlar meydana gelmektedir.

Sıcak çatlaklar genel itibari ile katılma esnasında yaklaşık 1200°C'da kaynak dikişi boyunca veya ITAB'da, genellikle Cr ve Ni yönünden yüksek çeliklerin kaynağında meydana gelir.

Soğuk çatlaklar ise bölgesel kendini çekmeler ve bu çekmenin engellenmesi yolu ile oluşur. Taneler arasında ilerler ve esas olarak yüksek karbonlu çeliklerde görülür [6].

3.3.2 Kırıklar

Kırılmaları 3 grup içerisinde tanımlayabiliriz. Bunlar şu şekildedir;

- Gevrek kırılmalar
- Sünek kırılmalar
- Yorulma kaynaklı kırılmalar

Plastik enjeksiyon kalıplarında en çok rastladığımız iki hata da bu grubun içerisinde yer almaktadır. Kalıp çeliklerinin yüksek sertliğinden dolayı gevrek kırılmalar, malzemelerin değişik periyotlardaki zorlanmalarından kaynaklı olarak da yorulma kırılmaları kalıp çeliklerine onarım kaynağı yapılmasına sebep olan iki hatadır.

3.3.3 Aşınma

Bu hasar plastik enjeksiyon parça imalatında yaşanan çapak probleminin en büyük sebebi olarak gösterilebilir.

Yanlış tasarım ya da fazla baskı sayısına bağlı olarak aşınan kalıp ayrılma hattında plastik sızmasına bağlı olarak parça üzerinde çapaklanmayı görürüz. Bu noktada bu hasar tipinin ortadan kaldırılması için en ideal yöntem lazer kaynak uygulamasıdır.

Yöntemin çok küçük bölgelere uygulanabilir olması, yüksek hassasiyet ve düşük ısı girdisi gibi avantajları da gözönüne alındığında kalıp ayrılma hattında yaşanan aşınmalara karşı en büyük çözümdür.

Bunun yanında plastik hammadde çeşidine göre yanlış kalıp çeşidinin kullanılması da kalıp çeliklerindeki aşınma problemlerini arttıran bir diğer önemli husustur.

3.4 Dolgu Kaynağından Sonra Yaşanan Problemler

Dolgu kaynağı sonrasında yaşanan problemler genel itibari ile diğer kaynak yöntemleri sonrasında yaşanan problemler ile büyük benzerlik gösterir. Bilindiği gibi bu problemlerin ana sebebi olarak da ısı girdisine bağlı olarak malzemedede ortaya çıkan değişiklikler gösterilir.

3.4.1 Isı Kaynaklı Gerilmeler

Dolgu kaynağı sonrasında, kaynak edilen parçaya gerilme giderme işlemi uygulanmadığından ısı etkiler sonucunda ortaya çıkan gerilmeler parça içinde hapsolür. Bu gerilmeler çarpılmalara ya da çatlamalara sebebiyet verebilirler.

Ana problemlerden biri de ana metalin ve dolgu malzemesinin çekme, elastikiyet modülü gibi fiziksel özelliklerinin birbirinden farklı olmasıdır. Bu farklılığa bağlı olarak

ısı etki uygulandığında yüzeyler arasında genleşme farkları meydana gelebilir ve bu farklılık şekil değişiklikleri ve çarpılmalara sebep olabilir.

Bazen de tüm bu etkilerin eksi yönünde olacak şekilde, dolgu esnasında oluşan gerilmeler ile parçanın çalışma şartlarından dolayı oluşan mevcut gerilmeler birbirini karşılayarak çatlak oluşumuna mani olabilirler [8].

3.4.2 Distorsiyon

Parçanın çalıştığı ve kaynak edilecek pozisyona göre önceden belirli miktarlarda ön eğme uygulanıp sonrasında talaşlı işleme yöntemleri kullanılarak parça eksenine getirilebilir ya da oluşan distorsiyon belirli bir sıcaklıkta parçaya zarar vermeden eğerek düzeltilebilir. Bu durumun mevcut kaynak uygulamalarından daha farklı bir statüsü yoktur.

3.4.3 Dikiş Altı Çatlaması

Bu problem ana metelin kaynak işlemi sonrasında kaynağın altında kalan ısıdan en çok etkilenen bölgesinde meydana gelir. Bu sebepten yüzeyde fark edilmezler ancak dolgu metalinde pullanma ve çatlamayı tetikleyebilirler [7].

Bu problem temel olarak parçadaki karbon oranına bağlıdır. Yüksek karbonlu ve alaşımlı çeliklerde dahi ön ısıtma uygulaması sonrasında kaynak yapılması genellikle bu problemi çözer.

Dikiş altı çatlamasını önlemenin en kolay yolu ön ısıtma uygulamasıdır. Böylece metalin soğuması yavaşlayacak ve çatlak oluşumu önlenecektir [8].

3.4.4 Gerilme Kırılması

Eğer kaynak işlemi uygulanacak parçada önceden kalma iç gerilmeler mevcut ise kaynak gerilmelerinin de bunlara eklenmesi ile gerilme kırılması dediğimiz problem ortaya çıkabilir.

Gerilme kırılmalarının yüksek karbonlu veya orta karbon düşük alaşımlı çeliklerden yapılmış parçalarda karşımıza çıkma ihtimalleri çok yüksektir. Kırılma riskini azaltmak

için ana malzemeye ön ısıtma uygulanması ve dengeli soğumanın oluşturulması sağlanmalıdır.

3.4.5 Pullanma

Bu problem kaynak metalinin pul ya da daha büyük parçalar halinde ana metalden kopup gitmesidir. Kaynak edilecek yüzeyin iyi hazırlanmaması bu problemin başlıca sebeplerindendir.

Yüzey temizliğinin gerektiğı gibi yapılması ve kaynak öncesi ön ısıtma yapılması, problemin çözümü için gerekli iki şarttır.

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARINDA AŞINMA

4.1 Aşınmanın Tanımı

DIN 50320 baz alındığında aşınmanın tanımı şu şekilde yapılabilir ; “ katı yüzeyinden, tribolojik zorlanma vasıtası ile sürekli ilerleyen malzeme kaybıdır ” [9].

Metalikk parçalarda aşınma, korozyona uğrama, çatlama ya da orijinal boyutlarının kaybedilmesi şeklinde olabilir. Hasar alan bu yüzeyler görevlerini yerine getiremeyeceğinden ya değiştirilmeli ya da tamir edilmelidir. Kalıp ayırma hatlarında ortaya çıkan aşınma problemlerinde aşınma yüzeyinin değiştirilme şansı olmadığından çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak işlemi uygulanarak tamir edilmesi en uygun yöntem olarak görülmektedir.

Başlıca beş tip aşınma faktörü vardır

1. Abrazyon ,
2. Darbe,
3. Adhezyon (metal – metal sürtünmesi),
4. Yüksek Sıcaklık,
5. Korozyon

4.2 Abrazyon

Metal olmayan malzemelerin sürtünme yolu ile metal yüzeyleri aşındırmasıdır.

Özellikle plastik enjeksiyon kalıplarında fiber-glass katkılı hammaddeler kalıp yüzeylerinde bu tarz aşındırmalara sebep olmaktadır.

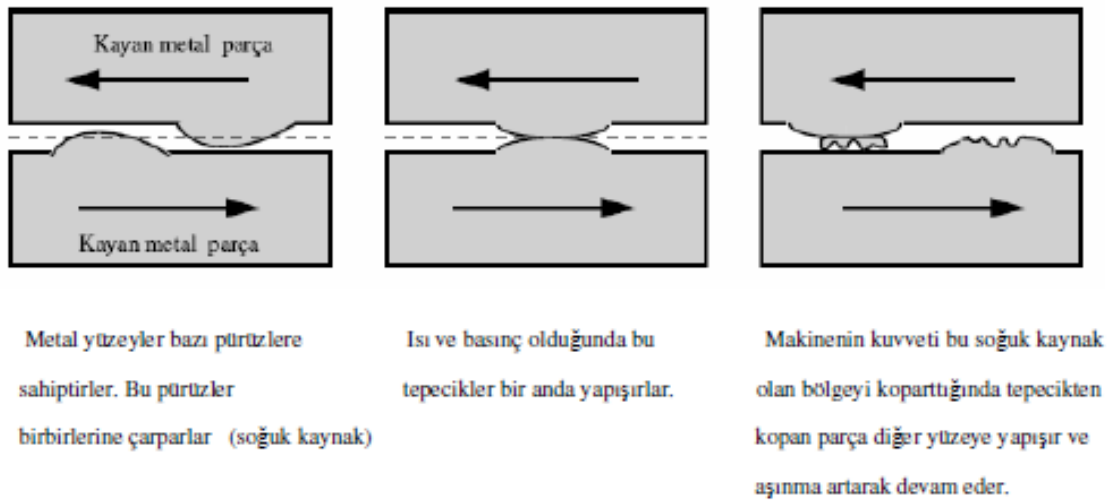
Bu tarz aşınmaları önlemek için yüksek sertliklerde (48-52 HRC) çelik kullanmak kalıp ömrüne katkı yapmak için iyi bir seçimdir.

4.3 Adhezyon

Bu tür aşınmalar, özellikle yağlanmadan kullanılan metal parçaların birbirlerine sürtmesi ile oluşur. Şekil 4.1’de görüldüğü gib metal yüzeyler birbirine sürtmekte ve sürtünen yüzeylerdeki pürüzlülük nedeniyle kopan parçalar diğer metal yüzeylere sıvanmaktadır. Bu proses aynı şekilde devam ettikçe kopan parçalar sebebiyle aşınma daha hızlı bir şekilde gerçekleşir [7].

Özellikle yumuşak ve sert yüzeylerin birlikte çalışması esnasında adhezif aşınma çok yüksek seviyelerde gerçekleşir. Ancak adhezif aşınmalar için çok yakın sertlikteki yüzeylerinde birbirleri ile çalışması sakıncalıdır.

Plastik enjeksiyon kalıplarında bu durum, çeliklerin birbirleri ile alıştırma yapacağı yüzeylerde, bu yüzeylere yeterli açının verilmemesi sebebi ile ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu istenmeyen durumdan ötürü parça tamir dahi edilemeyecek seviyelerde bozulmaya uğrar. Bu durumun önüne geçebilmek için parça mekanik tasarım sürecinden, kalıp tasarım sürecine kadar koordineli bir şekilde tasarım yapılmalıdır.



Şekil 4.1 Adhezyon mekanizması [10]

Ancak tüm bunlara rağmen, maça gibi hem kendi yataklarına hem de dişi ve erkek çekirdek çeliklerine sürtünerek çalışan kalıp elemanlarında bu aşınma türüne sıklıkla rastlanabilir. Maçalarda adhezyon önlemek amacıyla tüm maça çelikleri genellikle 1.2344 çelikten 48-52 Rockwell C sertliğine sertleştirilecek şekilde seçilmelidir. Ayrıca buna ek olarak ilerde adhezyona bağlı aşınma ve parça yüzeyinde çapaklanma görülmemesi için, yukarıda belirtildiği gibi maçalar ile dişi erkek çekirdek çeliklerinin alıştıırılma yüzeylerinde çok yüksek açılar verilmelidir.

4.4 Darbe Aşınması

Darbe şiddeti altında çalışan metallerdeki gerilimler, elastik deformasyon sınırlarını aşarsa, yüzeyde bulunan bölgeler deforme olur ve deformasyon zaman içinde ilerleyerek çatlak ve kırılmalara sebebiyet verir. Sert ve gevrek metaller şiddetli darbelerde ya da hafif de olsa sürekli oluşan darbelerde herhangi bir deformasyona uğramadan kırılabilirler. Sünek metaller çok çabuk kırılmazlar fakat zamanla darbeye bağlı olarak deforme olarak şekil değişimine uğrarlar. Bu tür bir aşınmaya karşı en uygun çözüm yüksek darbe tesiri altında soğuk sertleşme özelliği olan % 10 – 20 Mn'lı östenitik çeliklerdir. Martenzitik sert dolgu alaşımları da orta dereceli darbelere karşı mukavemetlidirler [10].

Plastik enjeksiyon kalıplarında tasarıma bağlı olarak bazı maçalar kalıp kapanması esnasında dişi yada erkek çekirdek çeliklerine darbeli bir şekilde vurarak çekirdek çeliklerinde çatlamalara sebep olmaktadır; kam mekanizmalı döner maçalar buna iyi bir örnektir. Aşağıdaki fotoğrafta buna örnek olarak, kam mekanizmalı maçaya sahip bir kalıptaki dişi çekirdek çeliğinde meydana gelen kırılma görülmektedir. Bu tarz bir kırılma binlerce baskıdan sonra darbeye bağlı olarak deforme olan yüzeyin aniden kırılması şeklinde meydana gelmektedir ve üretimin devamlılığının sağlanması için tek çözüm son derece hassas lazer kaynak işçiliği ve beraberindeki parlatma operasyonudur.



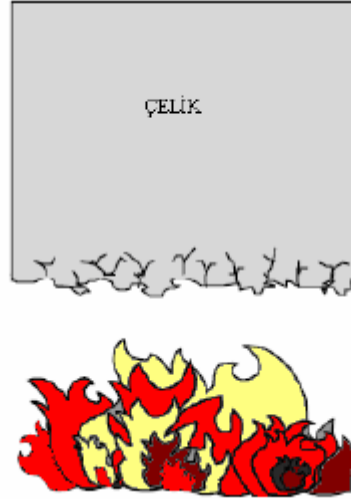
Şekil 4.2 Darbeye bağlı olarak çatlamış dişi kalıp çekirdeği

4.5 Yüksek Sıcaklık Aşınması

Çeliklerin yüzeyleri yüksek sıcaklıklara uzun süre maruz bırakıldıklarında, ısı, çeliğin mikro yapısını etkileyerek yüzeyin bozulmasına ve dayanımın düşmesine sebep olur. Özellikle yüksek sıcaklıklardaki metallerde görülen bu durumun temel nedeni, çok yoğun ısınma ve arkasından gelen ani soğuma ile ortaya çıkan yorulmadır. Bu olay ısı yorulması şeklide de adlandırılır [11].

Tekrarlanan bu olay sonucunda metal yüzeyleri sürekli genleşme ve büzüşmeye bağlı olarak deforme olup çatlaklara sebep olabilirler. Bu tür bir aşınmaya alınabilecek en iyi önlem %5 – 12 Cr içeren martenzitik çeliklerdir. Çünkü krom- Karbür alaşımlarının 650° ye kadar aşınma dayanımları vardır.

Plastik enjeksiyon kalıplarında bu tarz bir bozulma/aşınma, en çok yüksek kapama kuvvetine sahip makinelerde çalışan kalıpların sıcak yolluklarının patladığı yüzeylerde oluşur. Özellikle glass-fiber gibi aşındırıcı malzemelerin de katkı olarak kullanıldığı malzemeler ile çalışan kalıpların yukarıda belirtilen yüzeylerinde, belirli bir baskı sayısından sonra bozulmaya bağlı olarak parlatma ihtiyacı duyabilir. Ancak bu tür bir aşınmadan kaynaklı çatlak ve kırılmalar, yüksek sıcaklıklara çıkılmadığından dolayı plastik enjeksiyon kalıplarında görülmezler.



Şekil 4.3 Yüksek Sıcaklık Aşınması [10]

4.6 Korozyon Aşınması

Demir içeren metallerin çok büyük bir kısmı korozyona bağlı olarak aşınma ile karşı karşıya kalırlar. Bunların en yaygın olanı ise paslanmadır. Paslanma, yüzeydeki tabakanın havada bulunan oksijen ile tepkimeye girerek okside dönüşmesidir. Bu oksit tabakası zamanla metal yüzeyinden kalkarak, metalin et kalınlığına zarar vermektedir [11].

Plastik enjeksiyon kalıplarında paslanma yoğun olarak iki olaya bağlı olarak meydana gelmektedir ;

1. Kalıbın imalatı bittikten sonra bakım ve onarımları tamamlanıp kalıp kapatılmadan önce kalıp içi koruyucuların yüzeye uygulanmaması.
2. Kalıp soğutma kanallarında, özellikle kesişim bölgelerinde, içerisinde belirli sıcaklık ve debide sürekli olarak geçirilen sulara bağlı olarak.

1. maddede anlatılan bir durumla karşı karşıya gelindiğinde, yüzeyde meydana gelen paslı bölge temizlenmek suretiyle kalıbın bakımı gerçekleştirilebilir. Ancak kalıp uzun bir süre beklediysen ve korozyon belirli bir eşiği aşmış tüm yüzeye yayıldıysa bu durumda çekirdek yüzeyleri yeniden işlenerek kalıp kurtarılabilir olsa da, böyle bir durumda da parçada konstrüktif bir değişiklik meydana getirilmiş olur.

2. maddeye bağlı olarak meydana gelen aşınmada, su kaçakları ve kalıbın istenildiği gibi soğutulamaması gibi problemler ile karşılaşılabılır, böyle bir durumda çevrim süresi artacak ve kalıbın verimi düşecektir.

Tüm bunların önüne geçmek için dişi ve erkek çekirdeklerde 1.2083 standardında çelik kullanılabilir. Bu çeliğin parlatılabilirliği de ayrıca çok yüksek olup içeriğindeki Cr oranı sebebiyle korozyona karşı da dirençli bir kalıp çeliğidir. Burada dikkat edilmesi gereken husus çekirdeklerde bu çelik kullanıldığında hamil çelikleri de paslanmaz çelikten seçilirse kalıptan alınacak verim artacaktır.

TIG (WIG) KAYNAĞI

5.1 TIG Kaynağının Tanımı ve Tarihçesi

Eriyik halinde bulunan kaynak banyolarının bir gaz vasıtası ile korunması fikri ilk kez 1926 yılında ortaya atılan Alexander kaynak usulünde kaynak dikişini metanol gazı ile korunmuş ve sonrasında 1928 yılında Arcogen usulü bulunmuştur. Geliştirilen bu yeni usulde bir elektro ile birlikte oksii-asetilen alevi birlikte kullanılmıştır. Yöntemde, üfleç alevi, kaynak banyosunu havanın kaynak dikişine zararlı etkilerinden korunmasını sağlamaktaydı. Günümüzde geliştirilen yöntemeler sayesinde yukarıda anlatılan bu yöntemlerin ikisi de kullanılmamaktadır.

1926 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde Weinmann ve Langmuir tarafından kaynak banyosunun atmosferik ortamın kaynak dikişine zararlı etkilerine karşı korunması sistematik bir şekilde incelenmiş ve hidrojenin koruyucu gaz olarak kullanıldığı Arkatom yöntemi geliştirilmiştir [12].

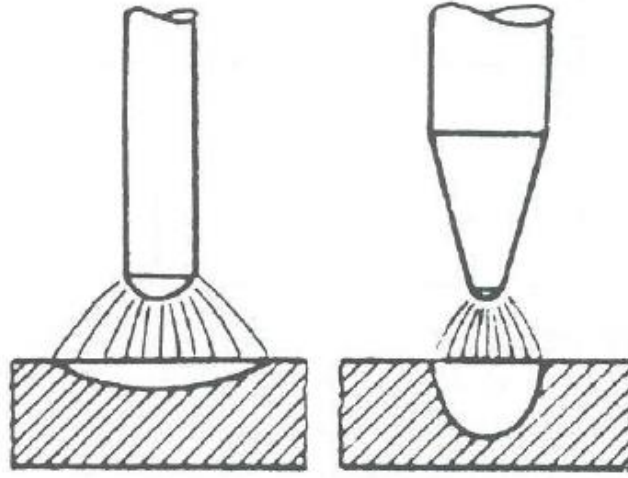
Inert gazların koruyucu gaz olarak kaynak yöntemlerinde kullanılması 1930 yılında Hobart ve Devers isimli araştırmacıların konuyu patent olarak alması ile başlamış ve sonrasında bazı havacılık şirketlerinin koruyucu gaz olarak Ar gazını kullanmaları ile sanayi sahasına girmiştir.

TIG kaynağının ismi Tungsten Inert Gas'dan gelir ve koruyucu soygaz (Ar) altında ergimeyen tungsten bir elektrodla gerçekleştirilir. Bu yöntemin seçimindeki asıl sebep ise, kaynak işlemine katılan oksidasyona karşı olan yüksek duyarlılıklardır [13].

Bu yöntem çoğu zaman onarım ve düzeltme amacı ile uygulanan dolgularda Al-,Ni, Mg, Cu ve bunların alaşımları ile birlikte, içeriğinde Ni ve/veya Cr bulunan paslanmaya dirençli çeliklerin kaynak işlemlerinde de tercih edilir [13].

Bu kaynak işlemi dolgu amacı ile yapılacaksa işlemde geniş yüzeyler oluşturacak şekil 5.1 de görülen sol taraftaki uç biçimi tercih edilir. Bunun sebebi dolgu işlemlerinde derin bir nüfuziyetin öngörülmemesidir.

Kaynak işlemi onarım amacı ile kullanılacaksa sağ taraftaki ince uç biçimi tercih edilmelidir. Bu seçim derin nüfuziyet anlamında daha avantajlıdır.



Şekil 8 : WIG kaynağında
elektrod uç biçimleri

Şekil 5.1 TIG kaynağında elektrod uç biçimleri [13]

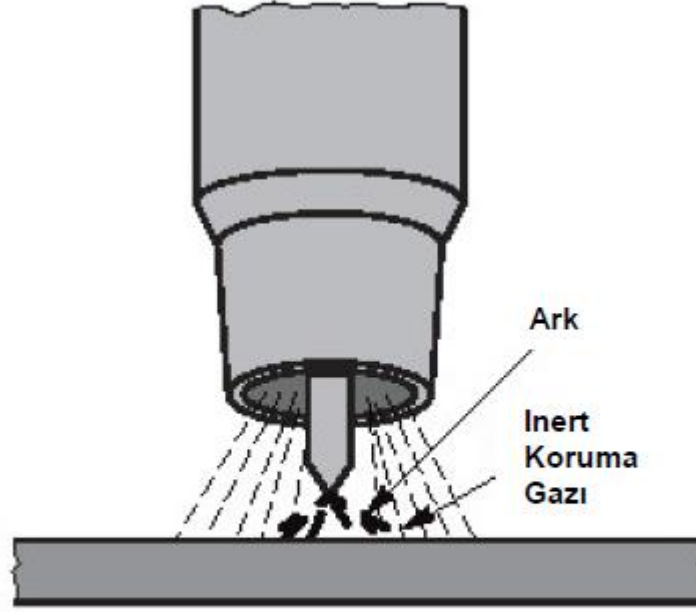
Yöntem, yığma hızının düşüklüğü sebebi ile yüzey kaplama işlemlerinden ziyade, daha çok tamir işlerinde tercih edilmektedir. Plastik enjeksiyon kalıplarındaki tamir işlemi gibi, tolerans aralığı dar tamirat işlemlerinde, dar ITAB bölgesi elde edilmek amacı ile tercih edilen özel kaynak işlemlerine göre çok daha ekonomik bir yöntemdir.

5.2 TIG Kaynağının Prensibi

TIG kaynağı, elektrik arkının kaynak parçası ile tungsten elektrot arasında yanması ile füzyon gücü ortaya çıkardığı bir elektrik ark kaynak yöntemidir.

Kaynak işlemi esnasında elektrot, ark ve kaynak havuzu dediğimiz bölge inert koruma gazı ile atmosferik ortama karşı korunmaktadır.

TIG kaynak yöntemi diğer ark kaynak yöntemlerinden, kullanılan elektrod ile ayrılır. Çünkü bu yöntemde MIG/MAG ve MMA 'daki gibi kullanılan elektrod ergimez.



TIG kaynak prensibi

Şekil 5.2 TIG kaynak prensibi [14]

TIG kaynak yöntemi birleştirilecek malzeme türlerine göre doğru akım ya da dalgalı akımda uygulanabilmektedir. Aynı kaynak makinesinde doğru ya da dalgalı akım uygulanabilmekte ve işlem tipine göre(dolgu,tamir) akım çeşidi seçilebilmektedir [13].

TIG kaynak yönteminde ilk zamanlarda sadece Helyum gazı kullanılırdı. Ancak günümüzde yoğun olarak Ar gazı kullanılmaktadır.

Günümüzde kullanılan TIG kaynak makinelerinde otomatik bir kontrol sistemi de bulunmaktadır. Buna bağlı olarak ark tutuşması, sistemin küçük güçlerde çalışırken hava ile soğutulması, büyük güçlerde çalışırken su ile soğutulması ve koruyucu gaz besleme de bu sistem sayesinde güven altında tutulabilmektedir.

5.3 TIG Arkı

Yukarıda da bahsedildiği gibi TIG kaynağındaki ergime enerjisi arkın kaynak parçası ve tungsten elektrod arasında yanması ile oluşur.

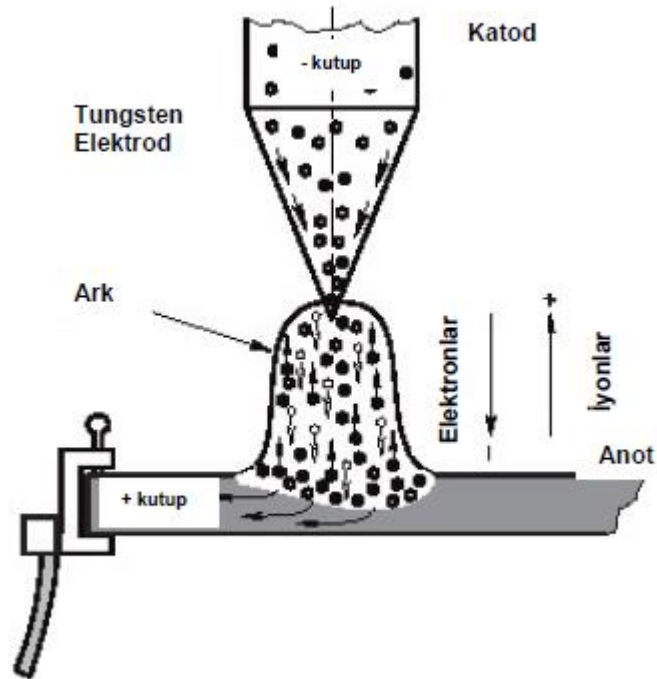
Kaynak sırasındaki tel beslemesi otomatik ya da manuel olarak yapılabilir.

DC TIG kaynak uygulamalarında tungsten elektrod genellikle negatif kutba ve kaynak parçası pozitif kutba bağlanır. Bu durumda elektron teorisine göre ark oluştuğunda negatif yüklü elektronlarla pozitif yüklü iyonlar birleşir.

Elektronlar negatif kutuptan pozitive doğru akarlar, (+) yüklü iyonlar tam tersi istikamete doğru hareket ederler.

Arkta ısı enerjisi elektronlar ve iyonlar arasındaki çarpışma sonucu meydana gelen enerji vasıtası ile üretilir.

Alternatif akım ise gerilimin kutuplamayı saniyede 100 kez değiştirmesi ile oluşur.



Şekil 5.3 TIG kaynağında elektronların yer değiştirmesi

5.4 TIG Kaynak Yönteminin Avantajları

Doğası gereği TIG kaynak yönteminin diğer yöntemlere nazaran yöntemin teoriği bakımından sahip olduğu pek çok avantajları vardır.

Plastik enjeksiyon kalıpları açısından bu avantajların başında, Cr ve / veya Ni içeren kalıp çeliklerinin bakım-onarım kaynağının yapılabilmesi için olmazsa olmaz bir yöntem oluşu gelmektedir. Bunun dışında, TIG kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemlerine göre aşağıda belirtilen pek çok yönden avantajlı konumdadır.

- Kaynak parçasının konsantre olarak ısınmasını sağlar.
- Soy gaz korumasına bağlı olarak, kaynak havuzunda çok etkili bir koruma sağlar.
- Cüruf veya çapak oluşmadığından kaynak işlemi sonrasında kaynak bölgesinin yeniden temizlenmeye ihtiyacı yoktur.
- Ulaşılması zor olan bölgeler bile rahatça kaynak edilebilir.
- Otomasyona uygundur.

5.5 TIG Kaynağı İçin Uygulama Alanları

TIG kaynağının başlıca uygulama alanları aşağıdaki gibidir.

- Açık deniz sanayi
- Kalıpcılık Endüstrisi
- Birleşik ısı ve güç alanları
- Gıda sanayi
- Kimya Sanayi
- Nükleer sanayi

5.6 TIG Kaynağı Uygulanan Malzemeler

İşlem şartlarına uymak koşulu ile, malzemeye uygun kaynak çubuğunun seçimi, kaynak ağzı temizliğinin tam ve düzgün yapılmış olması ve ön tav gibi işlemlerin düzgün bir

şekilde uygulanması ile birlikte TIG kaynak yöntemi, kaynak işlemlerinde problemler yaşanan aşağıdaki malzemelerin birleştirilmesinde kullanılmaktadır.

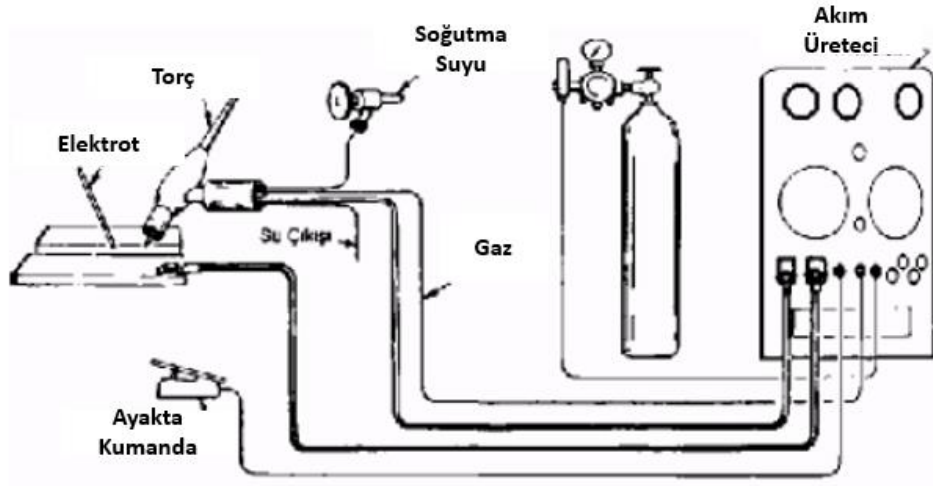
- Alüminyum,
- Nikel,
- Magnezyum,
- Bakır alaşımlı çelikler ile birlikte,
- Ti , Zr, Mo, gibi özel metallerin kaynağında da TIG kaynak yöntemi kullanılır.

Bunların yanında paslanmaz çeliklerin kaynağında olmazsa olmaz bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Plastik enjeksiyon kalıp çeliklerinde kullanılması da yukarıda belirtildiği gibi Mo, Ni ve Mg gibi alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılması ilkesinden dolayıdır. Bilindiği üzere 1.2738 kalıp çeliğinde %1,00 Ni %0,20 Mo ve %1,90 Cr bulunur.

TIG kaynak yöntemi havacılık endüstrisi, nükleer sanayi buhar kazanları vb. gibi kalite ve emniyet kriterlerinin üst düzeyde olduğu alanlarda kullanılmaktadır. Bu sebeple çalışma tekniği kurallarına gösterilmesi gereken önem ve kaynak öncesinde uygulanması gereken hazırlık işlemlerinin tam ve eksiz olarak uygulanması son derece önemlidir.

5.7 TIG Kaynak Donanımı

Her kaynak yönteminde olduğu gibi TIG kaynak yönteminden de istenilen sonucu elde etmek için, sisteme ait olan her bir elemanın kendi görevlerini en iyi şekilde yerine getirmesi beklenir. TIG kaynak yöntemi elektrik ark kaynak yöntemlerinin ileri bir versiyonu olduğundan sistemi oluşturan donanımlar da bu ölçekte karmaşıktır. Sistem içerisinde dolanan su ve gazın her an kontrol edilmesi yöntemin önceliklerindedir[12].



Şekil 5.4 TIG kanak yöntemi donanım şeması [2]

TIG kaynak yöntemini oluşturan donanımlar şu şekilde açıklanabilir;

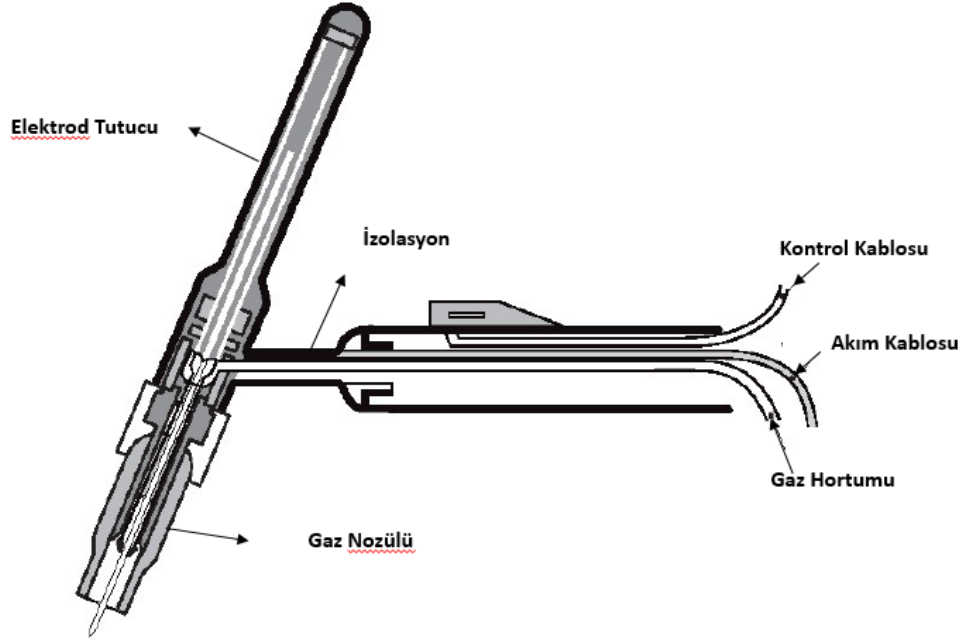
- Üfleç / Kaynak torcu,
- Kaynak akım üretici,
- Koruyucu gaz için basınç ölçme ve ayarlama tertibatı bulunan tüp,
- Kumanda, şalter, gaz ve soğutma suyu gerekli ise su giriş çıkış hortumlarını içeren bağlantı kabloları
- Kontrol kumanda ünitesi.

Yukarıda belirtilen ünitelere ek olarak, otomatik TIG kaynak uygulamaları için, otomatik tel besleme, iş parçası ya da torçu otomatik ilerletme ekipmanları da kullanılmaktadır.

5.7.1 TIG Kaynak Torçları

TIG kaynak yönteminin en önemli donanımlarının başında kaynak torçları gelmektedir. İş parçası ile Tungsten elektrod arasında elektrik arkının oluşturulması ve kaynak banyosunun koruyucu gaz ünitesi tarafından sağlanan gaz ile korunmasını sağlamak kaynak torcunun görevidir [2].

Kaynak torçları kullanım alanları dikkate alınarak farklı büyüklük ve türlerde üretilmektedir. Örneğin el uygulamaları için üretilen kaynak torçları küçük ve elektrik kaçaklarını önlemek için yalıtımlı olarak tasarlanmaktadır.



Şekil 5.5 TIG kaynak torcunun şematik gösterimi

Torçlar genel olarak yüklenecekleri akım şiddeti göz önüne alınarak sınıflandırılırlar. Akımın şiddeti torcun büyüklüğünü ekleyerek kullanılacak olan gaz nozülü ve elektrodun yanında bu torçları soğutacak olan sistemi de belirlediğinden, aslında torçlar soğutma sistemleri dikkate alınarak su soğutmalı ve hava soğutmalı olarak 2 farklı gruba ayrılırlar [2].

5.7.2 Hava Soğutmalı Torçlar

Bu tarz torçlarda soğutma, dış kısmından akan hava ve iç kısmından akan koruyucu gaz ile sağlandığından bu torçlara gaz soğutmalı torçlarda denmektedir. Hava soğutmalı torçlar su soğutmalı torçlara nazaran ucuz olmakla birlikte daha az akım kaldırma kapasitesine sahiptir. Genellikle 200 A'ı geçmeyen akım şiddetlerinde ince malzemelerin birleştirilmesi için kullanılmaktadır [2].

5.7.3 Su Soğutmalı Torçlar

Bu tip torçlar, hava soğutmalı torçlara nazaran daha yüksek akım şiddetlerinde çalışabildikleri için daha büyük, daha karmaşık ve dolayısı ile daha pahalıdır. Standart olarak 1000 A şiddetinde akımı karşılayabilecek kapasitede üretilirler ve otomatik TIG kaynak devrelerinde sadece bu torçlar kullanılır.

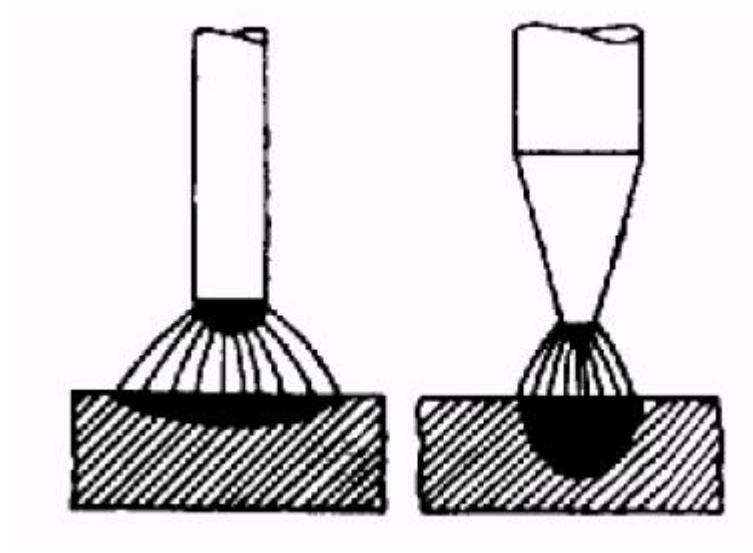
Su soğutmalı torçlar ile aralarında ki en büyük fark torç bağlantı paketleridir. Su soğutmalı torçlar için tasarlanan bağlantı paketlerde akım kablosunun ısınması önleildiğinden daha küçük kesitli kablo kullanılabilir [12].

5.7.4 Torç Bağlantı Paketi

Akım kablosu, koruyucu gaz hortumu, kontrol kablosu ve soğutma suyu kablolarını içeren ve dışı yalıtım malzemesi ile birlikte çelik spiral takviyelerle desteklenmiş ve torca bağlanan donanımdır. Akım kablosu ve soğutma sistemi kaynak kalitesini etkileyeceğinden kabloların malzeme ve kesitlerinin doğru seçimi son derece önemlidir.

5.8 TIG Kaynak Elektrodları

TIG kaynak yöntemi ile diğer elektrik ark kaynak yöntemleri arasındaki en büyük fark kullanılan elektrodun ilave metal sağlamamasıdır. TIG kaynağında elektrod sadece arkı oluşturmakla görevlidir ve bu kullanılan elektrod ergimez [12]. Bu sebeple elektrod olarak 3370°C ergime sıcaklığı olan Tungsten malzeme seçilmiştir. Tungstenin bir önemli özelliği de elektronların ark içerisinde kuvvetli bir elektron akımı meydana getirmesi ve elektronları iyonlaştırmasıyla yüksek ark kararlılığına sahip olmasıdır. Elektrodlar saf Tungsten'in yanından Toryum ve Zirkonyum alaşımları ile de üretilmektedir. Toryum ve Zirkonyum ile alaşımlandırılmış elektrodların da özellikle ömür ve akım şiddeti kapasiteleri bağlamında saf Tungsten elektrodlara göre üstünlükleri vardır [4]. Yönteme kaynak uç biçimlendirmesine bağlı olarak nüfuziyet derinliği de değişmektedir.



Şekil 5.6 TIG kaynağında elektrod ucunun kaynak dikişine etkisi [4]

EN 26848'e göre Tungsten elektrodların çapları 0,5-8mm arasında olacak şekilde standartlaştırılmıştır. Boyları ise 50, 75, 150, 175mm'dir. TIG kaynak uygulamalarında elektrodların çapları, yüklenecekleri akım şiddeti hesaplanarak seçilmelidir.

TIG kaynak yönteminde elektrodların karşılayabilecekleri maksimum akım şiddeti pek çok etkene bağlı olmakla birlikte bunlardan en etkili olanları şu şekilde sıralanabilir:

- Elektrodların kimyasal bileşimi,
- Akımın türü, kutuplama,
- Elektrodun dışta kalan kısmı,
- Kullanılan koruyucu gaz tipi,
- Kaynak torcunda kullanılan soğutma sistemi [2]

Tungsten elektrodlar, kullanılacakları iş parçasına, akım yüklenme kapasitelerine, kimyasal bileşimlerine göre farklı kod ve kategorilerde imal edilmektedir. Örneğin Alimünyum ve benzeri hafif metallerin kaynağında kullanılan elektrodlar yeşil kodlu olarak üretilmektedir. Ancak bunun dışında kalan metaller için kırmızı kodlu elektrodlar kullanılmaktadır.

AWS AST	%Min. Tungusten	% Toryum	% Zirkonyum	%Max. Diğer	RENK KODU	ERGİME DERECESİ (° C)
EW	99,5	---	---	0,5	 YEŞİL	3400
EWTh-1	98,5	0,89 -1,2	---	0,5	 SARI	4000
EWTh-1	97,5	1,7 - 2,2	---	0,5	 KIRMIZI	4000
EWTh-3	98,5	0,35 - 0,55	---	0,5	 MAVİ	4000
EWZ	99,2	---	---	0,5	 KAHVERENGİ	3700

Şekil 5.7 Örnek Tungsten elektrod çeşitleri [14]

5.9 TIG Kaynak Yönteminde Kullanılan Koruyucu Gazlar

TIG kaynak yönteminde koruyucu gazların görevi, kaynak banyosunu ve ergimeyen elektrodu havanın yaratacağı istenmeyen etkilerden korumaktır. TIG kaynak yönteminde yaygın olarak Argon, Helyum ve bunların karışımlarından oluşan soy koruyucu gazlar kullanılmaktadır [12]. Bu gazlar kimsayal olarak tepkimeye girme isteği olmayan bir diğer deyişle nötr, renksiz ve kokusuz kokusuz soygazlardır. TIG kaynağında koruyucu gazların kullanımı kaynak banyosu ve elektrodun korunmasının yanı sıra kaynak hızı ve kaynaklı konstrüksiyonun kalitesine de etki eder.

Argon ve Helyumun kendilerine özgü nicelikleri sebebi ile, kullanıldıkları kaynak uygulamalarında ve farklı metal ve alaşımlarında birbirlerine göre daha iyi sonuçlar verirler. Ancak genellikle fiyat avantajı göz önüne alındığında Argon TIG yönteminde en çok kullanılan koruyucu gazdır.

LAZER KAYNAĞI

6.1 Lazer Kaynağı

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation sözcüklerinin baş harflerinden meydana gelen Lazer ışınlarının kaynak edilecek malzeme üzerine yönlendirilmesi ile malzemelerin birleştirilmesi işlemidir [2].

Lazer kaynağı, lazer ışının yönlendirilmesi ile yüksek miktardaki enerjiyi küçük noktalara odaklayabilen, otomotiv, beyaz eşya, elektronik, kalıpcılık ve buna benzer yüksek adetlerde üretim yapılan pek çok sektörde yaygınlaşmaya başlayan görece yeni ve ileri kaynak yöntemidir [15].

Temel prensip olarak lazer ışını, maddeye dışarıdan verilen bir uyarıcı etki vasıtasıyla maddenin uyarılarak etrafa foton yaymasıyla oluşur. Yayılan bu fotonların bir kısmı yansıma yaparak yine maddeyi oluşturan atomlardan bazılarına çarpar ve yeni fotonların ortaya çıkmasını sağlar. Bu reaksiyon zincirleme olarak devam eder ve bunun sonucunda yoğun ve yönlendirilebilir lazer ışını ortaya çıkar.

Lazer ışınları, IR dalga boylarından, mor ötesi ışınlarına kadar, şiddeti arttırılmış, aynı frekansta ve aynı faza sahip ışınımın oluşturduğu ışın demetleridir. Böylece lazer sistemleri deplanan ışın demetlerini diğer ışın türlerine nazaran daha az kayıpla, daha uzun mesafelere taşıma kabiliyetine sahiptirler [16]. Bu özellikleri sayesinde lazerler çok geniş bir uygulama alanına sahip olmuştur.

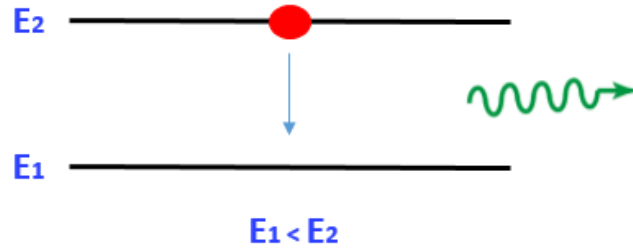
6.2 Lazer Fiziği

Bir madde için düşük ve yüksek enerji olarak 2 farklı enerji seviyesi olduğu düşünülürse, atom başlangıçtaki düşük enerjiden yüksek enerji seviyesine çıkmak için uyarılmaya ihtiyaç duyacaktır. Bu da aşağıda belirtilen şartlardan biri vasıtası ile olur;

- Isıtma ile,
- Basınç uygulanması ile,
- Elektron bombardımanı ile,
- Hızlandırılmış parçacıkların bombardımanı ile,
- Bir ışık demetinin etkisi ile [17].

6.2.1 Kendiliğinden Emisyon

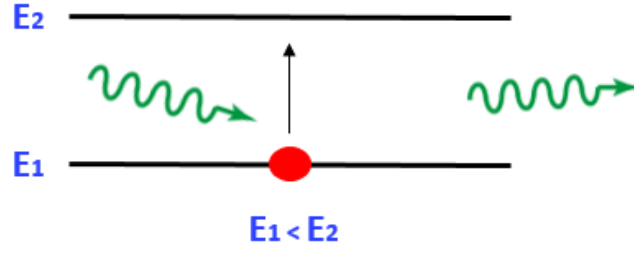
Yukarıda bahsedilen uyarıcılardan herhangi biri ile uyarılan atom tekrar düşük enerji seviyesine inme eğilimindedir. Aradaki enerji farkın ortama bıraktığında, atomdan ortaya çıkan enerji foton şeklinde yayılacaktır. Bu durum kendiliğinden emisyon olarak tanımlanır.



Şekil 6.1 Kendiliğinden Emisyon

6.2.2 Yutma

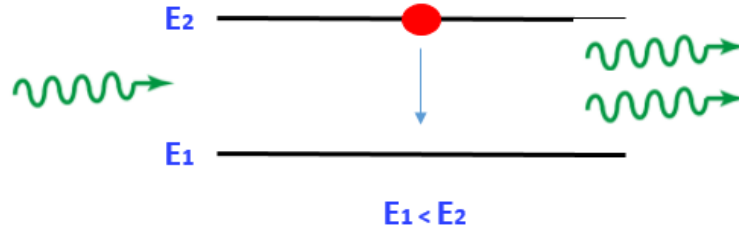
Düşük enerji seviyesindeki atoma bir fotonun çarpması halinde ise, fotonun enerjisi atom tarafından yutulmaktadır. Bu enerji sayesinde atom yüksek enerji seviyesi çıkar. Foton tarafından aktarılan bu enerji atomun enerji seviyelerinde fark yaratacak ve foton şeklinde yayılacaktır. Bu durum yutma olarak tanımlanır.



Şekil 6.2 Yutma

6.2.3 Tahrik Edilmiş Emisyon

Lazerin oluşmasını sağlayan son mekanizma tahrik edilmiş emisyonudur. Yüksek enerji seviyesinde bulunan atoma foton çarpması sonucu ortaya çıkan elektromanyetik dalganın enerjisi, aynı zamanda yüksek ve düşük enerji seviyelerinin arasındaki enerji farkına ilave olacak ve giren her bir fotona enerjisi, aynı zamanda yüksek ve düşük enerji seviyelerinin arasındaki enerji farkına ilave olacak ve giren her bir fotona karşı 2 adet foton salınacaktır.



Şekil 6.3 Tahrik Edilmiş Emisyon

6.3 Endüstride Kullanılan Lazer Türleri

Aktif ortam dışındaki bir enerji kaynağı yardımı ile atomların düşük enerji seviyesinden yüksek enerji seviyesine uyarılmasını sağlayan ortam olarak tanımlanmaktadır. Aktif ortamın türüne bağlı olarak lazerler;

- Katı hal lazerleri,
- Gaz lazerleri,
- Yarı iletken lazerleri,
- Sıvı lazerler,
- Fiber Lazerler,

- Excimer Lazeri olacak şekilde sınıflandırılabilir [18].

Günümüzde kaynak ve kesme işlemlerinde kullanılacak lazerleri üretmek için yaygın olarak CO₂ gaz lazerler ve Nd:YAG katı hal lazerleri kullanılmaktadır [15].

Lazerlerde kullanılan ilk aktif ortam, yani geliştirilen ilk lazer tipi yakut lazeri adında bir katı hal lazeridir. Daha sonra Nd: YAG lazerlerinin bulunmasıyla kullanım alanları giderek azalmış ve yerini Nd: YAG'a bırakmıştır. Silindirik çubuk formundaki kristalin bir metal kabın içerisine sabitlenip, uyarıcı olarak da özel lamba ve flaşların konumlanması ile yüksek enerji seviyelerindeki ışık ile uyarılması sonucu Nd: YAG lazer ışınları üretilmektedir. Üretilen bu ışınların dalga boyu 1064 nm'dir [19].

Nd. YAG lazerlerinde yüksek enerjili ışık ve flaşlar ile uyarılan kristal bölgenin iç ve dış yüzeylerindeki sıcaklık farkının oluşturduğu stres sebebi ile lazer ışınının kalite ve verimi azalmaktadır. Bu verimsizlik ve kalite problemlerinin çözümüne yönelik yapılan çalışmalarda kristal yapının formu ince fiber hale getirilerek verim ve ışın kalitesi artarken fiber lazerlerin de keşfi ve geliştirilmesi sağlanmıştır. Fiber formundaki kristallerde ısı farklarının oluşturduğu stres minimize edilmiştir.

Endüstride yoğun olarak kullanılan lazer türlerinden biri de gaz lazerleridir. Bu tip lazerlerde ışının üretildiği ortam, maddenin gaz halinden oluşmaktadır. Sızdırmaz bir kabın içerisinde bulunan elektrotların ortamı uyarması ile lazer ışını üretilmektedir [14]. Lazerlerin tipine göre ışını oluşturacak ortamda kullanılacak gazlarda farklılık gösterir. Gaz lazerlerinin ilk türlerinde Helyum ve Neon gazları karıştırılarak kullanılmıştır. Ancak günümüzde CO₂ gazının aktif ortam olarak kullanıldığı sistem geliştirilmiş, geliştirilen bu sistemler, yüksek güçlere çıkabilmelerinin yanında üretilen lazer ışınlarının dalga boyları sebebi ile endüstriyel anlamda en çok tercih edilen lazer türlerinden biri haline gelmiştir. Ek olarak gaz beslemeye gerek duymayan kapalı sistemlerin de bulunmasıyla hem maliyet hem de işletme kolaylığı bakımından çok avantajlı bir konuma sahip olmuştur [15].

Günümüz endüstrisinde metal ve plastik malzemeler için çeşitli yüzey işlemlerinde, sertleştirme, temizleme gibi ve bu malzemelerin kaynaklı birleştirilmesinde diyet lazerler de kullanılmaktadır. Bu tip lazerler yarı iletken lazerler olarak da

adlandırılmaktadır. Aktif ortam olarak kullanılan Galyum arsenik kristalini bu tip lazerlere örnek olarak gösterebiliriz [20].

Işın dalga boylarında hassas ayarlamalar yapılmak istendiğinde ve yakın mor ötesi ile kızıl ötesi arasında ışınlar elde edilmek istendiğinde sıvı lazerler kullanılmaktadır. Etkin madde olarak organik çözücü içindeki organik boyanın seyreltik çözeltisi kullanılır ve sıvı lazerler optik sistemler yardımıyla uyarılmaktadır [15].

6.4 Lazer Kaynak Yöntemi

Kaynak, kısaca parçaların ısı, basınç ya da her iki yöntem ile birleştirilmesi ya da kaplanması olarak tanımlanmaktadır. Lazer kaynağı ise yukarıda da belirtildiği gibi lazer kaynak ışınlarının kaynak edilecek malzeme üzerine yönlendirilmesi ile yüksek miktardaki enerjinin küçük noktalara odaklanıp malzemeleri ergitip birleştirilmesini ya da kaplanmasını sağlayan yöntemdir. Yöntemin en önemli özelliği hassas ve yüksek kalitede bir birleştirme sağlamasıdır[21]. Özellikle hassas bölgelerde milimetrik ayarlarla kaynak uygulama kabiliyeti ve otomasyona uygunluğu lazer kaynak yönteminin en önemli özelliklerinden biridir.

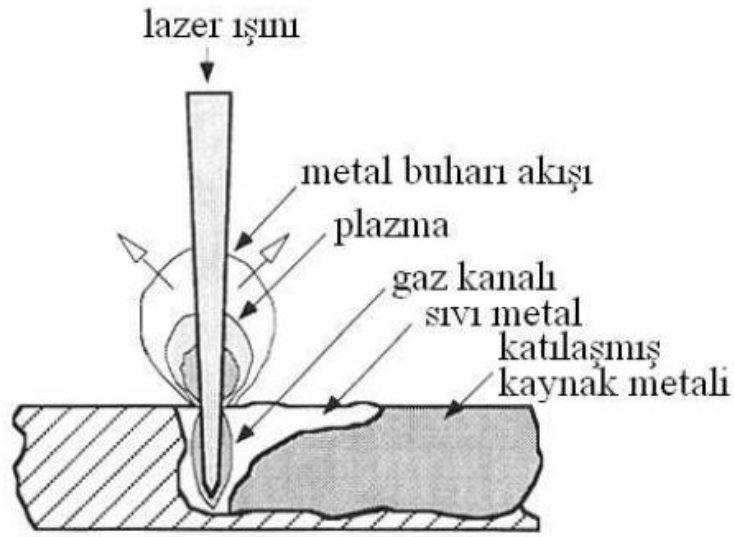
Kaynak edilecek bölgeye hassas bir şekilde odaklanıp bölgeye gereğinden fazla ısı uygulamaması sebebi ile bu yöntemde çok düşük bir ITAB genişliği elde edilmektedir. Bu özellik sayesinde ana malzeme üzerinde tane yapılarının değişimi minimize edilirken, gereğinden fazla enerji kullanılmaması sayesinde verim artmaktadır.

Lazer kaynağı aşağıdaki 2 prensipten birini temel alarak uygulanmaktadır.

- Derinlemesine nüfuz eden lazer kaynağı (Key hole laser welding)
- İletimsel lazer kaynağı [21]

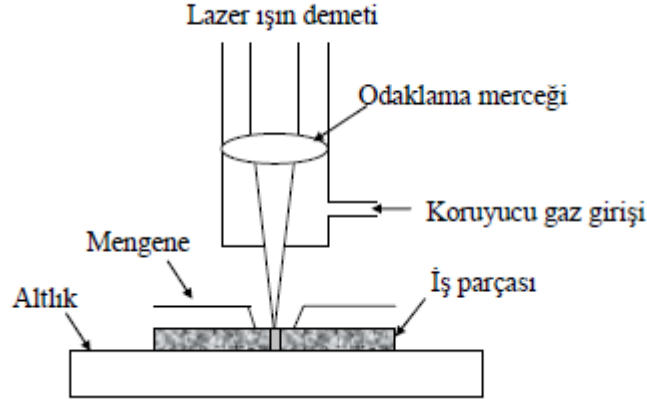
Derinlemesine nüfuz eden lazer kaynağı "Key Hole" yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Yeterli güce ve yoğunluğa sahip lazer ışının malzeme yüzeyine odaklanması sonucu anahtar deliği oluşmaktadır. Söz konusu bölge aslı itibari ile malzeme yüzeyinde ergitilmiş bir havuzdur. Bu havuz içerisindeki malzeme kararlı ve dengeli bir halde bulunmaktadır [22]. Genellikle kalın sac malzemeler için uygulanan bu yöntemde, iş parçasının ya da ışın demetinin sabit hızla hareket ettirilmesi ile kaynak

işlemi uygulanır. Anahtar deliği sistematğinde 1:10 oranına en:boy değışikliğı vardır. Sistematğın detayları Lancaster tarafından bulunmuş ve geliştirilmiştir [21].



Şekil 6.4 Anahtar deliği sistematğının şematik gösterimi [17]

İletimsel lazerlerde kaynak, lazer ışınlarının enerjisinin malzeme tarafından yutularak kaynama noktasına ulaşması ve sonrasında malzemelere uygulanan sabit bir kuvvet ile kaynak işleminin tamamlanması mekanizmasına dayanır. İletimsel lazerlerde key hole mekanizmasında olduğu gibi yüksek en boy oranı yakalanamaz. Bu tip lazerler, lazer gücünün malzemeyi buharlaştırmaya yetmediğı ancak ergitebildiğı uygulamalarda kullanılabilir. Aşağıdaki şekilde iletim lazer kaynağının şematik gösterimi verilmiştir. Burada iş parçası tarafından yutulan lazer ışınlarından ortaya çıkan ısı radyasyon ve konveksiyon ile yayılmadan önce iletim ile et kalınlığı boyunca iş parçasının merkezine doğru yayılır. İş parçasının lazer ışınlarını yutarak eriyen kısmı, ışınların uzaklaşması ile soğuyup katılaşır.



Şekil 6.5 İletimsel Lazer Kaynağının Şematik Gösterimi kaynağı[21]

6.5 Lazer Kaynak Yönteminin Avantajları

Diğer kaynak yöntemleri ile karşılaştırıldığında lazer kaynağına üstünlük kazandıran ve endüstride gün geçtikçe kullanım alanını genişletmesine sebep olan özellikleri aşağıdaki gibidir.

- ITAB (Isı Tesiri Altında Kalan Bölge) genişliği dardır.
- İş parçasına verilen ısı miktarı sebebi ile distorsiyonlar diğer kaynak yöntemlerine göre düşüktür.
- Yüksek kaynak hızına sahiptir.
- İlave tel kullanmadan da kaynak edilebilir.
- Otomasyona uygundur.
- Yüksek nüfuziyete sahiptir.
- Çok dar bölgelere kaynak yapabilme imkanı vardır.
- Vakum ya da X- ışını koruması gerektirmez.
- Lazer ışını manyetik alandan etkilenmez.

Lazer kaynağının yukarıda belirtilen avantajlarının yanında, yüksek C oranına sahip sert metallerin kaynağında, kaynak bölgesinde kaynak boşluklarının oluşması ve kaynak bölgesinin kırılganlığını arttırması gibi dezavantajları da vardır. Ancak bu dezavantajlar

diğer kaynak yöntemleri ile ortak paylaştığı özellikler olup, diğer yöntemlerle mukayese edildiğinde ihmal edilebilir seviyelerdedir [23].

6.6 Lazer Kaynak İşlemini Etkileyen Parametreler

Lazer kaynağında kaynak dikişini ve kaynak kalitesini etkileye parametreleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kaynak parametreleri,
- Kaynak hızı,
- Lazer gücü,
- Koruyucu gaz (cinsi, hız ve basınç)
- Sürekli ya da darbeli çalışma.
- İş parçası,
- Kimyasal bileşimi,
- Fiziksel geometrisi,
- Yüzey kalitesi.
- Işının Leke Çapı,
- Odak noktası.

Yukarıda bahsedilen parametrelerin uyumsuz seçilmesi lazer kaynağının kalitesinin düşmesine sebep olacaktır.

6.6.1 Kaynak Parametreleri

Lazer kaynak işlemini etkileyen parametreleri genel olarak iş parçası ve kaynak parametreleri olarak 2'ye ayıracak olursak kaynak parametreleri arasında lazer gücü ve kaynak hızı en önemli parametrelere olacaktır. Çünkü, lazer kaynağı için en önemli çıktılarından olan nüfuziyet derinliği, lazer gücü ve kaynak hızına bağlıdır. Lazer gücünün artması ve kaynak hızının azalmasına bağlı olarak nüfuziyet derinliği artmaktadır. Kaynak hızı ve güç yoğunluğunun tespiti için öncelikle üretim hızı için uygulanması

gereken en alt hız seviyesi, kaynağın hızı olarak kabul edilir ve sonrasında elde edilmek istenen nüfuziyet derinliğine göre bu derinliği karşılayabilecek lazer kaynak gücü belirlenir. Kaynak hızı ve güç yoğunluğunun yanlış seçilmesi kaynak dikişinin bozuk ve kaynak kalitesinin istenen değerleri sağlamamasına sebep olacaktır[21].

6.6.2 İş Parçası

Lazer kaynağında iş parçasının fizikel, kimyasal özellikleri ve yüzey kalitesi de kaynak dikişi ve kaynak kalitesi için son derece önemlidir. Bu parametreler, iş parçasının lazer ışınları vasıtası ile yayılan ısıyı yutma özelliklerini etkilemektedir. Bu da kaynak dikişinin morfolojik özelliklerini etkileyerek kaynak kalitesini belirleyecektir. Bilindiği gibi metaller ışığı geçirmezler ve yüzeylerine çarpan ışınları büyük oranda yansıtırlar [24].

Lazer kaynağında, lazer üreteçleri tarafından iş parçasına aktarılan ısı, yutulan enerji üzerinden hesaplanmaktadır ve maksimum yutma lazer ışınlarının iş parçası yüzeyine 90°'lik açı ile çarpması ile oluşur [25].

Bölüm 6.2'de anlatıldığı üzere malzemelerin lazer ışın demetlerini yutmaları serbest elektron sayılarına bağlıdır. Lazer ışınlarını yutan metaller ısınır, ısındıkça serbest elektron sayılar artar ve artan serbest elektronlar vasıtası ile ışın yutma miktarı artar.

6.7 Lazer Kaynağında Kullanılan Gazlar

Koruyucu gaz altında uygulanan tüm kaynak işlemlerindeki gibi lazer kaynağında kullanılan gazlar da kaynak dikişi ve kalitesi üzerinde son derece etkilidir.

Ark kaynağında koruyucu gazlar arkın korunmasını sağlarken, lazer kaynağında, plazma oluşumunu engelleyerek kaynak nüfuziyetinin artmasını sağlamaktadır[26].

Lazer kaynağında kullanılan koruyucu gazların birincil görevi kaynak bölgesi ve havuzundaki oksidasyonu önlemektir. Diğer bir önemli görevi ise plazma oluşumunu minimuma indirmek/önlemektir. Ayrıca lazer ışın demetlerinin kaynak bölgesine kadar herhangi bir engelle karşılaşmadan ulaştırılmasını da sağlamaktır[26].

Koruyucu gaz olarak Helyum ve Argon gazları tercih edilmektedir. Bu gazlar ayrı olarak kullanılabildikleri gibi lazer kaynak uygulamalarında karışım halinde de kullanılmaktadırlar. Genel olarak yüksek iyonizasyon enerjisine sahip olması sebebi ile

Helyum gazı tercih edilirken, Argonun Helyum ile birlikte kullanılması oksitlenmeye karşı yüksek koruma ve kaliteli bir kaynak dikişı eldesi sağlamaktadır. [27]

DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada, plastik enjeksiyon kalıp çeliklerinde yaşanan çatlak hatalarının doğru yöntem ve parametreler ile onarılmasının sağlanması hedeflenmiştir. Bu sebeple TIG kaynak uygulamasında çatlak temsil etmek amacı ile 90x40x10 mm boyutlarında hazırlanan 6 adet numunenin ortasında 4 mm genişliğinde ve 5 mm derinliğinde kanallar açılmıştır. Lazer kaynak uygulaması için ise 60x30x10 mm boyutlarında yine 6 adet numune hazırlanmış ve hazırlanan numunelerin ortasında 2 mm genişliğinde ve 2 mm derinliğinde kanallar açılmıştır.

Çalışmanın sonunda amaca uygun olarak hazırlanan numuneler TIG ve lazer kaynakları ile kaynak edilmiş, ısı girdileri hesaplanmış, makro yapı fotoğrafları ve mikro sertlik dağılım eğrileri verilerek hızlı, kaliteli, ucuz ve bunlara bağlı olarak en verimli yöntem ve parametrenin seçilebilmesi için yorumlar ve değerlendirmeler sunulmuştur.

7.1 TIG Kaynak Uygulamasında Malzemeler

TIG kaynak uygulaması için kalıp çeliği DIN 1.2738 malzemedan, 90x40x10 mm boyutlarında ve 6 adet olacak şekilde hazırlanmıştır. Numuneler yukarıda belirtildiği gibi hazırlanarak TIG kaynak yöntemi uygulanmıştır.

Her numune sertlik ve ITAB genişliği kriterleri ile değerlendirilmiştir. TIG yöntemi uygulamasından sonra çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7.1 DIN 1.2738 malzemesinin standartlarda gösterilişi

TS/DIN	EN	AISI
1.2738 40CrMnNiMo8-6-4	40CrMnNiMo8-6-4	P20+Ni

Çizelge 7.2 DIN 1.2738 kalıp çeliği malzemesinin kimyasal bileşimi (% ağırlık)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S
0.38	0.3	1.5	2	0.2	1.1	0.010	<0.002

Çizelge 7.3 DIN 1.2738 kalıp çeliğinin mekanik özellikleri

Sertlik (HRC)	Kopma Uzaması (%)	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Çentik Darbe Dayanımı [J(20°C)]
35-37	17	205000	22

Impax Supreme ön sertleştirilmiş bir kalıp çeliğidir. İşlenebilirliği ve parlatılabilirliği yüksektir. Parlaklığın ve gerilimlerin yüksek olduğu büyük plastik enjeksiyon kalıplarında yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Yapısında bulunan Ni sayesinde de sertliğin çekirdeğe kadar olan değişimi minimum seviyelerde tutulabilmektedir.

TIG kaynağında kullanılan ilave tel : MI 308LSi DIN M no: 1.4316

Çizelge 7.4 Elektrodun kimyasal bileşimi (%)

C	Si	Mn	Cr	Ni
< 0.03	0.65 - 1.00	1.00 - 2.50	19.50 - 22.50	9.00 - 11.00

Çizelge 7.5 Kaynak metalinin tipik mekanik özellikleri

Test Şekli	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%) A5	Çentik Darbe Dayanımı ISO - V(J) 20°C
Kaynak sonrası	>400	580	38	>80

7.2 TIG Kaynak Uygulaması

TIG kaynak uygulaması için akım ve hız parametrelerinin değiştirildiği 6 farklı deney şartı TIG-1, TIG-2, TIG-3, TIG-4, TIG-5, TIG-6 olacak şekilde isimlendirilip, kaynak işlemleri Arçelik Eskişehir Buzdolabı İşletmesi Kalıphanesi'nde uygulanmıştır.

Uygulamalarda ön ısıtma yapılmamıştır. Kaynak işlemi doğru akım, ters kutuplama, yatay pozisyonda olacak şekilde uygulanmıştır.

Çizelge 7.6 TIG kaynak parametreleri

Parametreler	TIG1	TIG2	TIG3	TIG4	TIG5	TIG6
Akım (A)	120	120	140	140	160	160
Gerilim (V)	20	20	20	20	20	20
Gaz Debisi (L/dk)	15	15	15	15	15	15
Koruyucu Gaz	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar
Elektrot Çapı (mm)	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
İlave tel çapı(mm)	1	1	1	1	1	1
Kaynak Hızı (cm/dk)	7,6	9,9	7,6	9,9	7,6	9,9
Enerji(kJ/cm)	7,57	5,82	8,84	6,78	10,1	7,75

Aşağıdaki formülde μ : yönteme bağlı verim katsayısı olup, **0,4** alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

$$E = \frac{I.V.60}{v.1000} \mu = \text{kJ/cm}$$

7.3 Lazer Kaynak Uygulamasında Malzemeler

Lazer kaynak uygulaması için numuneler DIN 1.2738 malzemedan, 60x30x10 mm boyutlarında ve 6 adet olacak şekilde hazırlanmış ve bunlara lazer kaynak yöntemi uygulanmıştır.

Her numune sertlik ve ITAB genişliği kriterleri ile değerlendirilmiştir. Lazer kaynak uygulamasından sonra çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Lazer kaynağında kullanılan ilave tel : QuFe10 DIN M. No: 1.5424

Çizelge 7.7 Elektrodun kimyasal bileşimi (%)

C	Si	Cu	Mo	Mn	Ni	Cr	Fe
0.1	0.53	0.04	0.45	0.86	0.04	1.2	Rest

Çizelge 7.8 Kaynak metalinin tipik mekanik özellikleri

Gerilme Mukavemeti (N/mm ²)	Uzama %	Sertlik (HRC)
> 570	23 - 27	28 - 37

Yukarıda kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri verilen kaynak teli genellikle 1.2711, 1.2712, 1.2738 ve 1.2161 gibi çeliklerin lazer kaynağı için tavsiye edilmektedir. Kaynak işlemi sonrası parlatılabilirliği ve sertlik değerlerinin yukarıdaki kalıp çeliklerine yakınlığı da bu elektrodun seçiminde etkindir.

7.4 Lazer Kaynak Uygulaması

Lazer kaynak uygulaması için gerilim ve pals (darbe) frekansı parametrelerinin değiştirildiği 6 farklı deney şartı L-1, L-2, L-3, L-4, L-5, L-6 olarak isimlendirilip, kaynak işlemi Arçelik Eskişehir Buzdolabı İşletmesi Kalıphanesi'nde uygulanmıştır.

Uygulamalar Rofin marka lazer kaynak makinesinde Nd:YAG lazer kaynağı uygulanarak tamamlanmıştır. Enerji değerleri makine üzerinden okunmuştur.

Çizelge 7.9 Lazer kaynak parametreleri

Parametreler	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	L-6
Gerilim (V)	240	240	255	255	270	270
Pals Frekansı (Hz)	7	9	7	9	7	9
Pals Genişliği (ms)	8	8	8	8	8	8
Gaz Debisi (L/dk)	15	15	15	15	15	15
İlave Tel Çapı (mm)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Enerji (J)	70	89	86	111	104	133

7.5 Mikrosertlik Ölçümü

Kaynak uygulaması yapılan numunelerin sertlik profillerinin belirlenmesi amacı ile kaynak yüzeyine dik yüzeyler üzerinde Vickers sertlik ölçümü yapılmıştır. Numuneler makro yapı incelemesi için önceden parlatılmış ve fotoğraflanmıştır. Bu işlemin ardından Vickers sertlik deneyinin yapılacağı numunelerin sertlik cihazına oturtulacak yüzeyleri taşlanarak, ölçümün yapılacağı yüzeyin paralelliği sağlanmıştır.

Sertlik ölçümü Arçelik Merkez Ar-Ge laboratuvarlarında Vickers mikrosertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Ölçüm esnasında 1 kg-f 'luk yük 10 sn boyunca uygulanarak parça yüzeyi, kaynak bölgesi ve ITAB'da sertlik taraması gerçekleştirilmiştir.

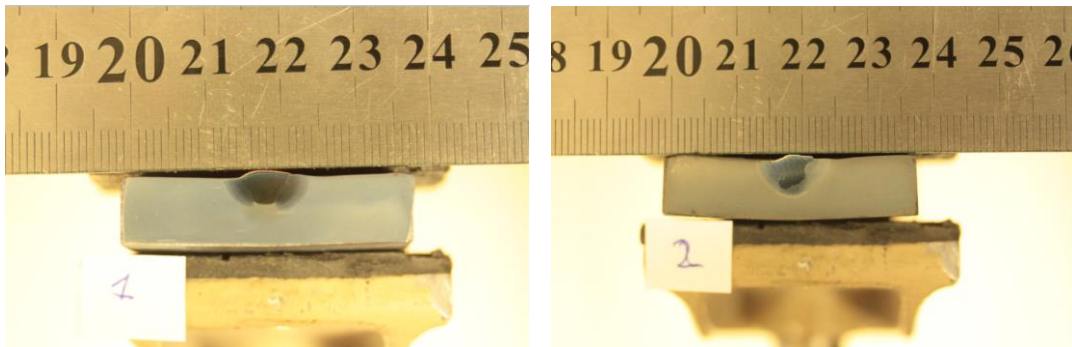


Şekil 7.1 Mikrosertlik ölçümünün yapıldığı cihaz

7.6 Sonuçlar ve Tartışma

7.6.1 TIG Kaynağı Makro Yapı İnceleme Sonuçları

Makro yapı incelemesine hazırlık için, kaynak işlemi yapılan numunelere parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatma işlemi Arçelik Eskişehir Buzdolabı İşletmesi parlatma atölyesinde uygulanmıştır. Yöntemde sırasıyla, gaz taşı, 800, 1000, 1200, 1500, 2500, 3000'lik zımpara, sonrasında 6 mikron ve 1 mikron'luk elmas pasta kullanılmıştır. Numunelere A1 SPI (ayna) parlaklık seviyesine getirilene kadar belirtilen sıralama ile parlatma işlemi uygulanmıştır. Parlatma işlemi sonrasında numuneler ITAB'ın görülebilmesi için %2'lik Nital (%98 etil alkol, %2 nitrik asit) çözeltisi ile dağlanmış ve dağlama sonrasında da fotoğraflanmıştır. Şekil 7.2'de TIG kaynak numunelerinin makro fotoğrafları verilmektedir.



TIG-1



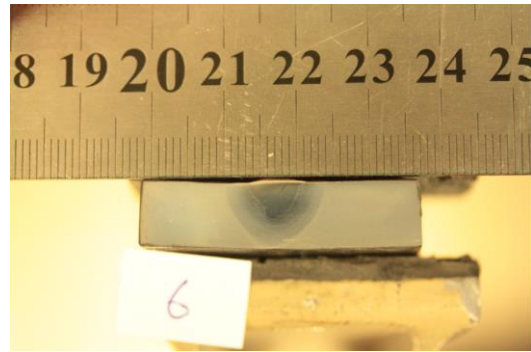
TIG-2



TIG-3



TIG-4



TIG-5

TIG-6

Şekil 7.2 TIG kaynak numunelerinin makro fotoğrafları

Çizelge 7.10 TIG kaynağı için birim dikiş enerjisi, ITAB genişliği, paso sayıları ve toplam ısı girdisi

Deneyler	Birim Dikiş Enerjisi (kJ/cm)	ITAB genişliği (mm)	Uygulamadaki paso sayısı	Toplam Isı Girdisi (kJ)
TIG1	7,57	2,1	2	136,26
TIG2	5,82	2,6	3	157,14
TIG3	8,84	2,5	2	159,12
TIG4	6,78	3	3	183,06
TIG5	10,1	3	1	90,9
TIG6	7,75	3,6	2	139,5

TIG kaynak işlemi uygulanan numune fotoğrafları ve ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde en düşük ITAB genişliği düşük akımda ve düşük kaynak hızı uygulanan deneyde (TIG-1) çıkmıştır.

Uygulamada eşit hız değerlerine sahip TIG-1,TIG-3 ve TIG-5 değerlendirildiğinde akım değerinin yükseltilmesinin ITAB genişliğini arttırdığını görülmektedir. Akım şiddeti ve hız parametrelerinin ITAB genişliğine etkisini aşağıdaki tablo 7.11, grafik 7.1 ve 7.2 'te görülmektedir. Minitab'de uygulanan genel faktör regresyonuna (General Factorial Reggression) göre akım parametresi ITAB genişlik değerinin değişmesine en yüksek etkiyi gösteren parametredir (Grafik 7.1). Bu sebeple TIG-6 deneyinde yüksek kaynak hızında yüksek akımda en yüksek ITAB genişliğine ulaşılmıştır.

Uygulamalarda aynı akım değerine sahip farklı hızlardaki TIG-1 ,TIG-2 deneyleri , TIG-3,TIG-4 deneyleri, TIG-5,TIG-6 deneyleri kendi aralarında değerlendirildiğinde, yüksek hıza sahip TIG-2, TIG-4 ve TIG-6 deney numunelerinin kendi gruplarındaki diğer numunelere göre daha yüksek ITAB genişliğine sahip olduğunu görülmektedir. Buna sebep olarak yüksek kaynak hızı uygulandığında artan paso sayısını gösterebiliriz. Paso sayısının artması ile kaynak bölgesine giren toplam ısı miktarı arttığından ITAB genişliği de artmaktadır.

Deneyler Minitab uygulamasında General Factorial Reggression'da istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, yukarıda sözü edilen sonuçların sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 7.11 TIG Kaynağında Akım ve Hız parametrelerinin ITAB genişliğine etkisinin istatistiksel yöntem ile araştırılması

Genel Faktör Regresyonu: ITAB Genişlik = Akım; Hız

Faktör Bilgisi

Faktör Kademeler Değerler

Akım	3	120; 140; 160
Hız	2	7,6; 9,9

Değişkenlerin Analizi

Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
Model	3	1,33667	0,445556	267,33	0,004
Linear	3	1,33667	0,445556	267,33	0,004
Akım	2	0,91000	0,455000	273,00	0,004
Hız	1	0,42667	0,426667	256,00	0,004
Hata	2	0,00333	0,001667		
Toplam	5	1,34000			

Model Özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0408248	99,75%	99,38%	97,76%

Katsayılar

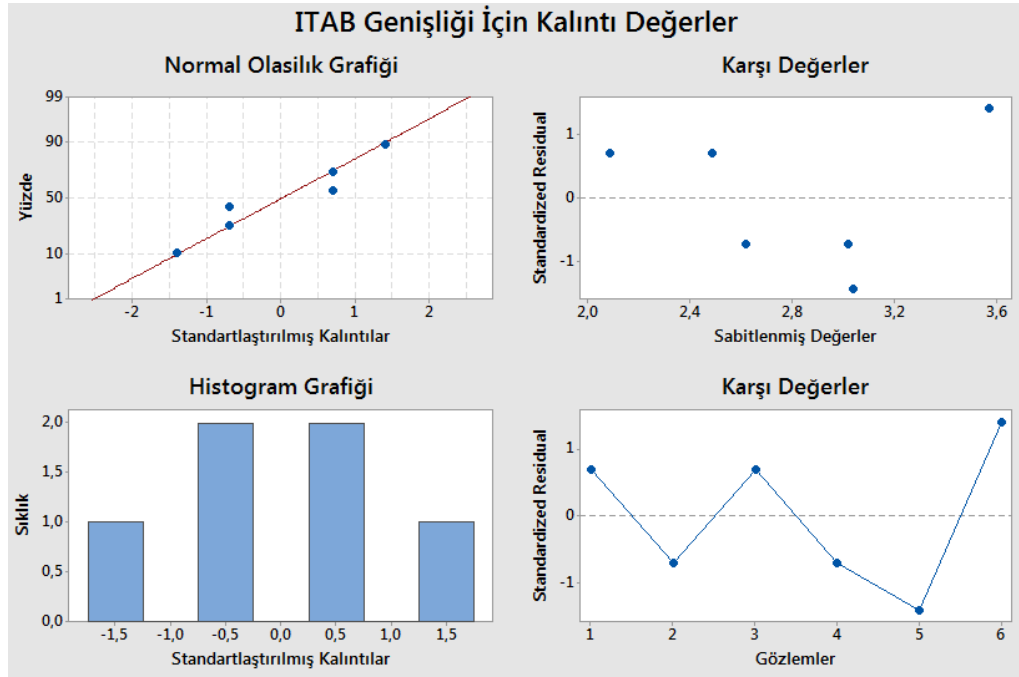
Term	Katsayı	SE	T-Değeri	P-Değeri	VIF
Sabit	2,8000	0,0167	168,00	0,000	
Akım					
120	-0,4500	0,0236	-19,09	0,003	1,33
140	-0,0500	0,0236	-2,12	0,168	1,33
Hız					
7,6	-0,2667	0,0167	-16,00	0,004	1,00

Regresyon Denklemi

$$\text{Genişlik} = 2,8000 - 0,4500 \text{ Akım}_{120} - 0,0500 \text{ Akım}_{140} + 0,5000 \text{ Akım}_{160} - 0,2667 \text{ Hız}_{7,6} + 0,2667 \text{ Hız}_{9,9}$$

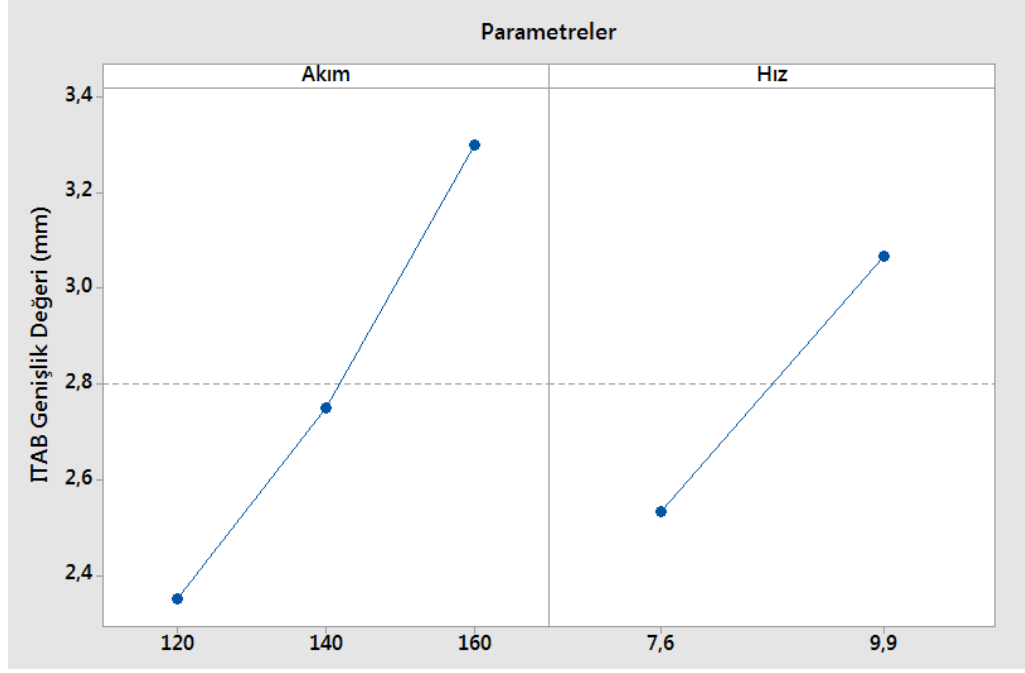
Yurıdaki çizelgede R-sq değerinin %99,75 olması deneylerimizin güvenilirliğini kanıtlamaktadır. P değerinin 0,05 değerinden küçük olması bu değerlerin deneyler

üzerinde etkili olduğu anlamına gelmektedir. Adjust SS değerleri ise Akım ve hız değerlerinin deney üzerine etkilerini göstermektedir. 0,91 değeri ile akım, 0,42 değerine sahip olan hız değerinden ITAB genişliği üzerinde yaklaşık 2 kat daha etkilidir.



Şekil 7.3 Deney parametrelerinin normal dağılım grafiği

Yukarıdaki grafiklerde, kullanılan parametre ve sonuçların normal dağılım grafiği ile uyumlu olduğu dolayısı ile istatistiksel olarak kullanılabileceğini görmekteyiz.

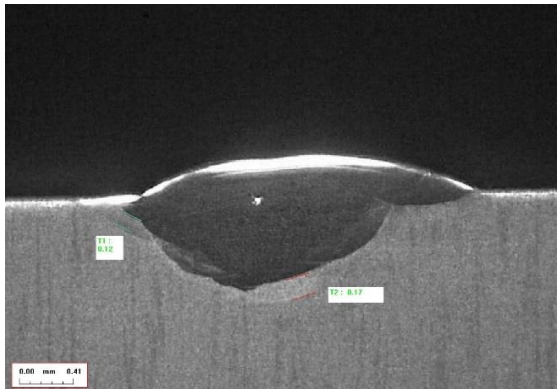


Şekil 7.4 Akım ve Hız parametrelerinin ITAB genişliğine etkisinin grafiksel gösterimi

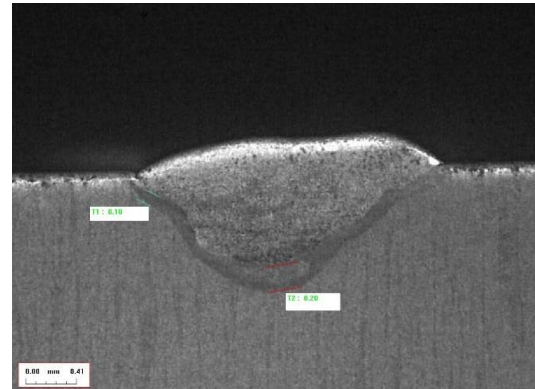
Deney sonuçları ve istatistiksel uygulama göstergeleri birbiri ile örtüşerek aynı sonuçlara işaret etmektedir. ITAB genişliği Akım ve hız değerlerine bağlı bir fonksiyon olarak hareket etmektedir.

7.6.2 Lazer Kaynak Uygulamasında Makro Yapı İncelemesi

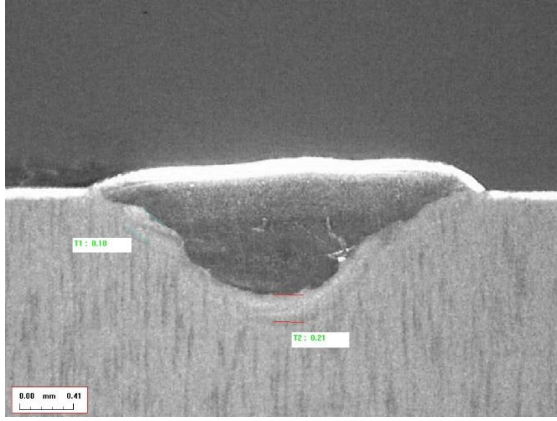
Lazer kaynak uygulamasında ITAB genişliği mikron seviyelerinde olduğu için makroyapı değerlendirilmesi mikroskop altında 30x büyütmede ve ölçümleri bilgisayardan yapılarak alınmıştır. Lazer kaynak numunelerinin makro fotoğrafları şekil 3'de verilmektedir.



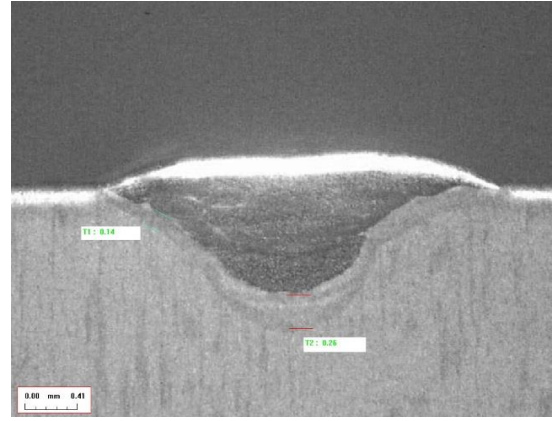
L-1



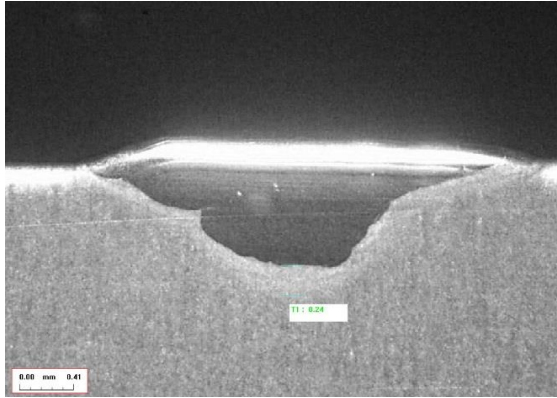
L-2



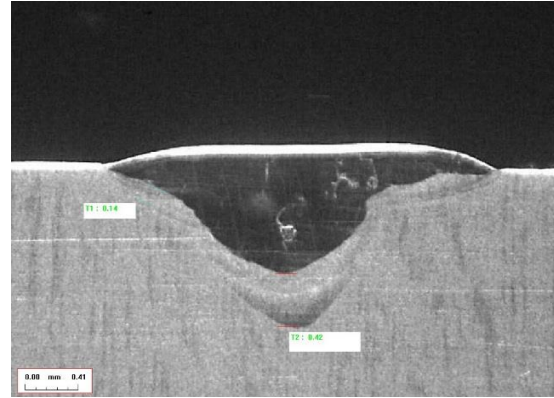
L-3



L-4



L-5



L-6

Şekil 7.5 Lazer kaynak numunelerinin makro (30x) fotoğrafları

Çizelge 7.12 Lazer kaynak yönteminde ITAB genişliği ve enerjiler

Yöntem	Birim Dikiş Enerjisi (J/sn)	Ortalama ITAB genişliği(μm)
L-1	70	106
L-2	89	136
L-3	86	141
L-4	111	147
L-5	104	154
L-6	133	192

Lazer kaynak işlemi uygulanan numune fotoğrafları ve ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde en düşük ITAB genişliği düşük gerilim ve frekans uygulanan deneyde (L-1) çıkmıştır.

Uygulamada eşit pals frekansı değerlerine sahip L-1,L-3 ve L-5 değerlendirildiğinde artan gerilim değerinin ITAB genişliğini arttırdığı görülmektedir. Gerilim ve frekans parametrelerinin ITAB genişliğine etkisi çizelge 7.13, grafik ve 7.3'te gösterilmiştir. Minitab'de uygulanan Regresyon analizine göre gerilim parametresi ITAB genişlik değerinin değişmesine en yüksek etkiyi gösteren parametredir (Grafik 7.3). Bu sebeple L-6 deneyinde yüksek frekans değerinde yüksek gerilim değerinde en yüksek ITAB genişliğine ulaşılır.

Uygulamalarda aynı voltaj değerine sahip farklı frekanslardaki L-1 ,L-2 deneyleri , L-3, L-4 deneyleri, L-5,L-6 deneyleri kendi aralarında değerlendirildiğinde, yüksek frekansa sahip L-2, L-4 ve L-6 deneylerinin kendi gruplarında ki diğer deneye göre daha yüksek ITAB genişliğine sahip olduğunu görmekteyiz. Bu durumun sebebi frekanslardaki artışın kaynak dikişinin birim dikiş enerjisini arttırmasıdır. Frekans değerinin artması ile kaynak bölgesine giren toplam ısı miktarı arttığından ITAB genişliği de artmaktadır.

Ancak genel değerlendirmede aşağıdaki çizelge 7.13'de gerilim değerinin ITAB genişliği fonksiyonuna frekans değerine göre yaklaşık 3 kat daha etkili olduğunu görmekteyiz. Bu sebeple, örneğin L-3 ve L-5 deneylerinde frekans değerinin azaltılıp birim dikiş enerjisinin buna bağlı olarak azalmasına rağmen gerilime bağlı olarak ITAB genişliği artmaktadır.

Çizelge 7.13 Volt ve Hz değerinin ITAB genişliğine etkisinin istatistiksel yöntem ile araştırılması

Regresyon Analizi: ITAB Genişlik = Akım; Hız						
Değişkenlerin Analizi						
Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri	
Regresyon	2	3639,0	1819,52	19,28	0,019	
Volt	1	2742,1	2742,09	29,06	0,013	
HZ	1	896,9	896,95	9,51	0,054	
Hata	3	283,1	94,36			
Toplam	5	3922,1				

Model Özeti			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
9,71395	92,78%	87,97%	74,22%

Katsayılar					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Sabit	-396,4	88,5	-4,48	0,021	
Volt	1,745	0,324	5,39	0,013	1,00
HZ	12,23	3,97	3,08	0,054	1,00

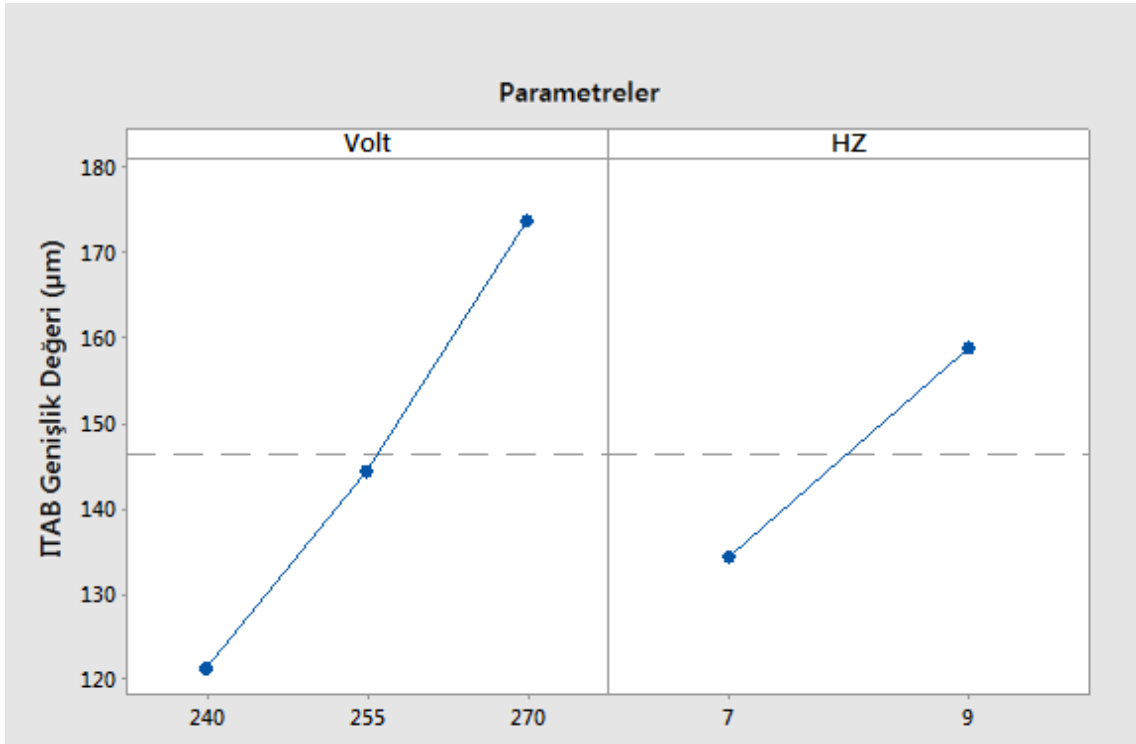
Regresyon Eşitliği

Genişlik = -396,4 + 1,745 Volt + 12,23 HZ

ITAB genişliği değişiminin μ m mertebelerindeki değişim çok düşük olduğundan istatistiksel yöntem olarak General Factorial Regression yerine sadece gerilim ve pals frekans değerlerinin ITAB genişliği üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması için Regression analizi kullanılmıştır.

Yurıdaki çizelgede R-sq değerinin %92,78 olması deneylerimizin güvenilirliğini kanıtlamaktadır. P değerinin 0,05 değerinden küçük olması (Hz için bu değer sınırdadır) bu değerlerin deneyler üzerinde etkili olduğu anlamına gelmektedir. Adjust SS değerleri ise Hz ve Volt değerlerinin deney üzerine etkilerini göstermektedir. 2742,1 değeri ile Volt, 896,9 değerine sahip olan Hz değerinden ITAB genişliği üzerinde yaklaşık 3 kat daha etkilidir. Bu da yukarıda bahsedilen genel durumda deneylerde pals frekans

değerinin azalmasıyla azalan birim dikiş enerjisine rağmen, gerilimin artmasına bağlı olarak ITAB genişliğinin neden arttığının bir göstergesidir.



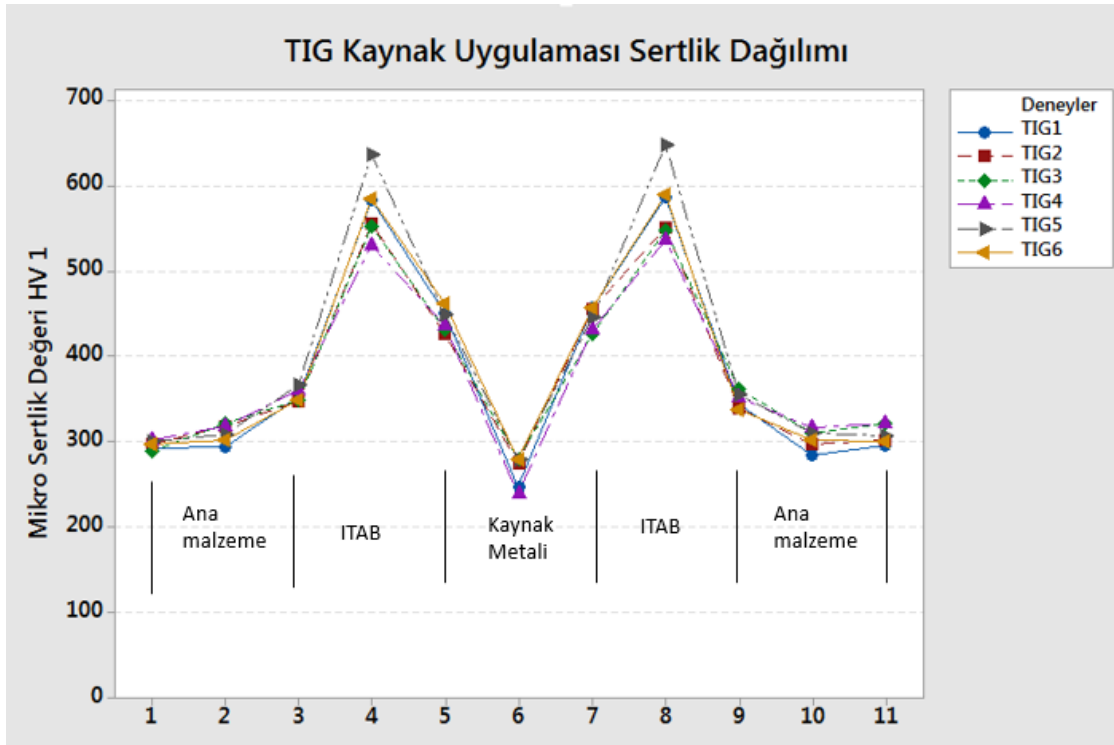
Şekil 7.6 Gerilim ve frekans parametrelerinin ITAB genişliğine etkisinin grafik gösterimi

Deney sonuçları ve istatistiksel uygulama göstergeleri birbiri ile örtüşerek aynı sonuçlara işaret etmektedir. ITAB genişliği gerilim ve frekans değerlerine bağlı bir fonksiyon olarak hareket etmektedir.

7.6.3 Vicker Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

Kaynak uygulamalarında yönleme bağlı olarak kaynak metali ve ana malzemenin içyapısı değişmektedir. Özellikle kaynak hızı, frekans gibi parametreler kaynak banyosuna etki eden ısı girdisini birinci dereceden etkileyerek ana metalin ve kaynak banyosunun mikro yapısını değiştirmektedir. Isı girdisine bağlı olarak da kaynak metali ve ITAB olarak adlandırılan bölgede farklı sertlik profilleri ortaya çıkmaktadır.

1.2738 plastik enjeksiyon kalıp çeliğine uygulanan TIG kaynak yöntemi sonrasında ortaya çıkan sertlik dağılımı şekil 7.7’de verilmektedir.



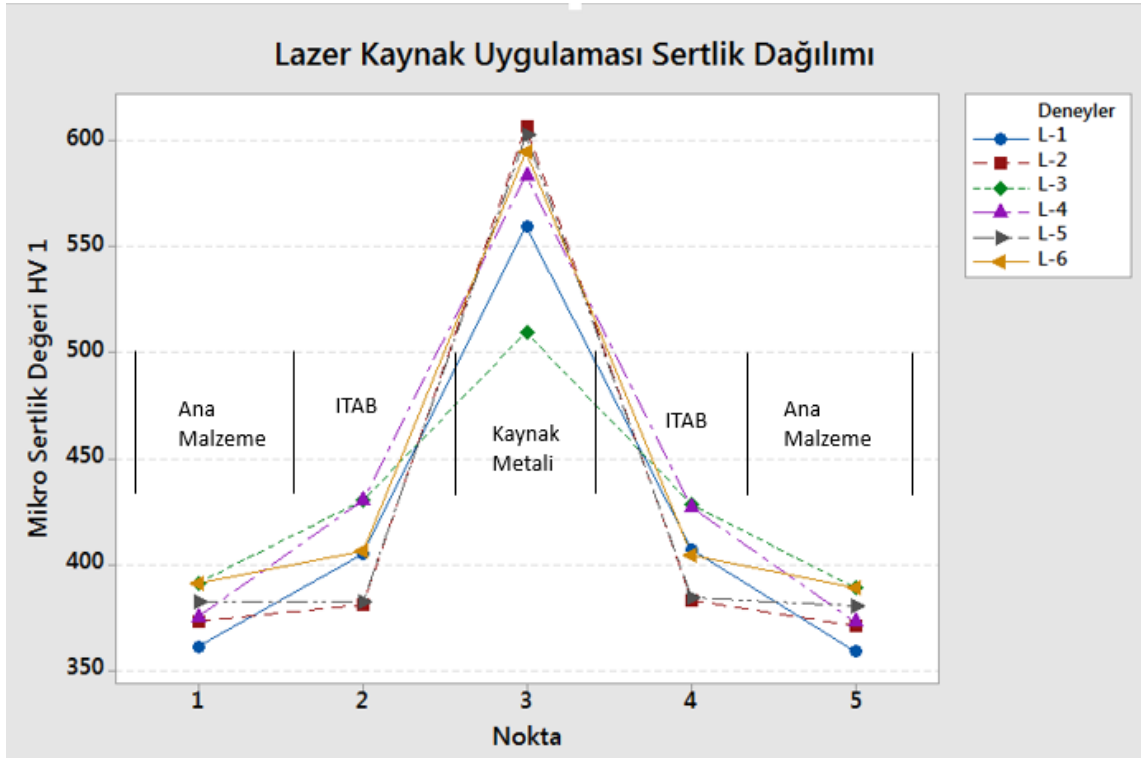
Şekil 7.7 TIG kaynak numunelerinin mikrosertlik dağılımı

TIG kaynak uygulamasında farklı parametrelerde hazırlanan ve kaynağı yapılan 6 farklı numunenin aynı sertlik profiline sahip olduğu görülmektedir. Kaynak metalinde ortalama 280 HV sertlik değeri ölçülmüştür. ITAB'da ise sertlik, 637 HV değerlerine kadar çıkmıştır.

Bilindiği üzere kaynak bölgesine uygulanan ısı miktarı ITAB'daki sertliği de değiştirecektir. Bu şu şekilde açıklanabilir; ısı girdisinin düşük olduğu durumlarda kaynak bölgesi daha hızlı soğuyarak, tanelerin irileşmesi için yeterli süre sağlanamamaktadır. Daha küçük tane yapısı ile birim hacme düşen tane sınırı sayısı artmakta ve böylece sertlik değeri artış göstermektedir.

Yüksek kaynak hızı ve yüksek akım uygulanan TIG-5 numunesi 1 pasoda kaynak işlemini tamamladığı için toplamda en düşük ısı girdisine sahip olan numunedir ve sertlik değeri 637 HV olarak ölçülmüştür. Diğer numunelerde ısı girdisi değerlerine bağlı olarak soğuma TIG-5'e göre daha yavaş sağlanmış ve sertlik değerleri 637 HV'nin altında kalmıştır.

1.2738 plastik enjeksiyon kalıp çeliğine uygulanan lazer kaynak yöntemi sonrasında ortaya çıkan mikro sertlik dağılımı şekil 7.8'de verilmektedir.



Şekil 7.8 Lazer kaynak numunelerinin mikrosertlik dağılımı

Yukarıda anlatılan sertlik mekanizmasının oluşma sistematığı lazer kaynak için de benzerlik göstermektedir. Ancak lazer kaynak uygulamasında birim dikiş enerjilerine bağlı olarak ısı girdisi değerlerinin birbirlerine çok yakın olması sertlik profillerinde de açık bir fark meydana getirmemiştir. Buna rağmen düşük birim dikiş enerjisine sahip olan L-2 numunesi küçük bir farkla 3 nolu noktada 607 HV sertlik değeri ile diğer numunelerden daha sert bir kaynak dikişine sahiptir. Lazer kaynak uygulamalarda yaygın bir sertlik dağılımı olarak, en yüksek sertlik değeri kaynak dikişi üzerinde görülmüştür.

Lazer kaynak uygulaması ve TIG kaynak uygulamasının birbirleri arasındaki durumları incelenecek olursa;

TIG kaynak uygulamasındaki yüksek ısı girdisine bağlı olarak, ITAB bölgesindeki 4. ve 8. Noktalarda sertlik karşılaştırılmasında bariz bir fark vardır. Ayrıca kaynak metali üzerindeki sertlik dağılımı da birbirlerinden tamamen farklıdır. Lazer kaynak uygulamasındaki düşük ısı girdisinin, TIG kaynak yöntemine göre ısı tesiri altında kalan bölgeye çok az etki ettiği bariz bir şekilde görülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ana malzeme olarak seçilen DIN 1.2738 (EN 40CrMnNiMo8-6-4) plastik enjeksiyon kalıp çeliğinden hazırlanan numunelere, farklı parametreler seçilerek TIG ve lazer kaynakları uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda TIG kaynağında en büyük ITAB genişliği, yüksek akım şiddeti ve yüksek kaynak hızıyla çok pasolu kaynak uygulamasında (TIG6 numunesi) ortaya çıkmıştır. En yüksek sertlik değeri ise TIG5 numunesinde, yüksek akım şiddeti ve düşük kaynak hızı değerlerinde elde edilmiştir. TIG kaynak numuneleri içinde tek pasolu uygulama sadece TIG5 numunesi için geçerlidir; dolayısıyla çok pasolu uygulamalarda her paso, kendinden önceki pasolar üzerine bir ısıtma işlem uyguladığından bu numunelerde elde edilen sertlik değerleri daha düşük olmuştur.

Lazer kaynağında gerilim ve frekans parametreleri değiştirilerek deneyler yapılmış, en yüksek ITAB genişliği yüksek gerilim ve frekans değeri uygulanan numunede ortaya çıkmıştır. En yüksek sertlik değeri ise düşük gerilim ve yüksek frekans uygulanan numunede gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Gültekin, N., (1991). Kaynak Tekniği, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul.
- [2] Kaluç, E., (2004). Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri, Yayın No: MMO/2004/356,31, Kocaeli.
- [3] Anık, S., Tülbentçi, K. ve Kaluç, E., (1991). Örtülü Elektrod ile Elektrik Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Anık, S.,(1991). Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar, Gedik Eğitim Vakfı, Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Ünal, R., Kocaeli Ünivesitesi, İmalat Teknolojileri, Kaynak Teknolojileri, <http://makine2.kocaeli.edu.tr/kaynak/kaynak0.pdf>, 04 Ocak 2018.
- [6] Dikicioğlu, A. ve Vural, M., (1993). Sert Dolgu Kaynağı ile Tamir Bakım, İTÜ Makine Fakültesi, İstanbul.
- [7] Sağbaş, B., (2005). Bakım ve Onarım Amaçlı Dolgu Kaynağının Plastik Enjeksiyon ve Seramik Kalıçılığındaki Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Oğuz, B., (1993). Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları, İstanbul.
- [9] Güven, A. ve Özcan, M.T., (2005). "Sade Karbonlu Çeliklerin Mineral Ortamlarda Abrasif Aşınmasında Malzeme Sertliğinin Aşınma Üzerine Etkisi", Mühendis ve Makine.
- [10] Cavcar, M.M., (2003). Sert Dolgu rehberi, Oerlikon, İstanbul.
- [11] Cavcar, M.M., (2004). Sert Dolgu Malzemelerine Genel bir Bakış, Oerlikon, İstanbul.
- [12] Anık, S. ve Vural, M., Gazaltı Ark Kaynağı TIG- MIG- MAG, Gedik Eğitim Vakfı, Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, Yayın no:3, İstanbul.
- [13] TIG Kaynağı Metod ve Uygulama, Kocaeli Üniversitesi, <http://makine2.kocaeli.edu.tr/kaynak/tigwelding.pdf>, 05 Şubat 2018.
- [14] Komaç, E., (2009). TIG Kaynak Yöntemi, Askaynak, İstanbul

- [15] Püskülcü, G., Koçlular, (2009). "Lazer Kaynak Yöntemi ve Uygulaması", Mühendis ve Makine, Cilt:50, Sayı599.
- [16] Csele, M., (2004). "Fundamentals of Light Sources and Lasers", Wiley-Interscience, ABD.
- [17] Uzun, R.O., (2010). Lazerlerle Kaynak İşleminde Kaynak Parametrelerinin Kaynak Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [18] Sakarya Üniversitesi
http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/71097/51177/lazer_kayna%C4%9F%C4%B1.pdf, 21 Mart 2010.
- [19] Koechner, W. ve Bass, M., (2006). Solid-State Lasers, Springer-Verlag, New York, ABD
- [20] Weber, M.J., Handbook of Lasers, CRC Press Book, CA – ABD.
- [21] Özcan M., Tarakcıoğlu N., ve Kahramanlı Ş.,(2004). "Sac Malzemelerin Lazer Kaynak Parametreleri", Selçuk Teknik Dergisi.
- [22] Yavuz, H. ve Çam, G.,(2003). "Lazer – Ark Hibrit kaynak Yöntemi", Mühendis ve Makine, 46:14-19.
- [23] Güven. O. ve Ünal, S., (2002). "Lazer Kesme", Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı:507 (43):41-44.
- [24] Nath, A.K., Sridhar, R., Ganesh, R. ve Kaul, R.,(2002). "Laser Power Coupling Efficiency in Conduction and Keyhole Welding of Austenitic Stainless Steel", Sadhana, 27:383-392.
- [25] Wilson, J. ve Hawkes, J.B.F.,(1987). Laser Principles and Applications 1st ed, Prentice Hall U.K., 3-24.
- [26] Çelen, S.,(2006). Paslanmaz Çeliklerin Lazer Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Dayanım ve Korozyon Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [27] Tarakcıoğlu, N. ve Özcan, M., (2004). Lazerler ve Materyal İşleme Uygulamaları, 1. Baskı, Atlas Yayın,3-128, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Halil İbrahim ALTINTAŞ
Doğum Tarihi ve Yeri : 18.05.1990,Yenimahalle
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : halilibrahimaltintas@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y.Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014 -
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Matematik-Fen	Yıldırım Beyazıt Anadolu Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2016	Arçelik A.Ş.	Proses Mühendisi

YAYINLARI

Makale

1. Yumurtacı, S., Altıntaş, H.İ. ve Mert, T.,(2018), “Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Onarım Kaynağında TIG Kaynak Parametrelerinin Etkileri”, MetalMakina Dergisi,Sayı:230, İstanbul.