

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEMİR ( Fe ) ESASLI TOZ METAL ( TM ) PARÇALARIN  
FARKLI KAYNAK YÖNTEMLERİ İLE  
BİRLEŞTİRİLMESİNDE KAYNAK BÖLGESİNİN  
İNCELENMESİ**

Makine Mühendisi Cevahir AYYILDIZ

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI**

**İSTANBUL, 2008**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	V
KISALTMA LİSTESİ.....	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	IX
ÖNSÖZ.....	X
ÖZET.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1.GİRİŞ .....	1
2.TOZ METALURJİSİNE GENEL BİR BAKIŞ .....	3
2.1.Demir Esaslı Parçaların Gelişimi ve Kullanım Alanları .....	6
3. TOZ METALURJİSİ ÜRÜNÜ DEMİR ESASLI PARÇALARIN İMALİNDE KULLANILAN TOZLAR ve BU TOZLARIN ÖZELLİKLERİ .....	11
3.1.Kimyasal Yöntemler .....	12
3.2.Elektrokimyasal Yöntemler.....	14
3.3.Mekaniksel Yöntemler .....	17
3.4.Atomizasyon Yöntemleri .....	19
3.4.1.Gaz Atomizasyonu .....	20
3.4.2.Sıvı ve Su Atomizasyonu .....	22
3.4.3.Savurmalı Atomizasyon .....	25
3.4.4.Plazma Atomizasyon Yöntemi.....	26
4.TOZLARIN KARIŞTIRILMASI, HARMANLANMASI ve PRESLENMESİ .....	26
4.1.Tozların Karıştırılması ve Harmanlanması .....	27

	Sayfa
4.2.Toz Karışımların Preslenmesi .....	31
4.3.Metal Tozların Basınç Altındaki Davranışları .....	34
4.4.Presleme Teknikleri.....	37
5.HAZIRLANAN KOMPAKTLARIN SİNERLENME SÜREÇLERİ .....	42
5.1.Katı Hal Sinterlemesi .....	43
5.2.Sıvı Faz Sinterlemesi.....	46
5.3.Geçici Sıvı Faz Sinterlemesi .....	49
5.4.Sinterleme İşleminde Kullanılan Fırınlr ve Fırın Atmosferleri .....	50
5.4.1.Fırın Tasarımı .....	52
5.4.1.1.Parti Fırınlr .....	52
5.4.1.2.Sürekli Fırınlr .....	53
5.4.2.Sinterleme Döngüleri .....	55
5.4.3.Atmosfer Bileşimleri .....	56
5.5.Demir Esaslı Parçaların Sinterlenmesi ve Sinter Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi.....	60
6.KAYNAĞIN GENEL TANIMI ve ENDÜSTRİYEL ÖNEMİ .....	61
6.1.Kaynağın Tanımı.....	61
6.2.Kaynağın Gelişim Süreci .....	61
6.3.Kaynak Yönteminin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması.....	64
6.4.Kaynağın Sınıflandırılması .....	66
7.TOZ METAL PARÇALARIN KAYNAĞI .....	69
8.DENEYSEL ÇALIŞMADA UYGULANACAK KAYNAK YÖNTEMLERİ .....	74
8.1.Örtülü Elektrot ile Ark kaynağı.....	74
8.1.1.Çubuk Elektrotlar .....	75

	Sayfa
8.1.2.Örtünün Amacı ve – Etkileri .....	76
8.1.3.Örtü türleri.....	77
8.2.Tungsten Inert Gaz (TIG) Kaynağı .....	80
8.2.1.Kaynak Akımı .....	81
8.2.2.Elektrotlar .....	82
8.2.3.Arkın Tutuşturulması.....	83
8.2.4.Koruyucu Gaz .....	84
8.3.Metal Inert Gaz ( MIG ) Kaynağı.....	86
8.3.1.Elektrot Telleri .....	87
8.3.2.Özlu Elektrotlar .....	88
8.3.3.Koruyucu Gazlar .....	89
8.3.4.Kaynak Akımı .....	92
9.DENEYSEL ÇALIŞMA .....	93
9.1.Kullanılan Malzeme ve Yöntem .....	94
9.1.1.Toz Karışımların Hazırlanması Aşaması .....	94
9.1.2.Hazırlanan Toz Karışımların Presleme Aşaması.....	95
9.1.3.Hazırlanan Kompaktların Sinterleme Süreçleri .....	96
9.1.4.Numunelerin Kaynak Standartına uygun hale getirilmesi .....	97
9.2.Yöntem .....	100
9.2.1.Elle Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı Uygulaması.....	100
9.2.1.1.Örtülü Elektrot ile Kaynaklı Toz Metal Parçaların Mikroyapısal İncelenmesi.....	102
9.2.1.2.Sertlik Deneyi ve Sonuçların İrdelenmesi.....	105
9.2.2.Tungsen Inert Gaz ( TIG ) Kaynak Uygulaması .....	107
9.2.2.1.TIG Kaynağı Uygulanmış Toz Metal Parçaların Mikroyapısal İncelenmesi.....	109



	Sayfa
9.2.2.2.Sertlik Deneyi ve Sonuçların İrdelenmesi.....	111
9.2.3.Metal Inert Gaz ( MIG ) Kaynak Uygulaması .....	112
9.2.3.1.MIG Kaynağı Uygulanmış Toz Metal Paranların Mikroyapısal İncelenmesi.....	114
9.2.3.2.Sertlik Deneyi ve Sonuçların İrdelenmesi.....	116
9.3.Çekme Deneyi .....	118
10.SONUÇLAR .....	122
KAYNAKLAR.....	123
ÖZGEçMİş .....	128

## SİMGE LİSTESİ

$\alpha$	(Jet Açısı )
b	Aralık
c	Kök yüzeyi kalınlığı
D	Bilya çapı
E	Parça kalınlığı
E	Birim dikiş enerjisi
h	Nüfuziyet derinliği
I	Akım şiddeti
P	Uygulanan Kuvvet
$\sigma_{\text{ç}}$	Çekme dayanımı
t	Malzeme kalınlığı
$T_m$	Ergime sıcaklığı
U	Gerilim
V	Kaynak hızı

## KISALTMA LİSTESİ

AISI	American Iron and Steel Institute
AWS	American Welding Society
BS	British Standards
CIP	Soğuk İzostatik Presleme
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	European Norms
GWAW	Gaz Metal Ark kaynağı
HIP	Sıcak İzostatik Presleme
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
JIS	Japanese Industrial Standart
KHS	Katı Hal Sinterlemesi
KOSGEB	Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
M.Ö.	Milattan Önce
M.S.	Milattan Sonra
SFS	Sıvı Faz Sinterlemesi
TIG	Tungsten Inert Gas
T/M	Toz Metalurjisi
TM	Toz Metal
T <sub>m</sub>	Ergime Sıcaklığı
TS	Türk Standardı
WIG	Wolfram Inert Gas
Yf	Yüksek Frekans

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 A.B.D, Avrupa ve Japonya’ da kullanılan toplam demir tozu miktarı .....	7
Şekil 2.2 TM Parçaların Pazar Payları .....	10
Şekil 2.3 TM Parçaların Araç içerisindeki dağılımı.....	11
Şekil 3.1 Taramalı Elektron Mikroskopunda çekilmiş sünger yapıli demir taneleri .....	13
Şekil 3.2 Taramalı Elektron Mikroskopunda çekilmiş 180µm büyüklüğündeki bakır oksit taneleri .....	03
Şekil 3.3 Toz Biriktirmek için bir elektroliz hücresi .....	05
Şekil 3.4 Elektrolizle üretilmiş bakır tozunun taramalı elektron mikroskop görüntüsü .....	16
Şekil 3.5 Silindirik değirmende hareketin gösterilmesi .....	18
Şekil 3.6 Yatay Gaz Atomizasyonunun şematik gösterimi.....	20
Şekil 3.7 Düşey Gaz Atomizasyon ünitesi .....	21
Şekil 3.8 Su Atomizasyonu işlemleri .....	23
Şekil 3.9 Su atomizasyonu ile elde edilmiş iki farklı bakır tozu .....	24
Şekil 3.10 Dönen Elektrot ile Savurmalı Atomizasyon Yöntemi .....	25
Şekil 4.1 İkili Konik Karıştırıcı.....	29
Şekil 4.2 Tabakalaşmış, topaklaşmış ve homojen dağılımış karışımların artan homojenliğinin şematik gösterimi .....	31
Şekil 4.3 Çeşitli metallerin sıkıştırma özellikleri basınç ile yoğunluk artış şeması .....	31
Şekil 4.4 Toz sıkıştırma kademelerinin bir görünüşü .....	32
Şekil 4.5 Yan tarafında çıkıntısı olan presleme.....	35
Şekil 4.6 Toz sıkıştırma için alışılmış bir zımba ve dişi kalıp seti.....	36
Şekil 4.7 Presleme sırasında kalıpta oluşan hareketler.....	37
Şekil 4.8 Örs tipi presleme tekniği .....	38
Şekil 4.9 Çift koçlu presleme tekniği .....	39
Şekil 4.10 Soğuk izostatik sıkıştırma .....	40
Şekil 5.1 Sinterlemede nokta teması ile başlayan ve parçalar arası bağ gelişimini gösteren iki küre sinterleme modeli .....	44
Şekil 5.2 İki toz karışımı kullanarak sıvı faz sinterlemesinin kavramsal aşamaları .....	44
Şekil 5.3 Çözelti-tekrar çökeltme işlemleri .....	48
Şekil 5.4 Demir ve çelik esaslı malzemelerin sinterlemesinde kullanılan tipik bir sinter fırınının şematik gösterimi .....	50
Şekil 5.5 Bir sinterleme fırınındaki işlemler zincirinin şematik gösterimi .....	51
Şekil 5.6 Vakum veya akan işlem atmosferi altında çalışan bir parti fırın .....	52
Şekil 5.7 Örgü bant fırını.....	53
Şekil 5.8 İtici fırının şematik gösterimi.....	54
Şekil 5.9 İndirgeyici atmosferde sinterleme sırasında oluşabilen çiylenme noktası ve sıcaklık şartları .....	57
Şekil 5.10 Endotermik gaz atmosferinde karbon potansiyeliyle çiylenme noktası değişimi .....	57
Şekil 6.1 Endüstride metallerin birleştirilmesinde kullanılan yöntem .....	64
Şekil 7.1 Kaynak kabiliyetinin şematik olarak tanımlanması .....	70
Şekil 7.2 Lazer laynağı ile birleştirilmiş sinterlenmiş paslanmaz çelik parçaların metalografik kesiti .....	73

Şekil 8.1 Örtülü elektrot ile ark kaynağının şematik gösterimi.....	74
Şekil 8.2 Elektrot örtüsünün görevleri .....	76
Şekil 8.3 Elektrot örtüsünün kalınlığının etkisi.....	77
Şekil 8.4 Önemli örtü türlerinin analizleri ve damla geçişleri .....	77
Şekil 8.5 Örtülü elektrot ile ark kaynağında el ve otomatik kaynak pasolarının gösterilişi.....	79
Şekil 8.6 TIG kaynağının şematik gösterimi.....	80
Şekil 8.7 TIG kaynağı için yüksek frekanslı tutuşturma ark tutuşturma ünitesi .....	83
Şekil 8.8 TIG kaynağında gaz koruması .....	84
Şekil 8.9 MIG kaynağının şematik gösterimi.....	86
Şekil 9.1 Numunelerin preslenmesinde kullanılan kalıp montaj resmi.....	95
Şekil 9.2 TM parçaların kaynak standartlarına getirilmesi .....	97
Şekil 9.3 Alın Alına uygulanacak kaynak şekli .....	98
Şekil 9.4 Distorsiyonları önlemek için geliştirilen aparat .....	98
Şekil 9.5 TM parçaların kaynak aparatı içerisindeki gösterilişi.....	99
Şekil 9.6 Örtülü elektrot ark kaynağı edilmiş TM parçaların sertlik deney sonuçları.....	102
Şekil 9.7 Örtülü elektrot ile kaynak edilmiş TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50.....	102
Şekil 9.8 Örtülü elektrot ile kaynak edilmiş TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50.....	103
Şekil 9.9 Örtülü elektrot ile kaynak edilmiş TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50.....	103
Şekil 9.10 Örtülü elektrot ile kaynak edilmiş TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X100.....	104
Şekil 9.11 Örtülü elektrot ile kaynak edilmiş TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X100.....	104
Şekil 9.12 Örtülü elektrot ile kaynak edilmiş TM parçaların kaynak sertlik deney sonuçları.....	106
Şekil 9.13 TIG kaynağı uygulanmış TM parçaların kaynak bölgesi .....	108
Şekil 9.14 TIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50.....	109
Şekil 9.15 TIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50.....	109
Şekil 9.16 TIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X100.....	110
Şekil 9.17 TIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50.....	110
Şekil 9.18 TIG kaynağı uygulanmış TM parçaların kaynak sertlik deney sonuçları.....	112
Şekil 9.19 MIG kaynağı uygulanmış TM parçaların kaynak bölgesi.....	113
Şekil 9.20 MIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50.....	114
Şekil 9.21 MIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50.....	114
Şekil 9.22 MIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50.....	115
Şekil 9.23 MIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X100.....	115
Şekil 9.24 MIG kaynağı uygulanmış TM parçaların kaynak sertlik deney sonuçları.....	117
Şekil 9.25 TIG kaynağı uygulanmış TM parçaların kopma mukavemeti değerleri.....	120
Şekil 9.26 Örtülü elektrot ile ark kaynağı uygulanmış TM parçaların kopma mukavemet değerleri.....	120
Şekil 9.27 MIG kaynağı uygulanmış TM parçaların kopma mukavemeti değerleri.....	121

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Toz metalurjisi Tarihi Gelişimi.....	6
Çizelge 3.1 Tipik Gaz atomizasyonu ve Su atomizasyon işlemlerinin karşılaştırılması.....	24
Çizelge 4.1 Sık kullanılan malzemeler için Sıkıştırma basınç aralıkları.....	34
Çizelge 5.1 Örnek Üretim için Sinterleme Döngüleri.....	55
Çizelge 5.2 Sinterleme Atmosferlerinin Bileşimleri.....	58
Çizelge 5.3 Atmosfer Yanma Aralıkları.....	59
Çizelge 8.1 Elektrot örtüsünün görevleri.....	76
Çizelge 8.2 Elektrot çapı akıma uygun seçimi.....	82
Çizelge 8.3 MIG/MAG kaynağı için koruyucu gazlar.....	90
Çizelge 8.4 Gazların sınıflandırılması (Pr En 439).....	91
Çizelge 9.1 ASC 100.29 demir tozuna ait fiziksel özellikler.....	94
Çizelge 9.2 Toz karışımlarına ait karışım oranları.....	95
Çizelge 9.3 Her iki taraftan kaynak edilmiş alın kaynakları için kaynak ağzı.....	97
Çizelge 9.4 Örtülü kaynak elektrodunun kimyasal bileşimi ( % Ağ. ).....	100
Çizelge 9.5 Örtülü Elektrot Kaynağında Uygulama parametreleri.....	101
Çizelge 9.6 Numunelerden alınan sertlik değerleri.....	106
Çizelge 9.7 TIG kaynağında kullanılan elektrotun kimyasal bileşimi ( % Ağ. ).....	107
Çizelge 9.8 TIG Kaynağında uygulama parametreleri.....	107
Çizelge 9.9 TIG Kaynak Numunelerinden alınan sertlik değerleri.....	111
Çizelge 9.10 MIG kaynağında kullanılan elektrodun kimyasal bileşimi ( % Ağ. ).....	112
Çizelge 9.11 MIG Kaynağında uygulama parametreleri.....	113
Çizelge 9.12 MIG Kaynak Numunelerinden alınan sertlik değerleri.....	116
Çizelge 9.13 Çekme deneyi verileri.....	119

## ÖNSÖZ

Hızla değişen teknolojiye bağlı olarak gelişme gösteren endüstriyel yapı içerisinde, işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri, ağır rekabet koşullarına karşı direnç gösterebilmeleri ve aynı zamanda kârlılıklarını arttırarak büyüme kaydedebilmeleri için ellerinde bulunan mevcut kaynakları son derece dikkatli ve etkin bir şekilde değerlendirmeleri gerekmektedir. T/M proseslerinin diğer imal usullerine göre daha ekonomik ve daha pratik olması, bu uygulamaları ticari anlamda daha ön plana çıkarmıştır.

Hazırlamış olduğum ‘‘Demir ( Fe ) esaslı Toz Metal ( TM ) parçaların farklı kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde kaynak bölgesinin incelenmesi ‘‘ konulu yüksek lisans tez çalışmamın gelecekte T/M metoduyla üretilen; ’’ iş makinaları, çiftlik makinaları, otomotiv parçaları, ev gereçleri, el aletleri, endüstriyel motorlar, hidrolikler, kesici takımlar v.b. ‘‘parçalar her geçen gün ekonomik anlamda daha büyük önem kazanmakta dolayısıyla da birçok imalat tekniğinin yerini alabilen bir proses olarak görülmektedir.Bu şartlar altında hasara uğrayan parçaların, daha pahalı yeni parçalar ile değiştirilmesi yerine, yalnız onarılması ve dayanımının arttırılması, soruna ekonomik ve pratik bir çözüm sunacaktır.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca danışmanlığımı yapan ve çalışmalarım esnasında her zaman yanımda olup, beni destekleyen hocam Sayın Prof. Dr. Selahattin YUMURTACI’ ya teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım esnasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Gazi Üniversitesi Makine Müh. Bölümü hocası Doç. Dr. İbrahim USLAN’ a teşekkür ederim. Deneysel numunelerin hazırlanmasında, endüstriyel imkânlarını seferber eden; bilgi, beceri ve tecrübelerini esirgemeyen başta SİNTEK Toz Metalurji Sanayi ve Ticaret A.Ş. genel müdürü Sayın Arman ÜTÜCÜYAN ve tüm firma çalışanlarına teşekkür ederim. Bununla birlikte numunelerin kaynak edilmesine imkân sağlayan MİKROTEK Kaynak çalışanlarına, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve deneysel çalışmalarımda desteğini esirgemeyen Sayın Salim AHISKALI’ ya teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan aileme ve çalışmalarım esnasında benden sevgi ve sabrını esirgemeyen değerli eşime şükranlarımı sunarım.

## ÖZET

Gelişen teknoloji ve endüstriyel yapı içerisinde firmaların zorlu rekabet koşullarında varlık gösterebilmelerinde en önemli faktörlerden biri de maliyet olmaktadır. Yaygınlaşan üretime karşılık yüksek oranda malzeme kullanımı ve yüksek enerji tüketimi, işçilik maliyetleri fiyat faktörünün payını sürekli arttırmaktadır. Bundan dolayı Toz Metalurjisi ( T/M ) karmaşık parçaları son boyuta getirebilmekte ve şekil verebilme özelliğine önemli ölçüde ekonomik yarar sağlamaktadır. Birleştirme işlemlerinin tamamı T/M ile üretilen parçalarda uygulanabilmektedir. Endüstride kullanılan Toz metal ( TM ) parçaların birleştirilmesinde kaynak yönteminin seçimi, TM parçaların yoğunluğuna bağlı olup birleştirmiş TM parçaların dayanımı direkt etkilemektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında ilk olarak T/M işlemi hakkında genel bilgi verilmiş olup kullanım alanlarından bahsedilmiştir. Demir esaslı TM parçaların imalinde kullanılan tozlar; özellikleri, üretim yöntemleri ve TM parçaların üretimi esnasında uygulanan aşamalar üzerinde durulmuştur. TM parçaların; kaynak edilebilirliği, kaynak yöntemlerinden bahsedilmiş ve TM parçalara uygulanan TIG, MIG ve örtülü elektrotla ark kaynağı yöntemleri uygulanmış; sertlik değerleri, ITAB, kaynak bölgesi incelenerek çekme deneyi uygulanarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** : Toz Metalurjisi, TIG Kaynağı, MIG Kaynağı, Ark Kaynağı



## **ABSTRACT**

Within the context of developing technology and industrial structure, cost constitutes one of the key factors for firms to survive under competitive market pressures. Although production expands; immense use of materials, high level of energy consumption and labor costs result in increasing shares of the price factor. Therefore Powder Metallurgy (P/M) is able to combine complex parts into ultimate size, yielding considerable economic benefits thanks to its capacity to compact materials into a shape All combining processes can also be applied to the parts fabricated using the P/M process. The selection of welding method for combining PM parts that are used in industry depends on the density of the powder metal parts and has a direct impact upon the strength of the PM parts.

The present thesis begins with providing general information regarding the P/M process and its areas of use. It further discusses powders used in producing iron-composite Metal Powder parts, their properties, production methods and production phases applied during the production of PM parts. After discussing the weldability of PM parts and the welding methods, the study then passes on to treat the case of using TIG, MIG and coated electrode arc welding techniques. Examining hardness values, HAZ and the welding zone, the pulling experiment has been conducted. Then comparisons are done with the results obtained.

**Keywords:** Powder Metallurgy, TIG Welding, MIG Welding, Arc Welding

## 1. GİRİŞ

Hızla değişen teknolojiye bağlı olarak gelişme gösteren endüstriyel yapı içerisinde, işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri, ağır rekabet koşullarına karşı direnç gösterebilmeleri ve aynı zamanda kârlılıklarını arttırarak büyüme kaydedebilmeleri için ellerinde bulunan mevcut kaynakları son derece dikkatli ve etkin bir şekilde değerlendirmeleri gerekmektedir. T/M ve parçacıklı malzeme işlemleri, dökümde olduğu gibi net şekilli parça üretimine imkân tanır. Fakat toz teknikleri, sadece düşük sıcaklıkta ergiyen metallere uygulanan dökümden farklı olarak hemen hemen her malzemeye uygulanabilir. Bundan dolayı T/M yoluyla üretilen ürünlerin pek çoğu; mesela kompozitler, yüksek sıcaklık seramikleri, bazı polimerler, bakırlı çelikler, reflakter metalleri, geniş bir dağılım gösteren intermetalikler, sermetler ve karışık fazlı bileşimler, döküm yoluyla üretilmezler. [ 15 ]

Toz teknolojileri, tekrar tekrar aynı ürünü kopyalamaya izin veren kalıp boşlukları sayesinde çok sayıda üretim yapılmasına imkân sağlar. Serbest şekilli üretimlerde ise bu teknoloji tek bir ürünün elde edilmesine imkân tanır. Maliyet daima önemli faktörlerden biridir. Bundan dolayı karmaşık şekilleri son boyuta getirebilmek ve şekil verebilme özelliği önemli ölçüde ekonomik yarar sağlar. Ayrıca yüksek oranda malzeme kullanımı ve izafi olarak daha düşük enerji tüketimi sağlayan otomasyonun toz süreçlerinde kullanımı da ekonomik kazançlar sağlamaktadır.

T/M teknikleri ile üretilen mamuller her yerde kullanılır. Bunlara bir kısım örnek vermek gerekirse; yüksek şiddetli ışıklar, diş yenileme, gözenekli yataklar, otomobil transmisyon milleri, zırh delici mermiler, elektrik kontakt elemanları, nükleer güç yakıt çubukları, ortopedik protezler, uçak fren balataları, yeniden doldurulabilen piller, saat gövdeleri, elektronik kapasitörler, jet motoru türbinleri, gözenekli metal filtreler, kesici takımlar, dişliler, segmanlar vb. Açıkçası tozlar her alanda kullanılabilir. Bu nedenle T/M her geçen gün ekonomik anlamda daha büyük önem kazanmakta dolayısıyla da birçok imalat tekniğinin yerini alabilen bir proses olarak görülmektedir. Bu şartlar altında hasara uğrayan parçaların, daha pahalı yeni parçalar ile değiştirilmesi yerine, yalnız onarılması ve dayanımının arttırılması, soruna ekonomik ve pratik bir çözüm sunacaktır.

TM parçalar kullanıldıkları yerlere göre farklı zorlanmalara maruz kalmakta ve bunun sonucunda ise bir takım hasarlar oluşmakta, dolayısıyla da parçalar işlevini yapmaz hale gelmektedir.

Hasara uğrayan her parça yeni bir maliyet, her yeni maliyet de firma kârlılığını etkileyen bir faktördür. Onarım çoğunlukla yedek parça maliyetinden ve temininden daha kolay ve ucuzdur.

İşlevselliğini kısmen ya da tamamen yitirmiş TM parçaların devre dışı bırakılmasına gerek kalmadan onarımı noktasında, gündeme kaynak tekniği gelmektedir. Onarım işlemine başlamadan önce ‘‘ Onarım Analizi ‘‘ yapılarak parça malzemesinin ve hasarın içeriği ile boyutları belirlenmekte, daha sonrada uygun kaynak yöntemi seçilerek onarım işlemi gerçekleştirilmektedir.

## 2. TOZ METALURJİSİNE GENEL BİR BAKIŞ

Toz metalurjisi "kaybolmuş bir sanat" olarak tanımlanabilir. Toz metalurjisi ( T/M ) kil ve seramik malzemelerden farklı olarak, tarihin ilk çağlarında kalıplama ve pişirme pratiği için veya nadiren dekoratif metalik malzemelerde uygulanmıştır. Yüzyıllar sonra tamamen unutulmuş olan T/M, ancak 18. yüzyıl sonlarında metallerin sinterlenmesiyle, değişik platin toz üretim metodları ile Avrupa'da yeniden hayat kazanmıştır.

İlk insanlar, metal toz parçacıklarının çekiçle dövülmesi ile bir araya getirilebildiğini ve sonuçta katı bir metalik yapının elde edildiğini şans eseri öğrenmişlerdir. Zaman içerisinde insanoğlu fırınların nasıl yapıldığını, ergime için yeteri kadar yüksek sıcaklıklara çıkmayı ve yine tunç yapımı için bakır ve kalay ile düşük sıcaklıklarda alaşımlama yapılışını öğrenmişlerdir.

Metallerin ergime noktalarına çıkabilen fırınlar geliştirilmeden önce T/M prensipleri kullanılmıştır. Yaklaşık M.Ö 3000' lerde Mısırlılar çeşitli aletlerin yapımında günümüzün "sünger demirine" benzer tozlar ve parçacıklar kullanmışlardır. Sünger demir tozları, ateşle ısıtılmış ve daha sonra çekiçle dövülmüştür. Nihai şekiller basit dövme işlemleriyle elde edilmiştir. Ürün genellikle metalik olmayan emprüteler (katışkılar) içermesine rağmen, oldukça sağlam yapılar meydana çıkmıştır. W.D Jones, Afrikalı Yerliler tarafından geliştirilmiş olan bir prosesi açıklamıştır. İndirgeme reaksiyonlarından sonra sünger metal parçacıklar, toz haline getirilmek için kırılmış, curuf ve gangü uzaklaştırmak için elle ayırım yapılmıştır. Daha sonra toz ya kompaktlanmış veya kompaktlanmadan sinterlenmiş ve takibinde dövme işlemi yapılmıştır.

T/M uygulamaları "Yeni Dünya"nın bulunmasından (1492) önce yaşayan İNKA' larda da görülmüştür. İnkalar sementit esaslı tozları, düşük ergime sıcaklığına sahip bir veya birkaç metalle karıştırıp sinterlemişlerdir. İlerleyen zaman içerisinde platin tozlarının kullanımı başlamıştır. Saf haldeki platinin mekanik olarak öğütülmesiyle (mekanik öğütme, elekten geçirme, yıkama, seçme) elde edilen tozlar, düşük ergime sıcaklığına sahip tozlarla birlikte karıştırılıp sinterlenmekteydi. Sonraları altın ve gümüş kullanımına geçildi.

Bu alaşımlardan yapılan analizlerde % 26 - 72 platin, % 16 - 64 altın, % 3 - 15 gümüş ve % 4' den fazla bakır olduğu anlaşılmıştır.Modern anlamda T/M yöntemlerinin ilk uygulanması ancak yüzyıllar sonrası 18. ve 19. yüzyıl Avrupa'sında değerli bir maden olan platinin işlenmesi sırasında olmuştur. Platin sünger tozundan, platin parça üretimi ( Walatson prosesi ) modern T/M' nin başlangıcı olarak düşünölmektedir. Bu alandaki ilk önemli gelişmeler 1750-1825 yılları arasında olmuştur. 1755' de LEWIS tarafından sünger yapılı kurşun-platin alaşımı kullanılmıştır. Bu alaşımın ergime derecesi yaklaşık 600° C idi.

T/M teknolojisinde ilk olarak karışık şekilli parçaların üretilmesi ve sinterlenmesi 19. yüzyılda olmuştur. 1830 da OSANN, redüksiyon metoduyla elde edilmiş atomik ağırlığı belli olan bakırın preslenmesi ve sinterlenmesini keşfetmiştir. Osann bakır karbonattan (  $CU_2CO_3$  ) redüksiyonla bakır tozu üretmiştir. Sonra bu tozları elekten geçirerek sınıflandırmıştır. Bu bakır tozlarını ilkel bir kalıpta sıkıştırarak yuvarlak yüzük şeklinde parçalar imal etmiştir. Bunları ( kompaktları ) bakırın ergime sıcaklığına yakın sıcaklıklarda sinterlemiştir. Sinterlenen kompaktların dökme bakırdan daha sert olduğunu görmüştür. Osann sonraki çalışmalarında ise gümüş, kurşun ve bakırı kullanmıştır.

T/M endüstrisindeki ilk ticari uygulamalar lamba flamanlarının üretilmesiyle başlamıştır. İlk üretilen flamanlar osmiyum, zirkonyum, vanadyum, tantalyum ve tungsten' den ekstrüzyon yoluyla üretilip sinterlenen karbonlu malzemelerdir. Bu flamanlardan osmiyum flamanları, üretim proseslerinin zorluğundan dolayı ancak birkaç yıl ( 1898 – 1900 ) ilgi görmüştür. Osmiyum flamanlar yerini tantalyum, zirkonyum ve tungsten flamanlara bırakmıştır. % 2-3 Ni' li tungsten flamanlarının kompaktlanıp sinterlendikten sonra gayet iyi sonuç verdiği görölmüştür. 20. yüzyıl başlarında Coolidge tarafından geliştirilen proses üzerinde yıllar sonra bile çok az değişiklik yapılmıştır ve bu proses halen akkor lamba flamanları üretiminde standart bir metoddur.

1900 yıllarda elektronik, X ışını ve kimya endüstrilerinde tungsten, molibden ve tantalyum gibi önemli refrakter metaller kullanıldı. T/M' deki bu erken gelişmeyi niyobyum, toryum ve titanyum gibi refrakterlerin kullanımı takip etti.

Refrakter malzemelerin ve karbürlerin gelişimine ilave olarak T/M' nin diğer bir önemli alanı 1900' lerin başlarında önem kazanan poröz ( gözenekli ) metal yataklardır. Metalik fiberler, poröz malzemelerin gelişiminde bir sonraki basamağı oluşturmuştur. 1900 ile Birinci Dünya Savaşı yılları arasında filtrasyon teknikleri, poröz yapılı malzemeler, demir esaslı malzemeler ve tungsten-nikel-bakır ağır alaşımları hızlı bir ilerleme kaydetmişlerdir. İkinci Dünya Savaşı başlarında bilhassa ticari alanda demir tozlarının kullanımı iyice yaygınlaşmıştır. İkinci Dünya Savaşı yıllarında ise demir esaslı tozlardan yapılan parçalar, orduların en çok kullanıldığı malzemelerdendir. Yine bu yıllarda modern T/M endüstrisinde demir ve bakır esaslı malzemeler otomotiv alanında büyük tonajlarda kullanılmıştır. Bu anlamda otomotiv alanında 1927' de kendinden yağlamalı yataklar kullanılmıştır. Takip eden yıllarda bakır-kalay toz kombinasyonu oldukça ilgi görmüştür. 1940 ve 1950 yılları arasında kendinden yağlamalı yatakların kullanımı iyice yaygınlaşmıştır. T/M endüstrisindeki bu hızlı gelişmeyi demir ve çelik tozlarından üretilen kam milleri, dişliler ve diğer mekanik parçaların kullanım takip etmiştir. Bu yıllarda bakır tozları, yılda 27.000 ton, demir ve demir esaslı tozlar ise yılda 18.000 ton civarında kullanılmıştır.

2. Dünya Savaşından sonra nükleer enerji teknolojisi ve havacılık teknolojisinin gelişmesiyle refrakter metal tozlarının kullanımı hız kazanmıştır. Bu tozlardan başlıcaları; tungsten, molibden, niyobyum, titanyum, tantalyum ve nükleer enerji teknolojisinde kullanılan berilyum, zirkonyum, uranyum ve toryum metal tozlarıdır. Nükleer enerji teknolojisinde kullanılan disperse edilmiş uranyum, diğer metal tozlarıyla birlikte kullanmıştır. Kontrol çubuklarında bakır, nikel ve alüminyum matrisli boron oksit tozları kullanılmıştır. Havacılık alanında ise berilyum ve niyobyum kullanımı iyice yaygınlaşmıştır. Roket başlıkları, ısı siperli koniler gibi paryalar niyobyumdan yapılarak işlenmiştir. Roket nozullarında tungsten ve diğer roket parçalarında molibden kullanılmıştır.1950 ve 1960' lı yıllarda dövme TM parçalarının imali gerçekleşmiştir. Bu dövme işlemleri, tam yoğunluk elde edilmiş parçaların başlangıcını teşkil etmiştir.

Sıcak izostatik preslenmiş süperalaşımlar, dövme TM parçaları, TM takım çelikleri, haddelenerek kompaktlanmış şeritler ve dispersiyonla sertleştirilmiş bakırlar bunların en iyi örneklerindedir.1970' lerde yüksek yoğunluk ve yüksek performansa sahip malzemeler ticari alanda boy gösterdiler.1980' lere gelindiğinde hem toz özellikleri hemde T/M prosesleri bir hayli gelişmişti. Bu gelişmelerin sayesinde segregasyon, heterojenizasyon ve gözenek oluşumu gibi kötü etkenler minimize edilmiştir.[ 1,2 ]

T/M teknolojisinin başlangıcından 1980' li yıllara kadar olan tarihi gelişimi Çizelge 2.1' de verilmiştir

Çizelge 2.1 Toz metalurjisi Tarihi Gelişimi [ 2 ]

<b>Tarih</b>	<b>Gelişmeler</b>	<b>Kullanıldığı yer</b>
M.Ö 3000	Sünger demir tozuyla takım imali	Mısır - Afrika - Hindistan
M.S 1200	Platinyum kullanımı	Güney Amerika – İnka
1781	Platinyum - Arsenik alaşımı	Fransa – Almanya
1790	Ticari alanda Platinyum - Arsenik alaşımı kullanımı	Fransa
1822	İngot içerisinde Platinyum tozlarının şekillendirilmesi	Fransa
1826	Kompakt Platinyum tozlarının yüksek sıcaklıklarda sinterlenmesi	Rusya
1829	Wallatson metoduyla sünger platinyum tozlarının kompaktlanması	İngiltere
1830	Çeşitli metallerin kompaktlanması ve sinterlenmesi	Avrupa
1870	Kendinden yağlamalı metallerin imali	A.B.D
1878 – 1900	Lamba flamaların imali	A.B.D
1900	Kompozit malzemeler, poröz malzemeler	A.B.D
1915 – 1930	Sementit karbürlerin kullanımı	Almanya
1920	Ticari alanda kendinden yağlamalı yatakların imali	A.B.D
1940	Demir tozu teknolojisi	Orta Avrupa
1950 – 1960	Dövme T/M, dispersiyon sertleştirme, T/M işleme	A.B.D
1970	H.I.P, T/M takım çelikleri	A.B.D
1980	İnjeksiyon dökme teknolojisi ( M.I.M )	A.B.D

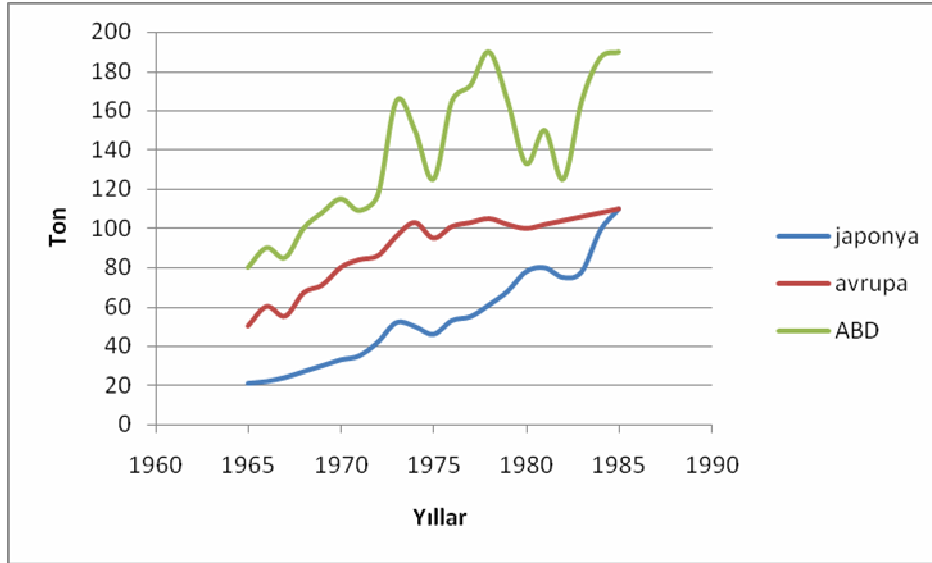
## 2.1. Demir Esaslı Parçaların Gelişimi ve Kullanım Alanları

Endüstriyel demir tozlarının üretimi 1930' ların ortalarında başlamıştır. Toz özellikleri dikkate alınmadığından, ilk kullanılan tozlar doğal şekillerdeydiler. Saf demir içerisindeki mevcut elementler, atomizasyon sırasında tozun fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilemekteydi. İlk zamanlar demir tozları genellikle, sinterlenmiş parçalarda ve kaynak elektrotlarında kullanılmaktaydı.

Yaklaşık yarım yüzyıl geçildiğinde demir tozlarının kullanımı gayet yaygınlaşmıştı. Demir tozlarının kullanımı önemli endüstri dalları için temel teşkil etti. Şekil 2.1 de dünya üzerindeki demir tozu tüketiminin 20 senelik değişimi verilmiştir.

Grafikten demir tozu tüketiminde her periyotta A.B.D' nin önderliği görülmektedir. Fakat Japonya hızlı büyümesiyle ve geniş hacimlerdeki toz tüketimiyle Avrupayı yakalamıştır. Çeşitli zaman dilimlerinde Avrupa' daki demir tozu kullanımı diğer ülkelere göre daha sağlıklı olarak gelişmiştir. [ 3 ]

İlk demir tozları ( sünger demir tozu ) Höganäs firması tarafından üretilmiştir. Bu tozlar A.B.D General Motors tarafından kalıplarda basılarak sinterlenmiş ve sinter sonrası yoğunlukları ancak  $6 \text{ gr/cm}^3$  civarına çıkabilmiştir. İlk modern sinter fırını ise 1945 yılında yine Höganäs firması tarafından geliştirilmiştir. Bu fırında MH 100.24 demir tozlarından hazırlanarak preslenmiş kompaktlar sinterlenmiştir. M harfi manyetik ayırımı, H harfi ise hidrojen atmosferinde tavlanması gerektiğini belirtmektedir. 100 rakamı standart toz büyüklüğünü ( 100 mesh veya  $147 \mu\text{m}$  ), 24 rakamı ise görünür yoğunluğu (  $2,4 \text{ gr/cm}^3$  ) gösteriyordu. Aynı zamanda Alman Mannesmann firması hava atomizasyonu ile demir tozu üretimini gerçekleştirdi. Üretilen bu yeni demir tozları sünger yapılı demir tozlarına benziyordu.



Şekil 2.1 A.B.D, Avrupa ve Japonya' da kullanılan toplam demir tozu miktarı [ 2 ]

Görünür yoğunluğu  $2,8 \text{ gr/cm}^3$  olan MH 100.28 standart numaralı demir tozu 1956 yılında üretildi. Yeni imal edilen bu demir tozu MH 100.24 standart numaralı demir tozu ile değişik oranlarda karıştırılarak farklı yoğunluklar elde edildi. [ 2 ]



Diğer taraftan demir tozu üretiminde A.B.D de önemli gelişmeler oldu. Su atomizasyonu metoduyla yüksek oranlarda sıkışabilirliğe sahip demir tozları üretildi. Höganas firması ise MH 100.24 tozundan sonra yüksek oranlarda sıkışabilirliğe sahip sünger yapılı SC 100.26 ile NC 100.24 demir tozlarını geliştirdi. Aynı yıllarda su atomizasyonu metoduyla AHC 100.29 çelik tozu ve bunu takip eden yıllarda ASC 100.29 demir tozları Höganas firması tarafından geliştirildi. 1967 yılında Ancaloy serisi demir tozu üretimi ve bunu takiben Distaloy serisi demir tozu üretimi gerçekleştirildi.

Daha sonraki yıllarda demir tozlarının sıkışabilirliği ve preslenmiş kompaktlar üzerindeki çalışmalar arttı. 1985 Mart ayının sonlarına doğru Höganas firması tarafından sıkışabilirliği diğer tozlara göre çok daha iyi olan ABC 100.30 standart numaralı demir tozu üretildi. [ 2 ]

T/M endüstrisinde demir tozları geniş tonajlarda kullanılmaktadır. T/M uygulamalarında demir tozlarının kullanılmasının temel nedenleri şunlardır:

- 1) Demir olmayan metal tozlarının üretimine göre daha ucuz olması.
- 2) Proses özelliklerinin ve partikül mukavemetinin, diğer metal veya metal olmayan tozlara göre daha üstün olması.
- 3) Ağırlık-Mukavemet ilişkisinin daha uygun olması.
- 4) Isıl işlem uygulanabilir olması (demir-bakır, demir-grafit, demir-bakır-grafit gibi)
- 5) Kullanım ömrü açısından daha uygun olması. [ 3,4 ]

Demir esaslı TM parçalarının imalatında demir tozları, alaşımlandırılmış çelik tozları veya kurşun halinde hazırlanmış tozlar kullanılır. Karışım halinde hazırlanan tozlar:

- 1) Demir-grafit toz karışımları
- 2) Demir (veya çelik)-bakır toz karışımları
- 3) Demir-bakır-grafit toz karışımlarıdır. [ 4,5 ]

Demir esaslı TM parçalarının ilk uygulamaları, İkinci Dünya Savaşından önce kendinden yağlamalı yatakların kullanılmasıyla olmuştur. Her ne kadar demir esaslı TM parçalarının ilk kullanımı 1920' lerde A.B.D' de başlamışsa da, karışık şekilli parçaların kalıplanarak üretimi İkinci Dünya Savaşı yıllarına rastlar. Savaş yıllarındaki teknikler ve üretilen parçaların bir çoğu bugün bile kullanılmaktadır. T/M ile üretimin ilk yıllarında üretilen parçaların ağırlığı maksimum 100 gr civarındaydı.

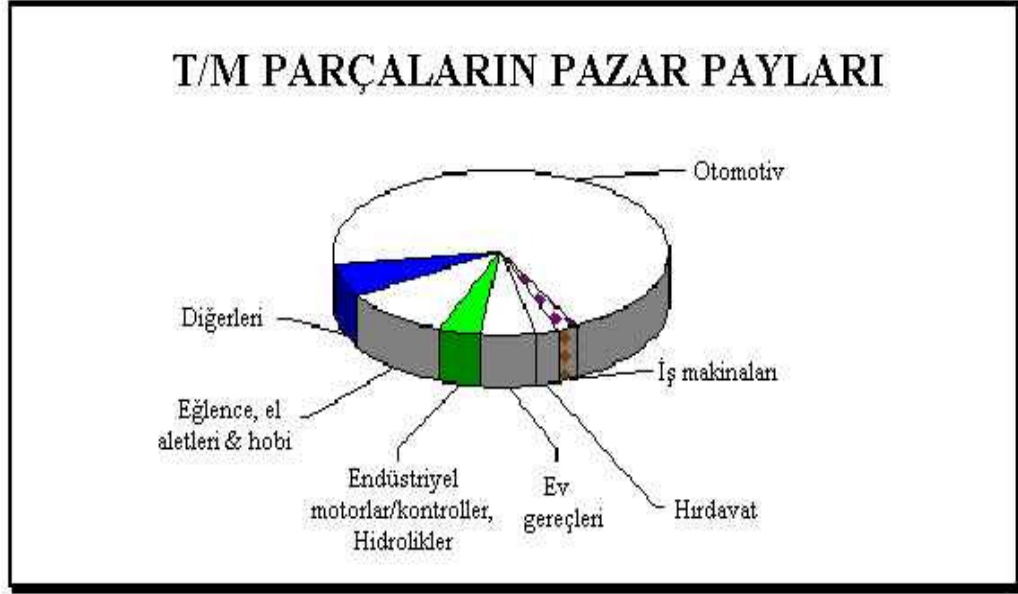
İkinci Dünya Savaşından sonraki yıllarda TM parçalarının dizaynı ( basit şekilli parçalardan karmaşık şekilli parçaların dizaynına geçiş ), uygulama alanları, terimleri ve yoğunlukları değişmiştir. Demir esaslı TM parçalarının imalinde kullanılan preslerin ve cihazların gelişmesi T/M teknolojisindeki avantajları arttırdı. 1980' li yıllara gelindiğinde toz kullanım kapasitesi 1000 ton, üretilen parça başına ağırlık ise 2-3 kg civarındadır.

Zaman içerisinde T/M proseslerinin gelişmesi T/M ile üretilen parçalara bir çok yeni özellikler kazandırmıştır. Bu özelliklerin başında mekanik özelliklerin iyileşmesi gelmektedir. T/M uygulamalarında kullanılan preslerin kapasitelerinin artması (uygulanan kuvvet v.b) ve sinter proseslerinin gelişmesi, mekanik özellikleri direkt olarak etkilemektedir. Bu bakımdan T/M ile üretilen demir esaslı parçalar 1960 ve 1970' li yıllarda büyük rağbet görmüştür. [ 6,7,8 ]

T/M ürünü demir esaslı parçalar bir çok alanda kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları; otomotiv parçaları, askeri (mühimmat) parçalar, büro makinaları parçaları, günlük hayatımızda kullandığımız el aletleri ve bunların parçaları. T/M proseslerinin diğer imal usullerine göre daha ekonomik ve daha pratik olması, bu uygulamaları ticari anlamda daha ön plana çıkarmıştır.

T/M' nin uygulamaları oldukça geniştir. Tungsten lamba filamentleri, dişçilik, dişli çarklar, yağlamasız yataklar, elektrik kontakları, nükleer güç yakıt elemanları, ortopedik gereçler, ofis makinaları parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, uçak fren balataları, akü elemanları, kesici takımlar ve jet motor parçaları vb. metal tozlarından üretilen parçalara örnek olarak verilebilir. Ayrıca, metal tozları boyalar, gözenekli betonlar, basılmış devre levhaları, zenginleştirilmiş un, patlayıcılar, kaynak elektrodları, roket yakıtları, baskı mürekkepleri, lehimleme aletleri ve katalizörlerin üretilmesinde de kullanılmaktadır.

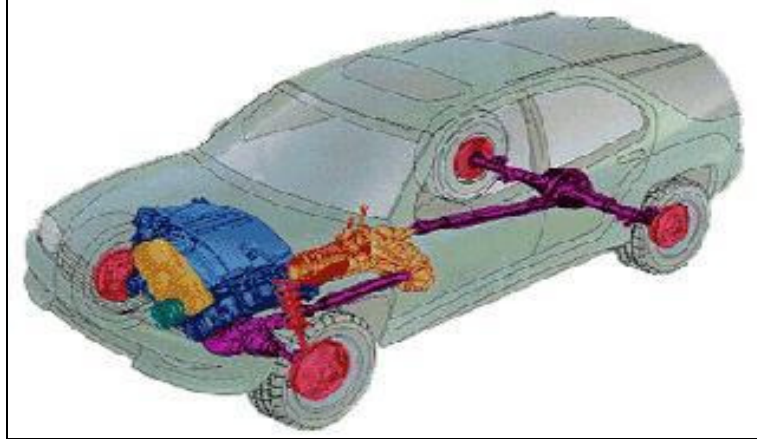
TM parçaların dünya genelindeki pazar payı aşağıdaki grafikte verilmiştir. Bu pazarın % 75' i otomotiv endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Avrupa yapımı arabalar 7 kg, Japon yapımı arabalar ise 5 kg TM parçaya sahip olduğu halde, Amerikan arabaları 16 kg' dan daha fazla TM parça içermektedir.



Şekil 2.2 TM parçaların pazar payları

TM parçalarının otomotiv endüstrisindeki ilk uygulamaları 1920' llerde kendinden yağlamalı yatakların kullanılmasıyla gelişmiştir. 1920' llerde otomotiv endüstrisi A.B.D' de kullanılan demir tozunun % 50' sinin ana tüketicisi olmuştur. Avrupa da ve Japonya da da aynı oranda demir tozu kullanılmıştır. İkinci Dünya Savaşı sonrasında bile toz üreticileri kendi piyasalarını iş makineleri, çiftlik makineleri gibi sektörlerde geliştirdiklerinden otomotiv endüstrisindeki TM parçalarının kullanımını yeni uygulamaların girişimiyle kullanırlığını sürdürmüştür.

Otomotiv sektöründe ilk kullanılan, en önemli T/M ürünü demir esaslı parça, Porsehe marka arabaların rot bağlantılarıdır. ( 1970 ). 1980' li yıllarda ise Toyota ve Ford ( A.B.D ) firmaları geniş miktarlarda T/M ürünü demir esaslı parçaları kullanmaya başlamıştır.[ 8,9 ]



Şekil 2.3 TM parçaların araç içerisindeki dağılımı

Alaşım kompozisyonu, yoğunluk, sinterleme işlemleri ve ikincil operasyonlar son ürün özelliklerini büyük ölçüde değiştirmektedir. Otomotiv sektöründe kullanılan demir esaslı TM parçaları 414 ile 483 MPa arasında bir basınçta preslenip, 1120 °C de sinterlenmektedir.

### **3. TOZ METALURJİSİ ÜRÜNÜ DEMİR ESASLI PARÇALARIN İMALİNDE KULLANILAN TOZLAR ve BU TOZLARIN ÖZELLİKLERİ**

Demir esaslı T/M ürünleri önceki bölümlerde de açıklandığı gibi üç temel toz karışımından imal edilmektedirler. Bunlar:

- Demir-Grafit toz karışımları
- Demir-Bakır toz karışımları
- Demir-Bakır-Grafit toz karışımları [ 4,7 ]

Bu ürünler imal edilirken değişik metodlarla hazırlanmış tozlar kullanılır. Her toz imal prosesinden farklı özelliklere sahip toz elde edilir. Toz özellikleri ise direkt olarak; tozların kompaktlanma davranışını, sinterleme davranışını ve son ürün özelliklerini etkiler. Toz özellikleri iyi bilindiği ve uygun imal prosesi seçildiğinde ancak istenilen ürün özellikleri elde edilebilir.

Temelde dört değişik toz üretim metodu mevcuttur. Bunlar:

- Kimyasal yöntemler
- Elektrokimyasal yöntemler
- Mekaniksel yöntemler
- Atomizasyon yöntemleridir.

Bu dört farklı metodla üretilen tozların birbirlerine göre fiziksel ve kimyasal yönden avantaj ve dezavantajları vardır. Toz imal yöntemlerindeki parametre değişiklikleri üretilen tozların bir çok özelliklerini ( toz boyutu, tane yapısı, tane şekli, kimyasal kompozisyon, akma hızı, görünür yoğunluk, sıkışabilirlik ) direkt etkilemektedir.

### **3.1. Kimyasal Yöntemler**

Metal tozlarının kimyasal metodla üretimi deyince, genellikle metal oksitlerin katı karbon veya gazlarla indirgenmesi akla gelir. Metal oksitlerin; katı redüktiflerle redüksiyonu, redüktif gazlarla redüksiyonu ve metalin tuz çözeltisinden çökeltilmesi gibi temelde üç tip kimyasal metod vardır.

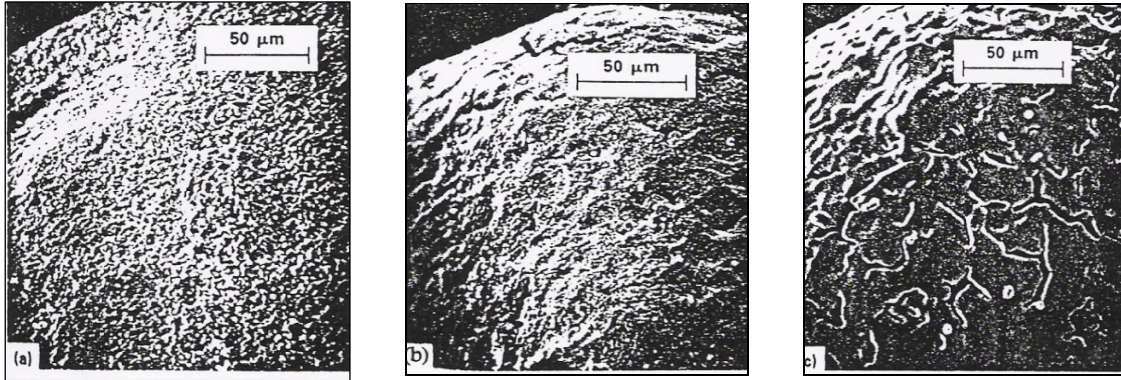
Demir oksit cevherinin uygun nitelikli redüktiflerle indirgenmesiyle sünger yapılı demir tozları elde edilir. Magnetit (  $Fe_3O_4$  ), kok ve kireç taşı ile karıştırılır. Kireç taşı kükürdü absorbe eder. Karışım seramik kaplar içerisinde 1200 °C' ye kadar ısıtılır. İndirgeme tamamlanınca sünger demir ile kalan kok ve kül ayrılır. Sünger demir külçeleri öğütülür ve hidrojenle tavlansarak oksijen ve karbondan mümkün olduğu kadar arıtılır. Son olarak elekten geçirilir. Aynı prosesde hadde tufalide kullanılabilir. Fakat elde edilecek tozların saflığı tufalin saflığına bağlıdır. Tüm bu prosesler oldukça yavaştır. Oksit redüksiyonu ile elde edilen demir tozları gayet gözenekli ve sünger yapıdadırlar. Bu özelliklerinden dolayı bu tozlar "Sünger demir tozları" olarak bilinirler. Düzensiz yapılı olan bu tozlar içerisinde % 0,01 - 0,1 arasında karbon bulunur. Bu tozların tane boyut dağılımı ise 40 - 425 µm arasındadır. Şekil 4 de sünger yapılı demir tozu görülmektedir. [ 10 ]



Şekil 3.1 Taramalı elektron mikroskobunda çekilmiş sünger yapılı demir taneleri ( 100X ) [ 10 ]

Redüksiyonla elde edilmiş bakır tozları ise demir tozlarına göre (sünger demir tozları) daha ince porlara sahiptirler. Bu porların ölçüsü yaklaşık olarak  $1\ \mu\text{m}$  civarındadır. Bu tip bakır tozları geniş özgül yüzey alanlarına sahiptir. Şekil 3.2 'de üç farklı redüksiyon sıcaklığında elde edilmiş bakır tozları görülmektedir. Buna göre redüksiyon sıcaklığı arttıkça mevcut por miktarı azalırken, özgül yüzey alanında azalmaktadır.

Şekil 3.2 de düşük sıcaklıklardaki redüksiyon ürününde por miktarının fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2 Taramalı elektron mikroskobunda çekilmiş  $180\ \mu\text{m}$  büyüklüğündeki bakır oksit taneleri

(a-  $315^\circ$  redüksiyon b-  $595^\circ$  redüksiyon c-  $980^\circ$  redüksiyon )

Demir veya bakır tozu ayırt etmeksizin genel olarak düşük redüksiyon sıcaklıkları ince ve küçük porlar ve geniş özgül yüzey alanları meydana getirirler. Yüksek redüksiyon sıcaklıkları (  $>0,6 T_m$  ) ise partikül iyi porlar ve küçük özgül yüzey alanları meydana getirirler.

Küçük porlar ve geniş özgül yüzey alanları yüksek derecede yaş mukavemet elde edilmesini sağlarlar. [ 10,11]

Genel olarak kimyasal yöntemlerin avantajları kısaca şöyle sıralanabilir:

- Katı redüktif olarak kullanılan karbon ucuzdur.
- Metal oksitler kolaylıkla bulunabilir.
- Gözenekli porlar elde edilebilir.
- Metal ve oksitlerin boyut kontrolü yapılabilir.

Dezavantajları ise şöyle sınıflanabilir:

- Redüktif olarak gaz kullanıldığında saf haldeki gazların pahalı oluşu.
- Metal oksit saflığının toz saflığını etkilemesi (emprütelerin mevcudiyeti).
- Alaşım tozların üretilmesinin mümkün olması.

### **3.2. Elektrokimyasal Yöntemler**

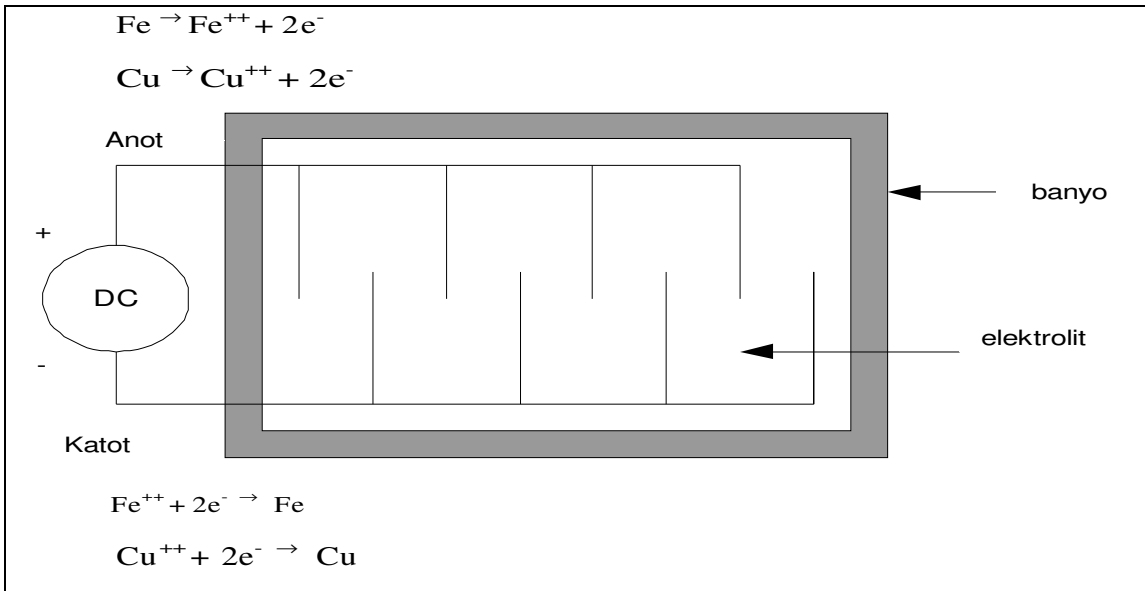
Demir ve bakır gibi tozlar çözeltiden veya ergimiş tuz banyosundan toz halinde rahatlıkla üretilbilirler. Bu yöntem diğer toz imal yöntemlerine göre gayet pahalı olup üretilen tozlar ise yüksek saflıktadır.

Elektrolizle elde edilmiş demir tozları ise diğer demir tozları içerisinde en temiz ve yüksek saflıkta olanıdır. Bu tozlar içerisinde emürite miktarı çok denecek kadar az olup düzensiz biçime sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı görünür yoğunluk ve yaş mukavemet değerleri gayet iyidir. Bu durum Şekil 3.3 de verilmiştir. [ 12 ]

Elektrolizle elde edilmiş bakır tozlarının saflıkları gayet yüksektir ( % 99,5 ). Hidrojen içeriği % 0,1 - 0,5 arasında olup; partikül dağılımı ve görünür yoğunluk gibi özellikler hidrojen miktarına bağlıdır. Bu tip tozlar dentritik biçimdedirler. Tozların üretimi sırasında yüksek akım yoğunluklarında küçük taneli tozlar elde edilebilir.

Genel olarak tozun fiziksel ve kimyasal özellikleri, elektrolitin konsantrasyonuna, pH, sıcaklığa, sirkülasyon miktarına; akım yoğunluğuna anot ve katot tipine bağlıdır. Örnek olarak sülfirik asit elektroliti kullanıldığında dentritik yapılu bakır tozları elde edilirken, nitrat solüsyonlu elektrolit kullanıldığında düzenli biçime sahip bakır tozları elde edilir. [ 12,13,14 ]

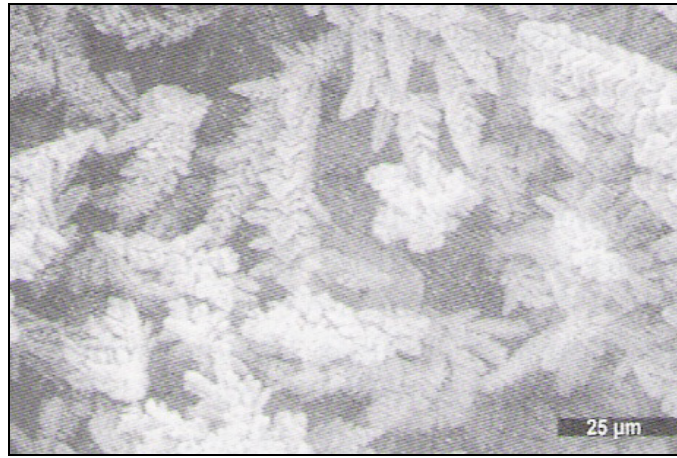
Çevrim şematik olarak gösterilen hücreye uygulanan voltaj altında anodun çözünmesi ile başlar. Bakır ve demir için anot ve katot tepkimeleri Şekil 3.3 de verilmiştir. Elektrolit ( bu örnekte sülfat esaslı ) içerisinden taşınım katot üzerindeki birikintinin saflaştırılmasında kullanılır. Katot üzerindeki gözenekli birikinti sıyrılır, yıkanır, kurutulur ve öğütülerek toz haline getirilir. Daha sonra gerilmeleri azaltmak ve uçucu maddeleri gidermek amacıyla tavlama işlemi uygulanır.



Şekil 3.3 Toz biriktirmek için bir elektroliz hücresi [ 15 ]



Elektroliz yöntemiyle üretilen tozlar genellikle dendritik veya süngerimsi şekillidir. Ancak parçacık şekli ve boyutu önemli ölçüde kontrol edilebilir. Tozların özellikleri biriktirme sırasındaki banyo şartları ve sonraki işlem basamaklarına bağlıdır. Yüksek akım yoğunluğu, düşük iyon derişimi, asidik hücre kimyasalları ve koloidal katkılar, katotda gözenekli ve yozumsuz birikinti oluşumunu kolaylaştırır. Yüksek vizkoziteli elektrolit kullanan ılık hücre ve çok az karıştırma, gevşek katot birikintisi sağlar. Elektrolizle üretilmiş bakır tozlarına Şekil 3.4 de gösterilmiştir. Elektrolizle üretilmiş tozlar genellikle düzensiz, gözenekli veya dendritik yapıda olup düşük paketlenme özelliği gösterirler. [ 15 ]



Şekil 3.4 Elektrolizle üretilmiş bakır tozunun taramalı elektron mikroskop görüntüsü [ 15 ]

Elektrolitik teknikler titanyum gibi reaktif metallere uygulanmaktadır. Yöntem 500 – 800 °C sıcaklıklar arasında  $TiO_2$  katot da meydana gelen elektrik iletkenliğine dayanmaktadır. Bu teknik bulucularına atfen FFC ( Fray, Fathing ve Chen ) işlemi olarak isimlendirilir. Kalsiyum klorür elektrolit olarak görev yapar ve hücrenin yan ürünü karbondioksittir. Bu toz üretim işlemi geliştirildikçe çok miktarda Nb, Sn, NbTi, Al, Ti, Be, Ni, Co, Ta, Pt ve Pd gibi malzeme oluşturma fırsatı vardır. Normalde elektrolizle üretim sadece metal tozlarının üretiminde kullanılmakta ve alaşım veya bileşiklere uygulanamamaktadır. Kirlilikler tozların oluşmasını ve katot üzerinde birikmesini engellerler ve bunların çok sayıda oluşum kaynakları vardır. Elektrolizle biriktirmeden sonra ürün temizlenmeli ve öğütülmelidir. Bunlar maliyeti ve artık maddeleri önemli ölçüde arttırır. Bu nedenler ve diğer çevresel sorunlar elektrolizle toz üretim yöntemlerinin kullanımını sınırlandırmaktadır. [ 15 ]

### 3.3. Mekaniksel Yöntemler

Dört ana mekanik öğütme yöntemi vardır; Darbe, aşındırarak öğütme, kesme ve basma. Darbe malzemeye çekiçle vurma gibi çok hızlı ve anlık uygulamaları içerir ve malzeme küçük parçalara ayrılır. Aşındırarak öğütme, aşındırıcının bir biri üzerinde sürtünme hareketi sayesinde parçacıkların boyutunun küçültülmesidir. Kesme, talaşlı imalatta olduğu gibi kesme işlemi ile malzemenin parçalanmasıdır. Diş dolgu malzemesi amalgamlarda kullanılan gümüş gibi pek çok metal tozu önceden tornalama ile elde ediliyordu.

Kesme ile oluşturulan tozların büyük olma eğilimi vardır. Sonucu olarak, basma kuvvetleri ile bir malzeme kırılma noktasına kadar deformasyona uğratıldığında toz haline gelir. Yiyeceklerde benzer şekilde toz haline getirilir. Metal tozların üretilmesinde mekanik metod bir darbeli öğütücü içinde metal tel ve tanelerin kırılması ile olur. Bu yöntemle elde edilen metal tozlarının şekli pul puldur ve kullanılmadan önce tavlansak gerginliğinin giderilmesi gereklidir. [ 15 ]

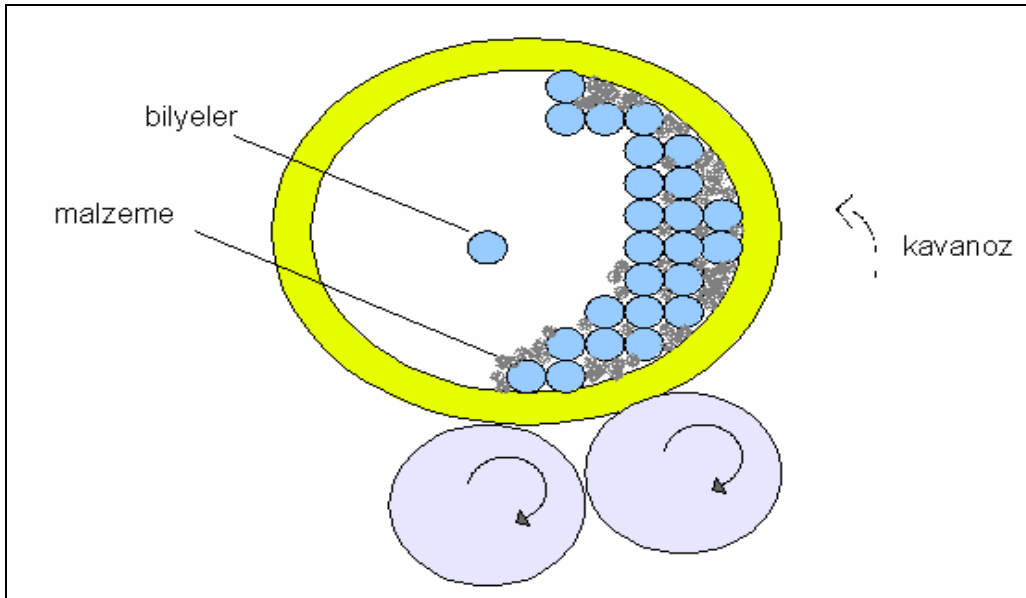
Talaşlı imalat; Haddelenmiş malzemelerin talaşlı imalatında kesme ile düzensiz şekilli iri tozlar elde edilir. Metal işleme tekniklerinde ortaya çıkan çok miktarda talaş hurdası metal tozu için büyük bir kaynaktır. Bu hurdalar kimyasal tekniklerle temizlenir ve boyut küçültmek için öğütülürler. Aslında, öğütme ile parçacık boyutunu veya şeklini değiştirmek yaygındır. Talaşlı imalat toz üretimi için birinci seçenek değildir. Diğer taraftan verimsiz ve yavaştır. Bununla birlikte başka işlemlerden elde edilen hurdaların değerlendirilmesinde uygundur. Talaşlı imalatla üretilen tozların kullanım alanı bazı polimerler ve sert metallerdir. [ 15 ]

Öğütme; parçalanacak ana malzeme ile sert bir cisim arasında bir darbe meydana gelmesini sağlamaktadır. Tekniklerden bazılarında, bilyalı öğütücüde olduğu gibi iri taneli malzeme döner bir fıçıda içerisinde iri, sert ve aşınmaya mukavim cisimlerle birlikte öğütülerek ufalanır.

Fıçının dönme hızı kritiktir. Çok fazla bir hız malzemenin ve bilyaların arasındaki relatif hareketlerin azalmasına neden olur.

Diğer taraftan çok küçük bir hız ise fiçinin alt kısmında yeterli olmayan bir hız meydana getirir. ideal dönme hızı bilyaların ve malzemenin fiçinin en üst kısmına kadar yükselerek, geriye kalan malzemenin üzerine düşmesini sağlar. Bu tekniğin bir dezavantajı bilyalardan ve öğütücünün çeperlerinden gelen kirlenmedir. Öğütücülerin titreştirilmeside mümkündür. Titreşimli öğütücüler döner tiplere nazaran çok daha kısa zamanda, eşdeğerde bir öğütme sağladıklarından daha verimlidirler.Saf malzemelerin tozları pervaneli öğütücülerde taneler birbirleriyle karşılıklı olarak çarpıştırılarak elde edilebilir. Bu öğütücüler, esas olarak çok süratli dönen iki veya daha fazla pervaneden ve parçacıkların istenilen miktarını toplamak için kapalı bir gaz akım devresinden meydana gelir. [ 16 ]

Bu türde yer alan diğer öğütücüler, malzemenin gaz jetleri vasıtasıyla yüksek süratle sert bir cisimle çarpışmasını sağlayan tipleri, çekiçli, diskli ve merdaneli öğütücülerdir. Öğütme süresince sıcaklık artmasından ötürü aşırı derecede oksitlenme meydana gelebilir. Oksitlenmeyi önlemek için öğütücüye konulan sıvılar ve asal atmosferler kullanılabilir.En basit cihaz Şekil 3.5 de görüldüğü gibi, içerisinde bilyeler ve öğütülecek malzeme doldurulan kavanoz öğütücü değirmendir.Kavanoz döndükçe bilyeler toz malzemeye sürekli olarak çarpar ve daha küçük parçacıklara ayrılır.Öğütme ile gevrek malzemelerin kırılması için gerekli darbe verilmesi malzemenin kusur yapısına ve çatlak ilerleme davranışına bağlıdır.



Şekil 3.5 Silindirik değirmende hareketin gösterilmesi [ 15 ]

Aşındırarak Öğütme ve Mekanik Alaşım ; Oksit dağılımı ile güçlendirilmiş malzemeler gibi parçacık takviyeli kompozitler yüksek sıcaklık sürünme dayanımı nedeniyle uzun zamandır kullanılmamaktadır. Bu kompozitlerin üretiminde ana yapının her yerinde sert parçacıkların homojen dağılımını elde etmek zordur. Öğütme teknikleri bu kompozitleri üretmek amacıyla geliştirilmiştir. Hareketli bilyeler arasındaki aşındırma ile alaşım kompozit parçaları üreten mekanik alaşım, bu amaçla başarılı bir tekniktir. İşlem karıştırmalı bir değirmene konulmuş bilye ve element tozlarının karışım ile başlar. [ 15 ]

Mikroskobik ölçekte tekrarlanan çarpışma, soğuk kaynak ve kırılma olayları istenilen kompozit tozları üretir. Diğer öğütme tekniklerinden farklı olarak, soğuk kaynak ve kırılma arasındaki denge, parçacık boyutunu oldukça sabit tutar.

### **3.4. Atomizasyon Yöntemleri**

Sıvı metal nozülünden püskürtülerek ve püskürtülen metal üzerine basınçlı gaz veya su üflenmesiyle toz elde etme metodudur. Atomizasyon yöntemi temel olarak bu mekanizmaya dayanır. Bunun dışında birçok atomizasyon prosesinde (su atomizasyonu, gaz atomizasyonu, santrüfuj atomizasyonu, vakum atomizasyonu, ultrasonik gaz atomizasyonu) mevcuttur. Atomizasyon proselerinde toz özellikleri gayet iyi bir şekilde kontrol edilebildiği gibi prosesin en büyük avantajı alaşım toz üretimine elverişli olmasıdır.

Atomizasyon proselerinde partikül özelliklerini kontrol eden parametreler kısaca şöyle sıralanabilir:

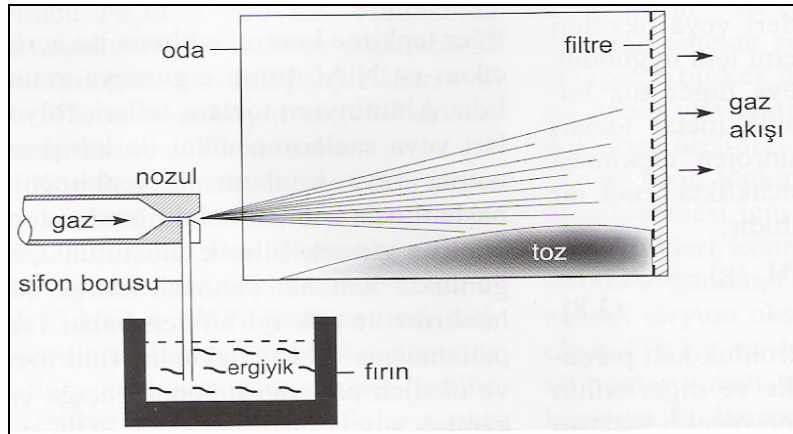
- Akışkanlarla ilgili parametreler (atomize edici ortam su, gaz gibi): Akışkan hızı, basıncı, debisi, soğutma kapasitesi, viskozitesi.
- Metal ile ilgili parametreler: Metal veya alaşımın bileşimi katılaşma aralığı ( likidüs-solüüs aralığı ), aşırı ısı, yüzey gerilimi.
- Proses koşullarıyla ilgili faktörler: Jet geometrisi, jet ile metal büzmesi arasındaki mesafe, çarpma açısı, metal hüzmesinin yarıçapı, besleme hızı.

Akışkan hızı, basıncı ve debisi arttırıldığında partikül boyutu küçülür. Soğutma kapasitesinin yüksek oluşu ise partikül şeklinin düzensiz oluşunu sağlar. Soğutucu ortamın soğuma kapasitesi düştükçe partiküller düzenli şekil alırlar. Metalin birleşim ve katılaşma aralığıda partikül biçiminde etkilidir. Katılaşma aralığı büyüdükçe soğuma, soğuma yavaş olacağından partiküller küresel şekilli olacaktır. Diğer taraftan yüzey gerilimi arttıkça partiküller küresel şekilli olmaya çalışacaklardır. [ 17 ]

Demir ve bakır tozları genellikle su atomizasyonu ile üretildikleri gibi gaz atomizasyonu ile üretilirler. Fakat gaz atomizasyonunun ekonomik yönden pahalı oluşu üretici firmaları su atomizasyonuna yöneltmiştir. İki atomize yöntemi arasında pek bir fark olmamakla beraber gaz atomizasyonu ile üretilen tozlar daha temiz ve partikül boyutu daha küçüktür.

### 3.4.1. Gaz Atomizasyonu

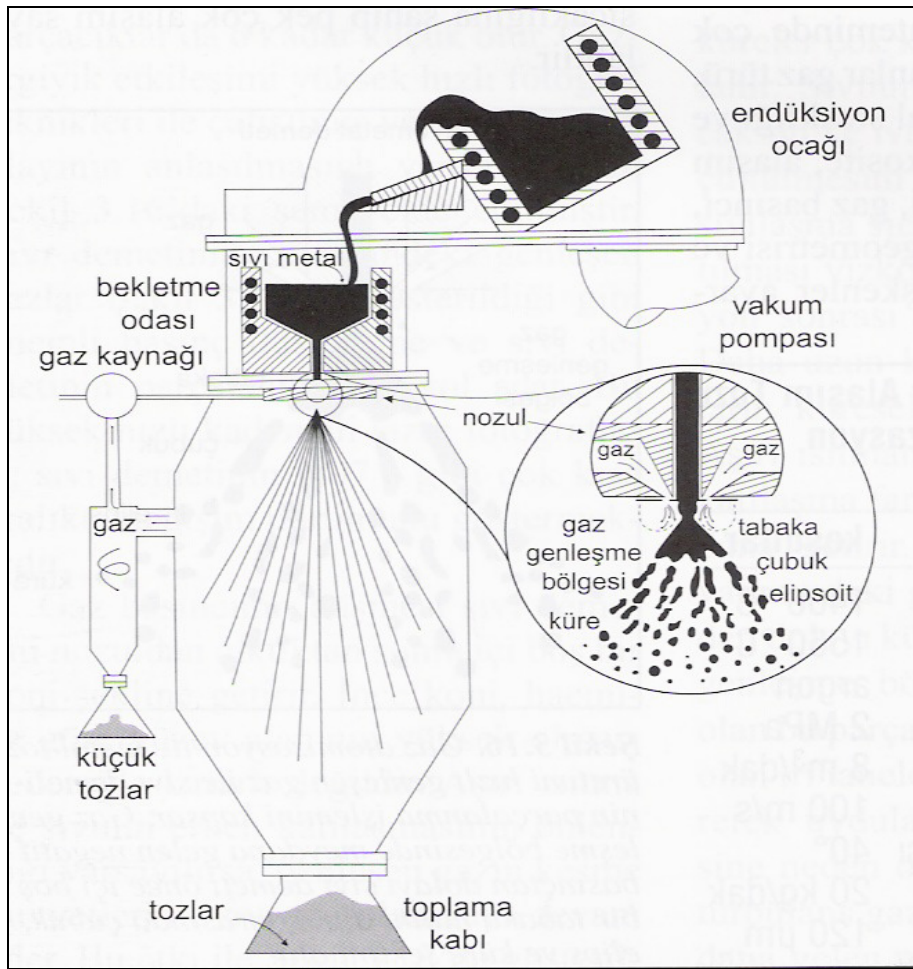
Hava, azot, argon ve helyumun sıvı metal demetini parçalayan gaz olarak kullanılması gaz atomizasyonu olarak adlandırılır. Sıvı malzeme nozul çıkışında parfüm püskürtülmesi gibi hızlı gaz genişlemesi sayesinde parçalanır. Bununla birlikte ana fikir enerjinin ( hızlı genişleyen gazdan ) sıvı metal demetine aktararak damlacık oluşturması ve bunların parçacık olarak hemen katılaşmasıdır.



Şekil 3.6 Yatay gaz atomizasyonunun şematik gösterimi [ 15 ]

Düşük sıcaklık gaz atomizasyonları Şeki 3.6 da gösterildiği gibi yatay olarak tasarlanır.Nozuldan çıkan yüksek hızlı gaz, sifon etkisi göstererek sıvı metali gaz genişleme bölgesine çeker.Yüksek gaz hızı daha küçük damlacıklar oluşturur.Toz toplama odası boyunca uçuşan damlacıklar ısı kaybederek parçacıklar halinde katılaşırlar.Yatay atomizasyon ünitelerinde geniş filtre alanı tozları tutarken gaz geçişine müsade eder. [ 15 ]

Yüksek sıcaklıkta eriyen metaller için, tozların oksitlenmesini önlemek amacıyla asal gaz doldurulmuş kapalı bir oda kullanılır.Şekil 3.7 de düşey asal gaz atomizasyonu ünitesi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Düşey asal gaz atomizasyon ünitesi [ 15 ]

Ergiyik endüksiyon ocağı ile sıvılaşıma eğrisinin çok üzerinde bir sıcaklığa ( aşırı ısıtma ) ısıtılarak soğuk nozula gönderilir.Farklı bir tasarım olarak sıvı metal demetinin çevresinde dairesel olarak yerleştirilmiş çoklu nozullarla gaz jetleri oluşturulabilir.Düşey asal gaz atomizasyonlarında siklon ayırıcı kullanmak gereklidir.Siklon gazın geçişine ve geri dönüşümüne müsaade ederken tozları tutar.

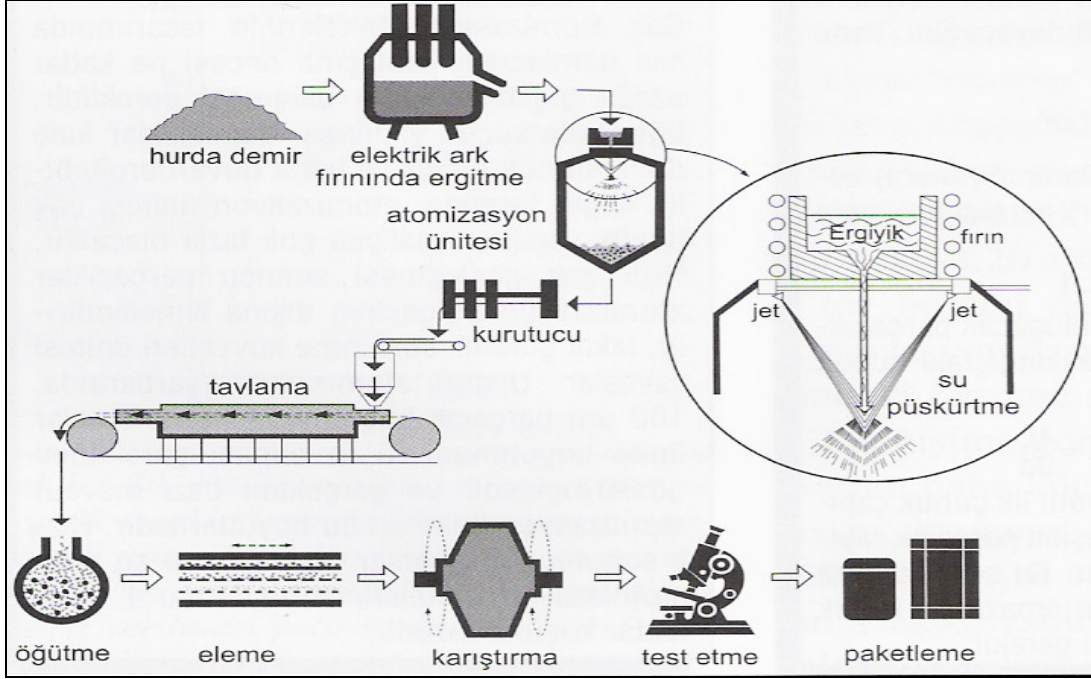
Gaz atomizasyon yönteminde çok sayıda değişken vardır; Bunlar gaz türü, ortam atmosferi, sıvı metal sıcaklığı ve nozula girdiği andaki vizkozite, alaşım türü, sıvı metal akış debisi, gaz basıncı, gaz debisi ve hızı, nozul geometrisi ve gaz sıcaklığıdır.Bu değişkenler ayarlanarak kullanıma göre gerekli özelliklerde tozlar üretilebilir.Gaz atomizasyon yönteminin üstünlüğü homojenliği ve üretilen tozun küresel şekilli olmasının sağladığı iyi paketlenme özelliğidir. [ 15 ]

#### **3.4.2. Sıvı ve Su Atomizasyonu**

Gaz yerine bir sıvının ergiyik demetini parçalamada kullanılması yaygındır.Sıvılar, yağ ve su içerir. 1600 °C den düşük sıcaklıklarda ergiyen az reaktif malzemeler için suyun kullanımı çok yaygındır. Şekil 3.8 de çelik veya demir tozu üretiminde kullanılan su atomizasyonu işlemi örnek olarak gösterilmiştir.Yüksek basınçlı su jetleri ergiyik demetine yönlendirilerek onun parçalanmasını hızlı katılaşmasını sağlar.Su genellikle birkaç jetten yönlendirilir.Bu yöntem gaz atomizasyonuna benzer, ancak parçacıklar daha hızlı soğur ve atomizasyon sıvısı çok daha yüksek verimle hızı küçük tozlara aktarır.

Su atomizasyonu işleminde ana kontrol değişkeni basınçtır.Daha yüksek su basıncı daha yüksek su hızı ve daha küçük parçacık boyutu meydana getirir.Bir atomizasyon işleminde, bir çelik 1,7 MPa su basıncı ile atomize edilmiş ve 117 µm ortalama toz boyutu elde edilmiştir.Fakat basıncın sekiz kat artması ( 13,8 MPa ) ortalama boyutu üç kattan daha az ( 42 µm ) küçültülmüştür.Su atomizasyonunda 150 MPa ‘ a kadar basınçlar kullanılmış ve elde edilen parçacıkların boyutu 5 µm boyut aralığındadır.



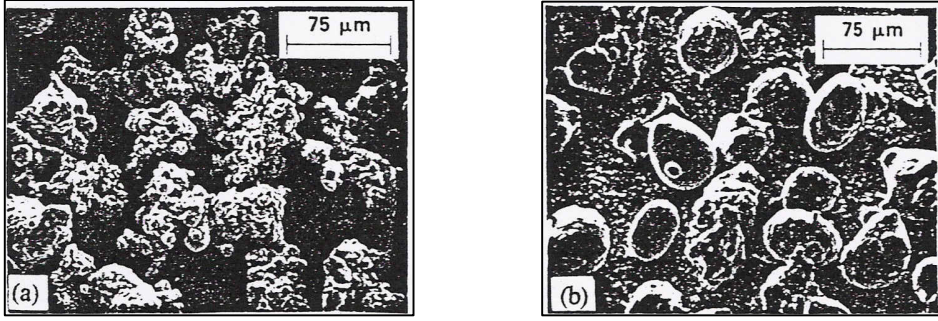


Şekil 3.8 Su atomizasyonu işlemi [ 15 ]

Demir tozları genellikle su atomizasyonu ile üretilirler. Bu tozların saflıkları orta derecedir. Su atomizasyonu ile elde edilen demir tozları içerisinde yaklaşık olarak % 0,01 karbon bulunur. Su atomizasyonu ile elde edilen demir tozları düzensiz yapıya sahip olup, içerisindeki porozite miktarı fazla değildir. Su atomizasyonunun ticari anlamda ekonomik oluşu, demir esaslı T/M ürünlerinde su atomizasyonu ile üretilen bakır tozlarını ön plana çıkarmıştır.

Su atomizasyonu ile üretilen bakır tozları düzensiz yapıda olup, partikül biçimi atomizasyon parametreleriyle değiştirilebilir. Partikül biçiminin değişmeside kompaktlanabilme kabiliyetini değiştirecektir. Şekil 3.9 da su atomizasyonu ile üretilmiş iki farklı bakır tozu görülmektedir. Buradan da atomizasyon parametrelerinin toz şeklini ne kadar değiştirdiği açık bir şekilde görülmektedir. Çizelge 3.1 de ise su ve gaz atomizasyon işlemlerinin karşılaştırılmasını vermektedir. [ 18 ]





Şekil 3.9 Su atomizasyonu ile elde edilmiş iki farklı bakır tozu

(a) Görünür yoğunluk 3,04 gr/cm<sup>3</sup> (b) Görünür yoğunluk 4,60 gr/cm<sup>3</sup>

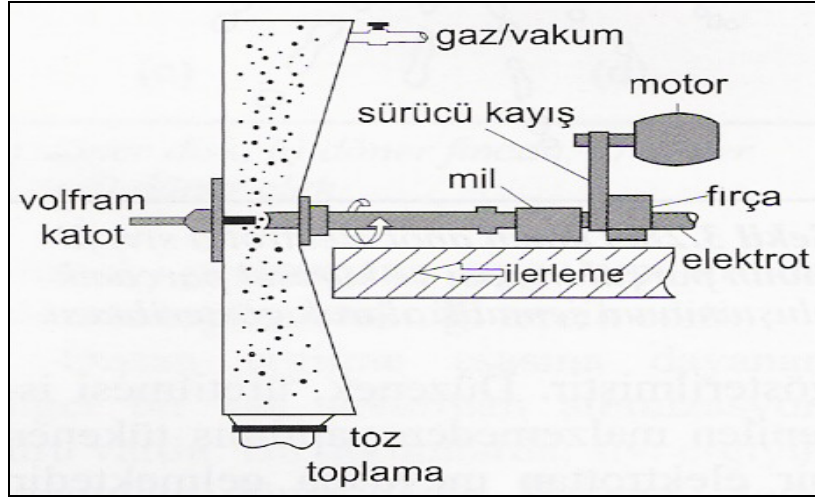
Çizelge 3.1 Tipik gaz atomizasyonu ve Su atomizasyon işlemlerinin karşılaştırılması

Özellik	Gaz Atomizasyonu	Su Atomizasyonu
ortalama parçacık boyutu µm	100	150
parçacık şekli	Küresel	nodüler, düzensiz
topaklanma	Biraz	az
görünür yoğunluk %	55	35
soğuma hızı, °C/s	104	105
ayırışma	Biraz	ihmal edilebilir
oksit içeriği, ppm	120	3000
akışkan basıncı, Mpa	3	14
akışkan hızı, m/s	100	100
verim	Düşük	orta

Göze çarpan iki önemli fark toz şekli ve saflığıdır. Eğer kirlilik zararlı ise atomizasyon sonrasında tozlar hidrojen veya vakkum altında ısıtılarak temizlenirler. Isıtma parçacıklar arasında bağ oluşturacağından arkasından öğütme gerekebilir.

### 3.4.3. Savurmalı Atomizasyon

Savurmalı atomizasyon, ergiyiğin döndürülmesi sonucu oluşan mekanik kuvvet etkisi ile damlacıkların katılaşması ile parçacıkların oluşturulması işlemine dayanır. Pota ile temasın güçlük yarattığı yüksek sıcaklık malzemeleri veya reaktif malzemeler için çok kullanışlı bir yöntemdir. Ana fikir etrafında çok sayıda farklı uygulamaları mevcuttur; merkezkaç kuvveti ergimiş malzemeyi damlacıklar halinde fırlatır ve parçacıklar soğuyarak katılaşır. En eski yöntemi döner elektrot yöntemi olarak bilinir ve şematik olarak Şekil 3.10 da gösterilmektedir



Şekil 3.10 Döner elektrot ile Savurmalı atomizasyonun gösterimi [ 15 ]

Hızla dönen bir mil tungsten elektrot ile oluşturulan ark veya plazma üflecisi ile ısıtılır. Tozlar anod milderden ergiyen malzemenin savrulmasıyla atılması ile oluşturulur ve katılaşma asal gaz veya vakum ortamında yapılır. Gaz atomizasyonunda olduğu gibi savurmalı atomizasyonda tozları korumak amacıyla işlem çoğunlukla koruyucu ortam altında yapılır. Savurmalı atomizasyon, yüksek paketleme yoğunluğu ve kolay akış özelliklerine sahip, temiz ve küresel şekilli tozlar oluşturur. Bu yöntemin olumsuz tarafları düşük üretim hızları, yüksek donanım, işletme maliyeti ile büyük parçacık boyutudur. [ 15 ]

#### **3.4.4. Plazma Atomizasyon Yöntemi**

Plazma, başka bir atomizasyon yöntemi sağlar. Tel veya iri tozlar plazma üfleçine beslenerek burada ergime ani ivmelendirmeye tabi tutulur. Sonuç olarak, ergimiş damlacıklar üflecin dışına püskürtülerek parçacık halinde katılaşır. Alaşım üretmek amacıyla, kullanılan tozlar karıştırılır, topaklandırılarak kümecikler oluşturulur ve alaşım üretilir. Plazma arkının yüksek hızı ve yüksek sıcaklığı, aşırı ısıtma sağlar. Bu yöntemin ana avantajı amorf malzeme üretmek için gerekli yüksek soğuma hızlarını sağlamasıdır. [ 15 ]

#### **4. TOZLARIN KARIŞTIRILMASI, HARMANLANMASI ve PRESLENMESİ**

Toz metalurjisi üretim süreçleri göz önüne alındığında, sinterleme aşamasından önce üç temel aşamadan bahsedilebilir. Bunlar sırasıyla: toz hazırlama, toz karıştırma, harmanlama ve toz presleme aşamalarıdır. Toz hazırlama işlemleri önceki bölümlerde de değinildiği gibi kimyasal, elektrokimyasal ve atomizasyon yöntemleri olmak üzere temelde üç tiptir. Bu üretim yöntemleriyle üretilen tozlar farklı farklı özelliklerde olup, bu özellikler ise son ürün özelliklerini direkt olarak etkilemektedir.

Toz metalurjisi uygulamalarında, genellikle tek bileşenli sistemlerden çok birden fazla sistemden oluşan toz karışımları kullanıldığı ve farklı boyutlarda tozlar söz konusu olduğu için presleme işleminden önce, tozların homojen olarak karıştırılmaları ve harmanlanmaları gerekir. İyi bir homojenizasyon; ürünün sinterleme davranışları ve mukavemet özellikleri başta olmak üzere birçok özelliklerini etkiler. Homojenizasyonun sağlanması için geliştirilmiş birçok ekipman mevcuttur.

Karıştırılarak ve harmanlanarak homojen bir karışım haline getirilen tozlar, sinterleme öncesi son aşama olan presleme aşamasında değişik şekillerde preslenirler. Bu aşamada istenilen ürün özelliklerine göre geliştirilmiş değişik presleme prosesleri ve farklı tiplerde presler mevcuttur. Bu aşamada kullanılan presleme prosesleri ve uygulanan baskı kuvvetleri; yaş mukavemet özellikleri, sinterleme davranışları ve ölçü değişimi gibi birçok ürün özelliklerini etkiler.

#### 4.1. Tozların Karıştırılması ve Harmanlanması

ASTM B243 standartına göre "karıştırma" terimi iki yada daha fazla malzemeden oluşan tozların birbirine karıştırılması anlamına gelirken, "harmanlama" aynı malzemeden oluşan tozların karıştırılması anlamındadır. Yukarıdaki tanımlamadan da anlaşılacağı gibi mevcut tozlardan yeni bileşimler elde etmek için başlangıç tozları kullanılarak karıştırılırlar. [ 19 ]

Harmanlama ise karıştırma öncesinde daha iyi kompaktlama, sinterleme özellikleri ile düzenli parça boyut dağılımı eldesi için faydalıdır. Harmanlama daha çok toz kütlesi içerisindeki standart dağılımlar bulunmadığı zamanlar yapılır. Tek bileşenli sistemlerde sadece harmanlama yapılırken çok bileşenli sistemlerde ( demir-grafit, demir-bakır, demir-bakır-grafit, demir-nikel-grafit, tungsten-nikel-demir-bakır gibi ) karıştırma öncesi bileşenlerin tek başına harmanlanması faydalıdır.

Karıştırma işlemine tabi tutulacak olan başlangıç malzemeleri elementel metal tozları, ön alaşımlandırılmış tozlar, yağlayıcılar ve bağlayıcılardır. Tozların önalaşımlandırılmaları, toz üretim aşamasında alaşımlandırılmış metalin toz haline getirilmesi veya elementel olarak hazırlanmış metal tozların yüksek devirli değirmenlerde mekanik olarak alaşımlandırılmasıyla gerçekleştirilir. Önalaşımlandırılmış tozların kullanılmasının amacı, presleme ve sinterleme sonrası daha homojen bir yapı elde etmektir. Demir esaslı parçaların imalinde önalaşımlandırılmış tozlar büyük miktarlarda kullanılır.

Toz karışımları hazırlanırken içerlerine belli oranlarda yağlayıcı ilavesi yapılır. Toz karışımına yapılan yağlayıcı ilavesinin temel nedeni, rijit kalıp içerisinde gerçekleştirilen presleme işleminde, toz karışımıyla kalıp yüzeyi ve toz parçacıkları arasındaki sürtünmeyi azaltmaktır. Yağlayıcı kullanılmadığı durumda toz karışımıyla kalıp yüzeyi arasındaki sürtünme nedeniyle basınç dağılımındaki homojensizlik artar, dolayısıyla preslenen kompakt bünyesinde gerilme farklılıkları oluşur. Kompakt bünyesinde oluşan bu gerilme farklılıkları ise, sinterleme esnasında distorsiyonlara yol açar ve kompaktı kalıptan çıkarmak zorlaşır.

Kullanılan yağlayıcı miktarı arttıkça parçayı kalıptan çıkarmak için gerekli kuvvet azalacaktır. Fakat fazla yağlayıcı kullanıldığında ise sinterleme sırasında kompakt yüzeylerinde kabarcıklar oluşur ve yüzey kalitesi düşer.

Karışıma ilave edilen yağlayıcılar genellikle kuru toz şeklindedir, zira sıvı şeklindeki yağlayıcılar tozun akma özelliğini bozar. Metal tozları için en çok kullanılan yağlayıcılar stearik asit, çinko stearat, lityum stearat, kalsiyum stearat gibi metal stearatları ile sentetik muhlardır.

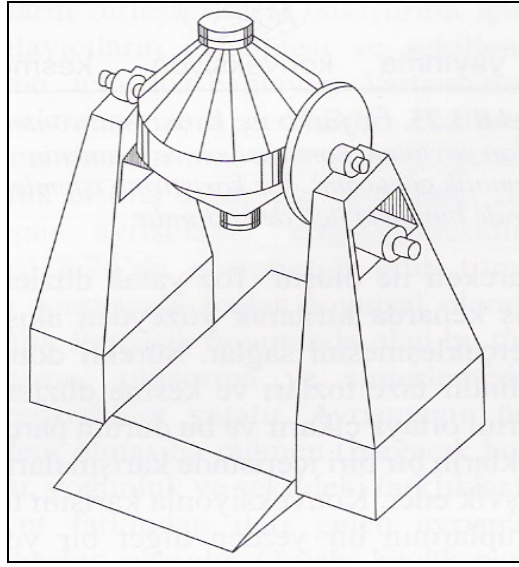
Organik stearatlar sinterlemeden sonra kalıntı bırakmadıklarından geniş miktarlarda kullanılmaktadırlar. Karışımdaki tüm toz partiküllerinin yağlayıcı ile temas etmeleri için yağlayıcı tozun mümkün olduğu kadar ince olması istenir.

Yağlayıcı miktarı preslenen parçanın şekline bağlı olarak % 0,5 - 1,5 oranlarında tutulmalıdır. Karmaşık şekilli parçaların düşük basınçlarla kalıptan çıkartılmaları için yağlayıcı miktarı fazla olmalıdır. Fakat yukarıda da belirtildiği gibi fazla yağlayıcı kullanılması durumunda sinterleme esnasında parça yüzeyinde porlar oluşur, bu ise yüzey özelliklerini etkiler.

Yağlayıcıların yoğunluğu toz yoğunluklarından daha düşük olduğundan kompaktlanmış parçanın yoğunluğundaki artış sadece düşük yağlayıcı ilavelerinde görülür. Bu yüzden yağlayıcı ilavesi optimum düzeyde tutulmalıdır. Yağlayıcıyı metal toz karışımına ilave etmenin yanısıra diğer bir seçenekte kalıp yüzeylerinin yağlanmasıdır.

Karıştırma işleminde çift konili karıştırıcılar, V-karıştırıcılar ve akışkan yataklı karıştırıcılar yaygın olarak kullanılırlar. Karıştırma işleminin yanısıra boyut küçültme ve mekanik alaşımlandırma amaçlanıyorsa elektrikli havan, yüksek devirli bilyalı veya çubuklu değirmen ve atritör gibi cihazlardan faydalanılır.

Demir esaslı parçaların imalindeki toz karıştırıcılarının hazırlanmasında genellikle çift konili ve V-karıştırıcılar kullanılır. Diğer karıştırıcılar ise daha ziyade ergitmeyle önalaşımlandırılma yapılması güç olan tozlar ve sert karbür karışımı tozların hazırlanmasında kullanılır. Şekil 4.1 de çift konili karıştırıcı görülmektedir. Endüstriyel ölçekte yapılan karıştırma işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İki koni merkezi yatay eksen etrafında döner ve genelde karıştırmayı daha etkili yapmak için yüksek hızla dönen bir dizi kanatçık kullanılır. [ 15,19 ]



Şekil 4.1 İki konik karıştırıcı [ 15 ]

Endüstride kullanılan karıştırıcı tipleri aşağıda sıralanmaktadır.

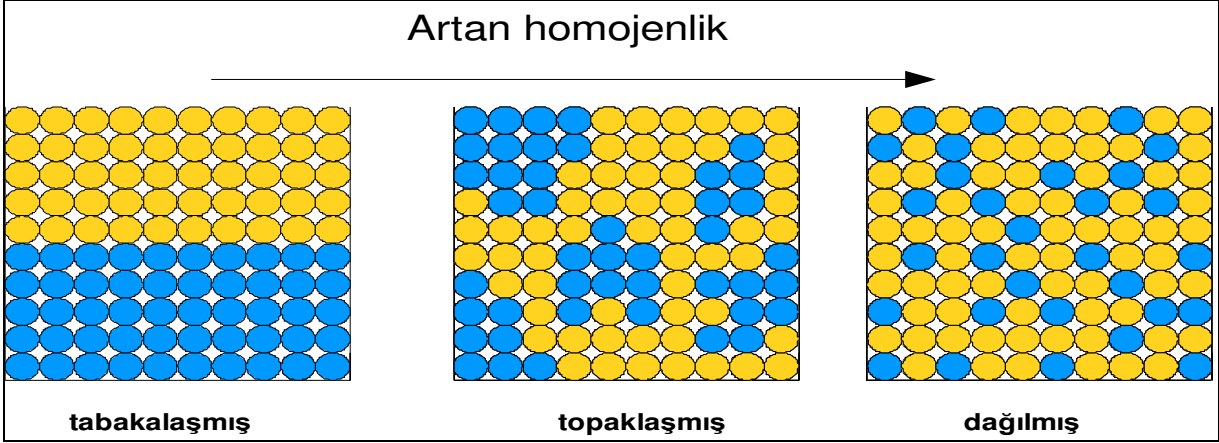
- Çift konili karıştırıcı
- Yatık konili karıştırıcı
- V- Karıştırıcı
- Eşitsiz V- Karıştırıcı

Çift konili karıştırıcılarla yatık konili karıştırıcılar aynı fonksiyonlara sahip olmalarına rağmen, yatık konili karıştırıcılar daha homojen bir karışım sağlarlar. Aynı şekilde V-karıştırıcılarla eşitsiz V-karıştırıcılar arasında da bir kıyaslama yapılabilir. V-karıştırıcılar, çift konili karıştırıcıların tüm özelliklerine sahip olmanın yanısıra daha homojen bir karışım sağlarlar. V-karıştırıcıların temizlenmesi kolay olduğundan, farklı tozların karıştırılması durumunda tozların kirlenmesi riski azaltılabilir. Kapasite bakımından ise her iki karıştırıcıda aynı kapasitededir.

Karıştırma ve harmanlamayı etkileyen faktörler; tozların fiziksel karakteristikleri, karıştırıcı boyutu, karıştırıcıdaki toz hacmi, karıştırma hızı ve karıştırma süresidir. Ayrıca nemlilik ve atmosfer koşullarında karıştırmanın başarısını etkilemektedir. Karıştırma işlemi; dağılma, saçılma yada kayma yoluyla yapılabilir. Çoğunlukla karıştırma işlemi döner kaplar içerisinde bulunan toz kütleindeki tozların hareketi ile dağılma karıştırması şeklinde yapılmaktadır.

Karıştırıcı hacminin % 20 - 40' ı olarak seçilen toz miktarı optimumdur. Dönme hızında karıştırmayı etkilemektedir. Yavaş hızlar karıştırma için gerekli süreyi artırırken, yüksek karıştırma hızları ise tozlara etkiyen merkezkaç kuvveti sebebiyle akışın ahengini bozar. Bununla beraber karıştırıcı içerisindeki tozların, mümkün olduğu kadar az miktarda serbest düşme yapması sağlanmalıdır. Çünkü partiküllerin serbest düşme hareketi segregasyonlara yol açar. Bu tür segregasyonlar yoğunluk segregasyonları olarak bilinirler.

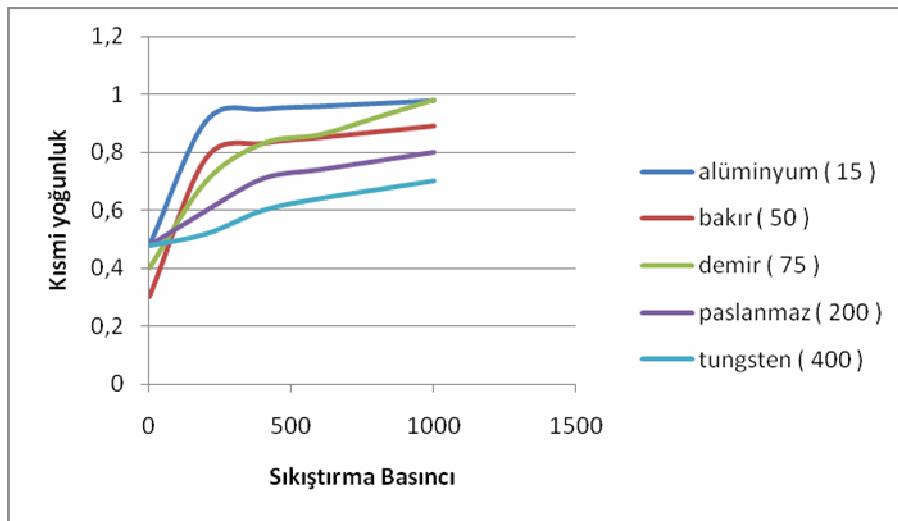
Karıştırma işleminde önemli olan bir diğer faktör ise karıştırma sırasında tozlarda meydana gelebilecek deformasyon sertleşmesidir. Bakır ve demir gibi yumuşak metallerin tozlarının hızlı ve şiddetli karıştırılmaları deformasyon sertleşmesine neden olur. Bu sertleşme ise tozun sıkışabilirlik özelliğinin düşmesine yol açar. Bu nedenle yumuşak toz karışımlarının hazırlanmasında bu durum göz önünde tutulmalı, hızlı ve şiddetli karışımlardan kaçınılmalıdır. Şiddetli bir karıştırma partiküller arasındaki sürtünmeyi arttırdığından karışım sıcaklığının yükselmesine neden olur. Toza ilave edilen yağlayıcılar oluşan bu ısının etkisiyle kısmen ergidiklerinden partikül aglomerasyonu ( topaklaşma ) meydana gelir. Aglomerasyon ise tozun serbest akma özelliğini bozar. [ 20 ]



Şekil 4.2 Tabakalaşmış, topaklaşmış ve homojen dağılmış karışımların artan homojenliğinin şematik gösterimi

#### 4.2. Toz Karışımların Preslenmesi

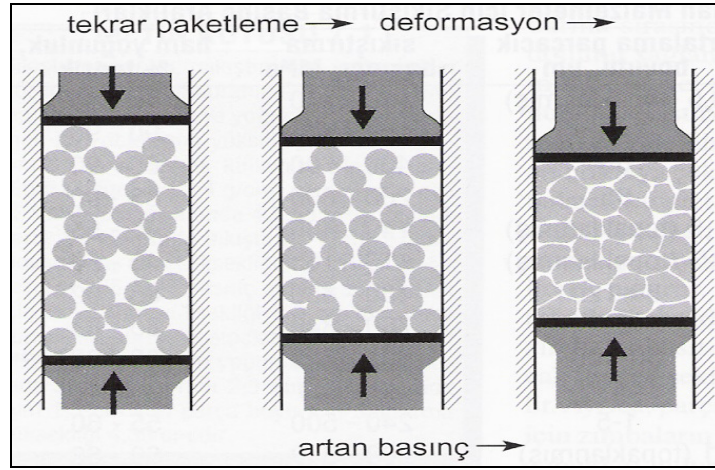
Hazırlanan tozların veya toz karışımlarının arzu edilen şekillerde sıkıştırılması partiküller arası bağların gelişimine sebep olacak şekilde partiküllerin yeniden düzenlenmesini ve deformasyonunu içerir. Şekil 4.3 de görüldüğü gibi, yoğunluk artması düşük basınçlarda önce hızlıdır, fakat gözenekler kapandıkça toz, yoğunlaşmaya karşı artarak direnç gösterir. Bu şekil, sertlikleri giderek artan beş metalin davranışlarını göstermektedir. Parçacık sertliği sıkıştırma için önemli bir faktördür. Gözenek miktarı, koordinasyon sayısı ve temas alanı uygulanan basınç ile değişmektedir.



Şekil 4.3 Çeşitli metallerin sıkıştırma özellikleri basınç ile yoğunluğun artış şeması [ 15 ]



Düşük basınçlarda ilk yoğunlaşma hızlıdır, ancak tozun şekil değiştirmesi sıkıştırmayı zorlaştırmaktadır. Her malzeme için Vickers sertlik değeri verilmiştir. Yumuşak malzemeleri daha yüksek yoğunluklara sıkıştırmak kolaydır. Kalıpta sıkıştırmanın basitleştirilmiş bir görünüşü Şekil 4.4 de şematik olarak görülmektedir.



Şekil 4.4 Toz sıkıştırma kademelerinin bir görünüşü [ 15 ]

Partiküller üzerine basınç uygulanmasıyla birlikte ilk anda noktasal temaslarda elastik deformasyon meydana gelmektedir. Artan basınç ile gerçekleşen partiküllerin yeniden düzenlenmesi ve kayma ile temaslara sayısı artar. Eş zamanlı olarak, temas alanları genişler ve her temas etrafındaki plastik deformasyon bölgesi genişleyerek yayılır. Temas noktalarına konsantre olan basınç, gözenek boyutu ve gözenekliliği azaltacak şekilde komşu gözeneklere kütle akışına sebep olur. Temas genişlemesiyle beraber deformasyon sertleşmesi meydana gelir. Bu her iki etkende daha ileriki seviyelerde yoğunlaşma için gerekli olan gerilme miktarını artırır. Yüksek yoğunluklarda etkili bir deformasyon ve gerçek partikül karakterleri kaybolur.

Basınç etkisiyle partiküller daha yakın paketlenmeye yönelmektedir. "Yeniden düzenlenme" olarak isimlendirilen bu aşamada düşük basınçların etkisi ile paketlenme yoğunluğu ve kordinasyon sayısı artmaktadır. Genellikle yeniden düzenlenme 0,05 MPa' dan düşük basınçlarda gerçekleşmektedir.

Küresel olmayan partiküller için düzenlenme ile hacim azalması küresel olan partiküllere göre çok daha fazladır. Örneğin yassı partiküller için bu değer % 55' leri bulurken, küresel partiküller için yeniden düzenlenme ile yoğunluk artışı % 1' ler mertebesindedir. Sıkıştırmanın ikinci aşaması, partiküller arasındaki noktasal temaslarda başlayan bölgesel deformasyonla ilişkilidir. Basınç arttıkça bölgesel deformasyon, pürüzleri yassılaştırır ve deformasyon temas bölgelerince yayılır.

Temas bölgelerinde gerilme dağılımları değişkenlik göstermektedir. En büyük basma gerilmesi temas noktalarının merkezinde iken en küçük basma gerilmesi temas noktalarının kenarlarındadır. Düşük basınçlarda gerilme temas noktalarında yoğunlaşır. Daha yüksek basınçlarda kompakt boyunca homojen deformasyon meydana gelir. Sıkıştırmanın bu üçüncü aşaması partikül kütlesi boyunca deformasyonla karakterize edilir ki, bu durum sertlik gibi özelliklerden anlaşılabilir.

Çok yüksek sıkıştırma basınçlarında üç yada daha fazla parçacığın birleşme noktalarında küçük gözenekler bırakacak şekilde küresel deformasyon meydana gelir. Bu durum 1 GPa' lık gerilme ve 0,95' lik teorik yoğunluk değerinde başlar. Sıkıştırmanın bu aşaması pratikte çok ender görülür. Sıkıştırmadan sonra dış basınç ortadan kalkınca kompakt elastik olarak rahatlayabilecek pozisyona gelir. Bu durum geriye doğru yaylanma olarak düşünülebilir. Rijit kalıplarda sıkıştırma boşluğundan kompaktın çıkartılmasını takiben, kompaktın bozulması durumunda elastik rahatlama çok barizdir.

Düşük kompaktlama basınçlarında geriye doğru yaylanma miktarı düşüktür. Yüksek sıkıştırma basınçlarında ise geriye doğru yaylanma sıkıştırma basıncının yaklaşık olarak kareköküne doğru orantılı olarak artar. Aynı zamanda partikül sertliği arttıkça benzer olarak geriye doğru yaylanma artacaktır.

[ 19,22 ]

Çizelge 4.1 Sık kullanılan malzemeler için sıkıştırma basınç aralıkları

Malzeme	Ortalama parçacık boyutu, $\mu\text{m}$	Sıkıştırma basıncı, Mpa	Ham yoğunluk, % teorik
alümina	0,5 ( topaklanmış )	110 - 140	45- 60
alüminyum	45	150 - 275	90 – 95
pirinç	65	400 - 700	85 – 90
bronz	85	200 - 300	85 – 90
karbürler	1,5 ( topaklanmış )	140 - 400	45 – 55
ferritler	0,3 ( topaklanmış )	110 - 165	45 – 50
demir	80-120	480 - 820	85 – 92
paslanmaz çelik	65	700 - 840	85 – 88
çelik	80-100	500 - 820	88 – 92
tantalyum	1	70 - 140	30 – 40
tungsten	(1-5)	240 - 500	55 – 60
tungsten karbür	0,5 ( topaklanmış )	200 - 350	60 – 62

### 4.3. Metal Tozların Basınç Altındaki Davranışları

Kompaktlanmış metal tozlarının sinterlenmemiş durumdaki mukavemet ve yoğunluğu toz özelliklerine ve presleme özelliklerine bağlıdır. Belirli bir toz karışımı ve sabit presleme basıncı için mukavemet ve yoğunluk parça geometrisine bağlı olarak değişir. Yumuşak metal tozları nispeten düşük basınçlarda yeterli bir mukavemet kazanabilirken, sert tozlar için daha yüksek basınçlara ihtiyaç duyulur.

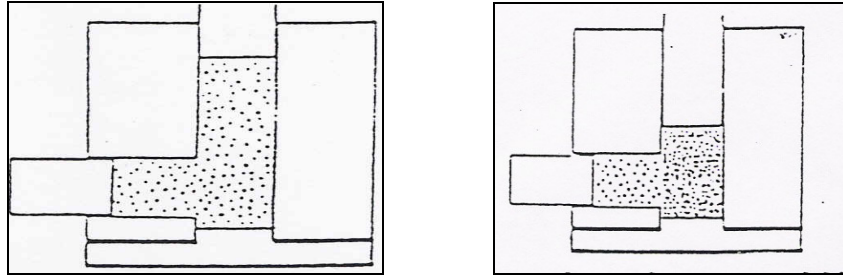
Kompaktlama, toz partiküllerinin temas yüzeylerinin temaslarının artırılması ile ilgili olduğundan levha yapılı tozlarda daha yüksek yoğunlukta kompaktlar elde edilebilir. Küresel şekilli partiküllerin kompaktlanma özellikleri iyi değildir ve yüksek basınçların uygulanmasını gerektirir.

Partiküllerin temasını etkileyen diğer bir faktör tozların yüzey temizliğidir. Partikül yüzeyindeki oksit filmleri, partiküller arasında kuvvetli bağ oluşumunu ve yeterli bir yüzey temasını önleyebilir.

Uygulanan basıncın artması ile kompakt yoğunluğu artarken, porozite miktarı azalır. Ancak, rijit kalıpların kullanıldığı presleme tekniklerinde yoğunluk değişimi homojen değildir.

Tozların kompaktlanması esas olarak basıncın uygulanma yönündedir. Şekil 4.5 de görüldüğü gibi yan tarafında bir çıkıntıya sahip parçanın preslenmesinde basınç tepeden uygulandığında yan kısımlarda basınç artışı meydana gelmez.

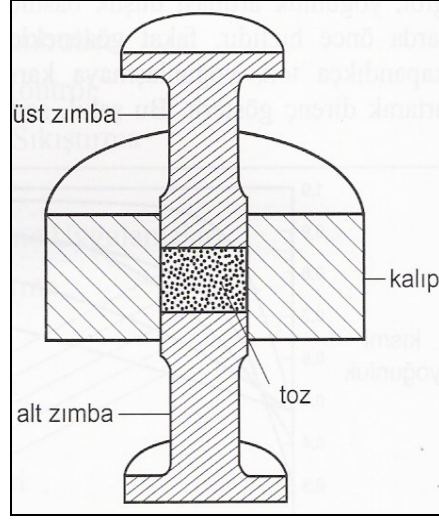
Rijit kalıplarda yapılan preslemede basınç tek taraftan veya iki taraftan uygulanabilir. Basıncın yan taraftan uygulanabildiği presler mevcut olmakla beraber, uygulamada bazı pratik zorluklar mevcuttur. Bu nedenle rijit kalıplarda iki taraflı sıkıştırma ile preslenebilecek parçalar için boyut ve şekil yönünden bazı sınırlamalar vardır.



Şekil 4.5 Yan tarafında çıkıntısı olan bir parçada presleme esnasındaki yoğunluk [ 21 ]

Karmaşık şekilli ve boşluklu parçaların preslenmesi zordur. Basıncın zımbadan toza transferi sadece presleme yönünde gerçekleştiğinden değişik kalınlıkta kesitler içeren parçaların preslenmesinde homojen bir yoğunluk dağılımı elde edilemez.

Homojen bir yoğunluk elde edilebilmesi için iki parçalı zımbalar kullanılmalıdır. Bu şekildeki bir dizayn Şekil 4.6 da verilmiştir. Burada zımbalar toza basınç uygular ve kalıp toza yan destek olur.

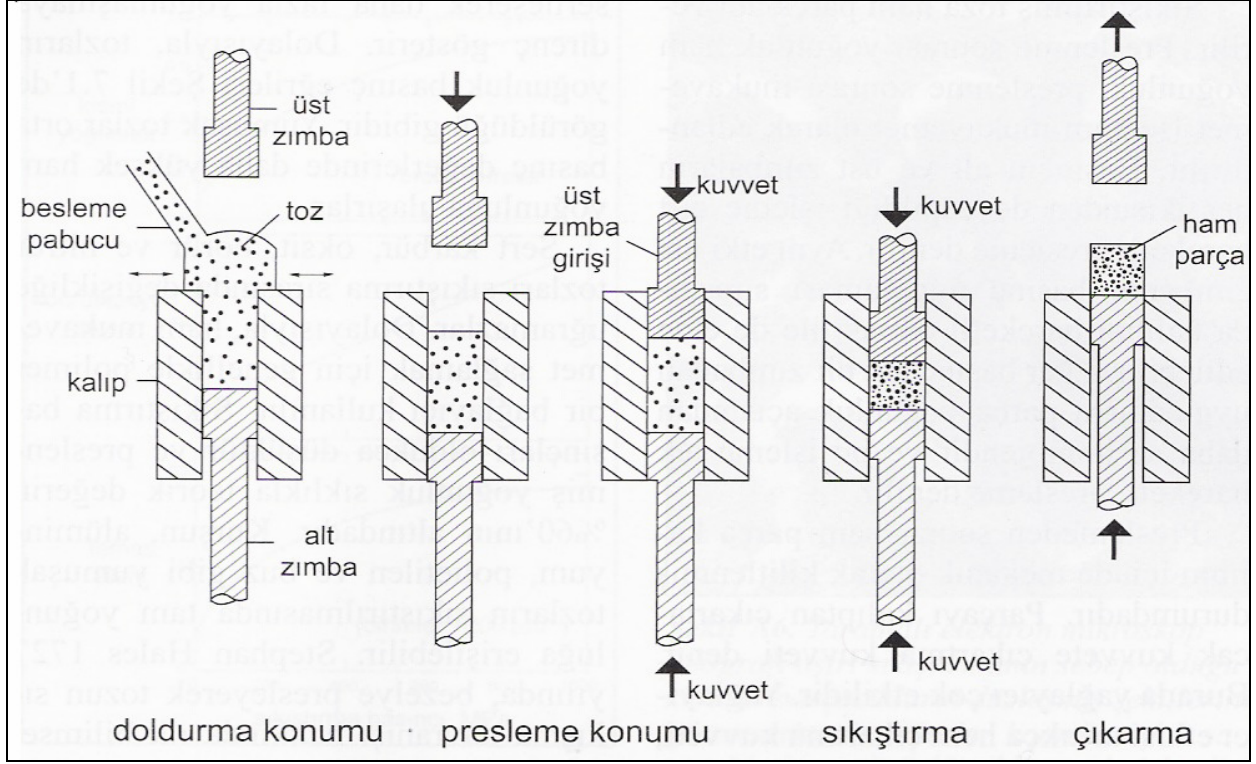


Şekil 4.6 Toz sıkıştırma için alışılmış bir zımba ve dişi kalıp seti [ 15 ]

Daha öncedende değinildiği gibi, rijit kalıplarda yapılan preslemede toz ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltmak için yağlayıcılar kullanılır. Çift taraflı preslemelerde yoğunluk farkı azalmakla beraber parçanın orta kısmında düşük yoğunluk bölgesi mevcuttur. Basıncın zımbadan parçaya iletilmesi sırasında sürtünme nedeniyle meydana gelen basınç kaybı ( basınç düşmesi ) preslenen parçanın şekline bağlıdır. Basıncın uygulandığı kesit alanı ne kadar küçük, parça boyutu ne kadar büyük ise basınç kaybı o derece fazla ve kompaktın orta bölgesindeki yoğunlukta düşük olur.

Presleme sırasında kalıpta oluşan ardışık hareketler Şekil 4.7 de gösterilmiştir.Kalıp tozun doldurulup sıkıştırılacağı boşluğu temin eder.Toz dolumu sırasında üst zımba yukarı çekilmiş durumdadır.Dolum sırasında alt zımbanın bulunduğu durum doldurma konumu olarak tanımlanır ve kalıbın içine ne kadar toz dolumu yapılacağını belirler.Toz kalıp boşluğuna doldurma papucu vasıtasıyla doldurulur.Tozun akışında oluşabilecek herhangi bir değişiklik basılacak parçayı etkiler

Doldurma sırasında, boşluğa homojen toz dolumu sağlamak için alt zımba konumuna hareket verilebilir.Doldurma sonunda, sıkıştırma sırasında tozun kalıp merkezinde olması için alt zımba daha alt noktaya çekilir.Yoğunlaştırma zımbaların kuvvet altında kalıp merkezine doğru hareketiyle oluşur.Sonunda, üst zımba geri çekilir ve alt zımba parçayı iterek çıkarır. [ 15 ]



Şekil 4.7 Presleme sırasında kalıpta oluşan ardışık hareketler [ 15 ]

#### 4.4. Presleme Teknikleri

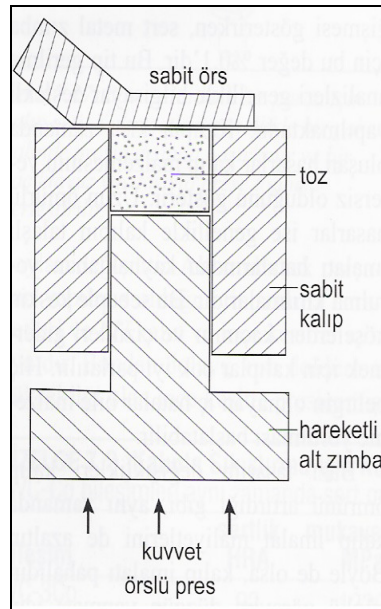
Demir esaslı parçaların preslenmesinde genel olarak, rijit kalıplarda tek yönlü veya çift yönlü presleme, soğuk izostatik presleme ( CIP ) ve sıcak izostatik presleme ( HIP ) teknikleri kullanılmaktadır. Bu parçalarda aranan bir çok özellik, rijit kalıplarda preslemeyle elde edilebilir.

Rijit kalıplarda preslemenin ticari anlamda ekonomik oluşu, imalatçı firmaları bu yönde kanalize etmektedir. Soğuk veya sıcak izostatik presleme teknikleri, rijit kalıplarda presleme tekniğine göre ürün özellikleri açısından ( ölçü hassasiyeti, mekanik özellikler v.b ) çok daha üstündür. Bu presleme tekniklerinde toz yığınları üzerine uygulanan basınç homojen olarak dağıldığı için düşük basınçlar altında yüksek yaş mukavemet değerleri ve yüksek yaş yoğunluk değerleri elde edilebilir.

Bilhassa sıcak izostatik presleme tekniğiyle üretilen parçaların mekanik özellikleri ( çekme mukavemeti, yorulma dayanımı, sürünme dayanımı ), diğer tekniklerle üretilen parçalara göre çok daha üstündür. Fakat bunun yanısıra bu tekniklerin pahalı oluşu, üretilen parçaların yüzey kalitelerinin ve ölçü hassasiyetlerinin iyi olmayışı bu tekniklerin kullanımını sınırlamaktadır.

Demir esaslı parçalardan beklenen optimum özellikler, bu parçaların rijit kalıplarda üretilmesiyle sağlanabilir. Rijit kalıpların en büyük avantajları; üretilen parçaların ölçü hassasiyeti ve yüzey düzgünlüklerinin yüksek oluşu, üretim hızlarının yüksek oluşu ve kalıp imalatının ucuz oluşudur. Fakat bunun yanısıra toz yığınlarının üzerine uygulanan basınç, partiküller arası ve kalıp yüzeyiyle olan sürtünmeden dolayı homojen olarak dağılmaması, bu tip kalıpların kullanılmasını sınırlamaktadır. Rijit kalıplar, istenilen parça şekline ve özelliklerine göre değişik şekillerde dizayn edilirler. Bir önceki başlıkta değinildiği gibi tek yönlü ve çift yönlü preslemede, parça üzerinde önemli miktarlarda yoğunluk değişimi olmaktadır. Bu bakımdan çok değişik kalıp dizaynları yapılabilir.

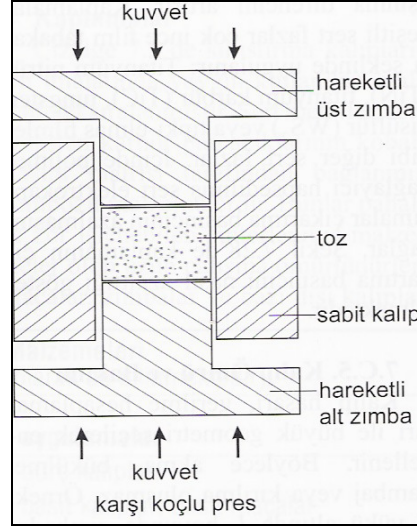
En basit olanı; dişi ve alt erkeğin ilerlemesi ile yapılandır. En basit halde tek zımba hareket eder, alt zımba ve dişi kalıp sabittir. Düz parçalarda üst zımbanın yerine sabit bir plaka konarak presleme yapılır ve buna örs tipi presleme denir. Bu sıkıştırma tekniği aşağıda şematik olarak verilmiştir. Örs tipi kalıplama basit parçaların çok sayıda üretimi için kullanılır.



Şekil 4.8 Örs tipi presleme tekniği



Çift yönlü preslemede ise matris boşluğu içerisindeki tozlar üzerine basınç alt ve üst zimba vasıtasıyla eşit olarak aktarılır. Bu yüzden üretilen parçaların alt ve üst taraflarındaki yoğunluk dağılımları eşit olup, parça üzerindeki yoğunluk dağılımları kısmen homojendir fakat en düşük yoğunluk parça merkezindedir. Bu tip presleme Şekil 4.9 da görülmektedir. [ 15 ]

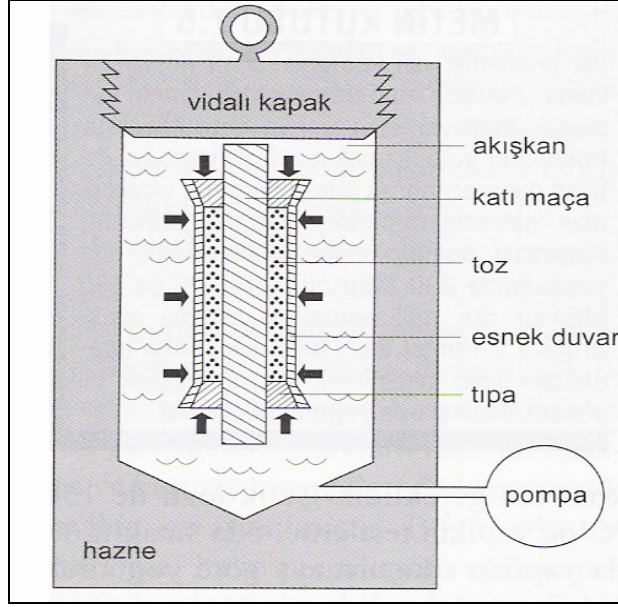


Şekil 4.9 Çift yönlü presleme tekniği

Soğuk izostatik sıkıştırma; Kademeli ve karmaşık şekilli parçalar veya boy-çap oranının büyük olduğu parçalar için tercih edilir. CIP işleminde, toz esnek bir kalıp içinde sızdırmaz hale getirilir. Bu toz-kalıp birleşimi yağ veya su gibi bir sıvının olduğu kabın içinde sıkıştırılır. Genellikle yağlayıcılar kullanılmaz. Bununla beraber, sert metallerin ham yoğunluğunu arttırmak için bazı parafinler ilave edilebilir. 1.400 MPa' a kadar sıkıştırma basınçları mümkün olmasına rağmen, CIP genellikle 420 MPa altındaki basınçlarda yapılır.

Soğuk izostatik preslemenin iki tipi ıslak ve kuru kalıplama tekniğidir. Islak kalıplamada, doldurulup sızdırmazlığı sağlanmış esnek kalıp bir sıvı haznesine konur ve Şekil 4.10 da görüldüğü gibi dışarıdan bir hidrolik sistemle basınç uygulanır. Bu çizim; tozun katı bir maça çubuğu etrafında sıkıştırılarak içi boş bir borunun nasıl üretileceğini göstermektedir. Sıkıştırma yapıldıktan sonra esnek kalıp haznedeki dışarı alınır ve sıkıştırılmış parça maça çubuğundan ve esnek kalıptan çıkarılır. [ 15 ]





Şekil 4.10 Soğuk izostatik sıkıştırma

Kuru kalıplama yöntemi seri üretimlerde kullanılır. Esnek kalıp basınç haznesi içine monte edilmiştir. Esnek kalıp şekil değiştirir fakat hazneden dışarı çıkarılmaz. İki uçtaki tapalar vasıtasıyla toz doldurulur ve parça esnek kalıptan çıkartılır.

İzostatik presleme; Büyük, uzun, ince veya kalıpta sıkıştırma yöntemiyle homojen olarak yapılamayacak parçaların üretiminde kullanılır. İzostatik preslenmiş parçalarda yoğunluk gradyanları daha küçük olduğu için büyük sinterleme daralmaları sırasında çarpılma olmaz. Bundan dolayı; sert metaller, kalıp çelikleri, paslanmaz çelikler ve birçok seramikler büyük parçaların şekillendirmesinde kullanılır.

Sıcak izostatik presleme; Genellikle mekanik özelliklerin çoğunluğu yoğunluğa büyük bir bağımlılık göstermektedir; tokluk, süneklik ve sürünme direncinin bağımlılığı mukavemet ve sertlikten daha yüksektir. Düşük mukavemetli metallere imal edilen sinter ürünlerin mekanik özellikleri dövme ürünlerinkine eşdeğerdir. Yüksek mukavemetli toz eldesi için ilave edilen alaşım elementi oranı kritik bir oranın ötesinde arttırılmaya devam edilirse, eşdeğer dövme ürünlerine göre özelliklerinde dikkate değer oranlarda azalma meydana gelir. [ 15 ]

Daha yüksek yoğunluklu parçaların imali için yüksek kapasiteli presler veya sıcak izostatik presleme yöntemi kullanılır. Böylece elde edilen toz ürünlerin özellikleri dövme ürünlerinin özelliklerine yaklaşır. % 100 yoğunluğa ulaşılması ve çok ince tane boyutunun sağlanması halinde ise toz parçaların özellikleri dövme ürünlerinin üzerine çıkar.

Kompaktlamada kullanılacak değişik tür ve kapasitelerde presler mevcuttur. Toz özelliği, preslenmiş parçadan beklenen özellikler, parça geometrisi gibi kriterlere bağlı olarak kapasitesi hızı, zımba çarpma uzunluğu ve hareket sayısı değişebilen presler seçilebilir. En çok kullanılan presler mekanik ve hidrolik preslerdir. Eksantrik preslerin kapasiteleri 500 ton' a kadar çıkabilir. Üretim hızları hidrolik preslerden daha yüksektir. Ortalama olarak saatte 1000 parçanın preslenmesi mümkündür. Hidrolik preslerin üretim hızları eşdeğer kapasiteli mekanik preslerin yarısı kadardır. Kapasiteleri 1000 ton' a kadar çıkabilir. Hidrolik preslerin en büyük avantajları basıncın hassas olarak kontrol edilebilir olmasıdır. Bu nedenle büyük ve uzunluğu fazla olan parçaların preslenmesinde tercih edilirler. Her iki preste basınç iki yönden uygulanabilir. [ 19 ]

## 5. HAZIRLANAN KOMPAKTLARIN SİTERLENME SÜREÇLERİ

Daha önceki bölümlerde de değinildiği gibi T/M endüstrisinin en büyük kısmını preslenerek sinterlenmiş demir esaslı malzemeler oluşturur. Demir esaslı TM parçaları; demir tozları, alaşımlı çelik tozları ve bunların karışımlarından oluşmaktadır. Bu karışımların sinterlenmesinde farklı sinterleme mekanizmaları söz konusudur. Fakat tümü için kısaca şöyle bir genelleme yapılabilir:

1. Kompaktlanmış metal partiküllerin kendi aralarında kilitlemesiyle, metalurjik bağların oluşumu,
2. Kompaktlanmış tozların birbirleri içerisine değişik difüzyon yollarıyla difüze olması,
3. Kompaktların sinterleme esnasında yoğunluk kazanması. Yoğunlaşma sinterleme sıcaklığına ve diğer alaşım parametrelerine bağlıdır. Yoğunlaşma genellikle yüksek sinter sıcaklıklarında ve uzun sinterleme sürelerinde sağlanır.

Yukarıda yapılan genelleme demir esaslı parçaların sinterlenmesi hakkında kabaca bir fikir vermesine rağmen, bu parçaların sinterlenmesine tam bir açıklık getirmez. Çünkü demir esaslı parçaların sinterlenmesinde karışım tozların farklılığına göre farklı sinterleme mekanizmaları söz konusudur. Bu bakımdan sinterleme mekanizmalarının açıklanmasında karışım toz çeşitleri önemlilik arz eder.

Demir esaslı parçalar geleneksel olarak 1095 °C ile 1150 °C arasındaki sıcaklıklarda sinterlenirler. Sinterleme işlemi, konveyör tipi krom-nikel alaşımlı rezistanslar tarafından veya sıvı yakıtların yakılmasıyla ısıtılan ve kontrollü atmosfer altında çalışan sinter fırınlarında gerçekleştirilir. Isıtılan fırın içerisinden belli hızlarda kompaktlar geçirilerek sinterleme işlemi gerçekleştirilir. Fırın içerisindeki sinter atmosferi çeşitide sinterleme davranışları açısından oldukça önemlidir.

Demir ve çelik parçaların sinterlenmesinde genellikle endotermik, ekzotermik, parçalanmış amonyak, saf hidrojen ve nitrojen gibi koruyucu atmosfer altında sinterleme yapan fırınlar kullanılır.

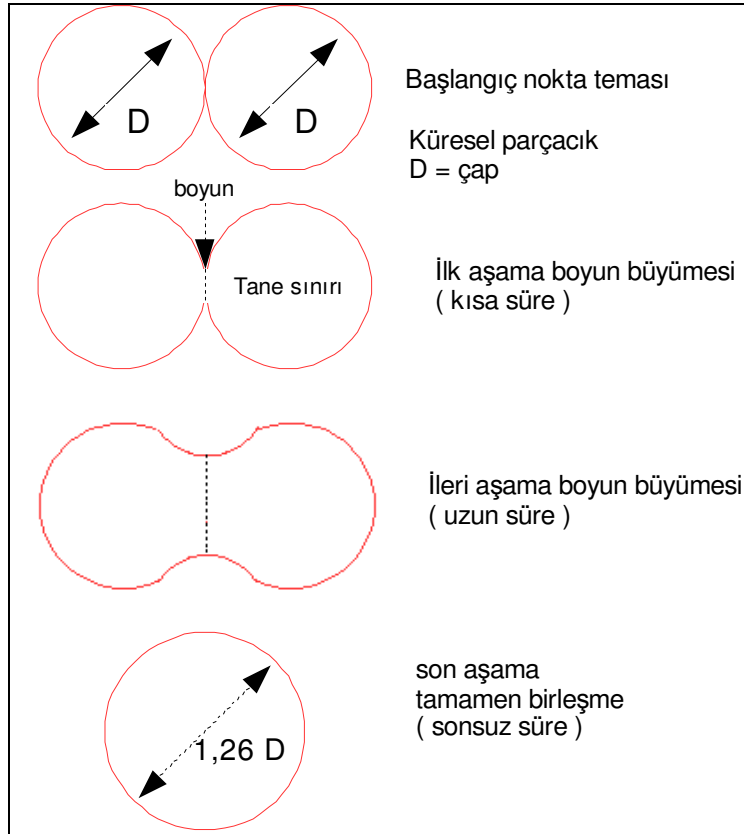
Sinterleme işlemi en kaba hatlarıyla "katı hal sinterlemesi" ( KHS ), "sıvı faz sinterlemesi" ( SFS ) şeklinde sınıflandırılabilir. Bu sinterleme mekanizmalarının hepsinde metal taşınım mekanizmaları farklılık gösterir. Tek fazlı metal tozlarından oluşan sıkıştırılmış malzemeler sinterlendiğinde olası metal taşınım mekanizmaları tanımlanabilir. Fakat temelde iki farklı süreçten oluşan sıvı faz sinterlemesinde bu metal taşınım mekanizmalarını tanımlamak daha zordur. Sıvı faz sinterlemesinde iki farklı süreçten birinde, sıkıştırılmış malzemeler sinterleme sıcaklığındayken bütün işlem süresince sıvı faz vardır. Bu sürece örnek olarak % 10 veya daha az miktarda nikel ve bakır veya nikel ve demir içeren volfram ağır alaşımı ve sementit karbürlerin sinterlenmesi verilebilir. Sıkıştırılmış malzemeler, alaşım sisteminin sıvılaşma ve katılaşma eğrileri arasında sinterlenir ve sinterleme çevriminin tamamında heterojen bir yapıya sahiptirler. Bu mekanizma "sürekli sıvı faz sinterlemesidir" ve ağır aşım mekanizması olarak adlandırılır. Diğer sıvı faz sinterleme mekanizması "geçici sıvı faz sinterlemesi" mekanizmasıdır ve bu mekanizmada sinterleme sıcaklığında sıvı fazın varlığı sinterleme süresince değil, sadece belli bir süre için söz konusudur. Bazı metal tozlarına küçük miktarlardaki alaşımlandırıcı elementlerin ilavesi sinterleme hızında 100 katına kadar ulaşan bir artışa neden olur. Bu işlem "aktivasyonlu sinterleme" veya "aktive edilmiş sinterleme" olarak adlandırılır. [ 8,22,23 ]

### **5.1. Katı Hal Sinterlemesi**

Katı hal sinterlemesi üzerine birçok çalışmalar yapılmış ve bu sinterleme mekanizması tüm yönleriyle açıklanmıştır. Partiküller arasında kaynaşma ile ilgili ilk kantitatif modeller Kuczvovski ( 1949 ) ve Herring ( 1950 ) tarafından oluşturulmuştur. Katı hal sinterleme mekanizması üzerine yapılan çalışmalar Thümmeler ve Thornma ( 1967 ), Exner ( 1979 ), Cobleuz ( 1980 ) ve Gennann ( 1982 ) gibi araştırmacıların yaptığı çalışmalarla günümüze kadar devam edegelmiştir . [ 8 ]

Sinterlemenin ilk aşamasında toz partikülleri arasındaki temas alanı artar, yapıdaki mevcut gözenekler küreselleşir, partiküllerin merkezleri arasındaki mesafe azalır ve bunun sonucu olarak parçada çekilme meydana gelerek yoğunluk artar. Daha sonraki aşamada partiküllerin birbiriyle birleşmesi son bulur ve sonuçta izole gözenekler oluşur. Yapıdaki malzeme taşınımı ile gözeneklerin boyutları küçülür ve tane büyümesi meydana gelir.

Bazı sinterleme oluşumları sırasında parçalarda genişleme görülebilir. Bu genişleme sıkıştırma sırasında gözeneklerde kalan gazların sinterleme sıcaklığında basınç artışı sonucu görülür. Yapıdaki gazın genişlemeye neden olabilmesi için sinterleme sırasında parça içerisinde yayılmaması veya metal ile reaksiyona girmemesi gerekir. (Örneğin oksijen metallerle oksit oluşturabilir). [ 16,17,24 ]



Şekil 5.1 Sinterlemede nokta teması ile başlayan ve parçacıklar arası bağ gelişimini gösteren iki küre sinterleme modeli [ 15 ]

Preslemenin atmosferik koşullar altında yapılması halinde porlarda sıkışıp kalan havadaki oksijen, hidrojen gazı altında yapılan sinterleme sırasında su buharı oluşumuna neden olabilir. Gözenek boyutu küçük olduğundan hacimsel bir genişleme meydana gelmez. Şekil 5.1 de görüldüğü gibi birbirleriyle temas halinde olan küresel iki parçacığı ele alalım.

Ham parça içinde her bir parçacık üzerinde bu tür bir çok temas noktası vardır.Sinterleme işlemi ilerledikçe birbirine temas eden parçacıklara arasındaki bağ büyür ve birleşir.Her temas noktasında bir tane sınırı büyür ve katı-buhar ara yüzeyinin yerini alır.Uzun süre sinterleme iki parçacığın tamamen birleşerek çapı başlangıç çapının 1,26 katı olan tek küresel parçacık oluşturmaya yol açar.Preslenmiş ham parça içinde her parçacığın birkaç değişik noktasında bağ oluşur. [ 15 ]

Sinterleme sırasında meydana gelen boyutsal değişimler ( çekilme veya şişme ), gözeneklerin şekil ve boyut değişimi, tane büyümesi gibi olaylar, yapı içindeki sıcaklıkla aktive edilen atomsal taşınım mekanizmasıyla gerçekleşir. Atomal taşınımında en önemli mekanizma difüzyon taşınımıdır. Hacim ve yüzey difüzyonu olmak üzere iki tür difüzyon mekanizması vardır. Sinterlemeyi kontrol eden yüzey difüzyonu tane yüzeyinden kütle akışı meydana getirir. Yaygın sinterleme özelliklerinin yüzey difüzyonu ile geliştirilmesine rağmen boyutsal değişim olmaz ve yoğunluk sabit kalır. Sinterlemeyi kontrol eden yüzey taşınımı sırasında yüzey difüzyonu ve buharlaşma-yoğunlaşma en önemli iki yardımcıdır. Yüzey difüzyonu neticesinde hacimsel büyüme meydana gelmez iken hacim difüzyonu boyutsal büyümeye neden olur. Hacim difüzyonu mekanizması; hacim difüzyonu, tane sınırı difüzyonu, plastik akış ve viskoz akışı kapsamaktadır. Plastik akışın önemsiz olduğu düşünülmektedir. Viskoz akış ise bir taşınım mekanizması olmasına rağmen kristalin yapılı malzemelerde pek görülmez. Genellikle hacim difüzyonu sinterlemenin sonlarına doğru daha aktifleşmektedir.

Sinterleme sırasında iki partikül arasında bir boyun oluşur ve büyür. Boyun bölgesinin büyümesi ve bunun sonucu partiküller arası temasın artması bu bölgeye malzeme transferi ile olur. Boyun bölgesine malzeme transferi, yüzeyden buharlaşan fazın boyun bölgesinde yoğunlaşması, hacim ve yüzey difüzyonu, plastik akma ile meydana gelir. Kristalin yapılı katılarda dislokasyonların hareketi ile ( dislokasyon tırmanması ) meydana gelen plastik akmanın taşınımına olan etkisi yüksek değildir.

Sinterlemenin son aşamalarında tane büyümesi meydana gelir. Küçük tanelerin kaybolup büyük taneler oluşması ile toplam tane sınırı alanındaki azalma büyüme için itici gücü oluşturur. Sinterleme sırasında çözünen atomlar tane sınırlarında toplanma eğilimi gösterirler. Bu tane sınırının hareket hızını düşürür. Aynı etkiyi yapıdaki kalıntılar da gösterebilir.

Kalıntıların bu etkisi boyutlarının küçük olması oranında artar. Tane büyümesini etkileyen diğer etkenler yapıdaki porozite ve sıvı faz mevcudiyetidir. Sinterlemenin ilk aşamalarında tane büyümesi için itici güç büyük iken tane sınırları porları aşıp geçebilirler. Daha sonraki aşamalarda tane boyutu arttığından sınır hareketi için itici güç azalır ve gözenekler sınır hareketini engelleyebilir. Tane sınırlarında sinterleme koşullarında oluşan sıvı faz sınır hareketini azaltma eğilimi gösterir. Başlangıç tane boyutunun küçük olması büyüme hızını arttırır. Küçük taneler, büyük taneler için çekirdeklenme merkezi etkisi gösterirler.

## 5.2. Sıvı Faz Sinterlemesi

Sıkıştırılan metal tozları, mutlak ergime sıcaklıklarının yarısı üzerindeki sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında sıkı bağ oluştururlar. Sinterleme şekillerinin hepsinde bulunan ortak bir özellik tane yüzey alanında meydana gelen bir azalma ve bunu takiben parça mukavemetinin artmasıdır. Bu durum sinterleme sıcaklığındaki atomik hareketlerin neden olduğu parçacıklar arası bağların oluşumu ile meydana gelir.

Sıvı faz sinterlemesi sırasında, sıvı bir faz sinterleme sıcaklığında katı bir toz kümesiyle aynı anda bulunur. Genellikle sıvı faz, sinterleme esnasında parçacıklar arası bağ oluşumunu arttırır. Parçacıklar arası bağlanmaya eşlik eden mukavemet, süreklilik, iletkenlik, manyetik geçirgenlik ve korozyon direnci gibi faktörler gözenek yapısında ve parça özelliklerindeki önemli değişikliklerdendir . [ 24 ]

Geleneksel sıvı faz sinterleme süreçleri birbiri üzerine binen üç aşama ile açıklanabilir. İlk aşamada toz karışımları bir sıvının olduğu sıcaklığı kadar ısıtılır. Sıvı oluşumu ile katı parçacıklar üzerinde sıvının ortaya koyduğu kuvvete bağlı olarak hızlı bir şekilde başlangıç yoğunlaşması söz konusudur. Sistem yüzey enerjisini en düşük duruma indirmeye çalışırken gözeneklerin giderilmesi gerçekleştirilir.

Yeni düzenleme boyunca kompakt kılcal hareketler doğrultusunda viskoz bir katı olarak davranır. Gözeneklerin giderilmesi sinterleme kompaktın viskozitesi ile artar.

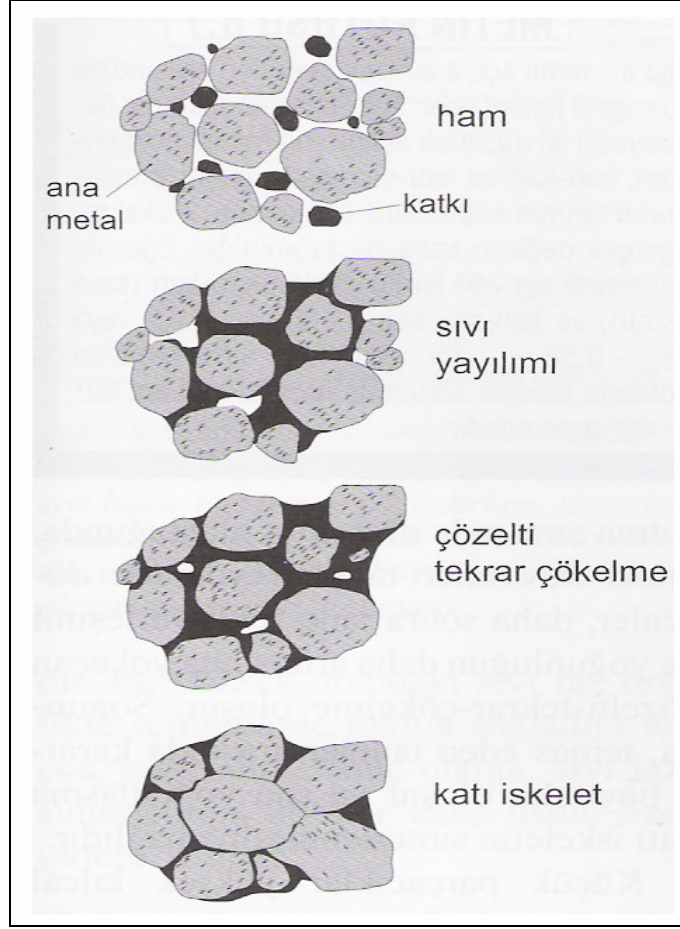
Sonuç olarak yoğunlaşma hızı sürekli olarak azalır. Yeniden düzenleme ile yoğunlaşma yavaşladıkça, çözünürlük ve yayınma etkileri baskın hale gelir. Geleneksel sıvı faz sinterlemesinin ikinci aşaması çözünme yeniden çökelme aşaması olarak bilinir. Çözünme yeniden çökelme aşamasının sinterlemeye genel katkısı mikroyapısal irileşmedir. Bir tane onu çevreleyen sıvı içerisindeki tane boyutu ile ters orantılıdır. Küçük taneler, büyük tanelere göre daha yüksek bir çözünürlüğe sahiptirler Çözünürlükler arasındaki farklar konsantrasyon değişimini oluşturur.

Malzeme yayınma yoluyla küçük tanelerden büyük tanelere iletilir. Bu süreç "irileşme" veya "Oswald irileşmesi" olarak isimlendirilir. Yayınma yoluyla değiştirilen tane şekli, tanelerin daha sıkı paketlenmesine izin verir.

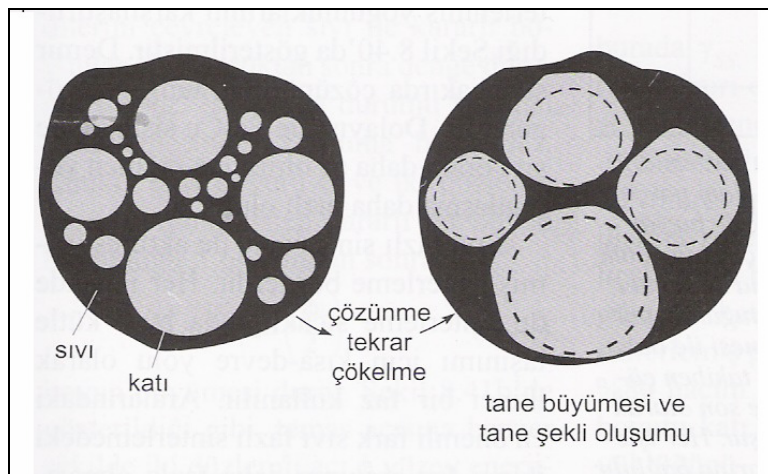
Sıvı faz sinterlemesinin son aşaması katı hal kontrollü sinterlemedir. Katı iskelet yapının varlığı sebebiyle yoğunlaşma bu aşamada yavaştır. Bu aşamada baskın olan süreçler aslında, tüm sıvı faz sinterlemesi boyunca aktiftirler, fakat yavaş oluşumları sebebiyle katı hal sinterlemesi, sinterleme çevriminin son aşamasına kadar önem teşkil etmez.

Mikroyapısal irileşme, yayınma yoluyla devam etmesine rağmen katı iskelet yapının direnci daha ileri seviyede yeniden düzenlemeyi engeller. Gözenekler eğer hapsolmuş gaz içeriyorsa sıkıştırılmış malzemede şişme meydana gelecek şekilde genişleyecektir. Geleneksel sıvı faz sinterlemesinin üç temel kademesi ve zamana bağlı olarak yoğunlaşma değişimi Şekil 5.2 de gösterilmiştir. [ 8,22,25,26,27,28,29,30 ]





Şekil 5.2 İki toz karışımı kullanarak sıvı faz sinterlenmesinin kavramsal aşamaları [ 15 ]



Şekil 5.3 Çözelti – tekrar çökme işlemi [ 15 ]

### 5.3. Geçici Sıvı Faz Sinterlemesi

Sıvı faz sinterlemesinin iki farklı alternatifinden biri geçici sıvı faz sinterlemesidir. Yüksek ergime sıcaklığına sahip katı faz çözünme oranının yüksek olduğu durumlarda geçerli olan bu mekanizmada preslenmiş malzeme sinterleme sıcaklığına çıkartılırken sıvı faz oluşur ve preslenmiş malzeme sinterleme sıcaklığında sıvı faz iç yayınlamayla katı ergiyiğe geçerek yok olur. Sıkıştırılmış malzeme sinterleme sıcaklığında bekletilirken sürecin sonunda oluşan homojen bir katı ergiyik veya iki veya daha fazla katı fazdan oluşan heterojen bir alaşım olabilir. Sinterleme sırasında homojen katı bir alaşımın oluşumuna örnek olarak, alaşım katılaşma sıcaklığının altında sinterlenen % 90 Cu ve % 10 Sn karışımlarından oluşan kendinden yağlamalı yatakları, Al-Cu, Mg-Si alaşımları ve bazı AlNiCo magnetleri uygun örneklerdir. Değişik katı fazdan oluşan heterojen alaşımlara ise diş hekimliğinde kullanılan sinterlenen gümüş, kalay ve civa amalgamları örnek olarak verilebilir.

Metal tozlarının karışımından oluşan bir sıkıştırılmış malzemenin sinterlenmesi, toz karışımının tam bileşimine, çözebilirlik sınırına, sıvı gaz miktarına, sinterleme sıcaklığına, faz diyagramına veya sinterleme sıcaklığına ısıtma hızına bağlı olarak sürekli sıvı faz sinterlemesi (ağır alaşım mekanizması), süreksiz sıvı faz sinterlemesi veya katı hal sinterlemesi yöntemlerinden herhangi biri içinde tanımlanabilir. Bu durumu açıklamak için birkaç örnek vermek gerekirse; % 90 Cu ve % 10 Sn toz karışımlarından oluşan bir kompakt katılaşma ve sıvılaşma sıcaklıkları arasında sinterlendiğinde, bakırca zengin bir katı ve kalayca zengin bir sıvı faz oluşur. Eğer oluşan bu alaşım hızlı katılaştırılırsa yapısı tungsten-nikel-bakır ağır alaşımının yapısına benzer ve sinterleme sürekli sıvı faz sinterlemesi mekanizmasıyla açıklanabilir.

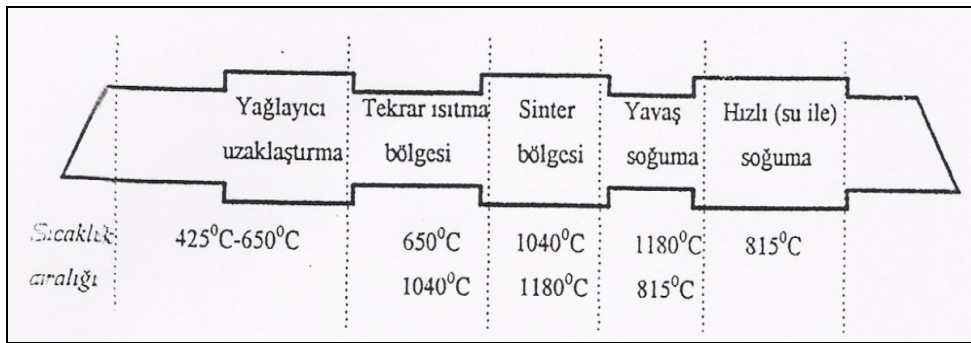
Sinterleme sıcaklığında östenit içerisinde bakırın katı çözünürlük sınırının altında bakır içeren (Örneğin 1150 °C' de % 93 Fe - %7 Cu) demir-bakır toz karışımından oluşan sıkıştırılmış malzemeler, bakırın demir içerisinde homojen bir katı çözelti oluşturabileceği şekilde yavaş ısıtılarak sinterleme sıcaklığına çıkartılması durumunda, parçacık boyutu küçük dolayısıyla yayınma mesafesi kısa ise herhangi bir sıvı faz oluşmayacaktır.

Bu durumda işlem iç yayınmayla katı hal sinterlemesi olacaktır. Eğer aynı sıkıştırılmış malzemeler hızlı bir şekilde ısıtılırsa, yani sinterleme sıcaklığında östenit içerisinde bakır katı çözünürlük sınırının üstünde bakır içerecek şekilde demir bakır alaşımı seçilirse ( Örneğin 1100 °C' de % 7,5 Cu ), bu durumda sıvı faz sinterlemesi ( ağır alaşım mekanizması ) söz konusu olacaktır. [ 8,22,23 ]

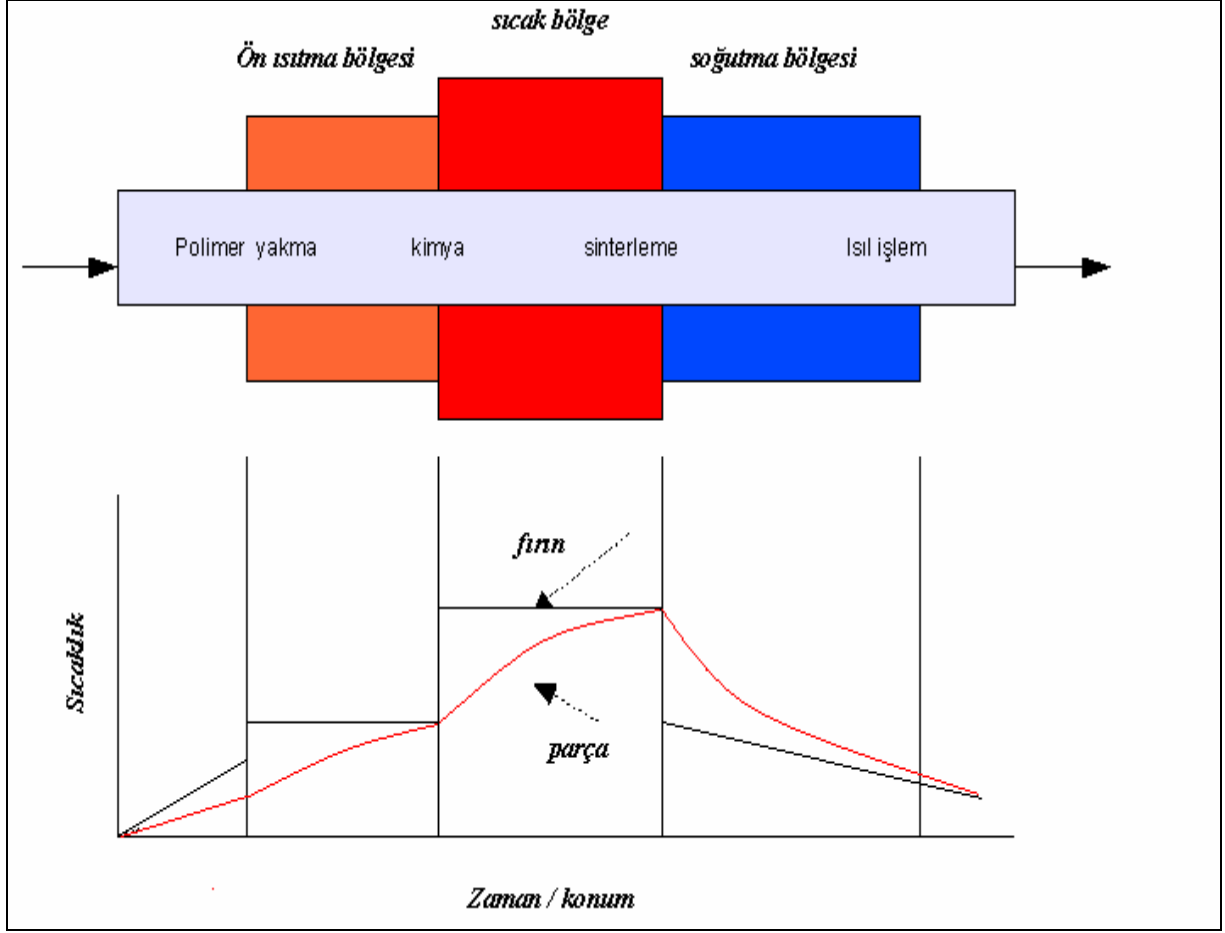
#### 5.4. Sinterleme İşleminde Kullanılan Fırınlara ve Fırın Atmosferleri

Demir esaslı ürünlerin sinterleme işlemi sırasında, sinterlemenin sağlıklı yapılabilmesi için kontrollü atmosfer altında çalışan fırınlara ihtiyaç vardır. Sinterleme işlemi sırasında sinterleme sıcaklığına çıkma hızı, sinterleme sıcaklığında kalma süresi ve bu sıcaklıktan soğuma işlemleri kontrol edilebilir olmalıdır. Sinterleme esnasında fırın içerisindeki sıcaklık profili ve gaz akışı diğer tüm etkenler kadar önem arz eder. Sinterleme sırasında uygun bir atmosfer seçilmediği takdirde, sinterlenen ürün özellikleri beklenildiği gibi olmayacaktır. Seçilen sinter atmosferine bağlı olarak ürünün mekanik özellikleri (mukavemet, süneklik, sertlik) ve fiziksel özellikleri (boyutsal kararlılık, işlenebilirlik) değişecektir.

Demir esaslı malzemelerin sinterlenmesinde genellikle endotermik, ekzotermik, parçalanmış amonyak, saf hidrojen nitrojen atmosferli fırınlar kullanılır. Kullanılan bu atmosferler içerisinde ekonomik nedenlerden dolayı en çok endotermik ve parçalanmış amonyak atmosferi ile çalışan fırınlar tercih edilmektedir. Sinter fırınları genellikle ön ısıtma bölgesi ( yağlayıcıların uzaklaştırıldığı ısıtma bölgesi ), sinter bölgesi ( sinterlemenin gerçekleştirildiği bölge ) ve soğutma bölgesi olmak üzere üç adet kontrollü bölgeden oluşur. [ 31,32 ]



Şekil 5.4 Demir ve çelik esaslı malzemelerin sinterlenmesinde kullanılan tipik bir sinter fırının şematiik kesiti



Şekil 5.5 Bir sinterleme fırınındaki işlemler zincirinin şematik gösterimi [ 15 ]

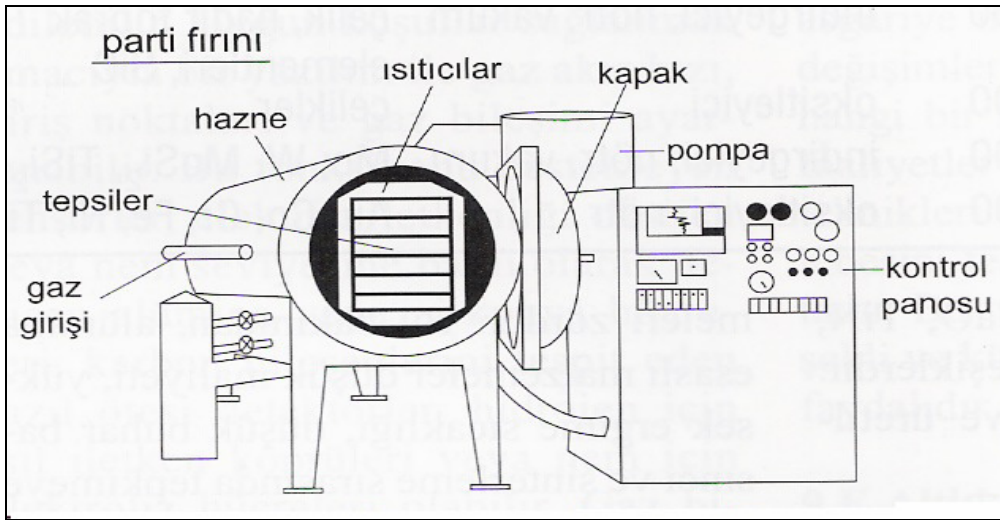
Buna benzer bir fırının kesiti (şematik olarak) Şekil 5.4 de verilmiştir. İyi bir sinter fırınında bu üç bölgedeki sıcaklık profilleri, malzeme geçiş hızları ve atmosfer kontrolleri iyi bir şekilde yapılabilmelidir. Fırın içerisindeki malzemeler konveyör bantlarla ilerleyerek fırını terk ederler. Şekil 5.5 de sinterleme için tipik sıcaklık – zaman döngüsü gösterilmektedir.

### 5.4.1. Fırın Tasarımı

Sinterleme fırını, sinterleme döngüsünde sıcaklığı ve zamanı kontrol eder.İlaveten atmosferi tutar, yağlayıcı ve bağlayıcıların giderilmesini sağlayarak sinterleme sonrası ısıl işlem imkanı yaratır.Ekseriyetle, fırın çıkışı atıkları yakmak için bir yakıcıdan geçer. Fırın bu işlevleri parti veya sürekli sinterleme şeklinde yapar.Parti ve sürekli fırınlar arasındaki fark, fırın sıcaklığı – zaman veya parça konumu – zaman ilişkilerinin kontrolüne bağlıdır. [ 15 ]

#### 5.4.1.1. Parti Fırınlar

Parti fırın sinterlenecek malzeme ile yüklenir ve sıcaklık döngüsü birkaç saat uygulanır.Her bir döngü farklı programlanabildiği için parti fırınların kullanımı esnekler.Ayrıca, vakum sinterleme ve basınç – takviyeli sinterleme sadece parti fırınlarda yapılabilir.Genellikle, fırın cidarları çalışma bölgelerinin etrafındaki yansıtıcı ısı kalkanları ve dıştan su soğutma ile sürekli soğutulur.Diğer bir tasarım, sinterlenen malzeme ve koruyucu atmosferi ihtiva eden kutunun ısıtıcı elamanlarla dışarıdan ısıtılmasıdır.Sıcak bölgeye yükleme önden, üstten veya alttan çeşitli kaldıraçlarla yapılabilir.Şekil 5.6 da vakum veya akan işlem atmosferi altında çalışan bir parti fırını göstermektedir.Hazne çapı büyüdükçe sinter yükü artmakta, 500 kg' a kadar erişmektedir.Maksimum 3000 °C sıcaklığa çıkılması ve bazı parti fırınlarında birkaç atmosfer basınç altında çalışılması mümkündür.Yarı sürekli vakum sinterleme fırınlarında seri halde üç veya daha fazla oda bulunmaktadır.Yük bir odada belirli bir süre tutulduktan sonra bir sonraki odaya taşınır, böylece döngü parti fırınlarında art arda sinterleme şeklinde oluşur.[ 15 ]

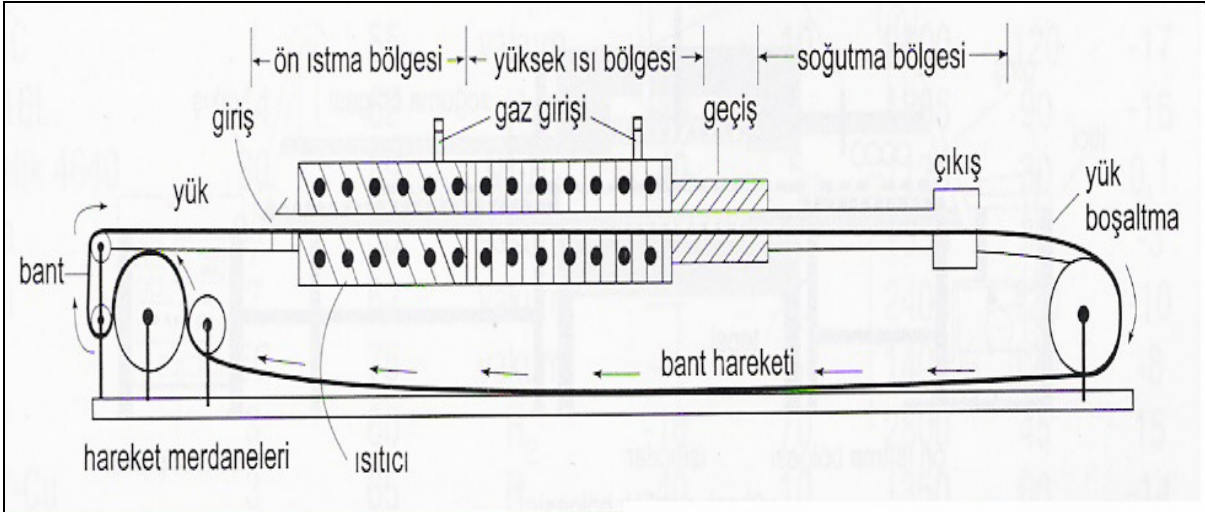


Şekil 5.6 Vakum veya akan işlem atmosferi altında çalışan bir parti fırını

### 5.4.1.2. Sürekli Fırırlar

Sürekli bir fırında parçanın konumu zamana karşı taşıyıcı bant veya itici konveyörler kullanılarak ardışık bölgelerde kontrol edilir. Genellikle konveyörler fırın kullanım sıcaklığını sınırlamaktadır. Düşük sıcaklıklar için konveyörler tel örgüden imal edilir. Yüksek sıcaklıklar için seramik, grafit veya reflakter bant veya itici kullanımı gerekir. Reflakter malzemeler veya grafit ile 2000 °C nin üzerinde sıcaklıklara çıkmak mümkündür. Sinterleme sıcaklığı yükseldikçe yükleme daha az olduğundan maliyet artacaktır.

En uygun fırın tipi ve boyutları üretim miktarı, sinterlenecek malzeme, işletim maliyeti, atmosfer tipi ve sinterleme sonrası soğutma hızına bağlıdır. Yükleme kapasitesi 1 kg dan az olan fırınlardan, 250.000 kg' a kadar yükleme yapabilen fırınlar mevcuttur. Rutin üretim hızı 100 kg/saat mertebesindedir. Büyük parçaların sinterlenmesinde daha yavaş ısıtma ve daha büyük fırınlara ihtiyaç duyulur. En yaygın kullanılan sürekli fırın Şekil 5.7 de gösterildiği gibi belli bir hızda hareket eden bant ve sabit sıcaklık profiline sahiptir. [ 15 ]

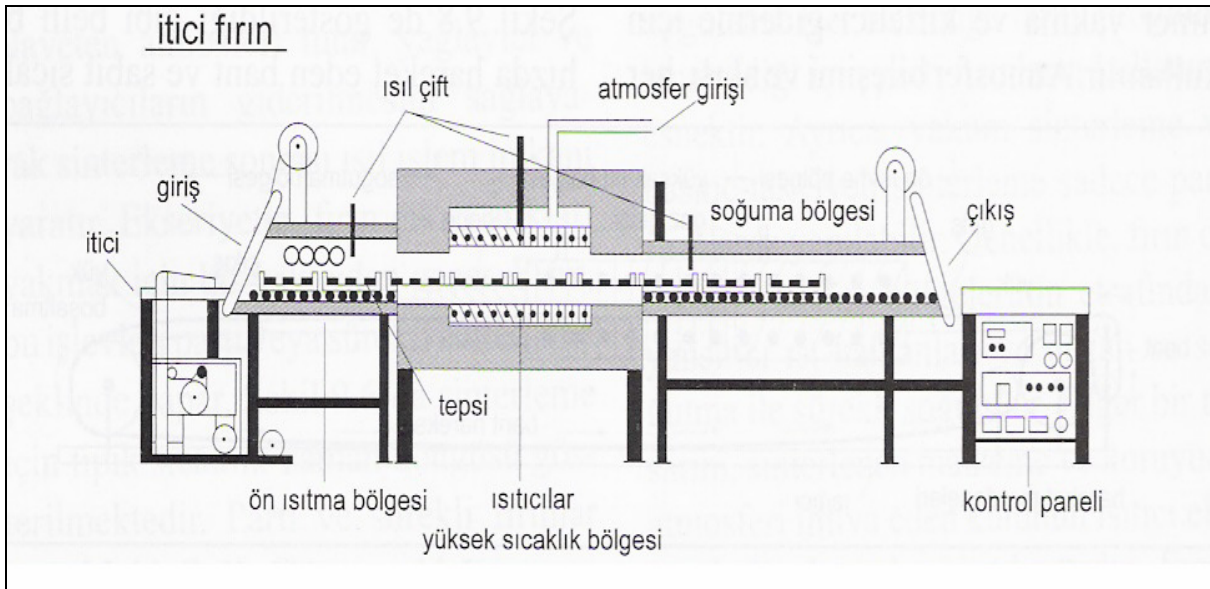


Şekil 5.7 Örgü bant fırını



Yatay bant sıcak bölgeden geçerek dönüşte fırının altında hareketine devam eder. Bant genişliği genellikle 15 – 60 cm ve 5 – 20 cm/dak aralığında değişmektedir. Bant fırında hareket ederken yük kademeli olarak ön ısıtma, yüksek ısı ve soğutma bölgelerinden geçer. Fırının uzun süreli kullanımında bant uzar, aşınır ve nihayet sürünme ısı çevrimi nedeniyle kullanım dışı kalır. Yüksek sıcaklıklarda fırın ömrü daha kısadır. Başka bir taşıma yolu ise parçaları tepsilere yüklemek ve dizilmiş tepsilere fırına birbiri ardına itmektir. Şekil 5.8 de gösterildiği gibi itme düzeneği fırının dışındadır, sinterlenmiş parçaları içeren tepsilere otomatik olarak fırından alınır.

Bu fırınlar 1800 °C'nin üzerinde sıcaklıklara sahip olup sinterlenecek malzeme için iyi destek sağlar. Bu nedenle bu fırınlar enjeksiyon ile kalıplanmış malzemeler, filtreler, reflektör metaller ve seramikler için yaygın olarak kullanılmaktadır. Büyük itici fırınların 450 kg/m<sup>2</sup> ye yaklaşan yük ile 400 kg/saat kapasiteye kadar çalışırlar. Başka bir yüksek sıcaklık fırınında yükü taşımak için hareketli kirişler kullanılmaktadır. Bu tasarımda sinterlenecek parçaları içeren tepsilere düzenli olarak kaldırılır ve fırın tabakasındaki bir kriş ile taşınır. Hareketli kriş fırınları 1370 °C'ye kadar ısıtılabilir. Benzer bir tasarımda, fırın tabanındaki merdaneler üzerinde içerisinde parçalar bulunan tepsilere taşınır ve tasarım "merdaneli fırın" olarak bilinir. [ 15 ]



Şekil 5.8 İtici fırının şematik gösterimi

## 5.4.2. Sinterleme Döngüleri

Uygulamada toplam sinterleme işlemlerinin % 70' i sıvı faz içerir. Teknik açıdan bakıldığında sıvı faz oluşturmak için en düşük bir sıcaklığın aşılması gereklidir. Ayrıca sinterleme döngüleri parça kimyasal bileşimini ayarlamak, karışım tozları homojenleştirmek, boşukları gidermek ve istenilen mikroyapıyı elde etmek için tasarlanır. Çizelge 5.1 de birkaç endüstriyel döngü verilmiştir. Çizelgede; malzeme, parçacık boyutu, ısıtma hızı, üst sıcaklık, bekleme süresi ve atmosfer hakkında bilgi verilmektedir. Bu özet çizelge, sinterleme döngülerinin çeşitliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca sinterleme döngüleri işletmelere göre değişir. Bu değişim farklı malzeme, toz, polimer ilavesi, ham parça, fırın tasarımı ve ürün özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 5.1 Örnek Üretim için Sinterleme Döngüleri [ 15 ]

Malzeme	Parçacık boyutu, $\mu\text{m}$	Ham yoğunluk, %	Atmosfer	Çiilenme noktası $^{\circ}\text{C}$	Isıtma hızı $^{\circ}\text{C}/\text{dak}$	En yüksek sıcaklık $^{\circ}\text{C}$	Zaman, dak	Boyut değişimi, %
alüminyum	60	90	$\text{N}_2\text{-H}_2$	-20	10	600	20	-2
alümina, $\text{Al}_2\text{O}_3$	0,4	58	$\text{H}_2$	-40	18	1830	60	-17
bronz Cu-10Sn	75	70	$\text{N}_2$	-40	15	820	5	-2,2
bakır	32	56	$\text{H}_2$	-40	2	1045	120	-17
Fe-2Cu-0,8C	100	88	$\text{N}_2\text{-H}_2$	-20	10	1120	30	0
Fe-2Ni	5	64	$\text{H}_2$	-20	15	1250	60	-15
Fe-2Ni-0,5C	80	90	$\text{N}_2\text{-H}_2$	-40	5	1200	60	-0,04
$\text{N}_3\text{Al}$	20	70	$\text{H}_2$	-50	10	1340	60	-10
SiC	1	55	vakum	-	10	2100	120	-17
316L	44	62	$\text{H}_2$	-40	5	1385	90	-16
çelik 4640	80	89	$\text{N}_2\text{-H}_2$	-40	5	1120	30	0,1
Ta	0,3	35	vakum	-	15	1350	30	-3
Ta	2	62	vakum	-	10	2400	120	-10
Ti	50	75	vakum	-	5	1400	120	-8
W	3	60	$\text{H}_2$	-10	70	2800	45	15
W-Cu	3	65	$\text{H}_2$	-40	10	1350	60	-14
W-7Ni-3Fe	3	40	$\text{H}_2$	18	5	1500	120	-25
WC-10Co	0,5	52	vakum	-	8	1400	60	-19

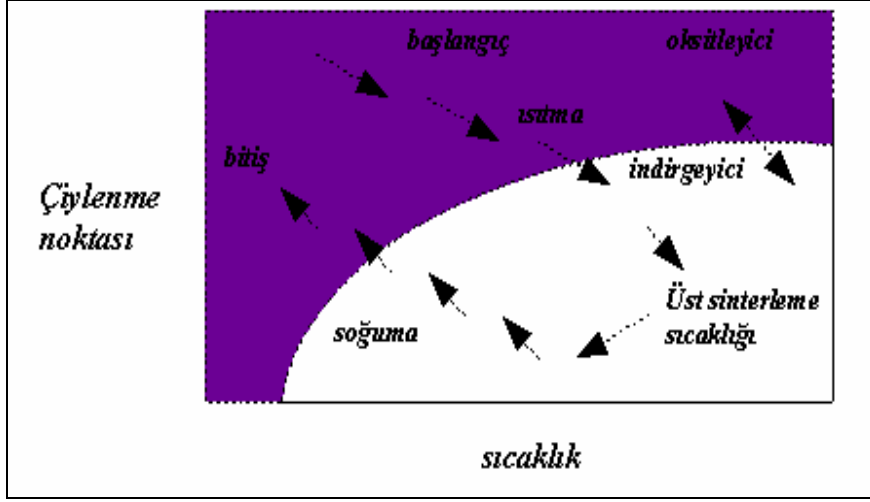


### 5.4.3. Atmosfer Bileşimleri

Sinterlemede kullanılan kontrollü atmosfer seçimi de ürün özellikleri açısından önemlidir. Seçilecek olan atmosfer sinterleme sırasında toz partikülleri arasında oksidasyona yol açmamalıdır. Oksijen, su buharı ve karbondioksit demir esaslı parçaların sinterlenmesinde oksidasyon ve karbürizasyona neden olurlar. Karbürizasyonun asıl nedeni ise metan gibi hidrokarbon gazları ve karbonmonoksittir. Partiküllerin yüzeyinde oluşacak olan oksit tabakası sinterlenmeyi geciktireceği gibi mikroyapıyı olumsuz yönde etkiler.

Endotermik ve ekzotermik atmosferlerin elde edilmesinde metan ve propan gibi önemli hidrokarbon gazları kullanılır. Bu atmosferler içerisindeki nitrojen, su buharı, karbonmonoksit hidrojen, karbondioksit ve metan gazı veya gaz karışımları bulunur.

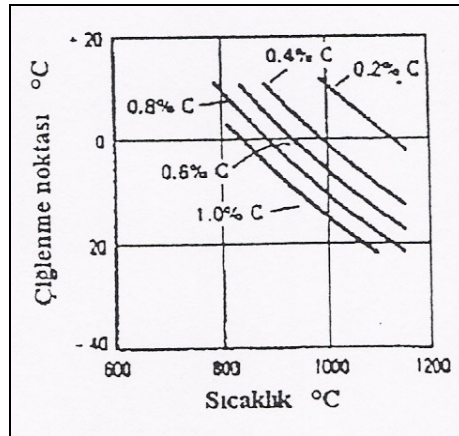
Atmosfer içerisindeki hidrojen, yapıda çözünen oksijen ile tepkimeye girer ve bu tepkime sonucunda su kabarcıkları oluşur. İlk su buhar damlacığının oluştuğu sıcaklık literatürde çiylenme noktası olarak bilinir. 7 °C çiylenme noktası % 1 su buharı demektir, buna karşılık - 42 °C de ise hacimce % 0,01 su buharına karşılık gelmektedir. Su buharından oluşan bu damlacıklar malzeme bünyesinde şişkinliklere ve kalıcı gözeneklere yol açar. Atmosfer içerisindeki su buharı hacmi arttıkça çiylenme noktası artış gösterir. Sıcaklığa bağlı olarak değişen oksit kararlılığı Şekil 5.9 de verilmiştir. Bir toz metal parça sinterleme sıcaklığına ısıtılırken, parçacıklar nem veya oksijen absorbe ettiğinden ilk önce oksitleyici ortama maruz kalır ve gözenekler hava ile dolar. Yüksek sıcaklıkta parça ve atmosfer indirgeyici kısımda bulunur. Fakat soğuma sırasında, parça oksitlenme-indirgenme bölgesini geçerek oksitlenir. Bu durum yüksek sıcaklıkta gerçekleşirse, parça önemli ölçüde etkilenir. Bu bakımdan sinterleme sıcaklığından soğutma sırasındaki atmosfer kalitesi çok önemlidir. Soğutma esnasında temiz atmosferin sağlanması fırın tasarımında en önemli noktadır. [ 15 ]



Şekil 5.9 İndirgeyici atmosferde sinterleme sırasında oluşabilen çiğlenme noktası ve sıcaklık şartları

Endotermik ve ekzotermik atmosferlerdeki karbon potansiyeli arttıkça, çiğlenme noktası düşüş gösterir. Sinterleme işlemlerinde ise çiğlenme noktası düşük olan kuru atmosferler tercih edilir. Şekil 5.10 da endotermik atmosfer için karbon potansiyeline bağlı olarak çiğlenme noktasının değişimi verilmiştir.

Endotermik atmosfer demir ve çelik esaslı parçaların sinterlenmesinde kullanılırken, ekzotermik atmosfer ise bronz ve bakır esaslı parçaların sinterlenmesinde kullanılır. [ 16 ]



Şekil 5.10 Endotermik gaz atmosferinde karbon potansiyeliyle çiğlenme noktasının değişimi

Sinterleme atmosferi olarak hava, azot, argon, oksijen, hidrojen ve çeşitli gaz karışımları kullanılır. Tüm kimyasal tepkimeleri kontrol etmek için, atmosferdeki safsızlık seviyesinin bilinmesi önemlidir. Sinterleme sırasında ne olacağını oksijen, karbon monoksit, metan, karbondioksit ve su buharı gibi gazların miktarı belirler. Sentetik atmosfer bileşimleri Çizelge 5.2 de verilmiştir. Azot, hidrojen, su, karbondioksit ve karbon monoksit karışımı gibi endotermik atmosferlerin maliyeti düşüktür. Endotermik gaz 6,5 kısım havanın 1 kısım doğal gaz ile katalitik tepkimesi neticesinde ( genelde metan ) üretilir. İlgili indirgeyici bir atmosfer, hava ve doğal gazın ekzotermik tepkimesi sonucu ortaya çıkan karbondioksit ve su buharının giderilmesi neticesinde elde edilir. Doğal gazdaki günlük değişimlerin, işlem kontrolünü zorlaştırmasından dolayı ekzotermik ve endotermik atmosferlerin kullanımı tavsiye edilmemektedir

Çizelge 5.2 Sinterleme atmosferlerinin bileşimleri

Malzeme	Parçacık boyutu, $\mu\text{m}$	Ham yoğunluk, %	Atmosfer	Çiilenme noktası $^{\circ}\text{C}$	Isıtma hızı $^{\circ}\text{C}/\text{dak}$
% $\text{N}_2$	0	( 75 - 98 )	25	39	67
% $\text{H}_2$	>99,9	( 2 - 20 )	75	39	13
% $\text{H}_2\text{O}$	<0,01	0,001	0,004	0,8	<0,1
% CO	0	0,25	-	21	19
% $\text{CO}_2$	0	0,05	-	0,2	<0,1
% $\text{CH}_4$	0	0	0	0,5	0,5
% ppm $\text{O}_2$	( 10 - 25 )	5	( 10 - 35 )	10 - 150	10 - 200
çiilenme nokt. $^{\circ}\text{C}$	( - 70 ) - ( - 20 )	( - 75 ) - ( - 50 )	( - 50 ) - ( - 30 )	( - 16 ) - ( 10 )	( - 10 )

Hidrojen tepkimeye girici ve yanıcı bir atmosfer olup alümina, paslanmaz çelik, volfram alaşımları, metaller arası bileşikler, çelikler ve bazı ısıya dayanıklı metallerin sinterlenmesinde iyi sonuçlar verir. Bazı malzemeler hidrojen ile tepkimeye girerek hidrür olarak bilinen kırılğan bileşikler meydana getirirler. Bu nedenle titanyum, tantalyum, niyobyum, zirkonyum ve uranyum hidrojen ortamında sinterlenemez. Çizelge 5.3 de hidrojen ve diğer atmosferlerin yanıcı olduğu bileşim aralığı verilmektedir.

Hidrojen yüksek ısıl iletkenliğe sahip olup, soğutmayı ve ısıtmayı kolaylaştırır. Yüksek çiylenme noktası hidrojenin oksit indirgeme kabiliyetini azaltır ve atmosferi karbon giderici hale getirir. Eğer sıvı hidrojen kullanılırsa giriş atmosferi 1 ppm oksijen ve 8 ppm ( ppm, milyonda bir veya % 0,0001' dir.) su içerir. Bununla birlikte özellikle volfram alaşımlarında irileşmeyi ve kabarcıklaşmayı kontrol etmek için çiylenme noktası bilerek artırılır. [ 15 ]

Çizelge 5.3 Atmosfer yanma aralıkları

Atmosfer	Alt yanma derişimi oksijenli karışım	Alt yanma derişimi havalı karışım	Yüksek yanma sınırı havalı karışım
Hidrojen	5	4	74
karbon monoksit	5	12	74
Metan	18	5	15
Amonyak	15	16	27

Parçalanmış amonyak saf hidrojenin yerine kullanılır.Basınç altında sıvı halde temin edilir.Fırına girmeden önce amonyak hidrojen ve azota ayrışır.



Parçalanma tepkimesi ısıtılmış katalizör üzerinde yaklaşık 1000 °C de oluşur. Parçalanmış amonyak bir çok malzemenin sinterlenmesinde kullanılan indirgeyici atmosferdir.Ancak, bazı durumlarda azot malzeme ile tepkimeye girerek zararlı nitrürler oluşturabilir.

Saf azot atmosferi, nitrüleme hariç ( mesela titanyum, alüminyum, tantalyum, niyobyum, zirkonyum ve silisyum içeren malzemelerde nitrüleme olabilir ) çoğunlukla nötr olarak kabul edilir.

Hidrojen ve azot gaz karışımı oksit indirgemek ve maliyet düşürmek için kullanılır. Azot nitrür olarak bilinmesine rağmen birçok durumda malzemede genellikle sert nitrürler oluşturur. Azot demir esaslı alaşımlarda sertliği ve mukavemeti artırır, buna karşılık manyetik tepkiyi, korozyon direnci ve sünekliği azaltır. Hidrojen atmosferi genellikle demir esaslı magnetlerin sinterlenmesinde kullanılır. Örneğin alnico magnetleri hidrojen atmosferi altında sinterlenmektedir. Hidrojen atmosferinin maliyetinin yüksek oluşu ve kullanımındaki güçlükler bu atmosferin kullanımını sınırlamaktadır. [ 15 ]

## 5.5. Demir Esaslı Parçaların Sinterlenmesi ve Sinter Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi

T/M ürünü demir esaslı parçalar daha önceki konularda da değinildiği gibi demir-grafit, demir-bakır ve demir-bakır-grafit olmak üzere üç farklı başlık altında incelenmektedir. Karışım tozlarına ve miktarlarına bağlı olmak üzere bu parçaların sinterlenmesinde farklı sinterleme mekanizmaları söz konusudur. Tüm bu parametrelerin yanısıra sinter parametreleri de sinterleme mekanizmasını değiştirebilmektedir. Demir-grafit parçaların sinterlenmesinde tipik bir katı hal sinterlenmesi söz konusu olduğu gibi, diğer taraftan demir-bakır ve demir-bakır-grafit parçaların sinterlenmesinde sıvı faz sinterlenmesinin değişik tipleri gözlenebilir.

Demir esaslı parçalar genellikle 900 °C ile 1150 °C sıcaklık aralığında sinterlenirler. Sinterleme işlemi kontrollü atmosfer ( ekzotermik, endotermik, parçalanmış amonyak vb. ) altında çalışan fırınlarda gerçekleştirilir. Sinter öncesi parametre değişiklikleriyle mekanik özellikler başta olmak üzere birçok özellik değiştirebildiği gibi sinter parametrelerindeki değişiklikler de tüm bu özellikleri direkt etkilemektedir. Sinter parametrelerindeki değişiklikleri; sinter sıcaklığı, sinter süresi, sinter sıcaklığından soğuma hızı, sinter atmosferi türü gibi temel başlıklar altında incelemek mümkündür.

Tüm bu parametre değişiklikleri bütün demir esaslı parçalarda yaklaşık aynı etkiyi göstermektedir. Sinter parametrelerini değiştirerek bütün özelliklerde maksimum sonuçlar beklenmemelidir. Zira sinter öncesi toz seçimi, tozların karıştırılması ve preslenmesi gibi aşamalar son ürün özellikleri açısından önem arz eder. Bu bakımdan T/M süreçlerinin tamamı bir bütün halinde düşünülmelidir; ancak bu şartlarda beklenen ürün özellikleri elde edilebilir.

## 6. KAYNAĞIN GENEL TANIMI ve ENDÜSTRİYEL ÖNEMİ

### 6.1. Kaynağın Tanımı

Kaynak, birbirinin aynı veya ergime aralıkları birbirine yakın iki veya daha fazla metalik veya termoplastik parçayı ısı, basınç veya her ikisini birden kullanarak, aynı türden bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmektir. [ 33 ]

Birleştirilmesi öngörülen malzemelerin kaynak bölgeleri plastik veya sıvı duruma getirilebilmekte, eş iki malzemenin birleştirilmesi sonucu oluşan kaynak dikişinin özellikleri de ana malzemeninkine benzemektedir. İşlemin yapılmasında, birleştirilecek malzemelerin özellikleri, yöntemle başvuru amaçlı, kaynak olayındaki oluşumlar ve konstrüksiyonun türü gibi faktörlere göre belirli önlemlere de başvurulması gerekebilmektedir. Ergitme esaslı kaynak uygulamalarında kaynak bölgelerinin genellikle yardımcı malzemelerle korunması gerekmektedir. Seçilen ilave malzemelerin ise, mümkün olduğu kadar birleştirilen ana malzeme ile aynı ergime aralığına sahip olması, işlem emniyeti bakımından gerekli görülmektedir. [ 34 ]

Günümüz kaynak tekniğinde, metalsel olmayan malzemeler özellikle termoplastikler için de kaynak işlemini tanımlamak mümkündür. Yöntem bu tür malzemeler için, kaynak bölgelerinin plastik duruma getirilmesi ile uygulanmakta, ısı ve basınç yardımıyla yapılan işlem, ilave malzemeli veya malzemesiz olarak gerçekleştirilebilmektedir. [ 34 ]

### 6.2. Kaynağın Gelişim Süreci

Kaynağın imalat metodu olarak kabul görmesi her ne kadar geçtiğimiz yüzyılda kaydedilen gelişmelere bağlı olarak ortaya çıkmış bir sonuç olsa da aslında ilk uygulamalar oldukça eski çağlara dayanmaktadır. Günümüzden yaklaşık 3500 yıl kadar önce, insanoğlu iki metal parçasını çekiçleyerek kaynak edip, birleştirmeyi gerçekleştirmiştir. İlk uygarlıklardan kalan eşyalar arasında bulunan altından yapılmış süs eşyaları, mücevherat, bronz vazolar ve kaplar, dini eşyalar, altın ve altın alaşımları kullanılarak lehimle bileştirilmişlerdir. Yaklaşık olarak M.Ö 1000 yıllarına ait çeşitli vazo, kap ve kaşık örnekleri Londra'da British Museum'da sergilenmektedir. ( Cary, 1989 )

Mısır Firavunları devrinde yapılmış orijinal metal işleri üzerinde de bu tür birleştirmeler ve lehim bağlantılarının izleri görülmektedir. Roma çağında son derece gelişme gösteren metal işçiliği, bu çağa ait pek çok eser üzerinde de bu tür birleştirmeler görmeyi mümkün kılmıştır.( Anık, Vural, 1993 )

Kaynağın tarihsel gelişimine bakıldığında, endüstriyel anlamda ilk gelişmelerin 19. yüzyılda yaşandığı görülmektedir. Oksijenin endüstriyel çapta eldesi, özellikle tamir işlerinde oksii-asetilen kaynağının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Elektrik arkının 18. yüzyılın son yıllarında Volta tarafından keşfedilmesine rağmen, bu enerjinin kaynak işleminde uygulanması 19. yüzyılın son çeyreğini bulmuştur.

Kaynak tekniğinin yıllara göre gelişim süreci özet olarak şu şekildedir:

1802 Elektrik arkı üzerine araştırma

1849 Elektrik arkının yardımıyla metallerin kaynağına ait patent alınışı

1867 Elektrik direnç kaynağının bulunuşu

1885 Metal kaynağında karbon elektrot kullanılışı

1889 Kaynak işleminde, iki karbon elektrot arasındaki arkın ısı membaı olarak kullanılışı

1891 Metal elektrotla ark kaynağı

1895 Alüminotermi kaynağının gelişimi

1900 Gaz ergitme kaynağının endüstride uygulanması

1908 Örtülü elektrotların 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 Elektrotların 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 Soğuk pres kaynağının yapılışı
- 1951 Elektro-curuf kaynağının ilk uygulanışı
- 1953 CO<sub>2</sub> ile koruyucu gaz kaynağının endüstride uygulanışı
- 1954 Al-Mg alaşımı malzemedan tamamı kaynak birleştirmeli yat yapımı
- 1957 Elektron ışın kaynağında gelişmeler
- 1961 Plazma kaynağı uygulaması

Bu gelişim süreci içinde, biryandan yeni esaslara dayalı kaynak yöntemleri ortaya çıkarken, bilinen yöntemlerin de geliştirilmesi ve otomatikleştirilmesi gerçekleştirilmektedir.

Günümüz kaynak tekniğinde, bu yöntemlerden Elektrik Direnç Kaynağı, Örtülü Elektrotla Kaynak, Tozaltı Kaynağı, Elektro-Curuf Kaynağı ve Koruyucu Gaz Kaynağı genel kaynak yöntemleri olarak kabul edilmektedir. Soğuk Pres Kaynağı, Elektron Işın Kaynağı ve Lazer ile kaynak gibi yöntemler ise özel uygulama alanlarına bağlı yöntemler olarak tanımlanmaktadır. [ 34 ]

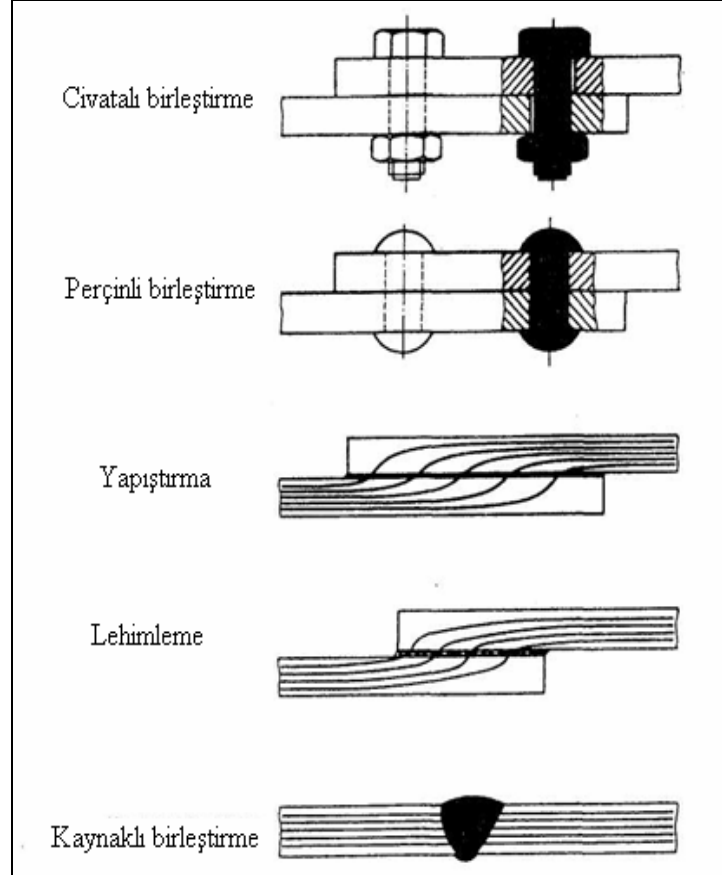
Kaynak yöntemleri; el ile kaynak ( manuel ), yarı mekanize kaynak, tam mekanize kaynak ve otomatik kaynak olmak üzere dört şekilde uygulanabilir.

El ile kaynakta, kaynak işlemi el ile kullanılan kaynak üfleci, elektrot pensesi veya kaynak torcu yardımıyla gerçekleştirilir. Yarı mekanize kaynakta, kaynak pensesi, kaynak üfleci ya da torcu kaynak bölgesine yarı mekanize bir ekipman ile iletilerek uygulama yapılır.



Tam mekanize kaynakta ise, kaynak pensesi, kaynak üfleci ya da torcu kaynak bölgesine tamamen mekanize edilmiş bir makine yardımı ile iletilir. Otomatik kaynak işleminde ise, gerek kaynak işlemi ve gerekse de iş parçasının değiştirilmesi gibi tüm ana ve yardımcı işlemler tam olarak mekanize edilmiştir.

[ 33 ]



Şekil 6.1 Endüstride metallerin birleştirilmesinde kullanılan yöntemler [ 33 ]

### 6.3. Kaynak Yönteminin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması

Bir ürünün ortaya çıkarılmasında, birçok imal yönteminin payı bulunmaktadır. Bu yöntemlerin seçiminde ve pay oranlarının saptanmasında, teknik, ekonomik ve olabilirlik yönlerinden bir değerlendirme yapılması gerekmektedir. [ 34 ]

### ***Kaynak – perçin***

- Kaynak, ağırlık ve işçilikten ekonomi sağlar,
- Kaynak, perçine göre daha iyi bir sızdırmazlık sağlar,
- Kaynaklı bağlantıların mukavemeti, perçinli birleştirmelerden daha yüksektir,
- Kaynak ile daha ucuz ve kolay konstrüksiyonlar gerçekleştirilebilmektedir. [ 33 ]
- Üretim aşamasında değişiklik yapılması gerektiğinde, perçinleme ile daha kolay sağlanır.

### ***Kaynak-lehim***

- Kaynaklı bağlantıların dayanımı daha yüksektir.
- Lehimde sıcaklık ana malzemenin ergime sıcaklığının altında olduğundan, ısısal bir sorun ortaya çıkmamaktadır.

### ***Kaynak-yapıştırma***

- Yapıştırma işleminde, birleştirilecek metale göre sıcak veya soğuk yapıştırıcılar seçilebildiğinden, metalsel malzemede ısısal bir sorun ortaya çıkmamaktadır.
- Yapıştırma yoluyla birleştirme, özellikle farklı malzemelerin birleştirilmesinde uygun bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. [ 34 ]

### ***Kaynak-döküm***

- Kaynakta model masrafı yoktur.
- Kaynak tamiratta üstünlük sağlar.
- Alışılmış kuma döküm yönteminde 6 mm' den ince parçaların eldesi zor olmasına karşın, kaynakta 6 mm' den ince parçalarla yapılan konstrüksiyonlar bir zorluk göstermez.
- Kaynak perçinde olduğu gibi, dökümde de ağırlıktan ekonomi sağlar.
- Yalnız çok sayıda yapılan üretimlerde, ekonomik açıdan döküm üstünlük gösterir. [ 33 ]

#### 6.4. Kaynağın Sınıflandırılması

Kaynak yöntemleri, uygulanan enerjinin şiddeti ve türüne göre ergitme kaynağı ve basınç kaynağı olmak üzere sınıflandırılabilir gibi, işlemin amacına göre de birleştirme ve doldurma kaynağı olmak üzere iki grup altında incelenebilir.

Ergitme kaynağı, iki veya daha fazla metalik malzemeyi yalnız sıcaklığın etkisi ile yerel olarak ısıtarak, gerektiğinde ek kaynak metali ile birlikte ergitip birleştirmektir.

Basınç kaynağı, iki veya daha fazla metalik malzemeyi ısıtmadan ya da ısıtarak ek kaynak metali kullanmadan yalnız basınç altında birleştirmektir.

Ergitme kaynağında, kaynak sıcaklığı birleştirilen malzemenin ergime sıcaklığından daha yüksektir; buna karşın basınç kaynağında metal ergimeden kaynak gerçekleştirilir.

Birleştirme kaynağı, iki veya daha fazla parçayı çözülemez bir bütün durumuna getirmektir.

Dolgu kaynağı ise, bir iş parçasının hacmindeki eksikliği tamamlamak veya hacmini büyütmek, ayrıca korozif veya aşındırıcı etkilere karşı korumak amacı ile, üzerine sınırlı olarak belirli özelliklere sahip malzeme yığmaktır.

Metalik malzemelere uygulanan ergitme kaynağı, ısı enerjisinin türüne ve kaynak bölgesinin havanın olumsuz etkilerinden korunma biçimine göre, birbirlerinden farklılık gösteren çeşitli yöntemler uygulanarak gerçekleştirilir.[ 33 ] Günümüz endüstrisinde en sık uygulanan ergitme kaynağı yöntemleri şunlardır:

- Döküm ergitme kaynağı
- Gaz ergitme kaynağı
- Elektrik ark kaynağı
  - Karbon elektrot ile kaynak
  - Çıplak tel elektrot ile kaynak
  - Örtülü elektrot ile kaynak

- Özlü elektrot 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 (MAG kaynağı)
      - Özlü tel elektrot ile MIG/MAG kaynağı
- Elektrik direnç ergitme kaynağı (Elektrocuruf)
- Elektron ışın kaynağı
- Lazer ışın kaynağı
- Termit Kaynağı

Endüstride yaygın kullanılan başlıca basınç kaynağı (katı faz kaynağı) yöntemleri de aşağıda sıralanmıştır:

- 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 [ 33 ]

## 7. TOZ METAL PARÇALARIN KAYNAĞI

Bir metalin kaynak edilebilirliği; kaynak bağlantısının çatlaksız ve istenen özellikleri içerecek şekilde gerçekleştirilebilmesidir. Kaynak edilebilme metalin kaynak edilme özelliklerinin yanı sıra kaynak şekli ve kalitesine de bağlıdır.

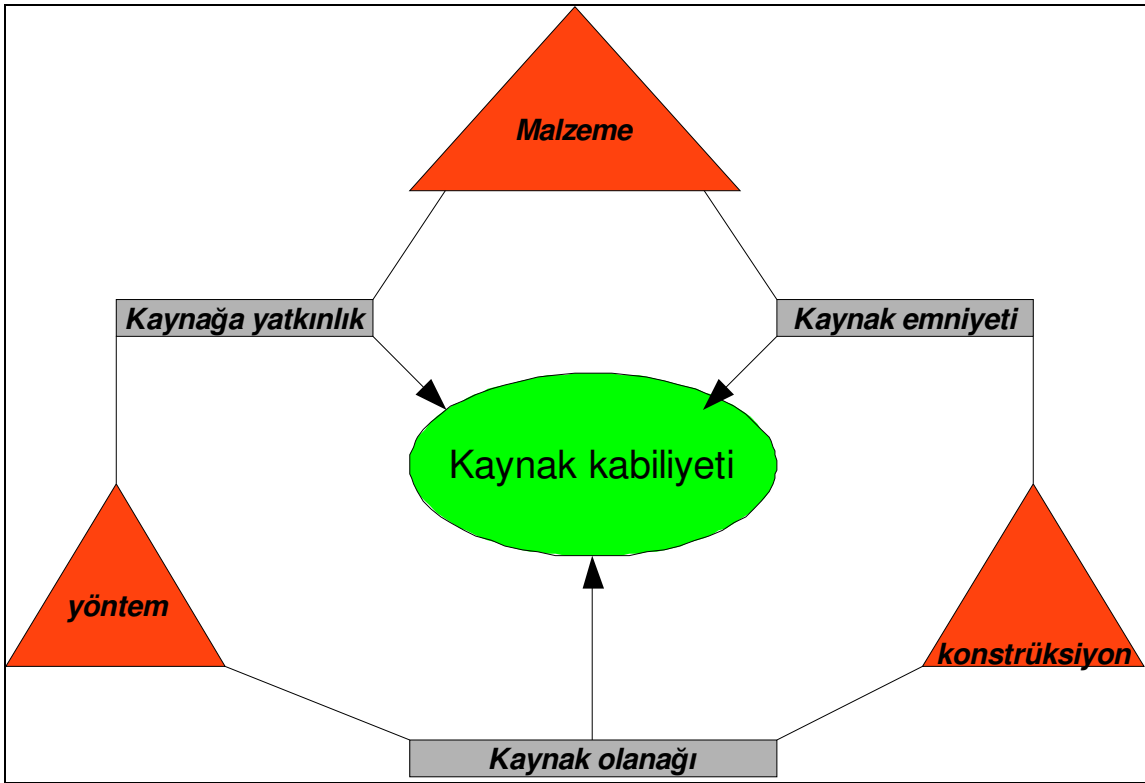
Her metal malzemenin kaynak işlemine uygunluğu aynı değildir. Kaynağa elverişlilik diye nitelenen bu teknolojik kavram kaynak işleminde seçilen malzeme, uygulanan yöntem ve konstrüksiyon ile kalınlık faktörlerinin bir arada düşünülmesiyle anlam kazanmaktadır. Bir metalsel malzeme, şayet ısının tesiri altında kalan bölgedeki özellikleri fazla miktarda tahribata uğramamışsa kaynağa uygun olarak kabul edilebilir. Bazı hallerde bu bölgenin özelliklerinin korunması bakımından özel önlem ve yöntemlere gerek duyulabilir; işte bu gibi durumlarda malzemenin kaynak kabiliyeti özelliğinin incelenmesi gerekir.

Kaynak kabiliyeti teriminin tanımlanması pek kolay değildir. Bu terim metalin ne dereceye kadar kaynak edilebilir olduğunu gözönüne aldığı gibi kaynağın kalitesiyle ilgili hususları da içerir. Kaynak dikişleri, gözenek, curuf veya oksit kalıntıları ve erime azlığı gibi az miktarda hataları hiç olmamasına nazaran daha sıkça içerirler.

Bunlar kaynağın yapımı sırasında kullanılan teknikle ilişkili hatalardır ve büyük ölçüde hataları en az düzeyde tutmayı hedeflemesi gereken kaynakçının becerisinin bir ölçüsüdür. Bazı metallerde hataları kontrol etmek çok daha zor olabilir. Örneğin otomobil gövdelerinin presle şekillendirilmesinde kullanılan saçların üretildiği çeliklerde gözenekten kaçınmak zordur. Benzer şekilde yüzeydeki oksit filminin giderilmesindeki yetersizliklerden kaynaklanan oksit kalıntıları alüminyumun kaynağında sürekli bir problem arz eder. Bununla birlikte bu işlem hataları metalin bir özelliği olmayıp bu nedenle kaynak kabiliyetine ait bir husus değildir. [ 35 ]

Diğer taraftan çatlaklar kaynak edilen malzemenin bileşimiyle yakından ilgilidir ve bunların oluşma riskleri kaynak kabiliyeti kavramı içinde önemli bir faktördür.

Gerçekten de bir çok şartnamede kaynak kabiliyeti çatlama eğilimi eş anlamlı olarak alınmıştır. Bununla beraber kaynak kabiliyetini tayin ederken özellikler de ilgileniriz. Bunlar çekme dayanımı gibi mekanik özellikler olabildiği gibi elektriksel veya korozyon direnci gibi kimyasal özelliklerde olabilir. Aşınma direnci de gözönüne alınabilen bir diğer faktördür. Özellikler gözönüne alınan temel unsurlar olduğunda kaynak kabiliyeti hakkındaki hükümler çelişkili olarak görülebilir. [ 35 ]



Şekil 7.1 Kaynak kabiliyetinin şematik olarak tanımlanması [ 35 ]

Kaynak kabiliyetinin uygulamaya yönelik tanımı şu şekilde yapılabilir: Kaynak kabiliyeti, bir kaynak bağlantısının çatlaktan arındırılmış ve verilen şartnamedeki özelliklere uygun olarak gerçekleştirilebilme kolaylığıdır. Milletler arası kaynak enstitüsü komisyonu kaynak kabiliyetini şu şekilde açıklamaktadır; Bir metalsel malzeme, verilen bir yöntem ile bir dereceye kadar kaynak edilebilir, uygun bir yöntem uygulanarak metalik bağlantı elde edildiği zaman bağlantı yerel özellikleri ve bunların konstrüksiyona etkisi bakımından belirlenmiş bulunan özellikleri sağlamalıdır.

Toz metal parçalar döküm, plastik şekil verme gibi diğer imal yöntemleriyle üretilen parçalardan farklıdır. En önemli fark ise porozitedir. Klasik malzemelerin kaynağında etkili parametrelere ilave olarak toz metal parçalarda porozitenin etkisi de dikkate alınmalıdır.

Porozite malzemenin ısı iletkenliği, ısı genişmesini ve sertleşebilirliğini ve dolayısıyla da kaynak edilebilirliğini etkiler. Kaynak ısısı ile ısınan parçalar genişir ve soğuma sonunda tekrar eski boyutlarına döner.

Kaynak esnasında eriyik ilave metalin gözeneklerini doldurması sonucu gözeneklilik oranı düşer ve ısı etkisi altındaki bölgede çekme ve büzölmeler artar. Bu da geçiş bölgesinde çatlak oluşma eğilimini arttırır. Gözeneklerin ısı yalıtkanlık yapmaları, toz metal parçaların kaynağındaki ısı iletkenliğini düşürerek soğumayı yavaşlatır. Kaynak bölgesinde artan yoğunluk sertleşebilirliği arttırır ve çatlaklara sebebiyet verir. Bunun yanı sıra kaynak özelliklerini iyileştirmek için kaynak işleminden önce birtakım hazırlıklar yapılabilir. Kaynak bölgesinde bulunan gözenek içerisinde kalma ihtimali olan talaş partikülleri, metal oksit partikülleri, yağlayıcı ve soğutma sıvısı gibi solüsyon kalıntıları, grafit ve yabancı toz partiküllerinin elemine edilmesi için bazı tedbirlerin alınması ve kaynak öncesi hazırlıkların yapılmasını gerektirir. [ 35,36,37 ]

Küçük tozlar sinterlemede daha fazla aktiviteye sahip olduklarından doğal olarak daha yüksek birleşme dayanımlarını sağlar. Bu nedenle, enjeksiyon kalıplanmış yapılarda sinterleme ile birleştirme çok başarılıdır. Sinterleme esnasında sıvı faz elde etmek için sert lehim tozu bağlantı yerine sürülebilir. Aksi takdirde, sinterlenmiş parçalar sinterlemeden sonra birleştirilebilirler. Aşağıdaki çizelgede belirtildiği gibi, birleştirme işlemlerinin tamamı toz metalurjisi ile üretilen malzemelere de uygulanabilir. [ 15 ]



Sinterlenmiş Parçalar ve Malzemeler için Birleştirme işlemleri [ 15 ]

**Yapıştırma:** Temiz yüzeyler arasında akrilik veya epoksi vasıtası ile oluşan düşük dayanımlı kimyasal bağ.

**Ark kaynağı:** Malzemeyi ergitmek için temas noktasında ergiyen (MIG) veya ergimeyen elektrotlarla (GTA) ark oluşturulur, metal ergir ve katılaşma öncesi parçaları bağlar.

**Sert lehim:** Parça ısıtılarak düşük ergime dereceli sıvı oluşturulur, sıvı kimyasal ve mekanik bağ oluşturmak için yaklaşık olarak 0,5 mm genişliğindeki boşluğa ve yüzeye yakın gözeneklere girer.

**Yayınım (difüzyon) kaynağı:** Birleştirilecek parçalar düşük yükler altında yüksek sıcaklığa ısıtılır, atom yayılımı neticesinde metalurjik bağ oluşturur; bu bağ sinter bağı olarak da bilinir.

**Elektron ışını kaynağı:** Temas eden malzemelerin yüksek enerjili elektron ışını kullanılarak bölgesel ergimesi ile oluşturulur.

**Sürtünme kaynağı:** Bağlanmayı sağlamak için hareketli veya dönen bir cismin atalet enerjisi sürtünme teması ile ısıya çevrilir.

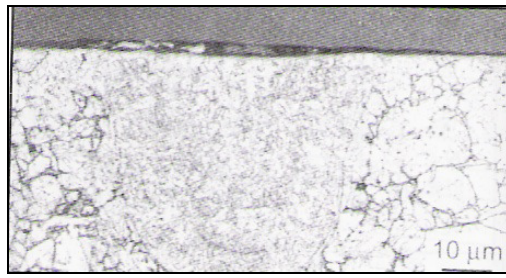
**Lazer kaynağı:** Yüksek enerjili lazerler kullanılarak temas halindeki iki parça arasında bağ oluşturmak için bölgesel ergime oluşturulur.

**Sıkı geçme:** Yaklaşık olarak % 0,2 oranında uyumsuzluğa sahip iki yakın toleranslı parça arasında sıkı geçme bölgesinde, bölgesel plastik deformasyon yoluyla oluşturulan mekanik bağlanma.

**Direnç kaynağı:** Basit şekiller arasındaki temas boyunca elektrik akımı geçirilerek ısıtma ve ardından baskı uygulanarak birleştirme.

Örnek olarak, sıkı geçme mekanik bağlantılardan yüksek enerji lazer ve elektron ışını ile birleştirmeye kadar sıralanabilir. Toz metal malzemelerin kaynağı veya birleştirilmeleri hadde veya diğer üretim yöntemleri ile üretilmiş malzemelerin kaynağından biraz farklı olmaktadır. Bu malzemelerin birleştirilme işleminde farklılığa sebep olan en önemli özellik gözenekliliktir. Gözenek hacmi ve nispi yoğunluk kaynak işlemini ve karakterini etkilemektedir. [ 38,39,40 ]

Gözenekli malzemeleri birleştirme özel dikkat gerektirir. Gözenekler; ısıl iletkenliği azaltır ve birleştirilen alandaki kaynak malzemesi veya sert lehimini uzaklaştırır. Sert lehim, yayınım kaynağı ve yapıştırma ile sağlanan bağların hepsi diğer birleştirme tekniklerinden daha zayıftır. Elektron ışını ve lazer kaynağı ise daha güçlüdür, ancak bu yöntemler gözenekli parçalarda çarpılmaya yol açar. Şekil 7.2 deki gibi sinterlenmiş iki yüksek yoğunluklu paslanmaz çelik bileşenler arasında lazerle oluşturulmuş bağın kesiti görülmektedir. Bağ, döküm-dövme malzemeler arasında olabilecek bağa benzemektedir. Fakat birleştirme üzerinde güçlü gözenek etkisi aşağıdaki gibidir.



Şekil 7.2 Lazer kaynağı ile birleştirilmiş sinterlenmiş paslanmaz çelik parçaların metalografik kesiti

Gözenek miktarının % 8' in altında olduğu durumlarda sinterlenmiş ve döküm-dövme malzemelerin birleştirme işlemleri arasında büyük farklılık görülmez.

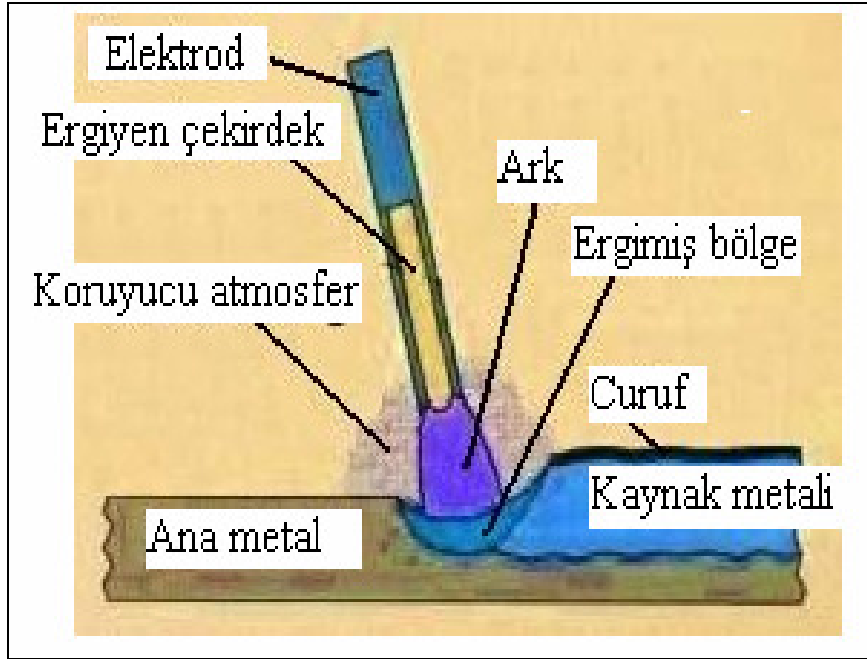
Gözenek miktarının % 8-20 arasında olması durumunda, kaynak ve sert lehim teknikleri kullanılabilir. Ancak gözeneklerin bağ yapıcı malzemeyi çekmesini önlemek için ilave dolgu malzemesi kullanılmalıdır. Gözenek miktarının % 20'nin üzerinde olması durumunda, sert lehim ve kaynak gibi ergiyik metal birleştirme teknikleri çarpılmalara yol açtığı için kullanılmamalıdır.

Toz metal parçaların kaynağında katı hal ve ergitme kaynaklarının başarılı bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Yoğunluğu  $6,5 \text{ gr / cm}^3$  'e kadar olan parçaların genellikle katı hal birleştirme yöntemleri ile yapıldığı,  $6,9 \text{ gr / cm}^3$  yoğunluktaki parçaların hem ergitmeli hem de katı hal kaynak yöntemleri ile birleştirilebildiği bilinmektedir. Yüksek yoğunluktaki parçalar ise ( $>7,0 \text{ gr / cm}^3$ ) Tungsten inert gaz ( TIG ), metal inert gaz ( MIG ), örtülü elektrot ile ark kaynağı gibi ergitmeli yöntemler ile başarılı bir şekilde kaynatılabilmektedir. [ 41 ]

## 8. DENEYSEL ÇALIŞMADA UYGULANACAK KAYNAK YÖNTEMLERİ

### 8.1. Örtülü Elektrot ile Ark kaynağı

Örtülü elektrot ark kaynağı, kaynak için gerekli ısının, örtü kaplı tükenen bir elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı, elle yapılan bir ark kaynak yöntemidir. Elektrodun ucu, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden örtü maddesinin yanması ve ayrışması ile oluşan gazlar tarafından korunur. Ergimiş örtü maddesinin oluşturduğu curuf kaynak banyosundaki ergimiş kaynak metali için ek bir koruma sağlar. İlave metal ( dolgu metali ), tükenen elektrodun çekirdek telinden ve bazı elektrotlarda da elektrot örtüsündeki metal tozları tarafından sağlanır. Örtülü elektrot ark kaynağı sahip olduğu avantajları nedeniyle metallerin birleştirilmesinde en çok kullanılan kaynak yöntemidir.



Şekil 8.1 Örtülü elektrot ark kaynağının şematik gösterimi

<http://www.weldingengineer.com/1stick.htm>

**Avantajları:**

- Örtülü elektrot ark kaynağı açık ve kapalı alanlarda uygulanabilir.
- Elektrot ile ulaşılabilen her noktada ve pozisyonda kaynak yapmak mümkündür.
- Diğer kaynak yöntemleri ile ulaşılamayan dar ve sınırlı alanlarda kaynak yapmak mümkündür.
- Kaynak makinesinin güç kaynağı uçları uzatılabildiği için uzak mesafedeki bağlantılarda kaynak yapılabilir.
- Kaynak ekipmanları hafif ve taşınabilir.
- Pek çok malzemenin kimyasal ve mekanik özelliklerini karşılayacak örtülü elektrot türü mevcuttur. Bu nedenle kaynaklı birleştirmeler de ana malzemenin sahip olduğu özelliklere sahip olabilir.

**Dezavantajları:**

- Örtülü elektrot ark kaynağının metal yığıma hızı ve verimliliği pek çok ark kaynak yönteminden düşüktür. Elektrotlar belli boylarda kesik çubuklar şeklindedir, bu nedenle her elektrot tükendiğinde kaynağı durdurmak gerekir.
- Her kaynak pasosu sonrasında kaynak metali üzerinde oluşan curufu temizlemek gerekir.
- Sürekli elektrot değişimi gerektirdiğinden zaman kaybının oluşması

**8.1.1. Çubuk Elektrotlar**

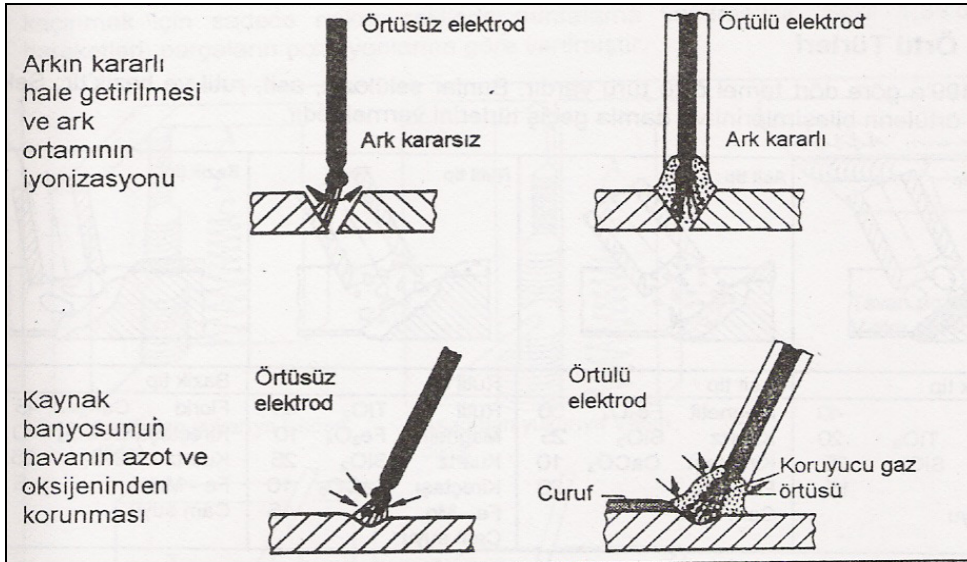
Günümüzde örtülü çubuk elektrotlar kullanılmakta olup, çıplak örtüsüz elektrotlar terkedilmiştir. Elektrotlar mekanik veya hidrolik tahrikli ekstrüzyon preslerinde üretilir. Bağlayıcı olarak camsuyu kullanılır. Presten çıkan elektrotlar bir kurutma fırınında kurutulur. Elektrotların örtüleri ince, orta kalın veya kalın olabilir.

### 8.1.2. Örtünün Amacı ve – Etkileri

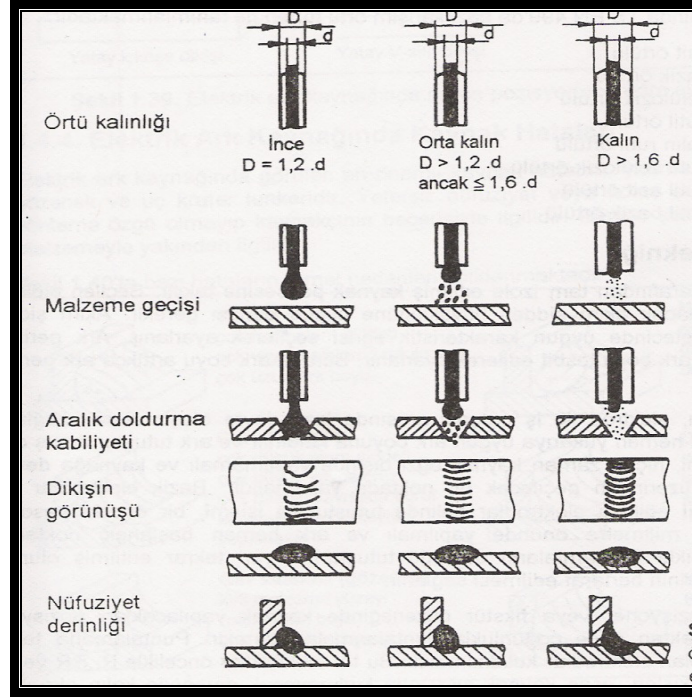
Elektrot örtüsünün görevleri Çizelge 8.1 de verilmiştir.En önemli görevleri Arkın tutuşturulmasını ve sürdürülmesini sağlamak, curuf ve koruyucu gaz oluşturarak kaynak banyosunu çevre atmosferden korumak ve metalurjik olarak etkilemektedir.Şekil 8.2 de ve Şekil 8.3 de ise elektrot örtüsünün görev ve fonksiyonlarıyla ilgili şematik bilgiler verilmiştir.

Çizelge 8.1 Elektrot örtüsünün görevleri

Arkın iletkenliğini iyileştirmek için : daha kolay tutuşma sağlar;-daha iyi kaynak özellikleri oluşturur.
Bir curuf oluşturarak : damla büyüklüğünü etkiler ; - ark içindeki damlaları ve kaynak banyosunu zararlı etkilerden korur; - katılaşılan banyoya form verir; - hızlı katılaşmayı önler
Bir koruyucu gaz örtüsü oluşturur: organik maddelerden ; -karbonatlardan (örneğin $CaCO_3$ )
Deoksidasyon ve bazen alaşımlama etkisi yapar.



Şekil 8.2 Elektrot örtüsünün görevleri



Şekil 8.3 Elektrot örtüsünün kalınlığının etkileri

### 8.1.3. Örtü türleri

TS EN 499' a göre dört temel örtü türü vardır. Bunlar selülozik, asit, rutil ve baziktir. Şekil 8.4 ' de bu örtülerin birleşimini ve damla geçiş türlerini vermektedir.

Selülozik tip	Asit tip	Rutil tip	Bazik tip
<b>Selülozik tip</b>	<b>Asit tip</b>	<b>Rutil tip</b>	<b>Bazik tip</b>
Selüloz 40	Magnetit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 50	Rutil TiO <sub>2</sub> 45	Florid CaF <sub>2</sub> 45
Rutil TiO <sub>2</sub> 20	Kuartz SiO <sub>2</sub> 25	Magnetit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 10	Kireçtaşı CaCO <sub>3</sub> 40
Kuartz SiO <sub>2</sub> 25	Kireçtaşı CaCO <sub>3</sub> 10	Kuartz SiO <sub>2</sub> 25	Kuartz SiO <sub>2</sub> 25
Fe-Mn 15	Fe - Mn 20	Kireçtaşı CaCO <sub>3</sub> 10	Fe - Mn 5
Cam suyu	Cam suyu	Fe - Mn 15	Cam suyu
		Cam suyu	

Şekil 8.4 Önemli örtü türlerinin analizleri ve damla geçişleri

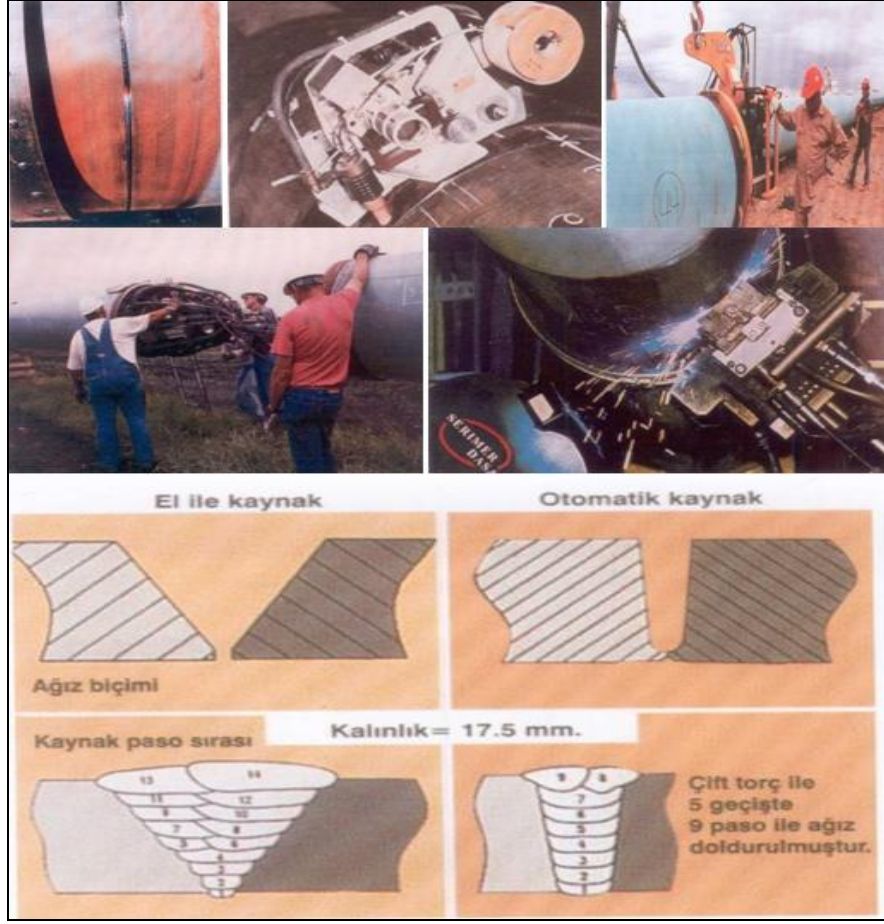
1. Tersane uygulamalarında yoğun kullanım alanına sahip bazik elektrotların en önemli özelliği düşük hidrojen içeriğine sahip olmalıdır. Sahip olduğu yüksek mekanik özellikleri, darbeye yüksek dayanım göstermeleri, dinamik zorlamalarda istenilen teknik özellikleri göstermesi nedeniyle tersanelerde ilk kullanılan kaynak yöntemidir. Bazik elektrotlar kullanılmadan önce kesinlikle 300 °C' lik fırınlarda kurutulmalı ve 150 °C' lik bekletme fırınlarına alındıktan sonra termoslarla sıcak olarak kullanılmalıdır. Bazik elektrot tersane uygulamalarında genellikle; armuz-sokra kaynaklarında, foundation, menhol, boru birleşimlerinde ve v.b. çelik tekne-teçhiz kaynaklı imalatlarında kullanılır.

2. Rutil elektrotlar örtüsünün ağırlığının büyük bir kısmını titanyum oksit geri kalanını ise feldispat, kuarz, ferro-manganez ve bağlayıcı olarak da sodyum veya potasyum ihtiva eder. Curuf kaynaktan sonra kolay kalkar, çabuk katılır, gayet yumuşak bir ark, sakın bir çalışma sağlar ve sıçrama kayıpları azdır. Genellikle kaynak dikişlerinde ortaya çıkan kaynak dış görünüşünde oluşan hataların ve saç-profil yüzeyinde oluşmuş olan haddeleme hatalarının tamir yöntemlerinde kullanılırlar.

3. Demir tozlu elektrotlar ise örtüsünün içeriğinde yüksek oranda demiroksit bileşikleri içerdikleri için bu ismi almışlardır. Kaynak esnasında ergimiş elektrodun geçişi damladan ziyade, bir akış halindedir. Düz görünümlü ve ince dikişler verir. Tersane uygulamalarında manuel (elle) kullanıldıkları gibi gravite elektrot (5 mm x 450 mm) bu iş için özel olarak üretilmiş alternatif akımla çalışan makinalarla, düşük alaşım (A Grade) profillerinin, sitifinerlerin köşe kaynaklarında kullanılır.

4. Selülozik elektrotların örtüsünün içeriğinde yüksek oranda selüloz ve diğer organik bileşikler mevcuttur. Aralık doldurma kabiliyetinin iyi olması ve nüfuziyetinin yüksek olması nedeniyle özellikle boruların kök pasolarında kullanılır. Bunların yanısıra asidik, demirdışı, karbon, derin nüfuziyetli ve kaplama elektrot tipleri de mevcuttur. [www.nebikayhan.bz.tc/whats\\_new.html](http://www.nebikayhan.bz.tc/whats_new.html)





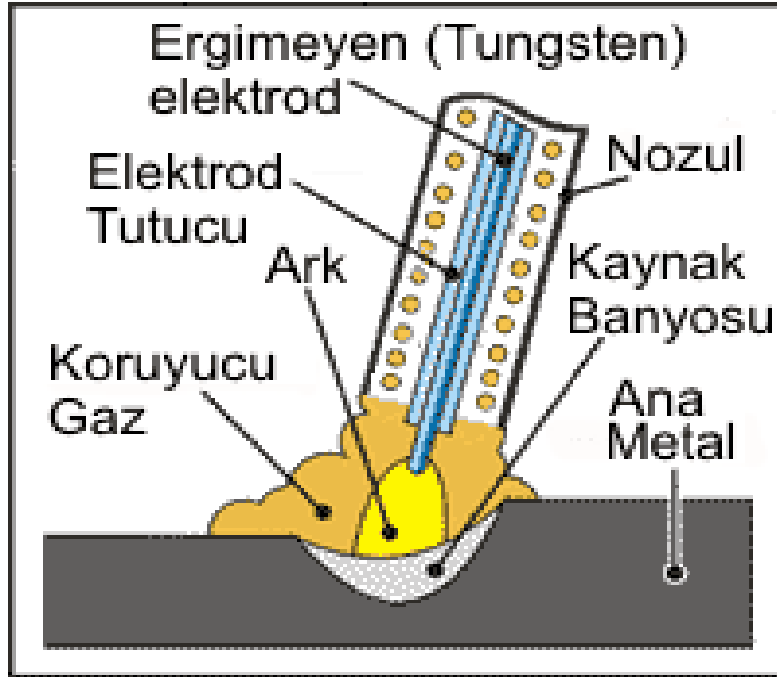
Şekil 8.5 Örtülü elektrot ark kaynağında el ve otomatik kaynak pasolarının gösterilişi



## 8.2. Tungsten Inert Gaz (TIG) Kaynağı

Şüphesiz TIG kaynağının en göze çarpan özelliği, Tungsten elektrodun erimeyen bir elektrot oluşudur. Bu elektrot vasıtasıyla herhangi bir metal transferi olmadığından, sadece esas malzemeyi eritmek amacıyla kullanılır. Kaynak dikişi yüzeyini arttırmak, bir kaynak ağzını doldurmak veya bir T bağlantısında iç köşe kaynağı oluşturmak için ilave metal gerekiyorsa, kaynak banyosuna ayrı bir dolgu teli yoluyla ilave yapılabilir.

Bu düzeneğin kaynakçıya verdiği kontrol derecesi, TIG yöntemini saç malzemelerin kaynağı için özellikle uygun hale getirir. Kaynak her pozisyonda gerçekleştirilebilir ancak gerekli beceri seviyesi çok yüksektir.



Şekil 8.6 TIG kaynağının şematik gösterimi

([http:// www.anatamir.com/kaynak/kaynaksanati.htm](http://www.anatamir.com/kaynak/kaynaksanati.htm))

Yöntem, düşük yığıma hızı nedeniyle yüzey kaplama işlemlerinden ziyade, küçük ve daha hassas tamir işlerinde tercih edilmektedir. ( Metals Handbook, Vol.6, 1971 ) Örneğin, kalıp tamiri gibi dar toleranslar altında yapılacak olan bir tamir işleminde, düşük nüfuziyet derinliği ve dar ITAB bölgesi elde etmek amacıyla tercih edilen ve diğer özel kaynak yöntemlerine göre daha ekonomik olan bir yöntem olmaktadır. ( Preciado, Bohorquez, 2006 )

### 8.2.1. Kaynak Akımı

Alüminyum dışında tüm metaller için elektrodun güç ünitesinin negatif kutbuna bağlandığı doğru akım kullanılır. Bu düzenleme kararlı ark verir. Parça yüzeyinde toplam yaklaşık % 60' ı oluşur. Böylece ısının büyük bir kısmı esas metali eritmek için kullanılabilir. Toplam ısının % 10' u radyasyon ile kaybolur sadece % 30' u elektrotdan açığa çıkar, bu nedenle elektrodu erime sıcaklığının (3370 °C) altında tutmak göreceli olarak daha kolaydır. Arkın elektrot ucundan çalışmasını teşvik etmek için elektrodun uç kısmı sivriltilir.

Bu arkın kararlılığını artırır ve kaynakçıya ark boyunu sabit tutmada yardımcı olur. Alüminyum ve alaşımları önemli bir problem arz eder. Esas metal eridiğinde oksit tabakası, erime noktası alüminyumunkinden önemli derecede yüksek olduğundan, erimemiş halde kalır.

TIG kaynağında herhangi bir dekapan olmadığından bu oksit tabakası arkın etkisiyle uzaklaştırılmalıdır. Bu olay sadece elektron akışı kaynak banyosundan elektroda doğru ise, yani elektrot pozitif kutba bağlı ise gerçekleşir. Bu şartlar altında alüminyumda en önemli altın alüminyumda oksitten arındırılmış kaynak dikişleri üretilebilir. Bunun en önemli sakıncası elektrodun aşırı ısınmasıdır; nedeni ise toplam ısının büyük kısmının elektrotta oluşmasıdır. Yani bu, yukarıda elektrot negatif kutba bağlı iken açıklanan durumun tersidir

Bu ise çok sayıda zorluklar çıkardığından, elektrot pozitif pratikteki uygulamalarda nadiren kullanılır. Bu sorunun çözümü, bir alternatif akım arkı kullanmakta yatmaktadır. Elektrodun pozitif olduğu yarım çevrimler sırasında oksit erimiş alüminyumdan dışarıya doğru saçılır. Negatif yarım çevrimler sırasında kaynak banyosunda ısı üretilirken elektrot soğur.

### 8.2.2. Elektrotlar

Saf tungsten elektrotlar başarılı sonuçlar vermekle birlikte arkın tutuşmasını ve kararlılığını iyileştirmek için ya torya ( toryum oksit ) veya zirkonya ( zirkonyum oksit ) katkılı tungsten elektrotların kullanılması adet olmuştur. Torya katkılı elektrotlar doğru akımı kaynağı için kullanılırken zirkonya katkılı elektrotlarda alternatif akım tercih edilir.

**Saf tungsten elektrotlar** : Bu elektrotlar düşük akım şiddetlerinde ve ark daha kararlı olduğu için alternatif akımda kullanılır. Maliyet olarak en ucuz elektrotlardır.

**Tungsten – toryum elektrotlar** : Bunlar yüksek akım şiddetlerine dayanıklıdır. Arkın başlaması kolaydır ve ark kararlıdır. Bu elektrotlar çeliklerin doğru akım düz kutuplamalarında tercih edilir.

**Tungsten – zirkonyum elektrotlar** : Bu elektrotlar alüminyum, magnezyum ve alaşımlarının düşük ve orta akım şiddetlerindeki elle yapılan ( manuel ) kaynaklarında tercih edilir.

**Seryum elektrotlar** : Yüksek elektron yayılımı ve iyi nüfuziyet sağlayan, aşınma dirençli elektrotlardır.

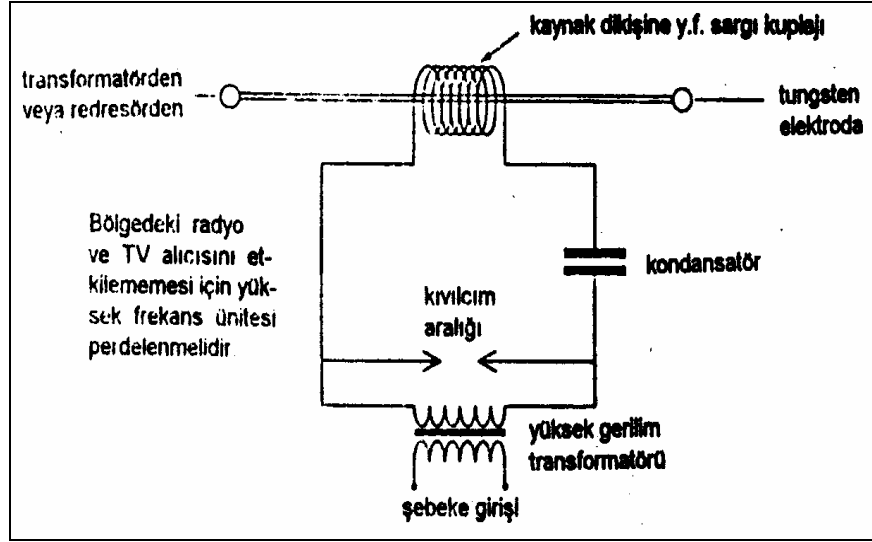
Çizelge 8.2 Elektrot çapı akıma uygun olacak şekilde seçilir

Elektrot çapı (mm)	Maksimum akım (Amper)	
	Toryalı(d.a)	zirkonyalı (a.a)
1,2	70	40
1,6	145	55
2,4	240	90
3,2	380	150
4,0	440	210

### 8.2.3. Arkın Tutuşturulması

Ark elektrik ark kaynağında olduğu gibi elektrodu levhaya temas ettirmek suretiyle tutuşturulamaz. TIG sisteminde bu tungstenin esas metalle kirlenmesine ve erime noktasının düşmesine neden olur. Elektrot ve iş parçası arasındaki aralıktan kaynak akımının akmasına imkan veren bir ark tutuşturma metodu sisteme dahil edilmelidir. Bu, aralıktaki gazın iyonize olmasını gerektirir.

İyonizasyon, yüksek frekanslı (y.f.) deşarj injeksiyonu yoluyla veya bir yüksek gerilimli kıvılcımla sağlanır. Bir y.f. ünitesi, temelde bir transformatör, bir kondansatör ve bir kıvılcım aralığından oluşmuş bir ayarlanabilir osilatör devresidir.



Şekil 8.7 TIG kaynağı için yüksek frekanslı ark tutuşturma ünitesi

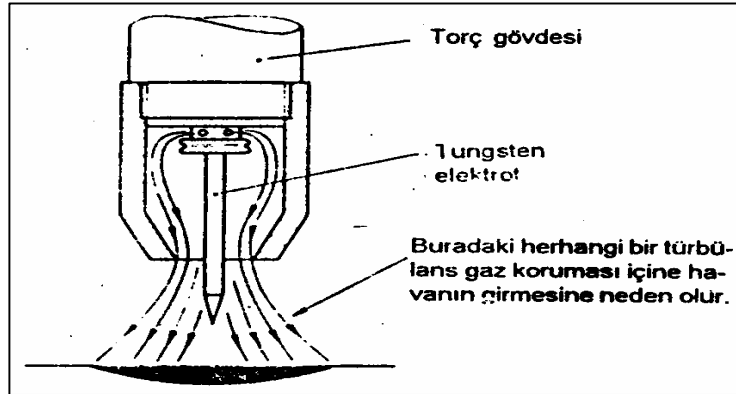
Ayarlanabilir devre, 300 Khz ve 3 Mhz arasında bir frekansta çalışır. Kıvılcım başlatıcı, otomobil ateşleme devrelerinde bulunanlara benzer bir yüksek gerilimli sargı kullanır. Otomobildeki ateşleme bujisinin yerini burada ark aralığı almıştır. Aralıktaki gaz ya y.f. ile veya kıvılcım deşarjı ile iyonize olduktan sonra kaynak akımı akar ve ark tesis edilir. Doğru akımla Kaynakta ark tutuşturucu bu noktada devreden çıkartılabilir.

Diğer taraftan alternatif akımla kaynakta, akım negatiften pozitif ve pozitiften negatife doğru giderken sıfırdan geçtiği her an söner. Bu durumda arkın her bir saniyede 100 kez yeniden tutuşturulması gereklidir. Bu ise, ark tutuşturucu sistemin tüm kaynak işlemi sırasında sürekli bir şekilde çalışması gerektiği anlamına gelir.

#### 8.2.4. Koruyucu Gaz

TIG kaynağında koruyucu gaz olarak normalde saf argon kullanılır. Argon hem doğru akımda, hem de alternatif akımda iyi çalışır ve tüm kaynak edilebilir metallere uygundur. Kullanılan memeler, argonun akış özelliklerine uyacak şekilde tasarlanır ve böylece herhangi bir türbülans meydana gelmez. Bu kaynak banyosunun üstüne koruma sağlamakla birlikte, kök panosunun alt tarafı havayla temas etmeye devam eder ve hızla okside olabilir.

Bunun bir sorun olduğu hallerde bağlantının ters tarafından ikinci bir argon beslemesi sağlanır. Bunun bir sorun olduğu hallerde bağlantının ters tarafından ikinci bir argon beslemesi sağlanır. Boru kaynağında borunun iç kısmı argon gibi bir soy gazla doldurulur ( Şekil 8.8 ).



Şekil 8.8 TIG kaynağında gaz koruması

Helyum, argona alternatif diğer bir koruyucu gazdır. Bir tungsten arkı helyum ile korunacak olursa daha yüksek ark gerilimleri elde edilir. Bu ark boyunun artırılarak ark geriliminin artırılmaması ile karıştırılmamalıdır.

Verilen bir ark boyu için aralıktaki gerilim helyum ile yapılan korumada argon ile yapılan korumaya nazaran daha yüksektir. Sonuçta ısı girdisinde bir artma meydana gelir. Ve bu da yüksek ısı iletkenliğine sahip metallerin kaynağında iyileşme sağlar.

Verilen bir akımda nüfuziyet derinliği de yüksektir. Bu da daha yüksek kaynak hızları kullanılabilmesine olanak sağlar. Helyum argondan çok daha pahalı bir gazdır ve bu nedenle argonla karıştırılarak kullanılmaktadır. İki tip karışımın kolaylıkla temini mümkündür.

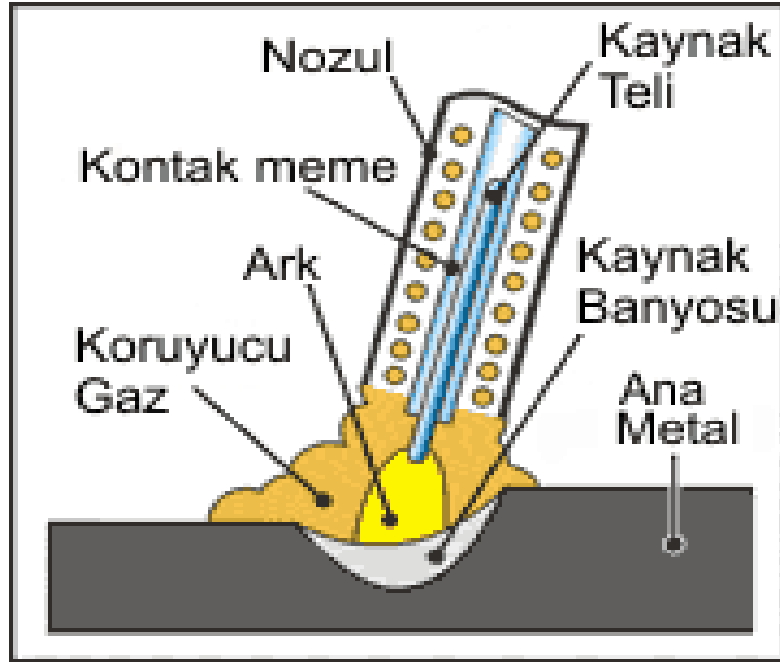
- Alüminyum ve bakır levhalar ve profiller için : % 75 Helyum - % 25 Argon,
- Alüminyum ve bakır saçlar için : % 30 Helyum - % 70 Argon,

Karıştırılmış gazlar saf argondan çok daha pahalı olmakla birlikte maliyet işlemden tasarruf yaparak dengelenebilir. Saf helyumun kullanılmasını gerektiren bir uygulama da kalın alüminyum levhaların kaynağıdır. Helyumla korunmuş arkın şiddeti bunun nüfuziyet özelliği ile birleşerek oksit filmini parçalar ve doğru akımın kullanılabilmesine imkan sağlar.

Paslanmaz çelik ve nikel alaşımlarında TIG yöntemi kullanıldığında, argon koruyucu gazına % 1 ile % 5 hidrojen ilave edilerek, kaynak hızları artırılabilir. Bu aynı zamanda daha derin bir nüfuziyet ve bitmiş kaynakta daha az okside olmuş yüzey verir. Gaz akış hızları gaz memesinin tasarımına ve bağlantının tipine bağlıdır, normalde bu hızlar saçların kaynağında 5 ile 7 lt/dak civarında olup daha kalın malzemeler için 10 lt/dak' ya kadar artırılabilirler.

### 8.3. Metal Inert Gaz ( MIG ) Kaynağı

Sürekli tel ile koruyucu atmosfer altında yapılan gazaltı kaynağı MIG (metal inter gaz), GMAW (gaz metal ark kaynağı) olarak tanımlanır. Sürekli tel ile gazaltı kaynağında, gerekli olan ısı enerjisi malzeme ile sürekli tel arasında oluşturulan elektrik arkıyla ortaya çıkar. Kaynak torcu, kaynak bölgesine ilave teli besler, aynı zamanda koruyucu gazı da kaynak bölgesine göndererek kaynak bölgesinin ve kaynak banyosunun havanın kötü etkisinden korunmasını sağlar. Gaz korumasına göre yöntemin adlandırılması değişir. Şayet soy gaz atmosferi altında bir kaynak yapılıyorsa MIG olarak adlandırılır



Şekil 8.9 MIG kaynağının şematik gösterimi

([http:// www.anatamir.com/kaynak/kaynaksanati.htm](http://www.anatamir.com/kaynak/kaynaksanati.htm))

MIG kaynağı, birçok halde elektrik ark kaynağının doğrudan rakibidir. Benzer uygulamalarda daha hızlı kaynak yapma imkanı vardır. Ancak pahalı ekipman ve elektrotlar kullanılır. Kaynakların kalitesi benzerdir ve ikisi arasındaki seçim sadece göreceli çalışma maliyetlerine göre yapılır. MIG kaynağı elektrik ark kaynağının uygun olmadığı saç metal endüstrisinde yeni çalışma alanları açmıştır.

Örneğin, sık sık elektrot değiştirmekten ve curuf gidermekten kaçınmanın önemli bir üretim faktörü olduğu otomobil gövdeleri üretiminde, bu yöntem önemli bir rol oynar. Kalın levhaların kaynağında, yüksek elektrot metali yığılma hızı üretim maliyetlerinin azaltılmasında yardımcı olur.

### 8.3.1. Elektrot Telleri

Örtünün mevcut olmayışı kaynak işleminde bir avantaj olmakla birlikte, buradan tüm alaşım elemanlarının ve oksit gidericilerin elektrot telinde mevcut olacağı anlamı çıkarılmamalıdır. Elektrot çapı 0,8 mm' den 1,6 mm' ye kadar değişir ve yüzeylerinde kirlenme olmaması gerektiğinden MIG kaynağı için özel şekilde üretilirler.

Çelik teller, kaynak metaline mukavemet veya korozyon direnci sağlamak için manganez ve krom, molibden ve nikel gibi diğer elementler ile alaşımlandırılır. Katılan alaşım elemanı miktarları, arktaki alaşım elemanı kaybını karşılamak amacıyla, esas metaldeki karşılıklarından biraz daha fazla tutulur.

Silisyum, elektrik ark kaynağında olduğu gibi, kaynak banyosunun oksijenini gidermek için kullanılır. Bu halde silisyum telin kendi içine katılmalıdır. Alüminyum bazı elektrotlara oksit giderici olarak katılır. Alüminyum oksijenle silisyuma nazaran daha yüksek bir hızla reaksiyona girer; ancak esas metalin kükürt içeriği kaynak metalinde alüminyum sülfür oluşturacak kadar yüksek ise, kaynak metalinin sürekliliğini azaltıcı bir etki yaratabilir.

Silisyum içeriği % 0,4' den % 0,9' a kadar değişir ve alüminyum katılmışsa bu genellikle % 0,15 civarındadır. Teller temas tüpünde daha iyi bir elektriksel temas sağlamak ve depoda bekletilmeleri sırasında korozyona uğrama riskini azaltmak için bakırla kaplanır.

Paslanmaz çelik, kaynak edilebilir alüminyum alaşımları ve diğer demir esaslı olmayan metaller için kullanılan elektrot telleri genelde esas metalin kimyasal bileşime sahiptirler. Ancak bunlar bakır kaplı değildir.



### 8.3.2. Özlü Elektrotlar

Elektrik ark kaynağı elektrotlarının tersine MIG kaynak tellerindeki alaşım elementleri sadece bu tellerin üretiminde başlangıç malzemesi olarak kullanılan ingotların imalatı sırasında ilave edilebilir. Bu alüminyum ve diğer demir dışı maddelerde önemli bir sorun oluşturmaz ancak çelikte çok yüksek maliyetlere neden olur. Çelik yapımı büyük tonajlarda imalat yapılması halinde ekonomik olur. Buna karşılık MIG kaynağı için tel üreticileri çok daha düşük miktarlarda malzeme kullanırlar. Tellerin bileşimi levha, sac v.s. için kullanılan genel çelik bileşimine nazaran farklıdır ve çelik üreticisi bu nedenle tel imalatı için çok az miktarda çelik üretmek zorundadır. Bu ise maliyetin artmasına neden olur. Son olarak MIG tellerinde kullanılan bazı çeliklerin küçük çaplara çekilebilmesi zordur.

Özlü elektrotlar bazı uygulamalarda bu probleme bir çözüm sağlar. Elektrotlar gerçekte içine de kapanın ve alaşım elementlerinin doldurulduğu ince uzun tüplerdir. Kaynak sırasında tıpkı elektrik ark kaynağı işleminde olduğu gibi kaynak banyosu içinde erirler. Elektrotlar basit bir tüp olabilir veya enine kesitteki metal miktarını arttırmak için merkezde kenetlenmiş şeritlerden üretilebilirler, elektrotların dış çapları 0,9 mm' den 3,2 mm' ye kadar değişebilir.

Oksit gidericiler ve alaşım elemanları sağlamaya ilave olarak dekapan yatay iç köşe pozisyonundaki köşe kaynaklarının profilinin şekillenmesine yardımcı olan bir curuf da oluşturulabilir. 10 mm mertebesinde ayak uzunluğuna sahip köşe kaynaklarının çıplak telle MIG kaynağında kontrol edilmesi güçtür.

Özlü elektrotlar bazı krom – molibden çelikleri, paslanmaz çelikler ve aşınmaya dayanıklı çelikler dahil olmak üzere bir grup çelikte kullanılmaya uygundur.

Özlü elektrotla kaynakta saf CO<sub>2</sub> gazı geniş ölçüde kullanılır. Pozisyon kaynağında bir uygun küçük çaplı elektrotla birlikte Argon - % 20 CO<sub>2</sub> gaz karışımının kullanılması daha iyi sonuçlar verir.

Kendinden korumalı elektrotlarda mevcuttur ve bunlar şantiye işlerinde özellikle yararlıdırlar. Elektrodun çekirdeği gaz üreten bileşikler içerir ve bu dekaparla birlikte arkı koruyarak ilave gaz koruması ihtiyacını ortadan kaldırır.

### **8.3.3. Koruyucu Gazlar**

MIG sisteminde koruyucu gaz esas metale uygun şekilde değiştirilir. Belli bir ölçüye kadar bu maliyeti düşürmek için yapılmaktaysa da genelde amaç daha iyi ark çalışması elde etmektir. Burada memeler, kaynak alanı üzerinde koruyucu gazın türbülanslı akımına engel olacak şekilde tasarlanmalıdırlar.

Akış hızları 12 ile 20 lt/dk olup bu değerler TIG kaynağındaki 4 ile 6 lt/dk lık akış hızı değerinden oldukça yüksektirler. Bu yöntemin isminin nasıl verildiğini açıklayabileceğimiz uygun bir noktaya gelmiş bulunuyoruz. Bu yöntemin gelişmesinin başlangıç safhalarında MIG kaynağı yarı otomatik kaynak olarak adlandırılmıştır.

Bunun nedeni elektrik ark ve TIG kaynağı yöntemlerinin aksine hem elektrot beslemesinin hem ark uzunluğunun kaymak ekipmanı tarafından kontrol edilmesiydi. Aynı zamanda işlemin belirgin bir özelliği de soygazla korunmasıydı. Yöntemin geliştirildiği A.B.D. de bunu tungsten elektrotla ark kaynağından ayırt edebilmek için bu yönteme gaz metal ark kaynağı adı verilmiştir. O sıralarda kullanılan yegâne gaz argondur ve bu nedenle İngiltere’de metal soy gaz (MIG) adı uyarlandı. Çizelge 8.3 de ki gazların listesi koruma için aktif gazların da kullanıldığını göstermektedir. Bu Amerikalıların kullandığı gaz metal ark kaynağı teriminde herhangi bir soruna neden olmaz. Ancak MIG teriminin kullanılması halinde ortaya bir anormallik çıkarır. Bu problemi yenmek için bir başka terim metal aktif gaz (MAG) önerilmişse de bu halen, özel olarak hangi tip koruyucu gazın kullanıldığını belirtmek yerine genel olarak yöntemi belirtmek amacıyla olan biri için sıkıntılara neden olmaktadır.

Bu bakımdan koruyucu gazın tipiyle ilgili değilsek her iki kısaltmayı da bir arada kullanmak yani yöntemi MIG/MAG şeklinde ifade etmek yararlı olur.

Çizelge 8.3 MIG/MAG kaynağı için koruyucu gazlar

<b>Metal</b>	<b>Koruyucu gaz</b>
Alüminyum ve aşamaları	Saf argon (MIG)
Nikel ve alaşımları	Saf argon (MIG)
Bakır	Argon+Helyum (MIG)
Paslanmaz çelik	Argon + % 5 Oksijen (MIG)
Düşük karbonlu çelik ve Karbon – manganez çeliği	Karbondioksit veya Argon + % 5 ila % 20 CO <sub>2</sub>
% 1 ila %2 Krom içeren çelikler	Argon + %5 ila %20 CO <sub>2</sub> Veya Argon + % 5 O <sub>2</sub>
% 2'den fazla Krom içeren çelikler	Argon + %5 O <sub>2</sub>

Saf argon, alüminyum ve alaşımları, nikel ve alaşımları ve birçok demir dışı metaller için kullanılır. Argona katılan helyum ısı girdisini artırır ve bu karışım bakır gibi yüksek ısı iletkenliğine sahip metallerin kaynağında öncelikli olarak kullanılır.

Paslanmaz çelikler de dâhil olmak üzere demir esaslı metallerde saf argon altında çalışan MIG arkları kararsız olma eğilimi gösterirler. Ark atmosferindeki düşük oksijen içeriği, aynı zamanda banyo yüzeyinin dikbükey olmasına ve banyonun kaynak ağızlarından uzaklaşarak bu bölgede çukurlaşma veya “ yanma oluğu “ adı verilen hatanın oluşmasına neden olur. Koruyucu gaza % 1 ile 5 oksijen ilavesi problemi ortadan kaldırır. Daha sonra bu oksijen elektrot telindeki silisyumla birleşerek erimiş banyonun yüzeyinde yüzen camsı bir curuf oluşturur Düşük karbonlu çeliklerin ve karbon – manganez çeliklerin kaynağında koruyucu gaz olarak CO<sub>2</sub> de kullanılır ( CO<sub>2</sub> kaynağı ). Bu gaz kimyasal olarak aktif olmakla birlikte ark içinde oksijen ve karbonmonoksite parçalanır.

Elektroda eklenen ekstra silisyum oksijeni giderek kaynak banyosunun erimiş çelikle reaksiyona girmeyen karbonmonoksit örtüsü altında kalmasını sağlar. Argon ve karbondioksit ( % 5 ile 20 ) karışımı da kullanılmaktadır.

Çeliklerin kaynağında koruyucu gaz olarak; argon + % 5 oksijen, argon + CO<sub>2</sub> ve saf CO<sub>2</sub> arasında yapılacak seçim pek kolay değildir ve bu seçim ark davranışı, sıçrama miktarı ( yani arktan erimiş damlalar halinde fırlatılan metal miktarı ) kaynak profili ve nüfuziyeti ve maliyetler kıyaslanarak yapılır. Maliyet; gazın nasıl temin edildiğine yani münferit basınçlı gaz tüpleri mi yoksa büyük sıvılaştırılmış gaz tankları mı olduğuna, satın alınan miktara ve gazın önceden karıştırılmış halde mi temin edildiğine yoksa kullanıcının fabrikasında mı karıştırıldığına bağlı olarak değiştiğinden, maliyet konusu pek açık değildir.

Karbondioksitin tel başına veya argonla karıştırılarak kullanımı krom içermeyen çeliklerin kaynağı ile sınırlandırılmıştır. Bu gaz krom içeren çeliklerde kullanıldığı takdirde CO<sub>2</sub> kromla reaksiyona girer krokarbür oluşturur ve bu alaşım elemanının çelik içindeki etkin miktarı azalır. Koruyucu gazlar genellikle ticari isimler altında satılırlar. Elektrik ark kaynağı elektrotların da olduğu gibi, ticari isimlerde gaz bileşiminin belirtilmesi gerekli olmadığından bir üreticinin gazı ile diğerini kıyaslamak güç olabilir. Bu nedenle, Avrupa'da harf ve sayıdan oluşan kodlamayı esas alan bir sınıflandırma taslağı verilmiştir. Gazlar kimyasal davranışlarını yansıtan gruplara ayrılmışlardır. Gazlar soy olabilirler veya oksitleyici veya redükleyici bir atmosfer oluşturabilirler.

Çizelge 8.4 Gazların sınıflandırılması (Pr En 439)

Grup Kodu	Özellikleri
R	Redükleyici gaz karışımı
I	Soy (Inert) gaz karışımı
M	Oksijen, karbondioksit veya her ikisini de içeren oksijenleyici gaz karışımı
C	Yüksek derecede oksitleyici karışımlar
F	Aktif olmayan gaz: Bu sınıflandırma kimyasal açıdan kesinlikle aktif olan ancak arkta soy gaz gibi davranan gazlar için kullanılmaktadır (örneğin, bazı bakır malzemelerin kaynağında kullanılan azot gazı)

#### 8.3.4. Kaynak Akımı

Ticari uygulamalar için MIG – MAG kaynağında elektrot pozitif kutupta olduğu doğru akım kullanılır. Normalde iki farklı akım aralığı kullanılmaktadır. Yüksek akım aralığı 300 A' den daha yüksek akımları kapsar ve levhaların oluk ve iç köşe kaynak pozisyonlarında kullanılır. Bu durumda ısı girdisi, pozisyon kaynağı için çok yüksektir ve nüfuziyeti saçların el ile kaynağı için çok fazladır. Söz konusu bu uygulamalar için hızla katılan küçük bir kaynak banyosu oluşturmanın mümkün olduğu ve daha az nüfuziyeti sağlayan düşük akım aralığı ( 50 - 100 A ) pozisyon kaynağı göz önüne alındığında alüminyum yukarıda belirtilen hususta bir aracılığa sahiptir. Alüminyumdaki yüksek akım bölgesi 220 A den itibaren başlar ve düşey ve tavan kaynaklarında kullanılabilir. Bu pozisyonlarda kaynak yapılırken kaynak banyosu yüzey üzerinde oluşan oksit tabakası yoluyla yerinde tutulur. Aynı zamanda alüminyum yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğundan, ısı hızla erime bölgesinden dışarıya doğru iletilir.

Ark, yüksek akımlarda çok kararludur. Damllar elektrodun ucundan düzenli bir şekilde ayrılırlar ve ark içinde elektrodun eksenini doğrultusunda etki eden elektro manyetik kuvvetlerle kaynak banyosuna iletilirler. Bu olaya sprey tipi iletim denir. Argon gazı ile korumada damllar kaynak yüzeyine erişmeden önce elektrottan tamamen ayrılırlar; diğer taraftan CO<sub>2</sub> ile korumada damla kopmadan çok ileri hale gelir ve kaynak banyosuna temas ederek bir kısa devre yaratır. Bu kısa devre esnasında akımda meydana gelen hızlı yükselme, küçük damlacıkların ark bölgesinden sıçrama şeklinde fırlamaları sonucunu doğurur.

## 9. DENEYSEL ÇALIŞMA

Malzeme üretimindeki gelişmeler farklı uygulama alanları için farklı malzemeler geliştirilmesini sağlamıştır. Bu farklı özellikteki malzemelerden biriside toz metalurjisi ile üretilen malzemelerdir. T/M ile üretim yöntemi, istenilen kimyasal kompozisyonu verecek şekilde karıştırılmış metal tozlarının, oda sıcaklığında, üretilecek parça şekli ve boyutlarına sahip kalıp içinde preslenerek şekillendirme ve ardından yüksek sıcaklıkta sinterleme ile gerçekleştirilen bir imalat yöntemidir. TM malzemeler haddeleme, döküm gibi geleneksel imalat yöntemleri ile üretilen malzemelere göre bazı değişik ve avantajlı özelliklere sahiptir. Bu avantajlar, üretimi zor olan alaşımları daha kolay üretme, karmaşık şekilli parçaların imalat kolaylığı, yoğunluk kontrolü ve ekonomiklik gibi özelliklerdir.

Bununla birlikte TM malzemelerin kaynağı veya birleştirilmeleri hadde veya diğer üretim yöntemleri ile üretilmiş malzemelerin kaynağından biraz farklı olmaktadır. Bu malzemelerin birleştirilme işleminde farklılığa sebep olan en önemli özellik gözenekliliktir. Gözenek hacmi ve nispi yoğunluk kaynak işlemini ve karakterini etkilemektedir. Gözeneklilik, malzemenin ısı iletkenlik, sertleşebilirlik özelliğini değiştirmekte ve yapı içerisinde kalan oksit ve impürütelerden dolayı kaynak işlemini ve karakteristiğini etkilemektedir. Isıl iletkenlik malzemenin özelliği dışında gözenek miktarına da bağlı olmaktadır. Gözenek miktarının değişmesi ile malzemede ısı transferi de değişmektedir. Isı transferinin değişimi doğal olarak kaynak parametrelerini ve özelliğini etkilemektedir. Malzemenin gözenek miktarındaki değişimin ısı iletkenliği değiştirmesinin bir sonucu olarak sertleşebilirlik özelliği de değişmektedir. Çünkü gözenekler ısı yalıtkanlık yaparak ısı transferini yavaşlatmaktadır. Böylece kaynak işlemi esnasında ve sonrasında malzemenin soğuma hızı azalmakta ve bunun sonucu sertleşme eğilimi azalmaktadır.

TM parçaların kaynakla birleştirilmelerinde dikkat edilmesi gereken en önemli noktalar tasarım, malzeme seçimi ve birleştirme tekniğidir. Öncelikle birleştirme yapılacak parçalardaki amaçların ne olduğuna karar verilmiş olması gerekir. Bunlar dayanım, boyut sınırları, çevresel faktörler, görünüm ve ekonomiklidir. Birçok metalik malzemelerin birleştirilmelerinde olduğu gibi toz metal parçaların birleştirilmelerinde de ergitmeli ve ergitmesiz kaynak teknikleri başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Düşük yoğunluklu ( 6,5 gr/cm<sup>3</sup> ) TM parçaların kaynağında ergitmesiz birleştirme yöntemleri kullanılırken, orta ve yüksek yoğunluklularınkinde ( >7,0 gr/cm<sup>3</sup> ) ergitmeli kaynak yöntemleri tercih edilmektedir.

Bu çalışmada demir esaslı TM parçaların örtülü elektrot ile ark kaynağı, TIG kaynağı ve MIG kaynağı ile kaynak edilebilirliği araştırılmaktadır.

## 9.1. Kullanılan Malzeme ve Yöntem

Deneysel çalışmada Çizelge 9.1 de bazı özellikleri verilen Högenas firmasının atomizasyon yöntemiyle ürettiği ticari saflıktaki ASC 100.29 demir tozu kullanılmıştır.

Çizelge 9.1 ASC 100.29 demir tozuna ait fiziksel özellikler

<b>Görünür yoğunluk</b>	3,03 gr / cm <sup>3</sup>
<b>Akış hızı</b>	28 sn / 50 gr
<b>Özgül yüzey alanı</b>	25 m <sup>2</sup> / kg ( -100 mesh )
<b>Yaş yoğunluk ( 600 Mpa )</b>	7,22 gr / cm <sup>3</sup>
<b>Parçacık boyutu</b>	20 - 180 µm
<b>Karbon ( C )</b>	0,003%

Bakır tozu olarak ise % 99,6 saflıktaki SİNTEK A.Ş tesislerinde su atomizasyon yöntemiyle üretilen bakır tozu kullanılmaktadır.

### 9.1.1. Toz Karışımların Hazırlanması Aşaması

İlk olarak tozlar ( demir tozu, bakır ve yağlayıcı ) hassas terazide ayrı ayrı tartılmıştır. Tartma işleminde kullanılan terazi maksimum 5000 gr kapasiteli olup 0,01 hassasiyette dijital göstergeli terazidir.

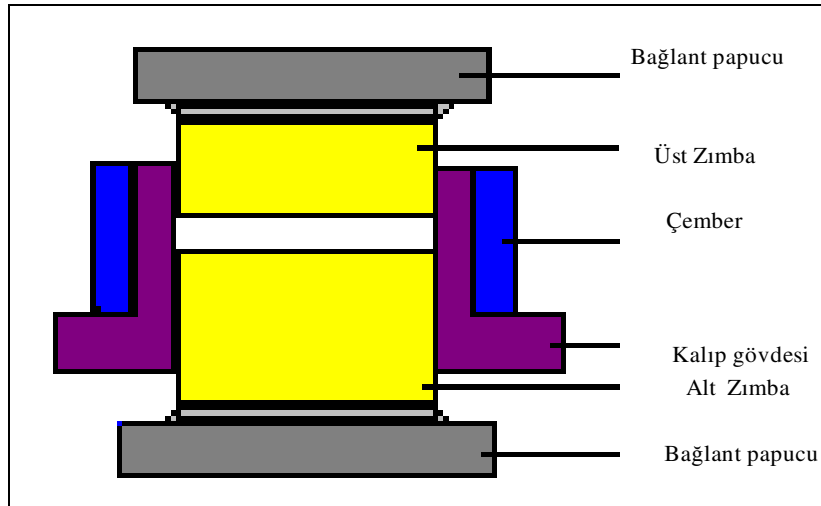
Tartılan tozlar ayrı ayrı yatık konili karıştırıcı içerisinde homojen karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Karıştırma süresi 8 dakika olarak seçilmiştir. Hazırlanan toz karışımlarına ait toz miktarları Çizelge 9.2 de verilmiştir.

Çizelge 9.2 Toz karışımlarına ait karışım oranları

Fe ( % Ağırlık )	Bakır ( % Ağırlık )	% Yağlayıcı
95	4	0,6

### 9.1.2. Hazırlanan Toz Karışımların Presleme Aşaması

Hazırlanan Toz karışımlar SİNTEK A.Ş bünyesinde 80 tonluk preste preslenmiş olup kullanılan pres tek yönlü ve kendinden boşaltmalıdır. Pres üzerinde toz besleme ünitesi otomatik olup, gerektiğinde toz elle beslenebilmektedir. Bütün numuneler 1050 MPa basınçta ASTM B783 90x15x13,2 mm boyutlarında tek yönlü preslenerek toz metal parçalar elde edilmiştir. Hazırlanan kalıba ait montaj resmi Şekil 9.1 de verilmiştir. Hazırlanan alt ve üst zımbalar bağlantı pabuçlarına kaynak bağlantı ile tutturulmuştur.



Şekil 9.1 Numunelerin preslenmesinde kullanılan kalıp montaj resmi



### 9.1.3. Hazırlanan Kompaktların Sinterleme Süreçleri

Kompaktların sinterlenmesinde kullanılan sinter fırını parçalanmış amonyak atmosferi altında çalışmakta olup, maksimum 1175 °C sıcaklığına kadar çıkabilmektedir. Parçalanmış amonyak gazı fırın dışında bulunan bir parçalayıcı tarafından parçalanarak fırın içerisindeki kontrollü bölgelere sevk edilmektedir. Amonyak parçalayıcı bünyesindeki ısı Metronik NiCr-Ni termokupulla kontrol edilmektedir. Amonyak parçalama işlemi % 75 hidrojen, % 25 nitrojen esasına göre 850 °C de gerçekleştirilmektedir.

Sinter fırını; ön ısıtma, esas sinter bölgesi ve soğutma bölgesi olmak üzere üç adet kontrollü bölgeden oluşmaktadır. Sinter fırınının boydan boya merkezinde silisyum esaslı bir tüp bulunmakta ve bu tüpün etrafı izolasyon tuğlalarıyla çevrilidir. Sinterlenecek parçalar bu tüp içerisinde ilerlemekte ve parçalanmış amonyak gazı ise bu tüp içerisine verilmektedir. Fırın her iki yan yüzeyden yedişer adet ısıtıcı üfleçle ısıtılmaktadır. Isıtıcı olarak ise ticari propan gazı kullanılmaktadır. Sinter fırını üzerindeki ön ısıtma bölgesi 450 °C' de çalışmaktadır. Esas sinter bölgesi maksimum 1175 °C' de çalışmakta ve bölgenin giriş, çıkış ve orta noktalarındaki sıcaklık dağılımları Metronik marka PtPh-Pt termokupullarıyla ayrı ayrı ölçülmektedir. Soğutma bölgesindeki soğutma işlemi soğuk suyun bölge etrafında sirkülasyonu ile gerçekleştirilmektedir.


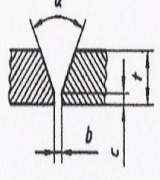

Sinterlenecek kompaktların fırın içerisinde bağ oluşumu esnasında birbirlerine yapışmaması ve ısının kompakt bünyesine homojen olarak dağılması amacıyla kompaktlar amyant ile sarılarak ayrı ayrı tavalara konulmuş ve bu şekilde fırın içerisine sürülmüştür. Ön ısıtma bölgesinde 20 dakika bırakılmış ve bu bölgede ısıtma esnasında yağlayıcıların bünyeden uzaklaşması ve mevcut oksit tabakalarının giderilmesi gerçekleştirilmiştir. Esas sinter bölgesinde 30 dakika kalınmış ve bu esnada sinterleme olaylarının tamamıyla gerçekleşmesi sağlanmıştır. Soğuma bölgesinde ise yaklaşık 60 dakika beklenmiştir.

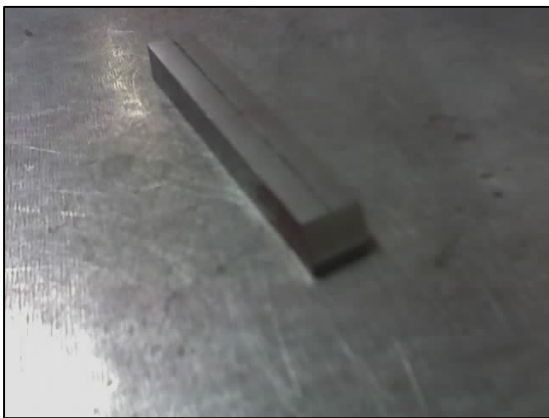
Tüm numuneler 1125°C sıcaklıkta ve 30 dakika bekletilerek sinterlenmiştir.

#### 9.1.4. Numunelerin Kaynak Standardına uygun hale getirilmesi

Deneysel çalışmalarda, SİNTEK A.Ş' de imal edilen tekstil sektöründe makine parçası olarak kullanılan SINT A10 isimli kimyasal kompozisyonu % 4 Cu, % 95 Fe ve % 0,6 yağlayıcı ( kenalube ) dan meydana gelen yoğunluğu 7, 65 gr/cm<sup>3</sup> boyutları 90\*15\*13,2 mm olan toz metal parçalar TS EN ISO 9692 kaynak standardına uygun hale getirmek için freze tezgahında 45° V kaynak ağzı açılıp, boyutları 80\*10,1\*13,2 mm getirilmiştir. TM parçalar, Çizelge 9.3 deki kaynak standardına uygun şekilde alın alına kaynak edilecektir. Bunun için Şekil 9.2 deki gibi numuneler V kaynak ağzı açılmıştır.

Çizelge 9.3 Her iki taraftan kaynak edilmiş alın kaynakları için kaynak ağzı

>10	Küt kök yüzeyli tek taraftan V alın kaynağı			$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 3$	$2 \leq c \leq 4$	-	111		Özel durumlarda, daha ince iş parçaları ve kaynak işlemi 3 için de mümkündür. Kök pası gösterilmiştir
				$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$				13		



Şekil 9.2 TM parçaların kaynak standardına getirilmesi ( V Kaynak ağzı )



Şekil 9.3 Alın altına uygulanacak kaynak şekli

Kaynak esnasında oluşabilecek distorsiyonları önlemek için aparat geliştirilmiştir, aparat sayesinde toz metal parçaların distorsiyonu en aza indirilmiş olup her bir parça kaynak işleminden sonra 5 dakika aparat içerisinde bekletilerek soğuması sağlanmıştır. Şekil 9.3 ve Şekil 9.4 de TM parçaların kaynak aparatı içerisinde duruşu sergilenmektedir.

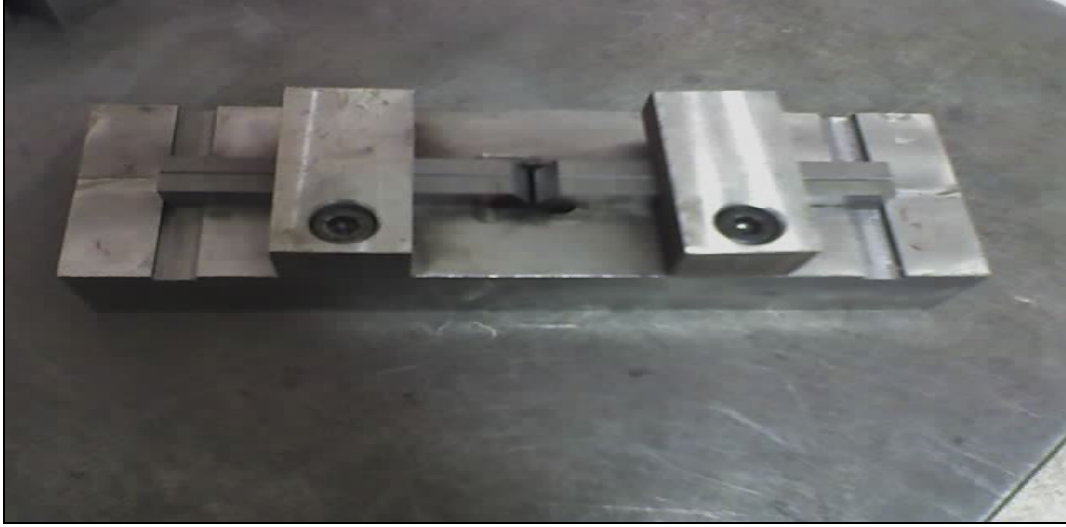
**ÜST TARAF**

**ALT TARAF**



Şekil 9.4 Distorsiyonları önlemek için geliştirilen aparat

Şekil 9.5 de gösterilen aparat içerisine numuneler yerleştirilip civatalar yardımıyla sıkılarak kaynak esnasında doğabilecek distorsiyonlar en aza indirgenmektedir.



Şekil 9.5 TM parçaların kaynak aparatı içerisinde gösterilişi

TM parçalara uygulanacak kaynak yöntemi yoğunluğa bağlı olarak değişiklik göstermektedir. SİNTEK A.Ş den alınan SİNT A10 isimli toz metal parçanın yoğunluğu  $7,65 \text{ gr/cm}^3$  dir.

Bu sebepten dolayı yüksek yoğunluklu parçalar ( $>7,0 \text{ gr / cm}^3$ ) sınıfına girmekte ve ergitmeli kaynak yöntemleri ile kaynak edilmelidir.

Deneysel çalışmada SİNT A10 parçasına ergitmeli kaynak yöntemlerinden ;

- Elektrik Ark Kaynağı
  - Örtülü elektrot ile ark kaynağı
- Koruyucu gaz altında kaynak (gazaltı kaynağı)
  - TIG kaynağı
  - MIG kaynağı

## 9.2. Yöntem

### 9.2.1. Elle Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı Uygulaması

TM parçaların birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan elle örtülü elektrotlarla yapılan ark kaynak yöntemi, TIG ve MIG seçilmiş ve uygulamalar “MİKROTEK KAYNAK” firmasında gerçekleştirilmiştir. Örtülü elektrot kaynağı 4 numuneye farklı parametrelerle uygulanmış ve numuneler, ÖRT-1, ÖRT-2, ÖRT-3, ve ÖRT-4 şeklinde adlandırılmıştır.

Kullanılan ilave metal: Böhler E Ni - BG 21

Elektrot çapı ; Ø3,25 \* 300

DIN 8573, TS 9463

Elektrot AKIMI: 90 – 100 A

Çizelge 9.4 Örtülü kaynak elektrodunun kimyasal bileşimi(%)

Ni	C	Diğer
98	0.5	1,5

#### Uygulama Alanları ve Özellikleri:

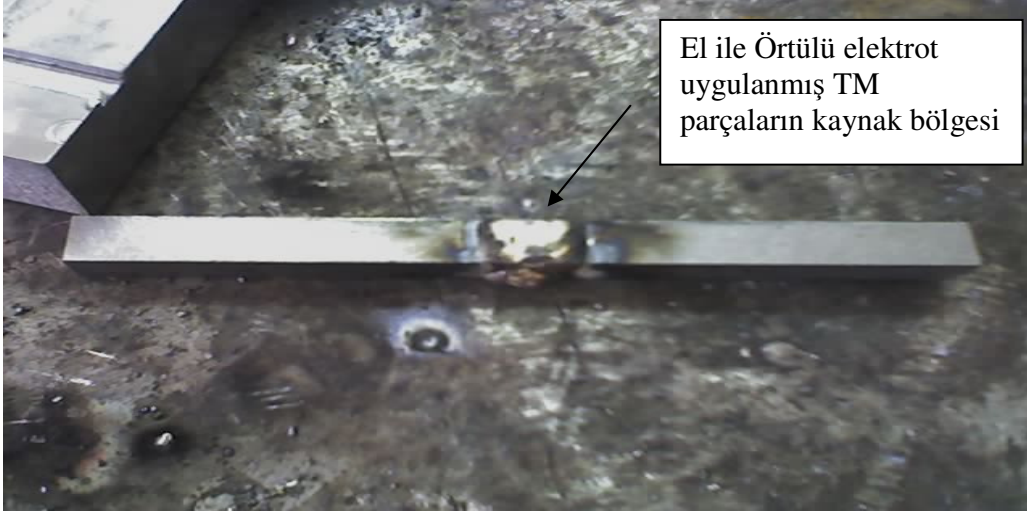
Dökme demirlerin soğuk ve yarı sıcak ( maks. 300 °C ) kaynağında kullanılan, saf nikel çekirdek tele sahip bir elektrottur. Kır dökme demirlerin, beyaz temper dökme demirlerin, küresel dökme demirlerin ve bunların çeliklerle kaynağında kullanılır. Özellikle kırılmış ve aşınmış dökme demir parçaların birleştirme ve dolgu kaynağında, döküm hatalarının kaynakla giderilmesinde çok iyi sonuç verir. Düşük akımda dahi ana metali iyi sarar ve ana malzeme ile yaptığı karışım oranı azdır. Bu nedenle özellikle kalın kesitli parçalarda soğuk kaynak yapma imkânı sağlar ve çatlama riskini en aza indirir. Ark başlangıcı ve yeniden tutuşturması çok kolaydır. Kararlı bir arka sahiptir, düzgün kaynak dikişleri verir. Kaynak gerilimlerini azaltmak için yaklaşık 30 ile 50 mm uzunluğunda kısa kaynak dikişleri yapılmalı, kaynak dikişi soğumadan önce çekişlenmelidir. Kaynak metali işlenebilir.

Çizelge 9.5 Örtülü elektrot kaynağında uygulama parametreleri

NUMUNE ADI	DERECE	ELLE ÖRTÜLÜ ELEKTROD İLE ARK KAYNAĞI			
		Akım (A)	Kaynak hızı(cm/dak)	Gerilim (W)	Elektrot çapı (mm )
ÖRT-1	45°	80	12	20	3,25
ÖRT-2	45°	85	12	20	3,25
ÖRT-3	45°	90	12	20	3,25
ÖRT-4	45°	95	12	20	3,25

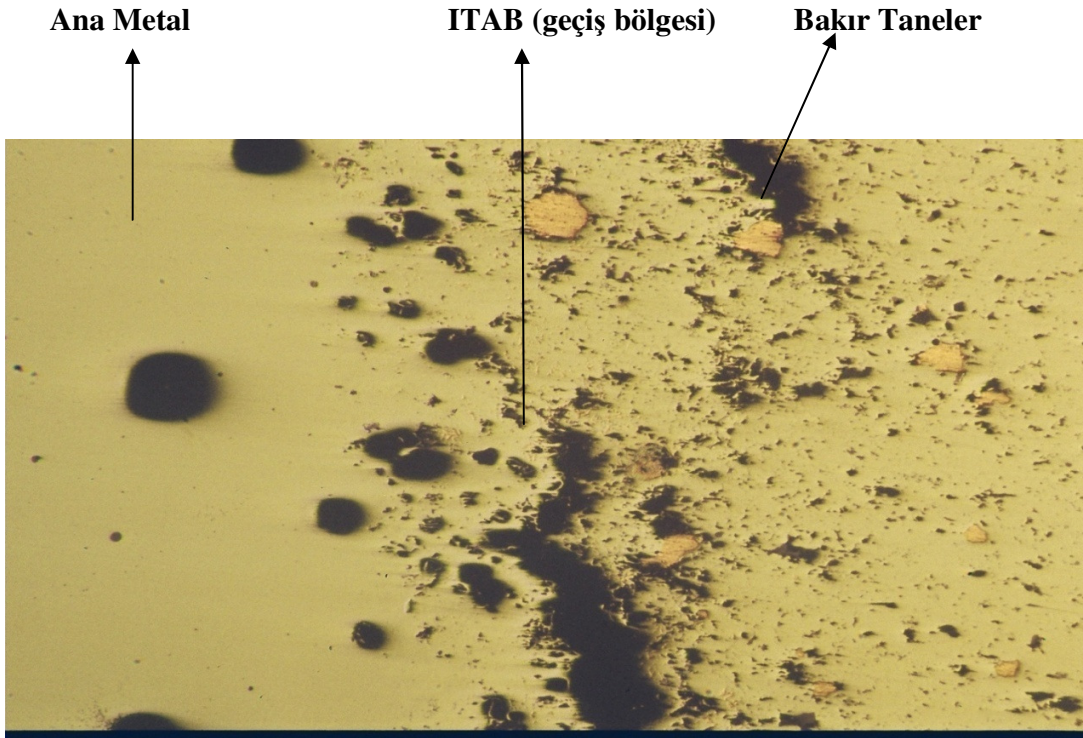
TM numunelerde yoğunluk arttıkça TM malzemenin kaynak metaline karışım oranıda artmakta böylece elektrot çekirdek metali oranı düşmektedir. TM parçaların örtülü elektrot ark kaynağında dökme demir elektrodu kullanılmıştır. Kaynakta gerekli tedbirleri almak şartıyla örtülü elektrotla TM parçaların kaynağını yapmak mümkündür. Örtünün içerisinde bulunabilecek nem, oksitlenme ve hidrojenin gözeneklere girmesine sebep olur. Bu metod ile çalışırken elektrotlar mutlaka kurutulmalıdır. Ancak temiz bir ortam ve uygun kaynak parametreleri ile sağlıklı bir birleştirme sağlanabilir. Şekil 9.6 da örtülü elektrot ile ark kaynağı edilmiş toz metal parçaların kaynak bölgesi görünmektedir.





Şekil 9.6 Örtülü elektrot ile ark kaynağı edilmiş TM parçaların kaynak bölgesi

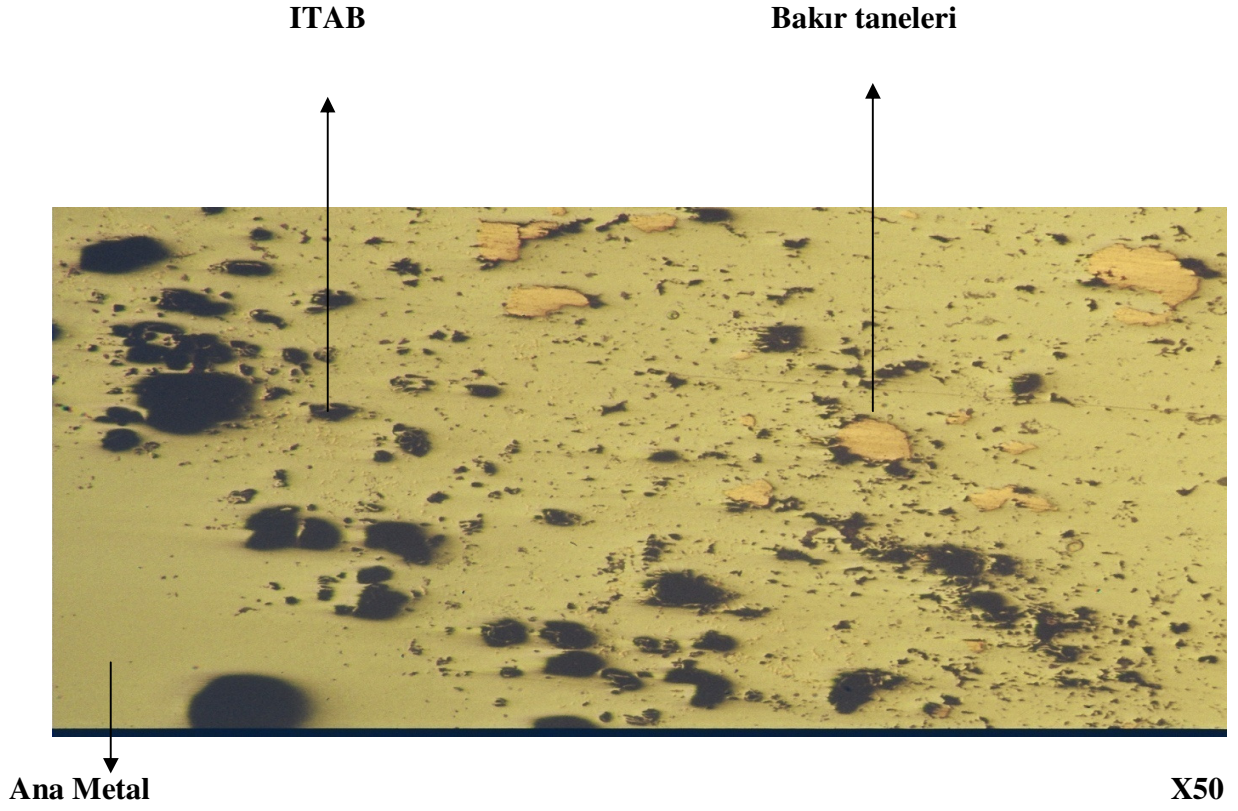
#### 9.2.1.1. Örtülü Elektrot ile Kaynaklı Toz Metal Parçaların Mikroyapısal İncelenmesi



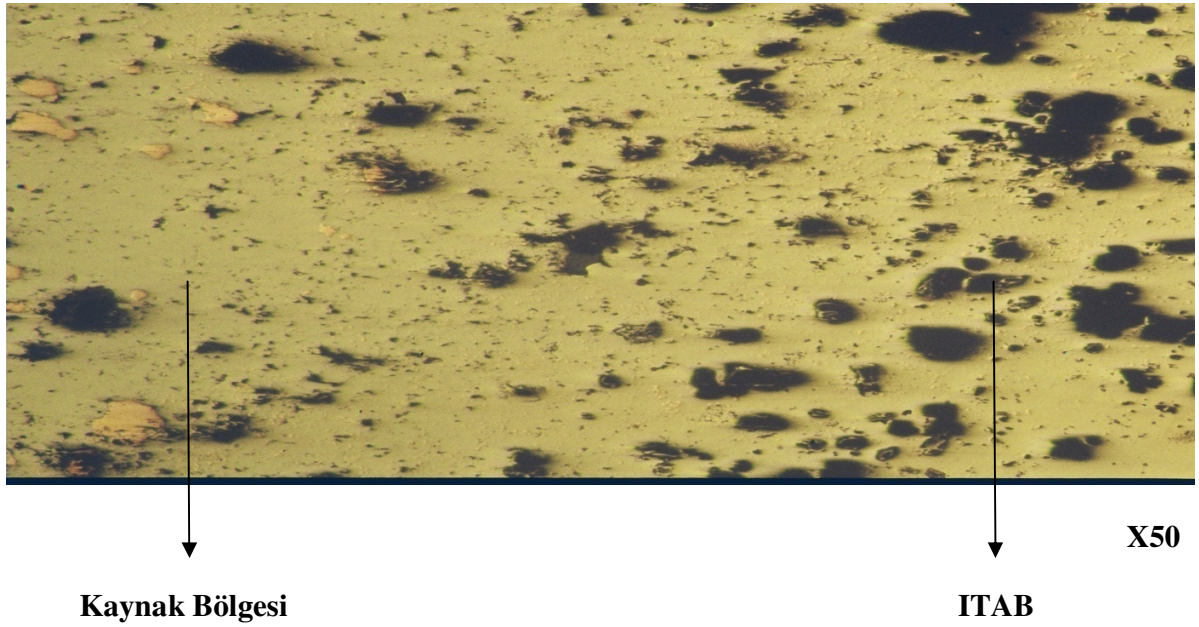
X50

Şekil 9.7 Örtülü elektrot ile kaynak edilmiş TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50



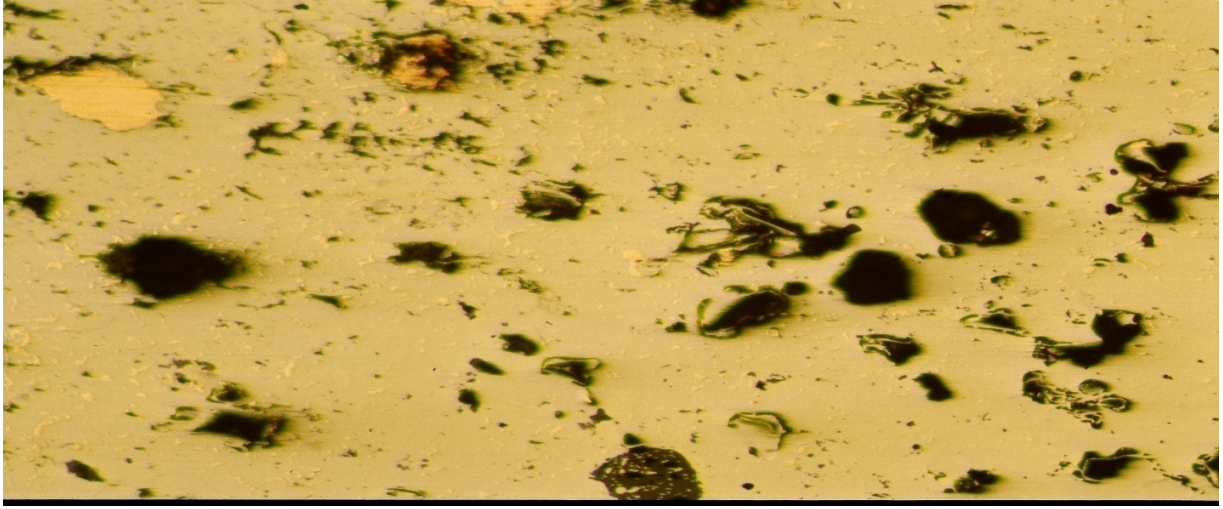


Şekil 9.8 Örtülü elektrot ile kaynak edilmiş TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50



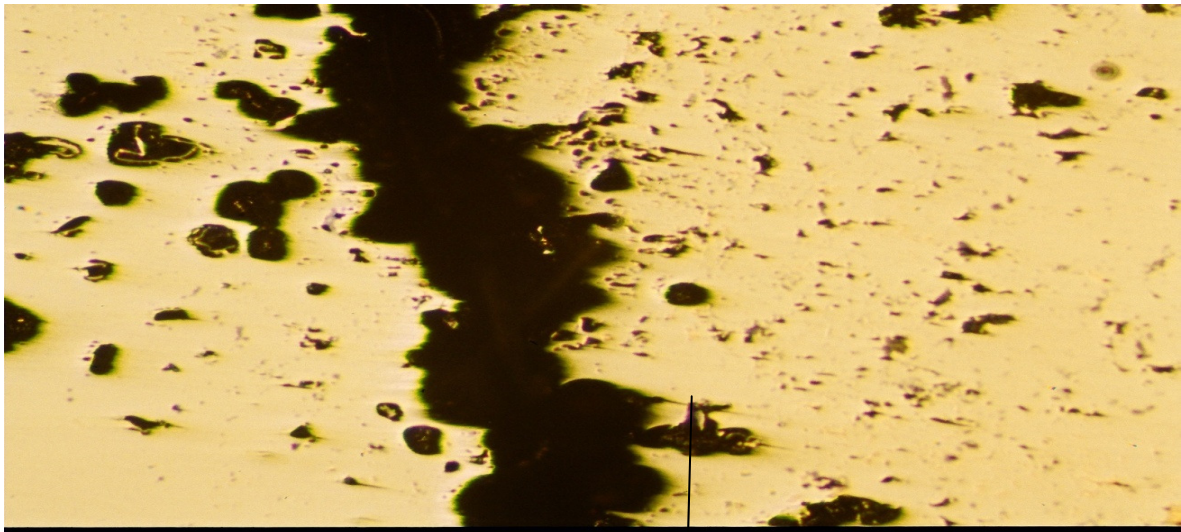
Şekil 9.9 Örtülü elektrot ile kaynak edilmiş TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50





X100

Şekil 9.10 Örtülü elektrot ile kaynak edilmiş TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X100



X100

ITAB ( geçiş bölgesi )

Şekil 9.11 Örtülü elektrot ile kaynak edilmiş TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X100

Ergitmeli kaynaklarda kaynak metali kullanılan elektrot ile esas metalin karışımından oluşmaktadır. Tek pasolu kaynaklarda kaynak metalinin 2/3' ünü elektrot, 1/3' ünü de esas metal teşkil etmektedir. Burada kaynak metaline elektrot çekirdek metali etkili olmakta toz metal numunede gözenekli olması dolayısıyla 1/3' ün altında bir etkiye sahip olduğu beklenmektedir.

#### 9.2.1.2. Sertlik Deneyi ve Sonuçların İrdelenmesi

Kaynak yapılmış numunelere KOSGEB laboratuvarlarında Brinell sertlik ölçümü uygulanmıştır. Sertlik ölçümü için Reicherter marka BL 3 deney cihazı kullanılmıştır. Sertlik ölçümü yapılacak parçalar (200, 400, 600, 800 ve 1200 ) numaralı zımparalarla zımparalanmış daha sonra keçe ile parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler daha sonra % 2' lik Nital ile 8 – 15 sn dağlanarak inceleme yapılmıştır. Brinell sertlik değeri tespit edilirken, sert bilye numune yüzeyine 15 ve 10 sn' lik bir müddetle tutulur ve yüzeyde oluşan izin çapı ölçülerek aşağıda verilen formül kullanılarak malzemenin brinell sertlik değeri elde edilmiştir.

Brinell Sertlik Değeri ( kgf/mm<sup>2</sup> ) ;  $P / D^2$

P ; Uygulanan Kuvvet ( kgf )

D ; Bilye çapı ( mm )

P : 62,5 kgf

D : Ø 2,5mm WC uç

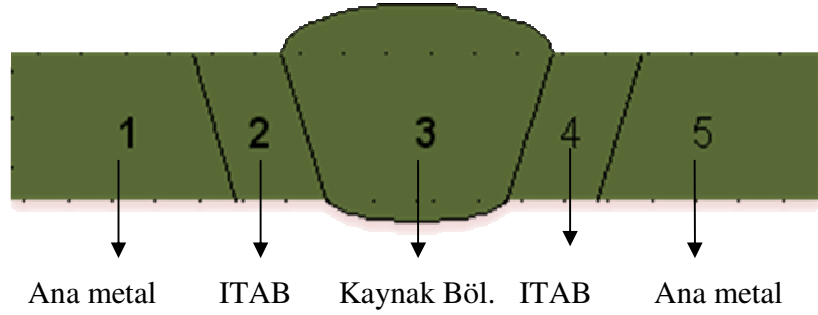
$P / D^2 : 62,5 / 2,5^2 : 10 \text{ kgf/mm}^2$

P : 187,5 kgf

D : Ø 2,5mm WC uç

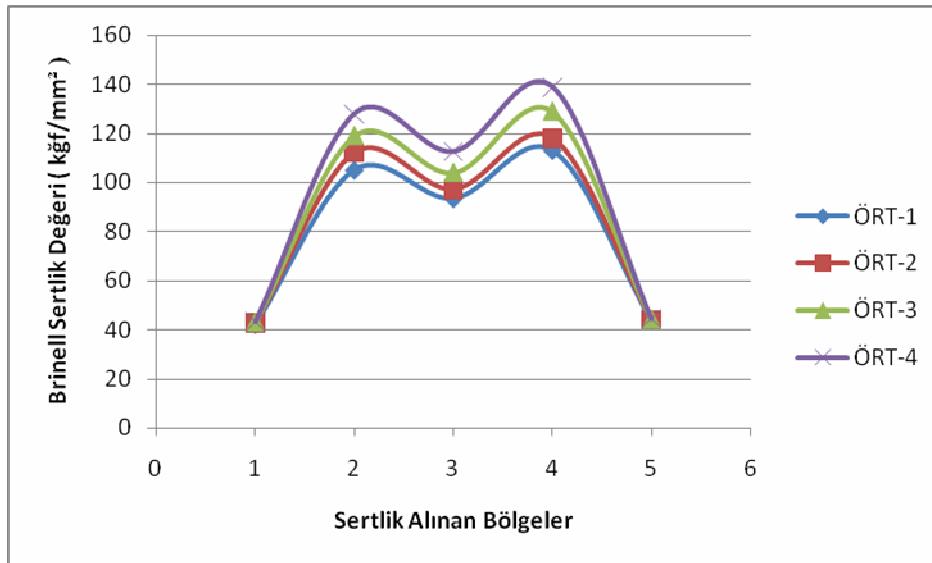
$P / D^2 : 187,5 / 2,5^2 : 30 \text{ kgf/mm}^2$

Sertlik değeri alınırken 5 bölgeden sertlik değerleri alınmıştır.



Çizelge 9.6 Numunelerden alınan sertlik değerleri

Sertlik Alınan Bölge	Numune Adı			
	ÖRT-1	ÖRT-2	ÖRT-3	ÖRT-4
1	42,2	42,5	42,9	43,1
2	105	112	119	128
3	93,4	97	104	112,6
4	113	118	129	139
5	43,7	43,9	44,1	44,4



Şekil 9.12 Örtülü elektrot ile kaynak edilmiş TM parçaların sertlik deney sonuçları

TM demir malzemelerin ergitmeli kaynaklarında sertlik profili incelendiğinde ana metalden kaynak metaline doğru sertlik artışı Şekil 9.12 de görülmektedir.

### 9.2.2. Tungsten Inert Gaz ( TIG ) Kaynak Uygulaması

TIG kaynak metodu ile TM parçalar sağlıklı bir şekilde kaynak edilebilmektedir. Bu metot metalik mühendislik malzemelerinin çoğunda uygun neticeler vermektedir. TIG kaynak yönteminde kaynak hızı, ısı girdisi, dolgu metalinin tipi ve tel ergime oranının çok iyi kontrol edilebilmesi, büyük bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle sertleşebilme ihtimali olan yerlerde ısı girdisinin kontrolü sertliğin azalmasını sağlamaktadır.

TIG kaynak yöntemi 4 numuneye farklı parametrelerle uygulanmış ve numuneler, TIG-1, TIG-2, TIG-3, ve TIG-4 şeklinde adlandırılmıştır. Deneyde kullanılan elektrodun kimyasal içeriği aşağıda verilmiştir.

Çizelge 9.7 TIG kaynağında kullanılan elektrodun kimyasal bileşimi ( % Ağ. )

Elektrot	C	Si	Mn	Fe
SG 2	0,1	0,9	1,4	geri kalan

Çizelge 9.8 TIG Kaynağında uygulama parametreleri

NUMUNE ADI	DERECE	TIG KAYNAĞI				
		Akım (A)	Kaynak hızı ort.(cm/dak)	Gerilim (W)	Elektrot çapı (mm)	Koruyucu gaz
TIG-1	45°	60	8	20	2,4	Argon
TIG-2	45°	65	8	20	2,4	Argon
TIG-3	45°	70	8	20	2,4	Argon
TIG-4	45°	75	8	20	2,4	Argon

Şekil 9.13 de TIG kaynak yöntemi uygulanmış toz metal parçaların kaynak edilişi ve kaynak sonrası meydana gelen kaynak bölgesi görülmektedir.



( a )

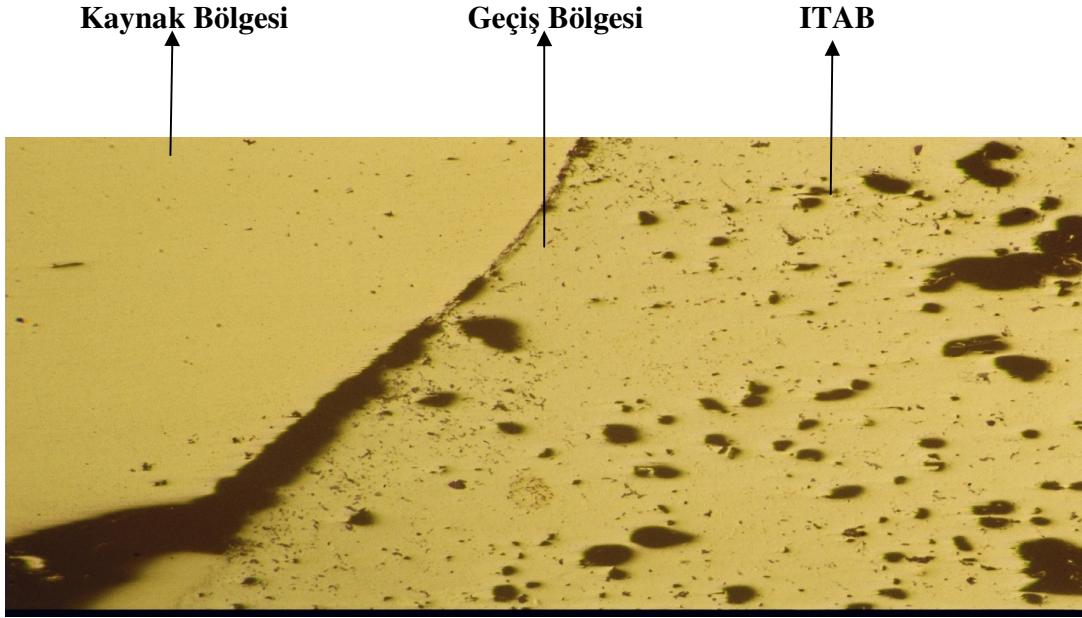


( b )

Şekil 9.13 TIG kaynağı uygulanmış TM parçaların kaynak bölgesi

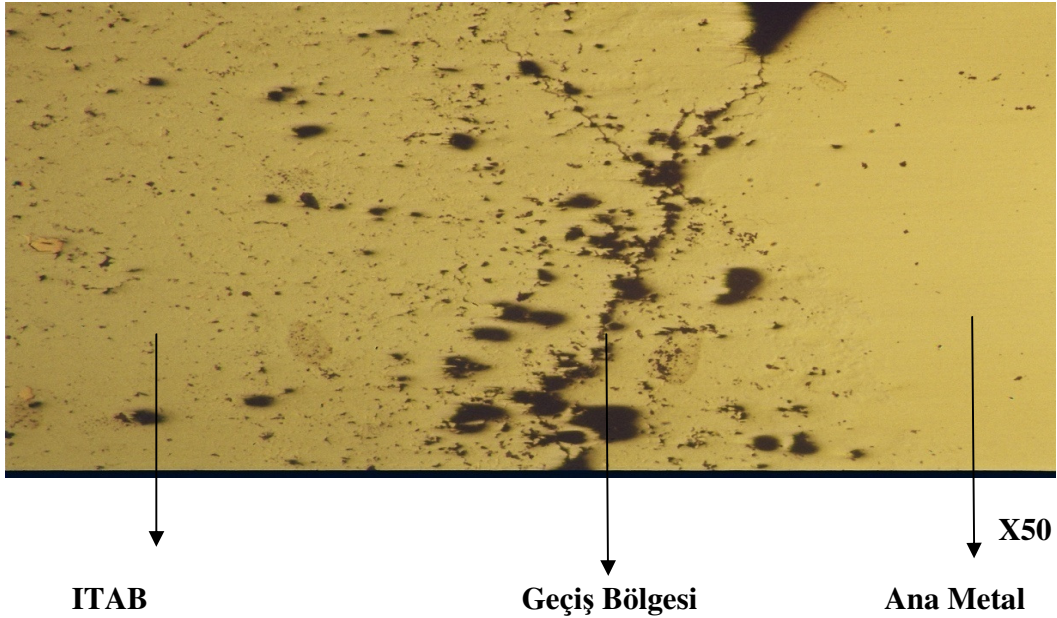


### 9.2.2.1. TIG Kaynağı Uygulanmış Toz Metal Parçaların Mikroyapısal İncelenmesi



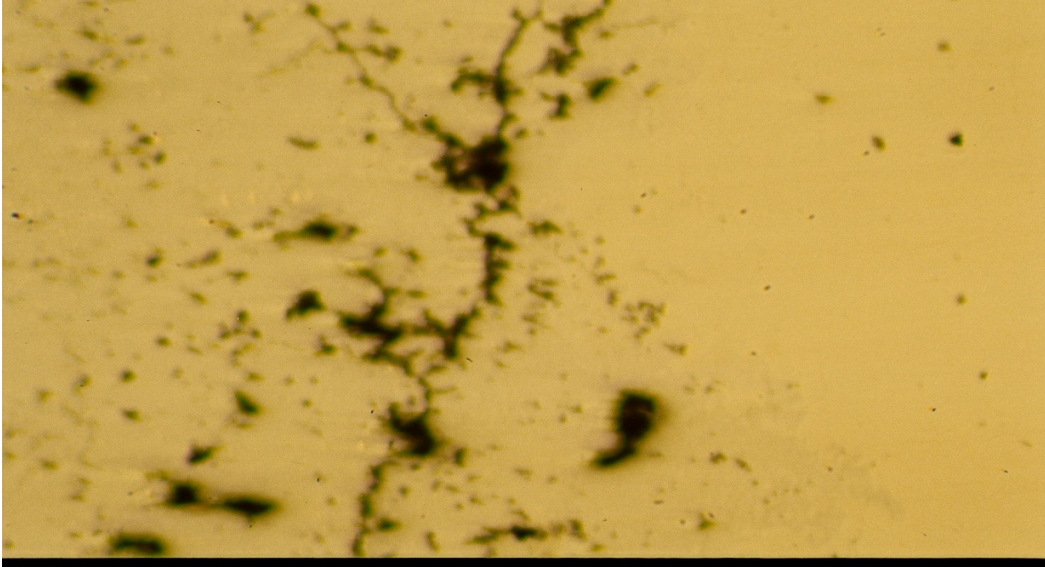
X50

Şekil 9.14 TIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50



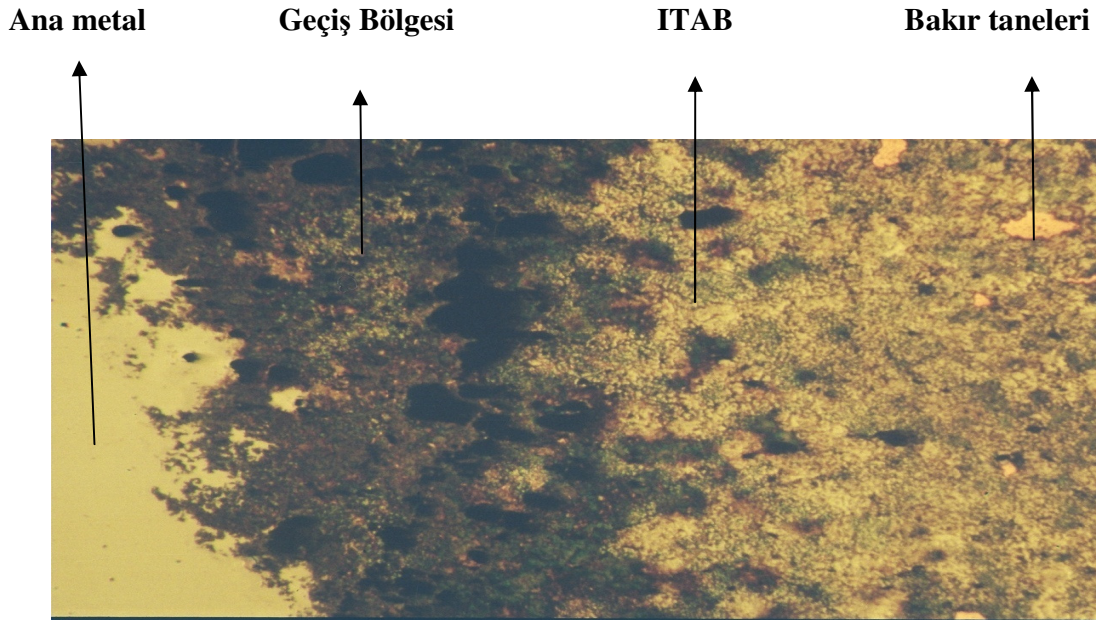
X50

Şekil 9.15 TIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50



**X100**

Şekil 9.16 TIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X100



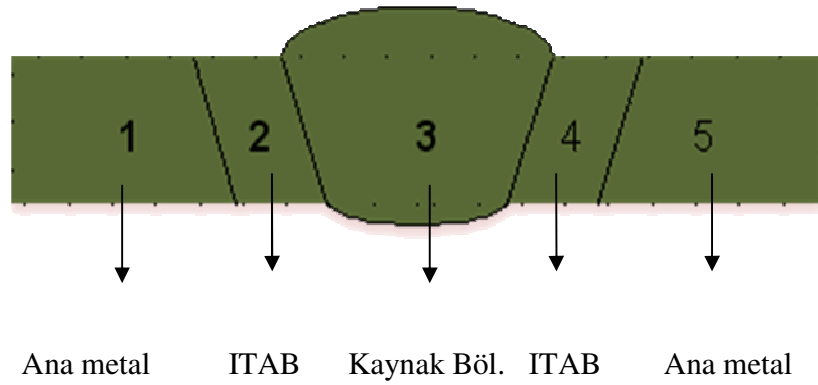
**X50**

Şekil 9.17 TIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50

Yapılan bu incelemelerden, daha stabil ark sağlayan TIG kaynağında ısı kontrolü ve kaynak hızının iyi ayarlanabilmesi daha iyi bir dikiş elde edilmesini sağladığı anlaşılmıştır.

#### 9.2.2.2. Sertlik Deneyi ve Sonuçların İrdelenmesi

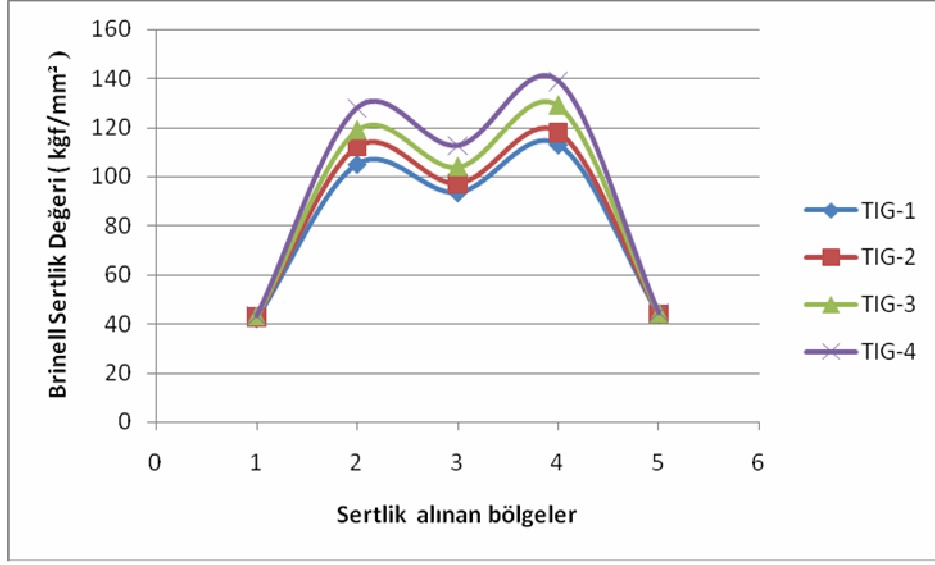
Örtülü Elektrot ile ark kaynağında olduğu gibi sertlik ölçümü KOSGEB Laboratuvarlarında yapılmış, ölçüm için Reicherter marka BL 3 deney cihazı kullanılmıştır. Numuneler (200, 400, 600, 800 ve 1200 ) numaralı zımparalarla zımparalanmış daha sonra keçe ile parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler daha sonra % 2' lik Nital ile 8 – 15 sn dağlanarak inceleme yapılmıştır. Sertlik değeri alınırken 5 bölgeden sertlik incelemesi yapılmıştır.



Çizelge 9.9 TIG Kaynak Numunelerden alınan sertlik değerleri

Sertlik Alınan Bölge	Numune Adı			
	TIG-1	TIG-2	TIG-3	TIG-4
1	42,2	42,4	42,6	43,1
2	128	132	133	136
3	112	115	119	118
4	145	148	151	155
5	43,7	43,8	44,1	44,4





Şekil 9.18 TIG kaynak yöntemi uygulanmış TM parçaların sertlik deney sonuçları

TIG kaynağı ile belirtilmiş numunelerde esas metalden ITAB' a doğru mikrosertlik artışı görülmektedir. ITAB' dan kaynak metaline doğru mikrosertlik azalmaktadır.

### 9.2.3. Metal Inert Gaz ( MIG ) Kaynak Uygulaması

MIG – MAG kaynağı ile TM parçaların kaynağında kısa devre transferi kullanılmaktadır. TM parçaların çarpılmaması için ısı girdisinin düşük olması gerekir. Sinterlenmiş çelik parçaların kaynağında CO<sub>2</sub> gazı ince kaynak telleri ( 0,8 – 0,9 mm ) kullanılır.

MIG kaynak uygulamasında; SG 2 CY 42 43 Oerlikon marka, Elektrot çapı; 0,8 mm, DIN 8559, TS 5618 standartlarında elektrot kullanılmıştır. Korumucu gaz olarakta ( Ar + %12 CO<sub>2</sub> + %2 O<sub>2</sub> ) karışım gazı kullanılmıştır.

Çizelge 9.10 MIG kaynağında kullanılan elektrodun kimyasal bileşimi ( % Ağırlık )

C	Si	Mn	P	S
0.08	0.8	1.45	<0.025	<0.025

MIG kaynak yöntemi 4 numuneye farklı parametrelerle uygulanmış ve numuneler, MIG-1, MIG-2, MIG-3, ve MIG-4 şeklinde adlandırılmıştır.

Çizelge 9.11 MIG Kaynağında uygulama parametreleri

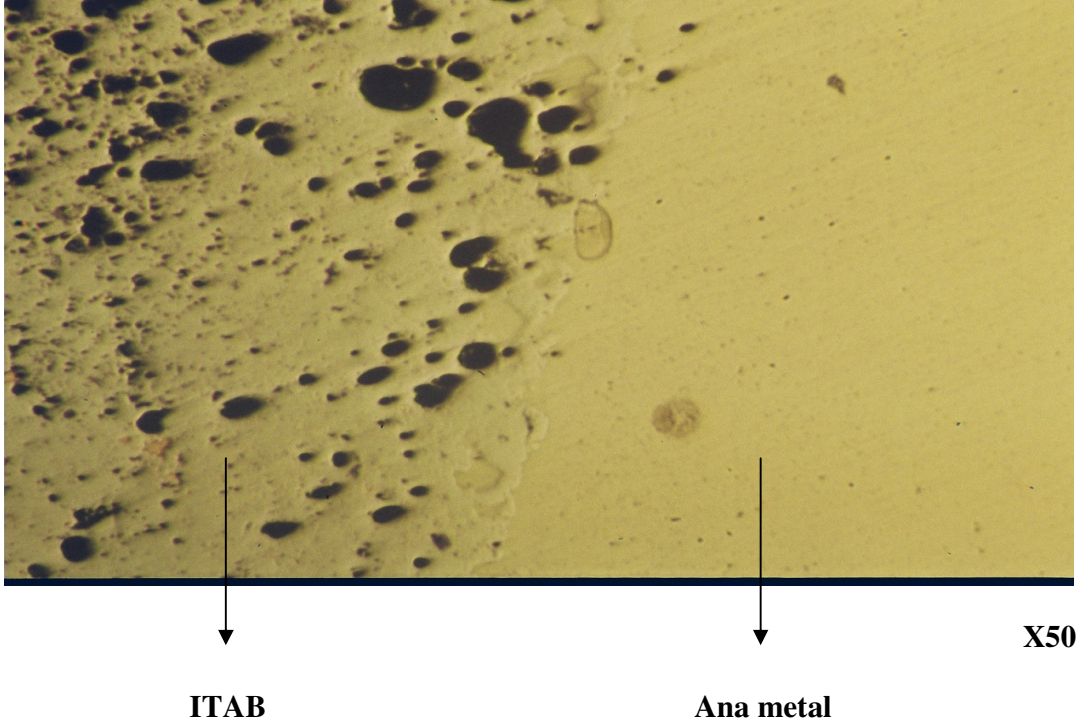
NUMUNE ADI	DERECE	MIG KAYNAĞI			
		Akım (A)	Gerilim (W)	Elektrot çapı (mm)	Koruyucu gaz
MIG-1	45°	50	20	0,8	( Ar + %12 CO <sub>2</sub> + %2 O <sub>2</sub> )
MIG-2	45°	55	20	0,8	( Ar + %12 CO <sub>2</sub> + %2 O <sub>2</sub> )
MIG-3	45°	60	20	0,8	( Ar + %12 CO <sub>2</sub> + %2 O <sub>2</sub> )
MIG-4	45°	65	20	0,8	( Ar + %12 CO <sub>2</sub> + %2 O <sub>2</sub> )

Şekil 9.19 MIG kaynak yöntemi uygulanmış TM parçaların kaynak edilişi ve kaynak sonrası meydana gelen kaynak bölgesi görülmektedir.

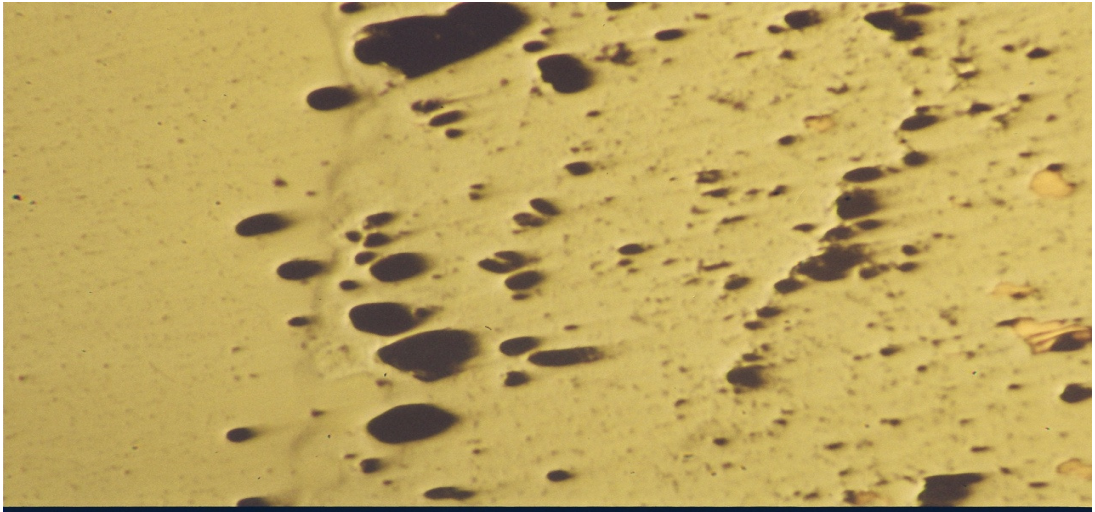


Şekil 9.19 MIG kaynağı uygulanmış TM parçaların kaynak bölgesi

### 9.2.3.1. MIG Kaynağı Uygulanmış Toz Metal Parçaların Mikroyapısal İncelenmesi

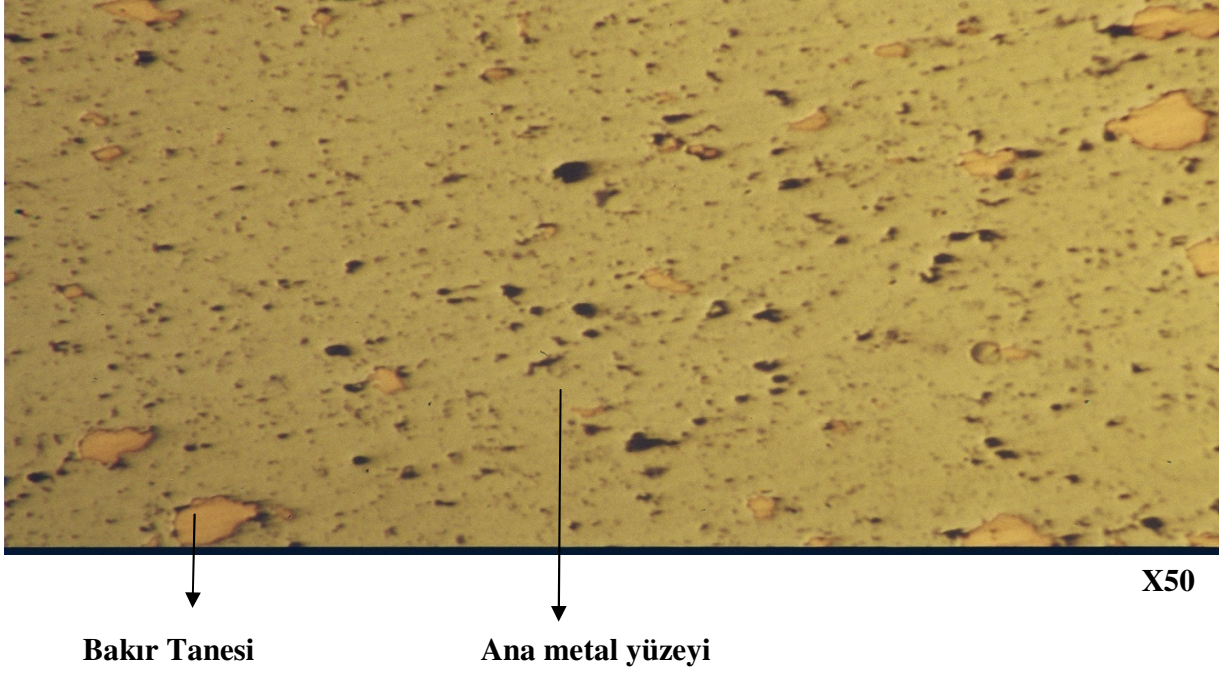


Şekil 9.20 MIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50

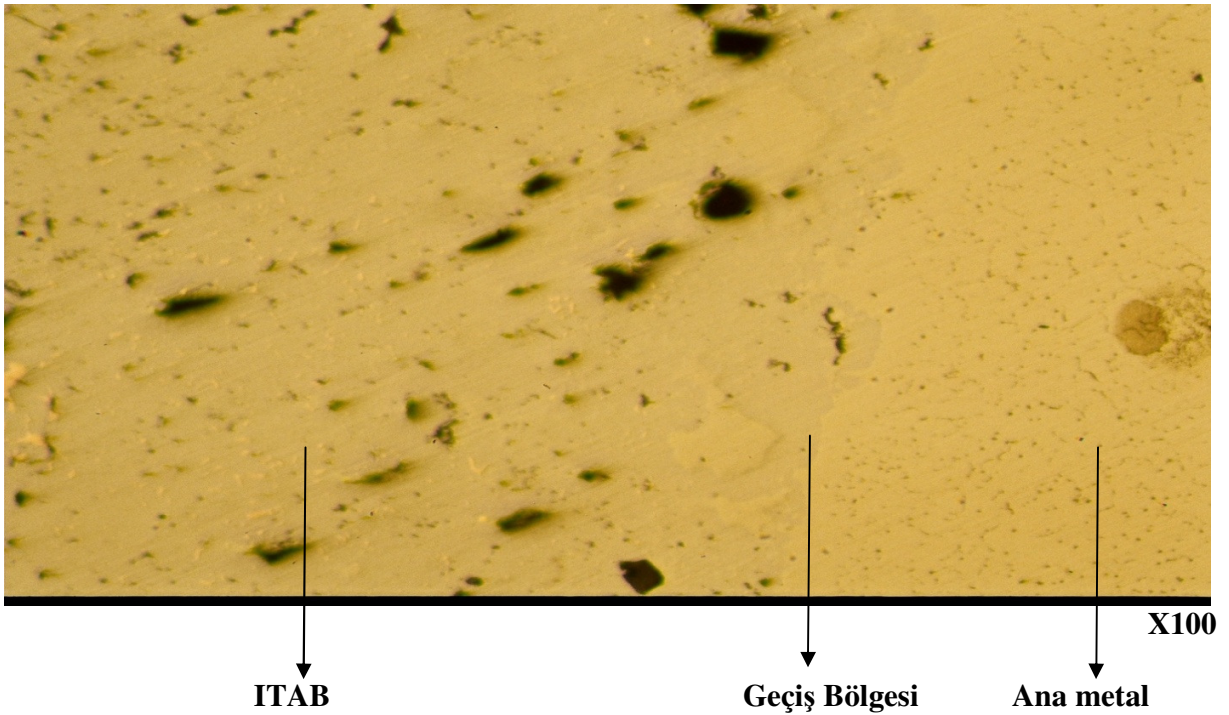


Şekil 9.21 MIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50





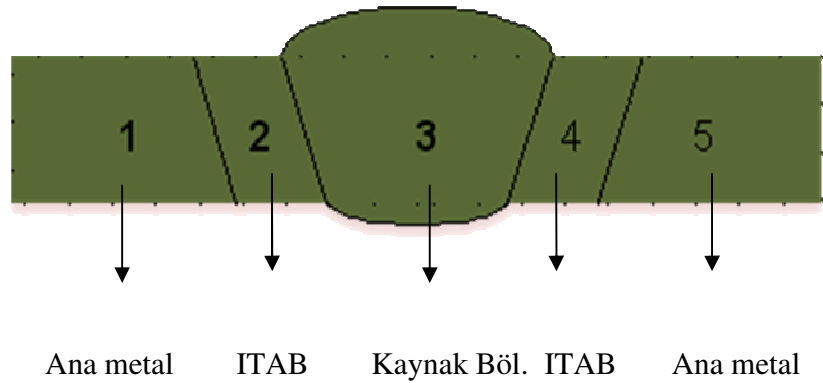
Şekil 9.22 MIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X50



Şekil 9.23 MIG kaynağı uygulanmış TM parçaların geçiş bölgesi mikroyapısı X100

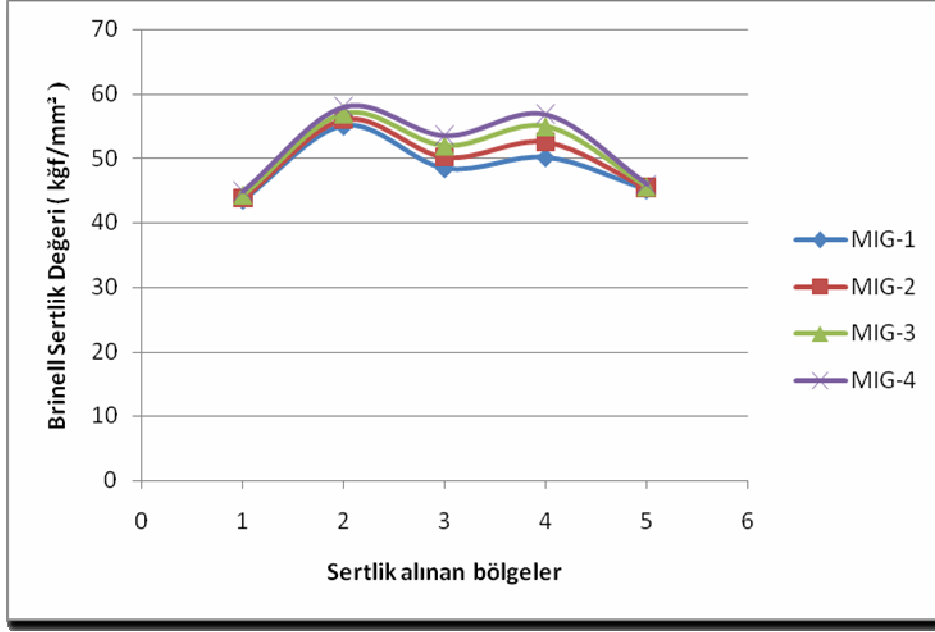
### 9.2.3.2. Sertlik Deneyi ve Sonuçların İrdelenmesi

Sertlik ölçümü KOSGEB Laboratuvarlarında yapılmış, ölçüm için Reicherter marka BL 3 deney cihazı kullanılmıştır. Numuneler (200, 400, 600, 800 ve 1200 ) numaralı zımparalarla zımparalanmış daha sonra keçe ile parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler daha sonra % 2' lik Nital ile 8 – 15 sn dağlanarak inceleme yapılmıştır. Sertlik değeri alınırken 5 bölgeden sertlik incelemesi yapılmıştır.



Çizelge 9.12 MIG kaynak numunelerinden alınan sertlik değerleri

Sertlik Alınan Bölge	Numune Adı			
	MIG-1	MIG-2	MIG-3	MIG-4
1	43,5	43,8	44,3	44,8
2	55	56	57	58
3	48,4	50,2	52	53,5
4	50,1	52,5	55	56,8
5	45,1	45,4	45,6	45,9



Şekil 9.24 MIG kaynak yöntemi uygulanmış TM parçaların sertlik deney sonuçları

### Mikroskobik incelememe neticesinde içyapı sonuçları ve irdelenmesi:

Demir esaslı TM parçaların ana metallerin içyapılarına bakıldığında, sıkıştırma yoğunluğu arttıkça TM malzemelerde gözenek miktarının azaldığı görülmektedir.

Örtülü elektrot ile ark kaynağı yapılan numunelerde kaynak metali incelendiğinde ITAB; düzensiz, iri taneli ve gelişigüzel yönelmiş kaynak metali görülmektedir.

TIG kaynağı ile elde edilen numunelerin ITAB' ında küçük taneli, daha düzenli ve sütunsal yapı arz ettiği görülmüştür.

MIG kaynağı uygulanan numunelerin kaynak metali incelendiğinde, kaynak metalinde ince yapılı tane görülmektedir.

### **Mikrosertlik deney sonuçları ve İrdelenmesi**

Örtülü elektrot ark kaynağıyla birleştirilmiş numunelerde ana metalden kaynak metaline doğru mikrosertlik artışı görülmektedir.

MIG kaynağıyla birleştirilmiş numunelerde esas metalden ITAB' a doğru mikrosertlik artışı görülmektedir. ITAB' dan kaynak metaline doğru mikrosertlik azalmaktadır.

TIG kaynağıyla birleştirilmiş numunelerde esas metalden ITAB a doğru mikrosertlik artışı görülmektedir. ITAB' dan kaynak metaline doğru mikrosertlik azalmaktadır.

### **9.3. Çekme Deneyi**

90\*15\*13,2 mm boyutlarında preslenerek sinterlenen numuneler 0,05 hassasiyetindeki freze tezgahında işlenerek istenilen 80\*10,1\*13,2 mm boyutuna getirilmiştir. İşlenme esnasında yüzey kalitesine dikkat edilmiş, bu amaçla yüzeyler zımparalanmıştır.

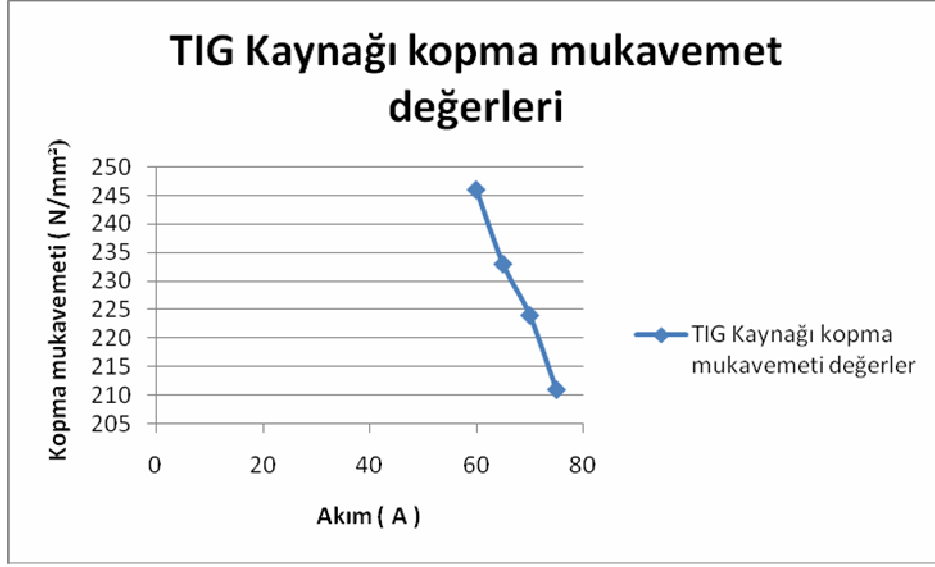
Çekme deneyi cihazı maksimum 4000 kg kapasiteli olup 0,5 kg hassasiyetle çalışabilmektedir. Cihaz üzerindeki pandüllerin yerleri değiştirilerek 2000 kg, 800kg, 200kg yüklerde de çalışabilmektedir. Çekme deneyi esnasında cihaz üzerindeki donanımlardan faydalanarak kuvvet-uzama grafiği alınabilmektedir.

Çekme deneyleri neticesinde sağlıklı sonuçlar almak için farklı kaynak yönteminden her birinden 4 adet çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Çekme deney cihazının küçük tonajlı ve hassas skalalı olması elde edilen sonuçların sağlıklı çıkmasını sağlamaktadır. Çekme deneyleri sonunda elde edilen değerleri Çizelge 9.13 de verilmektedir.

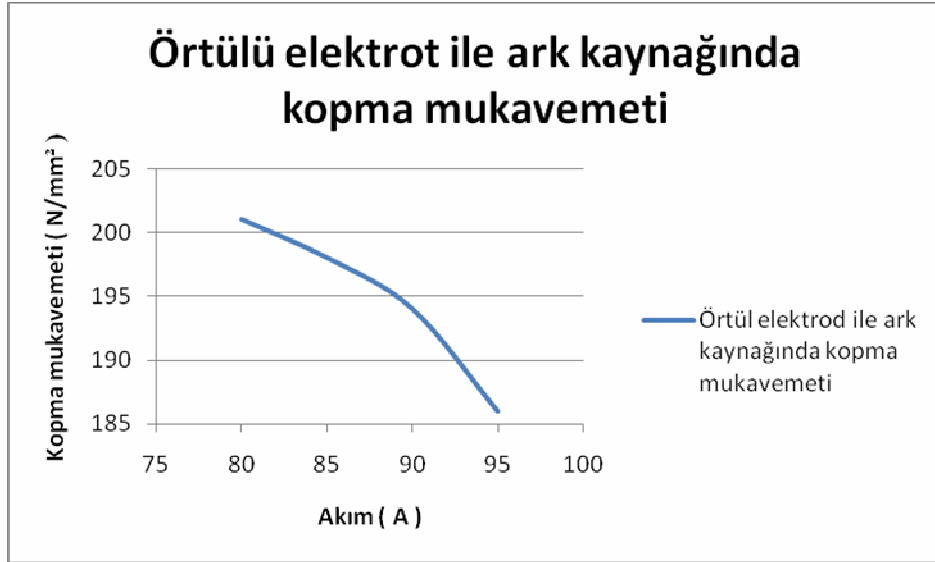
Çizelge 9.13 Çekme deneyi verileri

Parça Adı	Akım ( A )	Kopma Mukavemeti N/mm <sup>2</sup>
TIG-1	60	246
TIG-2	65	233
TIG-3	70	224
TIG-4	75	211
ÖRT-1	80	201
ÖRT-2	85	198
ÖRT-3	90	194
ÖRT-4	95	186
MIG-1	50	135
MIG-2	55	129
MIG-3	60	124
MIG-4	65	119

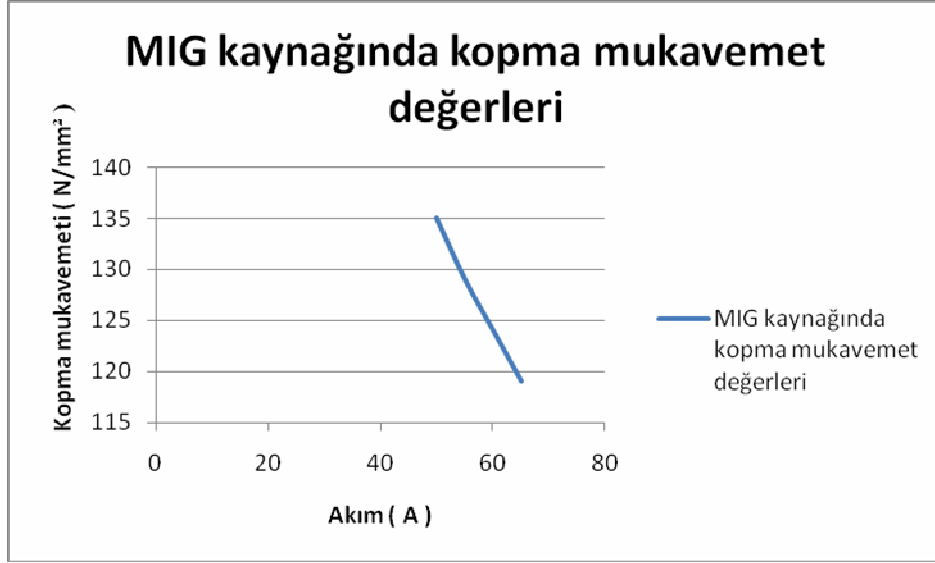




Şekil 9.25 TIG kaynağı kopma mukavemet değerleri



Şekil 9.26 Örtülü elektrot ile ark kaynağında kopma mukavemet değerleri



Şekil 9.27 MIG kaynağı kopma mukavemeti değerleri

TM malzemelerin mekanik özellikleri gözeneklerin varlığından dolayı düşer. Çekme mukavemeti ve sertlik gözenek miktarı ile doğrusal olarak düşer. Şekil 9.25, Şekil 9.26 ve Şekil 9.27 de parçaların akım-kopma mukavemeti grafikleri verilmiştir.

Sonuç olarak; Akım arttıkça kaynak bölgesinde çökme ( şekil bozuklukları ) artmaktadır. Buna bağlı olarakta akım arttıkça kopma mukavemeti akımla ters orantılı bir şekilde düşmektedir.

Kopma mukavemetler açısından kıyaslandığında TIG kaynağındaki kopma mukavemeti, örtülü elektrot ile ark kaynağından ve MIG kaynağından daha büyüktür. En düşük kopma mukavemeti ise MIG kaynağına aittir. Yukarıda da dediğimiz gibi kopma mukavemeti gözenek miktarı ve yapıyla alakalıdır. MIG kaynağında yapı ince tanelidir.

## 10. SONUÇLAR

- TM parçalar teknik ve ekonomik olarak kaynak edilebileceği görülmüştür.
- TM parçaların özellikleri kaynak dikişinde ve ısı tesiri altındaki bölgede ( ITAB ) da değişmektedir.
- Sıkıştırma basıncı arttıkça toz metal malzemelerde gözenek miktarı azalmaktadır.
- T/M yöntemi ile üretilmiş demir esaslı malzemeler elle örtülü elektrot ile ark kaynak yöntem ile birleştirilebilmektedir. TM parçaların örtülü elektrot ark kaynak yöntem ile birleştirilmesinde yoğunlaşma miktarı kritik bir yoğunluğun ( % 90 ) üzerinde fazla artmamaktadır.
- T/M yöntemi ile üretilmiş demir esaslı malzemeler TIG kaynak yöntemi ile birleştirilebilmektedir. TIG kaynağında metalurjik yapının daha düzenli ve sütunsal yapı arz ettiği görülmektedir.
- TIG kaynağı ile yapılan kaynakta nüfuziyet düzgün bir profil izlemiş ve taneler ısı merkezine doğru düzenli yapı içerisinde ilerlemiştir. Örtülü elektrot ile yapılan kaynağın geçiş bölgesinin daha düzensiz olduğu görülmektedir. TIG kaynağı ile yapılan numunelerde daha küçük taneler olduğu görülmektedir. Örtülü elektrot ark kaynağında ise durum tam tersidir.
- TM parçaların kaynak tekniği açısından MIG yöntemiyle kaynak edilebileceği ve mekanik özellikler açısından tatminkâr olduğu görülmüştür. MIG kaynağı ile kaynak edilen TM parçalardan elde edilen sonuçlar TM Parçaların sonuçları ile yaklaşık aynı çıkmıştır. TM parçaların MIG kaynağı ile kaynak edilmesinde kaynak sıcaklığı ITAB bölgesinde gözenek miktarı ve boyutunda azalmaya neden olmaktadır.
- TM parçaların MIG kaynağı ile kaynak edilmesinde numunelerin ITAB bölgesinden kırıldığı görülmektedir.

- TIG kaynağında, örtülü elektrot ile ark kaynağı ve MIG kaynağına göre daha yüksek bir nüfuziyet ve dikiş kalitesi elde edilmiştir. Bu durumu TIG kaynağında ısı kontrolünün ve kaynak hızının daha denetlenebilir olmasına bağlayabiliriz.
- Örtülü elektrot ile ark kaynağıyla birleştirilmiş numunelerde ana metalden kaynak metaline doğru mikrosertlik artışı görülmektedir.
- MIG kaynağıyla birleştirilmiş numunelerde esas metalden ITAB' a doğru mikrosertlik artışı görülmektedir. ITAB' den kaynak metaline doğru mikrosertlik azalmaktadır.
- TIG kaynağıyla birleştirilmiş numunelerde esas metalden ITAB' a doğru mikrosertlik artışı görülmektedir. ITAB' den kaynak metaline doğru mikrosertlik azalmaktadır.
- TM malzemelerin mekanik özellikleri gözeneklerin varlığından dolayı düşer. Çekme mukavemeti ve sertlik gözenek miktarı ile doğrusal olarak düşer.
- Akım arttıkça çökme (şekil bozuklukları) artmaktadır. Buda kopma mukavemetini etkilemektedir. Yapı itibariyle TIG kaynağı yapılmış TM parçaların kopma mukavemeti MIG kaynağı ve örtülü elektrot ile ark kaynak yöntemi uygulanmış TM parçalardan yüksektir. En düşük kopma mukavemetine MIG kaynak yöntemi sahiptir.

## KAYNAKLAR

- [1] KEMPTON, H.R., "History of Powder Metallurgy", Metals Handbook, Volume 7, P:14-20, 1993, U.S.A.
- [2] LINDKOG, P., ARBSTEDT, P., "Iron Powder Manufacturing Techniques:A Brief Review", Powder Metallurgy, Volume 29, Number 1, 1986
- [3] MORIOKA, Y., "Recent Trends in Ferrous P/M Materials", Powder Metallurgy World Congress, 1993, Japan
- [4] STOSUY, A, "Microstructures of Ferrous Powder Metallurgy Alloys", Atlas of Microstructures of Industrial Alloys, 1993, U.S.A
- [5] "Production Sintering Practices for P/M Materials", Metals Handbook, Volume 7,P:360-368
- [6] WHITTAKER, D., "Ferrous P/M Components - Where From Here", Powder Metallurgy, Volume 38, Number 2, 1993
- [7] CRAWSON, A., "P/M Ferrous Materials" Metals Handbook, Volume 7, P:623,1993, U.S.A.
- [8] JAMES, B.A, "Liquid Phase Sintering in Ferrous Powder Metallurgy", Powder Metallurgy, Volume 28, Number 3, 1985
- [9] "Automotive Applications", Metals Handbook, Volume 7, P:617-621, 1993, U.S.A
- [10] LENEL, V.F., "Production of Iron Powder by Reduction of Iron Oxide", Metals Handbook, Volume 7, P: 79-82, 1993, U.S.A
- [11] KLAR, E., "Production of Copper Powder by Reduction of Copper Oxide", Metals Handbook, Volume 7, P:105-110, 1993, U.S.A
- [12] SAMAL, K.P., "Production of Iron Powder by Electrolysis", Metals Handbook,Volume 7, P:93, 1993, U.S.A
- [13] KRAL, E., "Chemical Methods of Powder Production", Metals Handbook,Volume 7, P:52-55, 1993, U.S.A
- [14] TAUBENBLAT, P.W., "Production of Copper Powder by Electrolysis", Metals Handbook, Volume7, P:111, 1993, U.S.A

- [15] GERMAN, R.M., Powder Metallurgy Science ; Türk Toz Metalurjisi Yayınları: 05 Çeviri Editörleri : SARITAŞ, S., TÜRKER, M., DURLU, N., " Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri ", 2007, ANKARA
- [16] DEMİR, A, "Toz Metal Bir Çeliğin Mekanik Özelliklen", Master Tezi, Gazi Üniv., F.B.E., 1992, ANKARA
- [17] THÜMMLER, F., OBERACKER, R, "Introduction to Powder Metallurgy", 1993, U.S.A
- [18] LENEL, V.F., "Production of Powder by Water Atomization of Low Carbon Iron", Metals Handbook, Volume 7, P:83-86, 1993, U.S.A
- [19] BRADBURY,S., " Powder Metallurgy Equipment Manual", 1986, U.S.A
- [20] THOMPSON, C.B., "Lubrication of Metals Powders", Metals Handbook,Volume 7, P:190, 1993, U.S.A
- [21] LENEL, VoFo, "Mechanical Fundamentals of Consolidation", Metals Handbook,Volume 7, P:287-301, 1993, U.S.A
- [22] ÖZKAL, B., "Volfram Ağır Alaşımlarında Başlangıç Toz Özelliklerinin Sıvı Faz Sinterlenmesi Yoluyla Yoğunlaşma Süreçlerine Olan Etkileri",Master Tezi, İ.T.Ü., F.B.E, 1994, İSTANBUL
- [23] ŞULAN, T., " Toz Metalurjisi Yöntemleriyle Geliştirilen 90W7Ni3Fe Ağır Alaşımlarının Sıvı Faz Sinterlemesi Süreçleriyle Üretilmesi ve Karakterizasyonu ", Master Tezi, İ.T.Ü., F.B.E., 1993, İST.
- [24] EXNER, H.E., ARZT, E., "Sintering Processes", Physical Metallurgy, 1983, U.S.A
- [25] KAYYSER, W.A., PETZOW, G., "Present State of Liquid Phase Sintering" ,Powder Metallurgy, Volume 28, 1985, U.S.A.
- [26] EREMENKO, V.N., NAIDICH, Y.V., LA VRINENKO, I.A., "Liquid Phase Sintering' 1970, U.R.S.S.
- [27] GERMAN, R.M., "Liquid Phase sintering", 1985, U.S.A.
- [28] COURTNEY, T.H., "Densification and Structural Development in Liquid Phase Sintering", Metallurgical Transaction, Volume 15A, 1984
- [29] PARK, H.H., CHO, S.1., YOON, D.N., "Pore Filling Process in Liquid Phase Sintering", Metallurgical Transaction, Volume ISA, 1984

- [30] KAYSSER, W.A, T AKAJO, S., PETZOW, Go, "Particle Growth by Coalescence During Liquid Phase Sintering Fe-Cu", Sintering Theoretical and Practice, 1981, U.S.A
- [31] NAYAR, S.H., "Protiuction Sintering Atmospheres", Metals Handbook, Volume 7, 1993, U.S.A
- [32] KAWASAKI, P., "Effect of Sintering Atmosphere on Properties", Procedings Fourteenth Annual Meeting, 1958, U.S.A
- [33] Kaluç E., (2004), Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Cilt 1, Yayın No: MMO/2004/356,31 Kocaeli
- [34] Gültekin N., (1991), Kaynak Tekniği, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul
- [35] Gültekin N., (1981), Kaynak Tekniği, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul S., 8-63
- [36] Anonim 1984 Metals Handbook, 9. Baskı, cilt 7, Powder Metallurgy A.S.M Amerika P 12-21
- [37] Eryürek, İ. B. ,Bodur, O. Dikicioğlu, A. 1996 Kaynak Teknolojisinin Esasları Birsen Yayınevi, İstanbul. S 107-207
- [38] Hamill, J.A., "PM Joining Processes Materials and Techniques", The Int. J. Of Powder Metallurgy, Vol. 27, No 4, pp 363-371,1991.
- [39] Kurt, A., Gülenç,B., Durgutlu, A., "Ergitmeli Kaynak Yöntemleri İle Birleştirilen Hadde-Toz Metal Cu Malzemede ITAB'ın İncelenmesi", 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı Bildiriler Kitabı, s. 565-570, 1999.
- [40] Kurt,A.,Gülenç,B.,Türker,M.,"Saf Demir Tozlarından Sıkıştırılan T/M Parçaların Düşük Karbonlu Çeliğe MIG/MAG Kaynağı ile Kaynaklanabilirliğinin Araştırması" 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı Bildiriler Kitabı, s. 595-602, 1996.
- Anık S., Anık E.S., Vural M., (1993), 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, İstanbul, Birsen Yayın Evi, sy.7
- Demir, A., " Sinterlenmiş Demir Toz Metal Malzemelerin Mekanik Özellikleri," Y.Lisans Tezi, Gazi Üniv. Fen Bil. Enst. 1992
- Adsan, K., "Kaynak Tekniği" YTÖO Yayını, Ankara, 1976.

## **İNTERNET KAYNAKLARI**

<http://www.oerlikon.com.tr>

<http://www.weldingengineer.com/1stick.htm>

<http://www.anatamir.com/kaynak/.kaynaksanati.htm>

<http://www.turkishpm.org>



## ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	20.05.1980	
Doğum yeri	Tunceli	
Lise	1995-1998	Fatih Vatan Lisesi
Lisans	1999-2003	Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2004-2008	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

## Çalıştığı kurum

GÜNER PLASTİK, Ümraniye, İstanbul	Şubat 2005 – Şubat 2007
• Kalite Kontrol Sorumlusu	Şubat 2005 – Ocak 2006
• Kalite Müdürü	Ocak 2006 – Şubat 2007
ASRİN KALIP Ümraniye, İstanbul	
İmalat Sorumlusu	Mart 2007 – Ekim 2007