

Okan Üniversitesi MYO

MUTK215

HAVACILIKTA İMALAT İŞLEMLERİ

Ders Yürütücüsü:

Öğr. Gör. Eren Kayaoglu

eren.kayaoglu@okan.edu.tr

DERS 2

MUTK215 – Havacılıkta İmalat İşlemleri

Ders Sunumları (.pdf) + Kaynaklar

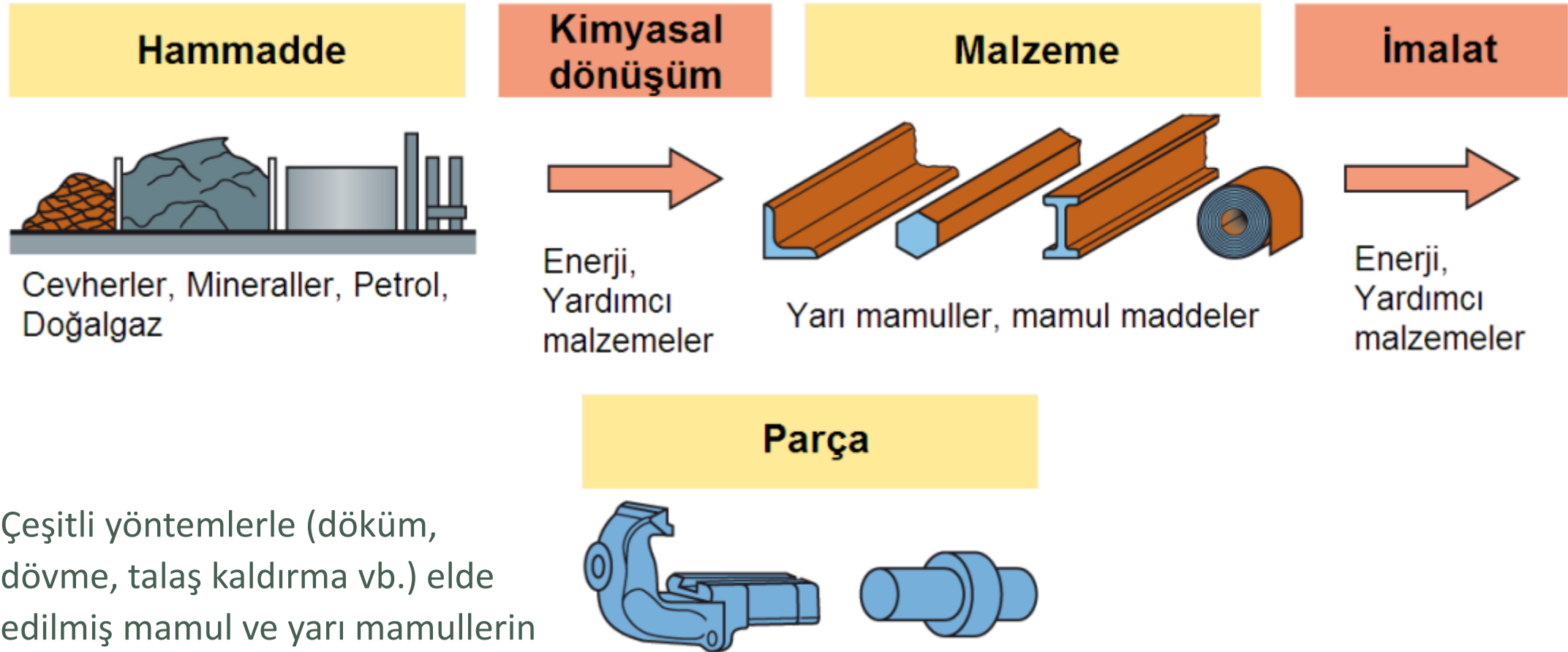
<http://okanuni.eren.xyz>

Web adresinden indirebilirsiniz.

İmal Usulleri

Döküm / Katılaştırma	Talaşlı Şekil Verme	Plastik Şekil Verme	Birleştirme
Demir Esaslı	Torna	Serbest Dövme ve Basma	Kaynak Tekniği
Demir Esaslı Olmayan	Freze	Kalıpta Dövme ve Basma	* TIG, MIG, Laser
	Matkap	Ekstrüzyon	* Elektrik ark
Kum Kalıba	Azdırma, Vida Açma	Haddeleme	* Gaz altı, toz altı
Sürekli Kalıba	Taşlama (Aşındırma)	Tel Çekme	* Oksi-asetilen
Basınçlı	Vargel / Planya	Ovalama (vida dişi açma)	* Sürtünme, ultrasonik
Santrifüj	Rayba	Bükme, kıvrırma	Puntalama
Plastik Enjeksiyon	Broş	Presleme	Lehimleme / Sert Lehim
Silikon Kalıplama	Lazer / Su Jeti ile kesme		Perçinleme
	Testere ile kesme		Yapıştırma
	Isıl ve Kimyasal Yöntemler		

İmal Usulleri / Birleştirme Yöntemleri



Çeşitli yöntemlerle (döküm, dövme, talaş kaldırma vb.) elde edilmiş mamul ve yarı mamullerin birleştirilmesi gerekebilir.

İmal Usulleri / Birleştirme Yöntemleri

- *Şekilsel*
- *Kuvvet Bağlı*
- *Öngerilmeli Şekilsel*
- *Maddesel*

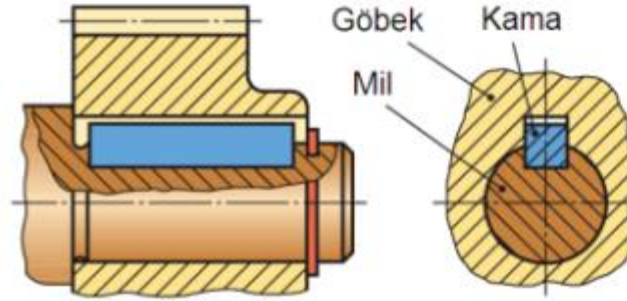
İmal Usulleri

Birleştirme Yöntemleri

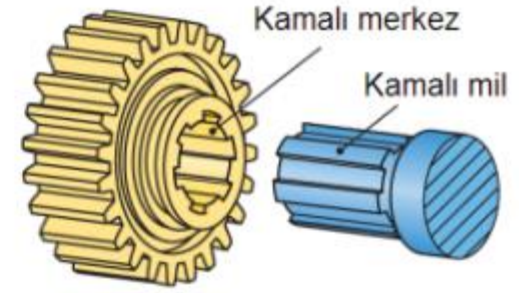
Genel Bakış

ŞEKİLSSEL

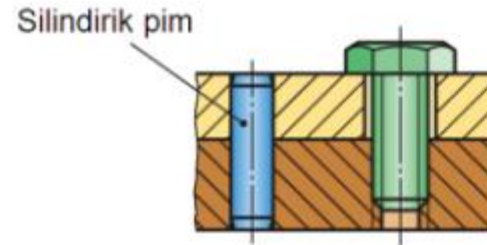
İçe yerleştirilen parçalar aracılığıyla
şekilsel birleştirme.



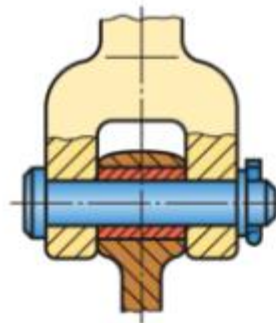
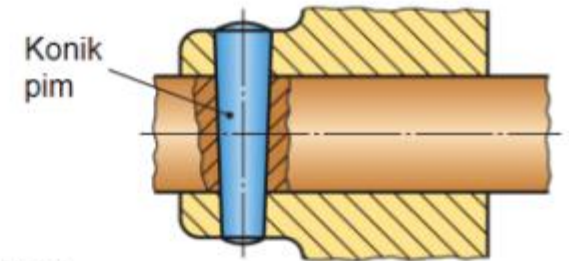
Kamalı birleştirme



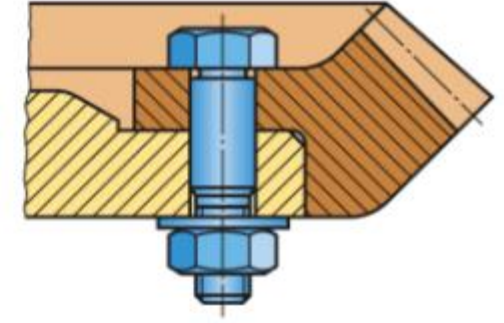
Kamalı mil bağlantısı



Pimli birleştirme



Saplamalı birleştirme



Cıvatalı birleştirme

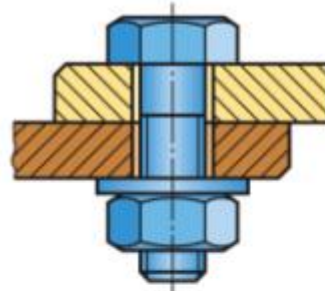
İmal Usulleri

Birleştirme Yöntemleri

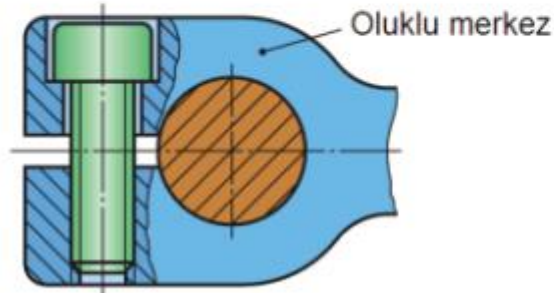
Genel Bakış

KUVVET BAĞLI

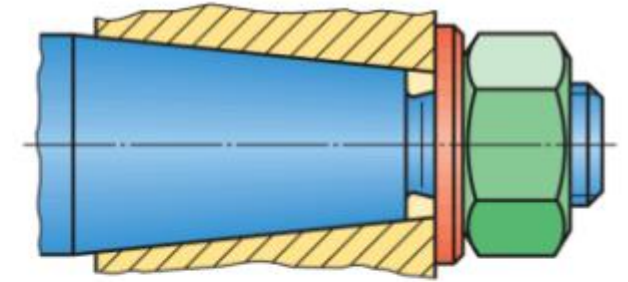
Sürtünme kuvvetleri aracılığıyla **kuvvet bağlı birleştirme**.



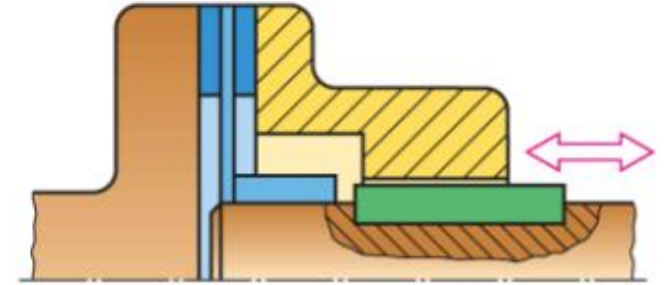
Cıvatalı birleştirme



Sıkıştırarak birleştirme



Konik birleştirme



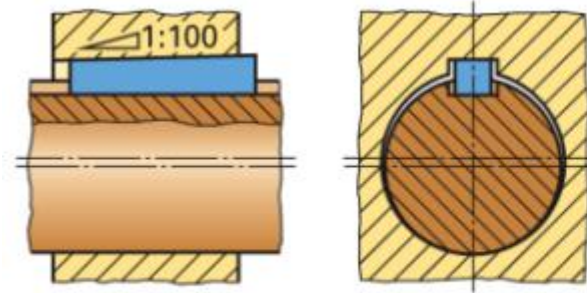
Sürtünmeli kavrama

İmal Usulleri

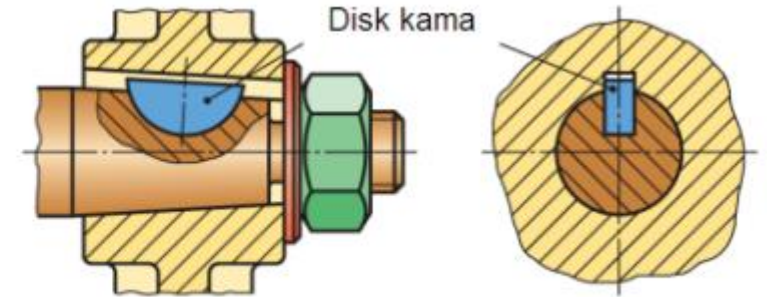
Birleştirme Yöntemleri

Genel Bakış

ÖNGERİLMELİ ŞEKİSEL



Kamalı birleştirme



Disk şeklinde kama ile kamalı birleştirme

Kuvvet ve şekil yardımıyla **öngerilmeli**
şekilsel birleştirme.

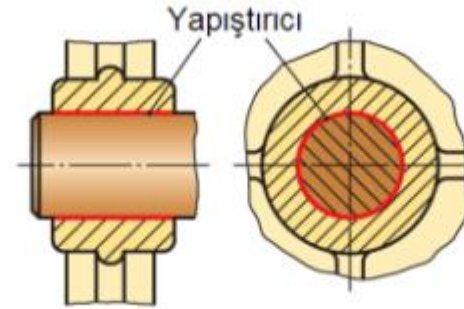
İmal Usulleri

Birleştirme Yöntemleri

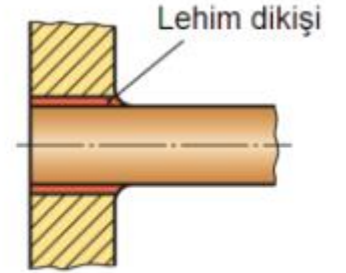
Genel Bakış



Kaynaklı birleştirme



Yapıştırma ile birleştirme



Lehimleme ile birleştirme

MADDESEL

Kaynak Tekniği, Yapıştırma, Lehimleme

Kohezyon ve adhezyon kuvvetleri yardımıyla **maddesel birleştirme**.

Birleştirme ve Bağlama Türleri

Mekanik Bağlama Elemanları ve Birleştirme Yöntemleri:

- Çözülebilir metotlar (hasar vermeden çözülebilen):
- Çözülemez metotlar (hasar verilerek çözülebilen örn: kesme, delme, ergitme):

Birleştirme ve Bağlama Türleri

Mekanik Bağlama Elemanları ve Bağlantı Yöntemleri:

- Çözülebilir metotlar (hasar vermeden çözülebilen):
Cıvata [*bolt*], somun [*nut*], saplama [*stud bolt / threaded rod*], vida [*screw*]
- Çözülemez metotlar (hasar verilerek çözülebilen örn: kesme, delme, ergitme):
Perçin [*rivet*], **kaynak tekniği** [*welding*], sert **lehimleme** ve lehimleme [*brazing / soldering*], **yapıştırma** [*adhesive bonding*]

Birleştirme yöntemleri

• Gaz Altı Kaynağı	• Elektrik Direnç Kaynağı	• Ultrasonik Kaynak
Tungsten asal gaz kaynağı (TIG)	Puntalama	• Lehimleme
Metal asal gaz kaynağı (MIG)	Saplama Kaynağı	• Sert Lehimleme
Plazma ark kaynağı	Direnç Dikiş Kaynağı	• Termoplastik Kaynak
• Elektrik Ark Kaynağı		• Yapıştırma
Açık Ark Kaynağı	• Elektron Demeti Kaynağı	
Örtülü Elektrot Kaynağı	• Lazer Işını Kaynağı	• Bağlama Elemanları
• Toz Altı Kaynağı	• Termit Kaynağı	Vidalama
• Gaz Ergitme (Oksi-Asetilen) Kaynağı	• Sürtünme Kaynağı	Perçinleme

Birleştirme Yöntemleri

Kaynak Tekniği	Diğer Yöntemler	Sınıflandırmalar
Oksi-asetilen	Perçinleme	❖ Basınç Kaynağı
TIG, MIG, MAG	Yapıştırma	❖ Ergitme Kaynağı
Elektrik ark	Cıvata – Somun vb.	
Gaz altı	Lehimleme	▪ Ergiyen Elektrod
Toz altı	Sert Lehimleme	▪ Ergimeyen Elektrod
Sürtünme		
Ultrasonik		○ Elektrik Direnç
Laser		○ Elektrik Ark
Alümino-Termit		
Puntalama		

Birleştirme Yöntemleri

* Kaynak Tekniği *

Kaynak Tekniği

En yaygın kullanılan çözülemez bağlantı yöntemidir.

Avantajları:

- İlave malzeme miktarı çok az olduğu için hafif konstrüksiyonlar elde edilir
- Kaynak bağlantılarının görünüşü düzgündür
- Kaynak işleminin esnekliği nedeni ile değişiklik ve ilaveler yapmak her zaman mümkündür
- Nispeten düşük maliyetlidir
- Zor geometrilerle dahi bağlantı yapmak mümkündür
- Bağlantı yüksek mukavemetlidir

Kaynak Tekniği

Dezavantajları:

- Genellikle ergime sonucu iç gerilmeler ve çarpılmalar oluşur
- Ergime-katılaşma sonucunda iç yapıda değişiklikler söz konusudur (gevrekleşme)
- Boyut toleransları bakımından sınırlamalar vardır
- Her mühendislik malzemesi kaynağa uygun değildir
- Gerilme giderme tavlaması ilave maliyet getirir

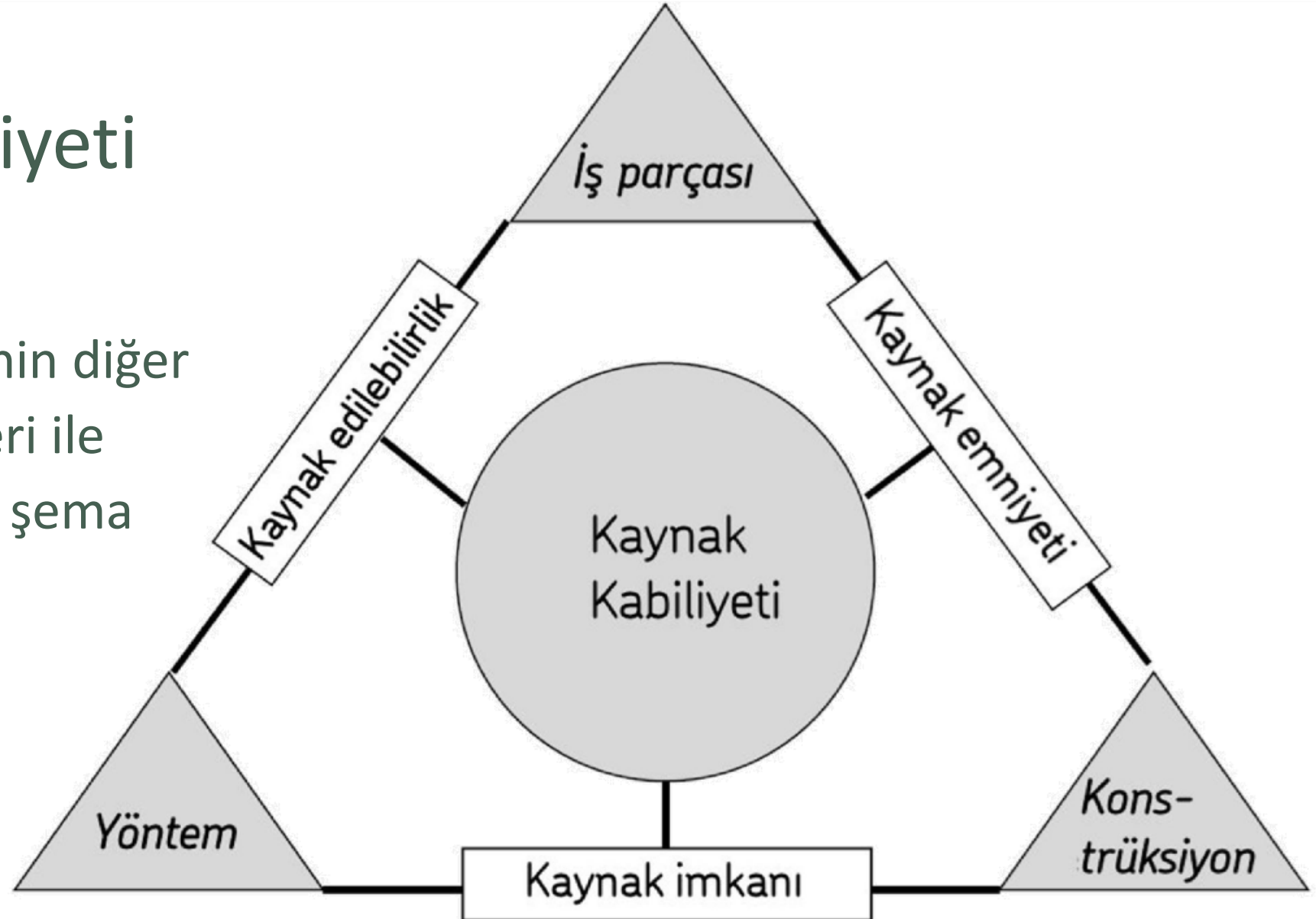
Kaynak Tekniği (Welding)

Kaynak tatbik edileceği malzemenin cinsine göre, metal kaynağı ve plastik malzeme kaynağı olarak ele alınır:

- ***Metal kaynağı:*** Metalik malzemeyi ısı veya basınç ya da her ikisini birden kullanarak ve aynı cinsten erime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme katarak veya katmadan birleştirme
 - İki parçanın birleştirilmesinde ilave bir malzeme kullanılırsa, bu malzemeye "ilave metal" adı verilir.
- ***Plastik malzeme kaynağı:*** Aynı veya farklı cinsten termoplastik (sertleşmeyen plastik) malzemeyi ısı ve basınç kullanarak ve aynı cinsten bir plastik ilave malzeme katarak veya katmadan birleştirme

Kaynak Kabiliyeti

Kaynak kabiliyetinin diğer imalat değişkenleri ile ilişkisini gösteren şema



Kaynak Yöntemleri

- **Eritme kaynağı** – kaynak, birleştirilecek iki parçanın, bazen bağlantıya ilave metal ekleyerek eritilmesiyle gerçekleştirilir

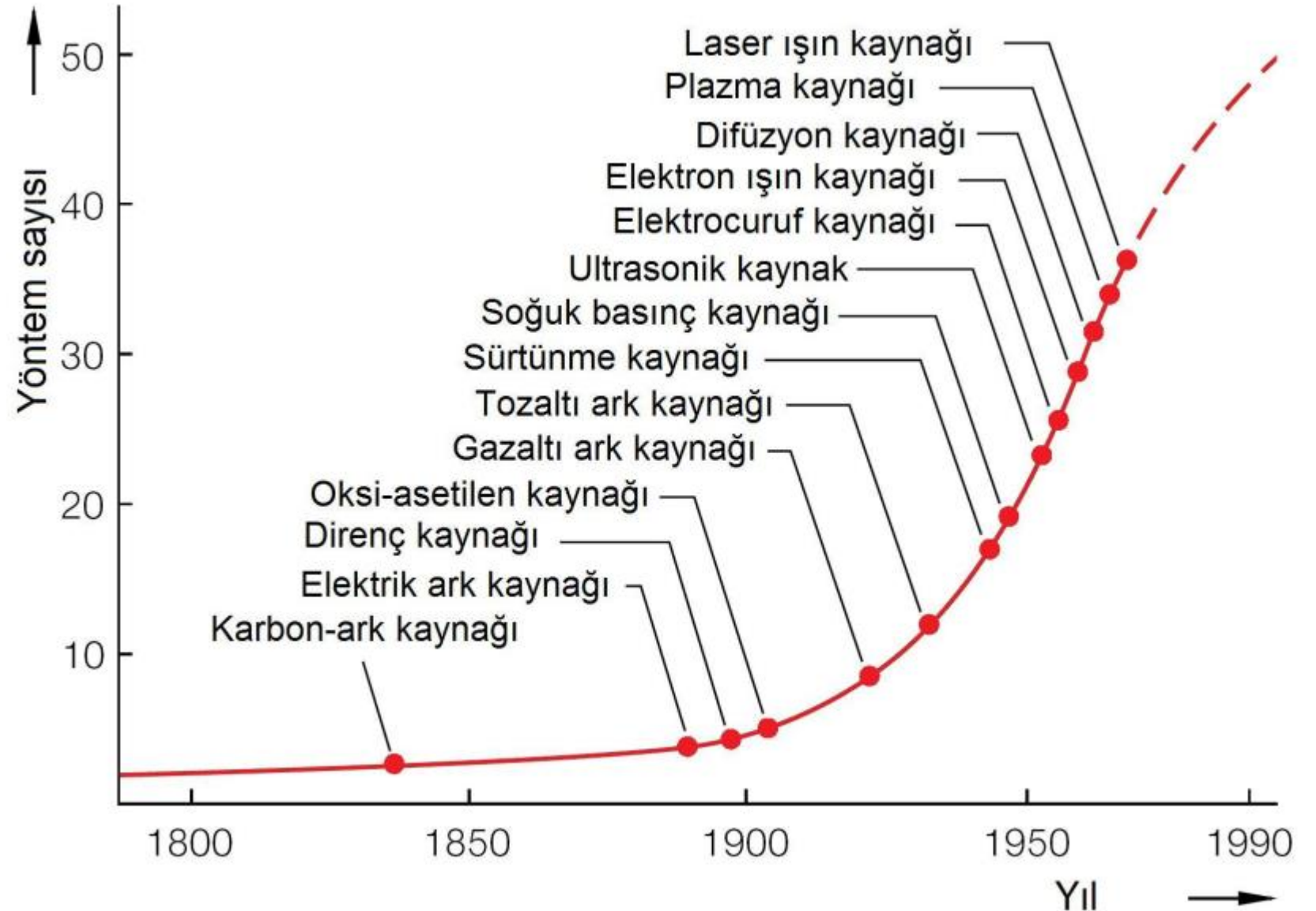
Örnekler: elektrik ark kaynağı, elektrik direnç kaynağı, oksî-yanıcı gaz kaynağı, lazer kaynağı

- **Katı hal kaynağı** – birleştirmeyi oluşturmak için ısı ve/veya basınç kullanılır; ancak esas metallerde erime olmaz ve ilave metal kullanılmaz

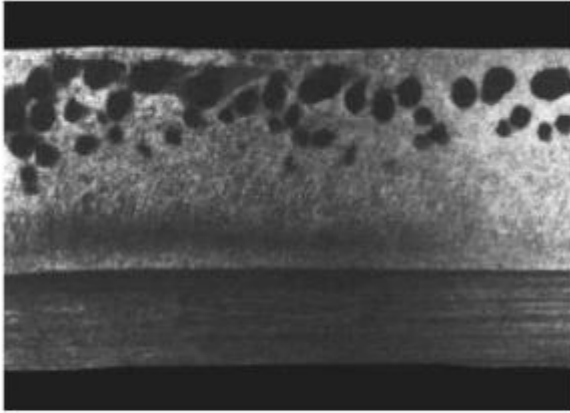
Örnekler: demirci kaynağı, difüzyon kaynağı, sürtünme kaynağı

Kaynak Yöntemlerinin Gelişimi

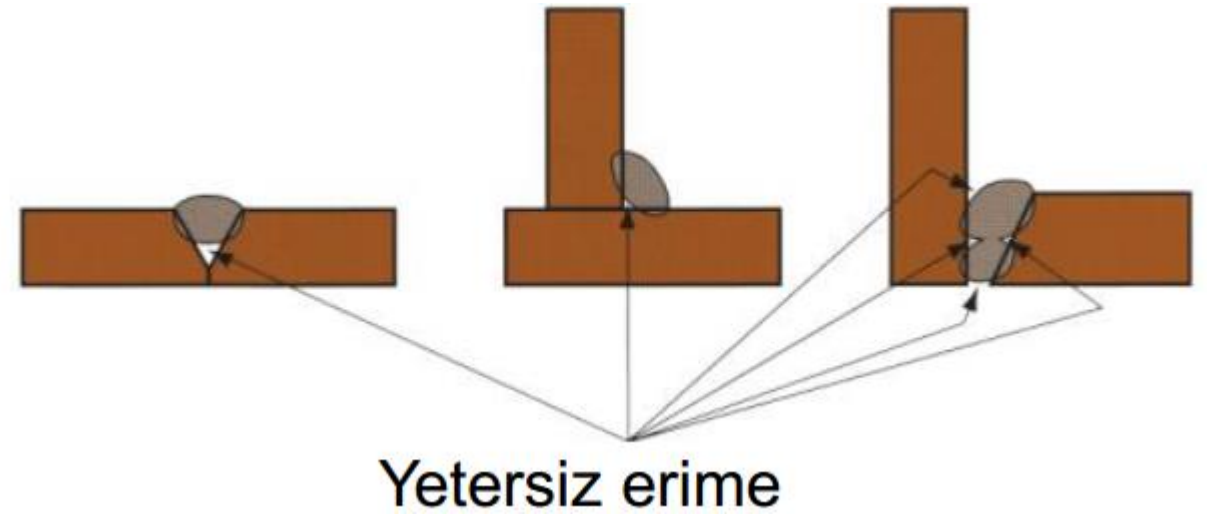
- Kaynak tekniği yöntemlerinin yıllara göre gelişimi



Kaynak Hataları

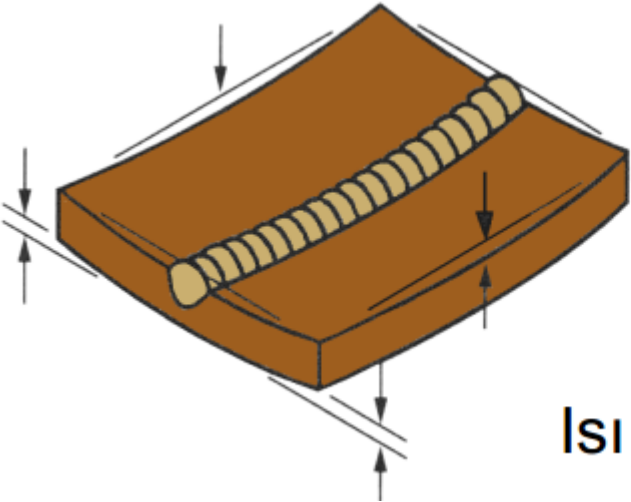


Gözenek

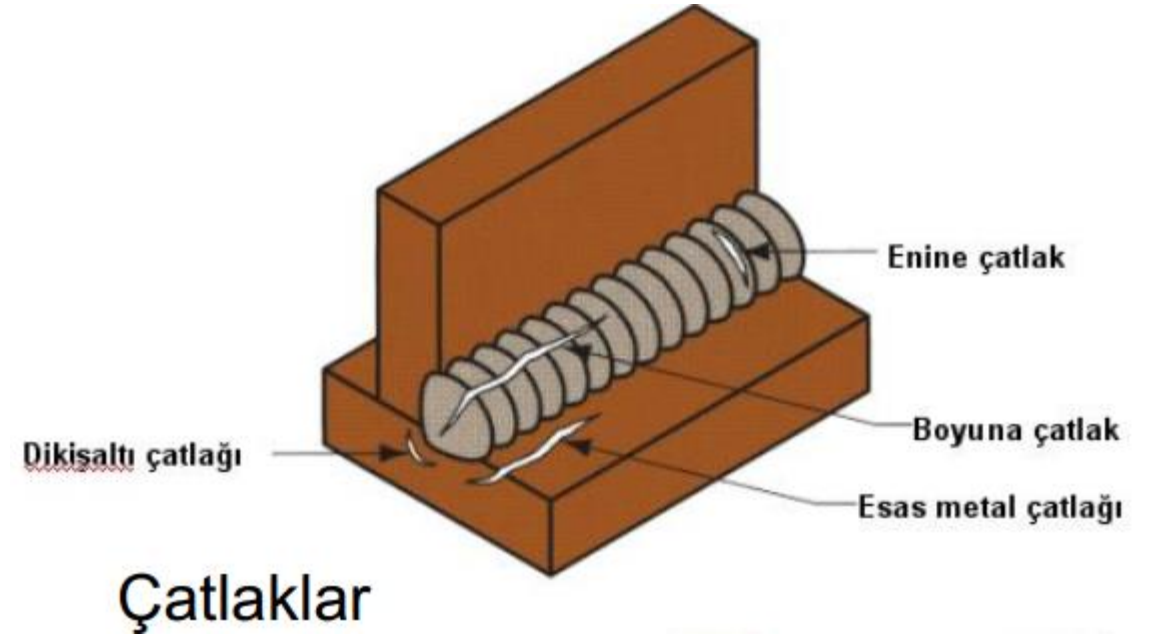


- Gözenek oluşumu ve yetersiz erime

Kaynak Hataları

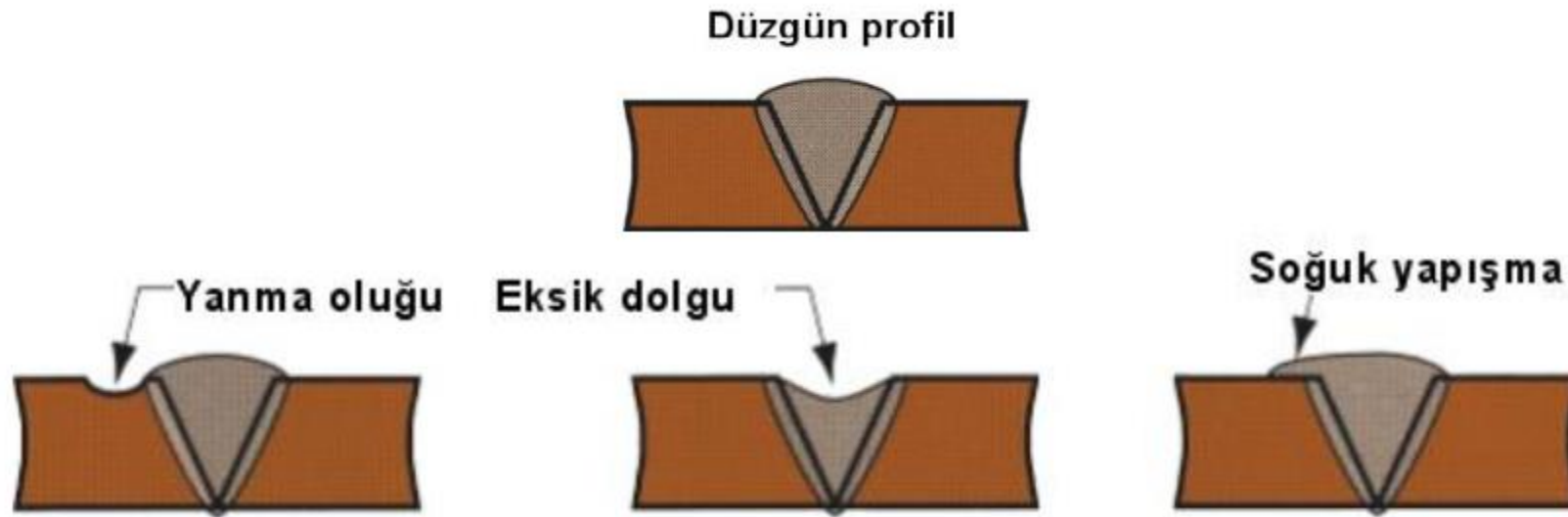


Isı etkisiyle oluşan distorsiyonlar



- Çatlak oluşumu ve ısı etkisiyle oluşan distorsiyonlar (şekil bozulmaları)

Kaynak Hataları

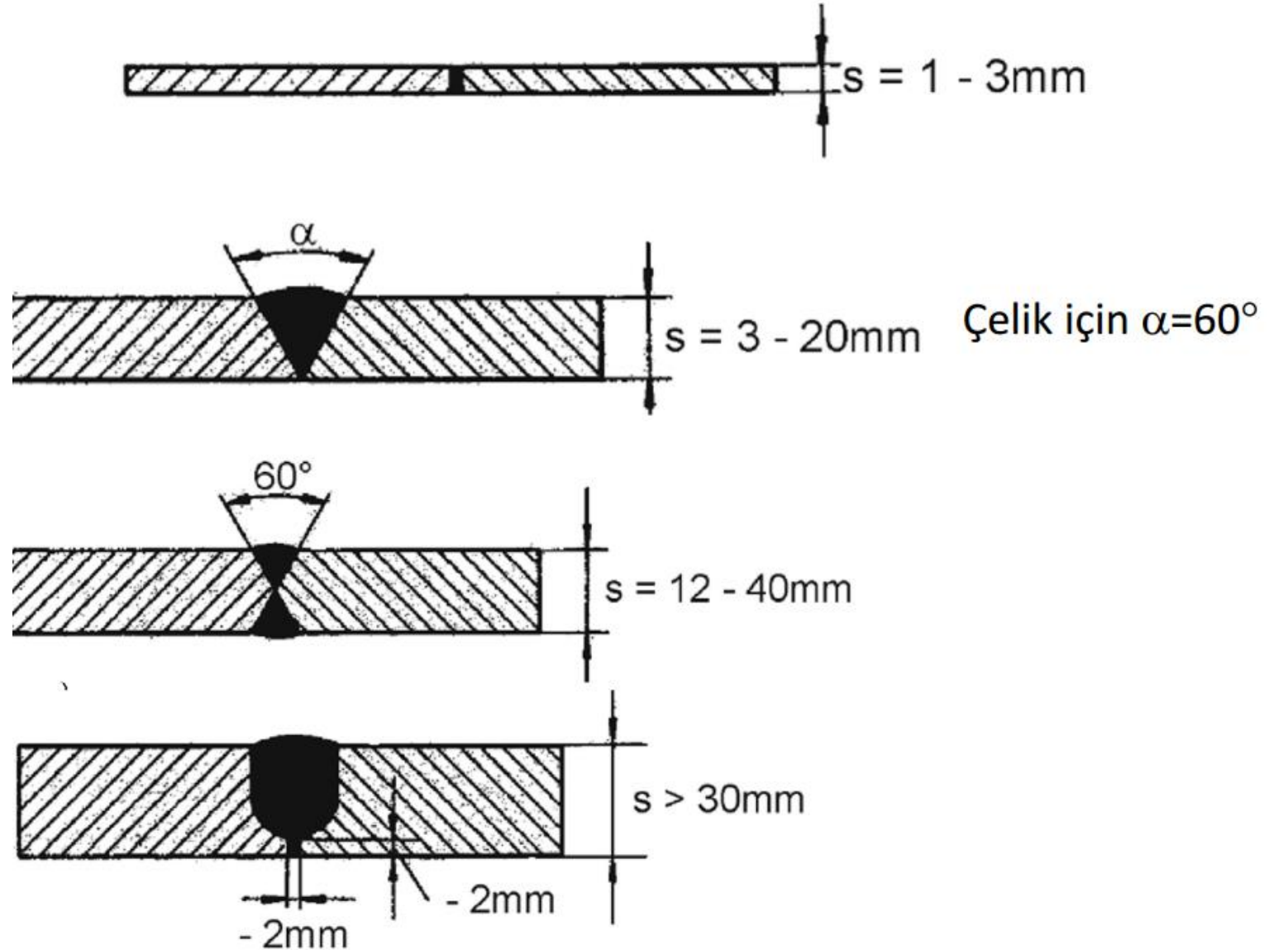


- Kaynak profil hataları: Yanma oluğu, eksik dolgu, soğuk yapışma

Kaynak Ağzı

Örnek Görsel:

Tipik kaynak ağzı uygulamaları

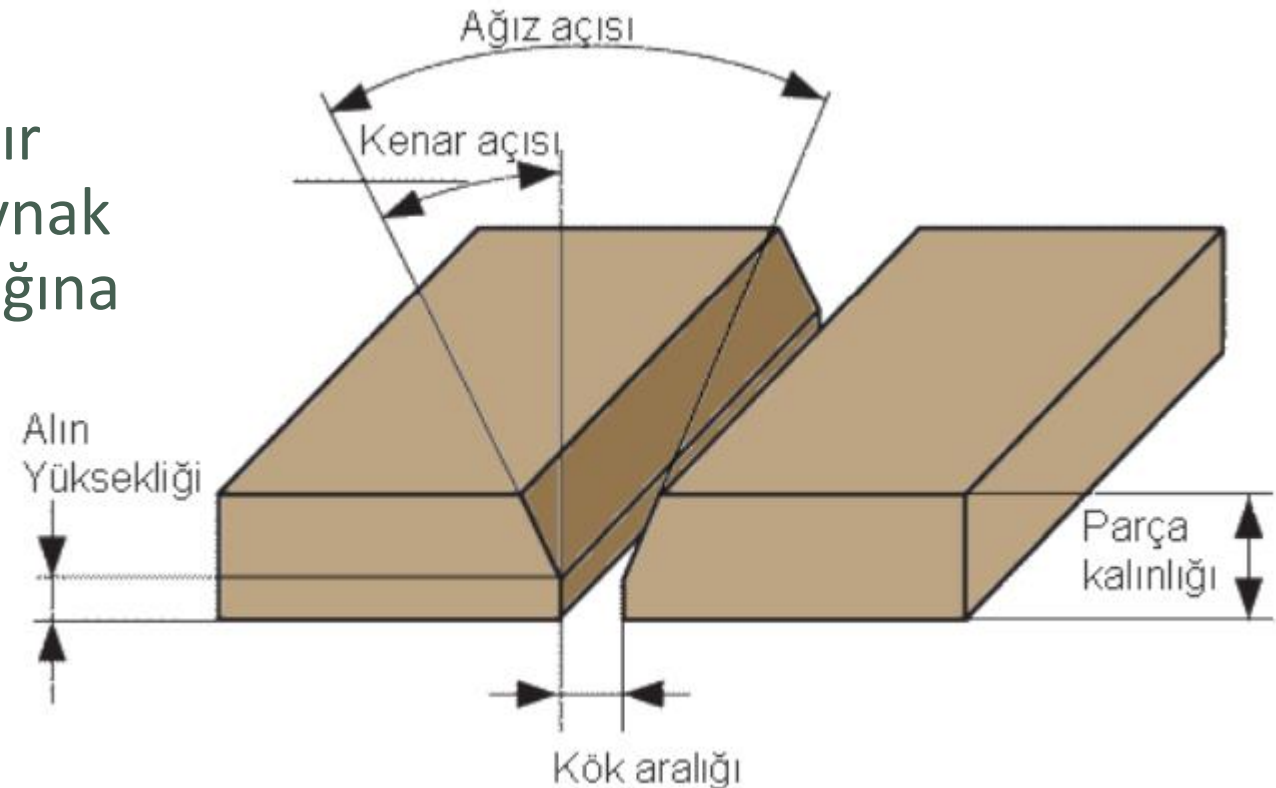


Kaynak Ağız Hazırlığı

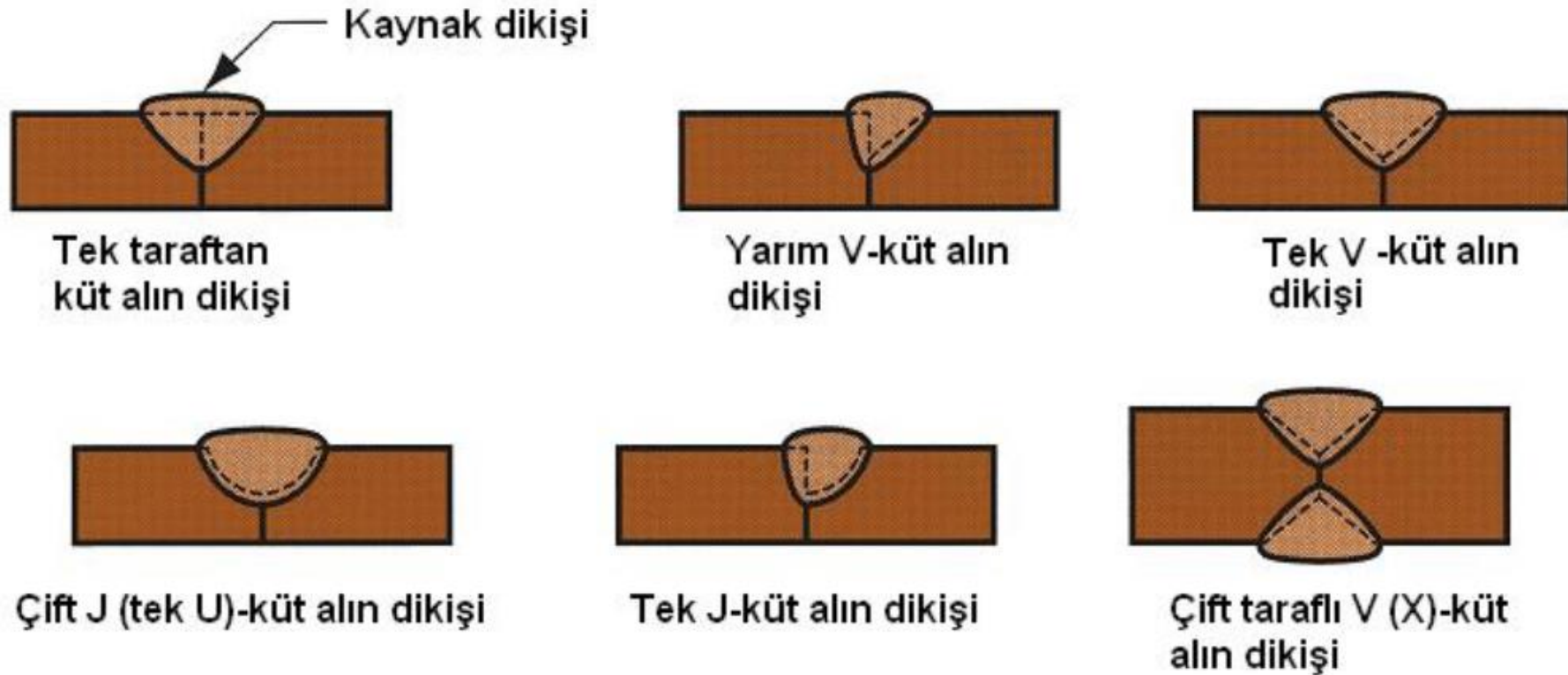
Ağız türünün seçimi:

- Parça kalınlığına
 - Kullanılacak kaynak yöntemine
 - Parçanın kaynak pozisyonuna bağlıdır
- Mümkünse tek pasolu (tek geçişli) kaynak tercih edilir; ancak malzemenin kalınlığına ve kaynak yöntemine göre çok paso gerekebilir.

Eritme kaynağında kaynak ağızı ile ilgili temel kavramlar →

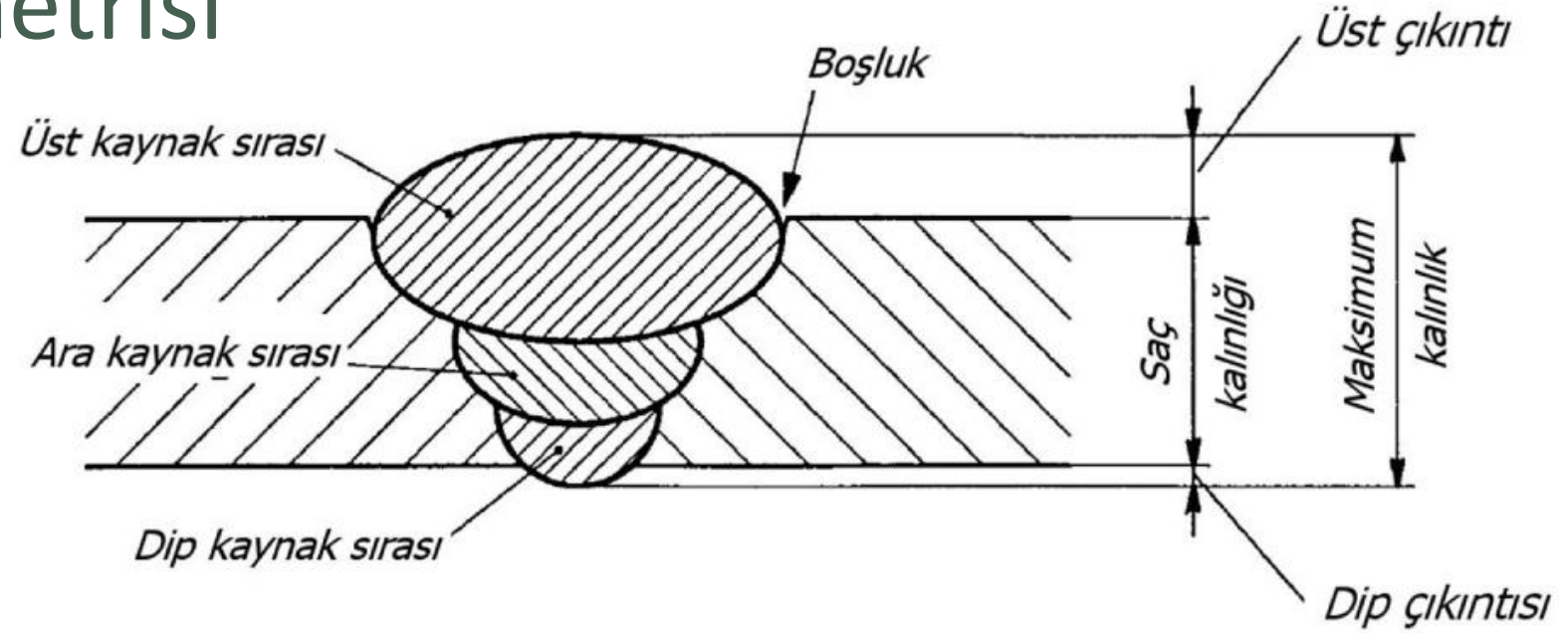


Kaynak Ağız Hazırlığı

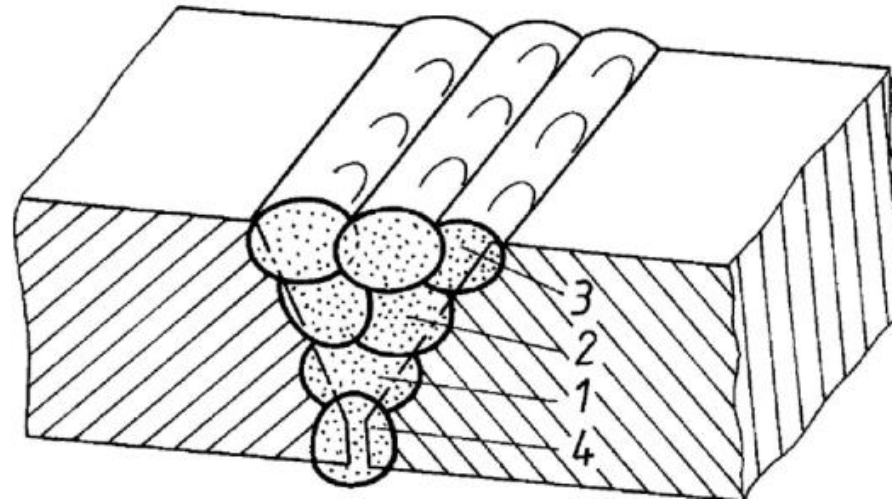


Küt alın dikişlerini oluşturmak için değişik şekillerde kaynak ağızları açılabilir. Kesikli çizgiler, orijinal kaynak ağız hazırlığını göstermektedir.

Kaynak Dikiş Geometrisi

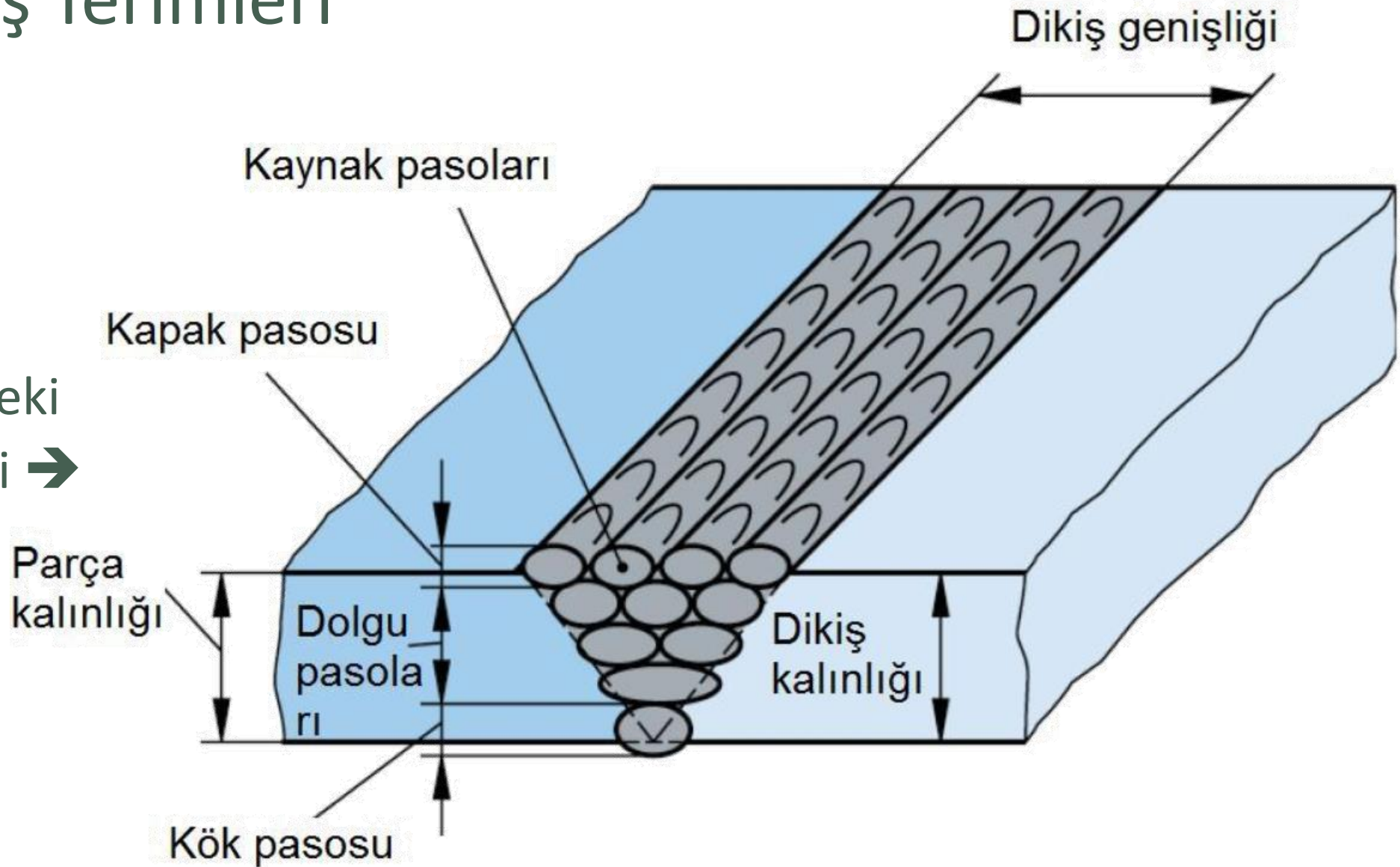


Örnek görsel:
Kaynak dikişinin yapısı



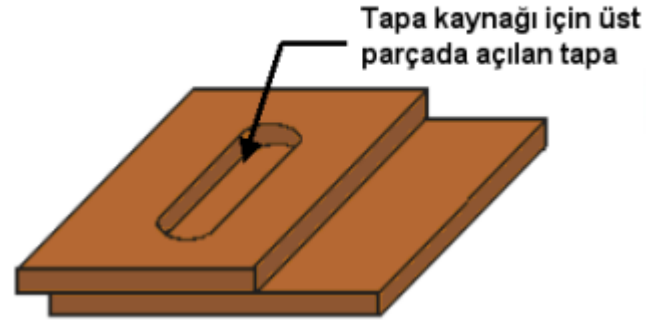
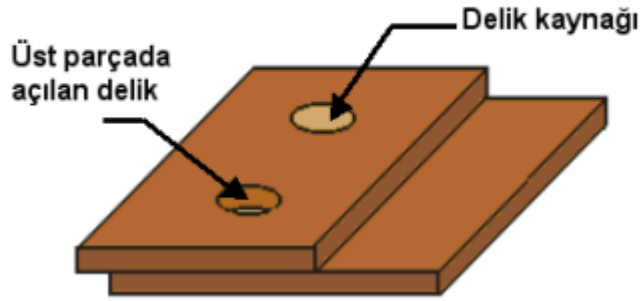
Kaynak Dikiş Terimleri

Kaynak dikişindeki
öğelerin isimleri →

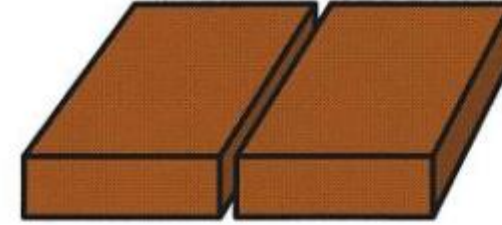


Kaynak Birleşim Türleri

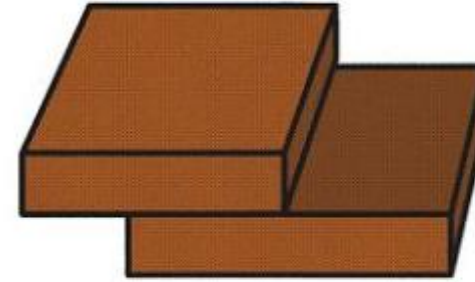
Tapa ve Delik kaynağı



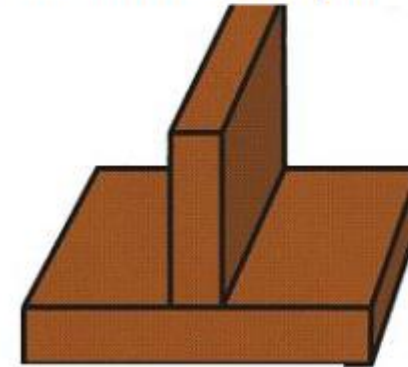
- Temel kaynak birleşim türleri →
 - Alın birleşim
 - Bindirme birleşim
 - T birleşim
 - Dış köşe birleşim
 - Kıvrık alın birleşim
- Tapa ve delik kaynağı



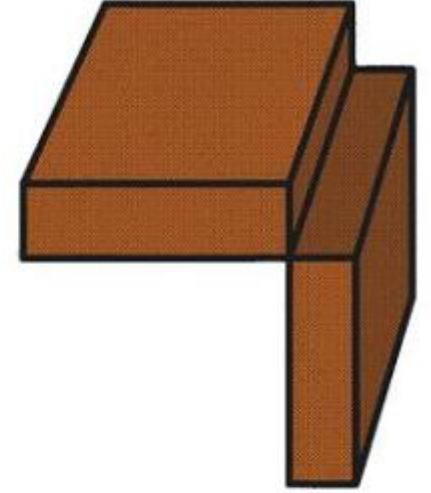
Alın birleşim



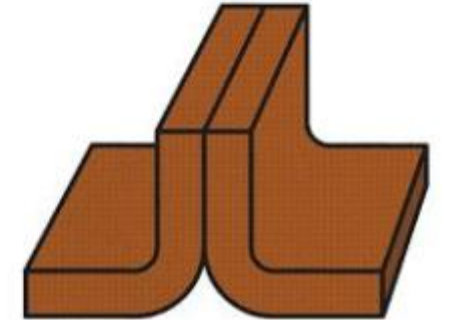
Bindirme birleşim



T- birleşim



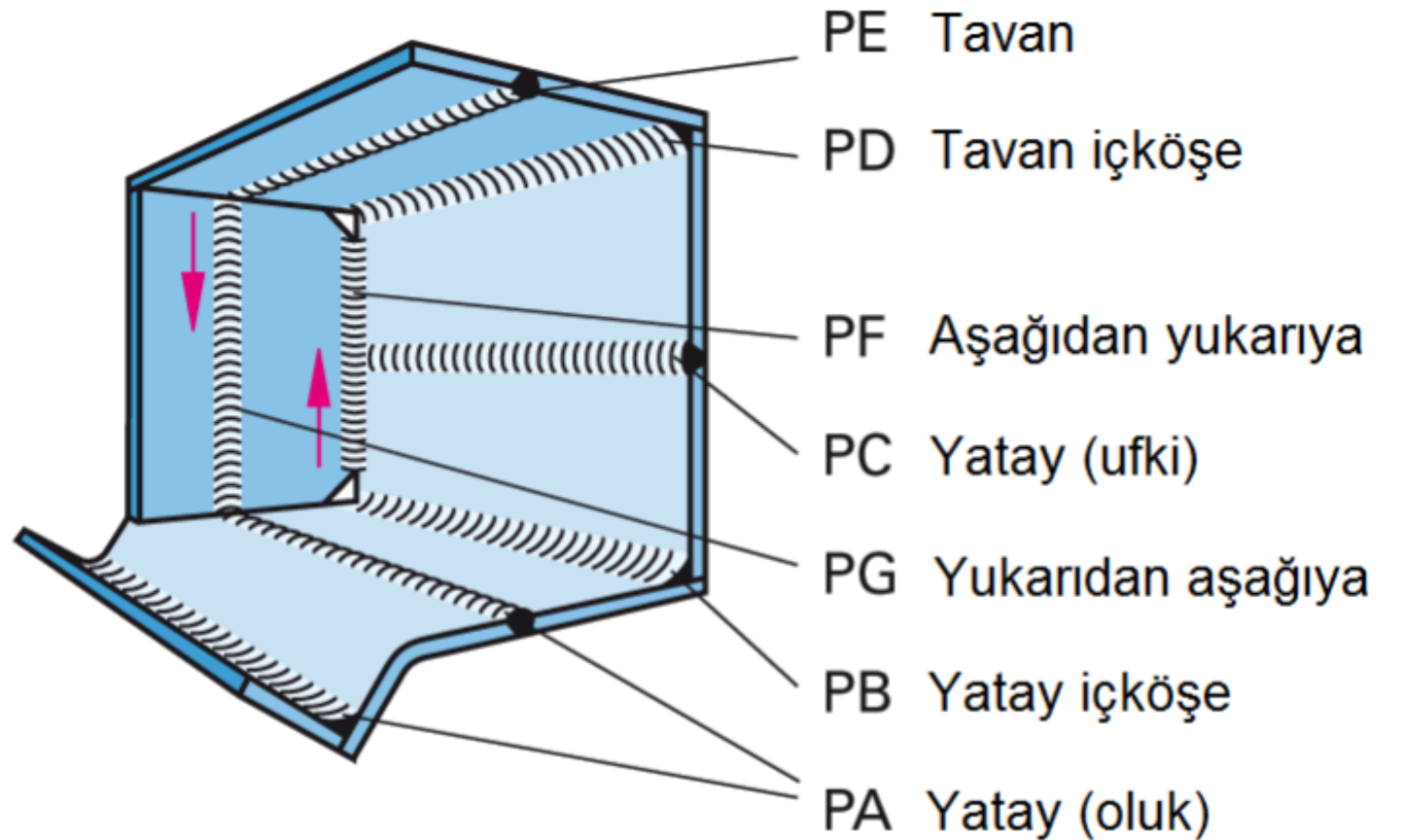
Dış köşe birleşim



Kıvrık alın birleşim

Kaynak Pozisyonları

Kaynak dikiş pozisyonları →



Kaynak Teknolojilerinin Fiziği

- **Eritme**, kaynakta birleşimi sağlayan en yaygın araçtır.
- Eritmeyi oluşturmak için, temas eden yüzeylere yüksek yoğunlukta bir ısı enerjisi uygulamak gerekir, böylece oluşturulan sıcaklık **esas metallerin** (ve kullanılmışsa ilave metalin) **yerel olarak erimesine** yol açar.
- Metalurjik nedenlerden dolayı, minimum enerjiyle ancak beraberinde yüksek ısı yoğunluklarıyla eritme tercih edilir.

Kaynak Teknolojilerinin Fiziği / Isı Yoğunluğu

- **Isı yoğunluğu:** Birim yüzey başına parçaya aktarılan güç (güç yoğunluğu), **W/mm^2**
- Eğer güç yoğunluğu çok düşükse, ısı parça içine iletilir ve erime oluşmaz
- Eğer güç yoğunluğu çok fazlaysa, yerel sıcaklıklar, etkilenen bölgedeki metali buharlaştırır
- Kaynağın gerçekleştirilebildiği, pratik bir ısı yoğunluğu aralığı mevcuttur

Kaynak Teknolojilerinin Fiziği / Güç Yoğunluğu

Yüzeye giren enerjinin buna karşı gelen yüzey alanına oranı:

$$PD = \frac{P}{A}$$

burada PD = güç yoğunluğu, W/mm^2 ;

P = yüzeye giren enerji, W ; ve

A = enerjinin girdiği yüzey alanı, mm^2

Kaynak Yöntemleri Arasında Karşılaştırma

- ***Oksi-yanıcı gaz kaynağı*** (OFW) geniş ısı miktarları üretir, ancak bu ısı geniş bir alana dağıldığından ısı yoğunluğu göreceli olarak düşüktür
– Oksi-asetilen gazı, OFW gazlarının en sıcak olanıdır; 3500°C'lik bir maksimum sıcaklığa ulaşır
- ***Ark kaynağı***, yerel sıcaklıkları 5500 °C ile 6600 °C'ye ulaşan, dar bir alanda yüksek enerji üretir

Kaynak Yöntemleri **Güç Yoğunluğu** Karşılaştırması

Değişik Kaynak Yöntemleri için Yaklaşık **Güç Yoğunlukları**

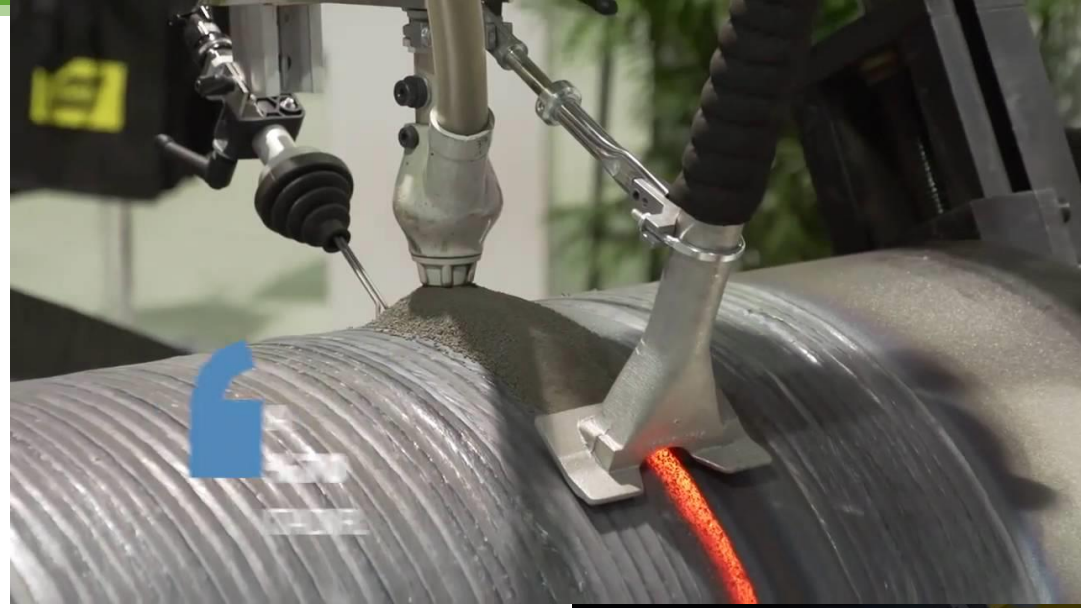
<u>Kaynak yöntemi</u>	<u>W/mm²</u>
Oksi-yanıcı gaz	10
Ark	50
Direnç	1,000
Laser ışını	9,000
Elektron ışını	10,000

Kaynak Yöntemleri

[Joining Processes]

Kaynak Yöntemleri

- Gaz Ergitme Kaynağı
- Açık Ark Kaynağı
- Toz Altı Kaynağı
- Gaz Altı Kaynağı
- Lazer Işını Kaynağı
- Elektron Demeti Kaynağı
- Elektrik Direnç Kaynağı
- Termit Kaynağı
- Sürtünme Kaynağı
- Ultrasonik Kaynak
- Termoplastik Kaynak



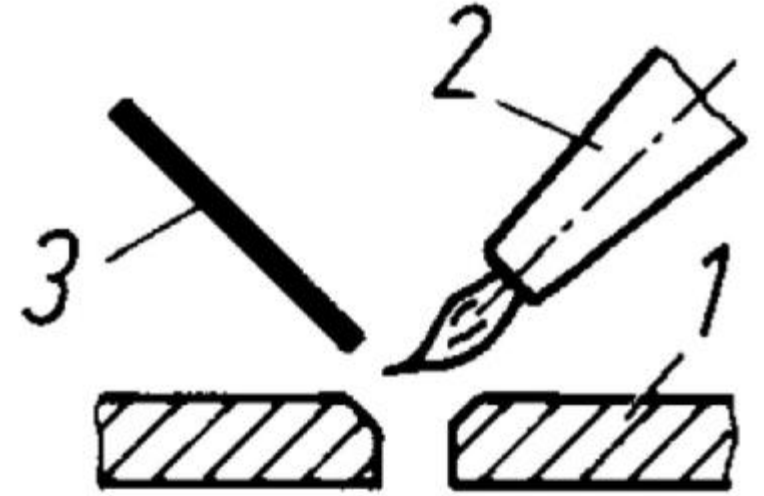
Kaynak Yöntemleri

- **Örnek Görseller:** Alüminyum kaynak dikişi



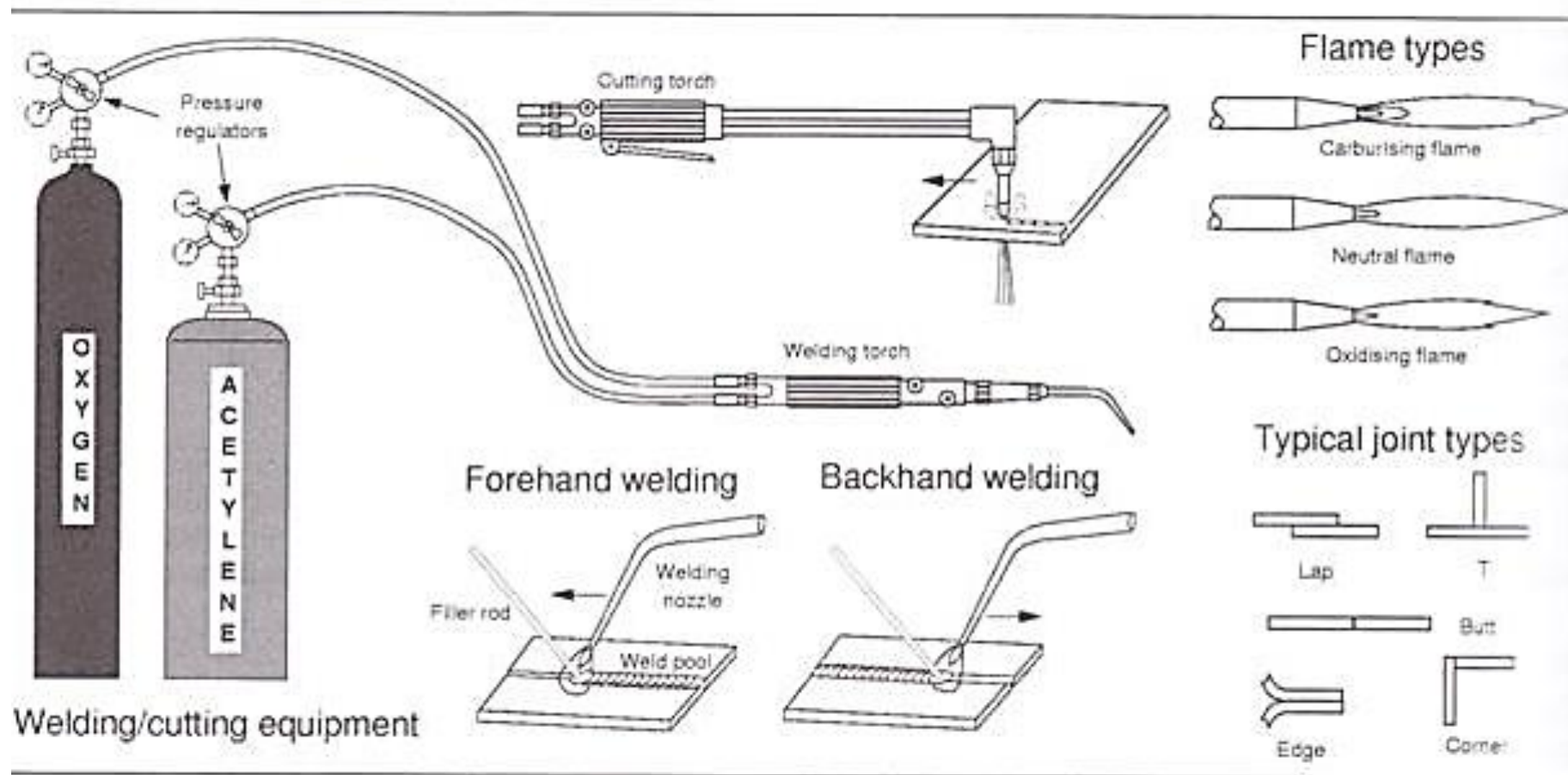
Gaz Ergitme Kaynağı (Oksi-Asetilen)

- Genel olarak ince metal saçların kaynağında kullanılır. Özellikle köşe ve kenarların kaynağı – çelik, alüminyum ve bakır saçlar ve ince borular
 - Dolgu malzemesiz:
Çelik – $t=0,5...4$ mm, Alüminyum - $t=0,5...1$ mm
 - Dolgu malzemeli:
Çelik – $t=4...15$ mm, Alüminyum - $t=1...15$ mm

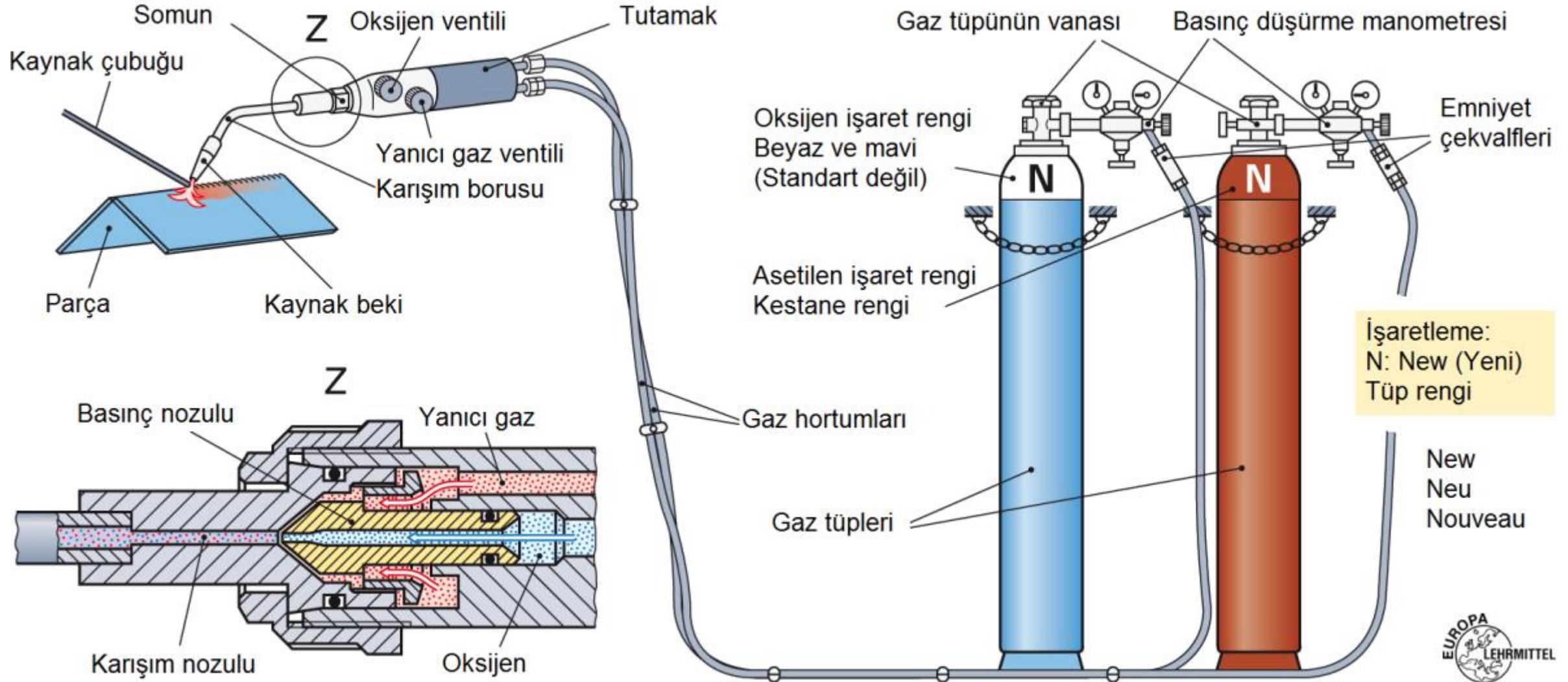


- 1) İş parçası
- 2) Şalumo (torç / torch)
- 3) Dolgu metal

Oksi-Asetilen Gaz kaynağı

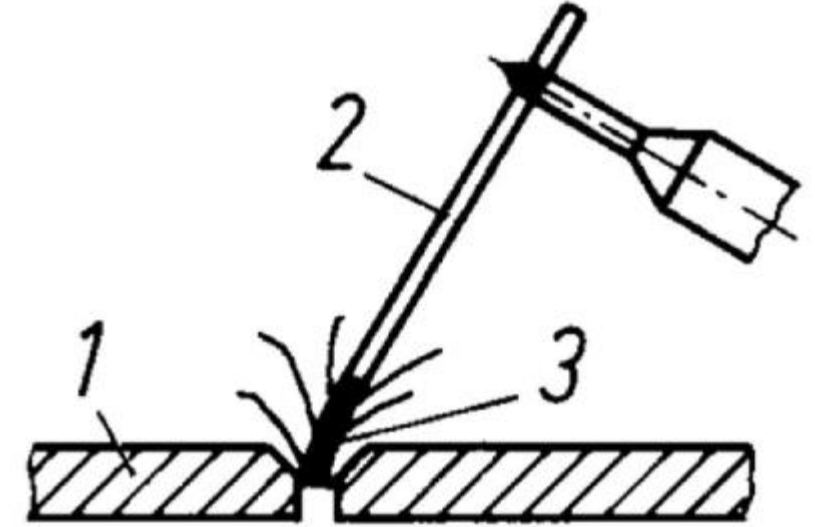


Oksi-Asetilen Kaynak Ekipmanı



Açık Ark Kaynağı

- İş parçası ile elektrot arasında manuel oluşturulan elektrik arkı ile metal ergir.
- Uygun elektrotlar ile bütün demir esaslı veya demir esaslı olmayan malzemelere uygulanır.
- $t = 1 \dots 100$ mm arasındaki sac levhalar veya borular.
- Bütün kaynak pozisyonlarına uygundur.
- Dikiş uzunluğu 250 mm den büyük ise elektrot değişimi gerekir.

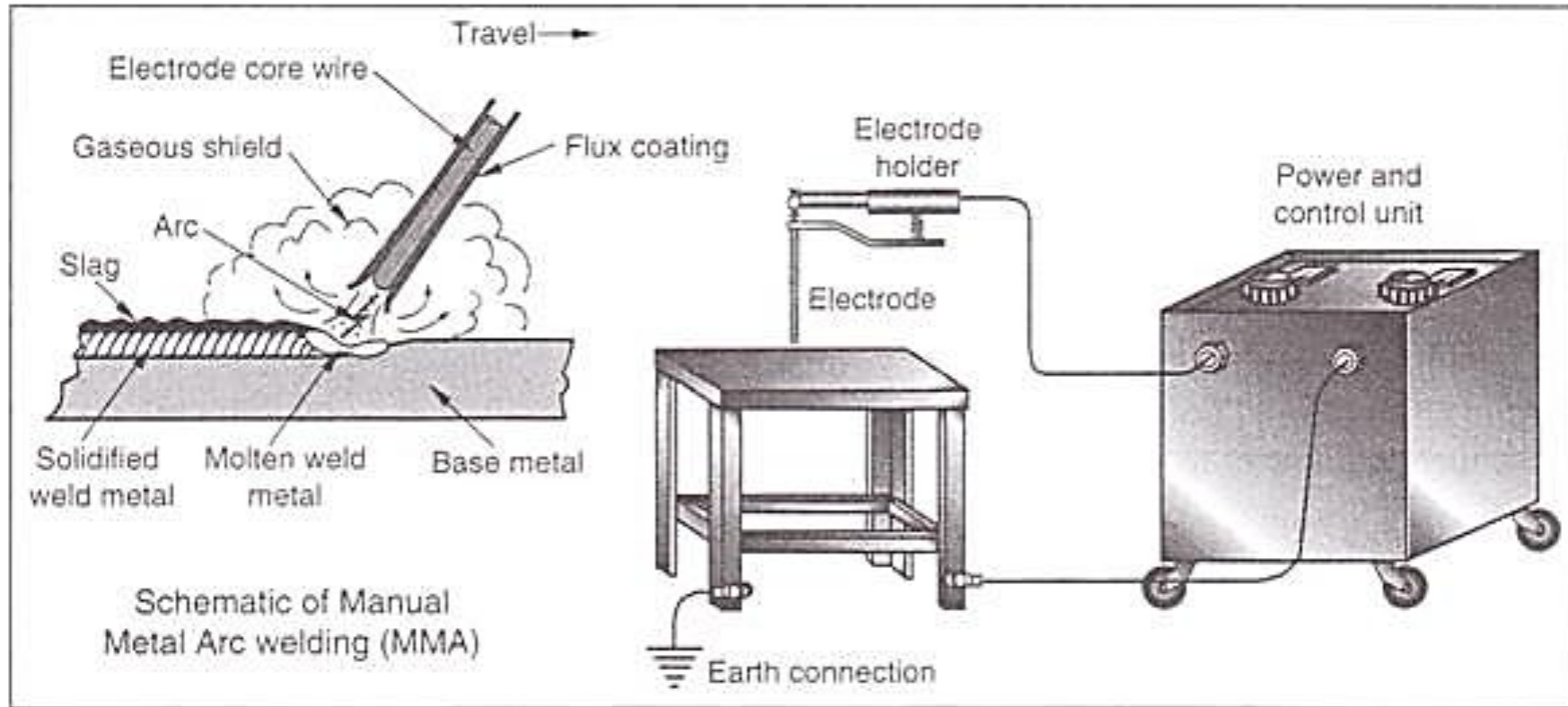


- 1) İş parçası
- 2) Metal elektrot
- 3) Elektrik arkı

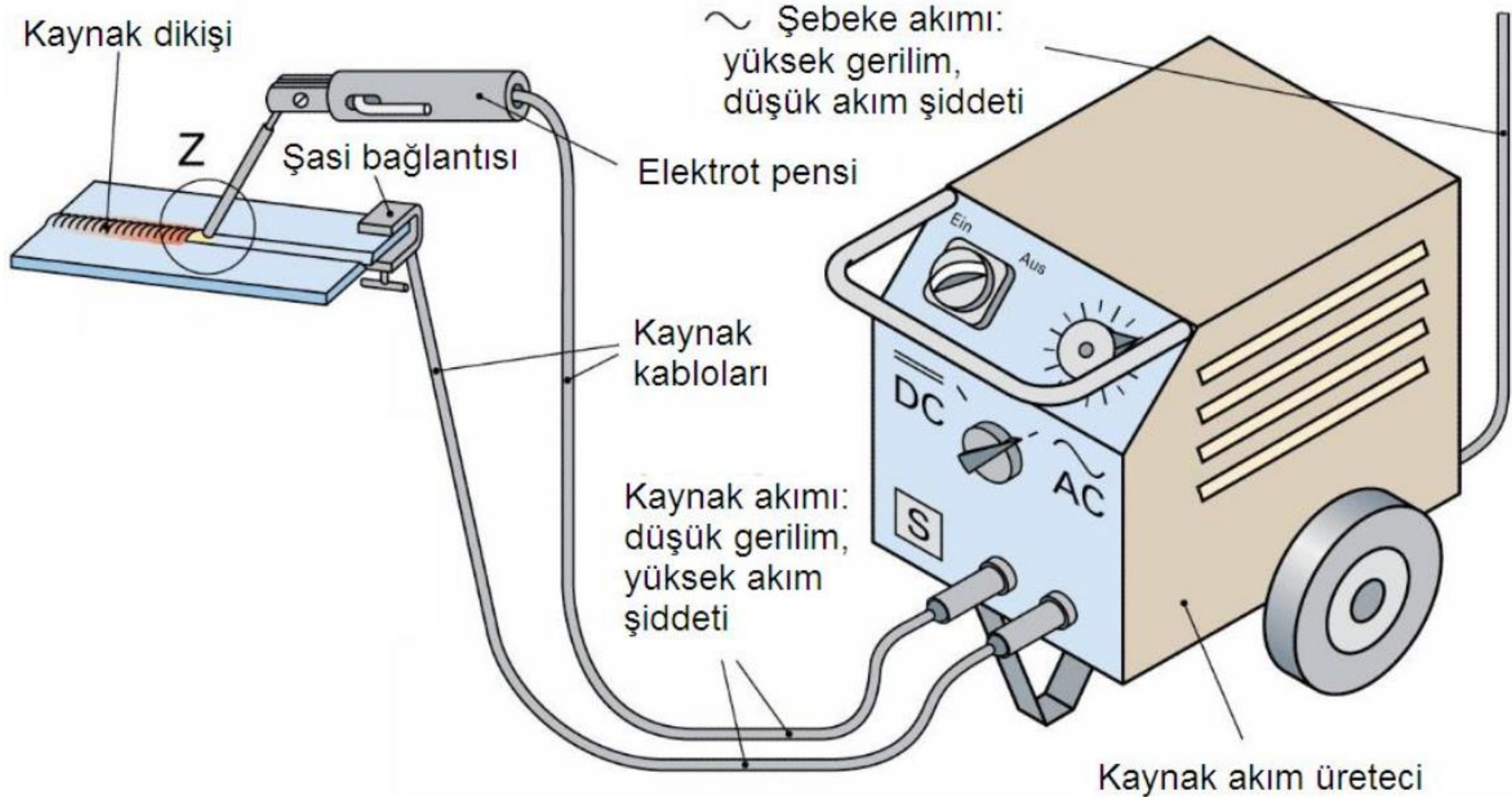
Örtülü Elektrot ile Açık Ark Kaynağı

- İş parçası ile elektrot arasında manuel oluşturulan elektrik arkı ile metal ergir.
- Mineral elementler içeren elektrot örtüsü erimiş kaynak bölgesinin okside olmasını engeller.
- Yaygın olarak düşük karbonlu çeliklerin tek paso ile yapılan kaynağında ve aşınmaya maruz yüzeylerin koruyucu olarak kaplanmasında kullanılır.

Örtülü Elektrot Ark Kaynağı

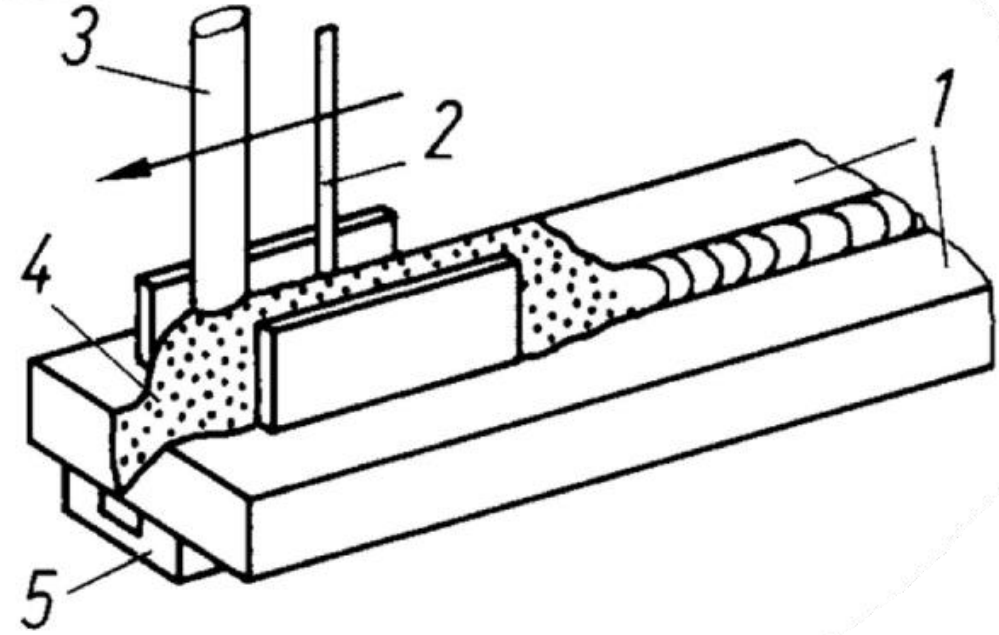


Elektrik Ark Kaynak Ekipmanı



Toz Altı Kaynağı

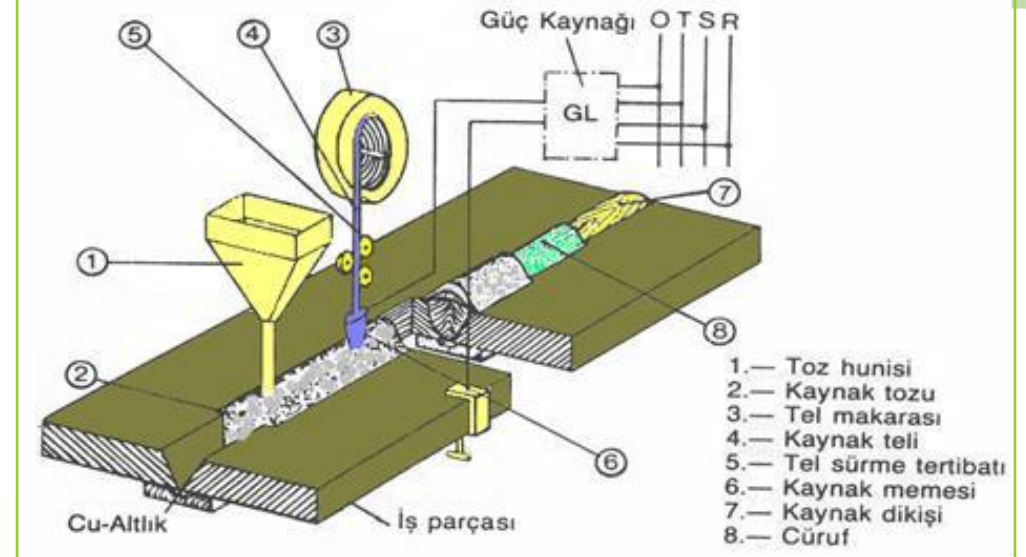
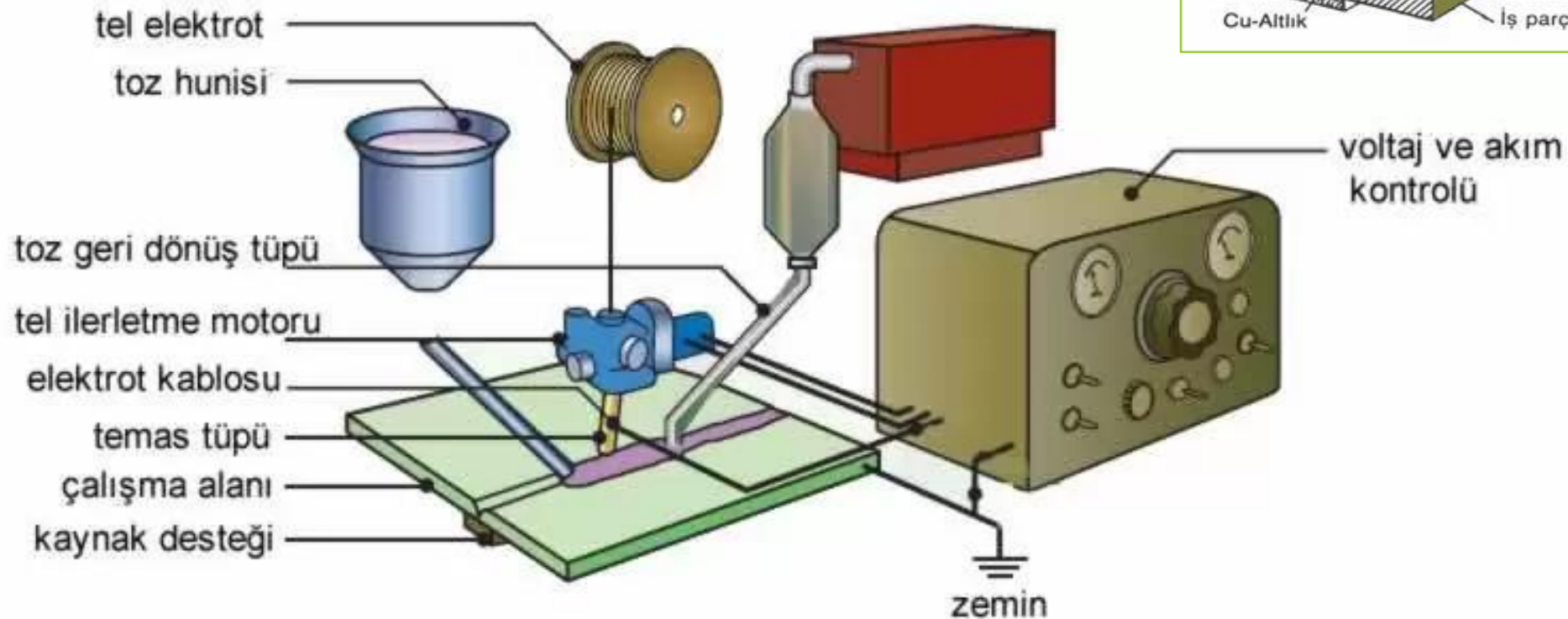
- Koruyucu bir toz örtüsü altında eriyen elektrotla gerçekleştirilen bir elektrik ark kaynağıdır.
- Yatay pozisyonundaki alın ve köşe kaynakları
- $t=2\ldots 10$ mm kalınlığındaki metal saçların 3...10 mm dikiş kalınlığı ile kaynağı
- Yüksek hassasiyet
- Otomotiv, demir-çelik sanayi, gemi inşaatı, konteynerler, çeşitli mühendislik uygulamaları
- Güç kaynağı çoğunlukla AC



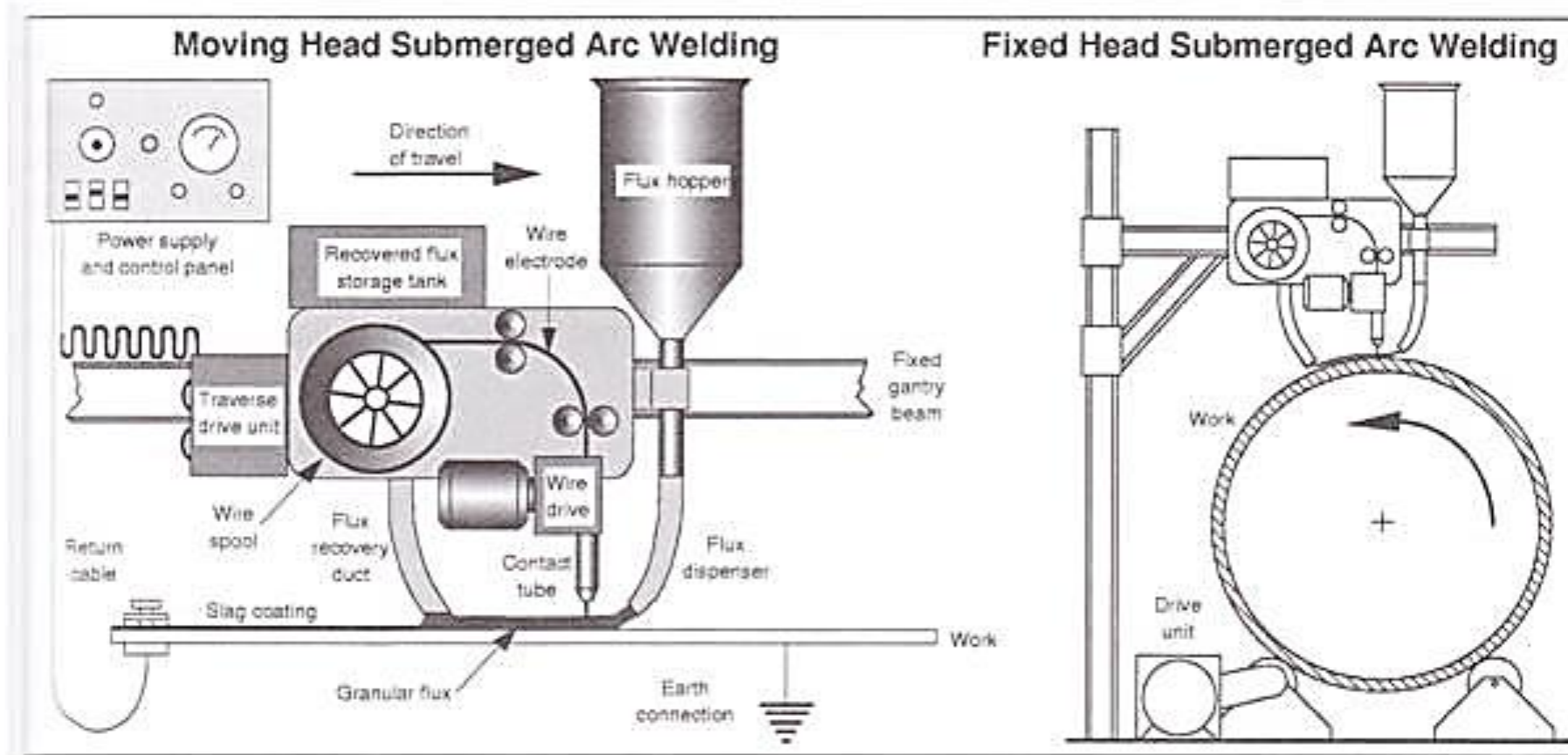
- 1) İş parçası
- 2) Metal elektrot
- 3) Toz beslemesi
- 4) Toz
- 5) Bakır kayıtlar

Toz Altı Kaynağı

• Prensip şeması

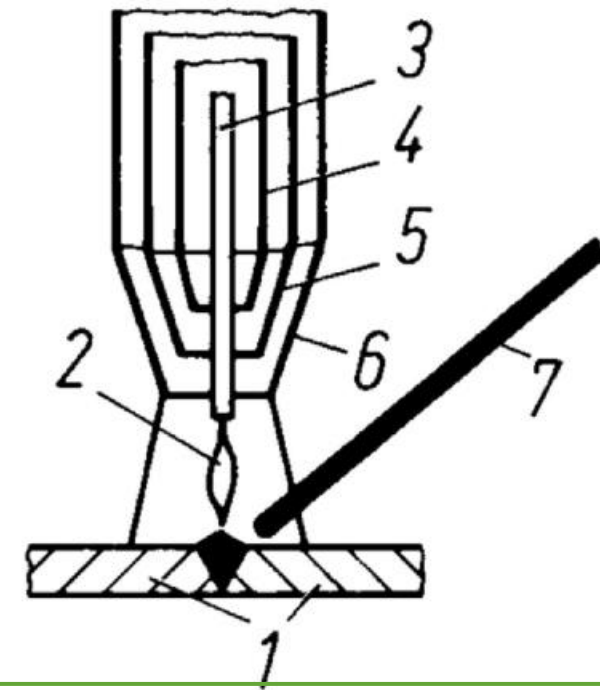


Toz Altı Kaynağı (Submerged Arc Welding / SAW)



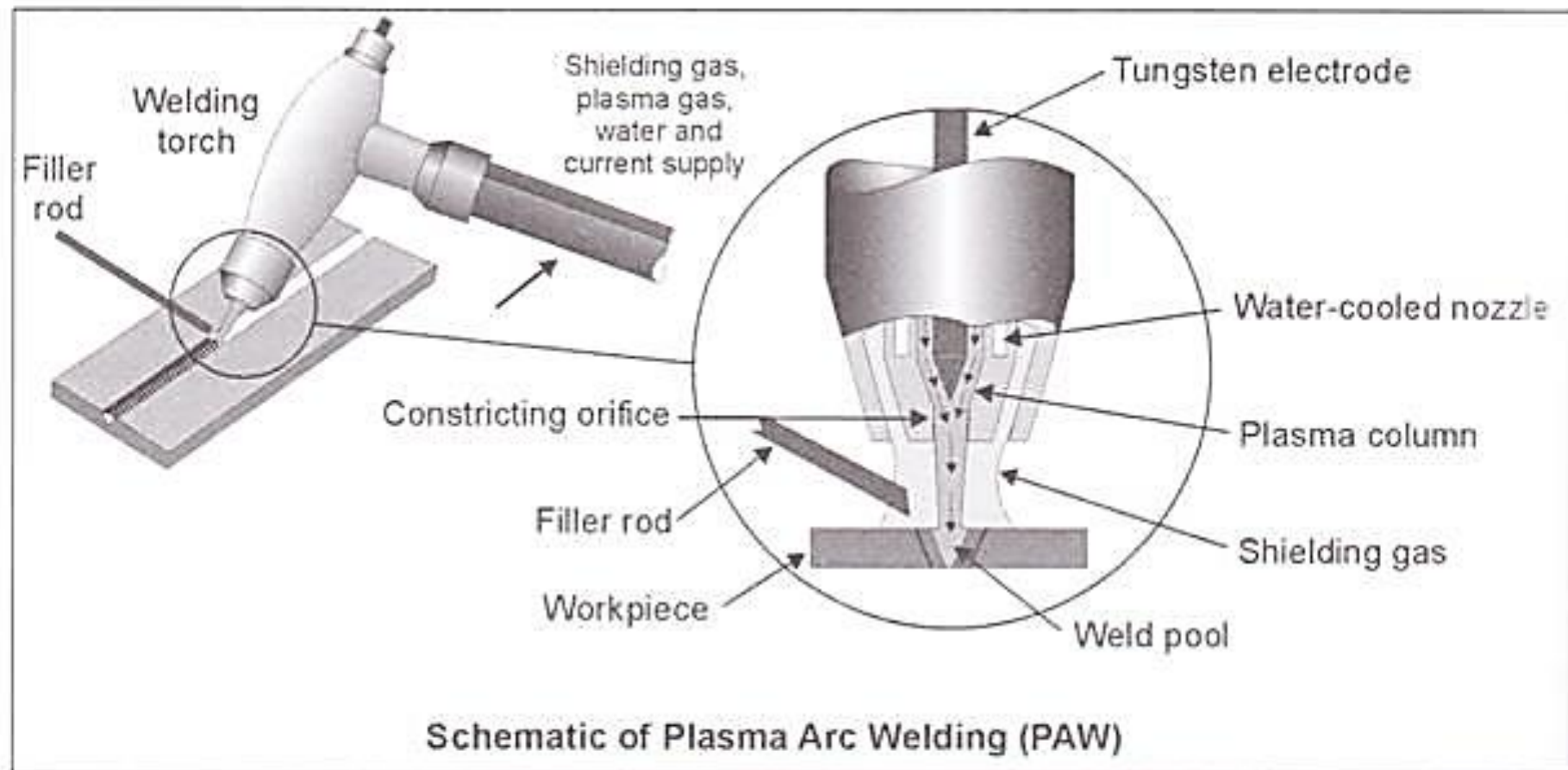
Gaz Altı Kaynağı (Plazma Kaynağı)

- Isı, bir koruyucu içindeki tungsten elektrot ve iş parçası arasında oluşturulan plazma arkı ile elde edilir.
- Daha ziyade alaşımlı çeliklerin kaynağında
- Ni, Ti, Zr, Cu kaynağında
- $t = 1 \dots 10 \text{ mm}$, $a = 2 \dots 8 \text{ mm}$



- 1) İş parçası
- 2) Plazma arkı
- 3) Wolfram elektrot
- 4) Plazma gazı beslemesi
- 5) Odaklama gazı beslemesi
- 6) Koruyucu gaz
- 7) Dolgu malzemesi

Plazma Ark Kaynağı

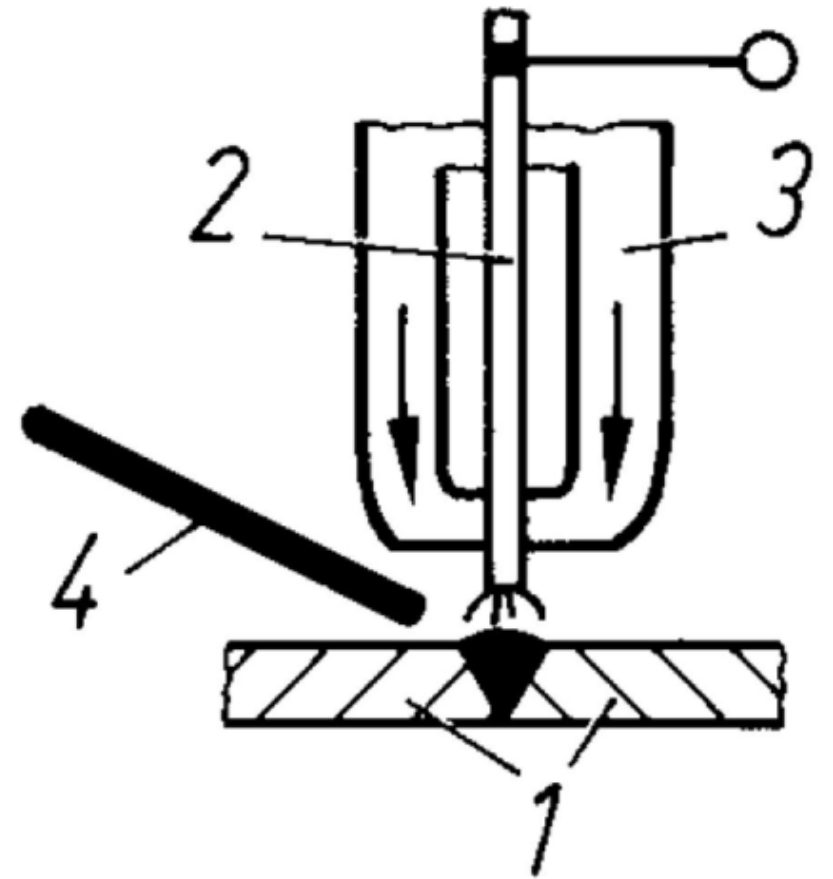


Gaz Altı Kaynağı - TIG (WIG)

- Isı, bir tungsten (wolfram) elektrot ve iş parçası arasında oluşturulan ark ile elde edilir. Koruyucu gaz çoğunlukla Argon, bazen de Helyum olabilir.

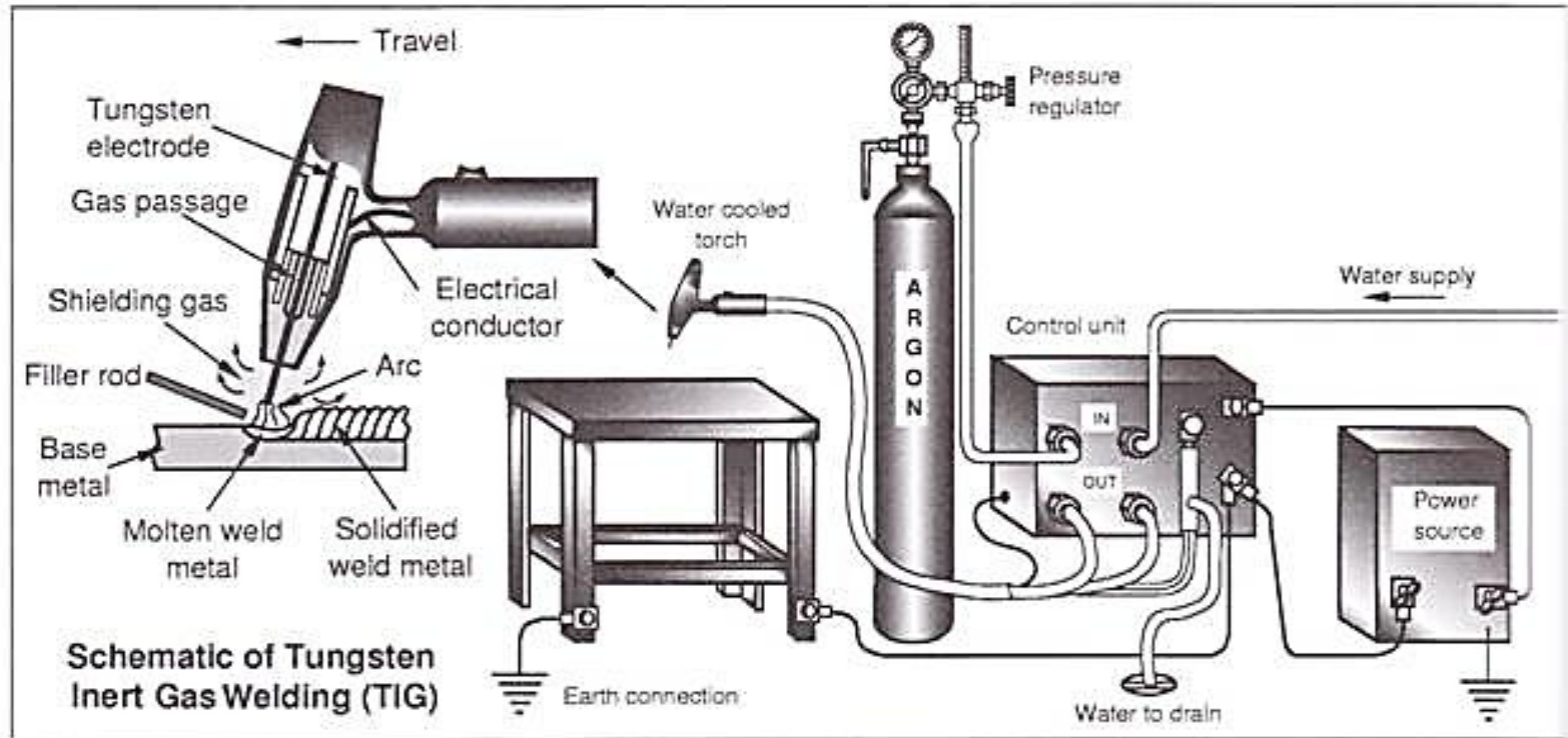
Özellikler:

- Bütün kaynak pozisyonlarına uygun
- Bütün metal malzemelere, özellikle yüksek korozyon dayanımlı Cr-Ni çelikleri, alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımlarına uygun
- Çok düzgün kaynak yüzeyi
- $t=0,025$ mm ye kadar incelikte saçların kaynak edilebileceği mikro-TIG sistemi
- Tipik uygulamalar: uçak taşıyıcı aksamaları, nükleer reaktörler vb.



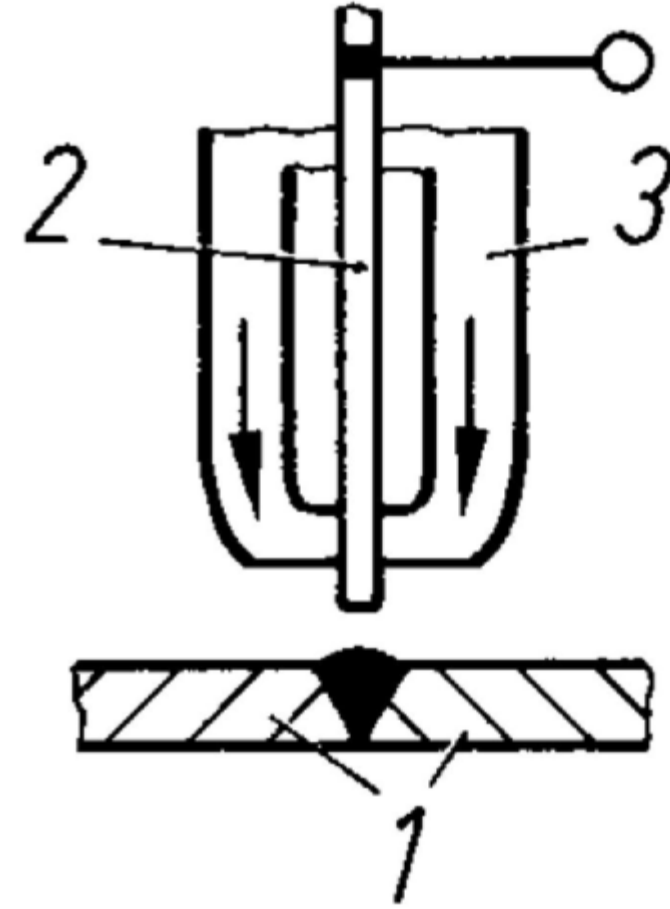
- 1) İş parçası
- 2) Wolfram elektrot
- 3) Asal gaz
- 4) Dolgu mazlemesi

Tungsten Asal Gaz Kaynağı (Tungsten Inert Gas) TIG



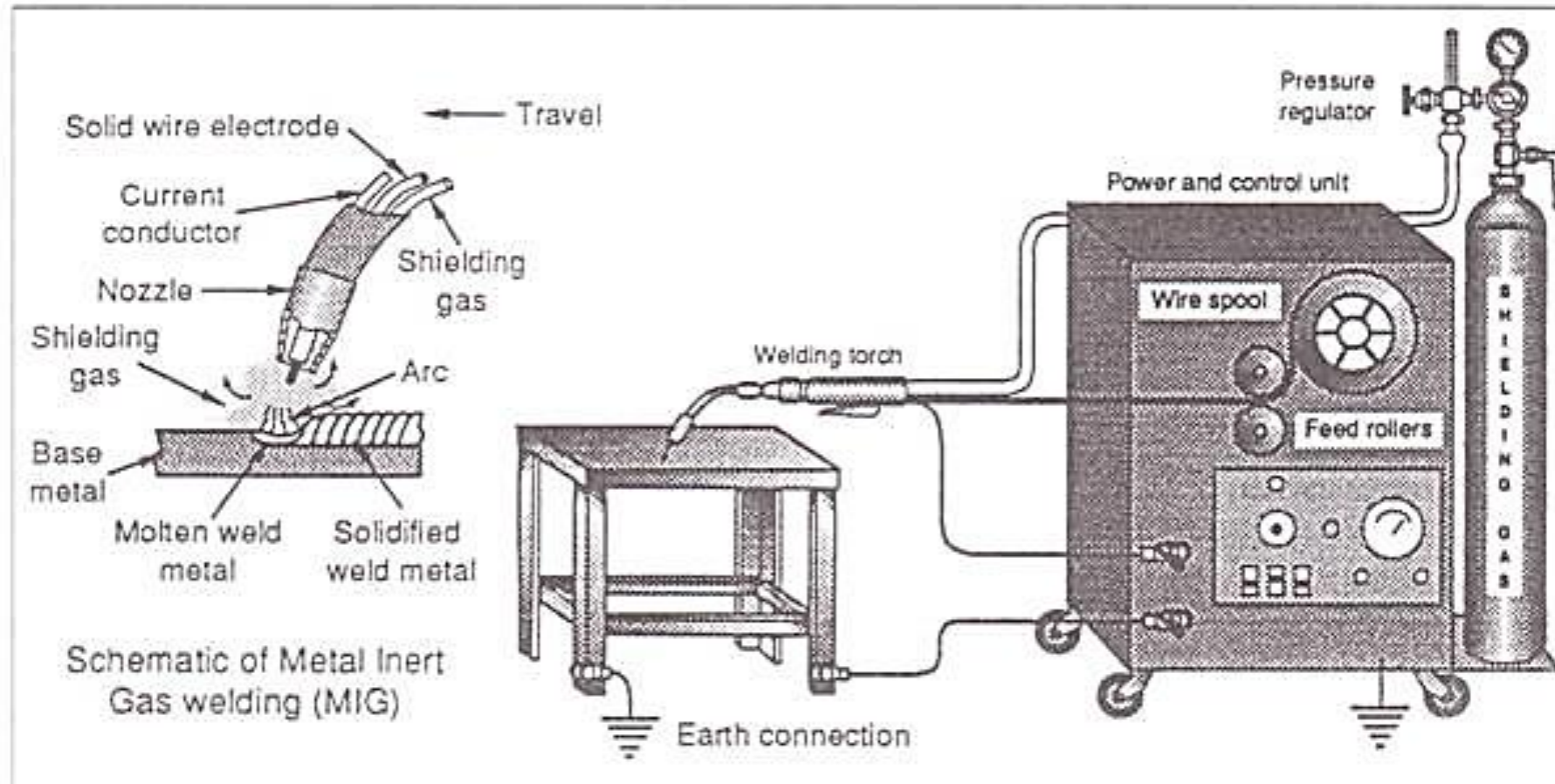
Gaz Altı Kaynağı - MIG

- Isı, eriyen bir metal elektrot ve iş parçası arasında oluşturulan ark ile elde edilir. Kaynak bölgesine sevk edilen koruyucu gaz bölgeye hava girişini engeller.
- Özellikler:
 - Bütün kaynak pozisyonlarına uygun
 - Bütün alaşımlı çeliklere (özellikle ostenitik), alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımlarına uygun
 - $t > 0,7$ mm
 - Tipik uygulamalar: uçak taşıyıcı aksamaları, gemiler, basınçlı kaplar vb.



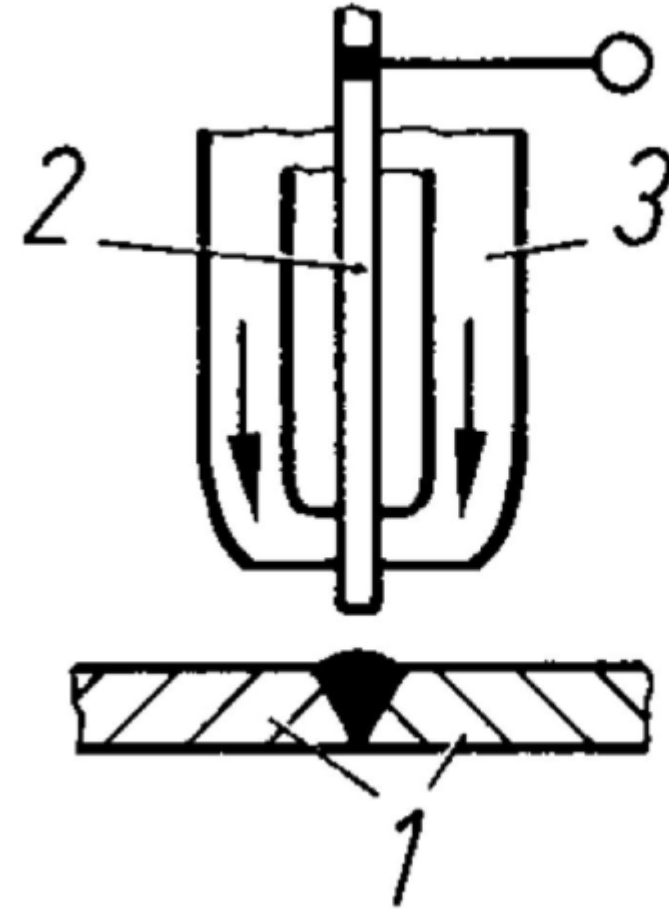
- 1) İş parçası
- 2) Eriyen metal elektrot
- 3) Asal gaz

Metal Asal Gaz Kaynağı (Metal Inert Gas) MIG



Gaz Altı Kaynağı – MAG Metal Active Gas

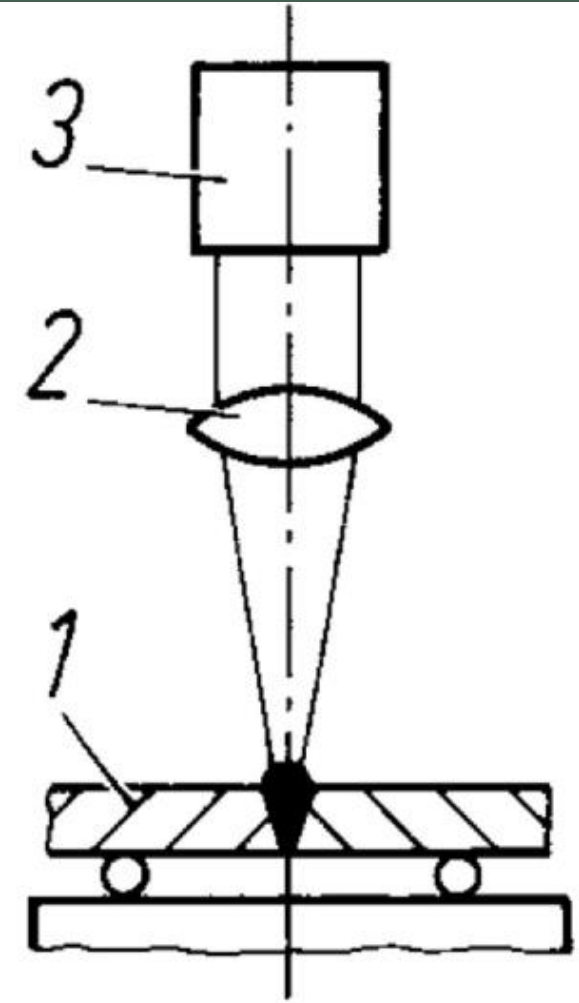
- MIG kaynağına benzerdir.
- Genellikle asal gaz yerine CO₂ kullanılır.
- Özellikler:
 - Genellikle kalınlık $t \geq 0.7$ mm
 - Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde
 - Bağlama elemanı olarak



- 1) İş parçası
- 2) Eriyen metal elektrot
- 3) CO₂ gaz karışımı

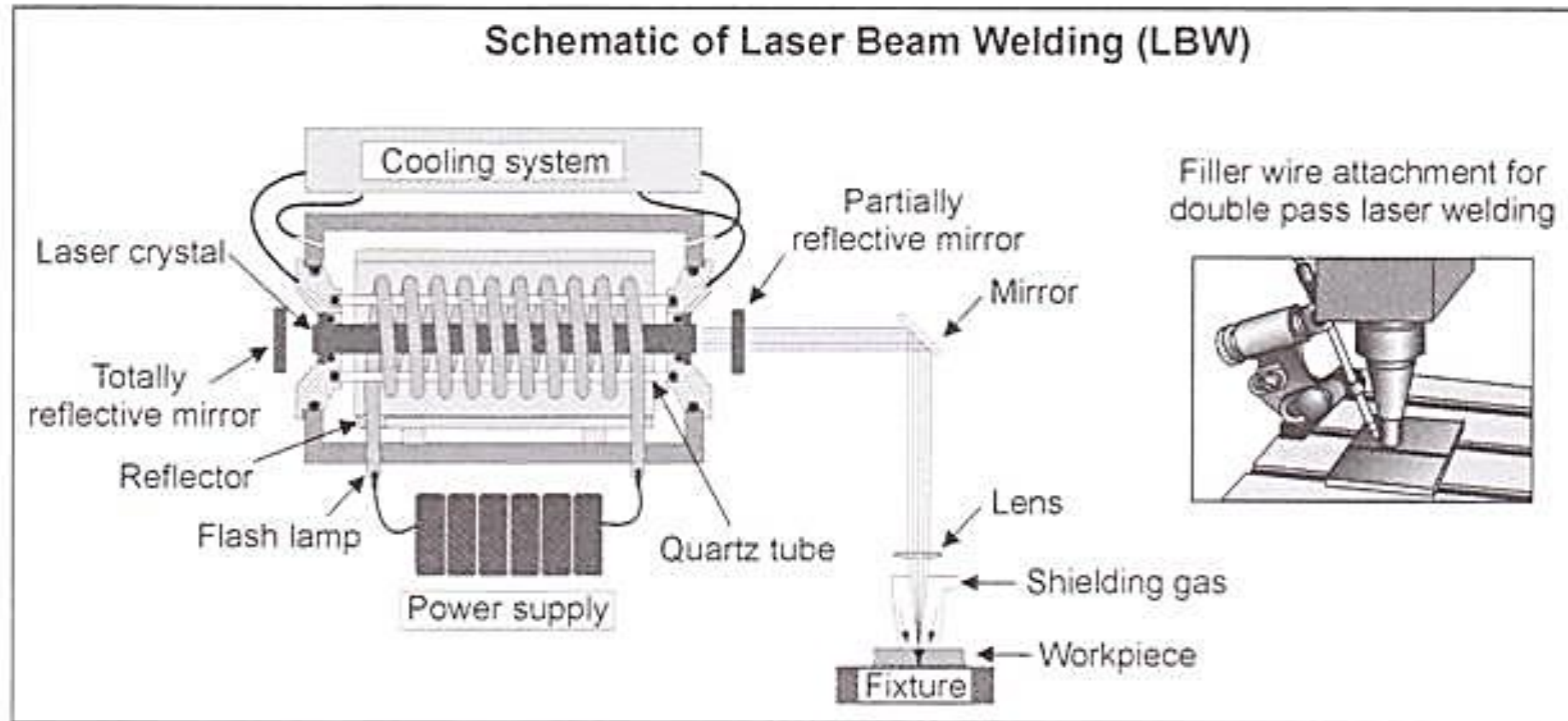
Lazer Kaynağı

- Bir lazer kaynağında üretilen lazer ışının kaynak bölgesine odaklanması ile gerekli ısı elde edilir.
- Özellikler:
 - $t = 0.5 \dots 20$ mm arası levhaların kaynağına uygun
 - Elektron kaynağındaki gibi vakuma gerek yoktur
 - Yüzeyleri yansıtıcı olan malzemelerde yeterli ısıya ulaşmada problemler olabilir.
 - Şeffaf yüzeylerin arkasındaki bölgeye kaynak yapmak mümkündür



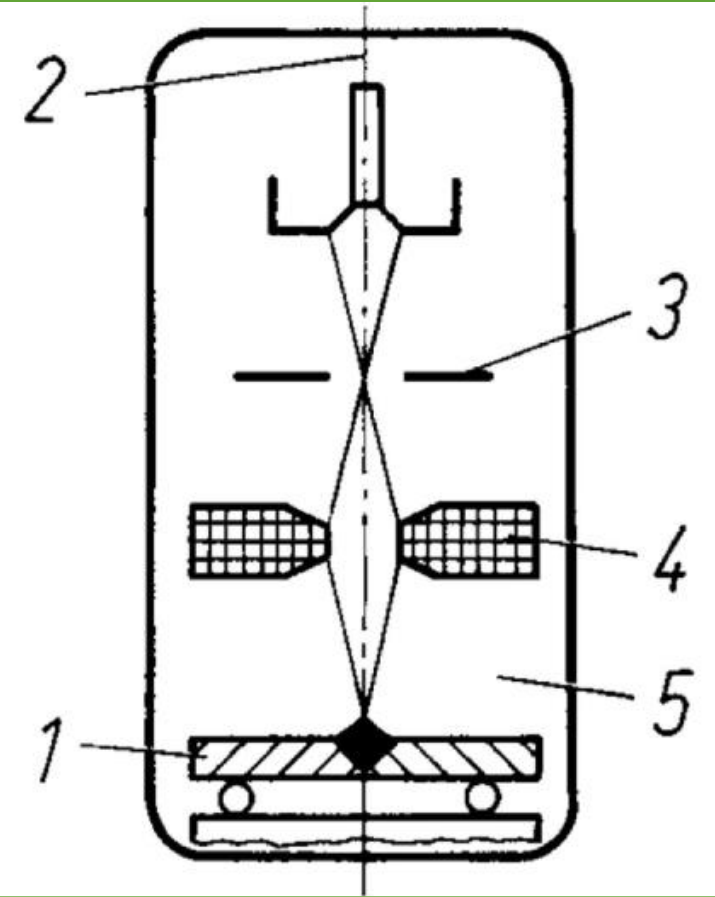
- 1) İş parçası
- 2) Odaklama elemanı
- 3) Lazer

Lazer Işını ile Kaynak (Laser Beam Welding / LBW)



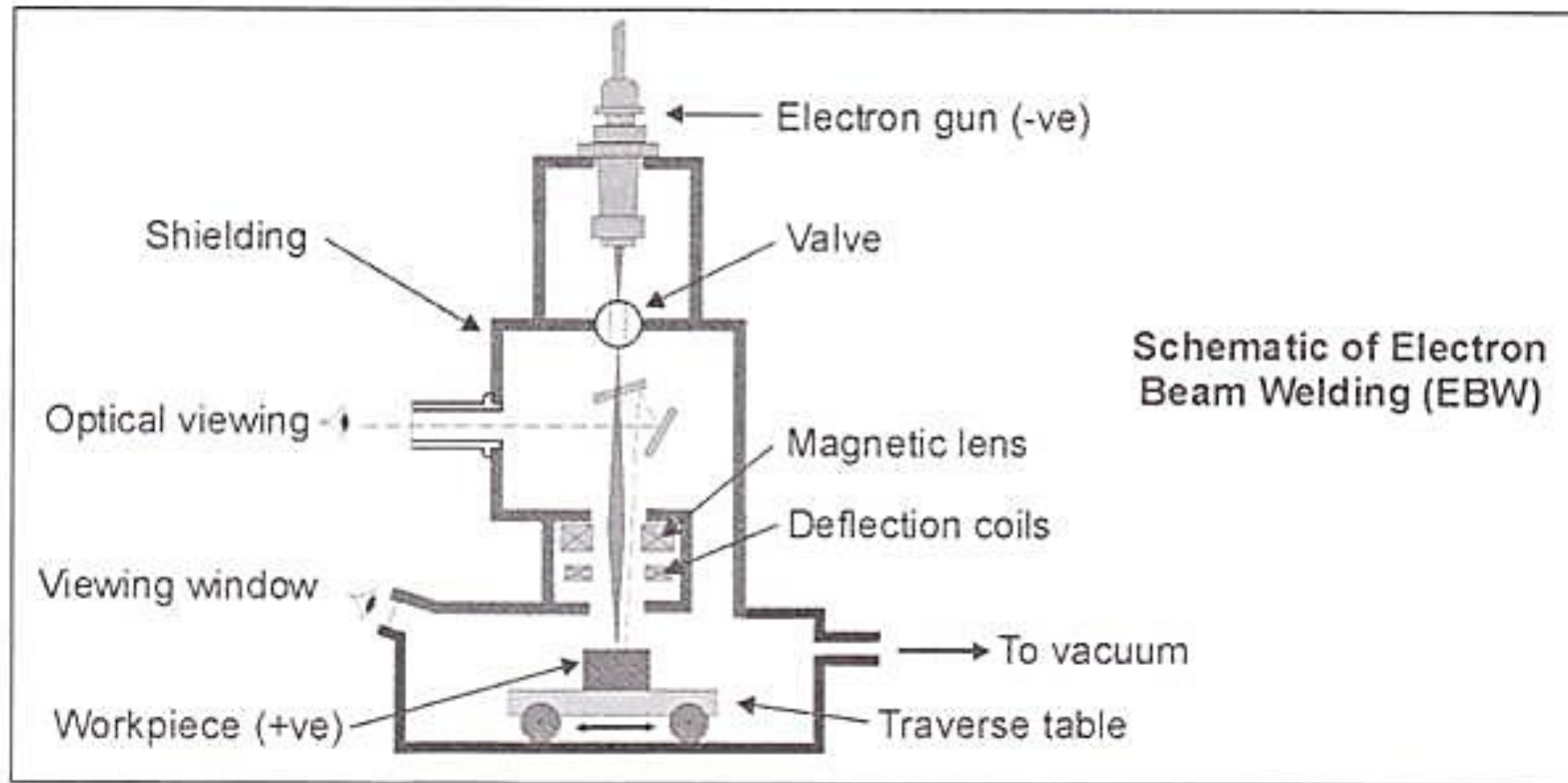
Elektron Demet Kaynağı

- Yüksek vakumda elektron demetlerinin manyetik olarak kaynak bölgesine odaklanması ile ısı gerekli ısı elde edilir.
- Özellikler:
 - Genellikle otomotiv endüstrisi ve bazı özel uygulamalardaki kaynağa duyarlı malzemelerde
 - $t = d = 0.5 \dots 20$ mm arası levha ve kütüklerin kaynağına uygun
 - Çarpılma yok
 - Çok çeşitli malzemelere uygulanabilir
 - Alın kaynakta boy 200 mm (çelik), 320 mm (alüminyum)
 - Tipik uygulamalar: Türbin kanatları, uçaklarda alüminyum ve titanyum alaşımlarının yük taşıyan kısımları, otomotivde motor ve güç aktarma organları



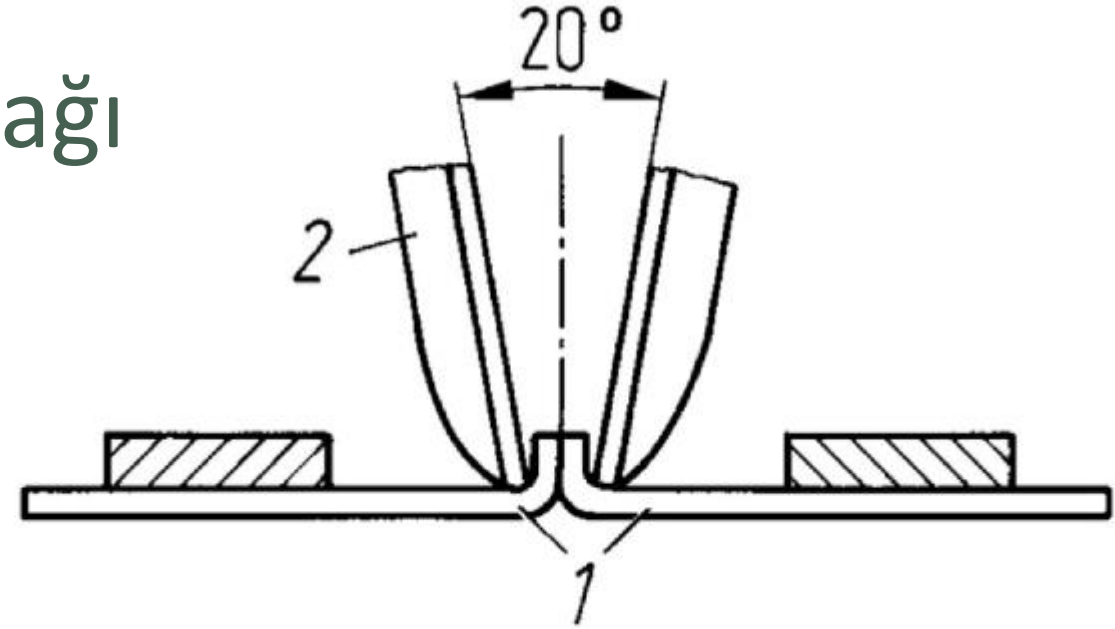
- 1) İş parçası
- 2) Katot (elektron kaynağı)
- 3) Anot
- 4) Magnet (odaklama)
- 5) Yüksek vakum

Elektron Demet Kaynağı (*Electron Beam Welding / EBW*)



Elektrik Direnç (Füzyon) Kaynağı

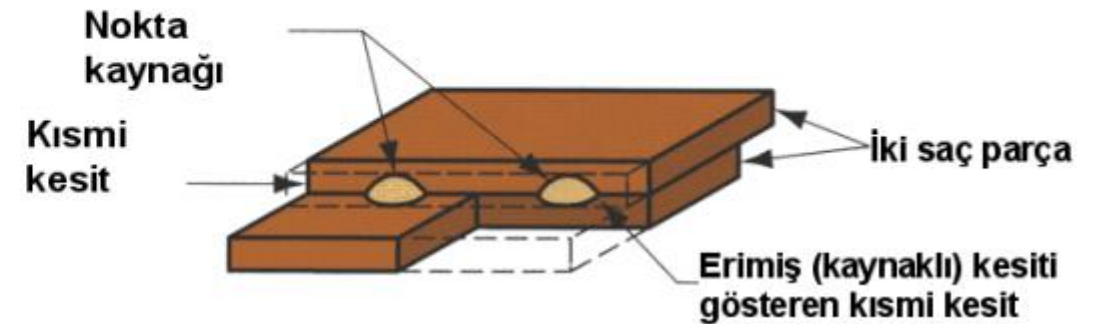
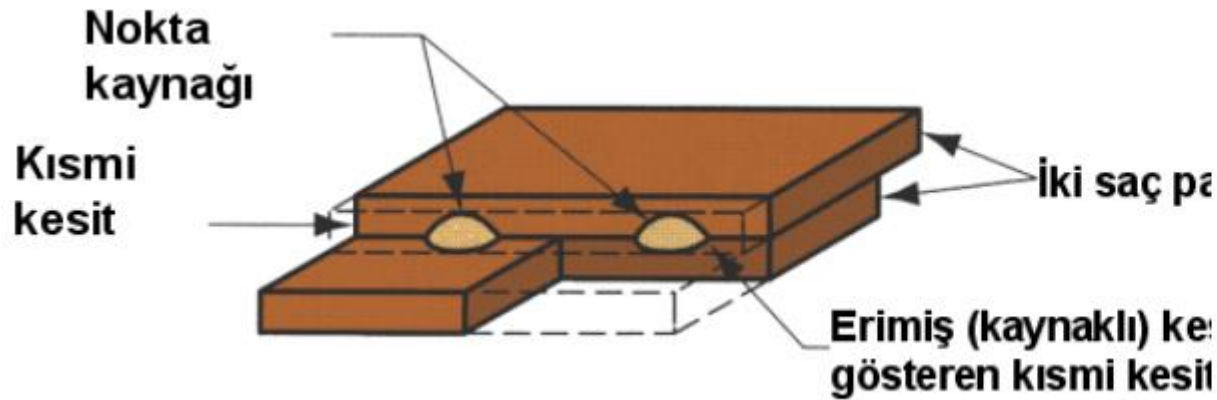
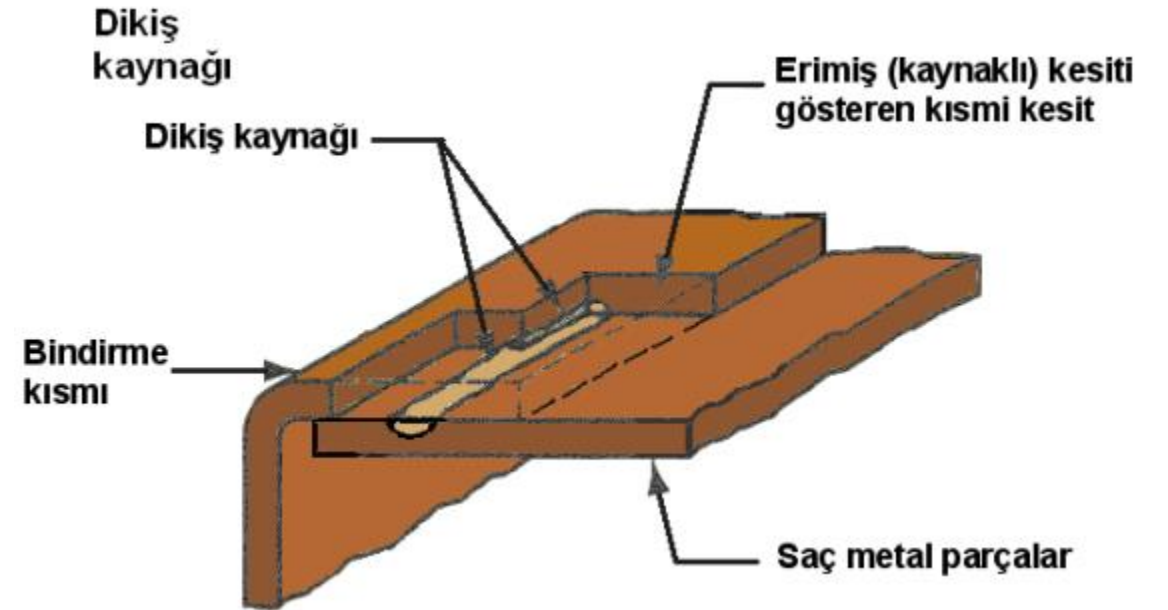
- İki karbon elektrot arasında kaynak bölgesinin elektriksel direnci nedeni ile arzu edilen ısı elde edilir.
- Özellikler:
 - Çoğunlukla ince demir olmayan metal ve alaşımlara uygundur.



- 1) İş parçası
- 2) Karbon elektrot

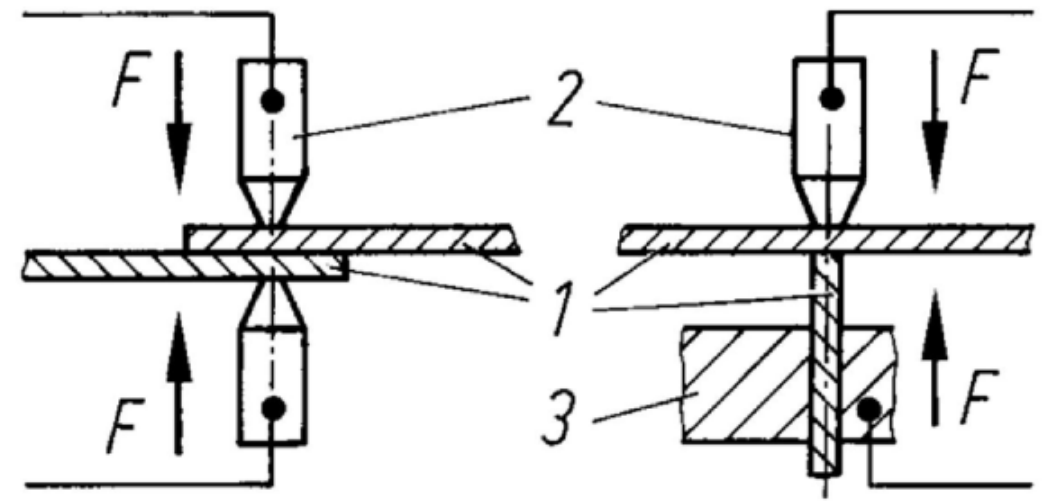
Direnç Kaynağı

- Nokta (**punta**) ve dikiş kaynağı

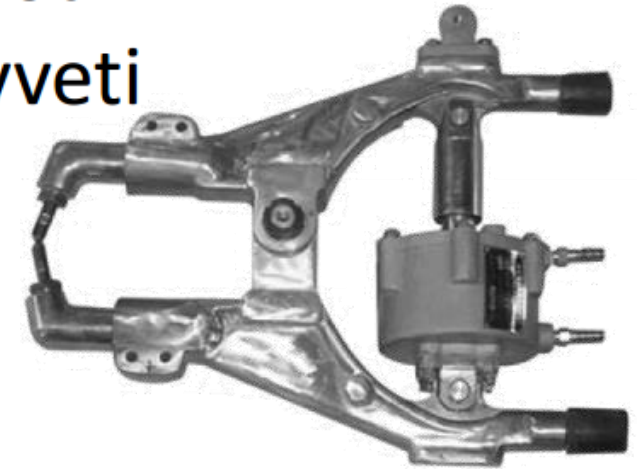


Nokta Kaynağı (Punta)

- Elektrotlar arasındaki bölgenin direnci nedeni ile lokal ısınma meydana gelir. Daha sonra uygulanan basınç ile kaynak tamamlanır
- Özellikler:
- Alaşımsız, düşük alaşımlı ve demir olmayan metallerin kaynağına uygun
- $t = 2$ (6... 30 mm) çelik için ve $t = 2$ (3... 8 mm) hafif metaller için
- Bütün kaynak pozisyonlarına uygun
- Çoğunlukla perçinin yerini almıştır.
- 3 metalin kaynağı da mümkündür. Ancak oldukça büyük güç gerektirir.
- İnce levhalarda $t = 0.005$... 0.5 mm kalınlıklarda kaynak mümkün

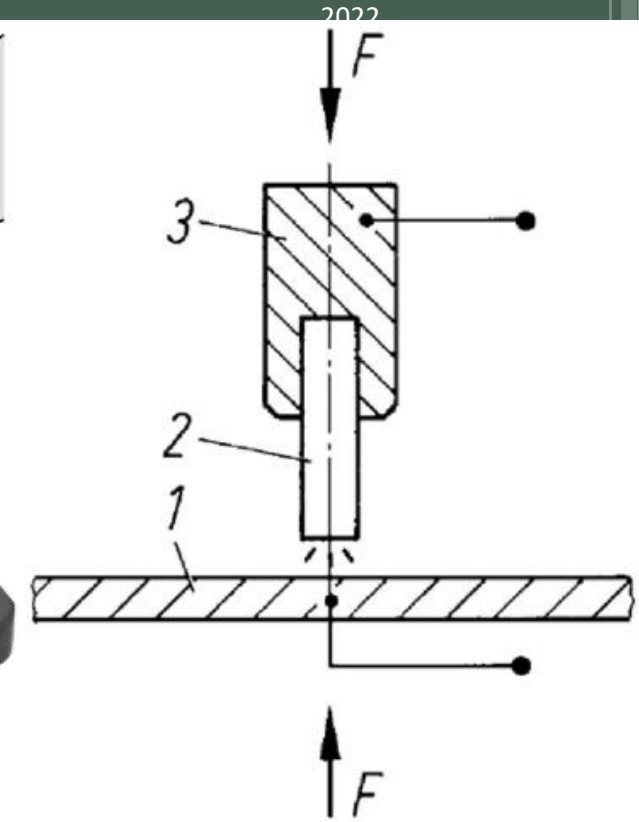


- 1) İş parçası
 - 2) Bakır elektrotlar
 - 3) Sabit elektrot
- F: bastırma kuvveti



Saplama Kaynağı

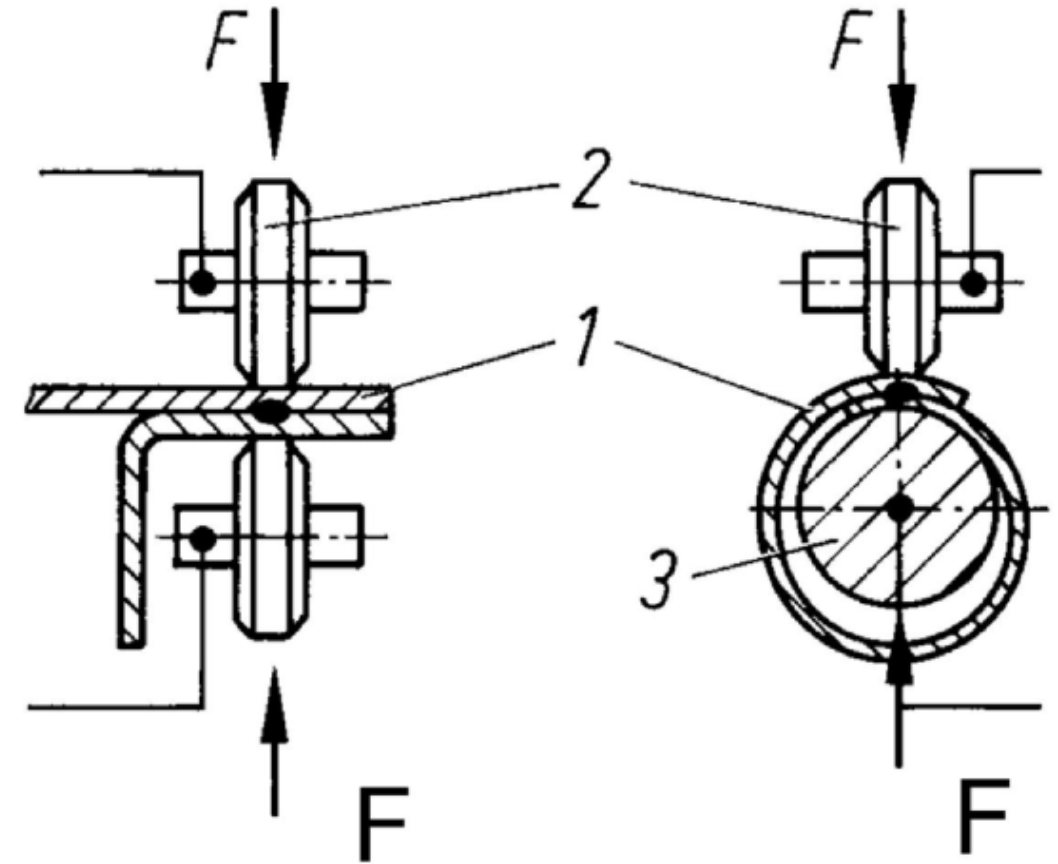
- Elektroda takılı saplama ile iş parçası arasındaki bölgenin direnci nedeni ile lokal ısınma meydana gelir. Daha sonra uygulanan basınç ile kaynak tamamlanır
- Özellikler:
 - M3 den M24' e kadar olan vidalı saplamaların veya 3...16 mm aralığındaki düz pimlerin montajında standart olarak uygulanır
 - $t = 0.5 \text{ mm}$ ye kadar olan incelikte saçlar için de uygulanabilir



- 1) İş parçası
- 2) Saplama
- 3) Elektrot
- F: bastırma kuvveti

Direnç Dikiş Kaynağı

- Nokta kaynağından farkı döner merdane şeklinde elektrotların kullanılmasıdır.
- Özellikler:
 - Genellikle alaşımsız çeliklerde $t=2 \times 3$ mm, hafif metallerde $t=2 \times 2$ mm ebatlar için
 - Çelik saçlarda toplam kalınlık $t = 10$ mm
 - Çinko, bakır, pirinç, ostenitik paslanmaz çelik, alüminyum levhalar ($2 \times 1,5$ mm)
 - İlave bakır elektrot ile dar ve çarpılma olmayan dikişler
 - Dar toleransa gereksinim yoktur
 - Tipik uygulamalar: yakıt tankları, kapalı kutu ve variller



- 1) İş parçası
 - 2) Döner elektrotlar
 - 3) Sabit elektrot
- F: bastırma kuvveti

Direnç Dikiş Kaynağı (*Resistance Seam Welding*)

Örnek Animasyon:
Direnç dikiş
kaynak makinesi

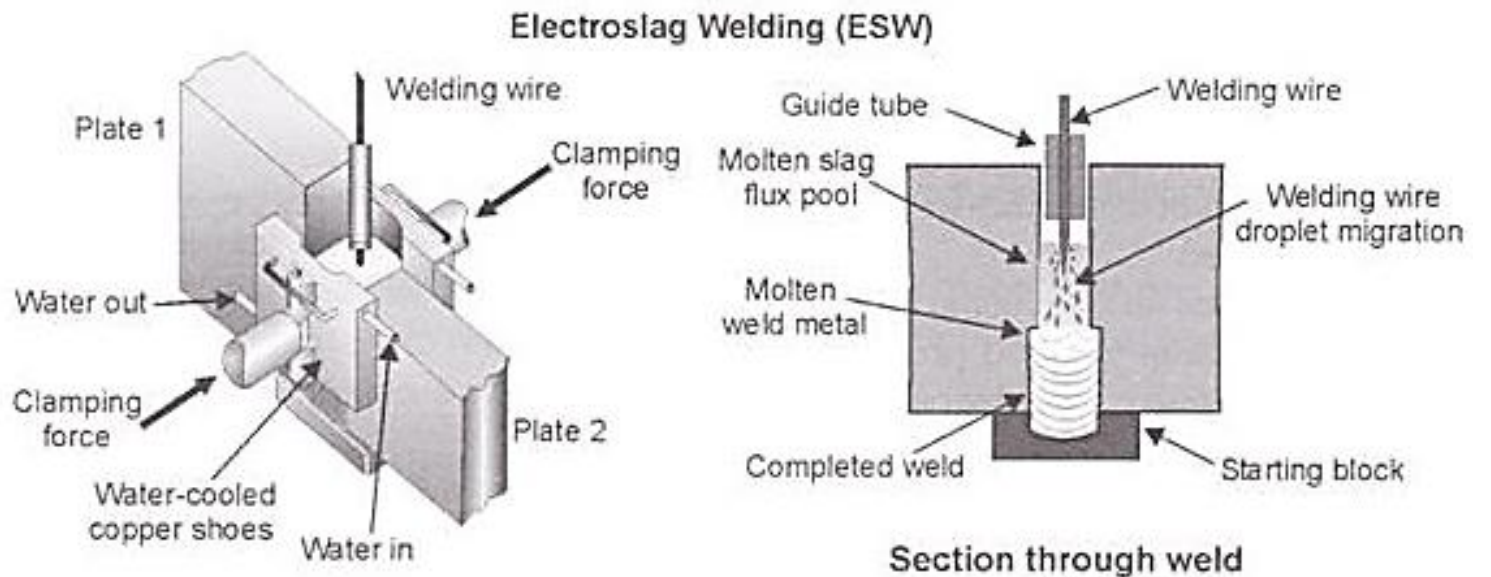
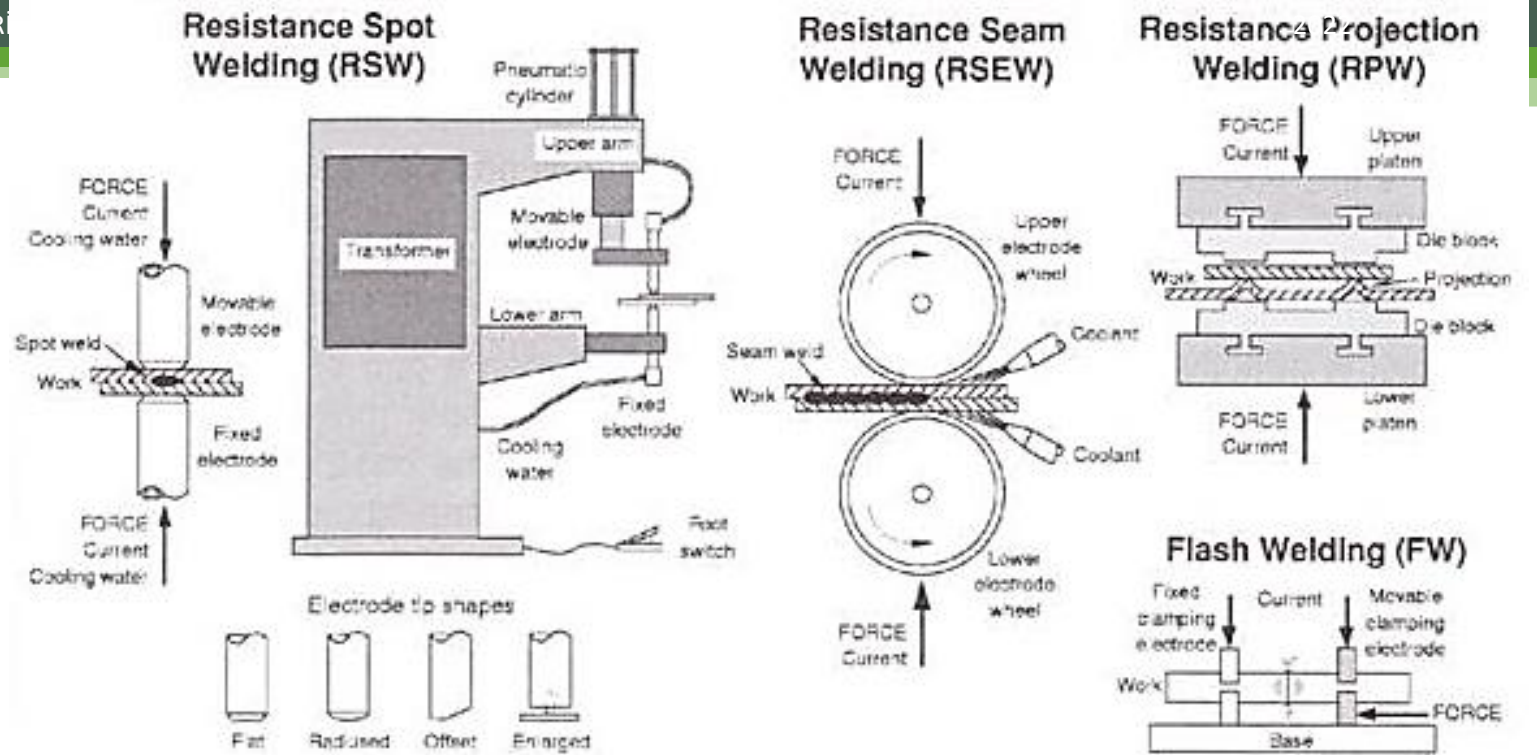


RESISTANCE SEAM WELDING



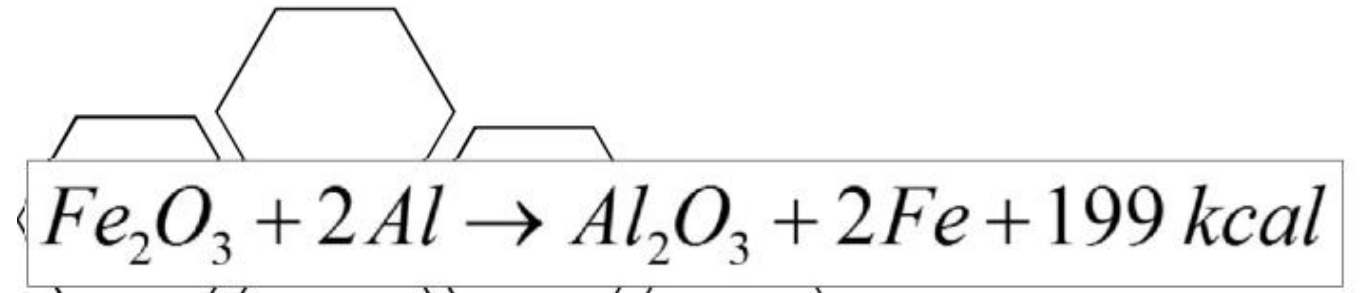
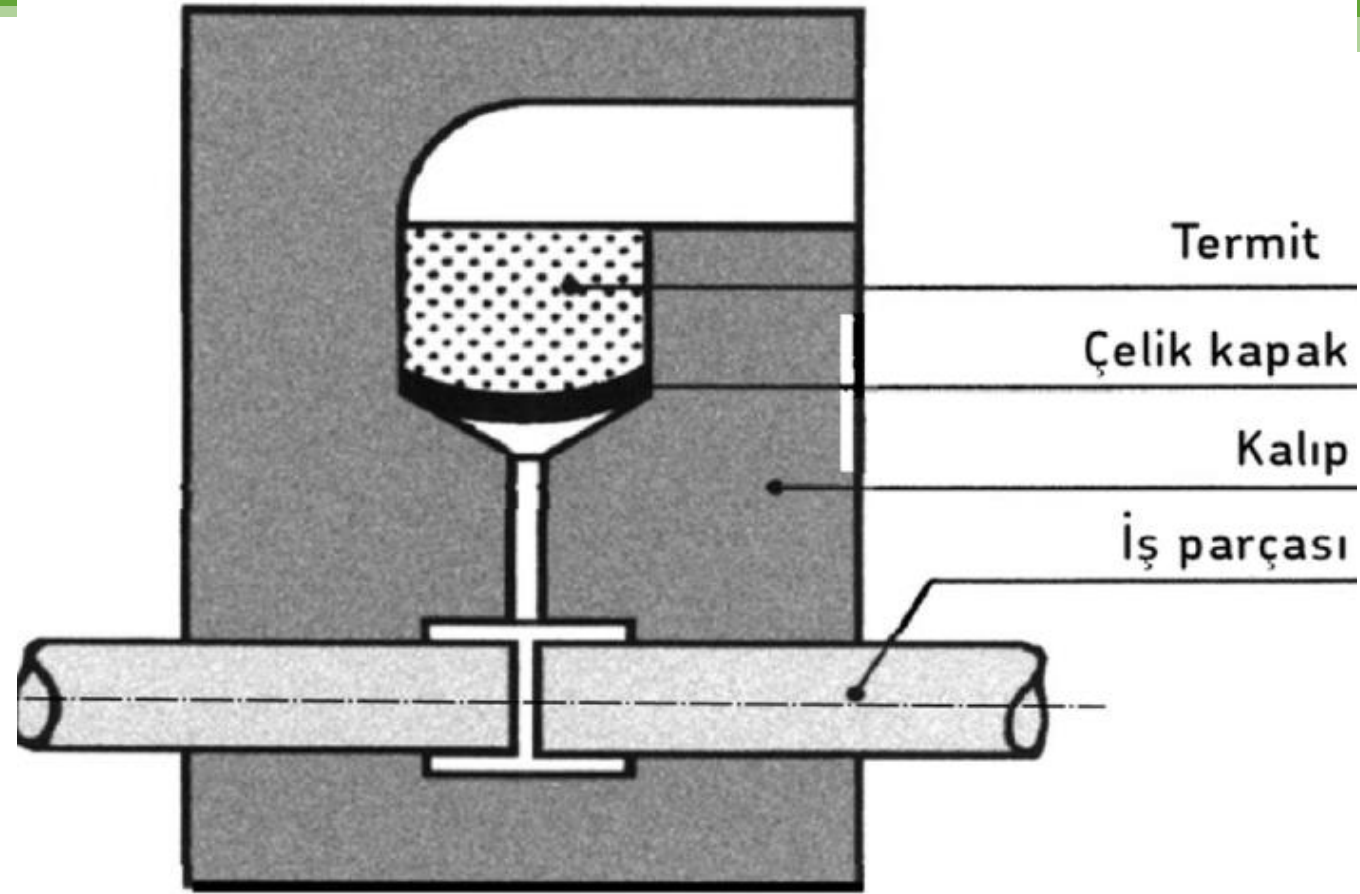
Direnç Kaynağı

(Resistance Welding)

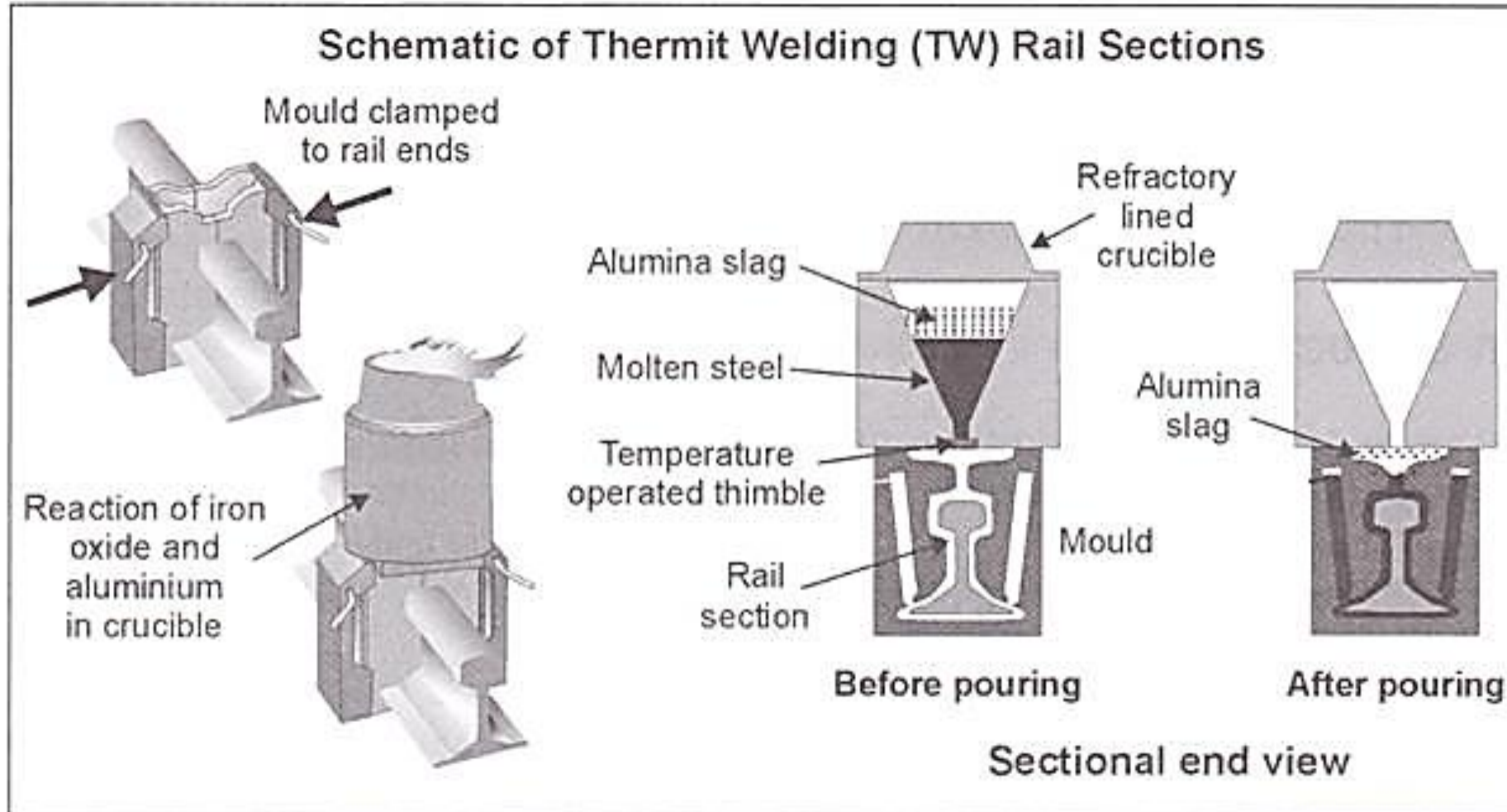


Termit Kaynağı

- Parçaların kaynak uçları demir oksit – alüminyum tozu içine gömülür ve birbirlerine bastırılır.
- Karışım tutuşturulduğunda çok kuvvetli bir ekzotermik reaksiyon oluşarak, alüminyum, alüminyum okside dönüşür ve demir oksit ise saf demire redükte olur.
- Reaksiyon bir kez başladıktan sonra koruyucu baryum süper oksit tozu altında kendi kendine devam eder. Meydana gelen eriyik sıcaklığı 3000°C kadardır.
- Kullanım alanları: raylar ve büyük kesitli parçaların birleştirilmesi

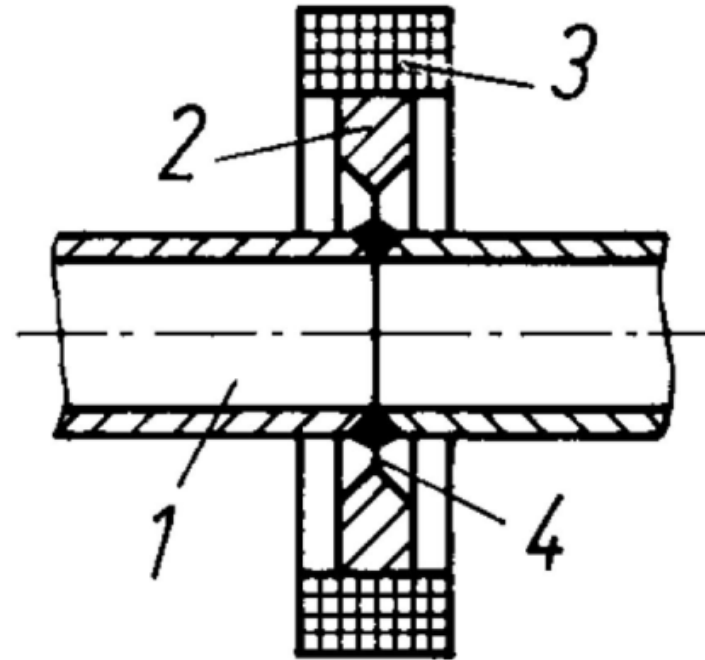


Termit Kaynağı (*Thermit Welding*)



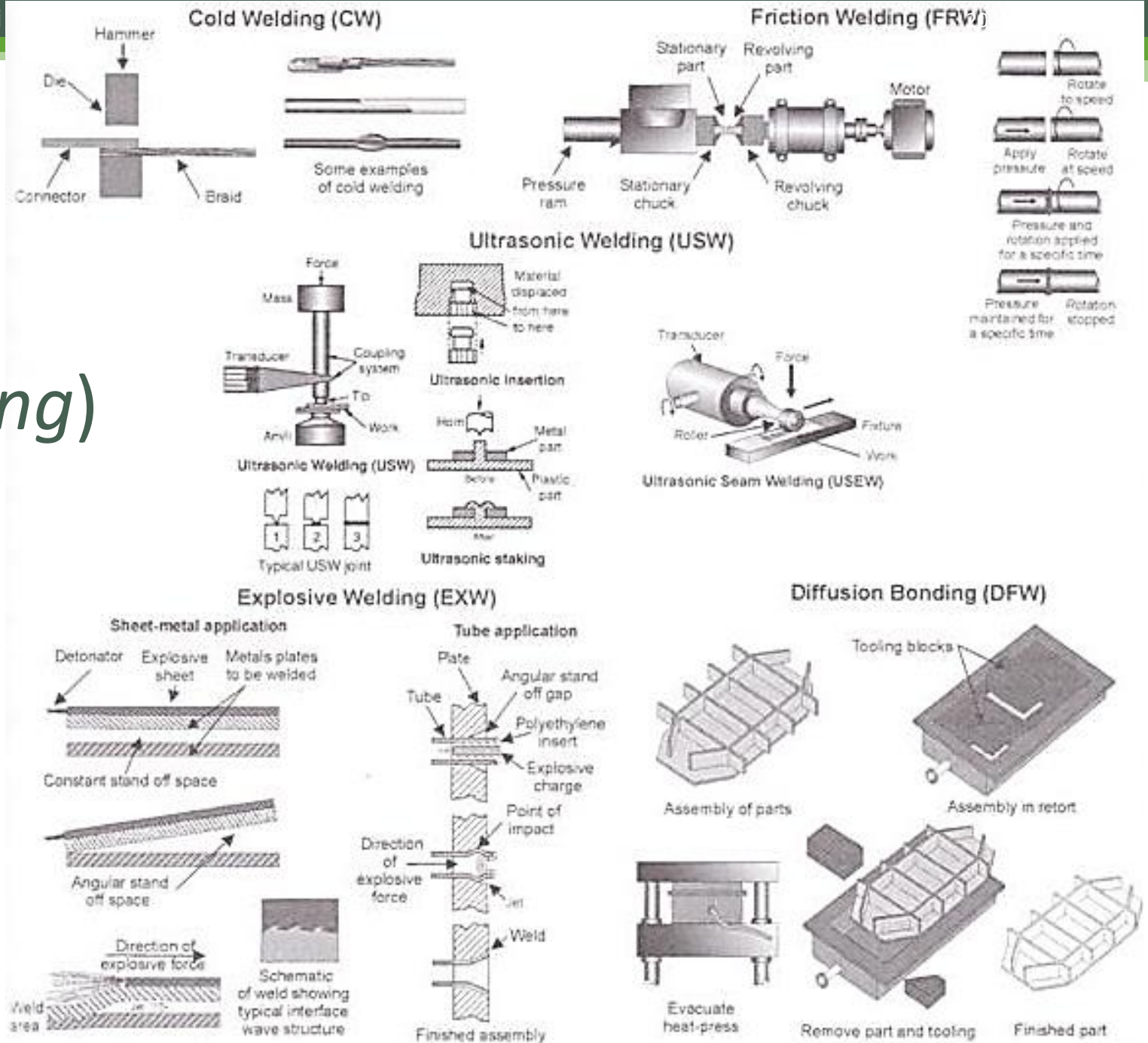
Hareketli Manyetik Ark Kaynağı

- Isı iş parçası ve bunu çepeçevre saran elektrot arasında oluşan manyetik ark ile elde edilir.
- Boru ve içi boş profillere uygun $t < 2 \text{ mm}$, $d < 300 \text{ mm}$
- Parçalar yerleştikten sonra manyetik ark uygulanır.
- Dönen manyetik ark kaynak bölgesini ısıtır.



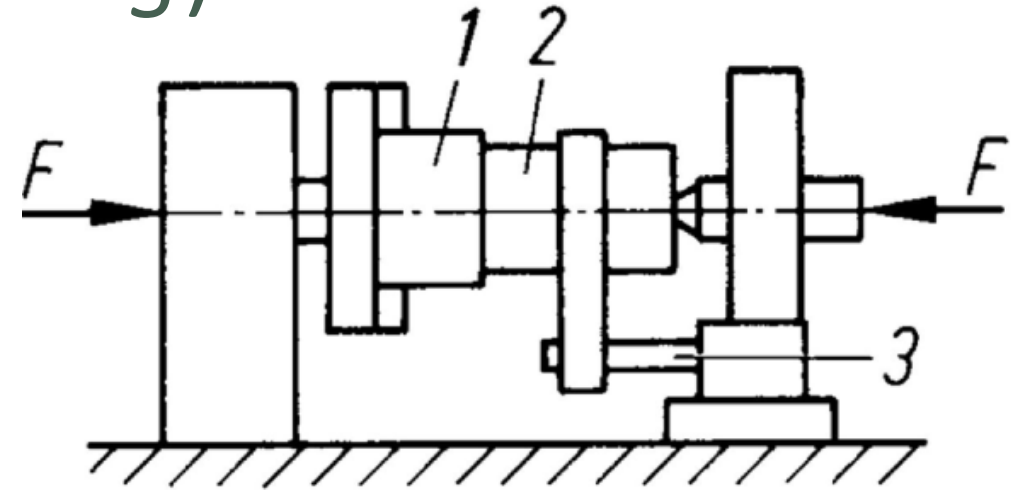
- 1) İş parçası
- 2) Yardımcı elektrot
- 3) Manyetik bobin
- 4) Çevresel ark

Katı Hal Kaynağı (Solid State Welding)



Sürtünme Kaynağı (*Friction Welding*)

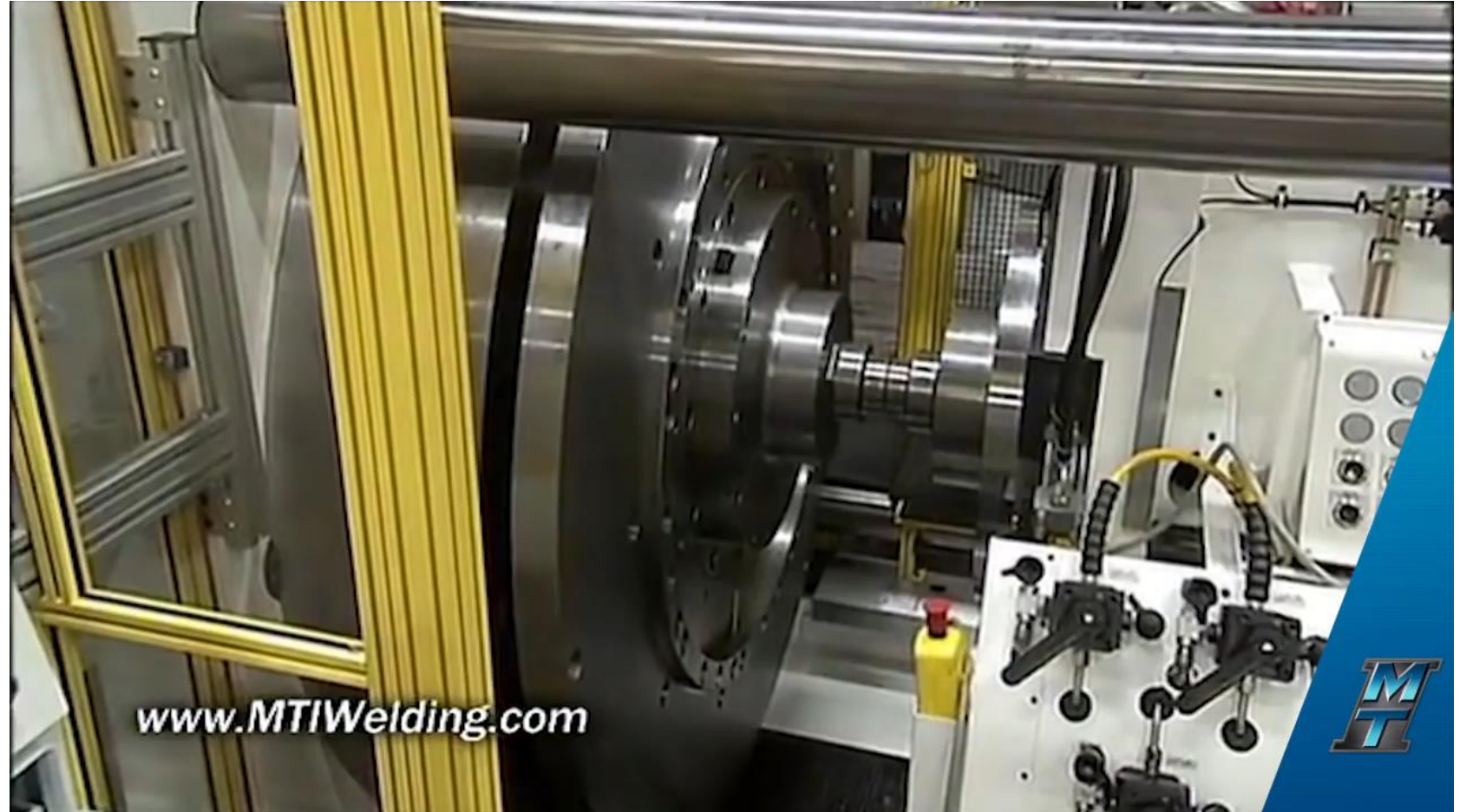
- Tornaya benzer bir aparat ile parçalardan biri döndürülür diğeri sabit tutulur.
- Temas yüzeyleri sürtünme ısısı ile yeterli ısıya ulaştığında, sistem durdurulur ve parçalar birbirine bastırılır.
- Özellikler:
 - Genellikle $D \leq 900$ mm çapta ve $t \leq 6$ mm et kalınlığında borularda,
 - $D = 6 \dots 250$ mm çap aralığındaki dolu kesitli kütüklerde



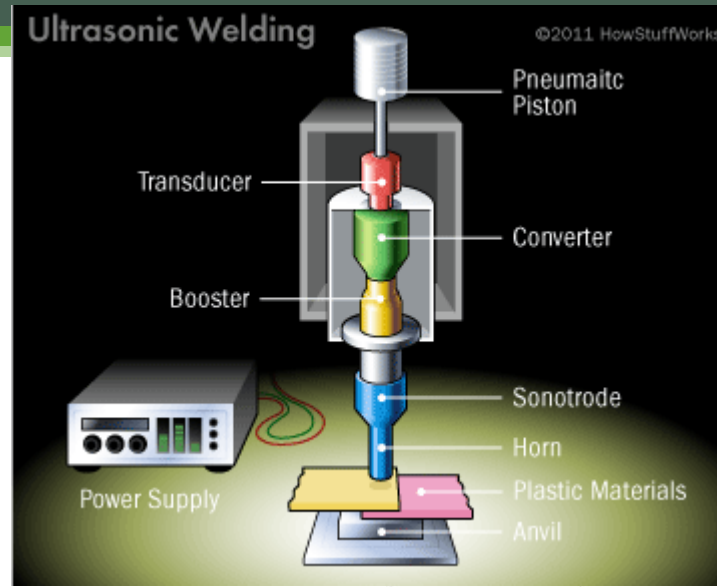
- 1) Dönen iş parçası
 - 2) Duran iş parçası
 - 3) Duran iş parçasını tutan çene sistemi
- F: bastırma kuvveti

Sürtünme Kaynağı (*Friction Welding*)

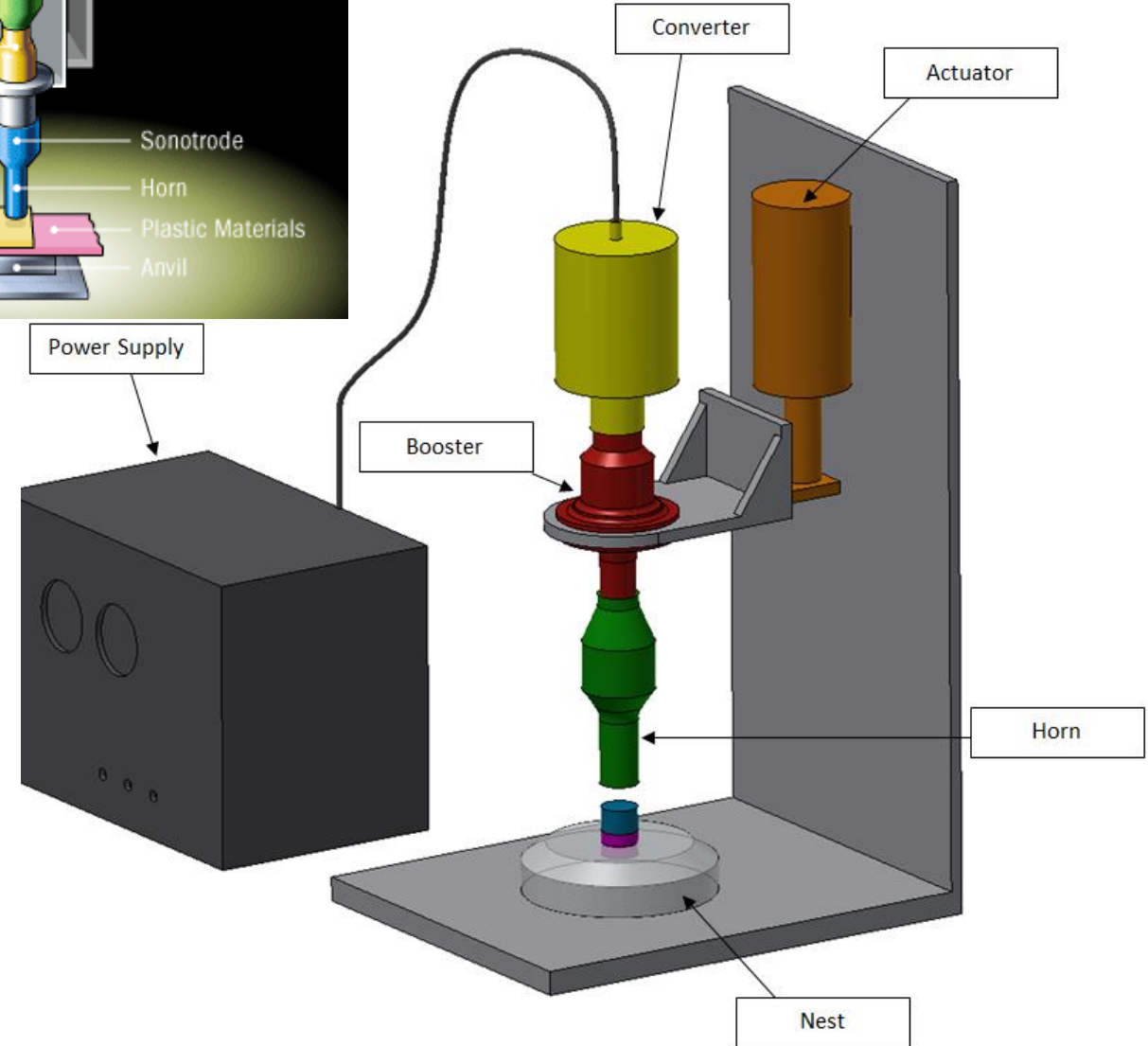
Örnek Video:
Sürtünme kaynağı



Ultrasonik Kaynak

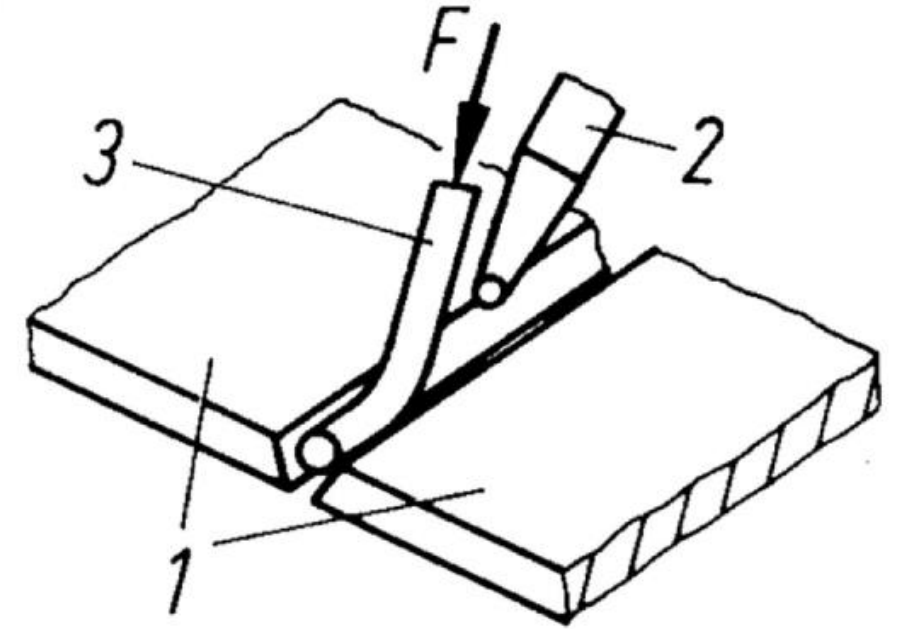


- Basma kuvveti altında tutulan iş parçalarının bölgesel uygulanan yüksek frekanslı ultrasonik akustik titreşimler ile birleştirilmesi yöntemi
- Plastikler ve metallerde kullanılır
- Çoğunlukla farklı malzemeleri birleştirmede kullanılır



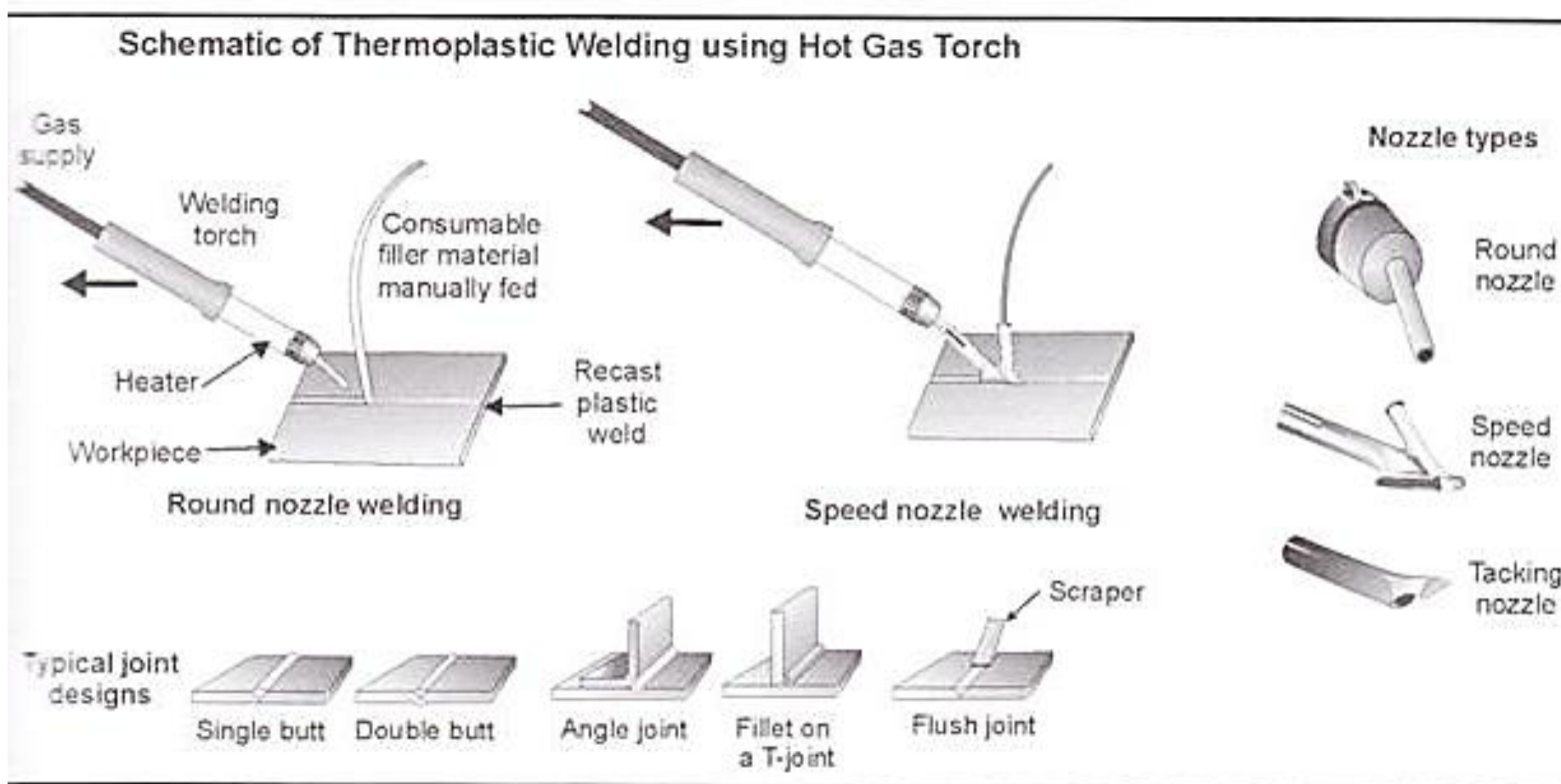
Sıcak Hava Kaynağı (Termoplastik Kaynak)

- Kaynak bölgesine uygulanan sıcak hava ile kaynak gerçekleştirilir.
- Genel özellikler:
 - Termoplastik malzemelerde
 - İlave dolgu malzemesi ile $t = 1.5 \dots 20$ mm kalınlıklarda
 - Dolgu malzemesiz $t < 2$ mm kalınlıklarda



- 1) İş parçaları
 - 2) Sıcak hava memesi
 - 3) Dolgu malzemesi (kaynak çubuğu)
- F: besleme

Termoplastik Kaynak (*Thermoplastic Welding*)



Birleştirme Yöntemleri

- Lehimleme -

Lehimleme

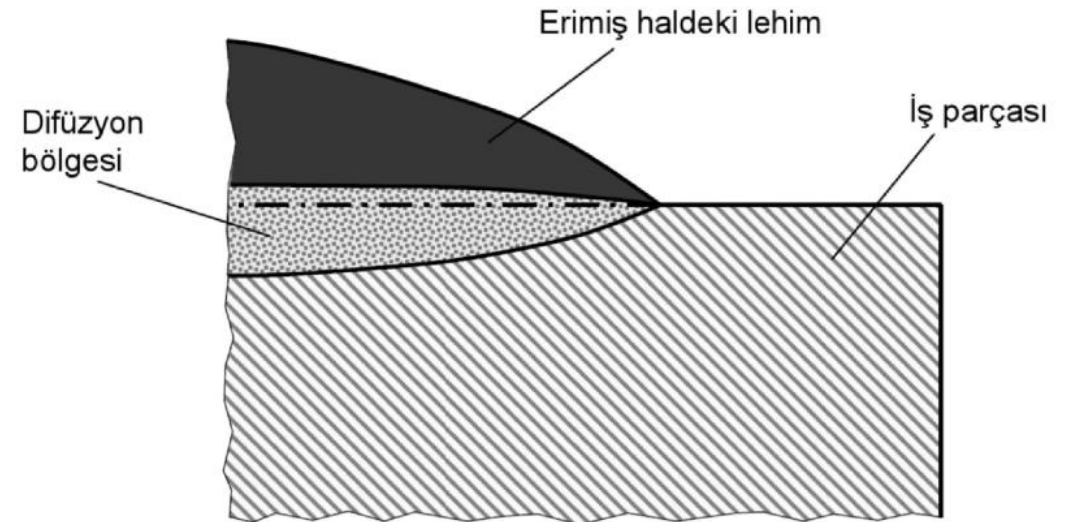
Genel Bilgiler:

- Isı yardımı ile yapılan çözölemeyen bir bağlantıdır.
- Ergimiş haldeki lehim, difüzyon yolu ile yüzeyler arasına girer ve parçalarla bir alaşım teşkil ederek bağlantıyı sağlar.
- Lehimin ergime sıcaklığı bağlanan parçaların ergime sıcaklığından daha düşüktür.
- Lehim bağlantısının maruz kalacağı işletme sıcaklığı da lehimin ergime sıcaklığından daha düşük olmak zorundadır.

Lehim İşlemi

- Ergimiş lehim bağlantı parçasına temas ettiği bölgeyi ıslatır.
- Islanan bu bölgede lehim alaşımı ana malzemeye nüfuz etmeye başlar (difüzyon). Daha sonra bağlantı mukavemetini belirleyen bir alaşım elde edilmiş olur.
- Bağlantı bölgesinde adhezyon ve difüzyon kuvvetlerinin büyüklüğü aşağıdaki parametrelere bağlıdır:

1. Çalışma sıcaklığı
2. Metalurjik karışabilirlik
3. Isıya maruz kaldığı süre



Lehimleme

Avantajları:

- Farklı malzemelerden parçalar lehimle birleştirilebilir.
- Ergime olmadığı için, işlem için gerekli ısı enerjisi azdır.
- Parçalarda fazla ısıl gerilme, çekme meydana gelmez.
- Kolay, çabuk yapılabilen ve ucuz bir yöntemdir.
- Parçalarda çentik etkisi olmaz.
- Temiz yüzeyler verir, ilave işleme gerek kalmaz.
- İyi ısıl ve elektriksel iletkenlik.
- Yüzeyler arası lehimle dolacağı için tolerans vermeye gerek kalmaz.

Dezavantajları:

- Yüksek sıcaklıkta çalışan sistemler için uygun değil.
- Mukavemeti kaynağa göre düşük

Lehim Türleri

- **Yumuşak lehim: (*Soldering*)**

Ergime sıcaklığı 450°C 'nin altındakilerdir. Fazla yük taşımayan, düşük sıcaklıklarda çalışan sistemlerde ve elektronikte kullanılır.

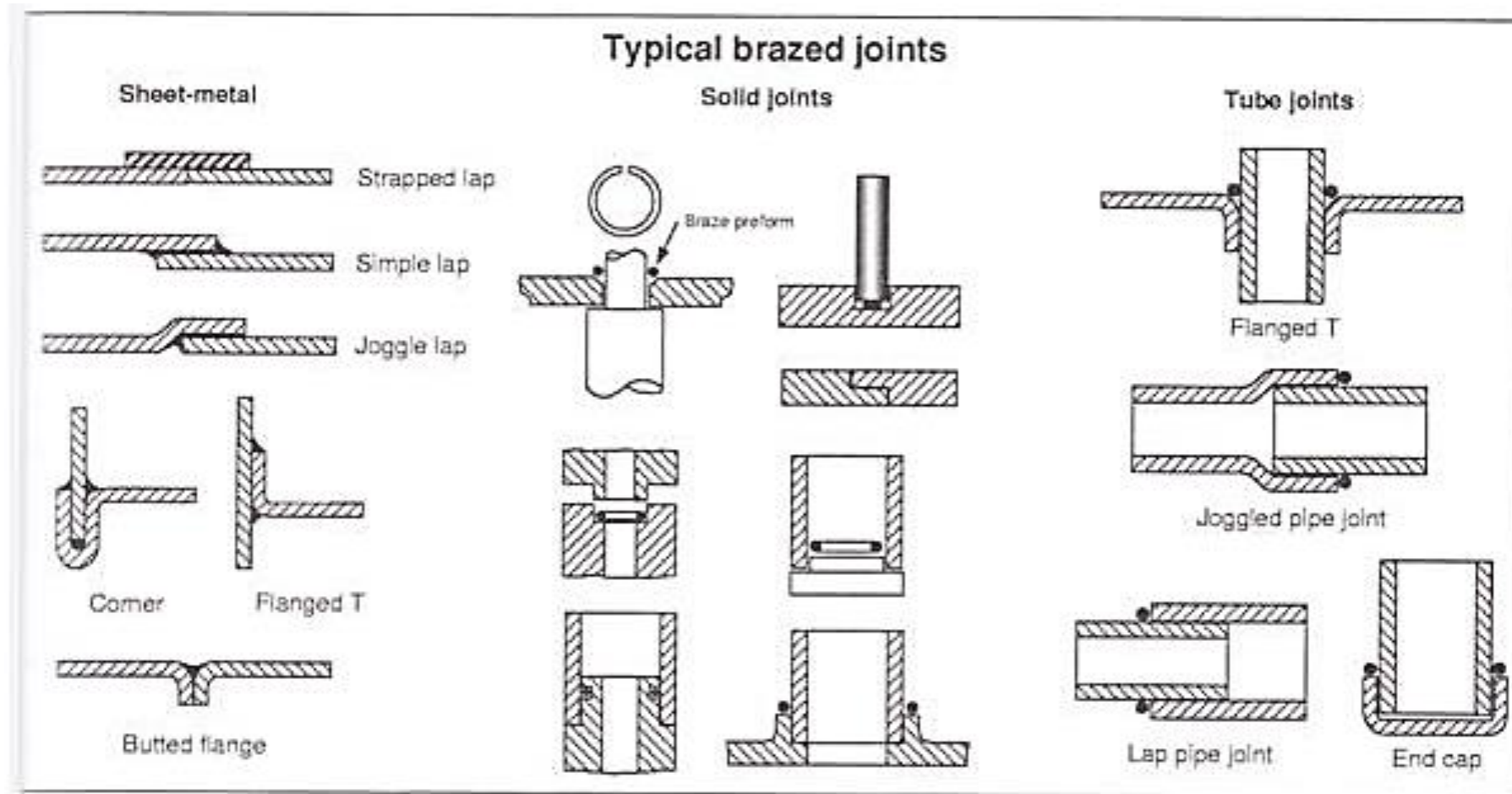
- **Sert lehim: (*Brazing*)**

Ergime sıcaklıkları 450°C 1100°C arasındadır. Yumuşak lehime göre çok daha büyük kuvvetlerin taşınmasında kullanılır. Genel makine konstrüksiyonunda en çok kullanılan lehim grubudur.

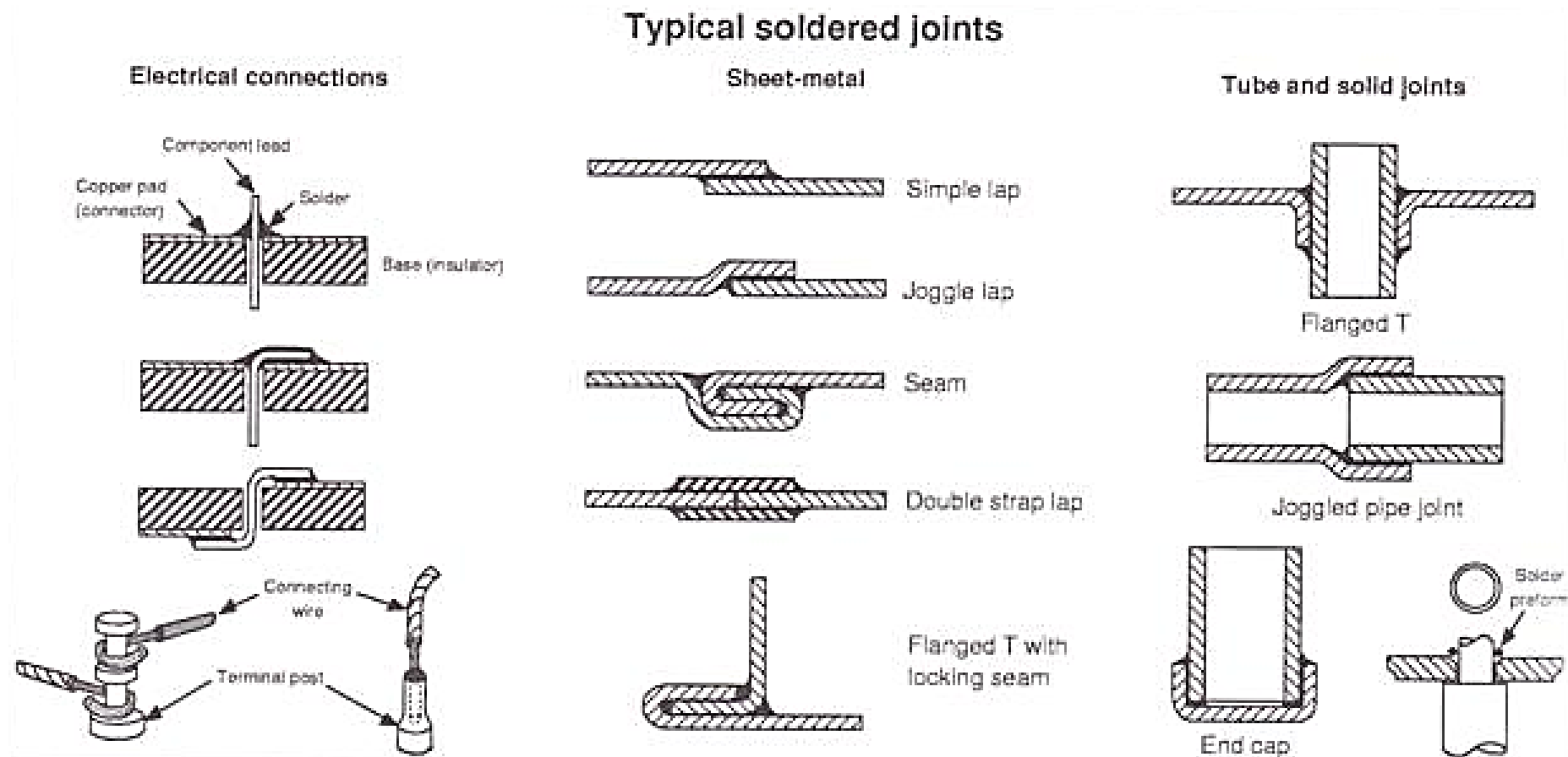
Lehim Yöntemleri

- 1. Havya ile lehim: Yumuşak lehime uygulanır.
- 2. Alev ile lehim: Yumuşak ve sert lehime uygulanır. Lehim alanı gaz alevi ile ısıtılır.
- 3. Daldırma lehim: Yumuşak ve sert lehime uygulanır. Ergimiş lehim banyosu kullanılır.
- 4. Fırında lehim: Yumuşak ve sert lehime uygulanır. Folyo, halka ve tel şeklindeki lehimler kullanılır.
- 5. Direnç lehimi: Lehim alçak ve yüksek frekanslı akım ile ısıtır. Seri imalatta kullanılır.

Sert Lehimleme (*Brazing*)



Lehimleme (*Soldering*)



Birleştirme Yöntemleri

- Yapıştırma -

Yapıştırma Yöntemi

- İki parçanın yapıştırma görevi yapan, genellikle **sentetik esaslı bir malzeme ile yapılan çözölemeyen bir bağlantıdır**.
- Parçalar arasında çok ince bir tabaka oluşturan yapıştırıcı, çok defa kimyasal reaksiyonların sonucunda makro moleküller oluşumu ile sertleşir.
- Yapıştırıcı gerek **kendi iç mukavemeti** (kohezyon direnci) ve gerekse **parça yüzeylerine yapışması** (adezyon direnci) ile etkiyen dış kuvvetlerin karşılanmasını sağlar.

Yapıştırıcı Türleri

- **Tek bileşenli yapıştırıcılar:**

Gerekli tüm bileşenler yapıştırıcı madde içinde yer alır. Kimyasal yapılarına göre yüzeye yayılma sırasında su meydana gelmemesi için, sertleşme sırasında basınç uygulanır.

- **İki bileşenli yapıştırıcılar:**

Bağlayıcı olarak polyester, epoksi veya poliüretan içerirler. Yapıştırmadan önce sertleştirici görevi yapan ikinci bir bileşenle karıştırılırlar. Sertleşme süreleri genellikle uzundur. (24 saate kadar uzayabilir.) Süre kısaltılmak istendiğinde 180°C' ye kadar ısıtılır. Bu durumda sertleşme 1 dakikada tamamlanır.

Yapıştırma / *Avantajları*

- Uygulanması kolay ve ucuz.
- Bağlanacak malzemede delik, çentik vb. olmadığı için gerilme yığılması olmaz.
- Isıl bir işlem içermediği için artık gerilmeler olmaz.
- Hemen hemen her malzemeye uygulanabilir.
- Çok ince veya kalın parçalara aynı kolaylıkla uygulanabilir.
- Gerilmeler her noktada yaklaşık aynı olduğundan, sürekli mukavemette yorulma hasarı riski düşüktür.
- Aynı zamanda sızdırmazlık sağlar.
- Boşluklar kolayca doldurulduğundan aralık ve galvanik korozyon riski yoktur.
- Yüzeyler arası yapıştırıcı dolacağı için hassas tolerans vermeye gerek kalmaz.
- İyi sönüm ve yalıtım özellikleri vardır.
- Mukavemet/ağırlık oranı son derece uygundur.

Yapıştırma / *Dezavantajları*

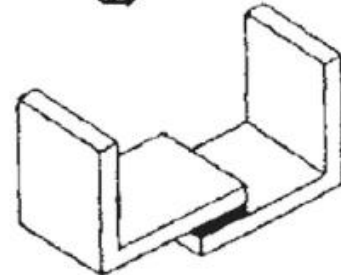
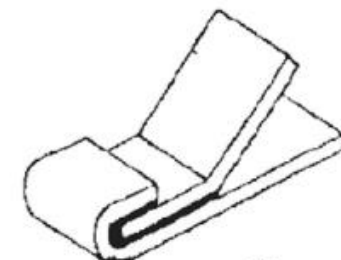
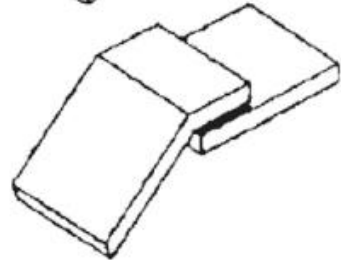
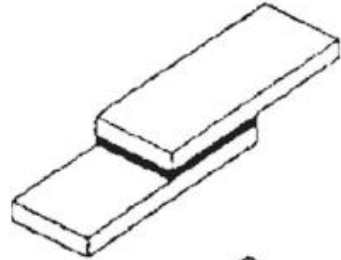
- Çalışma sıcaklığı artarsa (80-120⁰C) mukavemet düşer. Yeni nesil yapıştırıcılarla sınır çalışma sıcaklığı değeri 450⁰C 'ye kadar çıkmıştır.
- Yüzeyin temizlenmesi özen ve dikkat gerektirir.
- Çekme ve eğilme tipi zorlanmalara karşı mukavemeti iyi değildir.
- Bazı yapıştırıcılarda sertleşme (kür) süresi uzundur.
- Viskoelastik malzemeler olduklarından zaman içinde yaşlanma ve sürünme (creep) olayları gözlenebilir.
- Kritik uygulamalar için çok karmaşık gerilme analizleri yapmak gerekir.
- Tahribatsız muayene ile kontrolü kolay değildir.
- Bağlantının ömrü çevre şartlarından etkilenir.
- Bazı solventlere karşı dayanıksızdır.

Yapıştırırmada Şekillendirme

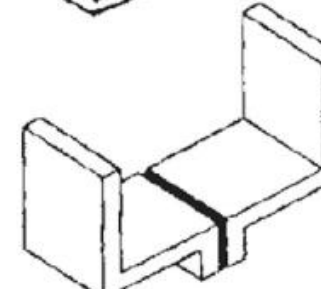
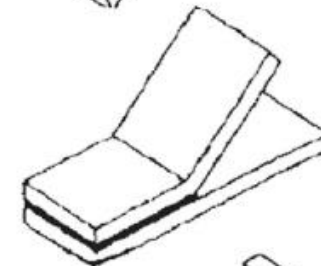
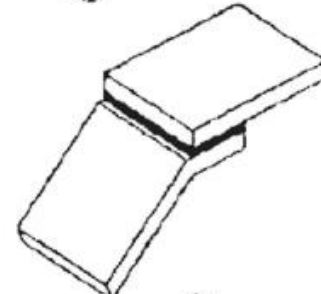
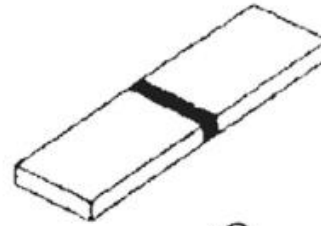
- Yapıştırma yüzeyleri, üzerlerine gelecek yüklerin yönleri ve büyüklüğü dikkate alınarak belirlenmelidir.



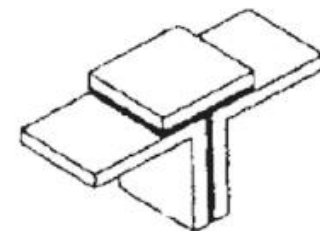
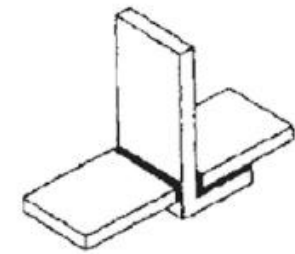
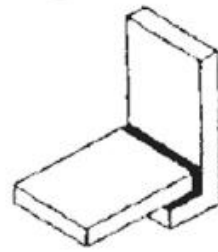
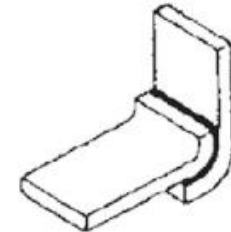
İyi



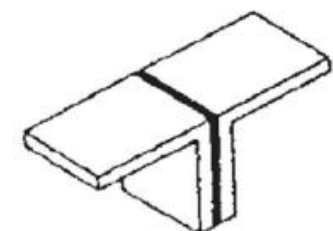
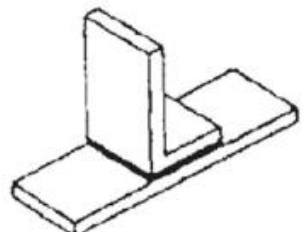
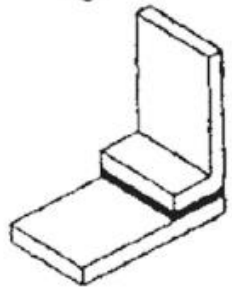
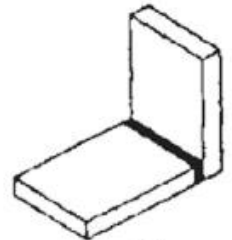
Kötü



İyi

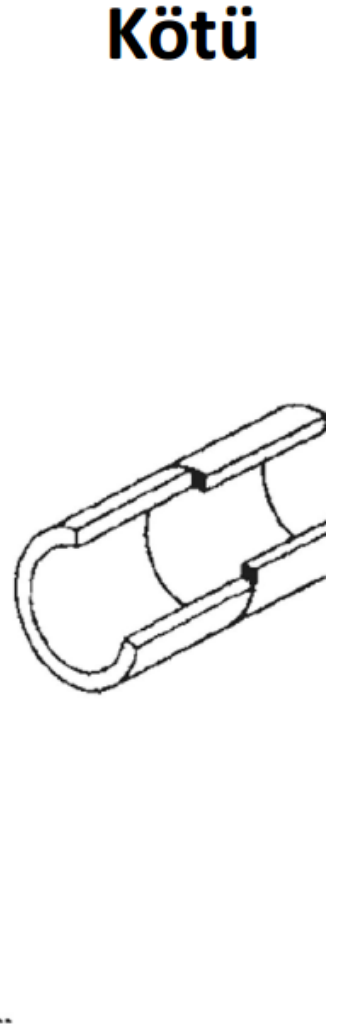
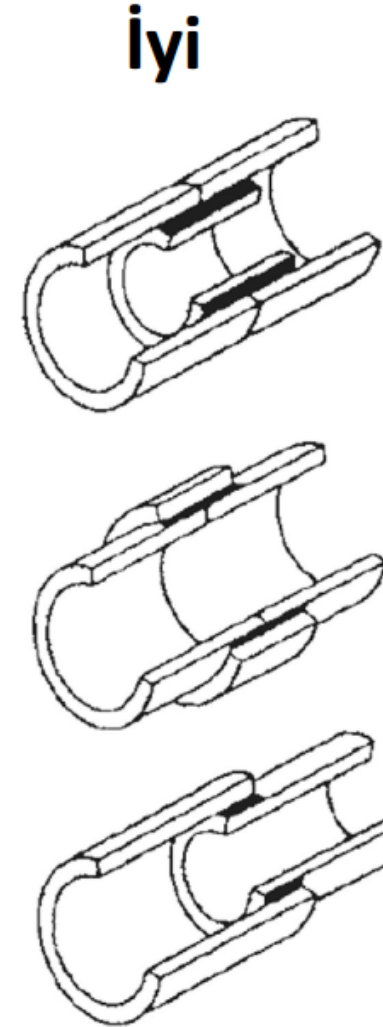
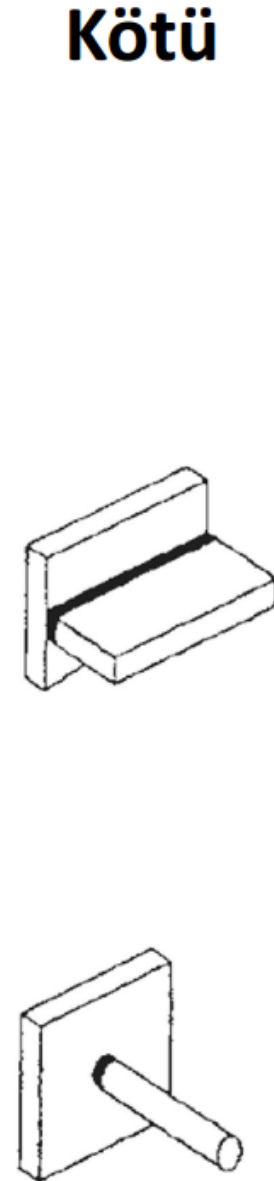
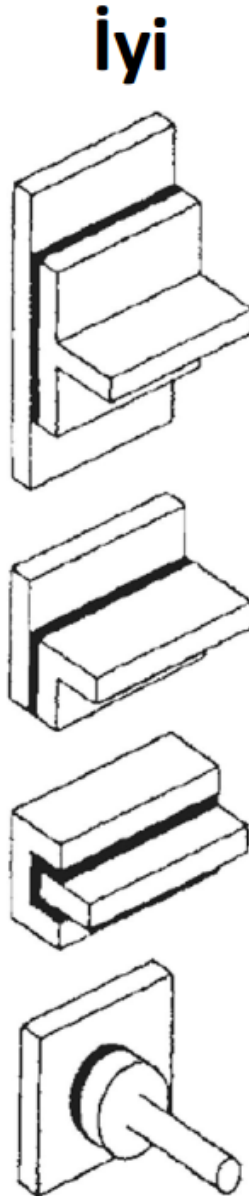


Kötü

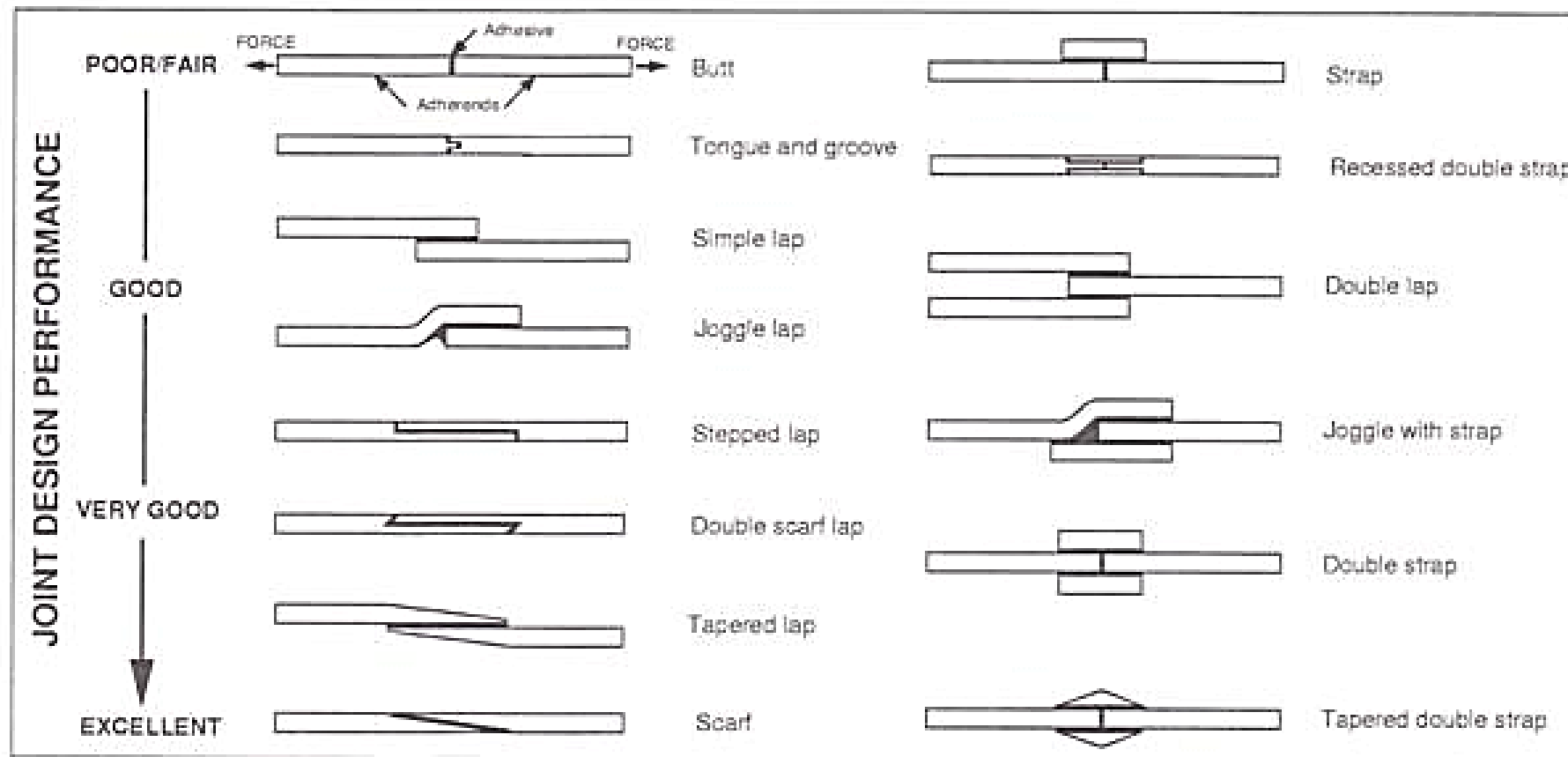


Yapıştırma Şekillendirme

- Yapıştırma işleminde konstrüksiyonun bağlantı mukavemetine etkisi



Yapıştırma (*Adhesive Bonding*)



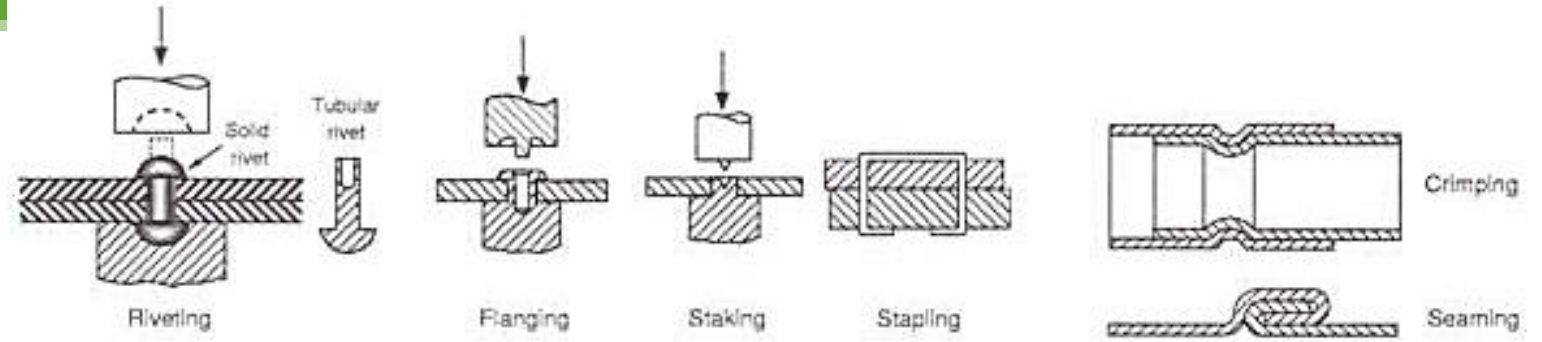
Birleştirme Yöntemleri

- Bağlama Elemanları -
- Perçinleme -

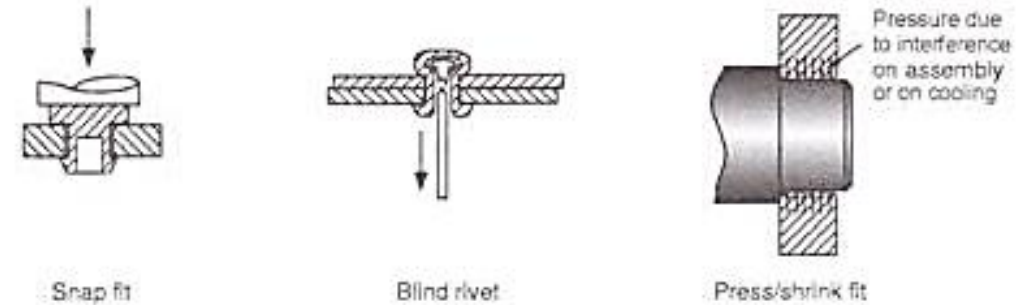
Mekanik Bağlama Elemanları (*Fasteners*)

Perçinleme
Zımbalama
Vidalama
Kıvrırma
Presleme

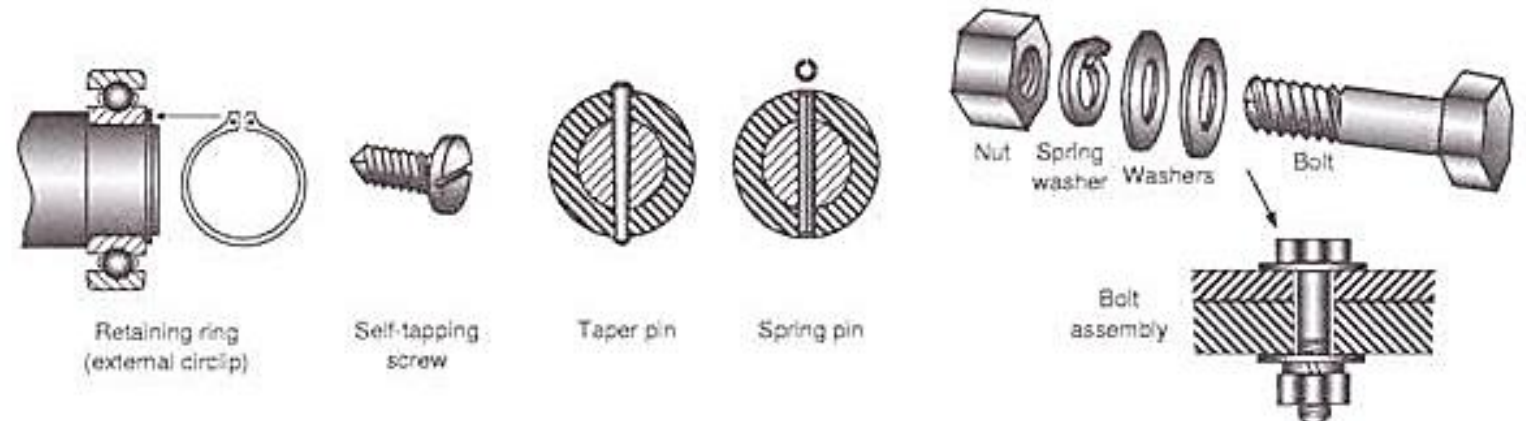
A selection of permanent mechanical fastening systems



A selection of semi-permanent mechanical fastening systems

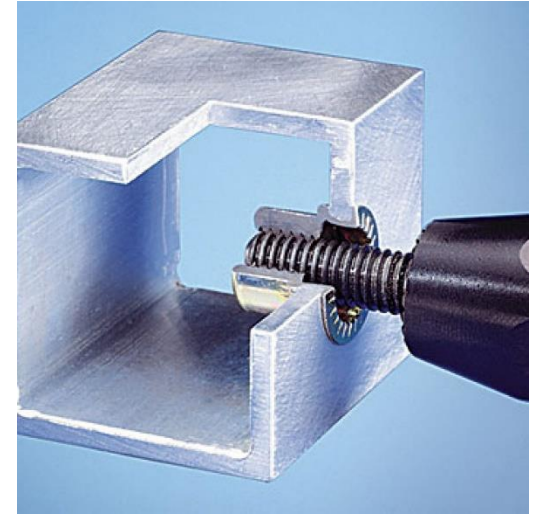


A selection of non-permanent mechanical fastening systems



Bağlama Elemanları

Perçinler



Bağlama Elemanları / Perçinler

- Bir ucu açık diğer ucu ise şişirilmiş eleman vasıtası ile yapılan çözülemez bir bağlantıdır.
- Perçinli bağlantılar, ancak perçinin tahrip edilmesi halinde çözülebilirler.
- Isıl genleşme farklılıkları nedeni ile perçin malzemesi ile yapı elemanının malzeme özellikleri yakın olmalıdır.
- Perçin konstrüksiyonlar bağlama, sızdırmazlık veya hem bağlama hem sızdırmazlık amaçlı olabilirler.

Bağlama Elemanları / Perçinler

Perçin; metal parçaları, çoğunlukla yassı levhaları, birbirine bağlamak için kullanılır.

- Uzunluk ve çapa göre sınıflandırılırlar.
- Solid (katı) ve blind (kör) perçin olarak iki çeşittir. Solid perçinler ağır kesme yükü taşıyan bağlantı yerlerinde tercih edilir.
- Şişme perçin, mantar perçin, havşa başlı, düz perçin gibi tipleri vardır.

Bağlama Elemanları / Perçinler

Avantajları:

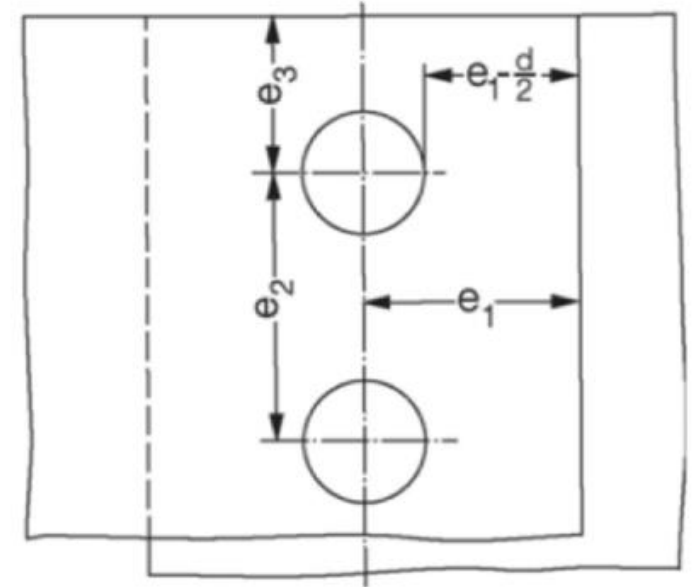
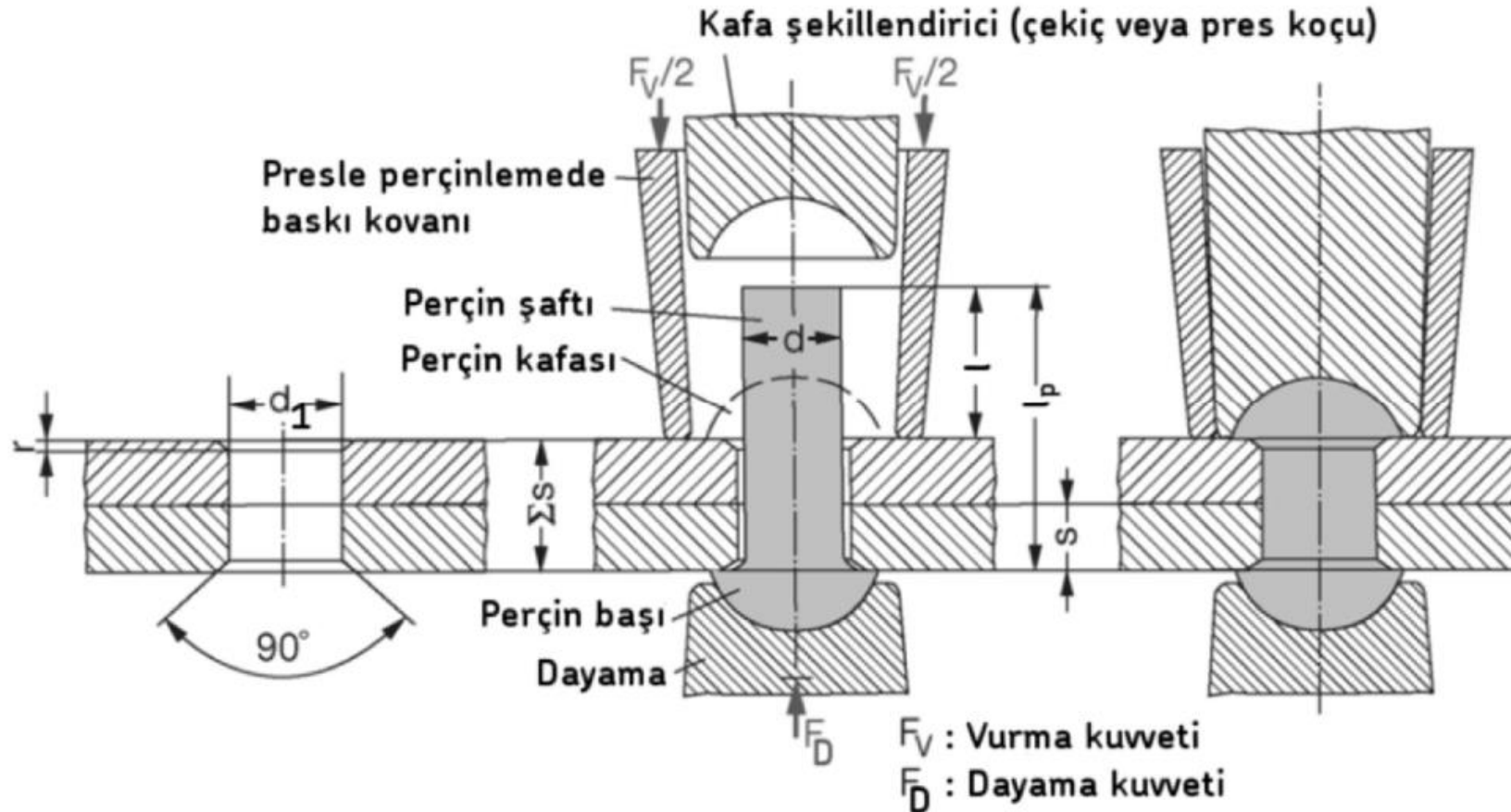
- Farklı malzemelerden parçalar perçinle birleştirilebilir.
- Kolay yapılabilen bir yöntemdir.
- Sarsıntılara dayanıklı ve emniyetlidir.
- Kristal yapıda bir değişim, dolayısı ile çarpılma olmaz.
- Kaynağa göre daha elastik bir bağlantıdır.

Dezavantajları:

- Ana malzemedeki perçin deliği mukavemeti azaltır.
- Ancak bindirme bağlantı mümkündür, bu da konstrüksiyonu ağırlaştırır.

Bağlama Elemanları / Katı Perçinler

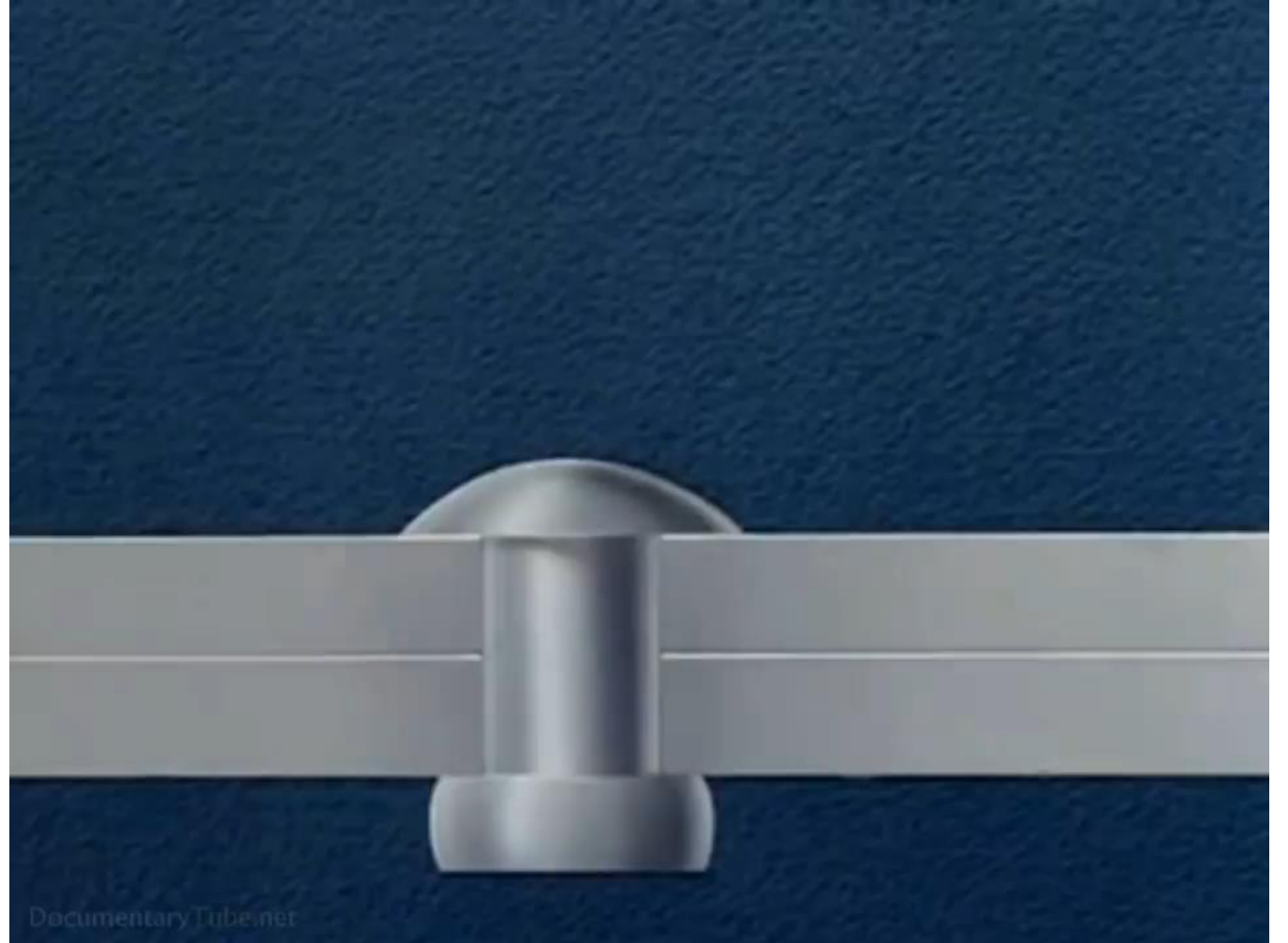
Katı perçin (*Solid Rivet*)



Bağlama Elemanları / Katı Perçinler

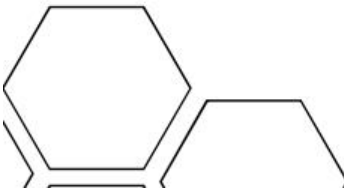
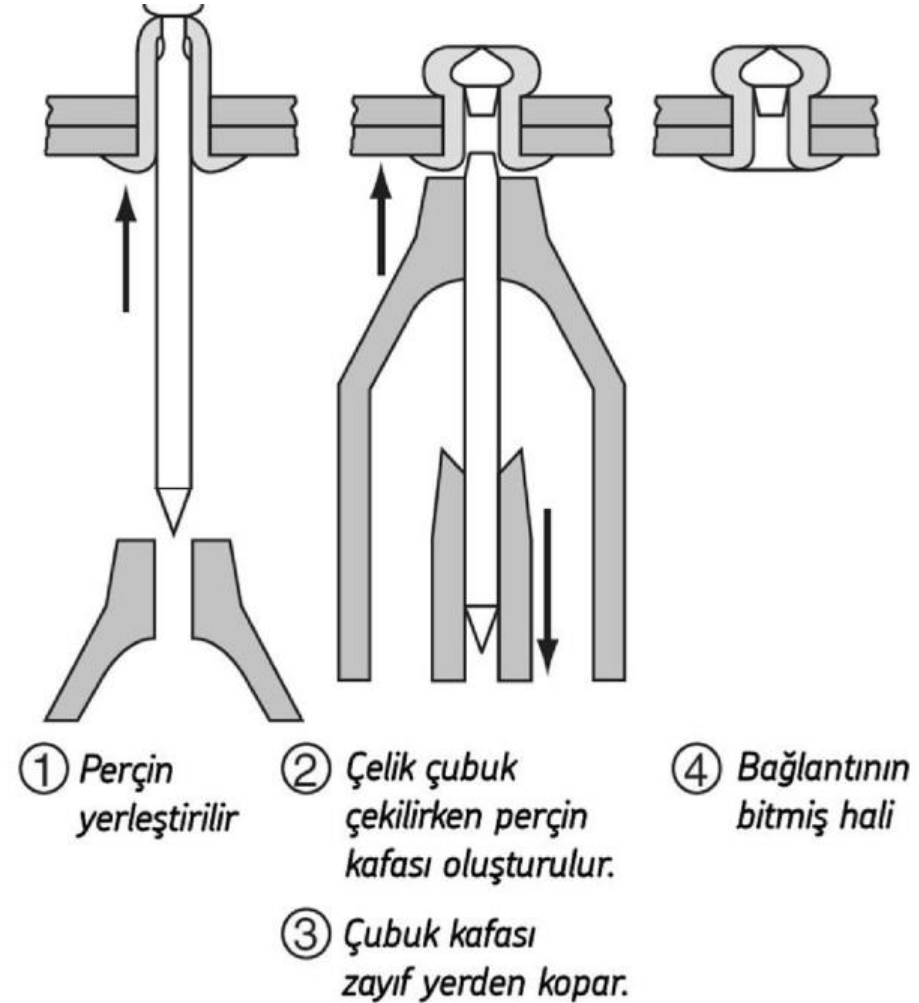
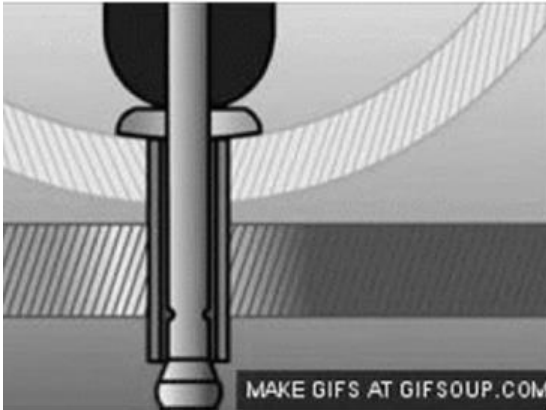
Perçinler / Katı Perçinler
[Solid Rivets]

Örnek Animasyon →



Bağlama Elemanları / Kör Perçinler

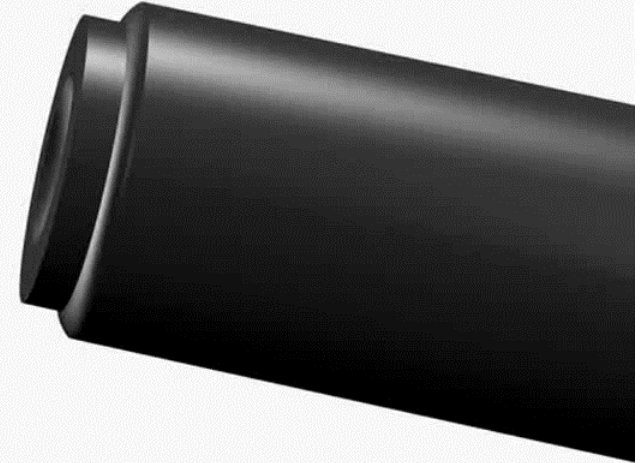
Kör Perçin (*Blind (Pop) Rivet*)



Bağlama Elemanları / Kör Perçinler

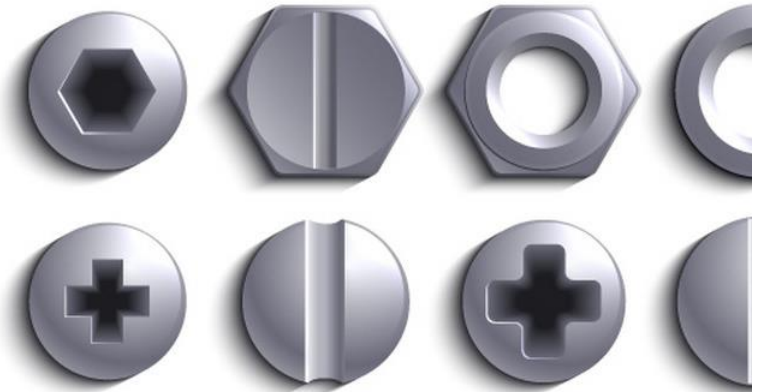
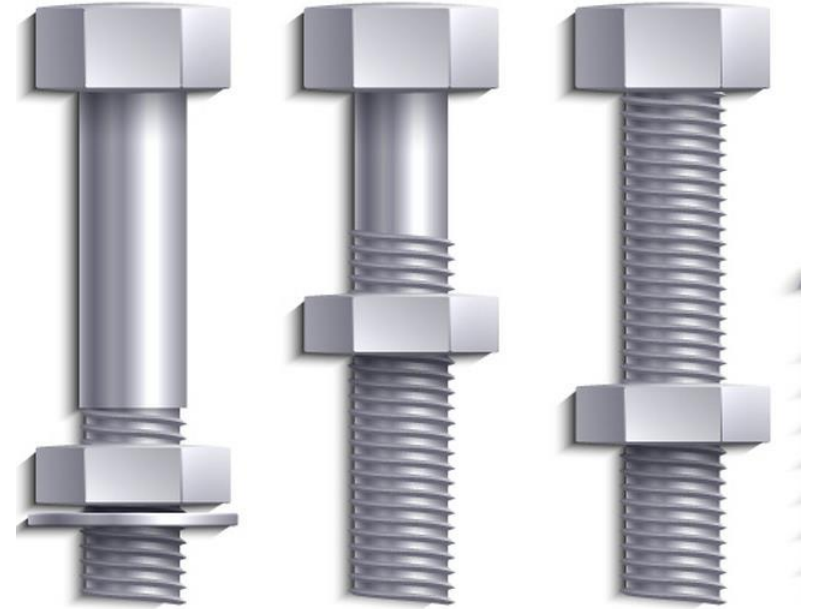
Perçinler / Kör Perçinler
[Blind Rivets / Pop Rivets]

Örnek Animasyon →



Bağlama Elemanları

*Çözülebilir Elemanlar:
Vidalar, Cıvatalar,
Saplamalar, Somunlar*



Kaynaklar: Ders Notları

- Prof. Dr. Ahmet Aran – Ders Notları / Işık Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
 - <http://www2.isikun.edu.tr/personel/ahmet.aran/dersnotlari.htm>
- Doç. Dr. Turgut Gülmez – İmal Usulleri Ders Notları / İTÜ Makina Fakültesi
 - <https://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI.html>
- Prof. Dr. Adnan Dikicioğlu – Ders Notları / İTÜ Makina Fakültesi
 - <https://akademi.itu.edu.tr/dikicioglu/>

Kaynaklar: Ders Notları

- Dr. Vedat Temiz – Makina Elemanları Ders Notları / İTÜ Makina Fakültesi
- <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Sunular.htm>
 - <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Kaynak.pdf>
 - <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Lehim.pdf>
 - <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Yapistirma.pdf>
 - <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Percin.pdf>