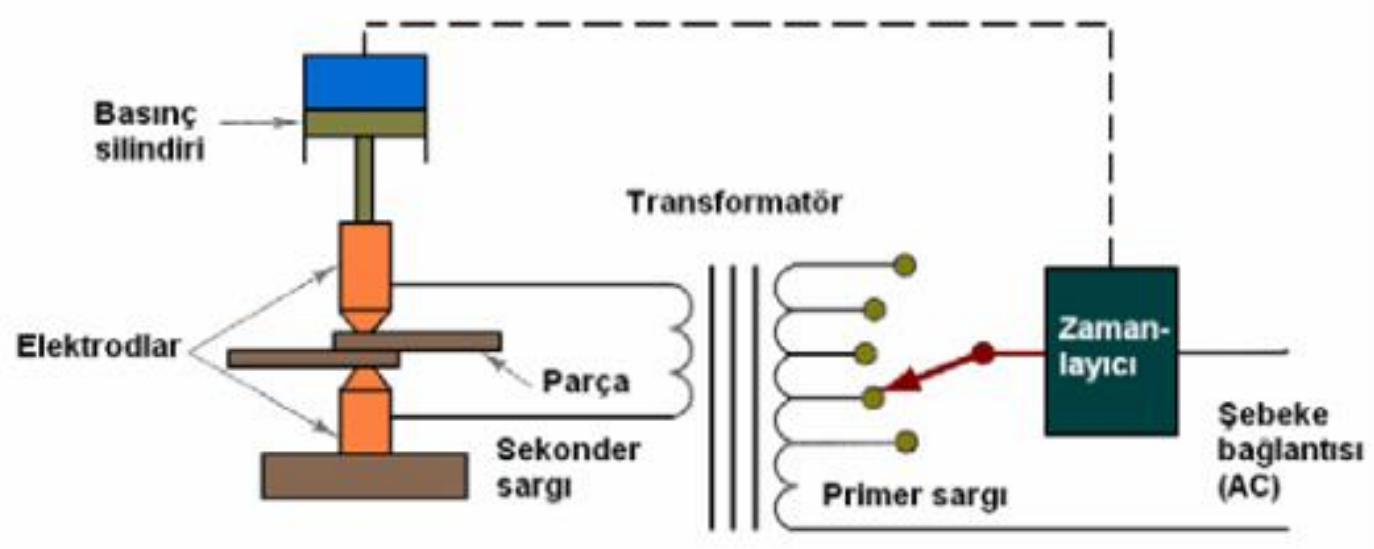
# Kaynak Metalurjisi

12. hafta

# Direnç Kaynağı

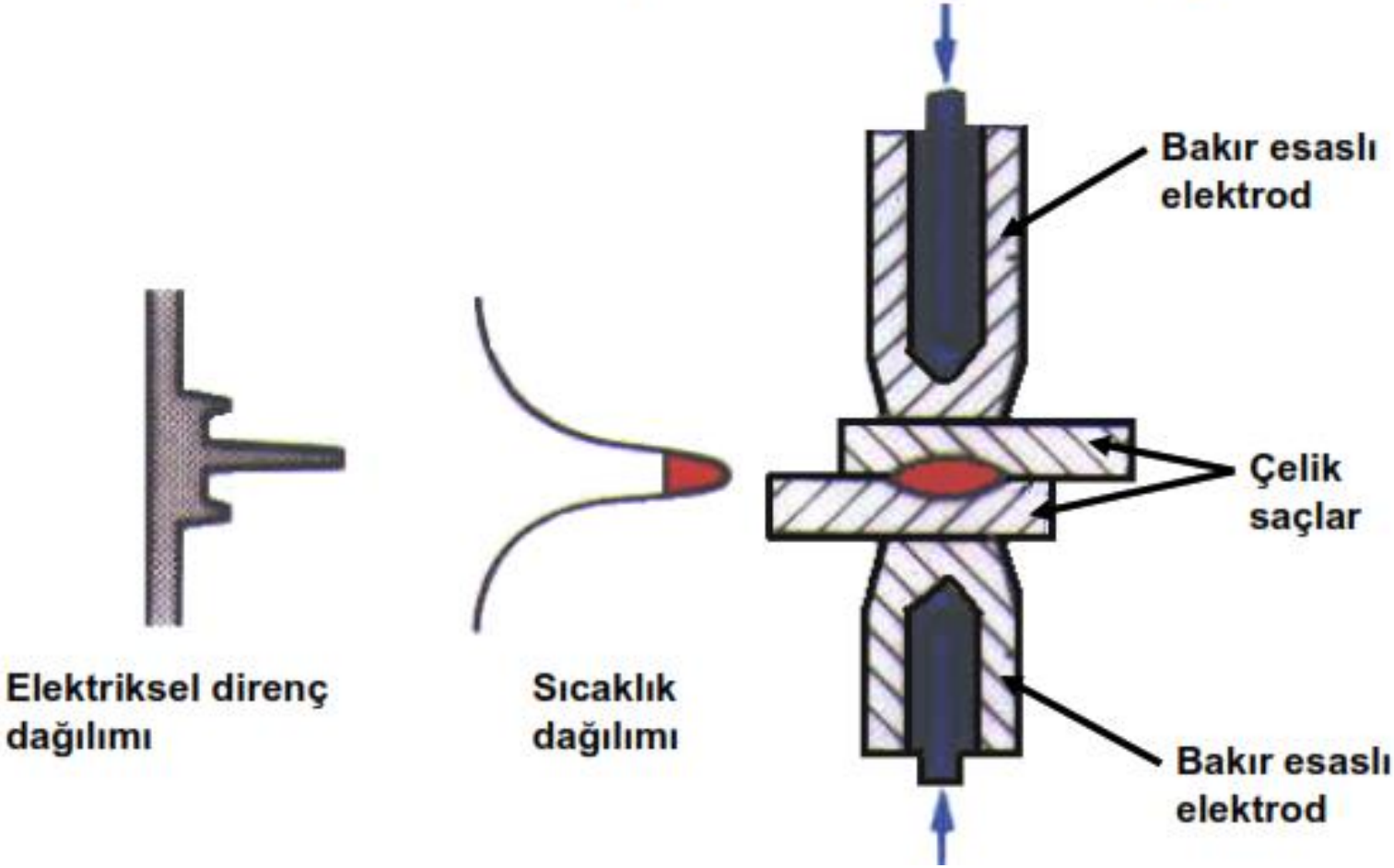
Birleştirmeyi oluşturmak için ısı ve basıncı birlikte kullanan bir eritme kaynak yöntem grubu

- Isı, kaynak yapılacak bağlantıda elektrik akımının geçişine gösterilen dirençle üretilir
- Temel direnç kaynak yöntemi = direnç nokta kaynağı




Elektrik direnç kaynağının temel devresi

# Direnç Kaynağında Elektriksel Direnç ve Sıcaklık Dağılımı

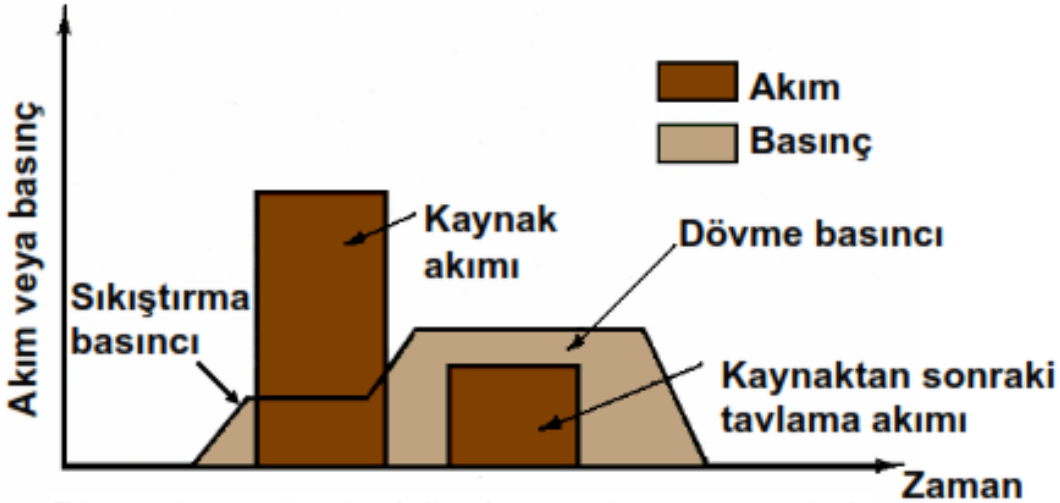



Direnç kaynağında elektrodlar ve parçalar boyunca istenen sıcaklık dağılımı

# Direnç Kaynağında Parametreler

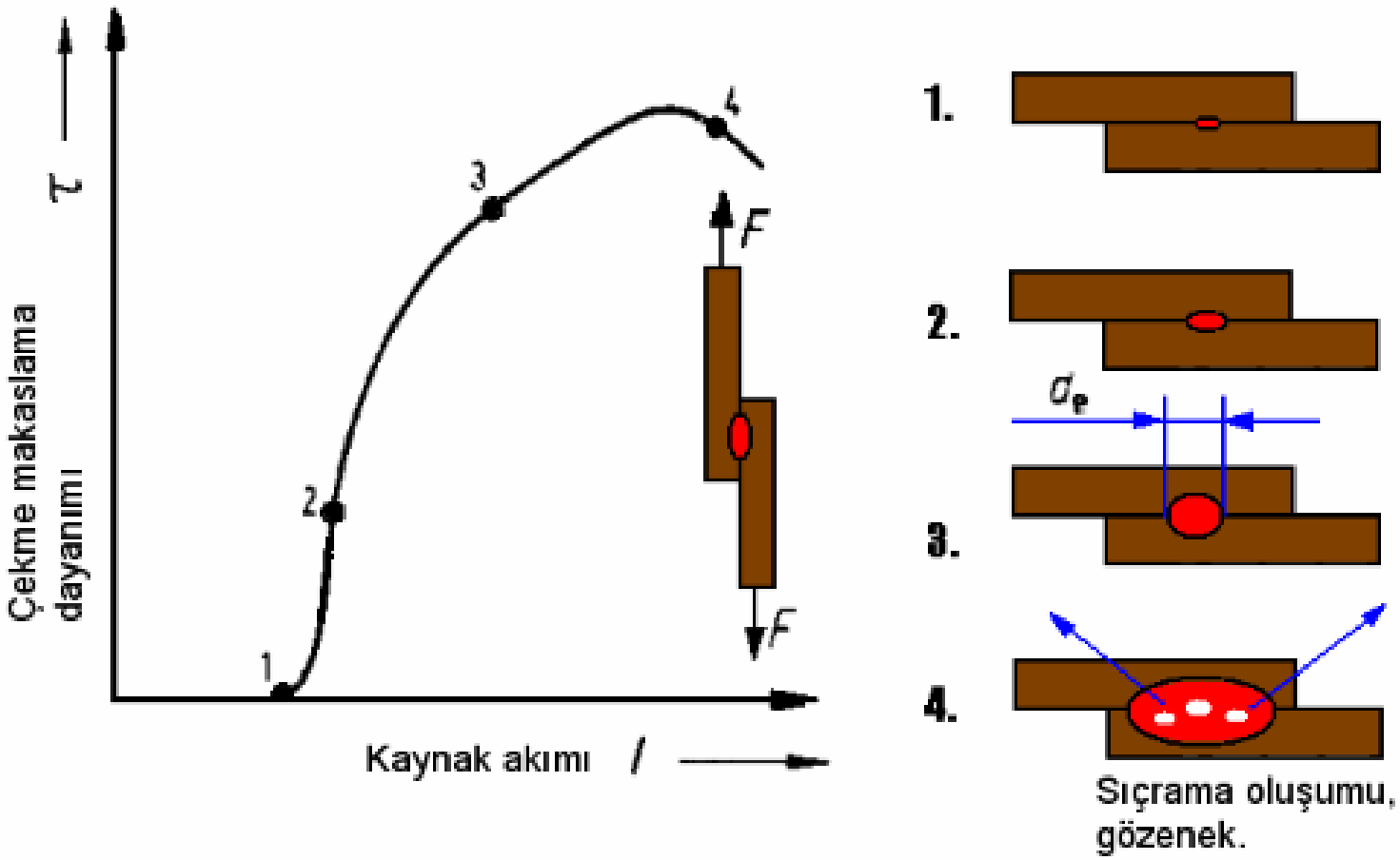
- Basınç: Direnç kaynağındaki basıncın bir dövme etkisi oluşturması nedeniyle, diğer yöntemlerde oluşturulanlara göre daha düşük sıcaklıklarda kaynak yapılabilir
  - Eğer aşırı basınç uygulanırsa, erimiş ve yumuşamış metal, arayüzeyden fışkırabilir
- Akım ve Akım Kontrolü: Yüzey koşulları ve basınç önemli parametrelerse de, direnç kaynağı esas olarak akımın büyüklüğü ve geçiş süresi tarafından oluşturulur
  - Yüksek akımlar ve kısa kaynak süreleri sayesinde bitişik metale dağılan ısı miktarı düşük seviyede tutulabilir ve istenen sıcaklıklara çıkılabilir

- Akım üreteci: Kaynak devresinin genel direnci düşük olduğundan, bir direnç kaynağı oluşturmak için yüksek akımlara gerek duyulur. Güç transformatörleri kaynak için gerekli yüksek akımları (100 KA'e kadar) sağlar




Direnç kaynağında tipik akım ve basınç çevrimi.
**Çevrimde dövme ve kaynaktan sonraki tavlama işlemleri de dahil edilmiştir.**

Bütün direnç kaynağı yöntemleri, uygun bir akım şiddeti-kaynak zamanı düzenlemesini gerektirir. Kaynak bölgesinin ısınma ve soğuma hızları zaman ekonomisi bakımından mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır. Demir esaslı malzemelerde bu hız gevrek bir kaynak dikişi oluşturacak kadar yüksek ise, ayrıca bir temperleme işlemi gerekir.




Direnç nokta kaynağında kaynak akımının bağlantının çekme-makaslama dayanımına etkisi

# Direnç Kaynağının Üstünlükleri ve Eksiklikleri

- Üstünlükleri:
  - İlave metal gerekmez
  - Yüksek üretim hızlarına erişilebilir
  - Mekanizasyonu ve otomasyonu kolaydır
  - Operatör beceri seviyesi, ark kaynağına oranla daha düşüktür
  - İyi tekrarlanabilirlik ve güvenilirlik
- Eksiklikleri:
  - Yüksek ilk ekipman maliyeti
  - Çoğu direnç kaynağı için bindirme bağlantılarla sınırlı

# Direnç Nokta Kaynağı

Bir bindirme bağlantıda temas eden yüzeylerin eritildiği direnç kaynak yöntemi, karşılıklı elektrodların yerleştirilmesiyle sağlanır

- Bir seri nokta kaynağı kullanarak saç metallerin birleştirilmesinde kullanılır
- Saç metalden imal edilen otomobil, ev aletleri ve diğer ürünlerin seri imalatında yaygın şekilde kullanılır
- Tipik bir araç gövdesinde ~ 5,000 nokta kaynağı vardır
  - Tüm dünyada yıllık otomobil üretiminde on milyonlarca nokta kaynağı yapılmaktadır

Bir Otomobil Gövdesindeki Nokta Kaynakları

**Nokta Kaynağı**

Nokta kaynağı elektrodlar tarafından bir arada tutulan iş parçalanndan geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdikleri dirençten elde edilen ısı ile parçaların bölgesel olarak ergitilip basınç altında birleştirilmeleridir. Kaynak dikişinin boyut ve şekli elektrodlann boyut ve şekline bağlıdır.

Genel olarak nokta kaynağı, dört evreden oluşur:

*a)* *Basma süresi :* Elektrod kuvvetinin ilk uygulandığı an ile kaynak akımının verildiği ilk an arasında geçen süredir.
*b)* *Kaynak süresi:* Kaynak akımının geçtiği zaman aralığıdır.
*c)* *Tutma süresi:* Kaynak akımının kesilmesinden sonra, elektrod kuvvetinin etkisinin devam ettiği süredir.
*d)* *Ölü süre :* Elektrodların iş parçası ile temasta olmadığı zaman aralığıdır.

*Nokta kaynağı yöntemleri :* Nokta kaynağı yöntemleri, iki temel grupta toplanırlar :

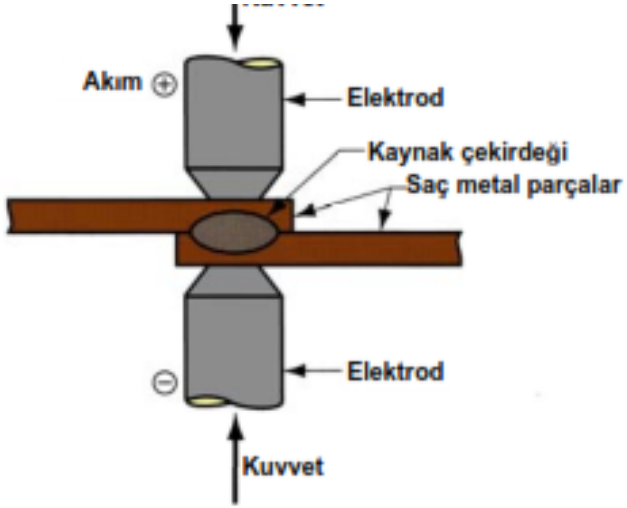
a) Tek noktalı kaynak
b) Çok noktalı kaynak

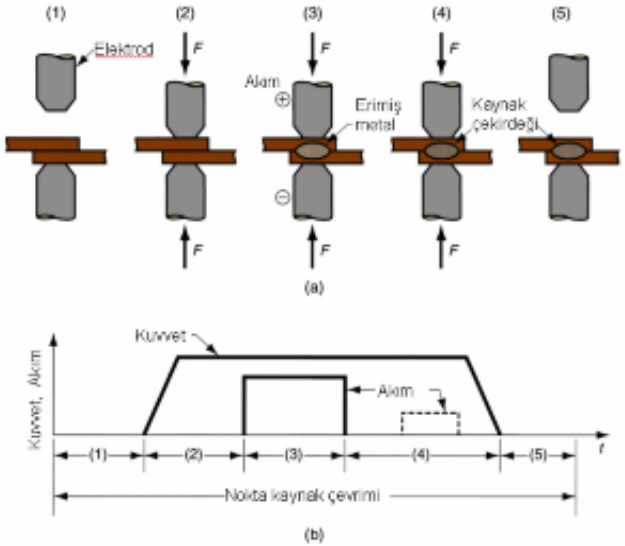
Tek noktalı kaynak, akımın uygulama süresi boyunca bir kaynak noktası oluşacak şekilde yapılan nokta kaynağıdır. Çok noktalı kaynakta ise, akımın süresinde aynı anda iki ya da daha fazla kaynak noktası oluşur. Çok noktalı kaynakta noktalar seri ya da paralel olabilir.

# Direnç Nokta Kaynağındaki Bileşenler

- Kaynak yapılacak parçalar (genellikle saç metal)
- Karşılıklı iki elektrod
- Parçaları elektrodlar arasında sıkıştırmak için basınç uygulama aparatları
- Belirli bir süre için kontrollü bir akım uygulayabilen güç üreteci

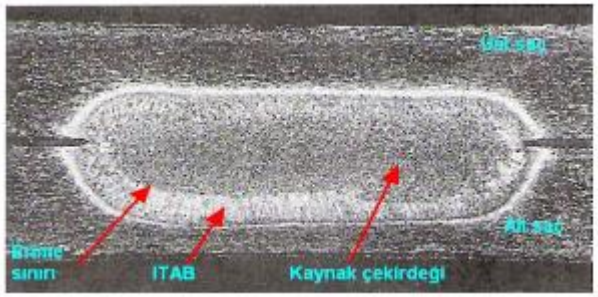
Direnç kaynağı grubunun en yaygın uygulaması olan nokta kaynağındaki bileşenler



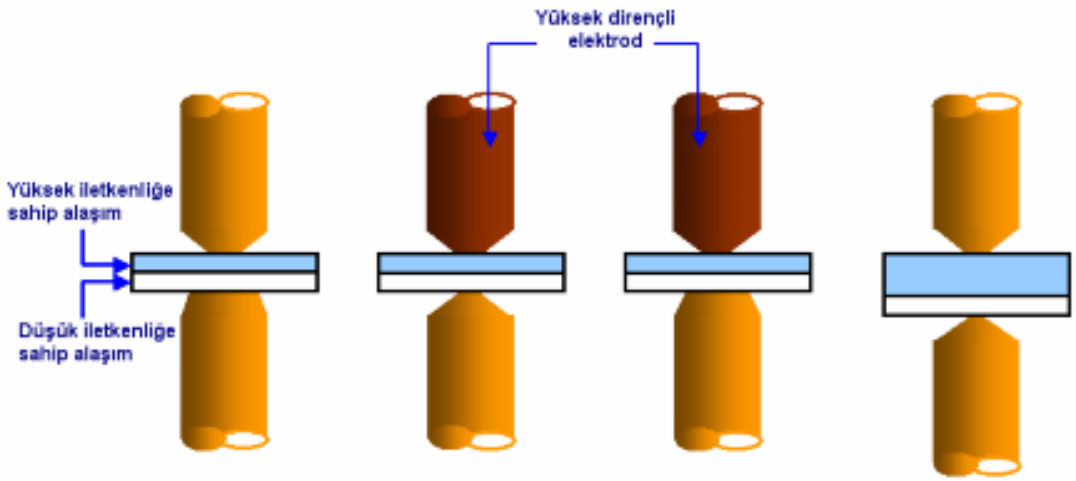

(a) Nokta kaynak çevrimi, (b) Sıkıştırma kuvveti ve çevrimdeki akımın grafiği (1) elektrodlar arasına yerleştirilen parçalar, (2) elektrodların kapatılması, kuvvetin uygulanması, (3) akımın akışı, (4) akımın durdurulması, (5) elektrodların açılması, kaynaklı parçanın çıkarılması

## Direnç Nokta Kaynağının Kesiti




1,3 mm'lik iki alüminyum alaşımı saç arasındaki bir nokta kaynak çekirdeği. Ust elektrodun çapı alttakinden daha büyük olduğundan, çekirdek simetrik değildir

# Direnç Nokta Kaynağında Isıl Denge



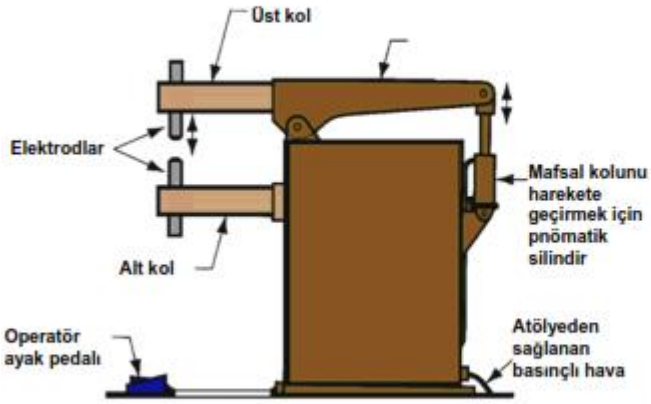

- A - Yüksek iletkenliğe sahip alaşıma karşı daha küçük yüzey alanı

- B - Yüksek iletkenliğe sahip alaşıma karşı yüksek elektrik direncine sahip elektrod

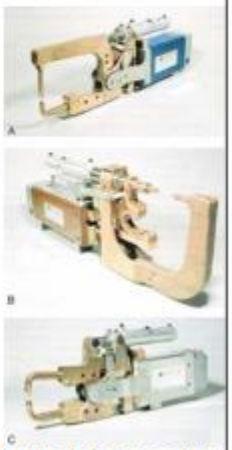
- C - B'deki gibi. Ek olarak düşük iletkenliğe sahip alaşıma karşı daha büyük elektrod yüzeyi ilavesi.

- D - Yüksek iletkenliğe sahip parçanın kalınlığını artırma.

# Nokta Kaynağı Ekipmanı

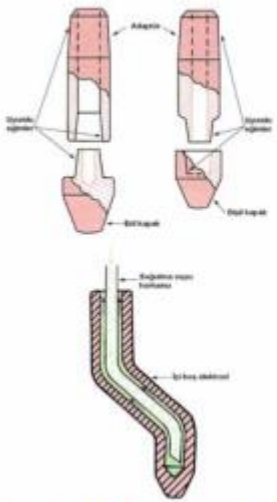



Mafsal kollu nokta kaynak makinası

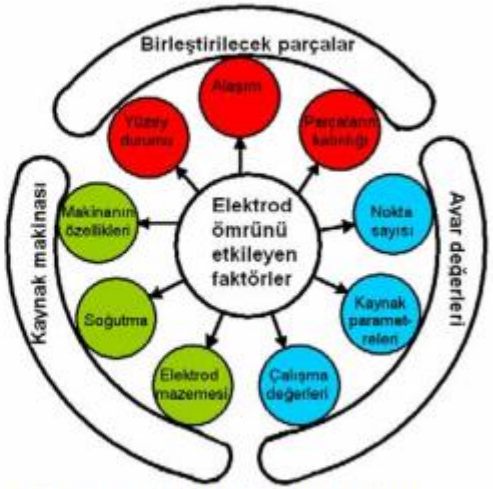


Taşınabilir direnç kaynak tabancaları

## Nokta Kaynak Elektrodları

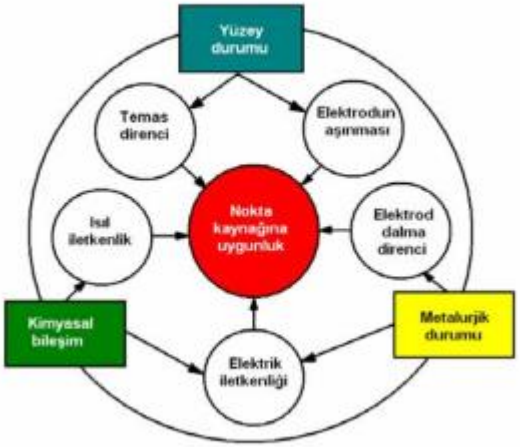


Nokta kaynak elektrod örnekleri



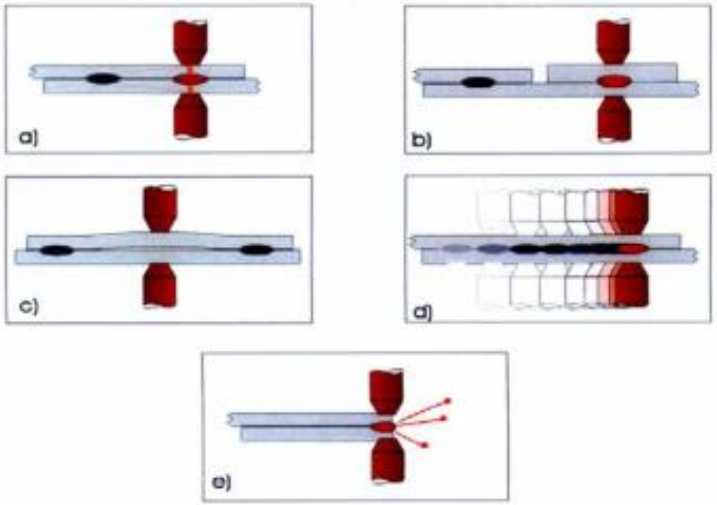

Direnç nokta kaynağında elektrod ömrünü etkileyen faktörler

## Direnç Nokta Kaynak Kabiliyeti



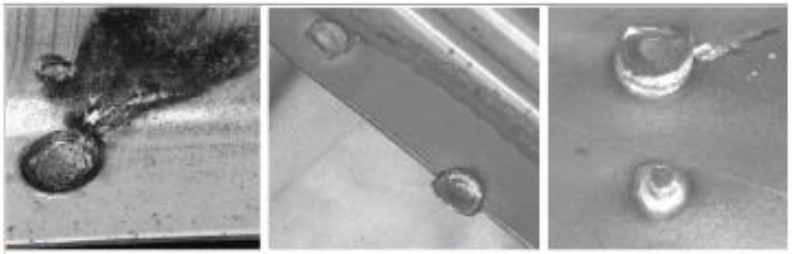

Direnç nokta kaynağına uygunluğu etkileyen faktörler

## Direnç Kaynağında Kaynak Hataları

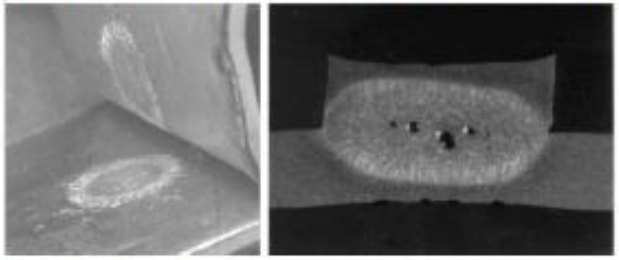



a) Şönt (kaçak) akım; b) Saç kalınlığının değişmesi; c) Saçların aralık kalması; d) Elektrodların aşınması; e) Saç kenarında kaynak

## Direnç Nokta Kaynak Hataları



Arayüzeyde fışkırma | Kenara kaynak | Yetersiz nokta çapı



Soğuk yapışma (erimeme) | Gözenek

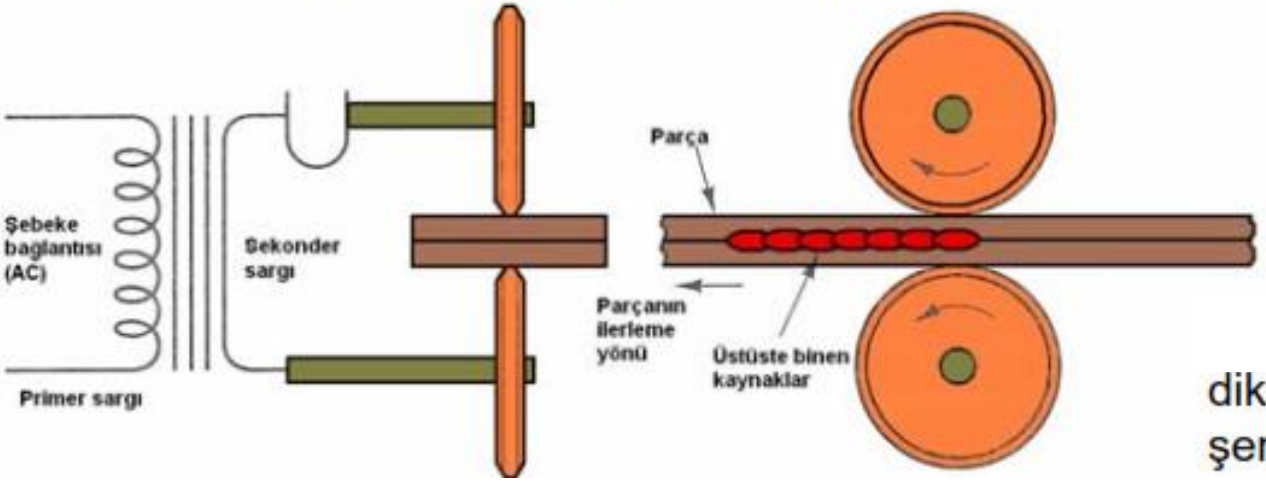
# Direnç nokta kaynağı

https://www.youtube.com/watch?v=i4QwDhJ-exA

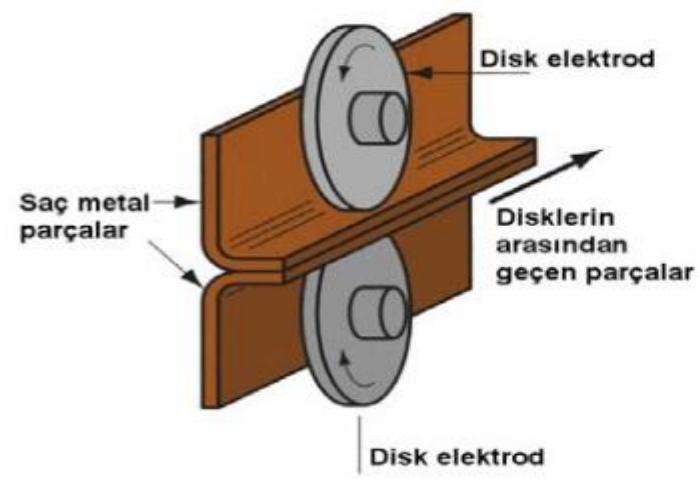
# Direnç Dikiş Kaynağı

Bir bindirme bağlantı boyunca bir seri üstüste binmiş nokta kaynakları üretmek üzere dönen disk elektrodlar kullanır

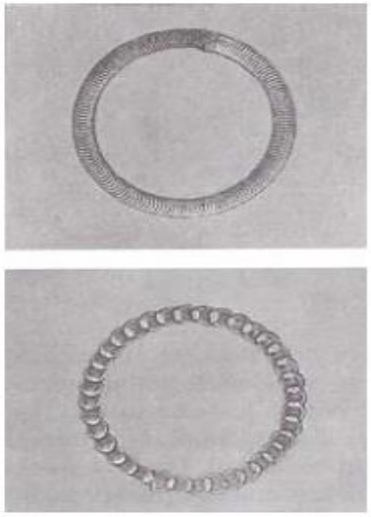
- Direnç dikiş kaynağı, sızdırmaz bağlantılar üretebilir
- Uygulamaları:
  - Yakıt depoları
  - Egzoz susturucuları
  - Diğer değişik saç metal kaplar



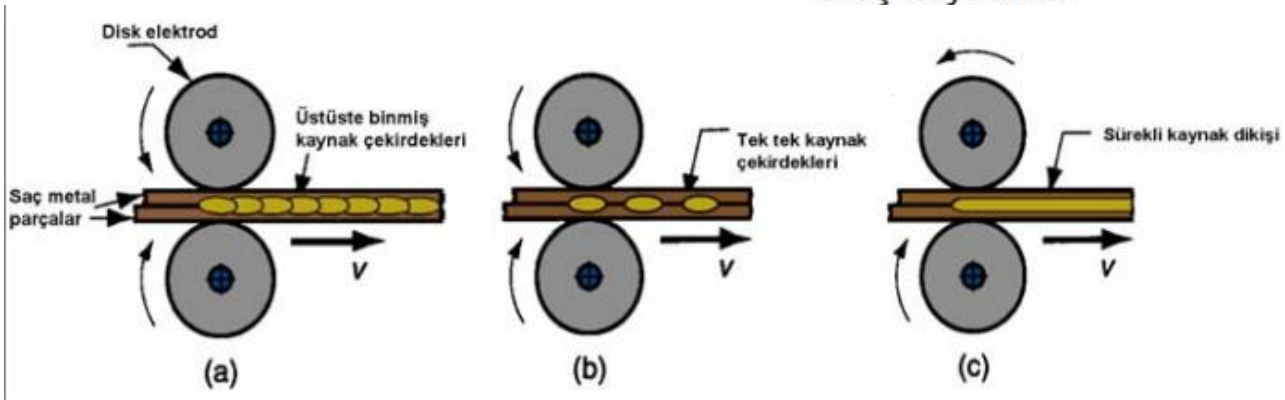

Direnç dikiş kaynağının şematik görünüşü




Direnç dikiş kaynağının prensip şeması

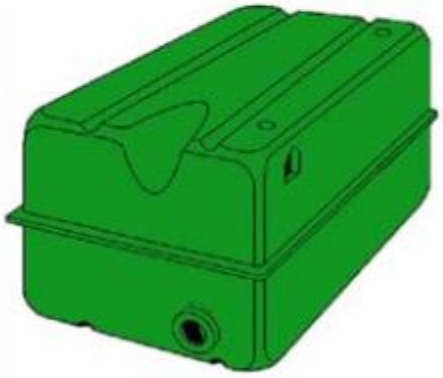


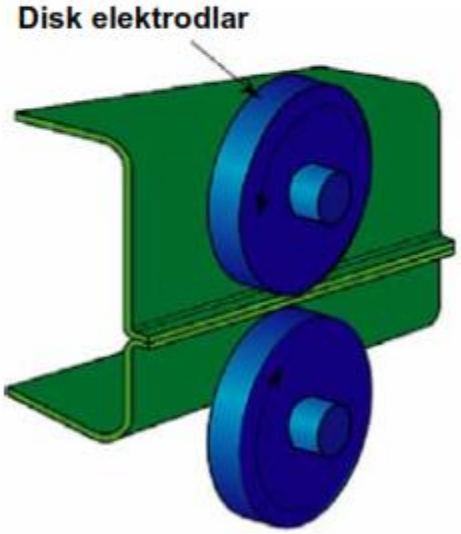
Şekil 35-9. Farklı aralıklarla üstüste binmiş nokta kaynaklarıyla oluşturulmuş dikiş kaynakları




Disk elektrod tarafından üretilen farklı dikiş türleri:
(a) üstüste binmiş noktalardan oluşan, geleneksel direnç dikiş kaynağı
(b) disk elektrodla nokta kaynağı;
(c) sürekli direnç dikişi

# Direnç Dikiş Kaynağının Uygulamaları
# Otomobil yakıt deposu





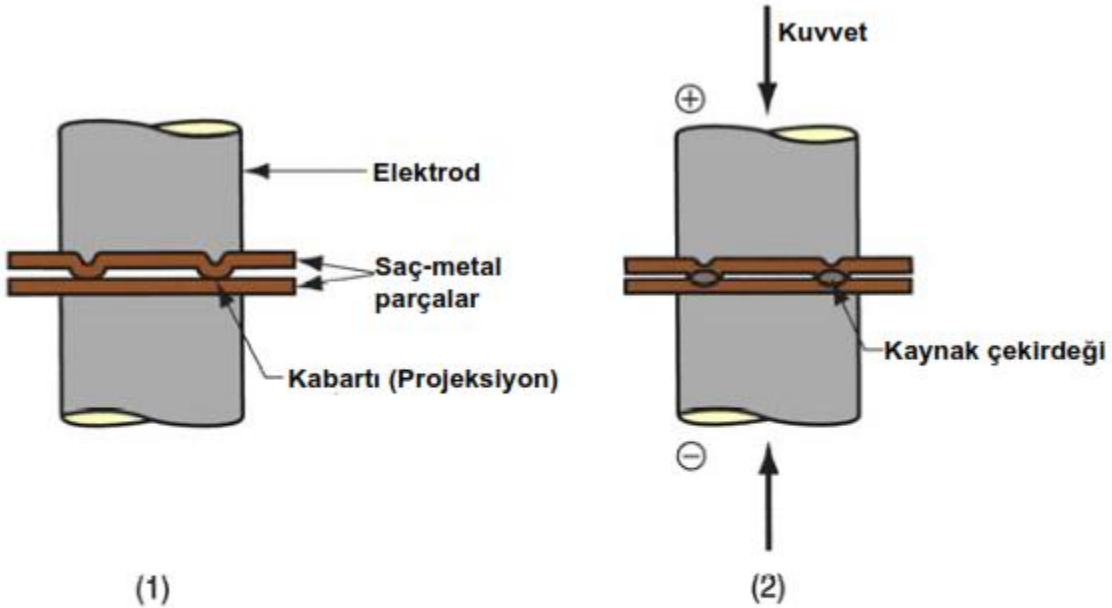
# Direnç dikiş kaynağı

https://www.youtube.com/watch?v=ciwXrOtbi3g

# Direnç Kabartı (Projeksiyon) Kaynağı

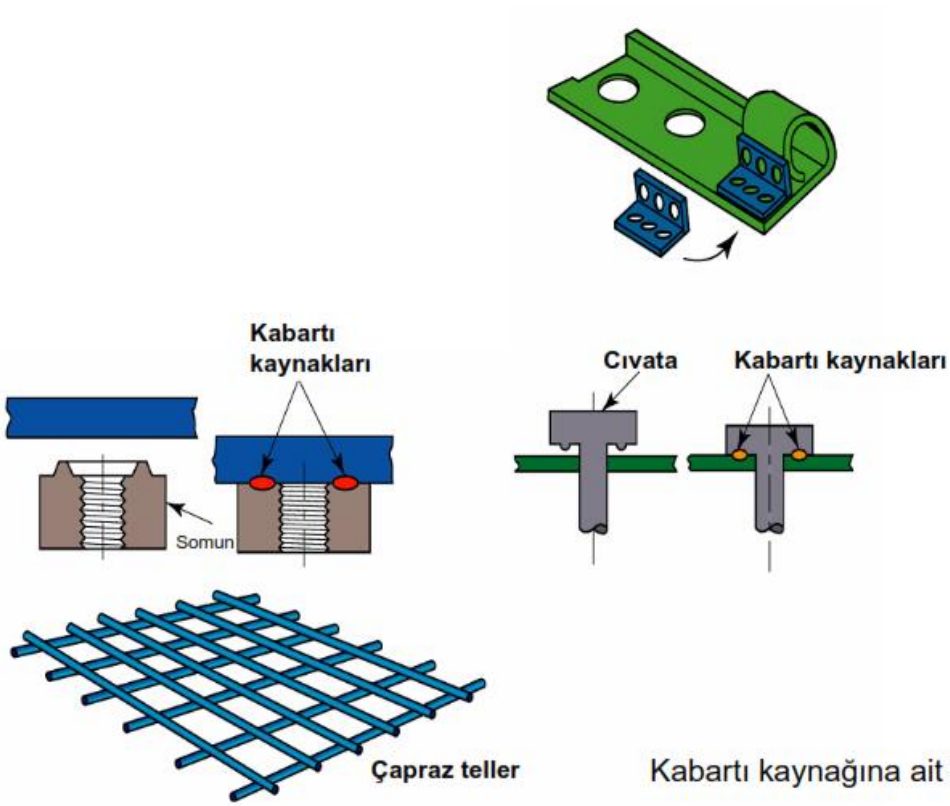
Birleşmenin, parçalar üzerindeki bir veya birkaç küçük temas noktasında oluştuğu bir direnç kaynak yöntemi

- Birleştirilecek parçaların tasarımıyla belirlenen temas noktaları, kabartılardan, çıkıntılardan veya parçaların yerel arakesitlerinden oluşabilir

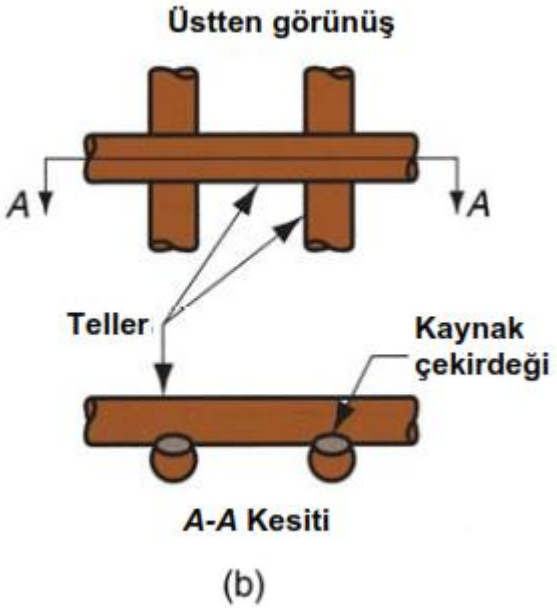



Direnç kabartı kaynağı: (1) işlemin başlangıcında, parçalar arasındaki temas kabartılardadır; ve (2) akım uygulandığında, kabartılarda, nokta kaynağındakine benzer kaynak çekirdekleri oluşur

# Çapraz-tel Kaynağı




Kabartı kaynağına ait örnekler




(b) çapraz-tel kaynağı

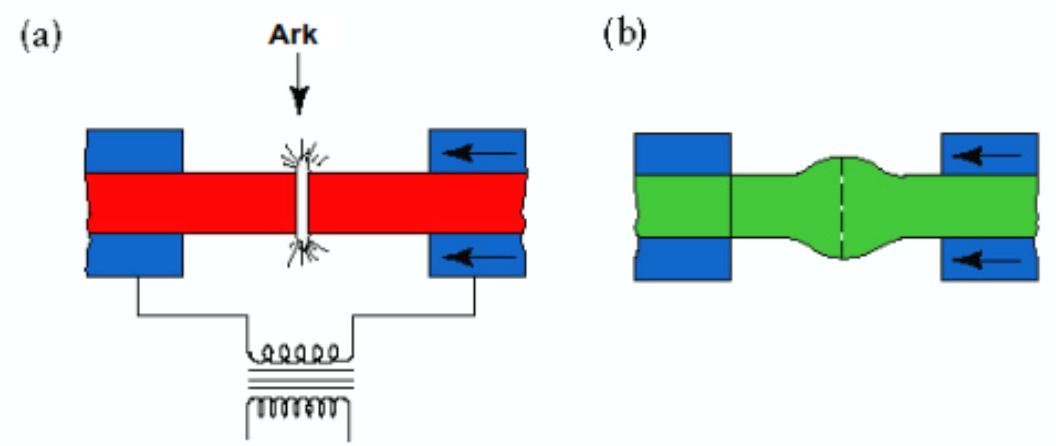
# Direnç kabartı kaynağı

https://www.youtube.com/watch?v=FfwAp3gGu0w

https://www.youtube.com/watch?v=Nu0ppcvq2ls

# Yakma Alın Kaynağı

Normal olarak alın bağlantılar için kullanılan bir yöntem. Birleştirilecek iki yüzey, temas veya yakın hale getirilir ve yüzeyleri erime sıcaklığına çıkaracak ısıyı üretmek için elektrik akımı uygulanır; daha sonra kaynağı oluşturmak üzere yüzeyler birbirine bastırılır.

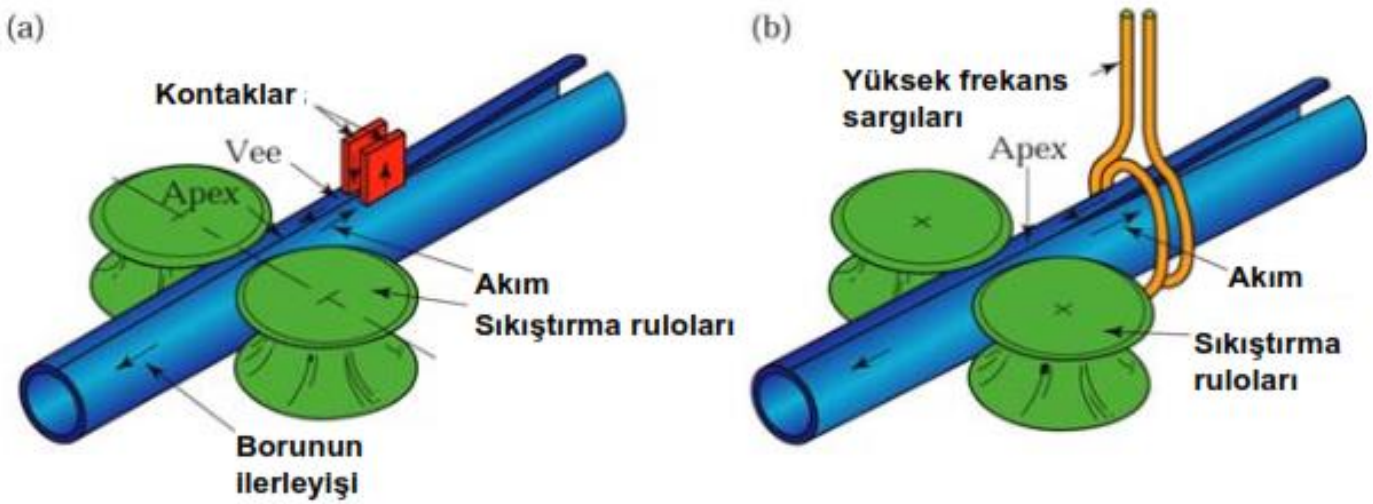



Yakma alın kaynağı: (a) elektrik direnciyle ısıtma; ve (b) yığma – parçaların birbirine bastırılması.

https://www.youtube.com/watch?v=vInbzT6CmmQ

# Yüksek Frekans Direnç Kaynağı

Yüksek frekanslı bir alternatif akımın, ısıtma için kullanıldığı ve hemen ardından birleştirmeyi sağlamak için bir yığma kuvvetinin uygulandığı bir direnç kaynak yöntemi




Şekil Dikişli boruların kaynağı (a) yüksek frekans direnç kaynağı; ve (b) yüksek frekans indüksiyon kaynağı

https://www.youtube.com/watch?v=dOLPKSI3FaI

# DİĞER KAYNAK YÖNTEMLERİ

Ark, direnç veya oksi-yanıcı gaz kaynağı olarak sınıflandırılamayan eritme kaynak yöntemleri

- Eritme için ısıyı üretecek farklı teknolojiler kullanır
- Uygulamaları da tipik olarak farklıdır
- Yöntemler arasında:
  - Katı hal kaynak yöntemleri
  - Diğer kaynak ve kesme yöntemleri
  - Plastik malzemelerin kaynağı
  - Yüzey kaplama ve metal püskürtme

# Katı Hal Kaynak Yöntemleri

- Dövme (demirci) kaynağı
- Soğuk kaynak (soğuk basınç kaynağı)
- Haddeleme kaynağı
- Sürtünme kaynağı
- Ultrasonik kaynak
- Difüzyon kaynağı
- Patlamalı kaynak

# Katı Hal Kaynağı

- Parça yüzeylerinin birleştirilmesi için:
  - Sadece basınç, veya
  - Isı ve basınç
  - Eğer hem ısı hem de basınç kullanılıyorsa, tek başına ısı parça yüzeylerini eritmeye yeterli değildir
  - Bazı katı hal kaynak yöntemleri için, zaman da bir faktördür
- İlave metal kullanılmaz
- Her bir katı hal kaynak yöntemi, temas yüzeylerinde bağ oluşturmak için kendi özgün yöntemine sahiptir
- Başarılı bir katı hal kaynağı için temel faktörler, iki yüzeyin
  - Çok temiz
  - Atomsal bağa izin verecek derecede çok yakın fiziksel temas halinde

  olması gerekir

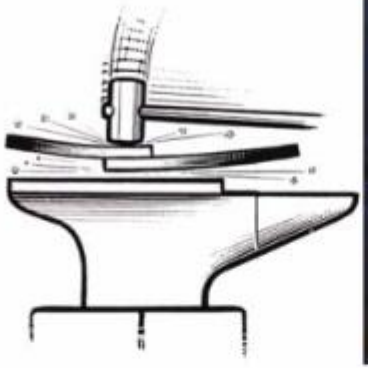
# Katı Hal Kaynak Yöntemlerinin Eritme Kaynak Yöntemlerine göre Üstünlükleri

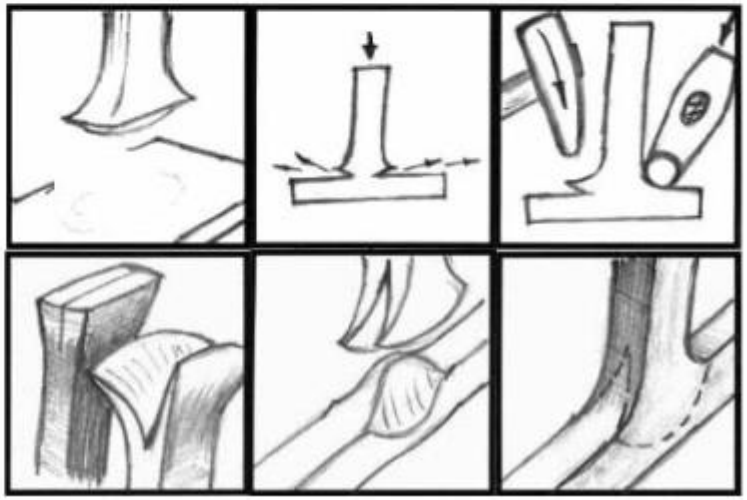
- Eğer erime olmazsa, ITAB da oluşmaz; böylece bağlantı çevresindeki metal başlangıçtaki özelliklerini sürdürür
- Çoğu katı hal kaynak yöntemi, ayrı noktalar veya dikişler şeklinde değil, temas eden arayüzeyin tamamını birleştiren kaynaklı bağlantılar oluşturur
- Bazıları, izafi erime sıcaklıklarını ve eritme kaynağında ortaya çıkan diğer problemleri göz önüne almadan farklı metalleri birleştirmek için kullanılır

# Dövme Kaynağı

Birleştirilecek kısımlarının sıcak dövme işlem sıcaklığına kadar ısıtıldığı ve daha sonra çekiç veya benzer aletlerle birlikte dövüldüğü kaynak yöntemi

- İmalat teknolojisinin gelişiminde tarihsel öneme sahip
  - İşlemin geçmişi, demircilerin iki metal parçayı kaynak yapmayı öğrendiği M.Ö. 1000'e kadar dayanır
- Günümüzde bazı türleri hariç ticari önemi yoktur





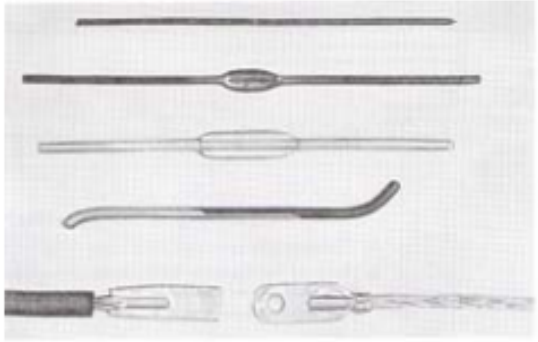
Dövme (demirci) kaynağının uygulamaları

https://www.youtube.com/watch?v=OjDugWCp3-Q

# Soğuk Kaynak

Temiz temas yüzeyleri arasına oda sıcaklığında yüksek basınç uygulayarak yapılan katı hal kaynak yöntemi

- Temizleme, birleştirmeden hemen önce genellikle yağ giderme veya fırçalama ile yapılır
- Isı uygulanmaz; ancak deformasyon, parça sıcaklığını yükseltir
- Metallerin en azından biri, tercihen de ikisi birden çok sünek olmalıdır
  - Yumuşak alüminyum ve bakır, soğuk kaynağa uygundur
- Uygulamalar: elektriksel bağlantıların yapımı

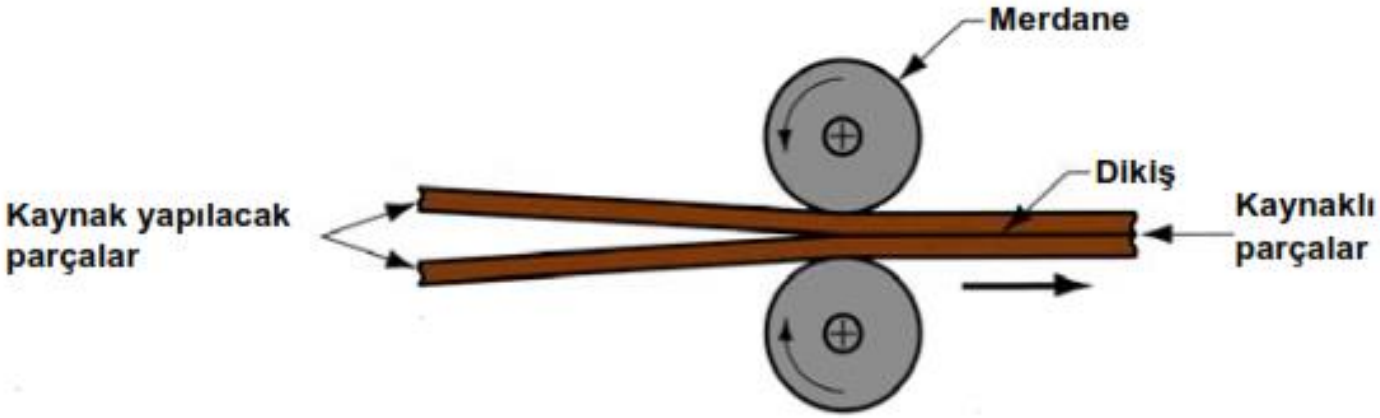


Soğuk kaynakla birleştirilmiş küçük parçalar

# Haddeleme Kaynağı

Birleşmeye yeterli basıncın, dış ısı ile veya olmadan, merdaneler aracılığıyla uygulandığı katı hal kaynak yöntemi

- Parçaların işlemden önce ısıtılıp ısıtılmadığına bağlı olarak, dövme veya soğuk kaynağın özel bir hali
  - Eğer dış ısı yoksa, soğuk haddeleme kaynağı
  - Eğer ısı uygulanıyorsa, sıcak haddeleme kaynağı




Haddeleme Kaynağı

# Haddeleme Kaynağının Uygulamaları

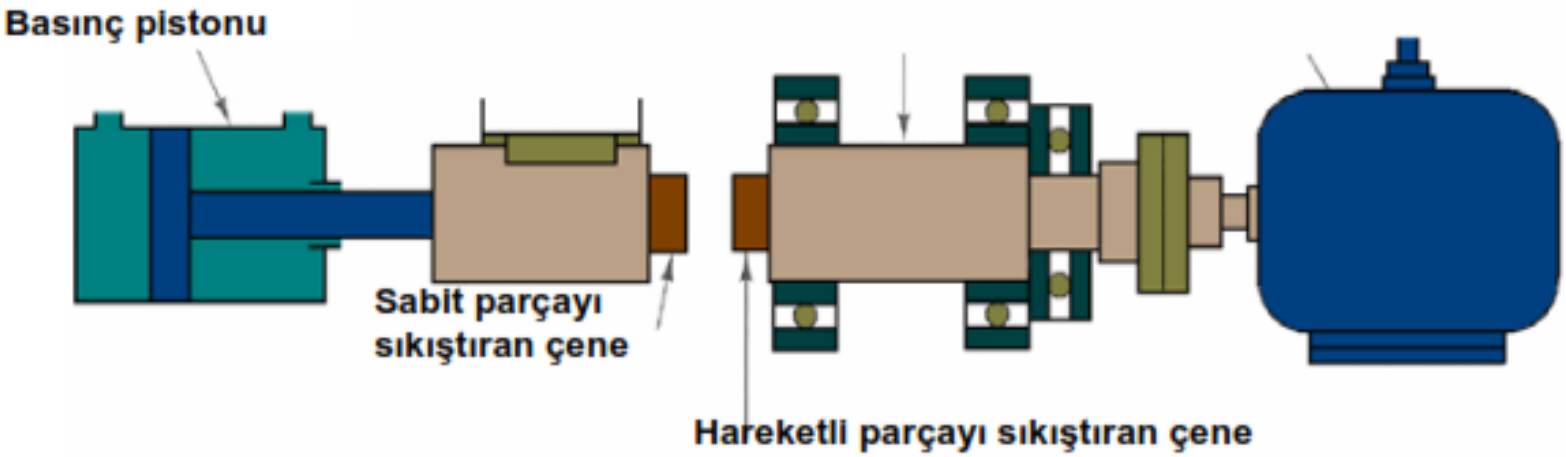
- Korozyon direnci için paslanmaz çeliğin alaşımsız veya düşük alaşımlı çelik üzerine giydirilmesi
- Sıcaklık ölçümü için Bimetalik şeritler
- "Sandviç" metal paralar

Şekil Haddeleme kaynağıyla birleştirilmiş buzdolabı dondurucu evaporatörü. Dışarı taşan kanalları haddeleme kaynağıyla birleştirilmiştir.

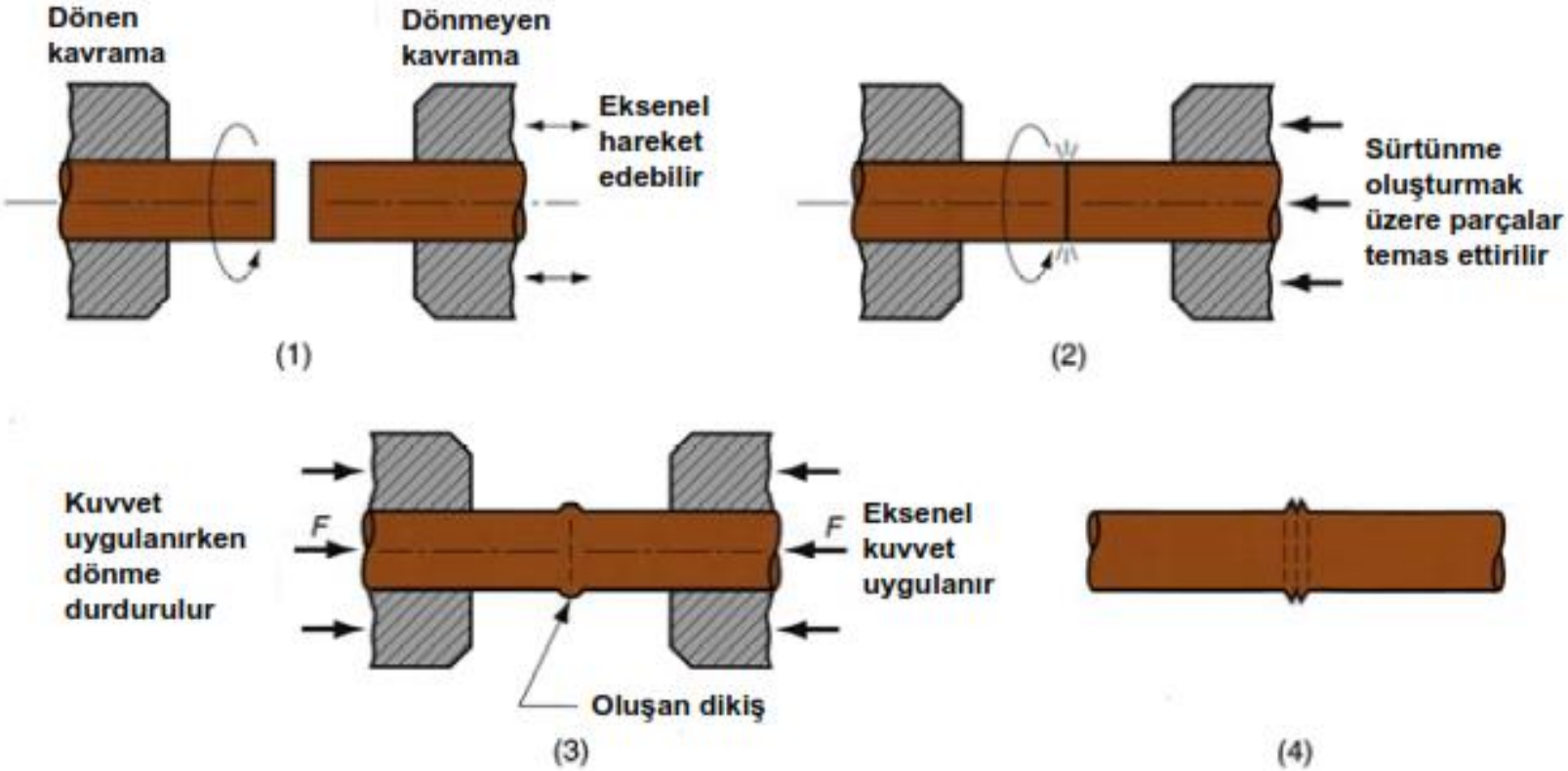
# Sürtünme Kaynağı

Birleşmenin, basınçla birlikte sürtünme ısısıyla oluşturulduğu katı hal kaynak yöntemi

- Uygun yapıldığında, temas yüzeylerinde erime oluşmaz. Normal olarak ilave metal, dekapan veya koruyucu gaz kullanılmaz
- İşlem dar bir ITAB oluşturur
- Farklı metallerin birleştirilmesinde kullanılabilir
- Ticari işlemlerde geniş çapta kullanılır; otomasyona ve seri üretime uygundur



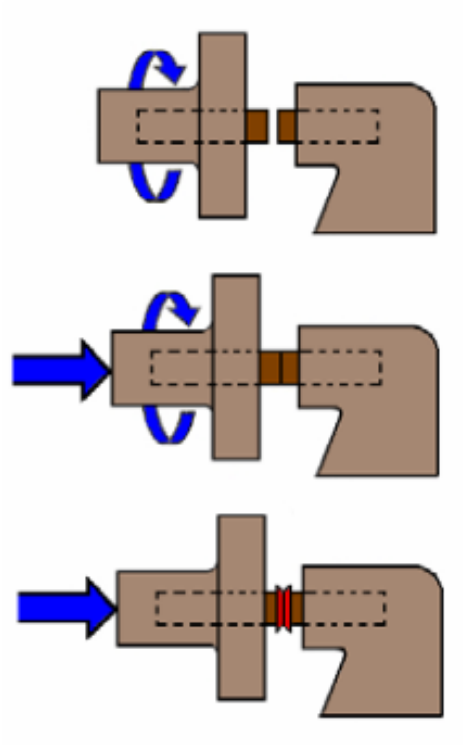

Sürtünme kaynak ekipmanı




Sürtünme kaynağı: (1) dönen parça, temas yok; (2) sürtünme ısısı üretmek üzere parçalar temas haline getirilir; (3) dönme durdurulur ve eksenel basınç uygulanır; ve (4) kaynak oluşturulur

# Sürtünme Kaynağının İki Türü

1. Sürekli tahrikli sürtünme kaynağı
   - Parçalardan biri, sabit parçaya doğru, ara yüzeyde sürtünme ısısı oluşturmak üzere sabit dev/dak'da döndürülür
   - Uygun ısıl işlem sıcaklığında dönme durdurulur ve parçalar birbirine bastırılır
2. Atalet sürtünme kaynağı
   - Dönen parça, önceden saptanmış bir hızda dönen bir volana bağlıdır
   - Volan tahrik sisteminden ayrılır ve parçalar birbirine bastırılır

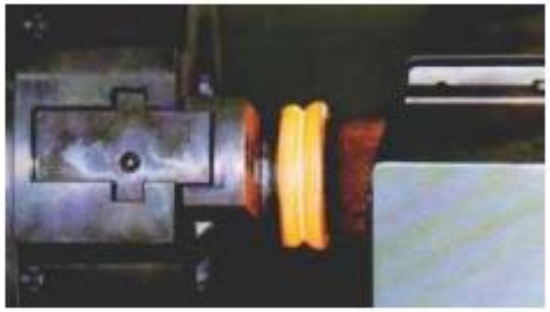


Şekil Atalet sürtünme kaynağının değişik aşamalarının şematik görünüşleri

# Sürtünme Kaynağının Uygulamaları ve Sınırları

- Uygulamaları:
  - Şaft ve borusal parçalar
  - Endüstriler: otomotiv, uçak, ziraat makinaları, petrol ve doğal gaz
- Sınırları:
  - Parçalardan en az biri dönel olmalıdır
  - Yığma çapağı genellikle uzaklaştırılır
  - Yığma, parça boylarını kısaltır (tasarım aşamasında dikkate alınması gerekir)

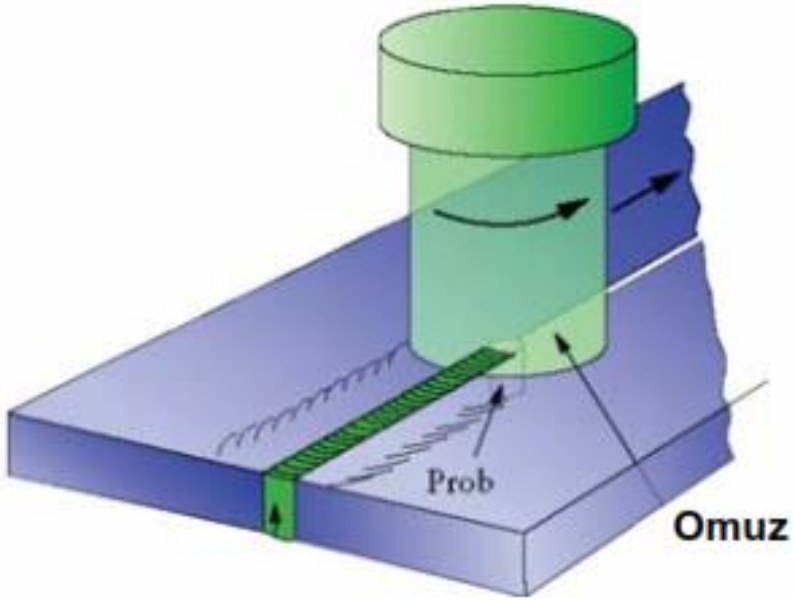
Şekil 38-17. Bazı sürtünme kaynaklı parçalar



https://www.youtube.com/watch?v=RTEP9QdTn5k

# Sürtünme Karıştırma Kaynağı

- Düşük sıcaklıkta eriyen metalleri ve termoplastikleri birleştirmede kullanılan yeni bir yöntem (1991)
- Sürtünme ısısı, parçaların temas yüzeyleri arasında dönen erimeyen bir prob ile oluşturulur.
- Prob döndükçe plastikleşen ve yumuşayan malzemeler döndürme etkisiyle birbirinin içine karışır



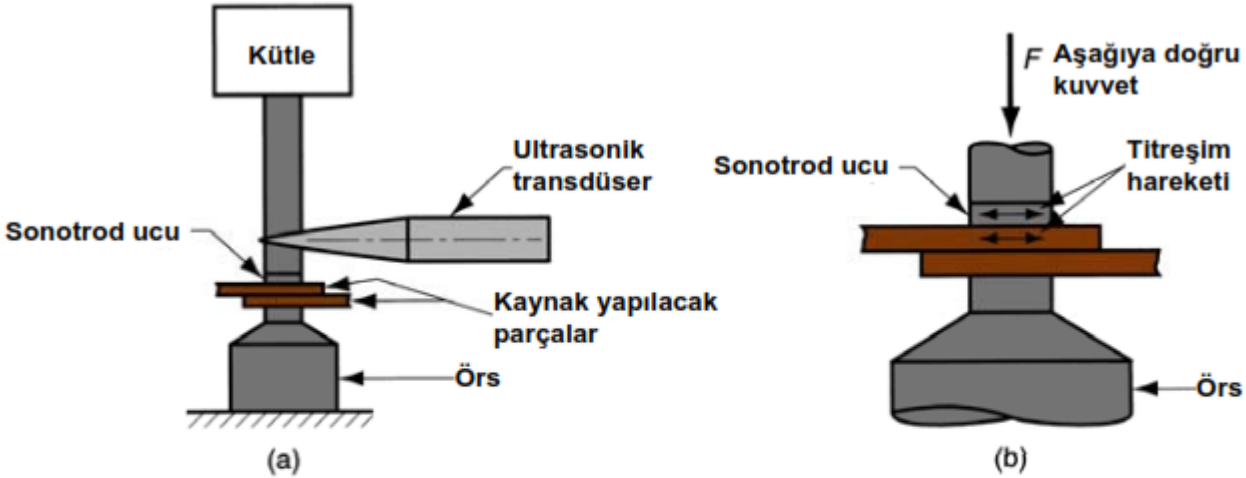

Şekil Sürtünme karıştırma kaynağı. Dönen prob, sürtünme ısısı üretirken omuz kısmı ise ilave sürtünme ısısı oluşturur ve yumuşayan malzemenin çevreye dağılmasını engelleyerek şeklini korur

https://www.youtube.com/watch?v=aNbQH8XBgxQ

# Ultrasonik Kaynak

İki parçanın birarada tutulduğu ve birleştirmek üzere arayüzeye ultrasonik frekansta titreşimsel kayma gerilmeleri uygulandığı katı hal kaynak yöntemi

- Titreşim hareketi, teması sağlamak üzere yüzeylerde mevcut tabakaları kırar ve metalurjik bağ oluşturur
- Yüzeyler ısınmasına rağmen sıcaklıklar *$T_m$'nin çok altındadır*
- İlave metal, dekapan veya koruyucu gaz kullanılmaz
- Genellikle alüminyum ve bakır gibi yumuşak metallerin bindirme tipi bağlantısıyla sınırlıdır




Şekil 38-19. Ultrasonik kaynak : (a) Bir bindirme bağlantı için genel ekipman; ve (b) kaynak bölgesinin yakından görünüşü

# Ultrasonik Kaynağın Uygulamaları

- Elektrik ve elektronik endüstrisi için tel terminalleri ve bağlantıları (lehimlemeye ihtiyacı ortadan kaldırır)
- Alüminyum saç metal panellerin birleştirilmesi
- Güneş panellerinde boruların saçlara kaynağı
- Otomotiv endüstrisinde küçük parçaların birleştirilmesi

https://www.youtube.com/watch?v=yLGiY6Ehofo

# Difüzyon Kaynağı

Genellikle kontrollü bir atmosferde, difüzyon ve birleşimin oluşmasına yeterli süre ısı ve basınç kullanan katı hal kaynak yöntemi

- Sıcaklıklar $\leq 0.5\ T_m$
- Yüzeylerdeki plastik deformasyon minimumdur
- Birincil birleşme mekanizması katı hal difüzyonudur
- Sınırlamalar: difüzyon için gereken süre, birkaç saniyeden birkaç saate kadar uzayabilir

**İki farklı metalin difüzyon kaynağı**

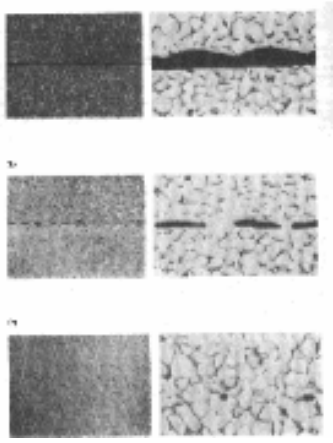
**Difüzyon kaynağının aşamaları**

Başlangıçta sadece pürüzler temas eder

Uygulanan basınç metal temasını arttırır

Difüzyon bölgesi boyunca malzeme yayınır (temas bölgesi büyür)

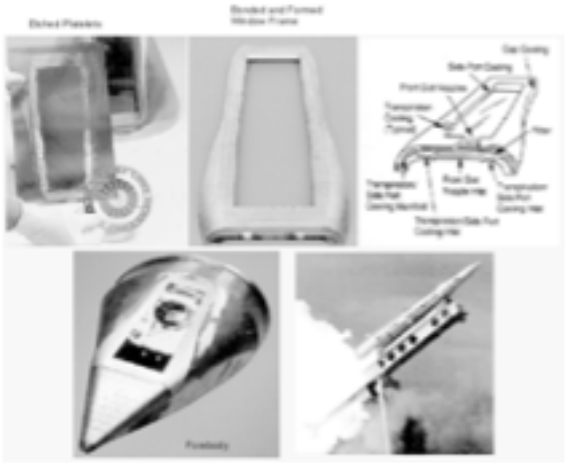
Gözenekler gitgide küçülür ve hemen hemen yok olur.

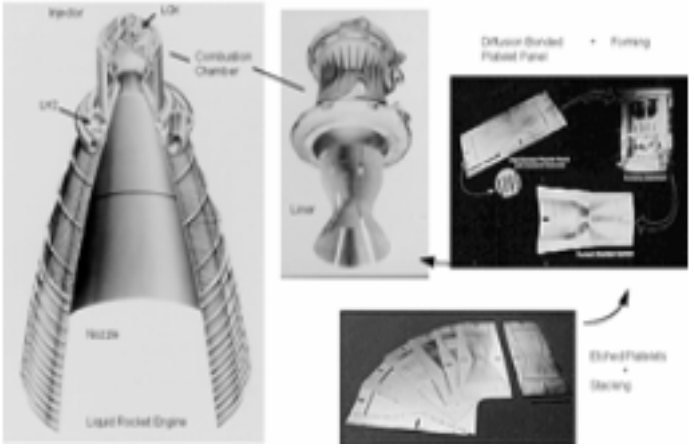


https://www.youtube.com/watch?v=IQYZHGSf_8E

# Difüzyon Kaynağının Uygulamaları

- Uzay ve nükleer endüstrilerde yüksek dayanımlı ve refrakter metallerin birleştirilmesi
- Benzer ve farklı metallerin birleştirilmesinde kullanılabilir
- Farklı metallerin birleştirilmesi için, esas metallere difüzyonu arttırmak için, aralarına farklı bir metalden dolgu tabakası yerleştirilebilir

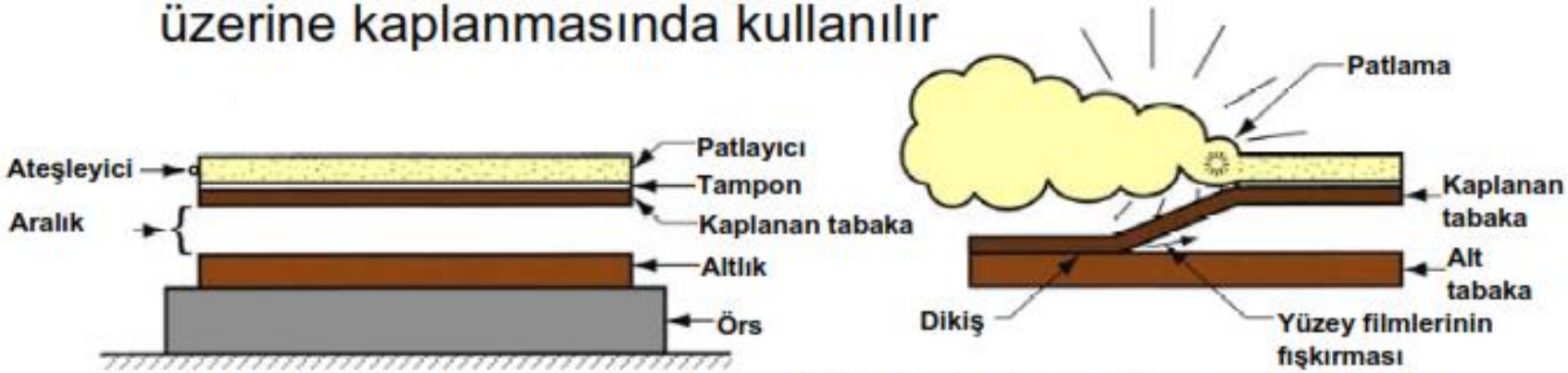




# Patlamalı Kaynak

Yüksek hızlı patlamanın iki metal yüzeyi hızla birleştirilmesini sağladığı katı hal kaynak yöntemi

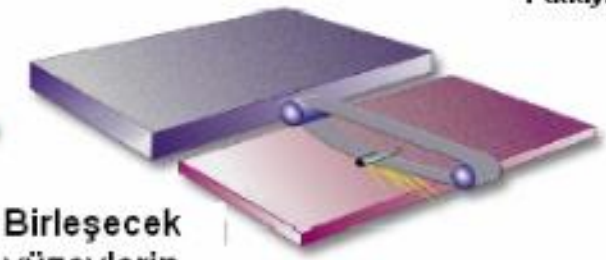
- İlave metal kullanılmaz; Dış ısı uygulanmaz; Difüzyon oluşmaz – zaman çok kısadır
- Metaller arasındaki bağ, dalgalı bir arayüzeyle sonuçlanan mekanik kilitlenmeyle beraber metalurjiktir
- Çoğu kez iki farklı metalin birleştirilmesinde, özellikle de büyük yüzeyler halinde bir metalin diğerinin üzerine kaplanmasında kullanılır




Şekil 38-20. Patlamalı kaynak: (1) paralel konfigürasyon halinde yerleştirme, ve (2) patlayıcının patlaması sırasındaki durum

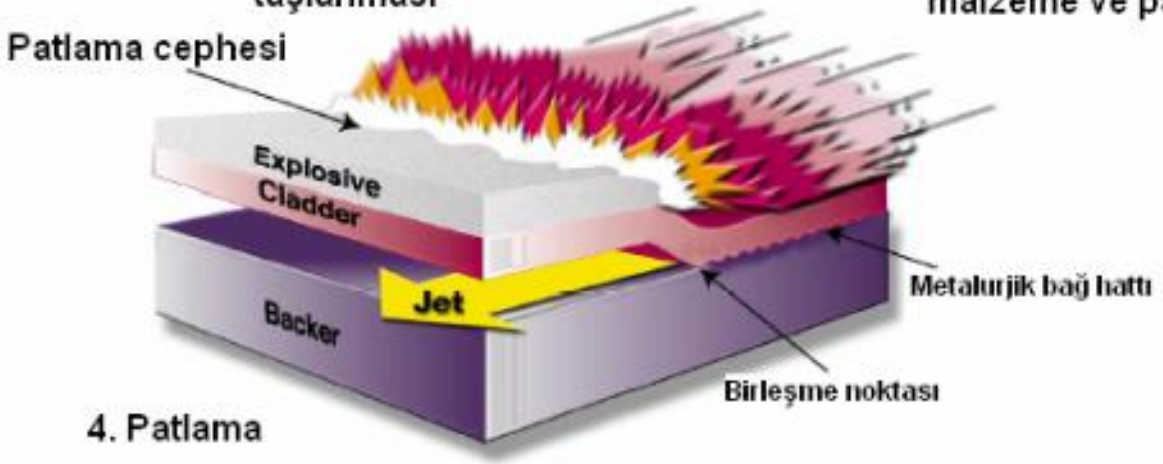
https://www.youtube.com/watch?v=I3GhNAUccJY

1. Levha malzemelerin kontrolü



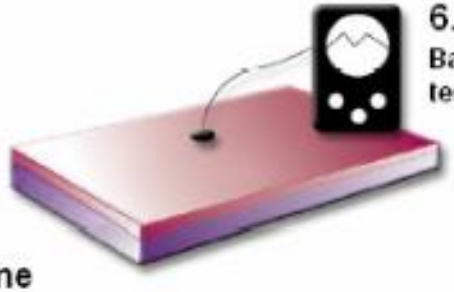
2. Birleşecek yüzeylerin taşlanması

3. Montaj:
Alt malzeme, kaplanacak malzeme ve patlayıcı

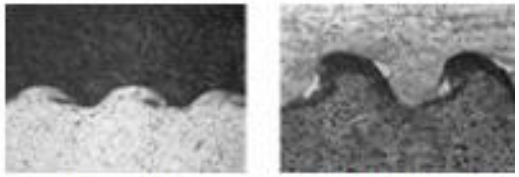



4. Patlama

5. Düzleştirme ve Kesme



6. Test ve Muayene
Bağlantının ultrasonik muayenesi, mekanik testler, fiziksel ölçümler ve sertifikalandırma



Yüzeyin makro görünüşü

Patlamalı kaynak yönteminde işlem sırası

# KAYNAKLAR


- Prof. Dr. Murat VURAL, İTÜ, İmal Usulleri ders notları
- A. Münir Cerit, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Makine Mühendisliği El Kitabı- Üretim ve Tasarım Cilt 2